



EFOP-3.4.3 -16-2016-00014 projekt

Paleohidrológia

Tankönyv természettudományi, földtudomány, környezettudomány, biológia, földrajz, geográfus szakos hallgatók részére

Szerzők: Sümegi Pál
Törőcsik Tünde
Gönczy Sándor
Papucs András

SZTE TTIK Földrajzi és Földtudományi Intézet, 2020.





EFOP-3.4.3 -16-2016-00014 projekt

(1.) Tantárgy neve: Paleohidrológiai alapok GSZV00-00434	Kreditértéke: 2
A tantárgy besorolása: szabadon választható	
A tantárgy elméleti vagy gyakorlati jellegének mértéke, „képzési karaktere”: 80/20 % (kredit%)	
A tanóra típusa: előadás és óraszám: 30 óra, mindkét félév Az adott ismeret átadásában alkalmazandó további (sajátos) módok, jellemzők (ha vannak): Az előadás nagyrészt az oktató aktivitására épül, de az egyes témakörök feldolgozásánál alkalmazza a csoportmunkát.	
A számonkérés módja: kollokvium Az ismeretellenőrzésben alkalmazandó további (sajátos) módok (ha vannak): írásbeli számonkérés a tematika témaköreinek megfelelően az órai anyag és a kötelező szakirodalmak alapján (a téma megértésének, az elméleti tudás alkalmazási képességének ellenőrzése)	
A tantárgy tantervi helye (hányadik félév): -	
Előtanulmányi feltételek (ha vannak): -	
Tantárgy-leírás: az elsajátítandó ismeretanyag tömör, ugyanakkor informáló leírása Cél: A jelenlegi környezeti válság egyik legsúlyosabb része a világtengereket, a szárazföldön kialakult édesvízi rendszereket, köztük a gleccsereket, szárazföldi jégtakarókat, tavakat, lápokot érinti. Éppen ezért az előadás célja, hogy a hallgatók áttekintő ismeretek birtokába jussanak a bolygónk paleohidrológiai rendszereinek kialakulásáról, természetes fejlődéséről és ennek a fejlődéstörténetnek a rekonstrukcióját lehetővé tevő geológiai és őslénytani tényezőkről. A paleohidrológiai ismeretek elmélyítik a Föld hidroszféra, atmoszféra és az egykori bioszféra kialakulását és kapcsolatát, és ennek nyomán a hallgatók képessé válnak a hosszú távú környezeti összefüggések, kölcsönhatások megértésére. Megismerik a paleohidrológiai kutatás speciális kutatási módszereit és fogalmi rendszerét, valamint a paleohidrológiai változások hátterét és a legfontosabb környezetet jelző geindikátor elemeket és paleobiológiai csoportokat. Megismerik a paleohidrológiai eseményeket, amelyek birtokában képessé válnak a későbbi ráépülő földtudományi, valamint környezeti tanulmányaik során megismerendő összefüggések megértésére. Megismerik a megszerzett ismeretek szintetizálásának lehetőségét és módját az esettanulmányi példákon keresztül. Képessé válnak a megszerzett komplex ismereteket felhasználni a párhuzamosan futó, illetve későbbi szaktárgyi kurzusok elsajátítása során. A kurzusnak kifejezetten célja, hogy rámutasson milyen revitalizációs programokat kell végrehajtanunk, ha túl akarjuk élni az ipari társadalom hidroszférát érintő átalakítását. Az e-tankönyv ismeretanyaga önálló tantárgy keretében is meghirdetésre kerül a Paleohidrológiai alapok (GSZV00-00434) tantárgy keretében és bekerül a Környezettörténet I-II. (GBN206új E,G, GBN207új E,G, FDI139 E,G, FDI691 , E,G), A környezetföldrajz és a környezetföldtan alapjai (GBN215 E,G), Paleohidrológia (FDI140 E,G, FDI 704 E,G) tantárgyak irodalom listájába.	





Tematika:

I.1./

Paleohidrológia tárgya, tudományági kapcsolatrendszere, üledékgyűjtő medencék típusai és szerepe a paleohidrológiai vizsgálatokban. A paleohidrológiai változások tér- és időbeli kifejlődési szintjei, a rekonstrukciók lokális, regionális és globális értelmezhetőségei, paleohidrológiai változások időkeretei.

I.2./

Paleohidrológiai régiók lehatárolásának módszere és eredménye. Klímafüggő paleohidrológiai régiók megnevezései, hőmérséklet – csapadék – paleohidrológia összefüggései és kapcsolatuk a mai exogén geológiai régiókkal. Glaciális paleohidrológiai régió kialakulásának feltételei, kiterjedése és visszahúzódása globális szinten és hosszú távon.

I.3./

Periglaciális és boreális paleohidrológiai régió lehatárolása, kialakulásának paleohidrológiai feltételei, kapcsolatuk a mai exogén geológiai régiókkal. Periglaciális és boreális paleohidrológiai régiók fejlődéstörténete térben és időben. Tőzegmoha szerepe a paleohidrológiai rendszerekben.

I.4./

Óceáni és nedves és száraz kontinentális paleohidrológiai régiók lehatárolása, kialakulásuk paleohidrológiai feltételei, kapcsolatuk a mai exogén geológiai régiókkal. Óceáni és nedves és száraz kontinentális paleohidrológiai régiók fejlődéstörténete térben és időben.

I.5./

Mediterrán, szubtrópusi paleohidrológiai régiók lehatárolása, kialakulásuk paleohidrológiai feltételei, kapcsolatuk a mai exogén geológiai régiókkal. Mediterrán, szubtrópusi paleohidrológiai régiók fejlődéstörténete térben és időben.

I.6./

Trópusi paleohidrológiai régiók kialakulása, fejlődéstörténete, kapcsolatuk a mai exogén geológiai régiókkal. Egyenlítői, trópusi monszun, szavanna és sivatagi paleohidrológiai régiók fejlődéstörténete térben és időben.

I.7./

Szavanna és sivatagi paleohidrológiai régiók dinamizmusa az utolsó jégkori maximumtól napjainkig és a Csád tó fejlődéstörténete. A Csád-tó és Aral-tó fejlődéstörténetének természetes párhuzamai – a globális éghajlati átrendeződés hatása a teresztris paleohidrológiai rendszerekre. Paleohidrológiai lelőhelyek kiválasztásának módszerei és megvalósítása.

I.8./

A trópusi monszun régió kialakulásának kapcsolata a Himalája fejlődésével. A hegyvidéki paleohidrológiai régió fejlődéstörténete és hatása a földi éghajlati rendszerekre, a paleohidrológiai régiók kifejlődésére.

I.9./

Paleohidrológiai rendszerek kifejlődésének kezdetei. Az első paleobiológiai indikátorok, az első zátonyok, sztratolitolok. A korai légkör, a korai paleohidrológiai rendszerek fejlődésének kapcsolata. Geoindikátorok a paleohidrológiai rendszerekben.

I.10./

Paleohidrológia rendszerek továbbfejlődése a korai földtani időkben. Snowball paleohidrológiai állapot előzményei, kifejlődése, bizonyítékai és feloldódásának földtani háttere.





EFOP-3.4.3 -16-2016-00014 projekt

I.11./

Paleohidrologiai rendszerek ugrásszerű fejlődése 800 és 600 millió év között, ennek okai és eredménye. Ediacarai Fauna és a Burgess Pala paleohidrologiai környezete és feltárásuk eredményei.

I.12./

Archeocyathus taxonok megjelenése és a zátonyok átalakulása, paleohidrologiai változások a földtani óidő kezdetén. Vízi ízeltlábúak, Mollusca és hal taxonok paleohidrologiai jelző szerepének kezdete.

I.13./

Ópaleozoikum paleohidrologiai változásai és hatásuk a globális szférákra. Korallállatok, első korallzátonyok kialakulásának hatása a paleohidrologiai rendszerekre a szilur időszakban. Marin és édesvízi rendszerek átalakulása a devon időszakban. Paleohidrologiai indikátorok fejlődése és hatása a rekonstrukciókban.

I.14./

Devon, karbon paleohidrologiai rendszerek hatásai, és átalakulásuk a perm időszakban. *Jack Sepkoski* féle kihálási hullámok paleohidrologiai hatásai a földtani óidőben (paleozoikum során).

II.1./

Paleohidrologiai változások a mezozoikum kezdetén. Kőkorall zátonyok kialakulásának hatása. *Jack Sepkoski* féle IV. kihálási hullám nyomán kialakult paleohidrologiai átalakulás hatásai. Lofer ciklus paleohidrologiai kapcsolata. Hüllők uralma a világtengerekben és az édesvízi rendszerekben.

II.2./

Paleohidrologiai változások a jura időszakban. Korai emlősök, közte vízi emlősök megjelenése a paleohidrologiai rendszerekben. Hierlatzi Mészkö, Ammonitico rosso, Holzmadeni Pala képződésének paleohidrologiai háttere. Tethy óceán paleohidrologiai rendszerének differenciálódása és hatása a globális éghajlati rendszerekre. Pörgekarúak (*Brachiopoda*) és a tengeri liliumok (*Cnidaria*) paleohidrologiai jelző szerepe.

II.3./

Paleohidrologiai változások a kréta időszakban. Heteromorf Ammoniteszek, a vízi madarak kialakulásának paleohidrologiai háttere. *Calpionella* indikátor szerepe, írókréta fácies, Rudistás zátonyok paleohidrologiai feltételei.

II.4./

Paleohidrologiai változások a harmadidőszak kezdetén. Madarak, közte a pingvinfélék adaptív radiációja a paleocén időszakban. Tengeri emlősök kialakulásának kezdetei. Tüskésbőrűek paleohidrologiai jelzőszerepének megváltozása a harmadidőszak során. Quantumevolúció és a taxon-free osztályozás alapjai. Tengeri mélységzónák és paleohidrologiai életzónák.

II.5./

Tengeri emlősök fejlődése a paleogén során, szirénfélék és fogascetek fejlődésének kezdetei. Nagyforaminiferák akméja az eocén időszak során. Eocén Termikus Maximum kifejlődésének hatása a világtengerek paleohidrologiai rendszereiben. Kagylósrákok paleohidrologiai jelzőszerepe és változásai a paleohidrologiai rendszerek fejlődése során.

II.6./

Messel - egy kivételes eocén időszaki édesvízi tó, egy kivételes paleohidrologiai rendszer fejlődésének és feltárásának bemutatása az indikátor elemekkel.

II.7./

Paratethys paleohidrologiai rendszer kialakulása és kialakulásának hatásai. Az oligocén időszaki paleohidrologiai rendszerek fejlődése. Oligocén időszaki anoxikus esemény globális hatása a világtengerekben. Szirénfélék és fogascetek fejlődése a paleogén végén.





EFOP-3.4.3 -16-2016-00014 projekt

II.8./

Rákfélék paleohidrológiai indikátor szerepe és harmadidőszaki kapcsolata a paleohidrológiai rendszerekkel. Halak paleohidrológiai indikátor szerepe a harmadidőszaki paleohidrológiai rendszerekben. Pikkelyek szerepe a taxon-free osztályozásnál.

II.9./

Paratethys fejlődése a miocén időszakban és a paleohidrológiai jelzőelemek szerepének átalakulása. A szirénfélék és fogascetek neogén fejlődéstörténete. *Carcharocles megalodon* (óriásfogú cápa) miocén időszaki gyilkos bálna (*Livyatan melvillei*) összehasonlító elemzése.

II.10./

Messinai sókrízis – komplex globális paleohidrológiai rendszer válsága, a Földközi tengeri kiszáradásának és vízzel feltöltődésének paleohidrológiai következményei. Pannon tó paleohidrológiai fejlődésének bemutatása.

II.11./

Negyedidőszaki ciklikus éghajlati változások paleohidrológiai hatásai a világtengerekben és a teresztris paleohidrológiai rendszerekben. Hosszú idejű tavak és rövid idejű tavak paleohidrológiai rendszereinek és paleohidrológiai rekonstrukciókban betöltött szerepük bemutatása.

II.12./

Tavak, lápok, mocsarak, beltengerek – negyedidőszaki teresztris paleohidrológiai rendszerek kifejlődése és átalakulása a glaciális/interglaciális ciklusok során.

II.13./

Erdélyi lápok és tavak fejlődése, különös tekintettel a magashegységi, középhegységi tőzegmoha lápokra és a Rétyi Nyír védett területére.

II.14./

Kárpátaljai paleohidrológiai rendszerek fejlődése, különös tekintettel a Szernye-mocsár területére, az anthropocén hatása az édesvízi paleohidrológiai rendszerekre.

A 2-5 legfontosabb kötelező, illetve ajánlott irodalom (jegyzet, tankönyv) felsorolása bibliográfiai adatokkal (szerző, cím, kiadás adatai, (esetleg oldalak), ISBN)

Szerző: Sümegi Pál-Törőcsik Tünde-Gönczy Sándor-Papucs András

Könyv címe: Paleohidrológia e-tankönyv

Szerző: Molnár Béla

Könyv címe: A Föld és az élet fejlődése

Nemzeti Tankönyvkiadó 2002 ISBN: 963 193 202 8

Szerzők: Főzy István és Sente István

Könyv címe: A Kárpát-medence ősmaradványai

Gondolat Kiadó 2007 ISBN: 978 963 961 098 9





Azoknak az előírt szakmai kompetenciáknak, kompetencia-elemeknek (tudás, képesség stb., KKK 7. pont) a felsorolása, amelyek kialakításához a tantárgy jellemzően, érdemben hozzájárul:

a) tudása

- Ismeri a földtudományok legfontosabb, tudományos eredményeken alapuló, igazolt elméleteit és modelljeit.
- Birtokában van annak a tudásnak, amelynek alkalmazása szükséges a paleohidrológiai folyamatok, és modellek, az élő és élettelen rendszerek földtudományok körébe sorolható alapvető gyakorlati problémáinak megoldásához.
- Anyanyelvén tisztában van a természeti folyamatokat megnevező fogalomrendszerrel és terminológiával.

b) képességei

- Átlátja azokat a vizsgálható folyamatokat, rendszereket, tudományos problémákat, melyeket aztán megfelelő, a tudományos gyakorlatban elfogadott módszerekkel tesztel.
- Ismeretei alapján rendelkezik a természettudományos alapokon nyugvó elemi érvelés képességével.

c) attitűdje

- Ismeri a vitatkozó és kételkedő természettudós példáját.
- Tisztában van a tudományos kijelentések jelentőségével és következményeivel
- Hitelesen képviseli a természettudományos világnézetet, és közvetíteni tudja azt szakmai és nem szakmai közönség felé

c) autonómiája és felelőssége

- Felelősséggel együttműködik a természettudományi és más szakterület szakembereivel.

A tantárggyal kialakítandó konkrét tanulási eredmények:

Tudás	Képesség	Attitűd	Autonómia-felelősség
Ismeri a paleohidrológiai kutatásokban használt módszereket, azok lehetőségeit és korlátait is.	Képes a paleohidrológiai információk, érvek és elemzések különböző természettudományi szempontok szerinti bemutatására, átgondolására.	Nyitott a problémák sokoldalú módszertani megközelítésének lehetősége irányába. Érti és képviseli saját szakterülete, szaktudománya kritikai megközelítéseit, törekszik a rendszerszintű gondolkodásra.	Paleohidrológiai tudása alapján a jelenkori hidrológiai dilemmák elemzésekor érveit felsorakoztatja a hosszú távú fenntarthatóság érdekében.





EFOP-3.4.3 -16-2016-00014 projekt

<p>Ismeri a paleohidrologiai vonatkozású legfontosabb aktuális kutatási kérdéseit és össze tudja foglalni az azok elemzésére és értelmezésére alkotott elméleteket.</p>	<p>Képes a térben lejátszódó paleohidrologiai folyamatok leírására, megértésére, kutatási technikák alkalmazására. Képes logikus paleohidrologiai állítások megfogalmazására, azok feltételeinek és az azokból levonható következtetéseknek a bemutatására.</p>	<p>Átlátja szakterülete legfontosabb problémáit, a nézőpontok közötti különbségeket. Nyitott a problémák kutatáson alapuló megoldása iránt és törekszik azokat rendszerbe szervezve, hosszú távú megoldásokat, alternatívákat rajzolni a jövőbeli fejlődés irányába.</p>	<p>Tudatosan képviseli azon módszereket, amelyeket szakterületén megismert. Elfogadja más tudományágak eltérő módszertani sajátosságait, ugyanakkor vitaképes a paleohidrologia szakterületén.</p>
<p>Ismeri a szakterület fogalmi rendszerét, szak kifejezéseit.</p>	<p>Képes a szakirodalom használatára, önálló feldolgozására.</p>	<p>Ismeri a vitatkozó és kétkedő természettudós példáját.</p>	<p>Felkészült az önálló elemzésre, véleményalkotásra ezen a szakterületen.</p>
<p>Ismeri a paleohidrologiai régiók legfontosabb jellemzőit, érti a paleohidrologiai változások és a geológiai változások közötti összefüggéseket.</p>	<p>A paleohidrologiai folyamatokat térben és időben elhelyezi és képes ezeket az ősföldrajzi térképen is megmutatni.</p>	<p>Képes rendszerben látni a paleohidrologiai változásokat és ennek nyomán megrajzolni jelenlegi és jövőbeli hidrologiai trendeket.</p>	<p>Tisztában van a tudományos kijelentések jelentőségével és következményeivel.</p>
<p>Ismeri a legfontosabb környezetet jelző geoindikátor elemeket és paleobiológiai csoportokat, formációkat és ezek lelő- és/vagy élőhelyeit a térképen be tudja mutatni.</p>	<p>Képes a paleohidrologiai események ismeretének egykori hidrologiai folyamatok összefüggéseinek bemutatására.</p>	<p>Törekszik arra, hogy felhasználja más, elsősorban természettudományi területek eredményeit és azok összevetésére a paleohidrologiai tudásával.</p>	<p>Felelősséget vállal szakmai identitástudatának fejlesztéséért és ahhoz önképzéssel hozzájárul.</p>





EFOP-3.4.3 -16-2016-00014 projekt

<p>Ismeri paleohidrológiai változások mérföldköveit és tisztában van ezek elméleti hátterével. Az esetpéldák tanulmányozása során megismeri az egykori hidrológiai változások és azok hatásainak rekonstrukciós modelljét.</p>	<p>A paleohidrológiai folyamatokat térben és időben elhelyezi, kritikusan, értően áttekinti, értelmezi. Képes az paleohidrológiai viszonyok és összefüggések megértésére, bemutatására, a folyamatok körülményeinek értelmezésére.</p>	<p>Elkötelezetten képviseli szakképzettsége átfogó gondolkodásmódját és gyakorlati normáit. Nyitott az új jelenségek és eredmények, ismeretek befogadására.</p>	<p>A paleohidrológiai terület történeti természettudományi és rekonstrukciós jellegét felelősséggel vállalja. A múltbeli események rekonstrukciós alapjait elfogadja és használja tanulmányai, munkája során.</p>
<p>Ismeri az ősmaradványok egyes csoportjainak paleohidrológiai jelzőszerepét.</p>	<p>Képről felismeri a legfontosabb fossziliákat, és paleohidrológiai jelentőségük szerint csoportosítja azokat.</p>	<p>Törekszik arra, hogy felhasználja más tudományterületek eredményeit.</p>	<p>Tudatosan vállalja szakmája etikai normáit.</p>

Tantárgy felelőse (név, beosztás, tud. fokozat): Dr. Sümegei Pál egyetemi tanár





EFOP-3.4.3 -16-2016-00014 projekt

Jelen tananyag a Szegedi Tudományegyetemen készült az
Európai Unió támogatásával.
Projekt azonosító: EFOP-3.4.3-16-2016-00014

A jegyzetet lektorálta: Dr. Molnár Dávid egyetemi adjunktus

A szerző(k)/a tananyagfejlesztő műhely tagjai közül Törőcsik Tünde részt vett Tanulási
Eredmény Alapú Képzésfejlesztésre irányuló Képzők Képzésén a 2018. április 20. - 2018.
június 15. közötti időszakban.



Sümegei Pál - Törőcsik Tünde

Paleohidrológia



Dr Gönczy Sándor (Beregszász) és
Papucs András (Sepsiszentgyörgy)
közreműködésével

Paleohidrológia

Tartalomjegyzék

Ábrajegyzék	4
I. Fejezet	36
1. A paleohidrológia tárgya	36
1.1. Üledékgyűjtő medencék	38
2. A paleohidrológiai változások időbeli kifejlődése	48
3. Éghajlattól függő paleohidrológiai változások kifejlődése, paleohidrológiai régiók	60
3.1. Sarkvidéki (glaciális) paleohidrológiai régió (glaciális exogén geológiai - aktuálgeológiai régió)	62
3.2. Periglaciális paleohidrológiai régió (periglaciális exogén geológiai - aktuálgeológiai régió)	66
3.3. Boreális paleohidrológiai régió (boreális exogén geológiai - aktuálgeológiai régió)	70
3.4. Óceáni paleohidrológiai régió (óceáni exogén geológiai - aktuálgeológiai régió)	77
3.5. Nedves kontinentális paleohidrológiai régió (nedves kontinentális exogén geológiai - aktuálgeológiai régió)	83
3.6. Száraz kontinentális paleohidrológiai régió (száraz kontinentális exogén geológiai - aktuálgeológiai régió)	92
3.7. Szélsőségesen száraz paleohidrológiai régió (szélsőségesen szárazföldi exogén geológiai – aktuálgeológiai régió)	95
3.8. Mediterrán paleohidrológiai régió (mediterrán exogén geológiai – aktuálgeológiai régió)	97
3.9. Mérsékeltövi monszun paleohidrológiai régió (mérsékeltövi monszun exogén geológiai – aktuálgeológiai régió)	102
3.10. Trópusi sivatagi paleohidrológiai régió (trópusi sivatagi exogén geológiai – aktuálgeológiai régió)	106
3.11. Szavanna paleohidrológiai régió (szavanna exogén geológiai – aktuálgeológiai régió) ..	112
3.12. Egyenlítői paleohidrológiai régió (egyenlítői exogén geológiai – aktuálgeológiai régió)	121
3.13. Trópusi monszun paleohidrológiai régió (trópusi monszun exogén geológiai – aktuálgeológiai régió)	131
3.14. Hegyvidéki paleohidrológiai régió (hegyvidéki exogén geológiai – aktuálgeológiai régió)	134
II. Fejezet	141
4. Paleohidrológiai vizsgálati módszerek	141
4.1. A lelőhelyek kiválasztása	141
4.2. Paleohidrológiai célú távérzékelés	141
4.3. Földrajzi Informatikai Rendszer (FIR-GIS) felhasználása paleohidrológiai célokra	147
4.4. A paleohidrológiai lelőhelyek terepi térképezése, geofizikai módszerek	148
4.5. Exogén geológiai vizsgálatok a paleohidrológiai rendszereken	150

4.6. Ősmaradványok vizsgálata	175
4.6.1. Moszatok (Algák)	175
4.6.1.1. Kékalgák (Cianobaktériumok - Cyanobacteria)	176
4.6.1.2. Zöldmoszatok (Zöldalgák)	203
4.6.1.3. Írókréta kőzetfáciest alkotó sárgásmoszatok (kokkolitoforidák)	243
4.6.1.4. Vörösmoszatok (Rhodophyta), mint zátonyalkotó tényezők	245
4.6.1.5. Kovamoszatok	250
4.6.1.6. Barnamoszatok	256
4.6.2. Foraminifera (Likacsoshéjúak)	270
Esettanulmány 1	282
4.6.3. Makrobotanikai vizsgálatok (magvak, termések, vegetatív testrészek, szövetek, szenült famaradványok elemzése)	303
4.6.4. Fitolitik szerepe és jelentősége a paleohidrológiai kutatásokban	310
Esettanulmány 2	317
Esettanulmány 3	322
4.6.5. Pollen- és spóraelemzés	342
4.6.5.1. A pollen és spóra meghatározásának menete	355
4.6.5.2. Az eredmények megjelenítése és értelmezése	357
4.6.6. Anthrakológiai vizsgálatok	358
Esettanulmány 4	379
Esettanulmány 5	441
4.6.7. Mollusca taxonok a paleohidrológiában	475
4.6.7.1. Monoplacophora taxonok paleohidrológiai szerepe	481
4.6.7.2. Féregcsigák vagy csatornáshasúak (Aplavophora vagy más néven Solanogastres) osztály paleohidrológiai jelző szerepe	482
4.6.7.3. Bogárcsigák vagy Cserepeshéjúak (Polyplacophora) osztályának paleohidrológiai szerepe	483
4.6.7.4. Csigák (Gastropoda) osztályának paleohidrológiai szerepe	487
Esettanulmány 6	507
4.6.7.5. Kagylók (Bivalvia más néven Lamellibranchia vagy Pelecypoda) osztályának paleohidrológiai szerepe	520
4.6.7.7. Lábasfejűek (Fejlábúak – Cephalopodák) paleohidrológiai jelző szerepe	533
4.6.8. Mohaállatok (Bryozoa) osztálya	571
4.6.9. Pörgekarúak (Brachiopoda) osztálya	574
4.6.9.1. Sepkoski féle kihalási hullámok	584
4.6.10. Echinodermata (Tüskésbőrűek)	592
4.6.11. Crinoidea (Tengeri liliomok)	597

4.6.11.1. Krinoideás mészkövek egykori környezetének paleohidrológiai jellemzése	600
4.6.12. Echinoidea (Tengeri sünök)	604
4.6.13. Ostracoda (Kagylósrákok)	619
4.6.14. Cirripedia (Kacsalábú rákok)	634
4.6.15. Ágascsapú rákok (Cladocera rend)	635
4.6.16. Felsőbbrendű rákok (Malacostraca osztály).....	641
4.6.17. Merostomata (Rákszabásúak) osztálya	645
4.6.18. Árvaszúnyogok (Chironomidae) család	648
4.6.19. Graptolithina (Graptoliták).....	651
4.6.20. Gerincesek (Vertebrata) törzse (genetikai elemzések nyomán altörzs)	657
4.6.21. Agnatha (Állkapocs nélküliek).....	667
4.6.22. Cephalochordata (Fejgerinchúrosok)	671
4.6.23. Szájató vagy más néven körszájú halak (Cyclostomata).....	677
4.6.24. Cserepesbőrűek (Ostracoderni)	678
4.6.25. Anaspidá (Anaspidák)	681
4.6.26. Thelodonti (Telodonták).....	682
4.6.27. Heterostraci (Heterosztrakák).....	683
4.6.28. Gnathastomata (Állkapcsosok).....	684
4.6.29. Acanthodii (Akantodik – tövises őscápák)	684
4.6.30. Placodermi (Páncélozott őshalak kihalt osztály)	686
4.6.31. Chondrichthyes (Porcos halak)	689
4.6.32. Elasmobranchii (Cápák és ráják alosztálya)	693
4.6.33. Holocephali (Tömörfejűek)	699
4.6.34. Osteichthyes (Csontos halak)	700
4.6.35. Amphibia (Kétéltűek) osztálya.....	713
4.6.36. Reptilia (Hüllők) osztálya	718
4.6.37. Anapsida alosztály.....	720
4.6.38. Testudines (teknősök) rendje, hüllők monofiletikus csoportja.....	721
4.6.39. Protostegidae család	723
4.6.40. Placodontomorpha (álteknősök) alosztály	726
4.6.41. Ichthyopterygia (halgyíkok - Ichtyoszaurosok) alosztálya	728
4.6.42. Sauropterygomorpha alosztály.....	732
4.6.43. Sauria (gyíkok) alrendje.....	735
4.6.44. Serpentes (kígyók) alrendje.....	739
4.6.45. Archosauria (uralkodó gyíkok) egyik osztága.....	740
4.6.46. Aves (Madarak) osztálya.....	752

4.6.47. <i>Mammalia</i> (Emlősök) osztálya	774
4.6.48. <i>Cetacea</i> (Cetek) rendje	785
III.fejezet	797
5. Speciális édesvízi (állóvízi) paleohidrológiai környezetek – tavak, lápok, mocsarak	797
5.1. Tavak	797
5.2. Lápok	799
5.3. Varv-tavak, laminált tavi rétegek, klasszikus varv	799
5.4. A kárpátaljai Szernye-mocsár fejlődéstörténete	801
5.5. A Rétyi Nyír fejlődéstörténete	827
Ajánlás	836
Köszönetnyilvánítás	836
Ajánlott irodalom	837

Ábrajegyzék

- 1. ábra** Paleohidrológiai tudományterületi kapcsolatai (Forrás: saját ábra)36
- 2. ábra** Forma – anyag – folyamat kapcsolatrendszer a földtudományi rekonstrukció alapja - Alvaro Alto, Frank Llyod Wright, Hugo Haring (1925, Princeton University) építészmérnökök elképzelései és gondolatai nyomán árajzolva (Forrás: saját ábra).....38
- 3. ábra** Laminált (10 mm-nél finomabb laminákból álló) mészszip (Forrás: Tomis Goslav professzor (Poznan) felvétele, oktatási célú közléshez írásos hozzájárulásával bemutatva).....39
- 4. ábra** A mészszip laminák nagyobb felbontásban, ásványi összetétellel és organikus alkotókkal (Forrás: Tomis Goslav professzor (Poznan) felvétele, oktatási célú közléshez írásos hozzájárulásával bemutatva).....40
- 5. ábra** Rétegzett mészkő, a réteglapok vastagsága meghaladja az 1 cm-t (Forrás: saját felvétel).....41
- 6. ábra** Természetes üledékgyűjtőben kapcsolata az üledékgyűjtő területtel, üledékképző környezettel, a réteggépző környezetben lejátszódott akkumulációs, beágyazódási és réteggépző folyamatok (Forrás: Gaillard – Birks 2007 nyomán magyarra fordítva, átszerkesztve Jakab – Sümegi, 2011).....42
- 7. ábra** A paleohidrológiai folyamatok térbeli és időbeli szintezettsége (Forrás: új, saját ábra)43
- 8. ábra** Delta rétegsort mutató folyóvízi üledékes sorozat (Ferron tagozat, Utah, USA) (Forrás: Simon John Buckley et al. 2008, Integration of terrestrial laser scanning, digital photogrammetry and geostatistical methods for high-resolution modelling of geologic outcrops. Remote Sensing and Spatial Information Science, 36. online folyóirat – az első szerző [corresponding author] írásos engedélyével közölve) ...45
- 9. ábra** Mitchella folyó holocén delta szerkezet egy felszíni feltárásban, Ausztráliában, rekonstruált delta épülési, hordalékmozgási irányokkal és dőlési szögekkel (Forrás: T. I. Lane, R. A. Nanson, B. K. Vakarelov, R. B. Ainsworth and S. E. Dashtgard 2016: Evolution and architectural styles of a forced-regressive Holocene delta and megafan, Mitchell River, Gulf of Carpentaria, Australia. Geological Society, London, Special Publications, 444, 305-334. – az első szerző [corresponding author] írásos hozzájárulásával bemutatva)45
- 10. ábra** Lena delta légi fotója és felülnézeti szerkezete (Forrás: szabadon letölthető és felhasználható ábra: <https://unsplash.com/s/photos/river-delta>)46
- 11. ábra** Miocén korú turbidit kifejlődésű Gorgoglione fliish, Dél-Olaszországban (Forrás: wikipédia).....46
- 12. ábra** Kiemelt helyzetű, cunami szerkezet alsó pleisztocén karbonátos üledékben (Rodosz szigete, Görögország). A cunami nyomán kialakult áramlási szerkezetű rétegekkel, hullámos rétegekkel, és

- keresztrétegzett üledékkal (Forrás: researchgate: Slootman et al. 2017: Geological record of marine tsunami backwash: The role of the hydraulic jump. The Depositional Record, 4, 59-77– az első szerző [corresponding author] írásos hozzájárulásával bemutatva)47
13. **ábra** Grönlandi jégtakaróba vajt jégpszervényen látható a jégaminak változása a laminált, félèves szerkezetű jég kialakulása (Forrás: https://www.nsf.gov/news/news_summ.jsp?cntn_id=131422 - USA NSF Multimedia Gallery oktatási célú felvétele)48
14. **ábra** Jégtakaróba mélyített fűrsmagon csiszolt felszínén megfigyelhető nyári (sötétebb színű) és téli (világosabb színű) félévben keletkezett jégaminak váltakozása (The Telegraph lap oktatási célú felvétele: <https://www.telegraph.co.uk/news/earth/earthnews/8154608/Ice-core-on-public-display-in-new-drive-to-educate-public-on-climate-change.html>).....49
15. **ábra** A jégtakaró előtt proluviális tavakban felhalmozódott, évszakos ciklusos kifejlődést mutató laminált üledékek, a varvok (Michigan, Houghton Road, USA) (Forrás: wikipédia)49
16. **ábra** Sztalagmit kronológia és klimatológia alapja, egy sztalagmit növekedési vonalainak elemzése és a negyedidőszak legfiatalabb korának, 4200 évvel ezelőtt kezdődött Megalayan fázisnak a lehatárolása (Fotó: BBC News, <https://www.bbc.com/news/science-environment-44868527>)50
17. **ábra** 100 ezer, 41 ezer és 23 ezer év ciklusok és kapcsolatuk a Föld orbitális és axiális paramétereivel (excentricitás, tengelyferdeség változása, precesszió) (Forrás: wikipédia).....51
18. **ábra** A precesszió és nutáció jelensége (Forrás: wikipédia)52
19. **ábra** Vihardagály üledék rétegzett buckás (hummock) mikroszerkezettel a szilur korú Arisaig Formációból, Új Skóciából (Kanada) (fotó: wikipédia).....54
20. **ábra** Excentricitás, azaz a Föld Nap körüli keringési pályájának, pálya alakjának módosulása 100 és 410 ezer éves periodicitást mutat a teljes köralaktól nagy excentricitású ellipszisig (Forrás: wikipédia)56
21. **ábra** James Croll (1821: Little Whitefield, Perthshire – 1890: Perth, Skócia) skót geológus, aki először számította ki a Földre jutó szoláris energia változását egyetlen extaterresztris tényező, a precesszió változásai alapján az utolsó 3 millió évre vonatkozóan (1800 évtől számítva) és az elkövetkező 1 millió évben (Forrás: wikipédia)56
22. **ábra** James Croll skót geológus precesszió változásai nyomán megrajzolt (rekonstruált) Földre jutó szoláris energia változása az utolsó 3 millió évre vonatkozóan (1800 évtől számítva) és az azt elkövetkező 1 millió évre kiszámítva (Forrás: Croll, 1875).....57
23. **ábra** Milan Milanković (1879: az Eszék melletti Dalj, Osztrák-Magyar Monarchia, ma Horvátország – 1958: Belgrád, Szerbia) szerbiai mérnök - csillagász egyetemi hallgató korában (Forrás: wikipédia) .57
24. **ábra** Milan Milanković a precesszió az excentricitás, a tengelyferdeség változásai nyomán megrajzolt (rekonstruált) Földre jutó szoláris energia változásai az utolsó 600 ezer évre (az akkor lehatárolt jégkorra) vonatkozóan és ebben az időszakban kifejlődött hőmérsékleti mélypontok nyomán rekonstruált glaciálisok és hőmérsékleti maximumok nyomán rekonstruált interglaciális ciklusok (Forrás: Milanković 1941 nyomán magyarra fordítva, átrajzolva, kiegészítve és módosítva).....58
25. **ábra** A keringési pályaelemek és a Földre jutó szoláris energia (összegző görbe) André Berger (1978) által kiszámított változásai az elmúlt 800 ezer évre vonatkozóan (Forrás: Berger 1978 nyomán magyarra fordítva, átrajzolva, módosítva)59
26. **ábra** Új Zéland déli sziget északnyugati oldalán a Ferenc József gleccser felszínén szállítódott moréna anyag és erratikus tömb 2014-ben (Forrás: első szerző felvétele, 2014)63
27. **ábra** Új Zéland déli sziget északnyugati oldalán a Ferenc József gleccser előtti, a gleccser olvadékvíz által átszakított moréna (Forrás: első szerző felvétele, 2014).....64
28. **ábra** Az örökké fagyott területek éghajlati adottságainak bemutatása a grönlandi Dundas Radio klímaállomás (Új Skócia, Kanada) adatai nyomán készült Walter-Lieth diagramon (Forrás: a hivatalosan megadott adatok alapján készült új, saját ábra).....65
29. **ábra** Az utolsó glaciális hidegmaximumánál (Last Glacial Maximum = LGM) a jégtakaró kiterjedése Európában (Forrás: wikipédia)65
30. **ábra** Jéggel borított területek az utolsó glaciális hidegmaximumánál (Last Glacial Maximum = LGM) és napjainkban az északi féltekén (Forrás: wikipédia)66

31. **ábra** A periglaciális paleohidrológiai területek éghajlati adottságainak bemutatása a Rénszarvas-tó partján elhelyezkedő Sawbill (Manitoba, Kanada) klímaállomás adatai nyomán készült Walter-Lieth diagramon (Forrás: a hivatalosan megadott adatok alapján készült új, saját ábra).....67
32. **ábra** A talajképződés jellegének, intenzitásának és a talaj jellemző ásványainak változása éghajlati – paleohidrológiai övek szerint, tektonikailag nyugodt (nem emelkedő – nem süllyedő) területeken (Forrás: Strahov, 1960 nyomán magyarra fordítva, átrajzolva, módosítva) 1 = üde kőzet, 2 = Kis mértékben mállott kőzet, 3 = illites – montmorillonitos öv, 4 = kaolinites öv, 5 = goethites és allitos öv, 6 = alumíniumban és vasban dús kéreg.....68
33. **ábra** Periglaciális örökfagy hatása kvarcsezemce felszínén – fagymarási nyomok (frost shattering prints) – pásztázó elektronmikroszkópiás felvétel N = 500 X (Forrás: eredeti SEM felvétel, 1996)69
34. **ábra** Periglaciális örökfagy hatása kvarcsezemce felszínén – fagymarási nyomok (frost shattering prints) – pásztázó elektronmikroszkópiás felvétel N = 2000 X (Forrás: eredeti SEM felvétel, 1996)69
35. **ábra** A tajga paleohidrológiai területek éghajlati adottságainak bemutatása a Jakutföldön elhelyezkedő Zsiganszk (Oroszország) klímaállomás adatai nyomán készült Walter-Lieth diagramon (Forrás: a hivatalosan megadott adatok alapján készült új, saját ábra).....71
36. **ábra** Podzol talaj kezdeti kifejlődése a jellegzetes fehér színű (albic) és vörösbarna színű Fe, Mn, Al felhalmozódási szintet alkotó spodic rétegekkel (Forrás: wikipédia)72
37. **ábra** Viruu dagadó láp Észtországbán, a taiga övezetben kifejlődött tőzegmoha láp (Forrás: wikipédia) 73
38. **ábra** Dagadó (ombotróf) erdélyi Bisztra lápon fúrással feltárt tőzegmoha réteg (fotó: Sümei Balázs Pál felvétele, 2015).....73
39. **ábra** Dagadó (ombotróf) lápon fúrással feltárt, rendkívül jelentős 96-97 % szervesanyag-tartalmú tőzegmoha réteg (fotó: Sümei Balázs Pál felvétele, 2015).....74
40. **ábra** Tajgatűz a tajga ökológiai rendszerének szerves részét alkotja, a gyantával telített gyúlékony faállomány és túlevelekből álló avar következtében (Forrás: wikipédia)75
41. **ábra** Pernye (fekete, átégett rész) és égés mentes növényi szövetek tőzegmoha rétegből (Forrás: saját mikroszkópi felvétel)76
42. **ábra** Óceáni paleohidrológiai területek éghajlati adottságainak bemutatása londoni klímaállomás adatai nyomán készült Walter-Lieth diagramon (Forrás: a hivatalosan megadott adatok alapján készült új, saját ábra)78
43. **ábra** Déli bükk (Nothofagus) fák az óceáni éghajlatú új-zélandi Mirror tavaknál (Forrás: az első szerző felvétele 2014 január 30-án).....78
44. **ábra** Déli bükk (Nothofagus) fa levele az óceáni éghajlatú új-zélandi Mirror tavaknál (Forrás: az első szerző felvétele 2014 január 30-án)79
45. **ábra** Az erdők, közte déli bükk erdők helyén kialakított dús fűvű legelők és hasznosításuk Új Zélandon. A megközelítőleg 4,5 millió új-zélandi lakosra 2014-ben 25 millió anyajuh és bárány jutott. Ez a jelentősnek tűnő szám egy drasztikus, mindenekelőtt természetvédelmi okok miatti, tudatos csökkentés eredménye, mivel 1982-ben még 70 millió volt az anyajuhok és bárányok együttes száma Új-Zélandon. (Forrás: az első szerző felvétele 2014. január 31-én)80
46. **ábra** A természetes üledékgyűjtőben, paleohidrológiai felhalmozódó üledékek és ősmaradványok felhalmozódási és tafonómiai folyamatok. Minden folyamatot külön kell tanulmányozni vagy egy recens hidrológiai rendszer is tanulmányozhatóak a folyamatok felszíni minták segítségével (Gaillard – Birks 2007 nyomán átrajzolva, magyarra fordítva, módosítva Jakob – Sümei, 2011).....81
47. **ábra** Az arktikus és mérsékelt övi területek három fő ökológiai tótipusa. Eutróf tavak: a) égerlápok, b) zsombékosok és magassásosok, c) nádas, d) rögzült, lebegő hínár, e) rögzült, alámerült hínár. Disztróf tavak: f) erdőszült tőzegláp, g) tőzegmohaláp, h) úszóláp. Oligotróf karbonátos tavak: i) nitrogénkedvelő növényzet a nedves talajon, télisásos, j) csetkákás, k) csillárkamoszat (Chara) és békaszőlő. Oligotróf karbonátszegény tavak: l) magassásos, m) lobélia és durdafű, n) csillárkamoszat (Nitella) (Forrás: Gaillard – Birks 2007 nyomán átrajzolva, magyarra fordítva, módosítva Jakob – Sümei, 2011)82

48. ábra Az éghajlat, alapkőzet, növényzet eltérési nyomán kialakult mérsékeltövi vizes élőhelyek vegetációtípusainak hidrológiai és kémiai gradiensek szerinti elterjedését ábrázoló háromszögdiagram (Forrás: Zoltai – Vitt 1995 nyomán magyarra fordítva, átrajzolva, módosítva, Jakab – Sümegei, 2011)	83
49. ábra Nedves kontinentális paleohidrológiai területek éghajlati adottságainak bemutatása prágai klímaállomás adatai nyomán készült Walter-Lieth diagramon (Forrás: a hivatalosan megadott adatok alapján készült új, saját ábra).....	84
50. ábra Jégkori (Pleisztocén) éghajlati ciklusok nyomán kialakult vegetáció- és talaj (környezeti) ciklusok Közép-Európában (Forrás: Vojen Ložek cseh malakológus 1965 munkája nyomán magyarra fordítva, átrajzolva, módosítva Sümegei, 2001).....	85
51. ábra Karsztjelenségek (Forrás: wikipédia)	86
52. ábra Éves rétegzettséget mutató, aktívan fejlődő cseppkő a Baradla-barlangból (Forrás: Demény et al. 2016: https://mta.hu/tudomany_hirei/fordulatot-hozhat-az-osi-klima-kutatasaban-egy-magyar-eredmeny-107288 - az első szerző [corresponding author] írásos engedélyével közölve)	87
53. ábra Egykori Szamos meder elhagyott holtága, a pocsaji láp mederében az úszólápok kifejlődése nyomán elláposodott, aktív tőzegképző környezetéről készült eredeti drónfelvétel (Forrás: saját ábra)	89
54. ábra A pocsaji láp és az Érkapu földtani keresztmetsvénye (Forrás: saját ábra)	90
55. ábra Morfológiai adottságokat is bemutató földtani térkép (M 1 : 5000) az egykori Szamos meder elhagyott és feltöltődött holtágáról, a pocsaji lápról és környezetéről (Forrás: saját ábra)	91
56. ábra Száraz kontinentális paleohidrológiai területek éghajlati adottságainak bemutatása lukyanovi (szemeji) klímaállomás adatai nyomán készült Walter-Lieth diagramon (Forrás: a hivatalosan megadott adatok alapján készült új, saját ábra)	93
57. ábra Száraz kontinentális paleohidrológiai területek mai modell területe, Kazahsztán északi része, a vegyeslombozató erdőssztyepp déli szegélye (Forrás: Biró Csaba, a Kiskunsági Nemzeti Park munkatársának felvétele, írásbeli hozzájárulásával közölve).....	94
58. ábra Száraz kontinentális paleohidrológiai területek mai modell területe a mongóliai Tavak völgye (mongolul Нууруудын хөндий - fonetikusán magyarra átírva: Núrúdin höndij) területén (Forrás: wikipedia).....	95
59. ábra Mérsékeltövi sivatagi paleohidrológiai területek éghajlati adottságainak bemutatása asztrahányi klímaállomás adatai nyomán készült Walter-Lieth diagramon (Forrás: a hivatalosan megadott adatok alapján készült új, saját ábra) 1: havi átlagos hőmérséklet menete, 2: legmelegebb hónapok hőmérsékleti menete, 3: leghidegebb hónapok hőmérsékleti menete	96
60. ábra A kínai Gansu provincsiában (Belső-Mongólia), Dunsung városától délre 6 kilométerre található, félhektáros, eredetileg több méteres, ma már csak mintegy méteres mélységű Crescent (Dunhuang) tó a Góbi-sivatagban (Forrás: wikipedia).....	97
61. ábra Mediterrán paleohidrológiai területek éghajlati adottságainak bemutatása római klímaállomás adatai nyomán készült Walter-Lieth diagramon (Forrás: a hivatalosan megadott adatok alapján készült új, saját ábra)	98
62. ábra Pillangók völgyének dús erdei növényzete a Rodosz szigetén (Forrás: az első szerző felvétele, 2012)	99
63. ábra Mammutfenyők (Sequia) a Sziklás-hegységbeni Yosemite – völgyben (Forrás: az első szerző felvétele, 2003).....	100
64. ábra A horvátországi – dalmáciai Kornati-szigeteken kialakult karsztos kopárok a horvátországi Adriai-tengernél ((Forrás: az első szerző felvétele, 2014)	101
65. ábra A horvátországi – dalmáciai Kornati-szigetén a Mir-tó üledékgyűjtő medencéjébe bemosódott terra rossa talaj (Forrás: az első szerző felvétele, 2014)	102
66. ábra Mérsékeltövi monszunerdő az ausztráliai Tower Hill-ben (Forrás: az első szerző felvétele, 2014)	103
67. ábra Babérlombú erdő Madeira szigetén (Forrás: wikipédia)	104

68. ábra Naracoorte-barlang bejárata Ausztráliában, ebben a barlangban került elő a leghíresebb, ember megtelepedése előtti, sok kihalt elemet tartalmazó erszényes és hulló fauna Ausztráliában (Forrás: szerző felvétele, 2014)	105
69. ábra Biwa-tó Japánban (Forrás: wikipédia).....	106
70. ábra Trópusi sivatagi paleohidrológiai területek éghajlati adottságainak bemutatása római klímaállomás adatai nyomán készült Walter-Lieth diagramon (Forrás: a hivatalosan megadott adatok alapján készült új, saját ábra)	108
71. ábra A kora holocén során kialakult csapadéktöbblet nyomán kifejlődött 400 000 km ² kiterjedésű Mega-Csád-tó (1) és napjaink szárazsága miatt édesvízi mocsár és apró tavak sorozatára csökkenő Csád-tó (2) (Forrás: wikipédia)	110
72. ábra Csád-tó napjainkban, a kiszáradása és részekre bomlás 1963 és 2007 között 1: nyílt vízfelület, 2: mocsári növényzet, 3:1963-ban még vízzel kitöltött tómeder (Forrás: wikipédia).....	110
73. ábra Csapadékmennyiség változása térben 1995-2008 között a szaharai sivatag öv és Afrika középső részén kialakuló esőerdő övezet között (a 200-400 mm/éves csapadék mennyiség közötti sávban helyezkedik el a Száhel/Szahil = éhség övezet) (Forrás: wikipédia)	111
74. ábra Ingókő formájában megmaradt kora holocén tavi rétegsor líbiai sivatagban (a kora-holocén kori Fezzán Mega tó helyén) (Forrás: https://hiveminer.com/Tags/palaeolake/Interesting)	112
75. ábra Afrikai növényzet kiterjedés és terület hasznosítás 7000 évvel ezelőtt (Forrás: wikipédia) 1: Szavanna területek (döntően legeltetés), 2: Erdősült területek (döntően növénytermesztés, gyűjtögetés), 3: Fűves szavanna (kiterjedt legeltetés), 4: Félsivatag (vadászat, gyűjtögetés), 5: Sivatag (ritkán lakott).....	113
76. ábra Erdőirtás hatása Amazóniában (Forrás: wikipédia)	114
77. ábra Szavanna paleohidrológiai területek éghajlati adottságainak bemutatása dapaongi (togói) klímaállomás adatai nyomán készült Walter-Lieth diagramon (Forrás: a hivatalosan megadott adatok alapján készült új, saját ábra).....	118
78. ábra Trópusi esőerdő és sivatag közötti változások az afrikai szavanna övezetben (Forrás: https://eros.usgs.gov/westafrica/node/147 nyomán magyarra fordítva, módosítva) 1: Guineai-Kongó esőerdő övezet (a csapadék éves mennyisége jelentősebb, mint 2200 mm), 2: Guineai erdős szavanna övezet (a csapadék éves mennyisége 1200-2200 mm közötti), 3:Szudáni ligetes szavanna övezet (a csapadék éves mennyisége 600-1200 mm közötti), 4:Száheli fűves és bozotos szavanna (a csapadék éves mennyisége 150-600 mm közötti)	120
79. ábra Trópusi esőerdők és monszun erdők elhelyezkedése napjainkban Földünkön (Forrás: wikipédia) 122	
80. ábra Az esőerdői paleohidrológiai területek éghajlati adottságainak bemutatása manauszi (Brazília) klímaállomás adatai nyomán készült Walter-Lieth diagramon (Forrás: a hivatalosan megadott adatok alapján készült új, saját ábra).....	123
81. ábra Trópusi esőerdő területén kialakuló trópusi, vagy más néven Hadley féle feláramlási cella. Az alacsony szélességeken a levegő a legalacsonyabb légnyomású övezet, döntően az Egyenlítőn és környezetében (mindig a hőmérsékleti, a termikus egyenlítőn) elhelyezkedő Trópusi Konvergencia (Összeáramlási), vagy más néven Szélcsendes Zóna (Intertropical Convergence Zone = ITCZ) irányában mozog, hogy a felmelegedő, a magasban a pólusok felé mozgó levegőt pótolja (Forrás: wikipédia).....	124
82. ábra Trópusi gomolyfelhő képződés szingapúri reptér felett (Forrás: https://pxhere.com/hu/photo/1164276 - ingyenesen letölthető és szabadon felhasználható felvétel)..	124
83. ábra Trópusi esőerdőben kialakult hózivatar (Forrás: https://wallpapersafari.com/w/GRZKxX - ingyenesen letölthető és szabadon felhasználható felvétel)	125
84. ábra Dél-amerikai, 7 millió km ² kiterjedésű Amazónia folyóvízi hálózata az esőerdő övezetben (Forrás: wikipédia).....	125
85. ábra Amazonas Manausnál napjainkban (Forrás: wikipédia).....	126
86. ábra Trópusi kúpkarst (Forrás: enfo.agt.bme.hu/drupal/en/node/6254 - Weport Kft felvétele)	127
87. ábra Trópusi laterit talaj kifejlődése bazalt kőzet felszínén (Forrás: wikipédia)	128

88. **ábra** Alacsony hőmérsékleten kialakított komposztal kevert trópusi laterit talajból kialakított rendkívül termékeny, sötétbarna, fekete színű terra preta (antropogén hatású indián) talaj (Forrás: wikipédia).130
89. **ábra** Trópusi esőerdő, erdősszavanna és trópusi monszunterületek elterjedése Földünkön 1: Trópusi esőerdő, 2: Trópusi esőerdő és szavanna átmeneti övezete (erdősszavanna), 3: Trópusi monszun (Forrás: wikipédia).....131
90. **ábra** A trópusi monszun paleohidrológiai területek éghajlati adottságainak bemutatása bombayi/mumbai (India) klímaállomás adatai nyomán készült Walter-Lieth diagramon (Forrás: a hivatalosan megadott adatok alapján készült új, saját ábra)132
91. **ábra** Közép-Afrikai hegyvidéki növényzeti övezetesség a trópusi – egyenlítői területen (Ruwenzori – Virunga – Kahuzi hegységek: Közép-Afrika, Uganda és Kongói Köztársaság határán) (Forrás: wikipedia nyomán árajzolva) 1: paramo (havasi gyp) növényzet, 2: Podocarpus-erdő, 3: hangás fenyér – alhavasi gyp (Ericaceae), 4: Hagnia-Hypericum zóna, 5: Bambusz zóna, 6: trópusi hegyi erdő136
92. **ábra** Az ecsegfalvi Kiri-tó lefűződött morotva tavi rendszere, a partján különböző megtelepedett kultúrák, közte az első délkelet-európai produktív termelő gazdasággal rendelkező Körös kultúra lelőhelyével (Forrás: saját ábra).....144
93. **ábra** Furugy település határában a jégkori felszínen elhelyezkedő övzátanosorozat peremén megtelepedő Körös-kultúra és a Körös folyó holocén árterének kifejlődése (Forrás: saját ábra).....145
94. **ábra** Ecsegfalva község környezetében kifejlődött jégkori ártér jellegzetességei és a középkori fokgazdálkodásban használatos Kerek-tó, Miregh-tó, Ecseg-tó, Kiri-tó elhelyezkedése és Kiri-tó partján található régészeti lelőhely (Körös kultúra: piros/fehér körrel jelölve) (Forrás: saját ábra)170
95. **ábra** Polgár környékén kialakult alluviális sziget a digitális domborzati modellre vetített első osztrák katonai térképen (1782) bemutatva. Az alluviális sziget északi előterében a tiszai allúviumon kifejlődött elhagyott medrekkel és yazoo medrekkel. (Forrás: Timár, Gábor 2004 Space and GIS technology in palaeoenvironmental analysis. ANTAEUS, 27, 135-144, a szerző írásbeli engedélyével közölve).....171
96. **ábra** Kékalga sztromatolitok az ausztráliai Cáp-öbölben (Dr. Gulyás Sándor egyetemi adjunktus felvétele, 2019 – hozzájárulásával közölve).....177
97. **ábra** A Föld fejlődéstörténete a legjelentősebb fejlődési szakaszok időbeli lehatárolásával és megnevezésével, az élővilág legfontosabb taxonjainak időbeli megjelenésével (Forrás: wikipédia)..179
98. **ábra** Fehér füstülő (therma) napjainkban (Forrás: wikipédia)183
99. **ábra** Az északnyugat-auztráliai 3,5 milliárd éves Apex Chertben feltárt első pszeudofossziliák és baktériumok holotípusai és paratípusai, a fehér sáv az ábra közepén 1 mm széles (Forrás: researchgate: Brasier, M.D., Antcliffe, J., Saunders, M., Wacey, D. 2015. Changing the picture of Earth's earliest fossils (3.5-1.9 Ga) with new approaches and new discoveries. Proceedings of the National Academy of Sciences, 112, 4859-4864 – első szerző [corresponding author] írásos engedélyével közölve)184
100. **ábra** Algák által létrehozott biomineralizátomnak (bioherbának), egy sztromatolitnak a metszete (Woyming állam, USA) (Forrás: <http://www.jsjgeology.net/Stromatolite.htm> - szabadon letölthető és felhasználható ábra)185
101. **ábra** Mai fajgazdag korallzátony (Forrás: wikipedia)187
102. **ábra** Mai kékalgák által létrehozott sztromatolit zátonyok az észak-amerikai Bahama-szigeteken (Forrás: wikipedia).....188
103. **ábra** Az algák által létrehozott sávós sztromatolit kifejlődés, 2,6 cm-es sávosan felépített sztromatolit részlet (algakeksz) (Woyming állam, USA) (Forrás: <http://www.jsjgeology.net/Stromatolite.htm> - szabadon letölthető és felhasználható ábra)189
104. **ábra** Mai sztromatolit kiépülése a kőgomba felszínén kialakult kékalga nyákkal (Forrás: Dr. Gulyás Sándor egyetemi adjunktus felvétele, 2019 – hozzájárulásával közölve)190
105. **ábra** Zöldalgák típusai Ernst Haeckel átfogó munkájából (Forrás: wikipédia) Caulerpa racemosa; Caulerpa uvifera; Caulerpa pinnata; Caulerpa peltata; Caulerpa paspaloïdes; Caulerpa macrodisca; Struvea plumosa; Neomeris kelleri; Acetabularia mediterranea; Bornetella capitata.....193

106. ábra Archaikus sávós vasérc Ausztráliában (Forrás: wikipedia)	193
107. ábra Archaikus sávós vasérc Ausztráliában (Forrás: wikipedia)	194
108. ábra Girvanella onkoid a paleozoikumi képződményből (Forrás: researchgate: Liu, W., Zhang, X. 2012. Girvanella-coated grains from Cambrian oolitic limestone. <i>Facies</i> , 58, 779-787, a corresponding author írásbeli engedélyével közölve).....	196
109. ábra Az első Metazoa taxonok egyike az afrikai Gabonból, a Francevillian biotából (Gabonionta makrofossziliák közül) (Forrás: wikipedia).....	197
110. ábra Hólabda (Snowball) állapotú Föld az archaikum végén (750-625 millió évek közötti kontinens elhelyezkedéssel) (Forrás: researchgate: Dias, M. S., de Mattos, J.R.L. Human race actions versus the breaking of the CO2 equilibrium limit. International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2011 Belo Horizonte, MG, Brazil, October 24-28, 2011 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA NUCLEAR, első szerző [corresponding author] írásbeli engedélyével közölve.....	198
111. ábra A hólabda (Snowball) állapotú Föld a mai kontinens elhelyezkedésre kivetítve (Forrás: wikipedia)	199
112. ábra Tengeri jégből származó hulló kő (droping stone) a finoman laminált neoproterozoikumi tengeri üledékben (forrás: wikipedia).....	200
113. ábra Fekü szintben tengeri laminált rétegekben felhalmozódott jég által szállított hulló kövek és a fedőben a globális felmelegedés hatására kialakult fedő karbonát (cap carbonates) réteg (Forrás: Dr. Michael Hambrey Emeritus Professor írásbeli hozzájárulásával közölve: https://www.swisseduc.ch/glaciers/glossary/snowball-earth-en.html).....	202
114. ábra Zöldalga, Volvox telep (Forrás: wikipedia)	205
115. ábra Zöldalga, Chara – csillárkamoszat telep (Forrás: wikipedia).....	206
116. ábra Nitellopsis obtusa csillárkamoszat fosszilis oogoniuma (női ivarszerve) (Forrás: szerző felvétele – Kolon-tó holocén rétegeiből).....	207
117. ábra Mizzia velebitana mészalga csiszolatok tengeri (lagunáris) mészkövekből (Forrás: researchgate: Granier, B.R., Lethiers, A. (2017). <i>Draconisella mortoni</i> sp. nov., a Mizzia-like Dasycladalean alga from the Lower Cretaceous of Oman. <i>Palaeontologia Electronica</i> , 20 – az első szerző [corresponding author] hozzájárulásával bemutatva)	208
118. ábra Féléves laminációt mutató alginít levelek a pulai alginitbányában (Forrás: wikipédia).....	209
119. ábra Trilobita (<i>Paradoxides</i> genus) kambriumi tengeri rétegből (Forrás: wikipédia)	212
120. ábra <i>Pseudophillipsia</i> (Forrás: Dr. Dulai Alfréd tárigazgató, Magyar Természettudományi Múzeum, Őslénytani és Földtani Tárban dolgozó paleontológus írásos hozzájárulásával bemutatva).....	212
121. ábra Mészalgákkal (zöld algákkal, cianobaktériumokkal) kambriumi zátonyokat alkotó <i>Archeocyathus</i> (összivaacs) maradványok (Forrás: Twitter).....	214
122. ábra <i>Eryptherus podolicus</i> (tengeri skorpió) az ordoviciumi tengeri rétegekből (Forrás: wikipédia)...	215
123. ábra Állkapocs nélküli halak (Agnatha) közé sorolható ősi taxon, <i>Ostracodermi</i> (Cserepesbőrűek) (Forrás: wikipédia).....	215
124. ábra Páncélos halak (Placodermi) közé sorolható ősi állkapcsos hal (<i>Dunkleosteus</i>) taxon (Forrás: wikipédia).....	217
125. ábra Az első ismert kezdetleges edényes (tracheophyta) növények közé sorolható <i>Cooksonia pertoni</i> ősharaszt (Forrás: wikipédia)	218
126. ábra Devon korabeli zátonyalkotó fenéklemezes korall (<i>Favosites</i>) (Forrás: wikipédia)	220
127. ábra Az első szárazföldi (mocsári) környezetben élő, levél-, gyökér- és évgűrű kezdeményekkel rendelkező <i>Rhynia</i> növények (Forrás: wikipédia)	222
128. ábra A „hal-lábú”, pikkelyes halakra és négylábú kétéltűekre jellemző tulajdonsággal egyaránt rendelkező <i>Tiktaalik</i> maradványai (Forrás: wikipédia)	224
129. ábra Az egyik első szárazföldön és sekély vízben is mozgó kétéltű az <i>Ichtyostega</i> (Forrás: wikipédia)	225

130. ábra Izmosúszójú halak egyik maradvány faja, a mai Seychelle szigetek környékén élő <i>Latimeria chalumne</i> első 1937-ben befogott példánya (Forrás: wikipédia).....	225
131. ábra Karbon kori kőszén erdő után maradt fosszilis, fává növő páfrányok levelei (Forrás: wikipédia).....	227
132. ábra Karbon kori kőszén erdő után maradt pecsétfa (<i>Sigillaria</i>) fatörzse a geológiai rétegekben (Forrás: wikipédia).....	227
133. ábra Permi vöröshomokkő rétegek, gipsz kiválásokkal Walesben (Forrás: wikipédia).....	229
134. ábra <i>Glossopteris</i> (déli féltekén elterjedt, nyelv alakú levelekkel rendelkező magvaspáfrány) flóra levélmaradányai (Forrás: wikipédia).....	234
135. ábra Ammonitesz (kihalt, paleozoikumban és mezozoikumban élt lábasfejű) rekonstrukció (Forrás: wikipédia).....	234
136. ábra Középső-triász képződményben feltárt <i>Hungarites</i> taxon (Ammonitesz) (Forrás: Főzy István címzetes egyetemi tanár felvétele, írásos hozzájárulásával bemutatva).....	235
137. ábra <i>Ichthyosaurus acutirostris</i> szinte újszülött példánya az ammoniteszekkel együtt fosszilizálódott, és maradt fenn a jurakori agyagpalában (Forrás: wikipédia).....	235
138. ábra <i>Plesiosaurus</i> tengeri hüllő csontváza (Forrás: wikipédia).....	236
139. ábra Ma is élő <i>Hexacorallia</i> (Forrás: wikipédia).....	237
140. ábra <i>Diplopora annulata</i> maradványok triász mészkőben (Forrás: wikipédia).....	238
141. ábra Kifestett loba vonalú <i>Phylloceras</i> a jura időszaki képződményekből (Forrás: Főzy István címzetes egyetemi tanár felvétele, írásos hozzájárulásával bemutatva).....	240
142. ábra Kréta korú ammoniteszek különleges házalakokkal (Forrás: wikipédia).....	241
143. ábra Chicxulub-kráter a Yucatán-félszigetnél (Forrás: wikipédia).....	242
144. ábra Kréta időszaki írókréta mészkőfácies kifejlődése a Doveri-szorosban (Forrás: wikipédia).....	243
145. ábra Az írókréta mészkövet felépítő kalcitlapokkal határolt nannoplankton (<i>coccolith</i>) (Forrás: wikipédia).....	245
146. ábra Ma élő vörösalga (ír moszat) (Forrás: wikipédia).....	246
147. ábra Meszet kiválasztó vörösalga (<i>Lithothamnium</i>) (Forrás: wikipédia).....	247
148. ábra Kréta kori zátonyokat alkotó rudista kagyló, a <i>Hippurites</i> (Forrás: wikipédia).....	249
149. ábra Kréta kori zátonyokat alkotó rudista kagyló, a <i>Hippurites</i> (Forrás: Dávid Árpád címzetes egyetemi docens felvétele, írásos hozzájárulásával bemutatva).....	249
150. ábra <i>Gryphaea</i> zátonyépítő római mécesre emlékeztető kagyló (Forrás: wikipédia).....	250
151. ábra Különböző kovamoszat taxonok (Forrás: wikipédia).....	251
152. ábra Egy tipikus torta alakú kovamoszat, <i>Stephanodiscus hantzschii</i> (Forrás: wikipédia).....	252
153. ábra Pásztázó elektronmikroszkópiás felvétel a spirális alakú <i>Surirella spiralis</i> kovamoszat taxonról (Forrás: wikipédia).....	253
154. ábra Diatóma vázak milliárdjaiból álló kovaföld rétegek az amerikai miocén korú Monterey Formációban (Forrás: wikipédia).....	254
155. ábra Barnamoszatok közé sorolt hólyagmoszat (<i>Fucus vesiculosus</i>) (Forrás: wikipédia).....	257
156. ábra Messinai-sókrízis során kivált gipszrétegek Spanyolországban (Forrás: wikipédia).....	264
157. ábra Paleocén - Eocén Termális Maximum (PETM) időbeli és hőmérsékleti kifejlődése (Forrás: wikipédia - módosítva).....	267
158. ábra A lyukacsos héjúak (foraminiferák) külső anatómiai bélyegei (Forrás: wikipédia - módosítva).....	271
159. ábra Mai iszaplakó foraminiferák scanning mikroszkópiás képei (Forrás: wikipédia).....	273
160. ábra Trópusi zátonylakó porcelánszerű foraminiferák és epikontinentális üvegszerű foraminiferák tömeges megjelenése (Forrás: https://www.slideshare.net/Shahnaseerrush/benthic-foraminifera).....	274
161. ábra Recens plankton életmódot folytató foraminifera (<i>Ammonia tepida</i>) (Forrás: wikipédia).....	275
162. ábra A leggyakoribb recens planktonikus foraminiferák (Forrás: Volbers, A. N. A., Niebler, H. S., Giraudeau, J., Schmidt, H., Henrich, R. (2003). <i>Palaeoceanographic Changes in the Northern Benguela Upwelling System over the last 245.000 Years as Derived from Planktic Foraminifera</i>	

Assemblages. In The South Atlantic in the Late Quaternary (pp. 601-622). Springer, Berlin, Heidelberg).....	276
163. ábra Fusulina nagyforaminiferák észak-amerikai karbon időszi mészakőből (Forrás: wikipédia).....	277
164. ábra Fusulina csiszolat újpaleozoikum mészakőből (Forrás: wikipédia).....	278
165. ábra Nummulites fossziliák eocén mészakőben (Forrás: wikipédia).....	279
166. ábra Az erdélyi Szék község határában található Nádas-tó sós mocsarában ma is élő Entzia macrescens foraminifera mikroszkópos felvétele (Forrás: Jakab Gusztáv szarvasi botanikus és Silye Lóránd kolozsvári paleontológus 2018-ban történt közlése nyomán bemutatva – Földgömb főszerkesztőjének írásos engedélyével bemutatva).....	281
167. ábra Az erdélyi Szék község határában található Nádas-tó sós mocsarában ma is élő Entzia macrescens elektronmikroszkópos felvétele (Forrás: Jakab Gusztáv szarvasi botanikus és Silye Lóránd kolozsvári paleontológus 2019-ban történt közlése nyomán bemutatva: Jakab, Silye, Sümegi et al. 2019)	281
168. ábra Az erdélyi Szék község határában található Nádas-tó sós mocsarában mélyített, Entzia macrescens szubfosszilis és fosszilis leleteket feltáró zavartalan magkihozatalú sekélyfúrás (fúrásnál jobbról balra a következő személyek vettek részt, Benkő Elek régész akadémikus, Tóth Attila erdélyi geológus tanár, Sümegi Pál fúrásvezető, Sümegi Balázs Pál intézeti mérnök, Rovó János tanszéki mérnök (Forrás: szerző felvétele).....	282
169. ábra Az erdélyi Szék község és a széki Nádas-tó környezete az első más néven Jozefiánus osztrák katonai térképen (1769-1773) földutakkal, erdővel, szőlővel és sóbánya (Akna) jelzéssel (1 = Nádas-tó) (Forrás: Arcanum Osztrák Birodalom katonai térképei sorozat sorozat, vásárolt és módosított térképlapja).....	283
170. ábra Az erdélyi Szék környékének tájképe emberi hatásokkal. a = vízzel kitöltött középkori - újkori sóbánya gödör, b = sókedvelő Triglochineto palustris és Plantago cornuti, c = sós agyag akkumulációs felszín a középkori – újkori bánya közelében, d = panoráma felvétel a vizsgált területről, A = Szék község, B = a bánya sós csurgalékvizét elvezető csatornának a vége, C = a középkori vízialom helyzete, a fehér zászló a fúrásponthelyét jelöli a Nádas-tó mocsarában (Forrás: Jakab, Silye, Sümegi et al. 2019 nyomán)	284
171. ábra A széki terület éghajlati adottságai, Walter-Lieth klímadiagramja (Forrás: eredeti, saját ábra) A = csapadék átlagos évi menete havi bontásban tárgyalva, B = a hőmérséklet átlagos évi menete havi bontásban tárgyalva, C (piros kör) = legmelegebb hőmérsékletű hónapok évi menete, D (kék kör) = leghidegebb hónapok évi menete (Forrás, új, saját ábra)	285
172. ábra A vizsgált terület térképe (1 = Szék település, 2 = középkori – újkori sóbánya a Só-hegyen, 3 = nádas borította rész, az ún. Nádas-tó természetvédelmi terület, 4 = sós mocsár, 5 = tó, halastó, 6 = fúrásponthelyezkedése, 7 = árok, Entzia macrescens recens (élő) előfordulásai: a = dévai, b = tordai, c = széki, d = parajdi, e = homoródszentpáli lelőhelyek (Forrás: Jakab, Silye, Sümegi et al. 2019 és Jakab, Silye, 2018 nyomán, a Földgömb lap főszerkesztőjének írásbeli hozzájárulásával közölve)...	286
173. ábra Az erdélyi Szék településnél található Nádas-tó parti övezetében kialakult Puccinellia (sóbállás) szolonyeces gyp és vakszik övezet 2015 májusában. Ez utóbbinak a felső fehér sótól megkeményedett részét hívja a helyi népi nyelv "gerá"-nak. A fotón Benkő Elek akadémikus, az MTA Régészeti Intézet igazgatója, az erdélyi otka kutatás témavezetője látható (Forrás: Sümegi Pál felvétele, 2015).....	287
174. ábra Paleohidrológiai vizsgálatok menete (Forrás: új saját ábra)	289
175. ábra Módosított Orosz fejes fúró és működési vázlat (Forrás: eredeti ábra)	291
176. ábra Széki Nádas tavon mélyített fúrás makrobotanikai és zoológiai vizsgálatának eredményei (Forrás: Jakab, Silye, Sümegi et al. 2019 nyomán)	292
177. ábra Széki Nádas tavon mélyített fúrás makrobotanikai és geokémiai vizsgálatának összehasonlító eredményei (Forrás: Jakab, Silye, Sümegi et al. 2019 nyomán).....	293
178. ábra Széki Nádas tavon mélyített fúrás üledékföldtani és geokémiai vizsgálatának eredményei (Forrás: Jakab, Silye, Sümegi et al. 2019 nyomán)	294

179. **ábra** A közép-amerikai környezettörténeti kutatásoknál felhasznált Világító-torony elnevezésű zátony közepén található Nagy Kéklyuknak nevezett tenger alatti víznyelő rendszer (Forrás: wikipédia)296
180. **ábra** Mexikó, Yucatán-félsziget területén lévő Chichen Itza (= Itza kút kávája elnevezésű) város Krisztus utáni 987 körül a mayák szövetségesei, a toltékok által Kulukán tollas kígyóisten tiszteletére emelt maya stílusú piramis alakú templom (Forrás: wikipédia)298
181. **ábra** Mexikó, Yucatán-félsziget területén lévő Chichen Itza (= Itza kút kávája elnevezésű) város Klasszikus Maya Birodalom és a mayákkal szövetséges tolték kultúra megtelepedésének idején vízzel ellátó természetes kút (cenote) (Forrás: wikipédia)299
182. **ábra** A kettős germán iszapoltást megvalósító flotáló berendezés működésének elve (Forrás: Náfrádi, Törőcsik, Sümegi, 2015 nyomán).....304
183. **ábra** Négyszög alakú halastó lótoszokkal, datolyapálmákkal és gyümölcsfákkal Nebamun sírjából, freskó, Théba, 18. dinasztia ((Forrás: wikipédia)306
184. **ábra** Eusztárium öböl típusú üledékeiből előkerült Sinus elongata fitolit Floridai-félsziget holocén rétegeiből (Forrás: researchgate Lul, H.Y., Liu, K.B. (2005). Phytolith assemblages as indicators of coastal environmental changes and hurricane overwash deposition. The Holocene, 15, 965-972.- corresponding author írásos hozzájárulásával bemutatva)314
185. **ábra** A floridai területen az eusztárium öböl peremén kifejlődött dűne üledékekre jellemző buzogány alakú (Dumbbel) fitolit (Forrás: researchgate: Lul, H. Y., & Liu, K. B. (2005). Phytolith assemblages as indicators of coastal environmental changes and hurricane overwash deposition. The Holocene, 15, 965-972. - corresponding author írásos hozzájárulásával bemutatva)315
186. **ábra** Eusztárium öböl típusú üledékeiből az ártéri erdőkre jellemző lomhullató fákra jellemző fitolit (Forrás: researchgate: Lul, H. Y., & Liu, K. B. (2005). Phytolith assemblages as indicators of coastal environmental changes and hurricane overwash deposition. The Holocene, 15, 965-972.- corresponding author írásos hozzájárulásával bemutatva)316
187. **ábra** Az új-zélandi Poukawa tó rétegsora és kronológiai vizsgálatának eredményei (Forrás: researchgate: Shulmeister, J., Shane, P., Lian, O. B., Okuda, M., Carter, J. A., Harper, M., Heijnis, H. (2001). A long late-Quaternary record from lake Poukawa, Hawke's Bay, New Zealand. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 176, 81-107 nyomán – első szerző [corresponding author] írásos engedélyével közölve).....318
188. **ábra** Az új-zélandi Poukawa tó fitolitanyaga 1 = sásfélék és fűfélék, 2 = páfrányfélék, 3 = fák és cserjék (Forrás: researchgate: Shulmeister, J., Shane, P., Lian, O. B., Okuda, M., Carter, J. A., Harper, M., Heijnis, H. (2001). A long late-Quaternary record from lake Poukawa, Hawke's Bay, New Zealand. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 176(1-4), 81-107 nyomán – az első szerző [corresponding author] írásos engedélyével bemutatva).....319
189. **ábra** Balaton egykori vízborításának rekonstrukciója nyomán kirajzolódó „balatoni rovarszárny” paleohidrológiai szerkezete a késő-bronzkor / kora-vaskor határán kialakult vízmélységi és kiterjedési maximum (fehér szín), mintegy 3100-3300 évvel ezelőtt (Forrás: saját ábra).....323
190. **ábra** A balatonedericsi magfúrásunk helyzete a Balaton szabályozása előtt az 1782-ben készült első osztrák katonai térképen (Forrás: Arcanum Osztrák Birodalom katonai térképei sorozat, vásárolt és módosított térképlapja)324
191. **ábra** A balatonedericsi fúrás rétegsora radiokarbon korokkal, a tavi vízborítással arányos karbonát-, szervesanyag tartalom, valamint a lápi, tőzeges környezet indikátoraként felfogható szervesanyag-tartalom változásai nyomán rekonstruált, a vízállás- változásokkal arányos trendek (a balatonedericsi vízmérce) (Forrás: saját ábra).....325
192. **ábra** A balatonedericsi fúrás összehasonlító fitolit vizsgálatának eredményei (Forrás: Sümegi et al. 2020)326
193. **ábra** Az edericsei részmedencében kialakult barnamoha-láp és lápos tó, valamint a hegyközi és a keszthelyi mélyedésekben kialakult tavak 16 ezer évvel ezelőtt (Forrás: saját ábra) 1 = Keszthelyi öböl, 2 = Nagyvíz (edericsi öböl), 3 = Hegyköz korai fázisa (Forrás: Sümegi et al. 2020)328

194. ábra Magcsákó (<i>Dryas octopetala</i>) magja a balatonedericsi zavartalan magfúrással feltárt 18 ezer évvel ezelőtt kialakult, jégkor végi barnamoha lúp rétegéből (Forrás: Sümegei et al. 2020).....	329
195. ábra Törpenyír (<i>Betula nana</i>) magja a balatonedericsi zavartalan magfúrással feltárt jégkor végi barnamoha lúp rétegéből (Forrás: Sümegei et al. 2020)	330
196. ábra Az edericsei részmedencében kialakult tó, valamint a hegyközi, keszthelyi és füredi mélyedésekben kialakult tavak 13 ezer évvel ezelőtt, mai népi elnevezésekkel (Forrás: saját ábra) 1 = Keszthelyi öböl, 2 = Nagyvíz (edericsi öböl), 3 = Cső korai fázisa, 4 = Zsák kialakulásának kezdete (Forrás: Sümegei et al. 2020)	332
197. ábra A jégkor végén és a holocén kezdetén lerakódott üledékretegek egyik jellegzetes csigafaja a ritka kerekcsájú csiga (<i>Valvata pulchella</i>) (Forrás: Sümegei et al. 2015).....	333
198. ábra Egy kékeszürke üledékes szint rétegződött a fehér színű, csillárkamoszat maradványokban gazdag tavi mészszipa réteg közé, kis-balatoni, fenékpusztai öblözet I. számú zavartalan magfúrásában (Forrás: Sümegei et al. 2020).....	336
199. ábra Cunieform bulliform fitolit (2 jelzéssel) és Trichoform (jelzés nélkül) fitolitok (Forrás: Sümegei et al. 2020)	337
200. ábra A Balaton legjelentősebb kiterjedése a bronzkor végén, a vaskor kezdetén (Forrás: Sümegei et al. 2020).....	339
201. ábra Az első szárazföldi növényekhez köthető tetralet és trilet spórák 440 millió éves szilur időszaki üledékes rétegekből (Forrás: wikipedia)	343
202. ábra Az első szárazföldi növényekhez, a magvas páfrányokhoz (<i>Elkinsia polymorpha</i>) kapcsolódó 400 millió éves pollenek (Forrás: researchgate: Serbet, R., Rothwell, G. W. 1992. Characterizing the most primitive seed ferns. I. A reconstruction of <i>Elkinsia polymorpha</i> . International Journal of Plant Sciences, 153, 602-621 – corresponding author írásos hozzájárulásával bemutatva).....	344
203. ábra Pollenfeldolgozás menete (Forrás: Faegri, Iversen, 1989 nyomán magyarra fordítva, átrajzolva és módosítva).....	345
204. ábra A lelőhely átmérője és a különböző komponensek közötti kapcsolat (Forrás: Jacobson, Bradshaw, 1981 nyomán magyarra fordítva, átrajzolva és módosítva)	347
205. ábra Pollen terjedési modell (Tauber, 1965 nyomán magyarra fordítva, átrajzolva és módosítva).....	348
206. ábra Pollen származási modell felső szakasz jellegű fluviális – alluviális rendszerben (Forrás: Sümegei et al. 2016).....	349
207. ábra Létrás perforáció a vízparti paleohidrológiai rendszerben elterjedten jelentkező égerfa (<i>Alnus</i>) edényfalán (Forrás: Törőcsik, Náfrádi, Sümegei, 2015).....	365
208. ábra Csiszolásos évgyűrű minta előkészítés (A) és az eredményeként létrejövő vizsgálati felület (B) (Forrás: Törőcsik, Náfrádi, Sümegei, 2015)	372
209. ábra Keresztadatálás sematikus ábrája (Schweingruber 1993 nyomán magyarra fordítva, átrajzolva és módosítva).....	373
210. ábra Aszályossági index és évgyűrű index összehasonlító elemzése a debreceni éghajlati állomás és debreceni Nagyerdő tölgyfáinak elemzése nyomán (Horváth Emil, 2004: Hidrológiai Közlöny, 84/2, 48-56 - átrajzolva).....	374
211. ábra Kárpát-medencei pollenadatbázis (Forrás: Törőcsik, Sümegei, 2019).....	376
212. ábra Eltérő éghajlati és növényzetű lápi és tavi üledékgyűjtőkre jellemző beágyazódási (tafonómiai) folyamatok, melyek befolyásolják a kialakuló makrofosszília közösségeket. (Forrás: Birks 2007 után magyarra fordítva, átrajzolva, módosítva: Sümegei, Jakab, 2012).....	379
213. ábra Az arktikus és mérsékelt övi területek három fő ökológiai tótípusa. Eutróf tavak: a) égerlápok, b) zombékosok és magassásosok, c) nádas, d) rögzült, lebegő hínár, e) rögzült, alámerült hínár. Disztróf tavak: f) erdőszőlő tőzegláp, g) tőzegmohaláp, h) úszóláp. Oligotróf karbonátos tavak: i) nitrogénkedvelő növényzet a nedves talajon, télisásos, j) csetkákás, k) csillárkamoszat (<i>Chara</i>) és békaszőlő. Oligotróf karbonátszegény tavak: l) magassásos, m) lobélia és durdafű, n) csillárkamoszat (<i>Nitella</i>). (Forrás: Gaillard – Birks 2007 nyomán magyarra fordítva, átszerkesztve, módosítva: Sümegei, Jakab, 2012).....	380

214. **ábra** A vízi ökosziszéma értelmezése paleohidrologiai szempontból. A vízi (tavi) ökosziszéma nem csak a víztestet, hanem a vízgyűjtőt is magába foglalja. A külső környezeti tényezők a vízgyűjtőre és a tóra is hatással vannak. A vízgyűjtő területen működő belső tényezők meghatározzák a vízgyűjtő terület állapotát, amely közvetlenül hat a víztestre is (Gaillard – Birks 2007 nyomán magyarra fordítva, átszerkesztve, módosítva: Sümegi, Jakab, 2012).....381
215. **ábra** Hajósi Kaszálók és császártöltési Vörös-mocsár tőzegterületének elhelyezkedése Magyarországon és a Duna völgyében (fekete színnel a tőzeggel borított területeket jelöltük) (Forrás: eredeti ábra, Sümegi, Jakab, 2003).....382
216. **ábra** A Hajós község határában kifejlődött Kaszálók tőzegterülete digitális domborzati modellen (Forrás: új, eredeti ábra: Sümegi, Novák, 2017).....383
217. **ábra** A Császártöltés község határában kifejlődött Vörös-mocsár tőzegterülete digitális domborzati modellen (Forrás: új, eredeti ábra: Sümegi, Novák, 2017)384
218. **ábra** A Császártöltés község határában kifejlődött Vörös-mocsár tőzegterülete drónfelvételen (Forrás: új, eredeti drónfelvétel)384
219. **ábra** Az 1743/1744-ben német betelepítés nyomán kialakított Császártöltés település és a Vörös-mocsár helyzete, környezete Marsigli gróf 1726-ban készült térképén (Forrás: gróf. Luigi Ferdinando Marsigli 1726: Danubius Pannonico-mysicus: observationibus geographicis, astronomicis, hydrographicis, historicis, physicis, perlustratus et in sex tomos digestus. T. 2, [Antiquitates romanae militares ad ultramque ripam Danubii]).....387
220. **ábra** Az első osztrák katonai térkép felmérése (1782-1785) nyomán készült XVIII. század végi tájhasználati térkép a császártöltési Vörös- mocsárról és környezetéről (Forrás: új, eredeti ábra, Sümegi, Novák, 2017)388
221. **ábra** Második osztrák katonai térkép felmérése (1806-1869) nyomán készült térkép a császártöltési Vörös - mocsárról (Rothe Moraeste), és környezetéről (Forrás: Timár, G., Molnár, G., Székely, B., Biszak, S., Varga, J., Jankó, A. (2006): Digitized maps of the Habsburg Empire – The map sheets of the second military survey and their georeferenced version. Arcanum, Budapest, 59 p. - megvásárolva)389
222. **ábra** Második világháborús katonai térkép felmérése (1941) nyomán készült tájhasználati térkép a császártöltési Vörös-mocsárról és környezetéről (Forrás: új, eredeti ábra, Sümegi, Novák, 2017)390
223. **ábra** Napjaink tájhasználati térképe a császártöltési Vörös-mocsárról és környezetéről (Forrás: új, eredeti ábra, Sümegi, Novák, 2017).....391
224. **ábra** A császártöltési zavartalan magfúrás helyzete a császártöltési Vörös-mocsáron (Forrás: új, eredeti ábra).....392
225. **ábra** Földtani keresztmetszvény a császártöltési Vörös-mocsáron és a Duna-völgyében Császártöltés és Pécsiszállás között (Forrás: Miháltz, 1953 nyomán átrajzolva és módosítva) 1 = mezőségi talaj, 2 = jégkori alluviális üledék, 3 = jégkori ártéri üledék (infúziós lösz) – homokos kőzetliszt kifejlődésben, 4 = alluviális – fluviális homokos kőzetliszt, 5 = mocsári agyagos üledék, 6 = tőzegréteg, 7 = folyóvízi homok, 8 = futóhomok, 9 = eolikus homokos lösz, löszös homok.....392
226. **ábra** A radiokarbon adatok nyomán kalibrált naptári korok nyomán szerkesztett ülepedési görbe a császártöltési Vörös-mocsári magfúrás szelvénye mentén a rétegsor feltüntetésével (Forrás: új, eredeti ábra).....395
227. **ábra** Üledékföldtani, geokémiai vizsgálatok eredményei a Vörös-mocsári magfúrás szelvény mentén, a rétegsor Troels-Smith szimbólumokkal ellátva, cal BP évek 1950-től értendők (Forrás: új, eredeti ábra).....398
228. **ábra** Pollenanalitikai vizsgálatok eredményei a Vörös-mocsári magfúrás szelvény mentén, a rétegsor Troels-Smith szimbólumokkal ellátva, naptári korokkal, BC = Krisztus előtti, AD = Krisztus utáni (Forrás: új, eredeti ábra).....399
229. **ábra** Pollenanalitikai vizsgálatok eredményei a Vörös-mocsári magfúrásból a szelvény mentén vett radiokarbon anyagok nyomán készített naptári korszaklára átkonvertálva (Forrás: új, eredeti ábra) ...399
230. **ábra** Artemisia (üröm) virágporszem (pollen) a jégkori rétegekből (Forrás: saját ábra).....400

231. **ábra** Makrobotanikai vizsgálatok eredményei a Vörös-mocsári magfúrás szelvény mentén, a rétegsor Troels-Smith szimbólumokkal ellátva, naptári korokkal, BC = Krisztus előtti, AD = Krisztus utáni (Forrás: új, eredeti ábra).....409
232. **ábra** Phragmites (nád) levél szöveti képe (Forrás: saját ábra)410
233. **ábra** Malakológiai vizsgálatok (vízi fajokra vonatkozó) eredményei a Vörös-mocsári magfúrás szelvény mentén, a rétegsor Troels-Smith szimbólumokkal ellátva, naptári korokkal, BC = Krisztus előtti, AD = Krisztus utáni (Forrás: új, eredeti ábra)412
234. **ábra** Malakológiai vizsgálatok (szárazföldi fajokra vonatkozó) eredményei a Vörös-mocsári magfúrás szelvény mentén, a rétegsor Troels-Smith szimbólumokkal ellátva, naptári korokkal, BC = Krisztus előtti, AD = Krisztus utáni (Forrás: új, eredeti ábra)413
235. **ábra** Áramló, mozgó, oxigénben gazdag vizet kedvelő Valvata piscinalis (változékony kerekuszájú csiga) (Forrás: új, eredeti ábra).....414
236. **ábra** Meszes, mezotróf Chara tavakat kedvelő Gyraulus albus (rácsos tányércsiga) (Forrás: wikipedia, módosítva).....415
237. **ábra** Meszes lápos tavakban, tőzeglápokon, eutróf tavakban elterjedt Valvata cristata (korongalakú kerekuszájú csiga) (Forrás: új, eredeti ábra)415
238. **ábra** Kőtelek Huszársarok (1) és Nagykörű Tsz Gyümölcsös Körös lelőhelyek elhelyezkedése digitális domborzati modellen (Forrás: új, eredeti ábra)417
239. **ábra** Tiszapüspöki - Háromág Körös lelőhely (1) elhelyezkedése digitális domborzati modellen (Forrás: új, eredeti ábra).....418
240. **ábra** Maroslele – Pana Körös lelőhely (1) elhelyezkedése digitális domborzati modellen (Forrás: új, eredeti ábra).....418
241. **ábra** Körös ház maradványainak régészeti feltárása a tiszapüspöki Háromág lelőhelyen (Forrás: szerző felvétele, 2004).....419
242. **ábra** Eutróf vizeket, lápos környezetet kedvelő, jelentős tűrőképességgel rendelkező, eurosibériai elterjedésű nagy tányércsiga (Planorbium corneum) (Forrás: wikipedia, módosítva)420
243. **ábra** Eutróf vizeket, lápos környezetet, patakokat, ártéri pocsolyákat egyaránt kedvelő, jelentős tűrőképességgel rendelkező, holarktikus elterjedésű nagy mocsárcsiga (Lymnaea palustris) (Forrás: wikipedia, módosítva).....420
244. **ábra** Időszakos vizekben, pocsolyákban is tenyésző, palearktikus elterjedésű fehérszájú, vagy más néven ajakos tányércsiga (Anisus spirorbis) (Forrás: wikipedia, módosítva)422
245. **ábra** Kora neolitik Körös kultúra közösségeinek megtelepedése a vizsgált területen (Forrás: Knipf, Sümei, 2011 nyomán árajzolva) A = jelenlegi erdők, B = jelenlegi kertek és szőlők, C = legelők, D = települések belső területei, E = Körös kultúra megtelepedési területei, F = rekonstruált kora neolitikumban létező folyóágak.....427
246. **ábra** Kora neolitik Körös kultúra közösségeinek megtelepedése az ecsefalvi Kiritó területén, a jégkori, holocén során fosszilis folyóhát területén, két rendszer, a száraz felszínű, sztyeppel – erdősztyeppel borított jégkori maradványfelszín és a holocén során feltöltődő, galériaerdővel borított Kiritó morotvató partjának határán (Forrás: Sümei, 2007 nyomán módosítva)428
247. **ábra** Nagykörű Tsz Gyümölcsös Körös lelőhely elhelyezkedése egy szigetszerűen megjelenő maradványfelszínen és kora holocén környezeti tényezők (Forrás: Sümei, 2007 nyomán módosítva) 1 = Körös lelőhely, 2 = Futóhomokkal és lösszel, mezőségi talajjal fedett hordalékkúp maradvány, 3 = hordalékkúpot a kora neolitikumban borító fajgazdag erdősztyepp, 4 = feltöltődő holtágak a tiszai allúvium szintjében, 5 = kora neolitikumban a tiszai árteret borító alföldi keményfás ligeterdő (Fraxino pannonicum – Quercetum), 6 = kora neolitikumban a tavi állapotban lévő, pollen és makrobotanikai elemzésre kiválasztott morotvató429
248. **ábra** Tiszapüspöki – Karancspart – Háromág lelőhely morfológiai és laza üledékes viszonyai (Forrás: Gulyás, Sümei, 2004 nyomán módosítva).....429
249. **ábra** Tiszapüspöki – Karancspart – Háromág lelőhely talajtani viszonyai (Forrás: Gulyás, Sümei, 2004 nyomán módosítva) 1 = tavaszi (hóolvadás utáni) és nyár kezdeti (csapadékmaximumhoz köthető)

- áradások idején, 2 = áradások közötti kisvizek idején, 3 = kora neolitikumi vegetáció rekonstrukció pollen adatok alapján áradások idején, 4 = kora neolitikumi vegetáció rekonstrukció pollen adatok alapján áradások közötti kisvíz idején430
250. **ábra** Tiszapüspöki – Karancspart – Háromág lelőhely neolitikumi paleohidrologiai és növényzeti viszonyainak rekonstrukciója (Forrás: Gulyás, Sümei, 2004 nyomán módosítva) 1 = tavaszi (hóolvadás utáni) és nyár kezdeti (csapadékmaximumhoz köthető) áradások idején, 2 = áradások közötti kisvizek idején, 3 = kora neolitikumi vegetáció rekonstrukció pollen adatok alapján áradások idején, 4 = kora neolitikumi vegetáció rekonstrukció pollen adatok alapján áradások közötti kisvíz idején.....431
251. **ábra** Nagykörű Tsz Gyümölcsös Körös lelőhely kagylóanyaga alapján végzett paleohidrologiai elemzés (Forrás: Gulyás, Sümei, 2011 nyomán módosítva).....432
252. **ábra** Nagykörű Tsz Gyümölcsös Körös lelőhely kagylóanyaga alapján végzett paleohidrologiai elemzés összehasonlító elemzése (Forrás: Gulyás, Sümei, 2011 nyomán módosítva)433
253. **ábra** Gorzsa Cukortanyai késő neolitikumi lelőhely kagylóanyaga alapján végzett paleohidrologiai elemzés (Forrás: Gulyás, Sümei, 2011 nyomán módosítva)434
254. **ábra** Gorzsa - Cukortanyai késő neolitikumi paleohidrologiai viszonyainak rekonstrukciója (Forrás: Gulyás, Sümei, 2011 nyomán módosítva).....435
255. **ábra** Szegvár - Tűzköves késő neolitikumi paleohidrologiai viszonyainak rekonstrukciója (Forrás: Gulyás, Sümei, 2011 nyomán módosítva).....436
256. **ábra** A csuszamlással kialakult hepető, a nagybárcányi Nádas-tó elhelyezkedése a Kárpát-medencében, a szubkárpati klímahatás alatt álló Felvidéken, és a nagybárcányi Hármás – Határhegy északi oldalán (Forrás: Sümei et al. 2011)442
257. **ábra** A nagybárcányi Nádas-tó és a többi csuszamlásos hepető elhelyezkedése és morfológiai viszonyuk a Hármás – Határhegy északi oldalán (Forrás: Sümei et al. 2011) 1 = földutak, 2 = fűráspont, 3 = tavak, lápos tavak, A = Nádas-tó, B = Békalencsés-tó, C = Füzes-tó, D = Feneketlen-tó442
258. **ábra** A nagybárcányi Nádas-tó növényzeti viszonyai 1959-ben és 2003-ban, a fűrás évében és a fűrás elhelyezkedése (Forrás: Jakab, Sümei, 2005 nyomán átrajzolva és módosítva)443
259. **ábra** A nagybárcányi Nádas-tó centrumában tőzegmohás fűzlápon mélyített fűrás rétegsora mélység mentén Troels-Smith nemzetközi laza üledék kategóriákkal, genetikai megnevezésekkel és rétegenkénti szimbólumokkal (Forrás: új, első szerző által készített ábra)444
260. **ábra** A nagybárcányi Nádas-tóhoz hasonló szélességi körön és geomorfológiai helyzetben található terényi meteorológiai állomás nyilvános adatai nyomán szerkesztett Walter-Lieth klímadiagram (Forrás: új, első szerző által készített ábra, a meteorológiai alapadatokat Major György meteorológus akadémikus biztosította az első szerzőnek)446
261. **ábra** A nagybárcányi Nádas-tóban 1951-2002 között kialakult 40,8 cm vastagságú Sphagnum tőzegréteg évenkénti (8 mm-kénti) bontásával kinyert minták üledékföldtani és geokémiai vizsgálatának eredményei és összehasonlítása az erdő ariditási index trendjének változásaival (Forrás: új, első szerző által készített ábra)449
262. **ábra** A nagybárcányi Nádas-tóban 1951-2002 között kialakult 40,8 cm vastagságú Sphagnum tőzegréteg évenkénti (8 mm-kénti) bontásával kinyert minták pollenvizsgálatának eredményei, a parlagfű megjelenése (1966/1967), a fapollenek változásainak trendjei és a hőmérséklet éves és tenyészidőszaki menete. Bár 26 legfontosabb növényi pollen taxon és a 26 fa pollen taxon százalékos változása alapján megrajzolt főkomponens változás trendje eltért a hőmérsékleti adatok változásaitól. Ezen komponensek durvább több évet átfogó változást mutat, de a hőmérsékletre érzékeny, és a terület döntő faállományát alkotó tölgy (Quercus), mogyoró (Corylus), bükk (Fagus), gyertyán (Carpinus) pollen anyagának trendjei különböző mértékben, de követték az éves és a tenyészidőszak hőmérsékletének változásait (Forrás: új, első szerző által készített ábra)450
263. **ábra** A parlagfű (Ambrosia artemisiifolia) terjedése Magyarországon, a nagybárcányi, Nádas-tavi régiót 1966/1967-ben érte el ez a növény, és a radiokarbon mérés alapján is ekkor, 1966-ban jelentek

- meg *Ambrosia artemisiifolia* (parlagfű) pollenek a vizsgált szelvényben (http://allergia.network.hu/kepek/allergen_novenyek/a_parlagfu_terjedese_magyarorszagon oldal ábrája nyomán átrajzolva)451
264. **ábra** A nagybárkányi Nádas-tóban 1951-2002 között kialakult 40,8 cm vastagságú *Sphagnum* tőzegréteg évenkénti (8 mm-kénti) bontásával kinyert minták makrobotanikai vizsgálatának eredményei a hőmérsékleti, csapadék és ez utóbbi mindkettőt figyelembe vevő (FAI) erdő ariditási indexel (Forrás: új, első szerző által készített ábra)453
265. **ábra** A nagybárkányi Nádas-tóban 1951-2002 között kialakult 40,8 cm vastagságú *Sphagnum* tőzegréteg évenkénti (8 mm-kénti) bontásával kinyert minták pollenanalitikai vizsgálatának eredményei fűszárú pollen taxonokra vonatkozóan és ugyanezen évek mezoklíma állomás adatai nyomán rekonstruált hőmérsékleti és csapadékváltozás a Nádas-tó régiójában (Forrás: új, szerzők által készített ábra)454
266. **ábra** A nagybárkányi Nádas-tóban 1951-2002 között kialakult 40,8 cm vastagságú *Sphagnum* tőzegréteg évenkénti (8 mm-kénti) bontásával kinyert minták pollenanalitikai vizsgálatának eredményei lágyszárú pollen taxonokra vonatkozóan és ugyanezen évek mezoklíma állomás adatai nyomán rekonstruált hőmérsékleti és csapadékváltozás a Nádas-tó régiójában (Forrás: új, szerzők által készített ábra)456
267. **ábra** A nagybárkányi Nádas-tóban 1951-2002 között kialakult 40,8 cm vastagságú *Sphagnum* tőzegréteg évenkénti (8 mm-kénti) bontásával kinyert minták pollenanalitikai vizsgálatának eredményei vízi és spórás pollen taxonokra vonatkozóan és ugyanezen évek mezoklíma állomás adatai nyomán rekonstruált hőmérsékleti és csapadékváltozás a Nádas-tó régiójában (Forrás: új, szerzők által készített ábra)457
268. **ábra** A nagybárkányi Nádas-tóban 1951-2002 között kialakult 40,8 cm vastagságú *Sphagnum* tőzegréteg évenkénti (8 mm-kénti) bontásával kinyert minták vízdoldható vastartalom és mágneses szuszceptibilitási értékeinek összehasonlító értékelése. A két tényező között rendkívül szoros korreláció (0,9992) mutatható ki mindkét tényezőre vonatkozó 53 mérés összehasonlítása és lineáris korrelációja nyomán. Tulajdonképpen a csernobili atomerőmű baleseti évét (1986) leszámítva a két tényező között kapcsolat 1-es korrelációs értéket mutatna (Forrás: új, első szerző által készített ábra)459
269. **ábra** A nagybárkányi Nádas-tóban kialakított 340 cm-es zavartalan magfűrés szelvényén 1 cm-ként végzett üledékföldtani és geokémiai vizsgálatának eredményei (Forrás: új, első szerző által készített ábra)461
270. **ábra** A nagybárkányi Nádas-tóban kialakított 340 cm-es zavartalan magfűrés szelvényén 1 cm-ként végzett pollenanalitikai vizsgálat eredményei 1 – fás szárúak pollenszármazékainak változásai (Forrás: új, szerzők által készített ábra)461
271. **ábra** A nagybárkányi Nádas-tóban kialakított 340 cm-es zavartalan magfűrés szelvényén 1 cm-ként végzett pollenanalitikai vizsgálat eredményei 2 – lágyszárúak pollenszármazékainak változásai (Forrás: új, szerzők által készített ábra)462
272. **ábra** A nagybárkányi Nádas-tóban kialakított 340 cm-es zavartalan magfűrés szelvényén 1 cm-ként végzett pollenanalitikai vizsgálat eredményei 3 – vízi és spórás növények pollen és spóra arányának változásai (Forrás: új, szerzők által készített ábra)463
273. **ábra** A nagybárkányi Nádas-tóban kialakított 340 cm-es zavartalan magfűrés szelvényén 5 cm-ként végzett makrobotanikai vizsgálat eredményei 1 (Forrás: Jakab, Sümegi, 2005 nyomán átrajzolva, átszerkesztve, kiegészítve)463
274. **ábra** A nagybárkányi Nádas-tóban kialakított 340 cm-es zavartalan magfűrés szelvényén 1 cm-ként végzett makrobotanikai vizsgálat eredményei 2 (Forrás: új ábra)467
275. **ábra** Az első Mollusca (Mollusca-szerű) taxon, a héj nélküli *Kimberella* fosszília és rekonstrukció az Ediacara faunából, 555-558 millió évvel ezelőtti neoproterozoikum (prekambriumi Vendium időszak) rétegekből (Forrás: wikipedia ábrák nyomán szerkesztve)476

276. **ábra** A Mollusca törzs Vendium, Kambrium és Ordovicium időszakokat átívelő 560 – 440 millió évek közötti korai törzsfejlődése a Mollusca törzsnek és a Helcionellidae taxonok, maradványcsigák (Monoplacophora osztály) kifejlődése (Forrás: researchgate: Parkhaev, P. Y. (2008). The early Cambrian radiation of Mollusca. In: Lindberg, W. P. D. R. (2008). Phylogeny and Evolution of the Mollusca. University of California Press. 33, 69, a szerző írásbeli engedélye nyomán közölve)477
277. **ábra** Helcionellidae maradványcsiga fosszilis héja és testrekonstrukciója (Forrás: researchgate és wikipedia ábrák nyomán szerkesztve)478
278. **ábra** A kambrium időszakának legfejlettebb Archeobanchia alosztályhoz sorolható Helcionellidae taxonok adaptív radiációja (Forrás: researchgate Parkhaev, P. Y. (2008). The early Cambrian radiation of Mollusca. In: Lindberg, W. P. D. R. (2008). Phylogeny and Evolution of the Mollusca. University of California, 33, 69: szerző írásbeli engedélyével közölve).....479
279. **ábra** A puhatestűek alaki sokszínűsége alapvetően két módosult lárvatípusra vezethető vissza. (Forrás: wikipédia - módosítva).....480
280. **ábra** *Pilina ungius* egy kihalt paleozoikum, szilur időszakban élt maradványcsiga héja felül, oldalt és alulnézetben. Jó látható a héj belső felületén kétoldali (bilaterális) és szelvénysszimmetriát (szelvényezettséget) mutató izomtapadási pontok (Forrás: wikiwand)482
281. **ábra** *Epimenia verrucosa recens* féregcsiga felépítése (Forrás: wikipédia).....483
282. **ábra** *Tonicella lineata recens* cserepeshéjú (Polyplacophora) felépítése és élethelyzete (Forrás: wikipédia).....485
283. **ábra** Fosszilis cserepeshéjúak (Polyplacophora) egyik típusa, kihalt kambirumi taxon (*Polysacos vickersianum*) egyedének hátlemezei finom pélitbe ágyazva (Forrás: http://digimorph.org/specimens/Polysacos_vickersianum/).....486
284. **ábra** Fosszilis *Lepidopleurus cajetanus* (Poli, 1791) cserepeshéjú (Polyplacophora) taxon – lelőhely: Bánd község, miocén időszak, badeni emelet, tengeri rétegek (Forrás: Dr. Dulai Alfréd tárigazgató, Magyar Természettudományi Múzeum, Őslénytani és Földtani Tárban dolgozó paleontológus írásos hozzájárulásával bemutatva)486
285. **ábra** Aculifera-hipotézis leszármazási ága a Mollusca törzsben (Forrás: wikipedia)488
286. **ábra** Kora kambriumi, első, bilaterális szimmetriát mutató Gastropoda osztályba sorol Helcionellidae taxonok (Forrás: researchgate: Parkhaev, P. Y. (2007). The Cambrian ‘basement’ of gastropod evolution. Geological Society, London, Special Publications, 286, 415-421. – a szerző írásos engedélyével közölve)489
287. **ábra** A legősibb torziót (felcsavarodást mutató) planospirál alakú Bellerophontoidea taxon az észtországi paleozoikum földtani rétegekből (Forrás: https://fossiilid.info/491?mode=in_baltoscandia&lang=en#gallery-4, szabadon letölthető és felhasználható).....489
288. **ábra** A kétoldali szimmetria mellett a legősibb torziót (felcsavarodást mutató) planospirál alakú Bellerophontoidea taxon az észtországi paleozoikum földtani rétegekből (Forrás: https://fossiilid.info/491?mode=in_baltoscandia&lang=en#gallery-4, szabadon letölthető és felhasználható).....490
289. **ábra** Az ősi felcsavarodás mentes, kétoldali szimmetriát mutató csigáktól az első torzió során kialakult torzióval és kétoldali szimmetriával rendelkező Archaeogastropodákon át az aszimmetrikussá váló belső szervekkel jellemezhető Mezo- és Neogastropodákon át a részleges retorzióval újra hátul kopolytűssé váló Opisthobranchiákon keresztül az édesvízi és szárazföldi környezetben elterjedő tüdőcsigákig (Pulmonata) tartó fejlődési sorozata a csigák (Gastropoda) osztályának (Forrás: wikipedia – átalakítva).....490
290. **ábra** A Gastropoda taxonok megjelenése, törzsfejlődése a földtani időben (Forrás: researchgate adatok alapján saját szerkesztésű ábra)492
291. **ábra** A karbon kori globális biómok kiterjedése (Forrás: wikipedia) zöld = trópusi esőerdő, kék = szubtrópusi erdő, narancs = száraz területek, vörös = északi mérsékeltövi erdők, lila = déli mérsékeltövi erdők, szürke = tundra, fehér = eljegesedett terület493

292. **ábra** *Neritina virginea* (rohamsisak csiga) a Karibi térségben, Bahamákon, Közép-Amerikában elterjedt tengeri csiga (Forrás: wikipedia)495
293. **ábra** *Neritina pulligera* (valódi rohamsisak csiga) a Csendes-óceáni, DK-ázsiai, Észak- ausztráliai, Kelet-afrikai és Indiai-óceán területen elterjedt, édesvízbe kitelepülő tengeri csiga (Forrás: wikipedia)497
294. **ábra** Alsó pleisztocén folyóvízi hálózat a Kárpát-medencében (Sümeghy József magyar geológus 1944-ben megadott térképei nyomán átrajzolva, új saját ábra).....498
295. **ábra** *Theodoxus prevostianus* (fekete bödöncsiga) termálvíz forrásokban maradt fenn, sikeresen telepítették vissza a kácsi termálforráshoz (Forrás: wikipédia).....499
296. **ábra** *Theodoxus danubialis* (dunai rajzos bödöncsiga) a dunai vízrendszer és jobb oldali mellékfolyóinak karaktereleme (Forrás: wikipédia)500
297. **ábra** A Kárpát-medence és Közép-Európa quartermalakológiai rétegtani szintjeinek összefüggései a globális rétegtan szintekkel és emeletekkel, valamint a geokronológiai adatokkal – *Theodoxus kroloppi* faj *chronospecies* időbeli kifejlődésével és a sister groupjainak tekinthető *Theodoxus danubialis* (dunai rajzos bödöncsiga), *Theodoxus prevostianus* (fekete bödöncsiga) megjelenésével (Forrás: saját ábra).....501
298. **ábra** *Corbicula fluminalis* (nagy kosárcsiga) Kárpát-medencei interglaciális (Forrás: wikipédia)503
299. **ábra** *Theodoxus transversalis* (sávós bödöncsiga) Tisza és Sajó, valamint a mellékfolyók mai karaktereleme (Forrás: wikipédia).....504
300. **ábra** *Fagotia acicularis*, *Melanopsis doboi* taxonok az egri édesvízi mészkőből (Forrás: Schréter Zoltán paleontológus fotó összeállítása 1971-ben).....506
301. **ábra** Nagyváradi (Oradea) mellett, Hajó (középkori magyar nevén Hőjő) és Rontó községek közötti püspökfürdői (Băile 1 Mai) termáltó és termálvíz terület (1) elhelyezkedése a Kárpát-medencében (Forrás: saját ábra).....507
302. **ábra** *Nymphaea lotus* var. *thermalis* színes rajza magyarosított nevén Waldstein Ferenc Ádám (1759–1823) (wartenbergi gróf) és Kitaibel Pál (1757-1817) (természetudós) közös könyvéből (Forrás: *Descriptiones et icones plantarum rariorum Hungariae* – 3 kötet 28 füzet 200 példány: 1802-1812).507
303. **ábra** A bordás homorcsa csiga (*Melanopsis parreyssi*) első ismert példányának (holotypusának) rajza (Forrás: Philippi *Abbildungen und Beschreibungen neuer oder wenig gekannter Conchylien* című 1847-ben megjelent (Fischer Kiadó, Kassel) munkájából, a 15. ábra)509
304. **ábra** Rudolph Amadeus Philippi (1806-1904) német paleontológus - malakológus a recens bordás homorcsa csiga (*Melanopsis parreyssi*) faj leírója (1847) (Forrás: researchgate: Kabat, A. R., Coan, E. V. 2017. *The Life and Work of Rudolph Amadeus Philippi (1808–1904)*. *Malacologia*, 60, 1-30. – első szerző írásos engedélyével közölve).....509
305. **ábra** von Heinrich Wolf (1825–1882) osztrák császári, majd császári és magyar királyi geológus, a püspökfürdői terület első geológiai leírója és a fosszilis *Melanopsis* és *Neritina* egyedek első feltárója (Forrás: <http://www.digiporta.net/>).....510
306. **ábra** von Heinrich Wolf osztrák császári, majd császári és magyar királyi geológus földtani szelvénye 1863-ban a püspökfürdői területről, a termáltóról, a termáltó alatt és peremén húzódó geológiai rétegekről, a termálforrás és a tó viszonyáról (Heinrich Wolf 1863-ban készült könyvéből).....511
307. **ábra** A püspökfürdői termálvíz tó teljes kiterjedésben a Pece árterén 2009-ben (Forrás: saját felvétel)514
308. **ábra** *Nymphaea lotus* var. *thermalis* „mező” a püspökfürdői termálvíz tó felszínén, 2006-ben (Forrás: Venczel Márton nagyváradi paleontológus felvétele, írásos engedélyével bemutatva).....514
309. **ábra** A püspökfürdői termáltó üledékébe mélyített szelvény Mollusca faunájának dominancia változásai szelvény mentén (Forrás: saját ábra).....516
310. **ábra** A bordás homorcsa csiga (*Melanopsis parreyssi*) a püspökfürdői szelvény felszínközeli rétegéből (Forrás: saját fotó).....517
311. **ábra** Recens *Melanopsis* taxonok 18S mitokondriális sorozatán végzett genetikai elemzés eredménye, molekuláris óra alapján megrajzolt hipotetikus filogenetikus elágazások (Forrás: researchgate: Smolen,

- M., Falniowski, A. 2009. Molecular phylogeny and estimated time of divergence in the central European Melanopsidae: Melanopsis, Fagotia and Holandriana (Mollusca: Gastropoda: Cerithioidea). *Folia Malacologica*, 17(1). nyomán átrajzolva - az első szerző írásos engedélyével közölve)518
312. **ábra** A kiszáradt püspökfürdői termáltó – három, közte a homorcsa csiga (*Melanopsis parreyssi*) Kárpát-medencei endemizmus a kihalás szélére került (Forrás: Dr Müller Tamás felvétele – írásos engedélyével közölve)519
313. **ábra** (Rakovitza kele (*Scardinius racovitzai*) püspökfürdő endemikus, kihalás szélén lévő halfaja (Forrás: wikipedia).....519
314. **ábra** A kambrium kezdetétől, a Burgess palából is ismert *Hyolitha* rekonstrukciója és fosszilis héja. A faj az eddigi adatok alapján a paleozoikum végén kihalt (Forrás: wikipedia és European Collection anyag alapján kialakított új összeállítás).....520
315. **ábra** Jura időszakbeli, mára kihalt osztrigafaj, az aszimmetrikus házat felépítő *Gryphaea* (ördögkarom osztriga) nemzetségbeli *Gryphaea arcuata* fosszília oldalnézetből fotózva. A bal teknő búbosan elcsavarodott, a jobb teknő lapos. Ez a már kihalt nemzetség se sekély tengeri aljzatot borított pad formájában a triász időszaktól az eocén időszakig. Ebben a megközelítőleg 200 millió éves időtartamban két virágkora alakult ki az ördögkarom osztrigáknál, az első a jura időszakban, a második az eocén időszakban, közvetlenül a kihalás előtt fejlődött ki (Forrás: wikipedia).....521
316. **ábra** Jura időszakbeli, mára kihalt osztrigafaj, az aszimmetrikus házat felépítő *Gryphaea* (ördögkarom osztriga) nemzetségbeli *Gryphaea arcuata* fosszília alulnézetből, jobb teknő irányából fotózva, bal és jobb teknő megjelöléssel (Forrás: wikipedia).....522
317. **ábra** Mezozoikum végén, a kréta időszakban zátonyalkotó, ősi pachyodont (durván egyenlőtlen) fogazatú, erősen aszimmetrikus héjakkal rendelkező, kihalt *Hippurites* kagyló fosszília oldalirányból fotózva, jobb teknő és bal teknő megjelöléssel (Forrás: wikipedia - átalakítva).....523
318. **ábra** A paleozoikum végétől (cc. 300 millió évtől) a harmadidőszak kezdetéig (cc. 55 millió évig) élő, mára már kihalt ősi hasadtfogú tengeri *Trigonia* kagyló fosszilis példánya. A teknők kapcsolatát alkotó „fogak” száma háromra redukálódott ennél a taxonnál, amelyből egy az egyik héjon, kettő a másikon helyezkedik el. Az egymagában álló fog sokszor elágazik, innen a „hasadt fog” megnevezés. (Forrás: European Collection szabadon letölthető, felhasználható ábra)523
319. **ábra** Tasmania és Ausztrália sekély tengerparti vizeiben ma is élő, a kihalt *Trigonia* félékkel párhuzamosan 1802-ben felfedezett hasadtfogú *Neotrigonia* kagyló jobb és bal teknője (Forrás: wikipedia).....524
320. **ábra** Iszapkagyló (*Panopea generosa*) közel 50 cm hosszúságú szifóval (Forrás: wikipedia).....524
321. **ábra** Az első édesvízi kagylók az amerikai középső devon rétegekben feltárt *Archanodon* taxonok (Forrás: researchgate: Chamberlain Jr, J.A., Chamberlain, R.B. 2014. The Devonian bivalve, *Archanodon catskillensis*: A status report on the first freshwater mussel from New Jersey. Rainforth, E. (ed.) *Contributions to the Paleontology of New Jersey II.*, 24-40.).....525
322. **ábra** Egy közel ezer éves 50 hektáros (a fotózott központi területén 10 hektáros), több méter magas „Calusa indián” kagylóhalom a sekély vízi floridai (dunedini Pineland) eusztárium rendszerben, egy vízparti szigeten kialakítva. A történelmi és régészeti emlékhely Florida nyugati részén, Fort Myeris város előterében a tengerparton található (Forrás: az első szerző felvétele 2005-ből)526
323. **ábra** „Calusa indián” kagylóhalom döntően kagylóhéjából álló rétegei a Randell floridai (dunedini Pineland) történelmi és régészeti centrumból. A történelmi és régészeti emlékhely Florida nyugati részén, Fort Myeris város előterében a tengerparton található (Forrás: az első szerző felvétele, 2005)527
324. **ábra** „Calusa indián” kagylóhalom döntően összehordott kagyló- és csigahéjából és áradások (tengerszint emelkedések) nyomán kialakult rétegeinek váltakozása – rekonstruált életkép a Randell floridai (dunedini Pineland) történelmi és régészeti centrumból. A történelmi és régészeti emlékhely Florida nyugati részén, Fort Myeris város előterében a tengerparton található (Forrás: az első szerző felvétele, 2005).....528

325. **ábra** *Mercenaria campechiensis* (nehéz kagyló: A jelzésű rész) „Calusa indián” kagylóhalom egyik igen jelentős gyűjtögetett kagylóanyaga, amelynek félbevágott és csiszolt héjain (B jelzésű rész) jól láthatók az évszakos növekedési vonalak még makroszkóposan is, de mikroszkópi felvételen (C jelzésű rész, W = téli félévben kialakult növekedési vonalak) szinte a napi növekedési vonalak is elkülöníthetőek. A Randell floridai (dunedini Pineland) történelmi és régészeti emlékhely és bemutató Florida nyugati részén, Fort Myeris város előterében a tengerparton található (Forrás: az első szerző felvétele, 2005).....529
326. **ábra** A Nagykörű Tsz Gyümölcsös régészeti lelőhelyen feltárt Körös gödör *Unio* héjakkal kitöltött egykori talajjal kevert anyaga (Forrás: az első szerző felvétele)530
327. **ábra** Évgyűrű elemzésre elkészített *Unio* kagylómetszet a gorzcai késő neolitikum kagylóanyagából (Forrás: az első szerző felvétele)531
328. **ábra** Napjainkban is fennmaradt külső vázas fejlábú (*Nautilus pompilius*) (Forrás: wikipedia-kiegészítve).....533
329. **ábra** *Cephalopoda* (Fejlábúak, Lásbasfejűek) összehasonlító evolúciója és a törzsfajlás során kialakult anatómiai változások (1 = *Monoplacophora* szerű élőlények megjelenése, 2=Valódi *Monoplacophora* taxonok megjelenése, gladius = már kihalt belső vázasok egyenes, római kardra emlékeztető belső karbonátos izomtápadási testrésze (Forrás: wikiwand - módosítva).....535
330. **ábra** Külső vázas fejlábúak (*Nautilus*-féle) héjmetszetének anatómiája (Forrás: wikipedia - kiegészítve).....536
331. **ábra** A felcsavarodott külső vázas kihalt lásbasfejűek - ammoniteszek kamra varratvonal (szutura) típusainak kifejlődése időben (1 = nyereg, 2 = lóba, K = Karbon időszak, P = Perm időszak, T = Triász időszak) (Forrás: wikipedia - kiegészítve)537
332. **ábra** Ép házzal fosszilizálódott ammonitesz, *Jeletzkytes* taxon az észak-amerikai kréta rétegekből (Forrás: wikipedia - kiegészítve)538
333. **ábra** Különböző ammonitesz és kagyló taxonok gyöngyház rétegének összehasonlító nagy felbontású pásztázó elektronmikroszkópiás (SEM) elemzése (Sessa, J.A., Larina, E., Knoll, K., Garb, M., Cochran, J. K., Huber, B.T., Landman, N.H. 2015. Ammonite habitat revealed via isotopic composition and comparisons with co-occurring benthic and planktonic organisms. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(51), 15562-15567. – első szerző [corresponding author] írásbeli engedélyével közölve)539
334. **ábra** Kihalt devon időszaktól a kréta időszak végéig létezett belső vázas fejlábúak, *Belemnites* lágy testének belső részén elhelyezkedő aragonitból felépülő rostrum észak-amerikai kréta rétegekből (Forrás: wikipedia - kiegészítve)540
335. **ábra** Kihalt belső vázas *Belemnites* kréta időszaki fosszília lágy test és karok körvonalával, gladiussal, radula nyelv, és emésztőrendszer maradványaival, lenyomataival (Forrás: wikipedia – kiegészítve) 542
336. **ábra** Korai, devon időszaki, evolúciós szempontból, ammoniteszek eredete szempontjából kiemelkedő jelentőségű *Bactritida* rendhez sorolható *orthoconicus* (egyenes, felcsavarodás mentes) taxon maradványa (Forrás: wikiwand - kiegészítve)543
337. **ábra** Jura időszaki *Neohetoceras* ammonitesz németországi unikális maradványa papagájszervű szájszervvel (aptichus-al = 1), siphon maradvánnyal (= 2), és jura időszaki, mára kihalt *Saccocoma* csalánozó táplálék maradvánnyal az egykori ammonitesz bélcsatornába (= 3) (Forrás: researchgate: Ritterbush, K.A., Hoffmann, R., Lu Lukeneder, A., De Baets, K. 2014. Pelagic palaeoecology: the importance of recent constraints on ammonoid palaeobiology and life history. *Journal of Zoology*, 292, 229-241. az első szerző [corresponding author] írásos hozzájárulásával bemutatva)544
338. **ábra** Egy lebegő – úszó életmódot folytató kihalt csalánozó (*Saccocoma*) jura időszaki lenyomata. Ez a taxon gyakran volt az ammoniteszek zsákmánya (Forrás: wikipedia – kiegészítve)546
339. **ábra** *Damesites damesi* ammonitesz kőből kamráválaszfalainak mikrocomputer tomográfiai képe a = *Damesites damesi* kőből normális fényben fotózva, b) tomográfban felszíni réteget fotózva, c) microtomográf (CT) sekély mélységű felvétel 3D-ben, d) microtomográf (CT) felvétel középső mélységű szakaszban fotózva, e) keresztmetszeti kép, és keresztmetszeti kép kinagyítva, f) 3D-be

- elforgatott microtomográfias felvétele az e jelzésű szeptum (kamraválaszfal) keresztmetszeti képnek, g) az e jelzésű szeptum (kamraválaszfal) keresztmetszeti képe 90 ° elforgatva, (a képen belüli jelzések: e = külső lóba, u = köldök lóba, i = belső lóba, fehér csík = skála = 5 mm) (Forrás: researchgate: Inoue, S., Kondo, S. 2016. Suture pattern formation in ammonites and the unknown rear mantle structure. Scientific reports, 6, 33689, az első szerző [corresponding author] írásos engedélyével bemutatva).....547
- 340. ábra** Ammoniteszek ház számítógépes szimulációs modell kísérlete – az áramló vízben tesztelése az ammonitesz háznak (Forrás: Szalapaj, P. 2014. Contemporary architecture and the digital design process. Routledge, London, Allison, P.A., Sutton, M.D., Gorman, G.J., Piggott, M.D. 2018. Computational Fluid Dynamics Of Oxycone Ammonites. Hebdon, N., Ritterbush, K. A., Choi, Y. 2020. Computational fluid dynamics modeling of fossil ammonoid shells. Palaeontologia Electronica, 23(1). Fitos, A. 2018. Ismeretlen ismerősök: az Ammonoideák titkos élete.)549
- 341. ábra** Kambrium időszakának fiatalabb szakaszából származó még egyenes házzal rendelkező korai Cephalopoda (Nautilus féle) taxon háza és keresztmetszete, kamrákkal és középen a szifóval (Forrás: <https://fossiilid.info>).....549
- 342. ábra** Ordovicium időszakából származó még enyhén görbült házzal rendelkező korai Cephalopoda (Nautilus-féle) (Forrás: <https://fossiilid.info>)550
- 343. ábra** Szilur időszakból származó, már felcsavarodásnak indult házzal rendelkező Cephalopoda (Ammonitesz-féle) (Forrás: <https://fossiilid.info>).....550
- 344. ábra** A legjelentősebb hosszúsággal rendelkező egyenes házú kora paleozoikumi Cephalopodák (Orthoceras, Cameroceras, Endoceras) összehasonlító mérete [A és B = több méter hosszúságú Orthoceras – Nautilus féle egyedek a szilur időszakból, palás üledékből, C = egy kisebb méretű Orthoceras, E = mintegy 10 méteres hosszúságú Endoceras giganteum (Nautilus féle) Ordovicium időszak második feléből, F = mintegy 5 méteres hosszúságú Endoceras giganteum (Nautilus féle) Ordovicium időszak második feléből, 3 méteres hosszúságú Deiroceras hollardi Devon időszakból, H = tengeri skorpió (Eruptyrgii) Jaekelopterus rhenaniae a Devon időszakból, J = Hungioides bohemicus, 90 cm hosszú Trilobita, I = 50 cm átmérőjű Carinoceras, Devon időszakból (Forrás: wikipedia – kiegészítve).....552
- 345. ábra** Néhány késő kréta időszakából származó heteromorf ammonitesz a, b, c = Didymoceras nebrascense, d = Hyphantoceras reussianum, d = Mariella (Wintonia) brazoensis, f = Baculites anceps pacificus, (Forrás: wikipedia - kiegészítve).....553
- 346. ábra** A paleohidrológiai elemzéseknél felhasznált rekonstrukciós modell az ammoniteszek nemzedékváltozásához kapcsolható élőhely (habitat) váltások napjainkban (recensen), a kainozoikumban és a mezozoikum során (Forrás: researchgate: Ritterbush, K.A., Hoffmann, R., Lu Lukeneder, A., De Baets, K. 2014. Pelagic palaeoecology: the importance of recent constraints on ammonoid palaeobiology and life history. Journal of Zoology, 292, 229-241. – kiegészítve, magyarra fordítva).....555
- 347. ábra** A felsőőrsi Forráshegyi védett geológiai feltárásánál Gulyás tanár úr terepgyakorlatot vezet (Forrás: Csökmei Bálint intézeti mérnök felvétele – hozzájárulásával közölve).....556
- 348. ábra** A Vászolyi Formáció rétegoszlopa a szentkirályszabadjai feltárásban az ammonoidea biosztratigráfiai beosztás feltüntetésével (Forrás: Vörös, A. 1993. Redefinition of the Reitzi Zone at its type region (Balaton area, Hungary) as the basal zone of the Ladinian. Acta Geologica Hungarica, 36(1), 15-38, a szerző írásos engedélyével közölve)557
- 349. ábra** Triász korú nektonikus ragadozó életmódot folytató, egész Tethys és Pacifikus régióban elterjedt, a magyarországi anisusi képződményekben is előkerült Ptychites ammonitesz taxon (Forrás: wikipedia - kiegészítve)558
- 350. ábra** A Tethys ósöceán területén több helyen megtalált Balatonites balaticus ammonitesz típuspéldánya a Balatonfelvidéki Menciahely község középső triász rétegsorából (Forrás: Dr. Főzy István címzetes egyetemi tanár felvétele, írásos engedélyével bemutatva).....558

351. **ábra** Arpadites ammonitesz a nemesvámosi Katrabóca középső triász rétegsorából (Forrás: Dr. Főzy István címzetes egyetemi tanár felvétele, írásos engedélyével bemutatva).....559
352. **ábra** Tatai geológiai kert felső triász és jura rétegsorának részlete (Forrás: Dr. Molnár Dávid egyetemi adjunktus terepgyakorlati felvétele - hozzájárulásával közölve)560
353. **ábra** A triász időszakra jellemző, triász végén kihalt vastag falú, szív alakú Megalodus kagyló egy példánya (Forrás: wikipedia - kiegészítve)562
354. **ábra** Megalodus kagylók egykori élőhelyzetben betemetődve, beágyazódva a felső triász korú Dachsteini Mészköben, a lofer ciklus C tagjában (Forrás: wikipedia - kiegészítve)562
355. **ábra** Ammonitico rosso kőzetfácies, mélytengeri környezetben képződött vörös színű, hematitban gazdag, ammoniteszek maradványait tartalmazó mészkő – hazánkban, a Gerecsében több helyen is vörös márvány néven díszkőnek bányászták (Forrás: wikipedia – kiegészítve)563
356. **ábra** Calpinoella plankton lény 40 - 250 µm átmérőjű meszes vázainak maradványai kréta mészkőben (Forrás: researchgate: Császár, G., Haas, J., Sztanó, O., Szinger, B. 2012. From Late Triassic passive to Early Cretaceous active continental margin of dominantly carbonate sediments in the Transdanubian Range, Western Tethys. Journal of the Alpine Geology, 54, 33-99.- a szerzők írásos engedélyével közölve)567
357. **ábra** Turrilites ammonitesz taxon kréta képződményből, a pénzegyőri Turrilites márga egyik vezérvözelete (Forrás: wikipedia- kiegészítve).....567
358. **ábra** Mortonicerias ammonitesz taxon, pénzegyőri Turrilites márga egyik vezérvözelete, kréta képződményből (Forrás: wikipedia- kiegészítve).....568
359. **ábra** Heteromorf Anisoceras taxon, pénzegyőri Turrilites márga egyik vezérvözelete, kréta képződményből (Forrás: wikipedia - kiegészítve).....568
360. **ábra** Heteromorf Anisoceras taxon, pénzegyőri Turrilites márga egyik vezérvözelete, kréta képződményből (Forrás:.....).....569
361. **ábra** Recens mohaállat egyed és felépítése [1= merev hátsó rész, az ún. „cisztídium”, 2 = tapogatók (loforák), 3 = végbél, 4 = védő perem (operculum/lunárium), 5 = ovárium, 6 = gyomor, 7 = appertúra (szájadék), 8 = tok (zoécikum)] (Forrás: wikipedia - kiegészítve)571
362. **ábra** Fossilizálódásnak indult édesvízi mohaállat telep rész, fossilizálódó zoécikum részek (Forrás: wikipedia).....572
363. **ábra** Pörgekarúak (Brachiopoda) héjanatómiája (Forrás: wikipedia, magyarra fordítva, kiegészítve) .575
364. **ábra** Fossilis kagylósférgék – pörgekarúak (Brachiopoda) kőzetalkotó mennyiségben jelentkező kettős héjai az észak-amerikai ordovicium időszakából (Forrás: wikipedia)576
365. **ábra** Az egyik legősibb pörgekarú taxon, a Lingula recens teknője (Forrás: wikipédia)578
366. **ábra** Fossilis Lingula (Lingulella) teknő az ordovicium időszaki üledékbe ágyazódva (Forrás: wikipedia).....579
367. **ábra** A Lingula teknőjének és nyelének a laza üledékben beasott életmóddal jellemezhető működési elve az árapályövezetben kialakított lazább üledékben kialakított lakócsőben (A = áradás idején, B = apálykor az üledékben kialakított lakócsőbe visszahúzódva) (Forrás: wikipedia - átalakítva)579
368. **ábra** Ma élő Lingula pörgekarú teljes külső felépítése, teknő, nyelv és nyelv rögzítő csőszerű váz (Forrás: wikipedia - kiegészítve)580
369. **ábra** Pörgekarúak (Brachiopoda) belső felépítése (Forrás: wikipedia – kiegészítve, magyarra fordítva), karnak nevezett részek valójában kopolyúk580
370. **ábra** A pörgekarúak teknőjének szerkezete A = másodlagos héjrég, B = köpeny, a karoknak nevezett részek valójában kopolyúk (Forrás: wikipedia – kiegészítve, magyarra fordítva)581
371. **ábra** Ordovicium időszaki rekonstruált epibentosz életkép a déli sark környezetéből, korallokkal, pörgekarúakkal, graptoliteszekkel, orthoceras lábasfejűekkel, tengeri liliomokkal, soksejtű algákkal, trilobitákkal és pörgekarúakkal (Forrás: wikipedia)584
372. **ábra** Paleohidrológiai szempontból is kiemelkedő jelentőségű Jack Sepkoski amerikai (chicagói) paleontológus által kialakított fejlődéstörténeti görbe az utolsó 540 millió évre vonatkozóan.....585

373. **ábra** Devon időszaki, legnagyobb méretű pörgekarú, *Gigantoproductus giganteus* taxon (Forrás: wikipedia – kiegészítve, magyarra fordítva)586
374. **ábra** Bakonyi jura pörgekarú fauna diverzitásának változása a globális és lokális paleohidrológiai tényezők átalakulásának tükrében (Forrás: Vörös, A. 1982. A bakonyi pliensbachi brachiopoda fauna rétegtani értékelése. Földtani Közlöny, 112, 351–361 - a szerző írásos engedélyével közölve).....589
375. **ábra** Bakonyi jura időszakra tehető tektonikus események nyomán kialakult vetők mentén felső triász korú Dachsteini Mészkö bázisán létrejött tenger alatti lépcsős felszínek (seamountok, lejtők, medencék), és ennek nyomán kialakult eltérő élőhely sorozatok, amelyek alapvetően befolyásolták a pörgekarú fauna kifejlődését (Császár, Vörös, Galács, 1998 nyomán – a szerzők írásos engedélyével közölve).....590
376. **ábra** Hierlatzi fáciesben felhalmozódott brachiopoda és kristályos kalcittal cementált selymes fényű brachiopoda héjakból álló mészkő a gerecséből (Forrás: Dr. Dulai Alfréd tárgazgató, Magyar Természettudományi Múzeum, Őslénytani és Földtani Tárban dolgozó paleontológus írásos hozzájárulásával bemutatva)591
377. **ábra** Tüskésbőrű (Echinodermata) testfelépítésének vázlata (Forrás: wikipedia) A= gonad, B=mészlemez, C=végbélnyílás, D=ambulakrális lábacsák, E=vízedény-rendszer, F=szájadék, G=bélcsatorna, H=mésztüskék593
378. **ábra** Tengeri sünök ambulakrális lábainak kilépési pórusaival (Forrás: wikipedia)593
379. **ábra** Fosszilis, ordovicium időszaki tengeri sün (*Echinosphaerites aurantium*) maradványa Észtországból (Forrás: wikipedia)594
380. **ábra** Fosszilis tüskésbőrűekhez sorolt, napjainkban is létező tengeri lilium (*Crinoidea*) maradványa a jura időszakból (Forrás: wikipedia)594
381. **ábra** Fosszilis tüskésbőrűekhez sorolt, napjainkban is létező tengeri lilium (*Crinoidea*) maradványa a karbon időszakból (Forrás: wikipedia).....596
382. **ábra** Már kihalt kígyókarúakhoz sorolható, *Ophiopetra lithographica* fossziliája a jura időszakból (Forrás: wikipedia).....597
383. **ábra** Fosszilis tüskésbőrűekhez sorolt, napjainkban is létező tengeri lilium (*Crinoidea*) kehely maradványa a szájadék- és a végbélnyílással, a jura időszakból (Forrás: wikipedia).....598
384. **ábra** Fosszilis tengeri lilium erdő kialakulása fenyő uszadék fára tapadva, kolonizálva az alsó jura időszaki bitumenes olajpalából, Holzmaden, Németországból (Forrás: Urwelt Múzeum, Hauff honlapja).....599
385. **ábra** *Pentacrinus subanularis* jura időszaki tengeri lilium kapaszkodó kacsokkal egykori uszadék fára tapadva a Holzmadeni alsó jura elzárt medence részben fosszilizálódva (Forrás: catawiki)601
386. **ábra** Triász/jura határán kialakult, vulkanizmus indukálta környezeti változások nyomán kifejlődött kihalás hullám geológiai – paleoklimatológiai – paleohidrológiai háttere (Forrás: researchgate: Wigall, 2001 nyomán Pálffy József akadémikus módosításaival)603
387. **ábra** *Miocidaris coeva* triász időszaki tengeri sün, kivételesen jól, tüskékkel együtt fosszilizálódott példánya (Forrás: wikiwand)605
388. **ábra** *Archaeocidaris brownwoodensis* ritka paleozóos tengeri sünök egyik taxonja, kivételesen jó megtartásban karbon kori tengeri üledékből (Forrás: wikiwand)606
389. **ábra** *Clypeus plotti*, az inbentoszban élő tengeri sünök jura időszaki jellegzetes képviselője (Forrás: wikiwand).....608
390. **ábra** *Clypeaster portentosus* az inbentosz (aljzatbeli) életmódhoz alkalmazkodott, már megnyúlt alakú tengeri sün miocén tengeri üledékből (Forrás: wikiwand)609
391. **ábra** A *Paratethys* tengerág központi részének elhelyezkedése és kiterjedése a miocén időszak badeni emeletében (Forrás: wikipedia)614
392. **ábra** A *Paratethys* északi partvidékén a miocén időszak badeni emeletében elterjedt, a középkor perzsa tudósról elnevezett *Avicennia* (fekete) mangrove mocsár ma is élő kifejlődése Floridában (Forrás: wikipedia).....616

- 393. ábra** A tengeri és óceáni mélységzónák elhelyezkedése (Forrás: wikipedia – magyarra fordítva, módosítva), zónák: A = nyílttengeri (pelagikus), aljzat nélküli víztömeg, 1 = sekélytengeri (neritikus), 2 = óceáni, 3 = littorális (hullámverési), 4 = epipelágikus, A tengeri és óceáni mélységzónák elhelyezkedése (Forrás: wikipedia – magyarra fordítva, módosítva), zónák: A = nyílttengeri (pelagikus), aljzat nélküli víztömeg, 1 = sekélytengeri (neritikus), 2 = óceáni, 3 = littorális (hullámverési), 4 = epipelágikus, 5 = szublittorális, 6 = mezopelágikus, 7 = batiális mélységig nyúló kontinentális lejtő, 8 = bentosz vagy más néven aljzat, 9 = batiopelágikus szint, 10 = abisszopelágikus szint, 11 = abisszikus síkság, 12 = hadális (mélytengeri árkok) szintje.....617
- 394. ábra** *Cypris pubera* édesvízi kagylósrák (osztrakoda) teknő a Kolon-tavi fúrásszelvény pleisztocén (jégkor) végi rétegéből (Forrás: Sümegi et al. 2011).....619
- 395. ábra** Jura végi/kréta időszak kezdeti paleohidrológiai környezetek és kagylósrák (Ostracoda) jelzőfaunáik a déli-angliai Wealden rétegsorából (Forrás: új, eredeti ábra).....620
- 396. ábra** *Cyamocytheridea* nemzetségbe sorolt kagylósrák (osztrakoda - Ostracoda) bal oldali teknőjén jól látható, határozáshoz felhasználható izom benyomatok pásztázó elektronmikroszkópiás (SEM) felvételen (Forrás: wikipedia).....622
- 397. ábra** Texasi perm időszaki üledékből készített vékonycsiszolat Ostracoda héj metszetével (Forrás: wikipedia).....622
- 398. ábra** Szilur időszaki óriás növekedésű kagylósrák (Ostracoda) héjak tengeri üledékből (Forrás: wikipedia).....623
- 399. ábra** Tömegesen fellépő kőzetépítő mennyiségű kréta édesvízi (tavi) kagylósrák (Ostracoda – Cypridae taxonhoz tartozó) egyedek (Forrás: wikipedia)623
- 400. ábra** Burma területéről származó kréta időszaki gyantába (borostyánba) ágyazott 1 cm nagyságot is meghaladó óriási méretű kagylósrák (Ostracoda) (Xing, L., Sames, B., McKellar, R., Xi, D., Bai, M., Wan, X., 2018. A gigantic marine ostracod (Crustacea: Myodocopa) trapped in mid-Cretaceous Burmese amber. Scientific Reports, 8, 1365. www.nature.com/articles/s41598-018-19877-y *OPEN ACCESS, az első szerző [corresponding author] írásos engedélyével közölve)624
- 401. ábra** Az élő kagylósrákok külső jellegzetességei nyitott teknőknél (Forrás: Japan Ostracoda Research at Lake Biwa Museum, Japan: https://www.biawahaku.jp/smith/ostracod_carapace.html, Dr Robin James Smith, Lake Biwa Museum, Kusatsu, Japán, írásos engedélyével bemutatva)625
- 402. ábra** Nöstény élő kagylósrák (*Cypridina mediterranea*) anatómiai felépítése (Forrás: wikipedia) ai = antenulla, a = antenna, fs = frontális ízesülése az antenna (végtag) párnak, md = mandibulák, oc = egyetlen (küklopsz) szem, aw = páros szem, oft = felső-ajak, h = szív, m = gyomor, s = teknőhéj, q = ivarmirigy, fi = első láb, mxi = első maxilla, mx-z = második maxilla, sm = fu = furca, f2 = tisztogató láb, sm = héjtechnőket záró izom.....626
- 403. ábra** *Hemicypris vulgaris* kagylósrák taxon bal teknőjén kimutatott fogacskák (szabályos marginális kinövések) pásztázó elektron-mikroszkópos (SEM) felvételen (felső ábra), *Cyprinotus eunoi* kagylósrák taxon jobb teknőjének peremén kimutatott fogacskák (szabályos marginális kinövések) normál mikroszkópi felvételen (Forrás: Ostracoda Research at Lake Biwa Museum, Japan: https://www.biawahaku.jp/smith/ostracod_carapace.html, Dr Robin James Smith, Lake Biwa Museum, Kusatsu, Japán írásos engedélyével bemutatva).....629
- 404. ábra** *Candocypris novaezeelandiae* héjon és héjperemen kimutatható pórussok és a párologtató zónát alkotó marginális pórussor (Forrás: Dr Robin James Smith Lake Biwa Museum Kusatsu, Japan Ostracoda Research at Lake Biwa Museum, Japan: https://www.biawahaku.jp/smith/ostracod_carapace.html, Dr Robin James Smith, Lake Biwa Museum, Kusatsu, Japán írásos engedélyével bemutatva).....630
- 405. ábra** A Balatoni tómeder nép elnevezésű részei (Forrás: Sümegi et al. 2020)632
- 406. ábra** *Cytherissa lacustris* pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) felvétele (Forrás: researchgate: Mischke, S., Herzschuh, U., Sun, N., Qiao, Z. H., Sun, Z. 2006. A large Middle Pleistocene freshwater to oligohaline lake in the contemporary hyperarid Qaidam Basin (China). Episodes, 29, 34.) – a bal oldali héj hosszúsága: 758 µm.....633

407. **ábra** *Cytherissa lacustris* nőstény bal oldali héjának mikroszkópi felvétele (Forrás: Ostracoda Research at Lake Biwa Museum, Japan: https://www.biwahaku.jp/smith/ostracod_carapace.html, Dr Robin James Smith, Lake Biwa Museum, Kusatsu, Japán írásos engedélyével bemutatva).....633
408. **ábra** Pliocén időszaki, fosszilis tengeri makk (*Balanus*) (Forrás: wikipedia).....634
409. **ábra** Ágascsapú rákok (Crustacea) anatómiája *Daphna magna* (nagy vízibolha) példáján (Forrás: wikipedia) 1. = fejpajzs pórusokkal, 2. = összetett szem, 3. = szív, 4. = héj, 5 = bélcsatorna, 6 = elsődleges antennák, 7 = másodlagos antennák, 8 = szájadék, 9 = szemecske, 10 = torlábak, 11 = hasi tüske, 12 = végbél, 13 = héjtüske (végkarom), 14 = költőüreg petékkel635
410. **ábra** Ágascsapú rákok (Crustacea) tartós petéje (*ephippiuma*) (Forrás: wikipedia)636
411. **ábra** Az utolsó interglaciális korú lengyelországi tavi rendszerből előkerült, tőzegrétegben elterjedt *Chydorus sphaericus* (1) és a kőzetlisztben gazdag, minerorganikus tavi rétegekben elterjedt *Monospilus dispar* (2) ágascsapú rák maradványok (Forrás: researchgate Niska, M. 2012. Fossil Cladocera remains in the Eemian sediments-preservation, frequency and dominant species. *Studia Quaternaria*, 29, 31-43 – a szerző írásos engedélyével közölve).....638
412. **ábra** Remeterák (*Pagurus bernhardus*) közönséges kürtcsiga házba húzódba (Forrás: wikipedia).....642
413. **ábra** Pálmatorvaj rákok (*Birgus latro*) éppen „munkába” (kókuszdióért) indulnak a kókuszpálma törzseken a francia Polinézia területéhez tartozó Bora Bora szigetén (Forrás: wikipedia)643
414. **ábra** A sarkvidéken élő, világítórákoknak (krillnek) egyik fontos faja, az északi krill (*Meganyctiphanes norvegica*) (Forrás: wikipedia)643
415. **ábra** *Maja biaensis* középső miocén (bádeni emelet) korú Decapoda (tízlábú rák) fosszilis fejpáncélja (cephalon) (Forrás: Dr. Dulai Alfréd tárigazgató, Magyar Természettudományi Múzeum, Őslénytani és Földtani Tárban dolgozó paleontológus írásos hozzájárulásával bemutatva)645
416. **ábra** Földünkön valaha élt legnagyobb méretű ízeltlábúakhoz, eurypteridákhoz tartozó *Eurypterus remipes* az észak-amerikai szilur rétegekből (Forrás: wikipedia).....646
417. **ábra** Fosszilis törzfarkú (*Mesolimulus*) a felső-jura korú solnhofeni litográf palából (Forrás: wikipedia)647
418. **ábra** Atlanti törzfarkú (*Limulus polyphemus*) nőstény a héján meglepedő, parazita *Crepidula* csigákkal (Forrás: wikipedia).....648
419. **ábra** *Sergentina coracia* árvaszúnyog kitines fejmaradványa Sziklás-hegység holocén tavi üledékből (Forrás: <https://www.nps.gov/articles/alpine-lakes-glaciers-and-benthic-invertebrates.htm>).....649
420. **ábra** Hím árvaszúnyog (*Chironomidae*) maradványa eocén időszaki baltikumi borostyánban, Lengyelországból (Forrás: wikimedia commons)650
421. **ábra** *Amplexograptus graptolita* az Egyesült Államokbeli Tennessee államban található ordovicium időszaki tengeri üledékes kőzetből (Forrás: wikipedia).....652
422. **ábra** *Monograptus graptolita* csehországi szilur agyagpalában (Forrás: új, saját fotó a Földtani és Őslénytani Tanszék gyűjteményéből).....652
423. **ábra** Graptoliteszek változatos formái, az eltérő ópaleozoós tengeri környezethez alkalmazkodásának és a törzsféjlődés hatásának példái (Forrás: researchgate: Maletz, J. 2017. *Graptolite paleobiology*. John Wiley, New York)653
424. **ábra** Graptolita zooid rekonstruált felépítése (Forrás: wikipedia - átalakítva, magyarra fordítva és kiegészítve) 1 = tentaculatak (tapogatók = csápok), 2 = tapogatókat tartó karpár, 3 = tubus felszíni rostokkal, 4 = sztolon (stolon) – fonál, 5 = végbél, 6 = gallér, 7 = szájadék, 8 = fejpajzs, 9 = szikula, 10 = theca, 11 = fonál (stipe), 12 = szájadék.....654
425. **ábra** Szilur időszaki litofáciések és graptolita biofáciések tengeri üledékgyűjtő medencében (Forrás: wikipedia – átalakítva, magyarra fordítva és kiegészítve) 1 = epipelágikus graptolitesz taxonok, 2 = kontinentális lejtő igen fajgazdag és jelentős egyedszámú graptolitesz faunákkal, A = keresztrétegzett homokkő, mészkő, mésziszap graptolitesz maradványok nélkül, B = mészkő és mésziszap epipelágikus lebegő és iszapba rögzült graptolitesz formákkal, C = tengeri mészkő és mésziszap gazdag lebegő graptolitesz taxonokkal, D = fekete péletes agyagpala diverz és egyedszámban a

leggazdagabb graptolitesz faunákkal (oxigén szegény aljzattal – pusztulási [letális] zóna a graptoliteszek számára).....	655
426. ábra Halak törzsfjlődésének egyik kladisztikus változata a geológiai időben (Forrás: wikipedia - átalakítva).....	659
427. ábra Chordata törzsfjlődése geológiai időben (Forrás: wikipedia - átalakítva).....	659
428. ábra Chordata törzsfjlődésének egyik kladisztikus változata, morfológiai és hormon adatok nyomán (Forrás: wikipedia - átalakítva).....	660
429. ábra Sugárúszójú hal (Priscacara serrata) eocén időszaki fosszilis csontváza (Forrás: wikipedia)	660
430. ábra Recens csontos halak felszíni mintázatának és rejtő színezetének variációi (Forrás: researchgate: Keat-Chuan Ng, C., Aun-Chuan Ooi, P., Wong, W. L., Khoo, G. 2017. A review of fish taxonomy conventions and species identification techniques. Survey in Fisheries Sciences, 4, 54-93) 1 = foltos, 2 = vonalban foltos, 3 = rendfokozatszerűen csíkozott, 4 = sávozott, 5 = laterálisan csíkos, 6 = csíkozott, 7 = nyergesen (hátán) sávozott, 8 = pettyes, 9 = szemfoltos, 10 = peremen csíkozott, 11 = absztrakt módon sávozott (festett).....	661
431. ábra Recens halak formai változatossága (Forrás: researchgate: Keat-Chuan Ng, C., Aun-Chuan Ooi, P., Wong, W. L., Khoo, G. 2017. A review of fish taxonomy conventions and species identification techniques. Survey in Fisheries Sciences, 4, 54-93).....	662
432. ábra Ősi pikkelyes új valódi csontos hal fosszília (forrás: wikiwand)	663
433. ábra Legősibb placoid pikkely (Forrás: wikipedia)	664
434. ábra Carcharocles megalodon (óriásfogú cápa) kültakaró placoid pikkelyeivel rokon foga (Forrás: wikipedia).....	664
435. ábra Ázsiai csontnyelvű hal (Asian arowana) hal cikloid (kerek) pikkelye (Forrás: wikipedia).....	665
436. ábra Oreochromis andersonii arikai hal (Okawango delta tavi – mocsári rendszeréből) hal ktenoid (fésűs) pikkelye éves növekedésű részekkel (1...5 = éves növekedési részek) (Forrás: Davidson, T. A., Sayer, C. D., Perrow, M. R., Tomlinson, M. L. 2003. Representation of fish communities by scale sub-fossils in shallow lakes: implications for inferring percoid–cyprinid shifts. Journal of Paleolimnology, 30, 441-449)	665
437. ábra Fosszilis ganoid pikkelyek kréta időszaki Lepidotes egyed oldalán (Forrás: wikipedia)	666
438. ábra Alligátorhal (Atractosteus spatula) ganoid pikkelyében kifejlődött ganoid (zománc) réteg (Forrás: wikipedia).....	666
439. ábra A csak az ősi bojtosúszós halaknál (rajzos 3D rekonstrukciók) és a ma élő is élő, akváriumban is tartható tündös halaknál, ma is élő bojtosúszós halaknál (Crossopterygii – Sacropterygii) megtalálható kozmoid pikkely ((Forrás: wikiwand).....	667
440. ábra Hemicyclaspis (kihalt álkapocs nélküli – Agnatha) fosszília az amerikai Kaledon pászta rétegeiből (Forrás: wikipedia).....	668
441. ábra Lasanius problematicus (kihalt körszájú Cyclostomata) fosszília (Forrás: wikipedia)	668
442. ábra Cephalaspis lyelli (kihalt, a geológia egyik alapító egyéniségének Lyell-nek a nevét viselő cserepesbőrű – Ostracodermi) fosszília skóciai devon időszaki rétegekből (Forrás: wikipedia)	669
443. ábra Kihalt, napjainkban az álkapocs nélküli halakhoz (Agnatha) sorolt Conodont (konodonta) taxonok észak-amerikai (pennsylvaniai) karbon időszaki rétegekből (Forrás: wikipedia)	670
444. ábra Kihalt fejgerinchúros, Pikaia taxon fosszilis lenyomatai a kambriumi Burgess Palából, és 3D virtuális rekonstrukciója (Forrás: wikipedia)	671
445. ábra Középső kambrium korú, mintegy 530 millió éves Burgess Pala feltárása az ún. „Walcott” kőbányában, a kanadai Sziklás-hegységben. A lelőhely a nevét Charles Doolittle Walcott amerikai geológusról (1850-1927), a lelőhely felfedezőjéről és leírójáról, fosszilis faunájának első feltárójáról kapta (Forrás: wikipedia)	672
446. ábra Burgess Pala lelőhelye a Yoho Nemzeti Parkban, térképen (Forrás: wikipedia)	673
447. ábra Burgess Pala középső kambriumi rekonstruált élőlényei, életközössége, kihalt taxonokkal – kétféle elképzelésben (Forrás: wikipedia)	674

448. ábra Jól fosszilizálódott tengeri ízeltlábúak a középső kambrium kori Burgess Palából (Forrás: Kimmig, J., Strotz, L. C., Kimmig, S. R., Egenhoff, S. O., Lieberman, B. S. 2019. The Spence Shale Lagerstätte: an important window into Cambrian biodiversity. <i>Journal of the Geological Society</i> , 176, 609-619., fekete csíkok: 10 mm = (a), (e), (l) és 5 mm = (b) (c), (d), (f),(k) - az első szerző [corresponding author] írásos engedélyével bemutatva).....	675
449. ábra Kőrszájúak édesvízi képviselőjének, a folyami ingolnának (<i>Lampetra fluviatilis</i>) fejrégiója (Forrás: wikipedia).....	678
450. ábra <i>Petromyzon marinus</i> (tengeri ingolna) ovális szája koncentrikus gyűrűbe rendezett fogakkal, csontos, reszelős nyelvvel (Forrás: wikipedia).....	678
451. ábra <i>Cardipeltis bryanti</i> (<i>Ostracoderma</i> – cserepesbőrű) fosszília az észak amerikai Wyoming állambeli Bighorn hegység devon időszaki rétegeiből (Forrás: wikiwand)	680
452. ábra <i>Cephalaspis</i> (<i>Ostracoderma</i> – cserepesbőrű) fosszília (Forrás: wikipedia)	680
453. ábra <i>Berkania elegans</i> kihalt Anaspida (ősi, kihalt álkapocs nélküli hal) fosszília, és rekonstruált test-makett (Forrás: wikipedia)	681
454. ábra <i>Pharyngolepis oblongus</i> kihalt Anaspida (ősi, kihalt álkapocs nélküli hal) fosszília, és rekonstruált test-makett a göteborgi természettudományi múzeumban (Forrás: wikipedia).....	682
455. ábra <i>Shielia taiti</i> kihalt <i>Thelodont</i> (ősi, kihalt álkapocs nélküli hal) fosszília, és rekonstruált testfelépítés rajzok (Forrás: wikipedia)	682
456. ábra <i>Rhinopteraspis</i> kihalt <i>Heterostraci</i> (ősi, kihalt álkapocs nélküli hal) fosszília, és rekonstruált testfelépítés rajzok (Forrás: wikiwand).....	683
457. ábra <i>Heterostraci</i> (ősi, kihalt álkapocs nélküli hal) fosszilis pikkelyei (Forrás: fossilinfo).....	684
458. ábra <i>Acanthodes</i> (tövises őscápa) fosszília a tokiói természettudományi múzeum kiállításán és rekonstruált képe a szilurból (Forrás: wikipedia)	685
459. ábra A páncélozott őshalak (<i>Placodermi</i>) megjelenése és eltűnése a földtani időben, legfontosabb rendjeik és kapcsolatuk a devon időszaki halakkal (Forrás: wikipedia)	686
460. ábra <i>Dunkleosteus terrelli</i> , mintegy 10 méter hosszú páncélozott devon időszaki őshal (<i>Placodermi</i>) fosszilis fejpáncélzata és rekonstrukciós rajza a heterocerk farokkal (Forrás: wikipedia).....	687
461. ábra Kifejlett példányainál 2 méteres kifejlődésű <i>Hybodus frassi</i> fiatal példánya jura időszaki solnhofeni litográf mészkőből (Forrás: wikipedia).....	689
462. ábra Fosszilis rája (<i>Spathobatis bugesiacus</i>) maradványa jura időszaki solnhofeni litográf mészkőből, a müncheni természettudományi múzeumban kiállítva (Forrás: wikipedia).....	690
463. ábra Fosszilis cápa fogak a Libanoni-hegység kréta időszaki képződményekből (Forrás: wikipedia) ..	690
464. ábra <i>Placoid</i> pikkelysorhoz hasonló cápa fog-sorok egy recens búvárcápa (<i>Dalatias licha</i>) állkapcsában (Forrás: wikipedia).....	691
465. ábra <i>Stethacanthus korai</i> , devon időszaki cápa taxon fossziliája és rekonstrukciója (Forrás: wikipedia)	692
466. ábra <i>Stethacanthus korai</i> , devon időszaki cápa taxon <i>kladodonta foga</i> (Forrás: fossil wiki)	692
467. ábra <i>Xenacanthiformes korai</i> , devon időszaki cápa taxon fossziliája és rekonstrukciója (Forrás: wikipedia).....	693
468. ábra Kihalt, a kréta és eocén időszakokban élt fűrészrája (<i>Sclerorhynchiformes</i>) ősmaradványa (Forrás: wikipedia).....	694
469. ábra <i>Cladoselache fylleri</i> devon időszakban élt, <i>kladont</i> típusú, kihalt cápa taxon fosszilis maradványa és rekonstrukciója (Forrás: wikipedia).....	695
470. ábra <i>Hybodus</i> cápa ősmaradványa <i>Belemnites</i> (ősi, kihalt tintahalakkal rokon puhatestű) rostrum maradványokkal a gyomrában (Forrás: wikipedia)	695
471. ábra Karbon időszaktól a triász kezdetéig élt, 4-7 méter hosszúságú kihalt <i>hibodont</i> típusú <i>Helicoprion</i> cápa alsó állkapcsában ülő, körfűrészre emlékeztető spirális fogazata és az állat rekonstrukciós rajza (Forrás: wikipedia).....	696

472. **ábra** A modern cápák fején megfigyelhető Lorenz ampullák (más élőlények által kibocsátott elektromos mezőt érzékelő szerv: 1 jelzéssel), a szem mögötti rés (szpirakulum: 2 jelzéssel) és az első kopolytú (3 jelzéssel) elhelyezkedése (Forrás: wikipedia).....697
473. **ábra** A kihalt, miocén – pliocén időszakban élt *Carcharocles megalodon* (óriásfogú cápa) állkapcsa egy mai emberrel összehasonlítva (Forrás: wikipedia)698
474. **ábra** A kihalt, miocén – pliocén időszakban élt *Carcharocles megalodon* (óriásfogú cápa) egy mai bűvár méretével összehasonlított rekonstrukciója (Forrás: www.timeknowledge).....699
475. **ábra** *Ischyodus avitus*, mai macskacápákra emlékeztető jura időszi tömörfejű cápa ősmaradvány Észak-Dakotából (Forrás: wikipedia)700
476. **ábra** Tengeri macska (*Chimaera monstrosa*), a tömörfejűek egyik mai képviselője (Forrás: wikipedia)700
477. **ábra** Bojtosúszós maradványhal (*Latimeria chalumnae*) fajnak egy 1968-ban az Indiai-óceáni Comore szigeteken kifogott 132 cm hosszú és 34 kg-os, a nantes-i (Franciaország) természettudományi múzeumban kiállított példánya (Forrás: wikipedia)703
478. **ábra** Kihalt, devon időszi, kifejtetlen mintegy 1,5 méteres ősi bojtosúszós halféle (*Eusthenopteron foordi*) ősmaradványa és rekonstruált makettje (Forrás: wikipedia).....703
479. **ábra** Az első kétéltű, a grönlandi és ausztráliai devon képződményekből kimutatott hallemmezű (*Ichthyostega*) csontmaradványai és rekonstrukciós ábrázolásai (Forrás: wikipedia)705
480. **ábra** Egy devon időszi *Panderichthys rhombolepis* maradványa restaurálás előtt (Forrás: fossilidinfo)706
481. **ábra** A devon időszi kétéltű labirintusfogúak (*Labyrinthodontia*) közé sorolható *Tiktaalik* ősmaradványa (Forrás: wikipedia).....706
482. **ábra** Egy evolúciós elképzelés a bojtosúszós halakból származtatott korai kétéltűek kialakulásáról a kor, a környezet és a fossziliák figyelembe vételével (Forrás: wikipedia).....706
483. **ábra** Egy evolúciós elképzelés a halakból származtatott első szárazföldi kétéltűek, a labirintusfogúak (*Labyrinthodontia*) fokozatos kialakulásáról (Forrás: wikipedia)707
484. **ábra** Karbon időszak kezdetén kialakult *Crassigyrinus scoticus* korai Tetrapoda (kétéltű) a skóciai rétegekből (Forrás: wikipedia).....709
485. **ábra** *Sclerocephalus haeuseri* (korai kétéltű taxon) perm időszak kezdetén lerakódott rétegekből Németországból (Forrás: wikipedia).....709
486. **ábra** 20-30 méter magas ősi zsurlókból, korpafüvekből, páfrányokból álló karbon időszi trópusi jellegű karbon időszi kőszénrőd rekonstrukciója, az erdőben, közte pikkelyfák (*Lepidodendron*) odvában is élt egykori hallemmezűvel (*Ichthyostega*) (Forrás: wikipedia)710
487. **ábra** Rekonstruált karbon időszi globális vegetáció régiók Földünkön (Forrás: wikipedia) 1 = Gondwana vegetációs öv, 2 = déli átmeneti öv, 3 = Euamerikai trópusi esőerdő öv, 4 = északi átmeneti öv, 5 = Angarai flóra öv, 6 = Kathay féle flóra öv711
488. **ábra** A perm időszi Pangea szuperkontinens kifejlődése és a klimatikus – vegetációs övezetek Földünkön 1 = hideg klímaöv, 2 = hűvös klímaöv, 3 = korábbi (karbon időszi) fauna és flóra refúgium (menedék) területe, 4 = szubtrópusi éghajlati öv, 5 = mérsékeltövi sivatagi öv, 6 = meleg kontinentális éghajlati öv, 7 = trópusi szavanna éghajlati öv, 8 = mediterrán éghajlati öv, 9 = trópusi esőerdő régió (Forrás: wikipedia- módosítva).....711
489. **ábra** Az ősi hüllőszerű kétéltűek egyik fontos taxonjának (*Diplocaulus*) maradványa a marokkói perm rétegekből (Forrás: wikipedia).....714
490. **ábra** A mexikói axolotl (*Ambystoma mexicanum*) vad (nem tenyésztett) alakja, természetbeli színével és külső kopolytúival (Forrás: wikiwand)715
491. **ábra** Fosszilis *Ambystoma* maradványa külső kopolytúival, hosszú, mai fark szervvel azonosítható lenyomattal és azonosítható, halakat tartalmazó gyomortartalommal kínai jura időszi rétegekből (Forrás: wikiwand).....716
492. **ábra** Földünk jelenleg élő, legjelentősebb méretű kétéltű taxonjai az óriás szalamandrafélék (*Cryptobranchidae*) taxonjai, 1 = a legnagyobb méretű, kifejtetlen 1,5 méternél nagyobb kínai

- óriássalamandra (*Andrias davidianus*), 2 = a második legjelentősebb méretű, kifejlett mintegy másfél méteres japán óriássalamandra (*Andrias japonicus*), 3 = az észak-amerikai tavakban élő, maximum 75 cm hosszúságra megnövő mocsári ördög (*Cryptobranchus alleganiensis*) (Forrás: wikipedia - átalakítva).....717
493. **ábra** *Pareiasaurus* mocsárlakó, perm időszi, kihalt őshüllő kipreparált (Anapsida alosztály, Cotylosauria rend) teljes ősmaradványa, vásárlási ára, 1 600 USD – ról csökkentve jelenleg 1 250 USD (Dapper Cadaver fosszília kereskedelmi oldalról letöltve (Forrás: www.dappercadaver.com/products/pareiasaurus-fossil-item) oldaláról718
494. **ábra** *Bradysaurus* középső perm időszi, kihalt, mocsárlakó őshüllő összerakott (Anapsida alosztály, Cotylosauria rend) teljes ősmaradványa, múzeumi kiállítási példánya (Forrás: wikipedia)719
495. **ábra** *Elginia* középső perm időszi, kihalt, mocsárlakó őshüllő (Anapsida alosztály, Cotylosauria rend) fosszilis koponyája, múzeumi kiállítási példánya (Forrás: wikipedia)720
496. **ábra** Teknősök (*Testudo*) csontváza (Forrás: wikipedia) 1. koponya, 2. nyakcsigolya, 3. lapocka, 4. felkarcsont, 5. singcsont, 6. sugár, 7. első lábujj, 8. harmadik lábujj, 9. ötödik lábujj, 10. csigolyák, 11. vívómellény, 12. medencecsont, 13. keresztcsonti csigolya, 14. szárkapocscsont, 15. sípescsont.....721
497. **ábra** Közönséges levesteknős (*Chelonia mydas*) egy csendes-óceáni (Hawaii) korallzátonynál (Forrás: wikipedia).....722
498. **ábra** *Odontochelys semitestacea* az ősi teknősök egyik első képviselője, egy késő-triász kori, 220 millió éves ősmaradványa (Forrás: wikipedia).....723
499. **ábra** *Archelon ischyros* késő kréta kori, kihalt, legnagyobb méretű ismert tengeri teknős fosszíliaja (Forrás: wikipedia).....724
500. **ábra** *Protostega gigas* késő kréta kori, kihalt, a második legnagyobb méretű ismert tengeri teknős (Forrás: wikipedia).....725
501. **ábra** Ma élő legnagyobb tengeri teknős, a kéregteknős (*Dermochelys coriacea*) (Forrás: wikipedia) ..725
502. **ábra** Felső – triász korú tengerekben élt, a triász időszak végén kihalt kavicsfogó álteknős (*Placochelys placodonta*) koponya oldalnézetből (Forrás: wikipedia)726
503. **ábra** Felső triász korú édesvizekben élt, a triász időszak végén kihalt *Henodus chelyops* ősmaradványa (Forrás: wikipedia).....727
504. **ábra** Kihalt *Ichtyosaurus* (halgyík) koponya a jura időszi (Forrás: wikipedia)729
505. **ábra** Kihalt *Ichtyosaurus* (halgyík) taxon, *Stenopterygius quadriscissus* adult és juvenilis példányok maradványai a németországi alsó jura (toarci emeleti) rétegekből (Forrás: wikipedia)730
506. **ábra** A kihalt *Ichtyosaurus* (halgyík) taxon, *Stenopterygius quadriscissus* eleve születését bizonyító, szülés pillanatát megörökítő ősmaradvány együttes a brit jura időszi rétegekből (Forrás: wikipedia)730
507. **ábra** Triász időszi halgyík genus, *Mixosaurus cornalianus* teljes ősmaradványa (Forrás: wikipedia)731
508. **ábra** Alsó jura időszi jellemző *Stenopterygius triscissus* teljes ősmaradványa és rekonstruált életképe (Forrás: wikipedia)732
509. **ábra** *Nothosaurus mirabilis* csontváza, koponya és testleletei, rekonstruált életképe (Forrás: wikipedia)733
510. **ábra** *Plesiosaurus dolichodeirus* ősmaradványa és rekonstruált életképe (Forrás: wikipedia)733
511. **ábra** *Plesiosaurus* vadászó élethelyzetben a jura időszi tengeri rekonstrukcióban (Forrás: Julius Csotonyi rekonstrukciós festménye, washingtoni Smithsonian Intézet facebook oldaláról szabadon letölthető kép: <https://www.facebook.com/OceanPortal/photos/a.158756736960/10157142118416961/?type=3>)734
512. **ábra** Kréta időszi Meuse folyó gyíkjának (*Mezosaursus hoffmanni*) teljes fosszilis csontváza, fogai és rekonstruált életképe (Forrás: wikipedia).....735
513. **ábra** Kréta időszi *Platecarpus* tengeri ragadozó teljes fosszilis csontváza, fogai és rekonstruált életképe (Forrás: wikipedia).....736

514. **ábra** Kréta időszaki Tylosaurus tengeri csúcsragadozó teljes fosszilis csontváza, rekonstruált életképe (Forrás: wikipedia).....737
515. **ábra** Kréta időszaki Tylosaurus tengeri csúcsragadozó rekonstruált életképei, a korabeli cápákra támadó, és a tenger felszínén szálló repülő hullókre vadászó Tylosaurus (Forrás: wikipedia)738
516. **ábra** A kréta időszakban kialakult Paleopython (őspiton) eocén időszaki messeli olajpalában fennmaradt ősmaradványa (Forrás: wikipedia)739
517. **ábra** Németországi Messelben, az eocén bitumenes olajpalában fennmaradt krokodil (Crocodylia) fosszilis csontváza (Forrás: wikipedia)741
518. **ábra** A németországi Messelben kialakított eocén időszaki barnaszenet, majd olajpalát, agyagpalát fejtő szén- és kőbánya, és eocén ősmaradványokat tartalmazó, feltöltődött egykori krátertő rétegeinek és környezetének földtani keresztmetszvénye (Forrás: wikipedia) 1 = a krátertő egykori vízszintje, 2 = Ar40/Ar39 kora a krátert kitöltő magmás anyagban kifejlődött bazalt dyke (47,8 +/- 0,2 millió év) és a terület elhelyezkedése, a bánya szintvonalas térképével (1-6 = legfontosabb korai emlős lelőhelyek, 7 = a bánya központja, 8 = ún. „teknős” domb743
519. **ábra** Eocén időszaki rágeszáló, Masillamys teljes testmaradványa a messeli eocén rétegekből (Forrás: wikipedia).....744
520. **ábra** Eocén időszaki denevér, Palaeochiropteryx tupaiodon teljes testmaradványa a messeli eocén rétegekből (Forrás: wikipedia).....745
521. **ábra** Ősi sügér, a Palaeoperca proxima teljes testfossziliája, test körvonalának lenyomatával a messeli eocén rétegekből (Forrás: wikipedia).....746
522. **ábra** Eocén időszaki díszbogár, Buprestidae az eredeti színében a messeli rétegekből (Forrás: wikipedia).....746
523. **ábra** Eocén időszaki, a legelső lófélékhez tartozó vemhes Eohippus messeliensis kanca magzattal együtt fosszilizálódva a messeli rétegekből (Forrás: wikipedia)747
524. **ábra** Eocén időszaki vízi, vízparti fosszilis ökoszisztéma paleohidrológiai rekonstrukciója a színesen is megmaradt ősmaradványok nyomán (Forrás: wikiwand)747
525. **ábra** Édesvízi teknősbéka és krokodil maradványok a messeli eocén rétegekből (Forrás: wikipedia) .748
526. **ábra** Napjainkban széndioxidot (és kénhidrogént), közte gyilkos széndioxid felhőt kibocsátó kameruni Nyos krátertő (Forrás: wikipedia).....749
527. **ábra** Eocén időszaki madár, egy korai bölömbika (Messelornis) maradványai a messeli krátertőben lerakódott rétegekből (Forrás: wikipedia)750
528. **ábra** Az első madarak egyike Archaeopteryx a felső jurakori solnhofeni litográf palából, a berlini természettudományi múzeumban kiállítva és rekonstrukciós festménye (Forrás: wikipedia)754
529. **ábra** Az első vízimadarak egyikének, a Hesperornis kréta időszaki taxonnak a csontváza és rekonstrukciós festménye (Forrás: wikipedia)755
530. **ábra** Új-Zélandi Waipara folyó mentén feltárt óriás waiparai pingvin (Crossvallia waiparensis) csontváza és a csontváz részei (Forrás: <https://www.delmagyar.hu/orszag-vilag/dobbenetes-felfedezes>) 1 = jobb láb, 2 = bal láb, 3 = gerincoszlop, 4 = jobb szárny, 5 = bal szárny759
531. **ábra** Művészi elképzelés a kréta végi/harmadidőszak kezdeti hatalmas paleohidrológiai változásról, az utolsó tengeri óriáshüllő kipusztulásáról, és az óriás méretű pingvinek uralmának kezdetéről a paleocén időszakban, a világtengerek parti zónájában, Új-Zéland szigetein (Forrás: National Geographic: <https://www.nationalgeographic.com/news/2012/2/120227-new-giant-penguins-species-science-ksepka-new-zealand/>)760
532. **ábra** Új-Zélandi Otago tartományban feltárt eddig ismert legnagyobb méretű, 170 cm és 90 kilogrammot meghaladó súlyú, óriás pingvin, a Kumimanu biceae fosszilis koponya csontja csőrrel és rekonstrukciós rajza (Forrás: wikipedia).....761
533. **ábra** A pingvinek evolúciós törzsfája, az eddig feltárt fosszilis és élő pingvin taxonokkal 2012-ből (Forrás: wikipedia) pirossal jelölve azok a paleocén fajok, amelyeket azóta tártak fel, a törzsfán jól látható a negyedidőszak (PL = Pliocén, Q = Quarter) során lejátszódott adaptív radiáció

- (<https://fossilpenguins.wordpress.com/2010/05/03/penguin-tree-of-life/> nyomán átrajolva, módosítva, kiegészítve, magyarra fordítva)762
- 534. ábra** Kisebb méretű, 80 cm magas, maximum 30 kilogrammos adult egyedekkel jelentkező Waimanu tuhatahi (tuhatahi vízimadara) csont maradványainak beillesztése a rekonstrukciós rajzba (Forrás: wikipedia).....763
- 535. ábra** Az Eudyptes pingvin fajok elterjedése, kiegészítve a dél-afrikai (Forrás: új, eredeti ábra a legújabb pingvinológiai publikációk nyomán) 1= Eudyptes minor (kék pingvin), 2 = Eudyptes moseleyi (északi sziklaugró pingvin), 3 = Eudyptes schlegeli (royal-pingvin), 4 = Eudyptes filholi (keleti sziklaugró pingvin), 5 = Eudyptes chrysolophus (makaróni pingvin), 6 = Eudyptes chrycosome (aranytollú vagy más néven déli sziklaugró pingvin), 7 = Spheniscus demersus (pápaszemes vagy más néven afrikai pingvin), 8 = Spheniscus mendiculus (pápaszemes vagy más néven afrikai pingvin), 9 = Spheniscus humboldt (Humboldt pingvin), 10 = Spheniscus magellanicus (Magellán pingvin), 11 = Megadyptes antipodes (sárgaszemű pingvin), 12 = Eudyptes pachyrhynchus (fjorlandi pingvin), 13 = Eudyptes robustus (Snares szigeti pingvin), 14 = Aptenodytes patagonicus (királypingvin), 15 = Aptenodytes forsteri (császárpingvin), 16 = Pygoscelis papua = számárpingvin és Pygoscelis antarcticus (kantáros pingvin) elterjedése, költő helyei a többi pingvinfajjal átfedő, a kantáros pingvin Antarktisz minden tengerparti részén költ, 17 = Pygoscelis adeliae (adelide pingvin).....764
- 536. ábra** Az albatroszokkal és viharmadarakkal rokonítható kihalt, oligocén időszi Diomedeoides brodkorbi maradványai (Forrás: wikipedia) ltb = bal tibiotarsus, art = megerősödött praefrontale csont767
- 537. ábra** A szulaalakúak (Suliformes) rendjéhez sorolt fosszilis Plotopteridae családkhoz sorolható Cseneds-óceán keleti partján (USA nyugati részén) feltárt, oligocén időszi Tonsala hildegardae csontok (Forrás: wikipedia) fekete vonal = 10 mm (1 cm)768
- 538. ábra** Japánban feltárt és kiállított fosszilis Plotopteridae családkhoz sorolható oligocén időszi Copepteryx genus sorolható maradványok és a maradványok nyomán készült rekonstrukció (Forrás: wikipedia).....769
- 539. ábra** A gödényalakúak (Pelecaniformes) rendjéhez tartozó taxonok globális elterjedése és legfontosabb taxonjai (Forrás: wikipedia)770
- 540. ábra** Lillealakúak (Charadriiformes) rendjébe sorolható ősmaradvány az észak-amerikai kréta időszi rétegekből (Forrás: wikipedia).....771
- 541. ábra** Ausztrália keleti partvidékén élő kacsacsőrű emlős (Ornithorhynchus paradoxus) és elterjedése (sötétlila színnel jelölve) és a felbecsülhetetlen értékű, átópálosodott kora kréta kori kacsacsőrű emlős őseinek, egyik legkorábbi ausztrál emlőst alkotó Steropodon galmani taxon állkapcsát is megtalálták, és a sydney-i Ausztrál Múzeumban őrzik (Forrás: új összeállítás a wikipedia ábrák nyomán)776
- 542. ábra** Az első víziemlősök egyik taxonja, a belső-mongoliai jura időszi rétegekben, a holotípus csontanyagának fotója, rekonstrukciós rajza, illetve művészi élethelyzetben lévő rekonstrukciói (Forrás: új összeállítás a wikipedia ábrák nyomán)777
- 543. ábra** A tengeritehenek (Sirenia) közé sorolt karibi manátusz (Trichechus manatus = 1 jelzésű terület), dél-amerikai manátusz (Trichechus inunguis = 2), afrikai manátusz (Trichechus senegaliensis =3) és a dugong (Dugong dugon = 4) elterjedése (Forrás: új összeállítás a wikipedia ábrák nyomán)779
- 544. ábra** Karibi manátusz (Trichechus manatus = 1), afrikai manátusz (Trichechus senegaliensis =2), dél-amerikai (amazónaszi) manátusz (Trichechus inunguis = 3); Steller tengeritehen (Hidrodamalis gigas = 4) leírások alapján készült élethű modell - a faj emberi vadászat miatt valószínűleg 1768-ban kihalt; és a dugong (Dugong dugon = 5) (Forrás: wikipedia)780
- 545. ábra** Pezosiren portelli eocén időszi szirének teljes maradványa, amikor még négylábú élőlényként éltek a szirének és a rekonstrukciók alapján vízilőszerű ambfibiikus életmódot folytattak. A Pezosiren portelli megközelítőleg a mai törpe vízilóra emlékeztető méretű volt és hasonló környezetben élhetett – művészi rekonstrukció az egykori élőlényről (Forrás: wikipedia).....781

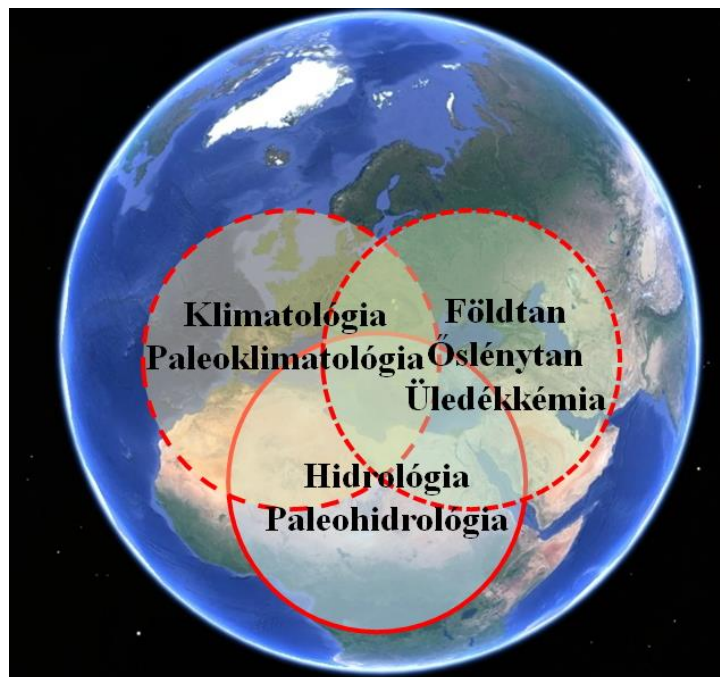
546. **ábra** A szirénfélék törzsfajlódása, a trópusi vizekben lejátszódott lábak elvesztésétől a sarkvidéki környezethez alkalmazkodásig az eocén időszaktól kezdődően napjainkig, egy fejlődési sorozat alapján (Forrás: új összeállítás a wikipedia ábrák nyomán) – a nyíl a fejlődési irányt mutatja.....782
547. **ábra** Az ember által a XVIII. században kipusztított Steller tengeritehén (*Hidrodamalis gigas*) elterjedése a negyedidőszaki utolsó interglaciálisában (sárga körök), az utolsó eljegesedés idején (kék kör), történelmi időkben, utolsó 1000 év során (fekete kör) (Forrás: új ábra)784
548. **ábra** Földünk legnagyobb méretű élő és valaha élt állata a kék (vagy más néven óriás)bálna (*Balaenoptera musculus*) egy 75 személyes utasszállító hajóval összevetve (Forrás: wikipedia)785
549. **ábra** Ámbráscet nőtény borjával (Forrás: wikipedia)787
550. **ábra** A fogascetek (*Odontoceti*) maradványok alapján felállított evolúciós sor (Forrás: wikipedia - átalakítva).....788
551. **ábra** A fogascetek (*Odontoceti*) eocén időszaki négylábú, szárazföldi őseinek egyike a *Pakicetus attocki* csontváza (Forrás: wikipedia).....788
552. **ábra** A fogascetek (*Odontoceti*) eocén időszaki négylábú, amfibikus életmódot folytató, de már a vízi életmódhoz adaptálódott ősi taxonja, a sétáló cet (*Ambelocetus*) csontváza és rekonstruált művészi életképe (Forrás: wikipedia - átalakítva).....789
553. **ábra** A fogascetek (*Odontoceti*) eocén időszaki négylábú, amfibikus életmódot folytató, de már a vízi életmódhoz adaptálódott ősi taxonja, a cetek anyja (*Maiacetus*) csontváz rajza és művészi élethelyzetű rekonstrukciói (Forrás: wikipedia és wikifossil – átalakítva).....790
554. **ábra** A fogascetek (*Odontoceti*) eocén időszaki négylábú, amfibikus életmódot folytató, de már a vízi életmódhoz adaptálódott ősi taxonja, *Rodhocetus koponyája*, illetve vízi és szárazföldi élethelyzetű rekonstrukciója (Forrás: wikipedia és wikifossil – átalakítva).....791
555. **ábra** A fogascetek (*Odontoceti*) eocén időszaki már teljesen vízi életmódhoz adaptálódott ősi lándzsafogó taxonja, a *Dorudon koponyája*, és vízi élethelyzetű rekonstrukciója (Forrás: wikipedia és wikifossil - átalakítva).....792
556. **ábra** A földtörténet eddigi legnagyobb ragadó cet fájának, a *Basilosaurus cetoides* rekonstruált képe és koponyája (Forrás: wikipedia és wikifossil - átalakítva).....793
557. **ábra** A miocén időszaki gyilkos bálna (*Livyatan melvillei*) rekonstruált képe, koponyája és fosszilis foga (Forrás: wikipedia és wikifossil - átalakítva).....794
558. **ábra** Mikroszkóp felvétel varv laminákról (Forrás: wikipedia)800
559. **ábra** Az egykori Szernye-mocsár területe Forrás: Google Earth, 2017).....802
560. **ábra** A Kárpátaljai alföld árvízjárta és vízborította területei a lecsapolások előtt (Forrás: Magyarország vízborította és árvízjárta területei az ármentesítő és lecsapoló munkálatok megkezdése előtt Földművelésügyi Minisztérium Vízügyi Intézete, Budapest 1938 – kárpátaljai szerzők által ábrázolva)803
561. **ábra** A miocén időszaki kárpáti emelet ösföldrajzi vázlata Kárpátalján, *a kisebb körök a tufa méretének durvulását mutatják (Forrás: (Voznyeszenszkij, 1988 nyomán átszerkesztve, ábrázolva Gönczy, 2016)804
562. **ábra** Beregszász és Munkács közötti vízföldtani szelvény (Forrás: Gavrilenko ed., 1989 nyomán a kárpátaljai szerzők által ábrázolva) 1. természetes védettséget részben élvező víztartó; 2. természetes védettséget nélkülöző víztartó; 3. tömeges megjelenésű lávakőzet; 4. kavics, murvás homok; 5. agyagos homok; 6. lávakőzetek, főleg andezit; 7. tufák; 8. mállott felszín; 9. részben természetes védettséget élvező rétegvíz; 10. agyagpala, aleuolit; 11. homokkőbe zárt, természetes védettséget élvező rétegvizek (szarmata); 12. homokkőbe zárt, természetes védettséget élvező rétegvizek (tortonai); 13. lösszős vályogtalaj; 14. törésvonalak; 15. réteghatárok.....805
563. **ábra** A Kárpátaljai alföld árvízjárta és vízborította területei a lecsapolások előtt In: Magyarország vízborította és árvízjárta területei az ármentesítő és lecsapoló munkálatok megkezdése előtt (Forrás: Földművelésügyi Minisztérium Vízügyi Intézete, Budapest 1938 térképe nyomán a kárpátaljai szerzők által szerkesztett ábra).....806

564. ábra	A Kárpátaljai alföld vízzel borított és vízmentes területeinek százalékos megoszlása a lecsapolás előtt (Forrás: új, eredeti, a kárpátaljai szerzők által szerkesztett ábra)	807
565. ábra	A Szernye-mocsár jelenlegi csatornahálózata (Forrás: új, eredeti, a kárpátaljai szerzők által google map nyomán szerkesztett ábra).....	808
566. ábra	Kárpátaljai-alföld jelenlegi vízhálózata (Forrás: új, eredeti, a kárpátaljai szerzők által google map nyomán szerkesztett ábra)	810
567. ábra	Az évi átlagos csapadékmennyiség változása Kárpátalja síksági területein 1947-2018 között (Forrás: beregszászi meteorológiai állomás adataira épülő új, eredeti, a kárpátaljai szerzők által szerkesztett ábra)	811
568. ábra	Az évi átlagos középhőmérséklet változása Kárpátalja síksági területein 1947-2018 között (Forrás: beregszászi meteorológiai állomás adataira épülő új, eredeti, a kárpátaljai szerzők által szerkesztett ábra).....	812
569. ábra	A Szernye-mocsár területe a Magyarország - Első Katonai Felmérés (A) és a Magyar Királyság – Második Katonai Felmérés (B) térképek alapján (Forrás: Arkanum Kiadótól vásárolt digitális térképek).....	813
570. ábra	A beregszászi térképlap a Szernye-mocsár déli részével (részlet) (Forrás: Magyar Királyi Földtani Intézet Agrogeológiai Osztályának átnézetes talajismereti térképe (Forrás: Magyar Királyi Intézet kárpátaljai térképezése, 1939)	816
571. ábra	A Szernye-mocsár (a térkép centrumában) és környezetének talajtérképe (Forrás: Az Ukrán SzSzk talajtérképe, Krupszkij, 1967 nyomán).....	819
572. ábra	Az szm2 jelű szelvény kifejlődése (Forrás: Dr. Gönczy Sándor felvétele)	821
573. ábra	Az szm5 jelű szelvény kifejlődése (Forrás: Dr. Gönczy Sándor felvétele)	823
574. ábra	Az szm8 jelű szelvény kifejlődése (Forrás: Dr. Gönczy Sándor felvétele)	825
575. ábra	Rétyi Nyír és környékének domborzati hatású térképe az Olt egykori hordalékkúpjával (Forrás: Kovács, 1969 nyomán)	828
576. ábra	A Rétyi Nyír tömbszelvénye (Kádár, L. 1949 nyomán) Pontozott részek = futóhomok, fekete foltok = tavak, keresztsávzott területek = települések, B = Béli-patak, E = Eger-patak, F = Feketeügy, K =Kompolló, Kv = Kovászna-patak, Kt = Kőbányatető, R = Réty,	829
577. ábra	Rétyi Nyír hordalékkúpjának tömbszelvénye (Kovács, 1969 nyomán)	831

I. Fejezet

1. A paleohidrológia tárgya

A paleohidrológia tudományterülete (1. ábra) a víz földi ciklusával, a víz eloszlásával, minőségének, mennyiségének és eloszlásának dinamikus változásaival foglalkozik a földtörténeti múltban. Összefoglalóan azt mondhatjuk a paleohidrológiáról, hogy a hidrológiai rendszerek múltbeli viselkedésével és változásaival foglalkozó tudomány.



1. ábra Paleohidrológiai tudományterületi kapcsolatai (Forrás: saját ábra)

Egy struktúrát pedig úgy határozhatunk meg, ha az elemeire bontjuk, azokat jellemzzük és bemutatjuk, hogy milyen kontaktusok léteznek az elemek között. Ilyen paleohidrológiai rendszereket alkotnak az exogén geológiai egységek, mint a tengerek, a tavak, a lápok, a folyók, a patakok, vagy akár történelmi vagy prehisztorikus emberi hatások nyomán kialakult egykori mesterséges vízterek (halastavak, kutak, árkok, elárasztott területek). A változó paleohidrológiai körülményeket a kőzetekben, mindenekelőtt a múltbeli üledékes kőzetekben – az egykori földtörténeti időszakokban – bekövetkező változások nyomán, lerakódások és eróziós szintek geológiai, geokémiai, összességében paleohidrológiai bizonyítékaiból vonják le.

A szélesebb értelemben vett paleohidrológia foglalkozik továbbá az egykori flóra- és a fauna együttesek geológiai időbeli változásaival, amelyeket a múltbeli hidrológiai változások nagymértékben befolyásoltak. A vízi élővilág történeti fejlődése beágyazott a paleohidrológiai rendszerekbe (üledékekbe) és ez lehetőséget ad az egykori paleohidrológiai rendszerek fejlődésének őslénytani jellemzésére is. Az egykori szárazföldi biomok, például az üde erdei növényzettel vagy döntően lágyszúakkal borított régiók, magát a múltbeli paleohidrológiai rendszert is alapvetően befolyásolták.

A paleohidrológia területéhez sorolhatjuk az egykori hidrológiai és napjaink hidrológiai rendszereinek tanulmányozása során végzett vizsgálatok alapján készült modellezéseket, amelyek az egyes paleohidrológiai rendszerek változásait (tengerszint emelkedése, folyómedrek áthelyeződése, ennek során történt erózió és akkumuláció átalakulás, tavak és lápok medencéjének feltöltődése, stb.) vetíti ki a jövőre nézve.

A paleohidrológia tudománya mind időbeli, mind térbeli kifejlődésben szintezett, azaz az időbeli lépték, időbeli felbontás, és térbeli lépték, térbeli felbontás nyomán értelmezhetőek csak a megfigyelések és vizsgálatok adatai. Ezen adatok nélkül csak hipotézisnek vagy hipotézis generálásának tekinthetjük a megjelentetett eredményeket, vagyis geokronológiai és térbeli korrekt tudományos lehatárolás nélkül nem lehet tudományos szintű paleohidrológiai tanulmányozásról, analitikus vizsgálatról beszélni, maximum a megfigyelések nyomán megfogalmazott hangos gondolatról, hipotézisek görgetéséről.

Ellenőrző kérdések:

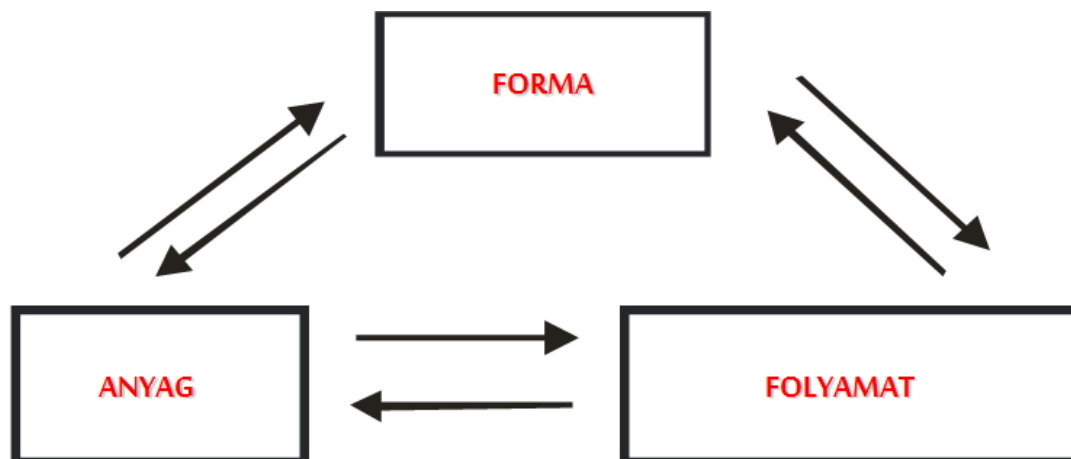
1.1. Mi a paleohidrológia tárgya?

1.2. Mi a paleohidrológiai rendszer?

1.3. Milyen részterületeket sorolhatunk a paleohidrológia területéhez?

1.1. Üledékgyűjtő medencék

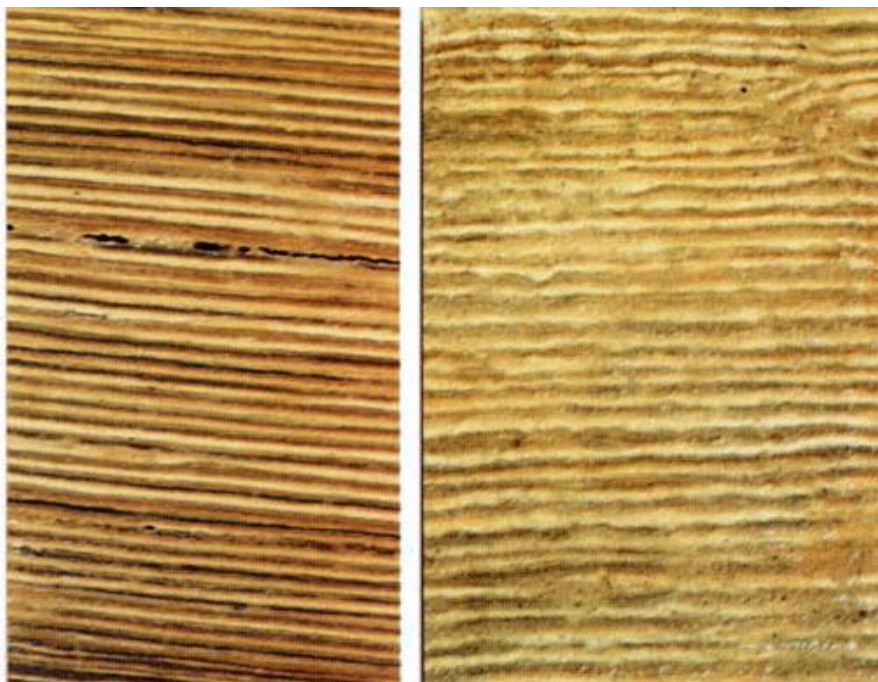
Az üledékgyűjtő medencék kiemelkedő jelentőségű földtani (exogén geológiai) objektumok a paleohidrológiában, mivel a bennük vagy rajtuk felhalmozódott üledékes kőzetanyag üledékföldtani, geokémiai és a kőzetanyagba zárt őslénytani információi révén tárhatók fel és rekonstruálhatók a múlt eseményei. A múlt eseményeinek dokumentumai, anyagi formái az üledékgyűjtő medencében felhalmozódott rétegekbe zárva, beágyazódva vagy geológiai rétegeket alkotva maradnak fenn. A földtan, a paleontológia – paleobiológia tudományterületek kutató szakemberei ezeket a kőzetrétegeket alkotó vagy a rétegekbe zárt anyagi formákat vizsgálják munkájuk során, illetve anyagvizsgálatokat végeznek ezeken a rétegeken, üledékes rendszereken, ásványokon, kőzeteken, ősmaradványokon. Ezek alapján rekonstruálják az egykori, már megtörtént folyamatokat. Ezt a megközelítést forma – anyag – folyamat összefüggésnek, a geológiai és őslénytani rekonstrukció alapjának tekintjük (2. ábra).



2. ábra Forma – anyag – folyamat kapcsolatrendszere a földtudományi rekonstrukció alapja - Alvaro Alto, Frank Llyod Wright, Hugo Haring (1925, Princeton University) építészmérnökök elképzelései és gondolatai nyomán átrajzolva (Forrás: saját ábra)

Az üledékgyűjtő medencéket kitöltő üledékes képződményeknek már a formai jegyei visszatükrözik a leülepedési környezetet, az egykori geológiai folyamatokat. Éppen ezért már ezeknek a rétegeknek a formai elemzése, a

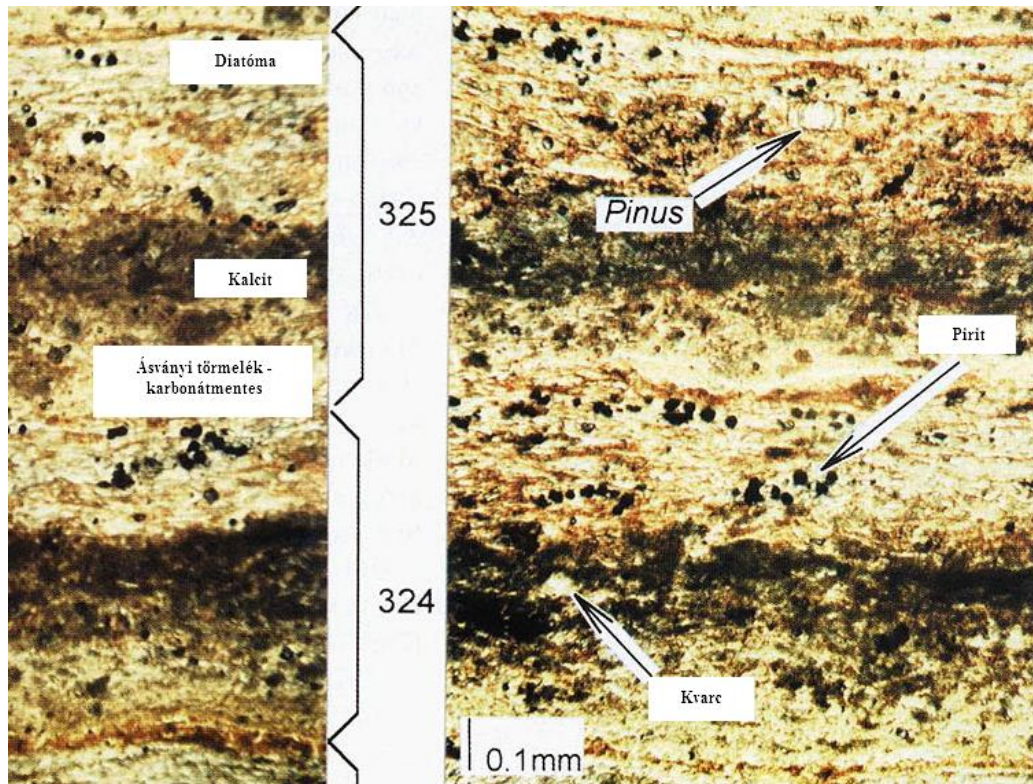
szerkezeti bélyegek makroszkópos felismerése, az ún. „üledékes fáciesek” leírása alapvető és első lépése az üledékgyűjtő medencében felhalmozódott üledékanyag tudományos megismerésének. Üledékes fáciesek ismerete és leírása nélkül nem lehet az üledékgyűjtő medencékben felhalmozódott üledékes anyagot és rétegeket megismerni. Az üledékgyűjtő medencékben felhalmozódott üledékes rétegek finoman lamináltak, azaz 10 mm-nél vékonyabb kifejlődésűek (**3. és 4. ábra**), vagy ennél vastagabb, réteges kifejlődésűek és akkor rétegeket alkotó üledékes kőzettesteket (**5. ábra**) alkothatnak



3. ábra Laminált (10 mm-nél finomabb laminákból álló) mészsizap (Forrás: Tomis Goslav professzor (Poznan) felvétele, oktatási célú közléshez írásos hozzájárulásával bemutatva)

Ezek a rétegek az üledékgyűjtő medence befogó területéről erodálódott, áthalmozódott és az üledékgyűjtő medencében felhalmozódott üledékből alakulnak ki, és az üledékgyűjtő méretétől függően akár több négyzetkilométer kiterjedésűek is lehetnek. Az üledékréteg kifejlődése az erózió módjától, sebességétől, a szállító közegtől, annak módjától, a szállítási távolságtól és az akkumuláció sebességétől, kifejlődésétől, az üledékgyűjtő medence jellegétől függ. Vagyis attól is, hogy pozitív exogén geológiai (jégtakaró, löszterület) vagy negatív exogén geológiai (óceánok, tengerek, beltengerek, tavak, lápok) formát

alkotó üledékgyűjtő medencében halmozódott-e fel az üledékanyag. A paleohidrológiai rendszerek közül elsősorban a negatív üledékgyűjtő rendszerekkel foglalkozunk, de tágabb értelemben (sensu lato) ide tartoznak a jégtakarók, gleccserek pozitív exogén geológiai üledékgyűjtő formái is.



4. *ábra* A mésziszap laminák nagyobb felbontásban, ásványi összetétellel és organikus alkotókkal (Forrás: Tomis Goslav professzor (Poznan) felvétele, oktatási célú közléshez írásos hozzájárulásával bemutatva)



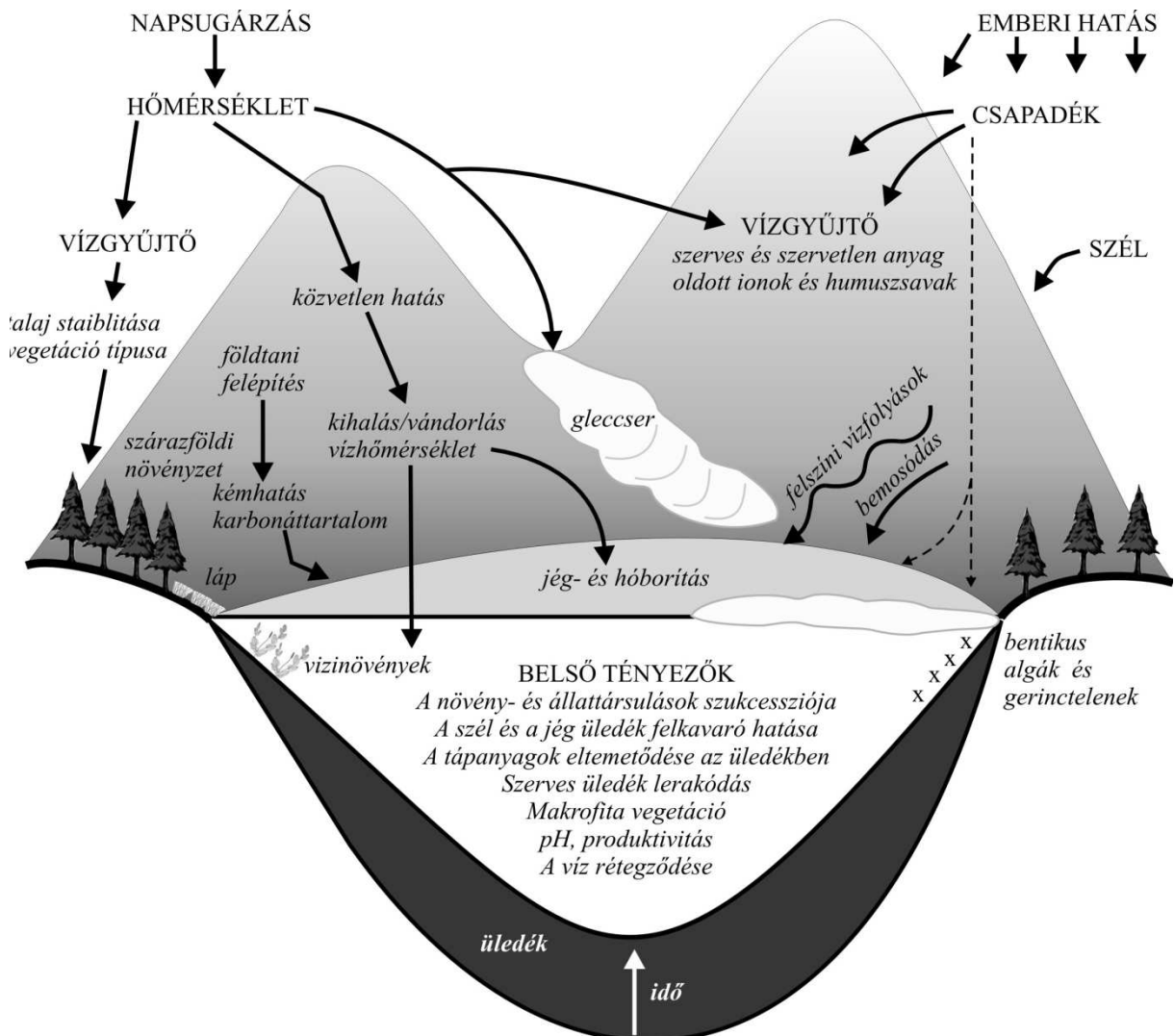
*5. ábra Rétegzett mészkő, a réteglapok vastagsága meghaladja az 1 cm-t
(Forrás: saját felvétel)*

Természetesen az üledékgyűjtő medencékben felhalmozódott üledékanyag rétegeinek kifejlődését a felhalmozódás során, vagy azt követően kialakult kőzetté válási folyamat, a diagenézis is erőteljesen befolyásolja. Ez utóbbi jelentős mértékben függ az üledékgyűjtő medencében kialakult vízoszlop és üledékoszlop vastagságától, a felhalmozódott üledék jellegétől.

Az üledékgyűjtő medencében felhalmozódott rétegekben, laminákban időrendben őrződnek meg a múlt dokumentumai és ezért a paleohidrológiai modell lényege az, hogy az üledékgyűjtő medrét és vízgyűjtő területét (pontosabban üledék befogó területét) lehatárolják a vízgyűjtő exogén geológiai, más néven geomorfológiai, illetve geológiai adottságai, a természetes vízválasztó (üledékgyűjtő) vonalai, határai.

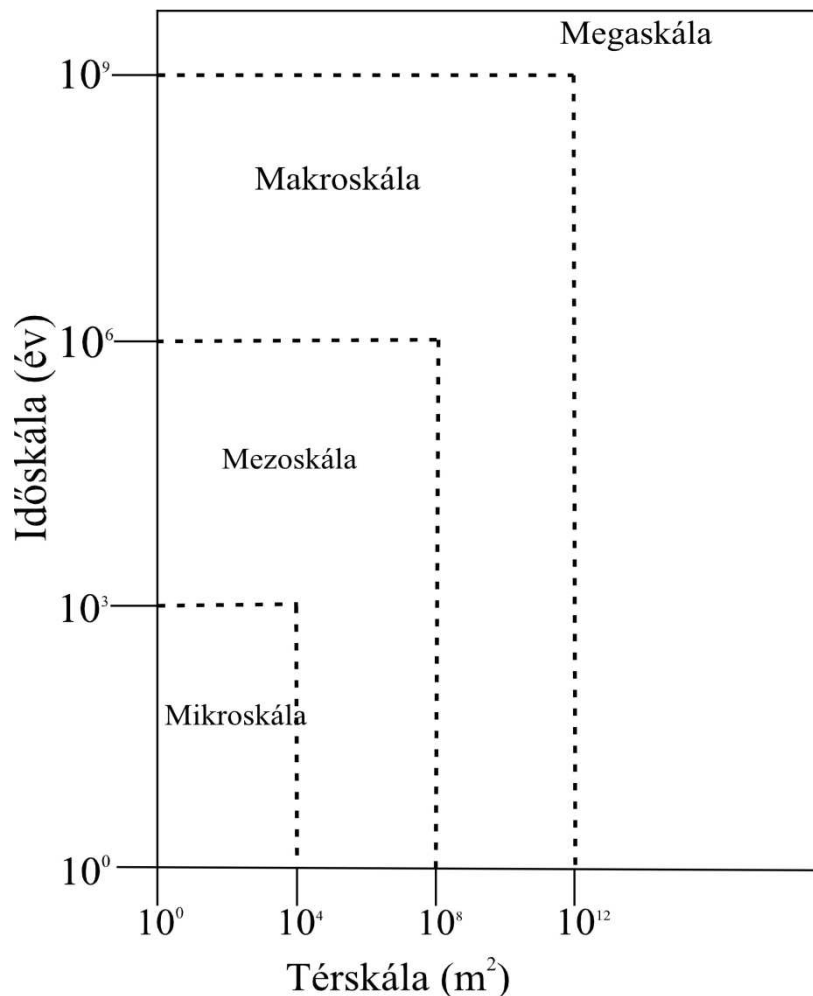
Az üledékgyűjtő medence behordási területéről származó fizikai és/vagy kémiai mállás során kialakult málladék, a lejtők alapkőzetéből, talajából lepusztult anyagok mosódhatnak, vagy a szél által szállított por- és virágporszemek hordódhatnak és rakódhatnak le távoli területekről az üledékgyűjtőbe. Ugyanakkor

az egykori tóban, lágban élt szervezetekből is jelentős mennyiségű üledék képződhet és halmozódhat fel (6. ábra).



6. ábra Természetes üledékgyűjtőben kapcsolata az üledékgyűjtő területtel, üledékképző környezettel, a réteggépző környezetben lejátszódott akkumulációs, beágyazódási és réteggépző folyamatok (Forrás: Gaillard – Birks 2007 nyomán magyarra fordítva, átszerkesztve Jakab – Sümegi, 2011)

A paleohidrológiai változások különböző tér- és időskálán tanulmányozhatóak, mivel az üledékgyűjtő medencében felhalmozódott rétegekben, vagy laminákban felhalmozódott üledékanyag idősorrendben és térkifejlődésében megőrzi az egykor lejátszódott fejlődéstörténeti változásokat. A paleohidrológiai változások tér- és időskála (7. ábra) hierarchiája az alábbiak szerint foglalható össze.



7. ábra A paleohidrológiai folyamatok térbeli és időbeli szintezettsége (Forrás: új, saját ábra)

1./Globális, megaskálán történő változások – százmillió években mérhető változások hierarchia szintje. Óceáni léptékű, millió km²-es kiterjedésű (a görög mitológiában a Földünket tartó Atlas apjáról elnevezett paleozoóikumi Japetus óceán, és a nővéréről elnevezett Rhea – Rheic óceán, vagy Achilles anyjáról, az ezürtlábú Tethysről elnevezett mezozoóikumi óceán) üledékgyűjtő medencék fejlődéstörténetét fogja át ez a hierarchia szint.

2./Makroskálán – évmilliók alatt és 100 000 négyzetkilométeres hierarchia szinten történő változások tartoznak ebbe a szintbe, (7. ábra). olyan regionális paleohidrológiai változások, amelyekhez a hosszú földtani életű tavak (például Bajkált-tó), beltengerek (mint Pannon beltó) a legnagyobb folyók és folyamok és üledékgyűjtő medencéjük, deltájuk palehidrológiai fejlődéstörténete kapcsolódik.

3./Mezoskálán évezredek, maximum százezer éves skálán és négyzetkilométeres – ezer négyzetkilométeres kiterjedésű hierarchia szinten történő változásokat soroljuk ebbe a szintbe. Ebbe a tér–idő hierarchia kategóriába soroljuk a kisebb felületű lápok, tavak üledékgyűjtő medencéjét, a kisebb folyók üledékgyűjtő allúviumát, deltarendszerét.

4./Mikroskálán évtizedes, évszázados időléptékű és néhány száz, maximum ezer négyzetméteres térskálához sorolható változásokat sorolhatjuk ebbe a tér-idő kategóriába. Kisebb lápok, folyók, tavak, köztük időszakos tavak fejlődéstörténete, egykori hidrológiai átalakulásai sorolhatóak ebbe a szintbe.

A fentebb felsorolt tér-idő skálán homogénnek tekinthető rétegek képződnek, amelyek mind térben, mind időben megőrzik az információkat az egykori üledékes környezetről. A rétegsoron belül egy adott rétegre rátelepült fiatalabb réteget fedőnek, az adott réteg alatt elhelyezkedő réteget fekünek nevezzük. Ezek a törvényszerűségek a tágabb értelemben vett paleohidrológiai rendszerekhez tartozó nyári és téli félévek során képződött laminációt mutató jégtakarókra és gleccserekre is igazak.

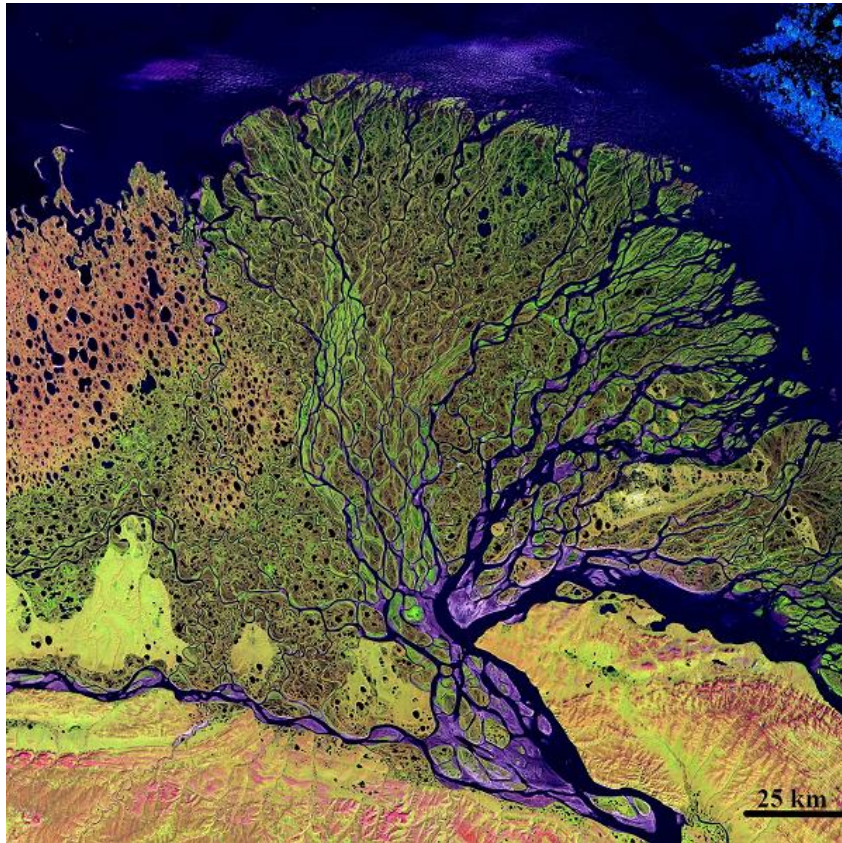
Természetesen a rétegek kialakulásával párhuzamosan (szingenetikusan), vagy utólag (posztgenetikusan) a rétegek erodálódhatnak is és ennek nyomán információvesztés alakulhat ki a rétegsorban. Ez különösen az üledékgyűjtők peremén (folyók deltájánál, a tengerek, vagy óceánok kontinentális régióknál kialakult lejtőterületeken) jellemző. Ezekben a régiókban teljesen speciális kifejlődésű rétegsorok jöhetnek létre (deltaszerkezet: **8. ábra**, **9. ábra**, **10. ábra**; lejtős területekre jellemző turbidit szerkezetek: **11. ábra**) és pont ezek nyomán lehet ezeket az egykori paleohidrológiai környezeteket lehatárolni.



8. ábra Delta rétegsort mutató folyóvízi üledékes sorozat (Ferron tagozat, Utah, USA) (Forrás: Simon John Buckley et al. 2008, *Integration of terrestrial laser scanning, digital photogrammetry and geostatistical methods for high-resolution modelling of geologic outcrops. Remote Sensing and Spatial Information Science*, 36. online folyóirat – az első szerző [corresponding author] írásos engedélyével közölve)



9. ábra Mitchella folyó holocén delta szerkezet egy felszíni feltárásban, Ausztráliában, rekonstruált delta épülési, hordalékmozgási irányokkal és dőlési szögekkel (Forrás: T. I. Lane, R. A. Nanson, B. K. Vakarelov, R. B. Ainsworth and S. E. Dashtgard 2016: *Evolution and architectural styles of a forced-regressive Holocene delta and megafan, Mitchell River, Gulf of Carpentaria, Australia. Geological Society, London, Special Publications*, 444, 305-334. – az első szerző [corresponding author] írásos hozzájárulásával bemutatva)



10. ábra Lena delta légi fotója és felülnézeti szerkezete (Forrás: szabadon letölthető és felhasználható ábra: <https://unsplash.com/s/photos/river-delta>)

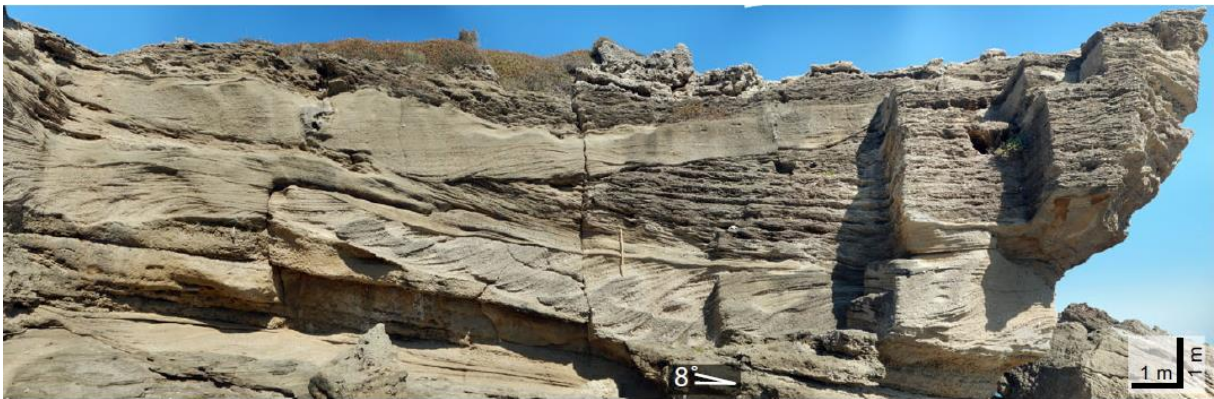


11. ábra Miocén korú turbidit kifejlődésű Gorgoglione flish, Dél-Olaszországban (Forrás: wikipédia)

Ugyanis az üledékképződés sebessége, másrészt az üledék keveredése miatt ezek a környezetek elkülönülnek egymástól. Az egykori paleohidrológiai változásokat időbeli lefolyásuk nyomán hosszú távú, fokozatos változásra és rövid idejű,

hirtelen változásokra oszthatjuk. Hosszú távú, fokozatos változásokhoz sorolható az óceáni üledékgyűjtő medencék lemezeinek mozgása, a hegységképződés, a talajképződés, a növényi szukcesszió változása.

A rövid idejű események (eventek) gyakran katasztrófális eseményekhez, nagy viharokhoz, szökőárokhoz (cunamihoz), földrengésekhez, erdőtüzekhez és az ennek nyomán a paleohidrológiai rendszerekbe bemosódó, szinteket alkotó pernyemaximumokhoz, árvizek, vulkán kitörések, cunamik (**12. ábra**) okozta üledékszerkezeti, geokémiai és paleohidrológiai változásokhoz kapcsolódnak. Minél jelentősebb területre terjednek ki ezek az események (eventek) és minél rövidebb időhöz köthetőek, annál pontosabb és jobban nyomon követhető paleohidrológiai változásokat határozhatunk le ezen események nyomán.



12. ábra Kiemelt helyzetű, cunami szerkezet alsó pleisztocén karbonátos üledékben (Rodosz szigete, Görögország). A cunami nyomán kialakult áramlási szerkezetű rétegekkel, hullámos rétegekkel, és keresztarétegzett üledékkel (Forrás: researchgate: Slooman et al. 2017: Geological record of marine tsunami backwash: The role of the hydraulic jump. The Depositional Record, 4, 59-77– az első szerző [corresponding author] írásos hozzájárulásával bemutatva)

Ellenőrző kérdések:

- 2.1. Mit tekintünk üledékgyűjtő medencének?
- 2.2. Melyek a pozitív exogén geológiai formák?
- 2.3. Melyek a negatív exogén geológiai formák?
- 2.4. Milyen tér- és időskála szinteket különítünk el a paleohidrológiában?
- 2.5. Mit nevezünk fedő rétegnek a paleohidrológiában?

2.6. Mit nevezünk fekü rétegnek a paleohidrológiában?

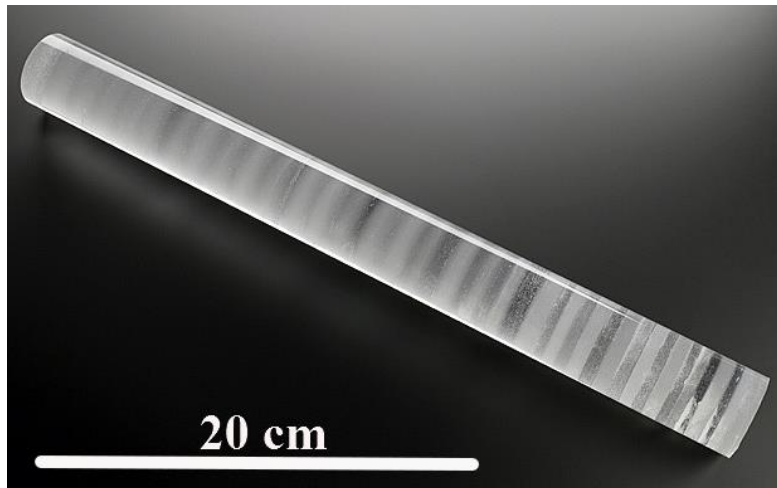
2.7. Mik azok az eventek és hogyan kapcsolódnak a paleohidrológiához?

2. A paleohidrológiai változások időbeli kifejlődése

A paleohidrológiai változások megértése szempontjából kritikus jelentőségű az időskála ismeret, de a kormeghatározás pontossága változó. Az óceánok mélyéről származó üledékes magmintáknál például ezer éves felbontásnál pontosabb felbontást sokszor lehetetlen elérni. A legfinomabb időléptékű paleohidrológiai változásokat a jégtakarókban, gleccserekben található jéglaminák (**13. és 14. ábra**), a finoman rétegzett marin (tengeri) és lakusztis (tavi) üledékek, köztük a jégtakaró peremén, az ún. proluviális tavakban felhalmozódott laminált üledékek, a varvok (**15. ábra**) alapján, illetve a cseppkövek növekedési vonalainak (**16. ábra**) elemzése nyomán rekonstruálhatjuk.



13. ábra Grönlandi jégtakaróba vajt jég szelvényen látható a jéglaminák változása a laminált, féléves szerkezetű jég kialakulása (Forrás: https://www.nsf.gov/news/news_summ.jsp?cntn_id=131422 - USA NSF Multimedia Gallery oktatási célú felvétele)



14. ábra Jégtakaróba mélyített fúrásból származó csiszolt felszínén megfigyelhető nyári (sötétebb színű) és téli (világosabb színű) félévben keletkezett jéglaminák váltakozása (The Telegraph lap oktatási célú felvétele: <https://www.telegraph.co.uk/news/earth/earthnews/8154608/Ice-core-on-public-display-in-new-drive-to-educate-public-on-climate-change.html>)



15. ábra A jégtakaró előtt proluviális tavakban felhalmozódott, évszakos ciklusos kifejlődést mutató laminált üledékek, a varvok (Michingan, Houghton Road, USA) (Forrás: wikipédia)



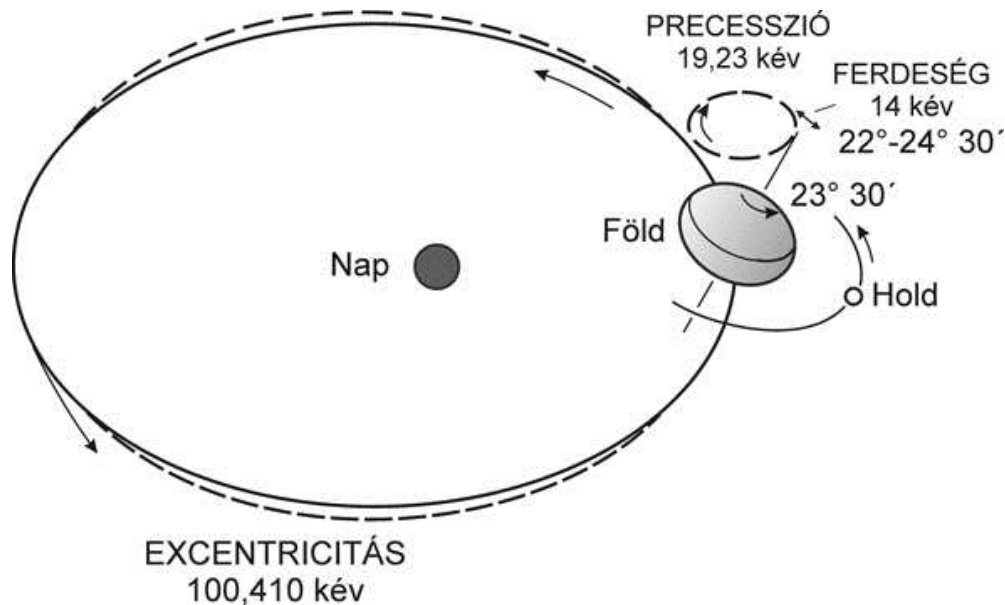
16. ábra Sztalagmit kronológia és klimatológia alapja, egy sztalagmit növekedési vonalainak elemzése és a negyedidőszak legfiatalabb korának, 4200 évvel ezelőtt kezdődött Megalayan fázisnak a lehatárolása (Fotó: BBC News, <https://www.bbc.com/news/science-environment-44868527>)

Sok természetes paleohidrológiai változás időbeli szabályosságot, ciklusosságot mutat, még akkor is, ha a jelenlegi igen rövid idejű, nagy ritkán évtizedes tapasztalatokra épült megfigyelések és észlelések nyomán ez nem nyilvánvaló, egyszerűen azért, mert a ciklusok hossza meghaladja az évtizedes skálán történő észleléseket. Ilyen ciklusosságot mutatnak a csillagászati jelenségek, amelyek közül már többet hasznosít az emberiség több ezer, több tízezer éve – ilyenek a nappalok és éjszakák váltakozása, a holdfázisok, az ár-apály jelensége, az évszakok, és maga az év is.

Ezek a ciklusos természetben megfigyelhető változások alkotják az emberiség naptárainak és időméréseinek alapját. Ismereteseek azonban ennél jóval hosszabb idejű változások, csillagászati periódusok is, amelyek paleohidrológiai változásokat is okoznak. Ezeknek a csillagászati ciklusok ideje 100 ezer, 41 ezer és 23 ezer év és a Föld orbitális és axiális paramétereivel (excentricitás, tengelyferdeség változása, precesszió) áll összefüggésben (**17. ábra**).

Ezek közül a precessziót ismerte fel legkorábban az emberiség, bár a sumérok, az egyiptomiak, az amerikai földrészen élő olmékok és maják egyaránt felismerték. Ugyanakkor a hatását (a csillagok és csillagképek látszólagos és folyamatosnak

tűnő mozgását, elmozdulását keleti irányba az égbolton) is felismerték. Viszont a fennmaradt írások nyomán az ókori görög tudós, *Hipparkhosz* volt az, aki a Krisztus előtti II. században leírta a jelenséget és előrenyomulásnak (*praecessio*) elnevezést adta a folyamatnak.

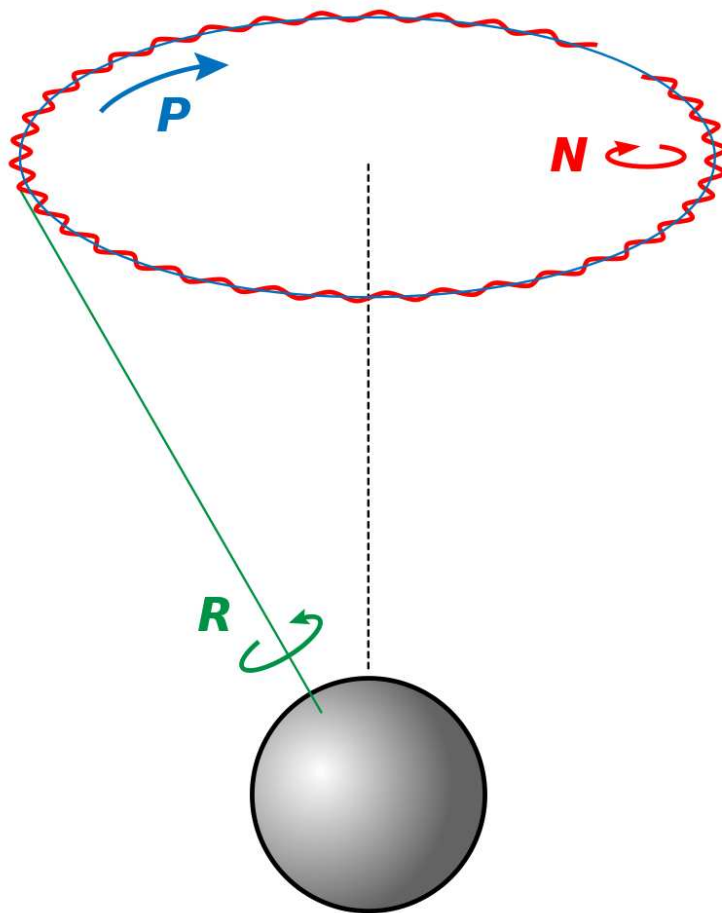


17. ábra 100 ezer, 41 ezer és 23 ezer év ciklusok és kapcsolatok a Föld orbitális és axiális paramétereivel (excentricitás, tengelyferdeség változása, precesszió) (Forrás: wikipédia)

A precesszió (a Föld forgástengelyének kúppalást menti elfordulása) átlagos periodicitása pedig 21,7 ezer év, 19 és 23 ezer éves fő periódusokkal (**18. ábra**). Az előrenyomulás (*praecessio*) ciklushossza, mivel a Föld forgási sebességétől és a Föld–Hold távolságtól egyaránt függ, a geológiai múlt során változott. Magának a mozgásnak az oka, hogy a földpálya síkja $23^{\circ} 27'$ közötti szöget zár be az egyenlítő síkjával, ezért az Egyenlítő – a legszélesebb szélességi kör – nem a központi égitest (Nap) felé irányul. Ennek következtében a Nap forgónyomatékot fejt ki az egyenlítői övezetre, amellyel a földtengelyt az ekliptikára (a Nap egy év alatt megtett látszólagos útja az égbolton) merőleges irányába igyekeznek fordítani.

Az előrenyomulás (*praecessio*) ciklushossza állandó tengelyferdeség esetén 25 730 év lenne. A tengelyferdeség azonban változik - „billeg”, és a

tengelyferdeség ennek nyomán 40 000 éves periódussal 22° és $24,5^\circ$ között ingadozik. Így a póluspont egy önmagába nem záródó görbe mentén vándorol, a periódusa pedig 25 786 évre – kerekítve 26 ezer évre módosul. Ez a napjainkban megfigyelhető ciklushossz a geológiai múlt során átalakult, és ennek nyomán a paleohidrologiai rendszerre ható extraterrestriális periódusok is fluktuáltak.



18. ábra A precesszió és nutáció jelensége (Forrás: wikipédia)

A rendszer periódusára a földpálya síkjában keringő Hold is hatással van (ún. „nutációs” hatás), továbbá a precíz számításokkor még az Föld keringési síkjának (ekliptika) elmozdulását is figyelembe veszik. A precesszió teljes ciklusa (az ún. „plátói” év, vagy más néven nagyév) alatt a csillagképek, az északi és déli égi pólus helyzete folyamatosan változik és az égi egyenlítő és ekliptika metszéspontjainak, a tavaszpontnak és az őszi pontnak a helyzete is változik és a Nap ekliptika menti látszólagos mozgásával ellentétes irányban körbe érnek az ekliptikán. Itt kell megjegyeznünk, hogy ennek nyomán a közel-keleti és európai

kultúrában az év felosztására használt 12 (eredetileg 13 holdhónaphoz tartozó) csillagkép – állatövi jegy helyzete folyamatosan változott, ezért a mai csillagképek és állatövi jegyek nem feleltethetők meg a történelembeli vagy prehisztórikus időbeli csillagképeknek.

Az ókorban, az ókori görögök idejében, a napjainkban március 21-én, a mai Kos havában (Kos csillagképben) lévő tavaszpont még a Halak havában (csillagképben) jelentkezett. Az indiai (védikus) naptáraknál, mivel ott a sziderikus, ún. „*állócsillagokra*” alapozott naptárt használták, nem jelentkezett hasonló időbeli elcsúszás. A precesszió miatt a csillagtérképek és csillagkatalógusok esetében mindig meg kell adni azt az időpontot, amelyre a csillagpozíció adatai vonatkoznak. Ezt az időpontot kiinduló időpontnak (epocha-nak) nevezzük, mert a naptárt használó közösségek ehhez igazítják a naptáraikat – keresztény naptáraknál Jézus születési dátuma, muszlim naptáraknál Mohamed áttelepülése (hidzsra – Krisztus utáni 622 július 16).

Összességében a precesszió 17-26 ezer év közötti ciklusos kifejlődést, változást okozott a paleohidrológiai rendszerekben. Ugyanis ezeknek a ciklikus változásoknak a hatására ezen ciklus hossza jellemző elemösszetételben, ásványösszetételben, szemcseösszetételben, és fosszília-összetételben jelentkező átalakulásokat okoztak a paleohidrológiai rendszerben, üledékgyűjtő medencékben felhalmozódott üledékekben.

A forgástengely napjainkban $23,5^\circ$ -os szöget zár be, de ez a szög 41 ezer éves periódussal ingadozik, $21,5^\circ$ és $24,5^\circ$ között. Amennyiben a forgástengely szöge megnő, akkor a téli és nyári évszakok közötti különbség megnövekszik, szélsőségessé válik mind a déli, mind az északi féltekén. Ennek következtében a viharok, a vihardagályok gyakoribbá válnak és a nyomukban keletkezett kevert szerkezetű üledékek gyakorisága is megemelkedik az üledékgyűjtő rendszerek peremén (**19. ábra**).



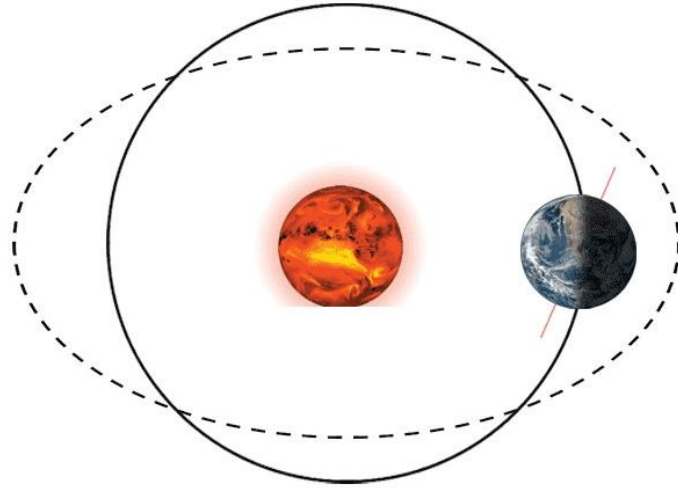
19. ábra Vihardagály üledék rétegzett buckás (hummock) mikroszerkezettel a szilur korú Arisaig Formációból, Új Skóciából (Kanada) (fotó: wikipédia)

A Föld Nap körüli keringési pályájának (excentricitásnak) időbeli fluktuációi 100 ezer és 410 ezer éves ciklushosszt mutatnak. A pálya megnyúlik, s nagy excentricitású ellipszis alakot ölt, majd ismét szinte tökéletesen kör alakúvá válik (**20. ábra**). Ha a Föld pályájának excentricitása növekszik, akkor megemelkedik a Nap és a Föld közötti legkisebb és legnagyobb távolság. Ennek nyomán, hogy az egyik féltekén végletessé, a másik féltekén pedig mérsékeltebbé válnak a nyári és téli félévek közötti különbségek. Jelenleg a Föld akkor távolodik el legjobban a Naptól, amikor a déli félgömbön tél van, aminek következtében a déli félgömbön a tél valamivel hidegebb, a nyár viszont valamivel melegebb, mint az északi féltekén. *James Croll* (1821-1890) skót kutató (**21. ábra**) volt az első (1875), aki kiszámította (**22. ábra**) a geológiai múltban a precesszió változásai nyomán a Földünkre jutó, paleohidrológiai rendszerekre ható szoláris energia és ennek következtében kialakuló hőmérsékleti változásokat. *James Croll Adémar* francia matematikus (1846) ötletét használt fel munkája során. Viszont a megoldásra *Milan Milanković* (1879-1958) szerb mérnök-matematikus (**23. ábra**) jött rá, mikor kiszámította,

hogy az excentricitás, a tengelyferdeség változása, a precesszió, ezen három csillagászati tényező együttes hatására a nyári napsugárzás mennyisége az északi sarkkör közelére vonatkozóan akár 20%-kal is változik az idő folyamán **(24. ábra)**.

Ez az energiamennyiség változás elégséges lehetett az északi félteke szárazföldjeinek északi részét borító jégmező kiterjedésére, amikor hűvös nyarak és enyhe telek váltogatják egymást. Majd az extraterresztriális eredetű energianövekedést követően a globális jégtakaró visszahúzódott. Vagyis a paleohidrológiai rendszereket alapvetően befolyásoló hőmérsékleti tényező ciklikusan változott a földtörténet folyamán. Ennek legerőteljesebb megnyilvánulása a negyedidőszak során történt, amikor jégtakaró előretörések (glaciális hidegmaximumok) és jégtakaró visszahúzódások (interglaciális felmelegedések) váltogatták egymást.

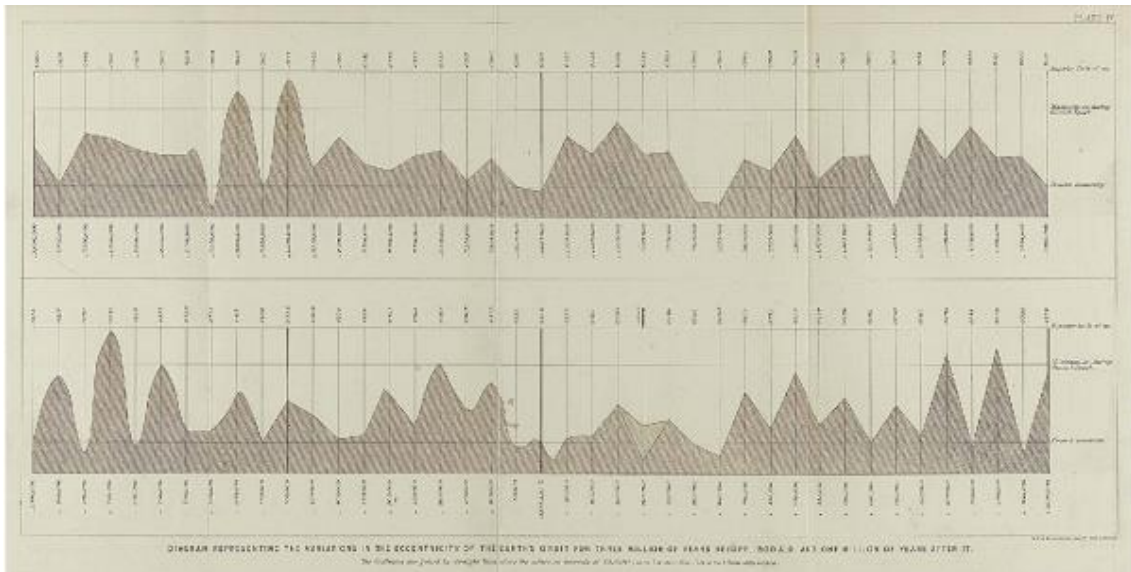
Mivel Milanković-nak kevés ismerettel rendelkezett az elméleti csillagászat terén, ezért a matematikai levezetéseket kutató társa, *Vojislav Mišković* végezte el. Mišković a Milanković-féle föld pályaelemeinek változásán alapuló besugárzási átalakulások nyomán kialakult hőmérsékleti változást az utolsó 600 ezer évre számolta ki, ugyanis akkor ennyi idősnek gondolták a jégkört (pleisztocént) és a jelenkort (holocént), azaz a negyedidőszakot (Quarter).



20. ábra Excentricitás, azaz a Föld Nap körüli keringési pályájának, pálya alakjának módosulása 100 és 410 ezer éves periodicitást mutat a teljes köralaktól nagy excentricitású ellipszisig (Forrás: wikipédia)



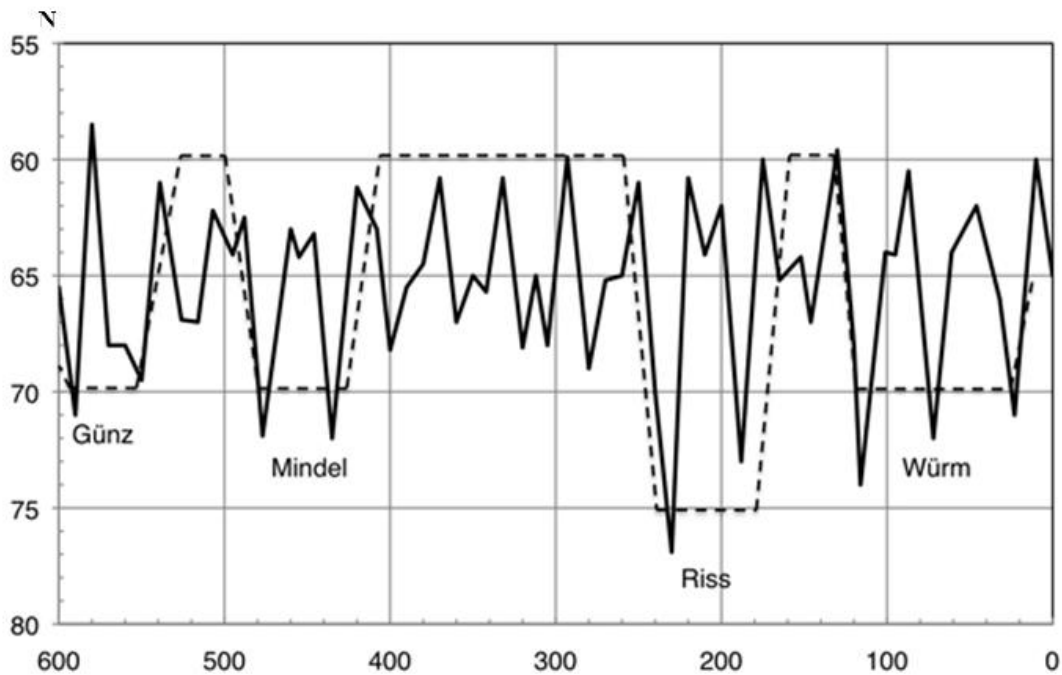
21. ábra James Croll (1821: Little Whitefield, Perthshire – 1890: Perth, Skócia) skót geológus, aki először számította ki a Földre jutó szoláris energia változását egyetlen extaterresztris tényező, a precesszió változásai alapján az utolsó 3 millió évre vonatkozóan (1800 évtől számítva) és az elkövetkező 1 millió évben (Forrás: wikipédia)



22. ábra James Croll skót geológus precesszió változásai nyomán megrajzolt (rekonstruált) Földre jutó szoláris energia változása az utolsó 3 millió évre vonatkozóan (1800 évtől számítva) és az azt elkövetkező 1 millió évre kiszámítva (Forrás: Croll, 1875)

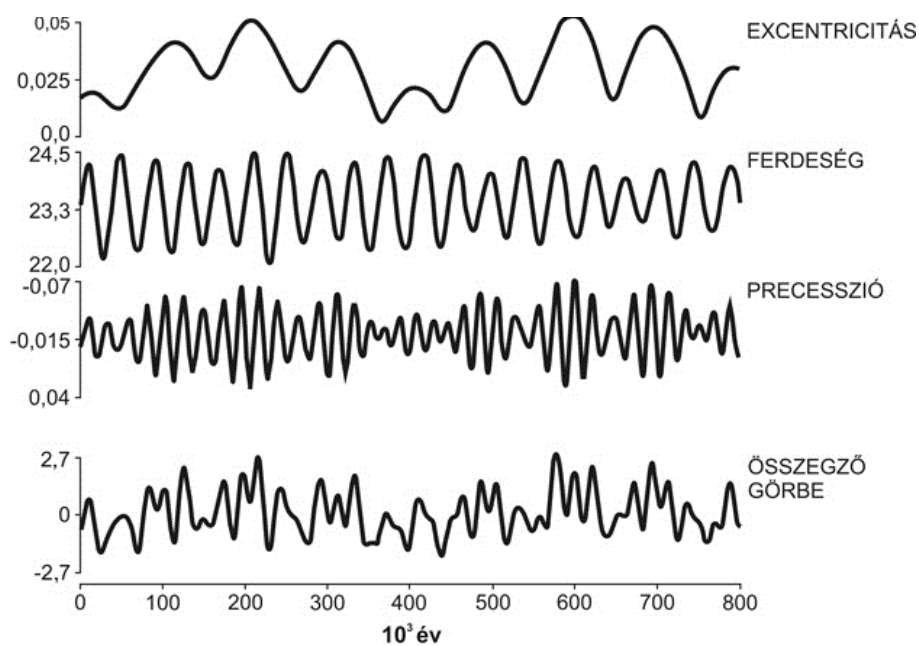


23. ábra Milan Milanković (1879: az Eszék melletti Dalj, Osztrák-Magyar Monarchia, ma Horvátország – 1958: Belgrád, Szerbia) szerbiai mérnök - csillagász egyetemi hallgató korában (Forrás: wikipédia)



24. ábra Milan Milanković a precesszió az excentricitás, a tengelyferdeség változásai nyomán megrajzolt (rekonstruált) Földre jutó szoláris energia változásai az utolsó 600 ezer évre (az akkor lehatárolt jégkorra) vonatkozóan és ebben az időszakban kifejlődött hőmérsékleti mélypontok nyomán rekonstruált glaciálisok és hőmérsékleti maximumok nyomán rekonstruált interglaciális ciklusok (Forrás: Milanković 1941 nyomán magyarra fordítva, átrajzolva, kiegészítve és módosítva)

Milan Milanković úttörő munkájától kezdődően az excentricitási, a tengelyferdeségi és a precessziós indexet többen is kiszámították, az egyik legátfogóbb munkát *André Berger*, 1942-ben született belga paleoklimatológus professzor végezte el, ő számította ki a paleoklimatológiai trendeket az utolsó 800 ezer évben (**25. ábra**). A paleohidrológiai rendszereket alapvetően befolyásoló egykori éghajlati változásokat rekonstruáló Berger-féle modellnek a kiemelkedő jelentősége, hogy a legújabb antarktisi jégtakaró fúrások nyomán 800 ezer évig, sőt a legújabbak alapján 1,2 millió évig 20-40 éves felbontásban rekonstruálhatjuk a megtörtént éghajlati eseményeket. Ezek a közvetlen őséghajlati adatok teljes mértékben alátámasztják a Berger-féle matematikai modell által rekonstruált éghajlati változásokat az elmúlt 800 ezer év során. A Föld pályaelem-változásai nyomán kialakult extraterresztriális ciklusok hatása az éghajlatra nyilvánvaló, de áttételes.



Az indexek számított értékei (Berger 1978)

25. ábra A keringési pályaelemek és a Földre jutó szoláris energia (összegző görbe) André Berger (1978) által kiszámított változásai az elmúlt 800 ezer évre vonatkozóan (Forrás: Berger 1978 nyomán magyarra fordítva, átrajzolva, módosítva)

A matematikai modellek és a quartergeológiai adatok nyomán a Föld pályaelem átalakulásai a földi hőbevétel mértékének elsősorban az évszakos jellegét módosítja. Ennek nyomán a legjelentősebb paleohidrológiai (légköri-óceáni) rendszert befolyásolják a hőbevétel változásai, és ez a folyamat az óceáni-légköri energiaáramlási struktúrákon keresztül elsősorban a hőkiegyenlítődés jellegének átalakulását eredményezi.

Az éghajlatváltozások a lehülések idején jelentősebbek, de a felmelegedési szakaszokban is kimutathatók. Az üledékgyűjtő medencékben az üledékképződés jellegét a hőmérsékletváltozásnál is jobban befolyásolja a csapadék mennyiségének változása, de az egyéb klímaelemek (pl. szél) hatása sem hanyagolható el. Mivel az üledékgyűjtő medencékben felhalmozódó üledék típusa, az üledékgyűjtő körül kialakult mállás fajtája, a fizikai és kémiai mállás aránya, az erózió válfaja éghajlattól függően alakul és alakult ki, ezért kiemelkedő jelentőségű kérdéskör, hogy ezek az üledékgyűjtő medencék milyen

éghajlati – exogén geológiai környezetben alakultak ki. A legnagyobb kiterjedésű óceáni és tengeri üledékgyűjtő medencék több klimatikus exogén geológiai övezeten is átnyúlnak, így az üledékképződési lito- és biofáciesek igen eltérőek lehetnek ugyanabban a jelentős kiterjedésű üledékgyűjtő medencékben.

Ellenőrző kérdések:

3.1. Mely képződmények adják a legfinomabb, féléves felbontás lehetőségét a paleohidrológiában?

3.2. Mi a precesszió? Milyen időbeli periódusokat mutat?

3.3. Mi az excentricitás? Milyen időbeli periódusokat mutat?

3.4. Mi a tengelyferdeség változás? Milyen időbeli periódusokat mutat?

3.5. Hogyan befolyásolják a Föld pályaelem változásai a Földre jutó energiát?

3. Éghajlattól függő paleohidrológiai változások kifejlődése, paleohidrológiai régiók

A sarki régiótól a trópusi éghajlati övekig klimatikus exogén geológiai övezeteket, akutálgeológiai régiókat lehet elkülöníteni, amelyekben a mállás–erózió–szállítódás–akkumuláció menete bizonyos hasonlóságot, homogén mintázatot mutat. Ez alapján a következő exogén geológiai-akutálgeológiai régiókat különíthetünk el az üledékgyűjtő paleohidrológiai rendszerek szempontjából:

1./Sarkvidéki (glaciális) paleohidrológiai régió (glaciális exogén geológiai - aktuálgeológiai régió).

2./Periglaciális paleohidrológiai régió (periglaciális exogén geológiai - akutálgeológiai régió).

3./Boreális paleohidrológiai régió (boreális exogén geológiai - akutálgeológiai régió).

4./Óceáni paleohidrológiai régió (óceáni exogén geológiai - aktuálgeológiai régió).

- 5./Nedves kontinentális paleohidrológiai régió (nedves kontinentális exogén geológiai - aktuálgeológiai régió).
- 6./Száras kontinentális paleohidrológiai régió (száras kontinentális exogén geológiai - aktuálgeológiai régió).
- 7./Szélsőségesen szárazföldi paleohidrológiai régió (szélsőségesen szárazföldi exogén geológiai – aktuálgeológiai régió).
- 8./Mediterrán paleohidrológiai régió (mediterrán exogén geológiai – aktuálgeológiai régió).
- 9./Mérsékeltövi monszun paleohidrológiai régió (mérsékeltövi monszun exogén geológiai – aktuálgeológiai régió).
- 10./Trópusi sivatagi paleohidrológiai régió (trópusi sivatagi exogén geológiai – aktuálgeológiai régió).
- 11./Szavanna paleohidrológiai régió (szavanna exogén geológiai – aktuálgeológiai régió).
- 12./Egyenlítői paleohidrológiai régió (egyenlítői exogén geológiai – aktuálgeológiai régió).
- 13./Trópusi monszun paleohidrológiai régió (trópusi monszun exogén geológiai – aktuálgeológiai régió).
- 14./Hegyvidéki paleohidrológiai régió (hegyvidéki exogén geológiai – aktuálgeológiai régió).

Mivel a geológiai (szedimentológiai) lepusztulási–áthalmazódási–felhalmozódási folyamatok ritmusa és menete döntően a Föld felszínének éghajlati övezeteinek megfelelően változik, ezért a paleohidrológiai rendszerek kifejlődése éghajlati régióként az éghajlati területre jellemzően fog viselkedni. A paleohidrológiai régiók kifejlődése, éghajlati–növényzeti adottságai, a fizikai és kémiai mállás intenzitása, az erózió mértéke, az akkumulációs tényezők, a feltöltődés üteme, az egész paleohidrológiai rendszer fejlődése döntően az egykori éghajlati tényezők függvénye. Viszont az éghajlati tényezők, mint fentebb láthattuk, az orbitális pályaelemek ciklikus változásai miatt

hullámszerűen változnak az idő folyamán, így az egyes paleohidrológiai régiók a ciklikus éghajlati változások nyomán kitágultak, összezsugorodtak, sőt szélsősége esetben teljes mértékben átalakulhattak, összekeveredhettek és meg is szűnhettek. Ugyanis a ciklikusan jelentkező extraterresztriális adottságok mellett az interresztriális (Föld felszínén jelentkező földtani) adottságok is kiemelkedő jelentőségűek paleohidrológiai szempontból. Ilyenek a kőzetadottságok, a paleohidrológiai rendszerek vízgyűjtő területének földtani–kőzettani–ásványtani felépítése, a kontinensek egykori elhelyezkedése és alakja. Ez utóbbi igen jelentős befolyással volt az egykori éghajlati régiók, és az éghajlati régiókat erőteljesen befolyásoló tengeráramlások és nagy földi légkörzés áramlásainak kiterjedésére is.

A paleohidrológiai régiók éghajlata, növényzete, vízrajza, vízjárásának típusa alapvető a paleohidrológiai rendszerek fejlődése szempontjából, ezért ezeket a tényezőket itt régióként részletezzük.

3.1. Sarkvidéki (glaciális) paleohidrológiai régió (glaciális exogén geológiai - aktuálgeológiai régió)

Jelenleg nagyságát (kb. 15 millió km²) és hatását tekintve csökkenőben lévő régió, de az elmúlt 2,6 millió év, a negyedidőszak glaciálisai során igen jelentős területekre (maximum 50-60 millió km²) terjedt ki a hatása. Teljesen növényzetmentes, talaj (váztalaj) hiánya jellemzi – mindössze alacsonyrendű növények, elsősorban algák, zuzmók élnek meg a területen. A sarkvidéki (glaciális) régió paleohidrológiai rendszerét a félévenként eltérő színben (téli világos és nyári sötét) és ritmusban növekvő, hó és csontjégből kifejlődött jégaminákkal jellemezhető gleccserek és jégtakarók jellemzik (lásd 13. és 14. ábra). A glaciális paleohidrológiai területeken a jégárak alatt a jég által szállított, karcolt (striék) felszínű kavicsokkal, erratikus tömbökkel jellemezhető moréna anyagok (till üledékek) jelentkeznek (**26. ábra**).



26. ábra Új Zéland déli sziget északnyugati oldalán a Ferenc József gleccser felszínén szállítódott moréna anyag és erratikus tömb 2014-ben (Forrás: első szerző felvétele, 2014)

A glaciális paleohidrológiai területek változásait ezen moréna anyagok kiterjedése alapján lehet legpontosabban nyomon követni. A glaciális paleohidrológiai fáciesek, a jégtakaró és a gleccserek kiterjedési szakaszait a felsáncolt, feltorlaszolt moréna anyag (morénasáncok, végmoréna gátak **27. ábra**) tükrözik vissza. Ezek az üledékek regionális és globális eseménysorukat tekintve rétegtani és éghajlat- rétegtani egységet is alkotnak mind a negyedidőszaki, mind az ennél jóval idősebb paleozoikumi rétegsorokban. Ezen régióra jellemző, hogy az évi középhőmérséklet mindenhol alacsonyabb $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál, míg a legmelegebb hónap középhőmérséklete $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatti. A glaciális paleohidrológiai régió éghajlati jellemzésére a Walter-Lieth-féle éghajlati diagram használható fel (**28. ábra**). A csapadék és a párolgás minimális, a vízháztartása a régiónak pozitív. A jégtakaró és a gleccserek alatti egykori üledékképződést a fosszilis paleohidrológiai rendszerek segítségével rekonstruálják, azokon a területeken, ahonnan már visszahúzódott a jég. Az utolsó 2,5-2,6 millió évet átfogó negyedidőszak, különösen annak utolsó 800-900 ezer évében a jégtakaró, az örök jégborítású területek, így a glaciális

paleohidrológiai régió kiterjedése dinamikusan változott (29. ábra). A legerőteljesebb interglaciális felmelegedések során (erre felé haladunk napjainkban) a jégtakaró teljes mértékben elolvadt az északi féltekén és csak néhány millió km² kiterjedésű jégtakaró maradt fenn az Antarktiszon. Ugyanakkor a legjelentősebb lehülések (glaciálisok) idején a jégtakaró egésze Földünkön elérte a 60 millió km² kiterjedést (30. ábra).



27. ábra Új Zéland déli sziget északnyugati oldalán a Ferenc József gleccser előtti, a gleccser olvadékvíz által átszakított morénasánc (Forrás: első szerző felvétele, 2014)

Dundas Radio, Grönland (tszfm: 20 m)

N: 76.57 °

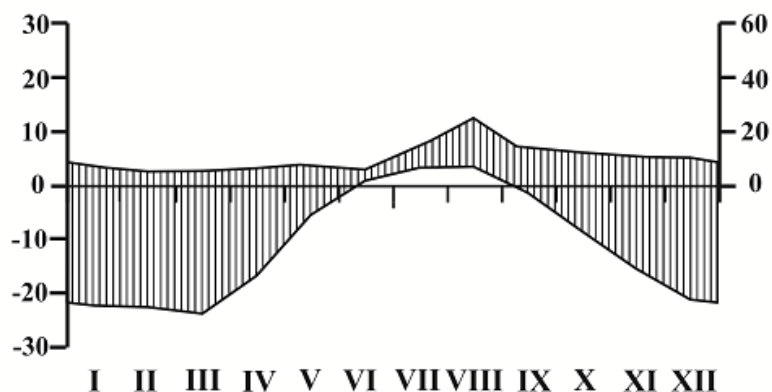
W: 68.8 °

-10,6 °C (ÉVI ÁTLAG)

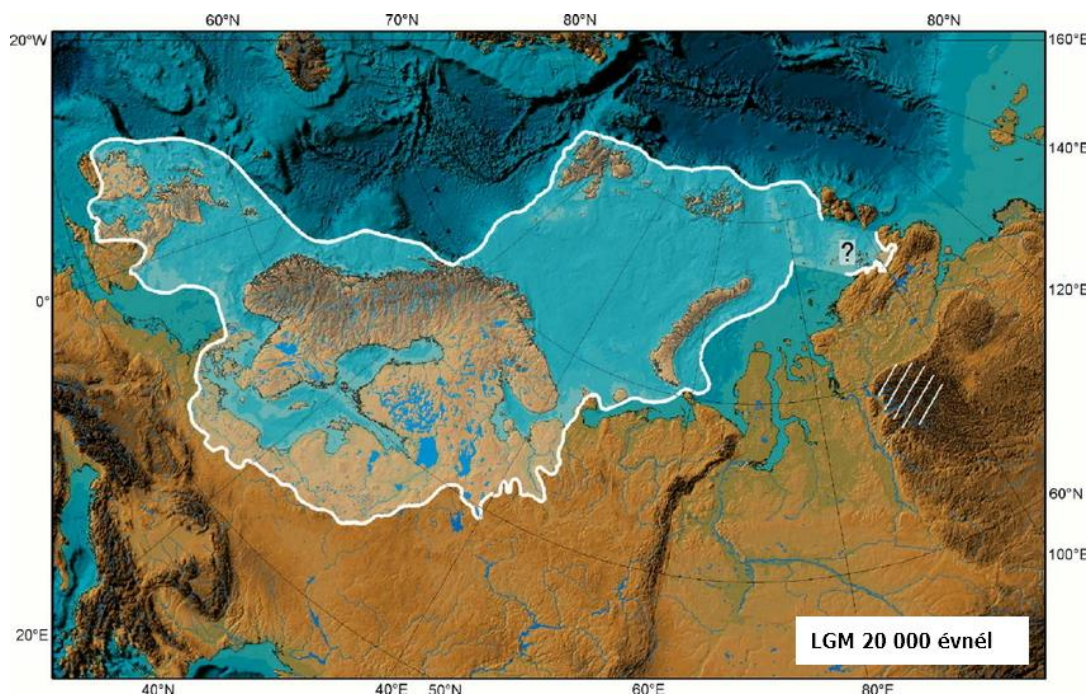
[°C]

124,5 mm (ÉVI ÁTLAG)

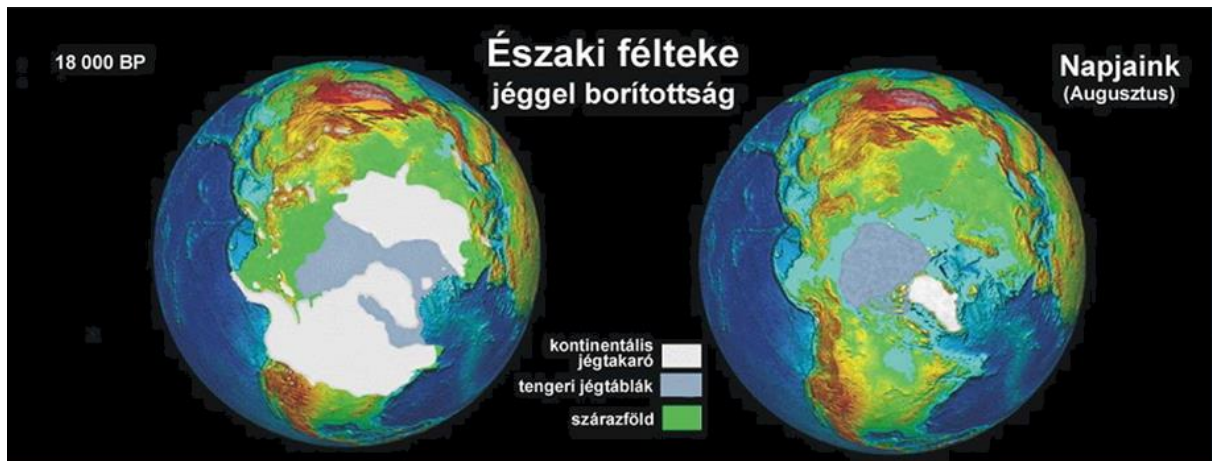
[mm]



28. ábra Az örökké fagyott területek éghajlati adottságainak bemutatása a grönlandi Dundas Radio klímaállomás (Új Skócia, Kanada) adatai nyomán készült Walter-Lieth diagramon (Forrás: a hivatalosan megadott adatok alapján készült új, saját ábra)



29. ábra Az utolsó glaciális hidegmaximumánál (Last Glacial Maximum = LGM) a jégtakaró kiterjedése Európában (Forrás: wikipédia)



30. ábra Jéggel borított területek az utolsó glaciális hidegmaximumánál (Last Glacial Maximum = LGM) és napjainkban az északi féltekén (Forrás: wikipédia)

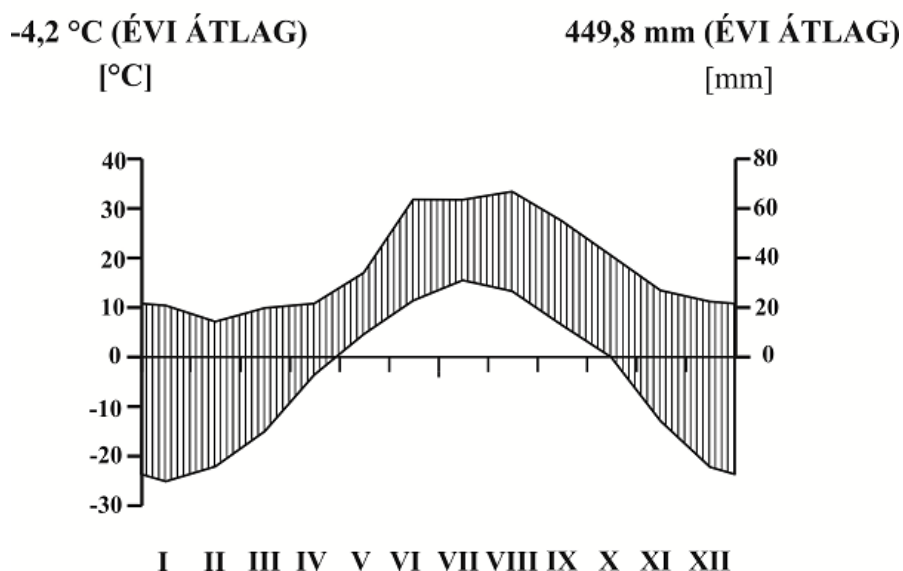
3.2. Periglaciális paleohidrológiai régió (periglaciális exogén geológiai - akutálgeológiai régió)

Jelenleg területét és hatását tekintve zsugorodó régió, amely az északi féltekén az arktikus jégtakaró peremén övezet formájában, a déli féltekén az Antarktisz tengeri peremén egy vékony sávban, valamint az északi és déli féltekén magashegységi gleccserek előterében, magashegységi régiókban foltszerűen fejlődött ki. Az elmúlt 2,6 millió év, a negyedidőszak glaciálisai során igen jelentős területre (maximum 30 millió km²) fejtették ki hatásukat. Sőt a periglaciális paleohidrológiai régió határa a jégkorszak lehülési fázisaiban feloldódott és keveredett más paleohidrológiai régiókkal. Ennek nyomán egy ma már nem létező speciális, rendkívüli fajgazdagsággal jellemezhető paleohidrológiai régió alakult ki a jégkor során, amelyet teljesen speciális üledékszállítódás, felhalmozódás és diagenezis jellemzett, mind az északi és mind a déli féltekén.

Sawbill, Manitoba (tszfm: 335 m) KANADA

N: 57.591 °

W: 101.85 °

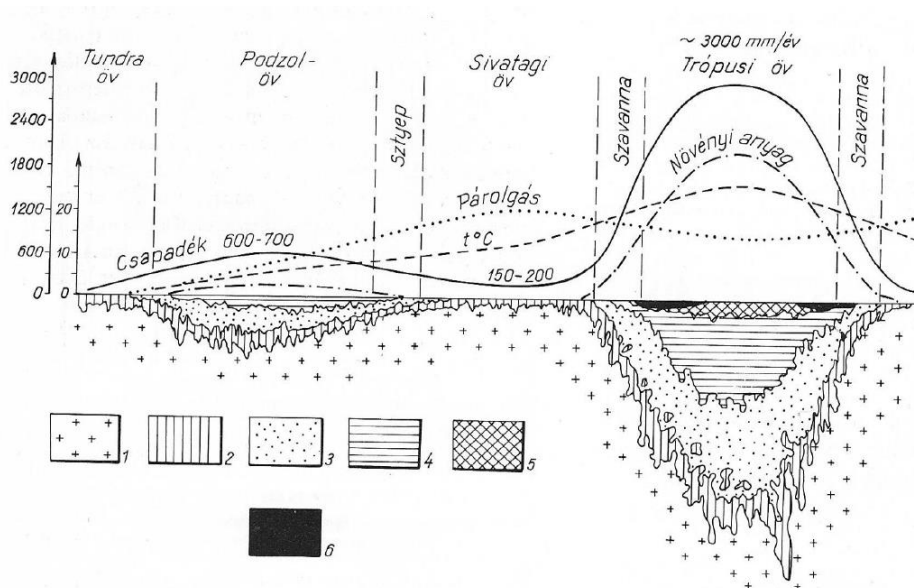


31. ábra A periglaciális paleohidrológiai területek éghajlati adottságainak bemutatása a Rénszarvas-tó partján elhelyezkedő Sawbill (Manitoba, Kanada) klímaállomás adatai nyomán készült Walter-Lieth diagramon (Forrás: a hivatalosan megadott adatok alapján készült új, saját ábra)

Ennek, a több kontinensen is kialakult, de azonos környezetet jelző fosszilis periglaciális paleohidrológiai régióknak a jelentősége, hogy világméretű rétegtani azonosítást tesz lehetővé. Kiemelkedő jelentőségűek a speciális környezet hatására kialakult fajkeletkezések, mindenekelőtt a vízi faunának a fokozatos lehűlés hatására történő átalakulását és a felmelegedések miatt bekövetkezett fajkihalásokat lehet tanulmányozni. A periglaciális paleohidrológiai régió éghajlatára száraz tél és csapadékosabb nyár jellemző, a magashegységi foltoknál kis hóingású, egyenletesen hideg–hűvös éghajlat a jellemző. Az évi középhőmérséklet 0 °C alatti, a nyár rövid, 2-3 hónapos és hűvös, a tél hosszú és hideg (31. ábra).

A növényzet döntő része alacsonyabb rendű növényekből, leginkább mohákból, zuzmókból, valamint törpecserjékből, párnákban, csomókban növekvő lágyszárúakból álló tundranövényzet, illetve a nedves területeken lópókából,

mocsararkból álló tundranövényzet fejlődött ki. Bár ez a növényzet valószínűleg az elmúlt 2,6-3,0 millió év során megjelenhetett, de az egyes taxonok már jóval korábban kialakulhattak, és csak a szélsőséges hidegtűrő változatai fejlődhettek ki a ciklikusan ismétlődő lehülési szakaszok során. A területen jelentős fitomassza fejlődik és fejlődött ki, de biodiverzitása alacsony, azaz kevés növényfaj alkotja a növényzet döntő részét. A kémiai mállás minimális mértékben jellemző, mivel az év 2-3 hónapjában jelentkezik csak a víz oldott formában – követve a hőmérséklet változásait (**32. ábra**).

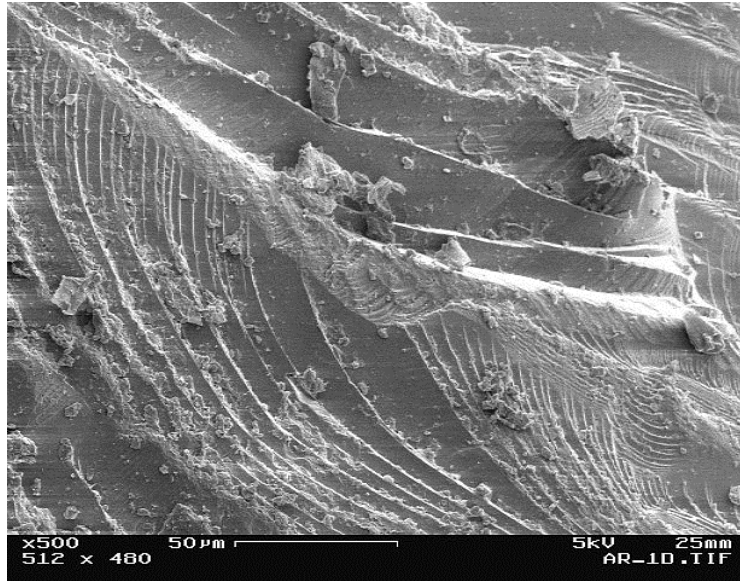


32. ábra A talajképződés jellegének, intenzitásának és a talaj jellemző ásványainak változása éghajlati – paleohidrológiai övek szerint, tektonikailag nyugodt (nem emelkedő – nem süllyedő) területeken (Forrás: Strahov, 1960 nyomán magyarra fordítva, átrajzolva, módosítva) 1 = üde kőzet, 2 = Kis mértékben mállott kőzet, 3 = illites – montmorillonitos öv, 4 = kaolinites öv, 5 = goethites és allitos öv, 6 = alumíniumban és vasban dús kéreg

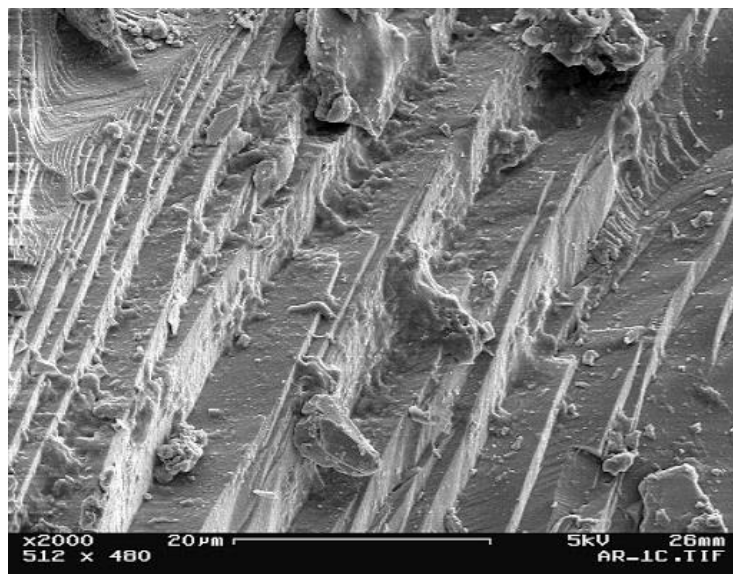
A talajképződés erősen gátolt, típusa a felső réteg ismételt kiolvadása és átfagyása miatt bekövetkező fizikai mállás, az aprózódás nyomán keletkezett törmelékben gazdag és minimális szervesanyag-tartalommal jellemezhető tundratalaj. Így a periglaciális paleohidrológiai régióban kifejlődött üledékgyűjtő medencékben elsősorban az anyakőzetből levált, éles, sarkos kifejlődésű

szemcsék dominálnak, az agyagfrakció aránya alárendelt, a szervesanyag-tartalom az üledékgyűjtő rétegeiben minimális.

A kvarc szemcsék felszínén jellegzetes fagymarási nyomok (33. és 34. ábra) jelennek meg – ez az egyik legbiztosabb jele az egykori periglaciális környezetnek, az egykori permafroszt (örökfagy) réteg kifejlődésének és a periglaciális permafroszt hatásnak.



33. ábra Periglaciális örökfagy hatása kvarc szemcse felszínén – fagymarási nyomok (frost shattering prints) – pásztázó elektronmikroszkópiás felvétel N = 500 X (Forrás: eredeti SEM felvétel, 1996)



34. ábra Periglaciális örökfagy hatása kvarc szemcse felszínén – fagymarási nyomok (frost shattering prints) – pásztázó elektronmikroszkópiás felvétel N = 2000 X (Forrás: eredeti SEM felvétel, 1996)

A permafroszt (örökfagy) szintnek a kiterjedése fluktuációszerűen többször is átalakult az utolsó 2,6 millió év során. Mai kiterjedése az örökfagynak egyrészt a jégkorból megöröklődött állapot, illetve a jelenkori (holocén) víz borította felszínein (lápok, mocsarak, allúviumok) az utolsó jelentős felmelegedés, a jelenkor során is aktívan fejlődött permafroszt horizont. A jelenlegi, ember által felgyorsított és kiterjesztett felmelegedési ciklusban a periglaciális területek felolvadnak és egyre hosszabb ideig, egyre nagyobb területeken jelentkeznek vízzel borított térszínek, sekély vízzel borított üledékgyűjtő rendszerek a periglaciális övezetben.

3.3. Boreális paleohidrológiai régió (boreális exogén geológiai - akutálgeológiai régió)

A boreális paleohidrológiai régió éghajlatát főként a besugárzás mértéke alakítja. Igen alacsony a hőmérséklet, az évi középhőmérséklet $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ közötti. Két eltérő időszak alakult ki egy év során, a 7-8 hónapos, hideg téli időszak, és a rövid tenyészidőszak, a nyár. Ezek között rövid átmenetek jellemzőek. A csapadék kevés, de a párolgás is kismértékű, ezért nincs szárazság (35. ábra). Télen jellemzőek az erős szélviharok. Az évi hőmérséklet járása szélsőséges, különösen a boreális paleohidrológiai régió déli szegélyén, ahol az évi átlagos hőingás mértéke meghaladja a $60-65\text{ }^{\circ}\text{C}$ -t.

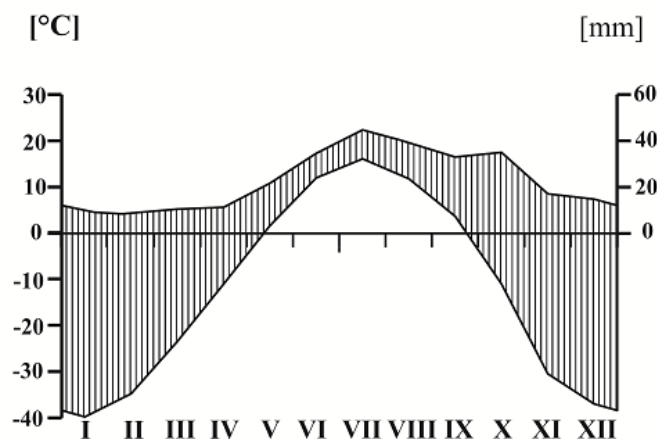
Zsiganszk (tszfm: 71 m), Jakutia, Oroszország

N: 66.737 °

E: 123.518 °

-11,8 °C (ÉVI ÁTLAG)

279,6 mm (ÉVI ÁTLAG)



35. ábra A tajga paleohidrológiai területek éghajlati adottságainak bemutatása a Jakutföldön elhelyezkedő Zsiganszk (Oroszország) klímaállomás adatai nyomán készült Walter-Lieth diagramon (Forrás: a hivatalosan megadott adatok alapján készült új, saját ábra)

A mai és egykori hidrológiai rendszerek télen befagynak/befagytak, hóolvadáskor jellemző az árvíz és a változó vízborítású, időszakosan kiszáradó mocsarak kialakulása. A növénytakarót a változatos kifejlődésű tűlevelű erdő jellemzi (tajga), amelyet alapvetően lucfenyő (*Picea*), jegenyefenyő (*Abies*), vörösfenyő (*Larix*) és erdei fenyő (*Pinus sylvestris*) alkot. Azonban a lombhullató fák is megjelennek, különösen a régió déli peremén, ahol stabilan vegyeslombozatú tajga sáv alakult ki, a tűlevelűekkel keveredve keskenylevelű lombos fákkal (nyír – *Betula*, fűz – *Salix*), illetve széleslevelű lombosfákkal, mint bükk (*Fagus*), tölgy (*Quercus*) és juhar (*Acer*). A talaj nagyon lassan képződik, mivel a nyári időszak rövid, de a tűlevelek felhalmozódása jelentős, a rövid tenyészidőszak következtében rövid lebomlási idő alakul ki.

A rövid tenyészidő, a minimális bakteriális aktivitás nyomán a humusz tartalma a talajnak minimális, viszont a felhalmozódott tűlevél jelentős huminsav anyaga miatt a tajga talaj kémhatása savas. A savas kémhatás következtében közvetlenül az avartakaró, a relatíve humuszban dús A szint alatt egy kioldódási

szint (elluviális szint) fejlődött ki, ahonnan a vas, a mangán, az alumínium a savas kémhatás következtében mélyebb szintre (felhalmozódási szintbe = illuviális horizontba) vándoroltak. Mivel savas pH-n a SiO_2 nem oldódik, így a kovásv maradt meg a kioldódási szintben, ennek nyomán ez a szint kivilágosodik, fehér, fehéresszürke színűvé válik – innen ennek a talajszintnek az elnevezése, albic szint és ezért hívják a podzol talajt szürke talajnak (**36. ábra**). Ezen éghajlati és mállási feltételeknek megfelelően a tajgazónában kifejlődött üledékgyűjtő medencékben lassú üledékfelhalmozódás, minimális szervesanyag-tartalom jellemző, de a savas kémhatás és a pozitív vízmérleg, a jelentősebb páratartalom miatt ezek az üledékgyűjtő rendszerek gyorsan elláposodhatnak (**37. ábra**) és az adott feltételek között tőzegmoha lápok, tőzegmoha rétegek fejlődhetnek ki (**38. ábra**).



36. ábra Podzol talaj kezdeti kifejlődése a jellegzetes fehér színű (albic) és vörösbarna színű Fe, Mn, Al felhalmozódási szintet alkotó spodic rétegekkel (Forrás: wikipédia)



37. ábra Viruu dagadó láp Észtországban, a taiga övezetben kifejlődött tőzegmoha láp (Forrás: wikipédia)



38. ábra Dagadó (ombotróf) erdélyi Bisztra lápon fúrással feltárt tőzegmoha réteg (fotó: Sümegi Balázs Pál felvétele, 2015)

A tőzegmoha lápok rétegeiben a szervesanyag-tartalom meghaladhatja akár a 98%-ot is (**39. ábra**). A jégkor (pleisztocén) lehülési (glaciális) szakaszaiban a mai rendkívül fejlett és eurázsiai–észak-amerikai kiterjedésű tajga paleohidrológiai övezet is feloldódott, és a mai tajgát alkotó taxonok diffúz foltokban, elszórtan maradtak meg egy hatalmas kiterjedésű erdőssztyepp övezetben. A boreális paleohidrológiai régióban kialakult üledékgyűjtő medencékben felhalmozódott üledékekben a vízőldható vas, mangán, alumínium-tartalom jelentős, mivel a podzolosodás során ezek az elemek oldott állapotban jutnak be az üledékgyűjtő medencékbe. Külön ki kell emelnünk az üledékgyűjtő medencékben felhalmozódott rétegek pernye tartalmát, mivel a tajgazónában ciklikus erdőtüzek alakulnak ki, amely során jelentős mennyiségű pernye termelődik és halmozódik fel.



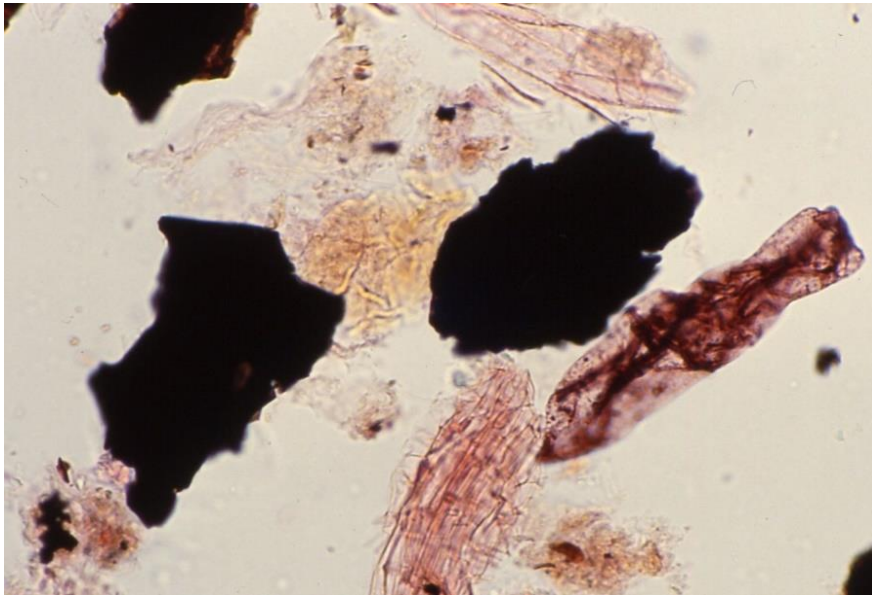
39. ábra Dagadó (ombotróf) lápon fúrással feltárt, rendkívül jelentős 96-97 % szervesanyag-tartalmú tőzegmoha réteg (fotó: Sümegi Balázs Pál felvétele, 2015)

A tajgaerdők ciklikus öngyulladásának oka a tűlevelű fák kiemelkedő gyantatartalma, amelynek hatására vágató erdőtüzek alakulhatnak ki egyetlen villámcsapás hatására is. Minél zártabb az erdőtakaró ebben a paleohidrológiai rendszerben, annál rövidebb az erdőégek, tajgatüzek közötti ciklushossz, annál sűrűbben ég le a tajgaerdő. A tajgatüzek ökológiai és aktuálgeológiai vizsgálata alapján a glaciális/interglaciális átmeneteket is kiterjedt tajgatüzek jellemzik, és a jelenlegi globális felmelegedésben a tajgazóna visszaszorulását a klimatikus erdőtüzek is elősegítik (**40. ábra**).



40. ábra Tajgatűz a tajga ökológiai rendszerének szerves részét alkotja, a gyantával telített gyúlékony faállomány és tűlevelekből álló avar következtében (Forrás: wikipédia)

Éppen a később tárgyalandó üledékgyűjtő medencék rétegsorainak feltárása, paleohidrológiai elemzése mutatott rá, hogy a pernyemaximumok (**41. ábra**) a természetes, termelő emberi hatásoktól mentes rendszerekben határozott időbeli ciklusokat követnek.



41. ábra Pernye (fekete, átégett rész) és égés mentes növényi szövetek tőzegmoha rétegből (Forrás: saját mikroszkópi felvétel)

Ezek a természetes ciklusok jelentkezhettek egyszerre – gyengítve és erősítve egymást. A szabályosság és periodicitás szinte végighúzódik az egész földtörténeten, de legkifejezettebben az utolsó geológiai időszak, a negyedidőszak (Quarter) során alakultak ki ezek a ciklusok. A pernyemaximumok a glaciális/interglaciális váltásoknál, azaz több tízezer éves ciklusokban fejlődnek ki és ezek a változások globális szinten teljesen egybeesnek a poláris jégtakarók kiterjedésével és visszahúzódásával, valamint az ezzel párhuzamosan zajló, de ellentétes irányú a világtenger szintjének emelkedésével és süllyedésével. Ugyanakkor ismeretesek a pernye maximumokban rövidebb ciklusú változások is, amelyek egybeesnek a magashegységi gleccserek 1000-1500 éves időtartamú előretörésével és visszahúzódásával és a jelenkor (holocén) teljes 11 600/11 700 éves időtartamán keresztül megfigyelhető változásokat okozták. Ugyancsak kimutathatóak a pernyemaximumok változásai nyomán a napfolttevékenység évszázados és évtizedes ciklusai is. Úgy tűnik, hogy ezek a ciklusok alapvetően befolyásolják a tajga üledékgyűjtő (paleohidrológiai) rendszerei körül az erdők sűrűségét (denzitását), azaz a spontán kialakuló erdőtüzek gyakoriságát.

Ugyanakkor a ciklusok mellett a sztochasztikus, véletlen események bekövetkezései előre megjósolhatatlanok és ezek a véletlenszerű események is alapvetően befolyásolják a paleohidrológiai rendszerek fejlődését. Éppen a fentebb tárgyalt esetben az erdőtüzek kifejlődését a véletlenszerűen kialakuló, erdőtüzet okozó villámcsapások is ide tartoznak. De ide sorolhatóak a vulkánkitörések is, amelyek az exogén geológiai és éghajlati helyzetet erőteljesen átalakíthatják, vagy a csuszamlások, gravitációs tömegmozgások, amelyek következtében az üledékgyűjtő medencék – paleohidrológiai rendszerek létrejöhetnek.

Az időjárási jelenségek jelentős része, például a viharok is véletlenszerű események közé sorolhatóak a rövid távú adatok alapján, viszont több száz éves skálán vizsgálva a folyamatokat, jól látható, hogy ezek az események többségükben éghajlat determinálta változások nyomán következtek be. Ezekre legjobb példa a kis jégkorszakban jelentkező vihardagály szintek, illetve a nyugat-európai viharok gyakoriságának növekedése. Így a rövid idejű megfigyeléseken nyugvó, vagy csak elszórtan jelentkező adatok esetében véletlen eseményekről a hosszú távú hidrológiai változások elemzése nyomán sokszor kiderül, hogy egy rendszer ciklikus változásainak az eredményeként alakult ki, csak a ciklus hossza meghaladja az írott források, feljegyzett megfigyelések időskáláját. Éppen ezért is kiemelkedő jelentőségűek a paleohidrológiai rendszerek ilyen irányú vizsgálatai, mivel ezek nyomán rajzolhatóak meg legpontosabban a jelenleg is zajló globális éghajlati változások jelenlegi és jövőbeli trendjei.

3.4. Óceáni paleohidrológiai régió (óceáni exogén geológiai - aktuálgeológiai régió).

Ez a paleohidrológiai area az óceánok parti sávjában, illetve annak közelében, főleg Észak-Amerika és Európa Ny-i részén, illetve az új-zélandi szigeteken alakult ki. A csapadékmennyiség kiemelkedő, 800-2000 mm, és egyenletes eloszlású, gyakori köddel, borultsággal párosulva, ennek nyomán a

napsütéses órák száma relatíve alacsony értékű, és jellemző a szinte állandó, óceán felől fújó szél. Az évi középhőmérséklet 5-12 °C. A tél enyhe (3-8 °C), a leghidegebb hónap február. A nyár szintén enyhe, a legmelegebb hónapok az augusztus és a szeptember (42. ábra).

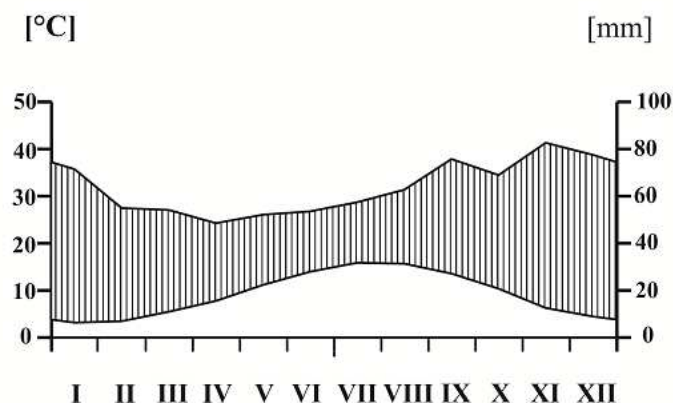
London (tszfm: 50 m) Nagy-Britannia

N: 51.477 °

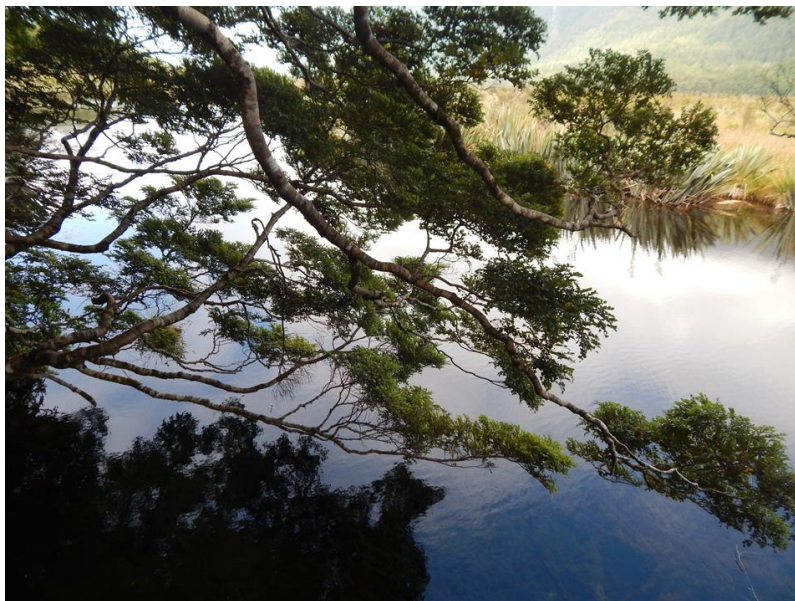
E: 0.035 °

9,4 °C (ÉVI ÁTLAG)

762,9 mm (ÉVI ÁTLAG)



42. ábra Óceáni paleohidrológiai területek éghajlati adottságainak bemutatása londoni klímaállomás adatai nyomán készült Walter-Lieth diagramon (Forrás: a hivatalosan megadott adatok alapján készült új, saját ábra)



43. ábra Déli bükk (*Nothofagus*) fák az óceáni éghajlatú új-zélandi Mirror tavaknál (Forrás: az első szerző felvétele 2014 január 30-án)

A jelentős és egyenletes csapadékbevételnek megfelelően a paleohidrológiai rendszerek vízellátása egyenletes, a folyók, tavak bővizűek, az erőteljesen pozitív vízellátás következtében igen jelentős és nagy felületű lápos területek – lejtőlápok (takarólápok), dagadólápok fejlődtek ki ezen a területen. A természetes növényzete a bükk (*Fagus*), tölgy (*Quercus*), nyír (*Betula*) uralta erdők, a déli féltekén déli bükk (*Nothofagus*) a legfontosabb erdőalkotó fa (**43. és 44. ábra**). A természetes növényzet ma már csak foltokban maradt fenn, ugyanis szinte az egész területet legelőkké, szántókká alakították (**45. ábra**) és az egész régió sűrűn lakott. Így napjainkban, az elmúlt 500-600 évben zajló üledékképződést az emberi hatások alapvetően befolyásolták, a természetes paleohidrológiai folyamatokat csak az üledékgyűjtő medencékben felhalmozódó üledékek középkor előtti szintjeinek elemzésével lehet rekonstruálni.



44. ábra Déli bükk (*Nothofagus*) fa levele az óceáni éghajlatú új-zélandi Mirror tavaknál (Forrás: az első szerző felvétele 2014 január 30-án)

Az óceáni paleohidrológiai medencék vizsgálati szemszögéből a legfontosabb tényező volt a *Frederic MacKereth* angol paleohidrológus munkája nyomán kialakult tudományos iskola, az üledékgyűjtő medencék üledékes rétegeinek

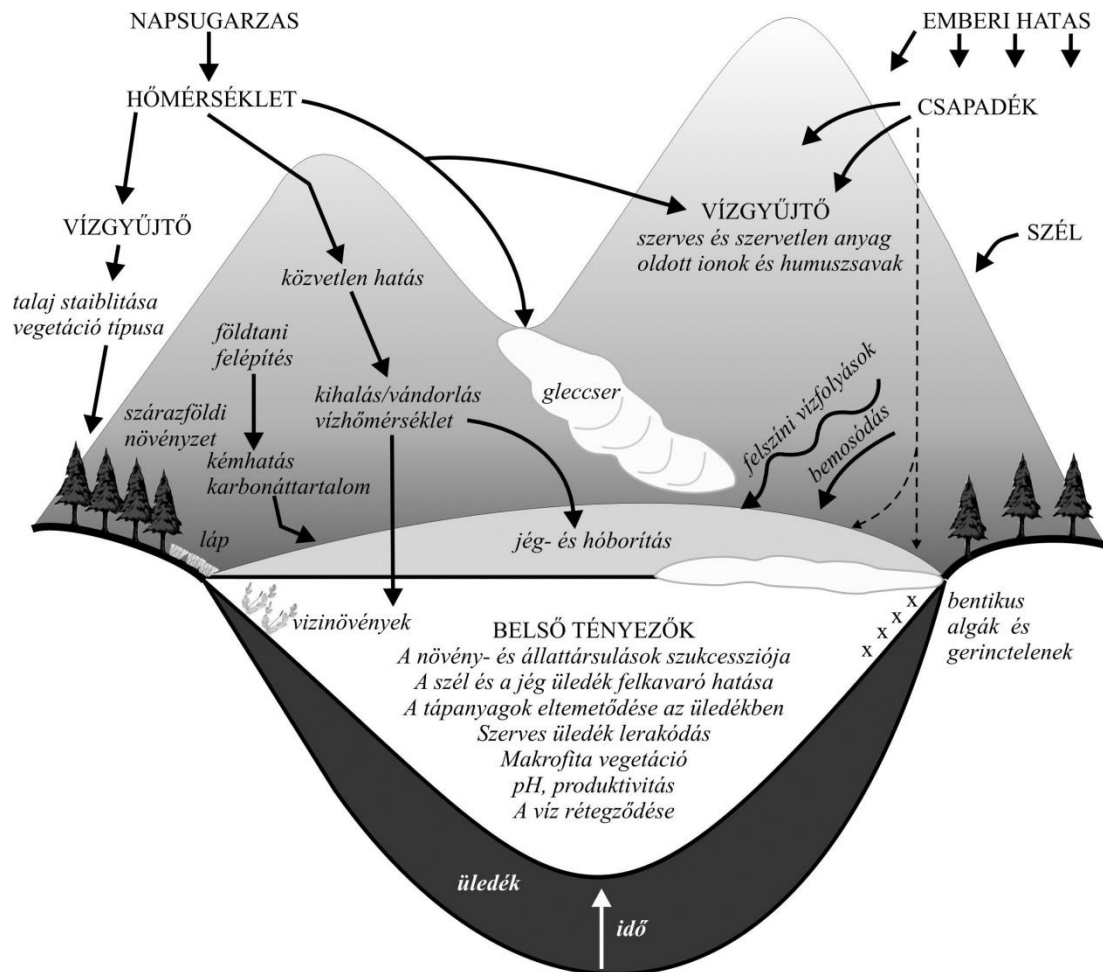
geokémiai elemzésén alapuló öskörnyezeti rekonstrukció (46. ábra). A Brit-szigetek atlantikus területeit kutató MacKereth szerint az üledékizzítási veszteség módszerrel (LOI) megkapott szervetlen anyag tartalom és a teljes kémiai elemzés során meghatározott Na- és K-tartalom összefüggést mutat az üledékgyűjtő medence vízgyűjtő területének eróziójával. Ha a vízgyűjtő területet zárt növényzet (a jelen esetben atlantikus erdő), az alapkőzetet málladék (ún. „regolit”) és talaj borítja, akkor a vízgyűjtő terület erózió szempontjából stabil rendszert alkot, a felszíni vízfolyások elsősorban vízben oldott ionokat szállítanak a tóba, a bejutó szilikát szemcsék mennyisége elhanyagolható.



45. ábra Az erdők, közte déli bükk erdők helyén kialakított dús fűvű legelők és hasznosításuk Új Zélandon. A megközelítőleg 4,5 millió új-zélandi lakosra 2014-ben 25 millió anyajuh és bárány jutott. Ez a jelentősnek tűnő szám egy drasztikus, mindenekelőtt természetvédelmi okok miatti, tudatos csökkentés eredménye, mivel 1982-ben még 70 millió volt az anyajuhok és bárányok együttes száma Új-Zélandon. (Forrás: az első szerző felvétele 2014. január 31-én)

A növényzet éghajlati hatásra vagy emberi tevékenységre (ember által okozott erdőtűz, erdőirtás) történő megbomlása talajeróziót indít el. A tavi üledékes rendszerekbe ekkor mállatlan szilikátszemcsék, illetve eutrofizációt indukáló

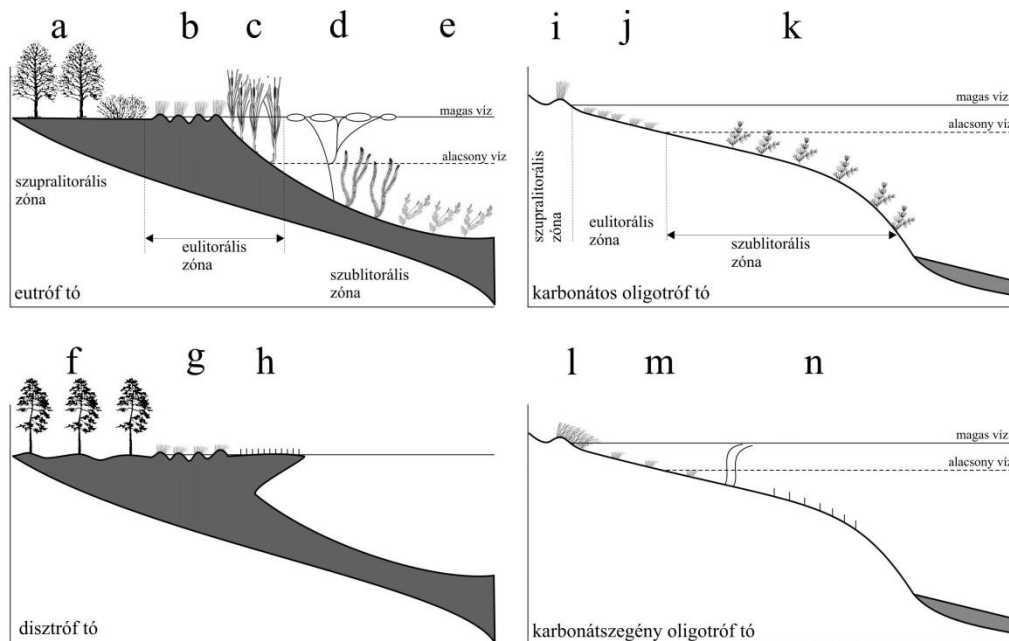
elemek (kálium, nitrogén, foszfor), kerülnek be és ezeknek az elemeknek a hatására elszaporodnak az algák, így szerves anyagban dús agyag vagy kőzetliszt, ún. “detritusz” halmozódik fel (47. ábra).



46. ábra A természetes üledékgyűjtőben, paleohidrológiai felhalmozódó üledékek és ősmaradványok felhalmozódási és tafonómiai folyamatok. Minden folyamatot külön kell tanulmányozni vagy egy recens hidrológiai rendszer is tanulmányozhatóak a folyamatok felszíni minták segítségével (Gaillard – Birks 2007 nyomán átrajzolva, magyarra fordítva, módosítva Jakab – Sümegei, 2011)

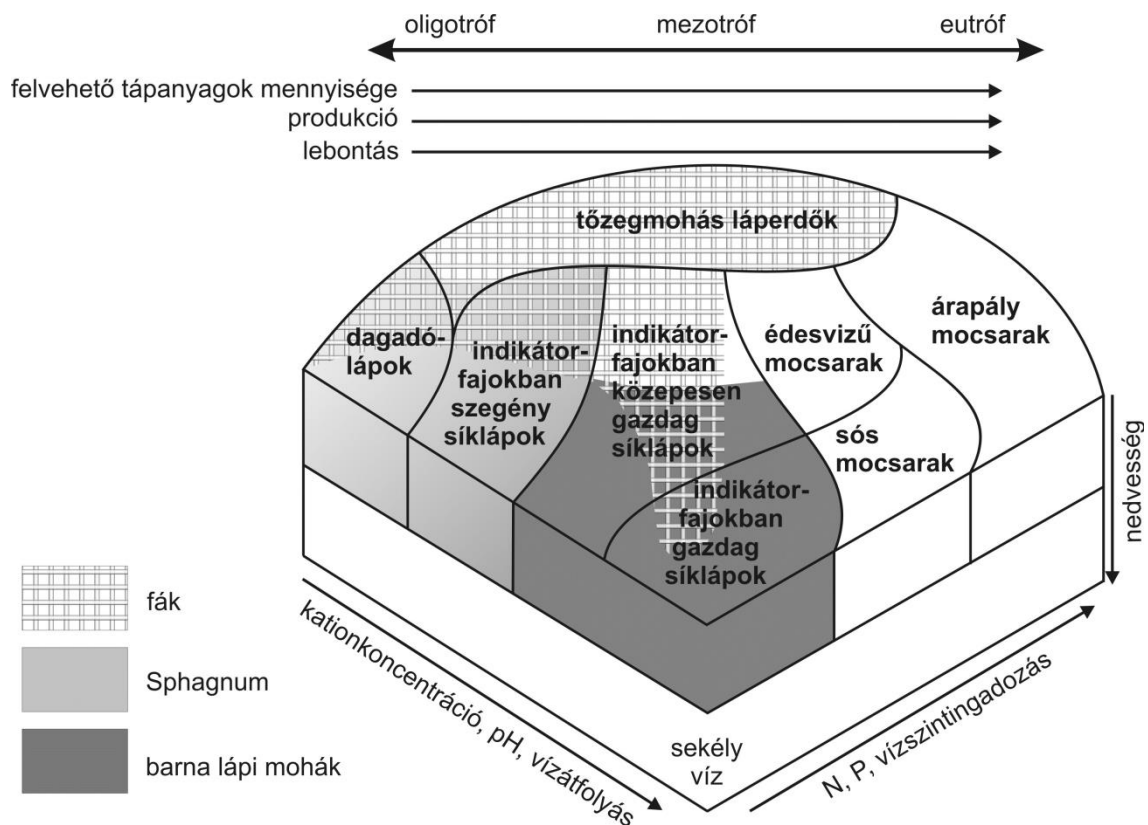
A vegetáció átalakulásának hatására (klíma átalakulása, erdőtüzek, fakitermelés) az üledékgyűjtő medence vízválasztó vonala közötti areájának (vízgyűjtő területének) felszínén az üledék stabilitása megbomolhat. Ennek nyomán a talaj és üledék lepusztulás indulhatott meg. Így a felszíni és felszínközeli málladék, illetve a mállatlan szilikátszemcsék áthalmozódhatnak és lerakódnak az üledékgyűjtő medencékben. Ebben az esetben az üledék Na- és K-tartalma, valamint szerves anyag tartalma ugrásszerűen megnő. Már az első elemzések rámutattak arra, hogy

az atlantikus területek tápanyagban szegény (ún. „oligotróf”) tavai esetében az áthalmozódott és az üledékgyűjtő medencében lerakódott szediment, málladék és talaj kifejlődése, vastagsága a lepusztulás (denudáció) mértékétől függ és a szerves anyag egy része a lepusztulási régió talajaiból származik.



47. ábra Az arktikus és mérsékelt övi területek három fő ökológiai tótipusa. Eutróf tavak: a) égerlápok, b) zombékosok és magassásosok, c) nádas, d) rögzült, lebegő hínár, e) rögzült, alámerült hínár. Disztróf tavak: f) erdőszült tőzezláp, g) tőzegmohaláp, h) úszóláp. Oligotróf karbonátos tavak: i) nitrogénkedvelő növényzet a nedves talajon, télisásos, j) csetkákás, k) csillárkamoszat (*Chara*) és békaszőlő. Oligotróf karbonátszegény tavak: l) magassásos, m) lobélia és durdafű, n) csillárkamoszat (*Nitella*) (Forrás: Gaillard – Birks 2007 nyomán átrajzolva, magyarra fordítva, módosítva Jakab – Sümegei, 2011)

Vagyis az üledékgyűjtő medencében felhalmozódott üledékek elemzése nemcsak az üledékgyűjtő belső fejlődéséről, hanem az üledékgyűjtő medencét övező vízgyűjtő terület mállásáról, lepusztulásáról is hordoz üledékföldtani információkat. Mivel az óceáni éghajlati hatás alatt álló természetes rendszerekben az egyenletes csapadékbevitel jellemző, ezért a megnövekedett erózió csapadéknövekedés hatására fejlődik ki, vagyis itt is éghajlat és növényzet által determinált üledék felhalmozódásával találkozunk (**48. ábra**).



48. ábra Az éghajlat, alapkőzet, növényzet eltérési nyomán kialakult mérsékeltövi vizes élőhelyek vegetációtípusainak hidrológiai és kémiai gradiensek szerinti elterjedését ábrázoló háromszögdiagram (Forrás: Zoltai – Vitt 1995 nyomán magyarra fordítva, átrajzolva, módosítva, Jakab – Sümegei, 2011)

Ugyanakkor tudnunk kell, hogy az észak-atlanti területen az atlanti óceáni éghajlat csak a Golf áramlás folytatásaként jelentkező észak-atlanti áramlás kialakulása után, 10 000 és 9 000 évek között alakult csak ki. Vagyis az egész éghajlat determinálta paleohidrológiai régió a globális besugárzás hatása alatt álló tengeri áramlások nyomán fejlődött ki és ennek a hatására változik, alakul át.

3.5. Nedves kontinentális paleohidrológiai régió (nedves kontinentális exogén geológiai - aktuálgeológiai régió)

A nedves kontinentális területek a Földön a 40° szélességi körtől északra helyezkednek el. Jellemző, hogy csak az északi féltekén a nyugat-kelet irányban elnyúlt kontinensek miatt alakultak ki, az óceántól távolodva a kontinentális hatás egyre nő. Ezért a kontinentális paleohidrológiai éghajlati régiók között

fokozatos átmenet alakult ki a száraz és nedves kontinentális területek között. Magyarország is ebbe a nedves kontinentális paleohidrológiai éghajlati régióba tartozik. Az évi középhőmérséklet 0–15 °C, az évi hőingás meghaladja a 20 °C-ot (49. ábra).

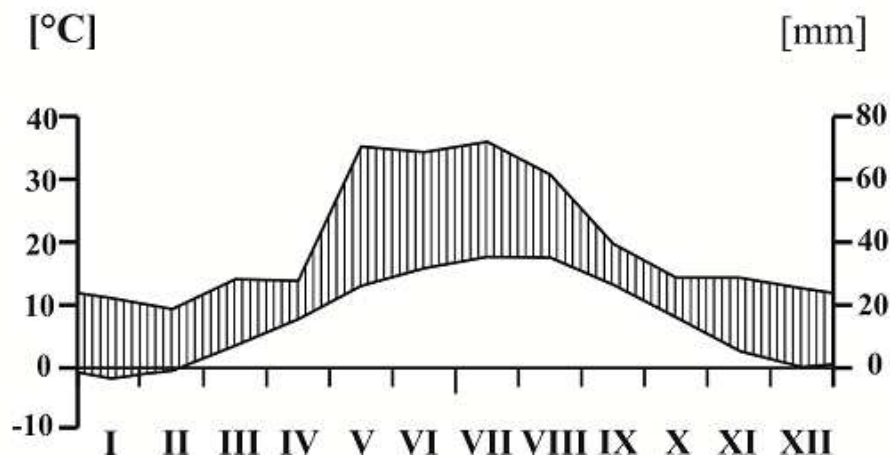
Prága (tszfm: 365 m) Cseh Köztársaság

N: 50.1 °

E: 14.25 °

8,5 °C (ÉVI ÁTLAG)

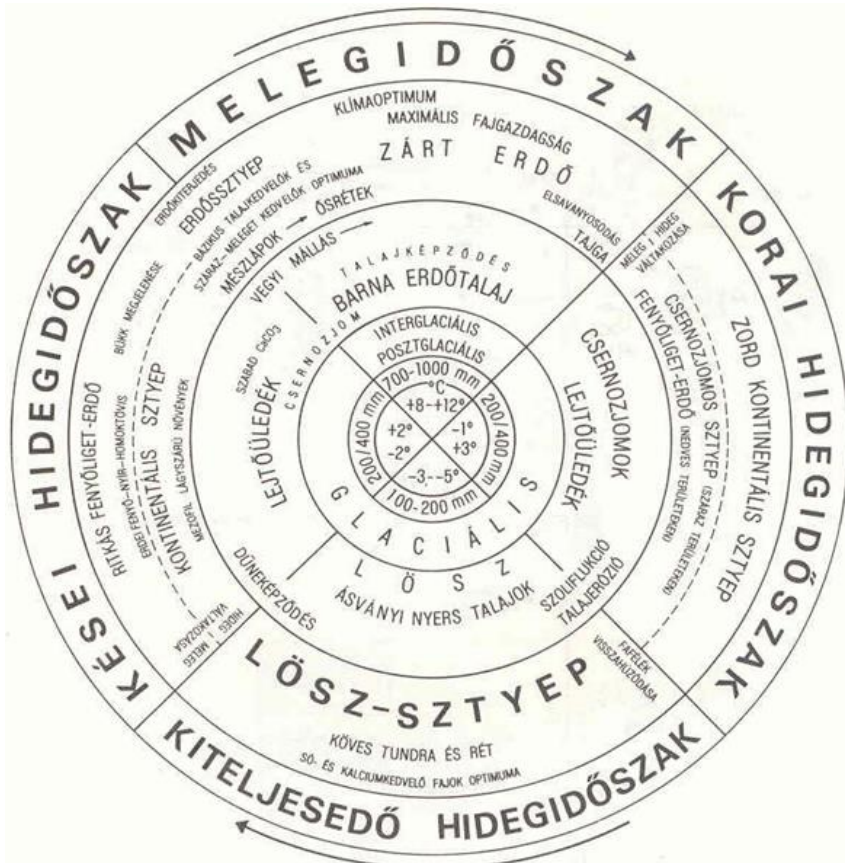
481,5 mm (ÉVI ÁTLAG)



49. ábra Nedves kontinentális paleohidrológiai területek éghajlati adottságainak bemutatása prágai klímaállomás adatai nyomán készült Walter-Lieth diagramon (Forrás: a hivatalosan megadott adatok alapján készült új, saját ábra)

Négy vegetációs periódus fejlődött ki, az évi csapadékmennyiség 1000-500 mm között változik nyugati irányból keleti irány felé. A fluviális rendszerek vízhozama ezen a területen erőteljesen változó, három vízhozam tetőponttal jellemezhető (hóolvadás után, nyár kezdeti csapadékmaximum, őszi, másodlagos csapadékmaximum). A természetes növénytakarója a lombhullató erdő: tölgyesek, bükkösök, helyenként tűlevelű erdőkkel tarkítva. Az üledékgyűjtő medencék kifejlődése és a paleohidrológiai rendszerek változása rendkívüli ebben a régióban az oligotróf tavaktól a lápokon, mocsarakon át az alluviális síkságig. Viszont tengeri üledékgyűjtő nem fejlődött ki ebben a

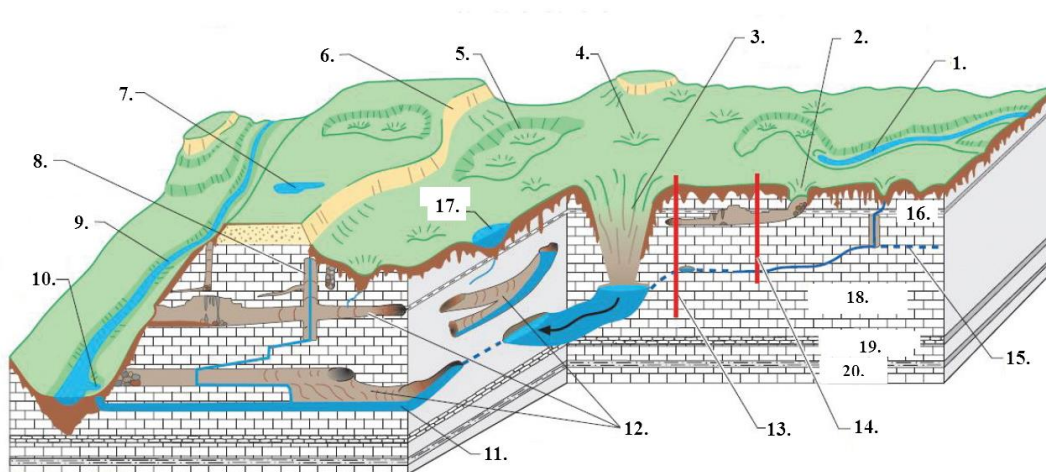
régióban. A paleohidrologiai régió exogén geológiai fejlődésében a fluviális tevékenység a meghatározó, így a fluviális hálózat rendkívül fejlett. Ezért kisebb 5 000-10 000, ritkábban 100 000 km² kiterjedésű alluviális üledékcspadák alakultak ki ebben a régióban, a folyók mentén jelentős számú, kisebb méretű, lokális üledékgyűjtő medencét jelentő holtágakkal.



50. ábra Jégkori (Pleisztocén) éghajlati ciklusok nyomán kialakult vegetáció- és talaj (környezeti) ciklusok Közép-Európában (Forrás: Vojen Ložek cseh malakológus 1965 munkája nyomán magyarra fordítva, átrajzolja, módosítja Sümegei, 2001)

Az egész régióban jelentős a mállás, jelenleg az erdőtalajok különböző változatai fejlődnek ki, de a jégkor idején klímától függő talajok alakultak ki ebben a régióban, a vázталajoktól kezdődően, a tundratalajokon át mezőségi jellegű, valamint barna erdőtalajokig az adott időszakban uralkodó éghajlati, növényzeti, alapkőzetbeli, exogén geológiai adottságoknak megfelelően (**50. ábra**). Az intenzíven fejlődő talajképződés nyomán a megfelelő földtani adottságú

területeken erőteljes karsztosodás zajlott és a mérsékeltövi karsztterületekre jellemző valamennyi paleohidrologiai forma kifejlődött ebben a régióban. Az üledékgyűjtő medencék szempontjából a feliszapolódott víznyelők (dolinák) és a legnagyobb kiterjedésű karsztos exogén geológiai formák, a poljék jelentik a legfontosabb karsztos üledékgyűjtő rendszereket paleohidrologiai szempontból (51. ábra).



51. ábra Karsztjelenségek (Forrás: wikipédia)

1: Felszíni patak fedett karszton, 2: Barlang bejárta, 3: Víznyelő, 4: Töbör, uvala, 5: Polje, 6: Fedett karsztrész nem meszes fedőrétege, 7: Fedett karszt fedőrétegen kialakult tó, 8: Függőleges karsztjárat, 9: Karsztvízszintig bevágódott patak, 10: Karsztvízszinten fakadó forrás, 11: Karsztvízszinten aktívan fejlődő barlangjárat, 12: Barlangjáratok, 13: Szárazzá vált, improduktív kút, 14: Produktív, karsztvízszinten lévő kút, 15: Karsztvízszint, 16: Agyagréteg, 17: Feliszapolódott töbörben kialakult tó, 18: Mészke, 19: Tűzköréteg a mészkőben, 20: Agyagköréteg

Ugyanakkor fontos megjegyeznünk, hogy a karsztbarlangokban kialakult paleohidrologiai rendszerekben az egyik legfontosabb őségajlati objektumok, a cseppkövek fejlődnek ki. A cseppkövek karbonátos anyagán U/Th korok meghatározásával, a radiokarbon elemzéstől függetlenül geokronológiai elemzések végezhetőek, és több százezer évig visszamenően is sikeres kormeghatározásokat végeztek ezeken a paleohidrologiai objektumokon. A növekedési vonalakon végzett izotóp-geokémiai, geokémiai és kronológiai elemzések nyomán a cseppkövek növekedési ütemét, növekedési rátájának

változásait, valamint az egykori éghajlati és környezeti viszonyokat lehet rekonstruálni, a növekedési vonalak és ráták alapján akár éves pontossággal is (52. ábra).



52. ábra Éves rétegzettséget mutató, aktívan fejlődő cseppkő a Baradla-barlangból (Forrás: Demény et al. 2016: https://mta.hu/tudomany_hirei/fordulatot-hozhat-az-osi-klima-kutatasaban-egy-magyar-eredmeny-107288 - az első szerző [corresponding author] írásos engedélyével közölve)

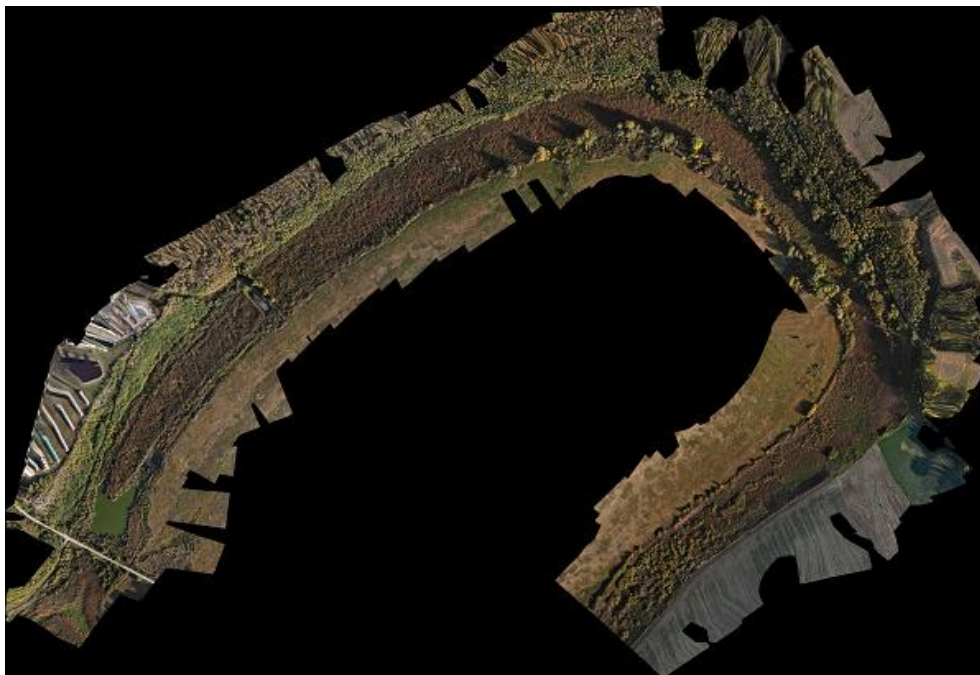
A cseppköveken mért adatok nyomán vulkán kitöréseket azonosítottak és azok hatását az emberi környezetre, az egyes kultúrákra, illetve tisztázták az egykori éghajlati hatásokat és azok kapcsolatát a különböző kultúrákkal. A nedves kontinentális paleohidrológiai régió kiemelkedő rendszereit alkotják a karsztos paleohidrológiai rendszerek, azonban nem kizárólagosan ezeket vonhatjuk be a vizsgálatokba. Ezen a területen igen jelentős számú és kiterjedésű, növényi maradványok megmaradási szempontjából kimagaslóan jó fosszilizációs környezetet biztosító tőzegmoha és tőzegmohás lúp fejlődött ki, különösen a dombsági és középhegységi régió mélyebb völgyeiben vagy a magashegységek

platószerű felszínein. Az allúviumokon is ismeretesebbek tőzegmohás lápok, de a folyók és patakok allúviumain, holtágaiban, völgyekben is kialakulnak olyan lápok, amelyek nem tartalmazznak tőzegmohát (*Sphagnum* taxonokat).

A völgy-láp folyóvizek, patakok partján hosszan elnyúlik. Vizét részben a környező hegyoldalokról, részben a patakokból kapja. A tőzeg csak a völgy alját tölti ki. Az ártéri lápok a folyóból, a környező területekről és a felszín alatti vizekből kapják a vízutánpótlásukat. Viszont ezeknél a lápoknál a vízszint szezonálisan ingadozik. A tőzeg hosszan követheti a folyómedreket, kitöltve a fosszilis medreket. Ilyen lápok a Duna egykori árterén gyakoriak (pl.: Órjeg, Vörös-mocsár). A völgy-lápokot és az ártéri lápokot összefoglaló néven a hazai szakirodalom síklápoknak is nevezi. A síklápok a nedves kontinentális klíma mellett gyakoriak. Jellemzőjük a sásfélék (*Cyperaceae*) és a pászitfűvek (*Poaceae*) jelentős aránya. A síklápok sokkal fajgazdagabbak a tőzegmohalápoknál. A tőzegmohák csak alárendelt szerepet játszanak, a tőzegképzésben a nád (*Phragmites communis*) és a különböző sásfajok (*Carex* sp.) szerepe jelentős. A síklápok jellemzője a felvehető tápanyagok és kationok nagyobb mennyisége, a vizük kevésbé savas pH-ja és magasabb konduktivitása. Nagyon hasonlítanak ehhez a típushoz a sekély nagy tavak partján kialakuló lápok (pl. a balatoni berkek). A nedves kontinentális területeken nagyon jelentősek az úszólápok is, amelyek sokszor karbonátban vagy akár szikszóban gazdag tavak partján vagy sekély vizében is kialakulnak. A lejtőlápok forrásos hegyoldalokban jönnek létre. Az egyes nedves kontinentális éghajlati területen megjelenő láptípusok nagyobb vizes élőhelyeken gyakran mozaikosan fordulnak elő, és nem ritkák az átmenetek sem.

A lápok kialakulásának alapvetően két útja van. A paludifikáció során egy szárazföldi terület láposodik el és alakul tőzegmohaláppá. A teresztializáció során a láp egy tó vizét növi be, foglalja el. A síklápok esetében elsősorban lebegő növényzet borítja el a vízfelszínt – úszóláp kialakulásával kezdődik el a láposodás (**53. ábra**). Igen fontosak ezek az úszólápok, melyek néha a lápoktól

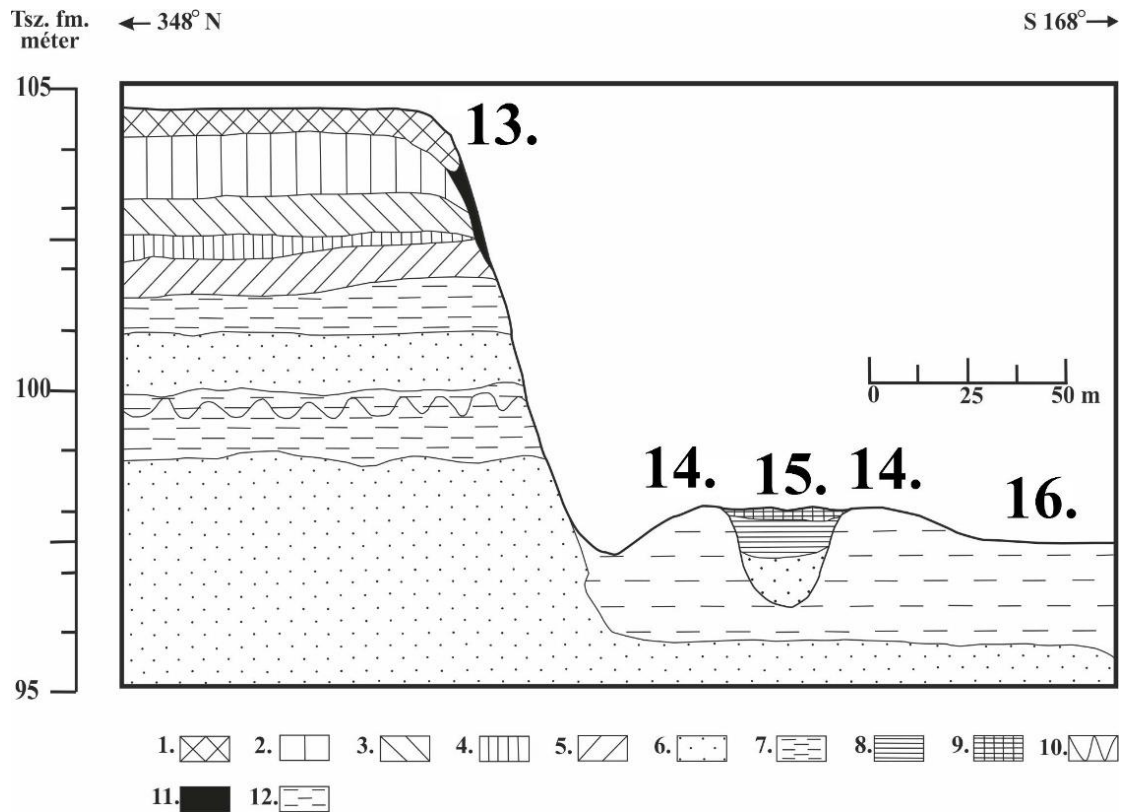
eléggé idegen szikes vizeken is megjelennek (pl. Fertő-tó, Velencei-tó) A paleohidrológiai feldolgozásnál figyelembe kell venni azt, hogy a különböző láptípusok nem ugyanolyan mértékben alkalmasak paleoklimatológiai vizsgálatokra. A fúrásponthoz megválasztása jelentős mértékben hozzájárul a magas színvonalú klímarekonstrukcióhoz. A mintaterület kiválasztásában legfontosabb tényező a láp hidrológiája. A hidrológiai viszonyok természetesen tükröződnek a láp morfológiájában és növényzetében is. Kisebb tőzeges tavaknál viszont elég egyszerű a fúrásponthoz kiválasztása. Törekedni kell a meder legmélyebb részének megfúrására, hogy minél hosszabb fúrásmintánk legyen. A legmélyebb rész szimmetrikus mederprofil és kerekded partvonal esetében a láp központi részén van.



53. ábra Egykori Szamos meder elhagyott holtága, a pocsaji láp mederében az úszólápok kifejlődése nyomán ellaposodott, aktív tőzégképző környezetéről készült eredeti drónfelvétel (Forrás: saját ábra)

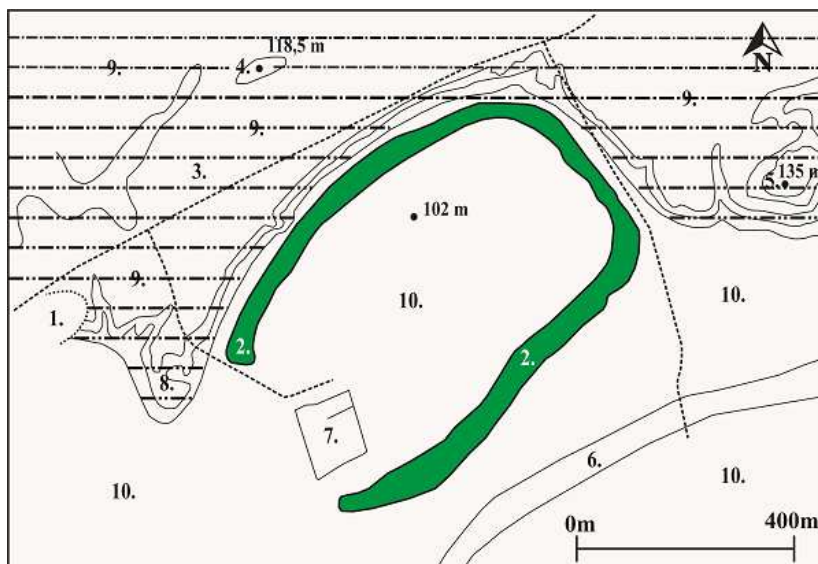
Hosszúkás alakú medrek esetében (pl.: feltöltődött holtágak) bonyolultabb a helyzet. Érdemes áttekinteni a meder növényzetét előzetes terepbejárással vagy növényzeti térképet készíteni (53. ábra), és a legmélyebb és leginkább feltöltődött részen próbafúrásokat végezni, keresztmetszényt kialakítani. Amennyiben a mederprofil nem szimmetrikus, a fúrásponthoz kiválasztást nem a meder

központi részén, hanem valamelyik parthoz közelebb mélyítjük le. Ez gyakran előfordul például csuszamlással keletkezett medreknél, de felhagyott folyómedreknél is. Előzetesen tanulmányozni kell a terület geomorfológiai viszonyait is (54. és 55. ábra).



54. ábra A pocsaji láp és az Érkapu földtani keresztmetsvénye (Forrás: saját ábra)

1 = löszön kialakult csernozjomszerű anthrosol talaj, 2 = eolikus lösz, döntő része az utolsó eljegesedési maximumnál fejlődött ki, 3 = Vörösbarna színű fosszilis talaj, középső és felső würm határán (27 – 32 000 cal BP évek) között alakult ki, 4 = középső-würm korú, 5 = középső würm (40 – 45 000 cal BP évek között) kifejlődött sötétbarna színű fosszilis talaj, 6 = folyóvízi homoküledék, 7 = jégkori folyóvízi, artéri kőzetlisztben gazdag üledék, 8 = szervesanyagban gazdag kőzetliszt (pélit = iszap), 9 = tőzeg, 10 = periglaciális rétegdeformáció, 11 = lejtőtalaj, 12 = jégkor végi és holocén artéri üledék, 13 = magaspart, 14 = folyóhát, 15 = folyómeder, 16 = folyóhát mögötti mocsár (meanderzug)



55. ábra Morfológiai adottságokat is bemutató földtani térkép (M 1 : 5000) az egykori Szamos meder elhagyott és feltöltődött holtágáról, a pocsaji lápról és környezetéről (Forrás: saját ábra)

1. = védett homokbánya, 2. = Tövises-meder felszínét kitöltő tőzeg képződmény, 3. = földutak, 4. = Ebéd-halom, 5. = Laponya-halom, 6. = Ér csatorna (egykori Ér-patak medréből kialakítva), 7. = Tövises meanderzugban, a Tövises tanya (1869) helyén kialakított állattartó telep, 8. = Leányvár (bronzkori földvár), 9. = lösszel fedett nyírségi hordalékkúp, 10 = ártéri üledék (késő-glaciális és jelenkori = holocén)

Nagyobb vizes élőhelyeknél a fúráspon kiválasztásánál előzetesen érdemes légi- és űrfelvételeken (pl. GoogleEarth, SPOT4: **53. ábra**), valamint topográfiai térképeken átvizsgálni a kutatási területet. Igyekezzünk a mesterséges lecsapoló csatornáktól és a bolygatott területektől távolabb fúrásponot keresni. A fúráspon kiválasztásakor törekedni kell arra, hogy gépjárművel – amennyire lehet – meg tudjuk közelíteni azt. Amennyiben nagyobb választék van a paleohidrológiai fúrásponokból, és régészeti lelőhelyek vannak a közelben, igyekezzünk a régészeti lelőhelyekhez közelebbi fúrásponot kiválasztani, hogy az esetleges antropogén hatások jobban kimutathatóak legyenek az egykori hidrológiai rendszerre vonatkozóan. Napjaink egyik legfontosabb paleohidrológiai kutatási területe az ember és környezet kapcsolatának vizsgálata.

A szubarktikus és atlanti területeken ezek nélkül a légi fotók, űrfelvételek nélkül nem is lehet megkezdeni a munkát, mert olyan jelentős kiterjedésű, akár több ezer hektáros lápterületek, közte takaró lápok fejlődtek ki, hogy csak térképekkel, légi fotókkal, űrfelvételekkel foghatók át és értelmezhetőek. A nedves kontinentális területeken a lápok kiterjedése kisebb és terepen is jól követhető exogén geológiai egységeket (holtágakat, folyóhát mögötti mélyedéseket, vulkáni krátereket, hegyomlással elzárt völgyeket, tektonikus süllyedéseket) tölthet ki lápi–tavi– mocsári rétegsor.

3.6. Száraz kontinentális paleohidrológiai régió (száraz kontinentális exogén geológiai - aktuálgeológiai régió)

Paleohidrológiai szempontból elsősorban az alluviális területek, valamint a maradványtavak emelkednek ki ebben a régióban. A folyók vízgyűjtő területe egyértelműen túlnyúlik a száraz kontinentális paleohidrológiai régión. Így a maradványtavak vízutánpótlása is hegyvidéki, boreális és szubarktikus területekhez kapcsolódik elsősorban és nem a száraz kontinentális paleohidrológiai régióból származó víztömeg alkotja vízbevételének döntő részét. Ennek oka egyértelmű, a csupán 200–400 mm éves csapadék eloszlása ugyanis egyenetlen. A hőmérséklet szélsőségesen változik, a nyár forró és száraz, a tél hideg (56. ábra), a kevés csapadék miatt a lefolyási tényező minimális, a párolgás a nyári csapadékmaximum idején pedig igen jelentős.

A száraz kontinentális területek olyan füves régiók, ahol csak a folyók, patakok mentén alakulhatnak ki fákkal borított területek (57. ábra). Ezek a természetes eredetű, lágyszárúakkal borított térségek eltérő elnevezéseket kaptak Földünk különböző részein. Euráziában sztyeppzónáról, Észak-Amerikában prériről, Dél-Amerikában pampáról beszélünk. Ezek a természetes füves puszták a nyári hónapokban kialakult fagyilkos szárazság, a téli sekély hótakaró miatt kifejlődő felszín átfagyás miatt teljesen erdőmentes – nem emberi hatásra váltak utólag fátlanná. Így a természetes lágyszárú növényzet főleg törpefűvű és magasfűvű gyeptársulásokból áll.

Szemej (tszfm: 196 m) Kazahsztán

N: 50° 24' 40"

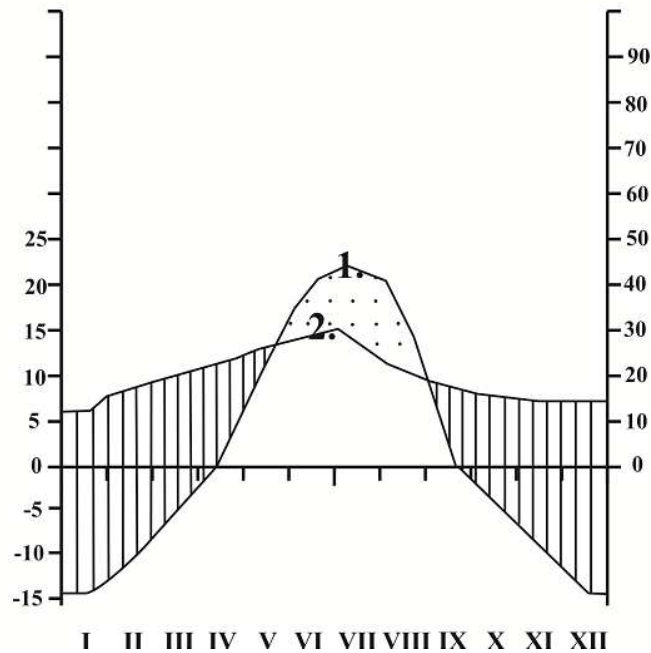
E: 80° 13' 39"

[°C]

[mm]

3,4 °C (ÉVI ÁTLAG)

264 mm (ÉVI ÁTLAG)



56. ábra Száraz kontinentális paleohidrológiai területek éghajlati adottságainak bemutatása lukoyanovi (szemeji) klímaállomás adatai nyomán készült Walter-Lieth diagramon (Forrás: a hivatalosan megadott adatok alapján készült új, saját ábra)

A lágyszárúak borította térségekben megkülönböztethetünk még löszös alapkőzetű löszpusztákat, futóhomok alapkőzetű homokpusztákat, döntően sós-agyagos alapkőzetű szikeseket, valamint pusztai gyepeket és erdőssztyeppeket. Talaja lehet csernozjom maradványos barna erdőtalaj, szürke erdőtalaj (a lombos erdők és sztyeppek határán), csernozjom (sztyeppek területén) és gesztenyebarna talaj.



57. ábra Száraz kontinentális paleohidrológiai területek mai modell területe, Kazahsztán északi része, a vegyeslombozató erdőssztyepp déli szegélye (Forrás: Biró Csaba, a Kiskunsági Nemzeti Park munkatársának felvétele, írásbeli hozzájárulásával közölve)

Ez a csapadékszegény régió paleohidrológiai szempontból rendkívül szegényes, de a maradványtavak révén mégis kiemelkedő jelentőségű paleohidrológiai adatok nyerhetőek a régió fejlődéséről és átalakulásáról. A legismertebb tavak ebben a régióban a döntően a Volga táplálta Kaszpi beltenger, a Szir-Darja és az Amu-Darja táplálta Aral-tó, de ide sorolhatóak a kevésbé ismert mongóliai Tavak völgye (mongolul *Нүүрүүдын хөндий* - fonetikusán magyarra átírva: *Núrúdin hōndij*) területén található tavak is (**58. ábra**).

Igen nehéz elkülöníteni ezt paleohidrológiai régiót a következő, szélsőségesen szárazföldi paleohidrológiai régió (szélsőségesen szárazföldi exogén geológiai – aktuálgeológiai régió) területétől, mivel az átmenet folyamatos a két régió között, csak a sokéves átlagban jelentkező éghajlati paraméterek alapján vonhatunk a két régió között különbséget. Ráadásul a jelenleg is zajló globális éghajlati változás következtében a két régió kiterjed, és határuk szinte teljesen feloldódik. Ugyanakkor ismeretesek ebben a paleohidrológiai régióban igen jelentős kiterjedésű üledékgyűjtő rendszerek, korábbi földtani és klímafázisban

kialakult maradványtavak (beltengerek). Ezen területek feltárása révén a régió paleohidrológiai fejlődésének hosszú távú fejlődéséről alkothatunk képet.



58. ábra Száraz kontinentális paleohidrológiai területek mai modell területe a mongóliai Tavak völgye (mongolul Нууруудын хөндий - fonetikusán magyarra átírva: Núrúdin höndij) területén (Forrás: wikipedia)

3.7. Szélsőségesen száraz paleohidrológiai régió (szélsőségesen szárazföldi exogén geológiai – aktuálgeológiai régió)

Az évi középhőmérséklet 0-15 °C, az évi és a napi hőingás rendkívül jelentős (**59. ábra**). Az évi csapadék mennyisége 200 mm alatti. Paleohidrológiai szempontból teljesen perifériális terület. Ugyanakkor a korábbi geológiai korokban, csapadékosabb időszakokban kialakult tavak, és beltengerek, valamint csak igen rövid életű, jelenleg epizodikusnak tekinthető csapadékosabb periódusokban kifejlődött sós efemer tavak és mocsarak fennmaradt rétegei révén található csak paleohidrológiai szempontból vizsgálható területek ebben a régióban (**60. ábra**).

Asztrahány (tszfm: -25 m) Oroszország

N: 47° 21' 28,08"

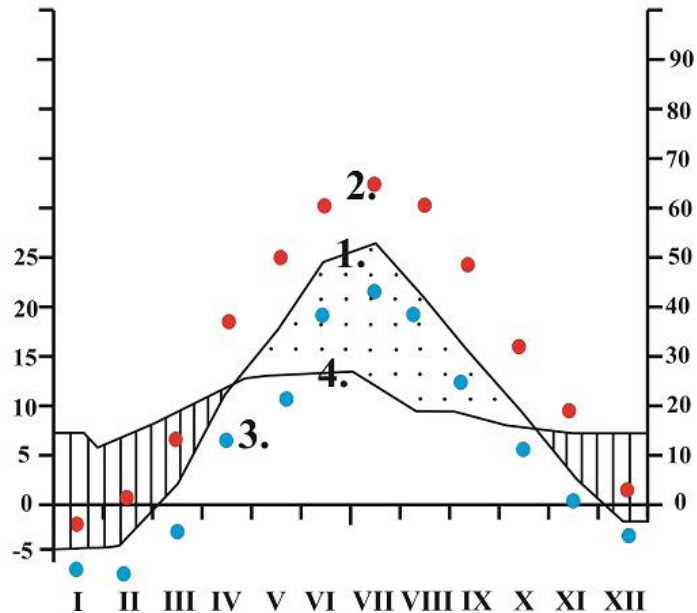
E: 48° 03' 02,15"

[°C]

[mm]

10,2 °C (ÉVI ÁTLAG)

222 mm (ÉVI ÁTLAG)



59. *ábra* Mérsékeltövi sivatagi paleohidrológiai területek éghajlati adottságainak bemutatása asztrahányi klímaállomás adatai nyomán készült Walter-Lieth diagramon (Forrás: a hivatalosan megadott adatok alapján készült új, saját ábra) 1: havi átlagos hőmérséklet menete, 2: legmelegebb hónapok hőmérsékleti menete, 3: leghidegebb hónapok hőmérsékleti menete

A régió a mérsékelt övezeti sivatagok területéhez tartozik, amelyek a kontinensek belsejében keletkeznek, kialakulásuknak oka az óceánoktól való nagy távolság, a medencejelleg, valamint a kontinensek belsejében uralkodó anticiklonok hatása. Leggyakoribb előfordulásuk Közép-Ázsiában, az Aral-tó környékén, Takla-Makán, Góbi sivatagokban, Észak-Amerikában a Sziklás-hegységben, Dél-Amerikában pedig Patagónia területén. Felszínformálódásukra jellemző, hogy nagyobb szerepet kap a fagyaprózódás és a fizikai mállás. A gleccserek, valamint a hegyláb felszínek törmelékkel fedettek. A talajok döntő része nagy só- és mállatlan szilikát tartalmú vázta. A félsivatagokban és a

mélyebb, lefolyástalan területeken kifejezetten jellemző az agyagásványok felhalmozódása, az ún. takir talajok kialakulása. Paleohidrológiai szempontból alig különbözik az előző régiótól.



60. ábra A kínai Gansu provinciában (Belső-Mongólia), Dunsung városától délre 6 kilométerre található, félhektáros, eredetileg több méteres, ma már csak mintegy méteres mélységű Crescent (Dunhuang) tó a Góbi-sivatagban (Forrás: wikipedia)

3.8. Mediterrán paleohidrológiai régió (mediterrán exogén geológiai – aktuálgeológiai régió)

Mediterrán területek az északi féltekén, a 35° és 45° szélességi fokok között helyezkednek el, jellemzően a kontinensek nyugati partvidékein, Euráziában a Földközi-tenger és melléktengerei mentén, Afrikában az Atlasz-hegység északi peremén és Fokváros környékén, Észak-Amerikában Kalifornia területén. Dél-Amerikában Chile területén, Ausztráliában pedig a Spencer-öböl és a Vincent-öböl partvidékén fejlődött ki ez a paleohidrológiai régió. Az évi középhőmérséklet 10-20 °C. A nyár forró és száraz, a tél enyhe és csapadékos. a csapadék évi mennyiség 500-1000 mm közötti, maximuma ősszel - télen alakul ki, mivel a csapadék főleg télen hullik le (**61. ábra**).

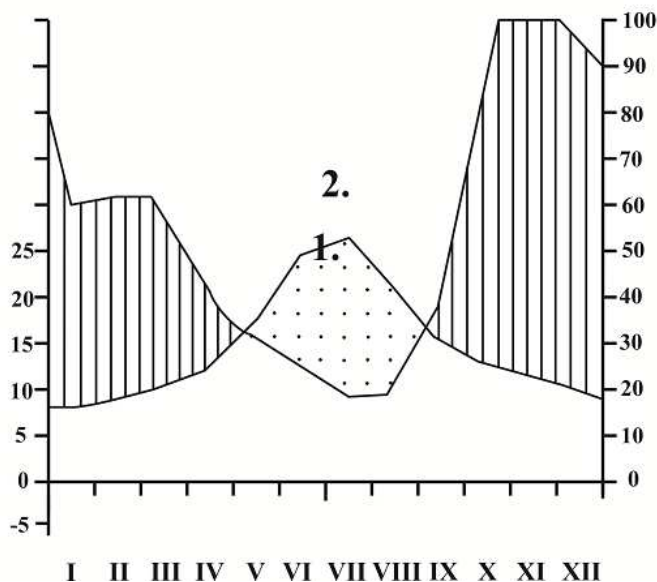
Roma/Ciampino(tszfm: 105 m) Olaszország

N: 41.78 °

E: 12.58 °

[°C] [mm]

15,1 °C (ÉVI ÁTLAG) 734,4 mm (ÉVI ÁTLAG)



61. ábra Mediterrán paleohidrológiai területek éghajlati adottságainak bemutatása római klímaállomás adatai nyomán készült Walter-Lieth diagramon (Forrás: a hivatalosan megadott adatok alapján készült új, saját ábra)

A téli félév során az óceán felől párás légtömegek érkeznek, mivel ekkor a nyugatias légáramlások dominálnak ebben a paleohidrológiai régióban. Nyáron a passzát szélrendszer leszálló ága a meghatározó. Jellemzői a viszonylag meleg tél és a meleg, száraz, 4-5 hónapos nyár. A régió eredeti vegetációja a *Durilignosa* (keménylombú fákból álló növényzet). Ez a növényzet a szárazsághoz rendkívüli módon alkalmazkodott. Ezen erdőt alkotó fák jelentős része örökzöld. Ugyanis a nyári félév a rendkívüli napfénytartam következtében kiemelkedő jelentőségű a fotoszintetizáló növényzet számára, ugyanakkor a csapadék hiánya következtében rendkívüli száraz ez a tenyészidőszak. Ezek a szárazsághoz alkalmazkodott növények az erőteljes párologtatás ellen vastag kutikulával, a levelek felszínét borító viasszal, és/vagy apró, kis felületű levelekkel védekeznek. Az eredeti erdőket örökzöld és lombhullató tölgyek

(Óvilág: magyal tölgy - *Quercus frainetto*, és paratölgy - *Quercus suber*), hosszú, vastag tűs fenyők (Óvilág: alleppói fenyő - *Pinus halepensis*, feketefenyő – *Pinus nigra*, mandulafenyő – *Pinus pinea*), ciprus (*Cupressus*) és boróka (*Juniperus*) fajok jellemzik (62. ábra).



62. ábra Pillangók völgyének dús erdei növényzete a Rodosz szigetén (Forrás: az első szerző felvétele, 2012)

A hangafélék (*Ericaceae*), mirtuszvirágúak (*Myrtales*), jázminok (*Jasminum*) és levendulák (*Lavandula*) alkotják a vegetáció döntő részét. A párásabb tengerparti zónában és a régióban kialakult magasabb térszínek csapadékosabb, párásabb felszínén mediterrán tűlevelű erdők élnek. Állományaikat az Óvilágban cédrus (*Cedar*) és ciprus (*Cupressus*) fajok, Észak-Kaliforniában az óriás tuja (*Tuja plicata*), az óriás cukorfenyő (*Pinus lambertiana*) és két mamutfenyő faj (hegyi mamutfenyő - *Sequoiadendron giganteum* és tengerparti mamutfenyő - *Sequoia sempervirens*) alkotják (63. ábra). A folyókat az északi félgömbön platánligetek (*Platanus*) kísérik. Az antropogén tevékenységek során (települések, növénytermesztés, állattenyésztés, bányászat és ércfeldolgozás) az őshonos növényzetet, mint a mediterrán tölgyeseket, cédruserdőket, mamutfenyveseket kiirtották (64. ábra). Az eredeti vegetáció az emberi hatások, fakitermelések, pásztorkodás, utak-legelők-szántók kialakítása miatt kipusztult.

Az eredeti növényzet helyén örökzöld másodlagos növényzet alakult ki Ezt az elsősorban illatos növényekből álló bozótos vegetációt a szilikátos kőzeteken macchia-nak, a karbonátos kőzeteken garigue-nek, Kaliforniában chapparal-nak nevezzük.



*63. ábra Mammutfenyők (Sequia) a Sziklás-hegységbeli Yosemite – völgyben
(Forrás: az első szerző felvétele, 2003)*

A mediterrán tartományok erdői alatt eredetileg fahéj színű talaj képződött. Kilúgozottsága és tápanyagtartalma közepes volt, jelenleg ezek döntő része teljes egészében emberi hatás alatt állnak és átalakultak (legelő, olíva, citrus és szelídgesztenye, szőlőtermesztés és gabonaföldek). A mediterrán mészkőterületeken vasvegyületektől vörös terra rossa keletkezik (**65. ábra**). Ahol az eredeti vegetációt kipusztították, a talajok az alapkőzetig lepusztultak. A talajok újraképződése az eredeti növényzet hiányában alig lehetséges, bár elindítottak egy ilyen irányú programot, amely a karsztos területek újrafásítását tűzte ki célul. Több ezer hektáron telepítettek vissza fákat, de a program sikere, a csak több évtized múlva lesz látható. A mediterrán területek közül a Földközi-tenger medencéjének mészkőhegyvidékeit kopár, fehér lejtők jellemzik.

Ugyanakkor tudnunk kell, hogy a mediterrán erdőkben, a passzát szelek leszálló áramlásának dominanciája miatt a nyári forró és száraz időjárás és a vegyeslombozatú, mediterrán fenyőkkel kevert erdőszerkezet miatt ciklikusan jelentkezők az erdőtüzek.



64. ábra A horvátországi – dalmáciai Kornati-szigetekenél kialakult karsztos kopárok a horvátországi Adriai-tengernél ((Forrás: az első szerző felvétele, 2014)

Ezek a mediterrán erdőtüzek igen gyakoriak voltak a termelő emberi gazdálkodás kialakulása előtt is és ennek nyomán jelentős pernyemennyiség akkumulálódott a mediterrán paleohidrológiai rendszerekben, amelyek elsősorban folyók mentén kialakult morotvatavakhoz, feliszapolódott karsztos víznyelőköz, karsztos töbrökhöz, vulkáni kráterekhez köthetőek. Ezek közül a lefolyástalan és rendkívül mély üledékgyűjtő rendszereket alkotó vulkáni kráterek a legértékesebb paleohidrológiai objektumok. Ezeknek az üledékgyűjtő rendszereknek a feltárása során sikerült kimutatni a pernye koncentráció változásai nyomán a természetes mediterrán erdőket ciklikusan megújító tüzeket. Az erdőtüzek gyakoriságának változásait az emberi termelő gazdálkodás kialakulásától kezdődően a különböző technikai és kultúra

átalakulások okozták. Jelenleg a mediterrán paleohidrológiai rendszerek vizsgálatánál az erdőtüzek gyakoriságának rekonstruálása mellett az üledékgyűjtő rendszerek édesvízi tároló képességét, a tárolható édesvíz tömegének mennyiségét és annak változását modellezik paleohidrológiai és hidrológiai szempontból.



65. ábra A horvátországi – dalmáciai Kornati-szigetén a Mir-tó üledékgyűjtő medencéjébe bemosódott terra rossa talaj (Forrás: az első szerző felvétele, 2014)

3.9. Mérsékeltövi monszun paleohidrológia régió (mérsékeltövi monszun exogén geológiai – aktuálgeológiai régió)

Paleohidrológiai szempontból kiemelkedő jelentőségű régió, mivel az éves csapadékbevitel jelentős, 700-2000 mm is lehet, amelynek döntő része vegetációs periódusban, főként nyáron hullik le.

Az éghajlat kialakítója ebben a paleohidrológiai régióban a monszunszél, amely egy évszakosan váltakozó szélrendszer. Arab eredetű néven monszun szélnek, más néven évszakos szélnek nevezzük azokat a mérsékelt övi tengerparti

zónában kialakult légáramlásokat, amelyek kifejlődésében a világtengerek víztömegének, és a teresztrikum közötti eltérő hőháztartás, felmelegedés és lehűlés a döntő tényező. A mérsékeltövi szélirány félévenkénti átalakulása megközelítőleg 180°.

A mérsékeltövi monszun, így a vitorlázók által jól ismert, ún. „*parti szél*” működésén alapszik, de ebben az esetben nem csak napi ritmusról, hanem éves változásokról beszélhetünk. Ugyanis a tenyészidőszak során az erőteljes besugárzás és az eltérő hőháztartás miatt a szárazföldek a tengervíznél jobban felmelegsznek, ezért a teresztrikumok felett alacsonyabb lesz a légnyomás, mint a tengerek felett, mivel itt a levegő a felmelegedés hatására felemelkedik. Ennek nyomán a világtengerek feletti hűvösebb-magasabb légnyomású területekről a szárazföldek felé áramlik a levegő. Ez a tenger felől érkező levegőtömeg viszont vízgőzben gazdag, mivel vízfelület fölül, felette áthaladva érkezett. A szárazföldek így a tenyészidőszakban csapadékosak lesznek. A téli félévben a szárazföld kisebb fajhője és erőteljesebb lehűlése következtében az éghajlati helyzet és az áramló levegő iránya épp fordított.



66. ábra Mérsékeltövi monszunerdő az ausztráliai Tower Hill-ben (Forrás: az első szerző felvétele, 2014)

A tenger az év folyamán elnyelt hőt ekkor kibocsájtja, ezért felette magasabb hőmérséklet alakul ki alacsonyabb légnyomással. A szélirány így megfordul. A szelek, mivel ekkor már a szárazföld irányából érkeznek, szárazak lesznek, párárt és csapadékot nem hordoznak. A kontinenseken így a tél hűvös és száraz lesz.

A mérsékelt övi monszun területek legjellemzőbb módon Dél- és Kelet-Kína, Japán és Tajvan területén alakultak ki, de előfordulnak még D-Afrika keleti partvidékén, a Mexikói-öbölben és Ausztrália keleti partjainál is (**66. ábra**).

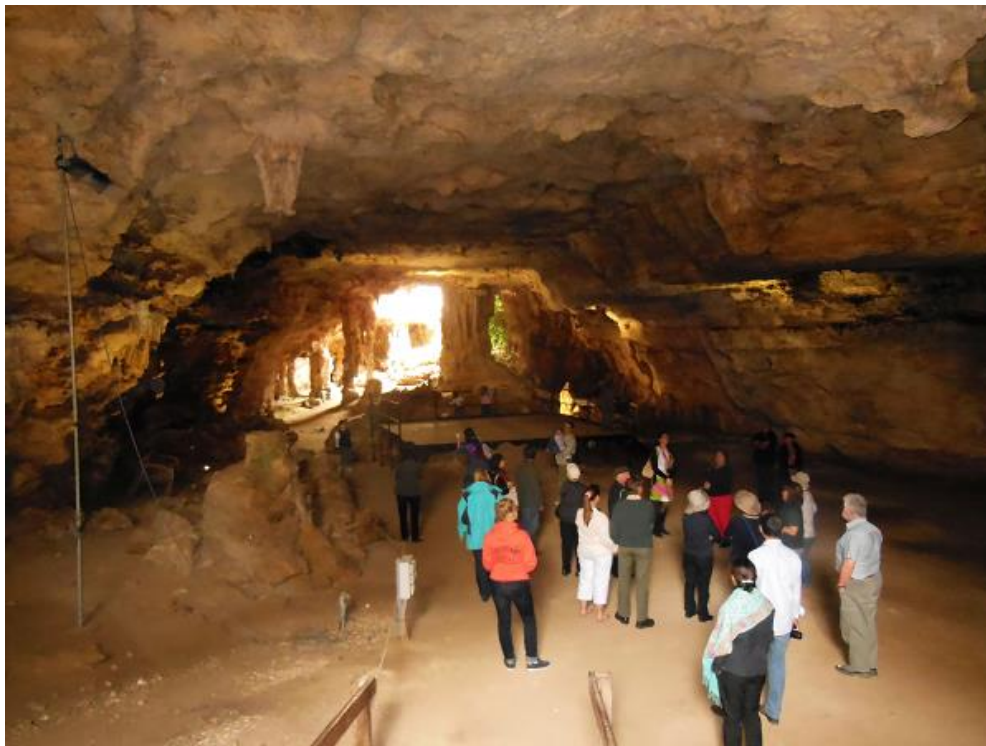
A mérsékelt övi monszun területek eredeti vegetációja a babérlombú erdő (**67. ábra**). A felszínformálás a trópusi monszunéhoz hasonló, nyáron a kémiai mállás, télen a fizikai mállás, aprózódás jellemző. A magas hőmérséklet és jelentős csapadék miatt igen erőteljes a mállás. Ennek nyomán igen jelentős vastagságú, lejtőn áthalmozódó regolit (málladék) takarók jönnek létre. A jelentős csapadék mennyiség miatt kilúgzott talajok alakulnak ki, melyek a szárazabb területeken vörös, míg a nedvesebb területeken sárga színűek.



67. ábra Babérlombú erdő Madeira szigetén (Forrás: wikipédia)

A folyók vízjárása szélsőséges és permanens jellegű. Mivel az üledékképződés erőteljes, ezért a torrens jellegű folyókban jelentős a szállított hordalék mennyisége. Így a paleohidrológiai rendszerek, üledékgyűjtő medencék feltöltődése viszonylag gyors, az akkumulációs ráta kiemelkedő.

A karbonátos kőzetekben óriási barlangi rendszerek fejlődtek ki (**68. ábra**) és a jelenlegi karsztos paleohidrológiai rekonstrukciók jelentős része ennek nyomán döntően monszun területeken kifejlődött barlangi cseppkövekre épül. A mérsékeltövi monszunterületek paleohidrológiai szempontból kiemelkedő jelentőségűek, mivel a barlangi rendszerek, folyóvízi hálózat és a hozzájuk kapcsolódó alluviális medencék, feltöltött, vagy feltöltődő holtágak, vulkáni kráterekben kialakult tavak révén alapvető információkkal szolgálnak környezetünk változásairól, a mérsékeltövi monszunterületek fejlődéséről.



68. ábra Naracoorte-barlang bejárata Ausztráliában, ebben a barlangban került elő a leghíresebb, ember megtelepedése előtti, sok kihalt elemet tartalmazó erszényes és hulló fauna Ausztráliában (Forrás: szerző felvétele, 2014)

A monszunterületek paleohidrológiai objektumai közül a 104 méteres vízmélységű japán Biwa-tó (**69. ábra**) kiemelkedő, amely tektonikus eredetű és 4 millió éven át halmozódtak fel üledékek ebbe a paleohidrológiai rendszerbe.

Az utolsó 2,6 millió év során mintegy 1200 méter üledék rakódott le a Biwa-tó üledékgyűjtő medencéjében. Ezt a rendkívüli tavi üledékvastagságot kihasználva a monszun hatás alatt álló éghajlati terület paleohidrológiai változásait, kapcsolatát az orbitális ciklussal, üledékképződéssel, éghajlati átalakulásokhoz kapcsolódó fizikai és kémiai mállás változásával, emberi hatásokkal évtizedes léptékben rekonstruálták. A japán paleohidrológiai iskola ezen az üledékgyűjtő rendszeren alakult ki és vizsgálataik, eredményeik alapvetőek a hosszú életű tavak genezise, fejlődése, valamint a tavi endemizmusok kialakulásai témakörében.



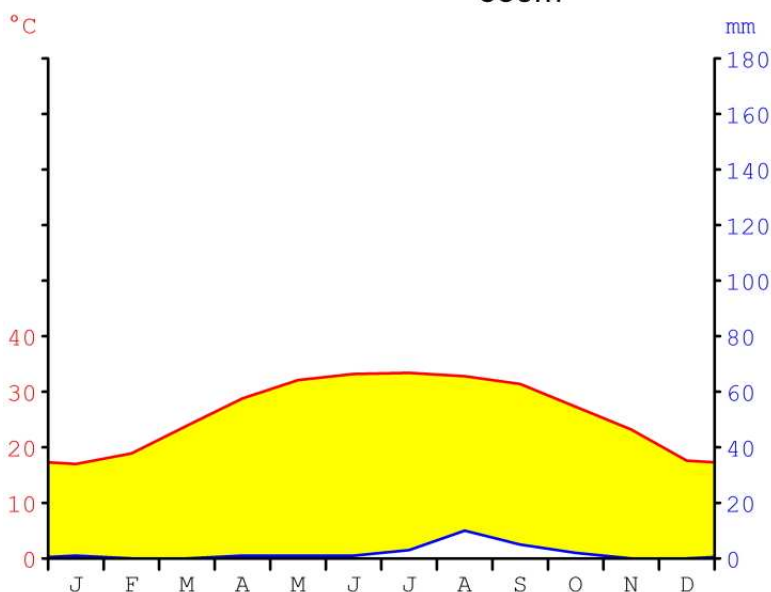
69. ábra Biwa-tó Japánban (Forrás: wikipédia)

3.10. Trópusi sivatagi paleohidrológiai régió (trópusi sivatagi exogén geológiai – aktuálgeológiai régió)

Paleohidrológiai szempontból periférikus régió, de más területekről beáramló folyók artéri síkságai, morotva tavai, a lefolyástalan területeken kifejlődött sós mocsarak, a tengerparti területek révén igen jelentős paleohidrológiai objektumok fejlődtek ki ebben a száraz régióba is. Ugyancsak ehhez a régióhoz kapcsolódó felszínformák a rendkívül ritkán, epizódszerűen, intenzíven

jelentkező, lehulló csapadék nyomán kialakuló sivatagi völgyek, a wádik (wádik = sivatagi vízmosás, kiszáradt torres patak, vagy folyóvölgy), magyar nyelven aszóvölgyek is. Ez a geológiai értelemben véve rendkívül fiatal, alig pár ezer éve kialakult paleohidrológiai régió a Ráktérítő és a Baktérítő mentén az állandóan leszálló légáramlás övében helyezkedik el. Ezen régió jelenlegi legfőbb jellemzője a szárazság (70. ábra). A csapadék mennyisége ebben a régióban mindenütt alatta marad a 250 mm/év szintnek, de helyenként évtizedek, évszázadok telnek el eső nélkül. A dél-amerikai Atacama-sivatag egyes részein több mint 500 évig nem volt csapadék. Tenyészidőszak nincs, hűvös, száraz és forró, száraz félévek váltakoznak az éven belül. A hőingás igen jelentős, naponta átlagosan meghaladja az 50 °C-ot. Ennek nyomán rendkívül gyors az inszolációs aprózódás. Az hőingás nyomán az alapkőzetből durva, anyagkőzetre jellemző szemcsék, törmelékek, kődarabok, majd ezekből durva törmelékből álló sziklasivatagok (hamada) alakulnak ki. A kiszáradt, egykori, sokszor csak pár ezer éves folyómedrek hordalékanyagából a növényzeti fedettség hiánya és a szárazság következtében a szél könnyen elszállítja a homokfrakcióra jellemző nagyságú szemcséket, és a visszamaradt fluvialis törmelékből kavicsivatagok (szerir) keletkeznek. A szél által elszállított túlnyomóan kvarcból álló futóhomokból a homoksivatagban (erg) buckák épülnek. A sós tavak és mocsarak feltöltődése után agyagsivatagok (sebkha, kevir) jönnek létre. Ezek a sivatagtípusok az eredeti sziklafelszínektől a sós mocsarakig tartó sivatagi földtani fácies sorozatot alkothatnak. Ezen kívül létrejöhetnek még medencék és érdekes szikla formációk (szfinx szikla) a különböző keménység miatt.

Bilma/Niger
18°39'N/13°23'E
355m

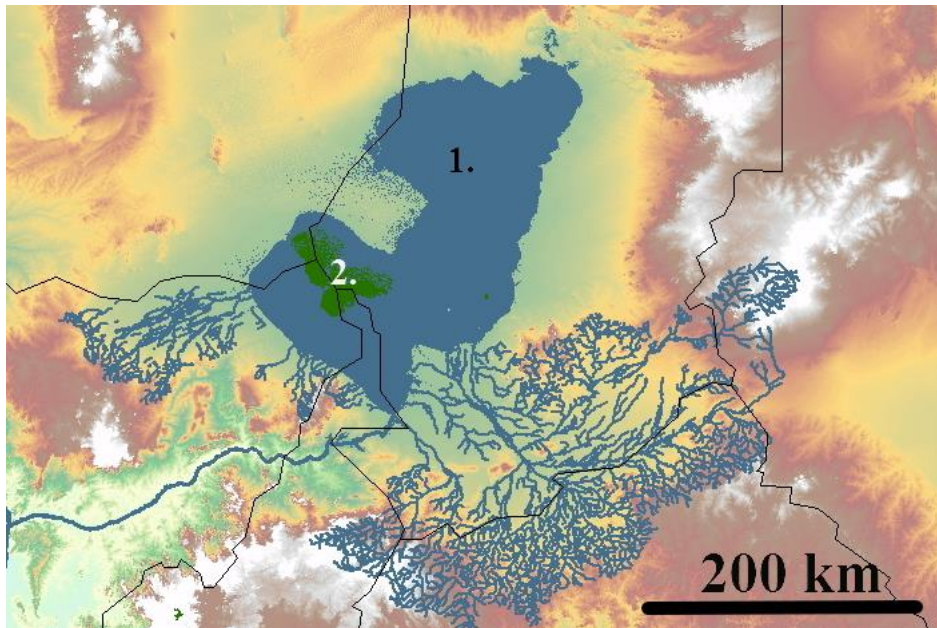


70. ábra Trópusi sivatagi paleohidrológiai területek éghajlati adottságainak bemutatása római klímaállomás adatai nyomán készült Walter-Lieth diagramon (Forrás: a hivatalosan megadott adatok alapján készült új, saját ábra)

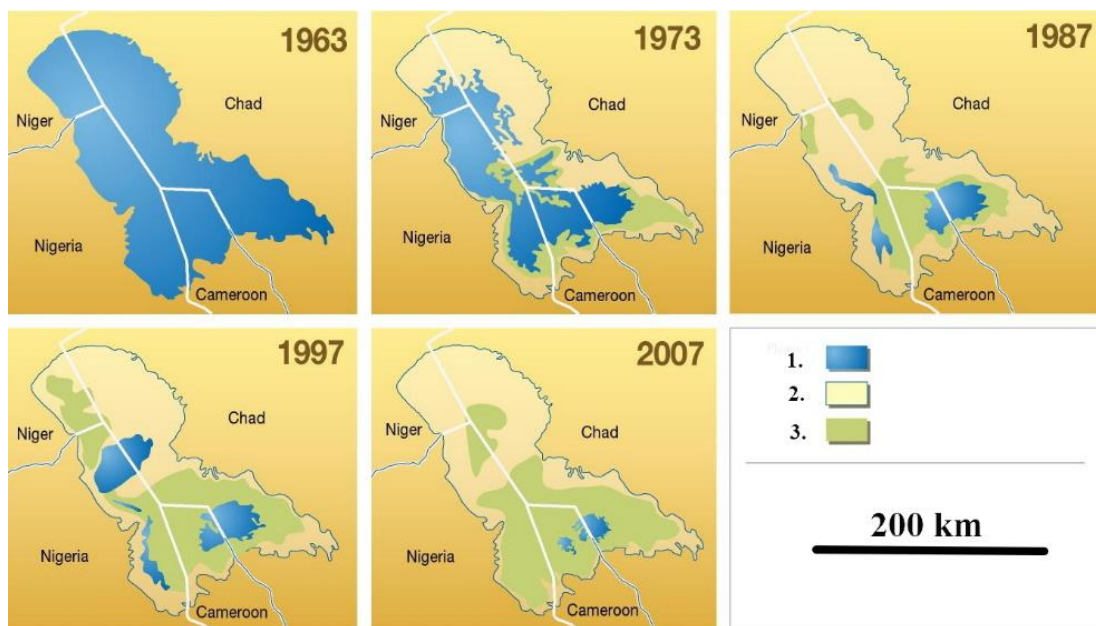
A szárazság és a nappali felszín forróság következtében nincs növénytakaró ezen a területen. A füves szavannát, majd félsivatagi bozótosokat felváltják a foltszerű növényzetű félsivatagok, majd a növénymentes sivatagok. A rendkívül nehéz életfeltételeket csak kevés élőlény képes eltűrni, ezért nincs vagy csak nagyon vékony a vázjellegű talaj. A trópusi sivatagban gyakorlatilag csak alapkőzetre jellemző váztalajok fejlődtek ki – kopár homok, kavics, szikla vagy agyagos váztalajokat különíthetünk el.

Bár a sivatagi vízhiány következtében a növények jelentős részének a megtelepedése blokkolva van ebben a paleohidrológiai régióban, mégis több mint 500 növényfaj él a sivatagban, melyek rendkívül mélyről szívják fel a talajnedvességet, így életben tudnak maradni. A több ezer vagy magsivatagok esetében több százezer éven át fennmaradó sivatagi régiókban kifejezetten szárazságtűrő életformák alakultak ki. Viszont ki kell emelnünk, hogy bár a sivatagok egy jelentős része több száz - ezer éve fennáll (magsivatagok), a sivatagok területe is földtani értelemben véve gyorsan változik az éghajlati

változások nyomán. Így a legnagyobb területű trópusi sivatag, a Szahara jelentős része még néhány ezer éve a füves trópusi sztyepp és szavanna területéhez tartozott. Jelentős kiterjedésű folyók szeltek át ezeket a területeket, felhalmozva a kavicssivatagok folyóvízi szállítású kőzetalapanyagát. A sivatagi régió peremén a napjainkban történt változásokra, a trópusi sivatag elterjedésére, a fokozatosan sivataggá váló sivatagi sztyepp és szavanna zóna átalakulására az apránként újra a sivatagi környezettel övezett Csád-tó elemzései és felszínváltozásai mutatnak rá. A tó maga az 1960-as évekig igen jelentős kiterjedésű volt – általában ezt az állapotot mutatják be a jelenleg használatos térképek. Viszont az éghajlati változás és az abszolút lokális, de túlzásba vitt vízhasználat miatt a tó jelentősen összezsugorodott – jelenlegi kiterjedése 1350 és 2500 km² között változik. A később bemutatott paleohidrológiai elemzések alapján, a holocén kezdetén és középső szakaszában a Csád-tó (a paleohidrológiai tanulmányokban a Mega-Csád-tó néven ismeretes paleohidrológiai alakzat: **71. ábra**) mérete meghaladta a Kaszpi-tenger medencéjének méretét, és elérte a 360 000 km²-t, míg mélysége a 180-190 métert(!). Majd több jelentős változás történt a tó kiterjedésében, napjainkban 1355 km²-re, területének majd egy ezrelékére zsugorodott az egykori Mega-Csád-tó, és maga a tó többször is (emberi hatások nélkül is) a teljes kiszáradás határára került. Ugyanis a vízfelületének nagysága szoros összefüggésben állt a Közép-Afrikában lehulló csapadékkal, amely hullámszerűen többször megváltozott az elmúlt 7000 év folyamán. A jelenlegi hidrológiai és hidrográfiai elemzések előrejelzései szerint, ha a jelenlegi kiszáradási folyamatok (**72. ábra**) tovább erősödnek, akkor a Csád-tó a 21. század közepére akár teljesen el is tűnhet (ahogy a paleohidrológiai elemzések nyomán ez már többször is megtörtént az elmúlt több százezer év során).



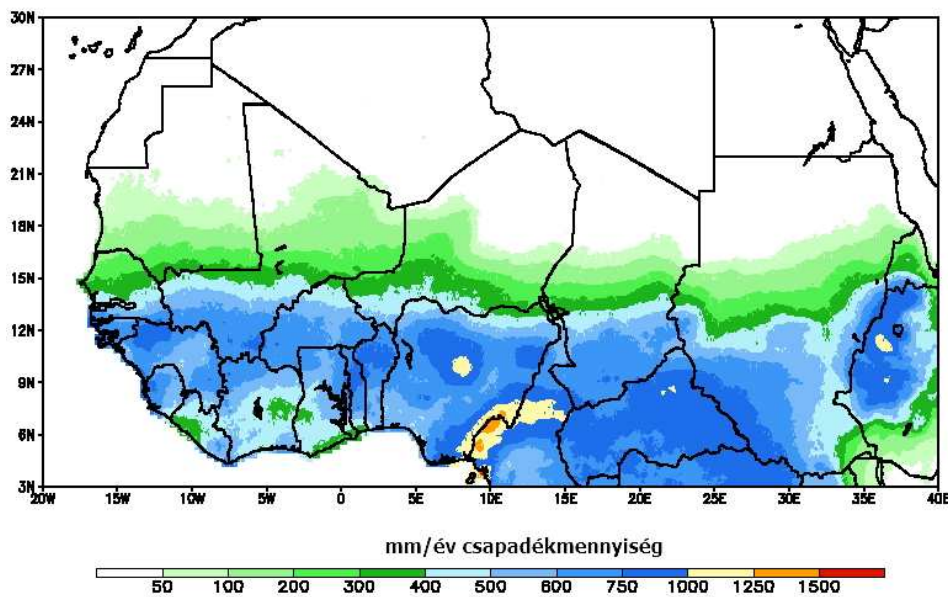
71. **ábra** A kora holocén során kialakult csapadéktöbblet nyomán kifejlődött 400 000 km² kiterjedésű Mega-Csád-tó (1) és napjaink szárazsága miatt édesvízi mocsár és apró tavak sorozatára csökkenő Csád-tó (2) (Forrás: wikipédia)



72. **ábra** Csád-tó napjainkban, a kiszáradása és részekre bomlás 1963 és 2007 között 1: nyílt vízfelület, 2: mocsári növényzet, 3: 1963-ban még vízzel kitöltött tómeder (Forrás: wikipédia)

A trópusi Csád-tó története teljes egészében a mérsékeltövi Aral-tó paleohidrológiai fejlődésével párhuzamosan fut, mely szintén a teljes és végleges kiszáradás felé halad a terjedő mérsékeltövi sivatagi régióban. A Mega-Csád-tó és a Csád-tó paleohidrológiai elemzése nyomán a trópusi sztyepp,

trópusi sivatag és trópusi szavanna fejlődését is modellezhetjük az elmúlt évezredekben. Ugyanakkor a Csád-tó holocén és jelenlegi fejlődéstörténete rámutat arra, hogy mennyire változékony világban élünk valamennyien, és geológiai értelemben milyen gyorsan, akár évtizedek alatt is átalakulhatnak, lakhatatlanná alakulnak egyes régiók – igen nehéz helyzetbe vagy akár lehetetlen helyzetbe hozva a termelő gazdálkodást folytató emberi közösségek hosszú távú fennmaradását egyes területeken (**73. ábra**).



73. ábra Csapadékmennyiség változása térben 1995-2008 között a saharai sivatag öv és Afrika középső részén kialakuló esőerdő övezet között (a 200-400 mm/éves csapadék mennyiség közötti sávban helyezkedik el a Száhel/Szahil = éhség övezet) (Forrás: wikipédia)

A trópusi sivatagi paleohidrológiai régió kiemelkedő jelentőségű paleohidrológiai elemzéséhez tartoznak a gyakorta ingó kövek formájában jelentkező, sokszor tíz méteres vastagságú fosszilis tavi rétegek (**74. ábra**), valamint az elhagyott, kiszáradt folyómedrek vizsgálata. Ezek alapján a Szahara területén a holocén korai szakaszában, a mega tavak kifejlődésének korában 1200-1300 mm/év csapadékmennyiség jelentkezhetett a mai 100-400 mm/év csapadék mennyiségéhez képest. Ugyancsak kiemelkedő jelentőségű a trópusi sivatagi régió elemzésénél a Nílus delta rendszerének, különösen a fosszilis elhagyott delta részeknek, az elhagyott folyóágaknak a vizsgálata, mert ezen

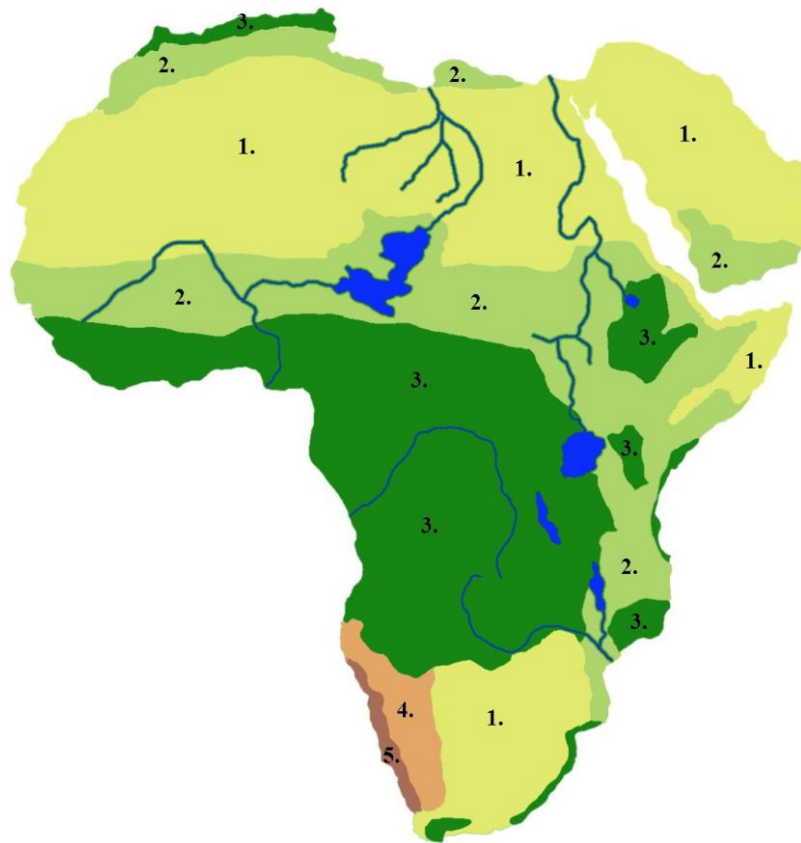
adatok nyomán igyekeznek modellezni a napjainkban zajló hidrológiai-hidrográfiai változásokat.



74. ábra Ingókő formájában megmaradt kora holocén tavi rétegsor líbiai sivatagban (a kora-holocén kori Fezzán Mega tó helyén) (Forrás: <https://hiveminer.com/Tags/palaeolake/Interesting>)

3.11. Szavanna paleohidrológiai régió (szavanna exogén geológiai – aktuálgeológiai régió)

Az egyenlítői zónával kettéválasztva, a déli és az északi féltekén az északi és déli 10.-25. szélességi fokok között az évi középhőmérséklet lényegében azonos az ekvatoriális zónában mérhető hőmérséklettel. Viszont a csapadék évi mennyisége kevésbé jelentős, mint az equatoriális régióban. Viszont ahogy a fentebb említett Mega-Csád-tó példáján láthattuk, a szavanna területe egy rendkívül dinamikus, gyorsan változó paleohidrológiai régió, változásai nyomán a trópusi esőerdő és a trópusi sivatag területével együtt átalakult (**75. ábra**).



75. **ábra** Afrikai növényzet kiterjedés és terület hasznosítás 7000 évvel ezelőtt (Forrás: wikipédia) 1: Szavanna területek (döntően legeltetés), 2: Erdősült területek (döntően növénytermesztés, gyűjtögetés), 3: Füves szavanna (kiterjedt legeltetés), 4: Félsivatag (vadászat, gyűjtögetés), 5: Sivatag (ritkán lakott)

Így a szavanna területének jelenlegi helyzete és kiterjedése csupán pillanatnyi állapot, mivel az utolsó 2000 évben terjedő sivatagi területek a szavanna jelentős részét, különösen Afrikában, szinte elnyelték. Természetesen ismeretesek olyan geológiai periódusok, amikor az esőerdő terjedt ki és ennek következtében csökkent a szavanna területe. Vagyis a szavanna egy átmeneti paleohidrológiai régiót alkot a trópusi esőerdő és a sivatag között. Jelenleg a trópusi sivatag (Szahara) mintegy 4 kilométeres sebességgel terjed dél felé, visszaszorítva a szavanna északi területét. Ezzel párhuzamosan az esőerdő területe csökken jelenleg és ott pedig a szavanna terjed el, elsősorban erőteljes emberi erdőirtás és erdőégetés miatt (76. ábra).



76. ábra Erdőirtás hatása Amazóniában (Forrás: wikipédia)

Ez okozza az egyik legjelentősebb globális környezeti problémát, mivel a trópusi esőerdei övezet túlnépesedése, és a gépesített intenzív mezőgazdaság megjelenése hatással van a szén-dioxid megkötéséért is felelős vegetációra. Napjainkra az Amazónia esőerdőinek irtása nyomán az éghajlati válság elmélyül, fokozódik és az itt található lokális-regionális szintű ökoszisztéma pusztulása pedig felgyorsult. Ugyanakkor itt is felhívjuk a figyelmet egy közkeletű, szélteben-hosszában terjesztett tévedésre, hogy a trópusi őserdők termelik a földi ökoszisztéma oxigén készletének döntő részét, és döntően felelősek a földi széndioxid elnyeléséért. Ez így is van, ha csak a megkötést vizsgáljuk. Figyelembe kell azonban vennünk, hogy a rendkívül gazdag trópusi növényzet (és a vele együtt élő élővilág) mennyi széndioxidot bocsát ki, mennyi széndioxid szabadul fel trópusi esőerdő övezetben kialakult rendkívül gyors szénforgalom miatt (ez utóbbit bizonyítja a trópusi esőerdő talaj rendkívül vékony és sérülékeny laterit talaj felső szintje, amelyben alig tározódik szerves anyag). Főleg, ha azt is megvizsgáljuk, hogy a trópusi esőerdő kifejlődéséhez milyen jelentős mennyiségű oxigén szükséges – akkor már jóval árnyaltabb

képet kapunk. Ugyanis az esőerdők jelenleg nem termelnek plusz oxigént, vagyis ami ott képződik, azt felhasználják maguk a trópusi esőerdőben élő növények, az esőerdőben élő heterotróf élőlények, a lebontó szervezetek. Vagyis, ha a nettó kibocsátás és megkötésből indulunk ki, akkor döbbenet láthatjuk, hogy az oxigén kibocsátás és megkötés gyakorlatilag egyenlő a trópusi esőerdők területén. Vagyis az amazóniai trópusi esőerdő – az ott élő élőlények (növények, állatok - lebontók, mikroorganizmusok összessége) – nettó oxigén kibocsátása és ennek nyomán hozzájárulása a jelenlegi globális légköri oxigéntartalomhoz minimális. Annyira elenyésző ez a mennyiség, hogy gyakorlatilag nullának tekinthető. Ha leégne az egész Amazonas esőerdő régiója, akkor a földi széndioxid szint 10%-kal növekedne, de az globális oxigén szint mindössze 0,02%-kal csökkenne.

Ennek oka, hogy a jelenlegi oxigén szint egy több százmillió éves, földtörténeti léptékű fejlődés eredménye, nem évek, hetek vagy hónapok alatt alakult ki (szerencsére), és a pillanatnyilag látható egyensúly igen széles intervallumban változott a földtörténeti múltban az eltérő környezeti, közte a különböző biotok kiterjedésének hatására. Ha a széndioxid és oxigén nettó kibocsátást és megkötést vizsgáljuk, akkor a legfontosabbak azok a területek, ahol fekete, humuszban gazdag talajok, mindenképp a mezőségi talajok fejlődnek ki. Ugyanis ezekben a régiókban az oxigéntermelés közben a szerves anyag ezekben a régiókban nem bomlik le, hanem a talajban raktározódik és ennek nyomán a széndioxid kivonódik a légkörből. Sajnos ezek a területek is folyamatos emberi romboló hatás alatt állnak, aktív és talajromboló mezőgazdálkodás mellett utakat, településeket, gyárakat, üzemeket alakítunk ki ezeken a területeken (Magyarországon) is, és ezzel valóban veszélyeztetjük magunkat, és befolyásoljuk a globális széndioxid szintet.

Ugyanakkor nem menthetjük fel magunkat a kollektív felelősség alól a trópusi esőerdők pusztításánál, mivel a paleohidrológiai adatok alapján ezek az esőerdők alapvetőek a globális páratartalom és csapadékképződésben: a

párologtatásuk révén. Így az esőerdők visszaszorításával (vagy a 20-30 éven belül várható kipusztításával) tényleg az egész bolygónk klímáját megváltoztatjuk csapadék- és vízforgalmi szempontból, és ennek korai hatásait már mi magunk is érzékelhetjük. Természetesen az esőerdő égetésekkel, a felszabaduló területek felszántásával – a lokális, regionális környezet és ökoszisztémák teljes pusztítása mellett – növeljük az amúgy is rendkívül jelentős, és folyamatosan növekvő globális széndioxid szintet, de annak meredek növekedéséért egyértelműen a fosszilis szénforrások (szén, kőolaj, földgáz, olajpala) aktív emberi felhasználása (például gépjárművek használata) a felelős.

A másik oldalon viszont az is igaz, hogy a trópusi esőerdő laterit talajának szénmegkötő képességének megváltoztatásával igen termékeny talaj (terra preta) alakítható ki. A régészeti és paleotalaj vizsgálatok szerint az Amazonas vidékén élő paleoindiai közösségek kézi erővel, állati erő bevonása nélkül már több ezer éve, több százezer km² kiterjedésre vonatkozóan megtették már ezt, kialakítva és fenntartva többszáz éven keresztül egy termékeny talajréteget, a terra preta szintet. Illetve az esőerdő, általában az erdőterületek növelésével, például az amazóniai esőerdő területének megduplázásával párhuzamosan 90-120 pentagram (90-120 gigatonna) széndioxidot vonhatnánk ki a légkörből. Ennek nyomán a globális széndioxid szintet 10-15%-kal csökkenthetnénk, amely rendkívüli módon befolyásolná, valószínűleg leállítaná a jelenleg zajló globális felmelegedést, nem is beszélve arról, hogy az esőerdő területek növelése révén a páratartalom globális szinten is növekedne és ennek nyomán a világméretű aszályosság is csökkenthető lenne.

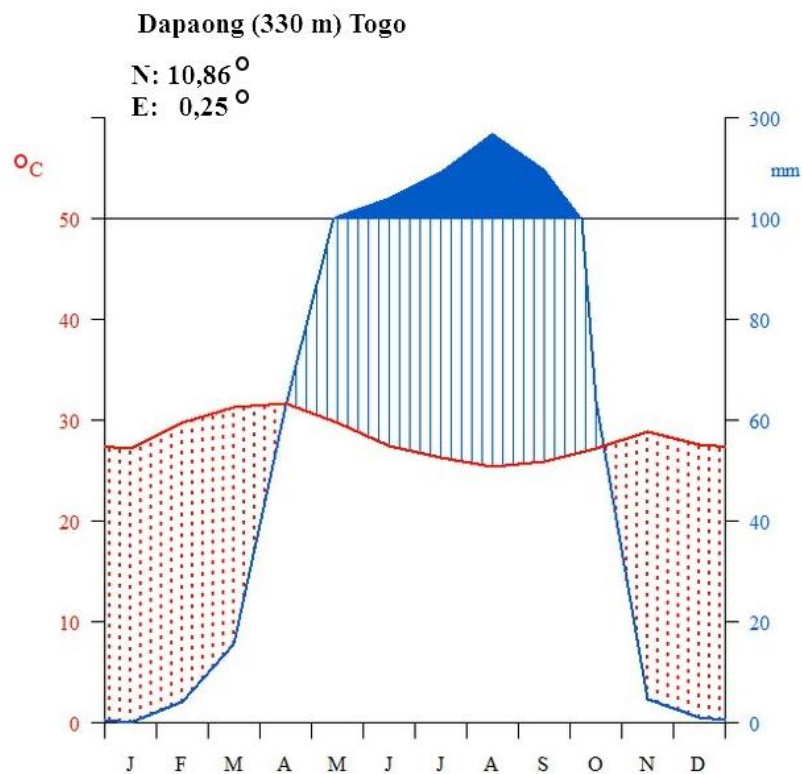
Minden itt leírt gondolat egyértelműen arra mutat, hogy a világtengerek élővilága, mindenekelőtt növényzete az, amely alapvetően befolyásolja a földi élet (és az emberiség) szempontjából jelentős globális gázok szintjét. Így a paleohidrológiai elemzések alapvetőek ennek a folyamatnak a megértésében és értelmezésében. Ugyanakkor nem szabad áltatni magunkat, ezeknek a

kérdésköröknek a kezelése a gazdasági, társadalom-irányítási (adminisztratív) rendszerekhez tartoznak, és ezért szükséges a jelenlegi, döntően közgazdasági, jogi, technokrata, vagy csak „politikai” képzettségű irányító (bürokrata) réteg ismereteinek fejlesztése ökológiai, paleoökológiai, hidrológiai, paleohidrológiai területeken. A globális éghajlati változás kialakulása, formálódása mindenkor összefügg azzal, hogy a lokális, regionális és globális politikai-hatalmi pozíciókat elfoglaló személyek mennyiben képesek befolyásolni a szokásainak rabságában élő, érdekeit fel nem ismerő, ezen a téren is képzetlen emberek sokaságát, felismerve, hogy milyen veszélyhelyzet alakulhat ki az egész emberiségre, de mindenekelőtt az ipusztériális civilizáció és ennek keretében élő emberekre nézve.

Ugyanis az érintett területeken a társadalmi vezetők kiválasztása területén még ma is elsősorban a személyi, vérségi, társadalmi kapcsolatok, az egyéni ambíció (emberi agresszió) számít, és sajnos ezen a területen is igaz, hogy a társadalmi agresszió nem azonos az emberi tudással, főként nem az elmélyült tudással, és/vagy az ösztönös vezetői magatartással. Amíg emberiség ezen a területen nem változtat, addig nem várható a globális éghajlati és környezeti változás megállítása és/vagy megfelelő kezelése. Jól szemlélteti a hatalmi-politikai-vezetői elit (és tanácsadók) felkészületlenségét és ebből fakadó tanácstalanságát, ha azt kommunikálják a globális, regionális és lokális információs csatornákon keresztül, hogy az Amazonas a föld tüdeje és a földi oxigénszintért felelős terület, holott a fentebb leírt tényeket figyelembe véve erről szó sincs. Talán furcsának tűnhet egy paleohidrológiai tankönyv lapjain erről olvasni, de a jelenlegi környezeti, benne éghajlati krízis megoldása a különböző társadalmi szinteken a megfelelő képzettségű és megfelelő felfogású vezetők kiválasztásával, az emberiség képzettségi szintjének növelésével, és a berögzült szokások (étkezési kultúra, mindennapi élet, kultúrafelfogások) átalakításával kezdődhet. Ha ez nem sikerül, akkor az éghajlati és környezeti

átalakulás fogja megváltoztatni az emberiség szokásait és felfogását a maga könnyörtelen módján.

A szavanna paleohidrológiai régióban a csapadék mennyisége és annak évi eloszlása nyomán két évszakot különböztetünk meg. Egy forró csapadékos évszak és egy csapadékszegény meleg időszak váltakozik egymással (77. ábra).



77. ábra Szavanna paleohidrológiai területek éghajlati adottságainak bemutatása dapaongi (togói) klímaállomás adatai nyomán készült Walter-Lieth diagramon (Forrás: a hivatalosan megadott adatok alapján készült új, saját ábra)

A tenyészidőszak (nyári eső) idején a fák lombot fakasztanak, a száraz évszakban lombtalanok. Vagyis a mérsékeltövi fákhoz hasonlóan, de attól eltérő okból időszakosan lombhullató fák alkotják a szavannák fás szárú növényeit, bár a folyók mentén, a magas talajvízállású területeken fennmaradnak az örökzöld trópusi fás szárú taxonok. A csapadékszegény időszak az Egyenlítőtől távolodva egyre jelentősebb időtartamú. Így a szavanna kifejlődése is folyamatosan változik az esőerdőtől a trópusi sivatagig. A szavannán leginkább a füves

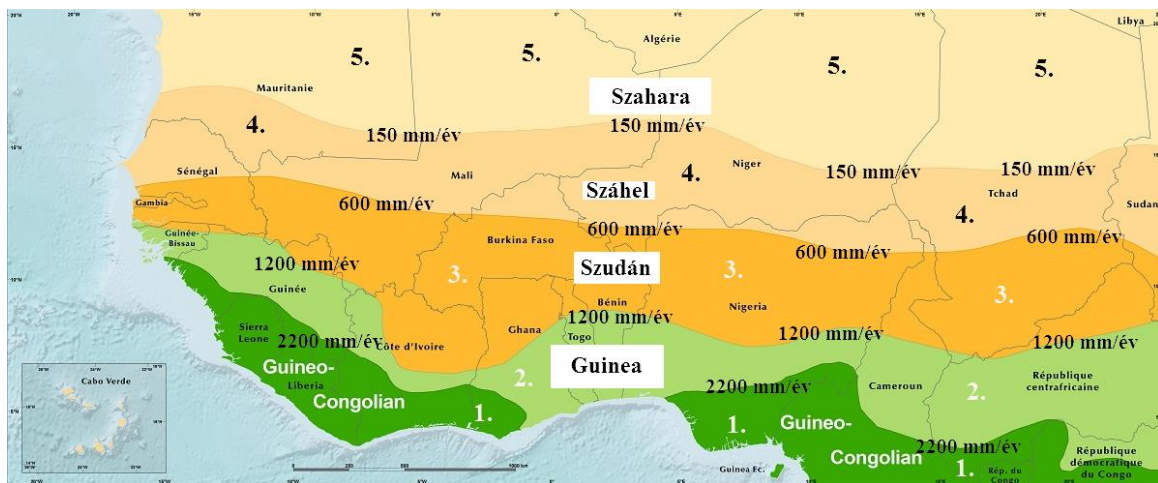
területek dominálnak, de az esőerdővel határos peremén még jelentős erdei növényzeti borítás figyelhető meg (erdős szavanna – jellemzői fák a hóálló magokkal rendelkező, pirofiton *Acacia* és *Eucalyptus* taxonok, de még jelen vannak elszórtan az örökzöld fák is). Ezek az erdők már sok mindenben különböznek a trópusi esőerdőtől, még összefüggőek, de már a legmagasabb szint sem éri el a 40 méteres magasságot. A döntően kettős lombkoronaszint mindegyike laza állományú és nem zárt. Így a ligetes kifejlődésű erdők aljzatáig jelentős mennyiségű fény jut el. Ennek nyomán az erdős szavannának mindig gazdagabb az aljnövényzete, mint a trópusi esőerdőnek. A fák nem örökzöldek, mert a tenyészidőszakot követően a fák lombja lehull. A fák és facsoportok között igen magasra nőtt a fűtakaró, amely foltokban jelentkezett, vagyis mozaikos növényzeti szerkezet fejlődött ki ezen a területen. Az erdősszavanna talaját, annak ellenére tápanyagban gazdagabb, mint trópusi esőerdő talaja, a vörösföld alkotja, és mivel a csapadék mennyisége kisebb, a száraz időszakban elpusztult növényekből keletkező tápanyagot itt már nem mossa ki olyan mértékben, mint a trópusi esőerdőkben.

Az erdősszavannát követően facsoportokkal, ligetekkel tarkázott magas fűvű térségek, klasszikus szavannák (ligetes szavanna) fejlődnek ki. Itt már eltűnnek az örökzöld elemek és megjelennek a palacktörzsű fák (majomkenyérfa - *Adansonia digitata*, vagy más néven a baobab fa). A ligetes szavannán, de általában a szavannán a természetes, ciklikus tüzek előfordulása figyelhető meg. Ez kedvezően hat a pázsitfűvek növekedésére és a pernye lerakódása miatt jelentős mennyiségű humuszképző anyag halmozódik fel a legfelső geológiai rétegben, a talajban. Ezért a ligetes szavanna talajai fahéjbarna színű talajok, sárgaföldek, illetve vörösföldek lesznek, illetve a mélyedésekben, karbonátos alapkőzetten intrazonálisan tirs talajok jelennek meg.

A sivatag felé haladva, már csak cserjék figyelhetőek meg a szavannán (cserjés szavanna), végül a sivataggal határos peremterületeken a füves szavanna fejlődik ki. Itt már jelentős talajerő fejlődik ki az erőteljes szerves anyag

megkötődés és humuszképződés nyomán. Ugyanis a kevesebb csapadék nyomán lecsökkent kilúgzás és a lassúbb bomlás hatására erőteljesebb humuszosodás alakul ki ebben a régióban. Így ezeken a területeken a talajok sötétebb színűek lesznek a felhalmozódó humuszanyagoktól és fekete színű természetes trópusi talajok fejlődnek ki.

A szavanna paleohidrológiai régióban megfigyelhető növényzeti változásnak az oka, hogy az Egyenlítőtől távolodva csökken a csapadék mennyisége, és egyenlőtlené válik az eloszlása (78. ábra). A csapadék mennyiségének csökkenésével jellegzetesen változik a növényzeti társulások szerkezete is. Így a szavannák eltérőek lesznek, nem tekinthetők homogén területnek, mivel a csapadék mennyiségének csökkenése hatására a térítők felé erdős, ligetes, cserjés és füves szavannák követik egymást. A csapadék mennyiségének csökkenésével a fák densitása és magassága csökken a Ráktérítő és a Baktérítő irányába.



78. ábra Trópusi esőerdő és sivatag közötti változások az afrikai szavanna övezetben (Forrás: <https://eros.usgs.gov/westafrica/node/147> nyomán magyarra fordítva, módosítva) 1: Guineai-Kongó esőerdő övezet (a csapadék éves mennyisége jelentősebb, mint 2200 mm), 2: Guineai erdős szavanna övezet (a csapadék éves mennyisége 1200-2200 mm közötti), 3: Szudáni ligetes szavanna övezet (a csapadék éves mennyisége 600-1200 mm közötti), 4: Száheli füves és bozótos szavanna (a csapadék éves mennyisége 150-600 mm közötti)

Az erdős szavanna területén a száraz évszak 3-4 hónap időtartamú, a csapadék mennyisége a tenyészidőszakban 1200-2200 mm, a ligetes szavannán a száraz

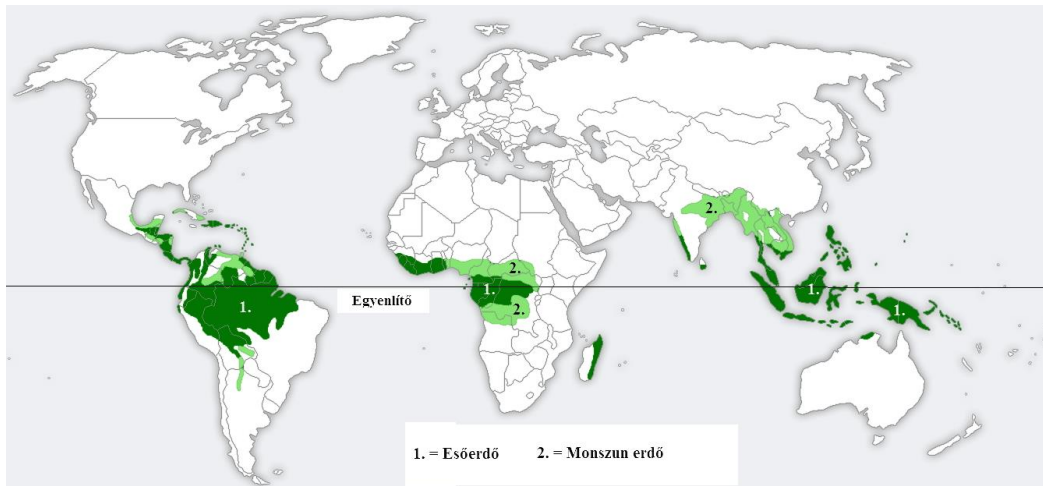
évszak már 5-7 hónapos időtartamra növekszik, ennek nyomán lecsökken a tenyészidőszak időtartama és a tenyészidőszak során az összes, régióba érkező csapadék és mennyisége 600-1200 mm közötti. A cserjés és füves szavannán a száraz időszak már hosszabb, mint a tenyészidőszak, azaz 7-10 hónap és a tenyészidőszakbeli csapadék mennyisége 250-600 mm-re csökken ebben a régióban. Ebbe a zónába tartozik a Száhel övezet (Szahil = sivatag pereme, vagy más néven éhség övezet) is, ahol az elmaradó esők miatt éhínségek alakultak ki, és ezeket a súlyos aszályokat véres polgárháborúk követték.

A szavanna növénytakaságok képeznek formálásában tehát a tenyészidőszaki vízbevitelnek, a csapadék mennyiségének van vezető szerepe. A legnagyobb kiterjedésű szavannák Afrikában és Dél-Amerikában (*Campo Cerrado* területe – döntően Brazília déli részén, *Catingas* – Brazília keleti része, *Chaco* – Argentína, Paraguay és Bolívia határterülete) találhatók. A paleohidrológiai elemzések nyomán az elmúlt 20 ezer, 100 ezer és 3 millió évben a dél-amerikai szavanna areája többször fluktuációszerűen megváltozott. Így napjaink paleohidrológiai vizsgálatai jelentős mértékben koncentrálnak a szavanna paleohidrológiai régióra, az ott kialakult üledékgyűjtő medencékre, a rekonstruálható változásokra, mivel egy rendkívül dinamikus változó régióról van szó, ahol az évszázados és évtizedes léptékű változások is meggrajzolhatóak és ennek nyomán a napjainkban zajló változások, a sivatag terjedése, a szavanna régió előretörése, az őserdő visszaszorulása legalább két ciklusban már jelentkezett.

3.12. Egyenlítői paleohidrológiai régió (egyenlítői exogén geológiai – aktuálgeológiai régió)

Az ekvatoriális szélességi kör mentén húzódó trópusi, nem lombhullató, örökzöld fákkal és növényekkel borított egyenlítői paleohidrológiai régió mintegy 2000 kilométer széles zónát alkot, mind az északi és mind a déli félteke felé körülbelül a 10° szélességi fokig terjedően (79. ábra). A napsugarak deklivációs hajlásszöge itt 66,5° és 90° között váltakozik, az évi középhőmérséklet

25-27 °C (80. ábra). Az évi hőingadozás minimális és a napi hőingadozás sem erőteljes. Az állandó forróság miatt itt keletkezik a passzát szélrendszer fölszálló ága (81. ábra). Az erős besugárzás következtében a hőmérséklet már délelőtt meghaladja a 25 °C-ot. A gyorsan fölszálló levegő gomolyfelhők képződésével jár (82. ábra), amelyekből kora délután ebben a régióban minden nap heves hó-zivatarok hullanak (83. ábra).



79. ábra Trópusi esőerdők és monszun erdők elhelyezkedése napjainkban
Földünkön (Forrás: wikipédia)

Néhány egyenlítői paleohidrológiai régióban egyetlen napon 1000 mm eső zúdul le (Magyarországon egy év alatt sem esik ennyi eső), és az egyenlítői jégverés sem ritka. Az évi csapadék mennyisége átlagosan 5000 mm, vagy efelett jelentkezik, majd az Egyenlítőtől távolodva 1500 mm-ig csökken.

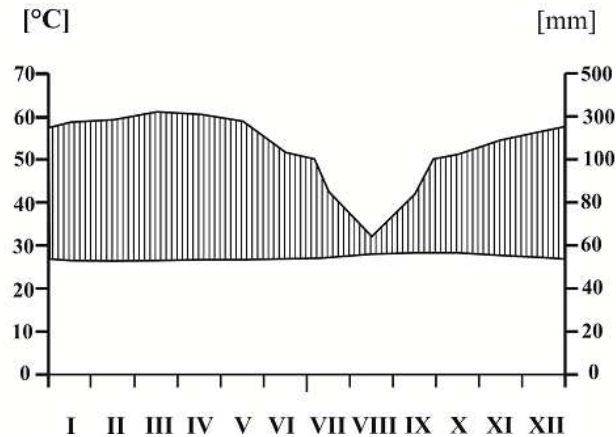
Manaus (tszfm: 72 m) Brazília

S: 3.13 °

W: 60.45 °

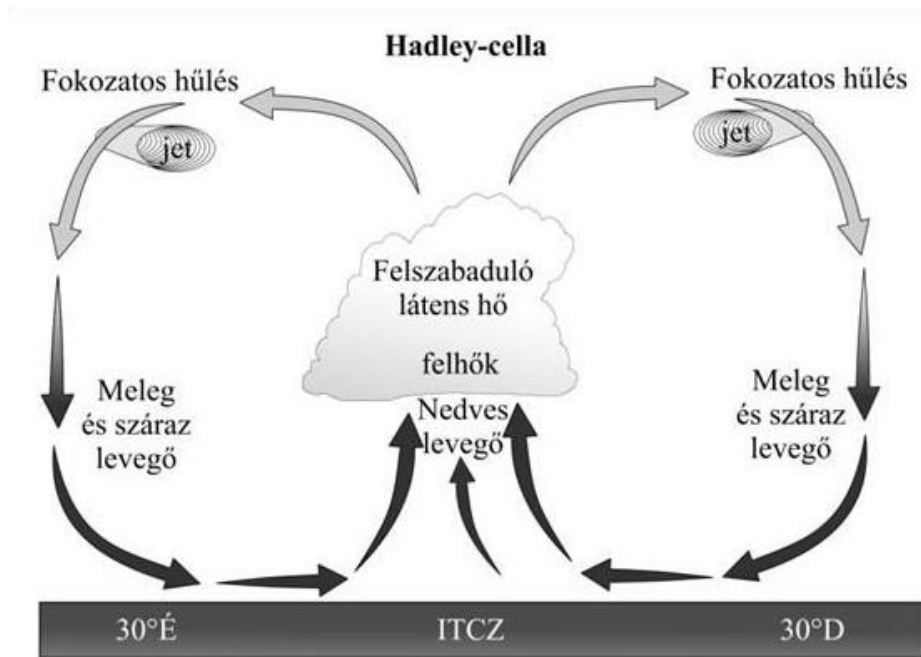
27,1 °C (ÉVI ÁTLAG)

2359,6 mm (ÉVI ÁTLAG)



80. ábra Az esőerdői paleohidrológiai területek éghajlati adottságainak bemutatása manauszi (Brazília) klímaállomás adatai nyomán készült Walter-Lieth diagramon (Forrás: a hivatalosan megadott adatok alapján készült új, saját ábra)

Az öv északi és déli, szavanna paleohidrológiai régióval összekapcsolódó szegélyén már 1-2 hónapos száraz időszak is előfordul. Az egyenlítői paleohidrológiai régióban a csapadékhullásnak, a Nap évi kétszeri merőleges delelés-magasságának megfelelően, a tavaszpont (március 20/21) és az őszpont (szeptember 22/23) során – kettős csúcstérték fejlődik ki. Ez az északi féltekén nyári napfordulón (július 21/22.), míg a déli féltekén a téli napfordulón (december 21/22.) fokozatosan egy maximummá alakul. A jelentős hőmérséklet és a bő csapadék miatt a levegő páratartalma állandóan magas. A heves esőzések következtében az folyóhálózat sűrű (**84. ábra**), a folyók bővizűek (**85. ábra**), vízjárásuk egyenletes.



81. ábra Trópusi esőerdő területén kialakuló trópusi, vagy más néven Hadley féle feláramlási cella. Az alacsony szélességeken a levegő a legalacsonyabb légnyomású övezet, döntően az Egyenlítőn és környezetében (mindig a hőmérsékleti, a termikus egyenlítőn) elhelyezkedő Trópusi Konvergencia (Összeáramlási), vagy más néven Szélcsendes Zóna (Intertropical Convergence Zone = ITCZ) irányában mozog, hogy a felmelegedő, a magasban a pólusok felé mozgó levegőt pótolja (Forrás: wikipédia)



82. ábra Trópusi gomolyfelhő képződés szingapúri reptér felett (Forrás: <https://pxhere.com/hu/photo/1164276> - ingyenesen letölthető és szabadon felhasználható felvétel)



83. ábra Trópusi esőerdőben kialakult hőzivatar (Forrás: <https://wallpapersafari.com/w/GRZKxX> - ingyenesen letölthető és szabadon felhasználható felvétel)



84. ábra Dél-amerikai, 7 millió km² kiterjedésű Amazónia folyóvízi hálózata az esőerdő övezetben (Forrás: wikipédia)



85. ábra Amazonas Manausnál napjainkban (Forrás: wikipédia)

Az egyenlítői paleohidrológiai régiónak a legjelentősebb a csapadékbevétele és a vízmérlege kifejezetten jó – ennek nyomán rendkívül fejlett a folyóhálózata. Viszont a rendkívül gyors biológiai ciklus következtében a paleobiológiai – őslénytani anyag felhalmozódási esélye rendkívül csekély, az egyenlítői paleohidrológiai régióban kialakult rendkívül jelentős biomasszából (átlagosan 22 tonna biomassza hektáronként évente) csak minimális mennyiség, a biomassza ezrelékekben mérhető része fosszilizálódik. Ennek következtében az esőerdők paleobotanikai fejlődéséről rendkívül nehéz korrekt adatokon alapuló információkat biztosítani, de az elmúlt 30-50 év során kinyert őslénytani adatok alapján már őslénytani alapon is modellezni lehet az utolsó 40-50 ezer év évszázados paleohidrológiai változásait.



86. ábra Trópusi kúpkarst (Forrás: enfo.agt.bme.hu/drupal/en/node/6254 - Weport Kft felvétele)

A rendkívüli meleg és a sokszor 95-99%-os páratartalom és a nedvesség az eróziós folyamatok közül a kémiai mállásnak kedvez, ezért jelentős vastagságú málladék (regolit) réteg képződik a kőzetek felszínén. A hegyperemi lejtők vastag málladéktakarói időnként az erdőborítással együtt a folyóvölgyekbe csúsznak, ezért rövid idejű, de rendkívül gyors feltöltődési szintek kifejlődésével kell számolnunk az üledékgyűjtő rendszerekben, a holtágakban. A mállás, a lejtőket leöblítő csapadék és a folyóvizek a hegységeket széles, lapos hátú tönkökké alacsonyítják (trópusi tönkösödés), karszterületeken pedig a trópusi kúpkarst képződése zajlik (**86. ábra**).

A mállástermékek talajjá alakulása rendkívül gyors folyamat. Az egyenlítői öv jellemző talaja a laterit talaj. Ennek A szintje vastag kilúgzási szint, vegyületeit – a vas- és alumínium-hidroxid kivételével – a csapadék mélyre mossa. A fennmaradó vashidroxidok adják a laterit talajok téglavörös színét (**87. ábra**).



87. ábra Trópusi laterit talaj kifejlődése bazalt kőzet felszínén (Forrás: wikipédia)

Az egyenlítői paleohidrológiai régiókban kifejlődött talajok humuszban is szegények, mert a gyors lebomlási folyamatok miatt humusz-felhalmozódás gyakorlatilag nincs. Az állandó esőzések kimossák a talajvízben jól oldódó iontartalmat, valamint a humuszanyag vízben oldódó részét, a huminsavat. Így a talaj lúgos részei feldúsulnak, ezért a talaj pH szempontból lúgos karakterű lesz. Ennek nyomán és az állandó esőzés hatására a felszíni rétegek az egészséges talajélet, talaj tápanyag szempontjából fontos kalcium-, kálium- és nátrium ionokban szegények lesznek, ellenben feldúsulnak, a vízben, lúgos pH-n rosszul oldódó vas- és alumíniumvegyületek. Színük ennek megfelelően vöröses vagy szürke.

A szürke színű talajok lesznek a leggazdagabbak fehér színű alumínium ásványokban – sok esetben a nemzetközi talajtani és a hazai szakirodalomban trópusi podzolnak nevezik ezt a talajtípust. Viszont ez igen jelentős tévedés, mivel a podzolosodás során savas karakterű talajokból, a talajok felső szintjéből savas pH-n a vas, az alumínium, a mangán elemek kimosódnak, és a talaj B szintjében kicsapódva kőfokot alkotnak. Így a podzol talaj világos színét a savas pH-n nem oldódó kovasavnak köszönheti, míg a kovasav a lúgos karakterű

trópusi esőerdő talajokban oldatba megy és a világosabb szín az alumínium-oxihidroxid tartalom miatt válik világosabb színűvé. Ugyanakkor jelentős területeket borítanak a trópusi esőerdőre jellemző alluviális talajok, gleyes talajok, valamint Watt talajok is kifejlődtek.

Általános vélekedés szerint a trópusi egyenlítői paleohidrológiai régióban a magas hőmérséklet és páratartalom miatt a szerves anyagok korhadása során képződő humusz gyorsan tovább bomlik és kilúgozódik, így a talaj tápanyagtartalma csekély. Viszont a régészeti, geoarcheológiai, régészeti geológiai kutatások alapján ismeretesek olyan Kolumbusz (gyarmatosítás) előtti, ún. „*prekolumbián*” indián közösségek, akik a földet rendhagyó módon művelve, alacsony hőmérsékleten érlelt komposztot, bomlott szerves anyagot, hőkezelt humuszt keverve a laterit talaj felső szintjébe, megváltoztatták a trópusi talajt több százezer km² nagyságú területen. Munkájuk nyomán sötétbarna – fekete színű, rendkívül termékeny antropogén talajt (*terra preta*) alakítottak ki és műveltek több mint 1500 éven keresztül. A termékeny, humuszban gazdag, sötét színű, antropogén talajréteg (**88. ábra**) ez idő alatt elérhette a 2 méteres vastagságot is. Ezek a paleohidrológiai vizsgálatokat is tartalmazó geoarcheológiai elemzések rámutattak, hogy a jelenlegi talajerózió és talaj termékenységének visszaesése abszolút mesterséges válság, a kemizálás és a gépi művelés eredménye és a folyamat visszafordítható. Vagyis még organikus gazdálkodás szintjén és kézi erővel is termékenyvé lehet tenni még akár az egyenlítői talajokat is. A trópusi egyenlítői területen feltárt, a régészeti és régészeti geológiai vizsgálatok alapján kialakított alacsony hőmérsékleten (50-80 °C) létrehozott-érlelt humuszos komposztot a modern kertgazdálkodás is használni kezdte hosszú távú termékeny talajszerkezet kialakítására (pernye és hőkezelt fa keverékét ún. *biochar* néven forgalmazzák és kert-, üvegház-, kiskert-, kaspó-kultúrákban hasznosítják - egyelőre).



88. ábra Alacsony hőmérsékleten kialakított komposztal kevert trópusi laterit talajból kialakított rendkívül termékeny, sötétbarna, fekete színű terra preta (antropogén hatású indián) talaj (Forrás: wikipédia)

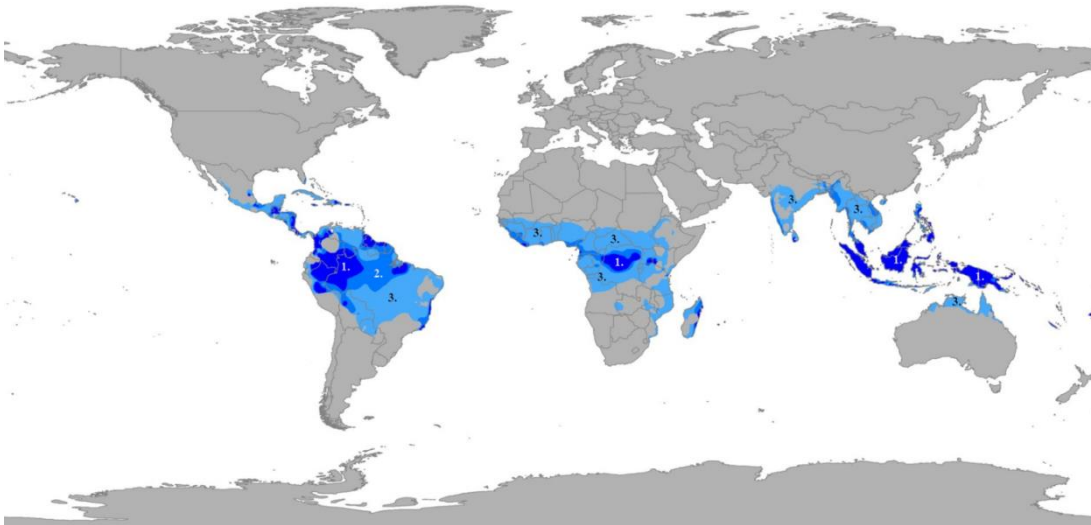
Az egyenlítői paleohidrológiai régióban jelenleg rendkívül intenzív vizsgálatok folynak, mivel a napjaink rablógazdálkodáson alapuló emberi termelő gazdálkodásában ez a legveszélyeztetettebb paleohidrológiai régió, ahol az erdőégetésekkel, fakitermelésekkel, ércbányászattal eljutottak arra szintre, hogy a globális széndioxid szintet erőteljesen befolyásoló őserdő fennmaradását, és ezen keresztül az emberiség fennmaradását is veszélyeztetik. Az indonéziai, kongói, dél-amerikai esőerdők gyakorlatilag a szemünk láttára semmisülnek meg. A megmentésükre az egész emberiségnek egy olyan gazdasági – társadalmi paradigmaváltására lenne szükség, amely példa nélküli lehetne az emberiség történetében.

A jövő környezetvédelmi és természetvédelmi gondjainak feloldását talán éppen az amazonaszi területen feltárt ún. „indián” talaj (*terra preta*) adhatja meg, mivel ezzel a komposzt technikával pótolhatók az iparosított mezőgazdaság által

felhasznált jelentős mennyiségű, már az előállításánál is rendkívül környezetszennyező műtrágyák, és a gépesített mezőgazdaság nyomán kialakult termés-, és talajtermékenységi kiesések és igen jelentős termékátlagok érhetőek el, stabilizált talaj termékenység mellett. A paleohidrológiai elemzések ennek a terra preta képződési régióknak az elemzésére, az üledékgyűjtő medencébe bemosódott talajanyag termékenységének és ennek a termékenységnek a változásaira koncentrálnak.

3.13. Trópusi monszun paleohidrológiai régió (trópusi monszun exogén geológiai – aktuálgeológiai régió)

A trópusi monszun vidékek helyzete speciális (Indiai szubkontinens, Hátsó-India, Közép-Amerika, Dél-Amerika, Közép-Afrika), mivel kialakulásukat nem elsősorban az Egyenlítőtől való távolságuk határozza meg (**89. ábra**).

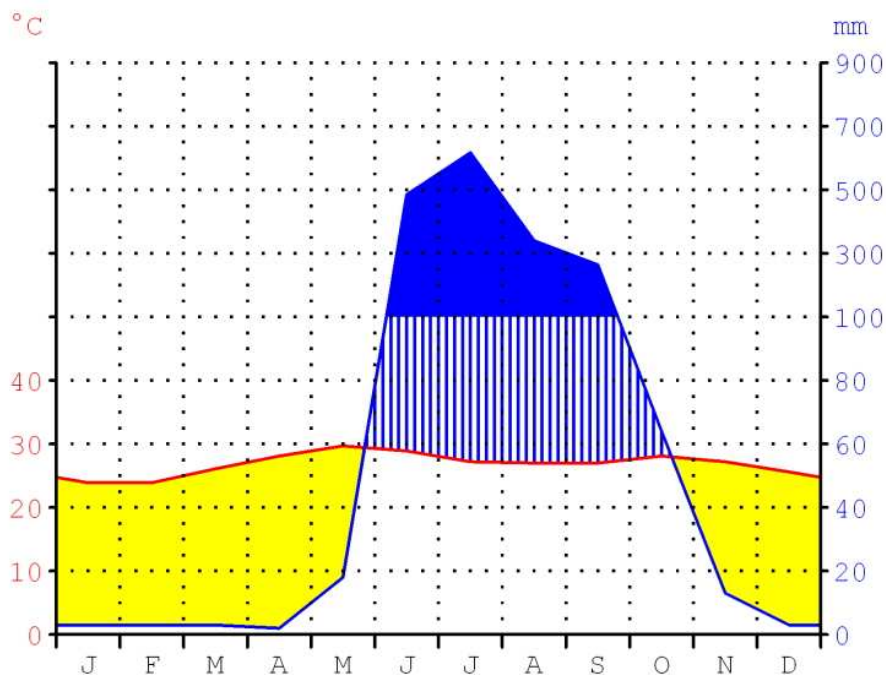


89. ábra Trópusi esőerdő, erdőszavanna és trópusi monszunterületek elterjedése Földünkön 1: Trópusi esőerdő, 2: Trópusi esőerdő és szavanna átmeneti övezete (erdőszavanna), 3: Trópusi monszun (Forrás: wikipédia)

Területük nem összefüggő, hanem helyenként a forró övezet átmeneti és térítői övébe ékelődik, jellemzően ott alakultak ki, ahol a forró övezetben a nagy kiterjedésű szárazföld az óceánnal határos. A régió fő éghajlatot alakító tényezője a monszun szélrendszer. A nyári és a téli monszun szerint váltakozik az esős és a száraz évszak. A nyári monszun idején bő csapadék hullik, azonban ennek megoszlását a domborzat is erőteljesen befolyásolja. Ez legvilágosabban a

nyári, csapadékot hozó monszunra merőleges indiai Kászi-hegység keleti részénél, Cherrapunji községnél figyelhető meg, ahol a több mint 11 méter mennyiségű csapadék hullik éves szinten átlagosan, és a legjelentősebb éves csapadékbevitel közel 13 méteres volt a mérések alapján.

Bombay (tszfm: 11 m) India
N: 18°54' E: 72° 49'
26,9°C (évi átlag) és 1815 mm/év



90. ábra A trópusi monszun paleohidrológiai területek éghajlati adottságainak bemutatása bombayi/mumbai (India) klímaállomás adatai nyomán készült Walter-Lieth diagramon (Forrás: a hivatalosan megadott adatok alapján készült új, saját ábra)

A trópusi monszun területeken három évszakot különítünk el. A téli monszun december és március között alakul ki, hűvösebb és szárazabb évszak, a téli hőmérséklet 23-25 °C között változik. Így a trópusi monszunnál, decembertől március végéig tartó időszak, a tél, relatíve hűvösebb és szárazabb évszak. A tavasz vagy nyárelő március és május között fejlődik ki, a hőmérséklet tartósan 30 °C felett van, bár a lehullott csapadék mennyisége a tél végéhez képest folyamatosan nő (**90. ábra**), de a jelentős hőmérséklet miatt erőteljes a párolgás. Így a tavaszt (nyárelőt) forrónak és száraznak tarthatjuk. A nyár kialakítója a

nyári monszun, forró és a monszun csapadék miatt csapadékos, sok eső és fülledt, párás időjárás jellemzi, a levegő páratartalma 80-85%, vagy ez feletti.

A nyári évszakban a folyóvízi hálózat fejlődése rendkívüli, a mállás elképesztő méreteket ölt és ebben az időszakban teljes egészében az egyenlítői paleohidrológiai övre jellemző tönkösödés és trópusi kúpkaraszt kialakulása zajlik és a trópusi szigethegyek, elegyengetett felszínek jellemzőek. A hidrológiai és a paleohidrológiai rendszerek ekkor fejlődnek legaktívabban. A száraz időszakokban, amikor a folyók ki is száradhatnak, kifejezetten torrens jellegűek, a vízjárásuk, fejlődésük évszakhoz kötődve változik. Növényzetében a babérlombú erdők, a lombhullató erdők a jellemzőek.

A lombhullató monszunerdők a száraz évszakban hullatják el leveleiket. Jelentős területeket borítanak a bambuszerdők a trópusi monszun paleohidrológiai régióban. Talaja sárgás és vörös színű laterit talaj, kifejlődésében, ásványtani összetételében rendkívül hasonló az egyenlítői paleohidrológiai régióban kifejlődött laterit talajhoz. A laterit talaj mellett a vízhatású, alluviális talajok is rendkívül elterjedtek, és mindenekelőtt a folyóparti bambusz erdőköz kötődnek. A lombhullató és az örökzöld fák borította területek között humusz- és tápanyag tartalomban jelentkezhet különbség, a makroszkópos kifejlődésben ez nem tükröződik számottevően.

Összességében elmondható, hogy a trópusi monszun paleohidrológiai régió környezeti kifejlődése (a növényzet, a talaj, a hőmérséklet) rendkívül hasonló az egyenlítői paleohidrológiai régió környezetéhez, és ez hasonló fejlődéstörténeti folyamatokat indít el. Ugyanakkor az évszakosság rendkívül erőteljes nyomokat hagy a paleohidrológiai folyamatokban. A fluviális rendszerek torrens jellege nyomán az üledékgyűjtő medencék kifejlődése, feltöltődése, az üledékbe zárt növényi anyagokon, a kúpkarasztos területeken kialakuló jelentős méretű cseppkövek kifejlődése egyaránt mutatja a szezonálisitást.

A trópusi monszunterületek paleohidrológiai elemzése azért kiemelkedő jelentőségű, mert a világ egyik legsűrűbben lakott régiója, ahol a legerőteljesebb

változások, mindenekelőtt hőmérséklet-növekedés játszódik le napjainkban. A trópuszi monszun területeken a tenyészidőszak átalakulása, az esőbevitel átrendeződése és eloszlásának megváltozása is rendkívüli mértékben sújtja az itt élő embereket, a globális szinten is kiemelkedő jelentőségű mezőgazdasági termelés átalakítására kényszeríti az itt élő agrárközösségeket. Kiemelkedő jelentőségű a szezonálisan jelentkező 10 000 mm-t meghaladó csapadékmennyiség hatásának vizsgálata. A régióban a Hindusztáni alföldön, a Gangesz torkolatvidékén több millió évet átívelő rétegsorok zavartalan magfúrását és feldolgozását, és a rendkívüli méretekben jelentkező cseppkövek paleohidrológiai vizsgálatait végezték el. Ezek a több millió évre visszanyúló adatsorok azt mutatják, hogy ez a régió rendkívül gyorsan és drasztikusan változott az elmúlt 3 millió év során. EZ alapján a jelenleg kialakuló széndioxid és hőmérsékleti maximumot jelentő szuper interglaciálisban ez a régió hőmérsékleti szempontból rendkívüli mértékben át fog alakulni. Ennek első jelei az 50 °C-ot meghaladó hőmérsékletek a nyári félévben, a csapadékos időszak lerövidülése és a száraz, de forró tavaszi időszak kiterjedése. Ennek a paleohidrológiai régióknak az átrendeződése az egész emberiség szempontjából alapvető változások motorja lesz, mivel közel két milliárd ember él ebben a régióban és az itt lévő agráriumnak ezen hatalmas embertömeg fenntartása mellett globális szerepe is van – mindenekelőtt a rizs, a köles, a cukornád, a gyógynövények és a zöldségek termesztése szempontjából. Az itt lévő agrárium megroppanása globális krízist és regionális éhezést indítana el. A jelenlegi paleohidrológiai vizsgálatok a felszín alatti víztározás lehetőségeire, megoldásaira koncentrálnak, hogy a régió megnövekedett lakossági és mezőgazdasági vízellátását biztosítani tudják.

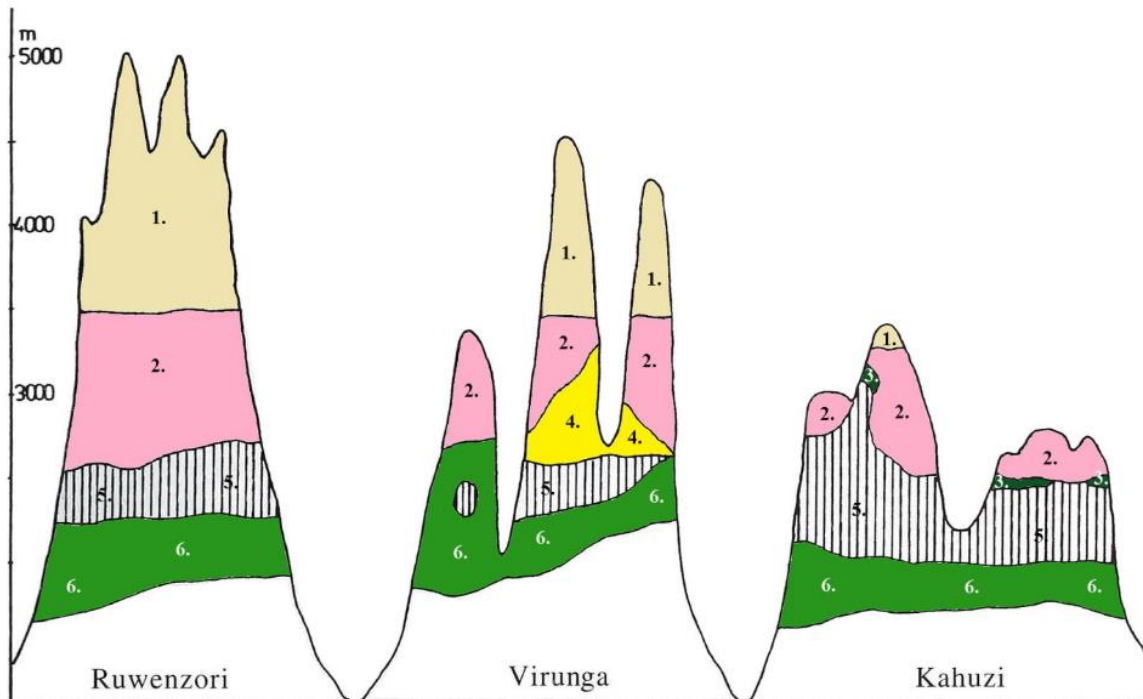
3.14. Hegyvidéki paleohidrológiai régió (hegyvidéki exogén geológiai – aktuálgeológiai régió)

Az 1500 méternél magasabb hegységet magashegységnek nevezünk. Ezek most a Földünk leggyorsabban átalakuló paleohidrológiai régiói, a trópusi,

szubtrópusi területeken már a megszűnés határán vannak, ugyanis ezeken a területeken a gleccserek és jégtakarók az elmúlt két évtizedben gyakorlatilag elolvadtak. Ezzel egy időben a hegyvidéki paleohidrológiai terület egyre magasabb régióba húzódott vissza és teljesen hasonló folyamatok zajlanak a mérsékeltövi magashegységi területeken is. Tehát a hegyvidéki paleohidrológiai-hidrológiai területeket az eurázsiai kontinensen 3000 méter felett, Afrikában az Atlasz, a Kelet-Afrikai hegyvidék, továbbá az amerikai kontinensen a Sziklás-hegység és az Andok legmagasabb régióiban találhatjuk már csak meg. E folyamatok hatására a magashegységi környezethez alkalmazkodott élővilág élettere beszűkül, fragmentálódik és a legmagasabb régiókba húzódik vissza. A legérzékenyebb magashegységi környezethez alkalmazkodott fajok olyan mértékben visszahúzódtak, hogy megindult a tömeges kihalásuk az összehangolt természetvédelmi intézkedések és magasabb régiókba történő áttelepítések ellenére is. Ezek a gyors változások azért kerültek el javarészt a tömegek és a sajtó figyelmét, mivel ritkán lakott területekről van szó, ahol elsősorban az extrém turizmus (hegyi turizmus, hegymászás, téli hegyi sportok) jelentik a jelentősebb bevételi forrást.

A hegyvidéki éghajlat, a hegyvidéki paleohidrológiai régió kialakulásának oka, hogy a hőmérséklet átlagosan 200 méteres tengerszint feletti magasság növekedéssel 1 °C-kal csökken. Ennek nyomán a magasabb hegyvidékeken magasság szerinti éghajlati és ezzel párhuzamosan növényzeti övezetesség alakult ki. Vagyis a hegyvidéki (vagy más néven alpesi) éghajlat Földünk minden éghajlati övezetében kialakulhat, mivel a kialakulásában a döntő tényező a tengerszint feletti magasság. Természetesen a tengerszint feletti magasság mellett még igen fontos éghajlati befolyásoló tényezőt alkot a regionális morfológia (platóhelyzet, fennsík, völgy, magányos hegycsúcs, hegyoldal) és kiemelkedő jelentőségű, hogy a hegyek szél felőli vagy a szélárnyékos oldalát, esetleg belső, elzárt hegyvidéki medencét (lásd Közép-Ázsiai hegyvidéki fészfati medencék) vonunk paleohidrológiai-hidrológiai vizsgálat alá. A

hőmérsékleti trendek mellett paleohidrológiai szempontból a legkiemelkedőbb tényező a relatív páratartalom és egyértelmű trend, hogy a pára mennyisége a magassággal erősen csökken, télen szárazabb, nyáron pedig közelebb áll a telítettségi állapothoz.



91. ábra Közép-Afrikai hegyvidéki növényzeti övezetesség a trópusi – egyenlítői területen (Ruwenzori – Virunga – Kahuzi hegységek: Közép-Afrika, Uganda és Kongói Köztársaság határán) (Forrás: wikipedia nyomán átrajzolva) 1: paramo (havasi gye) növényzet, 2: Podocarpus-erdő, 3: hangás fenyér – alhavasi gye (Ericaceae), 4: Hagnia-Hypericum zóna, 5: Bambusz zóna, 6: trópusi hegyi erdő

A magasabb tengerszint feletti magasságoknál a kevésbé jelentős légnyomás hatására a párolgás erőteljesebben jelentkezik. Valamennyi magashegységben kialakul egy olyan zóna, ahol az évi középhőmérséklet $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatti és ennek nyomán a lehullott hó döntő része nem olvad el. Ezt tekintjük hóhatárnak, amelynek a kifejlődése attól függ, hogy a magashegység milyen szélességi körön fejlődött ki, így a Himalája déli (indiai) oldalán a hóhatár 4900 méteren található, az Alpokban $2900\text{ } \pm 100$ méteren, míg az Ural északi részén, vagy a Skandináv-hegységben már néhány száz méteren kialakulhat a hóhatár. Jelenleg ez a hóhatár a globális felmelegedés hatására erőteljesen eltolódott a magasabb

régiók felé. Oly mértékben, hogy a Kilimanjaro területén a 16 km² kiterjedésű gleccserjég 1994 és 2004 közötti évtizedben elolvadt. A magashegységekben természetesen a tengerszint feletti magasságot és éghajlati zónákat követő növényzeti övek (**91. ábra**) is kialakultak a heglábi lombhullató erdőktől, a vegyeslombozatú erdőkön át a fenyőerdőig, majd kialakult a felső erdőhatár és ezt követően már hegyvidéki rét és cserjék, végül mohák, zuzmók és sziklahavasok övezete fejlődött ki.

A trópusi területeken a Kilimanjaro-hegy magasság szerinti növényzeti övezetei alkotják a legjobban bemutatható magashegységi övezetességet. 1000 méterig akáciákkal és termőföldekkel tarkított szavanna régió helyezkedik el, 1000 és 1800 méter között kávéültetvények fő területe fejlődött ki. A ködös páraerdők 1800-3100 méter között húzódnak, majd ez a növényzet fokozatosan átmegy fává növvő cserjék szintjébe, a borókaerdők horizontjába. Ez felett pedig a párnanövényeket, hangfűves hegyi rétet alkotó erikafélék jelennek meg és lesznek dominánsak egészen 3900 méterig. Így a trópusi erdőhatár a Kilimanjaro hegyén 3100/3500 méter között alakult ki, de jelentős különbség alakult ki a hegy északi és déli részén. A hangafűves régiót az egynyári perjével kevert hegyi gyopáros régió követi egészen 4500/4600 méterig. Ezt követik a sziklás havasok és korábban itt helyezkedett el a legjelentősebb kiterjedésű trópusi jéggel borított terület.

A felső erdőhatár is átalakult napjainkra és ennek nyomán az egész erdőövezet kiterjed a magashegységben, a rendkívül fajgazdag, jelentős számú jégkori hidegkedvelő fajokkal kevert hegyi rétek, hegyi tundra területek rovására. Így az arcto – alpin elemekkel (kötörőfüvek - *Saxifraga*, hegyi habszegfűk - *Silene*, nyúlfark füvek - *Sesleria*) kevert mormotás hegyi rétek – tundra területek végveszélybe kerültek a mérsékelt övezetben, valójában a szemünk láttára fognak eltűnni. A hegyvidéki paleohidrológiai régióban a legjelentősebb objektumok a jégkori gleccserek nyomása, majd jégkort követő olvadás nyomán kialakult édesvízi kártavak (tengerszem tavak). Az Alpok, a Kárpátok, a

Pireneusok, az Andok, a Sziklás-hegység területén, legújabbán pedig a tibeti kártavak paleohidrológiai elemzései nyomán sikerült modellezni az elmúlt 10-15 ezer év változásait a magashegységi régióban és ennek nyomán még jobban láthatóvá vált, hogy mennyire sérülékeny és gyorsan átalakuló régiót alkot ez a magashegységhez köthető terület.

A magashegységi paleohidrológiai régió kifejlődését alapvetően befolyásolja, hogy észak-déli, vagy nyugat-keleti irányú orientációjúak a hegyláncok, mivel a nyugat-kelet irányú hegyláncoknak igen jelentős éghajlat elválasztó szerepük van és volt a negyedidőszaki, az elmúlt 2,5-3,0 millió évben lejátszódott intenzív kiemelkedésük során. Ezen hegyláncok paleohidrológiai értelmezésénél kiemelkedő tény, hogy a magashegységi, 1500 méter feletti szintet a geológiai emelkedés miatt a negyedidőszak során érték el. Ezek a változások felerősítették a globális éghajlati változások hatását és szélsőségek kialakulásához vezettek. A Kászi-hegységben a Himalája déli előterében 13 000 mm csapadék hull évente, a Himalájától északra a közép-ázsiai területeken kevesebb, mint 500 mm csapadék mennyiség jellemző. Az együttesen több mint 2 millió km² kiterjedésű himalájai magashegységi régió és a Tibeti-plató kialakulása alapvető éghajlati változásokat okozott globálisan is. A magashegységekben a kártavakon (tengerszemeken) túl a barlangokban felhalmozódott üledékek és cseppkövek elemzései emelkednek ki paleohidrológiai vizsgálati szempontból és ez a változásokra érzékeny zóna várhatóan a globális felmelegedés hatására a XXI. században teljes mértékben átalakul.

Ellenőrző kérdések:

4.1. Milyen paleohidrológiai régiókat különítünk el Földünkön?

4.2. Mi a sarkvidéki (glaciális) paleohidrológiai régió elkülönítésének alapja?

4.3. Hogyan változott a sarkvidéki (glaciális) paleohidrológiai régió kiterjedése a negyedidőszaki éghajlati változások során?

- 4.3. Nevezze meg a periglaciális paleohidrológiai régió elkülönítésének alapismérveit.
- 4.4. Hogyan változott a periglaciális paleohidrológiai régió kiterjedése a negyedidőszaki éghajlati változások során?
- 4.5. Mi a boreális paleohidrológiai régió elkülönítésének alapja?
- 4.6. Hogyan változott a boreális paleohidrológiai régió a negyedidőszaki éghajlati változások során?
- 4.7. Mi az óceáni paleohidrológiai régió elkülönítésének alapja?
- 4.8. Melyek a nedves kontinentális paleohidrológiai régió elkülönítésének alapjai?
- 4.9. Melyek a száraz kontinentális paleohidrológiai régió elkülönítésének alapjai?
- 4.10. Melyek a szélsőségesen száraz kontinentális paleohidrológiai régió elkülönítésének alapjai?
- 4.11. Melyek a mediterrán paleohidrológiai régió elkülönítésének alapjai?
- 4.12. Melyek a szélsőségesen száraz kontinentális paleohidrológiai régió elkülönítésének alapjai?
- 4.13. Melyek a mérsékeltövi monszun paleohidrológiai régió elkülönítésének alapjai?
- 4.14. Melyek a trópusi sivatag paleohidrológiai régió elkülönítésének alapjai?
- 4.15. Hogyan változott az elmúlt 10 ezer év során a Szahara paleohidrológiai helyzete és kiterjedése?
- 4.16. Melyek a szavanna paleohidrológiai régió elkülönítésének alapjai?
- 4.16. Hogyan változott az elmúlt 10 ezer év során a szavanna paleohidrológiai régió helyzete és kiterjedése?
- 4.17. Melyek az egyenlítői paleohidrológiai régió elkülönítésének alapjai?
- 4.18. Hogyan változott a negyedidőszak (Quarter) során az egyenlítői paleohidrológiai régió helyzete és kiterjedése?
- 4.17. Melyek a trópusi monszun paleohidrológiai régió elkülönítésének alapjai?

4.18. Hogyan változott a negyedidőszak (Quarter) során a trópusi monszun paleohidrológiai régió helyzete és kiterjedése?

4.19. Melyek a hegyvidéki paleohidrológiai régió ismérvei?

4.20. Hogyan változik a hegyvidéki paleohidrológiai régió napjainkban?

II. Fejezet

4. Paleohidrológiai vizsgálati módszerek

4.1. A lelőhelyek kiválasztása

A vizsgálati módszerek felhasználását és értékelését alapvetően befolyásolja, hogy milyen paleohidrológiai lelőhelyen végezzük kutatásainkat. A megfelelő paleohidrológiai lelőhelyeket egyaránt meg kell találni és térben körülhatárolni. A kutatás és a lelőhely kiválasztása során történeti térképeket, mai űrfelvételeket, légi fotókat, a különböző méretarányú mai térképeket egyaránt használni kell, valamint ezeknek a felhasználásával szisztematikus terepbejárást kell végezni.

A paleohidrológiai lelőhelyek behatárolás mellett ugyanezeket a térbeli azonosításra szolgáló képi anyagokat használhatjuk fel a vizsgált terület exogén geológiai (geomorfológiai) jellegzetességeinek feltárása és bemutatása, valamint a geológiai képződmények térbeli kiterjedésének lehatárolása során is. A lelőhelyek szelekciós mechanizmusa, térképi, légi és űrfelvételek nélkül a paleohidrológiai rekonstrukciók nehezen megvalósíthatóak és az összehasonlítási alapjuk nem rajzolható meg.

4.2. Paleohidrológiai célú távérzékelés

Az első légi fotókat 1858-ban *Felix Tournachon* készítette Párizs felett. Paleohidrológiai célból a XIX. század végén és a XX. század kezdetén készítettek fotókat személyzet nélküli ballonokról tengerparti árapály síkságokról (wetland területekről), folyók ártereiről, lápokról az angol hadsereg tisztjei (*Charles Close* hadnagy és *Sharpe* hadnagy). Ugyancsak kiemelkedő jelentőségű volt az 1930-as évek végén megindított légi fotózás az ausztrál Eyre-tóról, amely nyomán a tó változásai rekonstruálhatóak voltak. Hasonló feldolgozás készült az Egyesült Államokban (Michigan állam) a St. Mary folyóról és árteréről, a Nagy-tavakról.

A régészeti célú légi fényképezéssel párhuzamosan a XIX. század végén, a XX. század kezdetén alakult ki a geológiai és az exogén geológiai (geomorfológiai), közte paleohidrológiai célú légi fotózás is, a különböző geológiai, geomorfológiai

térbeli alakzatok légi felderítése és a légi fotók ilyen irányú értelmezése. Természetesen a légi fényképezés a XX. század során jelentős technikai és értelmezési fejlődésen ment keresztül, elsősorban a katonai célú légi fényképezés hatására, így napjainkban világszerte több millió különböző céllal készített, de paleohidrológiai szempontból jól használható légi fotóval rendelkezünk.

A légi fotózásnak, benne a paleohidrológiai célból készült fotózásnak két típusa alakult ki, a ferdeszögű és a merőleges. Ferdeszögű felvételeken az egykori árterek, elhagyott és feltöltődött folyómedrek, tavak árnyékjelenségként jelennek meg. Ugyancsak kirajzolódhatnak ezek a paleohidrológiai rendszerek az eltérő magasságú növényzet vagy a fennmaradt, bár feltöltődött mélyedésben, üledékgyűjtőben összegyűlő víz következtében, ezért rendkívül fontos ennél a légi fényképezési típusnál is a fényképezési évszak és napszak megválasztása. A ferdeszögben készített térhatású felvételek könnyebben értelmezhetők, de nehezebb térképpé alakítani azokat. A merőleges légi fényképfelvételek alapján térképszerű képeket kapunk a paleohidrológiai objektumokról, ezekből jó minőségű térképek készíthetők. A légi fotónak, drónfelvételeknek igen jelentős előnye, hogy kiváló térképként használható, olyan térképként, amelyen nincs összevonás, jelkulcsok és minden olyan tereppont megtalálható rajta, amelyek a lelőhelyek és a terep megismeréséhez szükségesek.

Légi fényképeket készíthetünk amatőr gépekkel, mérőkamerás gépekkel, újabban pedig a számítógépes feldolgozást meggyorsító digitális fényképezőgéppel és drónnal is. A légi fényképek mérettartománya a repülési magasságtól és a fényképezőgép, pontosabban a lencse gyújtótávolságától függ. Érdeemes a lelőhelyeket különböző méretarányú légi fényképeken keresztül megvizsgálni, mert így a lelőhelyek szűkebb és tágabb környezete is vizsgálhatóvá válik. A fekete-fehér képek mellett egyre jelentősebb számban készülnek színes és infravörös légi felvételek is. Ez utóbbiak különösen akkor fontosak, ha sztereopárt alkotnak, mert így a tükrös vagy a pásztázó sztereoszkópban három dimenzióban láthatók a különböző tereptárgyak, geomorfológiai, geológiai, vegetációs és így a

paleohidrológiai jelenségek is. A gyengébb felbontású infravörös felvételek alapján a frissen szántott föld színének változása, a talajnedvesség egyenetlen eloszlása eltemetett tavak, mocsarak szárazabb időszakban, szárazabb területeken jól megrajzolhatók. Ugyanakkor a digitális légi fényképek, valamint űrfelvételek olyan új megközelítésre adtak lehetőséget, amely a későbbiekben tárgyalt paleohidrológiai célokhoz is kiválóan felhasználható Földrajzi Információs Rendszer kidolgozásához vezetett.

A paleohidrológiai célú távérzékelés (légi fényképezés, űrfelvétel) azon alapul, hogy a paleohidrológiai rendszerek bizonyos nyomokat hagytak a környezetben. A jelek nagysága, intenzitása az egykori hidrológiai rendszerek környezeti tényezőin, a jelek kialakulását követő beágyazódási helyzeten, a paleohidrológiai rendszer fejlettségén (kifejlődésén, érettségén), valamint az eltelt időn múlik. A paleohidrológiai célú távérzékelés során nemcsak a paleohidrológiai lelőhelyre, lelőhelyekre vonatkozó információkat kapunk, hanem olyan adatoknak az együttesét, amelyben az egykori morfológia, a tágabb környezet, sőt az egyes kultúrák, társadalmak és a paleohidrológiai rendszer viszonyát is feltárhatjuk. A terepen végzett különböző geológiai, hidrogeológiai, paleohidrológiai, botanikai, talajtani vizsgálatok, térképezések eredményeit és a távérzékelés során megrajzolt, a társadalom által hátrahagyott nyomokat a lelőhelyek szűkebb és tágabb környezetében is összekapcsolhatjuk, viszonyukat tisztázhatjuk. Így a távérzékelés és a távérzékelés kiértékelése a környezetrégészeti, a paleohidrológiai kutatás egyik legfontosabb eszköze, egyúttal a komplex paleohidrológiai elemzés alapja is.

Természetesen a légi fényképek és a most tárgyalásra kerülő űrfelvételek, számítógépes feldolgozások, technikai megoldások nem pótolhatják a megfelelően képzett szakembereket, a kreatív gondolkodású embereket, akik képesek a képeken látható növényzeti és talajnyomokból, geomorfológiai egységekből, a különböző időben készített felvételekből a paleohidrológiai változások tendenciáira következtetni, a paleohidrológiai rendszerek fejlődésére következtetéseket levonni.

Ugyanakkor a nagy felbontású légi felvételek alapján kiváló, leőhely specifikus térképek készíthetők, amelyek elérhetik akár a deciméteres pontosságot is.

A légi fotózás mellett kiemelkedő jelentőségű az oldalpásztaó légi radar (SLAR), amely azon alapul, hogy a repülőgépről kibocsátott elektromágneses impulzusok visszaverődését radarkép formájában rögzítik. Ezzel a módszerrel áthatolhatunk a sűrű felhőzeten, az erdővel fedett területeken is, ezért nem véletlen, hogy az esőerdővel borított területeken (Amazónia, Orinoco völgye, Kongó vidéke, Közép-Amerika) hasznosítják elsősorban. Különösen jól hasznosítható paleohidrologiai céllal a légi radar, ha azokat az infravörös felvételekkel kombinálva használjuk fel. Magyarországon napjainkban a Balaton, a folyóvölgyek és a folyókhoz kapcsolódó allúviumokról készíttek hasonló felvételeket paleohidrologiai célokból – külön kiemelhető a Szegedi Tudományegyetem Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszéken kialakított űrfelvétel és légifelvétel elemzési rendszere. Ez utóbbit a Tisza és mellékfolyóinak árvízvédelmére és paleohidrologiai rendszerének feltérképezésére is felhasználták.



92. ábra Az ecsegfalvi Kiri-tó lefűzödött morotva tavi rendszere, a partján különböző meglepedett kultúrák, közte az első délkelet-európai produktív termelő gazdasággal rendelkező Körös kultúra leőhelyével (Forrás: saját ábra)

Az MTA Régészeti Intézete és a Cardiffi Egyetem együttműködésében, *Alasdair Whittle* walesi kutató professzor és *Zalai-Gaál István* vezetésével környezettörténeti munka kezdődött el 1998-ban, a Körösök és a Berettyó partján található kora-neolitik Körös kultúra lelőhelyein. Az őskörnyezeti és a régészeti lelőhelyek kiválasztása során e tankönyv szerzője is több lelőhely együttes légi fényképeken nyugvó előzetes paleohidrológiai elemzését és szelekcióját végezte el.



93. ábra Furugy település határában a jégkori felszínen elhelyezkedő övzátónysorozat peremén megtelepedő Körös-kultúra és a Körös folyó holocén árterének kifejlődése (Forrás: saját ábra)

A paleohidrológiai kiválasztás során a furugyi és az ecsefalvi Körös lelőhelyekre került kijelölésre a régészeti ásatás és a környezettörténeti kutatás előkészítése (92.

és 93. ábra). Mindkét területen kimutatható volt a mélyebb helyzetű holocén allúvium az aktív medrekkel és a pleisztocén maradványfelszínek az egykoron aktív, de a Körös-kultúra megtelepedésének idején már inaktív morotvatóvá, másodlagos áradmányvíz elvezető csatornává vált medrekkel (92. ábra).

Bár mindkét paleohidrológiai lelőhelyen jelentős kiterjedésű, a Körös kultúrához sorolható régészeti lelőhelyet valószínűsített az előkészítő terepmunka és a légi fotók értékelése, mégis az öskörnyezeti lelőhelyek hidrogeológiai-paleohidrológiai adottságai alapján az ecsegfalvi lelőhelyet javasoltuk környezettörténeti és paleohidrológiai feltárássra. Ennek oka az volt, hogy az egykori, infúziós lösszel borított folyóhátakon található Körös lelőhelyek közvetlen közelében található paleohidrológiai rendszereket, az üledékgyűjtő medencéket, az inaktív morotvatavakat a XIX századi folyószabályozást követően csatornázták. Míg az ecsegfalvi, rendkívül széles egykori folyómedret csak a szélén érintette a csatornaépítés, addig a furugyi medret a centrumában kotorták ki (93. ábra). Így a furugyi meder paleohidrológiai vizsgálatra alkalmatlanná vált, a két lelőhely közül ezért a Berettyó (eredeti nevén Túr) mentén található morotvató került feltárássra.

A Körös régészeti lelőhely melletti, feltöltődött morotvatóból kiemelt zavartalan fúrásszelvényen *Katherine Jane Willis*, az oxfordi egyetem palinológus professzor asszonya, a Körös kultúra gazdálkodási hátterét is feltáró, kiváló paleobotanikai elemzéseket végezhetett el, bizonyítva ezzel a környezettörténeti-paleohidrológiai, régészeti geológiai előkészítő munka eredményességét és értelmét. A szegedi egyetem geológusai pedig átfogó paleohidrológiai elemzést végeztek ezzel párhuzamosan a területen. Hasonló átfogó paleohidrológiai elemzésekre került sor például a Balatonnál, a Kis-Balatonnál, a Sárréten, a Duna és a Tisza-völgyében több lelőhelyen, a magyarországi, erdélyi, felvidéki lápoknál. Összesen 87 lelőhelyen mutatható fel részünkről paleohidrológiai vizsgálat és ezek többségénél az egykori paleohidrológiai helyzet és állapot, valamint fejlődéstörténetének leírása is megtörtént.

A nagy magasságból, műholdakról, űrsiklókról készített nagy léptékű felvételeket már kezdetektől fogva jól felhasználták a paleohidrológiai munkák, elsősorban az exogén geológiai-geomorfológiai vizsgálatok során, bár a paleohidrológiai szakemberek, épp az óriási léptéke miatt kevésbé hasznosították ezeket a távérzékelési eredményeket. A műholdak rögzítik a Föld felszínéről a fény és infravörös sugárzás intenzitását, majd ezeket elektronikus úton képpé alakítják. Különösen az éles kontrasztú, hamis színezetű LANDSAT felvételek hasznosíthatóak, de kiváló eredményeket mutathatók fel a LANDSAT tematikus térképező (TM) rendszer vagy a francia SPOT műhold rendszer nagy felbontású felvételeinek elemzésével is. Sivatagi terepen, homokkal borított felszíneken az üledékkel fedett terepjelenségek észlelésére kifejlesztett űrradar (SIR) használják fel. Az űrradar felvételeken folyómedreket, tavakat azonosítottak a Szahara egyiptomi szakaszán, és más, ma már sivatagos területeken. Az űrfelvételek és a légi fotók, a terepbejárások, terepi mérések nyomán a paleohidrológiai lelőhelyek és környezetük kapcsolatának igen fontos vonásait lehet feltárni. Erre mutatunk be a későbbiekben példákat.

4.3. Földrajzi Informatikai Rendszer (FIR-GIS) felhasználása paleohidrológiai célokra

A térinformatikai rendszert az 1970-es évek számítógépes tervező és térképszerkesztő programokból fejlesztették ki. Ezek a kezdeti programok alkalmasak voltak adatbázisokban tárolni a lelőhelyek eloszlását, és ezekből az adatokból térképet szerkeszteni, de a valódi térinformatikai rendszerek új információk felismerésének a lehetőségét is magukban hordozzák. Ilyen például a napjainkban lefolyó tiszai árvizek víztömege és az egykori, folyószabályozás előtti árterek kiterjedése alapján készített árvízborítási rekonstrukciók elkészítése, az őstörténeti lelőhelyek megtelepedési magassági pontjaival történő összevetése, az árvizek és a megtelepedés kapcsolatának feltárása.

A térinformatikai térképek óriási mennyiségű környezetre, közte hidrológiai és paleohidrológiai környezetre vonatkozó adatot tartalmaznak, amelyeket részekre

bontva, egyetlen változót tartalmazó térképrétegekre bontva tárolunk. Egy térképrétegen belül az adatokat ma már egymásnak megfeleltethető vektorként, azaz pontként, vonalként, valamint raszterként, vagyis négyzethálóként vagy sokszöggként tároljuk. Minden adat, amely térszerűen elhelyezhető, integrálható a térinformatikai rendszerben. Például egy talajtípusokat rögzítő raszterréteg olyan négyzethálóból áll, amelynek valamennyi cellájában azon a ponton jellemző talaj adatait tárolják. Hasonló megközelítéssel tárolhatjuk, mutathatjuk be a paleohidrológiai vizsgálatok során az egykori vegetáció, a talajtani viszonyok, a paleomorfológiai viszonyok rekonstrukcióját is.

Ez a rendszer kiválóan alkalmas műhold felvételek, légi fényképek, távérzékelési adatok, öskörnyezeti, környezettörténeti vizsgálati eredményeinek a megjelenítéséhez. A paleohidrológiai célú térinformatikánál kiemelkedő jelentőségű, hogy a műholdas kézi globális helymeghatározó berendezéssel (GPS) rögzített tereppontok, fúrásponatok újra azonosíthatóak és így térképi feldolgozására is kiválóan alkalmasak. A GPS adatok ennek nyomán az új területek feltárásánál jól felhasználható megközelítést alkotnak vagy a régen feltárt területek reambulálásánál a térképi azonosításnál igen jelentős segítséget nyújthatnak.

Mivel a Földrajzi Informatikai Rendszerről több egyetemi jegyzet és tankönyv is megjelent, sőt a Szegedi Tudományegyetem földrajz/geográfus képzésében az egyik szakirány a geoinformatika oktatásán alapul, és munkánk során elsősorban a FIR-t paleohidrológiai modellek kidolgozásánál hasznosítottuk, ezért a Földrajzi Információs Rendszerrel e tankönyvben részletesebben nem foglalkozunk.

4.4. A paleohidrológiai lelőhelyek terepi térképezése, geofizikai módszerek

A paleohidrológiai lelőhelyeket felépítő anyagok, üledékkel feltöltődött – kitöltött üledékgyűjtő medencék a környezetükhöz képest eltérő fizikai paraméterekkel rendelkeznek, így fizikai jellemzőik alapján geofizikai vizsgálatok során feltárás (geológiai szelvények, fúrások) nélkül is kimutathatóak és feltérképezhetőek.

A gravitációs mérések azon alapulnak, hogy a különböző felépítésű anyagok eltérő gravitációs erővel vonzzák egymást. A paleohidrológiai objektumoknál,

mindenekelőtt a homogén tőzeggel borított lápoknál a felszín alatti anyagi összetétel egyenetlenségei, sűrűség változásai a gravitációs térben változásokat hoznak létre, amelyek egyszerű elveken alapuló érzékeny műszerrel, a graviméterrel mérhetők. A vizsgálat kivitelezése úgy történik, hogy a paleohidrologiai vizsgálatra kiválasztott területen pontos geodéziai munkával hálózati mérőpontokat hoznak létre, ahol graviméterrel méréseket végeznek és a mérések eredményeit, a gravitációs különbségeket sűrűség eloszlási térképen jelenítik meg és ennek nyomán találhatjuk meg az eltérést okozó paleohidrologiai rendszereket, vagy a paleohidrologiai rendszerben kifejlődött rétegeket, üledékes testeket. Az eredményeket hengeres zárt fúrófejjel történt fúrásokkal

A paleohidrologiai rendszerekben, a tavi üledékek, lápok, folyóvízi és glaciális üledékek paleomágneses vizsgálata során bizonyították, hogy a Föld mágneses mezejének deklinációja, inklinációja és intenzitása is megváltozott az idők folyamán. Az egyes feltöltődött tavak, lápok szelvényén kialakított lokális deklinációs és inklinációs alapgörbékét összehasonlítva egy egysége mágneses alapgörbét, vagy sikerült kialakítani. Ezek közül legismertebbek a holocén mestergörbék, amelyek a Föld hat területén (Észak-Amerika, Nyugat-Európa, Közel-Kelet, Kelet-Európa, Ausztrália és Távol-Kelet) állnak a rendelkezésünkre. Nem minden üledéktípus alkalmas azonban paleomágneses vizsgálatra. Elsősorban a homogén, egynemű szemcseösszetétellel és szervesanyag-, valamint vastartalommal rendelkező üledékrétegeket lehet összehasonlítani ezzel a vizsgálattal. Nagyobb időléptékű, de paleohidrologiai vizsgálatok szempontjából is kiemelkedő jelentőségű paleomágneses vizsgálatokat végez *Lantos Miklós*, a Magyar Állami Földtani Intézet (ma: Magyar Bányászati és Földtani Szakszolgálat) munkatársa az alföldi negyedidőszaki üledékgyűjtő medencék rétegtani viszonyait feltáró fúrásokon.

A mágneses vizsgálatok mellett ismeretesek nagyfrekvenciás elektromágneses kutatások is. Egy radar adóantennája által kibocsátott nagyfrekvenciás elektromágneses hullámok nagy távolságra, a levegőben a fény sebességével

terjednek és különböző tárgyokról visszaverődve vevőantennával felfoghatók. A régészeti geológiai kutatások hasznosított technikát, a földradart, újabban felhasználják paleohidrológiai vizsgálatokra is, például emberi hatásra kiszáradt, vagy gyorsan feltöltődött tavak, lápok medreinek vizsgálatához. Ugyanis ezzel a technikával élve a föld rétegeinek határáról visszaverődött különböző időben, különböző amplitúdóval érkező nagyfrekvenciás elektromágneses hullámok nyomán rekonstruálhatjuk a felszín közelében található üledékes rétegek függőleges metszetét. A földradarral végzett vizsgálatoknál az antennákat a föld felszínén helyezik el. A mérési pontok a gyors mérés következtében néhány centiméterre helyezkednek el egymástól. Minden mérési ponton több száz, vagy ezer mérés történik különböző időpontokban és a felszíni mérési pontok eredményeinek összességéből nyerjük a földradar szelvényt. Földradarral hazánkban az ELTE Geofizikai Tanszék munkatársai mutattak ki eltemetett folyómedreket a Tisza-völgyében paleohidrológiai kutatásaik során, illetve erdélyi, partiumi feltöltődött tavak és lápok vizsgálatánál használták fel ezt a technikát.

4.5. Exogén geológiai vizsgálatok a paleohidrológiai rendszereken

Valamennyi paleohidrológiai lelőhelyet (jégtakarók, gleccserek, barlangok, tavak, folyómedrek, alluviális síkságok, delták, lagúnák, tengerek) bizonyos morfológiai környezet vesz körül, valamilyen felszíni formához köthető a kialakulásuk. A Föld felszínformáival, ezek fejlődésével és az azokat alakító folyamatokkal a földtudományok egyik legfontosabb szakterülete, az exogén geológia (felszínalaktan) foglalkozik. Földünk felszíne a külső és belső erők következtében folyamatosan változik, így a mai helyzet csak kiindulási pontja lehet a múltban élt emberi közösségek egykori morfológiai viszonyait feltáró paleomorfológiai-paleohidrológiai rekonstrukciónak. Ahogy már feljebb bemutattuk, a morfológiai viszonyok erőteljesen befolyásolták és befolyásolják az egykori környezet mezo-, és mikroklimatikus adottságait, a hidrogeológiai, vegetációs és talajtani viszonyait, az ember által hasznosított környezet elemeit. Így a geomorfológiai, pontosabban paleomorfológiai és paleohidrológiai

vizsgálatok kiemelkedő jelentőségűek. Hogy milyen jelentős szerepet játszanak az exogén geológiai vizsgálatok a paleohidrológiai elemzésekben, az bizonyítja legjobban, hogy a paleohidrológiai elemzéseket a geomorfológiai vizsgálatokkal kezdjük el. A paleohidrológiai célú geomorfológiai vizsgálatoknál valamennyi eddig felsorolt távérzékelésen nyugvó módszert és a történelmi térképek elemzését is felhasználjuk.

Földünk környezeti elemeit, azok változásait, köztük az egykori és mai felszíni formáit térbeli kiterjedésük és időben zajló változások alapján kategorizálhatjuk. A felszíni formákat is csoportosíthatjuk, elsősorban méretbeli kiterjedésük alapján. A legjelentősebb mérettartományba hegységrendszerek, dombvidékek, fennsíkok, síkságok tartoznak, vagyis a felszín nagyszerkezeti egységei. Ebben a mérettartományban az egykori paleohidrológiai rendszereknek a kiterjedését befolyásoló morfológiai tényezőket vizsgálhatjuk. A nagyszerkezeti egységek átalakulásának ideje geológiai léptékű, több százezer, millió évet fog át, így a mai nagyszerkezeti helyzet jól felhasználható paleohidrológiai rekonstrukcióra, de ennek a paleohidrológiai kurzusnak nem célja a nagyszerkezeti egységek idővetületének és léptékének elemzése (az a Föld és élet kurzus keretében történik). A nagyszerkezeti egységeknél a kisebb domborzati formákat is méretük alapján osztályozzuk. Az exogén geológiai vizsgálatok során a makroléptékű exogén geológiai formákat mintegy 1000 méteres magasságból, a mezoformákat 100 méteres magasságból, a mikroformákat mintegy 100 cm-ről ismerhetjük fel. Ezeknek az exogén geológiai formáknak a kialakulását olyan erőteljesen befolyásolják az éghajlati tényezők, hogy osztályozásuk és genetikai vizsgálatuk során tisztázni kell, hogy Földünk melyik éghajlati területén képződnek, ahogy azt már fentebb bemutattuk. Földünk felszínén ezért globális léptékben egymástól jól megkülönböztethető, exogén geológiai régiókat különítünk el, amelyekben belül közös éghajlati hatásra visszavezethető morfológiai folyamatok alakulnak ki. Így a morfológiai formák, a geomorfológiai vizsgálatok és ezekkel párhuzamosan elvégzett paleohidrológiai elemzések fontos bizonyítékokat

szolgáltatnak elsősorban az egykori éghajlat, valamint környezet többi faktorának a változásairól és állapotáról.

Klimatikusan legérzékenyebb geomorfológiai alakzatok a tavak, a lápok, a mocsarak, a homokdűnék, a tengerparti területek, a gleccserek. Az eolikus (szél által irányított) folyamatok és az éghajlat szárazsága, a talajvíz magassága közötti szoros összefüggés nyomán a fosszilis homokdűnék elterjedése alapján rekonstruálni tudjuk Földünk száraz, sivatagi és félsivatagi zónáinak kiterjedését. Jégkori, utolsó interglaciális korú fosszilis homokdűnéket tártak fel a Niger folyó torkolatvidékénél a trópusi esőerdőkben, bizonyítva ezzel a trópusi sivatagi zóna erőteljes kiterjedését és azt is, hogy Földünk felszínén, geológiai léptékben mérve, milyen gyors éghajlati változások történtek az utolsó 2-3 millió év, a negyedidőszak során. Ugyanakkor ezek az exogén eolikus geológiai formák nemcsak az éghajlat aridabb szakaszait jelzik, hanem alkalmasak a korábbi szélirányok és ezek szélerősségének megállapítására is, mert a dűnék elrendeződése ezen alapul. Ugyancsak fontos éghajlati jelzőértékű a gleccserek mozgása is. A jégárak képződésének, kiterjedésének és visszahúzódásának folyamata többek között felismerhetővé teszi az elmúlt néhány ezer, vagy néhány száz év éghajlati változásainak menetét, az alapján, hogy a gleccserek nyomán képződött morénákat geomorfológiai, éghajlattörténeti szempontból vizsgáljuk. A tavak magas vízszintje, kiterjedése a nedvesebb éghajlati periódusok kialakulásával mutat összefüggést. A hidrológiailag-paleohidrológiailag zárt, lefolyástalan tavak kiterjedésének és vízmélységének változásait szinte úgy használhatjuk, mint egy múltbeli csapadékmérő rendszert. A tavak egykori magas vízszintjének közvetlen geomorfológiai bizonyítéka az állóvizek mai vízszintje feletti szárazzá vált hullámverési öv, a magas és száraz part menti terasz. A felszínformák nem alkalmazkodnak egyértelműen az uralkodó éghajlathoz, éghajlati övekhez, mivel jelentős részük a földtörténeti múltban, a maitól lényegesen eltérő éghajlati tényezők során képződött (pl. harmadidőszaki reliktum-felszínek) és változásaikhoz több ezer vagy több százezer év szükséges.

Ezeket a reliktum jellegű felszíni formákat használhatjuk fel az egykori éghajlati tényezők megállapítására.

A paleohidrológiai szempontú paleomorfológiai osztályozás a méreteken nyugvó osztályozási módtól eltér, illetve elsősorban a mezoformák és mikroformák szintjén mozogva más szempontok szerint végzi a klasszifikációt. Ezen osztályozás szerint az akkumulációs felszíneken kis kiterjedésű (pontszerű), lineáris és areális üledék-felhalmozódási mikrokörnyezeteket (paleohidrológiai fácieseket) különítették el.

A pontszerű felhalmozódási környezetbe tartoznak a források medencéi, kifolyói, a karszterületek mélyedései (hasadékok, töbrök, uvalák, poljék, eltömődött víznyelők, barlangok és kőfülkék). Ezeken a területeken a meszes bekérgezések, a speciális mállással képződött talajok lerakódása, az időszakos vízhozam növekedése következtében kialakult üledékkimosódás, és ezek hatására kifejlődött üledékhiányos rétegsorok, jelentős mennyiségű hullott kötőrmelék felhalmozódása a jellemző.

A kőfülkék kivételével az őskörnyezeti információk származási helye és a felhalmozódási körzetek kiterjedése, az üledék származási helye, a felhalmozódásnak pontos mechanizmusa jelenleg még feltáratlan kérdéskör, ennek a paleohidrológiai mikrokörnyezetnek hiányzik az aktuálgeológiai modellezése, ezért paleohidrológiai szempontból az adatok értékelése problematikus. Ennek ellenére jelentős paleohidrológiai tanulmányok készültek ezeknek a környezeteknek a vizsgálatából. Ennek oka az, hogy a barlangi üledékes rétegsorok, édesvízi források tevékenysége nyomán keletkezett tetarata medencék alapvető paleohidrológiai információkat hordoznak.

A barlangok és kőfülkék speciális üledékcsapdaként foghatók fel, amelyekben a helyben keletkezett (autochton) üledékek és a bemosott, szél által beszállított vagy barlanglakó élőlények által behordott (allochton) anyagok halmozódtak fel. A kőfülke tulajdonképpen egy egyszerű sziklaüreg, amely felett egy kiugró sziklaperem fejlődött ki, míg a barlang a bejáratától kezdve mélyen benyúlhat,

bonyolult rendszert alkothat az alapkőzetben. Az üledékben felhalmozódott információkat igen gyakran baglyok, rágcsálók, emberi közösségek hordták be a kőfülkébe, barlangba. Így ezeknek az élőlényeknek a begyűjtési - mozgási területe határozta meg, hogy a behordódott üledékek, és a beágyazott ősmaradványok vonatkozásában mekkora behordási – származási területet és milyen egykori környezetből származó üledéket és ősmaradványokat képvisel egy-egy kőfulke, vagy barlang üledéksorozata.

Több típusát különítjük el genetikai szempontból: kőfulke, hévforrások útján kialakult fulke, hideg vizes karsztbarlang. A barlangi üledékképződésnek igen jelentős hátránya, hogy a barlangi üledékbefogás idejének kezdetét, a felnyílás idejét pontosan tisztázni kell. Igen problematikus, hogy az egyes csapadékosabb periódusokban jelentős mészmennyiség oldódhat fel a barlang falát alkotó karbonátos kőzetekből és csapódhat ki a barlangban felhalmozódott üledékes összlet felszínén. Ezek a szintek több esetben álfekűt alkotnak. Ugyancsak jelentős rétegtani és feltárási problémát okoznak a barlangok falából leváló kőzetek, amelyek helyenként takarószerű réteget képezhetnek, megnehezítve a barlangi üledékek feltárását. Amennyiben ezeknek a leváló kőzetdaraboknak a szélei lekerekítettek, akkor csapadékosabb, enyhébb klímán történt az üledék leválása az anyakőzetről. Ez különösen abban az esetben igaz, ha elszíneződött, barna színű, karbonátos kiválások cementálják ezeket a kőzetdarabokat. Egykori jelentős lehülésre következtethetünk, ha éles, sarkos leválású, ún. *“kriofrakcionált”* (fagyhatás következtében szétesett) kőzetdarabok halmozódnak fel a barlangokban vagy kőfülkékben. Mivel a barlangok nyílt rendszerek, igen sok esetben a rétegek kimosódása is megtörténhet a lerakódásokat követően. Ezeket a réteghiányokat a barlangban, kőfülkében kialakított szelvények üledékföldtani elemzése alapján feltárhatjuk. Viszont tudomásul kell vennünk, hogy így a paleohidrológiai rekonstrukciónál felhasználható szedimentológiai és paleobiológiai információk veszhetnek el. Jelentős előnye a barlangi és a kőfulke üledékgyűjtő medencékben

felhalmozódott üledékeknek, hogy a különböző éghajlati szakaszokban különböző színű rétegek alakulnak ki.

A barlangokból nyerhető paleohidrológiai információk közül kiemelkedik a leszivárgó vizek által létrehozott függő (*sztalagtit*), álló (*sztalagmit*) cseppkövek, illetve az édesvízi mészkőkiválások (*travertino*) éghajlattörténeti elemzése. Ezeket a finoman laminált, barlangi üledékgyűjtő rendszerekben található karbonát kiválásokat összefoglaló néven „*szpeleothémának*” nevezzük. Az izotópgeokémiai és geokémiai technika segítségével felhasználhatjuk az egykori éghajlati és paleohidrológiai változások pontos becslésére.

A szpeleothémák keresztmetszete az évgyűrűkhöz hasonló lemezeket (laminákat), koncentrikus gyűrűs szerkezetet mutat, minden finom lamináris gyűrű őrzi az egykor lecsorgó, majd kicsapódott, hidrokarbonátban dús vizek oxigénizotóp összetételét, ez pedig az egykori csapadékvíz összetételével mutat összefüggést. A gyűrűk és laminák kora radiokarbon elemzésekkel vagy uránium sorozattal meghatározható. Az eddigi adatok alapján minimum 0,5 °C fokos változások mutathatók ki ezzel az elemzési módszerrel. A szpeleothémák, akár lemezenkénti (!) izotópos vizsgálatának kiemelkedő kérdésköre, hogy egy szpeleothéma rendszer esetében csak rövidebb időszakok éghajlati változásai vizsgálhatók, viszont kisebb területen (egy vagy több barlangban) található több szpeleothéma sorozat éghajlattörténeti-paleohidrológiai elemzési adatai korrelatív összehasonlításával hosszabb időszak, több száz vagy több ezer év egykori éghajlatának változása is rekonstruálható. A szpeleothémák, akár egy-egy lemezenkénti geokémiai elemzésével pedig a paleohidrológiai környezet változásait rekonstruálhatjuk.

A barlangokban, kőfülkékben felhalmozódott üledékek esetében a klasszikus üledékföldtani vizsgálatokat mikromorfológiai elemzésekkel egészíthetjük ki. Ezekkel a laza üledék csiszolatos elemzésein alapuló módszerekkel jól elkülöníthetők az *in situ*, helyben lévő rétegek azoktól az üledékektől, amelyek áthalmozódtak és jól rekonstruálhatók a környezetváltozások, vagy a különböző élőlények által okozott mikroszkópos méretű fizikai, kémiai, biológiai változások.

A mikromorfológiai elemzéseket igen jól kiegészítik azok a geokémiai módszerek (fő- és nyomelemzések, röntgen termoanalitikai, infravörös eljárások), amelyek legfőképpen a talajtanban használatosak a különböző talajtípusok és talajszintek elválasztásánál.

A pontszerű paleohidrológiai üledékgyűjtő rendszerekben, a kőfülkékben, barlangi rendszerekben felhalmozódott rétegekben elsősorban a Mollusca héjak és gerinces csontmaradványok, növényi magvak, szenült fák és cserjék (anthrakológiai anyag) maradványai, pollen- és spóraszemcsék, növényi opalitok (fitolitok) alkotják elsősorban a paleohidrológiai-paleoklimatológiai vizsgálatokhoz felhasználható őslénytani anyagot. A sajnos sokszor réteghiányos barlangi anyagban igen jelentős szerepe van a malakofaunának, mert a Mollusca héjak megléte, állapota és az indikátor faunaelemek alapján igen fontos öskörnyezeti következtetéseket vonhatunk le. Elsődleges szerepe a helyben, a barlang közvetlen környezetében élő faunának van. A barlangok, mint természetes csapdák őrzik a környék malakológiai anyagát. Ezek közül autochton, helyi elemnek kell tekintenünk azokat a fajokat, amelyek kifejezetten barlangi életmódot folytatnak. De hasonlóan helyi elemnek tekinthető a rejtett életmódot folytató, barlangok bejárati részein is élő, de nem csak barlangban élő fajok. A gravitáció, csapadékvíz leöblítő hatására, vagy kisemlősök, rovarok, madarak zsákmányaként kerülnek oda más, a barlangok környékén lévő sziklák felszínén vagy azok repedéseibe meghúzódva, erdei vagy sztyeppei környezetben élő fajok. Ez mellett közvetlenül, illetve közvetve emberi hatásra is felhalmozódhattak csigahéjak kőfülkék, vagy barlangok rétegeiben. Ugyanis a barlangokban, kőfülkékben egyes emberi közösségek telepedhettek meg, s ott étkezést követően csiga- és kagylóhéjakat, mint étkezési hulladékot halmoztak fel, illetve az étkezési hulladékokra, emberi hatások nyomán felhalmozódott szerves anyagra jelentős számú csiga, közte a fosszilizálódó mészlemezzel rendelkező meztelencsigák húzódhattak be táplálkozni.

A Mollusca maradványok mellett igen jelentős a gerinces maradványok szerepe is a barlangi lelőhelyek öskörnyezeti értékelésében. Kiemelkedő jelentőségű a lokálisan

lerakódott, természetesen hatások nyomán felhalmozódott csontmaradványok értékelése paleohidrológiai-paleoklimatológiai szempontból. Ezek közül nemzetközi szinten is unikális *Kordos László* professzor által bevezetett denevér maradványok elemzése és értékelése. Kordos professzor recens összefoglaló anyaga szerint az egyes denevér taxonoknál megadható, hogy milyen áttelelési hőmérsékletre van szükségük a barlangokban, a téli időszakban és ennek hiányában nem telepednek meg a barlangokban. Így az egyes denevérfajok jelenléte vagy hiánya alapján rekonstruálhatjuk a barlangok téli hőmérsékletét, és ezt az adatot korrelatívan összehasonlíthatjuk a szpeleothémákból nyert oxigénizotópos adatokkal is. Az emberi megtelepedések szintjében, az ún. kultúrrétegben feltárt zsákmánycsontok vagy tenyésztett állatok gerinces faunisztikai vizsgálata is kiemelkedő jelentőségű ebből a szempontból, mivel csak bizonyos környezeti tényezőkön belül élhetnek ezek a taxonok. Ezekben a szintekben különösen jelentős az apró testméretű gerinces vagy Mollusca fajokból álló, közvetlen antropogén hatásoktól mentes fauna elemzése, mert a természetes környezeti tényezők kifejlődését rekonstruálhatjuk ezen faunák nyomán.

Lineáris üledékfelhalmozódási-paleohidrológiai környezethez tartoznak a tengerparti-tengeri, a tóparti-tavi, mocsári, ártéri és delta környezetek. Ezekben a területeken a viszonylag gyors és egyenletes üledékképződés jellemző, ezért igen jelentős mennyiségű és jó megtartású paleohidrológiai dokumentumok maradhettek fenn. A tengerparti területeken a paleohidrológiai rendszereket a világtengerek vízszint ingadozása, a part kifejlődése befolyásolja legerőteljesebben. Viszont a vízszintingadozásokra a szerkezeti, az izosztatikus mozgások, a világtengerek vízmennyisége gyakorol jelentős hatást. A lokális vagy regionális szerkezeti mozgások igen erőteljesek lehetnek, de nem egy időben hatnak és kiterjedésük egy-egy szerkezeti egység területére korlátozódik. Az elmúlt 2-3 millió évben, a Földközi-tenger mentén és a Kaliforniai területeken zajlott le jelentősebb, 100-200 méteres tektonikai okokra visszavezethető emelkedés. Az izosztatikus mozgások a pleisztocén során kialakult jégta-
karó

hatására kezdődtek el, mert a glaciálisok (világméretű lehűlések) során mintegy 50-60 millió négyzetkilométert borított szárazföldi jégtakaró, amely helyenként több kilométer vastagságú volt. Ez a hatalmas jégtömeg nyomást fejtett ki a földkéregre és izosztatikus süllyedést okozott. A jég elolvadása után, az elmúlt 10-12 ezer év során a kéreg folyamatos emelkedéssel visszanyerte eredeti helyzetét. Ennek nyomán a szárazföldi jégtakaróval fedett észak-atlanti partvidék folyamatosan emelkedik még napjainkban is, 33 évenként megközelítőleg 100 cm-t. Az emelkedés és a tengerparti területeken a hullámverés okozta erózió következtében 200-250 méteres magasságig tengerparti szinlők alakultak ki az izosztatikus emelkedő területeken.

A pleisztocén jégtakaró növekedése és visszahúzódása következtében az óceánok vízszintje is süllyedt, illetve emelkedett, mert a jégtakaróban, gleccserekben tárolt jég mennyisége növekedett vagy csökkent, így a szárazföldi jég és a világtengerek víztömege között dinamikus hidrológiai egyensúly fejlődött ki. Ezt glaciális *eusztatikus* ingadozásnak nevezzük. Ennek következtében a glaciálisok során a világtengerek szintje csökkent (*regresszió*), míg az interglaciálisok (felmelegedések) során megemelkedett (*transzgresszió*). A regresszió következtében a pleisztocén során a sekélyebb vízzel borított területek szárazföldrékké alakultak, így több területen a kontinensek, szigetek közötti földhidak alakultak ki. A tektonikai, izosztatikus és eusztatikus hatásra lezajló változások mellett a tengerparti területeken jelentős méretű üledék felhalmozódás, a hullámverés által okozott erózió, a tengerjárás okozta üledékmozgások mutathatók ki. Ezek a változások azt bizonyítják, hogy a tengerparti területek Földünk egyik leggyorsabban változó morfológiai egységét alkotják, ahol néhány emberi generáció alatt is jelentős morfológiai változások alakulhatnak ki és ezek a mozgások a tengerparti területeken megtelepedő közösséget folyamatos változásra kényszerítik. Az ókori görög és római tengerpart és így az ókori kikötők is mélyebb helyzetben voltak, mint napjainkban a Földközi tengeren. Ennek oka egyrészt az erdőirtásokat követő

gyors feltöltődés és feliszapolódás, de neotektonikus mozgások (tengerpart kiemelkedése) is szerepet játszottak ennek a helyzetnek a kialakulásában. Ez utóbbit már *Lyell* is felismerte és rámutatott a Földközi-tenger part zónájának dinamikus átalakulására 1830-ban ógörög romokon található tengeri fűrókagylók nyomai alapján. A geológiai léptékben gyorsan változó tengerpartokon ennek ellenére kialakultak olyan domborzati formák, amelyek a letelepedést, gyűjtögetést, halászatot vagy a termelő gazdálkodást alapvetően befolyásolják.

A kiemelt helyzetű hullámverte (*abrázios*) partfalak, a part előtti turzásokból (lidókból) és lagúnákból álló partok, a folyómedrek elöntésével kialakuló riapartok, a gleccservölgyek tengerelöntésével létrejövő fjordok eltérő paleohidrológiai típusokat alkotnak. Paleohidrológiai nézőpontból a turzásokból és lagúnákból álló lidópart jelenti az ideális terepet, mert ezeken a területeken jelentős mennyiségű üledék és üledékbe zárt ősmaradvány halmozódhat fel, elősegítve a paleohidrológiai vizsgálatokat.

A tengeri, óceáni medencékben felhalmozódott üledékek a globális méretű változásokról őriznek meg információkat, mert igen jelentős, több ezer négyzetkilométeres kiterjedésüknél és vízgyűjtő területüknél fogva több millió négyzetkilométernyi területre terjedhet ki a bennük felhalmozódó üledék származási területe. A tengeri és óceáni üledékképződés az egyes üledékformáknak képződési mélysége és kiterjedése igen erőteljesen megváltozott a földtörténeti múltban, és egészen elképesztő dinamikus fluktuációszerű változásokat rekonstruálhatunk a negyedidőszaki üledékképződés során, elsősorban a glaciálisok idején. Ennek oka az, hogy a világtengerek lehülése következtében a karbonát kompenzációs szint mélysége, az egyes, hőmérsékletfüggő üledékképződési folyamatok térbeli helyzete megváltozott. A jégtaaró kiterjedése a szárazföld alakjának megváltozása miatt a tengeri áramlások irányai és kifejlődései is módosultak. A felmelegedések során a tengerek karbonátban telítettebbek, a hidegebb periódusok (*glaciálisok*) folyamán viszont a tengeri üledékek

karbonáttartalma erőteljesen lecsökkent. Ezeket a periódikus változásokat a tengeri üledékeket harántoló fúrásokban jól nyomon lehet követni.

A glaciálisok (eljegesedések) során a melegebb tengerfelszínnek kisebb területeket foglaltak el, általában a mészkőképződés, de különösen a korallmész-képződés területe lecsökkent, a karbonátos selfek, karbonátos platformok kiterjedt területei szárazra kerültek. Több sziget a szárazfölddel összekapcsolódott. A delták (főként az Amazonas, Mississippi-Missouri, Nílus, Ganges, Jangce, Huang-Huo, Pó és Rhone folyók deltái) mélyebben benyúltak a tengerekbe, egyrészt a lecsökkent tengerszint, másrészt a szállított, jelentős mennyiségű, durvább szemcseösszetételű szárazföldi üledék mennyiségének növekedése miatt. Szárazföld volt a glaciálisok során az Északi-tenger, a La Manche csatorna, az Adriai-tenger, Fekete-tenger jelentős része, a Balti-tenger és Botteni-öböl, illetve időnként szárazföldi híd alakult ki Észak-Amerika és Eurázsia között a Behring-szorosban. Igen jelentős tengeri területeket borított jégtakaró (Antarktisz környéke, Jeges-tenger, Atlanti-óceán északi része) és a jégtakaróban jelentős mennyiségű moréna anyag szállítódott a nyílt tengerrészek felé. A felmelegedések során, így az elmúlt 10 ezer év folyamán is, a jégtakaró összehúzódott, delták területe lecsökkent és a tenger elöntötte a selfeket, a tengeri meszes üledékképződés kiterjedt.

Speciális paleohidrológiai környezetet alkotnak a korallzátonyokkal borított partok, szigetek, amelyeknek környezettörténeti szerepe különösen a süllyedő óceánfenéki rendszerekben jelentős. Ilyen területek alakultak ki a világtengerek süllyedő részein, például a Csendes-óceánon, ahol a korall-polipocskák által kiválasztott karbonát kiválás egyensúlyban volt a vulkáni kúpok süllyedésével. Ennek nyomán a vulkáni kúpot övező korallzátonyok jöttek létre, amelyek a vulkáni testek fokozatos süllyedése nyomán karbonátos gyűrűvé, egyre magasodó biogén karbonátos kéménnyé, ún. „*atollokká*”, alakultak át. A csapadékból származó édesvízzel keveredett tengervizet is tároló korallképződmények, gyűrű alakú lagúnák speciális paleohidrológiai rendszereket alkotnak.

A korallzátonyok a felépítő korall-polipocskák rendkívüli környezeti érzékenysége következtében kiválóan jelzik az egykori paleohidrológiai tényezőket, mint például a tengervíz hőmérsékletét és sótartalmát. Sőt a korall-polipocskákkal együtt élő, fényre érzékeny, fotoszintetizáló *zooxantellák* alapján az egykori vízmélységet is rekonstruálni lehet. A korallpadokat igen pontos kronológiai vizsgálatra is felhasználják. A napi, évi ritmusban növekedő korallpadok segítségével már a 60 000 naptári évet is meghaladja napjainkban a radiokarbon fizikai mért eredményeinek naptári évekbe történő átszámíthatósága.

A partok speciális kifejlődése a folyóvizek, partok találkozási területe, az *esztuárium*, ahol a folyótorkolatok tengerbe vagy tavakba érnek. Az esztuáriumoknál különböző típusok fejlődnek ki, ahol jelentősebb árapály fejlődött ki, ott tölcsértorkolatok alakulnak ki. Ez a torkolattípus tulajdonképpen a tengeri élettér meghosszabbításának, a tenger szárazföldre benyomulásának tekinthető, napjainkban a globális hőmérsékletnövekedést követően emelkedő vízszint hatására terjedő folyótorkolati típus, valójában a jégkor végétől a deltatorlatok felszakadtak és fokozatosan tölcsértorkolattá alakulnak át. Az intenzív vízmozgás (dagály/apály és folyóvízi áramlás) hatására kialakuló üledékhiány és az üledék kimosódása nyomán réteghiány jellemzi, nehezen tanulmányozható paleohidrológiai szempontból, mert nem maradnak fenn jelentősebb üledéklerakódások ezen a területen, illetve a jelentős réteghiányok miatt nehezen elemezhetők az itt kialakított paleohidrológiai szelvények.

A folyók másik torkolati típusa a paleohidrológiai szempontból is jól használható deltatorlat. Ez a földtani alakzat a folyóvízi árterek meghosszabbított, tengerbe benyúló részének tekinthető. A delta képződményeket az ártéri síkságokkal szemben kisebb esés és szétágazó folyómedrek jellemzik, mert ahol a folyó deltává alakul, esése megtörik és a folyóvízi rétegekből álló deltasíkságon deltaágakra bomlik. Valamennyi deltaágnak folyóhátakkal, árvízi lapályokkal kísért ún. delta síkság övezete alakul ki. A deltaszegélynél már az állóvíznek a parti hullámozása a legfontosabb geomorfológiai tényező, amelynek hatására a deltaszegélyen

földnyelvek, turzások, illetve a turzások mögötti lagúnák, iszapos öblök alakultak ki. A deltatorlatokban, a lagúnákban a viharok és a vihardagályok idején a tengerbetörések jellemzőek. Ennek következtében a deltatorlatban megtelepedő emberi közösségeknek kiszámíthatatlanul jelentkező, időszakosan katasztrófaszerű eseményekkel kellett szembenézniük. A deltasíkságok kiváló termőterületet alkotnak, ahol a jól szervezett magaskultúrák már igen korán fejlett gazdálkodást alakíthattak ki. Az édesvízkészlet kiaknázása (öntözés) meghatározó, mivel a tengervíz betörések következtében a deltasíkságok édesvíz tározó rétegei sós vízzel keveredtek, fokozatosan megemelkedhetett a sótartalmuk. Ez a folyamat a mezőgazdasági termelés visszaeséséhez, a kultúrának a deltasíkságon történő összeomlásához vezethetett.

Ugyancsak komoly problémákat okoz a deltatorlatba szállított jelentős mennyiségű üledékanyag, amely folyamatosan feltölti ezt a területet. Jól jellemzi az üledékszállítás mértékét, hogy az elmúlt 5000 év során a Mississippi-deltájának területén hét, a Mexikói-öbölbe mélyen benyúló deltaág alakult ki és mosódott el a tengeri áramlások és hullámozás következtében. Hasonló időszakban a Tigris és az Eufrátesz, az észak-kínai folyók több száz kilométeres partszakaszt töltöttek fel a Perzsa-öbölben, illetve a Kínai tengerben. A mediterrán régióban az ember által a növényzet-, elsősorban az erdőirtás következtében megindított hegy- és domboldalakat átalakító erózió olyan erőteljes volt, hogy a patakok, folyók alluviális síkságain kimutatható, illetve feltöltődött partszakaszok mentén nyomon követhető. A neolitikum és a bronzkor közötti korai földművelés okozta feltöltődést „*régi feltöltésnek*,” a római kor és a középkor során kialakult feltöltést „*fiatal feltöltésnek*” nevezték el.

Kiemelkedő jelentőségű a partvonalak fejlődésének és az emberi megtelepedéseknek a megértésében, hogy a glaciális időszakban lecsökkent tengerszint következtében jelentős kiterjedésű deltatorlatok és a ma tengerrel borított területeken akár több száz kilométer hosszan elnyúló folyó- és patakmedrek alakultak ki. A deltatorlatok felnyílására, tölcséresedésére a legtipikusabb

folyamatot a Gangesz és Bramaputra folyók torkolatánál, Banglades területén figyelhetjük meg, ahol a negyedidőszak során is intenzíven emelkedő, Földünk egyik legjelentősebb reliefkülönbségét hordozó hegységrendszerének előterében, a folyók deltájában a glaciálisok során igen jelentős mennyiségű hordaléktömeg halmozódott fel. Így a pleisztocén fosszilis deltaszegély az utolsó lehülés (glaciális) során több mint 100 kilométerrel délebbre helyezkedett el a mai, felnyíló, tölcséresedő torkolatok vonalához képest. Bár a bangladesi folyómedrek felnyílását bizonyos mértékig ellensúlyozza a trópusi monszun időszakos, intenzív csapadéka által is irányított jelentős mennyiségű hordalékszállítás, a szubhimalájai régió tektonikus emelkedése nyomán kialakuló erőteljesebb üledékképződés. Mégis a napjainkban is zajló euszatikus vízszintemelkedés a grönlandi jégtakaró elolvadás következtében több százmillió ember fizikai létét fenyegeti.

Azt gondolhatnánk, hogy ennek oka a társadalom alacsonyabb technikai fejlettségével, a társadalmi viszonyokkal, a bangladesi szegénységgel magyarázható, de azt tapasztalhatjuk, hogy hasonló problémával küszködik a rendkívül fejlett és gazdag Hollandia is. A tengerparti gátak építése, a mélyföldek kiszárítása és feltöltése, az ún. „*polderesítési*” program, a víz visszaszivattyúzása és a csatornázás ellenére a hollandiai mélyföldet védő, gátakkal megerősített dűnesor tenger felőli oldalán az emelkedő tengerszint, a sós tengervíz hatására a dűnéket borító telepített erdők elszáradnak, leégnek és növényzeti borítás hiányában a dűnék hátrálása, átrendeződése indul meg. A napjainkban megfigyelhető, a társadalmi erőfeszítések ellenére lejátszódó környezeti folyamatok azt bizonyítják, hogy a holocén kezdetén megindult euszatikus változásra bekövetkezett tengerparthátrálás társadalmi hatásaival nemcsak a múltban, a paleohidrológiai rekonstrukcióknál, hanem a közeljövőben is számolni kell.

A tavi rendszerek, lápok, mocsarak, bár sok vonásukban hasonlítanak a tengerpartokhoz, de általában kisebb relief, édesvíz és jelentősebb mennyiségű szerves anyag jellemzi azokat. A tavak, lápok, mocsarak klimatikusan rendkívül érzékeny geomorfológiai alakzatok, amelyek növényzete, a felhalmozott üledék

kifejlődése döntően az éghajlattól függ, de erőteljesen befolyásolják a tavi üledék képződését a tavak partján megtelepedő emberi közösségek is, mert eróziót kiváltó tényezőként jelennek meg. A legkidolgozottabb paleohidrológiai rekonstrukciós modellt az egykori környezet változásairól, a tó és vízgyűjtő rendszerének kapcsolatáról dolgozták ki, így a különböző tavak partján található régészeti lelőhelyeknek kiemelkedő jelentősége van az ember és környezete viszonyának feltárásban. A tavak, lápok partján az emberi megtelepedést a vízforrás, a halászati, gyűjtögetési és védelemi célok határozzák meg elsősorban. A tavak, lápok és mocsarak a vizes élőhelyek elágazó (tó-mocsár, tó-láp), ritkán leszármazó fejlődési sorának (tó-láp-mocsár) felelnek meg, amelyek olyan kisebb méretű, szárazföldön található mélyedésekben alakulnak ki, amelyek igen változatos földtani, vagy geomorfológiai folyamat eredményeként jöhettek létre.

Ezek alapján megkülönböztetünk tektonikai, vulkáni, karsztos folyamatok, jégtakaró, gleccser, szél, hegyomlás, folyóvíz és emberi tevékenység által létrehozott medreket. A tektonikus mélyedéseket kitöltő hosszú életű tavak, mint például a Bajkál-tó kivételével a tómedrek feltöltődése geológiai értelemben rendkívül gyors folyamat, döntően néhány ezer év alatt lejátszódik, azaz paleohidrológiai elemzések szempontjából egy-egy tómeder feltöltődése lokális és regionális léptékben értékelhető elsősorban. A tavi-lápi paleohidrológiai rendszerekre kidolgozott modell lényege az, hogy egy tó vagy láp medrét és vízgyűjtő területét lehatárolják a vízgyűjtő exogén geológiai adottságai, a természetes vízválasztó vonala, határai. A vízgyűjtő területéről, származó üledékek, az alapkőzetéből, talajából lepusztult anyagok mosódhatnak be az üledékgyűjtőbe, illetve a tóban élt szervezetekből (csillárkamoszat, nád, tőzegmoha, stb.) is jelentős mennyiségű biogén eredetű üledék rakódhat le a különböző paleohidrológiai medencékben. A vízgyűjtő területekről bemosódott üledék és a lokális, mederben felhalmozódott különböző eredetű üledékek mellett a szél által szállított por és virágporszemek hordódhatnak és rakódhatnak le döntően regionális kiterjedésű területekről.

A vízgyűjtő terület magasabb térszínein tehát hasonlóan a tengeri és fluviális üledékképződéshez az anyagok lepusztulásával, áthalmazódásával, szállítódásával számolhatunk, a limnológiai üledékgyűjtő rendszerben a különböző lepusztulási folyamatokon és szállítási módokon átesett anyagok viszont felhalmozódnak, akkumulálódhatnak és beépülhetnek az egykori édesvízi paleohidrológiai rendszer fenéküledék rétegeibe és információ hordozókká válnak az egykori paleohidrológiai változásokról.

Természetesen a különböző távolságról származó vagy helyben felhalmozódott szervetlen vagy szerves anyagok más és más léptékű paleohidrológiai-paleolimnológiai változásról tanúskodnak. Ennek nyomán az üledékgyűjtő terület eltérő távolságban lévő egykori tényezőjét reprezentálják. Így ugyan a paleohidrológiai adatok egy-egy konkrét mintavételi hely (szelvény, fúráspon) üledékéből származnak, az ott felhalmozódott üledékek ősmaradványok nem kizárólag egyetlen helyről, hanem a szélesebb értelemben vett üledékgyűjtő befogó területén végbement folyamatoknak és a paleohidrológiai átalakulásoknak őrzik meg a nyomait. Az üledékgyűjtő területen felhalmozódott bizonyos anyagok (pl. növényi opalitok = fitolitok) szempontjából az egykori limnológiai medernek a *befogási* területe nem azonos a vízgyűjtő területtel és minden egykori paleohidrológiai tényező szempontjából más és más kiterjedésű. Például a szél által szállított poranyag vagy virágporszemek elsősorban az általános légközrésztestől, széliránytól függenek.

A felszíni, döntően lemosódással, areális erózióval lepusztult és felhalmozódott üledék behordódására főleg a lejtő meredeksége, növényzeti borítása, a csapadék eloszlása és intenzitása hat. A patakok, folyók által behordott, lineáris erózióval kialakult üledék minőségi és mennyiségi viszonyait a vízgyűjtő terület nagysága, a vízhozam, az éghajlati és növényzeti, valamint alapközet viszonyai határozzák meg. A paleolimnológiai rendszerben élt egykori növényekre és állatokra pedig elsősorban az üledékgyűjtő rendszerben kifejlődött néhai víztest kémiai és fizikai faktorai (pH viszonyai, hőmérséklete, a fényteltetés, a szerves vagy szervetlen

anyagok minősége és mennyisége) voltak a legerőteljesebb hatással. Az eltérő származású anyagok egy helyen történő felhalmozódása azt jelenti, hogy az üledékgyűjtő térben reprezentálja a paleolimnológiai-paleohidrológiai vízgyűjtő területén végbement változásokat. Ugyanakkor a paleolimnológiai rendszerben található üledékes rétegek felhalmozódása időfüggő esemény. Így a paleolimnológiai üledékgyűjtő medence nemcsak a vízgyűjtő területen történt eseményeket gyűjti össze, hanem az egymásra rakódás révén időben is rögzíti a kialakult rétegek helyzetét. A lepusztulás, áthalmazódás, felhalmozódás, közzé válás (diganezeis) nyomán kifejlődött rétegek így a térben és időben történő paleohidrológiai átalakulásokról egyaránt információkat tartalmaznak.

A rétegeken végzett geokronológiai elemzések nyomán az egész paleolimnológiai rendszer, mint az üledékgyűjtő medence és a hozzá tartozó vízgyűjtő területén bekövetkezett paleohidrológiai tényezőkről és azoknak az átalakulási sebességéről kaphatunk kronológiai adatokat. Ha ezeket a kronológiai adatokat összekapcsoljuk paleohidrológiai célú paleobotanikai elemzésekkel, akkor az egykori lokális növényzeti változásokról is információkat nyerhetünk. Sőt paleolimnológiai medencét vagy több medencét feltáró számos fúrásszelvény elemzése nyomán akár az egykori térbeli paleobotanikai változásokat is megrajzolhatjuk, akár térképszerűen is. Szedimentológiai és más őslénytani paleobiológiai anyagokkal (árvaszúnyog lárvák, ágascsapú rákok, növényi opalitok maradványaival) bővítve elemzésünket, egyre teljesebb képet kaphatunk az üledékgyűjtő múltbeli környezetéről, a paleohidrológiai változásokról. Bár paleolimnológiai rendszerek általában réteghiánytól mentes, kontinuus rétegsorral rendelkeznek, de rendkívüli változások, például hirtelen vízszintcsökkenés, kiszáradás vagy emberi hatás nyomán kialakulhatnak réteghiányok.

A paleolimnikus összletek időbeli felbontását a rétegzavarokat kialakító tényezők, a szél, az áramlások, anyagmozgások, a rétegzavarokat okozó, üledékfaló vagy üledéklakó élőlények tevékenysége és intenzitása befolyásolja. Amennyiben a regionális léptékű paleohidrológiai átalakulásokat akarjuk megvizsgálni, akkor több

kisebb felületű paleolimnológiai üledékgyűjtő rendszert kell kiválasztani és megvizsgálni, amelyek egyenként, önmagukban nézve csak egy-egy lokális paleohidrológiai fejlődési sorozatról hordoznak információkat. Viszont több ilyen kisebb felületű paleohidrológiai rendszer összehasonlító elemzése nyomán (lásd mindenekelőtt a nyugat-, közép- és dél-európai területeken dolgozó *Michel Magny* ilyen irányú kiváló munkáit) nagyobb területek paleohidrológiai fejlődése és ennek nyomán régiók, kontinensek éghajlati változásai is megrajzolhatóak.

Vagyis kisebb felületű, 1-2 hektáros, paleolimnológiai rendszerek üledékrétegeibe zárt üledékföltani, geokémiai, őslénytani információk tehát a helyi, néhány hektáros, az üledékgyűjtő körül kialakult néhány száz méteres kiterjedésű terület paleolimnológiai változásairól tanúskodnak elsősorban. Ugyanakkor a jelentősebb térléptékű változásokat úgy rajzolhatjuk meg és léphetjük át a lokalitást, a lokális tényezőket, és rekonstruálhatunk akár néhány millió négyzetkilométeres kiterjedésű paleohidrológiai átalakulásokat, ha jelentős mennyiségű, egymástól különálló mintavételi hely információit hasonlítjuk össze kronológiai alapon. Ilyen úttörő munkának tekinthető *Brian Huntley* és *Harry John Betteley Birks* 1983. évben megjelent könyvét, amelyben Nyugat- és Észak-Európából, az utolsó 13 000 év növényzeti változásairól készített növényzeti változások eddigi rekonstrukciójánál mintegy 500 fűráshelyről származó pollenvizsgálati eredményét összesítették és értelmezték. A paleohidrológia területén több ilyen munka is készült már, de ezek közül kiemelkedő és útmutató jelentőségű a svéd *Björn Berglund* professzor által összefoglalt metodikai (1986) és az európai kontinenst (1996) átfogó paleohidrológiai kézikönyvek, amelyeket saját paleohidrológiai munkánk kezdete óta iránytűnek használunk. Így az ott bemutatott standardnak tekinthető módszereket és megközelítéseket, összehasonlítási alapokat követtük a paleohidrológiai, mindenekelőtt a Kárpát-medencei paleolimnológiai vizsgálataink során. Napjainkban a legkiemelkedőbb eredményeket *Evanthia Mantzouki* vezette *A European Multi Lake Survey dataset of environmental variables, phytoplankton pigments and cyanotoxins* kutató team mutatja fel.

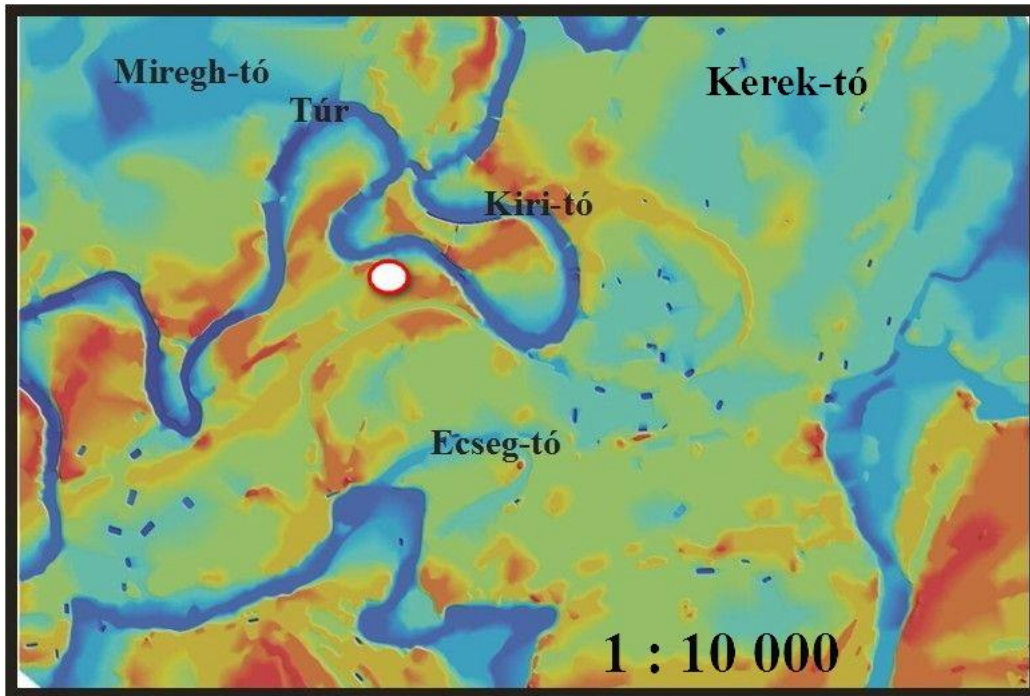
A paleohidrológiai elemzéseknél kiemelkedő jelentőségűek az alluviális síkságok, amelyek döntően fluviális hordalékkal feltöltődött alföldek. Az ártéri síkság legfontosabb felszínformáló tényezője maga a folyómeder. Az alföldi folyók kétféle rendszert alkothatnak, a *meanderező*, illetve a *fonatos* medrek. A kanyargó (meanderező) folyók környékén jól körülhatárolható exogén geológiai egységek, geomorfológiai formák alakultak ki, amelyeknek kifejlődése a paleohidrológiai tényezőktől függött.

A fejlődő allúviumon minden exogén geológiai forma folyamatos változásban, átalakulásban van. A meanderek a mederben kialakult áramlások, az épülő és pusztuló partok változása következtében lefelé vándorolnak a folyó mentén, ugyanakkor a kanyarulat tágassága folyamatosan nő – ezen folyamat nyomán az allúvium egész felépítése folyamatos átalakulásban van. Az allúviumokon a holtágak alkotják a paleohidrológiai vizsgálatok szempontjából legfontosabb exogén geológiai szisztémákat, mert lokális - regionális üledékgyűjtő medencéket alkotnak, ahol a paleohidrológiai változásokra vonatkozó információk fennmaradhattak. A holtágak jelentős része nyílt, vagy időszakosan nyílt rendszert alkot, ahová a fenékhordalékon, a lebegtetett üledéken kívül jelentős mennyiségű, nagy távolságról behordódott, többszörösen áthalmozott, vagy vízben szállítódott anyag (pl.: pollenanyag, lebegtetett hordalék, stb.) kerülhet, sőt az áradások idején akár újra kapcsolódhatnak az élővíz rendszerhez és ez rontja a paleohidrológiai rekonstrukció lehetőségét.

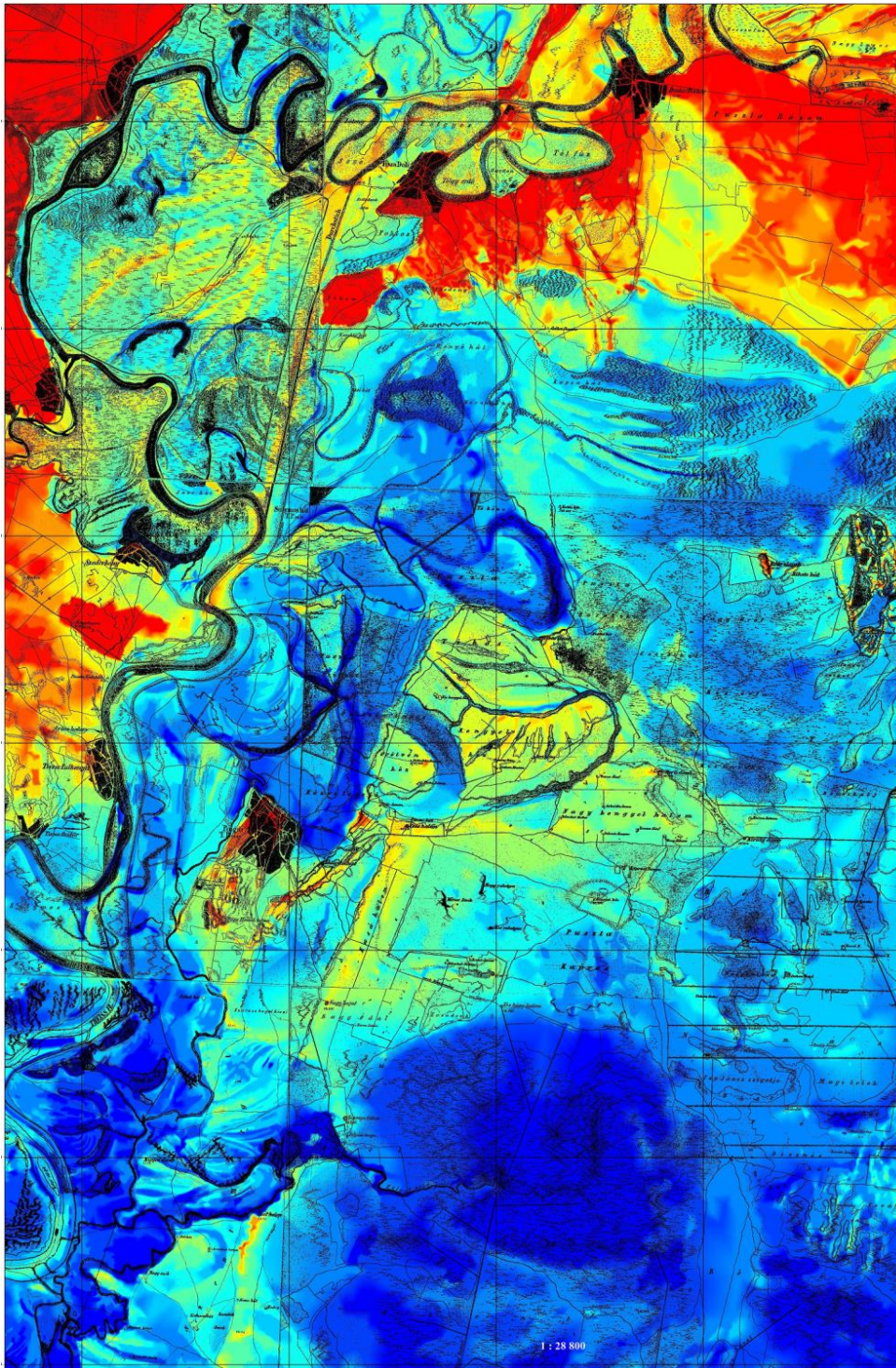
Az ártereknek két, eltérő formakincsel jellemezhető típusa alakult ki, a domború keresztmetszetű és a lapos ártéri síkság. Megtelepedés szempontjából a kisvízi meder mellett található, az ártéri síkság legkiemelkedőbb pontját alkotó folyópartokon, ún. „*folyóháton*” alakultak ki hosszabb ideig árvízmentes helyek. A meander hurokban kifejlődött övzátonyokból álló terület, bár időszakosan, áradások idején, de víz alá kerülhet. A folyóháton mögött ártéri lapályok, árvizek által elöntött mélyebb fekvésű területek alakulnak ki. Az ártéri területek legmélyebb részén a talajvíztükör közelében időszakos vízborítású,

ovális alakú időszakos vízborítású foltok is kialakulhatnak. A folyóhát mögötti, ártéri mélyedésben kialakult megközelítőleg kerek tó a **94. ábrán** bemutatott űrfelvételen, a Berettyó (középkori nevén Túr) folyó ártéri területén is jól látható. Az alföldi alluviális lapályokon az árhullámok visszahúzódása nyomán sekély vízelvezető, lecsapoló medrek alakulhatnak ki, amelyek a medrek alacsonyabb helyein átszakíthatják a folyóhátakat és visszavezethetik az árvizeket az alluviális mélyedésekből a kisvízi mederbe.

Ilyen víz visszavezető medreket az eddigi exogén geológiai és paleohidrológiai elemzések alapján mesterségesen is kialakíthattak az allúviumokon, sőt *Takács Károly* régész kisléöldi (tóközi) paleohidrológiai elemzéseinek nyomán a kora-középkorban zsilipekkel, árkokkal egészen jelentős kiterjedésű régióknál mesterségesen szabályozhatták az árvíz-talajvíz rendszert az organikus gazdálkodásban dolgozó és gondolkozó közösségek. Az eddigi, főként néprajzi, történelmi, régészeti adatok alapján ezeknek a természetes módon kifejlődő víz visszavezető medreknek vagy mesterséges átvágásoknak, ún. „*fokoknak*” a magyar középkori, folyók mentén kialakult gazdálkodásban jelentős szerepük lehetett. Talán nem véletlen, hogy a tóközi egyértelműen mesterséges kora-középkori rendszer mellett dunai, tiszai, Berettyó és Körösök menti, valamint Bodrogi területen egyaránt találtunk ehhez – a mindmáig rendkívül vitatott – „ártéri” gazdálkodásra utaló paleohidrológiai nyomokat.



94. ábra Ecsegfalva község környezetében kifejlődött jégkori ártér jellegzetességei és a középkori fokgazdálkodásban használatos Kerek-tó, Miregh-tó, Ecseg-tó, Kiri-tó elhelyezkedése és Kiri-tó partján található régészeti lelőhely (Körös kultúra: piros/fehér körrel jelölve) (Forrás: saját ábra)



95. ábra Polgár környékén kialakult alluviális sziget a digitális domborzati modellre vetített első osztrák katonai térképen (1782) bemutatva. Az alluviális sziget északi előterében a tiszai allúviumon kifejlődött elhagyott medrekkel és yazoo medrekkel. (Forrás: Timár, Gábor 2004 *Space and GIS technology in palaeoenvironmental analysis*. *ANTAEUS*, 27, 135-144, a szerző írásbeli engedélyével közölve)

A hegyek lábánál, a hegységi-dombsági és alföldi régió találkozási zónájában a kiemelkedő térszintkülönbségekkel jellemezhető régióban a rendkívül erőteljes üledékszállító képesség csökkenés miatt kialakult igen jelentős üledékfelhalmozódás következtében erőteljes hordaléklerakódás fejlődött ki. Ezért a főmederhez kapcsolódó mellékfolyók akadályba, igen jól fejlett folyóhátakba ütköznek és több kilométeren, nagyobb folyók esetében több száz kilométeren keresztül a főmedret kísérő, alluviális síkokat, akár a korábban kifejlődött fluviális medreket is keresztező, átfolyó medreket képeznek. Ezeket a medreket amerikai eredetű elnevezéssel *yazoo*-medernek nevezzük. Ilyen yazoo medernek tekinthetőek a jégkorban kifejlődött, lösszel fedett polgári alluviális szigettől északi irányban elhelyezkedő tiszai allúviumon kialakult erek is, mint a Király-ér, Selypes-ér (**95. ábra**). A paleohidrológiai vizsgálatok jelentős része az emberi nem kialakulása előtti időkre vonatkozik, és kiváló eredményeket mutathatók fel a természetes környezeti változások nyomán létrejött paleohidrológiai átalakulásokról. Ugyanakkor tudomásul kell vennünk, hogy az árterek paleohidrológiai elemzésénél azok az adatok a legkiemelkedőbb jelentőségűek napjainkban, amelyek emberi közösségekhez kapcsolódnak, mivel a jelenlegi ember által is indukált paleohidrológiai átalakulások következtében ezek alkotják a legértékesebb adatokat.

A folyami síkságokon lapos árterek is kialakulhatnak. Az ilyen lapos ártereken a fonatos meanderhálózat mentén a folyóhátak nem fejlődtek ki vagy alig észrevehetőek és ezért nincsenek folyóhát mögötti ártéri mocsarak (backswamp-ok), lecsapoló medrek. Ilyen minimális térszintkülönbséggel jellemezhető árterek elsősorban oldalirányban épülnek. A fluviális medreknél ebben az esetben a külső oldalfal pusztul, míg a belső oldalfal az áthalmozott, elsősorban kavicsból és homokból álló, ferdén rétegzett fenékhordalékból álló üledékből épül.

Az üledéklerakódás fő tendenciája a lapos allúviumokon sokszor nehezen nyomon követhető még recens elemzéseknél is, mivel az áradások után csak vékony, elsősorban kőzetlisztben gazdag üledék halmozódik fel, és ezt a szintet a

következő áradásnál kialakult vízborítási maximum könnyen erodálhatja. Így a lapos árterek elsősorban a folyófenéken mozgatott, durvább üledékekből, a domború ártér pedig döntően árvízi, szerves anyagban gazdagabb kőzetlisztből, esetleg finomhomokból épül fel. A fonatos fluviális medrek elágazó hálózata építi fel elsősorban a kiegyenlített ártereket. Viszont a már aktívan nem fejlődő domború árterek is átalakulhatnak a másodlagos áradmányvizeket elvezető medrekből származó, áradások során beáramló árvízi szuszpenzió lerakódásai és a felszíni egyenetlenségek feltöltődése, kiegyenlítődése következtében.

A fokozatos, tektonikus/neotektonikus mozgások által irányított fluviális üledéklerakódás irányította paleohidrológiai rendszer fejlődése, és a fő szediment akkumuláció áthelyeződése következtében az Alföldön is kialakultak ilyen fosszilis, a jégkor folyamán még fluviálisan aktívan formálódó ártéri régiók, ahol a ma aktív fluviálisan formálódó területekhez (Tisza-völgy, Körösök völgye, Berettyó-völgy) képest enyhén kiemelt topográfiai helyzet alakult ki.

Ezekben a régiókban az egykor aktív medrek az árvízi iszappal fokozatosan feltöltődnek, illetve a folyóhátak erodálódott anyaga a helyi üledékgyűjtő medencékben, a fosszilis medrekben, folyóhát mögötti mélyedésekben halmozódnak fel. Így a jégkori domború ártér exogén geológiai és tengerszint feletti magasság különbségei fokozatosan kiegyenlítődnak. Ilyen másodlagosan kiegyenlítő, fokozatosan lapos ártéri síksággá fejlődő régiót alkot például a Nagykunság és a Hortobágy területe is. A nagyobb méretű fosszilis felszínnek mellett ismeretesek kisebb kiterjedésű pleisztocén ártéri maradványfelszínnek a holocén során aktívan fejlődő folyóvölgyekben, például a Tisza-völgyében is. Ezek a relatíve kiemelt helyzetű, szigetszerű maradványfelszínnek árvízmentes területeket, ártéri szigeteket alkotnak.

Az aktívan fejlődő fluviális medrek, de a fosszilis allúviumok exogén geológiai elemzési eredményei egyaránt azt bizonyítják, hogy az erózió – üledék behordódás és akkumuláció egyensúlya az időben dinamikusan változik. A tektonikai mozgások, éghajlati változások, a növénytakaró átalakulásai, az

erózióbázist alkotó tengerek, óceánok szintjének változásai a folyóvölgyek exogén geológiai egyensúlyának megbomlásához vezetnek. Ezek a változások az árterek átalakulását okozzák, és a feltöltődés, bevágódás dinamikus, periódikus változásának hatására hordalékteraszok alakulnak ki.

A teraszok kialakulását követően a kiemelt helyzetű teraszok peremén lejtőfolyamatok indulnak meg, és a talajvíz csökkenés hatására eolikus felszínformálódás, futóhomokmozgás, löszrétegek kialakulása következhet be. Mivel a teraszképződés időben elhúzódó folyamat, a különböző teraszszinteken, hordalékon kialakult teraszokon eltérő korú kultúrák telepedhettek meg. Különösen jelentősek azok a területek, ahol a teraszképződés mellett forrásokhoz köthető édesvízi mészkőlerakódás is kialakult (például Által – ér teraszai). Így édesvízi mészkővel fedett teraszszorozatok alakultak ki. Ezek a legkiemelkedőbbek paleohidrológiai szempontból, mivel mind geokronológiai, mind paleohidrológiai elemzésre alkalmasak és sokféle tényezőt lehet rekonstruálni ezen rendszerek vizsgálata alapján.

Ellenőrző kérdések:

5.1. Hogyan választjuk ki a paleohidrológiai lelőhelyeket vizsgálatra?

5.2. Milyen távérzékelési módszereket hasznosítunk a paleohidrológiai lelőhelyek kiválasztásánál?

5.3. Hogyan, milyen módszerekkel térképezzük fel a paleohidrológiai lelőhelyeket terepen?

5.4. Sorolja fel a paleohidrológiai lelőhelyek típusait.

5.5. Ismertesse a pontszerű paleohidrológiai környezet lelőhely típusait.

5.6. Ismertesse a barlangi és a kőfülke paleohidrológiai környezet közötti különbséget.

5.7. Sztalagmitokból nyerhető paleohidrológiai információkat sorolja fel.

5.6. Ismertesse a barlangi és a kőfülke paleohidrológiai rendszerekből nyerhető információkat és forrásaikat.

5.7. Ismertesse a lineáris paleohidrológiai környezet típusait.

- 5.8. *Ismertesse a tengerparti paleohidrológiai környezet átalakulását a negyedidőszaki lehűlések (glaciálisok) és felmelegedések (interglaciálisok) során.*
- 5.9. *Miért tekintjük speciális lineáris paleohidrológia környezetnek a zátonyos tengerpartokat?*
- 5.10. *Mi az esztuárium és hogyan kapcsolódik a paleohidrológiai elemzésekhez?*
- 5.11. *Hogyan használható fel a delta torkolat a paleohidrológiai elemzésekben?*
- 5.12. *Nevezze meg a napjainkban zajló emberi társadalomra veszélyt jelentő változást.*
- 5.13. *Hogyan használhatjuk fel a tavakat, lápokot, mocsarakat a paleohidrológiai rekonstrukciókban?*
- 5.14. *Mi az üledékgyűjtő vízgyűjtő területe?*
- 5.15. *Mi az üledékgyűjtő befogási területe?*
- 5.16. *A domború és lapos ártér paleohidrológiai környezet közötti különbséget mutassa be.*

4.6. Ősmaradványok vizsgálata

A paleohidrológiai lelőhelyeken kialakított fúrásokból, földtani (paleohidrológiai) szelvényekből jelentős mennyiségű ősmaradvány, elsősorban növényi maradványok (magvak, termések, szövetdarabok, szenült famaradványok, spórák, virágporszemcsék, növényi opalitok), csigák, kagylók, agyarcsigák, lábasfejűek héjai kerülhetnek elő. A jelentős számú és különböző fosszilis csoport közül a legfontosabbak vizsgálatának problémáit és eredményeit mutatjuk be.

4.6.1. Moszatok (Algák)

Ősi, egyszerű testfelépítés, a természetben mindenütt megtalálható növények, amelyek lehetnek sejtmagnélküliek (Prokarióták - kékalgák), sejtmagvasok (Eukarióták - többi alga), egysejtűek és többsejtűek, de nem szövetes élőlények. Méretük a legegyszerűbb egysejtű mikroszkópikus megjelentéstől a

sejttársuláson, a sejtfonalon át a több száz méteres telepes (elágazó sejtfonallas) kifejlődésig (barna alga telepek) változhat. A sejteket szilárd fal, a sejtfal veszi körül, asszimiláló anyaguk a klorofill, amely védőpigmentekkel, más színanyagokkal kombinálódhat. Egyes csoportjaik aktív mozgásra képesek ostoruk segítségével (ostoros moszatok). Valószínűleg az első, klorofill nélküli élőlények, és a klorofillal rendelkező moszatok ősi csoportjainak megjelenésénél válhatott szét az állatvilág és a növényvilág.

4.6.1.1. Kékalgák (Cianobaktériumok - Cyanobacteria)

Közel 2000 taxonjuk ismeretes világszerte, nincs valódi sejtmagvuk, ezért a prokarióták közé soroljuk ezt a csoportot. Nevüket kék színű fikocián után kapták, amely eltakarja a többi fotoszintetikus színanyagot. A Földünk legősibb szervezetei közé tartoznak, viszont a valódi sejtmagvakkal rendelkező élőlények (az eukarióták) megjelentésétől kezdődően fokozatosan visszaszorultak. Bár az édesvizekben mindenütt megjelennek, napjainkban a túl sós vizekben, termásvizekben, jég- és hótakaróban, vagyis az eukarióták számára pesszimum területeken dominánsak. A kékbaktériumok felépítése alapvetően megegyezik a baktériumok felépítésével, viszont a kékbaktériumoknál az ostoros formák ismeretlenek. Ugyanakkor ismeretesek a kékbaktérium sejtekben gázzal töltött sejtnedvüreges, amelyeknek a segítségével lebeghetnek, illetve lebeghetek. A kékbaktérium sejtet döntően kitöltő plazmaanyag peremén a fotoszintetikus pigmenteket is tartalmazó peremi helyzetű kromatoplazma található. A kromatoplazmában a kékbaktérium sejtfelületével párhuzamosan membránok húzódnak. A membránokban klorofill, karotinoidok, valamint a felszínükön lévő fikobilin festékekkel telt gömböcskék találhatóak. A fikobilinek között a kék fikocián minden kékbaktérium fajban előfordul, vörös fikoeitrin több fajnál viszont hiányzik. Fotoszintézisük terméke a glikogénre hasonlító cianoficea-keményítő.

Az oxigéntermelő és a földi légkört elsőként átalakításnak indító kékalgák maradványai ismeretesek a 3,5 milliárd éves Nyugat-Ausztrália és Dél-Afrika

területén található kőzetekben, de a meszet kiválasztó formáik is ekkor jelenhettek meg. Ez utóbbiak már kiemelkedő jelentőségűek paleohidrológiai szempontból. A legkorábbi kékalgák nyákja és víz alatti, iszapfelszínen kialakult algaszőnyege nyomán kifejlődött sztromatolitok (karfiolra hasonlító lemezes-sávós belső szerkezetet mutató kőgombák = *stromatolit*) is ekkor alakultak ki (**96. ábra**), bár csak 3,0-2,7 milliárd évek között terjedtek el.



96. ábra Kékalga sztromatolitok az ausztráliai Cápa-öbölben (Dr. Gulyás Sándor egyetemi adjunktus felvétele, 2019 – hozzájárulásával közölve)

Paleohidrológiai változások geológiai időkeretben

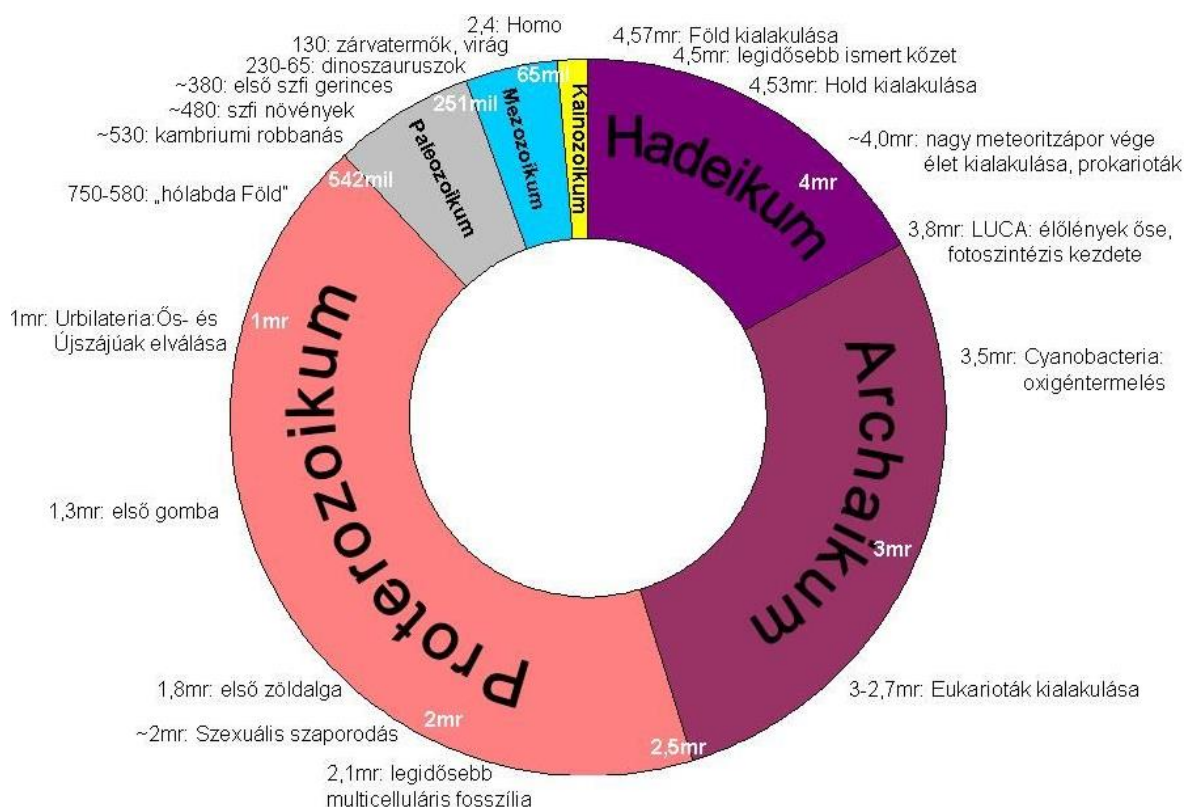
A paleohidrológiai szempontból kiemelkedő jelentőségű élőlények elemzéséhez szükséges a földtani idő és geológiai rétegtani megközelítés is, ezért itt nagyon röviden összefoglaljuk azt, hogy a paleohidrológiai változások során megjelenő vagy éppen kihalt élőlényeket, valamint a legfontosabb paleohidrológiai változásokat geológiai időkeretbe és rétegtani rendszerbe tudjuk foglalni.

A modellek alapján a kutatók egy része szerint az élet a Földön vizes kémiai „köttyvasztással” alakult ki, Oparin orosz kutató szerinti „őslevesben”. Mások

szerint az élet csírái az űrből érkeztek, életképes mikrobák formájában. Ezt nevezik *pánspermikus genezisnek*. A földi viszonyokat figyelembe véve kialakult egy harmadik elképzelés is, miszerint az élet a Föld belső régióiban, akár több száz méterre az akkor még vékonyabb kifejlődésű szilárd földkéreg felszín alatt alakult ki, ahol a geotermikus hő szinte kazánszerű körülményeket hozhatott létre. Így az ott lévő speciális hőmérsékleti viszonyok kombinálódhattak a felszín alatti zóna vegyi rendszerével. Bármelyik elméletet vizsgáljuk is meg közelebbről a modellek abban egyetértenek, hogy Földünknek már a korai fejlődési fázisában megjelent és fejlődésnek indult az élet. Ugyanakkor bármelyik filozófikus elképzelést is elemezzük meg, abban valamennyi modell egyetért, hogy a földi élet első szétterjedése az egykori paleohidrologiai rendszerben, a világtengerekben történt meg.

Hadaikum eon (4,5-3,8 milliárd évek között)

A hadaikum jelentése „pokolbéli”, mely a korai, kialakulóban lévő Földön uralkodó fizikai-kémiai viszonyokra utal (Hadész az alvilág görög istene). A Naprendszer fejlődése során kialakult bolygó elkülönülés során a kezdetben gázokból és szilárd anyagokból álló korai Föld (ún. „Protoföld”) megolvadt, és a gravitációs differenciálódás során a nehezebb olvadékok jelentős része, mint a nikkkel és vas a Föld középpontjába kerülve magot alkottak, a könnyebb, kovasavban dús anyagok, szilikátok a felszín felé vándoroltak, kialakítva az elsődleges kérget. Bolygónk mágneses terének kialakulása feltehetően a bolygó forgásával összefüggésben, a magban zajló áramlásoknak köszönhető, és a mag kifejlődését követően alakulhatott ki. Ez a magnetoszféra eltéríti a töltött részecskékből álló napszelet, így hozzájárult/hozzájárul ahhoz, hogy a földi élet kialakulhasson és fennmaradhasson bolygónkon.



97. ábra A Föld fejlődéstörténete a legjelentősebb fejlődési szakaszok időbeli lehatárolásával és megnevezésével, az élővilág legfontosabb taxonjainak időbeli megjelenésével (Forrás: wikipédia)

A Föld eddig feltárt legősibb kőzetét, amely 4,5 milliárd éves az észak-amerikai Baffin szigetén tárták fel, de hasonlóan idős kőzetek és ásványok ismeretesek Ausztrália északkeleti részén is. Az eddigi legelfogadottabb földkeletkezési modelleke szerint a köpeny eredetű vulkanikus kőzet kialakulásakor a földfelszín még egy forrongó magmatenger lehetett (**97. ábra**).

Egy másik népszerű modell, más néven „nagy becsapódás, más néven gigantikus hatás vagy Hold kiszakadás” elmélete, hipotézise szerint körülbelül 4,5 milliárd éve egy Mars méretű bolygó a Földbe csapódott (*Theia*: a görög mitológiában az egyik női titán volt, az ógörög monda szerint ő szülte volna a Holdat), s a kiszakított anyaggal együtt kialakította a Holdat. A modell szerint a Hold kiszakadása után a Föld lassan hűlni kezdett. Ugyanakkor az aktív magmás tevékenység, valamint az igen jelentős, felszínközeli radioaktivitás következményeként felszabadult hő miatt jellemző volt még a felszínen az olvadt kőzetanyagok és ásványkeverékek dominanciája¹.

Az elemi összetétel a gravitációs differenciálódás és a hőérzékenységi különbségek következtében kialakult szelektív ásványi megszilárdulás nyomán fokozatosan változott; a nehéz elemek tömörültek, a gázok könnyebb fajsúlyukból adódóan kiszorultak a kőzetekből. Az erőteljes vulkáni tevékenység nyomán és hidrogénben, héliumban (H, He) gazdag eredeti primer vagy más néven szoláris őslégkör szökését követően a másodlagos redukzív jellegű, vulkáni eredetű őslégkör, amely H_2 , Ne, H_2O , CH_4 , CO_2 , CO, NH_3 , H_2S gázok jelenlétével és tartalommal fejlődött ki.

A geológiai modellek alapján a Föld felszíni hőmérséklete 4,4 milliárd éve csökkent $100\text{ }^\circ\text{C}$ alá, így a meteoritok által szállított víz, valamint a bazaltos vulkáni tevékenység során a légkörbe kerülő vízgőz már nem párolgott el a felszínéről, megkezdődött a nagy esőzések korszaka, a világóceánok kialakulása. Erre a Nyugat-Ausztráliában (*Jack Hills*) talált 4,4 milliárd éves cirkónium-oxid tartalmú kőzetek utalnak, amelyek kialakulása feltételezi a folyékony víz és a szilárd kőzetfelszín jelenlétét. A elméleti megközelítések szerint a világtengerek mai szintű sótartalma maximum 95-100 millió év alatt alakulhatott ki, és azóta is folyamatosan szállítják a folyók az oldott sót a tengerekbe a szárazföldekről.

Az eddigi geológiai bizonyítékok és geokronológiai adatok alapján mintegy 4,4-4,2 milliárd éve alakultak ki a mai kontinensek magjai (ösmasszívumok = kratonok). A másodlagos, vulkáni eredetű őslégkör összetétele is megváltozott, mivel a vulkáni gázok egy része beoldódott az óceánokba. A szoláris eredetű nebulából álló elsődleges légkört alkotó hidrogén (igen könnyű gázelem) már korábban megszökött a Föld relatíve gyenge gravitációs ereje következtében, és csak vegyületekben (H_2O , CH_4 , NH_3) kötve maradhatott meg a földi környezetben. A korai ősóceán savas volt, felszínét vulkáni tevékenység és a legkorábban megszilárdult kratonok területei részekre osztották. A levegő forró volt, szabad oxigént alig tartalmazott – csak a vízfelszíneket bombázó UV sugárzás (dinamikusan változó fotódisszociáció) nyomán szabadult fel a mai

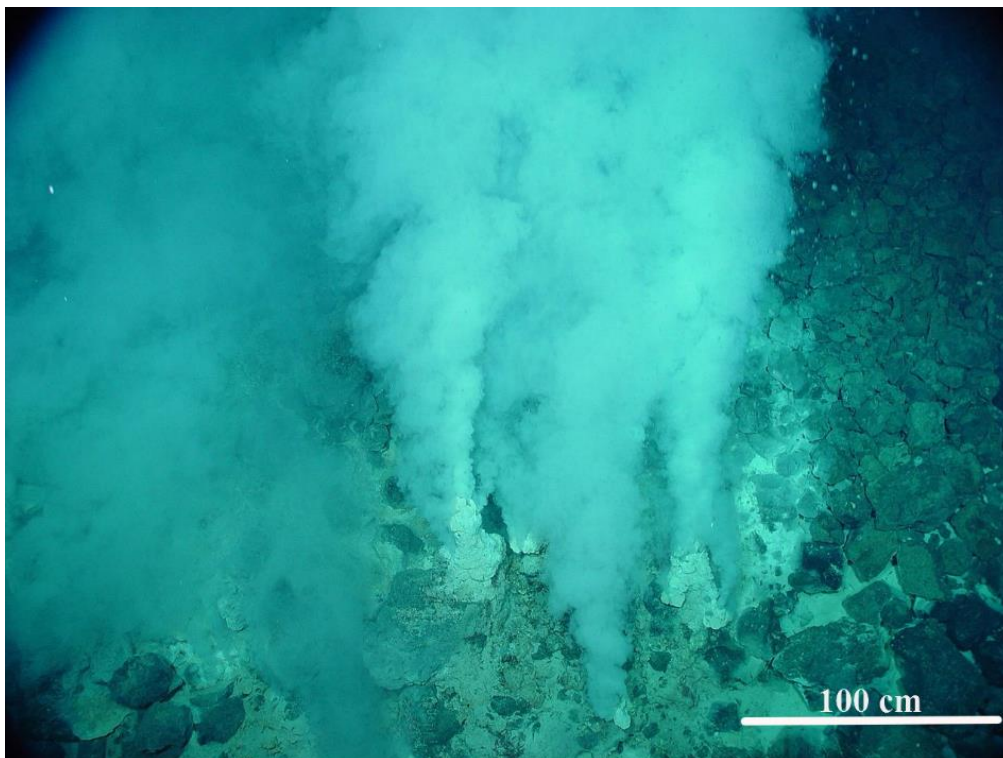
oxigén szint egy ezreléke (ún. „Urey szint”). A Hold felszínének exogén geológiai vizsgálata során talált, 100 km-nél is nagyobb átmérőjű, több mint 1700 becsapódás nyoma arra utal, hogy 4,1-3,8 milliárd éve nagy meteoriteső zúdult a Holdra és ennek nyomán feltételezhetően a bolygónkra is. Ennek a korai extraterresztriális származású kőzetanyagnak a hatására a földi legkorábbi őslégkör és ősi világtenger is alapvető átalakuláson eshetett át. Ugyanakkor tudomásul kell vennünk, hogy a korai élet kialakulására vonatkozó valamennyi vélemény, modell és adat minden kutatási, publikációs, tudományos műhely szinten vitatott, de ez tartja mozgásban ezt a kérdéskört, és többek között ezért is vizsgálják különböző kutató csoportok a földi élet kialakulásának tudományos kérdéskörét és ezért kapnak a vizsgálatokra kiemelt támogatásokat.

Archaikum eon (megközelítőleg 3,8-2,5 milliárd évek között)

A legelfogadottabb modellek alapján Földünk másodlagos vulkáni eredetű légköre és napjaink légköre közötti különbség a Hawaii bazaltos vulkánokból felszökő gázok primer anyagának összetétele és archaikumi vulkáni gázzárványokat tartalmazó kőzetek geokémiai elemzése nyomán a fentebb már leírt gázösszetétel több kérdést is felvet. A jelenkori Hawaii bazaltos vulkáni gázok átlagosan 79%-ban vízgőzből, 12%-ban CO₂-ből, 6%-ban SO₂-ből és 1%-ban N₂-ből állnak. Így a légköri N₂ juvenilis eredete a fentiek alapján egyértelműen az ősi vulkánok gázokkal, vulkáni exhalációkkal magyarázható. A vulkáni eredetű vízgőzök a földi hidroszférát gyarapították, a vulkáni szolfotárás exhalációkból származó SO₂-ből kénsav, kénessav lett, mely a földkéreggel reakcióba lépve szulfátokat hozott létre. Viszont napjainkban CO₂ alárendelt mennyisége, de főleg az O₂ jelenléte a mai atmoszférában viszont már nem magyarázható a vulkáni exhalációs mechanizmussal, hanem az élővilág légkört átalakító tevékenységének (**97. ábra**), a harmadlagos, vagy más néven biológiai légkör kialakulásának hatására jött létre az első autotróf élőlények kialakulását követően.

A tudománytörténeti adatok alapján először 1924-ben, majd 1929-ben jutottak arra a következtetésre, hogy az élet kialakulása a maitól teljesen eltérő környezetben, redukált légköri feltételek mellett kellett, hogy lejátszódjon. Ezt követően biokémiai kísérletek során bizonyították, hogy az élőlényeket alkotó legtöbb szerves vegyület oxigén jelenlétében instabil, tehát az élet keletkezése feltehetően oxigénmentes körülmények között játszódhatott le. Viszont az exogén geológiai modellek szerint a szabad oxigén hiánya nemcsak a kémiai, hanem a fizikai állapotot is a jelenlegitől erőteljesen különbözővé tette bolygónkon. Napjainkban ugyanis a legalsó légréteg és a felette lévő ún. „sztratoszféra” határán a kétatomos oxigénmolekulákból ózon keletkezik, mely a 300 mikronnál rövidebb hullámhosszú ultraibolya sugarakat elnyeli. Oxigénmentes, vagy a mai oxigénszintnek az egy ezrelékét tartalmazó, fotódisszociációs egyensúlyban lévő, *Urey szinten* (**97. ábra**) lévő archaikus légkörben viszont ez a sugárzás akadálytalanul érte a Föld felszínét, sőt a vízbe is kb. 10 méter mélységig lehatolt. A geokémiai, biokémiai és geobiokémiai modellek alapján így energiaigényes kémiai reakciók is lejátszódhattak. A különböző, ám mindmáig rengeteg vitát kiváltó, tudományos kérdéseket generáló geobiokémiai kísérletek és modellek nyomán, amelyek az 1953-as Miller-féle kísérlettől kezdődően végeztek a szerves makromolekulák abiotikus szintézise történhetett az atmoszférában, a mélytengeri hőforrások, tengerfenéki vulkáni termikus kémények a füstölgők környezetében (**98. ábra**). A létrejött szerves makromolekulák monomerjei polimereket képeztek tengerparti kőzetmálladékokon, tengerfenéki agyagos felszíneken, vagy vulkáni füstölgőknél. Valószínűsíthető, hogy a kezdeti sejtyszerű képződményeket alkotó aminosavláncok és RNS-ek alkothatták az első biogén eredetű polimereket. Gánti Tibor chematon elméleti modellje, biokémiai hipotézisek és archaikumi kőzetekben talált szerves anyagból álló maradványok elemzése alapján ezek az abiotikus úton keletkezett szerves polimerek aggregálódhattak egy membránnal elhatárolt térben és ennek nyomán kialakult az élettevékenységet mutató sejt

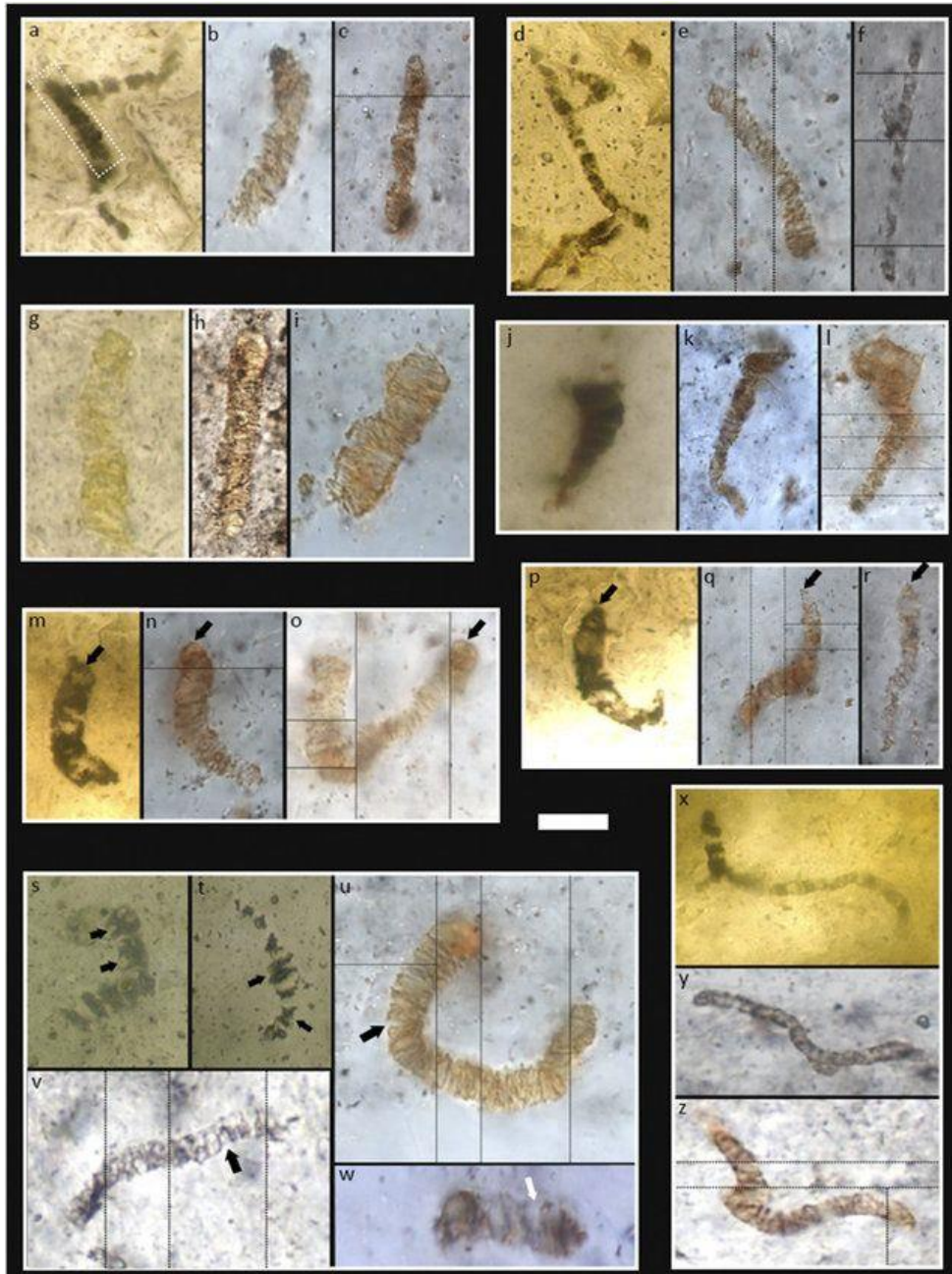
előtti állapot, ez a protocell. Az elméleti modellek szerint, ha az óceán felsőbb rétegeiben jöttek létre, akkor heterotróf protocellek, ha füstölgőknél (98. ábra), vagy hévforrásoknál, akkor kémiai energiát hasznosító kemoautotróf protocellek alakulhattak ki. A biokémiai modellek egyik csoportja szerint, amikor az életjelenségeket már mutató, sejt előtti állapotban lévő protocellben az örökítő anyag, DNS gének vagy RNS gének jelentek meg, akkor ezek a képződmények az már valódi sejtnek nevezhetők.



98. ábra Fehér füstülő (therma) napjainkban (Forrás: wikipédia)

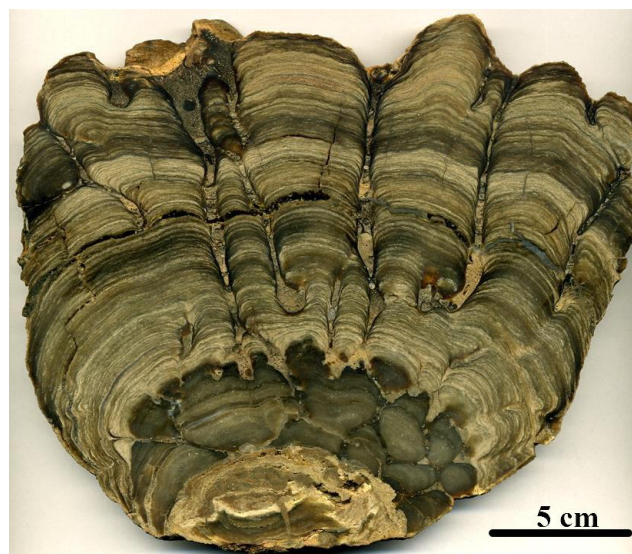
A legelfogadottabb elmélet alapján az első organizmusok a kemoautotróf baktériumok voltak, amelyek a mélytengeri hidrotermáknál, füstölgőknél (98. ábra) alakulhattak ki. A légköri stabil szén izotópok közül a ^{12}C könnyebben épül be az élőlényekbe, mint a ^{13}C izotóp. Mivel a grönlandi Isua-csoport 3,8 milliárd éves üledékes és vulkáni eredetű kőzeteiben ^{12}C -ből jelentős többletet lehetett kimutatni a ^{13}C izotóphoz képest, ezért feltételezzük, hogy egykori autotróf, valószínűleg kemoautotróf élőlényeknek kellett léteznie ebben az időben (ún. nyomfossziliák, vagy más néven geokémiai nyomfossziliák). Ezen (természetesen mindmáig vitatott) leletek és elemzések alapján 200 millió évvel

az után, hogy a fizikai kondíciók (földfelszín lehűlése, vulkáni gázok nyomán azt megengedték már megjelenhettek az első protocell/sejtes szerveződés határán lévő élőlények.



99. ábra Az északnyugat-ausztráliai 3,5 milliárd éves Apex Chertben feltárt első pszeudofossziliák és baktériumok holotípusai és paratípusai, a fehér sáv az ábra közepén 1 mm széles (Forrás: researchgate: Brasier, M.D., Antcliffe, J., Saunders, M., Wacey, D. 2015. Changing the picture of Earth's earliest fossils (3.5-1.9 Ga) with new approaches and new discoveries. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112, 4859-4864 – első szerző [corresponding author] írásos engedélyével közölve)

A mai élőlények közös őseiből 3,8 milliárd éve alakultak ki a valódi baktériumok és az ősbaktériumok, az ún. „Archaeák”. Később alakulhatott ki a fotoszintézis, amely a biokémiai modellek alapján eleinte nem termelt oxigént. Ebből a fejlődési fázisból fonalas megjelenésű mikrobákat, 11 féle baktériumot, vagy baktériumszerű pszeudofossziliákat találtak Nyugat-Ausztráliában, a 3,5 milliárd éves *Apex Chert*-ben (**99. ábra**). Mivel ezek már cellulárisak – sejtes állapotot mutatnak, fel kell tételeznünk, hogy 3,8-3,5 milliárd évek között pár százmillió éves evolúciónak már le kellett zajlania. A biogén eredetű oxigéntermelés mintegy 3,5 milliárd éve kezdődött el a fotoszintetizálni képes cianobaktériumok megjelenésével. A cianobaktériumok ősi nyomaikat a megkövesedett, karfiolszerű meszes - lemezes képződmények, sztromatolitok (**96. és 100. ábra**) és helyenként a teljes testfossziliák őrzik. Az O₂ a fotoszintézis során felszabaduló melléktermék volt, nagyobb mennyiségben mérgező lehetett már az első sejtek számára is.



100. ábra Algák által létrehozott biomineralizátumnak (bioherbának), egy sztromatolitnak a metszete (Wyoming állam, USA) (Forrás: <http://www.jsjgeology.net/Stromatolite.htm> - szabadon letölthető és felhasználható ábra)

A sztromatolitok képződéséhez meg kell értenünk, hogy mind a növényi állatok szervezetén belüli, irányított ásványképzés képessége számos, független

fejlődési vonalon alakult ki a törzsfajlás során. Ennek az ún. „biomineralizációs” folyamatnak célja a belső, illetve a külső váz képzése. Az élő szervezetek elhalása után a vázak ellenállóbb anyaguknál fogva megmaradhatnak, és fontos alkotói lehetnek a később esetleg közzé váló (diagenizálódó) üledékeknek. Sok esetben felismerhető az eredeti biológiai struktúra, máskor csak ún. „biohermákban” marad felismerhető enyhe vagy közepes fokú metamorfózist követően az eredeti szerkezet maradványa.

Más esetben a kalcium-karbonát- vagy szilícium-dioxid anyagú vázak később feloldódnak és mésziszap vagy sugárállatkák (*Radiolaria*) vázait bőven tartalmazó (radiolariás) iszap képződik. Ha a helyhez kötött vázképző szervezetek egymásra épülnek, az ilyen geológiai felépítmények óriási méreteket érhetnek el, megváltoztathatják a helyi topográfiát is, sőt lokálisan az óceáni áramlatok irányát is átalakíthatják. Az ilyen, élő szervezetek által létrehozott képződményeket nevezzük zátonyoknak, melyek a látható állati élet korában, a fanerozoikumban, az elmúlt 550-560 millió év során a legmagasabb biodiverzitású tengeri életközösségeknek nyújtottak otthont. *Scleractinia* (kő-) korallak, a *Corallinaceae* családba tartozó vörösmoszatok és zöld mészalgák (*Halimeda* faj taxonjai) építik fel napjaink zátonyait és ún. vegyes korallalga zátonyokat képeznek, de geológiai koronként eltérő múltbeli rendszertani összetételű zátonyalkotó életközösségek léteztek.

Fosszilis zátonyok paleohidrológiai elemzése

A fosszilis zátonyok környezetjelző értékei a paleohidrológiai kutatások szempontjából kiemelkedő jelentőségűek. Ismeretes, hogy a kőkorallokon kívül a meszes zátonyokat korábban más és más egykori élőlények, többek között meszet kiválasztó moszatok, archeocyatusok (összivacsok) vagy a már kihalt vastagfalú (rudista) kagylók is létrehozhatták. Az egykori zátonyok általában normál sóstartalmú trópusi-szubtrópusi, sekély tengervizek múltbeli jelzőelemei. A mai korallzátonyok (101. ábra) kialakulásának szükséges feltétele, hogy a zátonyfront előtti áramlások oxigént és tápanyagokat juttassanak a zátony

életközösségeihez. A mai zátony-életközösségeknek az oxigénnel és tápanyaggal való ellátottsága elsősorban a korallokkal szimbiózisban élő, a környezetre és a tápanyagellátásra különösen érzékeny algaszervezetek miatt kiemelkedően jelentős. A zátonyok nem épülhettek volna fel a zátonyokat felépítő egykori élő szervezetekben végbemenő ásványi kiválás jelensége nélkül. Ezt a folyamatot biomineralizációnak nevezzük, amely egy rendkívül összetett folyamat, amelyben a zátonyokat felépítő növényekre és állatokra többek között a tápanyagok, a fény, a hőmérséklet és a fizikai, illetve kémiai formában oldott szén-dioxid is erősen hatnak. Így ezeket a tényezőket rekonstruálhatjuk a múltbeli zátonyok egykori élőlényeit vizsgálva.

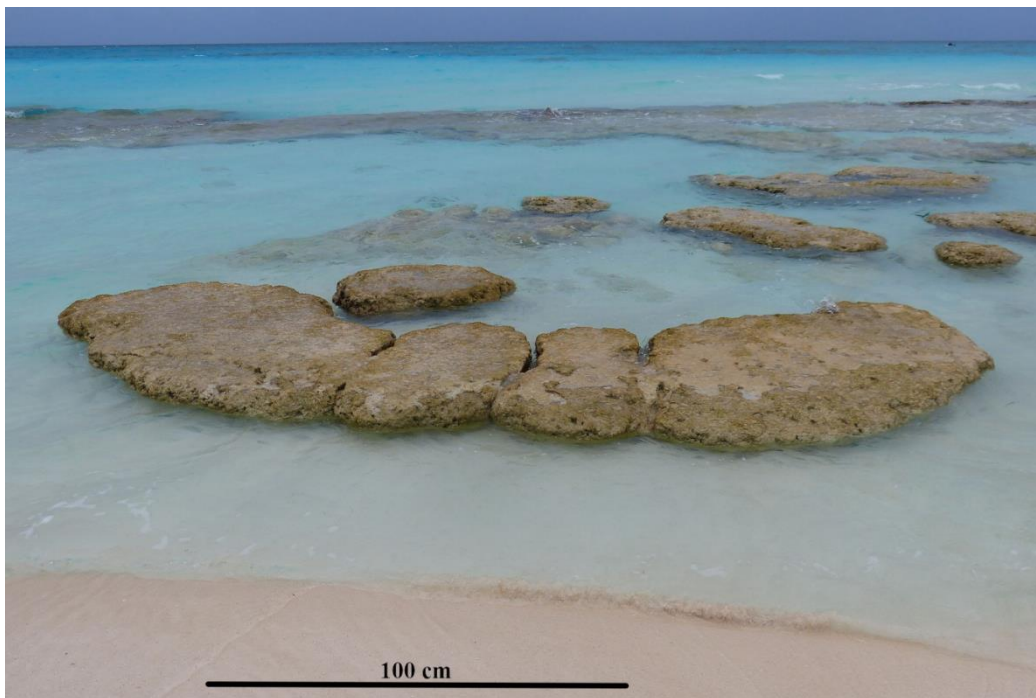


101. ábra Mai fajgazdag korallzátony (Forrás: wikipedia)

A továbbiakban megrajzoljuk a paleohidrológiai szempontból kiemelkedő jelentőségű zátonyok történetét, kezdve a prekambrium cianobaktériumok

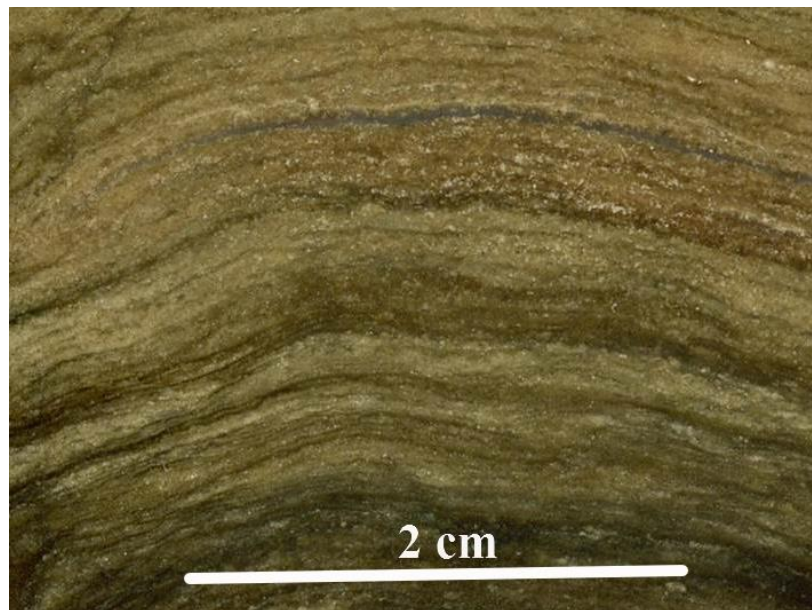
(*Cyanobacteria*) alkotta meszes sztromatolit képződményektől a modern kori korallalga-zátonyokig. Paleohidrológiai szempontból megvizsgáljuk, és itt röviden bemutatjuk a légköri szén-dioxid szintjének a zátonyképződésre kifejtett hatásait és megismerjük az óceánok jelenkori savasodásának paleohidrológiai előzményeit a földtörténetben.

A sztromatolit neve egy német geológustól származik, amelyet a görög stroma (réteg) és lithos (kő) szavakból képzett. Az elnevezés jól tükrözi a sztromatolit ún. karfiol jellegű szerkezetét (rétegzett-lemezes kő). A sztromatolit az ősi cianobaktériumok (kékalgák) élettevékenysége nyomán kialakult üledékes kőzet. Maguk a cianobaktériumok a legősibb életformák közé tartoznak földünkön. Valószínűleg már 3,8 milliárd évvel ezelőtt éltek a sztromatolitot képző kékalgák a bolygónkon, de ahogy feljebb is írtuk, 3,5 milliárd évtől kezdődően pedig már a fossziliákban is bizonyíthatóan jelen voltak oxigént termelve, ózonréteg nem lévén, ellenállva az akkori igen erős ultraibolya sugárzásnak. Árapály övezetekben a felszín közelében telepeket alkottak és alkotnak helyenként ma is (**102. ábra**).



102. ábra Mai kékalgák által létrehozott sztromatolit zátonyok az észak-amerikai Bahama-szigeteken (Forrás: wikipedia)

Felszínük ragacsos, nyálkás “biofilm”-szerű, a környezetükből felvett vas, szilícium-dioxid, kalcium- és magnézium-karbonát réteges egymásra növesztésével képezték kalciumtartalmú alkotóikat, majd később megfelelő feltételek mellett megkövesedtek, diagenizálódtak. Gyakran a sztromatolitok karbonát kiválása mellett kovartartalmú vagy palás kőzetekké alakultak. Csiszolás után mintázatuk jellegzetes, a sötétebb-világosabb legtöbbször hullámos rétegek miatt az “alga-keksz” elnevezéssel is illetik (**103. ábra**).



103. ábra Az algák által létrehozott sávós sztromatolit kifejlődés, 2,6 cm-es sávosan felépített sztromatolit részlet (algakeksz) (Woyming állam, USA) (Forrás: <http://www.jsjgeology.net/Stromatolite.htm> - szabadon letölthető és felhasználható ábra)

Ezek a legkorábbi időkben jelentkező biogén, eredetileg főként meszes sekélytengeri képződmények a prekambriumi sztromatolitok alkotta zátonyok voltak. Megközelítően 2,5 milliárd éven (3,8/3,5 milliárd évtől – 1,2/1 milliárd évig) keresztül ez volt az egyetlen zátonytípus. Felépítésében cianobaktériumok vettek részt, melyek ritmikus, napszak- és évszakfüggő aktivitása miatt az évgyűrűkhöz hasonlatos mintázatokban őrizték meg a bioritmusuk nyomát. A cianobaktériumok olyan nyálkamátrixot képeztek és képeznek ma is (például az ausztrál Cáva-öbölben), ami lehetővé tette a szerves szemcsék megtapadását,

valamint egyes ásványi anyagok, mint például a kvarc, a dolomit és a kalcit lerakódását (**104. ábra**). A vizsgálatok alapján ez az alganyák védhette a káros ultraibolya sugarak ellen is a cianobaktériumok sejtjeit. A cianobaktériumok által létrehozott sztromatolitok már 3,8 milliárd éve megjelentek, 3,5 milliárd éve pedig szétterjedtek a világtengerek sekélyvizű övezeteiben, és megjelenésük óta lényegében minden geológiai korszakból ismertek maradványaik.



104. ábra Mai sztromatolit kiépülése a kőgomba felszínén kialakult kékalga nyákkal (Forrás: Dr. Gulyás Sándor egyetemi adjunktus felvétele, 2019 – hozzájárulásával közölve)

Mintegy 3,8-2,2 milliárd évvel ezelőtt a légköri szén-dioxid-koncentráció mintegy százszorosa volt a jelenleginek. A légköri, vulkáni gázokból származó szén-dioxid kivonásában és megkötésében meghatározó szerepe volt a fotoszintetizáló cianobaktériumoknak. A fotoszintézis során keletkezett szerves anyagok egy része a tengeri üledékbe kerülve eltemetődött, szén vonva ki a geokémiai körforgásból. Feltehetően a fotoszintézis miatt csökkenő légköri szén-dioxid-szinthez az egykori cianobaktériumok fotoszintetikus rendszere folyamatosan alkalmazkodott. Valószínűsíthető, hogy a múltbeli légköri szén-

dioxid kivonásában, megkötésében azonban egy másik folyamat, a karbonátkiválás is szerepet játszhatott. Ma a tengerek, világóceánok vize enyhén alkalikus, a pH értéke 7,5-8,4 közötti. Viszont a Föld korai fejlődési szakaszában a jelentős atmoszférikus széndioxid koncentráció következtében a világtengerek vize enyhén savas volt és jelentős mennyiségű szabad széndioxidot és szénsav koncentrációt mutatott. Ennek nyomán a világtengerekben a kalcit- és aragonit telítettségi értékek alacsonyak lehettek. Ez nem kedvezett az élő szervezetek karbonát-anyagú vázépítésének. A cianobaktériumok fotoszintetikus szén-dioxid megkötése növelte a sejteik közvetlen környezetének pH-ját, ami elősegítette lokálisan a kalcium-karbonát biogén kiválását a kékalga szőnyeg mátrixában. Ugyanis a fotoszintézis szénsavat, vagy szén-dioxidot távolított el az ősi tengerek vízből és ennek nyomán a cianobaktériumok felszínén biogén mészkiválás indul meg a kékalga nyák felszínén bekövetkező pH és szén-dioxid koncentráció változás nyomán. Így a vízben jól oldódó kalcium-hidrogén-karbonáttal ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) szemben rosszul oldódó kalcium-karbonát (CaCO_3), kalcit csapódott/csapódik ki a cianobaktérium nyák, szőnyeg, telep felszínén. Így a cianobaktériumok megkezdte fotoszintézis okozta szén-dioxid elvonás, pH változást és a széndioxidnak a kalcium-karbonát formában történő megkötéséhez vezetett az ősi világtengerekben.

Ellenőrző kérdések:

- 6.1. Mit tekintünk ősmaradványnak?*
- 6.2. Melyek Földünk legősibb ősmaradványai?*
- 6.3. Mióta léteznek a Földünkön kékbaktériumok (kékalgák)?*
- 6.4. Hogyan és hol alakultak ki az első ősmaradványok?*
- 6.5. Az első ősmaradványok és a paleohidrológia kapcsolatát mutassa be.*
- 6.6. Mi az a Hadaikum?*
- 6.7. Mi az az Archaikum?*
- 6.8. Milyen paleohidrológiai változások játszódtak le az Archaikum során?*

6.9. *Mi az a Urey szint?*

6.10. *Mi az a chematon elmélet?*

6.11. *Mik azok a tengerfenéki termikus kémények és milyen szerepük volt a korai életformák kifejlődésében?*

6.12. *Hogyan keletkeznek a sztromatolitok?*

6.13. *Mi az a bioherba?*

6.14. *Hogyan keletkezik a zátonytest?*

6.15. *Mikor kezdődtek Földünkön a biogén eredetű zátonyok kialakulása?*

Proterozoikum eon (2,5 milliárd – 541 millió évek között)

A cianobaktériumok uralmával jellemezhető archaikum időszakát követően megjelentek az eukariótákhoz tartozó zöldalgák (**105. ábra**). Ezek az eukarióták már tartalmaznak kloroplasztiszt, így hatékonyabb fotoszintézisre képesek, és több oxigént termelnek. Kialakulásukkal a fotoszintézis jelentősége megnövekedett, és hatásuk a légkör összetételére alapvetővé vált. A folyamatos oxigenizáció miatt már az archaikum során az óceán és a tengerek fenékszintjében sávos vasérc, hematitok (Fe_2O_3) képződtek (**106. és 107. ábra**). Az oldott vas mennyisége annyira lecsökkent, hogy már nem tudta megkötni a szabad oxigént, ami ökológiai katasztrófához vezetett, hiszen így elérte a mai oxigénszint 1%-át (*Pasteur szint*). Az oxigént elviselő, majd azt hasznosítani is tudó formákból új életformák jöttek létre, mivel a fermentáló létformák a mai oxigénszint 1%-ánál visszaszorultak, míg a sejtes szintű akkori élet áttért a sejtlégzésre. A sávos vasérc (**106. és 107. ábra**) képződése 1,8 milliárd éve ért véget, a légköri oxigéntartalom ettől kezdve ugrásszerűen nőni kezdett.



105. ábra Zöldalgák típusai Ernst Haeckel átfogó munkájából (Forrás: wikipédia) *Caulerpa racemosa*; *Caulerpa uvifera*; *Caulerpa pinnata*; *Caulerpa peltata*; *Caulerpa paspaloides*; *Caulerpa macrodisca*; *Struvea plumosa*; *Neomeris kelleri*; *Acetabularia mediterranea*; *Bornetella capitata*



106. ábra Archaikus sávos vasérc Ausztráliában (Forrás: wikipedia)



107. ábra Archaikus sávós vasérc Ausztráliában (Forrás: wikipedia)

Ugyanis a cianobaktériumok, majd a 2,0-1,7 milliárd évtől megjelenő zöldalgák fotoszintézise nyomán légköri szén-dioxid koncentrációjának lassú csökkenésével a proterozoikum folyamán az extracelluláris kalcium-karbonátkristályok kicsapódása a korai alga egyedek környezetében egyre könnyebben ment végbe. A tengerfenéki karbonátok képződése felgyorsult, amikor a légköri szén-dioxid parciális nyomása lecsökkent, bár a mai szintnek több mint 30-szorosa jelentkezett még ekkor. A csökkenés következtében a tengervízből kiváló kalcium-karbonát mészszip formájában kezdett felhalmozódni a tengerfenéken mintegy 1,4-1,3 milliárd évvel ezelőtt. Megjegyzendő, hogy karbonátos mészkövek kisebb kiterjedésben és alárendelt mennyiségben már korábban is képződtek, sőt egyes grönlandi mészkövek átkristályosodására és márvány képződésére már 1,8 milliárd évvel ezelőtt is sor került.

A cianobaktériumok (és később a zöldalgák) által létrehozott sztromatolit zátonyképződmények több száz méteres vastagságot érhetnek el olykor. Az észak-amerikai Nagy-Rabszolga-tó partjait alkotó, közel 2 milliárd éves fosszilis zátony még ma is jelentős vastagságú. Típusos, a perkambriumi sztromatolitokra

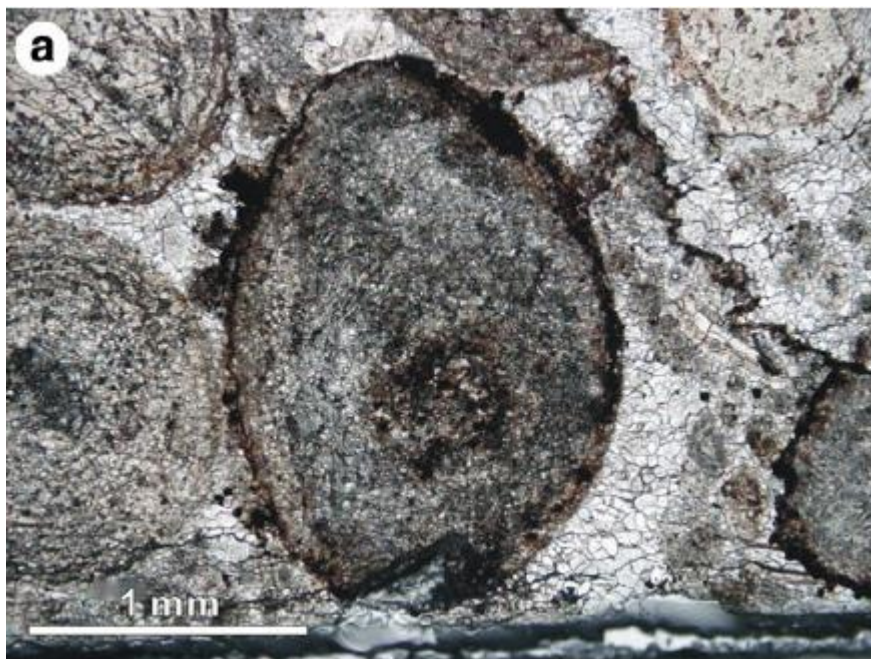
emlékeztető képződmények jelenleg a nyugat-ausztráliai Cáp-öbölben figyelhetők meg, azonban a Föld több pontján, elsősorban túlsós (hiperszalin) trópusi-szubtrópusi lagúnákban máshol is előfordulnak sztromatolitok (a Bahamákon, a Perzsa-öbölben, Peru, Brazília partjainál). A Cáp-öbölben képződő recens sztromatolit-zátony is egy melegvizű lagúnában tenyészik (**96. és 104. ábra**), ugyanis az öböl túl sós (hiperszalin) vizében nem élnek meg cianobaktériumokat fogyasztó élőlények. A Cáp-öböl aktuál hidrológiai példája alapján is feltételezhető, hogy éppen a cianobaktériumokat fogyasztó heterotróf szervezetek (korai állatok) megjelenése vetett véget a sztromatolit-zátonyok korának, és alapozta meg a későbbi nagy fanerozoikumi zátonyképződmények létrejöttének alapját.

Ekkor már a kedvezőbb feltételeket nyújtó élőhelyeket elfoglalták a magasabb rendű élőlények, így a ma is élő, sztromatolitokat kialakító, meszet kiválasztó cianobaktérium taxonok csak extrém körülmények között tudtak fennmaradni. Ilyen hely a nyugat-ausztráliai *Cervantes* város melletti Thetis-tó, vagy az ausztráliai *Hamen Pool* mellett található Cáp-öböl, ahol extrém sugárzás, sótartalom és magas vízhőmérséklet jellemzi a környezetet. Jellemzően előfordulnak még sztromatolit formációk Brazíliában, Peruban, Namíbiában, a Bahama szigeteken, sőt nem oly régen kisebb sztromatolitokat fedeztek fel Észak-Írországból.

A cianobaktériumok és a zöldalgák élettevékenysége során a szerves anyagban és a karbonátban megkötött szén-dioxid miatt 800–775 millió évvel ezelőtt a légköri szén-dioxid parciális nyomása a 4000 ppm alá (a mai szint tízszerese alá) esett, és megkezdődött a közvetlenül a kékalgákat beborító kalcium-karbonát-köpeny lerakódása. Ebben a korban jelent meg az egyik legfontosabb vezérvölvet, az élő kövület, napjainkban is megtalálható *Girvanella* kékalgákhoz sorolható mészalga. *Hughes* 1900-ban írta le fekete bitumenes mészkőből feltárt *Girvanella* által bekérgezett csomókat, onkoidokat, mint mandula közeteket (**108. ábra**). Ezek a csomók, onkoidok az alacsonyrendű

állatok és növények maradványai, közte a *Girvanella* kékalgák bekéregzéseit alkotják. Magukat a *Girvanella* mészalgákat *Nicolson* és *Etheridge* írták le 1878-ban Anglia északnyugati részén *Girvan* halászkikötője mellett, az *Ayrshire* partvidéken.

A *Girvanella* algák által képzett nagyméretű (néhány cm-es) onkoidok későbbi korokból is ismertek, így zátonyépítő szerepük volt az ordovíciumban is, de a magyarországi őslénytani és földtani elemzések alapján hasonló eredetűek a központi Mecsek területén fellelhető, a triász időszakai Kantavári Formáció Kisréti Mészke Tagozatában található 7–8 cm-es átmérőt is elérő, plasztikusan deformált onkoidok, melyek puhatestű héjak algás bekéregzésével alakultak ki, de ismereteseek a szabadbattyáni karbon mészkőben is *Girvanella* maradványok.



108. ábra *Girvanella* onkoid a paleozoikumi képződményből (Forrás: researchgate: Liu, W., Zhang, X. 2012. *Girvanella*-coated grains from Cambrian oolitic limestone. *Facies*, 58, 779-787, a corresponding author írásbeli engedélyével közölve)

Az eddigi legkorábbi soksejtű ősmaradványok (Metazoák) 2,1 milliárd évesek, melyeket az afrikai Gabonban találtak, Franceville közelében (**109. ábra**). Bár már az első élő sejteket képviselő ősi sejtmagnélküliek (prokarióták) is képesek voltak plazmahídon keresztül (konjugációval) géncserére. Viszont a valódi

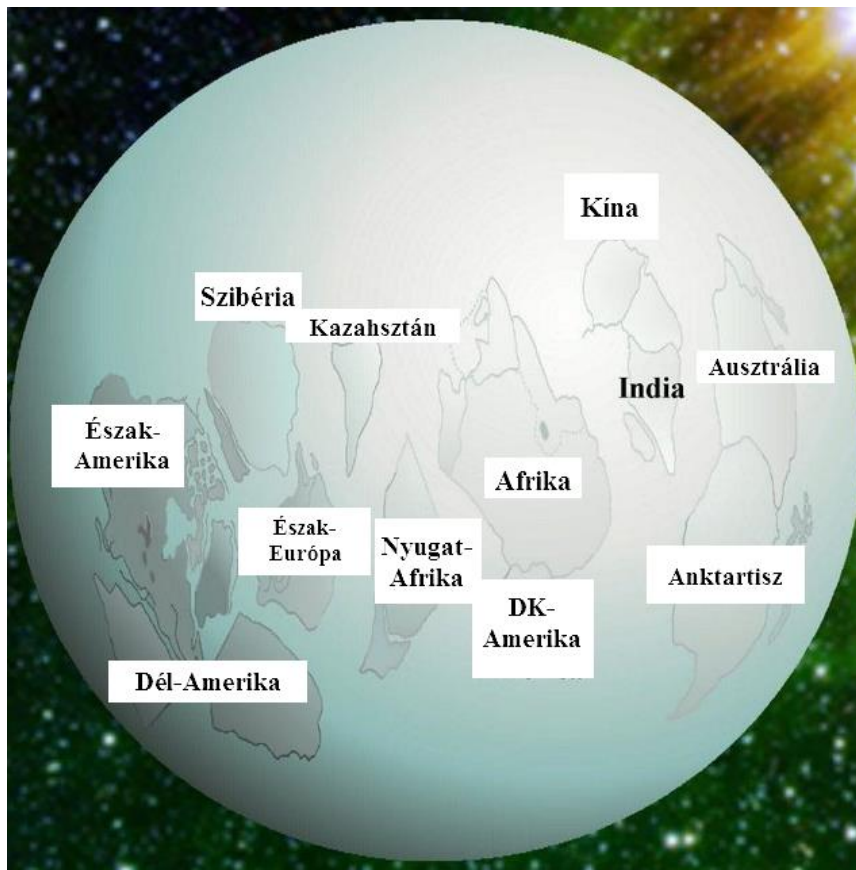
szexuális szaporodás, mely a variabilitás növelése révén felgyorsította a törzsfajlódást, csak a valódi sejtmagvasokra (eukariótákra) jellemző, mintegy 2 milliárd éve alakult ki. Így a soksejtű élőlényeknek a megjelenésétől az ivaros szaporodás jelentősége és ezzel párhuzamosan a géncsere, génkombináció jelentősége fokozatosan megemelkedett – a törzsfajlódás felgyorsulhatott.



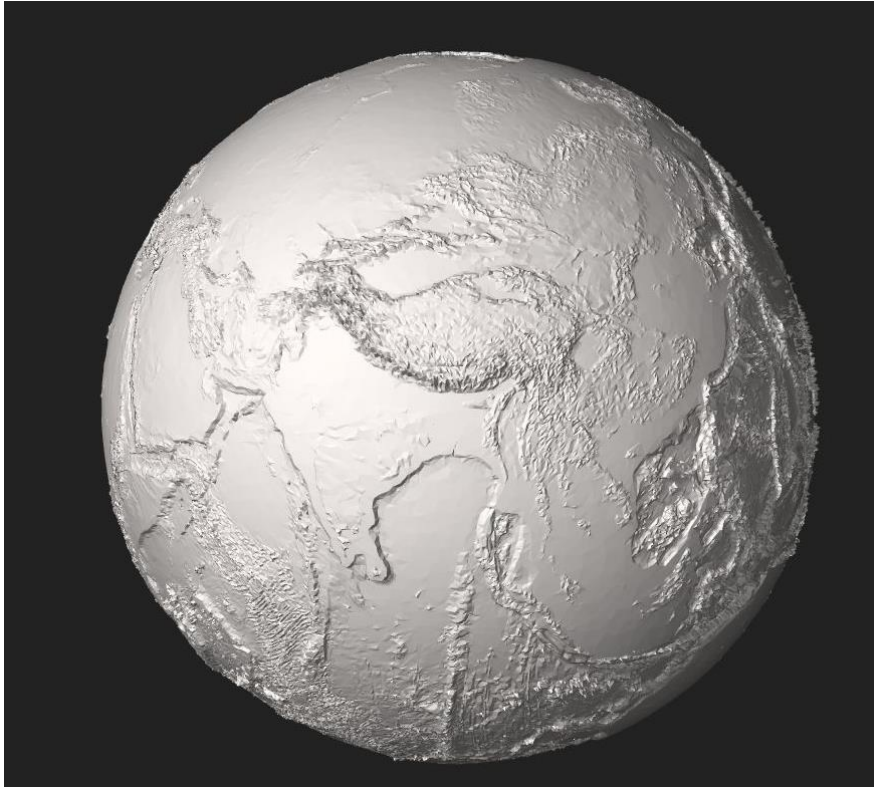
109. ábra Az első Metazoa taxonok egyike az afrikai Gabonból, a Francevillian biotából (Gabonionta makrofosszíliák közül) (Forrás: wikipedia)

Az eukariótákhoz tartozó zöld algák mintegy 1,8 milliárd éve, az első gombák 1,3 milliárd éve jelentek meg. A megközelítőleg 1,2 milliárd éves ausztrál homokkőben mászásnyomokat is találtak, amelyeket a leírás szerint egy „féregszerű”, valószínűleg már valódi szövetekkel rendelkező állat hagyhatta hátra. Hasonló nyomfosszíliára bukkantak Indiában is, az akkoriban sekély tengeri elöntéssel borított területen. Így jutottak arra a következtetésre, hogy a többsejtű állatok kialakulása több mint 1 milliárd éve történt. Ebben az időszakban élhetett egy úgyszintén féregszerű állat, az *Urbilateria*, amely a mai ős- és újszájúak feltételezett közös őse.

A proterozoikumi korai fotoszintetizáló szervezetek szén-dioxidot megkötő és oxigént felszabadító mechanizmusának fejlődése 750–625 millió évvel ezelőtt, a Snowball = „hólabda Föld” (110. ábra) korszakában (az elnevezés a globális szintű, az egész Földünkre, tengerekre és szárazföldekre egyaránt kiterjedő eljegesedésre utal) lelassult. Ugyanis a hideg tengervíz elősegítette a fizikailag oldott szén-dioxid pusztán diffúzió által történő felvételét a sejtekbe. Ezzel párhuzamosan megszűnt a karbonátos, algák által kialakított sztromatolit zátonyok képződése a Földön. Ezt a hólabda Föld állapotot kriogén korszaknak is nevezik (111. ábra).



110. ábra Hólabda (Snowball) állapotú Föld az archaikum végén (750-625 millió évek közötti kontinens elhelyezkedéssel) (Forrás: researchgate: Dias, M. S., de Mattos, J.R.L. Human race actions versus the breaking of the CO2 equilibrium limit. International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2011 Belo Horizonte, MG, Brazil, October 24-28, 2011 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA NUCLEAR, első szerző [corresponding author] írásbeli engedélyével közölve



111. ábra A hólabda (Snowball) állapotú Föld a mai kontinens elhelyezkedésre kivetítve (Forrás: wikipedia)

Ezen földtörténeti állapot és korszak kifejlődésében alapvető szerepet játszott a *Rodinia* szuperkontinens kialakulása 1,1 milliárd éve, majd 750 millió évvel ezelőtti, tektonikus hatásra bekövetkező széttöredezése. A *Rodinia* (oroszul anyaföld) szuperkontinens tektonikus szétesése során a távolodó óceáni lemezek szegélyeinél kialakuló óceánközépi hátságokban, a köpenyből feláramló hatalmas hő- és anyagmennyiség nyomán jelentős mennyiségben vas és szilícium került a vasban dús szilikátolvadékból az óceánba és a bazaltos vulkáni működés következtében igen jelentős mennyiségű üvegházhatású gáz (széndioxid, metán, ammónia, vízgőz) került a légkörbe.

A legelfogadottabb földtani modellek alapján az igen jelentős széndioxid felszabadulás nyomán, valamint az algafogyasztó élőlények minimális jelenléte miatt a cianobaktériumok, valamint jóval gyorsabb és organizált anyag- és energiaforgalommal jellemezhető eukarióta zöldalgák elképesztő módon elszaporodtak. A korai algák élettevékenysége során olyan drasztikusan

lecsökkent az üvegházhatás, amely hatására oly mértékű lehülés alakult ki 850 és 635 millió évek között, hogy ennek következtében a sarki jégsapka az Egyenlítőig húzódott és kialakult a földtörténet legjelentősebb jégkorszaka (snowball állapot). Az Egyenlítőig húzódó tengeri jég bizonyítékai a tengeri üledékben talált „dropping stones”-ok (hulló kövek), amelyek a tengeri jégben, tengeri gleccserárákkal, a jégbe fagyva kerültek az Egyenlítő környékére. Majd a tengeri jég, tengeri jégárak elolvadása után ezek a jégbe fagyott kövek kiolvadtak és behullottak a laminált neoproterozoikumi tengeri üledékekbe (112. ábra).

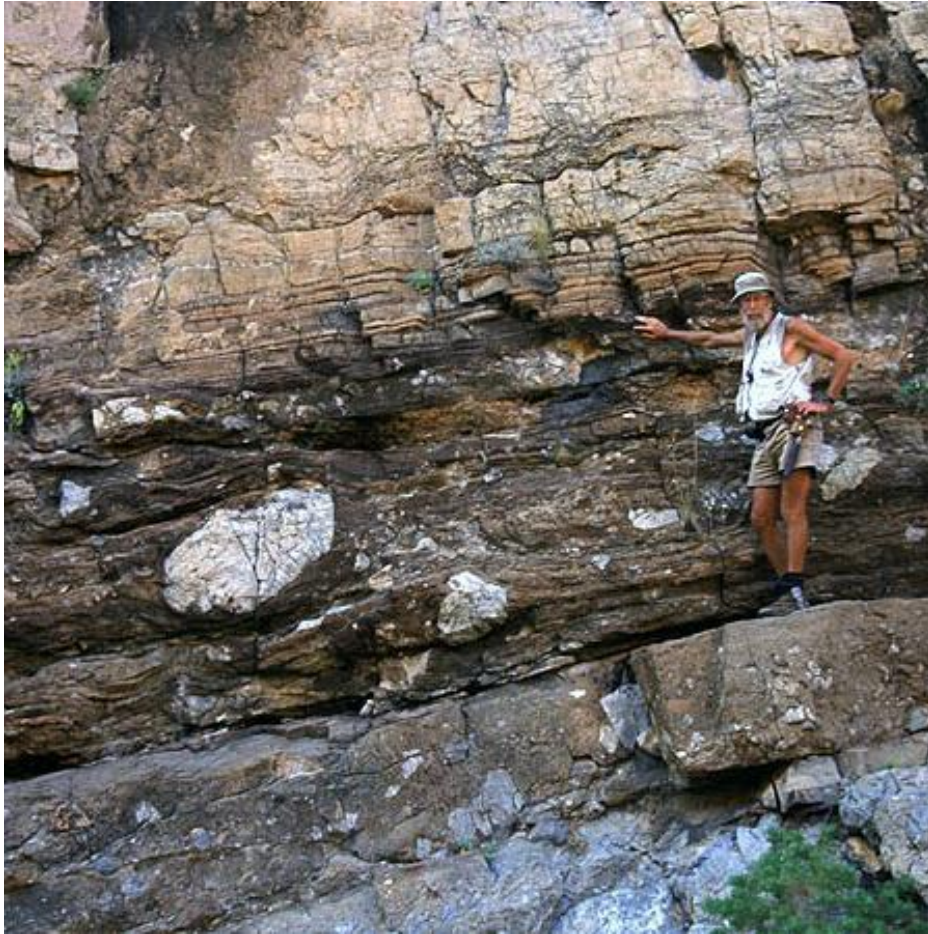


112. ábra Tengeri jégből származó hulló kő (dropping stone) a finoman laminált neoproterozoikumi tengeri üledékben (forrás: wikipedia)

E folyamatok bizonyítékként tártak fel óriási kőtömböket finoman rétegzett laminitekbe ágyazva a Spitzbergákon, Grönlandon, Ausztráliában, Namíbiában és az észak-amerikai Nagy-medencében. A tengeri, különösen a nyílt tengeri laminitek rendkívül ritkák, mivel a mélytengeri áramlások, közte az egész világtengereken végighúzódo thermohalin áramlás–cirkuláció során ez a finom lamináció nem alakulhatott ki a turbulens tenger- és óceánfenéki vízmozgások következtében. Így a hulló kövek tengerfenékre süllyedése idején nem működtek ezek az áramlások, közte a thermohalin áramlás sem, vagyis a neoproterozoikumi laminit képződés anoxikus környezetben, áramlás- és turbulensmentes közegben zajlott (**112. ábra**).

A prekambriumi jégkorszaki rétegek fölött több méter vastagságban, kifejlődésében szervesetlen úton, kicsapódás nyomán képződött karbonátos képződmények, az ún. „fedő karbonátok” találhatóak. Ezek a geológiai rétegek jelentős vastagságban és hirtelen fejlődtek ki a jégkorszaki tengeri jég által szállított hulló köveket tartalmazó, karbonátban szegény rétegek fölött (**113. ábra**). Ennek nyomán geológiai értelemben véve hirtelen érhetett véget a globális jégkorszak. Ausztráliában 580 millió éves, 90 km átmérőjű kráterre bukkantak, amit egy becsapódás okozott, így rengeteg gáz és por került a levegőbe. A becsapódás a földkérget megsértve intenzív vulkáni aktivitást idézhetett elő, amelynek során a jeget átolvasztotta a kitörő magma, s ezzel szintén nagy mennyiségben kerültek ki üvegházhatású gázok a légkörbe, drasztikusan felgyorsítva a felmelegedést. Az üvegházhatású gázok jelentős mértékű növekedésének következményeként a jégtakaró elolvadt, megnövelve ezzel az óceánok szintjét és a csapadék mennyiségét. A légkör magas CO₂ tartalma miatt az esővízben szénsav képződött, ezért az enyhén savas pH-jú volt. Mivel az óceánból a biomassza nem tudta elég gyorsan megkötni a széndioxidot, megnőtt a víz karbonát tartalma, a tengervíz túltelítetté vált karbonátokra nézve és szervesetlen kiválású karbonátok fejlődtek ki, és több tíz centiméteres karbonát kristályok formájában leülepedtek a világtenger

feküjében. Ez volt a földtörténet utolsó olyan jelentős környezeti változása, amelyben az élővilágnak még csak marginális szerep sem jutott.



113. ábra Fekü szintben tengeri laminált rétegekben felhalmozódott jég által szállított hulló kövek és a fedőben a globális felmelegedés hatására kialakult fedő karbonát (cap carbonates) réteg (Forrás: Dr. Michael Hambrey Emeritus Professor írásbeli hozzájárulásával közölve:

<https://www.swisseduc.ch/glaciers/glossary/snowball-earth-en.html>)

Az eddigi földtörténet legjelentősebb, egész Földünkre kiterjedő eljegesedést okozó jégkorszak után a felmelegedő bolygónkon ismételten megjelentek a sztromatolitok, és nagy kiterjedésű cianobaktérium zátonyok képződtek a neoproterozoikumban, a proterozoikum eon utolsó szakaszában is, mintegy 600 millió évvel ezelőtt. A cianobaktériumok paleohidrológiai jelentősége még, hogy kiváló fehérje- és energiaforrásként igen fontos szerepet töltek be, és töltenek be még ma is a földi ökoszisztémában, mivel az egyes vízterekben a vízvirágzást (kékalga virágzást) követően halfosszíliák felhalmozódása indult

meg. Ugyanis a kékalga elszaporodásakor toxikus anyag szabadul fel, amely nyomán a halak tömegesen pusztulhatnak el.

A cianobaktériumok egyik rendjébe a legegyszerűbb taxonok tartoznak, amelyek csak egysejtűek, gömb vagy ellipszoid alakúak, sohasem fonalások, csak laza sejtcsoportosulásokat alkotnak. Ide sorolhatók a *Microcystis* és *Merismopedia* taxonok. Az egyik legfontosabb csoportot a sztromatolit építő *Collenia undosa* alkotja, amelyeket többek között vasas prekambriumi formációkból lehetett kimutatni. Másik cianobaktériumokhoz sorolható rendnél fonalás formák is megjelentek, míg a harmadik rendnél soksejtű úszó formák, illetve talajhoz, sziklához rögzült telepes formák is kialakultak. Ez utóbbihoz soroljuk a magyarországi szikéseken elterjedt *Nostoc commune* fajt is.

Ellenőrző kérdések:

7.1. Mi az a Pasteur szint?

7.2. Hogyan kapcsolódik a Pasteur szint a paleohidrológiai rendszerekhez?

7.3. Mi az a Girvanella?

7.4. Mikor jelennek meg az első szövetes élőlények?

7.5. Mi az a Snowball állapot?

7.6. Mikor alakult ki a Snowball állapot?

7.7. Mi okozta a Snowball állapot kialakulását a jelenlegi adataink alapján?

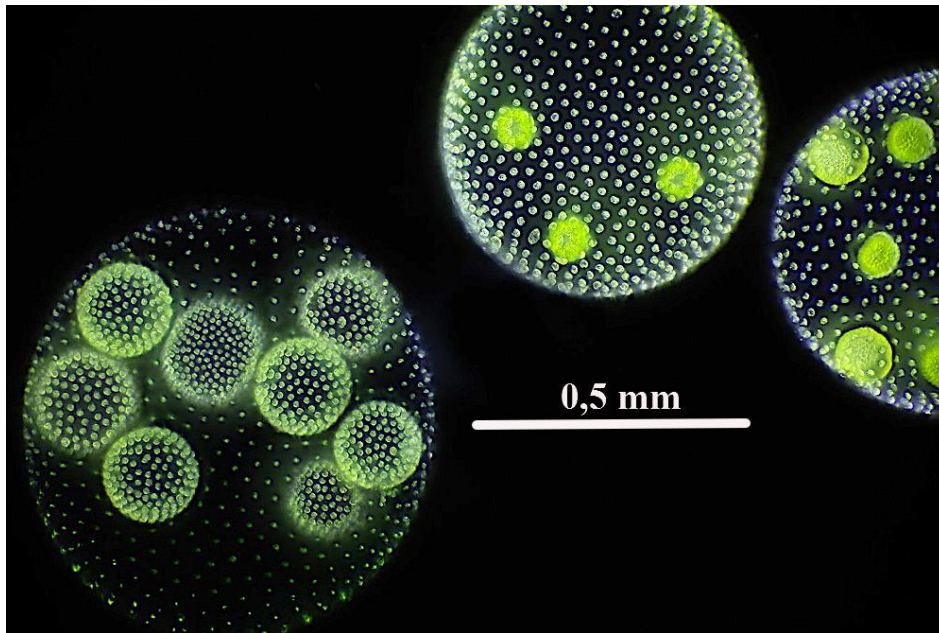
7.8. Milyen paleohidrológiai változások okozták a Snowball állapot megszűnését?

4.6.1.2. Zöldmoszatok (Zöldalgák)

A zöldmoszatokat korábban egy önálló törzsbe sorolták, de a legújabb paleohidrológiai célú taxonómiai vizsgálatokban a zöldmoszatok (zöldalgák) törzséhez sorolt fajokat két törzsbe, az ún. „valódi zöldmoszatok” (*Chlorophyta* – zöldalgák) és csillárcamoszatok (*Charophyta*) törzsére osztjuk. Ebbe a két törzsbe mintegy 16 000 fajt sorolunk. Az eukariótákhoz sorolható zöldalgák 2,0-1,7 milliárd évek között, átlagosan 1,8 milliárd évvel ezelőtt a proterozoikum

eon során jelentek meg. Zöld színű, egysejtű, többsejtű, sejtfonals moszatok, amelyek ugyanazt a zöld színanyagot tartalmazzák a sejtjeikben, mint a magasabb rendű növények, ezért a magasabb rendű szárazföldi növényeket ezekből a zöldalgákból származtatják. A szintestek az ősi formáknál serleg alakú, a későbbi zöld alga csoportoknál hálós, csillag, spirális szalag, korong alakúak. Döntően telepeket (csillárkamoszatok) hoznak és hoztak létre, bár felépítésük változatos, mivel egysejtű formától (gombostűfej moszat), a sejttársulásokon (harmonikamoszat), sejtfonalsokon (békanyál), lemezeken (tengeri saláta) keresztül mindenféle alakban megjelenhetnek. Az ősi csoportjaiknál vakuólumok helyett lüktető üröcskék fejlődtek ki, amelyek a sejtbe beáramló vizet folyamatosan ürítik ki. A későbbi zöldalga formákban már kialakultak a cellulóz és pektinrétegekből álló, helyenként mészbekötődéseket, mangánvegyületeket tartalmazó sejtfalak, a sejtjeikben egy-egy jelentős kiterjedésű központi vakuólum fejlődött ki. A mozgó alakok fototaxisra is képesek, az erős fénytől távolodva, a gyenge fényel megvilágított részek felé úsznak. Tartalék tápanyaguk a keményítő, de egyes taxonokban a sejtmag körül zsíros olaj jelentkezik. Szaporodásukban ivaros és ivartalan szaporodási formák egyaránt jelen voltak és vannak, sőt a kedvezőtlen időszakot kitartósejtekkel vészeli át, illetve a 2-3 sejtfal réteggel körülvett, tartalék tápanyagokat raktározó zigóta (alga spóra) is képes átvészelni ezeket a kedvezőtlen periódusokat. A zöld algák között is ismeretesek sztromatolit zátonyt építő alakok, mellette ostoros zöldmoszatok (*Volvocales*), amelyek ostorokkal mozognak és sejttársulásokat alkotnak. Ezeknél a kocsonyás megjelenésű sejttársulásoknál akár 2000 sejt is tömörülhet (**114. ábra**). A valódi zöldmoszatok mellett a csillárkamoszatok törzsébe sorolható járommoszatok (*Zygnematophyceae*) többsége egysejtű kifejlődésben jelentkezik. A legfejlettebb moszatok, a csillárkamoszat (*Chara*) formák a rhizoidokkal az aljzathoz kötődő csomókkal és szárközökre tagolódnak, és csomóikban örvösen álló oldalágak erednek. Az egész telepes növény szinte virágos növényként

jelenik meg az édesvizekben (**115. ábra**). Legismertebb képviselőik a *Chara* és *Nitella* nemzetségbe sorolhatók, amelyeknél ivaros szaporodás zajlik, a női ivarszervben (oogoniumban: **116. ábra**) elhelyezkedő mozdulatlan petesejtet a hímivarszervből kiszabaduló kétostoros hímivarsejt termékenyíti meg. A *Chara* és *Nitella* nemzetségbe tartozó fajok sűrű gyepet alkotnak a sekély tavak, sőt akár mesterséges árkok fenékszintjében is.



114. ábra Zöldalga, Volvox telep (Forrás: wikipedia)



115. ábra Zöldalga, Chara – csillárkamoszat telep (Forrás: wikipedia)

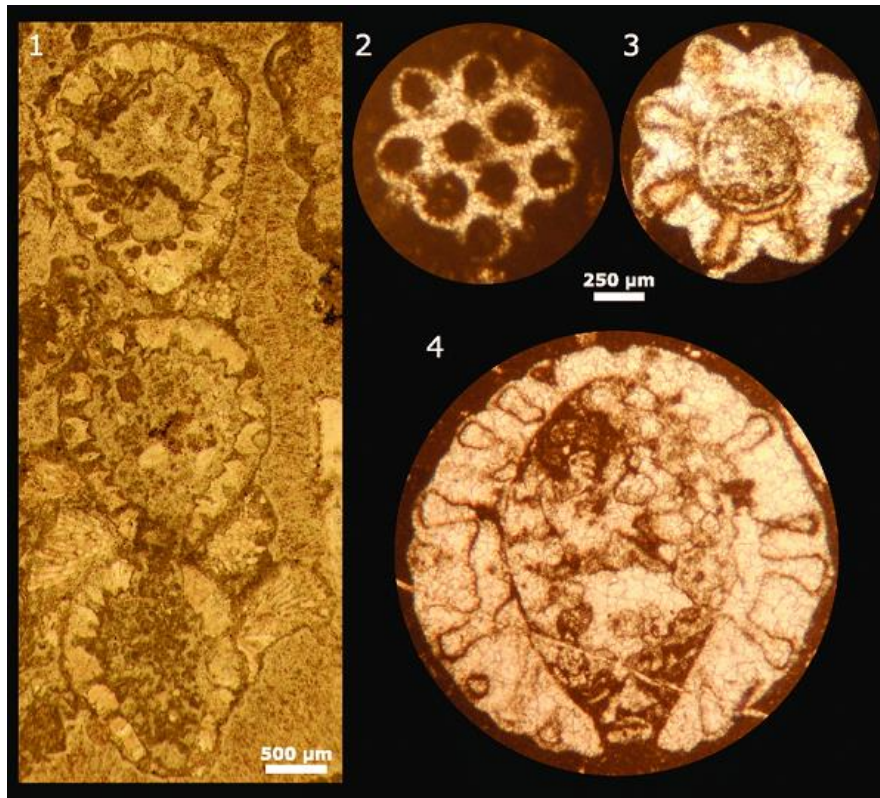


116. ábra *Nitellopsis obtusa* csillárkamoszat fosszilis oogoniumja (női ivarszerve) (Forrás: szerző felvétele – Kolon-tó holocén rétegeiből)

A zöldalgák paleohidrológiai szempontból fontos csoportját alkotják a meszet elválasztó taxonok. Az elpusztult zöldalgák mészsanyaga a trópusi sekély tengerekben keletkező mészszip, a későbbi mészkő fontos alkotóelemei. Maradványaik gyakran kicsiny, üres hengerek a falukat áttörő nyílásokkal és üregekkel. A Kárpát-medence rétegsoraiban számos korból ismerünk paleohidrológiai elemzésekben felhasználható mészalgákat.

A Bükk-hegység felső-karbon mészkőlelencséiben az *Anthracoporella* és *Dvinella* nemzetségek fordulnak elő, míg a felső-perm üledékekben (például Nagyvisnyói Mészkő Formáció) a *Vermiporella* és a gyöngysorszerű *Mizzia* (117. ábra)

tömegesek lehetnek. A triász időszakot sokféle sekélytengeri karbonátos kőzet képviseli sok zöldmoszat maradvánnyal².

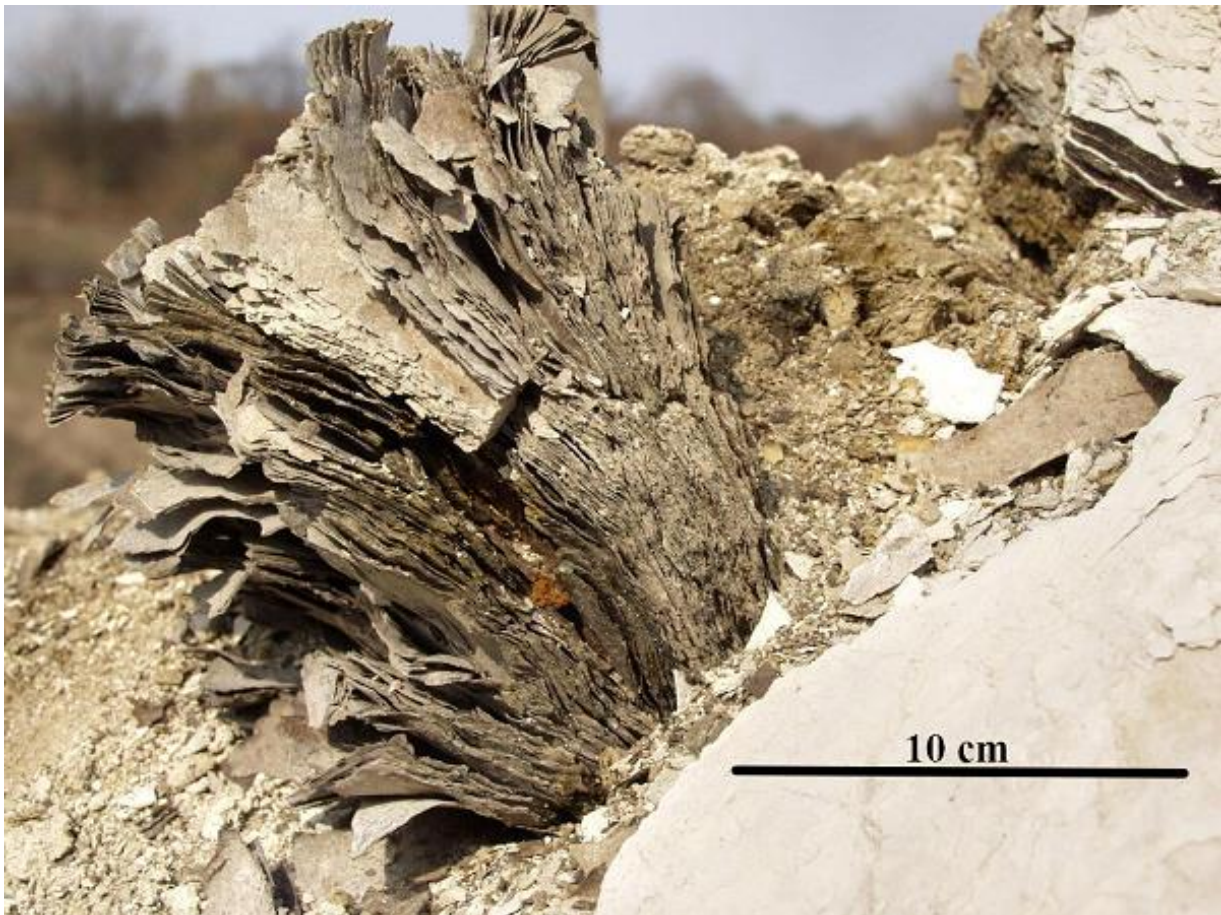


117. ábra *Mizzia velebitana* mészalga csiszolatok tengeri (lagunáris) mészkövekből (Forrás: researchgate: Granier, B.R., Lethiers, A. (2017). *Draconisella mortoni* sp. nov., a *Mizzia*-like *Dasycladalean* alga from the Lower Cretaceous of Oman. *Palaeontologia Electronica*, 20 – az első szerző [corresponding author] hozzájárulásával bemutatva)

Az egyik kőzettípust, amelyik például a budaörsi hegyek egy részét is alkotja, a rá jellemző mészalgáról (*Diplopora*) *diploporás dolomit*nek is hívják. A Kárpát-medence kréta időszaki sekélytengeri mészköveiben gyakori forma a *Salpingoporella*. A Bakony kréta édesvízi üledékeiben a *Munieria* nemzetség olykor kőzetalkotó jelentőségű, például a középső-kréta „*munieriás agyagmárgában*”. A *Halcoryne* nemzetség pedig különösen a kainozoikum éra miocén időszakában keletkezett tengeri üledékek némelyikére jellemző.

A *zöldmoszatok* (*Chlorophyta*) közé nagyon különböző, egy-, vagy soksejtű élőlények tartoznak, amelyek a földtörténeti idő különböző időszakában jelentek meg. Legtöbbjük édesvizekben él, de van néhány tengerben élő forma is, amely

geológiai szempontból nagyon jelentős. Az édesvízi üledékek gyakori telepesezőldmoszata a *Botryococcus* is, amelynek vízhőmérséklet optimuma 23 °C körüli, kedveli a 12 órán át átvilágított, kevésbé sós, kevés oldott nátriumkloridot tartalmazó vizeket. Kárpát-medencebeli előfordulásai közül a dunántúli (*Pula, Gércse* stb.) pliocén korú olajpalái érdemelnek említést (**118. ábra**). Ennek az éghető kőzetnek a másik nevét (*alginit*) a *Botryococcus* nemzetségbe tartozó moszatok (algák) itt kőzetalkotó mennyisége adja, de maradványaik felismerhetőek a mecseki jura és a dorogi eocén kőszenes rétegsorokban is.



*118. ábra Féléves laminációt mutató alginit levelek a pulai alginitbányában
(Forrás: wikipédia)*

Paleozoikum éra (mintegy 541 – 252 millió évek között)

A látható állati élet, a fanerozoikum eon három érája (paleozoikum, mezozoikum, kainozoikum) közül a legkorábbi, amely 542 és 251 millió éve között fejlődött ki. Hat időszakra (kambrium, ordovicium, szilur, devon, karbon,

perm) osztható. Az érá az első kemény héjú maradványok első megjelenésének időpontjától számítjuk a jelentős testtömegű, kifinomult felépítésű hüllők és viszonylag modern növények uralkodásának kezdetéig. A kezdetet a háromkaréjú ősrákok (trilobiták), a zátonyépítő ősszivacsok (archaeocyathák) első megjelenése fémjelzi, a végét a 300 millió évvel későbbi nagy kihalás (ekkor a fajok 70%-a kipusztult), a permi kihalás időpontjára tesszük. Az éra kezdetekor az életet főként baktériumok, cianobaktériumok, és zöldalgák, archaeocyathusok, valamint a neoproterozoikum végén jelentkező *Ediacara-fauna* túlélő formái alkották. Változatos élővilágnak jelentős számú taxonjai jelent meg szinte egy időben az időszak kezdetén – ezért is hívjuk kambriumi életrobbanásnak ezt a horizontot. Elsősorban biogeokémiai bizonyíték van arra nézve, hogy az egyszerű élőlények (elsősorban a rosszul fosszilizálódó zuzmók) a paleozoikum kezdeténél meghódították a szárazföldet, ám az alapvető növényekről és állatokról ez nem mondható el egészen a szilur időszakig. Kezdetleges gerinces csoportok és taxonok ugyan megjelentek a paleozoikum kezdetétől, de az állatok jelentős részét elsősorban gerinctelen taxonok alkották a paleozoikum közepéig. Ekkor a hal populációk robbanásszerűen fejlődésnek indultak és a gerinces fauna aránya fokozatosan megemelkedett. A paleozoikum második felében a kezdetleges szárazföldi növényekből álló erdők fokozatosan meghódították a szárazföldet, és ezzel párhuzamosan a szárazföldi gerinces fauna is kifejlődésnek indult. A paleozoikum végén megjelentek az első hüllők és első modern növények, majd a perm időszak végénél egy igen jelentős kihalási hullámnál, amikor a tengeri élővilág 96%-a, valamint a szárazföldi gerinces fajok 70%-a kihalt, húzták meg a paleozoikum végét, a mezozoikum kezdetét. A paleozoikum során igen jelentős paleohidrológiai változások történtek, amelyek nyomán előbb az édesvízi, majd a szárazföldi élet kialakulhatott. Döntően a legfontosabb paleozoikumi paleohidrológiai változásokra és hatásukra térünk ki ebben a fejezetben, nem részletezve azokat evolúciós szempontból, mivel az a Föld és élet fejlődése tárgy feladata.

Kambrium időszak (megközelítőleg 542 – 485 millió évek között)

A kambrium (Wales római kori nevéből) a fosszilizáció kezdetének egyik legjelentősebb időszaka³. A fosszilizációra alkalmas állatok első nagy radiációja alakult ki ebben az időszakban, a „kambriumi robbanás” (530-520 millió évek) során a diverzitás megnövekedett, és már jelen volt az összes ma ismert állattörzs. Valószínűleg a ragadozók és a lebontó szervezetek is jelentősebb tömegben jelentek meg, amelyek ellen a lágy test nem nyújt védelmet, így a szilárd váz kialakulása evolúciós előnyt jelenthetett.

A kor egyik legjellemzőbb ősmaradványait és paleohidrológiai változásait a Burgess-pala (Kanadai Sziklás hegység, Brit-Kolumbia) tartalmazza, amely ezen időszak és a földtörténet egyik legjelentősebb lelőhelye. A lelőhely egy tenger alatti sziklafal, egy tenger alatti karbonátos platform peremén sekély tengerben lerakódott iszap (jelentős szervesanyag-tartalmú agyagos kőzetliszt), amely időként a lejtő peremen megcsúszott és lavinaszerűen a mélybe zúdult. A hirtelen felhalmozódó finomszemű üledék jelentős számú egykori élőlényt temetett magába és ezek lenyomatai a kőzetté válás (diagenézis) során megőrződtek.

A 200 taxont meghaladó tengeri fossziliák között megjelentek a kemény héjak a puhatestűeknél (Mollusca), kitines külső vázak az ízeltlábúaknál (*Arthropoda*) és tüskésbőrűeknél (*Echinodermata*). Sőt a gerinchúrosok (Chordata), a gerincesek (*Vertebrata*) és a *Conodonták* (Chordata rokonság) is kialakultak a kései kambrium folyamán a fennmaradt maradványok alapján. Viszont számos olyan taxon létezett ekkor, melyeket a mai törzsekbe nem lehet egyértelműen besorolni.



119. *ábra* Trilobita (*Paradoxides* genus) kambriumi tengeri rétegből (Forrás: wikipédia)



120. *ábra* Pseudophillipsia (Forrás: Dr. Dulai Alfréd tárigazgató, Magyar Természettudományi Múzeum, Őslénytani és Földtani Tárban dolgozó paleontológus írásos hozzájárulásával bemutatva)

A Trilobiták 530 millió éve jelentek meg, gyors elterjedésük után dominánssá váltak a faunában és diverzitási maximumuk fejlődött ki a kambrium időszak során (**119. ábra**). A késő kambriumi fauna 60%-át teszi ki 4000 fajjal, de közel 2000 faj, azaz a trilobita fauna fele a korszak végére kihalt. Majd a Permben végleg eltűnnek, utolsó taxonjaik (*Pseudophillipsia*) maradványai (**120. ábra**) a bükki Nagyvisnyónál gyűjthetők a felső perm lagunáris mészkőben.

A kambriumban már éltek állkapocs nélküli (Agnatha: Ostracodermi) halak: 530 éves fossziliát találtak Kínában, 505 millió éveset Amerikában. A kambrium időszak folyamán a moszatok minden ma ismert törzse kialakult. A kambrium középső szakaszában felhalmozódott tengeri üledékekből jelentős mennyiségű multicelluláris zöldalga (ezekből alakulnak majd ki a szárazföldi növények) fossziliát találtak. Elképzelhető, hogy a rendkívül sokszínű algaflórának köszönhető magasabb oxigénszint is hozzájárulhatott a kambriumi élővilág diverzitását kialakító robbanáshoz. A talán szivacsokhoz sorolható Archaeocyathák (első zátonyképzők állatok - ősszivacsok) elterjedtek, majd kihaltak.

Ősszivacs (Archaeocyathus) zátonyok a paleozoikum kezdetén

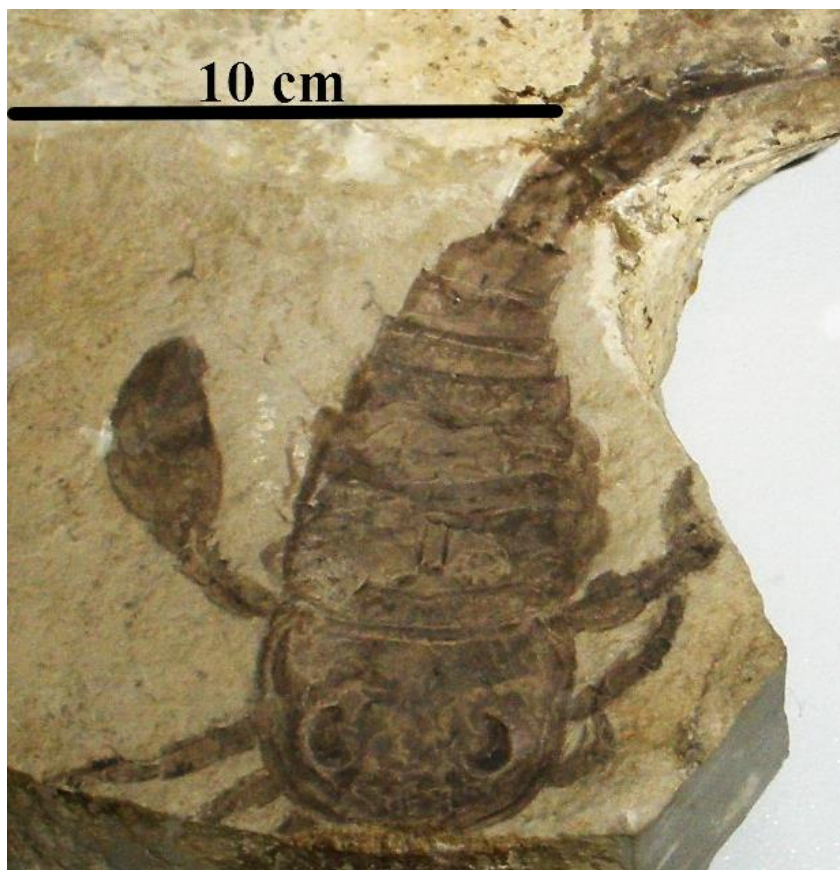
Az első, döntően az állatok által létrehozott zátonyok alkotói a vitatott rendszertani hovatartozású, 525-530 millió éve megjelent kora kambriumi, serlepszerű mészvázú, szivacszerű lények, az Archaeocyathusok (ősszivacsok) voltak, amelyek a kambrium idősebb szakaszában együtt éltek mészalgákkal (zöld algákkal, cianobaktériumokkal) is a paleozoikum kezdeti zátonyaiban (**121. ábra**). Érdekessége ennek a kihalt csoportnak, hogy a ma ismert kambriumi, szilárd vázzal rendelkező szervezeteknek több mint a felét ezek a szervezetek tették ki. A kambrium/ordovícium időszak határán, 488 millió éve lezajlott erőteljes kihálási hullám után viszont hosszú időn keresztül nem épültek állatok alkotta zátonyok a világtengerekben, és helyettük cianobaktériumok által épített thrombolit-, onkoid- és döntően sztromatolit-zátonyok nyújtottak élőhelyet a zátonylakó szervezeteknek.



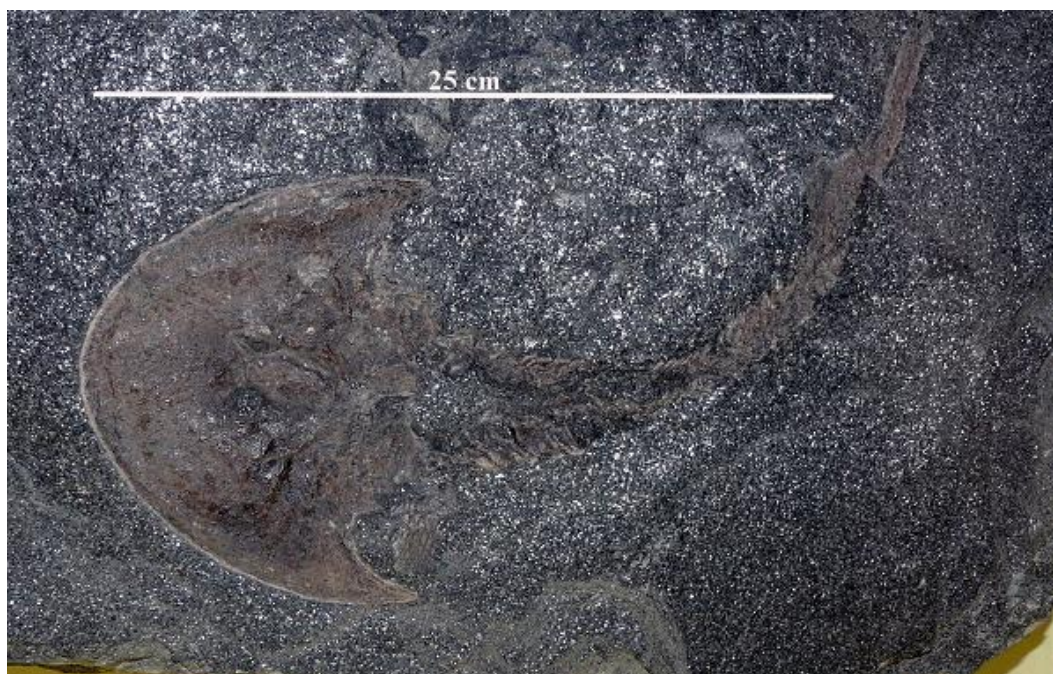
121. ábra Mészalgákkal (zöld algákkal, cianobaktériumokkal) kambriumi zátonyokat alkotó *Archeocyathus* (összivacs) maradványok (Forrás: Twitter)

Ordovícium időszak (mintegy 485-444 millió évek között)

Az ordovíciumra (egy walesi kelta népcsoport neve) jellemző a meleg éghajlat, feltehetően üvegházhatás következtében. Folytatódott az első gerincesek adaptív radiációja, fejlődése és szétterjedése, de továbbra is a gerinctelenek domináltak a faunában. Ekkor jelentek meg az Eurypteridák („tengeri skorpiók”), melyek 2-3 méteres csáprágós ízeltlábúak voltak, félelmetes ragadozók (**122. ábra**). A középső-ordovíciumból kerültek elő a legrégebbi csontos fossziliák. Mintegy 480 millió éve alakultak ki az édesvizekben az első állkapcsos halak (*Gnathostomata*), de igazán elterjedté csak a devon időszakban váltak. Megjelenésükkel kezdetét vette az állkapocs nélküli *Ostracodermi* (Cserepesbőrűek) ősi haltaxon (**123. ábra**) hanyatlása, amelyek a devonban kihaltak.



122. *ábra* *Erytherus podolicus* (tengeri skorpió) az ordoviciumi tengeri rétegekből (Forrás: wikipédia)



123. *ábra* Állkapocs nélküli halak (*Agnatha*) közé sorolható ősi taxon, *Ostracodermi* (Cserepesbőrűek) (Forrás: wikipédia)

Fejlődéstörténeti szempontból jelentős a növényi szaporítószervek megjelenése ebben az időszakban. Ennek első nyomait az ordovícium időszakból mutatták ki zöldmoszatoknál (=zöldalgáknál), amelyek ekkor már kőzetalkotó mennyiségben éltek. Ezt világosan jelzik az algákból kialakult szenes csíkok, algaszenek ebben az időszakban. A szárazföldi növények ősei a zöldalgákhoz tartozó csillárcamoszatok (*Charophyta*) lehettek. Telepes formáikból alakultak ki az első szövetes, edényes növények, melyeknek még nem volt gyökere és levele. A májmohák megjelenésével elkezdődött a szárazföld intenzív meghódítása, az első szárazföldi növényi életre utaló moha spórák 475 millió évesek. A sekély kontinentális tengerek jelentős elterjedése lehetővé tette az első állati élőlények dominanciájával jellemezhető korallzátonyok kialakulását. A zöldalgák aktív fotoszintetikus tevékenysége hozzájárulhatott, hogy a korszak végére a CO₂ szint 30%-kal esett, és így erőteljesen csökkent az üvegházhatás. A Gondwana kontinens délre vándorolt és eljegesedett. Feltehetően ekkor erős gamma-sugárzás érte a Földet és ez a hatás a Gondwana déli pólus közeli helyzetével együtt hozzájárult, hogy a kor végén erős lehűlés következett be. Kialakult egy paleozoikumi jégkorszak, mely a perm kihalás után a földtörténet második legnagyobb kihalását okozta: a genusok 50%-a, a tengeri fajok 60%-a eltűnt.

Szilur időszak (megközelítőleg 444 – 419 millió évek között)

A szilur (egy kelta néptörzs nevéből eredő) időszak éghajlata meleg, kiegyenlített volt, jellemzőek a sekélytengerek, az ősi korallok, a gerinctelenek uralma⁴. Az egyik legjelentősebb paleohidrológiai változás ekkor történt, mivel az *Ostracodermi* (Cserepesbőrű halak) taxonból a páncélos őshalak (*Placodermi*) taxonja fejlődött ki (**124. ábra**). Ezen taxonhoz tartozó páncélos őshalak nagyon sikeresek és ennek nyomán rendkívül elterjedtek voltak, de a devon időszakban kihaltak. Bordák nélküli porcos vázuk volt, külső csontos pikkelyekből álló páncél borította testüket. A szilur időszak végén jelentek meg az ősi cápák, és az első csontos halak (*Osteichthyes*), melyek első képviselői a

Sarcopterygii (húsos úszójúak) voltak. Valószínűleg a páncélos halak sósvízi dominanciája miatt az édesvizekben terjedtek el kezdetben. A csontos halak másik csoportja a sugaras-úszójúak (*Actynopterygii*) is kialakultak, melyekhez a mai halak többsége is tartozik.



124. ábra Páncélos halak (Placodermi) közé sorolható ősi álkapcsos hal (Dunkleosteus) taxon (Forrás: wikipédia)

Az időszak kezdetén a globális szinten elterjedő, és több alga taxon fotoszintézise nyomán a légköri oxigén szintje megemelkedett és elérte a mai érték 10%-át (ún. „szárazföldi szint”). Ez a változás lehetővé tette az UV ellen védő ózonréteg kialakulását a troposzféra és sztratoszféra határán. Ennek következtében a Földet ért UV sugárzás jelentősen lecsökkent. Így lehetőség nyílt az élet szárazföldi megjelenéséhez és szétterjedéséhez, adaptív radiációjához.

A szilur időszaki növények evolúciójáról általánosan elmondhatjuk, hogy „egy irányba zajlik”: a haploid gametofiton redukálódik, míg a diploid sporofiton differenciálódik.

A fenti folyamattal párhuzamosan zajlik a heterospória kialakulása, aminek szélsőséges formája a magképzés. Az első hajtásos növények az ún. „ősharasztok” (minden hajtásos növény ősei) voltak. Az ordovícium végi, szilur kezdeti szárazföldi növényekre (lombosmohák, szarvasmohák és elszórtan valódi edényes növények) jellemző spórák kimutatása alapján a szárazföldi növények már az ordovícium időszakban megjelentek. Viszont a középső szilur során felhalmozódott üledékekből előkerültek az első szárazföldi növényi makrofossziliák, mint a korai korpafüvek (*Baragwanathia*) és közeli rokonaiknak a maradványai.



125. ábra Az első ismert kezdetleges edényes (tracheophyta) növények közé sorolható Cooksonia pertoni ősharaszt (Forrás: wikipédia)

Az első ismert kezdetleges edényes (*Tracheophyta*) növény, a *Cooksonia* ősharaszt (125. ábra) a szilur időszak második felében jelent meg és egy

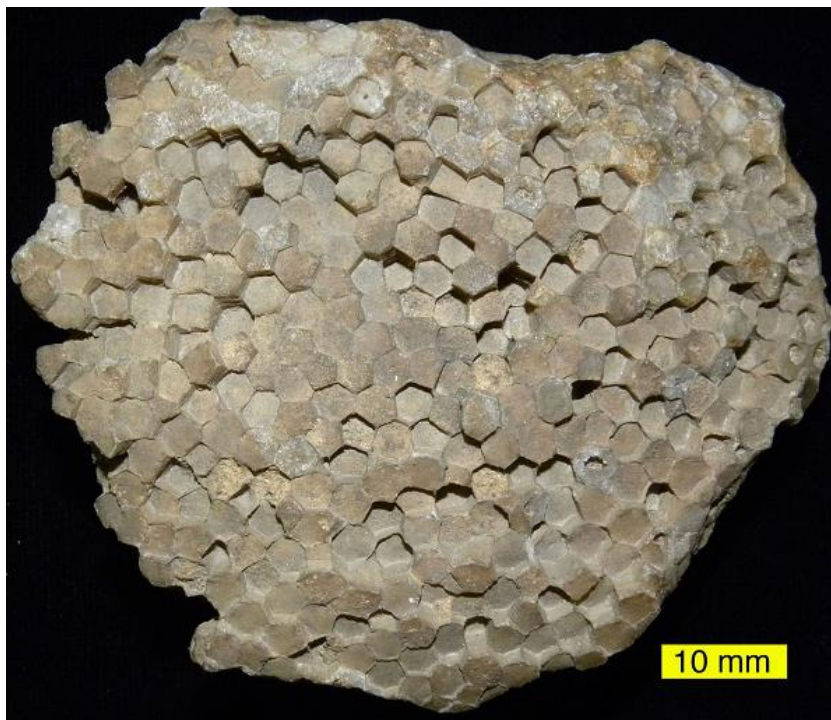
átmeneti alakot alkotott a primitív mohák és az első edényes növények között. Ezek a még gyökértelen, levéltelen növények, rövid (néhány cm), felfelé álló hajtásaikkal fogták fel a napfényt, és ágaskodva eresztették szélnek spóráikat. A megnövekedett légköri oxigén és a szárazföldi (mocsári) növényzet kialakulása következtében kialakultak az első futótüzek.

Az első szárazföldi állatok ízeltlábúak (*Arthropoda*) voltak: a soklábúakhoz (*Myriapoda*) tartozó ősi százlábúak, őspókok (pókszabásúak). Bár rovar fossziliát nem találtak ebből a korból, valószínűleg megjelentek a rovarok ősei is (*Hexapoda*).

Az első korallállatok által kialakított zátonyok a szilur időszakban

A döntően többsejtű állatok alkotta zátonyok újbóli előretörése a szilur időszakra tehető, amikor a csalánozók egyes taxonjaiban olyan evolúciós folyamat ment végbe, amely alapvetőnek bizonyult az utolsó 450 millió évben kiépült zátony ökoszisztémáinak szempontjából. Ezek a paleozoikum kezdetétől kialakuló zátonyok felépítésében jelentős szerepet játszó, csalánozókhoz sorolható korallállatok már az ordovicium időszakban megjelentek, de jellemző zátonyalkotókká már a szilur időszakig nem váltak. Tudni kell, hogy a szilur időszaki zátonyok felépítésében alapvető szerepet játszó ősi korallok, de az akkor élő korallok nem sorolhatók be egyik ma élő korall csoportba sem. Míg hatszöges felépítésű sejtek telepéből álló, ősi, már kihalt *Tabulata* korallok inkább telepes zátonyalkotók, addig a négyosztatú *Rugosa* korallok jellemzően magányos korallpadokat (polipáriumokat) építő alakok voltak. A szilur-devon zátonyok fontos alkotói voltak a devon időszak végén kihalt sztromatoporoideák, amelyek fennmaradt szerkezetük alapján a szivacsokkal mutatnak rokonságot. Így a *Tabulata* korallok mellett ezek az ősi, kihalt szivacsokkal rokonítható sztromatoporoideák alkották szilur időszakbeli zátonyok döntő részét a mészkiválasztó algák (cianobaktériumok, zöldalgák) mellett.

Magyarországon devon időszaki korallok (*Favosites*: **126. ábra**) ismeretesek a Szendrői-, és ritkaságként az Upponyi-hegységből; sztromatoporoidea-maradványok a Balatonfői Polgárdi Mészke felső, biohermás tagozatából. A sztromatoporoideák elsősorban nem az ún. „frontzátonyt”, a tengeri áramlatoknak leginkább kitett, a nyílt tengerre tekintő zátonyrészt, hanem a zátony belső részénél fekvő lagúnák felé eső zátonyterületet (zátonyháttér) népesítették be.



126. ábra Devon korabeli zátonyalkotó fenéklemezes korall (Favosites) (Forrás: wikipédia)

Viszont az a mai zátonyok esetében is tapasztalható, hogy a fennmaradt zátonyszerkezetnek csak egy része származik a fő zátonyalkotóktól. Ugyanis a fizikai, kémiai és biogén erózió miatt általában a szerves zátonyszerkezetnek csak egy kis része menekül meg és marad felismerhető⁵. Ezen kívül, a másodlagos zátonyépítők váza, mint amelyek manapság pl. a puhatestűek, tengerisünök, a paleozoikumban pedig a brachiopodák, a tengeri liliumok vázelemei, szintén fontos szerepet játszottak a zátonyok létrejöttében.

Devon időszak (mintegy 419 – 359 millió évek között)

Nevét az angliai Devon megyéről kapta. „Devon időszaki evolúciós robbanás” során ugrásszerűen megnőtt a fossziliák száma, új, modern élővilág fejlődött ki, a szárazföld „kizöldült”, mert megjelentek és terjedésnek indultak az első szárazföldi növények. A növényeknél megjelentek a megaspórák. Devon időszaki növényeknél megjelentek az első levél-, gyökér- és évgyűrű fossziliák (*Rhynia* taxonok: **127. ábra**). A fossziliák vizsgálata alapján ezek a növények gombákkal élhettek együtt és a gombafonalak biztosították a vízben oldott tápanyag felvételét számukra. Az ősharasztok felvirágzása (akmé) és hanyatlása is (metakmé) egyaránt a devon időszakban játszódott le, egyes taxonjaik elérték a mai fák termetét, és ennek nyomán megjelentek az első valódi erdők. A *Wattieza* például az egyik legkorábbról ismert ősharaszt fa, 20 millió évvel későbből pedig az *Archaeopteris* (akár 50 m magasságot elérve) is megjelent. A meleg párás éghajlat és a növényi biomassza tömege lehetővé tette az első szárazföldi kőszénrétegek kialakulását. 400 millió éve a nyitvatermőkkel (*Gymnospermatophyta*) jelentek meg az első magvas növények, a magvaspáfrányok. A szárazföldi növényzet kialakulásával a szén-dioxid és oxigén szint a légkörben és a világtengerekben megváltozott.



127. ábra Az első szárazföldi (mocsári) környezetben élő, levél-, gyökér- és évgyűrű kezdeményekkel rendelkező Rhynia növények (Forrás: wikipédia)

A szárazföldi növények nagymértékben befolyásolták az energia- és tápanyagáramlást a szárazföldi és édesvízi ökoszisztémák között, így jelentős hatással voltak az ezekben az ökoszisztémákban élő állatok evolúciójára is és továbbá az édesvizeken keresztül a teresztris paleohidrológiai rendszerekre is. A szilur és a devon időszakban zajló legfontosabb és ugrásszerű növényi evolúciós események, vegetációs átalakulások atmoszferikus és egyéb globális környezeti változásokat okoztak. A légköri szén-dioxid csökkenésében például fontos szerepet tulajdonítanak a növényi gyökérszövet kialakulásának⁶, amely során a mechanikai, illetve talajt savanyító hatására beindult a kalcium-, és magnéziumszilikátok szén-dioxidot megkötő mállása. Az algák, gombák (és a szimbiózisukból kialakult zuzmók), baktériumok és az eleinte csak pár centis magasságot elérő szárazföldi növények kialakulása, savas kiválásaik, a fellazult és legfelső kőzetrétegben kialakult bakteriális aktivitás, valamint az elpusztult növényi maradványok felhalmozódása nyomán az első talajsztintek is kifejlődtek ekkor. Bár ezek a „talajok” az eltérő szerves anyag típusuk és felhalmozódásuk tekintetében nem párhuzamosíthatóak a mai talajtípusokkal.

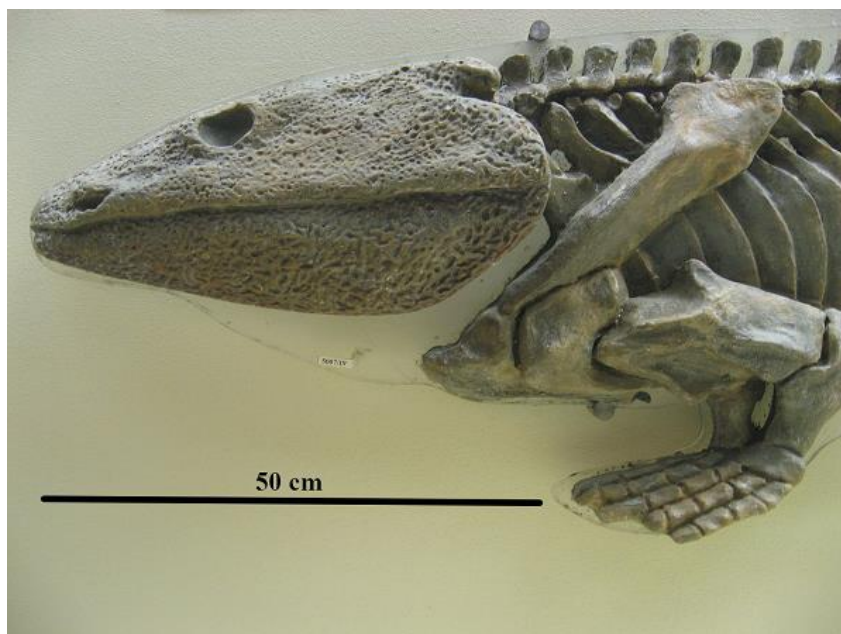
A faméretű növényeket rögzíteni képes gyökérzet, melynek első makrofosszíliai a középső-késő devonból kerültek elő, több csoportban egymástól függetlenül alakult ki.

A *Crossopterygii* (bojtosúszójú) más néven *Sarcopterygii* (izmosúszójú) halak a csontos halak főosztályának egyik osztálya Ezekből alakultak ki édesvizekben a mai szárazföldi gerincesek ősei a Tetrapodák kb. 400 millió éve. A *Panderichthys* halnál már megfigyelhető a tetrapoda-szerű fej. A *Tiktaalik* izmos úszójú hal 375 millió éve élt. A hal és kétéltűek közötti „hiányzó láncszem” után történő céltudatos kutatások során, devonkori kőzetek vizsgálatával találták meg 20 példányát Kanadában a Grönlandhoz közeli Ellesmere szigetén 2004-ben. Mivel felépítésében halakra és a szárazföldi tetrapodákra, négy lábúakra emlékeztető szervezeti bélyegek egyaránt felfedezhetők voltak, ezért leírásukkor felfedezői a „fishapod” („hal-lábú”) névvel jellemezték⁷. A *Tiktaalik* egy átmeneti taxon volt (**128. ábra**), keveredtek benne a halakra (pl.: testét pikkelyek fedték) és a négy lábú gerincesekre jellemző tulajdonságok. A legfontosabb átmeneti tulajdonságot az úszók mutatták: ujjak még nem voltak megtalálhatók, de támasztékul szolgálhattak. A csuklószerű mozgatható végtagok, az úszók csonttani felépítése, és a csontok izomtapadási pontjai nyomán feltételezett nagy izomkötegek viszonylag gyors mozgást biztosított a számára a szárazföldön. Ám a *Tiktaalik* nem tekinthető még szárazföldi élőlénynek. Ugyanis még volt kopoltyúja, de azt már nem fedte csontos lemez, mint a ma is élő halfajok esetén, így képesek voltak fejüket oldalirányban is mozgatni. Ezt az először náluk megjelenő nyak is segítette. A nyakat a vállöv különítette el a koponyától. A sekély vízhez való alkalmazkodás során fejlődésnek indult a szegycsont, ami elősegíthette a szárazföldi élethez való alkalmazkodást és magának a szárazföldi életformának a kialakulását.



128. ábra A „hal-lábú”, pikkelyes halakra és négy lábú kétéltűekre jellemző tulajdonsággal egyaránt rendelkező Tiktaalik maradványai (Forrás: wikipédia)

Az első valóban kétéltűnek tulajdonítható 7 ujjú *Ichthyostega* fosszília 375 millió éves (**129. ábra**), míg a 365 millió éve élt *Acanthostega*nak pedig 8 ujja volt végtagonként. Feltehetően édesvízben éltek, mint őseik. Az első szárazföldi kétéltű taxonoknak, *Ichthyostega* nemhez sorolt fajoknak 5-9 közötti volt az ujjszáma. Ezek a kétéltű élőlények az ősi, mai tengeri alaktól, a Seychelle-szigetek környékén élő *Latimeria* taxonoktól (**130. ábra**) különböző, mocsarakban, időszakos tavakba élő bojtos úszójú (*Crossopterigii*) halaktól származtak.



129. ábra Az egyik első szárazföldön és sekély vízben is mozgó kételtű az Ichtyostega (Forrás: wikipédia)



130. ábra Izmosúszójú halak egyik maradvány faja, a mai Seychelle szigetek környékén élő Latimeria chalumne első 1937-ben befogott példánya (Forrás: wikipédia)

A devonban jelentek meg a pókok, atkák, ikerszelvényesek, százlábúak, és a rovarok első, röpképtelen képviselői (Rhynie kovakő, Skócia). Az intenzív fotoszintézis miatt nőtt a légköri CO₂ megkötése, amely az üvegházhatást csökkentve erős lehűlést okozott. Feltehetően ez a drasztikus lehűlés okozhatta a földtörténet öt nagy kihalási korszaka közül a devon időszakban kifejlődött II. nagy kihalási hullámot, bár a legújabb adatok inkább egy óriás meteorit becsapódása nyomán kialakult kihalási szintet valószínűsítene. Ennek során a tengeri családok 20%-a, míg az addig élt nemzetségek 50%-a eltűnt. A

sztromatolitépítő cianobaktériumok, a rugosa és tabulata korallok, pörgekarúak, trilobiták, ammoniteszek, az állkapocs nélküli- és húsos úszójú halak ekkor szorultak vissza.

Karbon időszak (megközelítőleg 359 – 299 millió évek között)

Éghajlatára eleinte a meleg, kiegyenlített klíma volt jellemző, melyre az évgyűrű nélküli, hatalmas levelű fák is utalnak. A nagy növényi eredetű fitomassza és a gyors süllyedés/betemetődés lehetővé tette a kőszételepek kialakulását, melyek több mint 50%-a ekkor alakult ki. Maga a korszak is ezekről a szételepekről kapta a nevét. Először mutathatók ki globális flóraprovinciák bolygónkon. Elterjedtek a repülő rovarok, a csótányok, poloskák, egyenesszárnyúak, és a korszak végén megjelentek a bogarak. A mainál jelentősebb oxigénszint miatt a korszakban élő rovarok hatalmasra nőttek, legnagyobb méretű szitakötők mérete meghaladta a 75 cm-t. Ugyanakkor a kiemelkedő oxigénszint következtében a fák és az erdők öngyulladására végigkíséri a karbon kori feketeszén erdők egzisztálását.

A késő-karbonban megjelentek a cikászok, tobozos nyitvatermők, ősi ginkófélék, és elterjedtebbé válnak a magvaspáfrányok (**131. ábra**). A késői devon fáai még a karbon elején is uralták a tájat. A mai fák kifejlődésére hasonló megjelenésű *Sigillaria* (pecsétfa: **132. ábra**) és *Lepidodendron* (pikkelyfa) elnevezésű korpafű fák elérték a 30-40 méteres magasságot.



131. ábra Karbon kori kőszén erdő után maradt fosszilis, fává növő páfrányok levelei (Forrás: wikipédia)



132. ábra Karbon kori kőszén erdő után maradt pecsétfa (Sigillaria) fatörzse a geológiai rétegekben (Forrás: wikipédia)

A karbon kori a mai trópusi esőerdőkre jellemző területek élővilága rendkívül sokszínű és változatos volt. Már ekkor megjelentek az első hüllők, bár az egész időszakot a kétéltűek dominanciája jellemezte még. Az egész teresztris élet fejlődése szempontjából döntő fordulat volt a hüllőknél a tojás megjelenése, mivel így az embrió mechanikailag és a kiszáradás ellen is védett lett. Az ősi hüllők pikkelyes kültakarója a kiszáradást gátló adaptációként fejlődött ki. A *Hylonomus* 320 millió éve élt, és a hüllők *Anapsida* csoportjához tartozott

(halántékukon nem volt nyílás). 300 millió éve vált ki belőlük a *Synapsida* (emlősök ősei, egy halántéknyílás) és a *Diapsida* (a mai hüllők és madarak ősei, két halántéknyílással) csoportok. A karbonban a kétéltűek virágkorukat élték, fajgazdag és változatos megjelenésűek, 6 méteres kétéltű alakok is léteztek. A Trilobiták altörzsébe sorolható taxonok visszaszorulnak. A karbon időszak végére a kontinensek újból összekapcsolódnak, kialakul a Pangea szuperkontinens, és a Pangea déli, Gondwana részén egy jelentős 30 millió km² kiterjedésű jégtakaró is kifejlődött.

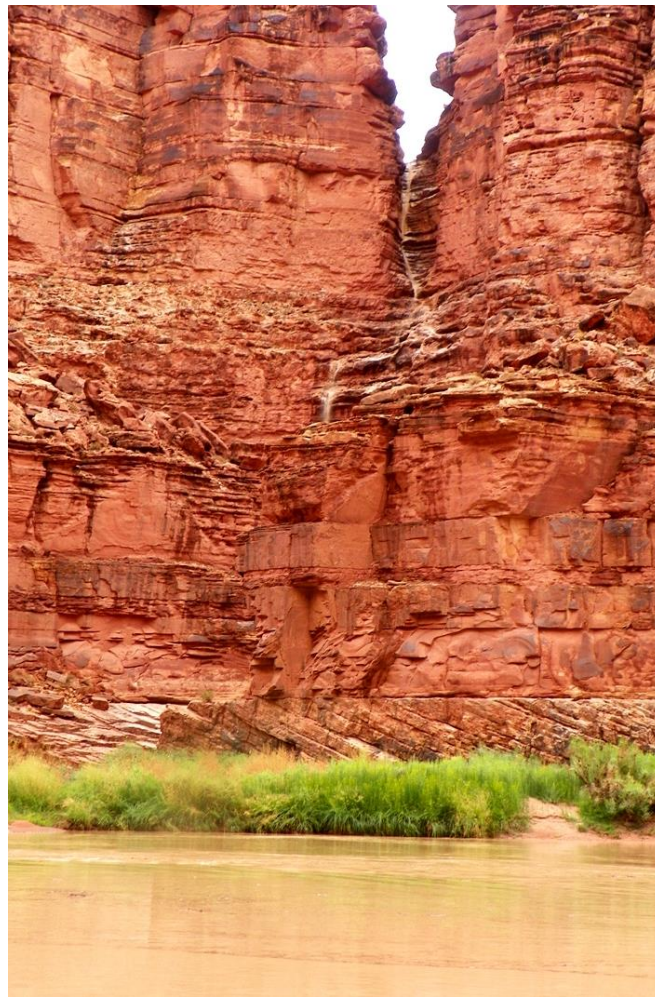
Devon és karbon időkorszakok korallzátonyai

A devon időkorszak volt a korallzátonyok karrierjének első nagy korszaka a földtörténetben, majd a devon végi, 375–360 millió éve történt kettős tömeges kihálási hullám (az ún. „*Kellwasser- és a Hangenberg események*”) derékba törte ezt a korallzátony-fejlődési virágkört (akmét) és igen erőteljes paleohidrológiai változásokat okozott.

A karbon időkorszakban a korallok helyét részben a mészalgák vették át, bár a korábbi korallcsoportok továbbra is részt vettek a zátonyok alkotásában, és ez az állapot a perm időkorszak végéig nem változott. A magyarországi karbon időkorszaki tengeri üledékes kőzetekben mészalgák és korallok egyaránt előkerültek kőzetalkotó mennyiségben. Ugyanakkor az eddigi paleohidrológiai-geológiai és őslénytani elemzések alapján a mészkiválasztó algák szerepe erőteljesebb volt a zátonyalkotásban, mint a koralloké ebben az időkorszakban. A döntően sztromatolit karbonátokból álló zátonyokat felváltották vagy pontosabban kiszorították a többsejtű szervezetek alkotta zátonyok az utolsó 300 millió év során.

A paleozoikum végi zátonyok pusztulása legalább két nagyobb kihálási hullámban történt, az első fázisban először a korallok tűntek el, helyet adva a mészszivacsoknak, majd a többsejtű szervezetek zátonyalkotó szerepe a perm-triász határon, az egyik legjelentősebb földi kihálási hullámban, a Sepkoski-féle III. hullámban szinte teljesen megszűnt. A zátony ökoszisztémák globális összeomlása mögött egyszerre több tényező is állhatott és hathatott a

világtengerekben. Ezek közül a legerőteljesebb hatással az lehetett, hogy az ekkor képződő szibériai trapp-bazalt, az egykori kiömléssel járó bazaltos jellegű, szén-dioxidban dús vulkanizmus következtében magas atmoszférikus szén-dioxid-koncentráció miatt a tengervíz valószínű elsavasodása nyomán kialakult a hipertermia (a szén-dioxid rendkívüli magas koncentrációja) és az óceáni oxigén hiány, az anoxia. A kora triászban a zátonyok képződése ezen paleohidrológiai változások nyomán drasztikusan visszaszorult.



133. ábra Permi vöröshomokkő rétegek, gipsz kiválásokkal Walesben (Forrás: wikipédia)

Perm (megközelítőleg 299 millió – 252 millió évek között)

A perm időszak a nevét egy uraló oroszországi városról kapta. Ekkor az összes kontinenst tömörítő szuperkontinens, a *Pangaea* területén száraz és nedves periódusok váltják egymást. A száraz periódusokban és területeken „permi”,

növényzet alakul ki és terjedt el, míg a nedves periódusokban és régiókban pedig az ún. „karbon” növényzet. A nedvesebb időszak meghatározó folyamata maradt a kőszénképződés. A flórák szétválása erőteljes volt. A szuperkontinens belsejében lévő szárazulatokat szélsőséges kontinentális klíma jellemezte. Az északi féltekén forró, száraz klíma alakult ki (bepárlódás - sókőzetek képződése: **133. ábra**), gyakori a *Walchia* (magvaspáfrány).

A déli féltekén (Gondwana) a *Glossopteris* magvaspáfrányok uralták a teresztrikumot ebben az időszakban. Az ősharasztok jelentős része a szárazság következtében kihalt, és a magvaspáfrányok is hanyatlásnak indultak. Az ellenállóbb nyitvatermők váltak elterjedtté és elfoglalták a visszaszoruló páfrányok és magvaspáfrányok helyét. A perm időszakban jelentek meg az első napjainkig fennmaradó fák (szobafenyők, fenyők, páfrányfenyő, vagy más néven ginkófélék, cikászok). A rovarok közül a perm időszakban jelentek meg az álkérészek, kabócák, és a lepkék és tegzesek közös ősei. A kételtű taxonok száma megfogyatkozott, visszaszorultak, de a szuperkontinens déli részén, a Gondwanán még csúcsragadozók is éltek közöttük. A klíma megváltozása elősegítette a hüllők fejlődését, megjelentek az első nagy szárazföldi növényevők és ragadozók. Nagy számban terjedtek el az anapszidák és diapszidák is. A középső-permtől dominánssá váltak az ősi emlősszerű hüllők, a therapszidák. Az *Archosauromorpha* hüllők (uralkodógyík-formájúak, *Diapsida*) már a perm végén megjelentek.

Ekkor volt a legalacsonyabb az óceánok szintje, és ez összefüggést mutathatott a permokarbon (karbon és perm időszakok során kifejlődött) eljegesedéssel, majd a permokarbon jégtakaró elolvadását követően, a triász időszak kezdetén folyamatossá vált a világtengerek szintjének az emelkedése, a transzgresszió. Így kifejezett tengerszint növekedést rekonstruálhattunk a paleohidrológiai változások nyomán a perm időszakot követően. A kutatók többsége egyetért abban, hogy a korszak végén, az ellentétes póluson kifejlődött trap (takarót) előidéző több központú bazaltos platóvulkanizmus (mai Szibéria, Ausztrália,

Dél-Kína) alakulhatott ki. Ezen traptakarók kifejlődése a földtörténet egyik legjelentősebb kihalását okozhatta 252 millió éve. A tömeges kihalást a kiterjedt vulkáni működés, a szuperkontinens kialakulása következtében átalakult epikontinentális tengeri élettér drasztikus csökkenése válthatta ki. A tengeri állatok 95%-a, a szárazföldi gerincesek 70%-a kihalt. A tömeges kihalások közül ez okozott egyedül komoly veszteséget a földtörténeti rovarvilágban, 27 rendjükből 8 ekkor kihalt. A perm vége „az ókori élővilág temetője” - nem véletlenül itt húzták meg a paleozoikum és mezozoikum határát a geológusok és paleontológusok.

Ellenőrző kérdések:

- 8.1. Mikor alakultak ki az első sejtmagvas élőlények, az Eucarióták?*
- 8.2. Mik azok a csillárkamoszatok (Chara)?*
- 8.3. Milyen paleohidrológiai szerepük van a csillárkamoszatoknak (Chara)?*
- 8.4. Mi a Mizzia?*
- 8.5. Milyen paleohidrológiai szerepe van a Mizzia taxonoknak?*
- 8.6. Mi a Diplopora?*
- 8.7. Milyen paleohidrológiai szerepe van a Diplopora taxonoknak?*
- 8.8. Mi a Munieria?*
- 8.9. Milyen paleohidrológiai szerepe van a Munieria taxonoknak?*
- 8.10. Mi a Botryococcus?*
- 8.9. Milyen paleohidrológiai szerepe van a Botryococcus taxonoknak?*
- 8.10. Magyarázza meg a paleozoikum fogalmát.*
- 8.11. Sorolja fel a paleozoikum időszakait.*
- 8.12. Nevezze meg a kambrium legfontosabb paleohidrológiai eseményeit.*
- 8.13. Mi az a kambriumi ősrobbanás?*
- 8.14. Mik azok a háromkaréjú ősrákok (Trilobiták)?*
- 8.15. Milyen paleohidrológiai szerepe van a Trilobita taxonoknak?*
- 8.16. Nevezze meg az utolsó Trilobita taxonokat.*
- 8.17. Mik azok az ősszivacsok (Archaeocyathus)?*

- 8.18. Milyen paleohidrológiai szerepe van a *Archaeocyathus* taxonoknak?
- 8.19. Nevezze meg az ordovícium időszak időintervallumát.
- 8.20. Nevezze meg az ordovícium időszak legfontosabb paleohidrológiai változásait.
- 8.20. Mik azok a tengeri skorpiók (*Eurypterida*)?
- 8.21. Nevezze meg az első csontos élőlényeket.
- 8.22. Nevezze meg a szilur időszak időintervallumát.
- 8.23. Nevezze meg a szilur időszak legfontosabb paleohidrológiai változásait.
- 8.24. Mik azok a *Rugosa* taxonok?
- 8.25. Mik azok a *Tabulata* taxonok?
- 8.26. Mik azok a *Favosites* taxonok?
- 8.27. Milyen paleohidrológiai szerepe van *Rugosa*, *Tabulata*, *Favosites* taxonoknak?
- 8.28. Nevezze meg a devon időszak időintervallumát.
- 8.29. Nevezze meg a devon időszak legfontosabb paleohidrológiai változásait.
- 8.30. Mik azok az ősi bojtosúszós halak (*Crossopterygii*)?
- 8.31. Mi az a *Tiktaalik* (hal-lábú)?
- 8.32. Nevezze meg a karbon időszak időintervallumát.
- 8.33. Nevezze meg a karbon időszak legfontosabb paleohidrológiai változásait.
- 8.34. Nevezze meg a perm időszak időintervallumát.
- 8.35. Nevezze meg a perm időszak legfontosabb paleohidrológiai változásait.
- 8.36. Mi az a tengeri hipertémia és hogyan kapcsolódik a paleozoikum paleohidrológiai változásaihoz?
- 8.37. Mi az a tengeri anoxia és hogyan kapcsolódik a paleozoikum paleohidrológiai változásaihoz?
- 8.38. Mutassa be a tengeri anoxia és hipertémia, valamint hatásukat a paleozoikumi zátonyok fejlődésére.

Mezozoikum éra (mintegy 252 – 66 millió évek között)

A mezozoikum éra 3 időszakra (triász, jura, kréta) osztható. A perm-triász kihalást megelőző perm időszak során növények fosszilis levelein végzett, széndioxid koncentrációval kapcsolatot mutató sztómaelemzése nyomán a légköri szén-dioxid koncentráció 1000 ppm alatt volt. Napjainkban a már jelentős környezeti, közte hidrológiai problémákat okoz a 400 ppm-et meghaladó a szén-dioxid koncentráció. Majd a perm-triász határ után már meghaladta az 1500 ppm-et, és elérhette az 1750 ppm értéket is a kora triászban. Ennek hatására jelentős savasodás alakult ki a világtengerekben. Így a világtengerek aragonit telítettsége drasztikusan visszaesett, ezért a zátonyok nettó mésziprodukcója erőteljesen lecsökkent, és a paleozoikumban kiépült zátonyok pusztulásnak indultak.

Triász időszak (megközelítőleg 251 – 201 millió évek között)

A triász (nevét a germán kifejlődésében három szintre – tarka homokkő, kagylós mészkő, keuper - elkülönülő, jellegzetes rétegsorról kapta) során a Pangea nagy része kezdetben sivatagos - félsivatagos fáciessel jelentkezett. Jellemzőek voltak erre az időszakra a primitív nyitvatermők, és a cikászok. Ugyanakkor már megjelentek a modern páfrányfák és zsurlók, de átütő változások nem történtek a növényvilág evolúciójában, a paleozoikumi éra végén kifejlődött mezodendrikum taxonjai egzisztáltak a mezozoikumi éra kezdetén is.

A triász időszak kezdetén a tengerek elterjedési gátként jelentkeztek az egyenlítői növényzet számára. Így növényföldrajzi szempontból differenciálódásnak indultak, és emiatt jellegzetes flórabirodalmak, flóraprovinciák fejlődtek ki. Az északi féltekére a magvas növények (*Spermatophyta*) elterjedése jellemző, a déli féltekére viszont a paleozoikumi eljegesedés során kialakult magvaspáfrányok (*Glossopteris*: **134. ábra**) jellemzőek, melyek egészen kréta időszakig fennmaradtak.



134. ábra Glossopteris (déli féltekén elterjedt, nyelv alakú levelekkel rendelkező magvaspáfrány) flóra levélmaradányai (Forrás: wikipédia)



135. ábra Ammonitesz (kihalt, paleozoikumban és mezozoikumban élt lábasfejű) rekonstrukció (Forrás: wikipédia)



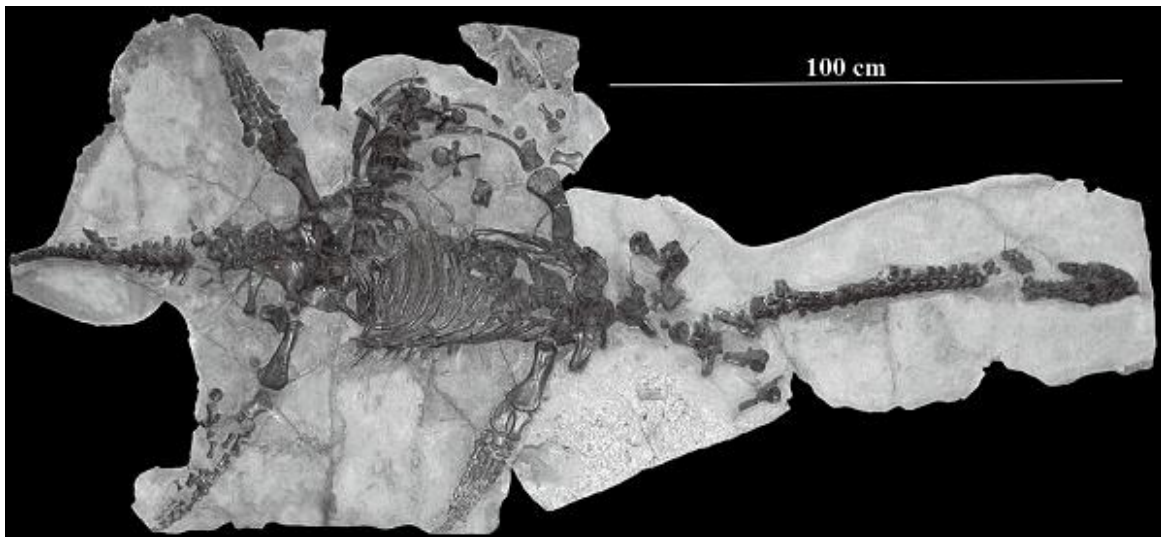
*136. ábra Középső-triász képződményben feltárt Hungarites taxon (Ammonitesz)
(Forrás: Főzy István címzetes egyetemi tanár felvétele, írásos hozzájárulásával
bemutatva)*



137. ábra Ichthyosaurus acutirostris szinte újszülött példánya az ammoniteszekkel együtt fossilizálódott, és maradt fenn a jurakori agyagpalában (Forrás: wikipédia)

Az új csontoshal taxonok egyre gyorsabbá és könnyedebb felépítésűvé váltak. Az ősi, a kréta időszak végén kihalt ammoniteszek (135. ábra) figyelemre méltó

fejlődése történt meg a kevés paleozoikumi és kevésbé differenciált, primitív, totipotens állapotú túlélő taxonokból (mint *Ophiceras*, *Hungarites*, *Arpadites*, *Balatonites*: **136. ábra**). Az ammoniteszek mellett a belemnitesztk (belső vázas Cephelopodák) is kialakultak, elterjedtek. Majd a kréta időszak végén az ammoniteszekkel együtt kihalnak. A kagylók és tüskésbőrűek közül sokan beássák magukat – ez egy újfajta védekezésként fejlődött ki a ragadozók ellen. Tömegesek fordultak elő a modern (hexaszimmetriát mutató) korallok, csigák és kagylók új típusai. A kora-triászban jelentek meg a halgyíkok az Ichthyosaurus-
ok (**137. ábra**), a középső-triászban a Pleziosaurus-ok (**138. ábra**). Kialakultak a kétéltűek osztályában a békák, míg a hüllők között megjelentek a gyíkok.



138. ábra *Plesiosaurus tengeri hüllő csontváza* (Forrás: wikipédia)

A perm időszakban uralkodó emlősszerű hüllők a triász időszaktól kezdődően visszaszorultak. A perm végén kialakult *Archosaurus* (uralkodó gyík) hüllők globálisan is dominánssá váltak. Minden földrészre, világtengerekre és légtérre kiterjedő adaptív radiációjuk révén egész Földünkön uralkodó csoportot alkottak. Ide tartoznak a krokodilok, madarak, dinoszauruszok és a repülő őshüllők, hogy csak a legfontosabb taxonokat említsük.

A középső-triásztól az Archosaurusok két irányba fejlődtek tovább: a madárszerű *ornithosuchidák* (pteroszauruszok, dinoszauruszok, madarak), és a *pseudosuchidák* (krokodilszerű) felé. A kor végére a dinoszauruszok egyed- és

taxon száma ugrásszerűen megemelkedett. A *Diptera*, *Hymenoptera*, *Trichoptera* rovar rendek megjelentek⁸.

Triász időszak tengeri zátonyai – a kőkorall zátonyok megjelenése

A triász elején egyáltalán nem képződtek zátonyok. Sőt még a magányos, virágállatokhoz (*Anthozoa*), azon belül a hatosztatú virágállatokhoz (*Hexacorallia*) sorolható kőkorallok rendje sem alakult ki (**139. ábra**), első példányai csak a középső triász korban tűntek fel, de ezen rend taxonjai lettek a mai korallzátonyok meghatározó (névadó) alkotói.



139. ábra Ma is élő *Hexacorallia* (Forrás: wikipédia)

Így a ma élő korallzátony alkotók mintegy 220 millió éves történettel rendelkeznek. Feltehetően ekkor jött létre a csalanózók és az algák között ma is megfigyelhető szimbiotikus kapcsolat, amely a korall csoport sikerének alapját jelentette akkor és jelenti ma is. A korallpadok, korallzátonyok újbóli kialakulása és terjedése a középső-triász anisusi emeletére tehető, amikor egyes mészalgák a perm időszakot követően, mohaállatokkal és mészszivacsokkal együtt alkottak zátonyokat. Ezek az új, mezozoikumtól domináns zátonyok elsősorban a *Tethys*-óceán nyugati peremén fellelhető karbonátos platformok a nyílt óceánhoz legközelebbi peremterületein fejlődtek ki. Ezen kor emléke az

ún. „*diploporás*” mészkő és dolomit, ami a hajdani, ún. „*dasykladacea*” mészalgák csövecskéinek kioldódását követően vált lyukacsossá. Vagyis a diploporás mészkő (például a ciklikus felépítésű Budaörsi Dolomit Formáció kőzetanyagában) kialakulásában a mészalgák, nevezetesen *Diplopora annulata* egyedek (140. ábra) alapvető szerepet játszottak. A középső-triász időszak anisusi emeletében képződött Tagyoni Formáció (Dunántúli-középhegység) szubtidális (hullámverés alatti) fáciesében gyakoriak ezek az algák, *Physoporella*, *Oligoporella* és *Teutloporella* nemzetségek fajai kerültek elő tömegesen.



140. ábra *Diplopora annulata* maradványok triász mészkőben (Forrás: wikipédia)

Jura időszak (mintegy 201 – 145 millió évek között)

A svájci Jura hegységről elnevezett időszak a földtörténet egyik legkiegyenlítettebb éghajlatú időszaka volt – szinte inkubátor állapot jelentkezett a Földünkön. A *Pangea* szuperkontinens is ekkor, 180 millió éve kezdett részekre szakadni. Ugyanis a *Tethys-óceán* ekkorra tehető maximális kinyílása,

többek között a *Vardar-óceáni ág* kifejlődése hatására a szuperkontinens az északi féltekén húzódó Laurázsia és a déli Gondwana kontinensekre vált szét. A tektonikus mozgások miatt kontinensekre tagolódó Pangea teresztrikumain az Egyenlítőtől távoli vidékek növényvilága már mérsékeltövi jelleget öltött. Ugyanakkor mind a trópusi, mind a mérsékeltövi területeken a legfontosabb fatermetű növények továbbra is a nyitvatermők (*Gymnospermatophyta*), a cikászok és a páfrányfenyők voltak⁹.

A nagytermetű cikászfajok akár 18 méteres magasságot is elértek, testes pálmafára emlékeztettek. A mai fenyőfélék családjai egyetlen kivételtől eltekintve (*Pinaceae* – erdeifenyő-félék) a kései triász és a korai jura időszakban fejlődtek ki. A fenyőfélék a nyitvatermők egyik legfejlettebb képviselői. Pollenjük már tömlőt hajt a magházhoz, így sokkal biztosabban odaér rendeltetési helyéhez. A tengerben élő fauna sokfélesége (diverzitása) megnövekedett: az ammoniteszek virágkorukat élték (**141. ábra**), a tengeri hüllők elterjedtek és rendkívüli diverzitás jellemezte őket, mint az evolúciójuk csúcán álló *Ichthyosaurusok*, *Pleziosaurusok*, és tengeri krokodilok.

Elterjedtek a zátonyépítő kagylók (rudisták) és a belemniteszek. A csontoshalak már a maihoz hasonlóak voltak, és kialakultak a cápák és ráják modern taxonjai. A jura időszak a dinoszauruszok kora. A szárazföldön a nagytermetű növényevő *Archosaurusok* ekkor élték virágkorukat, a kréta időszak kezdetén viszont már több taxonuk kipusztult. A szauropody fajok között megjelentek minden idők legnagyobb szárazföldi állatai. A szauropodák közé sorolható *Diplodocus* 27 méter hosszú volt, a *Brachiosaurus* 10 méter magasan hordta kisméretű fejét, az újabban felfedezett, legnagyobb testtömegűnek tartott *Super-*, *Ultra-* és *Seismosaurusok* hosszát 40, magasságát 15 méterre, tömegét 100 tonnára becsülik. A jura időszakban 150 millió éve jelentek meg a madarak kialakulása felé vezető csoportok (*Archaeopteryx*), a madarak ősi csoportjai, melyek a dinoszaurusz csoport egyetlen mai túlélői. A jura időszak végén megjelentek a zárvatermők ősei, valamint a lepkék és a bolhák.

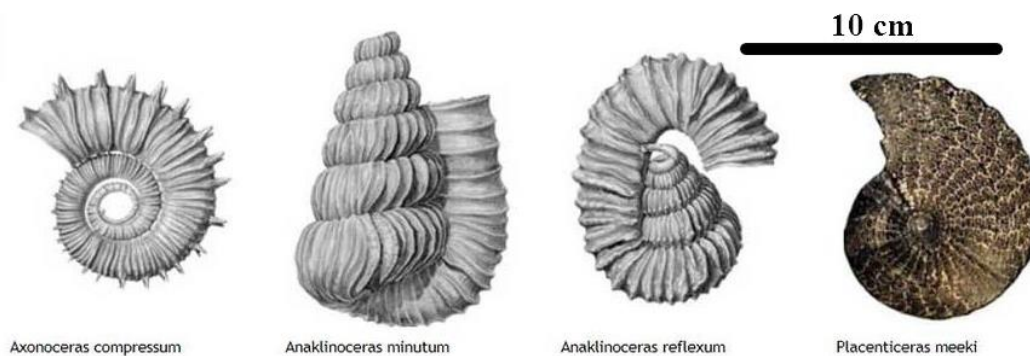


*141. ábra Kifestett loba vonalú Phylloceras a jura időszaki képződményekből
(Forrás: Főzy István címzetes egyetemi tanár felvétele, írásos hozzájárulásával
bemutatva)*

Kréta időszak (145 – 66 millió évek között)

A kréta földtörténeti időszak a mezozoikumi éra (idő) harmadik, utolsó, egyben a fanerozoikum eon leghosszabb időszaka, a maga 80 millió évet átfogó időtartalmával. A kréta végével a mezozoikum éra lezárul és egy igen jelentős kihálási hullámot követően a kainozoikum éra és annak a paleogén időszaka

következett. A kréta időszakban jelentős változások alakultak ki egész Földünkön, melynek során az egész Földön jellemzőek lettek a tengerelöntések. A jura időszak középső szakaszától szétválásnak indult, a már alaposan „megrepedezett” Pangea szuperkontinens a kréta időszakban már véglegesen szétesett, mivel folytatódott az Atlanti- és az Indiai-óceán medencéjének szélesedése, óceanizációja. Észak-Amerika és Eurázsia már csak az észak-atlanti térségben, Grönlandon keresztül függött össze egymással. India szubkontinens és Afrika egyre jobban közeledett Euráziához. Ezen mozgások nyomán megindult a Tethys záródása. A Csendes-óceán nyugati felének kőzetlemeze változatlanul Ázsia felé tolódott. Így az Eurázsiai-, Csendes-óceáni hegységrendszer egyaránt újabb hegységvonulatokkal gyarapodott. Az Indiai-óceán medencéjét kialakító hasadékvölgy-rendszer egyik ága Afrika keleti peremétől leszakította Madagaskár szigetét.

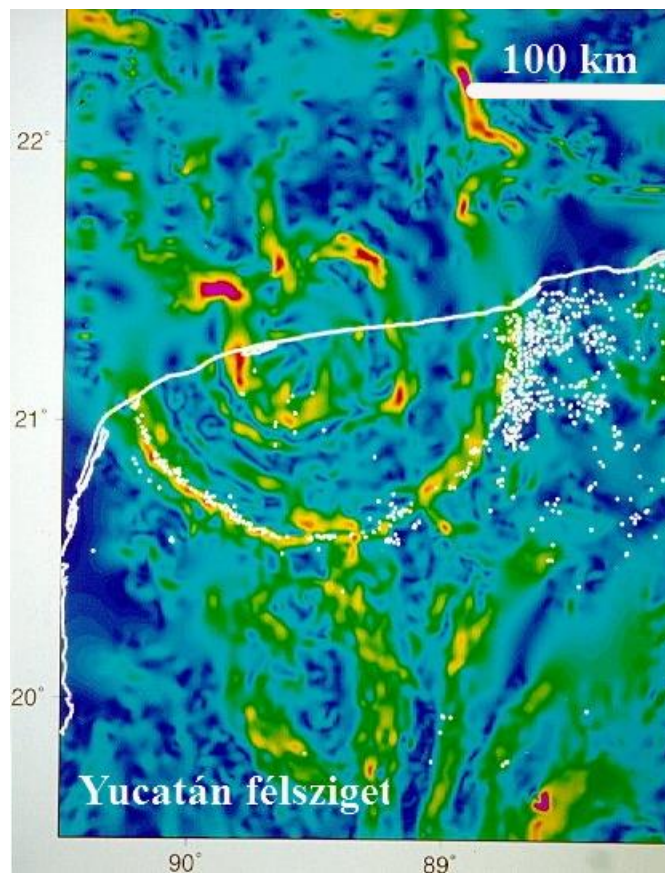


142. ábra Kréta korú ammoniteszek különleges házalakokkal (Forrás: wikipédia)

A világtengereket a kréta időszak végén kihalt tengeri hüllők, és lábasfejűek, az ammoniteszek népesítették be (**142. ábra**), a szárazföldet az őshüllők, mindenekelőtt a dinoszauruszok uralták. Akrétában már biztosan jelen voltak a jura időszakban kifejlődött emlősök, madarak, zárwatermők globális elterjedése is ekkora tehető.

A jura és a kréta időszak között nem jellemző a nagyarányú kihalás. Viszont a kréta végét jelző határeseemény az egyik legnagyobb és a dinoszauruszok,

ammoniteszek kihalása miatt legismertebb. Ez a tömeges pusztulás a mezozoikum/harmadidőszakot (kréta/tercier határ) zárta le. Ebben a kihalási folyamatban az addigi domináns szárazföldi őshüllő világ döntő része kipusztult, és a tengeri hüllők is eltűntek. Ennek nyomata kőzetekben is megtaláljuk, egy világszerte fellelhető, irídiumban gazdag réteg jelzi, amelyet a mexikói Yucatán-félszigeten található kréta időszak végi *Chicxulub*-kráter (143. ábra) keletkezésével hoznak összefüggésbe.



143. ábra *Chicxulub*-kráter a Yucatán-félszigetnél (Forrás: wikipédia)

Az egyik földtani modell szerint egy kisbolygó Földnek ütközése lehetett felelős a kréta végi kihalásokért, míg más elméletek a fokozatos kihalást tartják valószínűnek. Mégis legtöbbször a két elmélet kombinációjával magyarázzák a kréta végi tömeges kihalást, az őshüllők, az ammoniteszek eltűnését, valamint a madarak, és az emlősök előretörését. A kombinált elmélet szerint a mezozoikumi tápláléklánc már felborult a kréta/harmadidőszaki határesemény

előtt, a kisbolygó becsapódás csak felerősítette és lezárta ezt az élővilág átalakulási folyamatot.

4.6.1.3. Írókréta kőzetfáciest alkotó sárgásmoszatok (kokkolitoforidák)



*144. ábra Kréta időszaki írókréta mészkőfácies kifejlődése a Doveri-szorosban
(Forrás: wikipédia)*

A kréta időszakban az éghajlat aránylag kiegyenlített és meleg volt, a világtenger szintje pedig kifejezetten magas volt. De az előző időszakokkal összehasonlítva az éghajlat a jura időszakhoz képest hűvösebbé vált és a világtengerek szintje is relatíve csökkent. Ezt a kiegyenlítettebb éghajlatot a kontinensek peremét borító meleg sekélytengerek stabilizálták. Ezen a kontinentális meleg - kiegyenlített sekélytengerekben halmozódott fel az egyik legfontosabb paleohidrológiai indikátor, a hófehér színű írókréta mészkő. Ez a mészkőnév nem egy önálló kőzetnév, hanem bizonyos mészkövek gyűjtőkategóriája, amelynek elnevezését a görög sziget, Kréta alapján kapta. Viszont a világban igen sok helyen előforduló kőzetfáciestől van szó, amelynek

legismertebb megjelenése a La Manche csatorna két oldalán, mindenekelőtt az Angliához tartozó doveri partoknál, doveri fehér szikláknál figyelhető meg (**144. ábra**).

Később erről a kőzet fáciesről, az írókréta kifejlődésről nevezték el az egész időszakot, amikor az európai írókréta kőzet döntő része képződött. Ennek a finom szemcseösszetételű, homogén és sokszor puha, csak a legenyhébb diagenezisen átesett írókréta kőzetc fáciesnek a felépítésében alapvető szerepet játszottak egy korabeli tengeri algafajta, mészalgák (*Haptophyta*) közé sorolható kokkolitoforák nagy tisztaságú, mikroszkopikus méretű kalcitvázai is. Ezek az egysejtű nanoplanktonok mintegy 45 nemzetségnek 500 fajtát fogják át. A kokkolitoforidák lebegő sárgásmoszatok, melyek a *nannoplankton* alkotják. A sejteket kicsiny, 3-15 µm átmérőjű mészpikkelyekből (kokkolitokból) álló páncél veszi körül¹⁰. A pikkelyek a tengerek fenekére hullva kokkolitos iszapot alkotnak. Mivel a triász időszaknál fiatalabb tengeri lerakódásokban tömeges mennyiségben fordulnak elő, ezért jól felhasználhatók a jura időszaki és annál fiatalabb tengeri rétegsorok paleohidrológiai elemzésében. A Kárpát-medence jura kőzeteiben a *Watznaueria*, a krétában az *Eiffellithus*, a kainozoikumi üledékekben pedig többek között a *Reticulofenestra* a jellemző kokkolit taxon. Ezeknek a sárgásmoszatoknak két megjelenési formája ismeretes, a mozgékony, szabadon úszó ostoros egysejtű forma és az ostornélküli, lebegő, nyugvó alakok, az ún. „*coccolith*” vagy más néven „*ophorid*” formák. Ez utóbbiak a kiemelkedőek paleohidrológiai szempontból, mivel fajra, taxonra jellemzőek ezek a kalcitból álló pikkelyszerű formák, illetve a nanoplanktonokat borító kalcitból álló lapok. A kiváló paleohidrológiai indikátorokat alkotó *coccolith* (*ophorid*) maradványok jól fosszilizálódnak (**145. ábra**), és tömeges felhalmozódásukból keletkeztek a jura és kréta időszaki tengeri kokkolitos mészkövek (írókréta fácies).



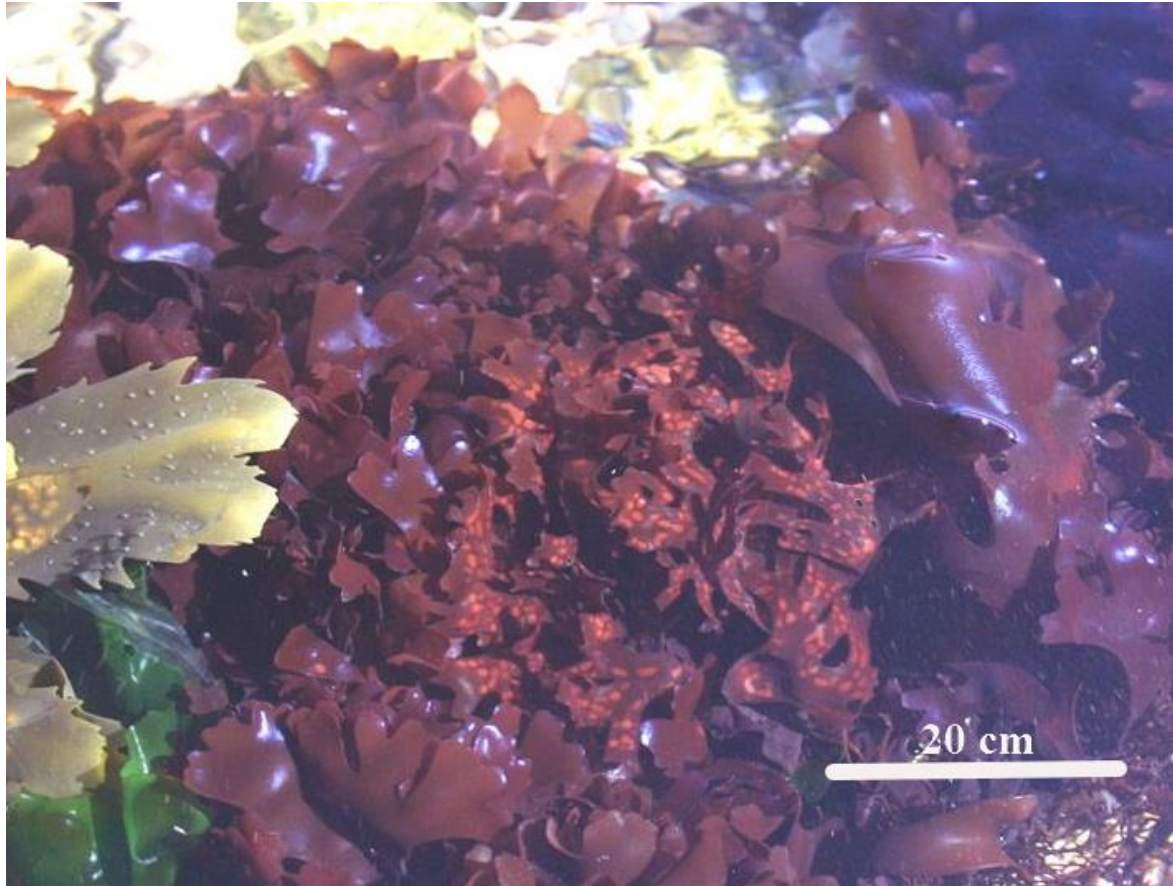
145. ábra Az írókréta mészkövet felépítő kalcitlapokkal határolt nannoplankton (coccolith) (Forrás: wikipédia)

4.6.1.4. Vörösmozzatok (Rhodophyta), mint zátonyalkotó tényezők

Nevüket onnan kapták, hogy döntően rózsaszín, vörös és ibolyaszínben jelennek meg a klorofill zöld, a fikocianin kék színeit eltakaró fikoeritrin miatt vörös színű színtesteik miatt, de nevükkel ellentétben nemcsak vörös pigmentet tartalmaznak. Sőt ismereteseek a Brit-szigeteken élő édesvízi vörösmozzat fajok, amelyek döntően olajzöld, vagy kék színűek. A klorofill mellett karotin és xantofill segédpigmentekkel is rendelkeznek.

A vörösmozzatok kloroplasztiszai elsősorban szimbiogenezissel jöttek létre, vagyis eukarióta sejtekre jellemző félautonóm (részleges genetikai önállósággal bíró) sejtrészek eredetileg prokarióta sejtek (cianobaktériumok, ősbaktériumok –

archeák) voltak, és szimbiózis során alakultak ki, de a kloroplasztisz a vörösmozzatokban már elvesztette a törzsfejlődés során a bakteriális sejtfalát, és csupán két membránréteg határolja azt.



146. ábra Ma élő vörösalga (ír moszat) (Forrás: wikipédia)

A vörösmozzatok (*Rhodophyta*) taxonok döntő többségükben tengerben élő szervezetek tartoznak (**146. ábra**). Közel 4000 fajuk ismeretes, döntően trópusi tengeri területeken, ahol akár 200 méterig is lehatolhatnak, de ismeretes néhány édesvízi formájuk (közel 200 faj) is. Bentoszlakó alakok alkotják elsősorban, de alámerülő vízi növények parazitái is találhatóak közöttük.



147. *ábra* Meszet kiválasztó vörösalgá (Lithothamnium) (Forrás: wikipédia)

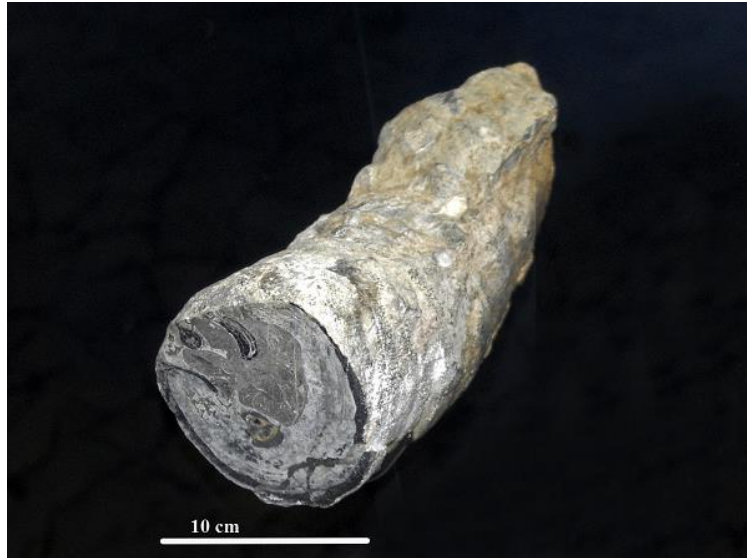
A vörösmozzatok egyik csoportja (*Lithothamnium*) meszet választ el (147. *ábra*), amivel nagyban hozzájárulhatnak a zátonyok felépüléséhez és a zátonymészkövek keletkezéséhez. Mivel alakjuk a víz örvénylő mozgásának a függvénye, ezért morfológiai kifejlődésük is jól használható a paleohidrológiai elemzésben, ez egykori vízi környezet jellemzésében. A vörösmozzat ősmaradványok gyakoriak a Kárpát-medence rétegsoraiban. A bükki perm mészkövekre jellemzőek a *Gymnocodium* maradványai. A triász sekélytengeri karbonátos kőzetekben a *Solenopora-félék* maradványai figyelhetők meg. A Bakony északi részén jellegzetes, sziklás térszint formáló középső-kréta mészkőben is megtalálhatók vörösalgá maradványok, melyben a *Paraphyllum* és *Kymalithon* taxonok jelentkeznek leggyakrabban. Az eocén mészköveinkben, de különösen a miocén időszaki lajtamészkőben nagyon gyakoriak a *Lithothamnium* vörösalgá taxonok.

Bár a vörösmoszatok már 400 millió éve a szilur időszakban kialakultak, de kőzetalkotó fossziliaként először a perm időszakban jelentkeztek, és csak a mezozoikum során váltak kiemelkedő zátonyalkotóvá. A triász időszaki sekélytengeri karbonátos képződmények után döntően a jura és kréta időszakban jelentkeztek tömegesen. A kréta időszakban a Környezi Formációban foltzátonyokat alkottak a mészkiválasztó vörösmoszatok korallokkal, csigákkal, nagyforamiferákkal és csalánozókkal együtt. A kréta időszakban a zátonyok külső oldalán jelentkeztek, mint zátonyplatform alkotók.

Kréta időszaki rudista kagylózátonyok

A krétában egy „helyt ülő” (szesszilis), egyedülálló módon serleg vagy tülökformát felvett héjú kagylócsoport, a *Hippuritidae* család tagjai alkottak zátonyokat (148. ábra). Telepeik, szemben a korallok formálta képződményekkel, nem annyira vertikálisan, mint horizontálisan voltak nagy kiterjedésűek. Olyan eredetileg szimmetrikus kagyló taxonból származtak, amelynek teknői megcsavarodtak, majd a teknő bal oldali fele záró lemezzé, míg a teknő jobb oldali fele serleg formájúvá alakult. A héjat pórusok törték át, amin keresztül feltehetően víz átáramoltatására is lehetőség volt. Nem kizárt, hogy a triász időszakban megjelenő és napjainkban is élő *Scleractinia* korallokhoz hasonlóan szimbionta algákkal éltek együtt. A kréta időszak során a rudista kagylók a trópusi tengerekben visszaszorították a korallokat és sok esetben a kréta időszaki zátonyok domináns alkotóivá váltak. A zátonyalkotó kagylók kréta időszaki sikere és a korallok felett gyakorolt időleges dominanciája mögött feltételezhetően atmoszférikus és klimatikus okok állhattak. Egyrészt, a kréta időszak folyamán a trópusi tengerek melegebbek voltak a maiaknál, megközelítőleg 5-15 °C fokkal. Másrészt, jelentősebb volt a sótartalomuk és ez kedvezőtlenül hatott a korallok polipocskákra. Továbbá a légköri széndioxid-koncentráció a mai érték négyszerese, közel 1700 ppm lehetett, jelentős savasodást okozva az óceánokban, és ez igen nehéz helyzetet teremtett a korallállatok számára. Az ún. „rudista” kagylók tündöklésének azonban vége

lett, mert előbb a kréta időszak végére megfogyatkoztak, majd a kréta/tercier határon történt tömeges kihalás során teljesen kivesztek az élővilágból. A harmadidőszak során csak az osztrigák (*Ostrea*) körében jelentkeztek kisebb zátonyépítő taxonok. A *Hippuritidae* kagylók maradványai (149. ábra) egyes hazai kréta időszaki kőzetekben gyakoriaknak mondhatók (a Sümegyen található Mogyorósdombi kőfejtőben, Ugodi Mészke Formáció kőzeteiben).



148. ábra Kréta kori zátonyokat alkotó rudista kagyló, a *Hippurites* (Forrás: wikipédia)



149. ábra Kréta kori zátonyokat alkotó rudista kagyló, a *Hippurites* (Forrás: Dávid Árpád címzetes egyetemi docens felvétele, írásos hozzájárulásával bemutatva)

Külön ki kell emelnünk a *Gryphaea* kagylók (150. ábra) által kialakított mezozoikumi meszes zátonyokat, padokat, amelyek már a jura időszakban létrejöttek, és a jura, valamint a kréta időszakban jelentkeztek a legjelentősebb

arányban, bár egyes fajai ma is élnek a *Gryphaea* nemzetségnek. A *Gryphaea* az osztrigákhoz tartozó kagyló nemzetség. A domború bal teknő búbja erősen be van csavarodva, a jobb teknő lapos, rendkívüli módon hasonlít az mondabeli griffmadár csőrére, innen származik a neve is. Legnagyobb mennyiségben a liász-, jura- és krétakorban éltek, a harmadkorban és napjainkban ritkábbak. A jura időszaki *Gryphaea* taxonjai a *Gryphaea arcuata* és a *Gryphaea obliqua*, míg a *Gryphaea vesicularis* később, a kréta időszakban jelentkezett.



150. ábra Gryphaea zátonyépítő római mécsesre emlékeztető kagyló (Forrás: wikipédia)

4.6.1.5. Kovamoszatok

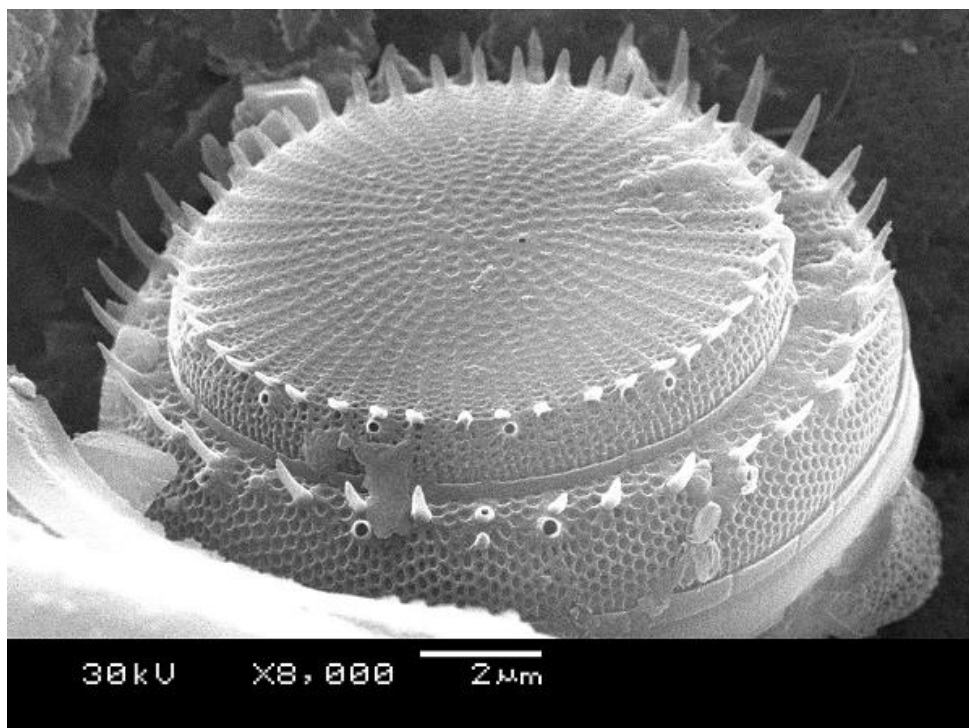
A kovamoszatok a földtörténeti jura időszakban fejlődtek ki. Az egykori tavak, lápok és tengerek egyik legfontosabb paleohidrológiai indikátor elemét a kovamoszatok – diatómák (*Diatoma*) alkotják. Ezek a kovavázúak egysejtű vagy sejtököttelekben együtt maradó moszatok. Édes- és tengervízben élnek. Több mint 100.000 fajuk ismert. A kovamoszatok színtestei sárgásbarnák, ezért a sárgásmoszatok (*Heterokontophyta*) törzsébe soroljuk ezt az altörzset egyes rendszertani megközelítésekben, mivel a sárga színű xantofill túlsúlyban van a színtesteikben. A diatómák rendszertana napjainkban több alapvető változáson is átesett, mivel a kovamoszatokat, sárgásmoszatokat vizsgáló kutatók nem tudnak megegyezni, hogy milyen rendszertani egységekbe sorolhatók az egyes

csoportok és taxonok. A rendszertani viták ellenére a kovamoszatokhoz sorolható fajok lehatárolása (151. ábra) az eddigi munka és határozókönyvek alapján megfelelően végrehajtható, viták elsősorban a faj feletti egységek meghatározásánál jelentkeznek.



151. ábra Különböző kovamoszat taxonok (Forrás: wikipédia)

A kovamoszatok kinyerése, kutatása hasonló a virágpór szemcsék elemzéséhez, de a szilikátvázal rendelkező kovamoszatoknak igen jelentős előnye, hogy a kiszáradó üledékben is megmaradnak. Igen sok, jól elkülöníthető fajuk ismeretes, nemcsak édesvízi, hanem tengeri képződményekből is (152. ábra).

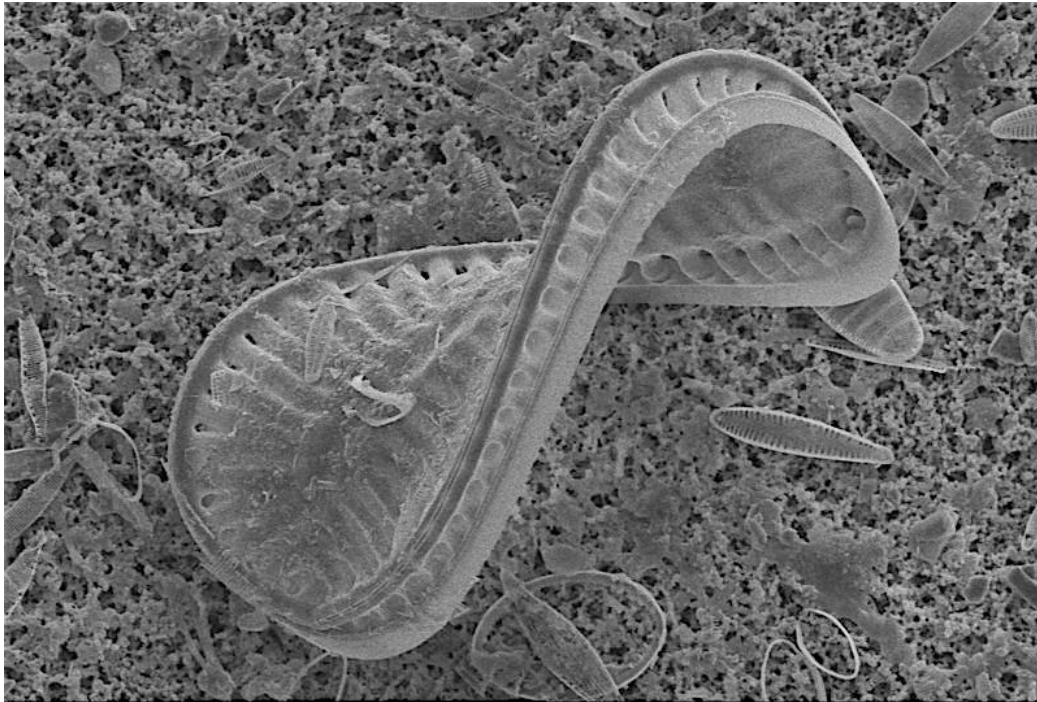


152. ábra Egy tipikus torta alakú kovamoszat, *Stephanodiscus hantzschii*
(Forrás: wikipédia)

A recens kovamoszat közösségek összetétele és környezetükkel, a különböző vizek kémiai és fizikai tényezőivel való kapcsolatuk is jelentős mértékben tisztázott, így fontos öskörnyezeti indikátor csoportot alkotnak a vízi képződmények esetében. A diatóma közösségek alapján a víz sótartalmára, lúgosságának vagy savasságának mértékére, tápértékére, a vizek hőmérsékletére következtethetünk. Elsősorban savas kémhatású területekről, lápokból és oligotróf tavakból kerülnek elő nagy számban maradványaik. Szikes, erősen lúgos vizekben vázuk feloldódik.

A sejtet két egymásba illő szilícium tartalmú kemény kovahéj zárja körül (**153. ábra**). A kovamoszatok a héj apró pórusain keresztül nyálkát bocsátanak ki, és ennek segítségével végeznek helyváltoztatást. Többnyire egyenként élnek a vízben lebegve, vagy az aljzathoz tapadva. Sok diatóma faj sejtjei az osztódásuk után közös nyálkaburokban együtt maradva laza sejttársulást alkotnak. A tengerek vizében, jelentős mennyiségben fordulnak elő. Az elpusztult és a

tengerfenekére süllyedt kovahéjak egyes helyeken több méter vastag kovaföld réteggé alakultak ki az elmúlt évmilliók folyamán.



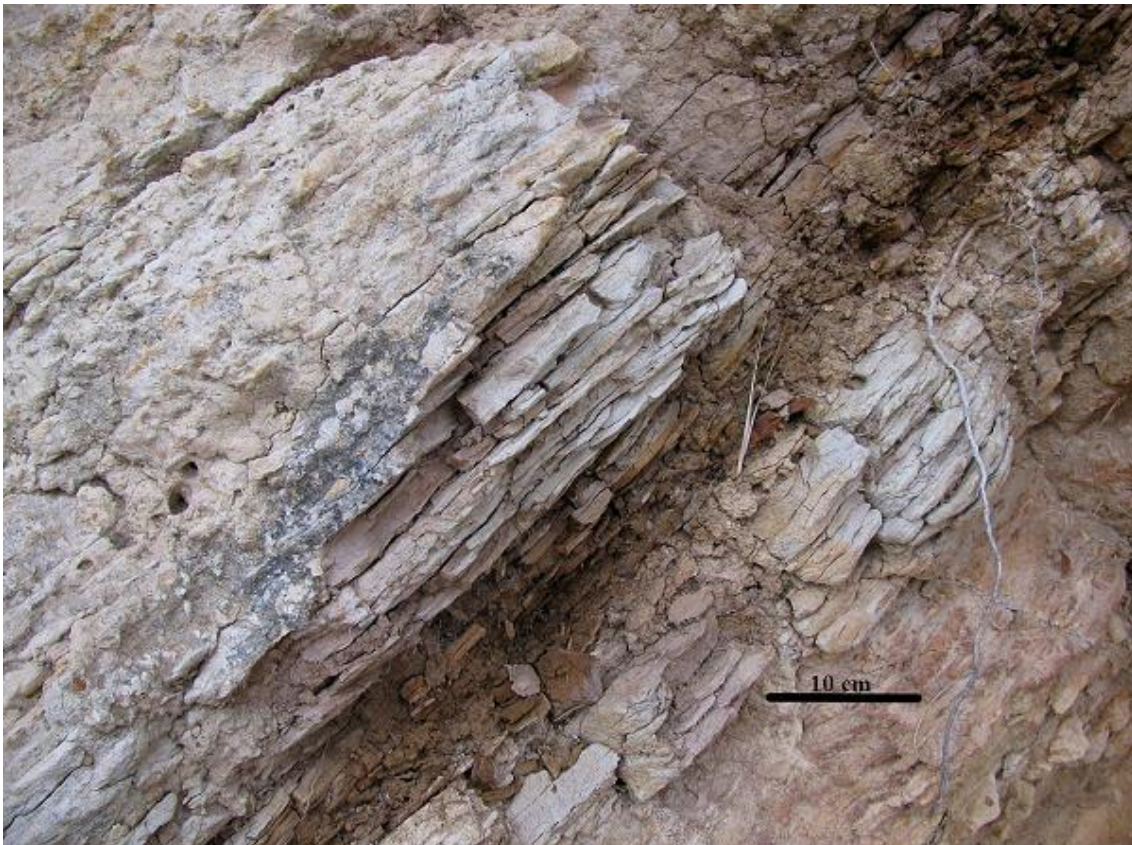
153. ábra Pásztázó elektronmikroszkópiás felvétel a spirális alakú Surirella spiralis kovamoszat taxonról (Forrás: wikipédia)

Alfred Nobel, aki az 1860-as években feltalálta a dinamitot, kovamoszattól nyert szilícium-dioxiddal stabilizálta a nitroglicerint, s így szállítható rudakat tudott készíteni a robbanóanyagból. A kovamoszat megkövesedett héjait, a kovaföldet (**154. ábra**) többféle módon hasznosítják a kereskedelemben, ezt teszik például az utak felfestéséhez használt festékekbe, hogy azok világítsanak, valamint borok tisztítására és az uszodák vizének a megszürésére is felhasználják.

Sokkal fontosabb tudnivaló azonban az, hogy ezek a parányi egysejtű növények a földön végbemenő fotoszintézis 25 %-áért felelősek és a légkör O₂ tartalmának akár 50 %-át is szabályozhatják. Vagyis a Földünkön a kovamoszatok alapvető szerepet játszanak a szén-dioxid, közte az emberiség által a fosszilis tüzelőanyagok felhasználásával keletkezett szén-dioxid többlet megkötésében és a globális oxigénszint fenntartásában, különösen, hogyha figyelembe vesszük,

hogy a kovamoszatok egy 1 %-os biomassza részarányukkal mintegy 20 %-os globális szén-dioxid megkötést végeznek.

Ennek nyomán egyértelmű, hogy a kovamoszatok létfontosságúak a földi élet, közte az emberiség fennmaradása szempontjából. Az adatok alapján ezek a parányi lények együttesen fontosabb szerepet játszanak a szén-dioxid és oxigén forgalomban, mint a szárazföldi növények. Éppen ezért vizsgálták részletesen a kovamoszatok élelciklusát, fotoszintézisét és a bioszférában betöltött szerepét. Ezen vizsgálatok során *Allen Milligan* és *Francois Morel*, a Princetoni Egyetem kutatói vezette amerikai kutatócsapat tagjai munkájuk során rájöttek, hogy a kovamoszat páncéljában lévő szilícium-dioxid megváltoztatja a bent rekedt víz vegyi összetételét, ideális környezetet teremtve a fotoszintézishez. A kutatók úgy találták, azért olyan díszes a páncél, hogy a benne lévő víz nagyobb felületen érhesse, s ezáltal hatékonyabb legyen a fotoszintézis.



154. ábra Diatóma vázak milliárdjaiból álló kovaföld rétegek az amerikai miocén korú Monterey Formációban (Forrás: wikipédia)

Mivel az óceán felszínén lebegő, szemmel alig vagy nem látható, különböző klorofillt és védő pigmenteket tartalmazó fitoplankton massa, amelyek egyik legfontosabb alkotórészét éppen a kovamoszatok adják, az eddigi megfigyelések és kísérletek alapján képes a növekvő szén-dioxid és egyéb üvegházhatás során kibocsátott gázok elnyelésére. Egy kísérletsorozat alapján az óceánok felszínét vastartalmú vegyületekkel trágyázva elérték, hogy a fitoplanktonok és ezzel együtt a kovamoszatok száma, hirtelen, ugrásszerűen megemelkedett – ún. „*plankton virágzás*” lépett fel. A plankton virágzás a trágyázást követő 4. héten alakult ki, majd ezt számos kovamoszat fajhoz sorolható milliárd számú egyed pusztulása követte. Az elpusztult mikroszkopikus lények a zooplankton ürülékkel együtt az óceán mélyére süllyedtek. Ezen folyamat során jelentős mennyiségű szerves-anyaghoz kötött szén-dioxid vonódott ki a légkörből. A földtörténet során több ilyen változás történt, amikor a fitoplanktonok, köztük a kovamoszatok megváltoztatták a paleohidrológiai rendszerek szén-dioxid és oxigén forgalmát és ennek nyomán szinte a teljes elemforgalom átalakult. Ezek a változások főként azokban a periódusokban következtek be, amikor a vulkáni tevékenység felerősödött, mivel az ezekben a periódusokban kialakult kovasavban gazdag víz kedvezett a kovamoszatok elszaporodásának.

Mivel a kovamoszatok tömegüknél és élettevékenységüknél fogva ilyen kiemelkedő szerepet játszanak, ezért szükségszerűek azok a vizsgálatok, amelyek a kovamoszatok elterjedésével, elterjedését segítő, vagy gátló folyamatokkal foglalkoznak. Ezen elemzéseknél figyeltek fel a kutatók arra, hogy a kovaalgák a világ egyik legnagyobb vulkán kitörésénél a sztratoszféráig röpültek és messzi szigeteken landoltak – sértetlenül. Ugyanis a kutatások során kiderült, hogy az új-zélandi Taupo szupervulkán 25 ezer évvel ezelőtti működése során, mikor mintegy 600 km³ anyagot, közte a krátertóban élő kovamoszatokat lövellt ki a légkörbe és az Új-Zélandon őshonos kovaalga taxonok megjelentek a Taupo vulkántól 850 kilométerre lévő Chatman szigeteken a jégkor végi rétegekben.

Elterjedtsége ellenére mostanáig nem tudták, hogyan változtatják helyüket a kovamoszatok, mivel az egysejtű szervezetek nem tudnak nagy távolságra úszni, de valahogy mégis eljutnak a világ egyik pontjáról a másikra. Amikor 14 ezer évvel ezelőtt kialakul a Yellowstone-tó, a kovamoszatok is gyorsan megjelentek a vízében a tó rétegeinek paleohidrológiai vizsgálata alapján. Eddig arra gyanakodtak, hogy a szél szállítja, vagy a víz sodorja őket egyik helyről a másikra.

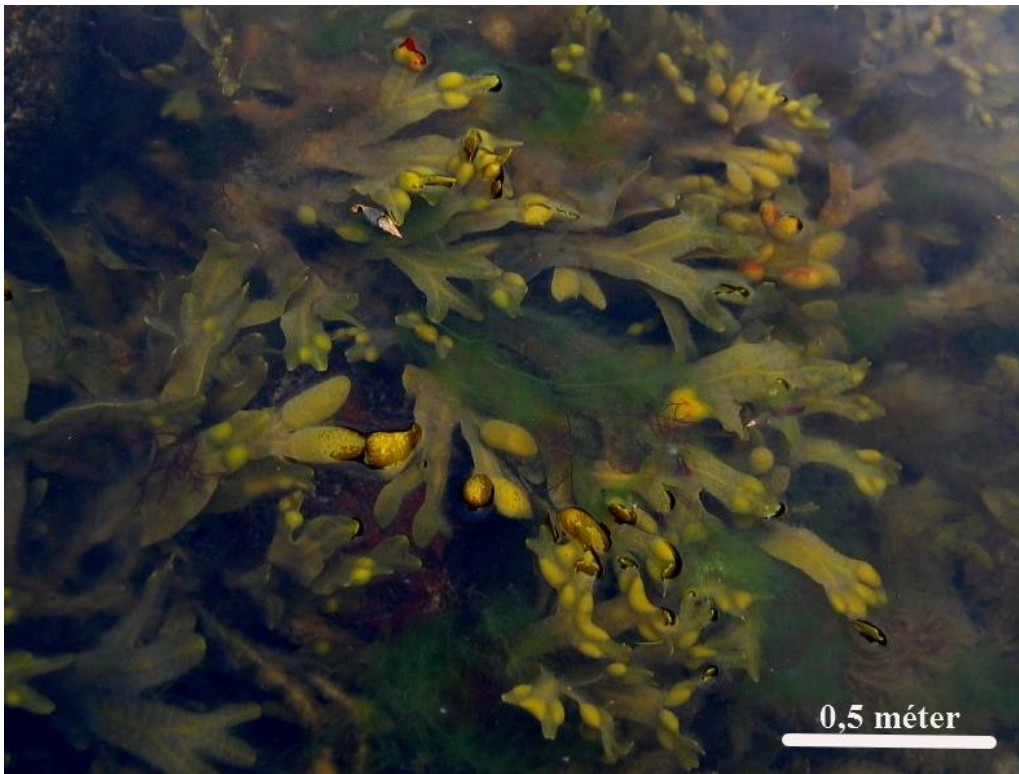
A paleohidrológiai kutatások alapján a kovamoszat taxonok szeretik a vulkáni tavakat a szilíciumban gazdag vulkáni magma miatt. Az élőlényt ugyanis két egymásba illő, szilíciumtartalmú kemény kovahéj zárja körül, tehát alapvető építőeleme a szilícium. A *Taupo vulkán* kitörése után megmaradt hamut vizsgálva végre rájöttek arra, hogy a Taupo-tó alatti vulkán hatalmas robbanása a világ távoli pontjaiba is eljuttatta a hamut és ezzel a kovamoszatokat is. Ezért tudnak viszonylag gyorsan nagy távolságban kolonizálni a kovamoszatok. Valószínűsíthető, hogy az elszórt, de nagy tömegű megjelenései a kovamoszatoknak ilyen folyamatok hatására alakultak ki a Földünk különböző pontjain.

A tavak rétegsorából előkerült kovamoszatok elemzése nyomán sikerült kimutatni a tavak partján megtelepedett termelő közösségek hatására bekövetkezett trofitási viszonyok megváltozását, az erdőirtásokat követő talajbemosódások hatására a tó vizének szerves anyagban történő feldúsulását (eutrofizáció). Kovamoszatok alapján sikerült a különböző tengerparti területeken a sós vízi, brakkvízi és édesvízi környezeteket és a tengerparti települések halászatát összehasonlítani, valamint az öblök feltöltődésének egyes fázisait elkülöníteni.

4.6.1.6. Barnamoszatok

A sárgásmoszatok törzsének legfejlettebb osztálya, bár a korábbi rendszerezések önálló törzsként (*Phaeophyta*) írták le. Nem tartoznak a növények közé! Sejtteni elemzések alapján másodlagosan autotróf szervezetek, mivel ősi heterotróf egysejtű vörösmoszatot kebelezett be, de nem emésztette meg, hanem belső

együttélésbe, endocitobiózisba került vele. Így az eredetileg heterotróf élőlényből alakult ki a másodlagosan autotróffá alakult barnamoszat. Bár a barnamoszat osztály, vagy törzs morfológiai, fejlődéstani és szaporodási jellegzetességei a növények felé mutatnak, de az a másodlagos autotróf életmód és a konvergencia következménye. Testfelépítésükre jellemző, hogy színük barnás, sohasem egyszéjtűek, hanem sokszéjtű telepet alkotnak (**155. ábra**) és a telepek kifejlődése elérheti a 300-400 méteres hosszúságot is. A barnamoszatok színanyaga, az a- és c-klorofill, béta-karotin, xantofilok. Ez utóbbiak közül különösen a fukoxantin okozza a barna színt, mert elfedik a klorofilok zöld színanyagát.



*155. ábra Barnamoszatok közé sorolt hólyagmoszat (Fucus vesiculosus)
(Forrás: wikipédia)*

A sejtekben jelentős mennyiségű jódot halmoznak fel, így népegészségügyi jelentőségük is van. Szaporodásuk lehet ivaros és ivartalan is. Döntően hideg és mérsékeltövi tengerekben, óceánokban sziklához kötve, vagy lebegve, esetleg epifiton módon élnek. Fajszaámuk eléri az 1500-at, de Magyarországon nem élnek. Jelenleg kiemelkedő szerepe van a tengeri ökoszisztémákban, paleohidrológiai szempontból jelentőségük elenyésző, maradványaik rendkívül ritkák és elsősorban

a legfiatalabb geológiai időszakban, a negyedidőszak során felhalmozódott tengeri üledékekben ismeretesekek.

Ellenőrző kérdések:

- 9.1. *Magyarázza meg a mezozoikum fogalmát.*
- 9.2. *Sorolja fel a mezozoikum időszakait.*
- 9.3. *Mutassa be a mezozoikum legfontosabb paleohidrológiai változásait.*
- 9.4. *Határolja le a triász időszakot geokronológiai alapján.*
- 9.5. *Nevezze meg a triász időszak legfontosabb paleohidrológiai változásait.*
- 9.6. *Nevezze meg a triász időszak legfontosabb Ammonitesz nemzetségeit.*
- 9.7. *Mi a Hexacorallia és milyen paleohidrológiai szerepe van a triászban?*
- 9.8. *Határolja le a jura időszakot geokronológiai alapján.*
- 9.9. *Nevezze meg a jura időszak legfontosabb paleohidrológiai változásait.*
- 9.10. *Határolja le a kréta időszakot geokronológiai alapján.*
- 9.11. *Nevezze meg a kréta időszak legfontosabb paleohidrológiai változásait.*
- 9.12. *Mi azaz írókréta fácies és milyen paleohidrológiai jelzőszerepe van a kréta időszakban?*
- 9.13. *Mik azok a kokkolitoforidák és mi a paleohidrológiai szerepük?*
- 9.14. *Mik azok a coccolith (ophorid) taxonok és mi a paleohidrológiai szerepük?*
- 9.15. *Soroljon fel kiemelkedő paleohidrológiai jelzőszerepű Rodophyta vörösmoszat taxonokat és mutassa be jelzőszerepüket.*
- 9.16. *Nevezzen meg zátonyalkotó kagyló taxonokat és ismertesse paleohidrológiai jelzőszerepüket.*
- 9.17. *Hová soroljuk a kovamoszatokat (Diatoma)?*
- 9.18. *Mutassa be a kovamoszatok (Diatoma) paleohidrológiai jelzőszerepét.*
- 9.19. *Hogyan terjednek a kovamoszatok (Diatoma) egyes taxonjai?*
- 9.20. *Mutassa be a barnamoszatok (Phaeophyta) fejlődésének jellegzetességeit.*

Kainozoikum éra (66 millió évtől napjainkig)

A kainozoikum (földtörténeti "újállati idő" = egyszerűsítve geológiai újkor) 66 millió évvel ezelőtt kezdődött, és napjainkban is tart. Az elnevezést *John Philips*

alkalmazta először 1840-ben. A kainozoikum érárt két részre osztják: harmadidőszakra (66-2,588 millió évek között), és negyedidőszakra, amely 2,588 millió évtől napjainkig tart. A harmadidőszakot (Tercier) további két korszakra bontjuk, Paleogénre és Neogénre. A Paleogén korszak a Paleocén, Eocén és Oligocén időszakokat fogja át, míg a Neogén korszakot a Miocén és Pliocén időszakok alkotják.

A földtörténeti újkor kőzetei igen elterjedtek valamennyi kontinensen. Mindenekelőtt az alacsony tengeri síkságokon, feltöltődött medencék üledékes képződményei között található kainozoikum során felhalmozódott üledék. A magmás kőzetek kialakulása is jellemezte a kainozoikumot. Már a korai kainozoós bazaltláva folyások képviselik ezeket a kőzettípusokat (Grönland keleti része), valamint a *Cirkumpacifikus* régió számos vulkánja (többek között a Hawaii-szigetlánc). A világ nagy hegyláncai közül sok a kainozoikum során emelkedett ki (Alpok, Kárpátok, Atlasz, Himalája, Sziklás-hegység). Folytatódott Laurázsia és Gondwana feldarabolódása, a Tethys óceán bezárulása, az Eurázsiai hegységrendszer, Kordillerák, Andok kiemelkedése, az Atlanti-óceán kinyílása, az Indiai-óceán kialakulása. A kainozoikum elején az éghajlat melegebb volt a mainál, de mintegy 50 millió évvel ezelőtt elkezdődött egy a mai napig is tartó lehülés, amely az oligocén során erőteljesebbé vált, mikor a lemeztectonikai mozgások hatására az Antarktisz a déli pólusra került.

A kainozoikum élővilága a mezozoikum végén bekövetkezett kihálás során jelentős mértékben különbözik a mezozoikumétól. A modern flórára jellemző zárvatermők robbanásszerű elterjedése és adaptív radiációja ugyan a kréta végén kezdődött el, de a zárvatermők uralma a kainozoikum során fejlődött ki. Ahogy az éghajlat egyre differenciáltabbá vált a kainozoikumban, a flóra is mindinkább tartományokban különült el, fokozatosan kialakultak flóra provinciák, tartományok, flóraterületek.

A fauna szintén jelentős változásokon ment át. Az emlősök, amelyek már a kainozoikum kezdete előtt is léteztek, a dinoszauruszok, tengeri hüllők kihálása

után gyors evolúciós radiáción mentek keresztül. Így a kainozoikumban kisszámú, egyszerű (primitív és totipotens állapotú), és specializálatlan fajból a földi, vízi és légi élőlények sokszínű univerzumává fejlődtek, elfoglalva a kihalt fajok által hátrahagyott élettereket. Az erszényesek Ausztráliában és Dél-Amerikában szaporodtak el a méhlepényes ragadozók hiányának köszönhetően. A méhlepényesek - amelyek az ismert emlősök több mint 95%-át alkotják - gyorsan elterjedtek a többi kontinensen, majd a közép-amerikai földhíd kialakulását követően (mintegy 3 millió évvel ezelőtt) Dél-Amerikában is. Az oligocén időszakban indultak fejlődésnek az emberszabású majmok, a pliocén (5,3-2,588 millió évvel ezelőtt) időszakban jelentek meg az első hominidák, de a korai emberek csak a Negyedidőszak kezdetén, a kora pleisztocén során alakultak ki. Ugyanakkor a kainozoikum nem csak az emlősök és madarak kora, hanem a szavannáké, őserdőké és ezekben a biomokban élő madaraké, virágos növényeké és rovaroké is. Ezek az élőlények egymástól függő társulásokat, ökoszisztémákat, biomokat alakítottak ki, és ennek nyomán a kainozoikum kezdetén teljes mértékben átalakult a Földünk élővilága.

Paleocén időszak (66 – 56 millió év között)

A paleocén időszak során viszonylag egységes volt a klíma. Az ammoniteszek kihaltak és a kiürült életterükben csigák és kagylók, tengeri uborkák és likacsoshéjúak (foraminiferák) jelentek meg, míg a csontos halak és a cápák dominanciája a tengerek nektonikus régióiban kialakult. A tengerekben a maiakhoz hasonló taxonok jelentek meg.

A szárazföldeken viszont erőteljesebb változások zajlottak. A hüllők modern csoportjai, a kígyók és gyíkok terjedésnek indultak, de a szárazföld igazi uraivá az emlősök, madarak, rovarok és a zárvatermők váltak. A kréta – terciér növényzeti átalakulás után már nincsenek nagy evolúciós változások, elsősorban az éghajlathoz, a megváltozott ösföldrajzi viszonyokhoz történő alkalmazkodás zajlott. Az időszak növényzeti kifejlődésének egyén vonását jelzi, hogy kialakul az ún. *arktotercier*, vagy más néven harmadidőszaki flóra. A virágos növények

radiációja tovább zajlott és a mai modern nemzetségek lettek a jellemzőek. A mai esőerdők, paleotrópusi régiók ekkor jelentek meg először, amelyek a nagytermetű állatok híján sűrű növényzetű volt.

A sűrű erdőségek a kis falakó állatoknak kedveztek, tehát ezeken a területeken a kistermetű emlősök radiációja volt jellemző ebben az időszakban. Észak-Amerikában fejlődtek ki az oposszumszerű erszényesek. A mai ragadozók *Carnivora* rendje még nem jelent meg, rokona az akkor virágzó *Creodonta* rend pedig azóta kihalt. A madarak közül viszont előfordultak a kifejezetten nagytermetű fajok, mint a röpképtelen ragadozó terror-, vagy más néven gyilokmadarak. A paleocén időszak elején, 63 millió éve vált szét a Primates az orrtükrösökre (félmajmokra - (*Strepsirrhini*) és az orrtükör nélküliekre (*Haplorhini*), melyből mintegy 58 millió éve alakult ki a koboldmaki alkatúak (*Tarsiiformes*) és a majomalkatúak (*Simiiformes*). A makifélék (*Lemuridae*) fejlődését alapvetően befolyásolta, hogy jura második felében India, Ausztrália, Antarktisz és Madagaszkár együttesen levált a széteső Pangeáról. Majd a kréta végén India és Madagaszkár, valamint egy keskeny mikrokontinens, amelynek maradványa a Seychelle-szigetek is szétváltak. Ekkor izolálódott Madagaszkár szigete is. Így az itt élő maki taxonok jellegzetes szigetfaunát alkottak, és ebben az elszigetelt fejlődésben maradhattak fenn a kréta és paleocén időszakoktól napjainkig. Bár az emlőscsaládok száma a paleocén során 13-ról 41-re nőtt, alig találunk köztük a maiakhoz hasonlóakat, a legtöbbjük rovar- vagy mindenevő volt, a fogak még nem specializálódtak, agytérfogatuk kicsi volt még.

Eocén időszak (kerekítve 56 – 34 millió évek között)

A paleocén végén, eocén elején a klíma felmelegedett, a csapadékviszonyok kiegyenlítődtek, a paleotrópusi dzsungelek kiterjedtek. A tengerekben kialakultak a Nummuliteszek (foraminiferák: likacsoshéjú egysejtűek). A meleg miatt még ekkor is döntően kistermetű, kb. 10 kg-os emlősök éltek. Az “eocén” jelentése: “új idők hajnala”, átvitt értelemben az emlősök felemelkedésének hajnala, kezdete. Az emlősök körében evolúciós robbanás történt, a családok

száma 41-ről 91-re nőtt¹¹. Kialakultak a páros- és páratlan ujjú patások, tevék, lovak (a három és négyujjú *Eohippus* = *Hyracotherium*), szarvasmarhák, szarvasok, cickányok, ormányosok. A *Basilosaurus* taxonokból kialakultak a bálnák, megjelentek a denevérek, macskák, kutyák, nyulak, ürgék, pelék, hódok, hörcsögök. A főemlősök csoportja 40 millió éve két rendre vált szét: orrtükrösökre és orrtükör nélküliekre (utóbbi nagyobb csoport, ide tartozik az ember is).

Az eocén során világszerte elterjedtek a madarak változatos fajai. Már a későkréta óta jelen volt az összes madárrend, de az igazi nagy radiáció az eocén időszakban történt. A középső- és kései eocén hidegebb és szárazabb lett. A trópusi erdők az Egyenlítő mentén maradtak csak meg, a magasabb szélességeken mérsékeltövi kevert erdők, ún. „*arktoterrier flóra*” uralkodott, fenyőkkel és lombhullató fákkal. A páratlanujjú patások jól alkalmazkodnak az egyre keményebb, szálasabb táplálékhoz, ami az erőteljesebb szezonális hozadékra. Nagyszámú disznószerű mindenevő és szarvasszerű növényevő taxonok jelentek meg. Az eocén időszak a „nagy törés” nevű kihalással ér véget, amit valószínűleg egy meteorit becsapódás okozhatott. Antarktisz eljegesedése elkezdődik (eocén-oligocén határ), a melegebb éghajlathoz alkalmazkodó emlősök közül sok kihalt.

Oligocén időszak (kerekítve 34 – 23 millió évek között)

Az oligocén időszakban kevesebb evolúciós változás zajlott, az emlőscsaládok száma 91-ről 92-re emelkedett¹². A kor elején lehűlés kezdődött, az évszakok élesebben elváltak egymástól. A pólusok lombhullató erdei eltűntek, az Antarktisz szigetein már a jégsapka fejlődésnek indult, a jégtakaró peremén tundraszerű vegetációval. A jégtakaró kialakulása miatt a tenger vízszintje csökkent, a csapadék mennyisége globálisan lecsökkent. A szárazabb klíma miatt az erdők, közte a paleotrópusi őserdők, folytonosságát megtörhették bozótos tisztások, szavannák. Ez a változás teret adott a nagyobb termetű növényevő emlősök kifejlődésének. A növényevők nagyobb testméret kialakulása nyomán a

ragadozó emlősök testmérete is megnövekedett. Igazi különlegesség a minden idők legnagyobb szárazföldi emlősének kialakulása, az *Indricotherium*, a *Hyracodontidae* kihalt rinocéroszcsalád tagja. Bár a legelterjedtebb legelő állatok birkaméretűek és disznóalkatúak voltak, de az óriási méretű emlősök száma jelentőssé vált. Észak-Amerikában megjelentek a gazellaalkatú tevék (*Stenomylus*) és a póni méretű (pl. *Miohippus*) lovak. Valamivel több, mint 30 millió évvel ezelőtt az Simiiformes-ből kialakultak az óvilági- (szélesorrú) és az újvilági (keskenyorrú) majmok. Az óvilágiak közül kiemeljük az *Aegyptopithecus* taxon, amely Egyiptomból került elő és az emberszabásúak (*Hominoidea*) előfutárának tartják, mely 25 millió éve különült el a cercófszerűektől. Az oligocénban jelennek meg az első (talajlakó) lajhárok Dél-Amerikában. Ekkor bukkan fel a karnivorák *Pinnipedia* alrendje, amelybe a fókák is tartoznak. Megjelennek az első plankton fogyasztó bálnák is. A késő oligocénban egy felmelegedési periódus is lejátszódott.

Miocén időszak (mintegy 23 – 5,3 millió évek között)

Bár a miocén időszakban a Földünk globális hőmérséklete tovább csökkent – ennek ellenére a középső-miocén volt az utóbbi 35 millió év legmelegebb kora. Utána a Föld relatíve hidegebb és szárazabb helyé vált. A flóra fokozatosan szegényedett, az arktotercier flóra egyre jelentősebb területen terjedt el, és nagy kiterjedésű bozótos társulások alakultak ki. Tíz emlőscsalád kihalt (sok növényevő is) ebben az időszakban. Eurázsia Afrikához kapcsolódott, megszűnt az afrikai fauna egyedisége és elszigeteltsége, amely több hullámban bevándorolt Euráziába, illetve az eurázsiai emlősök migrációja is megindult Afrika felé. Így Euráziába megjelentek az elefántfélék és emberszabásúak, az afrikai kontinensen pedig a nyulak, macskafélék és modern orrszarvúak.

Mintegy 18 millió éve vált szét a gibbonfélék és az emberfélék (*Hominidae*) fejlődése. Utóbbiból megközelítőleg 15 millió éve alakult ki az orangutánok és a *Homininae* alcsalád. A mai trópusi szavannákra emlékeztető hosszú fűvű sztyeppéket elsősorban lovak, tevék és zsiráfszerű állatok lakták, de

felbukkantak a szarvasok ősei is. A sokféle zsákmányállat megjelenése új ragadozók kialakulásához vezetett. A nagy húsevők közül a leggyakoribbak a kutyamedvék (*Hemicyonidae*) voltak, amelyek a felépítésüknél fogva medvefélékhez tartoztak, de csoportos viselkedésük nyomán talán a kutyafélékhez, farkasokhoz álltak közelebb.

A miocén időszak korai szakaszában megjelentek a hiénák, a macskafélék terjedésnek indultak, közöttük közismert kardfogú tigris (*Smilodon*). A rovarévő melősök modern formái: a sünök, cickányok, vakondok elterjedtek az északi féltekén. Miocén középső szakaszában megjelentek az egerek, patkányok és a modern nyulak. Észak-Amerikából kipusztultak orrszarvúk, és a teve taxonok visszaszorultak. A kutyamedvék kihaltak, a kardfogú formák virágzásnak indultak. A dél-amerikai, akkor még önálló kontinens is új, döntően afrikai bevándorlókkal gazdagodott. Az újvilági majmok, a selyemmajmok, dél-amerikai vízidisznó és a tengerimalac ősi is ekkor érkeztek, óriási, húsevő madarakkal egyetemben (terrormadarak).

Pliocén időszak (megközelítőleg 5,3 – 2,6 millió évek között)



156. ábra Messinai-sókrízis során kivált gipszrétegek Spanyolországban
(Forrás: wikipédia)

A kontinensvándorlások hatására megváltoztak az óceáni áramlatok, a klíma még hűvösebb, szárazabb lett, és ez a változás nem kedvezett a biológiai változatosságnak. A fajok száma jelentősen csökkent, különösen Észak-Amerikában, amelynek nem voltak trópusi kapcsolatai.

A tektonikai változások hatására a Gibraltári szoros bezárult és a Földközi-tenger a miocén időszak végén 5,7 millió évtől többször kiszáradt (Messinai-sókrízis: **156. ábra**). Majd 5,3 millió éve, a pliocén időszak kezdetén ismét feltöltődött. A Földközi-tenger medencéjének kiszáradása szárazföldi összeköttetést teremtett a mai spanyol, olasz és görög szigetek és a kontinensek között; vadlovak, elefántok, mamutok, antilopok és vízilovak vándoroltak ezekre a korábban elzárt területekre. A medence feltöltődése után ezek a fajok a mai szigetek fogságába estek, és méreteik az izolált zsugorodás jelensége miatt erősen lecsökkentek, míg a rágcsálók mérete megnövekedett (óriáspatkányok kialakulása)¹³. Mintegy 3 millió évvel ezelőtt a lemeztektonikai mozgások, a Pacifikus-lemez (pontosabban a Cocos-lemez) alábukott a Karibi-lemeznek és ennek következményeként előbb egy szigetsorozat, majd ezt követően a közép-amerikai félsziget fejlődött ki. A pliocén végén kialakult mozgások során a *panamai földhíd* jött létre, amely hozzákapcsolódott a közép-amerikai félszigethez. Az így kialakult földhíd összekapcsolta Észak- és Dél-Amerikát. Az Egyenlítő mentén mozgó Ázsia és Afrika közötti meleg, trópusi áramlások megváltoztak, és ez a változás egész Földünk energiaháztartását átalakította a pliocén végén. A közép-amerikai földhíd kialakulását követően az észak-amerikai fejlett, modern méhlepényes emlőscsoportok megtelepedtek Dél-Amerikában, kiszorítva az addig ott élt harmadidőszak kezdetén kialakult erszényes emlősöket. A dél-amerikai szigetfaunát alkotó vendégízületes, erszényes emlősfauna ekkor szinte nyom nélkül kihalt, csak néhány taxonjuk élte túl ezt a faunakicserélődési folyamatot. Ezen túlélők közül a dél-amerikai állatvilág néhány csoportjának is sikerült egészen az ember első megjelenéséig megvetnie a lábát Észak-Amerikában: őket képviselték a földi lajhárok, köztük az óriás

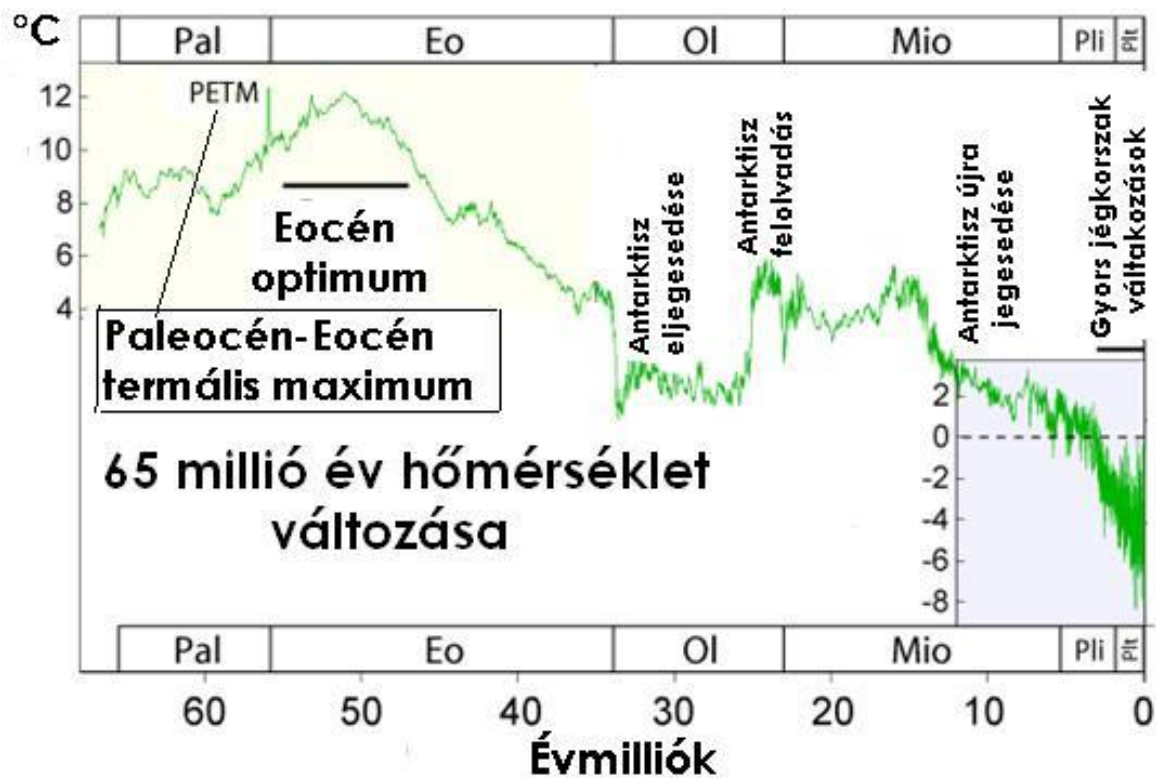
lajhárok, valamint a tatufélékkel kapcsolatot mutató páncélos méhlepényes emlősökhöz sorolható Glyptodonok, és az erszényes patkányok, az oposzumok. A pliocén során kialakultak a mai éghajlati övek, a füves területek terjeszkedtek az erdők rovására, elsősorban a Földközi-tenger medencéjének kiszáradásakor, amely egy egész óvilágra kiterjedő kiszáradási folyamatot indított el. A nagytű növényevők elterjedtek, ezek jobban viselték az éhséget, a hűvösebb éghajlatot, a szegényes és durva táplálékot. Ragadozóik már specializáltabbak voltak, jellegzetes példái ennek a kardfogú tigrisek. A pliocén időszak végén, a negyedidőszak kezdetén, az alsó pleisztocén során az elefántok terjedtek el, és Euráziába, majd Észak-Amerikába jutottak. A pliocén az első eljegesedésekkel, jégtakaró előretörésekkel ért véget.

A *Homininae* alcsaládban 7 millió éve vált le a gorilla, míg az ember (*Homo*) és csimpánz (*Pan*) nemzetség fejlődése, mintegy 5 millió éve válhatott szét.

Zátonyok átalakulása és fejlődése a harmadidőszak és negyedidőszak során

A triász-jura határon 201 millió éve bekövetkezett kihalás során összeomlottak a felső-triász kiterjedt, kőkorallok dominálta zátonyközösségei a *Tethys* ósóceán partjain. Ennek ellenére, a kőkorallok az egész hátralevő mezozoikumban, majd a kainozoikum érában keresztül egészen napjainkig részt vettek és részt vesznek a zátonyalkotásban, bár szerepük nem volt meghatározó a kréta időszaki zátonyok és a harmadidőszak kezdeti (paleocén időszaki) felépítésében. A dinoszauruszok végzetét okozó globális ökológiai változásokat, és óriási meteorit (kisbolygó) becsapódást követően a paleocénben nem épültek korallzátonyok.

Ugyanis 55 millió éve, a paleocén-eocén határon bekövetkezett drasztikus, 5–8 °C-os globális szintű felmelegedés (az ún. „*paleocén - eocén termális maximum*”: PETM: **157. ábra**) során szintén feltételezik az óceánok, világtengerek akut elsavasodását.



157. ábra Paleocén - Eocén Termális Maximum (PETM) időbeli és hőmérsékleti kifejlődése (Forrás: wikipédia - módosítva)

Ezek a paleohidrológiai adatok és rekonstrukciók arra figyelmeztetik az emberiséget, hogy a klíma gyors változása és a tengervíz pH értékének csökkenése nem csak a múltban volt katasztrofális hatással a zátonyokra. Sajnos várható, hogy a közeljövőben is Földünk korallzátonyainak nagymértékű pusztulásának lehetünk majd szomorú szemtanúi. Ez a folyamat már most is jól nyomonkövethető. Ugyanis az emberi hatásra is emelkedő atmoszferikus széndioxid-koncentráció következtében a világtengerek vizének pH-ja csökkenőben van. Ez a folyamat az elmúlt 50-60 év során, vagyis kevesebb, mint egy évszázad alatt már a globális korallzátonyok 10%-ának pusztulását okozta. A modell elemzések alapján várhatóan a XXI. század végére ez a savasodási folyamat a mészvázat építő tengeri szervezetek biomineralizációs rátáját, karbonát kiválasztó tevékenységét legalább a felére fogja csökkenteni. Az ipari forradalom kezdete (1830) óta folyamatosan csökken a tengervíz aragonit-telítettségi értéke. Így a zátonyok nettó mészprodukcója mintegy 15%-kal

csökkent az elmúlt 190 évben. A földtörténeti múltban hasonló folyamatok játszódtak le, de akkor természetes események játszhattak jelentős szerepet az egykori zátonyok pusztulásában.

Viszont a kainozóikum kezdetén a kőkorallok, mészalgák által alkotott zátonyok épülése fellendülőben volt, bár a magyarországi eocén időszaki rétegekből inkább magányos és nem zátonyépítő korall taxonok ismeretesek. Az eocén időszak végére Afrikának az európai kontinenssel való ütközése (kollíziója) a Tethysnek, mint óceánnak a bezáródását, s az északi szárnyából a mai Földközi-tengernél kiterjedtebb, a Kaszpi-tengert és a Fekete-tengert is felölelő, mintegy 5 millió km² kiterjedésű *Paratethys* kialakulását eredményezte. Így a Visegrádi-hegység délnyugati és keleti pereme a felső-eocén során, mintegy 38–36 millió évvel ezelőtt ismét tengeri üledékképződés színterévé vált. Az eocén időszak kezdetén fluviális hordalékkúpok alakultak ki ebben a régióban. Majd ezt a folyamatot a délnyugati peremen édesvízi mocsári környezetben történő *szénképződés* (Lencse-hegy) váltotta fel, amit kis felületű, néhány 10 km²-nyi foltzátonyos üledékképződése követett (Szépvölgyi Mészke). Így a korallmészke fedőként jelentkezik az édesvízi környezetben kifejlődött eocén szénrétegek felett. Ugyanakkor a Kárpát-medencében a mai Északi-középhegység déli zónáját szintén csak a felső-eocén során, a priaboniai emelet fiatalabb részében érte el a tenger és ennek nyomán eocén képződmények a Cserhát, a Bükkalja (Eger, Felsőtárkány, Kisgyőr) vidékén fordulnak elő. A rétegsor bázisának legjellegzetesebb kőzettípusa itt is a Szépvölgyi Mészke volt. Ezen a területen helyel-közzel kisméretű kőkorall foltzátonyokat is találunk, amelyek kicsiny kőkorall telepekből, vörösmozzatok által felépített *Lithothamnium*-bokrokból, és legfőképp az osztrigák (*Gigantostrea gigantea*) maradványaiból jöttek létre (Cserhát, Romhányi rög).

A Szépvölgyi Mészke jellegzetes kőzettípusai a vörösmozzatos (Lithothamniumos), foraminiferás (Discocyclinás) és nagy foraminiferás (Nummuliteszes) mészkő (finomhomokos, néha glaukonitos betelepülésekkel)

és mészmárga, valamint meszes konglomerátum kavicsos mészkő közberétegésekkel. A tömeges nagyforminiferák (*Nummulites fabianii*, *N. chavannesi*, *N. pulchellus*) maradványai, különböző *Discocyclina*-fajok (pl. *Discocyclina papyracea*) mellett a meszes kérget alkotó vörös mészalgák, *lithothamniumok* (*Corallinacea*) is rendkívül gyakoriak és mészalga gumók, rodoidok is szabad szemmel láthatóak ebben a zátonymészkőben. Nagymarosi András budapesti geológus és Báldi Tamás geológus professzor vezette kutató csoportok összefoglaló munkái nyomána a magyarországi eocén képződményekre kagylók közül a *Chlamys biarritzensis*, *Gryphaea brongniarti*, a tengeri sünök közül pedig a *Schizaster*- és *Echinolampas*-félék gyakoriak. Ezen fosszíliaegyüttesek jól átvilágított, meleg, trópusi, normális sótartalmú sekélytengerről, és ebben a tengerben kialakult foltzátonyokról tanúskodnak. A Szépvölgyi Mészkő Formáció elterjedése a Dorogi- és Tatabányai-medencék peremétől a Pilis és a Budai-hegység felé húzódik. Utóbbi a képződmény típusterülete, neve is onnan származik.

A miocén időszakban már a maihoz nagyon hasonló összetételű zátonyok léteztek az akkori tengerekben. Scholtz Gábor összefoglaló geológiai munkája nyomán tudjuk, hogy a visegrádi Fekete-hegy 15 millió évvel ezelőtt létezett korallzátonyát legalább 9, de lehet, hogy 20 eltérő hermatipikus (zátonyépítő, sekélytengeri) koralltaxon alkotta. A korallok vázai mellett jelentős a vörösalgák közé tartozó *Corallinaceae* algák maradványainak mennyisége, és valószínűleg meg is haladja a *Scleractinia* kőkorallok mennyiségét.

Mindez arra utalhat, hogy a visegrádi zátony normál sósvízi környezetben, meleg, szubtrópusi tengerben képződhetett, de a víz hőmérséklete már alatta lehetett a korallok szempontjából legkedvezőbb értékeknek. Számos korallnemzetség és mészalga ma is létezik a trópusi tengerekben a hajdan a Kárpát-medencében is élt formák közül (pl.: a *Porites* korallok). Az egykori miocén zátonyok egyik jellegzetes tanúja a lajtamészkő, amelynek egyik típuslelőhelye a természetvédelmi szempontból is védett fertőrákosi kőfejtőben

található. Ezt a helyben keletkezett, nem áthalmazódott, biogén eredetű kőzetet, legnagyobb részét kagylóhéjak és mészalgák alakították ki jól átvilágított, meleg vizekben, esetenként már a hullámverési (abráziós) övben. Döntő többségét ennek a kőzetnek folytonosan pusztuló és újraterlepülő, növekvő algarétegek adják, tipikus zátonyalga élettevékenységként. Ebből eredően, bár ősmaradványban rendkívül gazdag, ép kagylóhéj alig van benne, döntő többségük törött, ún. lumasella jellegű, és azok is az aragonitos, keményebb héjú fajoktól származnak, bár ezek egy része porrá őrlődött az egykori hullámverési (abráziós) zónában.

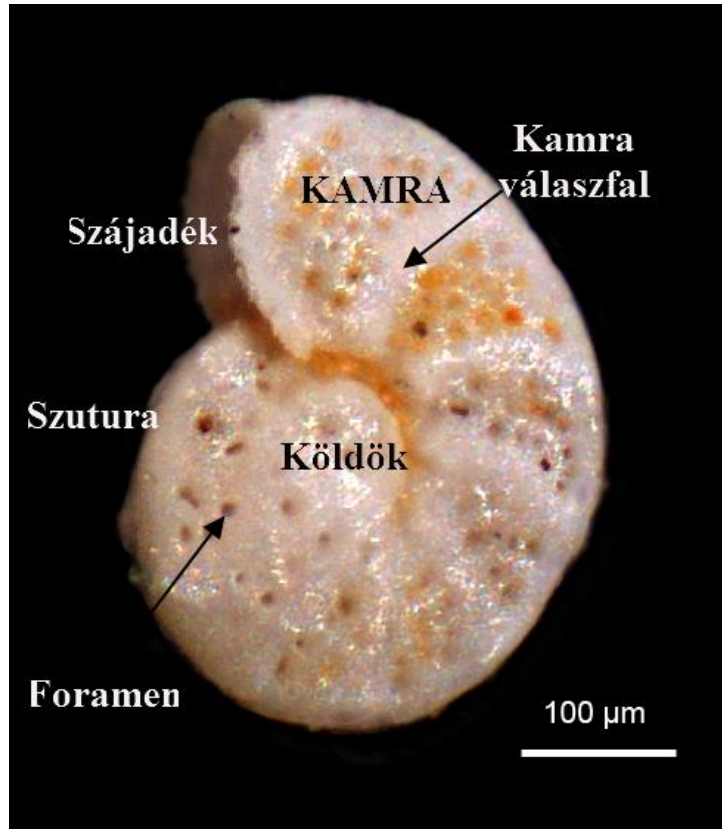
Általában az osztriga és fésűskagylófélék felismerhető héjtöredékei alkotják (*Pecten*, *Chlamys*, *Cardium*, *Ostrea*, *Flabellipecten*). Mindenhol gyakoriak a meszet kiválasztó meszes padokat, zátonyokat alkotó vörös mészalgák, a lithothamniumok ép gumói, meszes karfiolszerű telepei. Főleg egy faj, a *Lithothamnium ramosissimum* jellemző. A tengeri csigákat a toronycsigák (*Cerithium*), algaevő csigák (*Trochus*), tornyoscsigák (*Turritella*) taxonok képviselik. Ezen kívül virágállatok-korallok (*Anthozoa*), mohaállatok (*Tardigrada*), foraminiferák (*Amphistegina*) és tüskésbőrűek (*Clypeaster*) vázelemei ismerhetők fel ebben a mészkő típusban. Helyenként gyakoriak a cápafog maradványok.

4.6.2. Foraminifera (Likacsoshéjúak)

A likacsoshéjú foraminiferák (Foraminifera osztály, Foraminiferida) őslénytani – földtani, paleohidrológiai szempontból a legfontosabb egysejtűek. Nevüket nyílásokkal (foramen) áttört vázokról kapták (**158. ábra**). A foraminifera-fajokra általában jellemző, hogy állábaik vannak, amelyek elágazóak, fonálszerűek vagy hálózatosak vázuk szilárd, kamrázott és perforált, többnyire mikroszkópos méretűek és nemzedékváltkozással szaporodnak.

A foraminifera taxonok, akárcsak a többi gyökérlábú, állábaik segítségével mozognak és táplálkoznak. Az állábak ugyanis a szájadékon (apertúra) vagy a váz apró nyílásain (perforáció) keresztül kinyomulnak a vázból és körülveszik

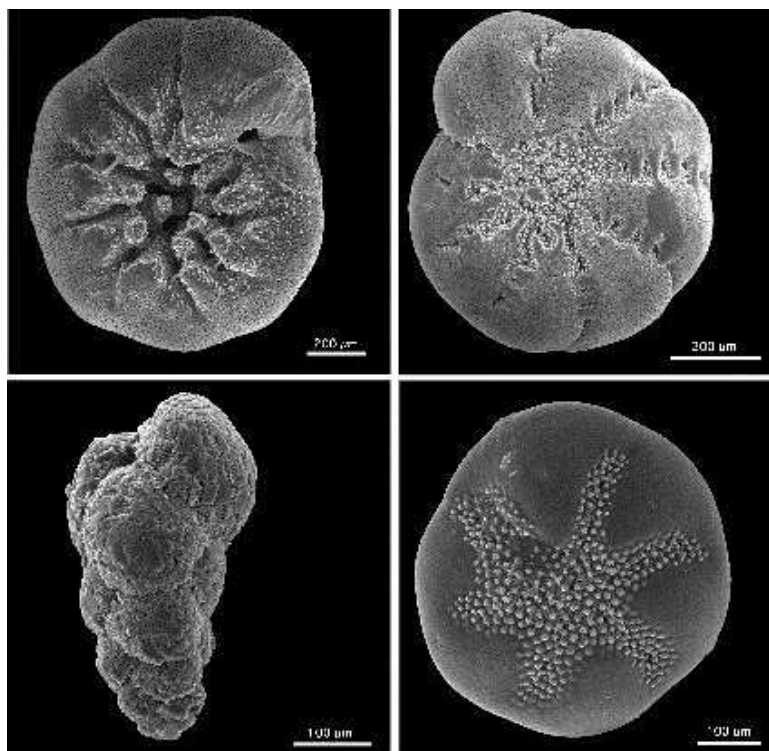
azt (**158. ábra**). Ilyen értelemben tehát a foraminiferáknak belső vázuk van, amely nem kívülről borítja az állatot, hanem csak a belső sejtplazmát védi. A mai leggyakoribb foraminiferáknak a váza nemcsak a fizikai és kémiai hatásoktól védi az állatot, hanem “melegház” szerepe is van.



158. ábra A lyukacsos héjúak (foraminiferák) külső anatómiai bélyegei (Forrás: wikipédia - módosítva)

A likacsoshéjú foraminiferák (Foraminifera osztály, Foraminiferida) paleohidrológiai szempontból az egyik legfontosabb egysejtűek, ezért a fosszilis fauna kiemelkedően jó ismerője, *Majzon László, Kecskeméti Tibor, Less György* professzorok, valamint *Dulai Alfréd, Silye Lóránd* kiváló munkái nyomán részletesen ismertetjük ezt a csoportot. Az egysejtűeknek ez az osztálya nyílásokkal (foramen) áttört vázokról kapták nevüket (**158. ábra**). A kamrák kapcsolatban állnak egymással, ugyanis a foraminifera sejtplazmája az összes kamrát kitölti, vagyis az állat egyidejűleg az egész vázát lakja. A foraminiferák csaknem kizárólag tengeriek, és csak kevesen élnek közülük a csökkent sósvízben vagy édesvízben. A likacsoshéjú taxonoknál elágazó, fonál, vagy

hálózatos állábak jellemzőek. A vázuk az anatómiai elemzések alapján lehet szilárd, kamrázott és perforált. Az osztály taxonjaira a mikroszkópos méret jellemző, de egyes taxonoknál a lakókamra elérhette a centiméteres méretet is – ezek az ún. nagyforaminiferák. A likacsoshéjú taxonok nemzedék váltakozással szaporodnak. A foraminifera taxonok, akárcsak a többi gyökérlábú, állábaik segítségével mozognak és táplálkoznak. Az állábak ugyanis a szájadékon (apertúra) vagy a váz apró nyílásain (perforáció) keresztül kinyomulnak a vázból és körülveszik azt (**158. ábra**). Sok foraminifera algákkal él együtt, és az üvegszerűen átlátszó házfalukon keresztülhatoló fény megkönnyíti ezen algák számára a fotóasszimilációt és felmelegítik a foraminifera belső plazmatikus részét. Ez utóbbi folyamat is elősegíti a fotoszintézist. A foraminifera házak egy- (monotalámia) vagy több (politalámia) kamrából áll – ez utóbbi a gyakoribb. Az első kamra a prolokulusz. A többkamrások sejtplazmája a növekedés során a prolokuluszból nyomul ki, és majd felveszi az új kamra alakját, ezt követően az új kamra falát leválasztja. A kamrák közti válaszfalakat, hasonlóan a lábasfejűek héjmorfológiai leírásánál, szeptumnak nevezzük (**158. ábra**). A kamrák kapcsolatban állnak egymással, ugyanis a foraminifera sejtplazmája az összes kamrát kitölti, vagyis az állat egyidejűleg az egész vázát lakja. A foraminiferák döntően tengeri élettérben találhatóak, és csak keves foraminifera ismeretes csökkent sósvízben vagy az édesvízben. Ez utóbbira a későbbiekben bemutatunk majd egy erdélyi példát. A foraminiferák túlnyomó többsége a tengeri bentosz élővilágába tartozik (**159. ábra**), kis részük planktonikus lebegő életmódot folytat a tenger felszínén. A tengerfenéken élők az árapályövtől a legkülönbözőbb tengermélységig megtalálhatók, ezért kiváló indikátorai az egykori vízmélységnek. Többségük sekélytengeri, ahol lassan mászkálnak a tengeri növényeken vagy a homokos üledéken. Viszont egyes, szeszilis taxonok a bentonikus aljzathoz rögzülnek. A foraminifera táplálékot elsősorban különböző algák, spórák, lárvák, apróbb rákok teszik ki.



159. ábra Mai iszaplakó foraminiférák scanning mikroszkópiás képei (Forrás: wikipédia)

A mai, bentosban élő alakok (**159. ábra**) a környezeti változásokra nagyon érzékenyek, ebből adódik rendkívüli foltszerű elterjedésük. Egyesek cementáló anyaggal rögzítik magukat az aljzathoz. Táplálékukat moszatok, spórák, lárvák, apróbb rákok teszik ki. Számos fajuk ezrével lepi el a néhány négyzetdeciméternyi üledékfelületet (**160. ábra**), ettől pár méterre pedig alig egy-két egyedük él, látszólag ugyanolyan környezetben. Valószínű, hogy elterjedésüket elsősorban a táplálékviszonyok határozzák meg, de jelentős szerepet játszanak egyéb abiotikus és biotikus tényezők, különösen az üledék összetétele, az üledékképződés gyorsasága, az áramlási viszonyok, a fény, a hőmérséklet, a sótartalom, az oxigénmennyiség és a környezetükben élő egyéb szervezetek gyakorisága¹⁴. Több megfigyelés utal arra, hogy a tiszta homokos aljzat nyújtja forminiférák számára a legkedvezőbb életfeltételeket. A recens vizsgálatok alapján a forminifera populációk sűrűsége csökken a szilárd vagy iszapos aljzaton. Általában az agglutinált vázú, egyszerűbb felépítésű formák a partközeli öblökben és lagúnákban, a bonyolultabb vázú alakok pedig a

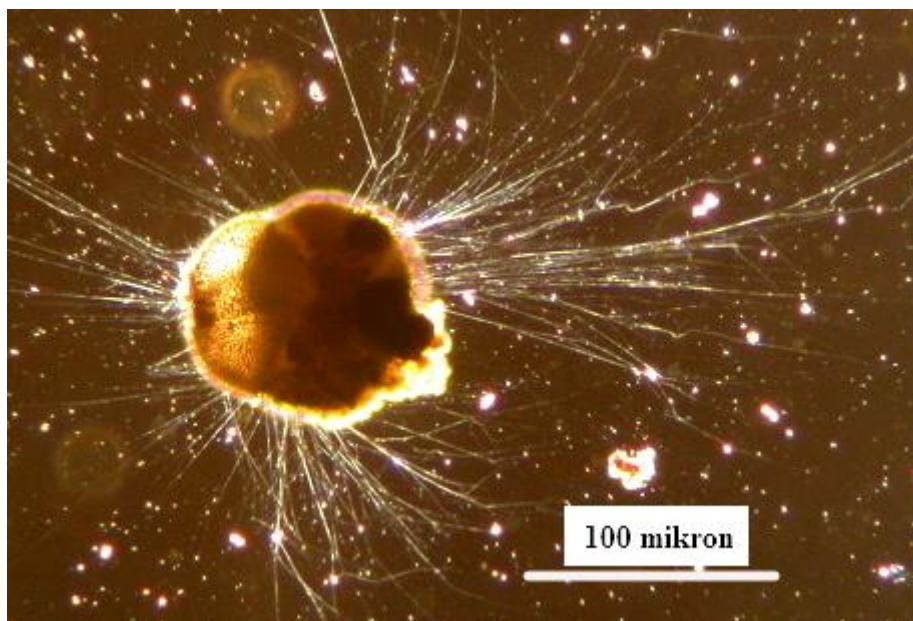
kontinentális lejtő közelében, nagyobb mélységben élnek. A porcelánvázú foraminifera alakok között sok zátonylakó forma ismeretes (**160. ábra**).



160. ábra Trópusi zátonylakó porcelánszerű foraminiferák és epikontinentális üvegszerű foraminiferák tömeges megjelenése (Forrás: <https://www.slideshare.net/Shahnaseerrush/benthic-foraminifera>)

Az epikontinentális tengerekben, a selfek kontinentális oldalán a porcelánvázú alakok mellett gyakoriak az üvegszerű vázzal rendelkező formák (**160. ábra**) is. Az eddigi morfológiai elemzések nyomán a csökkentsósvízben (kevert brakkvízben) élő taxonok díszítetlenek, a durván díszített mészvázás foraminiferák többnyire nagyobb vízmélységben élnek. Kevés a planktoni életmódot folytató fajok száma. Napjainkban összesen 30 (!) planktonikus foraminifera taxont ismerünk (**161. ábra**). Ezek többsége a 6-30 m-ig terjedő vízmélységben él, ahol elegendő a fény a foraminiferával együtt élő moszat számára (**162. ábra**) és ennek nyomán ezeknek a taxonoknak korlátozott a mélységi elterjedésük. A nyíltengeri, planktoni foraminiferák lebegését olajos csepp képződmények, apró házuk falából kitüremkedő tüskék könnyíthetik meg. A planktonikus foraminifera ház mindig üvegszerű, a tömegcsökkenés végett többnyire nagy likacsokkal. A planktoni foraminiferák jelentős része napi függőleges irányú mozgást végez, éjszaka a felszínre, vagy felszín közelébe emelkedik, nappal a mélybe süllyed. A partközeli vizekben viszonylag ritkák,

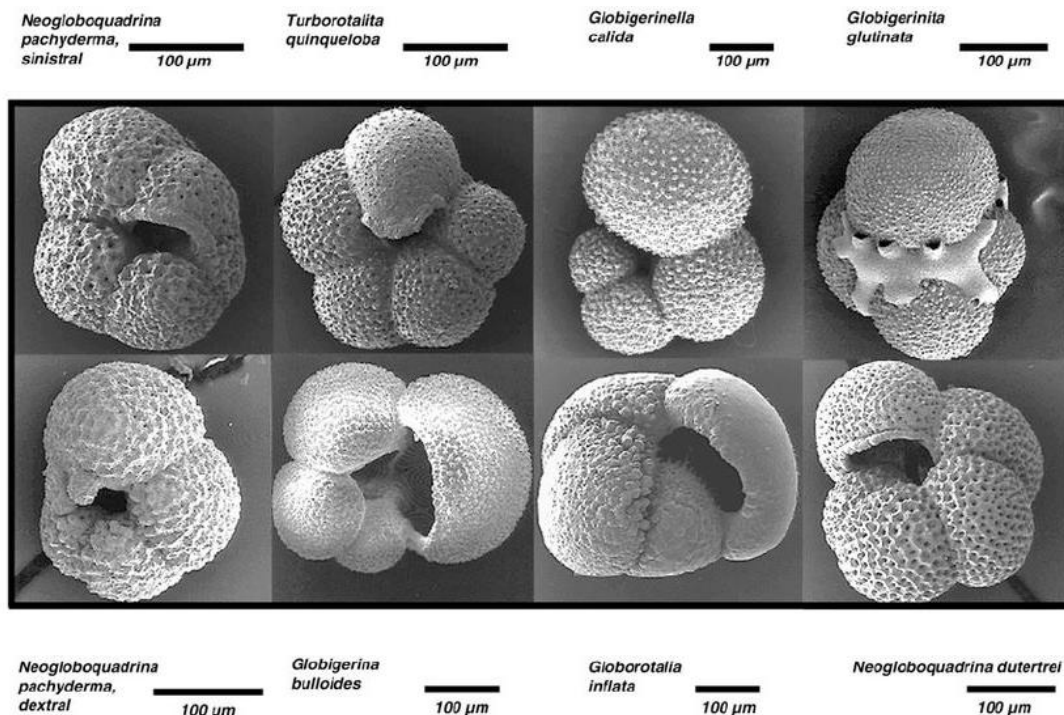
mert nehezen viselik el a sekélytengeri környezetet. A planktoni foraminiferák elterjedése függ a hőmérséklettől, ezért a különböző földrajzi szélességnek és a tengeráramoknak, valamint a vízmélységnek megfelelően változhat a falvastagság, a felcsavarodás iránya, a likacsok mérete és sűrűsége, valamint a váz finomszerkezete. Ugyanannak a fajnak nagyobb vízmélységben élő példányai vastagabb és kevésbé likacsos vázat választanak ki. Annak ellenére, hogy a foraminiferák ősi, alacsony szinten megrekedt szervezetsoporthoz tartoznak, formagazdagságuk és változatos életmódjuk alapján kétségtelen, hogy korántsem tartoznak egyszerű, még kevésbé előregedett törzsfajláadási ághoz. Igaz ugyan, hogy látszólag később jelentek meg, mint az első prekambriumi többsejtűek. Biztos maradványaikat csak a kambriumtól ismerjük. Ebben azonban szerepet játszhatott az a körülmény is, hogy az ősi, prekambriumi foraminiferák pszeudokitines hártájaja csak kivételes körülmények között maradhatott fenn.



*161. ábra Recens plankton életmódot folytató foraminifera (Ammonia tepida)
(Forrás: wikipédia)*

A kambrium időszakban a pszeudokitines foraminifera vázak mellett már megjelentek az első agglutinált vázú foraminifera alakok is. Az ordovicium időszakban jelentek meg, és a devon időszakban váltak uralkodóvá a mészvázak,

mikroszemcsés falszerkezetű formák. A karbon időszakra a nagyforaminiferák felvirágzása jellemző. A paleozoikum végén kőzetalkotó mennyiségben népesítették be az egykori Egyenlítő körüli világtengereket a zabszem vagy borsszem nagyságú nagyforaminiferák, így a magyarországi karbon időszaki képződményekben is megjelenő *Fusulina* nagyforaminiferák: 163. és 164. ábra).



162. ábra A leggyakoribb recens planktonikus foraminiferák (Forrás: Volbers, A. N. A., Niebler, H. S., Giraudeau, J., Schmidt, H., Henrich, R. (2003). *Palaeoceanographic Changes in the Northern Benguela Upwelling System over the last 245.000 Years as Derived from Planktic Foraminifera Assemblages. In The South Atlantic in the Late Quaternary (pp. 601-622). Springer, Berlin, Heidelberg)*

Annak ellenére, hogy a foraminiferák ősi, alacsony szinten megrekedt szervezetsoporthoz tartoznak, formagazdagságuk és változatos életmódjuk alapján kétségtelen, hogy korántsem tartoznak egyszerű, még kevésbé előregedett törzsfajlódási ághoz. Igaz ugyan, hogy látszólag később jelentek meg, mint az első prekambriumi többsejtűek. Biztos maradványaikat csak a kambriumtól ismerjük. Ebben azonban szerepet játszhatott az a körülmény is, hogy az ősi foraminiferák pszeudokitines hártájaja csak kivételes körülmények

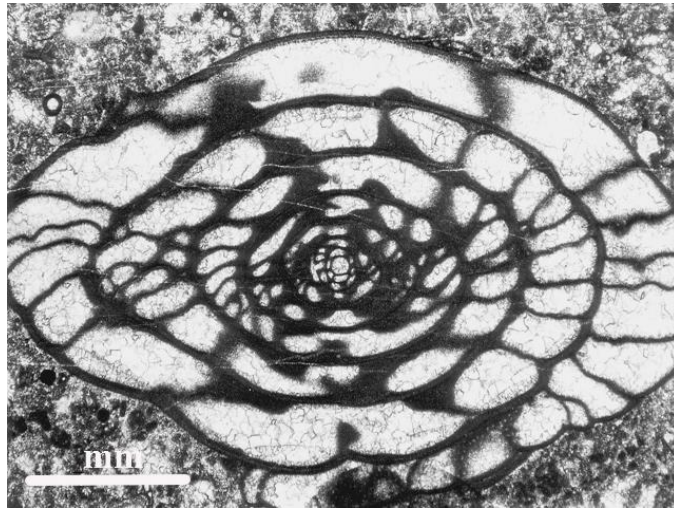
között maradhatott fenn. A kambriumban a pseudokitines vázak mellett már megjelentek az első agglutinált vázú alakok is. Az ordovíciumban jelentek meg, és a devonban váltak uralkodóvá a mészvázás, mikroszemcsés falszerkezetű formák. A karbonra a nagyforaminiferák felvirágzása jellemző. A paleozoikum végén kőzetalkotó mennyiségben népesítették be az egykori Egyenlítő körüli világtengereket a zabszem vagy borsszem nagyságú nagyforaminiferák (például a Magyarországon is megjelenő *Fusulina* nagyforaminiferák: **163. és 164. ábra**).



163. ábra Fusulina nagyforaminiferák észak-amerikai karbon időszaki mészkőből (Forrás: wikipédia)

A paleozoikum végén ezek nagyforaminiferák nyomtalanul kipusztultak. Az üvegszerű alakok a perm időszakban jelentek meg, a nagyforaminiferák kihalása után. Majd ezek az alakok lettek a dominánsak a világtengerekben az agglutinált és a tömött vázú csoportok előtt a mezozoikumtól kezdődően. A foraminiferák evolúciójába a jura időszak során következett egy jelentős ugrás, amikor a planktoni foraminiferák elkülönültek a bentoszi formáktól. A lyukacsoshéjúak több mint 380 millió éven át a tengerfenéken tartózkodtak, és csak ezután alkalmazkodtak a lebegő életmódhoz. A kréta és az eocén időszakokban alakult ki a nagyforaminiferák (*Assilina*, *Nummulites*, *Operculina*, *Alveolina* és társaik)

második virágkora (**165. ábra**). Ezek a csoportok azonban már nem a mikroszemcsések köréből kerültek ki, hanem likacsos vázú, perforált alakokból. A harmadidőszak során a planktoni csoportok taxon száma megemelkedett. Az üvegszerű házfal bizonyos fokig fejlettebb volt az anyagkihasználás és az szimbiózis szempontjából egyaránt. A specializált csoportok nem tudták kiszorítani a fennmaradt ősi taxonokat, sőt ismeretes olyan agglutinált foraminifera nemzetség, amely az alsó kambriumtól máig fennmaradt.



164. ábra *Fusulina csiszolat újpaleozoikumi mészkőből (Forrás: wikipédia)*

A foraminiferák törzsfejlődési tempója nagyon változó. Az alak hasonlóság, részben a külső, paleohidrológiai-hidrológiai környezet alakító hatásának tulajdonítható. A foraminiferák jelentősége kiemelkedő, mivel kőzetalkotók. Ennek nyomán alapvető szerepet játszanak a napjainkban megbomlani látszó szén-dioxid ciklusban. Bár ebben az emberiség komoly szerepet játszik, de tudnunk kell, hogy hasonló változások már megtörténtek a földtörténeti múltban, igaz akkor nem alakult ki jól szervezett ipari alapú társadalmi rendszer. Ez utóbbit veszélyezteti a jelenleg zajló éghajlati változás a legerőteljesebben. A bentosban élő foraminifera taxonok a sekélytengeri mészkőképződésben játszanak fontos szerepet. Különösen érvényes ez a nagyforaminiferákra (karbon *Fusulina*, eocén *Nummulites*, *Assilina*, *Operculina*) amelyeknek vázai gyakran szinte cementáló anyag nélkül halmozódtak fel, biogén karbonátos kőzeteket alkotva (**165. ábra**).

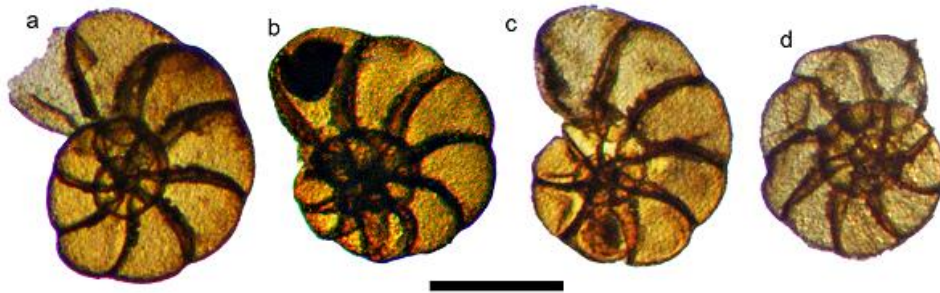


165. ábra *Nummulites* fossziliák eocén mészkőben (Forrás: wikipédia)

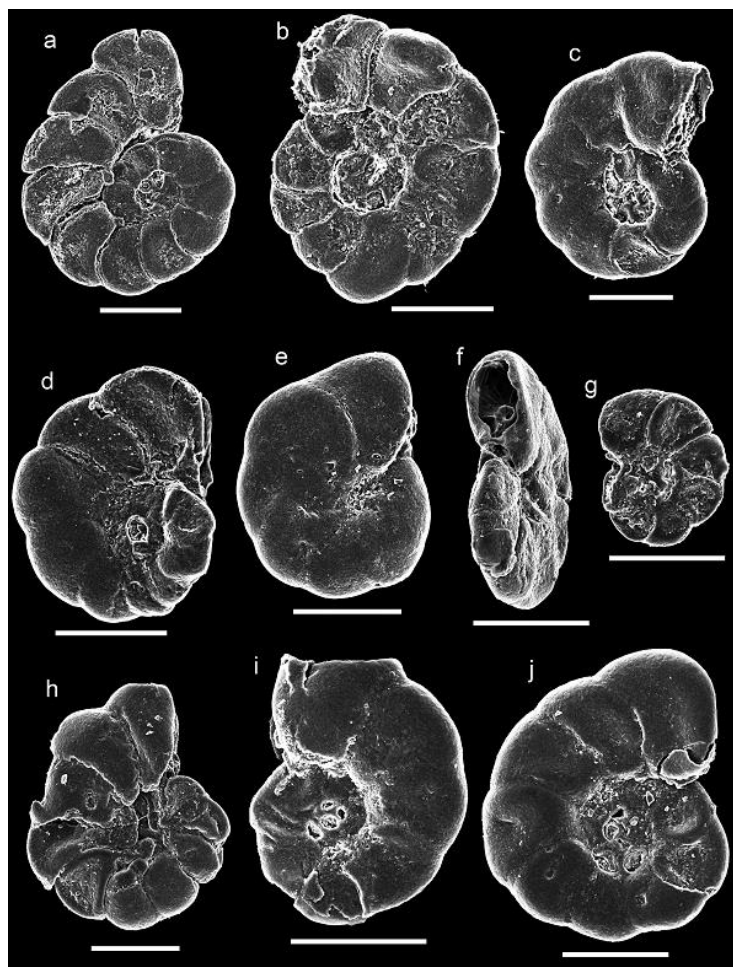
Különösen a kontinentális self külső peremén, az intenzív árapály övezetben figyelhető meg az eredetileg eltérő paleohidrológiai-hidrológiai közösségekben élő foraminiferák összekeveredése és együttes fosszilizációja, sírközössége. A nyílt tenger felé haladva a bentonikus alakok üledékképző szerepe erőteljesen lecsökken, a helyüket a planktonikus elemek veszik át fokozatosan. A planktonikus elemek háza az elhalás után esőszerűen hullanak a mélyebb óceáni medencékbe, bár az aragonit kompenzációs és a karbonát kompenzációs szinteknél a héj visszaoldódási folyamatok erőteljesen befolyásolják az abbiszikus és hypabiszikus tengeri rétegekben a foraminifera héjak fosszilizációját, a héjak fennmaradási lehetőségeit. A világtengerek trópusi vizeinek felszínék köbméterenként akár 200 planktoni foraminifera egyed is élhet. A földtörténeti időléptékben viszont ezek a lehullott és fel nem oldódott foraminifera háza felhalmozódnak, keveredve más planktoni szervezetek vázával, több mint 80%-át alkotják a mai óceánok karbonátos üledékeinek. Ebből származik a rendkívül jelentős globális szén-dioxid szabályozó szerepe a foraminiferáknak, mivel fixálják, kötött karbonátos (a házuk falába kiválasztott és beépített kalcit, magnezitokalcit ásványi) állapotban tartják a szén-dioxidot.

Ezek a karbonátos házakból származó formainiferás üledékek megközelítőleg a mai tengerfenék 35 %-át borítják, úgy, hogy bennük a foraminiferák az uralkodó maradványok. A planktoni foraminiferák vázvastagsága fajonként és az egyedi fejlődés során is változik, ezért a különböző alakok más-más módon állhatnak ellen a tengervíz oldó hatásának. A biológiai és kémiai tényezők, különösen az aragonit és karbonát visszaoldódási szintek kifejlődésének eredményeként a mély tengerben felhalmozott foraminifera vázak ennek megfelelően nem tükrözheti vissza pontosan a különböző fajok eredeti gyakorisági viszonyait.

Mivel a foraminiferák általában szűk környezeti feltételek között élnek, ezért kiváló hidrológiai-paleohidrológiai indikátor elemeket alkotnak. Ezért morfológiai tulajdonságaik, egyedszámuk és dominanciájuk, változékonyságuk, az agglutinált és mészvázú, illetve a bentosz- és a plankton-fajok aránya alapján következtethetünk az egykori tengeri környezetre, az aljzat és az üledékképződés milyenségére, a sótartalom és az oxigén mennyiségére, a pH-ra, a parttól való távolságra, a hőmérsékletre és a vízmélységre, valamint az egykori áramlási és áthalmozódási körülményekre. Nem ennyire egyértelmű a foraminiferák korjelző szerepe. Kevés közöttük a kozmopolita, nagy többségüknek lassú a törzsfajlódási tempója. Két csoport mégis kivételt jelent. Ezek a nagyforaminiferák és a planktonikus formák. Mindkét csoport kiváló korjelző taxonokat tartalmaz. A foraminiferák kiválóan jelzik a harmadidőszak végén, a negyedidőszak kezdetén bekövetkezett globális lehűlést is. A tengeri foraminiferák mellett viszonylag kevés figyelmet szenteltek a szárazföldi fáciesekben, sós mocsarakban, sós tavakban, tengerparti régiókban tenyésző foraminiferáknak. Bár Erdélyben, *Daday Jenő* kolozsvári egyetemi zoológus magántanár 1883-ban már leírta a dévai és tordai sós tavakból az általunk sós mocsarakban megtalált agglutináló élő foraminifera *Entzia macrescens* alakot (166. és 167. ábra: *Jakab Gusztáv* szarvasi intézetigazgató docens, és *Silye Loránd* kolozsvári paleontológus 2018-as határozási munkája nyomán).



166. ábra Az erdélyi Szék község határában található Nádas-tó sós mocsarában ma is élő *Entzia macrescens* foraminifera mikroszkópos felvétele (Forrás: Jakob Gusztáv szarvasi botanikus és Silye Lóránd kolozsvári paleontológus 2018-ban történt közlése nyomán bemutatva – Földgömb főszerkesztőjének írásos engedélyével bemutatva)



167. ábra Az erdélyi Szék község határában található Nádas-tó sós mocsarában ma is élő *Entzia macrescens* elektronmikroszkópos felvétele (Forrás: Jakob Gusztáv szarvasi botanikus és Silye Lóránd kolozsvári paleontológus 2019-ban történt közlése nyomán bemutatva: Jakob, Silye, Sümegei et al. 2019)

Esettanulmány 1.

Ezt az oligohalin (kevésbé sós vizekben is megélni képes), sós mocsarakra jellemző édesvízi foraminiferát Erdélyben sikerült megtalálni, ahol a belső területeken a felszínközeli, felszíni sós rétegek miatt a nátrium-kloridban gazdag sós tavak, sós mocsarak sokkal könnyebben alakulhatnak ki. Ugyanakkor ezidáig fosszilis (Krisztus utáni XVIII. század előtti) és/vagy szubfosszilis (Krisztus utáni XVIII. század utáni, de nem élő) alakjait még nem sikerült ennek a taxonnak feltárni. Viszont a szegedi Földtani és Őslénytani Tanszék geológusainak az MTA BTK Régészeti Intézet munkatársaival és az erdélyi Sapientia Egyetem geológusaival együtt a mezőségi Szék (románul Sec, korábbi magyar nevén Székakna) település határában a helyi és a Natura 2000 védelmet is élvező Nádas tavi sós mocsárban sikerült egy olyan fúrászelvényt lemélyíteni (**168. ábra**), amelyből több szintben is fosszilis és szubfosszilis korú *Entzia macrescens* héjak kerültek elő (**166. és 167. ábra**). A tengerszint feletti 283-284 méteres magasságban található Nádas-tó több hektáros náddal borított területe egyébként Erdély legjelentősebb náddal borított élőhelye. Rendkívül fontos tényező volt a kutatásban, hogy a széki Nádas-tó azonosítható a XVIII. században, a folyó- és vízszabályozás előtt készült első vagy más néven Jozefianus osztrák katonai térképen (**169. ábra**).



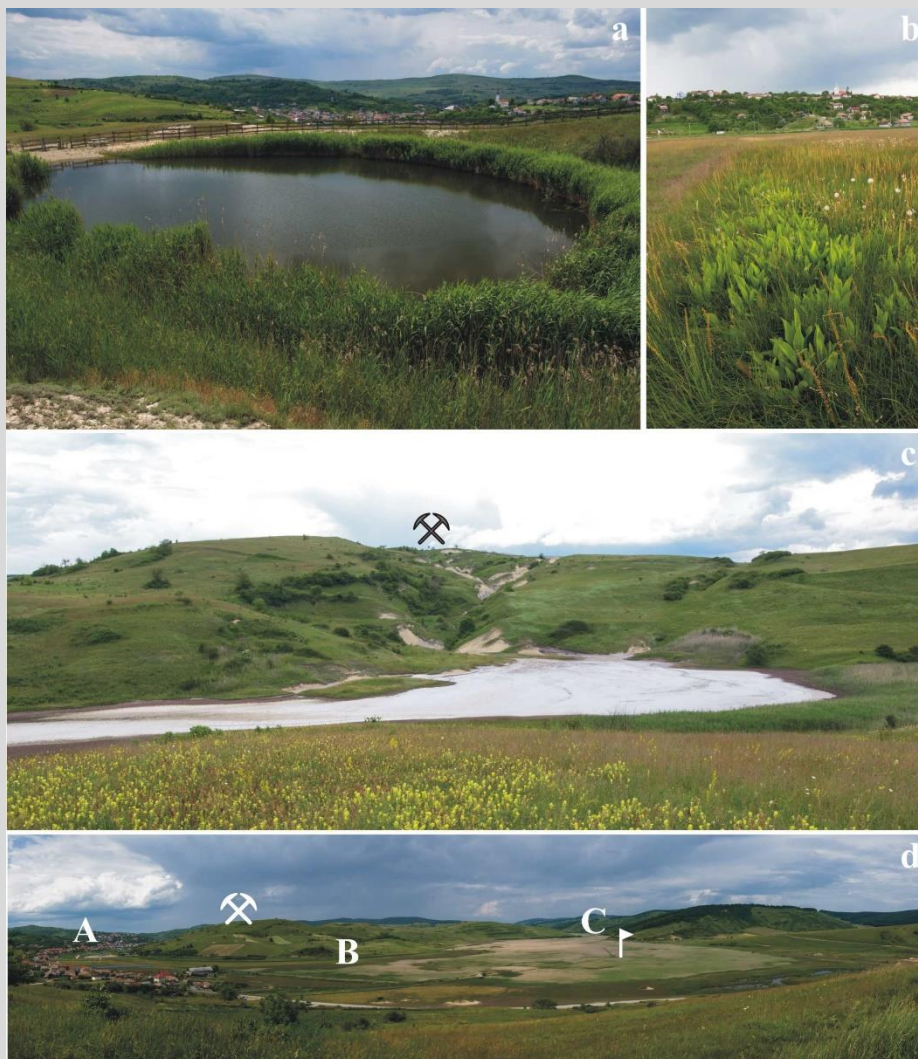
168. ábra Az erdélyi Szék község határában található Nádas-tó sós mocsárában mélyített, *Entzia macrescens* szubfosszilis és fosszilis leleteket feltáró zavartalan magkihozatalú sekélyfúrás (fúrásnál jobbról balra a következők személyek vettek részt, Benkő Elek régész akadémikus, Tóth Attila erdélyi geológus tanár, Sümegi Pál fúrásvezető, Sümegi Balázs Pál intézeti mérnök, Rovó János tanszéki mérnök (Forrás: szerző felvétele)



169. ábra Az erdélyi Szék község és a széki Nádás-tó környezete az első más néven Jozefiánus osztrák katonai térképen (1769-1773) földutakkal, erdőkkkel, szőlővel és sóbánya (Akna) jelzéssel (1 = Nádás-tó) (Forrás: Arcanum Osztrák Birodalom katonai térképei sorozat, vásárolt és módosított térképlapja)

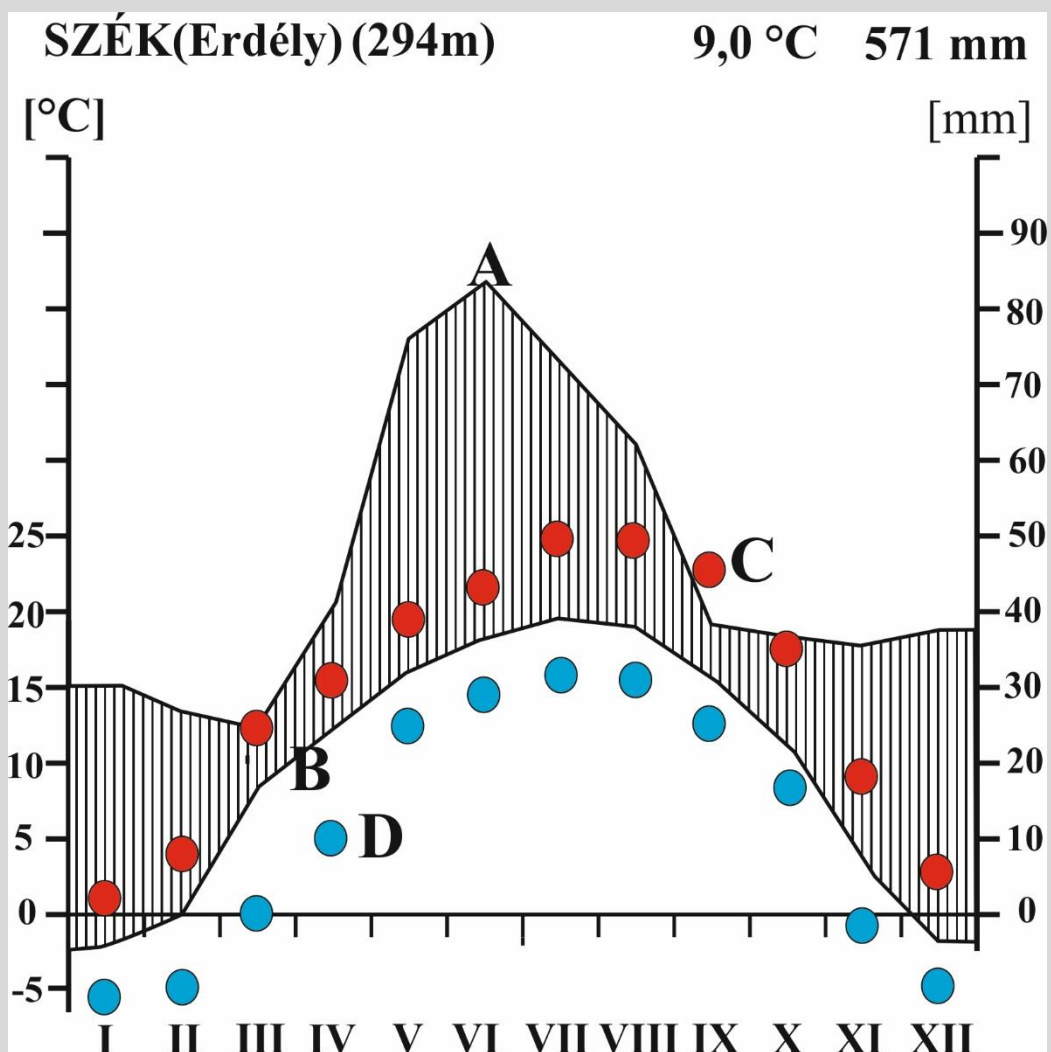
A geológiai felmérések alapján a Nádás-tó környezetében lévő 450-550 méteres magasságú, Erdélyi és a Szamos Platók határán, a Mezőségben elhelyezkedő széki dombok döntően jelentős NaCl sótartalmú miocén időszak badeni és szarmata emeleteiben kifejlődött tengeri üledékekből állnak. Ezek a miocén üledékek a geológiai felmérések alapján diapírba rendeződnek. Ez a rendkívüli exogeológiai forma jellegzetes települési rendszert alkot a kimagasló plaszticitású, kis sűrűségű evaporitos kőzeteknél. A diapír rendszerhez kapcsolódóan egy jellegzetes antiklinális rendszer is kifejlődött a széki területen. Így nem véletlen, hogy a széki dombok tetőszintjében már a miocén időszakbeli, de fiatalabb, szarmata emeletben kifejlődött tengeri üledékek jelennek meg, az antiklinális rendszer peremi részeként tengeri márgával, vékony homokkő és dácittufa közbetelepülésekkel. Viszont a negyedidőszaki, főleg jégkori (pleisztocén) üledékek már foltszerűen maradtak csak fenn az egész területen. A jégkorban az örökfagy (permafroszt) hatás miatt elsősorban lejtőn áthalmozódott harmadidőszaki üledékekkel keverten fejlődtek ki a negyedidőszaki képződmények. Viszont a pleisztocén során a területen kialakult völgyeket csepperózió/gravitáció – azaz a periglaciális fagyváltozékony időszakban áthalmozódott - felhalmozódott laza szediment töltötte ki. Ennek nyomán a Szék község környéki völgyek a lecsökkent vízbevitellel jellemezhető jégkorban feltöltődtek, feliszapolódtak. Így jelentős számú apró tó és mocsár fejlődhetett ki a jégkorban feltöltődött völgyekben. Kiemelkedő

jelentőségű a széki Nádas-tó sós mocsarának kifejlődése szempontjából, hogy Szék falutól keletre napjainkban is felfedezhetőek a középkori, középkor végi, újkor kezdeti sóbányászat nyomai, mivel a bányászat során jelentős vízkitermelés történt és történik. A kitermelt sósbányavíz, sócsurgalékvíz a völgyekben a laza üledéken kialakult kisebb medencéket vízzel tölti fel és ennek nyomán sós mocsarak és tavak alakulhattak ki. Jó példa erre, hogy a széki Sós-hegy tetején egy csapadékvízzel feltöltődött 40 méter széles középkori – újkori akna található (170. ábra a jelzésű objektuma), amely csapadékos időkben rendszeresen “túlcsordul” és a környezetébe vezeti szét a bánya sócsurgalékvizét, és a benne lévő oldott anyagokat, lebegő üledéket egyaránt.



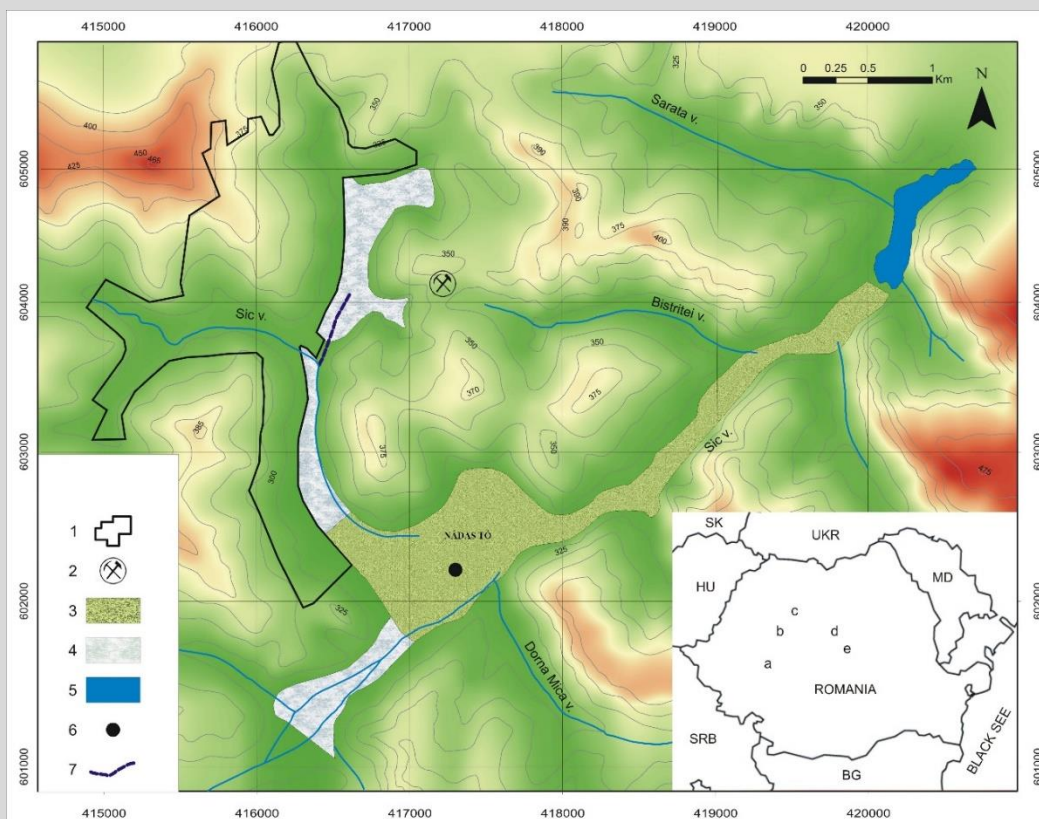
170. ábra Az erdélyi Szék környékének tájképe emberi hatásokkal. a = vízzel kitöltött középkori - újkori sóbánya gödör, b = sókedvelő *Triglochineto palustris* és *Plantago cornuti*, c = sócsurgalékvíz akkumulációs felszín a középkori – újkori bánya közelében, d = panoráma felvétel a vizsgált területről, A = Szék község, B = a bánya sócsurgalékvizét elvezető csatornájának a vége, C = a középkori vízimalom helyzete, a fehér zászló a fúrásponthelyét jelöli a Nádas-tó mocsarában (Forrás: Jakab, Silye, Sümeget al. 2019 nyomán)

Az akna mellett nagy kiterjedésű sós, friss felszínű iszaplerakódás látható (170. ábra c jelzésű objektuma). Ez az üledék- és sókiválás valószínűleg a bányászat során kitermelt csurgalék bányavízből alakulhatott ki, és rakódott le az évszázadok során és fejlődik mind a mai napig. A sós bányavíz falu felé folyását egy dél felé tartó árok akadályozza meg, amelyet már az osztrák katonai térkép is mutat és ez alapján ez az árok már több száz éve tölti be ezt a funkcióját. Az árok a sós csurgalékvizet a vizsgált széki Nádas-tóba vezeti le (170. ábra, b jelzésű fotórészletén látható, sőtűrő növényzettel borított árok). Ennek az antropogén hatásra kialakult paleohidrológiai helyzetnek a nyomán a Nádas-tó medencéjében kifejlődött tavi-mocsári környezet kifejezetten sóssá vált.



171. ábra A széki terület éghajlati adottságai, Walter-Lieth klímadiagramja (Forrás: eredeti, saját ábra) A = csapadék átlagos évi menete havi bontásban tárgyalva, B = a hőmérséklet átlagos évi menete havi bontásban tárgyalva, C (piros kör) = legmelegebb hónapok évi menete, D (kék kör) = leghidegebb hónapok évi menete (Forrás, új, saját ábra) A földtani, exogeológiai adottságok mellett kiemelkedően fontos a vizsgált terület éghajlati adottsága, amelyet a terület Walter-Lieth diagramján (171. ábra) keresztül mutatunk be. A terület átlagos évi középhőmérséklete 9,0 °C, az éves átlagos csapadék 550-600 mm közötti,

átlagosan: 571 mm/év. A havi csapadékbevitel az átlagos hőmérsékleti évek menetében minden hónapban meghaladja a párolgás mértékét (171. ábra), de az eddigi legmelegebb hónapok évi menetében (171. ábra) az augusztus és a szeptember során a párolgás már meghaladja a csapadékbevitel mértékét, kontinentális területekre jellemző arid hónapok alakulhatnak ki. Így a területen található apró tavak, mocsarak vize a földtani sós rétegek adta adottságon túl, éghajlati okokból is töményebbé, sóssá válik. Ennek nyomán a terület éghajlati és földtan adottságai egyaránt elősegítik/elősegítették a Nádas-tó mocsárvilágának sóssá alakulását, az oligohalin tulajdonságú *Entzia macrescens* élőhelyének kifejlődését. A területen, ha térképszerűen megvizsgáljuk az egyes objektumok és sós mocsarak elhelyezkedését, akkor jól látható a térbeli összefüggés (172. ábra).



172. ábra A vizsgált terület térképe (1 = Szék település, 2 = középkori – újkori sóbánya a Só-hegyen, 3 = nádas borította rész, az ún. Nádas-tó természetvédelmi terület, 4 = sós mocsár, 5 = tó, halastó, 6 = furás pont elhelyezkedése, 7 = árok, *Entzia macrescens recens* (élő) előfordulásai: a = dévai, b = tordai, c = széki, d = parajdi, e = homoródszentpáli lelőhelyek (Forrás: Jakab, Silye, Sümegei et al. 2019 és Jakab, Silye, 2018 nyomán, a Földgömb lap főszerkesztőjének írásbeli hozzájárulásával közölve)

Ugyanis a széki régióban található sós mocsarak, tavak, valamint halastavak előterében középkori – kora újkori gátak találhatók. Így a középkori halastavak gátjai mögött fejlődtek ki azok a feltöltődött halastavakból kialakult sós mocsarak, ahol most az oligohalin tulajdonságú *Entzia macrescens* foraminifera tenyészik. Magukban a sós mocsarakban rendkívül fajgazdag sótűrő, sókedvelő (haliofil) növényzet fejlődött ki. A Nádas-tó medrének a szélén – a változó

vízborítású részeken, ahol a kiemelkedő sótartalom ritmikusan kivált és kiválik a talaj felszínére – jelenik meg a nyugat pontikus *Puccinellia* (sóbollás) szolonyeces gyepek (173. ábra), egynyári növényekkel, mint a sziksófű (*Salicornia europaea*), sziki sóbolla (*Suaeda maritima*).



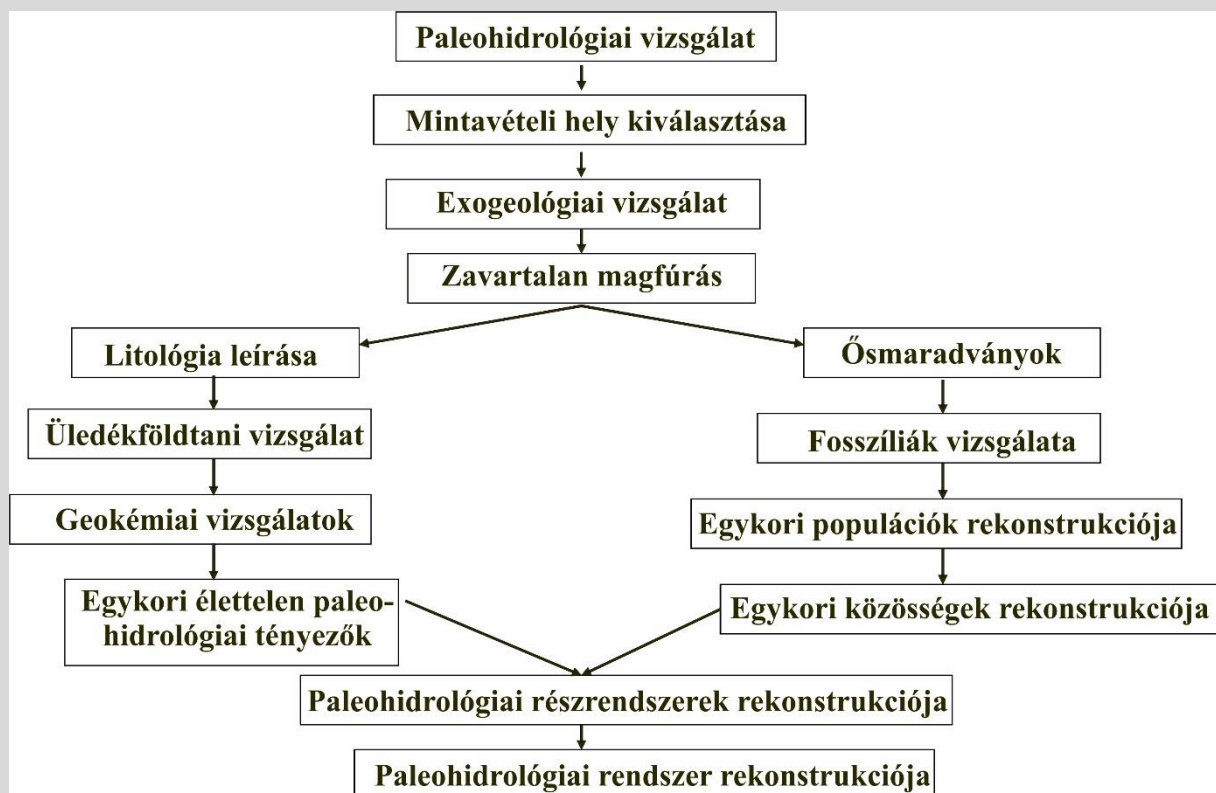
173. ábra Az erdélyi Szék településnél található Nádas-tó parti övezetében kialakult *Puccinellia* (sóbollás) szolonyeces gyepek és vakszik övezet 2015 májusában. Ez utóbbinak a felső fehér sótól megkeményedett részét hívja a helyi népi nyelv „gerá”-nak. A fotón Benkő Elek akadémikus, az MTA Régészeti Intézet igazgatója, az erdélyi otka kutatás témavezetője látható (Forrás: Sümegi Pál felvétele, 2015)

A növényzeti övezetek, zónák a paleohidrológiai – hidrológiai rendszert követik a sós mocsár – tó peremén és a belső részeken egyaránt. Ugyanis a terület legjellemzőbb növényzete a sós mocsarakra jellemző sziki szittyós (*Juncus gerardii*), sziki kígyófüves és sziki őszirózsás vegetáció (*Triglochineto palustris* – *Asteretum pannonicum*), de még a belső, állandó vízzel borított területeken is a sós vizekben tenyésző sziki kákás (*Bolboschoenus maritimus* vagy más megnevezésben *Schoenoplectetum tabernaemontani*) jelentek meg a gyékénnyel és nádassal borított területek mellett, míg a Nádas-tó nyíltvízi foltjain sós vizet kedvelő fenéklakó tuskéshínáros (*Najadetum minoris*) foltjai borítják. Az egész területen fajgazdag sókedvelő vegetáció fejlődött ki, a fentebb jelzett sótüdő – sókedvelő fajok mellett további halofita elemek, mint sziki útifű (*Plantago cornuti*), kisvirágú pozdor (*Scorzonera parviflora*),

sziki sóvirág (*Limonium gmelinii*), pozsgás őszirózsa (*Aster tripolium*) tenyészik a vizsgált területen. Mivel az édesvízi (csökkentsósvízi) foraminifera erdélyi, közte széki megtelepedésében az emberi tevékenység, a sóbányászat, a sós csurgalékvizek elvezetése alapvető szerepet játszott, ezért érdemes Szék történelmi hátterével, a széki sóbányászat írásos történetével is megismerkedni. A romániai történetírás alapvető sémáinak megfelelően itt is feltételezik, hogy a római Dacia tartomány időszakában már kialakítottak sóbányákat és hozzá tartozó települést, de ennek valójában igen kevés régészeti nyoma maradt fenn, eredeti császárkori írásos forrás pedig egyáltalán nincs a területre vonatkozóan. Viszont a középkori Magyar Királyságnál már komoly írásos történelmi források vannak arra vonatkozóan, hogy Torda (románul Turda), Dés (Dej), Kolozs (Cojocna – pontosabban középkori latin nevén *Claudiopolis*), Vízakna (Ocna Sibiului) mellett Szék (Sic) területén is jelentős sóbányászat volt. Ennek a sókitermelésnek első írásos nyoma 1310-re tehető, de regionális szinten csak a XIV.-XV. században vált jelentőssé - az írásos dokumentumok alapján - a sókitermelés. A só a középkori gazdálkodásban nem csak szállítható, főzéshez és hús, vagy bőr konzerváláshoz használható ásványi anyagot jelentett, hanem szinte pénzként funkcionáló értékmérő csereáru alkott. Maga Szék település mezőváros volt a középkor végi Erdélyben. Bár a sókinyerés 1523-tól királyi ellenőrzés alá került, de 1543-tól magánkézben volt egészen a XVII. század kezdetéig. Egy 1638-ból származó adat szerint 20 ezer sótáblát alakítottak ki és szállítottak a Maros folyón – Szegeden és a királyi sóúton keresztül. Egy sótábla átlagos súlya 3-4 kg közötti lehetett. Ennek nyomán minimum 8 tonna sót termeltek ki az erdélyi sótelepekről a középkor végén és az újkor kezdetén, gépek nélkül, kézi erővel. A széki területen két egymáshoz közeli bánya is üzemelt a középkor végén, és az újkor kezdetén, mindkettőt kézi és állati erővel üzemeltették. A sóbányászat az Osztrák birodalmi rendszerben lendült fel, először 1732-ben, majd 1822-ben, mikor a bányászati infrastruktúrát jelentősen fejlesztették és gépesítették, valamint új bányajáratokat alakítottak ki. Ebből ma csak két bányavágot található meg az egykori bányák helyén.

A széki bányarendszerhez egy gyűrűszerűen jelentkező, az erdélyi tavi kerülethez tartozó halastó rendszer kapcsolódott. Ez a tavi terület legkevesebb 60 mesterséges tóból állt, amelyeket a középkortól kezdődően alakítottak ki. A halastavak középkori tulajdonosainak döntő része Szék településről került ki, mindenekelőtt a királyi sómalom hivatalnokai, a széki katolikus templom plébánosa és néhány helyi nobilett. A legkorábbi írásos információk a halastavakra vonatkozóan 1454 évre tehetőek, amikor két halastavat hoztak létre, az egyiket Vízaknánál az erdélyi vajdának, a másikat pedig a dési sóbánya vezetőjének, név szerint *Odwardus Italicus* számára. Az írásos történelmi anyagok alapján a XV.-XVI. század során

alakíthatták ki az erdélyi tavi kerületet 1465 és 1525 között. A Szék mezőváros környéki halastavakról az első információ egy 1727-ben készült leltárból származik. Ebben már jelzik a napjainkban is azonosítható Csukás-tó, Pásztortáj-tó, Kodori-tó és Széles-tó kialakítását. A Pásztortáj-tavat 1754-ben is megemlíti Szék községtől keletre a Beszterce völgyében, és ezen leírás alapján jól azonosítható az első osztrák katonai térképen is. A völgyekben hosszan elnyúló tavak mentén, illetve a tógátaknál malmokat építettek a XVIII.-XIX. század során, és valószínűleg ebben a folyamatban zárták le a mai Nádas-tavat is egy malomgáttal, igaz akkor még Új-tónak nevezték.



174. ábra Paleohidrológiai vizsgálatok menete (Forrás: új saját ábra)

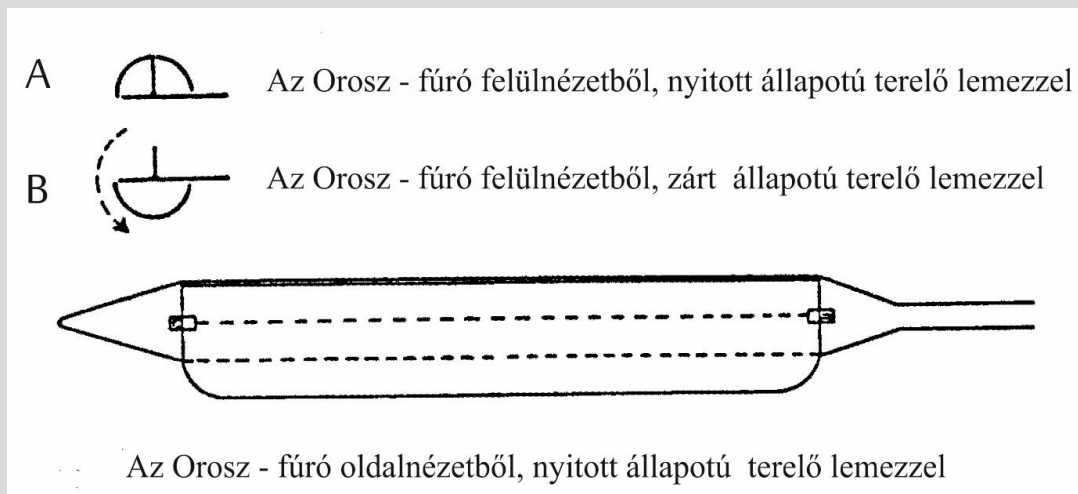
Ahhoz, hogy az írásos dokumentumok nyomán megrajzolt paleohidrológiai hipotéziseket tesztelni lehessen a Nádas-tó medrében felhalmozódott tavi – mocsári üledéksorozat magfúrással kellett feltárni és a fúrás rétegsorán finomrétegtani (a szemmel látható rétegeket részmintákra bontó) mintavétellel mintákat kell kiemelni és a mintákon különböző paleohidrológiai célzatú vizsgálatokat kellett elvégezni (174. ábra). A fúrászelvényt pedig kronológiai szempontból is meg kellett vizsgálni, hogy az egyes tényezők változásainak pontos korát lehatárolhassuk. Pontos geokronológia nélkül nincs korrekt paleohidrológiai elemzés mai tudományos szinten. Maga a széki Nádas-tavi terület azért került kiválasztásra, mert Jakab Gusztáv szarvasi paleobotanikus itt találta meg élő példányait az oligohalin *Entzia macrescens* foraminifera taxonnak. A széki Nádas-tó (román megnevezése: *Rezervația*

Naturală Stufărișurile de la Sic) az északi szélesség $46^{\circ} 54' 53,89''$ és a keleti hosszúság $23^{\circ} 54' 48,07$ fokán, 283 – 284 méter tengerszint feletti magasságon helyezkedik el egy dombok közötti páholyszerűen kitáguló völgyfőben. A tó limnológiai besorolása sekély sós mocsár, amelyet jelenleg teljes egészében nádas borít. A mocsár a völgyfő mellett megtalálható a mellékvölgyekben, így több kilométer hosszú és mintegy 400-500 méter széles, a legszélesebb pontján, vagyis igen jelentős felülettel rendelkezik.

A mocsarat minden irányból nátrium-klorid tartalmú, sós harmadidőszak végi üledékek és negyedidőszaki málladékanyag borítja. A területe mind a völgyekben, mind a domboldalakon természetes sós források fakadnak, így a sós mocsárba egyrészt a fekü forrásokból, másrészt a felszínről, a dombok oldaláról kiindulva jelentős mennyiségű sós vizet kaphat utánpótlásnak. A sós mocsár kialakulása a geológiai rétegekből származó nátrium-klorid tartalmú víz hatására történt meg, nem pedig a párologtatás és beszikkadás nyomán kialakuló, nátrium-hidrogénkarbonátban gazdag szikesedés nyomán. Bár a területre vonatkozó Walter-Lieth klímadiagram szerint az augusztus–szeptember hónapokban jelentkező aszály is befolyásolja a sós tó–mocsár sótartalmát. Ugyanakkor a legjelentősebb sóforrást egyértelműen a középkor végén már biztosan üzemelő bányák csurgalékvizét a területre vezető árok alkotja. Vagyis a Nádas-tó nátrium-kloridban gazdag sós vize a feküközvet sóban gazdag miocén üledékeinek és mesterséges hatásnak, a sóbánya kialakításnak, és a mesterséges sós víz területre vezetésnek köszönhető.

A völgyfőben kialakuló sós mocsárban a környezettel kialakított dinamikus kapcsolat, elsősorban emberi tevékenység (erdőirtás, legelők, szántók, sóbányák kialakítása és fenntartása) nyomán a magasabb térszínekről lemosódó, erodálódó üledék felhalmozódása, akkumulációja alakítja ki a mocsár feltöltődését. A mocsár üledékgyűjtő medencéjébe felhalmozódott üledéksorozatban így a biogén feltöltődés elenyésző szerepet játszhatott. Mindezek mellett valószínűsíthető, hogy a mocsárban jelentős vízszint fluktuációk alakulhattak ki az évi csapadékbevétel, hóolvadás és a nyár végi aszályok nyomán. Ennek nyomán egyértelmű, hogy a széki Nádas-tó igen távol áll az ideális, paleoökológiai - környezettörténeti szempontból használatos üledékgyűjtő medencéktől, egyrészt a sekély mélység, másrészt a jelentős felület, harmadrészt a biológiai feltöltődés alacsony volta miatt elsősorban az emberi hatásokra kialakuló erózió és üledékakkumuláció rekonstrukciójára alkalmas csak. Mivel a cél éppen ez volt, hogy oligohalin *Entzia macrescens* foraminifera taxon megtelepedését, sóbányászattal kapcsolatos viszonyát feltárjuk, ezért vállaltuk a széki Nádas-tó feltárását és paleohidrológiai feldolgozását. Így a terület legkevésbé bolygatott részén, a mocsár centrumában a ciklikus kiszáradás miatt kifejlődött keményebb réteg

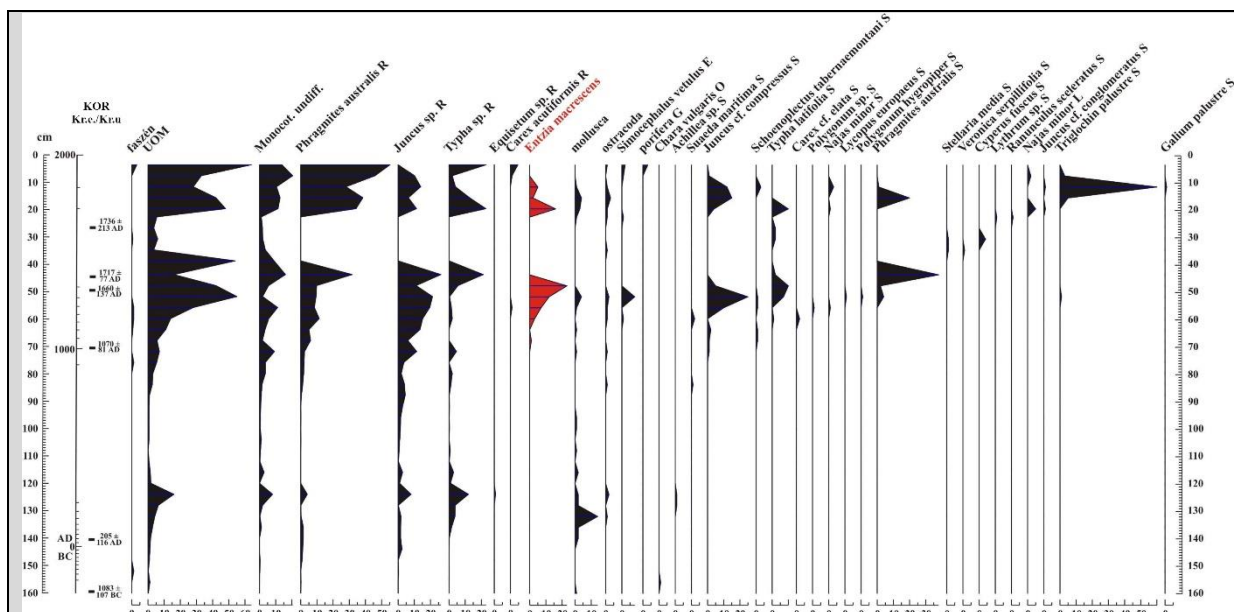
feltárására módosított, vastagfalú, paleohidrologiai vizsgálatokban nemzetközileg elfogadott 5 cm átmérőjű Orosz fűrófej (175. ábra) segítségével mélyítettünk zavartalan magfúrást kézi erővel 1,6 méterig, az általánosan használt átlapolásos technikával. A folyamatos és bolygatatlan magmintát laboratóriumban a különböző vizsgálati céloknak megfelelően hosszában elvágtuk, és az üledékföldtani, geokémiai, makrofosszília, pollen és malakológiai vizsgálatokra, valamint a radiokarbon mérésekre szánt részeket 4 °C-on tároltuk. Az üledéktani vizsgálatok, fosszília elemzések és radiokarbon mérések mintái ugyanazon fűrsmagokból származtak. Az üledékfácies leírása során a dán geológus, Troels-Smith-féle nemzetközileg elfogadott lazaüledéktani kifejezéseket és szimbólumrendszert használtuk. Az üledék nedves színét és alapvető összetételét a fűrás helyszínén jegyeztük fel az agrogeológiai elemzésekben elterjedten használt Munsell színskála alapján, de a laborban a részminták kialakításánál részletes leírás követett.



175. ábra Módosított Orosz fejes fűró és működési vázlat (Forrás: eredeti ábra)

Az üledékminták kormeghatározása 14 db AMS (Accelerator Mass Spectrometry) radiokarbon méréssel történt. A méréseket a seattlei Direct AMS laboratóriumban (USA) végezték el. 7 minta tisztított vízi és szárazföldi csigahéj volt, míg további 7 minta szenült fa- és növényi maradványok AMS vizsgálatán alapult. Annak érdekében, hogy a történeti és régészeti adatokkal is összehasonlítható koradatokat kapjunk, az adatokat a CalPal-2007 online programmal kalibráltuk naptári évekké.

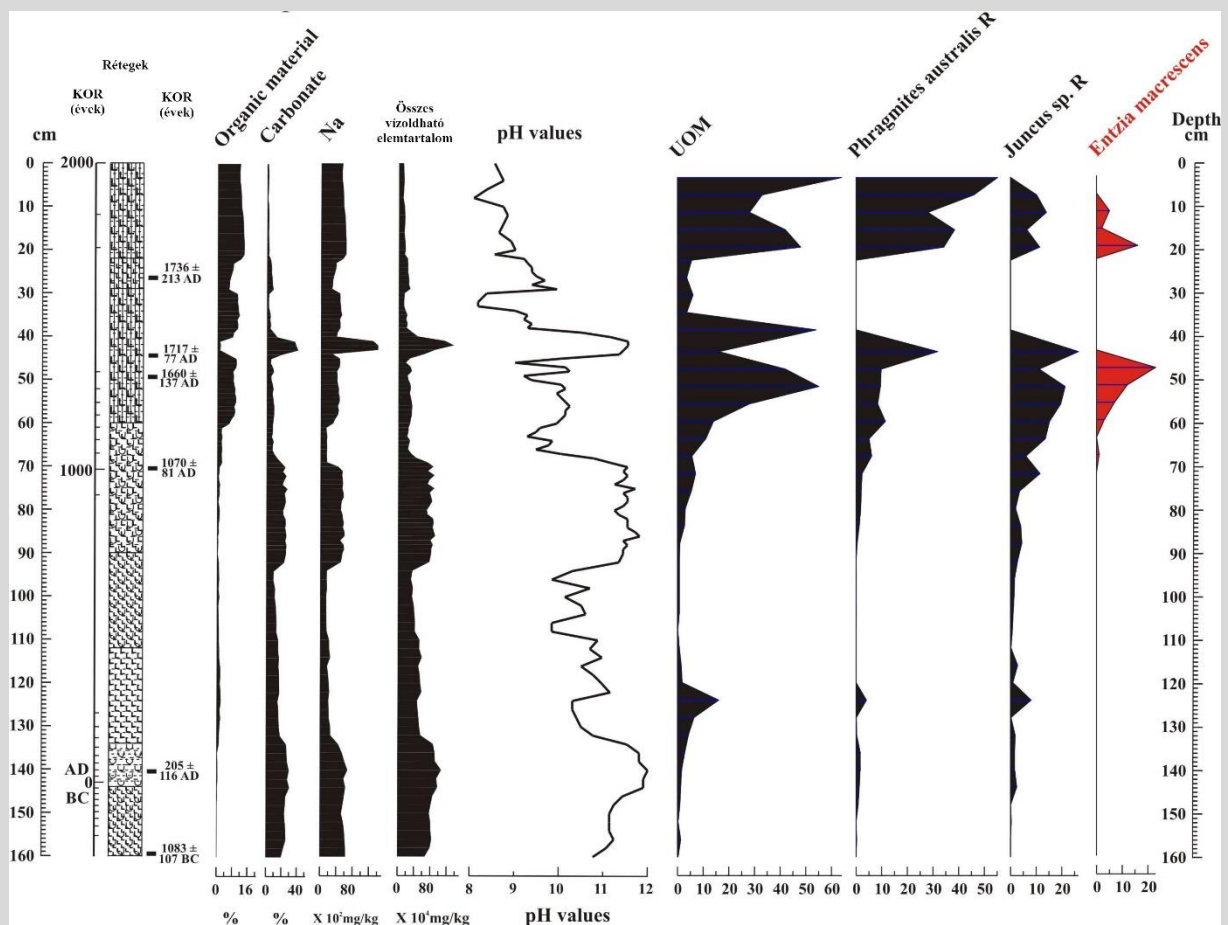
Ezen elemzési megközelítés nyomán a szerves anyagban gazdag eutróf tavi üledékekben előforduló szerves maradványokat két részre lehet osztani. Egyrészt vannak, amelyeket valamilyen alacsonyabb rangú taxonnal lehet azonosítani (specifikus növényi alkotók) és vannak, amelyeket ezzel a módszerrel nem lehet azonosítani, mint a nem specifikus növényi alkotók. A módszert a paleohidrologiai rendszerek makrobotanikai elemzésénél, Jakab, Sümegi 2011. *Negyedidőszaki makrobotanika* könyve nyomán részletesebben bemutatjuk.



176. ábra Széki Nádas tavon mélyített fúrás makrobotanikai és zoológiai vizsgálatának eredményei (Forrás: Jakab, Silye, Sümegei et al. 2019 nyomán)

A virágporaszemek meghatározását elsősorban határozókönyvek alapján, illetve pollenreferencia bázisok nyomán végeztük el. A pollenkoncentráció meghatározásához a Lycopodium spóratablettás módszert alkalmaztuk. Minimum 300 szárazföldi pollenszem kiszámolására törekedtünk. A pollen- és spóraszemek meghatározását a Szegedi Tudományegyetem Földtani és Őslénytani Tanszékén, a MÁFI Őslénytárában található pollenreferencia-anyag, valamint határozókönyvek alapján végeztük. A pernyekoncentráció meghatározása pont-számolásos módszerrel történt. A számítógépes feldolgozást az internetről letölthető PSIMPOLL program felhasználásával végeztük el. A lokális pollenzónák lehatárolásához a 26 legjelentősebb arányban megjelenő szárazföldi pollentaxon arányát használtuk fel az információtartalom optimális felosztásával. Az egykori, döntően vízi vegetáció rekonstrukciójához pollenalapú paleohidrológiai modelleket és megközelítéseket használtunk fel. A természetes vegetáció fejlődésének modellezése mellett a pollenelemzéseinket a humán hatásokat jelző polleanyagra (gyomokból származó pollenre) alapoztuk. A fúrásanyagból előbb 4 centiméterenként nyertünk ki csiga és kagylóhéjakat, de annyira kevés egyed került elő, hogy két mintánként össze kellett vonnunk az anyagot. Így 8 centimétert átfogó, mintegy fél kilogramm anyagot használtunk fel malakológiai vizsgálatra. Összesen 21 minta állt rendelkezésre a quartermalakológiai vizsgálatok elvégzéséhez. A mintákat 0,5 mm-es átmérőjű szűrőszitákon keresztül eltávolítottuk az üledék anyagokat, és szita felszínén így visszamaradtak a vízben oldhatatlan mészkiválások, göbcecsek, valamint a Mollusca héjak is. A sziták száradása után a mintákat kis műanyag dobozokba helyeztük további szárításra, majd szétválogattuk azokat. Ezt követően határoztuk meg az előkerült

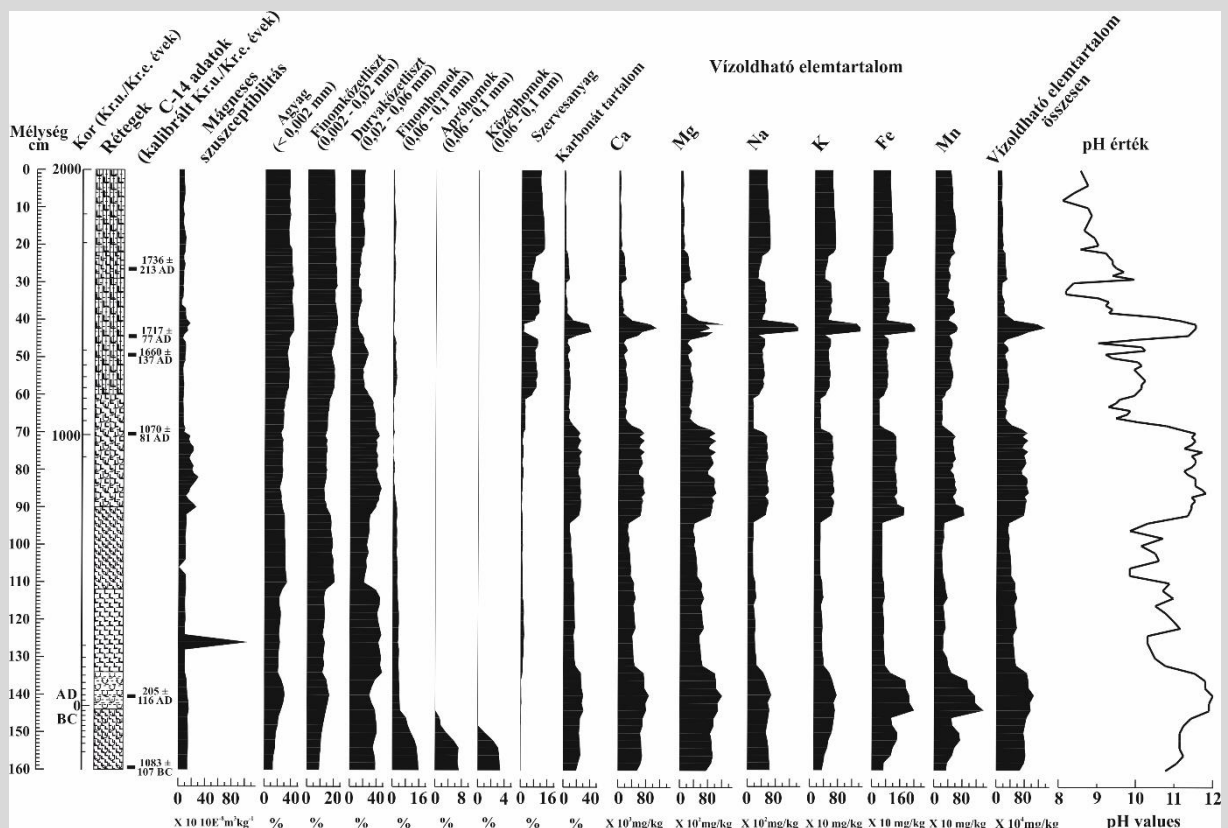
héjakat. Sajnos a héjak mennyisége csak az egyes rétegek jellemzésére volt elég, illetve ezek adták a legkorrektebb radiokarbon eredményeket a szelvény értelmezéséhez.



177. ábra Széki Nádas tavon mélyített fúrás makrobotanikai és geokémiai vizsgálatának összehasonlító eredményei (Forrás: Jakab, Silye, Sümegi et al. 2019 nyomán)

Az eredmények közül a legfontosabbnak azt tekinthetjük, hogy az *Entzia macrescens* foraminifera taxon középkor végi – újkor kezdeti (XI.-XVII. század közötti) és újkori (XIX.-XX. század közötti) rétegekben egyaránt megtalálható (176. ábra). Mindkét foraminifera megjelenéshez a nád (*Phragmites australis*), szittyó (*Juncus*), gyékény (*Typha*), kis tüskéshínár (*Najas minor*), és a határozhatatlan növényi törmelék maximumainak megjelenéséhez kötődik. Így a mai helyzethez hasonló állapotok alakulhattak ki kis szünettel az elmúlt 1000 év során a széki Nádas-tavon. Ezt támasztja alá a geokémiai adatok összehasonlítása a makrobotanikai eredményekkel (177. ábra). Jó látható, hogy a XI.-XVII. század között kialakult rétegekben a vízoldható elemek, köztük a nátrium aránya kimagasló és a pH érték is rendkívül jelentős, kifejezetten lúgos közeget mutat (pH érték jelentősebb, mint 12). Ugyanezek az állapotok jellemzik a magyar honfoglalás korát és a császárkort is. Viszont ekkor nem jelentek meg oligohalin, haliophyta növényi elemek, illetve foraminiferák a Nádas-tó rendszerében a geokémiai változásokhoz kapcsolódóan. Így csak a geokémiai és

szedimentológiai eredmények (178. ábra) utalnak a római császárkori és magyar honfoglalás kori sóbányászatra és sókitermelésre.



178. ábra Széki Nádas tavon mélyített fúrás üledékföldtani és geokémiai vizsgálatának eredményei (Forrás: Jakab, Silye, Sümegi et al. 2019 nyomán)

Valószínűsíthető, hogy a római császárkori és magyar honfoglalás kori sókitermelés volumene és technikája eltért a középkor végi és újkori kitermelési technikáktól és ennek nyomán alakult ki eltérő növényzet a sóbányákból származó iszap akkumulációs medencéjében, a Nádas-tó medrében. Ugyanakkor tudomásul kell vennünk, hogy mind a pH, mind a vízoldható elemtartalom, köztük a nátriumtartalom, de még a karbonáttartalom is megváltozhat utólag a vízmozgások hatására a Nádas-tó sekély mélységű üledékgyűjtő medencéjében, ezért a paleohidrológiai vizsgálatok geokronológiai szempontból csupán korlátozottan értelmezhető eredményeket mutathatnak a szelvényben. Viszont az *Entzia macrescens* foraminifera és életközösségének jelenléte alapján már egyértelműen jelent volt a sóbányászat és hatása a paleohidrológiai környezetre, közte a széki Nádas tó medrére az utolsó 1000 év folyamán. Ez az első eset, hogy egy édesvízi foraminiferának a paleohidrológiai jellemzőit, fosszilis és szubfosszilis jelenlétét sikerült leírni Jakab Gusztáv szarvasi intézetigazgatónak és munkatársainak.

Harmadidőszak végi és negyedidőszaki zátonyképződés – történelmi paleohidrológiai változások rekonstrukciója

A harmadidőszak végén az igen erőteljes tengeráramlás áthelyeződések, a medence kiszáradások nyomán a zátonyképződés visszaszorult a Földünkön. A negyedidőszaki csillagászati (extraterresztriális) okok miatt hullámszerűen jelentkező éghajlati változások során a zátonyképződés is ciklikusan kiterjedt és visszahúzódott, de általánosságban elmondható, hogy a mészkiválasztó szerkezetek és a zátonyképződés a negyedidőszakban általánosan lehülő Földünkön és a világtengerek felszíni hőmérsékleti csökkenése miatt az előző időszakokhoz képest visszaszorult. Ugyanakkor a trópusi tengerekben és óceánokban maradtak olyan menedékhelyek, ahol a zátonyképződés az eljegesedések (glaciálisok) ideje alatt, a lecsökkent tengervíz felszíni hőmérséklet, és a jégbe kötött víz következtében lecsökkent vízszint ellenére is fennmaradhatott.

Bár a jégkor a 11600/11700 évvel ezelőtt véget ért és a holocén felmelegedés során a zátonyok regenerálódásnak indultak, de a jelenkori (holocén) zátonyképződések, bár igen jelentősek, de nem közelítik meg a harmadidőszaki vagy mezozoikumi zátonyképződés mértékét. Ugyanakkor a jelenkori és jégkori (holocén és pleisztocén) korallzátonyokat kiválóan felhasználták az éghajlati változások modellezésére, az $^{230}\text{U}/\text{Th}$ kormérés tesztelésére és ezen $^{230}\text{U}/\text{Th}$ kormérés nyomán a radiokarbon mérések alapján elért fizikai kor eredmények naptári évekre történő átszámítására, kalibrációjára.

A korallzátonyok paleohidrológiai vizsgálatával a mikronéziai korallpiramisokat építő középkori társadalom környezeti és kronológiai hátterét tisztázták az elmúlt évek kutatásai során, és legújabban a maja kultúra Krisztus utáni IX. századi összeomlásának környezeti hátterét tárták fel a kutatók a közép-amerikai Belize partjainál található Világító-torony elnevezésű zátony közepén található Nagy Kéklyuknak nevezett tenger alatti víznyelő rendszerben (**179. ábra**).



179. ábra A közép-amerikai környezettörténeti kutatásoknál felhasznált Világítótorony elnevezésű zátony közepén található Nagy Kéklyuknak nevezett tenger alatti víznyelő rendszer (Forrás: wikipédia)

A közép-amerikai kultúra közösségei igen jelentős matematikai ismereteket tükröző lenyűgöző méretű piramisokat építettek, pontos naptárakat készítettek, tanulmányozták az égitestek mozgását, ismerték a napéjegyenlőséget, s saját írást fejlesztettek ki.

Azonban a Krisztus utáni IX. századra a maja társadalmi fejlődése lelassult, a magas szintű kultúrát a társadalmi káosz váltotta fel. A lassú, majd egy évszázadon át tartó teljes társadalmi összeomlásra, kultúra eltűnésre több magyarázat is született, amelyek elsősorban egy – egy múltbeli tényező szerepét részletezték. Valószínűsíthető, hogy ezek a tényezők összefüggésben állhattak egymással, és együttesen fejtették ki káros hatásukat és vezettek a kulturális káoszhoz, a preurbánus - urbánus életmód összeomlásához, a maja kultúra megsemmisüléséhez. A legfontosabb kutatások szerint a Krisztus utáni 820 és 870 között 40 %-kal kevesebb csapadék esett a maják által lakott és megszállt területeken. Ennek nyomán mezőgazdasági károk alakultak ki, amelyek élelmiszer elosztási zűrzavarhoz, politikai instabilitáshoz vezettek, és ennek

nyomán a maja városok elnéptelenedtek. A *Douglas Kennett* amerikai kulturális antropológus által vezetett kutatók a maja városokban feltárt régészeti objektumok, mindenek előtt a víznyerő helyekké kialakított karsztos víznyelők mellett vizsgálat alá vonták a belizi Világítótorony – Nagy Kéklyuk zátonyrendszerét is. Első lépésként uránium-tórium kormeghatározós elemzéssel állapították meg a Világítótorony – Nagy Kéklyuk zátonyrendszerben az egyes rétegek korát.

Majd az izotópgeokémiai módszerrel azt vizsgálták, hogy azok mennyire voltak nedvesek keletkezésük idején. A vizsgálatokból kiderült, hogy a korai klasszikus korban még rengeteg csapadék hullott, ami valószínűleg megteremtette a lehetőséget a maja birodalom terjeszkedéséhez, és a kultúra kiterjedéséhez. Krisztus után 660 körül változás állt be, egyre több, rövid ideig tartó száraz periódus köszöntött a térség lakóira. A csapadékmennyiség csökkenésével párhuzamosan az élelmiszer teremlés és elosztás körül a fegyveres konfliktusok száma gyarapodni kezdett, a városi (élelmiszer elosztó) központok pedig drasztikusan veszítettek jelentőségükből.

A legújabb kutatás is alátámasztotta az aszályra alapozott elméletet. A régészek a Világítótorony-zátony közepén található, kör alakú Nagy Kéklyuk tenger alatti víznyelő peremén kifejlődött korallzátonyból nyert üledékeket vizsgálták. A nedvesebb időszakokban a hegyekből a folyókon át lezúduló víz ásványi anyagokat juttatott a tengerbe, ami a lagúnáknál folyamatosan egymásra rétegződve halmozódtak fel, finoman laminált rendszert alkotva. Ezek az éves/féléves szinten kifejlődött laminák a történelmi környezet pontos időrendi nyilvántartását, kalendáriumszerűen megjelenő sorozatot jelent a kutatók számára. Az üledék kémiai összetételét vizsgálták, elsősorban a titán és az alumínium arányára építve a geokémiai alapú történelmi paleohidrológiai elemzéseiket. Ez a két elem ugyanis a közép-amerikai földhídat alkotó teresztris magmás kőzetekben igen jelentős mennyiségben található.



180. ábra Mexikó, Yucatán-félsziget területén lévő Chichen Itza (= Itza kút kávája elnevezésű) város Krisztus utáni 987 körül a mayák szövetségesei, a toltékok által Kulukán tollas kígyóisten tiszteletére emelt maya stílusú piramis alakú templom (Forrás: wikipédia)

Amennyiben jelentős mennyiségben volt jelen a lagunáris laminált üledékben a Ti és Al, akkor az azt jelenti, hogy tetemes mennyiségű eső esett azokban az években és a csapadék nyomán erőteljes volt a mállás – áthalmozódás és akkumuláció. Viszont ha ezeknek a teresztrikumi kőzeteket alkotó geokémiai elemeknek a mennyisége csökken, akkor aszályosabb időszakok alakultak ki. A *Douglas Kennett* vezette régészeti geológiai kutatások rámutattak, hogy a Krisztus utáni 800 és 1000 között vizsgált időszakokban csupán egy vagy két trópusi ciklon juthatott két évtizedre, ezzel szemben a klasszikus maja kultúra korában átlagban öt-hat ciklus jelentkezett húsz év alatt. Ennek nyomán aszályos periódusokban az átlagos csapadékbevitel harmadára csökkent és ez a fő növények, mindenek előtt az ellátásban és elosztásban alapvető szerepet játszó kukorica termesztését erőteljesen visszavetette a maják által irányított régióban.

Az éghajlatváltozás, kiszáradás hatására a maják északabbra vándoroltak, és ekkor építették a mai Mexikó, Yucatán-félsziget területén lévő *Chichén Itzá* (= Itza kút kávéja elnevezésű) városkát is (**180. ábra**).



181. ábra Mexikó, Yucatán-félsziget területén lévő Chichen Itza (= Itza kút kávéja elnevezésű) város Klasszikus Maya Birodalom és a mayákkal szövetséges tolték kultúra megtelepedésének idején vízzel ellátó természetes kút (cenote) (Forrás: wikipédia)

Az elnevezés arra a természetes vízgyűjtő területre utal, amelyen a város fekszik, amely kiemelkedő jelentőségű lehetett a maja kultúra szempontjából, mivel a területen, a Yucatán-félsziget nincsenek természetes vízfolyások, ezért a vizet a maják földalatti barlangokból, karsztos víznyelőkől, és aknaszerű mély természetes kutakból (cenote), feliszapolódott víznyelőkől szereztek be (**181. ábra**). A város három ilyen, vízben gazdag *cenote*, feliszapolódott, kutakká átalakított természetes víznyelő köré épült, amely a környező mezőgazdasági területeket is táplálta. Az életet adó kutakból kettő ma is látható.

A legújabb paleohidrológiai eredmények szerint a Krisztus utáni 1000 és 1100 között sem volt jobb a helyzet, az aszály folytatódott és kiterjedt Közép-Amerikában, és ennek az aszálynak volt köszönhető *Chichén Itzá* maja/tolték város bukása is. Az eredmények világosan megmutatják, hogy a maja (és a

velük szövetséges tolték) civilizáció két időben eltérő összeomlását a szárazság idézte elő, de a társadalom terjesztette ki a természeti tényezők hatását mivel a szárazság nyomán a társadalomirányítás ellehetetlenült, ugyanis a szárazság indukálta éhínség anarchiához vezetett.

Ezek a legújabb, régészettel összefonódó paleohidrológiai vizsgálatok jelzik, hogy a környezeti, közte éghajlati változások tesztelésére és az emberi kultúrákra gyakorolt hatásainak rekonstrukciójára is felhasználhatók a jelenkori zátonyok elemzése. Mégis a legjelentősebb hidrológiai és paleohidrológiai vizsgálatok a jelenleg zajló globális felmelegedés és szén-dioxid-koncentráció növekedés nyomán kialakult globális zátonyusztulás megállítására és visszafordítására törekednek. Ugyanis a meszes vázat, a meszet kiválasztó élőlények, közte a korallok és mészalgák együttélése nyomán kialakult zátonyok alapvetőek a globális szén-dioxid-szint stabilizálása szempontjából.

Negyedidőszak (2,588 millió évtől napjainkig)

A *Negyedidőszak*, vagy más néven *Quarter* a kainozoikum legfiatalabb időszaka, amely napjainkban is tart. Így a ma élő emberek is egy földtörténeti korban, a legújabb besorolások szerint a XIX. századtól kezdődő antropocén korszakban, a negyedidőszakon belüli gépi civilizáció korában élnek. A negyedidőszakot klasszikus módon jégkorra (*Pleisztocén*) és jelenkorra (*Holocén*) osztjuk. Ez utóbbinak, a holocénnek, a jelenkornak a legfiatalabb része az utolsó 200 – 300 évet átfogó *antropocén* korszak.

A negyedidőszak legfontosabb eseménye, hogy a kontinensek és a világtengerek mai megoszlása kifejlődött. Az ettől való eltérések főleg abban álltak, hogy a legnagyobb eljegesedések idején a ma már vízzel borított selfek, a 200 méteres sekély tengervízzel borított régiók szárazra kerülve megnövelték a szárazulatok területét. A jégtakarók a legjelentősebb lehülések (glaciálisok) idején kiterjedtek, és a gleccserek, sarki jégtakarók, hegyvidéki eljegesedett területek együttesen elérhették a 40-60 millió km²-t. Napjainkban 16 millió km² a jéggel borított régiók együttes területe. Ugyanakkor a jég előretörési szakaszokat

megszakító felmelegedések (interglaciálisok) során több esetben a grönlandi jégtakaró is elolvadt, mindössze az antarktisi jégtakaró maradt fenn. Valószínűsíthető, hogy napjaink globális felmelegedése során újra előáll ez a geológiai állapot, sőt feltételezhető, hogy az antarktisi jég döntő része, vagy egésze is elolvadhat.

A negyedidőszak előtti, prequarter vegetációk, társulások, flóra átalakulása több millió évet vett igénybe, mert azt lényegében csak a törzsfajlás és a klímaváltozások lassú üteme szabályozta. A pleisztocén gyorsabb, kezdetben 40 ezer éves, majd 100 ezer éves időtartalmú, de rendkívül erőteljes klímaváltozásai azonban a növénytakaróban olyan jelentős változásokat idéztek elő, amelyek a földi vegetáció történetében a magaskultúrák kialakulásáig példátlanok.

A növényfajok elterjedése általában az éghajlati övek eltolódását igyekezett követni. A fajok észak-déli irányú vándorlását az eurázsiai kelet-nyugati irányú lánchegységek akadályozták meg, így a szélsőséges hatások között mozgó klímát a kiegyenlített éghajlatot igénylő fajok már nem bírták elviselni és kipusztultak, bár az egyes harmadidőszaki melegkedvelő elemek fennmaradtak a Kárpátok, Alpok, Appeninek, Pireneusok déli előterében, de mindenek előtt a Balkáni-félsziget és Kis-Ázsia hegyláncainak kedvezőbb menedékhelyein (refúgiumokban).

Az ősmaradványok a hideg maximumok (glaciálisok), és a közbeeső, azokat megszakító felmelegedések (interglaciálisok) szakaszok váltakozását, tehát a hideg és meleg időszakokat és végül az egykor eljegesedett területek újbóli benépesedését tükrözik vissza. Így mind a flóra, mind a fauna változásai a ciklikus negyedidőszaki éghajlati változásokat tükrözik.

A régészeti leletek nyomán a negyedidőszakban fejlődtek ki az emberfélék (*Hominidae*). A pliocén és a legidősebb negyedidőszaki leleteken át előbb a biológiai, majd a biológiai és társadalmi evolúció a mai emberhez (*Homo sapiens sapiens*) vezetett. Így a *Homo* nemzetség kialakulása, felemelkedése,

technikai és kulturális változásai teljes mértékben a negyedidőszakhoz kötődik. A régészeti technokulturális komplexumok és a magaskultúrák régészeti leletei is a negyedidőszaki rétegekbe zárva maradtak fenn. Így a negyedidőszaki paleohidrológiai vizsgálatok a régészet és a történelem tudományához is kapcsolódnak.

Ellenőrző kérdések:

10.1. Magyarázza meg a kainozoikum fogalmát.

10.2. Sorolja fel a kainozoikum időszakait és mutassa be felosztását.

10.3. Mutassa be a kainozoikum legfontosabb paleohidrológiai változásait.

10.4. Határolja le geokronológiai szempontból a paleocén időszakot.

10.5. Mutassa be a legfontosabb paleohidrológiai változásokat a paleocén időszakban.

10.6. Határolja le geokronológiai szempontból az eocén időszakot.

10.7. Mutassa be a legfontosabb paleohidrológiai változásokat az eocén időszakban.

10.8. Határolja le geokronológiai szempontból az oligocén időszakot.

10.9. Mutassa be a legfontosabb paleohidrológiai változásokat az oligocén időszakban.

10.10. Határolja le geokronológiai szempontból az miocén időszakot.

10.11. Mutassa be a legfontosabb paleohidrológiai változásokat az miocén időszakban.

10.12. Határolja le geokronológiai szempontból az pliocén időszakot.

10.13. Mutassa be a legfontosabb paleohidrológiai változásokat az pliocén időszakban.

10.14. Mutassa be a zátonyok fejlődését a harmad- és negyedidőszak során.

10.15. Mi az a paleocén – eocén termális maximum és milyen kapcsolata van a kainozoikum kezdetén kialakult zátonyfejlődéssel?

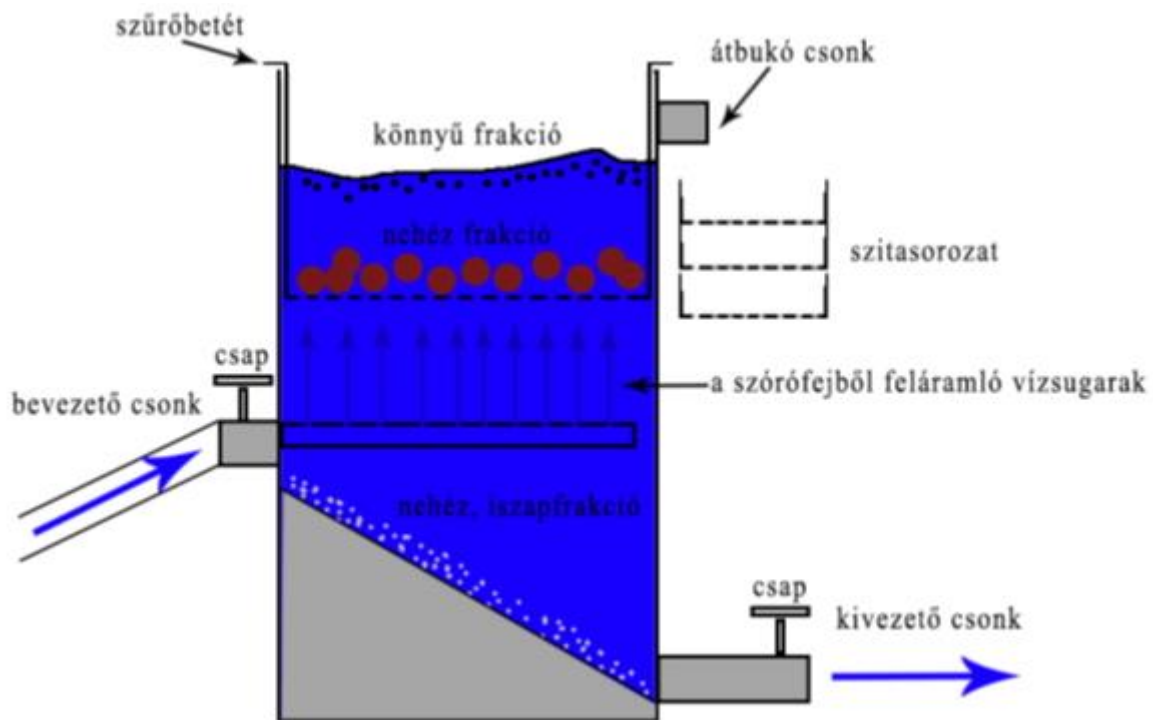
10.16. Mi az a Paratethys?

10.16. Mi a Tethy és a Paratethys közötti különbség?

- 10.17. Mutassa be a Tethy és a Paratethys paleohidrológiai jelentőségét?
- 10.18. Mik azok a likacsoshéjúak (Foraminifera)?
- 10.19. Mutassa be a likacsoshéjúak (Foraminifera) paleohidrológiai szerepét?
- 10.20. Mik azok a nagyforaminiferák?
- 10.21. Mutassa be a nagyformainiferák paleohidrológiai szerepét.
- 10.22. Mik azok a Fusulina taxonok, milyen paleohidrológiai szerepük van?
- 10.23. Mik azok a Nummulites taxonok, milyen paleohidrológiai szerepük van?
- 10.24. Mutassa be *Entzia macrescens* édesvízi foraminifera taxont paleohidrológiai szempontból.
- 10.25. Mutassa be egy példán keresztül hogyan használható fel egy zátony történelmi események rekonstrukciójára.
- 10.26. Magyarázza meg a negyedidőszak fogalmát és időkereteit.
- 10.27. Mutassa be a negyedidőszaki éghajlati változások paleohidrológiai szerepét.

4.6.3. Makrobotanikai vizsgálatok (magvak, termések, vegetatív testrészek, szövetek, szenült famaradványok elemzése)

A paleohidrológiai lelőhelyek feltárása során jelentős számú makroszkopikus növényi maradvány, magvak, termések, szarak, levéltöredékek, szenült fák, mohák, szövetmaradványok kerülnek elő. A magvak és termések analíziséről, a vegetatív növényi maradványok, mohák vizsgálatáról elsősorban az angolszász irodalom ad részletes áttekintést, de kiváló határozók készültek orosz és német nyelven is. A maradványok lehetnek magvak, termések, rügyek, gyökerek, levelek vagy egyéb, például bőrszövet (epidermisz) töredékek. A magvak és levelek morfológiai felépítése, illetve szövettani vizsgálata lehetőséget teremt pontos határozásukra. A recens növényhatározók és maghatározók mellett kiváló makrofosszília és mohahatározók állnak rendelkezésünkre, melyek a maradványok megközelítő határozásában nagy segítséget jelentenek. Igen hasznosak az egyes családokat, vagy növénycsoportokat feldolgozó monográfiák is.



182. *ábra* A kettős germán iszapolást megvalósító flotáló berendezés működésének elve (Forrás: Náfrádi, Törőcsik, Sümegei, 2015 nyomán)

Paleobotanikai vizsgálatokat végezhetünk fúrásszelvényből, felszíni feltárásokból és tengerpartokon, vagy folyópartokon húzódó magasparkokon. Napjaink paleohidrológiai célú makrobotanikai vizsgálata a kvantitatív (mennyiségi) gyűjtésre épül, amely a szubjektív megítéléstől független és az összehasonlítható teljességre törekszik. Így minden olyan helyről, ahonnan makroszkopikus paleobotanikai lelet várható, azonos mennyiségű mintát gyűjtünk, függetlenül attól, hogy ott makroszkópos növényi leletet felismerünk-e vagy sem. Felszíni feltárások esetén 30 liter üledékanyag feltárását javasoljuk mintánként kettős germán iszapolással, iszapolóval (182. *ábra*). A fúrásos feltárás esetén ez természetesen nem megvalósítható.

A begyűjtött mintákat, fúrásmagot a kiszáradás, a penészedés megakadályozása miatt érdemes a feldolgozásig dupla fóliacsomagolásban 4°C-on hűtőszekrényben tárolni. A kiemelt fúrásmag esetében a jelentős szervesanyag tartalmú (keves fosszília) minták esetén a teljes mennyiséget feldolgozzuk. Szerves anyagban gazdagabb üledékek esetén 2 cm³-es mintákat veszünk a fúrásszelvény

üledékeiből. Szelvények esetében az üledék kompaktságától és rétegzettségétől függően, ideális esetben 2-4 centiméterenként veszünk mintát. A rétegsorok esetében minimálisan a makroszkopikusan elváló rétegeinek megfelelően érdemes mintákra bontani az üledéket, de törekedni kell a rétegek finomrétegtani, egységes (monoton) felbontás szerinti mintázására, és az így kiemelt minták makrobotanikai feldolgozására is. Az üledék szabad szemmel is jól látható változásainál, a réteghatároknál lehetőség szerint sűrítjük a mintavételt.

A felszíni rétegsorok valamennyi rétegénél, mintájánál érdemes kiemelni, és a vizsgálatba bevonni a 30 liter üledéket, mert így a jelentős mennyiségű üledékből nagyobb mennyiségű makrobotanikai adatokat nyerhetünk és teljesebb paleobotanikai háttérrel adhatunk a paleohidrológiai változásokhoz. Amennyiben lehetőségünk nyílik egykori lápok, tavak, fluviális rendszerek, köztük delta képződmények felszínén dolgozni, akkor azt már mozaikokra bontva érdemes teljes terjedelmével 30 literenként kiemelni. Ugyanis a makrobotanikai anyag eloszlása alapján következtethetünk a feltöltődés, és a paleohidrológiai rendszer változásai során történt egykori növényzeti változásokra és fordítva az egykori növényzeti változások nyomán megrajzolhatjuk a paleohidrológiai rendszer átalakulását (például édesvíz sós vízzé alakulását, vagy fordítva). Az antropogén üledékgyűjtő rendszereknél, például vízlevezető árkok, kutak kitöltő üledékeknél tudomásul kell venni, hogy ezeket az objektumokat rendszeresen tisztították, így betöltésük általában a telep elnéptelenedéséhez, az emberi tevékenység lezárulásához köthető.

Az emberi kultúrákhoz kapcsolódó paleohidrológiai elemzéseknél a botanikai leletek mellett felhasználják a növényekről készült festményeket, a házak falára, sziklára festett képeket, ikonográfiákat, útleírásokat, növényi ételek leírásait az adózásra felhasznált/adóként beszédett termesztett növényekre vonatkozó feljegyzéseket is. Jól mutatja ezt a területet egy thébai (ma luxori), az egyiptomi Óbirodalom 18. dinasztikus korából származó, mintegy 3350-3300 éves sír falán kialakított falfestmény, amely egy egyiptomi kerti halastavat, a tó növényzetét, a

benne lévő halakat, vízi madarakat, valamint az egykori kert növényzetét ábrázolja (183. ábra).



183. ábra Négyzet alakú halastó lótuszokkal, datolyapálmákkal és gyümölcsfákkal Nebamun sírjából, freskó, Théba, 18. dinasztia ((Forrás: wikipédia)

A makrobotanikai vizsgálatra kiemelt talajmintákból, és üledékmintákból a paleobotanikai (makrobotanikai) leletek kiválogatása többféle módon gyorsítható meg. A szitálással a felesleges talajszemcséket, kőzetdarabokat távolítjuk el. Az eljárás előnye, hogy eszközigénye elhanyagolható (lisztsziták, laboratóriumi kézi sziták, stb.), de hátránya, hogy csak teljesen száraz földanyag esetében alkalmazható. A száraz szitálással az apróbb botanikai leletek nem gyűjthetők eredményesen. A mintákat 300 µm lyukátmérőjű szitán szűrjük le, majd csap alatt finoman folyó langyos vízzel oszlatjuk a kompaktabb részeket, esetleg használhatunk buborékos flotálást, iszapolást is. Az iszapoló eljárás lényege, hogy szitáson vízzel mossuk át a vizsgálandó üledékmintát. Hazánkban a jelenleg

leggyakrabban használt iszapoló berendezés esetében a szitasort egyre kisebb lyukbőségű szitákból állítjuk össze, amelyeket egy állványon rögzítünk. A szitasoron áthaladó víz és a kimosott szerves üledékes törmelék, és/ vagy a talajszemcsék, egy üleptető tartályba kerülnek, ahonnan a tartály feltöltődésekor folyik el a víz. Az iszapoló eljárás meglehetősen vízigényes, mivel működtetéséhez folyamatos és tömeges folyóvízre van szükség. Ezzel a módszerrel azonban gyakorlatilag valamennyi paleobotanikai lelet megmenthető. A legalsó, legkisebb lyukbőségű szita lyukméretét a növényi magvak mérete határozza meg. Bár ismerünk néhány olyan növényfajt, amelynek magja a 0,25 mm alatti mérettartományba esik, a legalsó szita lyukméretét nem érdemes szűkíteni, mert akkor a talajszemcsék sem tudnak áthaladni rajta, és a szita eldugulhat. A szitákon „*átfolyó*” botanikai leletek azonban az üleptető tartályba kerülnek, ahol a víznél kisebb fajsúlyuk miatt a víz felszínére úsznak, ahonnan sűrűszövésű szitával lemerhetők, így ezek a növényi maradványok is vizsgálhatók¹⁵.

A lebegtetés (flotáció) módszere az anyagok fajsúlykülönbségén alapul. A víznél nagyobb fajsúlyú szerves anyagok lesüllyednek az üleptető medence aljára, míg a víznél könnyebb fajsúlyúak (növényi részek) a víz felszínére úsznak, így onnan könnyen lemerhetők. Az átnedvesedett szerves anyagok is a tartály aljára süllyedhetnek. Ezeknek a felszínre kerülését vízszugárral segíthetjük elő. Az eljáráshoz nem kell egyéb felszerelés, csak egy üleptető medence, a leletek lemerésére szolgáló szita és stabil vízellátás. Ez az eljárás is vízigényes. A nagy sebességű vízzel tulajdonképpen levegőt is juttatunk a rendszerbe, így a levegőbuborékok hozzákapcsolódva a kis fajsúlyú maradványokhoz, a felszínre hozzák azokat. Ezen az elven működik az ún. „*buborékos flotáció*”. Ebben az esetben egy kompresszor segítségével levegőt fúvatunk a vízbe. Minél több légbuborékot juttatunk a rendszerbe, annál több buborék képes kapcsolódni a szerves maradványokhoz. A hatékonyságot különböző vegyszerek hozzáadásával fokozhatják, mert a szerves anyagok egy része a buborékképződést fokozza, más

része a légbuborékokhoz való kapcsolódást segíti. Ezt a módszert elsősorban a nem diagenizálódott, laza üledékek vizsgálatánál használják. A diagenizált, főként a karbonátos, dolomitos üledékeknél a növényi maradványok közül elsősorban a karbonátban gazdag szaporító készülékek (például csillárkamoszatok - *Chara* oogoniumok) maradnak meg, de ezeknél az üledékeknél már dezintegráló vegyszer, mindenképp hidrogén-peroxid, vagy fagyasztás/melegítés váltogatása szükséges. A meszes tengeri üledékeknél is kiválóan használható nagyobb tömegű, paleohidrológiai lelőhelyről származó makrobotanikai anyagok nyerhetőek, de ezeknél az üledékeknél mindenképp csiszolatok sorozatos elemzése történik, mivel a maradványok jelentőségét felülírják a csiszolatokból leírható lito- és biofáciesek. Így a döntően nem diagenizált, laza üledékből különböző módon kinyert paleobotanikai/makrobotanikai anyagot dolgozunk fel a fent leírt módokon. Ezeknél az anyagoknál a pontos meghatározás a recens fajokkal való összehasonlítással történhet. Jó összehasonlító gyűjtemény elengedhetetlen a vizsgálatokhoz. Ennek tartalmaznia kell a recens is előforduló fajokat. A kultúrnövények feldolgozásánál ismerni kell a kultúrnövény kialakulási helyének, a géncentrumának eredeti, ősi növényzetét is. A magvak és termések vizsgálatánál figyelembe kell venni, hogy az egyes növényfajok magprodukciója, magkibocsátó képessége és terjedési sajátosságai jelentősen különböznek. Egy terület feltárt talaj-, vagy üledékréteg magtartalma és ugyanennek a területnek a felszínét borító növényzet összetétele nem feltétlenül azonos. Például a pionír fajok magjai nagyobb mennyiségben lehetnek jelen. A magvak vertikálisan el is mozdulhatnak a talajban, üledékben, különösen apró rágcsálók, rovarok hatására. Legfontosabb az, hogy a termelő magvaknak csak egy kis része képes fosszilizálódni. Recens vizsgálatok azonban azt mutatják, hogy a leggyakoribb, és legtöbb szállítódni képes magot termelő növények maradványai vannak túlsúlyban a képződő üledékben. A pollenekkel szemben a magvak, különösen azok, amelyeknek terjedése korlátozott, egyértelműen a helyi vegetáció képviselői. Különösen igaz ez a tavi, lápi és folyóvízi delta területeken élő fajokra.

Ismeretesek mennyiségi becslésre alkalmas módszerek is, amelyeknek a segítségével a mintákban megbecsüljük az egyes csoportokhoz, fajokhoz tartozó maradványok mennyiségét. Ez lehet százalékos arány vagy becsült darab-, vagy más néven ún. “*abundancia-skála*”. A relatív módszer mellett ismeretes statisztikai megközelítés is. Ebben az esetben ismert mennyiségű jelzőanyag hozzákeverésével határozhatjuk meg az ismert térfogatú üledékben a maradványok abszolút mennyiségét. Makrofossziliák esetében ez a mákmag lehet (0,5 g mákmag = 959±52db mák)¹⁶.

Paleohidrológiai célból végzett makrobotanikai kutatások közül kiemelkednek *Bajzáth Judit*nak, a Természettudományi Múzeum munkatársának kutatásai, valamint *Torma Andreának* és *Benyó-Korcsmáros Réka* a Szegedi Tudományegyetem PhD hallgatóinak vizsgálatai. Munkájuk nyomán a háttér lelőhelyek, elsősorban a lápi, mocsári területek, tavak, folyómedrek, alluviális árterek, delta és tengerparti (lagunáris) környezetek vegetációfejlődésének főbb vonásait lehetett megrajzolni és több esetben is sikerült a pollen adatok alapján készített, az egykori növényzetre vonatkozó rekonstrukciós képet jóval árnyaltabbá tenni.

A magvak, termések mellett igen jelentős számban kerülhetnek elő faszenek is a különböző régészeti és környezettörténeti lelőhelyekről. Ezeknek a vizsgálatát és értelmezési lehetőségeit a dendrokronológiai résznél, a kormeghatározási módszereknél mutattuk be. Természetesen a környezettörténeti rekonstrukció során is felhasználjuk a faszeneket, a többé-kevésbé szenült maradványokat. Ez utóbbit anthrakológiai vizsgálatnak nevezzük. Különösen a pollenanalitikai és makrobotanikai vizsgálatokkal történő összehasonlító elemzés során hasznosítható legjobban a faszenekből származó őskörnyezeti adat, mert a faszenek jelentős része lokális növényzetből származik, ezért alkalmas arra, hogy a pollen adatokat ezzel a módszerrel ellenőrizzük. A pollenvizsgálatok esetében az egyes fontos környezeti jelzőszerepet betöltő (ún. „*indikátor*”) fajok meghatározásánál igen jelentős segítséget jelentenek ezek a maradványok. A tavak, lápok rétegsorából

előkerült szenült famaradványok alapján a víz közelében lévő egykori élőhelyek fás szárú vegetációját tudjuk térben és időben is rekonstruálni. A faszenekben gazdag fosszilis hidromorf talajhorizontok nagyobb feltárások feldolgozása esetén az üledékföldtani, geokémiai adatokkal együtt összehasonlító adatokkal szolgálhatnak a talajképződés körülményeiről. A szenült famaradvány (anthrakológiai) elemzéseket jól kiegészítheti az édesvízi mészkőben található levél lenyomatok vizsgálata. Bár ez az ősmaradvány együttes egy viszonylag kis területen, speciális környezetben fosszilizálódik, mégis jelentős összehasonlító adatokat biztosít a vegetáció fejlődéséről. Magyarországon *Dr. Náfrádi Katalin* (SZTE TTIK Földtani és Őslénytani Tanszék) végez kiemelkedő jelentőségű, többek között paleohidrológiai célú anthrakológiai vizsgálatokat.

4.6.4. Fitolitok szerepe és jelentősége a paleohidrológiai kutatásokban

A fitolitok paleohidrológiai célú elemzését és eredményeit a magyarországi fitolit kutatásokban több területen is úttörő szerepet játszó, és korábban Szegeden dolgozó *Dr. Persaits Gergő* ebben a témakörben a szegedi Földtani és Őslénytani Tanszéken készített PhD dolgozata alapján mutatjuk be¹⁷.

A fitolit (biogén opál, növényi opál/opalit) élő növény szöveteiben, a növény életműködése során keletkező optikailag izotróp ásvány kiválás, melynek anyaga döntően amorf, hidratált kvarc ($\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$), de nyomokban egyéb elemeket is tartalmazhat (pl.: alumínium, vas, foszfor, szén). Kristályvíz tartalma 4-9%. A növényi opalitok fajsúlya a víztartalomtól függően 1,5-2,3 g/cm³ között változhat. A biogén opalit színe a víz- és elemtartalomtól függ, a színtelen áttetszőtől, a halványszürkéstől a rózsaszínen át, egészen a sárgás árnyalatig terjed. A növényi opál mérete 5-200 mikron között jellemző, tipikus mérettartománya 10-30 mikron közötti. Fitolitok alatt csak az előbb bemutatott geokémiai összetételnek megfelelő biogén eredtű növényi részecskéket értjük, egyéb növényi sejt zárványok (pl.: kalcium-oxalát kristályos kiválások) nem sorolhatók ebbe a kategóriába.

A fitolitok képződéséhez nélkülözhetetlen oldott monokovasavat $[\text{Si}(\text{OH})_4]$ a növény a gyökerein keresztül veszi fel a talajvízzel együtt, majd a fatesteken, fasejteken (xylém rendszeren) keresztül a transpirációs áramlással jut el a növényen belüli fitolitt mineralizáció helyéül szolgáló szövetekbe. A szilícium ebben az oldott monokovasavas formában csak 2-9 pH értékek között hozzáférhető a növényi szervezetek számára. A felvett oldott kovasav mennyisége a talaj, talajvíz és a gazdanövény tulajdonságain kívül az éghajlati adottságoktól is függ¹⁸.

A felvett oldott kovasav biogén növényi opalítként történő kiválasztása, azaz a kovasav kikristályosódása folyamán a víz biogeokémiai folyamatok során történő leadásnak van kitüntetett funkciója. Így az ott a legjelentősebb a biogén opalít kifejlődésének lehetősége, ahol a párologtatás miatt a növényben a vízvesztés folyamata erőteljes. A fitolit kristályosodása a növényi szervezeten belül három zajlik elsősorban:

- 1./a sejtfalra lerakódva
- 2./a sejt üregét kitöltve
- 3./a kéreg sejtközi részében felhalmozódva.

A fitolit kikristályosódása a növény epidermiszében a legjellemzőbb, de különböző mennyiségben szinte valamennyi növényi rész egyaránt tartalmazhatnak biogén opalít kiválásokat. A fitolitiképződés függ a növény erre való affinitásától és korától is, azaz nem feltétlenül igaz, hogy idősebb növény több fitolittot tartalmaz, a fiatal kevesebbet. Általánosságban számíthatóak különböző adatok (pl.: jellemző fitolittartalom a növényvilágban 2-20 mg fitolit 1 g növényi szárazanyag tartalomra vonatkoztatva), azonban a különböző taxonok eltérő fitolit produkcióval rendelkeznek, jellemzően a pázsitfűfélék (*Poaceae*) a legjelentősebbel, míg a fák a legalárendeltebbel, de igen jelentős eltéréseket tapasztalhatunk egyes fajok, vagy adott esetben akár egyedek között is. Az eddigi élettani vizsgálatok nyomán a szilícium esszenciális fontossággal bír a növényi szervezetek számára. A szilícium opalít ásványi alakban beépülve

a sejtfalakba növeli annak ellenálló, rugalmas szilárdság képességét, melyre a párologtatás során különösen nagy szükség van, sőt, egyes kutatók szerint magában a transpirációban is szabályozó szerepük lehet a fitolit kiválásoknak. A nyomástűrő képesség fokozásában játszott szerepét vizsgálva a ligninnel mutat párhuzamot a növényi opál¹⁹. Mivel kevesebb energiafelhasználásával alakítható ki a biogén opalit, ezért ez is az oka lehet annak, hogy a fitolitok nagyobb mennyiségben találhatóak az alacsonyabb rendű növényekben, míg a kétszikűek már az energiahatékonyabb lignint részesítik előnyben. Ugyanakkor az egyszikűeknél, különösen a fűféléknél a fitolit képződés tömegesnek tekinthető, de nem zárható ki, hogy ez már egy evolúciós fejlődés, a fűféléket fogyasztó élővilággal szembeni védekezés során kifejlődött tulajdonságnak tekinthető. A lignin, a rendkívül egyszerű kémiai képlettel jellemezhető növényi opalitokhoz képest rendkívül bonyolult felépítésű szerves makromolekula, amelyek a cellulóz után a második legjelentősebb elterjedésű szerves polimer Földünkön. Bár felépítése jelentős energiát igényel, a védelemben és a nyomással szembeni rugalmas tőrőképesség fokozásában, térhálós szerkezetek kialakítása révén olyan kiemelkedő szerepe van, amely meghaladja a cellulóz ilyen irányú jelentőségét a magasabb rendű növényekben.

A fitolitok osztályozása

A felfedezett, megismert fitolit formákat le kell írni, majd azokat különböző szempontból kialakított osztályokba kell sorolni. A fitolitok kutatásában az elmúlt több mint 170 év alatt több osztályozási rendszert is kialakítottak. Ezeket az osztályozási rendszereket három nagy csoportba sorolhatjuk:

- 1./Rendszertani, vagy más néven taxonómiai megközelítés: az osztályozás alapja a fitolitok növényi szervezetben elfoglalt helye, valamint a fitolit formája, alaktani bélyege.
- 2./Tipológiai megközelítés: a fitolitok növényanatómiai helyzete, valamint morfológiája helyett ennek az osztályozásnak az alapja a fitolitok által jelzett élőhely, vegetáció típus. A fitolitok mint élőhely indikátorok jelentkeznek ebben az esetben, és az azonos élőhelyet jelző, azonos vegetáció típushoz sorolható indikátorok alkotnak egy-egy csoportot.
- 3./A két rendszer vegyesen használos megközelítése: az előző két megközelítés előnyös vonasait egyesítő osztályozás.

Ugyanakkor egészen 2006-ig nem volt egységesen elfogadott fitolit nevezéktan. Ekkor Barcelonában, Dr. Persaits Gergő részvételével történt a 6. IMPR konferencián (6th International Meeting on Phytolith Research) fogadták el a résztvevők a ma már széles körben elterjedt ICPN nevezéktant (International Code for Phytolith Nomenclature 1.0). Az ICPN elnevezései részben görög/latin eredetre vezethetőek vissza, részben pedig megtartotta a már „mélyen gyökerező” elnevezéseket (*nomina conservanda*). Az ICPN nevezéktan a következő protokollt követi: a fitolitokat legfeljebb három jelzővel (kombináció lehetséges) kell megadni. Különbséget tesz az önállóan megfigyelhető fitolit, valamint több, egymáshoz kapcsolódó, adott esetben eltérő formájú fitolitok között. Az első esetben lehetséges a legpontosabb leírást adni, mely a következő elemeket tartalmazhatja:

1./ a fitolit pontos morfológiai körvonalára vonatkozó jelző (2D vagy 3D)

2./a növényi opalit szövetére, felületi díszítettségére vonatkozó jelzők

3./amennyiben biztosan tudható a fitolit képződésének anatómiai helye – ez utóbbinál elkerülhetetlenek a napjainkban élő növényeken végzett élettani vizsgálatok.

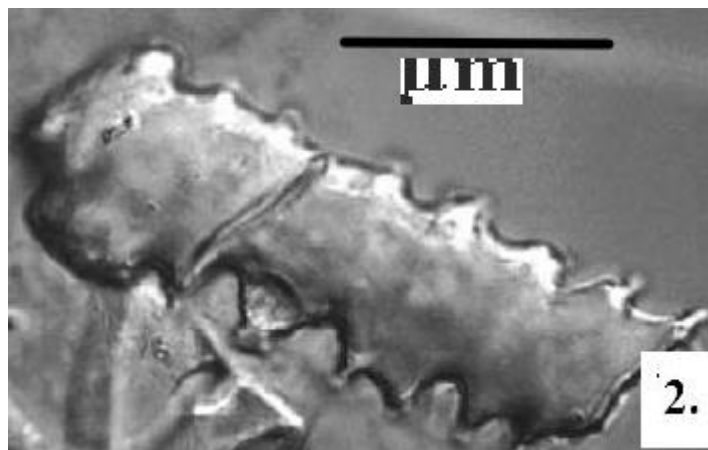
Az ICPN angol nevezéktanának nemzeti nyelvekre való átültetésére történtek kísérletek, azonban az eredeti angol ICPN nevek megtartása minden esetben követendőnek tartják (hasonlóan a növénytanban 1758-ban kialakított latin nyelvű elnevezésekhez, a binomiális nomenklatúrához). Természetesen kiemelkedő kérdéskörként kezelik a kutatásban, hogy minden nyelven jelenjenek meg a növényi opalitok morfológiai, taxonómiai leírásához szükséges terminológiai szakszavak, esetleg elnevezések is, és ezen a téren is úttörő munkát végzett a Földtani és Őslénytani Tanszéken dolgozó és ott PhD munkáját megvédő Dr. Persaits Gergő. Ugyanakkor kiemelkedő jelentőségű tényező, hogy minden esetben a forma anyanyelvi leírását követően le kell írni az angol ICPN nevezéktani megfelelőjét is. Csak így biztosítható az egységes tudományos nyelv és nevezéktan megőrzése, és ennek nyomán a félreértések kiküszöbölhetőek, amiért a nemzetközi, egységes nevezéktant kialakították 2006-ban.

A fitolit vizsgálatokat elsősorban szárazföldi üledékek vizsgálatánál, mindenekelőtt talajok elemzésénél használják fel. Így a fitolitok felhasználása a paleohidrológia területén erősen korlátozott. Ugyanakkor ismeretesebbek a növényi opalitoknak paleohidrológiai felhasználásai is, mindenekelőtt emberek által kialakított öntöző rendszerek, vízelvezető - vízszabályozó árkok, valamint tengerparti régiók (eusztárium övezetek), tengerparti mocsarak, folyótorkolatok,

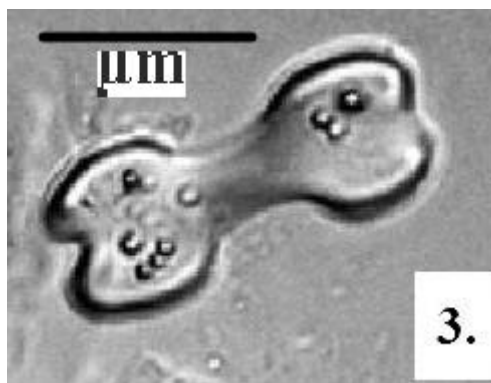
lagúnák, lagúna tavak és tavak elemzését végezték el fitolitok segítségével. Nem véletlen, hogy az egyik legfontosabb paleohidrológiai célú fitolit feltárás az igen széles szárazföldi és tengeri átmeneti zónához, a mocsaras, lagúna tavakkal is tagolt Floridai-félszigethez és a Mexikói-öbölhöz, a Mississippi folyó torkolati régiójához kapcsolódik.

A felszíni, különböző tengerparti környezetekből származó recens mintákra és zavartalan magfúrások mintáira is kiterjedő fitolit kutatás során a különböző környezetben élő, különböző vegetáció típushoz kapcsolódó fitolit maradványok és fitolit csoportok megjelenése, visszaszorulása, arányának (dominanciájának) változásai nyomán a következő környezeteket sikerült elkülöníteni.

Eusztárium öböl típusú üledékeiből kerültek elő fitolit taxonokra nézve a leggazdagabb és legjelentősebb egyedszámmal jellemezhető fitolit minták, amelyben dominálnak a hosszú fitolitok (Smooth-elongate, Sinuate elongate típusok: **184. ábra**) és a kicsi pontszerű (Short-pointed) fitolitok. Sekély, de változó vízborítású, tavi – mocsári környezettől nehezen elkülöníthető fitolit összetétel jellemzi ezt a környezetet, amelyben azonban hiányoznak a pálmákra, a mérsékletövi fákra és a sásokra jellemző környezetjelző fitolitok.



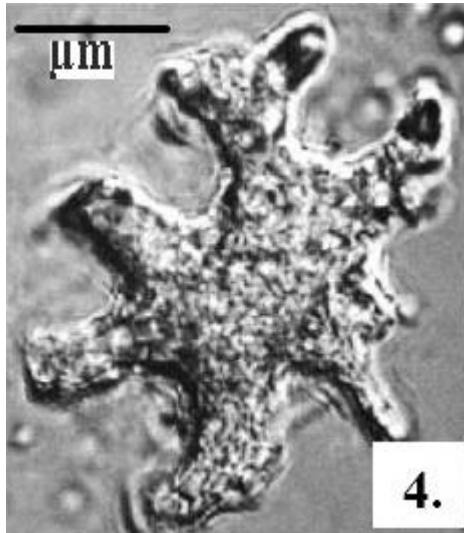
184. ábra Eusztárium öböl típusú üledékeiből előkerült *Sinus elongata* fitolit Floridai-félsziget holocén rétegeiből (Forrás: researchgate Lul, H.Y., Liu, K.B. (2005). *Phytolith assemblages as indicators of coastal environmental changes and hurricane overwash deposition. The Holocene, 15, 965-972.*- corresponding author írásos hozzájárulásával bemutatva)



185. ábra A floridai területen az eusztrárium öböl peremén kifejlődött dűne üledékekre jellemző buzogány alakú (Dumbbel) fitolit (Forrás: researchgate: Lul, H. Y., & Liu, K. B. (2005). *Phytolith assemblages as indicators of coastal environmental changes and hurricane overwash deposition*. *The Holocene*, 15, 965-972. - corresponding author írásos hozzájárulásával bemutatva)

Homokdűnésre jellemző környezetet buzogány alakú (Dumbbel) és kereszt alakú (Cross), tömeges jelenléte és kiemelkedő arányuk (**185. ábra**), illetve a hosszú fitolitok hiánya nyomán és alárendelten a pálmákra jellemző fitolitok megjelenése nyomán különíthető el az egyes környezeti típusok a fitolit elemzések alapján.

A homokdűnék közötti mélyedésekben, ciklikusan változó vízborítású környezetben nedves rétek, mocsarak fejlődtek ki, ahol a buzogány (Dumbbel) alakú és kereszt alakú (Cross) fitolitok aránya maximumot mutatott. Ezek a homokdűnék közötti mélyedésekben kifejlődött nedves rétek és mocsarak gyakran elláposodtak és sásos – szittyós lápok fejlődtek ki a felszínükön. Ezekben a szintekben tömegesen megjelentek a sásokra jellemző fitolitok, itt is megjelentek a hosszú fitolitok (Smooth-elongate, Sinuate elongate). Az édesvízi tavi környezet egyértelműen elkülönül a pálmafákra jellemző fitolitok abszolút, akár 80 %-ot is meghaladó dominanciája révén a sós vízi, kevert vízi tengerparti tavaktól. Ez utóbbi környezetben a pálmákra jellemző fitolitok aránya 20 - 50 % közötti, és mindig jelen voltak a mérsékeltövi fákra jellemző fitolitok (**186. ábra**) 10 - 40 %-os arányban.



186. ábra Eusztárium öböl típusú üledékeiből az ártéri erdőkre jellemző lomhullató fákra jellemző fitolit (Forrás: researchgate: Lul, H. Y., & Liu, K. B. (2005). Phytolith assemblages as indicators of coastal environmental changes and hurricane overwash deposition. The Holocene, 15, 965-972.- corresponding author írásos hozzájárulásával bemutatva)

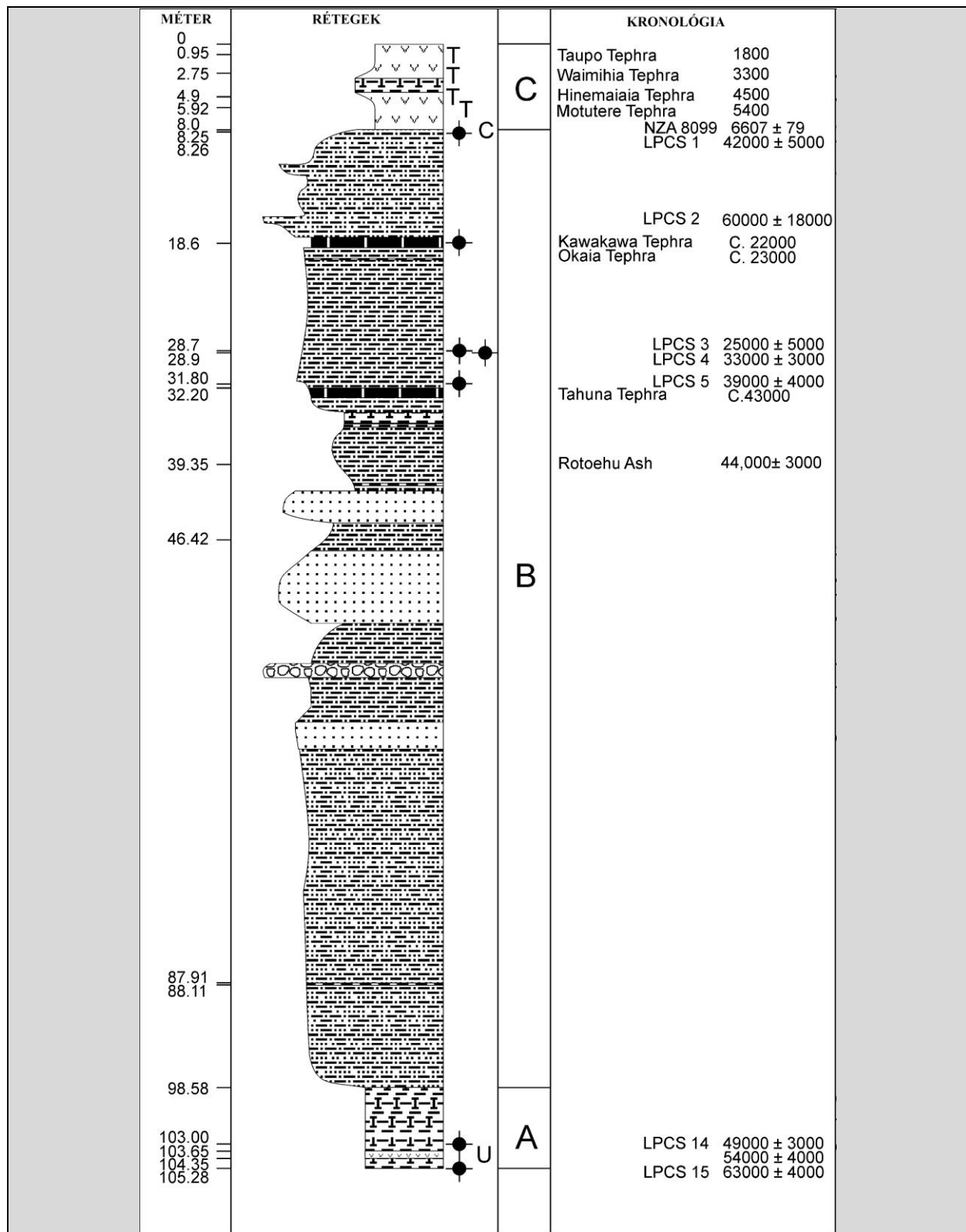
A sós mocsarak, brakkvízi (kevert vízi, 1 ezrelékes sótartalmú) mocsarak rétegeiben eltűntek a pálmafákra, lombosfákra jellemző fitolitok, és az eusztárium öböl típusú és a homokdűnék közötti mocsarak üledékeiből előkerült fitolitok együtt jelentek meg a sós és brakkvízi mocsarakban. Ez az üledéktípus tartalmazza a leggazdagabb fitolit maradványokat, mind taxonok számára, mind egyedszámra nézve. Az édesvízi mocsarakban is ezek a fitolit típusok jelentek meg, de ezek a buzogányalakú fitolitok dominancia maximuma, a harasztokra jellemző fitolitok megjelenése révén különülnek el a sós mocsaraktól.

Ezeket a recens növényzeti típusokat és környezeteket jelző fitolitokat fúrásokban is feltárták, és ennek nyomán a Mexikói-öböl, a Mississippi deltavidékének és a Floridai-félsziget utolsó 2000 éves fejlődését részletezték. A fitolitok alapján a szárazabb periódusokat, a part menti dűnék homokanyagának előretörését, a dűnék szétterjedését határolták le. A paleohidrológiai feldolgozások kiterjedtek az egykori amerikai őslakosság és a tengerparti környezet kapcsolatának feltárására is.

Esettanulmány 2.

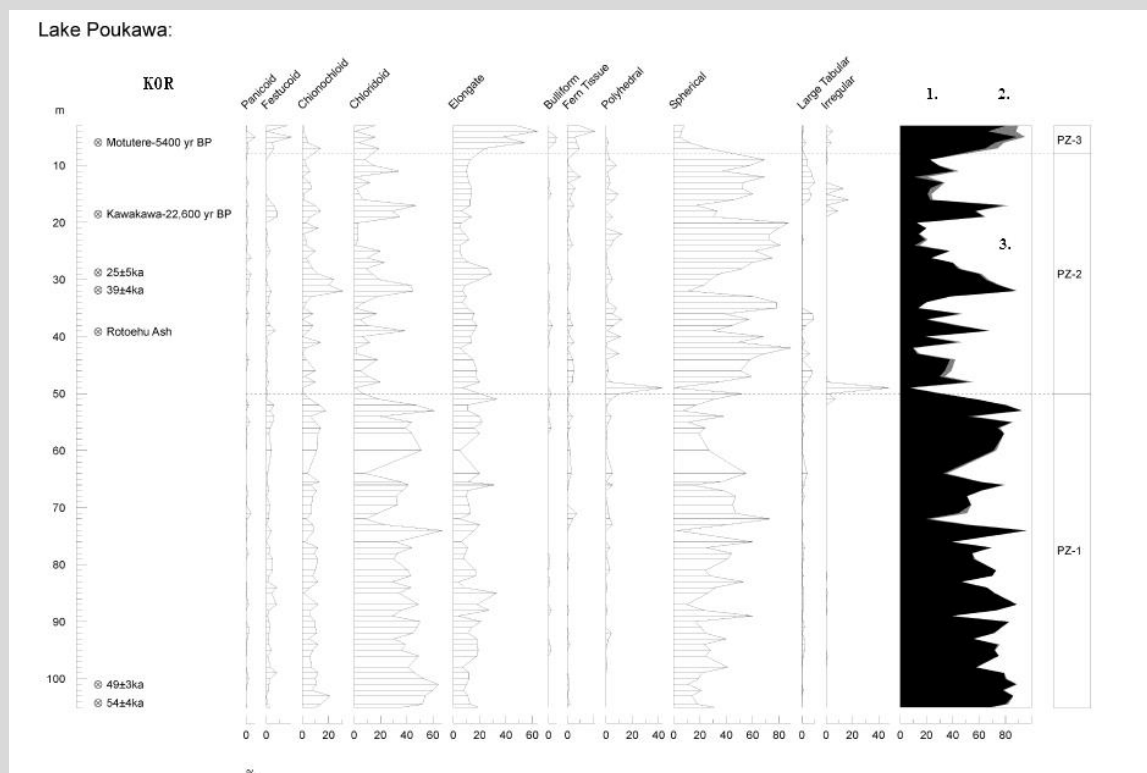
A tavi rétegek feltárása és a fitolitok egyik legfontosabb és leghíresebb felhasználása az Új-Zéland területéhez tartozó utolsó interglaciális során kifejlődött tavi rendszerhez kötődik²⁰.

A 2 km átmérőjű vízborítással rendelkező Poukawa-tó 75 km² kiterjedésű medencéje Új-Zéland északi szigetének keleti részén helyezkedik el 20 méterrel a tenger szintje felett. A medencét pliocén tengeri üledékek, mindenekelőtt diagenizálódott mészszipap és iszapkövek övezik dombsort alkotva. Magát a medencét negyedidőszaki üledékek töltik ki, és ezen belül az utolsó 12 ezer év, a jelenkor (holocén) során felhalmozódott üledékek vastagsága eléri a 10 métert. Az egész medenceterület tektonikus blokkot alkot és blokkszerűen süllyedt le egy lokális tektonikus zónában, amely a geofizikai mérések és geológiai adatok alapján rendkívül aktív volt a negyedidőszak során.



187. ábra Az új-zélandi Poukawa tó rétegsora és kronológiai vizsgálatának eredményei (Forrás: researchgate: Shulmeister, J., Shane, P., Lian, O. B., Okuda, M., Carter, J. A., Harper, M., Heijnis, H. (2001). A long late-Quaternary record from lake Poukawa, Hawke’s Bay, New Zealand. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 176, 81-107 nyomán – első szerző [corresponding author] írásos engedélyével közölve)

A területen egy 205 méteres hosszúságú fúrásszelvényt alakítottak ki 8,8 cm átmérőjű magfúrással, amelynek a felső 105 méteres szakaszán az utolsó 60,000 év során felhalmozódott hiánytalan üledékes sorozatot vizsgálták meg fitolit szempontjából. A szelvény kronológiai elemzését az üledékben feltárt 15 vulkáni tufit (tefra) réteg tette lehetővé, valamint Optikailag Stimulált Lumineszcencia (OSL) méréseket és a tefrákon U/Th geokronológiai, a tőzegrétegeken radiokarbon-méréseket is végeztek a szelvényen (187. ábra). A geokronológiában a vezető szintet a többszörösen is megvizsgált és igazolt korú 22 590 +/- 230 BP évre tehető Kawakawa tufit horizont alkotta a medence rétegsorában 18,51 méternél. Ugyancsak kimutatták a 35,000 és 43,000 évek közötti Tahuna és 45,000 és 50,000 évek közé tehető Rotoehu tufit szinteket is. Ezek mellett az 1800 éves Taupó, a 3300 éves Waimihiai, 4,500 éves Hinemaiaiai, 5400 éves Motutere, 23 000 éve Okaiai és két még ismeretlen 49,000 és 63,000 éve közé tehető tufit szintet különítették el. A fekü tufit szintek riolitos tufákhoz kapcsolódóan képződtek, míg a Kawakawa és az erre települő tufit horizontok bazaltos jellegű vulkáni szedimentációhoz kötődtek.



188. ábra Az új-zélandi Poukawa tó fitolitanyaga 1 = sásfélék és fűfélék, 2 = páfrányfélék, 3 = fák és cserjék (Forrás: researchgate: Shulmeister, J., Shane, P., Lian, O. B., Okuda, M., Carter, J. A., Harper, M., Heijnis, H. (2001). A long late-Quaternary record from lake Poukawa, Hawke's Bay, New Zealand. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 176(1-4), 81-107 nyomán – az első szerző [corresponding author] írásos engedélyével bemutatva)

A fúrás rétegsorában a következő egységeket különítették el (**187. ábra**): A felső 8 méteren holocén tufit szintekkel tagolt, felszínén talajosodott tőzegréteg fejlődött ki. 8 és 95 méter között fosszilis talajszintekkel, tufit horizontokkal, Mollusca héjas homokbetelepülésekkel tagolt csiga- és kagylóhéjakat tartalmazó, laminált, szürkészöld agyagos kőzetliszt réteg fejlődött ki. 95-105 méter között szerves anyagban dús laminált kőzetliszt réteg és meszes iszaprétegek fejlődtek ki, míg 103 és 104 méter között egy tőzegréteg húzódott. Bár egyes mintákból nem került elő fitolit anyag, vagy az előkerült fitolit maradványok száma nem érte el a statisztikusan értelmezhető mennyiséget, de az 1 cm-es mintavételi stratégia következtében minden időhorizontból megfelelő számú fitolit maradvány került elő (**188. ábra**).

105 méter és 50 méter között a fűfélék és a sásfélék fitolitanysága (**188. ábra** 1. jelzés) dominált, arányuk 50-80 % között változott. A pollenanyag alapján ebben a fitolit szintben sásfélék (Cyperaceae) pollenanyaga dominált, de a fák, mindenekelőtt a déli bükk (*Nothofagus*), kőtiszafafélék (*Podocarpus*) is jelen voltak, és mellettük a fává növény serlegpáfrány (*Cyathea*) jelentkezett jelentős arányban.

Édesvízi diatómák, sárgásbarna moszatok maradványai ebben a szintben jelentkeztek erőteljesen, mindenekelőtt a 103-104 méter közötti tőzegrétegből, majd 98 és 8 méter közötti üledékes sorozatból tengerparti, hullámverési övben élő diatómák, szivacsok, radiolária, szilikoflagelláta maradványok jelentkeztek erőteljes arányban. A maradványok megtartása alapján és a taxonok nyomán a környező dombokat felépítő pliocén tengeri üledékekből mosódtak ki és telepítődték át ezek a fossziliák.

50 és 8 méter között viszont a fák és cserjék fitolitanysága volt a domináns a medence üledéksorozatát feltáró fúrásszelvényben, bár két hullámban 33 méternél (39 000 – 40 000 évek között) a Tahuna tufit szintjében, illetve 19 méternél (22 000 – 23 000 évek között) a Kawakawa tufit szintjében a fűfélék és sásfélék fitolitanyságai törtek előre. Ennek nyomán a jégkor végén a vulkáni kitöréseknél a fák és cserjék visszaszorultak, és a lágyszárúak domináltak az Északi-szigeten (**188. ábra** 3. jelzés). A pollenek között ebben a szintben az „ezüst” déli bükk (*Nothofagus menziesii*) vált a karakterelemmé, mellette a serlegpáfrány (*Cyathea*) jelentkezett kiugró arányban. A Tahuna és a Kawakawa tufitok szintjében a lágyszárúak, mindenekelőtt az őszirózsafélék (Asteraceae) terjedtek el a pollenösszetétel változása nyomán.

A felső nyolc méter tőzeganyagában ismét a fűfélék és a sásfélék fitolitanysága vált uralkodóvá, de a páfrányok igen jelentős aránya mellett. A kőtiszafafélék (*Podocarpus*) váltak uralkodóvá ekkor a pollenanyagban, arányuk minden mintában meghaladta a 40 %-ot, de

elérte a 80 %-ot is egyes szintekben. A jelenkorban (holocén során) tehát a síksági erdőtípusok terjedtek el a vizsgált területen, keveredve a serlegpáfrány (*Cyathea*) erdőkkel. A holocén tőzegrétegben ismét az édesvízi diatómák jelentek meg erőteljesebb arányban.

A Poukawa-tó medencéjében egy sekélyvízi időszakos tó alakult ki az utolsó interglaciális/glaciális átmeneti szintjében. Alpi nevezéktan szerint Riss/Würm interglaciális – Würm glaciális átmenetéről, a tengeri izotóp rendszerek nyomán (Marine Isotope Stage) MIS5 fázis végén, a MIS4 fázis kezdetén alakult ki ez a tavi rendszer, amely elláposodott, majd sekély, édesvízi, de állandó tóvá alakult át. Ennek nyomán valószínűsíthető, hogy ebben a klímafázisban megnövekedett a csapadék az Északi-szigeten, és ennek nyomán alakult ki a sekély, de állandó vízborítás a területen.

Az utolsó glaciálishoz köthető éghajlat romlás, a regionális és lokális hőmérséklet csökkenése 50 000 év után jelentkezett a szelvényben, és a mirtuszfélék (*Myrtaceae*) megjelenése és terjedése jelezte ezt a pollenszelvényben. A fűfélékre jellemző Chloridoid és Chinocloid fitolitok megjelenése és terjedése is mutatja ugyanezt a regionális és lokális lehülést. Az üledékes sorozatban megjelenő paleotalaj szintek a klíma ingadozásokat, melegebb klímaszakaszok kialakulását mutatják az MIS3 és MIS2 glaciálisokon belül, de a lehülések idején magashegységi *Nothofagus solandri* erdőfoltok alakultak ki szubalpin törpecserjésekkel és alpin hideg sztyepekkel keverten.

A medence peremén található domboldalakon a legjelentősebb lehülés (Last Glacial Maximum =LGM) során a Kawakawa tufit horizont feletti szintben is fennmaradtak a déli bükkök (*Nothofagus*) hidegtűrő taxonjai. A fitolit összetétel alapján 6,5-7,0 °C-al hidegebb évi középhőmérséklet alakulhatott ki, és ekkor törpecserjés és hideg sztyepp, zombékos sásos borította a tenger szintjétől 800 méter tengerszint feletti magasságig. Az extrém környezeti átalakulásokat okozó vulkánkitörésekhez és tufaszórásokhoz az őszirózsa-félék (*Asteraceae*) terjedés és pollenmaximuma kapcsolódott.

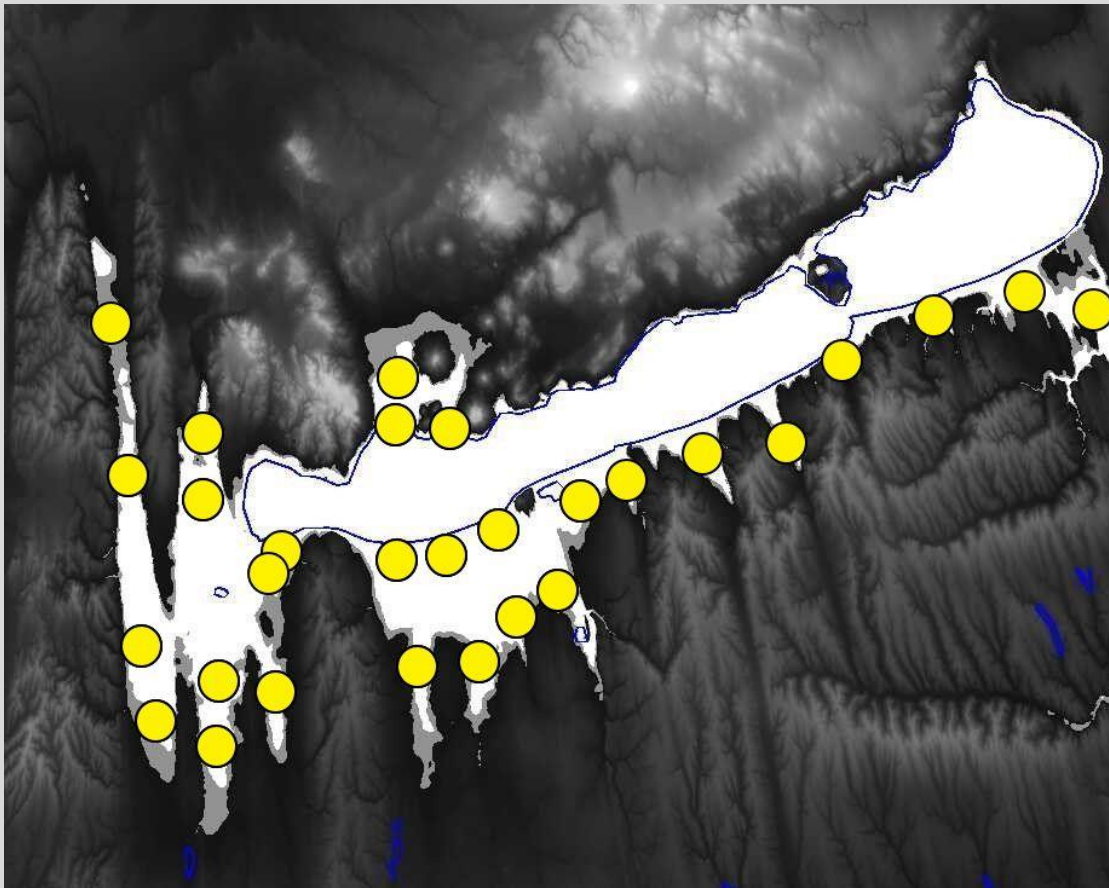
A holocén során, mintegy 8000 évtől lápos tavi környezet fejlődött ki a vizsgált medencében és aktív tőzegképződés zajlott, a lápos tavi rendszert *Podocarpus* – lombhullató – serlegpáfrány erdők övezték. A jégkori tavi rendszernél a lehülés nyomán mérséklődött páratartalom növekedés tartotta fenn a sekélytavi állapotot, viszont a holocén során a csapadékmennyiség erőteljes növekedése miatt stabilizálódott a tavi – lápos tavi környezet megközelítőleg 7000 évvel ezelőtt. Az erdei vegetáció visszaszorulását és pusztulását a 15 tufit horizonthoz kapcsolódó vulkánkitörések okozhatták. A fitolitok összetételének változását így az éghajlati események, a vulkánkitörések egyaránt erőteljesen befolyásolták. A fitolit

összetétel változása a legszorosabb kapcsolatot a talajfejlődéssel és az édevízi diatómák megjelenésével mutatta.

Esettanulmány 3.

Magyarországon a Balaton Szigligeti-öblében az utolsó 20 ezer évben felhalmozódott üledékeihez kapcsolódik a legkiemelkedőbb paleohidrológiai elemzésénél felhasznált fitolit elemzés. Ezt az elemzést a szegedi Földtani és Őslénytani Tanszéken dolgozó oktató, *Dr. Persaits Gergő* végezte el az első szerző vezette PhD munkája során. Elemzését a Szigligeti-öbölre vonatkozóan, valamint az első szerző vezetésével a Balaton fejlődéstörténetét bemutató komplex, geokronológiai, izotópgeokémiai, geokémiai, szerves geokémiai, üledékföldtani, pollenanalitikai, malakológiai vizsgálatokat egyaránt átfogó paleohidrológiai értékelést a következő sorokban mutatjuk be – a Természet Világa lapban is megjelentetett munkánk nyomán²¹. A Balaton kialakulására vonatkozó első tudományos értékű elméletet még 1732-ben *Bél Mátyás* írta le. Szerinte a tó a Zala-folyó kiszélesedő torkolataként fogható fel. 1782-ben az első osztrák katonai, ún. „*Jozefiánus*” térkép kialakítása során elkészült az első, partfejlődési szempontból is jelentős Balaton-térkép, majd *François-Sulpice Beudant* francia geológus végzett igen fontos geológiai megfigyeléseket a területen, felismerte és leírta a holocén tőzeget (*tourbe*), és elkészítette a Balaton első geológiai térképét 1818–1822 között. A geológiai felmérések alapján készített tőzegtérképek nyomán a Magyar Királyi Földtani Intézet geológusa, *László Gábor* ismerte fel 1911-ben, hogy a Balaton történeti és őstörténeti időkben nagyobb volt, mint a szabályozás előtt. A Balaton a legnagyobb kiterjedések során elérhette a 110 m tengerszint feletti magasságot is, amely a mai, szabályozott szinthez (104,3 mBf) képest több méterrel jelentősebb vízborítást mutat. László Gábor volt az első, aki a Balaton berkeit, öbleit tudományos igénnyel kutatta és átfogó tőzegvastagsági térképeket készített ezen területekről. Ezt követően *Lóczy Lajos*, a Földtani Intézet igazgatója, nemzetközi szinten is kiemelkedő, az éghajlati tényezőktől a tó földtani fejlődésére is kiterjedő monografikus sorozatban megjelenő limnológiai kutatásokat indított el a Balatonon a XX. század kezdetén. A földtani vizsgálatok során arra következtettek, hogy a Balaton a négy részmedence feltöltődésével alakult ki. Ezt a geológiai fejlődéstörténeti képet támasztotta alá az 1980-as években megkezdett, a Magyar Állami Földtani Intézet vezetésével folytatott komplex földtani vizsgálat is. Ekkor rajzolódott ki, hogy a tó több, egymástól elkülönülő, eltérő korú, többféle tényező hatására, poligenetikus módon létrejött részmedencékből áll és fejlődése a jégkor végén kezdődött el. Mindezek ellenére, a Balaton kialakulásáról igen sok hipotézis, természetrajzi vízió jelent meg tudományos szinten. A

sokféle megalapozatlan elmélet miatt, és a tó környékén a régészeti ásatásokon végzett környezettörténeti - paleohidrológiai, régészeti geológiai megfigyelések, kutatások alapján határoztuk el, hogy újabb átfogó paleohidrológiai elemzést végzünk a Balaton fejlődésének feltárására. Személy szerint (Sümegei Pál szerző) tapolcai születésűként, a balatonfüredi Lóczy Lajos Gimnázium egykori diákjaként többszörösen is kötődtem a Balaton vizsgálatához, Lóczy Lajos geológus szellemi hagyatékának folytatásához.



189. ábra Balaton egykori vízborításának rekonstrukciója nyomán kirajzolódó „balatoni rovarszárny” paleohidrológiai szerkezete a késő-bronzkor / kora-vaskor határán kialakult vízmélységi és kiterjedési maximum (fehér szín), mintegy 3100-3300 évvel ezelőtt (Forrás: saját ábra)

Vizsgálatai területnek kezdetben a Tapolcai-medence (az egykori vízzel borított öböl) déli részét, a Balatonederics és Szigliget közötti edericsei (szigligeti) öblözetet választottuk, majd az itt az 1980-as években *idősebb Sümegei Pál* helyismeretét is kamatoztató, megkezdett vizsgálatokat a Badacsonytördemici öblözet, a Nagy-Berek, az Ordacsehi-, a Lellei-, az Öszödi- (Szóládi) és a Zamárdi-Berek (Brettyóban), valamint a Kis-Balaton területein folytattuk. Ennek nyomán a Balaton nyúlványainak, a XVIII. századi elnevezéssel a rovarszárnyainak, valamennyi részét is megvizsgálhattuk (**189. ábra**). A legmélyebb és legteljesebb rétegsort a balatonedericsi (szigligeti) öblözet biztosította (**190. ábra**), ezért ezt

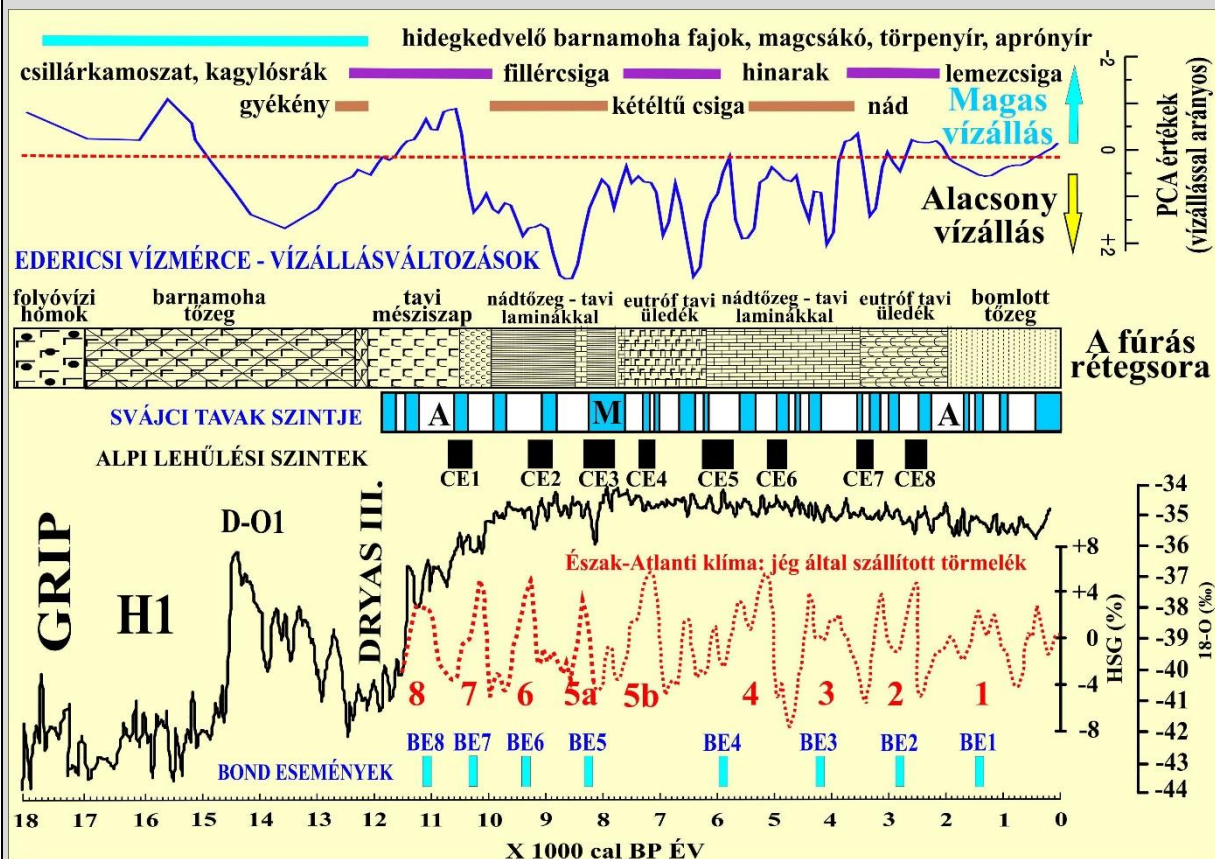
részleteznék munkánkban, kitérve a berkek, öblök, nyúlványok között jelentkező különbözőségekre is²².



190. ábra A balatonedericsi magfúrásunk helyzete a Balaton szabályozása előtt az 1782-ben készült első osztrák katonai térképen (Forrás: Arcanum Osztrák Birodalom katonai térképei sorozat, vásárolt és módosított térképlapja)

A Szigligeti-öböl a Balaton-felvidék és a Keszthelyi-hegység között, Közép-Európa legnagyobb tavának (napjainkban 593 km², természetes állapotában 900 km² kiterjedésű vízfelületnek), a Balatonnak a partján található. A fúrás Szigliget és Balatonederics között, az öblözetnek a parttól mintegy 100 m-re eső pontján (EOV koordináták X=524941 Y=163210) mélyült. Mivel a Balaton egy nagy felületű (593 km²), ám sekély (átlagosan 3,3 m mély) tó, melynek vízbevétele elsősorban a csapadéktól és a felszíni hozzáfolyástól függ, igen érzékenyen reagál a környezeti és a klimatikus változásokra. A rendelkezésre álló történeti és paleohidrológiai kutatások alapján ismeretes, hogy a Balaton vízszintje a kialakulása óta

jelentős fluktuációt mutatott. Ezen paleohidrologiai változásokra a vízi növényzet igen gyorsan reagálhatott. A mintavételi pont kiválasztásánál a fő szempontot az jelentette, hogy az egykori öblözetben sokkal karakteresebb *in situ* nyomokat hagytak a múlt vízszíningadozásai (pl.: pollen-, karbonát- és foszfáttartalom, mikro- és makrofosszília tartalom, stb.), mint a tó belső, mélyebb területein. Az első katonai felmérés térképei (ún. „Jozefiánus” térkép, 1783-1786) alapján egyértelmű volt, hogy a terület a szabályozatlan Balaton parti zónájához tartozott (190. ábra).

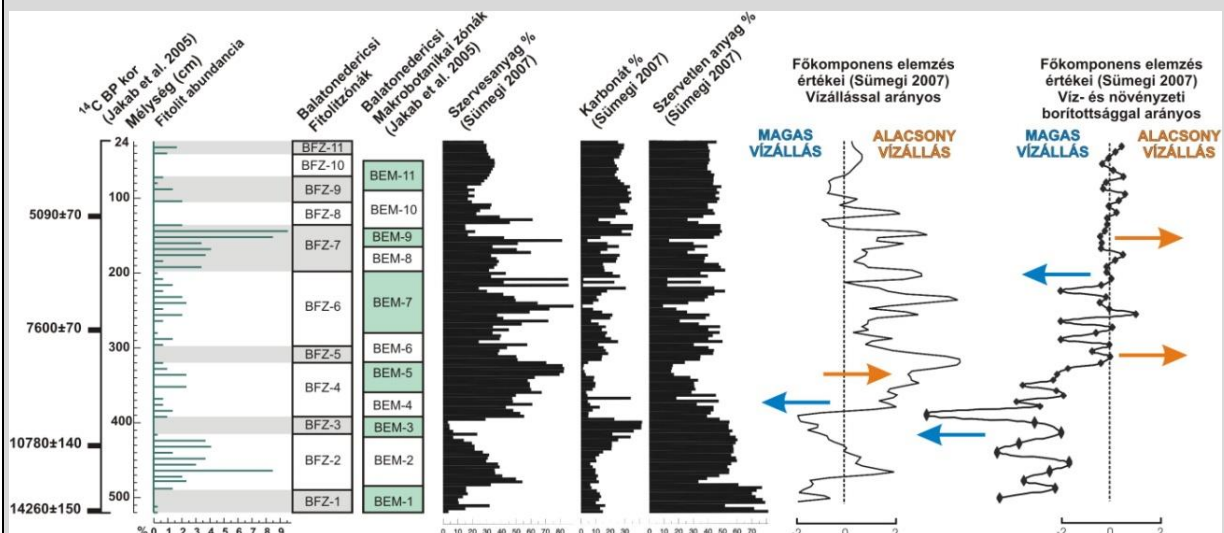


191. ábra A balatonedericsi fúrás rétegsora radiokarbon korokkal, a tavi vízborítással arányos karbonát-, szervesetlen anyag tartalom, valamint a lápi, tőzezes környezet indikátoraként felfogható szervesanyag-tartalom változásai nyomán rekonstruált, a vízállás-változásokkal arányos trendek (a balatonedericsi vízmérce) (Forrás: saját ábra)

A Balaton mai tómedrének kialakulása fokozatosan történt, több önálló tómedence (részmedence) nyugatról északkelet felé történő, a holocén során lejátszódó egyesülésével. A Szigligeti-öböl kialakulása az utolsó hidegmaximum idejére, mintegy 18 000 – 20 000 naptári évekre tehető és itt a legjelentősebb, 5 métert meghaladó az utolsó 20 ezer év alatt felhalmozódott üledéksorozat rétegvastagsága. Ebben a rétegsor felhalmozódásban kiemelkedő szerepe lehetett a jellemzően északi széliránynak, melynek hatására kialakuló áramlások az iszapos, kőzetlisztben gazdag üledékeket az északi, míg a homokos üledékeket a déli parton rakhatták le. Ugyanakkor az aszimmetrikus felépítésű részmedence kialakulása, az

északi, mai Szigliget felőli peremeken legmélyebb és déli irányban elsekélyesedő medencerész is jelentős szerepet játszhatott abban, hogy a Balaton északi partjához tartozó Szigligeti-öbölben halmozódott fel a legjelentősebb vastagságú üledék a sekélytavakhoz sorolható Balaton tavi rendszerben (191. ábra).

Az SZTE Földtani és Őslénytani Tanszék vezetésével végzett, a Szigligeti-öbölben mélyített fúrásokra és az 1-4 cm-ként kiemelt minták üledékföldtani, makrobotanikai, pollenanalitikai, malakológiai feldolgozásaira alapozott környezettörténeti kutatások alapján rekonstruálhatóvá váltak a Balaton jégkor végi és holocén kori vízszint változásai, paleohidrologiai rendszerének fejlődési fázisai. A fitolitelemzés során arra voltunk kíváncsiak, vajon a növényi opalitok alapján is kirajzolódnak-e a már megismert, egyéb módszerekkel (pl.: makrobotanikai elemzés, malakológiai vizsgálat, radiokarbon mérések) kimutatott éghajlati és vízszintváltozási ciklusok (192. ábra).

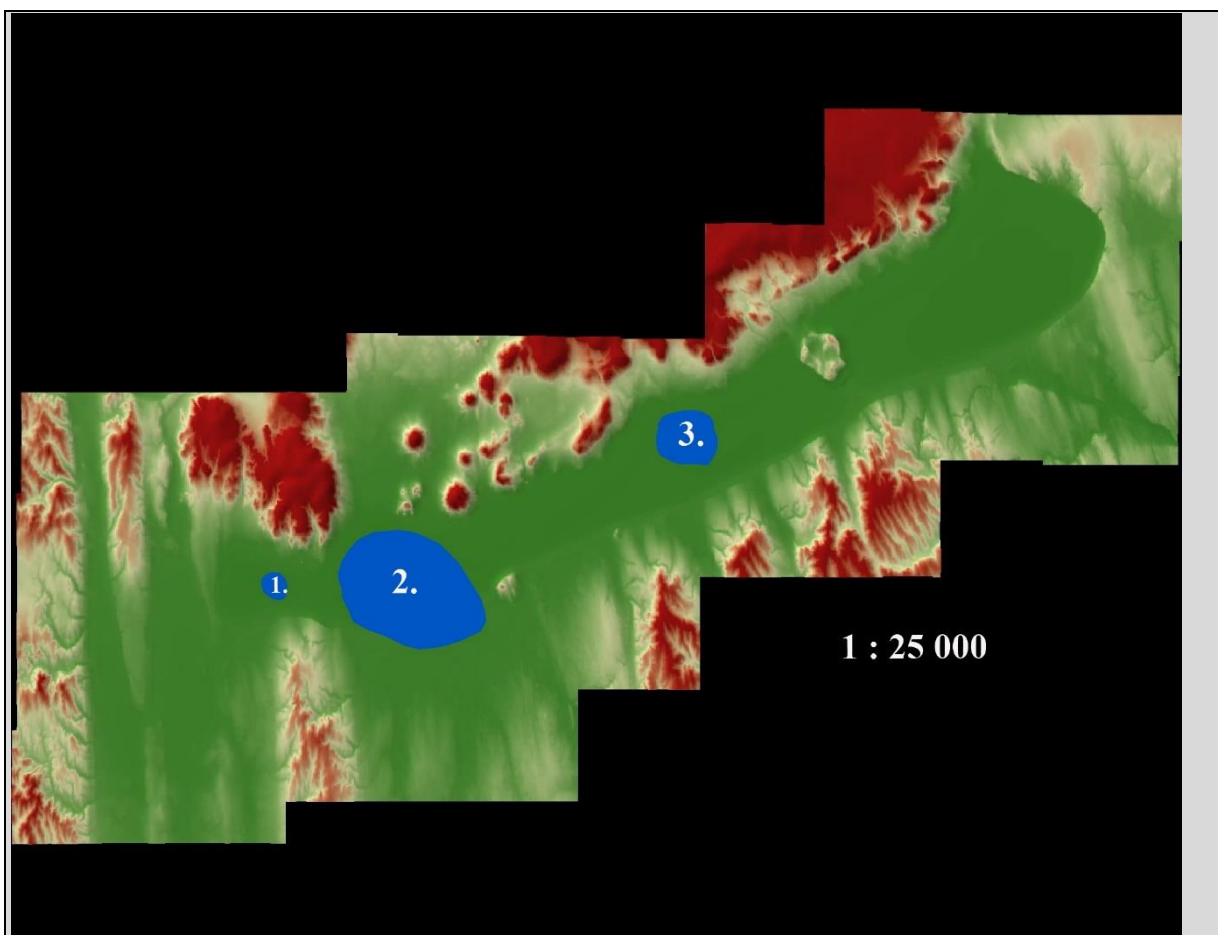


192. ábra A balatonedericsi fúrás összehasonlító fitolit vizsgálatának eredményei (Forrás: Sümegi et al. 2020)

Valamennyi fúráshelyszínen magfúrással emeltünk ki a mintákat a geológiai és őslénytani feldolgozáshoz. A balatonedericsi (Szigliget) öblötben az utolsó 20 ezer év során felhalmozódott 520 cm-es folyamatos kifejlődésű rétegsort. A szelvényen a balatoni és a magyarországi negyedidőszaki fúrások közül egyedülálló módon, több mint 30 radiokarbon kormeghatározást, teljes üledékföldtani elemzést, geokémiai, szerves geokémiai, izotóp-geokémiai, makrobotanikai, pollenanalitikai, növényi opalit (fitolit), valamint csiga- és kagylómaradványokra kiterjedő malakológiai vizsgálatokat végeztünk. Összesen 38 különböző tényező, környezeti változást visszajelző marker szempontjából vizsgáltuk a fúrást. A mintavételezés olyan sűrűn történt a fúrásszelvény mentén, hogy az egyes minták időbeli felbontása átlagosan 100 évnél adódott, de egyes szakaszokban és egyes paleohidrologiai

tényezőkre nézve az időbeli felbontás elérte az 40-50 évet is. Így az utolsó 20 ezer évre vonatkozóan megközelítőleg évszázados, de egyes időszakokban évtizedes léptékben tudtuk az őslénytani, geológiai, geokémiai tényezők, összességében a paleohidrológiai rendszer változásait megvizsgálni és ennek nyomán a Balaton vízrendszerének és környezetének átalakulásait modellezni. A fejezetünk szempontjából kiemelkedő jelentőségűek voltak a szigligeti fűrés fitolit elemzéseinek legfontosabb tapasztalatai, amelyek a következőképpen foglalhatóak össze. A feltárt minták fitolit mennyisége nagyon alárendelt volt, mindegyik mintában alatta maradt a 200 db/mintának, de a minták többségében meghaladta a 100 darabot az előkerült fitolit anyag. Ugyanakkor a fitolit abundancia (darabszám) ciklikusan változott, döntően 100 és 200 darab között, de egyes mintákban, a tavi rendszer kiterjedésénél, a vízmélység növekedésénél fitolit maradvány nem került elő. A formai változatosság a mennyiséghez, valamint a makrobotanikai eredmények alapján rekonstruált vegetációhoz képest (nem a legkiemelkedőbb fitolitprodukciónal jellemezhető növények dominanciája volt a meghatározó) felülmúlta a várakozásainkat. A fitolitok abundanciája valamint a fitolitformák típusai alapján kijelölt 11 db fitolitzóna (BFZ-Balatonedericsi fitolitzóna) több esetben szinte centiméteres pontossággal összevethető a szintén 11 egységből álló makrobotanikai (BEM) zónákkal és jól visszatükrözik a balatoni vízszintváltozásokat az utolsó 20 ezer év során²³. Az egyes fitolit zónák fitolit összetételét és paleohidrológiai rekonstrukcióban játszott szerepüket a lehatárolt paleohidrológiai fejlődési fázisoknál mutatjuk be.

A különböző geológiai és őslénytani markerek alapján a következő változásokat lehetett a tómederben és környezetében elkülöníteni. A fűrés és a balatonedericsi öblözet fenékszintjét egy 20/21 ezer évvel ezelőtt, a jégkor utolsó hidegmaximumában kifejlődött folyóvízi kavicsos homokréteg alkotja. Ez a folyóvízi réteg az edericsi öblöt is magába foglaló süllyedék, a mai Balaton-meder egyik részmedencéjének kialakulási szintje (**193. ábra**). Ugyanis a vizsgált terület süllyedése nyomán a magasabb térszínről induló patakok nagy mennyiségű mállatlan ásványokat, kőzetmorzsalékot folyóvízi törmeléket szállítottak a kialakuló üledékgyűjtő medencébe, a Balaton megszületőben lévő legősibb részmedencéjébe.



193. ábra Az edericisi részmedencében kialakult barnamoha-láp és lápos tó, valamint a hegyközi és a keszthelyi mélyedésekben kialakult tavak 16 ezer évvel ezelőtt (Forrás: saját ábra) 1 = Keszthelyi öböl, 2 = Nagyvíz (edericsi öböl), 3 = Hegyköz korai fázisa (Forrás: Sümegei et al. 2020)

BFZ-1 (520-488 cm – 20 000 és 18 000 évek között) fejlődött ki az első fitolit zóna. Minimális mennyiségű fitolit található a zónában, ezek között azonban jelen van egy hűvös-nedves klímajelző fitolit forma (Orbicular) is. A zóna a Balaton legidősebb részmedencéjének kialakulásához köthető. Az alacsony fitolitmennyiség jól párhuzamosítható a területen ekkor jelen volt barna mohaláppal. Ezzel a zónával megegyező makrobotanikai zónából (BEM-1) került elő a *Dryas octopetala* maradványa (**194. ábra**), a nyugat-európai területek jégkor végi lehüléseinek egyik vezérkövülete. A zóna az utolsó hidegmaximummal szinkronizálható. A szervetlen anyag mellett hidegtűrő, hidegkedvelő csigák héjai és hidegkedvelő, napjainkban csak tundrán, tajgában élő növényfajok maradványai, köztük magok és növényi opalitok (fitolitok) kerültek elő. Bármilyen meglepőnek és ellentmondásosnak tűnik, az ebből a szintből kiemelt kagylók és csigák héjain végzett oxigén- és szénizotópos elemzések nyomán hideg, jégkori végi, de relatíve szárazabb (kisebb csapadékbevitelű) éghajlati szakasz kifejlődésére következtethetünk. Így a nedvességet kedvelő, illetve a vízi fajok megjelenése a

szelvénynek ezen a szakaszán elsősorban a jelentős lehülés nyomán kialakult páratartalom növekedésnek és nem a csapadékmennyiség emelkedésének köszönhető.



194. ábra Magcsákó (*Dryas octopetala*) magja a balatonedericsi zavartalan magfűrással feltárt 18 ezer évvel ezelőtt kialakult, jégkor végi barnamoha lúp rétegéből (Forrás: Sümegei et al. 2020)

Az izotóp-geokémiai elemzések nyomán a hideg éghajlati szakasz, talán mikroklimatikus hatásra folytatódott 18 ezer évet követően is, de az üledék jellege megváltozott, és a barnamoha-lúp borítás nyomán egy tőzegréteg fejlődött ki. A barnamoha-lúp tőzégéből nagymennyiségű tundralakó lápi mohafaj, valamint magcsákó, apró- és törpenyír, fenyőszövet, mohaspóra, fenyő-, nyír-, törpenyírfa-pollen, növényi opalit és kifejezetten hidegtűrő csiga- és kagylófauna került elő. Ezek a leletek jelentős lehülést, és lokálisan párás, hideg környezetet jeleznek ebben a szintben. A barnamoha-lúp kifejlődését az utolsó jégkori végi hidegmaximum, az észak-atlanti fűrésok elemzése nyomán elnevezett Heinrich-lehülések egyes szintjével párhuzamosítottuk. Viszont önmagában ez a globális szinten különböző területeken (jégtakarók, tavak, lápok rétegsorában) kimutatott, jégkor végi, 16,8 és 14,5 ezer naptári évek között kialakult markáns lehülési szint nem lett volna elegendő a karbonátos és mezotróf szubarktikus környezetre jellemző barnamoha-lúp kifejlődéséhez. Valószínűsíthető, hogy ezzel párhuzamosan lelassult a medence további mélyülése, és egy tál alakú mélyedés, egy hidegzug fejlődött ki a legősibb balatoni mederrészben. Ez a mélyedés ideális felszín volt a barnamoha-fajok megtelepedésének.

A rendkívül jelentős mennyiségű fenyő- és nyírmaradvány (virágporszemek, szövetmaradványok, magvak, szenült faanyag) alapján feltételezhető, hogy a barnamohalápnak legalább egy részét nyírral kevert fenyves boríthatta. Ugyanakkor a tavi káka, a gyékény, a sás, a békaszőlő, a barna palka, a torzsika boglárka jelenléte alapján a lápon belül szezonális tavak is kialakulhattak, elsősorban nyáron, amikor a fagyott felszínek kiengedtek. A lápos tó kialakulását elősegítette, hogy 15 ezer évvel ezelőtt az éghajlat jelentős változáson ment keresztül, az izotóp-geokémiai és a geológiai adatok alapján egyértelműen csapadékosabb klímafázis fejlődött ki a vizsgált területen. Ez a csapadékosabb klímafázis a relatíve hidegebb hőmérsékleti viszonyok (júliusi középhőmérséklet 13–17 °C fok közötti lehetett) mellett a vízszint fokozatos emelkedéséhez vezetett.

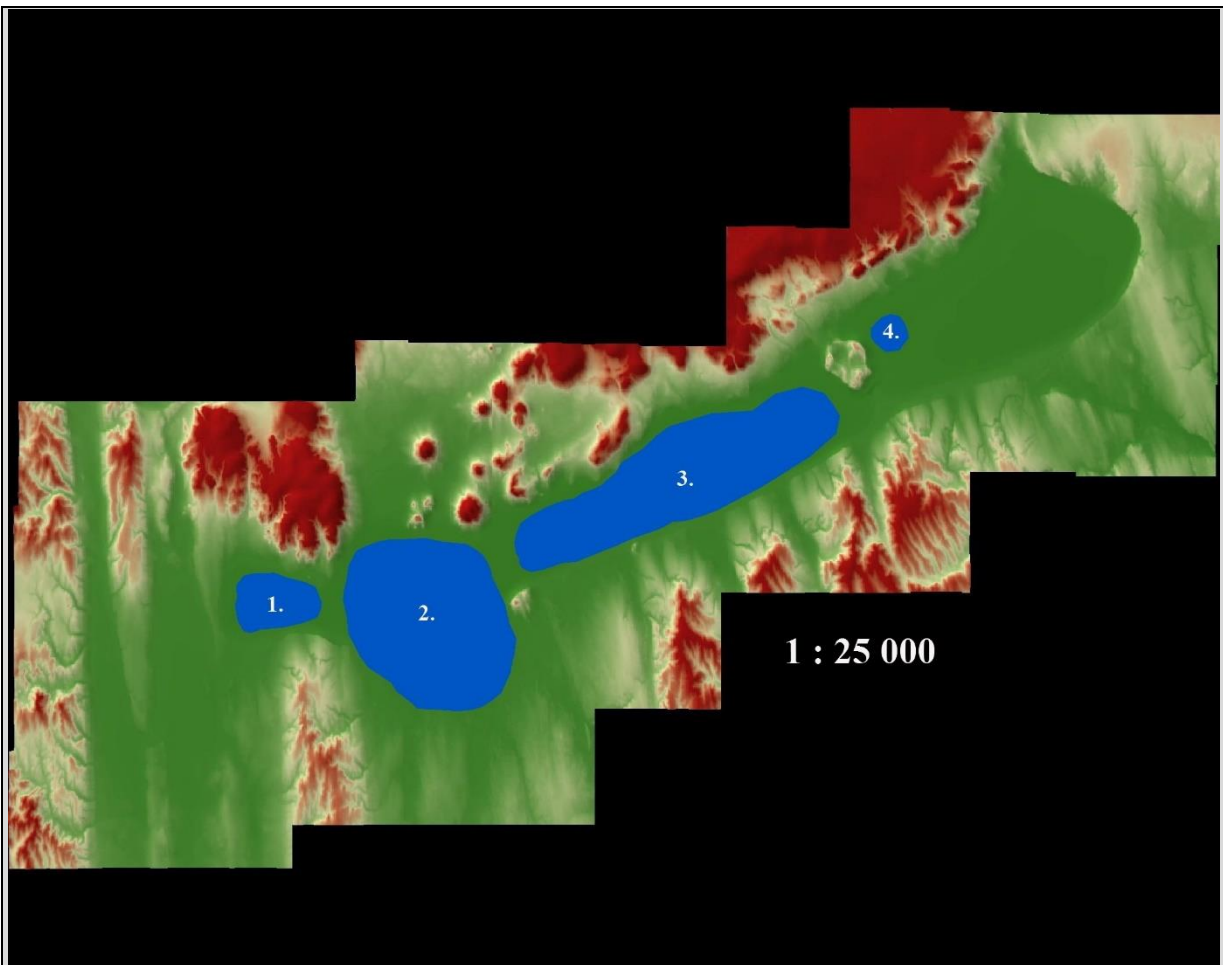


195. ábra Törpenyír (*Betula nana*) magja a balatonedericsi zavartalan magfűrással feltárt jégkor végi barnamoha láp rétegéből (Forrás: Sümegei et al. 2020)

A fitolitok mennyisége alapján ez a paleohidrológiai zóna tekinthető a szelvény második leggazdagabb fitolit zónájának. Hét különböző fitolit típust különíthetünk el, ami alapján ez a szint fitolit szempontból változatosnak tekinthető. A hűvös-nedves indikátorformák mellett a meleg-nedves indikátorforma is jelen van, igaz, nagyon kis mennyiségben. A zóna csaknem

teljesen megegyezik a BEM-2 makrobotanikai zónával. Ez a zóna egy fokozatos felmelegedési időszakot jelöl, ahol gyakori tajgatüzek mellett egy igen változatos vegetáció (pl.: a hidegkedvelő *Betula nana* (törpenyír) magleletek: **195. ábra**) rekonstruálható, a mainál lényegesen alacsonyabb vízborítás mellett. A fokozatos felmelegedést a hidegkedvelő növények jelenléte egy kissé árnyalja, azonban a fitolitok között is jelen van egyszerre két indikátor típus is, de az utóbbiak dominanciája egyértelmű a meleg-nedves klíma indikátorokéval szemben. Az utolsó hidegmaximum utáni paleohidrológiai szinttel párhuzamosítható ez a fitolit horizont. A vízmélység növekedését az erőteljesebb süllyedés is elősegíthette, és ezen éghajlati változások és talán a süllyedés miatt a Balaton legősibb medencerészében egyre nagyobb vízborítás, lápos tavi állapot alakulhatott ki. Az első ilyen vízmélység-maximum a makrobotanikai elemzések alapján 13,6 ezer évvel ezelőtt jött létre, míg az üledékföldtani, geokémiai, malakológiai és pollenadatok ennél kicsit későbbre, 13 ezer évvel ezelőttre teszik a részmedence jelentős kimélyülését. Nagyon sokan úgy gondolhatják, hogy ekkor az egész Balaton medrében jelentős vízborítás alakulhatott ki, de úgy tűnik, hogy a jégkor végén a tó még négy kisebb részmedencéből állt, és közöttük idősebb geológiai rétegekből álló üledékes gátak húzódtak (**196. ábra**).

Ugyanakkor nem könnyű az itt bemutatott fúrásszelvény oldalirányú összefüggéseinek, a Balaton vízborításának térbeli feltárása, mert ez ideig ilyen részletes vizsgálatokat más balatoni szelvényen nem végeztek, illetve a korábbi fúrásoknál hiányoztak a sorozatban végzett kronológiai elemzések. A vízmélységre vonatkozó adatoknál látható, hogy ezek nem a parti vízborítással arányosak, hanem az adott szelvénynél, az adott részmedencénél kimutatható vízmélységet jelzik. Ebben a klímafázisban, kronológiai horizontban jelentek meg az Ordacsehi-, a Lellei-, az Öszödi- (Szóládi-), Zamárdi-Berek területén az első vízzel borítási nyomok, a jégkori végi üledékfelhalmozódás kezdete. A Nagy-Berek, Kis-Balaton (Vörösi-Berek) területén mélyített fúrásokban viszont nem sikerült feltárnunk ezt a kronológiai szintet, és az üledéksorozatok alapján ezeknek a területeknek a jégkor végi felszíne küszöbszerűen kiemelkedett a többi berekhez és öblözethez képest, ezért tavi, vagy mocsári üledékképződés nem indulhatott meg a jégkor végén ezeken a jelentős kiterjedésű öblözetekben²⁴.



196. ábra Az edericsei részmedencében kialakult tó, valamint a hegyközi, keszthelyi és füredi mélyedésekben kialakult tavak 13 ezer évvel ezelőtt, mai népi elnevezésekkel (Forrás: saját ábra) 1 = Keszthelyi öböl, 2 = Nagyvíz (edericsi öböl), 3 = Cső korai fázisa, 4 = Zsák kialakulásának kezdete (Forrás: Sümegi et al. 2020)

Ez a paleohidrologiai zóna szinte teljesen fitolítsteril, ami azzal magyarázható, hogy a tó elérte a pleisztocén végi maximumát, így a terület jelentős elöntés alá került, a vízmélység megnövekedett, és ez a környezeti változás nem kedvezett a fitolittermelő növényeknek. A tó vízszintjének emelkedése, oligotrofizálódása (szervesanyag-terheltség csökkenése), valamint a klímában tapasztalható lehűlés (jégkor végi lehűlési szint kifejlődése) a teljes növényvilágra kihatott, és ez a fitolítok mellett a BEM-3 makrobotanikai zónában is kimutatható. A fitolítok teljes hiánya azt a modellt támasztja alá, hogy ebben az időszakban több méteres vízmélységű tó alakult ki a részmedencében, mivel ha szárazulat lett volna a terület, a fitolítok (jelentős taxon és egyedszámban) jelen lennének. Különösen elgondolkodtató ellentmondás, hogy a korábbi modellek szerint a Balaton keszthelyi medencéje ebben az időben szárazulat, lepusztulási terület volt, párhuzamosan a szigligeti fúrásszelvény alapján rekonstruált magas vízállással. Mindenesetre a fúrásszelvényünk fitolitelemzése alapján a Szigligeti-öböl biztosan nem volt szárazulat a jégkor végén (nemzetközi szinten Dryas-III fázisnak elnevezett szint),

mert a kimondottan a teresztris közeget kedvelő, magas fitolit produkcióval rendelkező növények (pl.: *Poaceae* fajok) egyetlen fitolitja sem került elő.

A jégkor és jelenkor (pleisztocén – holocén határán: 11,6 ezer naptári év – a fúráson belül megközelítőleg 400 cm-nél), illetve a jelenkor kezdetén alakult ki a legjelentősebb vízmélység a balatonedericsi öbölben, és az üledék jellege, a rétegsorból előkerült növényi és állati maradványok összetétele fokozatosan megváltozott. Érdekes, hogy valamennyi geológiai, geokémiai, paleontológiai paraméter fokozatos változást mutatott, és nyoma sincs a sok szerző által drasztikus hidegszintként értékelt legutolsó jégkori lehűlés, az ún. *Dryas-III. fázis* és a kora-holocén felmelegedés közötti ugrásszerű változásnak (**191. ábra**). A jégkor és a jelenkor határán a barnamoha-láp tőzeges anyagának szervesanyag-tartalma fokozatosan csökkent, és előbb szürke, majd fehéresszürke színű tavi üledék, kalcitot, magnezitokalcitot is tartalmazó tavi mészszipa fejlődött ki a jégkor végén képződött barnamoha-láp rétegének felszínén. Ugyanebben a periódusban a badacsonytördemici öblözetben a fekvő mállatlan ásványokból, kőzettörmelékéből, kavicsos és homokos üledékből álló összlet felszínén homokos mészszipa rakódott le. Ugyanílyen folyóvízi homok felhalmozódás, majd tavi mészszipa lerakódás indult meg a Kis-Balaton fenékpusztai részén, valamint a Zala-folyó torkolatától déli irányban lévő kis-balatoni részen, a Vörsi-Berek környékén is. Ekkor kezdődött el a Nagy-Berek öblözetében is az üledékfelhalmozódás, és mindenütt fokozatos átalakulás figyelhető meg a patakok által szállított hordalékanyag és a rátelepülő meszes tavi üledékréteg között.



197. ábra A jégkor végén és a holocén kezdetén lerakódott üledékrétegek egyik jellegzetes csigafaja a ritka kerekcsájú csiga (*Valvata pulchella*) (Forrás: Sümegi et al. 2015)

Ugyanezt a fokozatos átalakulást támasztják alá az izotóp-geokémiai, valamint pollenadatok is. Ez utóbbiak esetében már a jégkor végén jelenlévő melegkedvelő, mérsékeltövi erdőelemek arányának fokozatos növekedése, majd uralomra jutása figyelhető meg, miközben a boreális erdőkre jellemző fenyő- és nyír-dominancia fokozatosan csökkent 12 és 8,5 ezer év között. Ezekkel a változásokkal párhuzamosan igen gazdag kagylósrák- (*Ostracoda*), csiga- és kagylófauna, valamint jelentős mennyiségű csillárkamoszat töredéke került elő ebből az átmeneti és kora-holocén szintből. A csigafaunában, hasonlóan a makrobotanikai anyagokhoz, a mezooligotróf, karbonátban gazdag, legalább 2–3 méteres vízborítást kedvelő vízi fajok domináltak. A csigafaunában a jégkor végén domináns hidegtűrő, mint a ritka kerekcsigájú csiga (**197. ábra**), és a holocén kezdetén elterjedő enyhébb éghajlatot kedvelő elemek ebben az átmeneti és kora-holocén szintben még együtt jelentkeztek. A tó valamennyi részmedencéjére, a déli part berkeire, köztük a Kis-Balatonra is kiterjedő süllyedés intenzívebbé válása nyomán ebben a fejlődési szakaszban alakult ki a Balaton egységes vízfelszíne is, megközelítőleg 11 – 10,5 ezer évek között. Az egységes vízborítás kialakulásában a holocén kezdetén felerősödhetett a süllyedés, de valószínűleg az ekkor kialakult csapadékosabb éghajlati szakasz kifejlődése játszhatta a döntő szerepet²⁵.

A jégkor és jelenkor átmeneti szintjével és a kora-holocénnel párhuzamosítható BFZ-4 fitolitzóna két pollensteril zóna közé ékelődik. A zónán belül további elkülönítést nem láttuk kellően megalapozottnak, azonban kétségtelenül kirajzolódik fitolitok alapján is két, jellegében kissé elkülönülő egység. Az első 392-360 cm-ig terjed, ahol a Bulliform fitolitok (valószínűleg nádasokból származó) példányai jelennek meg. Ez az egység a BEM-4 makrobotanikai zónával esik egybe, egyben kijelölve a pleisztocén/holocén határát. A fitolitzóna másik szakasza 360-320 cm-ig terjed, ahol a meleg-nedves klímaindikátor fitolitok megjelennek, míg a hűvös-nedves klíma indikátorok eltűnnek – azaz a szint a pleisztocén/holocén átmenete mellett a legkorábbi holocén horizontot is tartalmazza. Fontos kiemelni, hogy feltűnik a sztyeppe jellegű Trichom fitolit is, mely talán a BEM-5 makrobotanikai zónában is jelen lévő, a terület rövid ideig tartó kiszáradására utalhat. A feltételezett kora-holocénben bekövetkező erőteljes vízszintcsökkenést megelőző alacsonyabb, majd az azt követő emelkedő vízszint vegetációs átalakulását jelölheti a BFZ-4 fitolitzónában megfigyelhető változás, melynek tengelyében a Trichom fitolit megjelenése áll, ugyanis ezt megelőzően a Bulliform fitolitok vannak jelen a mintákban, majd utána átveszik helyüket a Bilobate és Cuneiform-bulliform fitolitok.

Az egységes, több részmedencét elborító vízfelszín, a mai értelemben vett Balaton megszületését követően, a balatonedericsi öblözet környezete és vízborítása átalakult. Ebben

szerepet játszhatott a megnövekedett hőmérsékleten kialakult intenzívebb párolgás, a holocén kezdetén kialakult jelentősebb növényzeti borítás vízmegkötő szerepe, a vízparti növényzet kiterjedése, a háttér emelkedése és a medencerészek süllyedése következtében fokozatosan felerősödő erózió, valamint pont az a tényező, hogy a részmedencék közötti gátak elmosódtak és a víz valamennyi részmedencét elborította. Ezen változások nyomán a vízparti növényzet elborította a szelvény környékét, ugyanis nád- és gyékény-maradványokat tartalmazó tőzeg alakult ki, de a tőzegszinteket kisebb-nagyobb vastagságú mészsizapos sávok tagolják.

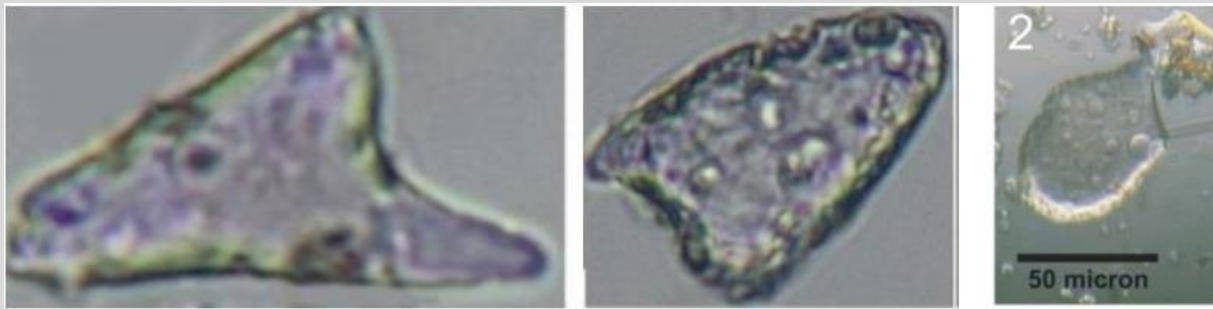
Így alakult ki a jégkor végi és jelenkor kezdeti erőteljes éghajlati változások és a jelenkor kezdetének intenzívebb mozgásait követően a balatonedericsi öblőzetben a holocén vízmérce állapot: az alacsonyabb vízállások során tőzeg, a magasabbak során tavi mészsizap halmozódott fel 1–4 cm-es sávokat alkotva. A radiokarbon vizsgálatok szerint a csapadékosabb és szárazabb éghajlati ciklusok hossza 130 és 420 év közöttiek voltak, de az ebből a horizontból kiemelt, alig 30 évet átfogó részminták elemzése alapján egy finomabb, évtizedes ciklus is kirajzolódott az évszázadokat átfogó vízszintingadozások mellett. Az izotóp-geokémiai adatok alapján a jégkor végi szárazabb, majd a jégkor/jelenkor határán és a holocén első fázisában kialakult csapadékosabb éghajlati fázist 10 és 8,5 ezer évek közötti szárazabb szakasz váltotta fel, de ezt az 1500 éves szárazabb éghajlati periódust több 130 éves és 30-60 éves csapadékosabb klímacyklus szakította meg.



198. ábra Egy kékesszürke üledékes szint rétegződött a fehér színű, csillárkamoszat maradványokban gazdag tavi mészsizap réteg közé, kis-balatoni, fenékpusztai öblözet I. számú zavartalan magfúrásában (Forrás: (Forrás: Sümegi et al. 2020)

A jelenkor (holocén) kezdetén, 10-8,5 ezer évek közötti szárazabb éghajlati szakaszokban a vízparti, sekély, felmelegedő, szerves anyagban gazdag vizeket kedvelő növény- és állatfajok, mint a gyékény, a nád, a gyűrűs süllőhínár, a lapulevelű madárkeserűfű, és a kétéltű, valamint a borostyánkő csigák domináltak. Ezeknek a bioindikátor elemeknek az előretörése mellett megemelkedett ezen szinteknek a növényi opalit (fitolit) tartalma. Ugyanakkor a szárazabb szakaszokat megszakító csapadékosabb éghajlati fázisban a tőzegrétegeket tavi mészsizapszintek szakították meg. A mészsizapos szintekben a fitolitok, a vízparti környezetben élő növények és csigák mennyisége erőteljesen lecsökkent, ezzel párhuzamosan a mélyebb tavi környezetet jelző elemek, mint a csillárkamoszat, a fehér tündérrózsa és más hínármaradványok aránya megemelkedett. A pollenváltozások alapján a tavat ekkor már tölgyes erdők övezték. Ugyanez a mészsizapban gazdag tavi üledék halmozódott fel a déli part berekrendszerében és a Kis-Balaton területén is. Ugyanakkor a Kis-Balaton területén ebben a periódusban egy kékesszürke üledékes szint rétegződött a fehér színű, csillárkamoszat-maradványokban gazdag tavi mészsizap rétegek közé (198. ábra). A szint kialakulása egyidős franciaországi középhegységi vulkáni működéssel, ezért felmerült, hogy

távoli vulkáni hamu (tufit, vagy más néven tefra) beszállítódás nyomán fejlődött ki ez a rendkívül szokatlan színű üledékes szint a tavi rétegsorban, de az eddigi geológiai vizsgálatokkal ezt még nem sikerült igazolni. Viszont ebben a szintben a parti zónából bemosódott, vagy a vízszint erőteljes csökkenése nyomán jelentkező vízparti növények dominanciája mutatható ki. A fúrásszelvényben 8500 és 7800 évek közötti időszaknak megfelelő időhorizontban sötétszürke tavi réteg húzódott.

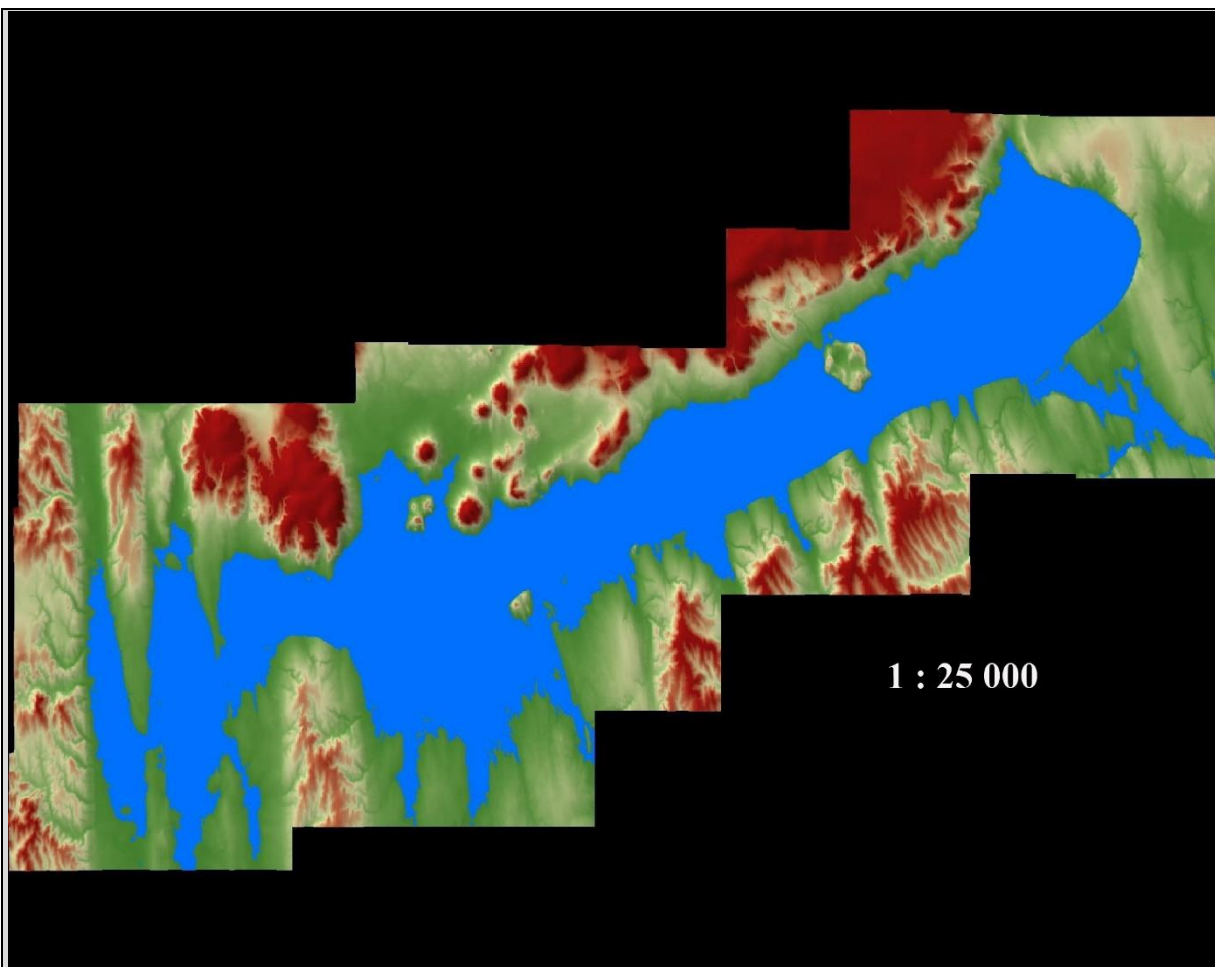


199. ábra Cuneiform bulliform fitolit (2 jelzéssel) és Trichiform (jelzés nélkül) fitolitok (Forrás: Sümegi et al. 2020)

Ebből a szintből tüskeshínár, csillárkamoszat, tavi tündérrózsa, tavi káka, békaszőlőfélék és fillércsiga maradványainak tömege került elő. Ezek a bioindikátorok egy szerves anyagban gazdag, de jelentősebb vízmélységű tavi fázis kialakulását jelzik a fúrás környezetében. Ennek nyomán ebben az időszakban egy csapadékosabb éghajlati fázis kialakulását követően erőteljes vízszintnövekedést rekonstruálhattunk, amelyet az izotóp-geokémiai elemzések is alátámasztottak. Ehhez a vízszintnövekedéshez kapcsolódik a BFZ-5 fitolitsteril zóna is. Ezen csapadékosabb és a tavi környezet kiterjedésével jellemezhető fázist egy hosszabb, relatíve szárazabb éghajlati fázis követte 7800 és 3500 évek között. Ennek nyomán az edericsei öblözetben döntően nádból álló tőzegréteg fejlődött ki, de ezt a tőzegréteget több szinten is laminált, szürkés színű tavi üledék szakította meg, jelezve a rövidebb néhány száz évet, vagy csak néhány évtizedet átfogó csapadékosabb éghajlati fázisban megemelkedő vízszintet és kiterjedő tavi környezetet. A tőzegrétegben a domináns nádmaradványok mellett elsősorban a nádasokhoz kötődő növények (**199. ábra**), mint a sédkender és a közönséges rence maradványai kerültek elő. A szerves anyagban gazdag, lápi-mocsári környezetet jelzi a lapos kerekcsájú csiga és a borsókagylók héjainak tömeges megjelenése is. A pollenvizsgálatok alapján a tó környezetében ebben a fázisban már megtelepedtek a termelő kultúrák, és hullámszerű, de egyre erőteljesebb hatással voltak a tavi rendszer környezetére, a parti zóna feltöltődésére. A fapollenek arányának csökkenése, a gabona- és gyompollenek egyre erőteljesebb megjelenése alapján a termelő gazdálkodást folytató közösségek megtelepedése és fejlődése az erdőterületek csökkenésével, a növénytermesztési és állattenyésztési övezetek,

utak, települések és ezzel együtt az erózió és a talajbemosódás ciklikus növekedésével jártak. A fitolit abundancia és annak változásai alapján a zóna a BFZ-4 zónával mutat hasonlóságot, azonban a fitolitformák változatossága alapján a tavi állapot változása is hasonló. A zóna alsó szakaszában (296 – 260 cm) az Elongate fitolitok a meghatározóak, de több minta sterilnek is tekinthető. Ez a szakasz a vízszint megemelkedésének a nyoma, mely a makrobotanikai BEM-7 zónában is jelentkezik, majd ezt követően, a vízszint csökkenésével párhuzamosan a nádasok válnak uralkodóvá. Ez a változás a BFZ-6 fitolitzónában egy jelentős fitolitformai változatosságban jelentkezik. Ez a zóna tartalmazza a legtöbb típusú fitolitot, melyek közül kiemelendő a hűvös-nedves klíma indikátorok jelentősége, igaz, a meleg-nedves klíma indikátor formák is végig jelen vannak. Ez utóbbiak közül a Cunieform bulliform fitolitokat kell kiemelni, ugyanis ezek a formák nagy valószínűséggel a nádtól (*Phragmites australis*) származnak, és ez jó egyezést mutat a makrobotanikai elemzés által leírt jelentős nád-rizóma koncentrációval. A Trichom fitolitok jelenléte itt a legmarkánsabb a szelvényben, ami szintén a csökkenő vízszintre utal.

Adataink azt bizonyítják, hogy a neolitikum kezdetétől a bronzkor kezdetéig, bár néhány csapadékosabb, és talán hűvösebb éghajlati fázis is kialakult, de ez a 4000–5000 éves időtartam viszonylag kiegyenlített, mezőgazdasági termelés számára kifejezetten kedvező éghajlati feltételekkel jellemezhető. Ekkor a Balaton vízszintje, a mai szabályozott szintnél mindenképpen magasabban, 106 méter tengerszint feletti magasság körül stabilizálódott. Ugyanakkor a rövidebb idejű, néhány évtizedet, maximum 130–260 évet átfogó csapadékosabb éghajlati szakaszokban 1–2 méteres vízszintnövekedések is kialakulhattak, és ezek a magasabb vízállással jellemezhető csapadékos klímaszakaszok igen nehéz helyzetbe hozhatták a közvetlenül az őskori Balaton partján lakó termelő közösségeket. Valószínűsíthető, hogy a Balaton déli partján, az autópálya építkezéseket megelőző, nagyfelületű régészeti ásatásokon megfigyelt vízelvező árkok, a településeknél megfigyelhető magasabb szintre költözések ezekkel az éghajlati változásokkal mutatnak összefüggést. Ebben a periódusban tőzegesedett el szinte valamennyi öblözet a Balaton körül, a Tapolcai-medence (öböl) déli részétől, a Kis-Balatonon, Nagy-Bereken át a déli parti valamennyi berekéig.



200. ábra A Balaton legjelentősebb kiterjedése a bronzkor végén, a vaskor kezdetén (Forrás: Sümegei et al. 2020)

Ez a középső-holocénre jellemző, relatíve kiegyenlített kép mintegy 3800-4200 évvel ezelőtt megszakadt, és barnásszürke színű, meszes tavi üledékréteg fejlődött ki a balatonedericsi fúrászelvényben. Ebből a rétegből a nyíltvízi életformák, elsősorban kagylósrákok, lemez- és fillércsigák héjai, valamint jelentős számú csillárkamoszat meszes töredékei kerültek elő, és a nád maradványai teljes mértékben kiszorultak az üledékből. Ez utóbbi azért is érdekes, mert a nád két méternél mélyebb vízben már nem képez állományokat. Valamennyi indikátorelem, környezeti paraméter a vízszint erőteljes, legalább két méteres emelkedését, és az éghajlat hűvösebbé válását jelzi. A radiokarbon adatok alapján ez az igen erőteljes vízszintemelkedés 4000 és 2900 évek között játszódott le. Úgy tűnik, hogy ekkor fejlődött ki a Balaton egységes vízfelületének kialakulásának kezdetétől, 11 ezer évtől számítva az egyik legjelentősebb vízszintemelkedés. Feltételezhető, hogy ekkor alakult ki a Balaton legjelentősebb vízfelülete is (200. ábra). Ezek az adatok jó egyezést mutatnak az általunk a Balaton déli partján, egy régészeti ásatáson megfigyelt, bronzkor végére és a vaskor kezdetére tehető árokrendszert 109 méteres tengerszint feletti magasságig kitöltő tavi üledék kifejlődésével. Ez lehetett a Balaton

rendszerének természetes úton kialakult legjelentősebb kiterjedése, amikor a vízszint elérhette a 110 méter tengerszint feletti magasságot is. A zóna teljesen fitolitsteril, ami a jelentősen megemelkedett vízállással magyarázható, amit a BEM-10 makrobotanikai zónával párhuzamosíthatunk.

E rendkívül csapadékos és hűvösebb éghajlati szakaszt egy relatíve szárazabb éghajlati szakasz követte 2500 és 1800 között, és ennek nyomán ismét a nádasok és a nádasokhoz kapcsolódó élővilág terjedt el, és a nádtőzeg képződése vált dominánssá a balatonedericsi öblözetben. Ennek a tőzegrétegnek a felszínközeli része a Balaton szabályozása nyomán talajosodott. Így a császárkornál fiatalabb szinteket bár megvizsgáltuk, de a vízszintváltozásokra vonatkozóan már nem értelmeztük.

A zóna fitolittartalma alacsony, azonban közepesen változatosnak tekinthető. Jelen vannak a Bulliform és a hűvös-nedves klíma indikátorformák, valamint az epidermális fitolitvázak. A makrobotanikai vizsgálatok alapján magas vízállás, és visszaszoruló növényi borítottság a jellemző a Szigligeti-öbölre. Ennek ellentmond a BFZ-9 fitolitzóna, melynek magyarázata nem tisztázott. A zóna két, fitolitokra nézve steril zóna (BFZ-9, BFZ-10) közé ékelődik, és 20 cm-rel helyezkedik el a talajosodott, így vizsgálat (fitolit, makrobotanika) alá nem vonható zóna alatt. Mivel azonban a talajosodás miatt a fitolitok mennyisége megnő, elképzelhető, hogy valamilyen pontosan nem tisztázott, lokális jellegű esemény hatására (hullámverési tevékenység lazító hatása), a talajosodás korai időszakában a BFZ-9 zóna fitolitjai felsőbb rétegekből mosódtak/halmozódtak át²⁶.

Ugyanakkor a Kis-Balaton, a Nagy-Berek, az Ordacsehi-, a Lellei-, az Öszödi- (Szóládi-), Zamárdi-Berek területén erőteljes üledékképződés zajlott, amely nyomán a történelmi időkben, az utolsó 2000 évben kialakult emberi hatásokat és ezekhez kapcsolódó balatoni öblökben lejátszódott üledéklerakódás-változásokat rekonstruálhattuk. A legjelentősebb és a megtelepedett emberi közösségekkel jól szinkronizálható változásokat a fenékpusztai öblözetben, még a kora népvándorlás korában is fontos regionális szerepet betöltő Valcum erődítmény közvetlen közelében kialakított fúrásban tártuk fel. Az utolsó 2000 évet átfogó eredmények és más területen végzett éghajlattörténeti eredmények összehasonlító értelmezése nyomán olyan a Balaton környékén megtelepedett népek éghajlattörténetének, a természetett növények, a vízszintváltozások közötti kapcsolatot sikerült feltárni, amely elvezetett a római birodalom mediterrán éghajlaton kívüli, szubmediterrán területeken kialakított gazdasági formációjának megfogalmazásához. A fenékpusztai szelvényben a vaskor végén, a császárkorban a nyílt területet kedvelő növények, gyomok (fűfélék, ürömfélék) aránya jelentősebbé válik, és kiemelkedő jelentőségű, kertkultúrában terjedő növények (dió, szőlő),

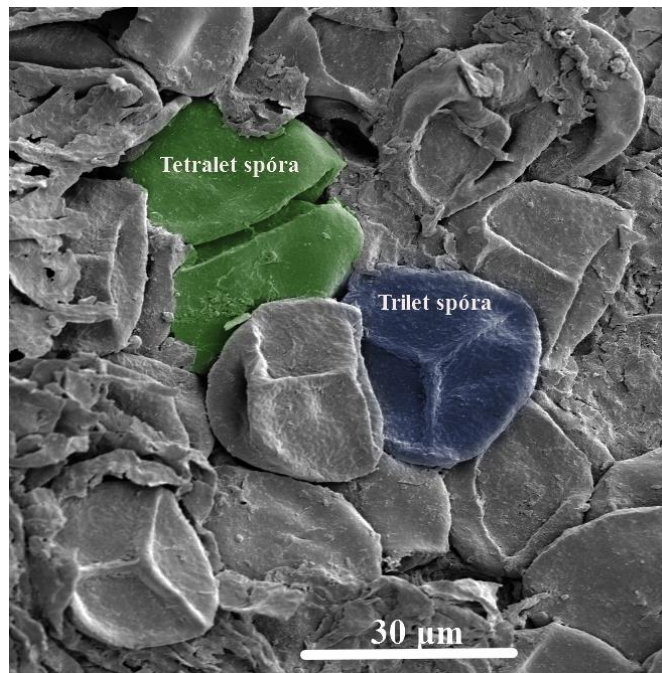
valamint a szántóföldi növénytermesztést jelző gabonafélék (*Cerealia*), köztük a búza pollen aránya kiemelkedő jelentőségű lesz. Ezekkel a változásokkal párhuzamosan az égést/égetést jelző pernye mennyisége is egy maximumot mutat, valamint a nád pollenek eltűntek a szelvényből. Ennek nyomán rendkívül erőteljes emberi hatás kialakulásával számolhatunk a vizsgált területen, folyamatosan megtelepedett, jelentős lélekszámú és jól szervezett gazdasági közösség jelenlétével kell számolnunk. Így arra következtethetünk, hogy nádat folyamatosan leégették a területen. Feltételezhető, hogy a nádas égetését azért hajtották végre a vízparti régióban, hogy a legeltetést és taposást visszatükröző gyomvegetáció nyomán feltételezhetően jelentős számú állatállománynak megfelelő itatósávot alakítsanak ki.

A késő-vaskor végén, császárkorban dominánssá vált búza – szőlő – dió termesztési triád egészen a Krisztus után VII. század végéig fennmaradt a radiokarbon vizsgálatok alapján. Ennek nyomán arra következtettünk, hogy a vaskor végén, a császárkor kezdetén kialakult a gabonára, a diótermesztésre, a szőlőművelésre alapozott szubmediterrán jellegű gazdálkodási forma, és az ezt a gazdálkodási típust fenntartó, megfelelő termelési tapasztalatokkal rendelkező közösségek, emberi csoportok a vaskor végétől egészen a népvándorláskor első feléig, a VII. század második feléig fennmaradtak a vizsgált területen. Ez a késő vaskorban már kifejlődött, de a császárkorban uralkodóvá vált gazdálkodási forma a mediterrán területeken kialakított ókori búza gabonára, szőlő gyümölcsre és borra, valamint olívbogyóra, mint étkezési és sütőolajra alapozott mediterrán triád szubmediterrán területekre (Ciszalpin, Pannonia, Gallia területére) módosult változata. Ugyanis ez utóbbi régiókban az olíva helyett diótermesztés adja az étkezési és sütőolajat²⁷. Összefoglalva az öskörnyezeti vizsgálatok eredményeit elmondhatjuk, hogy az eddigi legteljesebb, a Balaton szinte teljes múltját feltáró fúrásszelvényt sikerült kialakítanunk a balatonedericsi öblözetben. Ehhez az elmúlt 20 ezer év éghajlati és környezeti változásait megőrző szelvény elemzéséhez tudtuk összehasonlító elemzésként a Kis-Balatonnak és a déli parti berkeknek fúrásszelvényeiben kimutatott eredményeket összekapcsolni. A nemzetközi vizsgálatokkal történő összehasonlítása azt mutatta, hogy a Balaton átmeneti helyzetben volt a Balkán-félsziget és az Észak- és Nyugat-Európából leírt vízszintváltozások között. Ugyanis a jégkor végén még a Balkán - félsziget tavaira jellemző vízszintváltozásokat mutatta, vagyis a lehülések során magasabb, az interstadiálisok során alacsonyabb vízszintek alakultak ki, az észak- és nyugat-európai tavakra jellemző jégkori alacsony vízszinttel szemben²⁸. A jégkor végén az edericsi részmedence és a többi mélyedésben kialakult tavacsák egységes vízborítás alá kerültek, és kialakult a természetes Balaton egységes vízfelülete. Innentől kezdve lehetséges a tó vízszintváltozásainak szélesebb nemzetközi eredményekkel történő

összevetése is (191. ábra). A trendek nyomán látható, hogy a tó vízszintjének alakulása a kora-holocéntól kezdődően megközelítőleg jól, bár késleltetve követi a nyugat-európai, az észak-atlanti és az alpi térségben kimutatott éghajlati változásokat (191. ábra). Ugyanakkor a Balaton természetes hidrológiai rendszerének átalakulásai nem automatikusan követik ezeket a változásokat. Ugyanis a Balaton vízgyűjtő területén az atlantikus éghajlati hatás mellett jelentős szubmediterrán és kontinentális hatások is jelentkeztek, és ezen éghajlati effektusok nyomán rendkívül kiszámíthatatlan mintázatú csapadékeloszlás és vízszintváltozás alakult ki. Ezt bizonyították az izotóp-geokémiai vizsgálatok is, ugyanis ezek alapján kilenc csapadékosabb és hét szárazabb időszakot lehetett elkülöníteni az elmúlt 20 ezer év során. Így a Balaton jelenlegi és jövőbeli életében is a folyamatos, szeszélyes éghajlati és vízbeviteli változásokra, azaz mind a víz tárolására, mind a vízszint aktív szabályozására kell felkészülnünk, ha azt akarjuk, hogy ezt a 20 ezer éve fejlődésnek indult csodálatos tavat még az unokáink, majd azok unokái is láthassák. A balatoni öblözetek elemzése alapján igen pontosan sikerült a vízszintváltozásokat, a vízborítási szakaszokat, a Balaton környezetében uralkodó növényzetet és a növényzetre gyakorolt emberi hatásokat elkülöníteni és az összehasonlító elemzések nyomán az emberi közösségek és a balatoni táj változó viszonyát megrajzolni.

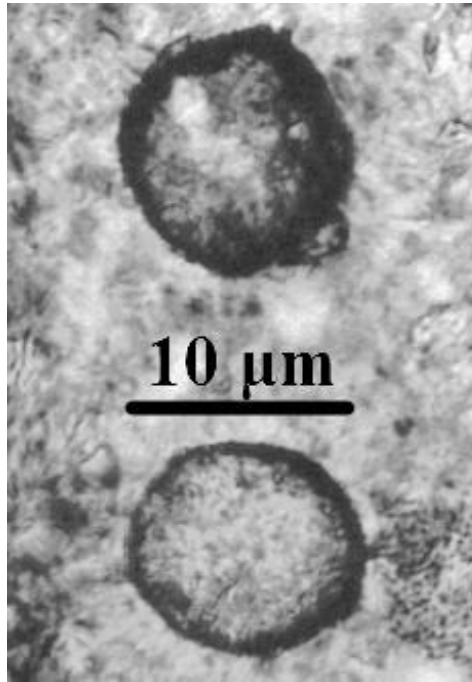
4.6.5. Pollen- és spóraelemzés

Az egykori lápi, tavi, mocsári, fluviális – alluviális, vagy tengerparti rendszerek, azaz paleohidrológiai szisztémák növényzeti történetének megrajzolásához felhasználható rekonstrukciós módszer a pollen- és spóraelemzés is, mely segítségével képet kaphatunk a vízparti–vízi környezet vegetációs viszonyairól. A bioaeroszolokhoz tartozó spórák, a virágtalan szárazföldi növények szaporító szervei az első szárazföldi növényekkel együtt fejlődtek ki. Redukciós, számfelezős osztódással (meiózissal) jönnek létre és ennek nyomán egyszeres kromoszóma szerelvényt tartalmaznak, tehát haploidok.



201. ábra Az első szárazföldi növényekhez köthető tetralet és trilet spórák 440 millió éves szilur időszaki üledékes rétegekből (Forrás: wikipedia)

Valószínűsíthető, hogy az első májmohaszerű szárazföldi növények, és a hozzájuk kapcsolható spóra-tetrádok (**201. ábra**) a paleozoikum elején, az ordovicium középső szakaszától a szilur kezdetéig tartó 476-432 millió évek közötti időszakában jelentek meg. A pollenek pedig a mikrosporangiumokból (mikrospórákból) fejlődtek ki és a virágos növények megjelenéséhez kötődnek. A devon időszak végén, mintegy 400 millió évvel ezelőtt jelentek meg a pollenek, ma felfogásunk szerint a kialakuló magvas páfrányokhoz (*Elkinsia polymorpha*) kapcsolódva (**202. ábra**). Így spóra vizsgálatok 476 millió éves rétegek lerakódásától, a pollen elemzések 400 millió éves rétegek lerakódásától kezdve lehetségesek, és ennek nyomán lehet paleohidrológiai szempontból is felhasználni ezeket az ősmaradványokat. A pollen és spóravizsgálatokat *Törőcsik Tünde* PhD hallgató munkája nyomán ismertetjük²⁹.

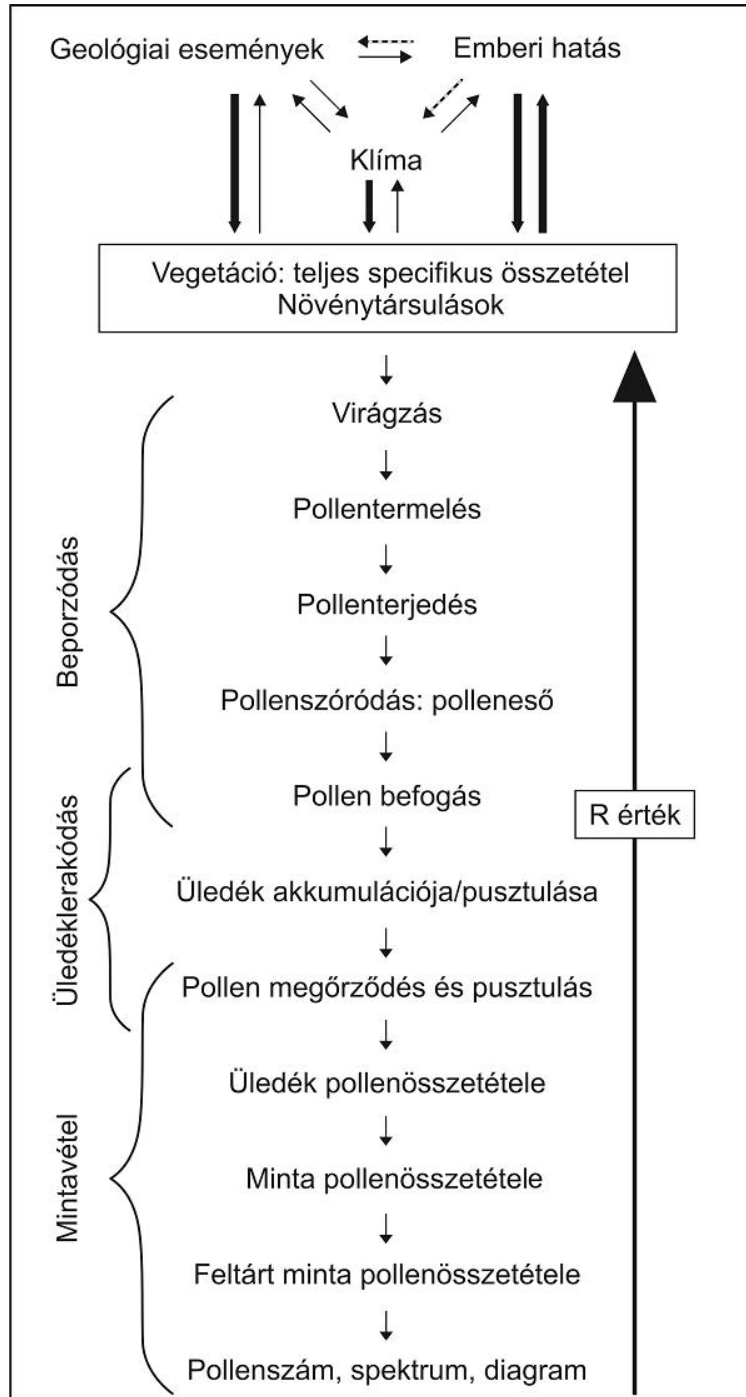


202. ábra Az első szárazföldi növényekhez, a magvas páfrányokhoz (*Elkinsia polymorpha*) kapcsolódó 400 millió éves pollenek (Forrás: researchgate: Serbet, R., Rothwell, G. W. 1992. Characterizing the most primitive seed ferns. I. A reconstruction of *Elkinsia polymorpha*. *International Journal of Plant Sciences*, 153, 602-621 – corresponding author írásos hozzájárulásával bemutatva)

Maga a széllel, vízzel, állatokkal terjedő pollenek és spórák vizsgálata egy olyan jól fosszilizálódó maradványokra épülő, összetett, dinamikusan fejlődő módszer, melynek lehatárolásáról, tudományterületenként eltérő felhasználási módjáról számtalan szakirodalom született a kialakulásának kezdete óta. A fosszilis pollen/spóra maradványokat sporomorfának is nevezik, és gyakran úgy különítik el a recens pollenek elemzésétől, hogy sporomorfológiáról beszélnek. A *pollen* (latin eredetű szó, magyarul: virágpór) és *spora* (görög eredetű szó, magyarul: spóra) vizsgálatának fontossága abban rejlik, hogy a mikrofossziliák közül ezek találhatóak meg a legnagyobb mennyiségben a paleozoikum második felétől felhalmozódott üledékekben (**203. ábra**).

A palinológia (pollenanalízis) számos egyéb alkalmazása ismert napjainkban, akár a recens (például allergiát okozó pollenek megjelenése – virágzási ideje, stb.), akár a geológiai minták pollenjeiről beszélünk. Felhasználható növényrendszertani, valamint genetikai és evolúciós tanulmányok esetén,

paleohidrológiai rendszerek, mindenekelőtt tengerpartok, alluviális síkok, folyóvízi képződmények, tavak, lápok, mocsarak jellemzésére; méz vizsgálatánál, törvényszéki nyomozások, továbbá klímaváltozás, illetve történelmi és prehisztorikus népek archeobotanikai vizsgálatánál is.



203. ábra Pollenfeldolgozás menete (Forrás: Faegri, Iversen, 1989 nyomán magyarra fordítva, átrajzolva és módosítva)

A pollenelemzés során elengedhetetlen, hogy a vizsgálatok kezdetén feltérképezzük, hogy a pollenek honnan, mekkora távolságról szállíthatóak a megőrződési pontra. A pollenterjedési modellek alapján három komponens segítségével mutathatjuk be a pollenek forrását fás környezetben található tavi vagy lápi, tengeri, vagy fluviális–alluviális paleohidrológiai környezetben és további két komponens adta meg a lelőhely átmérője és a különböző komponensek közötti kapcsolat nyomán (203., 204., 205., 206. ábra)³⁰.

1. Fatörzsek közötti komponens (Ct). Pollenek, melyek a lombkorona szintről hullnak a területre, vagy bokrok, lágyszárú növények pollenjei, melyeket a fák lombkorona szintjén megjelenő légmozgás szállít oda.

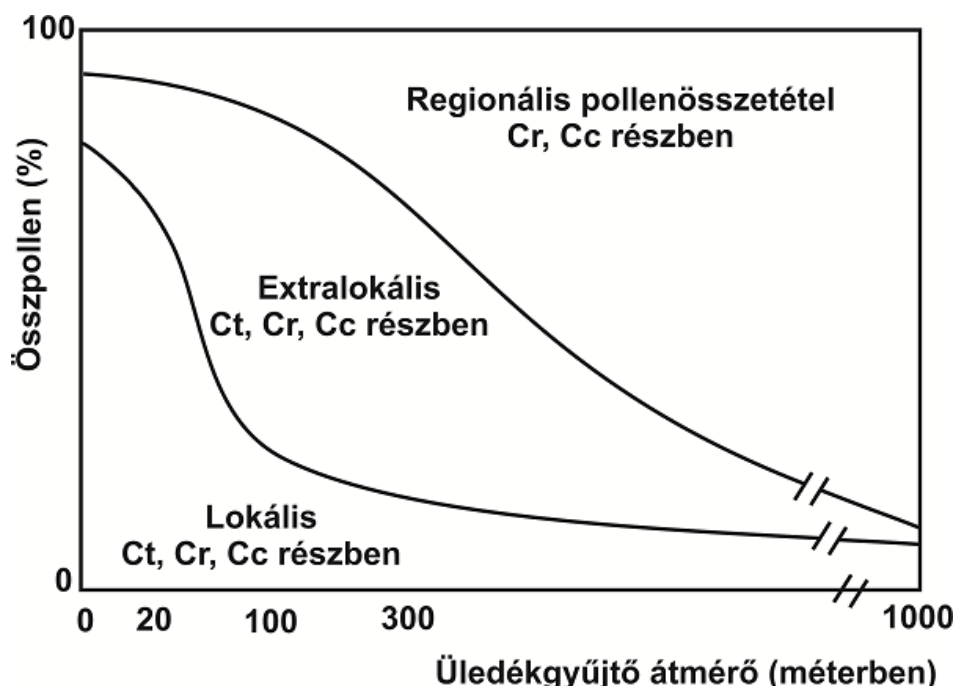
2. Lombkorona komponens (Cc). Lombkorona szintjében termelődő pollenek, melyeket a légáramlatok szállítanak tovább, vagy a felszín felé hagyják el ezt a szintet.

3. Eső komponens (Cr). Az esőcseppek kialakulásánál a porszemek mellett a pollen szemcsék is szerepet játszhatnak. A földre hullás közben egyre több porszemet és pollent gyűjtenek maguk köré. Az atmoszférában jelen lévő pollenek nagy része így távozik a földfelszín irányába.

4. Lokális vagy gravitációs komponens (Cl). Tavi környezet esetén a vízi növények pollenjei, vagy vizenyős területen élő növényzet pollenje egy lápi mintában jelentős mennyiségben van jelen, ezek adják a lokális komponenseket, továbbá a fás környezet előfordulása is valószínű a tavi vagy lápi területek közvetlen környezetében, mely növények pollenjei szintén lokális komponensként jelennek meg a mintában. Lokális komponensnek, gravitációs komponensnek nevezhetjük el ezeket a típusú komponenseket a paleohidrológiai célú palinológiában.

5. Másodlagos vagy bemosódó komponens (Cw). Akkor beszélhetünk ilyen komponensről, ha a közeli vízgyűjtő területekről vizes szállító közeg segítségével pollen szállítható. Ha a vizsgált területen ilyen jellegű komponensek találhatóak, akkor az eredményeket regionális szinten kell

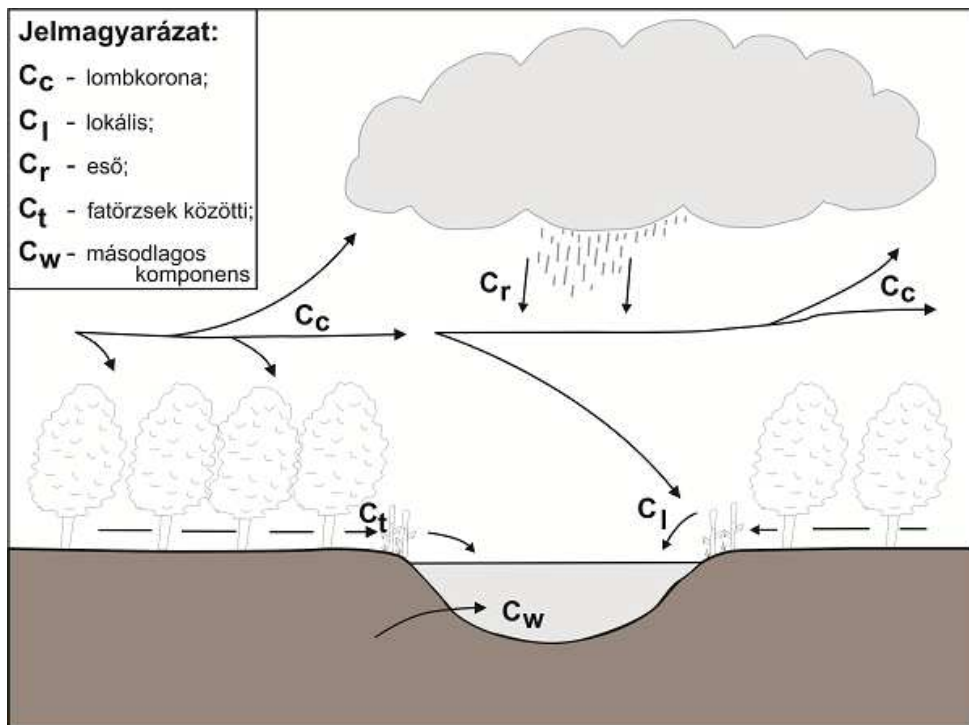
értelmezni. Problémát okozhat, ha a másodlagos vagy bemosódó komponensek eróziós hatására érkeznek a területre, mert ekkor az eltérő korú minták keveredésének következtében nem lehet megadni az adott korra jellemző pontos növényösszetételt. Ilyen tényezők gyakorta alakulnak ki a paleohidrológiai objektumok esetében, ahol az idősebb korban lerakódott, általában a paleohidrológiai rendszer (üledékgyűjtő medence: tenger, tó, láp, mocsár, morotvató, feltöltődött övzátony csatorna) parti üledékéből idősebb, fosszilis sporomorfa anyagok mosódnak a fiatalabb paleohidrológiai rendszer üledékeibe.



204. ábra A lelőhely átmérője és a különböző komponensek közötti kapcsolat (Forrás: Jacobson, Bradshaw, 1981 nyomán magyarra fordítva, átrajzolva és módosítva)

Ez különösen azokon a helyeken feltűnő, ahol jelentős időbeli különbség alakul ki a paleohidrológiai rendszer aljzatát jelentő üledék és a paleohidrológiai rendszerben felhalmozódott üledékek között (például paleozoikumi, vagy mezozoikumi tengeri mészkőből bemosódott ősi sporomorfa anyag a kainozóos tengeri, tavi vagy alluviális üledékbe). Mivel a sporomorfa anyag megtartása, sőt a nagy korkülönbség miatt akár evolúciós szempontból is különböző lehet, ezért elkülöníthetők egymástól. Viszont, ha az időbeli különbségek nem túl

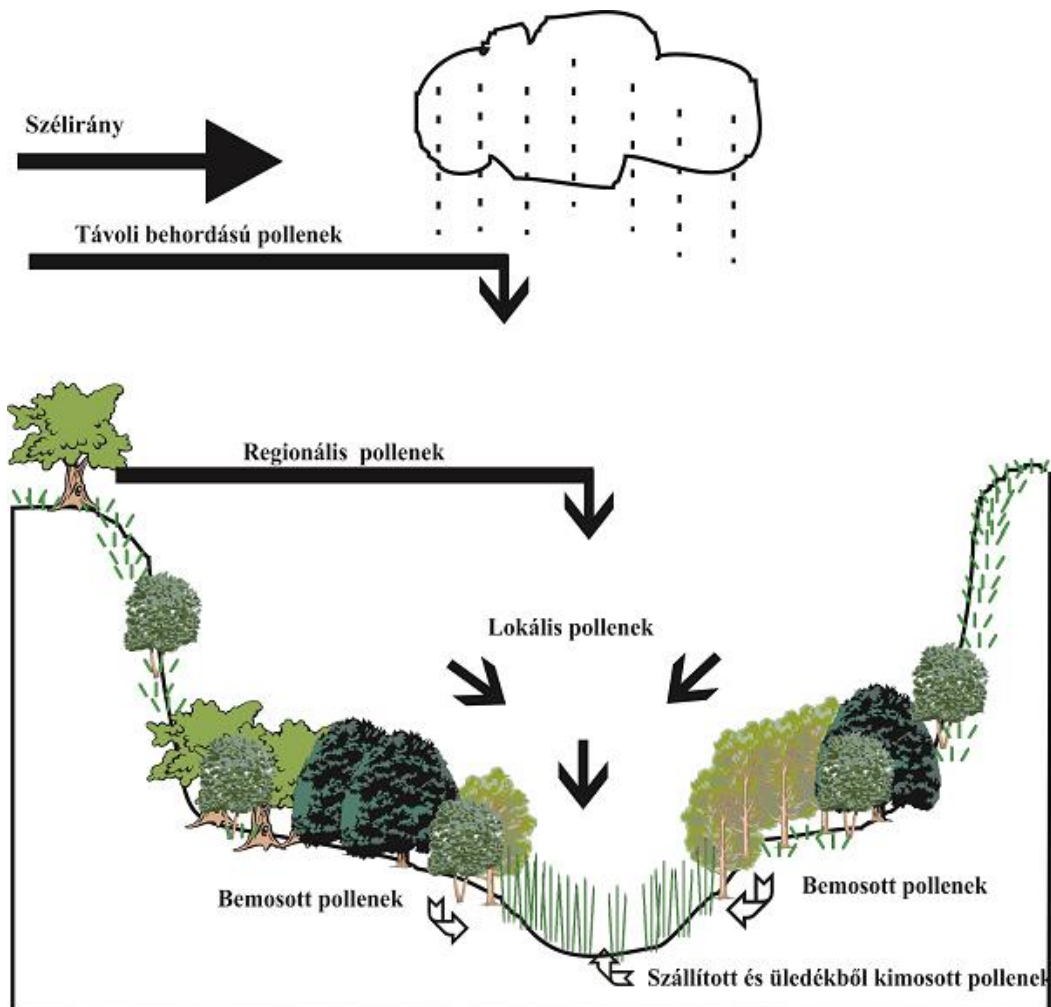
jelentősek, akkor a kétféle pollenanyag összekeveredhet és sírközösséget alkothat.



205. ábra Pollen terjedési modell (Tauber, 1965 nyomán magyarra fordítva, átrajzolva és módosítva)

A pollenfeldolgozásnak kötött menete van, a mintavételtől a feltáráson át az értékelésig (203. ábra). A kémiai feltárás csak bizonyos feltételek megléte mellett lehetséges. A terepi mintavétel során fokozott figyelemre van szükség az esetleges szennyeződés elkerülése érdekében, mely figyelemre a laboratóriumi munka során is szüksége van a megbízható eredmények érdekében. Ehhez szükséges néhány laboratóriumi eszköz, valamint be kell tartani az előírt utasításokat. Az egyik legfontosabb ilyen követelmény, hogy a laboratórium levegőszűrő berendezéssel legyen ellátva. Ha nincs lehetőségünk ilyen laboratórium használatára, akkor a mintába utólag bekerülő pollenek kiszűrésére jó módszer lehet egy glicerinnel ellátott üveglap elhelyezése a feltárási területen. Az extrakció végeztével az így csapdázott pollenek elemzésével kiszűrhető, hogy milyen mértékű a levegőből a mintánkba kerülő pollenek aránya, valamint beazonosíthatjuk, hogy mely növények pollenjei ezek. Ha a kémiai feltárást

követően kerül a pollenszemcse a mintába, annak felismerését könnyíti az, hogy a citoplazmája megőrződhet, felismerhetővé téve így az utólagos mintába kerülést. Ha a feltárás előtt érkezik a szennyeződés, ez a kiszűrési mód nem alkalmas következtetések levonására, hiszen akkor már nem tudjuk megkülönböztetni őket a fosszilis pollenektől.



206. ábra Pollen származási modell felső szakasz jellegű fluviális – alluviális rendszerben (Forrás: Sümegi et al. 2016)

Van néhány könnyen követhető, fontos szabály, melyeket a kémiai extrakció folyamán mindenképp be kell tartani. Az ablakoknak mindig zárva kell lennie, kizárva ezzel a levegőben keringő pollenek magas koncentrációját a labor területéről. Szobanövény, növénygyűjtemény, valamint száraz növények tartása a feltárási területen szintén befolyásolhatja a pollenanalitikai eredményeket. Ha lehetséges, a pollenfeltárás október-március hónapok közötti időszakban

történjen, mivel az atmoszférikus pollenkoncentráció ekkor a legalacsonyabb, továbbá a délutáni időszakok is kerülendőek, mivel a pollenek levegőben található aránya napi járásban ekkor a legmagasabb.

A pollen feltárásának módszertana³¹

A következő lépések követésével olyan feltárási folyamatot kapunk, mely alkalmas a tavi és lápi üledékek pollenanalitikai vizsgálathoz szükséges laboratóriumi előkészítésére. A felhasznált vegyszerek segítségével eltávolíthatjuk a felesleges elemeket a mintából, ezáltal a mikroszkópi határozás könnyebbé és pontosabbá válik. Habár az üledéket erős kémiai terhelésnek vetjük alá, megfelelő laboratóriumi munka mellett a pollenek és spórák nem roncsolódnak a mintában.

Minden alább felsorolt lépést desztillált vizes felöntés, 5 perc centrifugálás 3500 fordulat/perc-en, valamint dekantálás követ. Ezt minden esetben annyiszor kell ismételnünk, amíg a dekantált folyadék el nem éri a semleges pH értéket, csak ezt követően szabad a következő vegyszeres kezelést elkezdeni.

Lycopodium spóratablettás módszer

A konkrét feltáráshoz kapcsolódóan elsőként az egzotikus pollen/spóra módszer az, amit meg kell említeni. Az 1960-as évek előzményei után 1971-ben stabilizálódott a pollenfeltárási menete, a napjainkban is használatos *Lycopodium* spóratablettás módszert. Korábban a térfogat-, valamint súlymérésen alapuló módszereket használták a palinológusok a feltárási során, de ezek sokkal időigényesebbek voltak, mint az egzotikus polleneket/spórákat használó módszer. Míg az előzőknél ahhoz, hogy pontos képet kapjunk a vegetációról, az összes mintában lévő pollen megszámlálása szükséges, addig az utóbbinál meghatározott mennyiségű egzotikus pollent/spórát adunk a mintához, így nem szükséges az összes mintában lévő pollen megszámlálása, hiszen a jelölő taxon számlálásának segítségével arányszámot állíthatunk fel. A mikroszkópi vizsgálat során folyamatosan feljegyezzük a *Lycopodium* spórák mennyiségét is, és a megszámlálni kívánt pollenszám elérésekor láthatjuk, hogy az egzotikus pollenek hány százalékát számoltuk meg, így megadhatjuk, hogy mekkora mennyiségben vannak jelen a pollenek a mintában. Az egzotikus polleneket/spórákat tartalmazó tablettát, esetünkben a *Lycopodium* spóratablettát mindig a feltárási első lépéseként szükséges a mintához adni azért, hogy az ebben, valamint a mintában található pollenek feltárási során elszenvedett mennyiségvesztése egyforma arányú legyen, mely elengedhetetlen a későbbi statisztikai eljárások alkalmazásakor. A *Lycopodium* tablettát 10%-os sósav (HCl) segítségével oldjuk fel.

Sósav

A *Lycopodium* tablettá feloldásához használt 10%-os sósav feloldja a kalcium-karbonátot (CaCO_3), mely nagy mennyiségben fordulhat elő tavi üledékekben. Addig kell folytatni a sósav adagolását a mintához, amíg pezsgés tapasztalható, tehát az összes CaCO_3 -t fel kell oldani, ugyanis a következő lépéseknél használandó vegyszerekkel kölcsönhatásba lépve problémát okozhat. Célravezető lehet a síkrázó gép használata ennél a lépésnél, melynek használatával az üledék még inkább szétesik. Öntsük ezután a labor centrifugájába beleillő műanyag tubusokba desztillált víz segítségével a sósavban ázó vagy rázatott mintát, majd tegyük 5 percre, 3500 fordulat/percre állított centrifugába. Ha kész, dekantáljuk.

Kálium-hidroxid

A 10%-osnál kisebb koncentrációjú kálium-hidroxidot (KOH) vagy a 10%-os nátrium-hidroxidot (NaOH) a szerves talaj kolloidok eltávolítására használjuk a feltárás során, valamint deflokkulációt okozunk vele a mintában. 1 cm^3 mintához körülbelül 10 ml-re van szükség. Hozzáadjuk az üledékhez, ezt követően vízfürdő segítségével 10-15 percig forraljuk, közben üvegbottal többször megkeverjük, hogy a minta teljesen szétesen. Figyeljünk arra, hogy a túl hosszú forralás következtében a pollenek és spórák megduzzadhatnak, mely megnehezíti, vagy rosszabb esetben ellehetetleníti a meghatározásukat. Ezután a mintát 120-160 μm -es szitán kell átmosni desztillált víz segítségével, így a felesleges nagyméretű üledéktől megszűrjük, pollendús oldatot kapunk. A desztillált vizes – KOH-os/NaOH-os keveréket öntsük újra centrifugacsövekbe, centrifugáljuk a már leírt módon, végezetül dekantáljuk.

Hidrogén-fluoridos feltárás

Hidrogén-fluorid (HF) használatára akkor van szükség, ha feltételezhetően nagyobb mennyiségű szilikátot tartalmaz a minta, mely zavarná a mikroszkópi határozás folyamatát. Tőzeges mintáknál általában erre nincs szükség, de tavi üledékeknél el kell végeznünk ezt a lépést is. Körültekintést, nagy odafigyelést igénylő vegyszer. Elsőként mindig győződjünk meg arról, hogy az összes karbonátot eltávolítottuk a mintából. Ha nem vagyunk benne biztosak, hogy a *Lycopodium* spóratablettá feloldásakor ez megtörtént, akkor használjunk újra sósavat ennek ellenőrzésére, továbbá az előző lépésnél használt KOH-ot vagy NaOH-ot is távolítsuk el teljes mértékben a mintából. Mindig használjuk az elszívó szekrényt, valamint gondoskodjunk a megfelelő védőfelszerelésről az esetleges balesetek megelőzésének érdekében. Fontos megjegyezni, hogy HF-os feltáráskor tilos az üvegeszközök használata!

A HF-ot használhatjuk hidegen, ilyenkor körülbelül 6 ml 30-40%-os koncentrátumot kell a mintához adnunk, ezután 24 óráig lefedve, elszívó szekrényben kell tartani. Ha tovább marad

az üledék a hidrogén-fluoridban, akkor sem fognak roncsolódni a mintában lévő pollenek és spórák. Ha a mintát forralni szeretnénk, akkor a következőket tegyük: szintén körülbelül 6 ml 30-40%-os hidrogén-fluoridot kell hozzáadnunk a mintához, de ezután helyezzük a műanyag centrifugacsöveket vízfürdőbe, és forraljuk 15 percig. Ha úgy vesszük észre, hogy még nem távozott az összes szilikát a mintából, akkor folytassuk a forralást, akár több órán keresztül is, de szigorúan csak elszívó szekrényben. A minta hosszú, 100°C-on történő HF-os kezelése nem károsítja a polleneket és spórákat. Az eljárást az ismert módon fejezzük be, de ez esetben lefedve, lehetőség szerint elszívó szekrényben használjuk a centrifugát, a dekantálás pedig külön hidrogén-fluorid gyűjtőbe történjen. A HF használata után, amikor már semleges pH értékű a mintánkhöz adott folyadék, melegítsük (de ne forraljuk) fel 10%-os sósavban, mely segítségével a hidrogén-fluoridos feltárás okozta maradványokat, a sziliko-fluoridokat tudjuk eltávolítani.

Acetolízis

A hidrogén-fluoridos kezelés után végezzük el az acetolízist. Ha a HF-os eljárásra nincs szükség, akkor a KOH-os vagy NaOH-os feltárást követően alkalmazzuk ezt a módszert. Az előző lépéshez hasonlóan szintén nagy körültekintést igénylő, ám nagyon hatásos lépés a pollen extrakció során. Segítségével a cellulózt távolíthatjuk el a mintából. Ahogy a HF-os feltárás során is, dolgozzunk elszívó szekrényben, valamint tartsunk be néhány fontos előírást a balesetek megelőzése érdekében, ugyanis az acetolíziskor használt kénsav és ecetsav-anhidrid keverék, amellet, hogy maró hatású, erőteljes reakcióba lép a vízzel, így kizárólag száraz mintákon alkalmazható.

Első lépésben adjunk hideg ecetsavat a mintához, így dehidratáljuk a szerves anyagot. Centrifugáljuk, majd dekantáljuk. Előzetesen készítsünk koncentrált ecetsav-andhidridből és kénsavból 9:1 arányban keveréket úgy, hogy mintánként 5 ml-re lesz szükség belőle. Mindig csak az aktuális feltáráshoz szükséges mennyiséget készítsük el. Védőfelszerelés és elszívó szekrény használata ennél a lépésnél is fontos. A kénsavat cseppenként adjuk a mintához, folyamatos keverés mellett.

Ha hozzáadtuk a mintához az acetolízishez szükséges 5 ml-t, tegyük 80-90°C-os vízfürdőbe a centrifugacsöveket 7 percre, ezután centrifugáljuk a mintát és folyóvíz mellett dekantáljuk. Használjunk ismét ecetsavat, centrifugáljuk és dekantáljuk a mintát, végül többször is mossuk át a mintát desztillált vízzel, hogy eltávolítsuk a maradék ecetsavat, annak érdekében, hogy a későbbi mikroszkópi határozáshoz szükséges glicerinbe ágyazás során ne képződjenek kristályok, melyek megzavarhatják a mikroszkópi határozást.

Festés

Több festékanyagot is használhatunk a mintában maradt szerves anyag festésére, melyek közül a széles körben elterjedt szafraninos festési eljárást ismertetjük. Az acetolízis után szintén a korábban ismertetett vizes atmoszféra alkalmazzuk, és mikor már semleges pH értékű a dekantált desztillált víz, akkor adjunk egy kevés desztillált vizet a mintához, valamint 2-3 csepp 0,2%-os vizes szafranin oldatot. Ezt úgy készíthetjük el, hogy a por állagú szafraninból kimérünk 0,2 g-ot és elkeverjük 100 ml desztillált vízzel. Miután 3500 fordulat/percen 5 percig centrifugáltuk a mintát, dekantáljuk a desztillált vizes szafranin oldatot, és etanol segítségével mossuk át annyiszor a mintát, hogy a leöntött folyadék már halvány rózsaszínű, közel színtelen legyen (ez körülbelül 5-6 ismétlést jelent).

Glicerinbe ágyazás

Ha az üledéken elvégeztünk minden szükséges vegyszeres kezelést, ami a sikeres mikroszkópos pollen és spóravizsgálathoz szükséges, akkor beágyazó közeget kell választanunk, mely két szempontból is fontos. A polleneket és spórákat óvni kell a kiszáradástól, amit a glicerinbe ágyazással megelőzhetünk. Emellett ahhoz, hogy kenetet készíthessünk a mikroszkópi vizsgálathoz, szintén szükség van valamilyen közegre, melynek segítségével az üledéket egyenletesen felvihetjük a tárgylemezre.

Mikroszűrés

A Cwynarféle mikroszűrési módszerrel végezhetjük egy pollenminta tisztítását, 10 µm lyukátmérőjű szűrőn. Ezt a módszert kifejezetten szerves-anyagban szegény, ásványi részekben gazdag üledékekre dolgozták ki, a kis szemcseméretű agyagfrakció eltávolítására. A mikroszűrési módszerrel nyert pollenminták mikroszkópos képe sokkal tisztább, mint a standard HF-os eljárással feltárt mintáké, és pollen és spóra szemcsékben is gazdagabbak. Az így feltárt mintáknál sokkal könnyebb a statisztikus minimumot leszámolni a sporomorfa mintákban.

Pernyekoncentráció meghatározás³²

A pernyekoncentráció meghatározása Clark pont-számolásos módszerével történhet. Az eredményeket $\text{cm}^2\text{cm}^{-3}$ mértékegységben tüntetjük fel a pollendiagramon. A pernyeanyag egyértelműen az emberi hatással, erdőirtással, tüzeléssel-fűtéssel függ össze, illetve természeti katasztrófák okozhatják. Ugyanakkor az elsődleges felhalmozódása mellett ismeretes másodlagos felhalmozódása is, mivel a pernyeanyag utólag is bemosódhat a vizsgált üledékbe, illetve idősebb üledékből korábban lerakódott pernyeanyag is áttelepíthető. A pernyeanyagot mind lokális, mind regionális szinten kiválóan felhasználhatjuk az klímaváltozás hatásainak, vagy emberi tevékenységnek a megajzolására.

Zólyomi–Erdtmann féle feltárás

A vizsgált paleohidrológiai minták esetében a hidrogén-fluoridos eljárás mellett *Erdtmann* német palinológusnak *Zólyomi Bálint* magyar kutató által módosított cink-kloridos eljárását találtuk legcélravezetőbbnek. A szétválasztás aránylag gyorsan, veszélytelenül, bő pollenanyagot szolgáltat. Az eddigi tapasztalatok alapján a folyómedrekben felhalmozódott üledékekben a Zólyomi – Erdtmann féle eljárás jobban hasznosítható, mint a hidrogén-fluoridos feltárás. Így ez a módszer kifejezetten kedvező a fluviális – alluviális rendszerek pollenalapú paleohidrológiai megközelítéséhez.

A feltárás menete:

1. A mintákból 20-20 grammot sorszámozott Erlenmayer-lombikokba mérünk.

Karbonát mentesítés:

2. 40cm³ 1:5 arányban hígított sósavat adunk minden mintához és a pezsgés fokából a mésztartalomra következtetünk:

pezsgés nincs: 0, foltokban pezseg: 0+, gyengén pezseg: +, közepesen pezseg: ++, erősen pezseg: +++ , kifut: +++++. Ezután 24 óráig állni hagyjuk.

Ásványi anyag leválasztása:

3. A mintákat nagy centrifugacsövekbe öntjük. (Tárázáshoz desztillált vizet használunk.) Ezután 10 percig centrifugáljuk. A mintákról a sósavat leöntjük.

4. A mintákat külön-külön üvegbottal alaposan megkeverjük, hogy csomó ne maradjon benne.

5. $\frac{3}{4}$ részig cink-kloriddal (ZnCl₂) öntjük fel a mintákat (fajsúly: 1,95), jól elkeverjük, 15 percig centrifugáljuk. Így választjuk el a nehéz fajsúlyú ásványi részeket a könnyebb fajsúlyú szerves anyagoktól.

6. Centrifugálás után óvatosan lepipettázzuk a minta tetejét, főleg a széléről szedjük jól fel az anyagot, mert itt van sok pollen.

7. A lepipettázott anyagot felöntjük desztillált vízzel és 10 percig centrifugáljuk. Ekkor ülepszik le a pollen a minta aljára.

8. Ha a minta szennyezett (növényi maradványt, szerves törmelékanyagot tartalmaz) klórozást végzünk: a mintákhoz 4 cm³ jégecet, 1 cm³ tömény sósavat és 6-7 csepp 33%-os nátrium-klorátot adunk. Savszekrényben vízfürdőben 80°C-ig melegítjük, kihülés után centrifugáljuk.

Ha a klórozást nem kell végeznünk, 5-5 cm³ ecetsav-anhidritet adunk a mintákhoz és 10 percig centrifugáljuk.

A szerves rész szétroncsolása

9. A mintákról a jégecet leöntjük, az alján maradt anyagot felkeverjük és felöntjük ecetsav-anhidrites kénsavval (36cm³ ecetsav-anhidrit és 4cm³ kénsav) 10-10 cm³-rel.

10. Vízfürdőben 96°C-ig melegítjük, pár perc hűlés után 10 percig centrifugáljuk.

Előtte a színváltozást jegyzőkönyvbe vesszük. (Minél több a szerves anyag, annál sötétebbek a minták.)

11. A felülúszót leöntjük, 2x-3x desztillált vízzel átmoszuk, minden átmosás után 10-10 percig centrifugáljuk.

12. A desztillált vizet leöntjük, az anyagot sorszámozott fiolákba glicerinnel átmoszuk, ebben tároljuk.

4.6.5.1. A pollen és spóra meghatározásának menete

Itt a pollen és spóra mikroszkópi határozásának módszertanát és az ehhez szükséges eszközöket taglaljuk, ugyanis a megfelelő laboratóriumi feltárást követő munka során is olyan műszerekre és segédanyagokra van szüksége a határozást végző személynek, melyek pontos munkát tesznek lehetővé³³.

Palinológiai vizsgálatoknál a faj szintű határozás sok növény esetében nagyon nehéz vagy nem is kivitelezhető fénymikroszkópos vizsgálat során, de a törekvésnek mindig a legalacsonyabb taxonómiai beosztás felé kell irányulni, így az eredményekből pontosabb képet festhetünk a terület vegetációját illetően, valamint biztosabb következtetéseket tudunk levonni a növényzeti változásokat figyelembe véve.

A megfelelő eszközök használata megkönnyíti, gyorsítja és pontosabbá teszi a határozást. Mindenképp nagyfelbontású binokuláris mikroszkóra van szükségünk, melynek beosztással rendelkező tárgyasztala van, ennek segítségével tudjuk végigpásztázni az egyes keneteket teljes egészében, valamint a skála segítségével újra megtalálhatunk bizonyos polleneket, spórákat, egyéb mikroméretű fossziliákat a kenetekben. Ahhoz, hogy meg tudjuk adni a fossziliák méretét, skála beosztásra van szükségünk, mely általában a jobb oldali okuláréban található. Ha a mikroszkóp fényképezőgéppel vagy kamerával van ellátva, felvételeket készíthetünk, melyeket felhasználhatunk akár az eredmények prezentálásakor, akár esetleges határozási nehézségek során későbbi tanulmányozásra.

A határozáshoz legalább 400-szoros nagyításra van szükség, mely nagyításhoz megfelelő a glicerin, mint beágyazó közeg. Faji szintű határozáshoz sokszor nagyobb nagyítás szükséges, és például 1000-szeres nagyításnál már olajos beágyazást kell alkalmazni a megfelelő használat érdekében. Fáziskontraszt mikroszkóppal már egészen jó taxonmegközelítést is elérhetünk a pollenelemzés során.

A határozás alapja, hogy a pollenek és spórák eltérő morfológiával rendelkeznek. Elsőként az apertúrákat (nyílásokat) kell megvizsgálni, melyek a pollenek külső héján lévő hiányzó vagy elvékonyodott részek. Ezek lehetnek pórusok vagy barázdák, melyek alapján a polleneket és spórákat csoportosíthatjuk a számuk, az elhelyezkedésük és a jellegük alapján. Habár elsőként a pollenek formája az, amit megfigyelünk, de mégsem ez a legfontosabb határozó bélyeg, ugyanis ez akár fajon belül is változhat. A mikroszkóp alatt mindig egy síkot tudunk megfigyelni, ezért ahhoz, hogy pontosabban meghatározható legyen az adott pollen vagy spóra alakja, nyomást kell gyakorolni a kenetet lefedő vékony üveglapra, ezáltal a mikrofosziliát körbe tudjuk forgatni, így több irányból meg tudjuk vizsgálni. A következő lépés a már korábban említett külső héj mintázatának vizsgálata, mely fontos a határozáshoz, valamint szintén egy osztályozási mód alapja.

A pollen vagy spóra külső jegyeinek feltérképezését követően, referencia gyűjtemény vagy fényképes határozó könyv segítségével fel kell jegyezni a talált fosziliát a lehető legalacsonyabb taxonómiai besorolással. Az egyik legrészletesebb ilyen jellegű fényképes határozót a marseillei–arlesi–provancei polleniskolában dolgozó *Reille* készítette el 1995-1999 között. Több mint 2200 fajról 1300-nál is több fotó található a kiadványban, melynek használata nagyon pontos határozást tesz lehetővé.

Legalább 300, de inkább 500 szárazföldi pollen megszámlálása szükséges ahhoz, hogy statisztikailag megfelelő adatsort kapjunk. Ilyen esetben már végezhetünk vegetáció rekonstrukciót. Ez alatt a pollenszám alatt is fel kell jegyezni, hogy

milyen növények pollenjei, spórái találhatóak meg a mintában, de nem lehet messzemenő következtetéseket levonni az eredményekből.

4.6.5.2. Az eredmények megjelenítése és értelmezése

Az eredmények bemutatásának legegyszerűbb módja a diagramos ábrázolás. Ehhez felhasználhatjuk a Psimpoll programcsomagot, melynek segítségével egyszerűen, egyéb vizsgálati eredményeket is hozzákapcsolva ábrázolhatjuk a pollen és spóra adatsorunkat³⁴. A beviteli fájl minden esetben *txt kiterjesztésű szöveges fájl, és a beállításokat követően a program lefutása után képszerkesztő programok segítségével lehet megnyitni, majd megfelelő formátumúra alakítani a kapott PostScript fájlokat. A programhoz pontos, az interneten ingyenesen elérhető leírás tartozik, melyet célszerű előzetesen tanulmányozni, majd a beállítások során felhasználni, hogy az igényeinknek megfelelő ábrát kapjunk.

Ahhoz, hogy átlátható, könnyen értelmezhető diagrammal dolgozhassunk, figyeljünk arra, hogy megfelelő logikai sorrendben kövessék egymást a különböző növények a szöveges fájl kialakításakor (ugyanis a diagramon is ilyen sorrendben jeleníti meg a növényeket a program). Kerüljenek egymás mellé a fás szárú növények, a bokrok, valamint a lágyszárú növények, amelyek utóbbi tovább bonthatók szárazföldi és vízi növények csoportjára. E legutóbbi csoportnak kiemelkedő jelentősége van a paleohidrológiai elemzéseknél. Az egyes csoportokon belül szerencsés a hasonló életteret igénylő növények egymás mellé helyezése, szembe állítva a nagyban eltérő igényű növényekkel, így jól összehasonlítható a lefutásuk, mely a következtetések levonásához szükséges.

Az eredmények kiértékeléséhez botanikai-paleobotanikai ismeretekre is szükségünk van, hiszen vizsgálni kell, hogy az egyes, eltérő pollen kibocsátású és eltérő távolságra terjedő pollenekkel rendelkező növények mennyisége milyen irányban tolódik el a mintánkban. Ezekből az eltolódásokból következtethetünk az élettér, közte a paleohidrológiai élettér változására, továbbá egyes növények akár klímainformációkkal is szolgáltathatnak a

paleohidrológiai elemzéseinkhez. A legjobb pollenelemzéseket napjainkban makrobotanikai elemzésekkel és anthrakológiai (szenült famaradványok) elemzésével egészítik ki a paleohidrológiai elemzéseknél, mind a tengeri, mind az édesvízi rendszerek elemzésénél. Így itt előbb bemutatjuk az anthrakológiai vizsgálatok paleohidrológiai vetületét, utána pedig a pollen, makrobotanika és anthrakológiai elemzések összehasonlító vetületét mutatjuk be több példán keresztül.

4.6.6. Anthrakológiai vizsgálatok

Talán szokatlan, hogy a paleohidrológiai vizsgálatoknál a klasszikus teresztris paleoökológiában elterjedten használt szárazföldi növényeknek, a fáknek a maradványait használjuk fel, de tudomásul kell vennünk, hogy a paleohidrológiai rendszerek fejlődése elválaszthatatlanul összefonódott a teresztris rendszer fejlődésével. Példa erre az uszadékfák kialakulása és beágyazódása fluviális, alluviális, lakusztikus (tavi), vagy tengeri (marin) rendszerekbe. Ugyanakkor az anthrakológiai anyagok legjobban a paleohidrológiai rendszerekbe ágyazódva maradnak fenn és bár alapvetően a fásszárúak fejlődéséről adnak információkat, de ezeken keresztül is lehetőségünk nyílik a paleohidrológiai rendszereket is alapvetően befolyásoló egykori csapadék és hőmérsékleti viszonyok, az őséghajlati (paleoklimatológiai) tényezők rekonstrukciójára. Az anthrakológiai anyag értelmezéséhez fás szárú növények kialakulása és kifejlődése szükséges, így mintegy 400-450 millió évre visszamenően hasznosíthatjuk az anthrakológiai vizsgálatok eredményeit a paleohidrológiai elemzéseknél. Munkánkat alapvetően a hazai dendrokronológiai elemzéseket új szintre emelő, *Náfrádi Katalin* egyetemi adjunktus tanítványaként PhD értekezését megvédő *Misi Dávid* neoökológiai célú dendrokrológiai elemzése és PhD dolgozata és témavezetője *Náfrádi Katalin*, valamint *Stieber József* magyarországi anthrakológiai kutatásait újraindító és nemzetközi szintre is kiterjesztő *Rudner Edina Zita* kutatási eredményei és PhD dolgozata nyomán mutatjuk be³⁵.

Paleohidrológiai lelőhelyekről vagyis tavi üledékekből, tőzeglápokból, talajszelvényekből vagy lösz szelvényekből előkerülő égett rétegek, szenült, vagy degradofuzinit állapotban fennmaradt famaradványok a negyedidőszaki növényzetrekonstrukciók elkészítésének, az erdőtüzek, erdőégetések felderítésének, valamint az antropogén erdőhasználat kimutatásának fontos eszközei. Tűzesetek alkalmával szenült famaradványok nagy mennyiségben képződnek, de szabálytalan időközönként. Bár ez utóbbiról már többszörösen sikerült bebizonyítani, hogy hosszabb időtávon vizsgálva a kérdéskört igen erőteljes kapcsolat mutatható ki a szenült famaradványok, pernyemaximumok és az éghajlat rövidebb és hosszabb távú változása között.

Faszén/szenült famaradvány akkor keletkezik, amikor fás szárú szerves anyag tökéletlen égése következik be 280 és 500 °C között. Az ennél nagyobb hőmérséklet hamuvá égeti az anyagot, míg az alacsonyabb hőmérséklet csak megperzseli az anyagot, de nem égeti. Annak a mértéke, hogy egy tóban milyen és mennyi szenült famaradvány halmozódik fel, függ a tűz jellegétől és a folyamatoktól, melyek a szállítás közben és utána érik a szenült anyagot. A paleohidrológiai üledékgyűjtő medencékben (tavakban, lápokban, mocsarakban) felhalmozódott anyagot tekintve két csoportba sorolhatjuk az égett famaradványokat. Az elsődleges szenült famaradvány elnevezést arra az anyagra használjuk, mely a tűzeset alatt vagy röviddel utána halmozódik fel. A másodlagos faszenet olyan időszakhoz lehet kötni, amikor nincs tűz, hanem az anyag felszíni lefolyás során jut az üledékgyűjtőbe vagy áthalmozódás során kerül új helyére, és nem kötődik közvetlenül tűzesethez. Ismeretesen át nem égett, vagy egyáltalán meg nem égett, pusztán a kiszáradás, és/vagy betemetődés nyomán fosszilizálódó fás szárú maradványok is, ezeket degradofuzinit néven különíti el a szakirodalom.

A paleohidrológiai lelőhelyekről származó faszenek a legtöbb esetben jól őrződnek meg, ezért kiválóan alkalmasak múltbeli erdőtüzek rekonstrukciójára. Azonban a módszernek korlátai is vannak. Egyrészt, a legtöbb jelenkori

(holocén) tanulmányban a faszeneket tartalmazó minták több centiméteres távolságra is eshetnek egymástól (ez függ a mintavétel során alkalmazott mintaköztől), így néhány évestől az évtizedet átfogó mintától akár több száz évig terjedő időszakokat lehet vizsgálni. Másrészt, pollenfeltárás során roncsolódnak a faszenek és nagy mennyiségű mikroszkopikus méretű (<100 µm) szenült famaradvány keletkezik. Így a faszeneket a makrobotanikai anyaggal együtt, a pollenelemzéstől elkülönülten kell kinyerni. Harmadrészt, a pontos forrásterület sok esetben teljességgel meghatározhatatlan. A tűz gyakoriságát kizárólag a mikrofaszenekből nem lehet meghatározni, épp a forrásterület bizonytalansága, valamint a nagyobb idő intervallumot átfogó mintaközök miatt. Így a pollenfeltárás során kialakított pernye-elemzésekkel kapcsoljuk össze a mikrofaszén elemzéseket.

Az erdőtüzek alkalmával keletkező faszenek mennyiségét és típusát több tényező is befolyásolja. Az egyik fő szempont a fa típusán és mennyiségén van. Egy anthrakológiai célú aktuál paleontológiai kutatásban azonos körülmények alatt, ugyanolyan mennyiségű különböző fajtájú fákat égettek el. Azt tapasztalták, hogy például a tölgy faszenek az eredeti mennyiség 22,7%-át adták, míg kőris esetében ez az érték 18% volt, de fenyő esetében csak 16,5%. A különböző értékek a fa tömörsége és keménysége, valamint víztartalma miatt léphettek fel. A faszén mennyiségére, típusára, kialakulására és fejlődésére vonatkozóan a tűz természete is hatással van. A tűz intenzitása, hossza, hőmérséklete mind kiemelkedő jelentőséggel bír. A nagyobb intenzitású tüzek (hosszabb égési idővel) gyakran arányaiban több nagyobb faszenet eredményeznek, mint a kisebb intenzitású, parázsló égések. Ugyanakkor magasabb hőmérséklet alatt a szenült famaradvány sokkal sűrűbb állagú lesz és könnyebben törik. A szenült famaradvány mennyiségét a fent említett tényezőkön kívül befolyásolja a szóródás, szállítódás, leülepedés és megőrződés, de ugyanúgy befolyásolja a mintázás és a preparáció technikája is. A szenült famaradványok a forrásterületről az üledékgyűjtő medencébe történő

elszállításért elsősorban a szél és a víz a felelős. A maradványok mérete eltérő skálán mozog, melynek a szállító erők mellett igen nagy szerepe van az elszállítódásban. A kisebb átmérőjű darabok a szél vagy a víz által nagyobb távolságokra is eljuthatnak, míg a nagyobb töredékek általában közelebb halmozódnak fel a tűz forrásterületéhez. Ezért a kisebb tavak (kb. 25 m átmérő) a lokális, a kisebb lápok és közepes méretű tavak az extra lokális (néhány hektáros), míg a nagyobb kiterjedésű tavak, lápok, mocsarak, főként tengerek a regionális tűzesetek rekonstrukcióját teszik lehetővé.

A kisebb méretű faszenek a szél által igen nagy távolságokra szállíthatók el, és az uralkodó széliránynak, valamint a gravitációnak megfelelően szóródnak szét. Ezen kívül az erős hőáramlások is befolyásolják a faszenek szóródását és szállítódását. Sok szenült famaradvány víz által szállítódik el, mert az égés eredményeként, a növényzet pusztulása miatt megemelkedik a felszíni lepusztulás mértéke, illetve az égés következtében fellépő erózió eredményeként is nagy mennyiségű szenült famaradvány szállítható el. Az eddigi ismereteink és eredmények alapján úgy vélik a kutatók, hogy a tüztől való növekvő távolsággal a faszenek mérete és mennyisége csökken, és hogy ugyanolyan mennyiségű kis-, közepes- és nagyméretű szenült famaradványok keletkeznek. Aktuál paleontológiai vizsgálatok nyomán az 1000 μm -nél (1 mm) nagyobb méretű faszenek közel maradnak a felszínhez és a tűz közelében halmozódnak fel. Ugyanakkor a 100 μm -nél (0,1 mm) kisebb méretű faszenek nagyon jól szállíthatók a szél által 100 méter magasságig, de a nagyon apró méretűek igen nagy magasságokba és nagy távolságra is eljuthatnak. Ezek a modellek az „ugró távolság” (*skip distance*) fogalmát is bevezetik, mely egy olyan zóna, ahol nincs szenült famaradvány felhalmozódás a konvekciós oszlop alapja és a felhalmozódás területe között.

Tavi üledékek paleohidrológiai elemzése azt az eredményt adta a faszenek szóródására vonatkozóan, hogy kis üledékgyűjtő rendszereknél, a helyben képződött szenült famaradványok sokkal nagyobb valószínűséggel jelennek meg

az üledékben, mint a regionálisan szétszóródók. Két tavat vizsgálva, amelyekmel mindegyike 2-3 ha kiterjedésű, azt az eredményt kapták, hogy az egyik tó datált üledék összetételében, mely az egyik nagyobb erdőtüz határain belül helyezkedett el, a tűz tisztán kimutatható volt a faszén csúcsok alapján. A másik tó üledékében, mely csak pár száz méterrel fekszik az egykori tűz kiterjedésének határain kívül, semmilyen jelét nem észlelték ennek a tűznek, mely 86 ezer ha területet égetett le. Még regionális szinten sem mutatható ki a tűz határa ebben a tűz terjedési határán túli tavi rendszerben³⁶.

A szállítás ideje rövidebb azokon a területeken, ahol erőteljes, intenzív esőzések alakulhatnak ki, jelentősebb a lejtőszög, és azokon a területeken, ahol olyan tavak vannak, melyek tavasszal hóolvadáskor nagy mennyiségű olvadékvízzel töltődnek fel. A megfigyelések szerint Ausztráliában, a hosszan tartó szárazság késleltetheti a faszének elszállítódását. A legtöbb szenült famaradvány nem sokkal azután, hogy elszállítódott, le is rakódik, azonban a maradványok üledékképződés előtti sorsa és az üledékben elfoglalt helyzete szintén befolyásolja az eredményeket. Általánosságban a tavi üledékek esetében a szenült famaradvány ülepedés gyors, de az áthalmozódás, illetve az egyes rétegek keveredése, vagy a késleltetett szenült famaradvány szállítódás eredményeként olyan faszén csúcsok alakulhatnak ki, melyek évtizedes vagy akár még több ideig tartónak is tűnhetnek a faszén diagramon, noha egyetlen tűzesethez köthetőek. Ezen tényezők mellett a bioturbáció és a fagyás-olvadás okozta keveredés is hatással lehet a mikroszkopikus méretű szenült famaradvány elemzés eredményeire. Ezek a tafonómiai (beágyazódási) vagy poszttafonómiai folyamatok a makrobotanikai és pollenanalitikai eredményeket is erőteljesen befolyásolhatják.

A szenült faanyag idősorának kiértékelése azon alapul, hogy a szenült famaradvány csúcsokat ismert tűzesetek időpontjával kalibráljuk. A különböző dendrokronológiai módszerek, erdőállomány elemzések, illetve a történelmi feljegyzések segítségünkre lehetnek a történelmi tűzesetek kimutatásában. A

történelmi feljegyzések előtti korszakokból, vagy azok hiányában, egyéb környezettörténelmi módszerek segítenek az egyes tűzesetek detektálásában.

Az elmúlt tűzesetek dendrokronológiai rekonstrukciója a tűz okozta sebhelyek és évgyűrűk elemzésén és korolásán alapul. Ezek a sebek az egykori erdőtüzek datálását évre pontosan lehetővé teszik, így a módszer a tűzesetek kimutatásában igen jelentős. Noha vannak olyan tüzek, melyek kisebb területre terjednek ki és nem keletkezik sok szenült famaradvány sem, az állományok korának az elemzése – olyan régiókban ahol gyakran vannak tüzek – lehetőséget biztosít arra, hogy a háborgatások korát meg tudjuk adni. Azonban a tűzesetek rekonstrukciójának a pontossága csökken az idővel, mivel a korábbi tűzesetek felülírhatják a régebbi erdőtüzek hagyta jeleket. De mára már kétségtelen, hogy dendrokronológiai adatok segítségével számos esetben sikerült tűzeseteket kimutatni és kalibrálni szenült faanyag csúcsokkal. Az erdőtüzeket a fúrások makroszkópos leírásával, az eróziós felszínek azonosításával, illetve mágneses szuszceptibilitás mérések segítségével is ki lehet mutatni, illetve pontosítani a rekonstrukciót. A pollenanalitikai elemzések a legtöbb esetben kiegészítik az erdőtüzek rekonstrukcióját, mivel több tanulmány is kimutatta, hogy a szenült famaradvány csúcsok és a fő pollen taxonok változása összefüggésben van egymással.

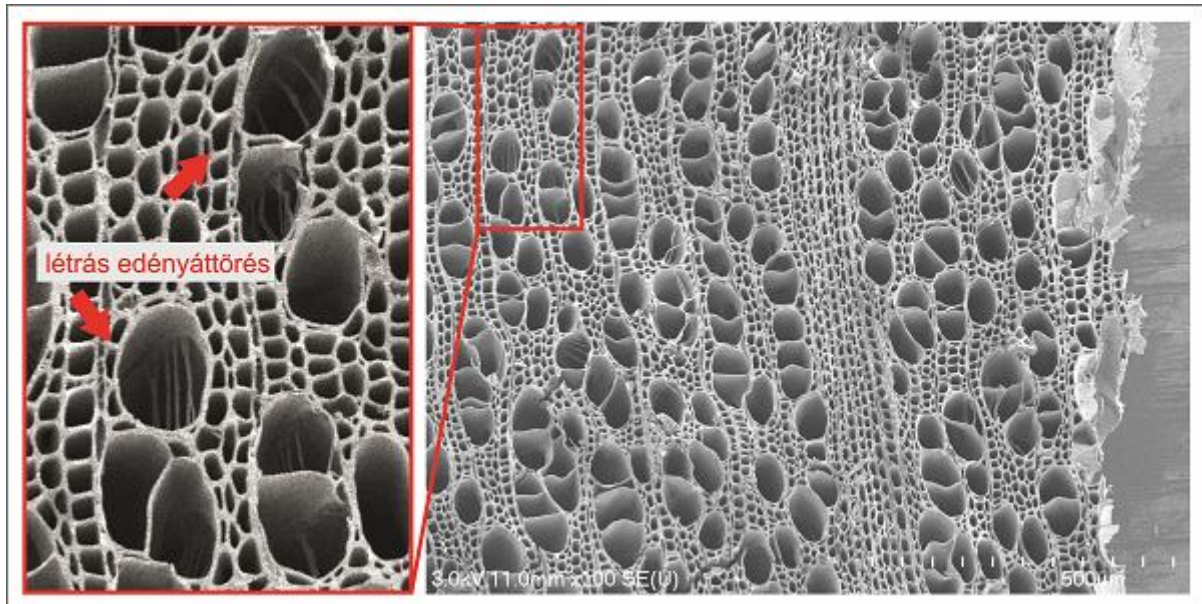
Több munka is született az üledékgyűjtő medencékben feltárt mikrofaszén eredmények kiértékelésére vonatkozóan. A hidrológiai vizsgálatok nyomán fejtették ki, hogy hogyan lehet felbontani a mikrofaszén eredményeket, hogy minél pontosabban lehessen tűzeseteket kimutatni. Eredményeik azon alapulnak, hogy a legtöbb szenült famaradvány ülepedési ráta idősora két részből áll. Az egyik egy kevésbé változó komponens, mely nagyrészt egyenletes eloszlást mutat, ez a *háttér komponens*, a másik gyorsabban változó, nagyobb frekvenciájú eloszlást mutat, ez a *csúcs komponens*. A háttér komponensre nagyrészt a nyersanyag felhalmozódása és ennek változása van hatással. Például kimutatták, hogy egy észak-amerikai tavi rendszerben a mikrofaszén diagram

háttér komponensének változása mögött a klíma indukálta vegetáció átalakulása áll, amikor is egy füves környezetet erdei fás szárú vegetáció váltott fel. A háttér szenült famaradvány változását a másodlagos szenült famaradvány is okozhatja, ha korábbi tüzesetből származó utólag bemosódó szenült famaradvány kerül a vízgyűjtő területre, majd az üledékgyűjtő medencébe. Egy harmadik tényező, mely befolyásolhatja a háttér komponens lefutását az extra lokális vagy regionális tüzesetek. A csúcs komponens tüzesethez köthető szenült faanyagot reprezentál. Szerencsés esetben, kisméretű üledékgyűjtő medence esetében, ez a medence vízgyűjtő területéről származik.

Az anthrakotómia az elfásodott növényi részek, a törzs, a korona, a gyökérzet belső morfológiai felépítésének elemzése. A szenült, vagy nem szenült fás maradványok meghatározásnak, idegen kifejezéssel anthrakotómiának, mára nagyon nagy jelentősége lett a paleohidrológiai kutatásokban és a különböző paleohidrológiai rendszereket övező fásszárú növényzet rekonstrukciójában. A módszer a fás szárú vegetáció maradványait elemzi, amit xilotómiai (anthrakológiai) vizsgálatnak nevezünk. Jelentősége abban áll, hogy a helyben betemetődött növényzet rekonstrukcióját teszi lehetővé, így az egykori lokális vegetáció feltérképezéséhez kiválóan alkalmazható. Ugyanakkor problémája ennek a módszernek, hogy csak fás szárú növényzet vizsgálatára alkalmas. Ennek ellenére az anthrakológiai vizsgálat a paleohidrológiai és a paleohidrológiai rendszereket befolyásoló paleokliamtológiai elemzéseket lehetővé tevő paleovegetáció tanulmányozásának egyik legfontosabb eszköze.

A szenült famaradványok elemzésénél keresztirányú, sugárirányú és érintőirányú metszetet szükséges készíteni (**207. ábra**), friss törési felület létrehozásával, és a különböző metszeteket vizsgálva meg lehet határozni az adott fajt. Ha a szenült famaradvány jó megtartású, tehát nem égett túl, ami eltüntetné a szöveti képet, a felszínt majdnem ugyanúgy lehet tanulmányozni, mint az élő fákból származó mintáknál. Erre elsősorban a negyedidőszak során felhalmozódott szenült famaradványoknál van lehetőség, ezért elsősorban a

negyedidőszaki paleohidrológiai rendszerek jellemzésére használhatjuk az anthrakotómiát, de a korai magvaspáfrányok megjelenése és fossziliái révén 440 millió évig használható ez a vizsgálati módszer.



207. ábra Létrás perforáció a vízparti paleohidrológiai rendszerben elterjedten jelentkező égerfa (*Alnus*) edényfalán (Forrás: Törőcsik, Náfrádi, Sümegei, 2015)

A paleohidrológiai célú évgűrű (dendrokronológiai) kutatásokat is az anthrakológiai elemzések közé soroljuk. Mára a nagy felbontású kormeghatározás megkerülhetetlen eszköze lett világszerte, azonban az évgűrűkben sokkal több információ lakozik, minthogy azt a kormeghatározásban érdekelt tudományágak hasznosítják. A dendrokronológia számos egyéb diszciplína alapja, melyek segítségével az egykori klimatológiai (dendroklimatológia), ökológiai (dendroökológia) és hidrológiai-paleohidrológiai (dendrohidrológia) körülmények rekonstruálhatók, de akár erdőtüzek vagy tömegmozgások nyomai is jól azonosíthatók. A tudományterület összetettsége miatt jelen e-könyv fejezet keretei között a szerzők kizárólag a dendrokronológia alapjaira, valamint annak a kormeghatározás során alkalmazott technikáira és módszereire fókuszálhatnak csak³⁷.

A tudományterület megszületését *Andrew E. Douglass* személyéhez kötik, aki karrierjét Bostonban a *Harvard College Observatory*-ban kezdte, majd 1894-től

az Arizona államban található *Lowell Astronomical Observatory* munkatársa lett. A csillagászként dolgozó Andrew E. Douglass fő kutatási területe a napfolttevékenység és annak klimatikus hatása volt. Sajnos a XIX. század második felében alig voltak megfelelő klimatikusok adatok. Így nem lehetett egyértelmű kapcsolatot megállapítani a napfolttevékenység ciklikus változása és az időjárás ingadozása között. Viszont Andrew E. Douglass egyik útja alkalmával, amikor Arizona erdőségeiben járt, megfigyelte, hogy a kivágott fenyők évgyűrűinek mintázata más szisztémát követ, mint amit korábban New England államban megfigyelt. Douglass úgy vélte, hogy ha az arizonai erdők fáinak növekedésében a rendelkezésre álló csapadék mennyisége befolyásolja az éves keresztmetszet növekedését. Ennek nyomán feltételezte, hogy a kedvezőtlen körülményekkel jellemezhető szárazabb éveket reprezentáló vékony évgyűrűk vizsgálatával lehetősége lesz egy olyan adatsort elkészíteni, melyet eredményesen felhasználhat kutatásaihoz. Recens fákon elsőként végzett dendrokronológiai vizsgálatok során rájött, hogy az azonos időben nőtt fák évgyűrűmintázatában nagyfokú hasonlóság van. Az azonos korú minták összehasonlítása volt az első lépés a keresztmetszet alkalmazására az évgyűrűkutatásban, azonban első gyakorlati alkalmazása csak 1904-ben történt meg. Ekkor egy kidőlt fatörzs évgyűrűinek vizsgálatával és a keresztmetszet segítségével megállapította a fa kivágásának pontos dátumát. Ez utóbbi technikát korábban már alkalmazta indián moudok felszínén található fák elemzésénél *Thomas Jefferson* is, aki kiváló régészeti, geoarcheológiai, dendrológiai kutatási mellett az Amerikai Egyesült Államok harmadik elnöke is volt. A keresztmetszet az évgyűrűkutatás legfontosabb alapelve lett, mivel a vizsgálatok azt mutatták, ha két, vagy több fa életének valamely periódusa egybeesik, akkor évgyűrűgörbéik lefutása is hasonló lesz. Ezzel a technikával Andrew E. Douglass 1914-re felállított egy 500 éves amerikai sárgafenyő (*Pinus ponderosa*) mesterkronológiát.

Douglass két megállapítást tett a felfedezését illetően:

1./ A keresztdataálás fontos eszköze lehet a kormeghatározási módszereknek, azáltal, hogy a minta, melyben az évgyűrűk vastagsága változik, kijelöli a pontos naptári éveket. Ehhez vagy a legkülső (legutolsó) évgyűrű keletkezési évét kell pontosan ismerni, vagy sikeresen be kell illeszteni az évgyűrűgörbét egy már korábban létrehozott kronológiába.

2./Megjegyzi továbbá, hogy maga az évgyűrűminta az adott év környezeti körülményeinek lenyomata, így azok nagy pontossággal tanulmányozhatók általa. Bár kutatásainak fókuszpontjában továbbra is a klíma és a napfolttevékenység álltak, a *North American Museum of Natural History* egyik antropológusának felkérésének eleget téve figyelme rövid időre a régészet felé fordult. Egy hatalmas Új-Mexico állmbeli prekolumbiai indián romban talált hat törzs keresztdataálását végezte el, mely során felállított egy 139 év hosszúságú kronológiát, azonban mivel nem tudta beilleszteni az arizonai görbéibe, nem tudott abszolút kort rendelni hozzá. Így csak egy ún. „lebegőkronológiát” alakított ki, abszolút kronológiai adatok nélkül. Néhány évvel később újabb régészeti faanyagot kapott, a *Chaco Canyonból*. Itt sikerült elkészítenie egy 100 éves kronológiát, melyet keresztdataálni tudott a korábbi régészeti famintákkal. Munkája nyomán kiderült, hogy a Chaco Canyonban található település építése 40 évvel korábban zajlott, mint az új-mexikói romoké. Bár még mindig csak relatív lebegő kronológiát tudott kialakítani, mégis kiemelkedő adatokat szolgáltatott a régészek számára, mivel ez volt az első precízen meghatározott időbeli kapcsolat a prehisztorikus prekolumbián települések (pueblok) között. Andrew E. Douglass kutatási eredményei nyomán a régészet és paleoklimatológiai, közte paleohidrológiai célú kutatás az évgyűrűkutatás felé fordult. Hatalmas ásatásokat szerveztek a kihalt, elhagyott prekolumbián pueblok területén, gerendákat emeltek ki és dendrokronológiai módszerekkel megvizsgálták azokat, majd 1928-ban sikerült létrehozni egy majd 600 éves, immáron abszolút kronológiát. Douglass neve ekkorra már összefonódott a dendrokronológiával, és így alapvető hatással volt az

éves/féléves felbontású paleoklimatológiai–paleohidrológiai kutatásban. 1953-tól viszont a dendrokronológia megalapítója visszatért eredeti nyomvonalához, a klímához és a napfoltokhoz, melyet haláláig nem is hagyott el. A XX. évszázad második felére ez az új tudományos megközelítés elérte Európát is, ahol elsőként *Bruno Hubert* német kutató alkalmazta, mára pedig a világ minden pontján alkalmazott paleoklimatológiai–paleohidrológiai megközelítés lett.

Bár a magyarországi kormeghatározással kapcsolatos évgyűrűkutatás *Szabó Zoltán* (1940- 2003) munkásságával vette kezdetét, de a paleohidrológiai célú dendrokronológiai elemzéseket *Horváth Emil* hidrológeológus–hidrológus mérnök vezette be a fák évgyűrűinek a Vértes hegységben végzett kutatásaihoz. 2004-ben egy cikk keretében összefoglalta 25 éves kutatásának eredményeit, melyek 24 darab, főként a Vértes területéről, valamint 17 darab Debrecenből származó famintán alapultak. *Horváth Emil* a Dunántúl északi részére vonatkozó, és 1559–1993 közötti időintervallumra terjedő dendrokronológiát állított össze. Munkája mind a mai napig a legteljesebb paleohidrológiai értelmezésű dendrokrológiai adatsor Magyarországon³⁸.

*Az évgyűrűk vizsgálatának módszertana*³⁹

Mivel az évgyűrűk kialakulása elsősorban a vaszkuláris kambium szakaszos működésének eredménye, így a mérsékelt égövi fákra jellemzőek, ezért ebben a klímaregiónban használható fel a dendrokronológiai elemzés módszere. A téli időszakban nem működik a kambium, a fa törzsének osztódó szövete, így a tenyészidőszak csak a tavaszi, mikor az újra kialakuló lombkorona (fenyők esetében az újabb hajtások) nagymértékű vízigénye miatt ritkább, nagyméretű szállítóedények keletkeznek. Az évgyűrűk a szár keresztmetszetében koncentrikus körök, melyek segítségével akár egy egyszerű számolás útján megállapítható, hogy a fa hány tenyészidőt élt át, vagyis hány éves.

A gyűrűk növekedési tulajdonságai rendkívül változékonyak, szélességüket több tényező egymásra gyakorolt hatása alakítja ki: *belső* tényezőkként említhetőek a fák azon genetikai sajátosságai, melyek fajtól függően befolyásolják növekedési ütemüket. Ezek közül legfontosabb a fiatal korban intenzívebb fejlődési ritmus, mely a legtöbb fajra jellemző, és nagy körütekintést igényel az adatok feldolgozása során. Kiemelkedő tényezőket alkotnak a *külső* faktorok, melyek lehetnek éghajlati (fény, hőmérséklet, csapadék), időjárási (tavaszi

fagy, szárazság, szél), termőhelyi (tápanyagtartalom, kitettség, kártevők, légnedvesség), valamint Földön kívüli (napfolttevékenység) jellegűek. Ide tartoznak még a természeti katasztrófák (vulkánkitörés, erdőtűz, lavina, földrengés) hatására bekövetkező változások is, melyek nyomai egyértelműen leolvashatók az évgyűrűk szerkezetében és kifejlődésében. Fontos megemlíteni, hogy extrém külső körülmények hatására (pl. szárazság) kialakulhatnak a természetestől eltérő évgyűrű szerkezeti jegyek is. Legjellemzőbb a korábban álévgyűrűnek, manapság inkább éven belüli sejtsűrűség ingadozásnak nevezett jelenség, valamint a lokálisan, vagy akár a törzs teljes keresztmetszetéből hiányzó évgyűrűk. Előbbi marker jellegéből adódóan megkönnyítheti a keresztmetszetet, azonban morfológiája révén rendkívül megnehezítheti az évgyűrűsége helyes lemérését, ugyanis sok esetben a sejtsűrűség ingadozás határát nehéz megkülönböztetni az évgyűrű valós határától, melyet a kései pászta vége jelöl ki.

Dendrokronológia felállítása során alapvető, hogy egy pontos kezdődátummal rendelkező évgyűrűsossal rendelkezünk, mivel ez a keresztmetszet kezdeti pontját adja majd meg. Erre legalkalmasabbak az élő fákból kiemelt minták, melyek utolsó évgyűrűje a mintavétel évét fogja megadni. Élő fákból történő mintavétel esetén kerülni kell az olyan fákat, ahol a természetestől eltérő fényviszonyok fejlődése alatt a túlzott sűrűség miatti törzsi torzulások, szélsőséges szélviszonyok, vagy a lejtőn történő növekedés eredményeképp bekövetkezett mechanikai torzulások érik. Természetesen a paleohidrológiai vizsgálatra felhasznált fosszilis fatörzsek elemzésénél ezeket a torzulásokat is felhasználhatjuk az extrém környezet lehatárolásához, de olyan válogatás, mint amit a recens mintáknál megvalósíthatunk, nem tudunk megoldani egykoron élt és különböző módon fosszilizálódott, fennmaradt fatörzseken. A fúrásos mintavétel során az élő fákból egy körülbelül ceruza vastagságú furat kerül kiemelésre, erre a célra kialakított kézi növedékfúróval. A fúrást az évgyűrűkre merőlegesen kell elvégezni, lehetőség szerint mellmagasságban. A furatot kiemelése után egy tartóelemre kell rögzíteni (pl. celluluszal), majd precízen feljegyezni minden olyan adatot, melyre a későbbiekben az értékelés során szükség lehet a faminták azonosításánál és felhasználásánál. Így a fa rendszertani besorolását, pontos koordinátáit – lehetőség szerint GPS műszerrel, a törzs kerületét, a fa magasságát, és érdemes fényképes dokumentációt is készíteni. Bár a recens, de nem élő mintákhoz tartoznak a kidőlt, vagy kivágott fák is, melyek állapotuktól függően rendkívül hasznos információt szolgáltathatnak, ugyanis jellemzően korong levágásával kerülnek mintázásra, melynek nagy előnye a furattal szemben, hogy a törzs teljes keresztmetszetét, az évgyűrűmintázat hiánytalan alakotani elemzését teszi lehetővé.

A régészeti ásatásokon kiemelt faanyag sok esetben erősen nedves, vagy már vízzel telítődött. Ilyenkor alapvető fontosságú a lelet nedvességének megőrzése, ugyanis a száradás során erős deformáció következik be a kapillárisokban fellépő erőhatások miatt, ami a minta szerkezetének gyengüléséhez vagy teljes széteséséhez vezethet, mely lehetetlenné teszi a későbbi évgyűrűvizsgálatokat. Legjobb megoldás, ha a fatest az óvatos kiemelést követően zárható, vízzel teli edénybe, vagy nylon zsákba kerül a konzerválás megkezdéséig. A mintavétel csak az után kezdődhet meg, hogy a fatest megfelelő állapotba került.

Száraz faleletek esetén lehetőség van a később vizsgálni kívánt minta helybeni, *in-situ* levételére is korong formában. Fontos azonban, hogy az ilyen minták is megfelelő védelmet kapjanak az esetleges károsodásokkal szemben. Gyakran használt módszer, hogy a mintát a vizsgálatra való előkészítésig fagyasztva tárolják, így szilárdítva azt, valamint megelőzve a különböző biológiai károkat (pl. gombák megtelepedését és pusztítását).

Mivel a dendrokronológiai vizsgálatok alapja az évgyűrűszélességek pontos meghatározása, mintaelőkészítés során alapvető fontosságú az évgyűrűhatárok lehető legtökéletesebb megjelenítése. Ez általában két módszerrel történik: pengével, vagy más éles vágóeszközzel egyszerűen levágják a furat felső részét, így friss felületet teremtenek melyen az évgyűrűk már jól kirajzolódnak (ezt természetesen csak furatok esetében alkalmazzák), vagy folyamatosan finomodó csiszolópapír sor segítségével lecsiszolják (**208. ábra**). Így a kézi csiszolással elérhető egy egységesen vízszintes felületet, bár a munka nehéz és időigénye. A munka során a csiszolópapír sort lehetőség szerint érdemes addig finomítani, amíg egy rendkívül sima, szinte üvegszerűen tükröződő felület nem jön létre (**208. ábra**).

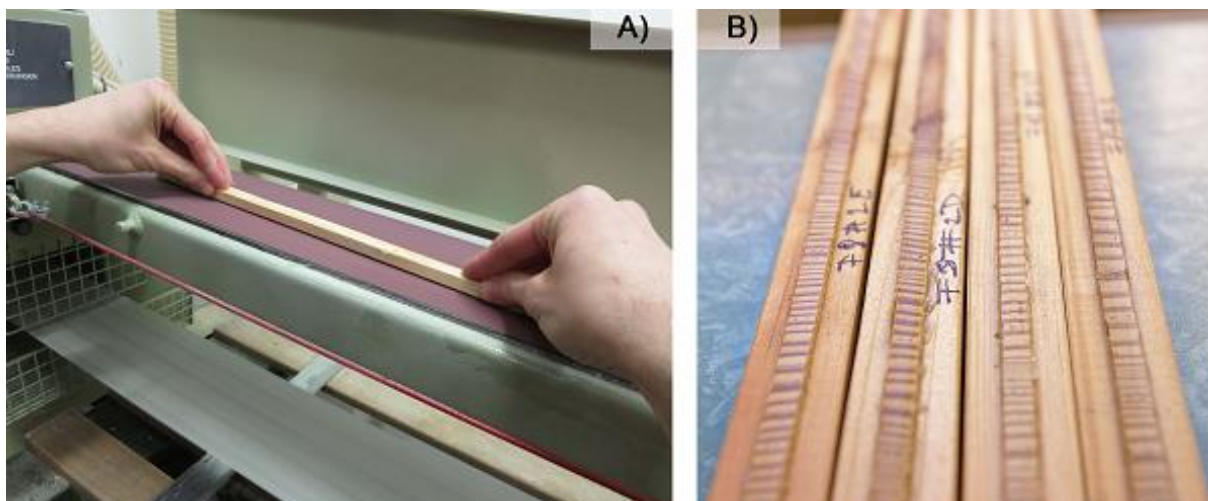
Az előkészítés után következik az évgyűrűszélességek lemérése⁴⁰.

On-screen mintafeldolgozás esetén a lesimított furatot egy magas képfelbontású (1200 dpi vagy ez feletti felbontást biztosító) szkennel segítségével digitalizálják. Majd az így kapott digitális képen végzzük el a méréseket az alkalmazott szoftver megfelelő kalibrálása után. A munkafolyamat során lehetőség van egyszerű képanalitikai programok (pl. ImageJ), vagy kifejezetten az évgyűrűkutatás számára kifejlesztett alkalmazások (pl. WinDendro), de akár geoinformatikai szoftverek (pl. ArcView) használatára is. A módszer előnye, hogy mikroszkóp nélkül is lehetőséget biztosít évgyűrűszélesség mérésre, azonban hátránya, hogy nagyméretű minták esetén erősen korlátozott a szkennelés lehetősége.

Az elterjedtebb *off-screen* módszer egy speciálisan kialakított binokuláris mikroszkóppal történik (pl.: Rinntech Lintab 6). Az eszköz különlegessége a vízszintesen mozgatható tárgyasztal, melynek minden elmozdulását 0,001 mm pontosan képes a mikroszkóp érzékelni, és azt a hozzá USB porton keresztül csatlakozó számítógépen rögzíteni. A keresztdatalás

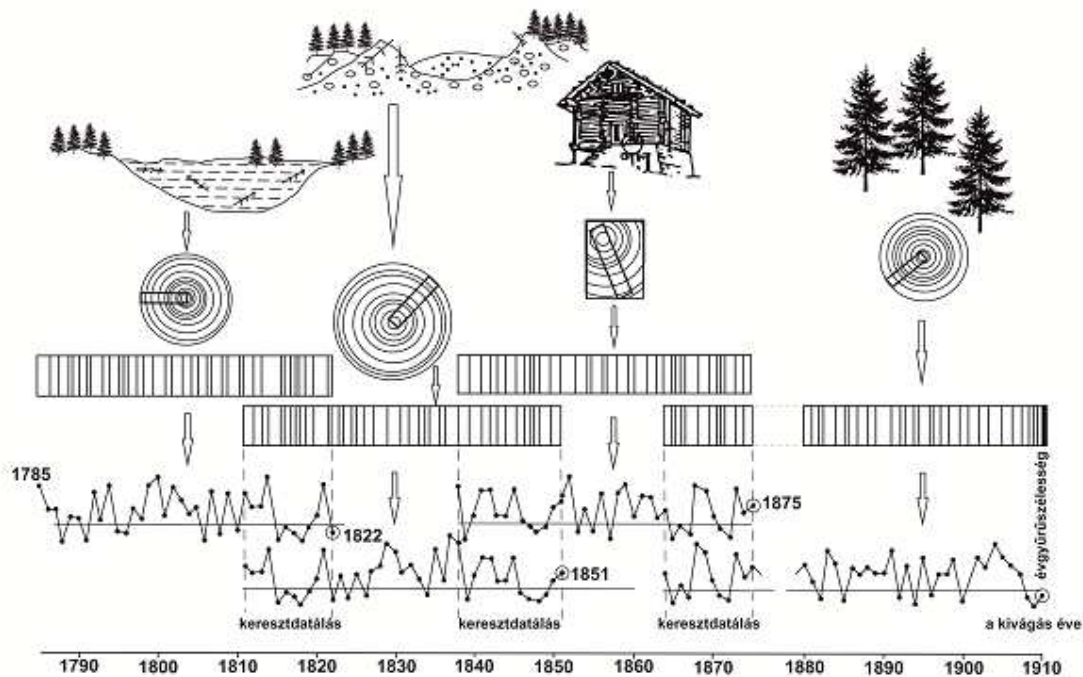
segítségével hozhatók létre azok a hosszú idősorok, melyek a későbbiekben az adott területen lévő évgyűrűs kormeghatározás alapját fogják jelenteni. A művelet során meg kell keresni azokat a mintákat, melyeknek van közös periódusa, amelyek összeilleszthetőek. Mivel a később felépíteni kívánt évgyűrű kronológia szempontjából rendkívül fontos, hogy az átfedő időszakok helyesen legyenek megállapítva, a laboratóriumok egy jellemzően három lépcsős műveletsort alkalmaznak a munka során, mely a következő elemekből áll: vizuális egyezés keresés, statisztikai alapú illeszkedésvizsgálat, replikáció. A keresztdatálás első lépésében az évgyűrűmintázatok alapján elkészített évgyűrűszélesség görbék makroszkopikus korrelációja történik. Mivel még az egy azon területen növekedett fák évgyűrűi sem fognak teljesen megegyezni, ezért úgynevezett marker gyűrűket keresnek. Ezek olyan kiugró értékekkel jellemezhető évgyűrűk, melyek valamilyen extrém külső körülményhez kapcsolódnak, amelyek regionális kifejlődésűek lehetnek. Ilyen lehet például egy vagy több évig tartó komoly csapadék mennyiség, mely a szokásostól vastagabbévgyűrűkkel fog megjelenni a mintában. Ha a marker évgyűrűk összepárosíthatók, akkor az előttük és az utánuk lévő időszak növekedési trendjét is meg kell vizsgálni, hogy teljes biztonsággal kijelenthető legyen, ugyanazon években képződött évgyűrűkről van szó. A vizuális megközelítést követően a számítógépes statisztikai vizsgálat során egy program kiszámolja, majd egy korrelációs összefüggésben megadja az átfedő időszakok kapcsolati szintjét, úgy, hogy minden egyes változást megvizsgál a közös periódusban, valamint tekintettel van az évgyűrűszélesség változásának szélességére, és az évgyűrűgörbe lefutási irányának évről-évre való változására. Kétségtelen, hogy a statisztikai számításokon alapuló számítógépes módszer nagy precizitással képes megadni az átfedő időszakok pontos helyét, azonban minden illesztést ellenőrizni kell! Ennek egyik módja a korábban ismertetett vizuális módszer, a másik pedig egy úgynevezett replikáció. A módszer lényege, hogy ha egy adott periódust több évgyűrűgörbe is lefed (A, B, C, D) akkor amennyiben C illeszkedik A-val, B-vel és D-vel is illeszkednie kell. Hasonlóképpen, ha D illeszkedik A-val és C-vel, akkor B-vel is illeszkednie kell. Amennyiben akár csak egy esetben hibás illeszkedés tapasztalható, a keresztdatálást az adott szakaszon meg kell ismételni.

A keresztdatálás során egyes laborok elvégzik az évgyűrűgörbék standardizálását is, mely során kiszűrjük a fák növekedési tulajdonságaiból adódóan az évgyűrűszélességekbe kódolt trendet, ezzel egy index adatsort kapva, ami alapján már elsősorban a klimatikus viszonyok által meghatározott görbe rajzolódik ki. Ezzel a művelettel az esetleges marker jegyek (pl. szokatlanul vékony évgyűrűk) vizsgálata és helyes illesztése megkönnyíthető.



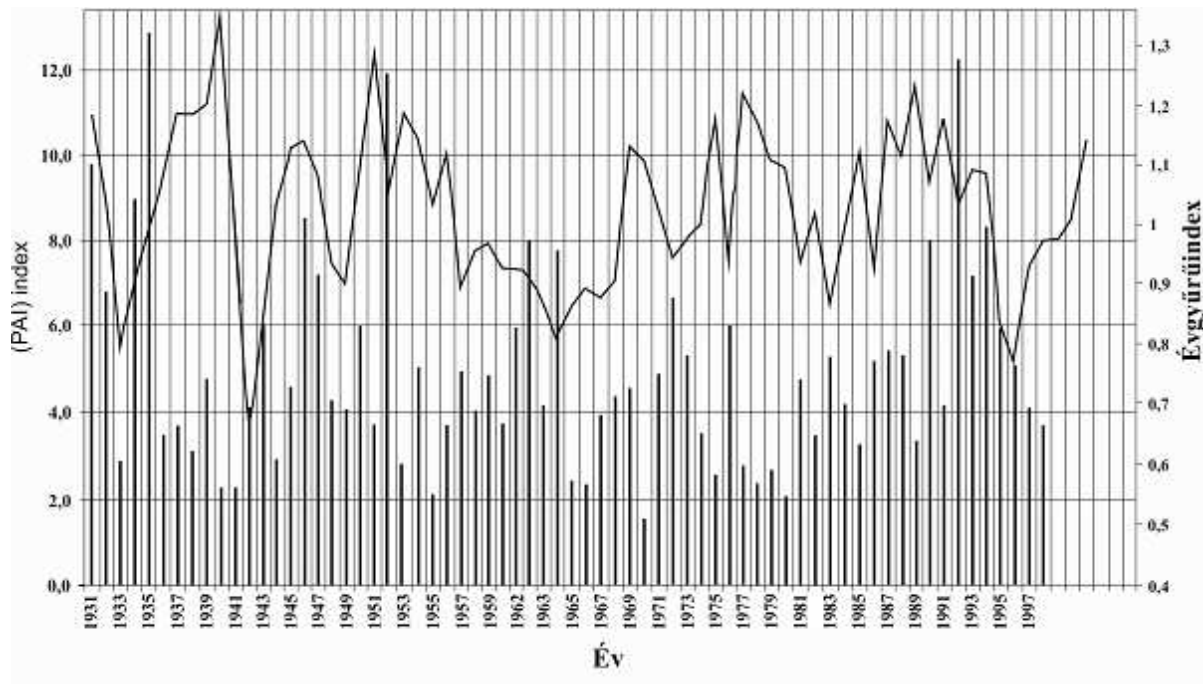
208. ábra Csiszolásos évgűrű minta előkészítés (A) és az eredményeként létrejövő vizsgálati felület (B) (Forrás: Törőcsik, Náfrádi, Sümegi, 2015)

A dendrokronológiai kormeghatározás alapfeltétele a *mesterkronológia* megléte, amelybe a korbesorolásra feltárt faminták évgűrűgörbéit illesztjük. Egy ilyen kronológia a különböző fa minták keresztadatálásával (**209. ábra**) alakítható ki, és a mintavételi területének kiterjedése nyomán lehet lokális vagy regionális érvényű. Előnye ennek a megközelítésnek, hogy több egyednek, különböző kiterjedésű mintaterületnek, régióknak az évgűrű információit hordozza magában, ezért egy általánosabb más kronológiákkal könnyebben összehasonlítható adatsort ad⁴¹.



209. ábra Keresztadatálás sematikus ábrája (Schweingruber 1993 nyomán magyarra fordítva, átrajzolva és módosítva)

A mesterkronológiai kialakításának legelterjedtebb módszere az egyes fákból származó évgűrűa mintáinak a kereszt-kronológiai követő átlagolása. Ezt úgy érik el, hogy a vizsgálat alá vont évben keletkezett évgűrűk szélességei adatait összeadják, majd elosztásra kerülnek az adott évben jelentkező minták számával. Miután a mesterkronológia elkészült, az adott régióbl származó minták összehasonlíthatóvá válnak és ennek nyomán korolhatóak lesznek. Ugyanis a mesterkronológia révén a feltárt és összehasonlításra váró évgűrű idősor minden egyes évgűrűjéhez pontos, naptári év párosítható az adott régióban a felállított tisztázott korú mesterkronológia alapján. A jelenleg Európában a leghosszabb évgűrűkronológia egy speciális, tölgy-fenyő kombinált idősor, melyet német és svájci kutatók állítottak fel. Több éves munkájuk eredményeként készült az 12 460 évet, tehát a teljes holocént lefedő ún. „Hohenheim kronológia”.



210. ábra Aszályossági index és évgyűrű index összehasonlító elemzése a debreceni éghajlati állomás és debreceni Nagyerdő tölgyfáinak elemzése nyomán (Horváth Emil, 2004: Hidrológiai Közlöny, 84/2, 48-56 - átrajzolva)

Az évgyűrű elemzések paleohidrológiai felhasználására a legkiválóbb példát Horváth Emil hidrológus mérnök–hidrogeológus munkája nyomán 2004-ben publikált adatsorok és értelmezések jelentik a Kárpát-medencében (Hidrológiai Közlöny, 84/2, 48-56). Ezen cikk nyomán ismertetjük az eredményeket mi is. A szerző dendrokronológiai oldalról megerősítette a korábban már geológusok és paleontológusok által publikált felismeréseket, hogy a Kárpát-medence környezeti mozaikossága következtében a dendrokronológiai eredmények és azok paleohidrológiai értékelése térben lehatárolt, mikrokörnyezeti mozaikosság által meghatározott. Rámutatott a lokális csapadékbevétel és a lokális évgyűrű mintázat szoros összefüggésére és ennek nyomán változó paleohidrológiai mintázatra mind a dunántúli, mind az alföldi területeken (210. ábra)⁴².

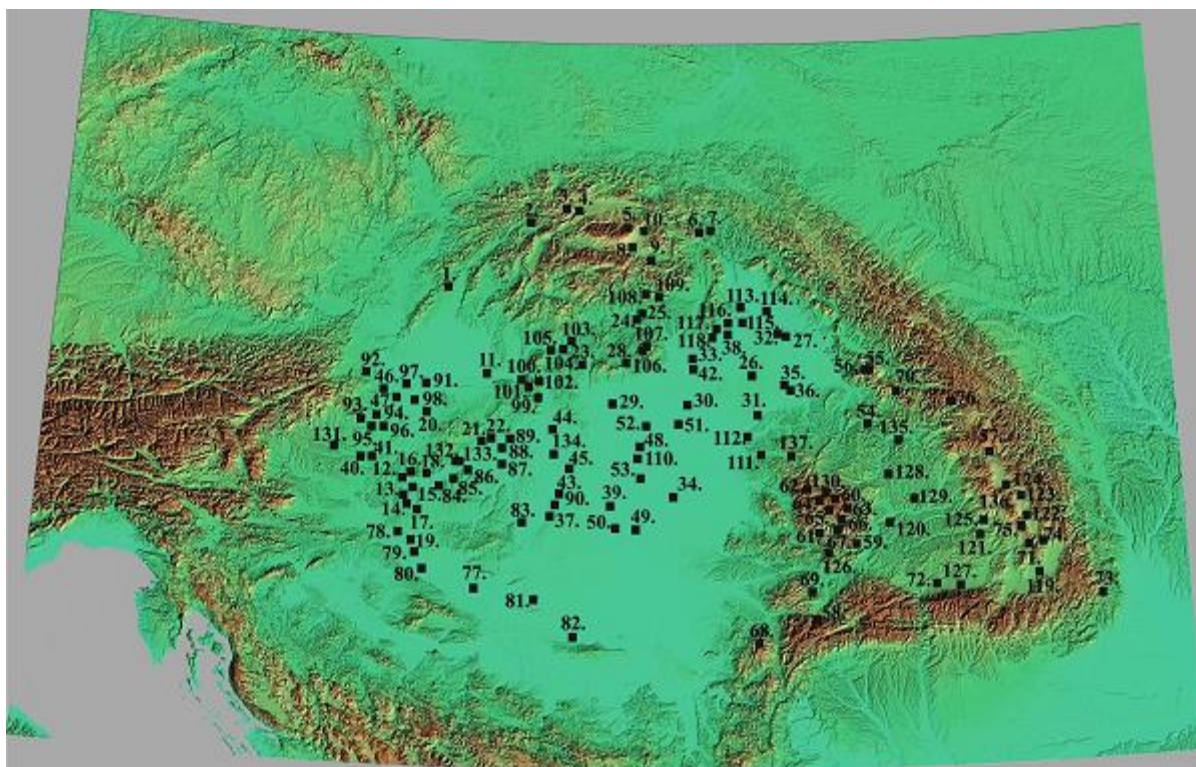
Teljesen elfogadhatóak az aktuálgeológiai és paleobiológiai vizsgálatok nyomán a Balatonra vonatkozó dendrokronológiai alapú paleohidrológiai elemzése, az 1850-es évekre visszanyúló rekonstrukciói. A különböző régészeti – történelmi lelőhelyekről előkerülő faanyag alapján készített XVIII. és XVI. századi

visszamenő dendrológiai alapú csapadék mennyiségére és menetére vonatkozó rekonstrukciókat is teljes mértékben alátámasztották azóta elvégzett vizsgálatok. Így *Horváth Emil* dendrokronológiai alapú paleohidrológiai munkái kiváló alapot alkotnak napjainkban végzett magyarországi paleohidrológiai kutatásokhoz, éves felbontású, de utolsó 500 évet átfogó csapadék és környezeti rekonstrukciókhoz.

A szegedi Földtani és Őslénytani Tanszék a komplex vizsgálatokhoz 137 db radiokarbon mérésekkel korolt, azonos fúrástechnikával kinyert és azonos módon feldolgozott rendelkezésre álló szelvényből (211. ábra).

87 szelvényt alakítottunk ki és dolgoztunk fel komplex és integrált paleohidrológiai módszerrel az elmúlt 20 év során. Ehhez kapcsolhatjuk *Katherine Jane Willis* cambridgei, majd oxfordi, illetve *Keith David Bennett* cambridgei, lundi, majd belfasti professzorokkal közösen végzett alapvető paleohidrológiai tanulmányokat is a Kárpát-medencében 1995 és 2000 között. Ezt követően *Sümegei Pál* tanítványai (*Braun Mihály, Rudner Edina Zita, Magyarai Enikő, Jakab Gusztáv, Molnár Sándor, Gulyás Sándor, Náfrádi Katalin, Molnár Sándor*) végeztek még jelentős paleohidrológiai munkákat önállóan mind Magyarországon, mind Erdélyben, így együtt 99 kárpát-medencei feldolgozott pollenszelvény kötődik a szegedi Földtani és Őslénytani Tanszék munkájához, a többi szelvényt külföldi kutatók publikált munkájából vettük át.

Makrobotanikai adatbázist is készítettük már a Kárpát-medencére vonatkozóan. A hazai feldolgozások döntően az első szerző, *Sümegei Pál* PhD hallgatójához, a ma már intézetvezető docensként dolgozó Dr. *Jakab Gusztáv* munkáihoz kötődnek, de az erdélyi lapterületeken dolgozó lengyel paleobotanikus kutatók munkássága is kiemelkedő ezen a téren. Csak úgy, mint *Torma Andrea* szegedi PhD hallgató napjainkban végzett ilyen irányú munkássága.



211. ábra Kárpát-medencei pollenadatbázis (Forrás: Törőcsik, Sümegi, 2019)

1 = Tlstá Hora, Biele Karpaty, Slovakia, 2 = Kubříková, Západné Beskydy, Slovakia, 3 = Dolina Zlatného potoka, Podbeskydská brázda, Slovakia, 4 = Bobrov, Oravská kotlina, Slovakia, 138 = Trojrohé pleso, Tatra Mts, Slovakia, 5 = Regetovka, Busov, Slovakia, 6 = Kružlová, Ondavská vrchovina, Slovakia, 7 = Hozelec, Popradská kotlina, Slovakia, 8 = Šafárka, Volovské vrchy, Slovakia, 9 = Sivárňa Spišská Magura, Slovakia, 10 = Popradcké pleso, Štrebké pleso, Mts, Slovakia, 11 = Parížske, Slovakia, 12 = Alsópáhok, Kis-Balaton, Hungary, Fenékpusztá, Kis-Balaton, Hungary, 13 = Zalavár 1, Kis-Balaton, Hungary, 14 = Zalavár 2, Kis-Balaton, Hungary, 15 = Keszthely – Úsztatómajor, Kis-Balaton, Hungary, 16 = Főnyed, Kis-Balaton, Hungary, 17 = Vörs, Kis-Balaton, Hungary, 18 = Balatonederics, Balaton, Hungary, 19 = Baláta-tó, Kaszó, Hungary, 20 = Szélmező, Mezőlak, Hungary, 21 = Sárrét, Nádasdladány, Hungary, 22 = Sárrét, Sárkeszi, Hungary, 23 = Nádas-tó, Nagybárcány, Hungary, 24 = Kis-Mohos, Kelemér, Hungary, 25 = Nagy-Mohos, Kelemér, Hungary, 26 = Nagy Mohos, Kállósemjén, Hungary, 27 = Nyíres, Csaroda, Hungary, 28 = Nyírjes, Sirok, Hungary, 29 = Meggyes-erdő, Jászberény, Hungary, 30 = Zám, Halasfenék, Hungary, 31 = Töviskes meder, Pocsaj, Hungary, 32 = Báb-tava, Csaroda, Hungary, 33 = Sarló-hát, Tiszagyulaháza, Hungary, 34 = Fehér – tó, Kardoskút, Hungary, 35 = Bátorliget, marsh, Hungary, 36 = Bátorliget, marshside profile, Hungary, 37 = Vörös-mocsár I. core profile, Császártöltés, Hungary, 38 = = Tisza paleochannel, Tiszacsermely, Hungary, 39 = protected freshwater carbonate profile, Csólyospálos, Hungary, 40 = peat-bog, Szőce, Hungary, 41 = peat-bog, Farkasfa, Hungary, 42 = Tisza

paleochannel, Polgár, Hungary, 43 = Vörös-mocsár II. core-profile, Császártöltés, Hungary, 44 = Selyemrét, Ócsa, Hungary, 45 = Kaszálók, Hajós, Hungary, 46 = Fertő-tó, Hidegség, Hungary, 47 = peat-mine, Osló, Hungary, 48 = Rokkantföldek, Rákóczifalva, Hungary, 49 = Pana, Maroslele, Hungary, 50 = Maty-ér, Szeged, Hungary, 51 = Kunkápolnás, Nagyiván, Hungary, 52 = Tisza paleochannel, Tiszapüspöki, Hungary, 53 = Tisza paleochannel, Tiszaalpár, Hungary, 54 = Turbuta, Transylvanian Basin, Romania, 55 = Preluca Tiganului, Gutaiului Mts, Romania, 56 = Steregoiu, Gutaiului Mts, Romania, 57 = Iezerul Caliman, Caliman Mts, Romania, 58 = Taul dintre Brazi, Retezat Mts, Romania, 59 = Ic Ponor, Apuseni Mts, Romania, 60 = Padis Ponor I, Apuseni Mts, Romania, 61 = Padis Ponor II, Apuseni Mts, Romania, 62 = Padis Plateau, Apuseni Mts, Romania, 63 = Bergerie, Apuseni Mts, Romania, 64 = Capatana, Apuseni Mts, Romania, 65 = Molhasul Mare, Apuseni Mts, Romania, 66 = Calineasa, Apuseni Mts, Romania, 67 = Pietrele Onachii, Apuseni Mts, Romania, 68 = Taul Zanogutii, Apuseni Mts, Romania, 69 = Semenice, Banat Mts, Romania, 70 = Pesteană, Poiana Rusca Mts, Romania, 71 = St Anna, Harghita Mts, Romania, 72 = Avrig-1, Fagaras basin, Romania, 73 = Bisoca, Curbura, Romania, 74 = Mohos, Harghita Mts, Romania, 75 = Luci, Harghita Mts, Romania, 76 = Poiana Stiol 3, Rodnei Mts, Romania, 77 = Drava paleochannel, Drávaszabolcs, Hungary, 78 = Lankóczi forest, Berzence, 79 = Drava paleochannel, Barcs, 80 = Drava paleochannel, Drávatamás, 81 = Danube paleochannel, Draž, Croatia, 82 = Danube paleochannel, Novi Sad, Serbia, 83 = Batta channel, Decs - Ete, Hungary, 84 = Balaton, Balatonkeresztúr, Hungary, 85 = Balaton, Balatonboglár, Hungary, 86 = Balaton, Zamárdi, Hungary, 87 = Sárvíz, Soponya, Hungary, 88 = Sárvíz, Sárszentmihály, Hungary, 89 = Nádas-tó, Gárdony, Hungary, 90 = Kaszálók, Hajós, Hungary, 91 = Országút felőli dűlő, Rábapatona, Hungary, 92 = Malom-tó, Sopron, Hungary, 93 = Égeres, Velem, Hungary, 94 = Borzó-patak, Zanat, Hungary, 95 = Surány - patak, Nemesböd, Hungary, 96 = Hosszú völgy, Vát, Hungary, 97 = Fehér-tó, Fehértó, Hungary, 98 = Barbacsi tó, Barbacs, Hungary, 99 = peat-bog, Csikóvár, Hungary, 100 = Búbánat völgy, Esztergom, Hungary, 101 = Dera - patak, Pilisszentkereszt, Hungary, 102 = Sirbik domb, Visegrád, Hungary, 103 = Ménes - patak, Karancsság, Hungary, 104 = Várkert, Szécsény, Hungary, 105 = Nagy tó, Ipolyszög, Hungary, 106 = Petény cave, Peskő, Hungary, 107 = Rejtek, Répáshuta, Hungary, 108 = Aggtelek tó, Aggtelek, Hungary, 109 = Martonyi völgy, Martonyi, Hungary, 110 = Bivaly - tó, Rákóczifalva, Hungary, 111 = Bai 1 Mai, Haiu, Romania, 112 = Daru mocsár, Bagamér, Hungary, 113 = paleochannel, Karos, Hungary, 114 = Latorca paleochannel, Szirénfalva, Ukraina, 115 = paleochannel, Pallagcsa, Hungary, 116 = paleochannel, Karcsa, Hungary, 117 = paleochannel, Viss, Hungary, 118 = paleochannel, Zalkod, Hungary, 119 = Nyír, Reci, Romania, 120 = Băgău, Tăul fără fund, Romania, 121 = Kerek tó, Sânpau, Hungary, 122 = Mlastina Csemő, Vrabia, Romania, 123 = Mănăstirea franciscanilor, Șumuleu Ciuc, Romania, 124 = Mlaștină, Delnița,

Romania , 125 = marshland, Comănești, Romania, 126 = Turbaria Calul de Piatra, Bistra, Romania, 127 = Mlaștina eutrofă de la Hărman, Hărman, Romania, 128 = Mures, paleochannel, Sâncraiu de Mureș, Romania, 129 = Lacul Racului/Rat, Sec, Romania, 130 = Padiș Ponor II, Apuseni Mt, Romania, 131 = Rohr – Heugraben, Austria, 132 = Tihany, Külső-tó I, Hungary, 133 = Tihany, Külső-tó II., Hungary, 134 = Dunai – holtág, Tököl, Hungary, 135 = Măguruci cave, Răstoci, Romania, 136 = Uver mlaștină, Racu, Romania, 137 = Mlaștina de la Iaz, Plopiș, Romania

Ellenőrző kérdések:

12.1. Mutassa be a paleohidrológiai mintavételi stratégiát.

12.2. Milyen anyagmennyiséget gyűjtünk be makrobotanikai elemzéshez feltárásból Mutassa be a makrobotanikai vizsgálat menetét.

12.4. Milyen anyagokat vizsgálunk a makrobotanikai elemzések során?

12.5. Mi az a flotáció és hogyan használható fel a paleohidrológiai elemzésnél?

12.6. Mik azok a fitolitok?

12.7. Hogyan használhatók fel a fitolitok a paleohidrológiai elemzéseknél?

12.8. Mutassa be a floridai esztuárium paleohidrológiai vizsgálatának, benne a fitolit vizsgálat eredményeit.

12.9. Mutassa be az új-zélandi Poukawa-tó paleohidrológiai vizsgálatának, benne a fitolit vizsgálat eredményeit.

12.10. Mutassa be a balatonedericsi zavartalan magfűrész paleohidrológiai vizsgálatának, benne a fitolit vizsgálat eredményeit.

12.11. Mik azok a pollenek? Mik azok a spórák?

12.13. Hogyan használhatók fel a pollenek és spórák a paleohidrológiai elemzésnél?

12.14. Mutassa be milyen tényezők határozzák meg a pollenek felhalmozódását.

12.15. Mutassa be a pollenfeltárás menetét.

12.16. Mi az a Lycopodiumos pollenfeltárás?

12.17. Mi az a pollen/spóraszám minimum?

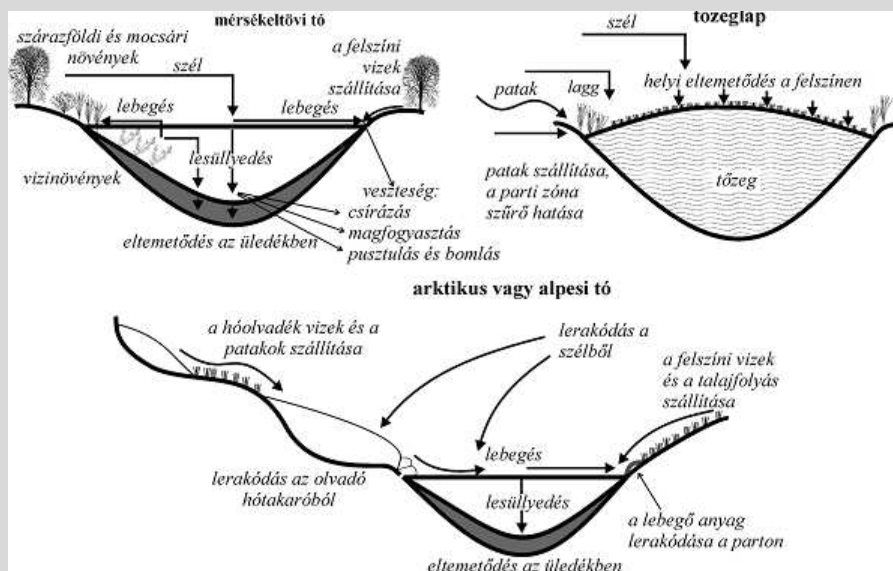
12.18. Hogyan határozzuk meg a pernyekoncentrációt?

12.19. Hogyan, milyen módon mutatjuk be a pollenvizsgálat eredményeit?

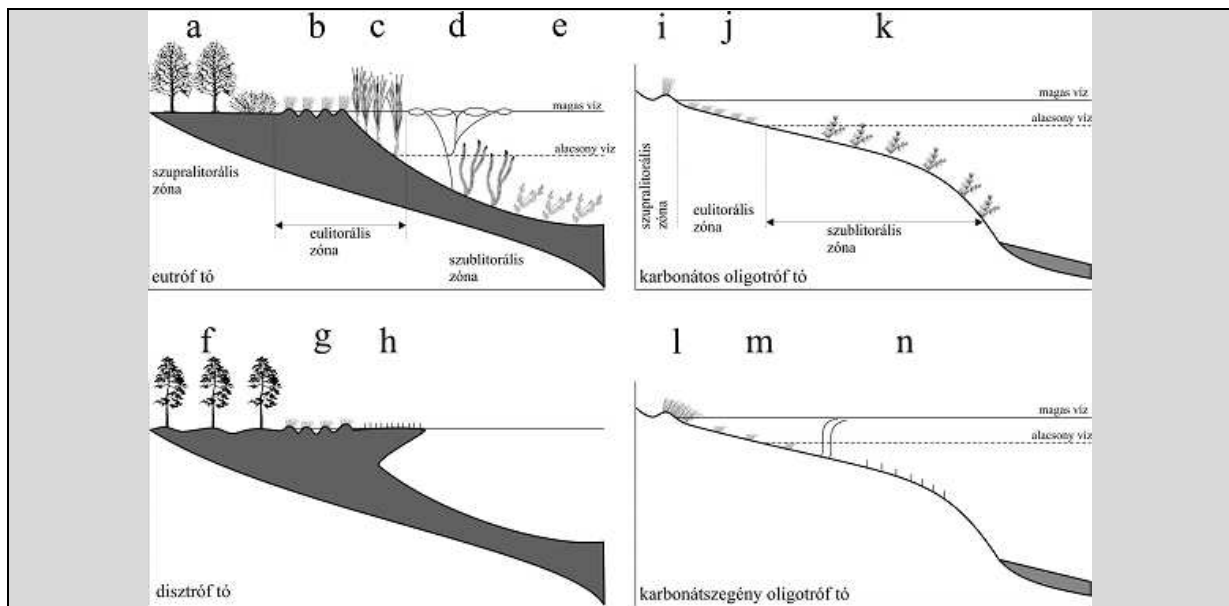
- 12.20. Mi az anthrakológia és mi a szerepe a paleohidrológiai elemzésben?
- 12.21. Milyen képződményekben halmozódnak fel a szenült fák?
- 12.22. Mit nevezünk „ugró távolság” (skip distance)-nak?
- 12.23. Mi a háttér és mi a csúcs komponens?
- 12.24. Mi a dendrokronológia és hogyan használjuk a paleohidrológiai elemzésnél?
- 12.25. Mi az a keresztdataálási módszer? Mi a történeti elv?
- 12.26. Mi az a lebegő kronológia? Mi az a mesterkronológia?
- 12.28. Hogyan veszünk recens fából dendrokronológiai mintát?

Esettanulmány 4.

A pollenanalitikai és makrobotanikai összehasonlítást két lápterületen (nagybárányai Nádas-tó tőzegmohás lápterülete, császártöltési Vörös-mocsár) alakítottuk ki és mutatjuk be paleohidrológiai elemzési példaként. Azért mutatunk be két lápi szelvényt mivel ezek a limnikus üledékgyűjtő rendszerek rendkívül változatosak (212. ábra) az üledékgyűjtő eredete, mérete, kifejlődése és főként növényzete szempontjából (213. ábra).



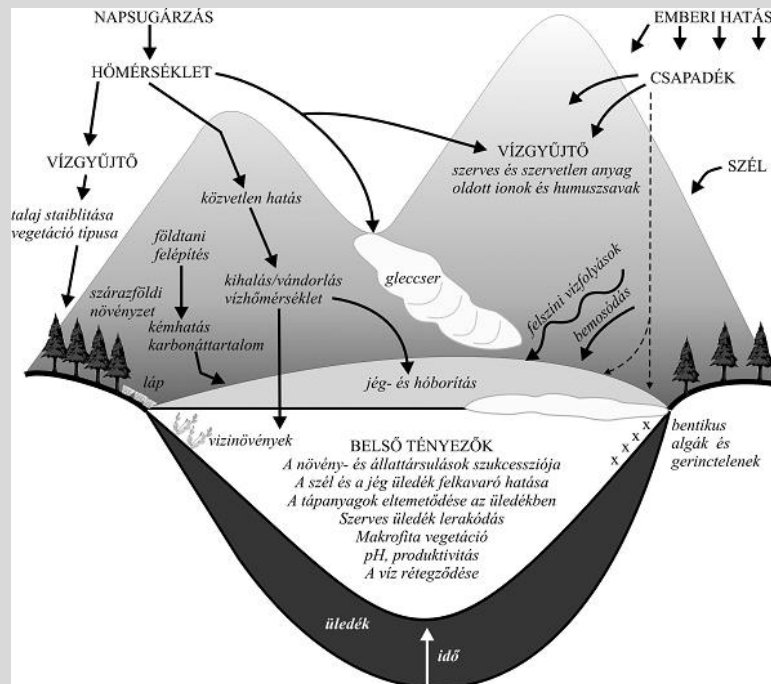
212. ábra Eltérő éghajlati és növényzetű lápi és tavi üledékgyűjtőkre jellemző beágyazódási (tafonómiai) folyamatok, melyek befolyásolják a kialakuló makrofosszília közösségeket. (Forrás: Birks 2007 után magyarra fordítva, átrajzolva, módosítva: Sümegei, Jakab, 2012)



213. ábra Az arktikus és mérsékelt övi területek három fő ökológiai tótipusa. Eutróf tavak: a) égerlápok, b) zombékosok és magassásosok, c) nádas, d) rögzült, lebegő hínár, e) rögzült, alámerült hínár. Disztróf tavak: f) erdősült tőzegláp, g) tőzegmohaláp, h) úszóláp. Oligotróf karbonátos tavak: i) nitrogénkedvelő növényzet a nedves talajon, télisásos, j) csetkákás, k) csillárkamoszat (*Chara*) és békaszőlő. Oligotróf karbonátszegény tavak: l) magassásos, m) lobélia és durdafű, n) csillárkamoszat (*Nitella*). (Forrás: Gaillard – Birks 2007 nyomán magyarra fordítva, átszerkesztve, módosítva: Sümegi, Jakab, 2012)

A növényi makrofossziliák szerves anyagokból épülnek fel, csak olyan helyen maradhatnak fenn, ahol a bomlási folyamatokat valamilyen környezeti tényező akadályozza. Ez lehet például oxigénszegény környezet, teljes vízborítás, sókiválás, alacsony pH, az extrém száraz vagy éppen a fagyos környezet. Leggyakrabban a tavak és a lápok üledékét tanulmányozzák, mert ezekre az üledékgyűjtőkre az üledék folyamatos lerakódása jellemző, és a relatíve gyors üledékképződés lehetővé teszi a részletes vegetáció- és környezettörténeti elemzéseket. A lápok alatt a helyben élő növények maradványaiból tőzeg halmozódik fel, tehát a tőzeg összetételében visszatükröződik az egykori tőzégképző vegetáció összetétele. A tőzegben a magok és termések csak szórványosan fordulnak elő, különösen a tőzegmohalápok alatt képződött *Sphagnum*-tőzegben. Ilyenkor a vegetatív részek, különösen a mohák és a gyökerek határozása válik fontossá. A tavak üledékében található makrofossziliák származhatnak a helyi vegetációból, de a vízgyűjtő területéről is, pl. a tóparti mocsárból vagy a szárazföldről is. A maradványokat a szél, a felszíni vízfolyások, az állatok (mindenekelőtt vízi madarak), a talajfolyás, vagy hegyvidéken a lavinák szállíthatják az üledékgyűjtőbe (**214. ábra**). Mezotróf, gyöker- vagy mohatőzegekben a magvak gyakran elég nagy mennyiségben megtalálhatóak, de az oxidatív környezet miatt megtartásuk legtöbbször elég gyenge. Lápi környezetben a vegetációt szűrő hatása miatt az üledékben főleg autochton maradványokat

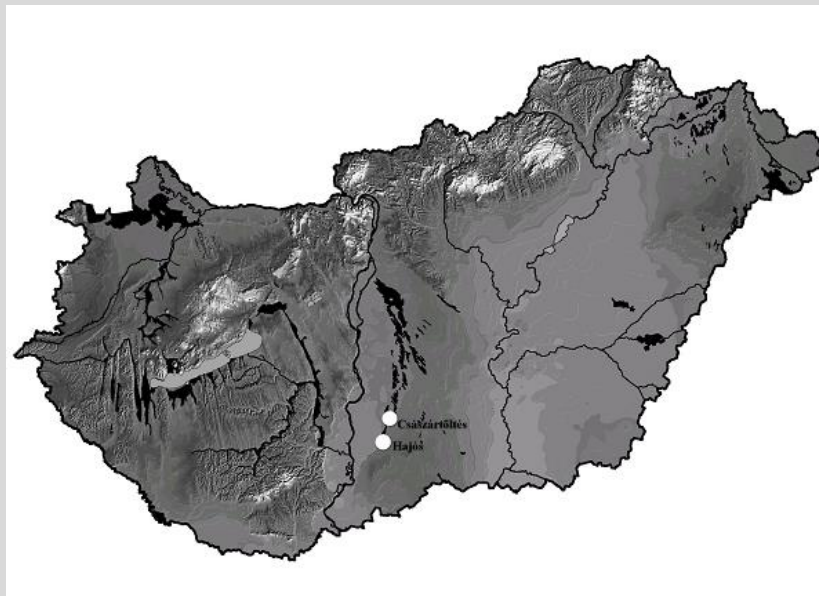
találhatunk, tehát a vízi vegetáció maradványait, legnagyobb tömegben gyökereket, mohákat és magvakat.



214. ábra A vízi ökoszisztéma értelmezése paleohidrologiai szempontból. A vízi (tavi) ökoszisztéma nem csak a víztestet, hanem a vízgyűjtőt is magába foglalja. A külső környezeti tényezők a vízgyűjtőre és a tóra is hatással vannak. A vízgyűjtő területen működő belső tényezők meghatározzák a vízgyűjtő terület állapotát, amely közvetlenül hat a víztestre is (Gaillard – Birks 2007 nyomán magyarra fordítva, átszerkesztve, módosítva: Sümegei, Jakab, 2012)

A leggyakoribb makrofossziliák a tavi üledékekben a magvak és termések. A sokkal törékenyebb levelek és virágok csak szerencsés körülmények között maradnak fenn, például a lassan folyó vizek által vagy a vízi-vízparti növényzet között lerakott üledékben. Tavi üledékekben a lágy növényi részek lebomlanak, mert a bentosz szervezetek elfogyasztják, vagy a vízmozgás és a hullámozgás felaprózza őket. A legkiemelkedőbb makrobotanikusok vizsgálatai szerint makrofossziliákat tartalmazó minták gyűjtéséhez ideálisak az olyan kisméretű üledékgyűjtők, ahol a szárazföldi vegetáció közvetlenül érintkezik a vízfelülettel, tehát nincs például nádas zóna, amely kiszűrhetné a maradványokat. Másrészt makrobotanikai szempontból ideális az, ha a limnikus üledékgyűjtő vízszintje állandó, nincs kifolyó vagy hozzáfolyás, ami csökkenti az oxidációt. Sajnos ezek a feltételek a Kárpát-medencében a legritkább esetben teljesülnek. Az üledékgyűjtőket, medreket rendszerint kiemelkedő vizinövények által alkotott zóna (pl.: nádas) veszi körül, vagy a medret teljesen beborítja a növényzet (mocsarak, lápok). Ennek oka az, hogy a többé-kevésbé kontinentális éghajlatunkon a vízszint ingadozása kedvez a makrofita vegetáció terjedésének. A Kárpát-medencében elsősorban a szerves anyagban gazdag késő-glaciális és holocén tavi üledékek és

tőzgek alkalmasak makrofosszília vizsgálatokra, és azokból elsősorban a vízi, mocsári és lápi vegetáció fejlődése rekonstruálható. Más környezetben a növényi maradványok csak valamilyen egyedi esemény nyomán maradhatnak meg. Az egykori talajok magkészségét megőrizheti a permafroszt vagy vulkáni hamuszórás is. Makrofossziliák előkerülhetnek folyóvízi üledékekből is. A jégkorszaki folyók olvadékvíz síkságain szerves üledékek is felhalmozódnak a csendes visszaduzzadó vizű medrekben, melyek később eltemetődnek (214. ábra). A glaciofluviális üledékekben található szerves anyag lencsési nagyon fontos vegetációtörténeti bizonyítékok. A hegyi patakok kis öbleiben a falevelek őrződnek meg kiválóan. Faleveles rétegek megőrződhetnek a mérsékelt övi és a glaciális tavakban egyaránt. Magyarországon erre kitűnő példa a 20 m² felszínű nagybárkányi Füzes-tó (csuszamlásos hepetó az exogén geológiai vizsgálatok alapján), amelynek mintegy 90 %-át a tavacskát övező gyertyán és bükkfák levelei töltik ki. Az elemzésünkbe bemutatásra kerülő nádtőzeggel fedett Vörös-mocsár, Hajós községtől északra, Császártöltés község határában helyezkedik el a Duna-völgyében (215. ábra).

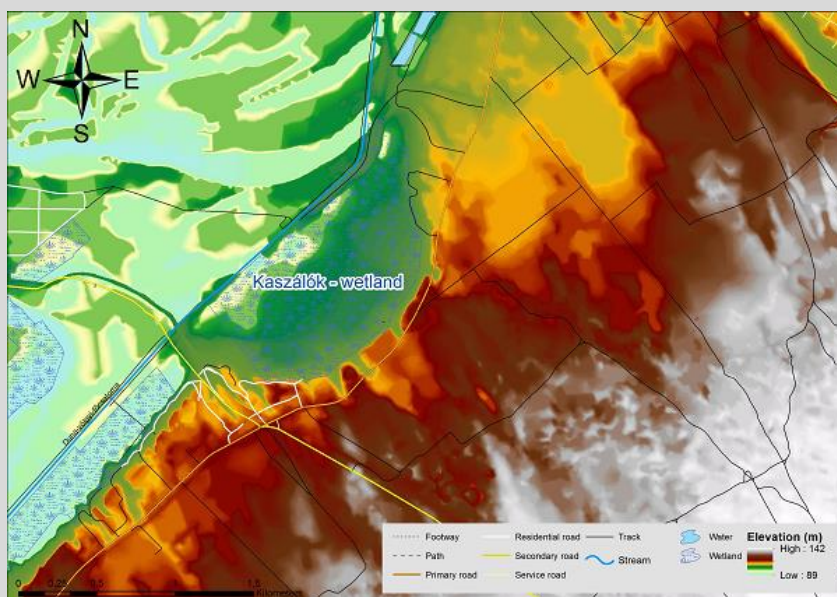


215. ábra Hajósi Kaszálók és császártöltési Vörös-mocsár tőzegterületének elhelyezkedése Magyarországon és a Duna völgyében (fekete színnel a tőzeggel borított területeket jelöltük)

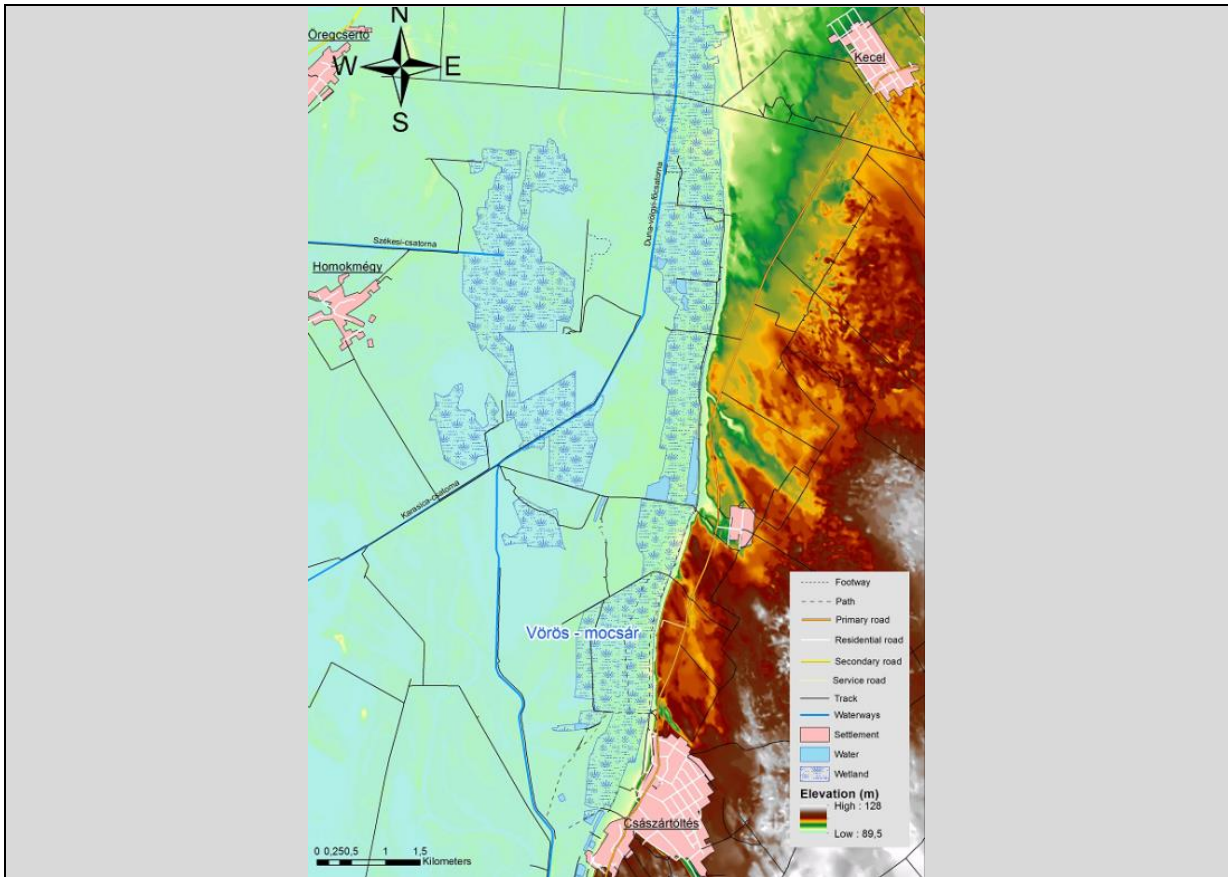
(Forrás: eredeti ábra, Sümegi, Jakab, 2003)

Maga a császártöltési tőzegterület (215. ábra) egy Pesti-síkságtól induló és éppen Hajós/Császártöltés térségében véget érő elhagyott dunai folyómedrek eltőzegesedett sorozatából álló több mint száz kilométer hosszú folyosót alkot a Duna alluviális síkján. A területen több mint 100 éve zajlik tőzgebányászat, de gépesítve és államosítva az 1950-es évektől indult meg a nagyüzemi tőzgebányászat, amely 1972-ben állt le, miután a tőzgegyon géppel hasznosítható részét döntő részben kitermelték. A szegedi Földtani és Őslénytani Tanszék Miháلتz István és Molnár Béla tanszékvezető professzorok vezetésével

már az 1940-es évek végétől vizsgálat alá vonta ezt a tőzeg területet és két kiváló doktori értekezés (*Fényes József* tanszéki tanársegédjének, és *Iványosi-Szabó András* a Kiskunsági Nemzeti Park nyugalmazott igazgatójának, Kecskemét város volt alpolgármesterének értekezései) is elkészült a Duna-völgyi tőzegterület elemzéséről. Munkánkat 2003-ban kezdtük el szintén a szegedi Földtani és Őslénytani Tanszék munkájának keretében, a Kiskunsági Nemzeti Park Igazgatóságának támogatásával. A szelvények feldolgozásának és értékelésének módszereit folyamatosan fejlesztettük az elmúlt 17 év során és végül a cm-es mélységközzel feldolgozott pollenanyag és az eredetileg 4 cm-ként, fejlesztő kutató munkánk során 1 cm-ként feldolgozásra került makrobotanikai anyag kerül bemutatásra a legújabb radiokarbon sorozattal. A vizsgált területen Hajós és Császártöltés határában két lápterületet is feldolgoztunk, a hajósi Kaszálók tőzegterületét (**216. ábra**), és a Vörös mocsarat (**217. ábra**). Ezek közül itt a Vörös mocsarat mutatjuk be, amely 1990 óta országos védettségű, gyakorlatilag a tőzeg bányaterületeken, egy majdnem 10 km hosszúságban kialakult regenerálódó, döntően úszóláppokkal borított vizes élőhely (wetland: **218. ábra**), amelynek egy részén a Kiskunsági Nemzeti Park az Órjeg tanösvényt alakította ki (**218. ábra**).



216. ábra A Hajós község határában kifejlődött Kaszálók tőzegterülete digitális domborzati modellen (Forrás: új, eredeti ábra: Sümegi, Novák, 2017)



217. ábra A Császártöltés község határában kifejlődött Vörös-mocsár tőzegterülete digitális domborzati modellen (Forrás: új, eredeti ábra: Sümegi, Novák, 2017)



218. ábra A Császártöltés község határában kifejlődött Vörös-mocsár tőzegterülete drónfelvételen (Forrás: új, eredeti drónfelvétel)

A vizsgálat alá vont elhagyott dunai meder Hajós községnél egy teljesen klasszikus alakú patkóalakú lefűződött meder és a hozzá tartozó övzatonysor tőzegesedett el, amely a dunai allúvium keleti szélén, közvetlenül a kiskunsági magaspárt alatt helyezkedik el (216. ábra).

Maga a meder a több kilométer széles dunai allúviumnak a része, csak úgy, mint a Császártöltésnél feltárt meder (**217. ábra**). A dunai allúvium kifejlődését geológiai térképező fúrások és a magasparton kialakított szelvények nyomán modellezték. A több geológus generációt átívelően kialakított geológiai modell alapján az eredetileg kiskunsági hordalékkúpot kiépítő Duna folyó, mintegy 35-40 ezer évvel ezelőtt neotektonikus mozgások következtében elmozdult nyugati irányba, és bevágódott saját kiskunsági hordalékkúpjába. A bevágódás nyomán egyre mélyebb helyzetű, és egy szélesebb dunai allúvium alakult ki, amelynek keleti szegélyén lösszel és futóhomokkal fedett dunai hordalékkúp száraz magasparttá fejlődött. Így a vizsgálat alá vont hajósi és császártöltési medrek két eltérő környezeti adottságokkal jellemezhető régió határán helyezkednek el. Ugyanis a dunai allúviumokhoz tartozó, vizsgálat alá vont medrek egy nedves felszínű, magas talajvízállással jellemezhető környezetben helyezkednek el, de néhány méterre a medrektől már egy rendkívül mély, 5-10 méternél mélyebb talajvíztükörrel jellemezhető, száraz felszínű magasparti régió kezdődik. Míg a medrek közvetlen környezetében hydromorph talajok (World Reference Base (WRB) talajtípusai megnevezései nyomán: Fluvisols), a száraz felszíneken erőteljesen művelt és a művelés során emberi hatású mezőségi talajok (WRB: Chernozems, Andosols) helyezkednek el.

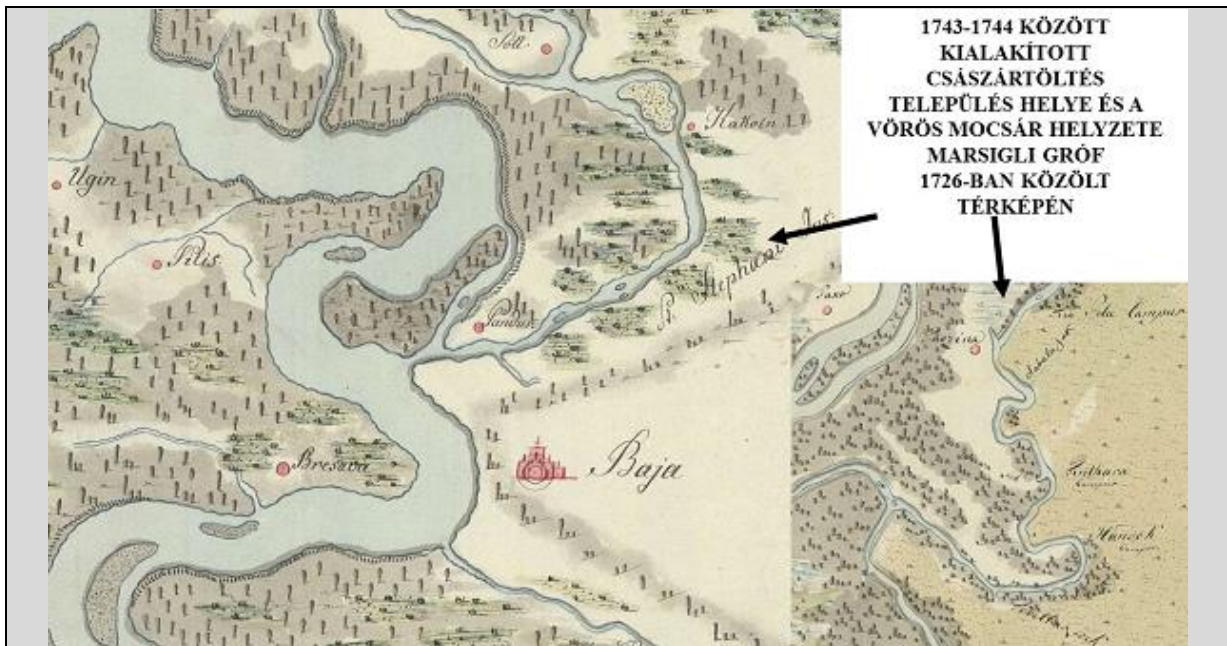
A magaspart felszínének növényzete teljes egészében emberi hatás alatt áll napjainkban, kertek, szőlők, szántók, ültetett és ültetvénytípusú hasznosított nyárfás erdők, fenyvesek dominálnak. A dunai allúviumban is igen jelentős az emberi hatás, de itt az eredeti, a mocsári területeken túli teljes területet borító keményfás és puhafás ligeterdő maradványai, igaz erősen bolygatott állapotban még megfigyelhetők (**218. ábra**).

Bár a két, fúrásokkal feltárt meder környezete teljesen hasonló, a medrek geomorfológiai tulajdonságai, alakja és leválása az élő vízrendszertől teljesen eltért egymástól. A hajósi meder egy túlfejlett meanderből kialakult morotvató és a hozzá kapcsolódó övzátony-sorozat, míg a császártöltési meder több kilométer hosszan levált, elnyúló medret alkot. A kétféle mederben eltérő üledékfelhalmozódási és biológiai feltöltődési folyamatok indultak el, és vízellátásuk, az aktív folyómedrekkel való kapcsolatuk is eltérő volt. Így a két medertípusnál eltérő áramlások jelentkeztek és ez alapján a pollenek felhalmozódása, a pollenanyag csapdázódása is különböző lehetett. Ugyanis a hajósi Kaszálók területén található klasszikus morotvató és a hozzá tartozó övzátony-sorozat teljes egészében patkó alakú, amely a legjelentősebb áradások során kapcsolódott az élővíz rendszerhez és az áradások közötti időszakban állóvízként funkcionált. Ennek a klasszikus patkóalakú hajósi elhagyott meandernek és a hozzá tartozó övzátony-sorozatnak az eltözegeződésében igen jelentős

szerepet játszhatott a magaspart tövében, a morotvató partján fakadó források vízszint stabilizáló hatása az árvizek közötti időszakban. A hajósi meder kiemelkedő jelentőségű tényező a pollenanyag felhalmozódásánál, mivel 4-6 méter magasságú magaspart emelkedik a morotvató felé és ennek a magaspartnak a lokális környezeti tényezői és ennek nyomán vegetációs borítása is eltérő lehetett a morotvató közvetlen környezetében kialakult környezeti és növényzeti tényezőktől.

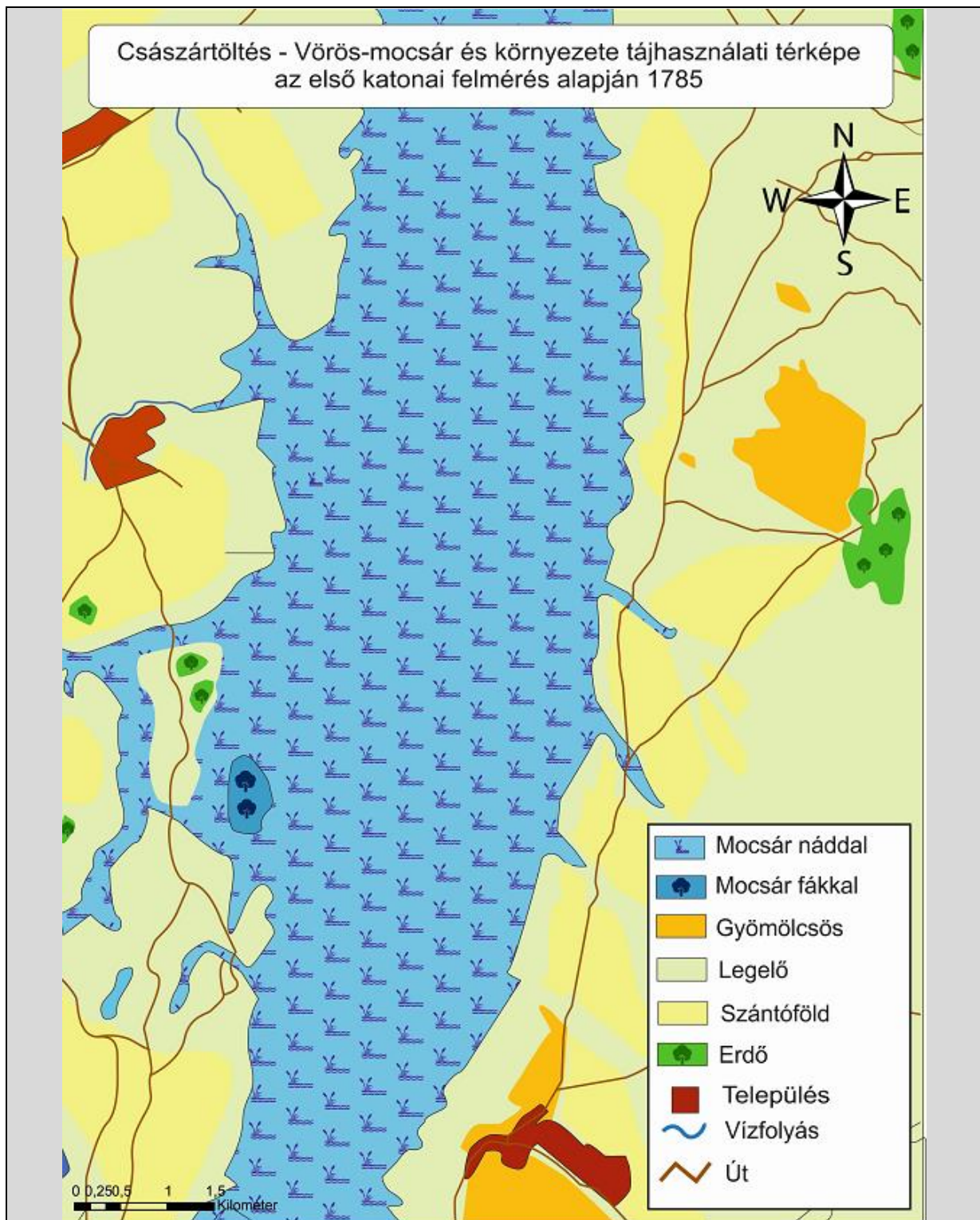
A császártöltési holtágat egy több kilométer hosszan elnyúló meder alkotja. Ez a meder valószínűleg a neotektonikus okok miatt nyugati irányba elmozduló aktív Duna meder mozgása következtében vált le és egy magaspart tövében húzódó több kilométer hosszú csatornaszerű holtágat (transitional channel) alkotott. Ez az észak-déli irányban húzódó, néhány száz méter széles meder folyamatos kapcsolatban volt a talajvízrendszeren keresztül az élővíz ággal, de csak rendkívül rövid ideig érkezhettek áradmányvíz ebbe a mederbe az élővíz leválását követően. Ugyanakkor ebben a hosszú mederben folyamatos áramlások alakulhattak ki a morotvatavi állapotban észak-déli irányban. Ennek nyomán homogenizálódhatott a pollenösszetétel a mederben. Ezen hosszan elnyúló holtág mellett is megfigyelhető a magaspart, de a magaspart nem közvetlenül a meder mellett húzódott, hanem egy viszonylag széles, mintegy 100 méteres sáv alakult ki a meder és a magaspart között. Ebben a sávban a holtág párás mikrokörnyezete alapvetően meghatározó lehetett. Így a császártöltési meder mellett a magaspart nem jelentkezett olyan éles környezeti határként, mint a hajósi meder esetében.

A futóhomokkal és lösszel fedett magaspart természetes vegetációja a száraz kontinentális éghajlati hatást is visszatükröző (pannon) homoki nyáras-borókás (*Junipero-Populetum*). Ebben a társulásban lágyszárú jelző elemek, mint a *Bromus squarrosus* (berzedt rozsnok), *Secale sylvestre* (vadrozsnok), *Stipa borysthénica* (homoki árvalányhaj), és a *Festuca vaginata* (magyar csenkesz) jelennek meg. A legmagasabb homoki, homokos löszös területeken nyílt és zárt homoki tölgyesek maradtak fenn (*Iridi variegatae-Quercetum roboris*, *Polygonato latifolii-Quercetum roboris*). A dunai allúviumot, a Solt–Bajai Síkságot a medreket kitöltő lápi-mocsári tőzeges foltok közötti egykori folyóhátakat borító kőrises égererdők, égerláp erdők (*Fraxino pannonicæ-Alnetum*) maradványai határozzák meg.



219. ábra Az 1743/1744-ben német betelepítés nyomán kialakított Császártöltés település és a Vörös-mocsár helyzete, környezete Marsigli gróf 1726-ban készült térképén (Forrás: gróf. Luigi Ferdinando Marsigli 1726: *Danubius Pannonico-mysicus: observationibus geographicis, astronomicis, hydrographicis, historicis, physicis, perlustratus et in sex tomos digestus. T. 2, [Antiquitates romanae militares ad ultramque ripam Danubii]*)

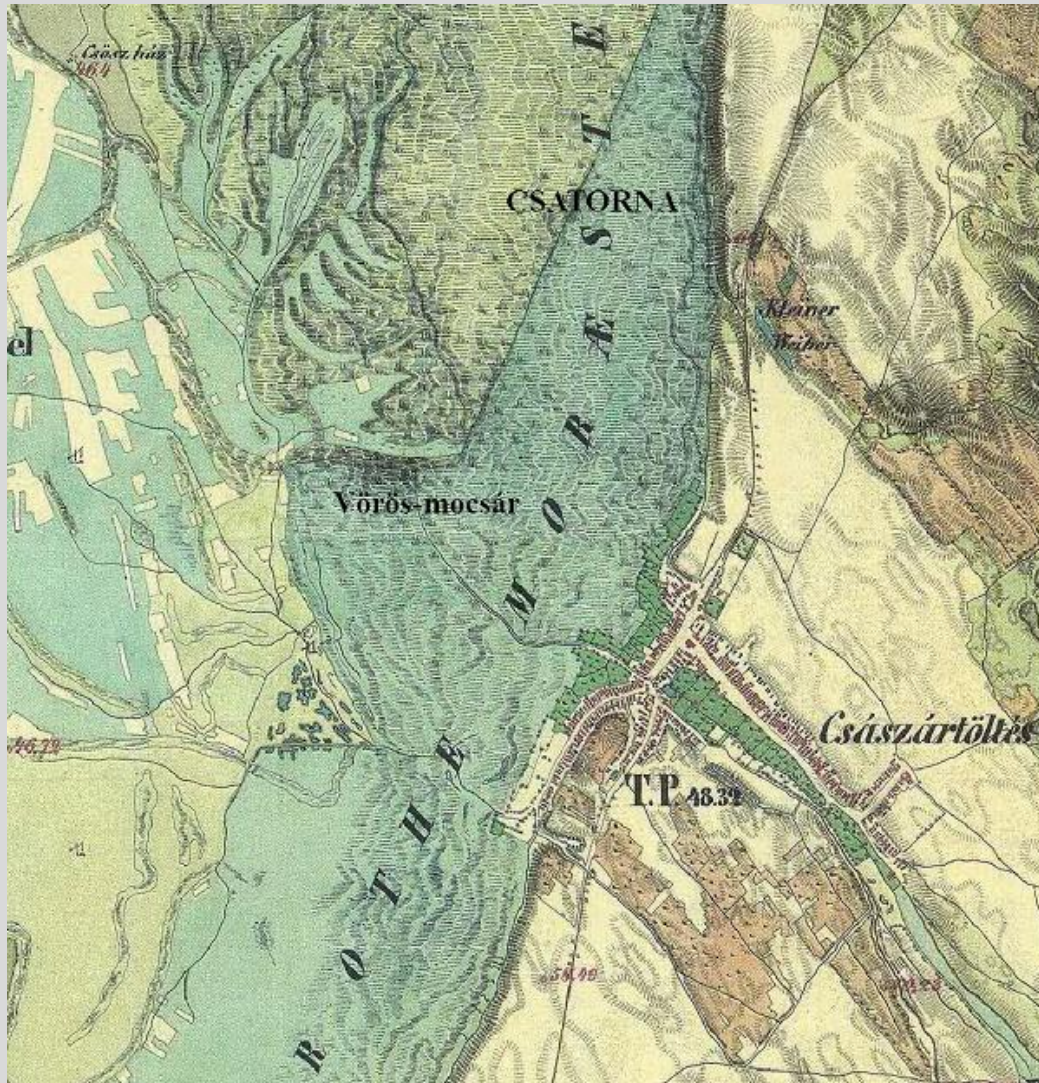
A császártöltési medernél a tőzegbányászat miatt csak néhány helyen maradt fenn az eredeti rétegsor, ezért két helyről tudunk mintát venni. Ezek közül a legteljesebb, pollenvizsgálatra is alkalmas szelvényt mutatjuk be. A vizsgált császártöltési üledékgyűjtő medence (**218.-220. ábra**) egészen a XIX. században megindult folyószabályozásig (**221. ábra**) árvizeken és talajvízáramláson keresztül kapcsolatban lehetett az aktív dunai ártérrel, azaz a dunai ártérből kilépő árvizek és a megemelkedett talajvíz eltemetett dunai medreken áramlottak felszínmorfológiai mélypontja a Dél-Alföld felé.



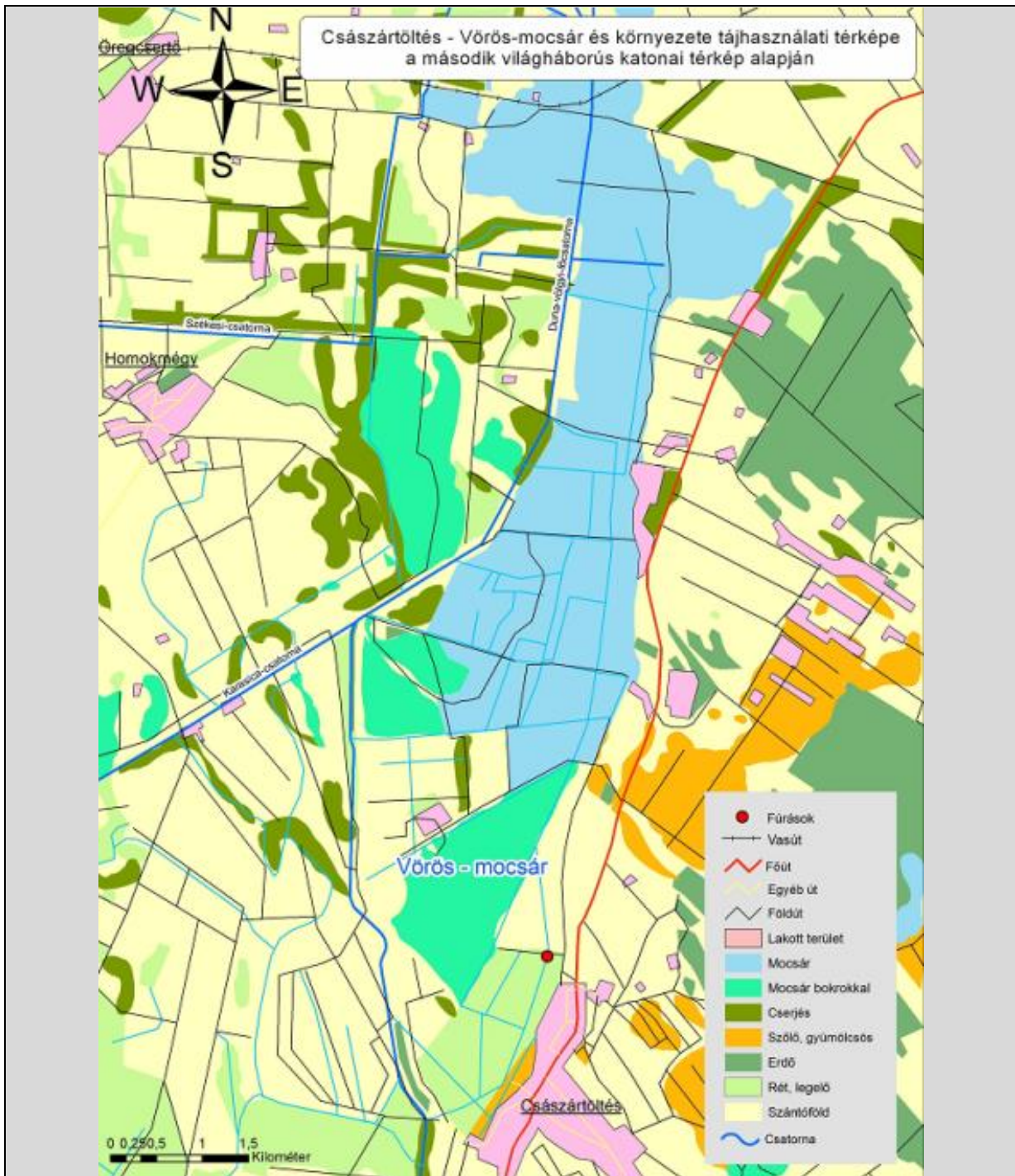
220. ábra Az első osztrák katonai térkép felmérése (1782-1785) nyomán készült XVIII. század végi tájhasználati térkép a császártöltési Vörös-mocsárról és környezetéről (Forrás: új, eredeti ábra, Sümegi, Novák, 2017)

Mindez jól megfigyelhető a szabályozatlan, jelentős kiterjedésű Duna-völgyi mocsárvilágról készül Marsigli gróf (1726) és első osztrák katonai (1782-1785) térképeken (219 és 220. ábra). Vagyis a Duna folyóvölgyéből kilépő árvizek, ha a megfelelő magasságot elérték, akkor eljutottak az császártöltési Vörös-mocsár (Őrjeg) területére, mindannak ellenére, hogy

maga a fejlődő, aktív dunai meder már a jégkor korábbi szakaszában elhagyta a területet. Ezt a természetes hidrológiai kapcsolatot szakította meg a folyószabályozás, de a talajvíz kapcsolat még az alagsövezés, talajvíz elvezető árkok, csatornák és mesterséges kiszáritás, feltöltés, tőzgebányászat ellenére is megmaradt (221., 222., 223.. 224. ábra).



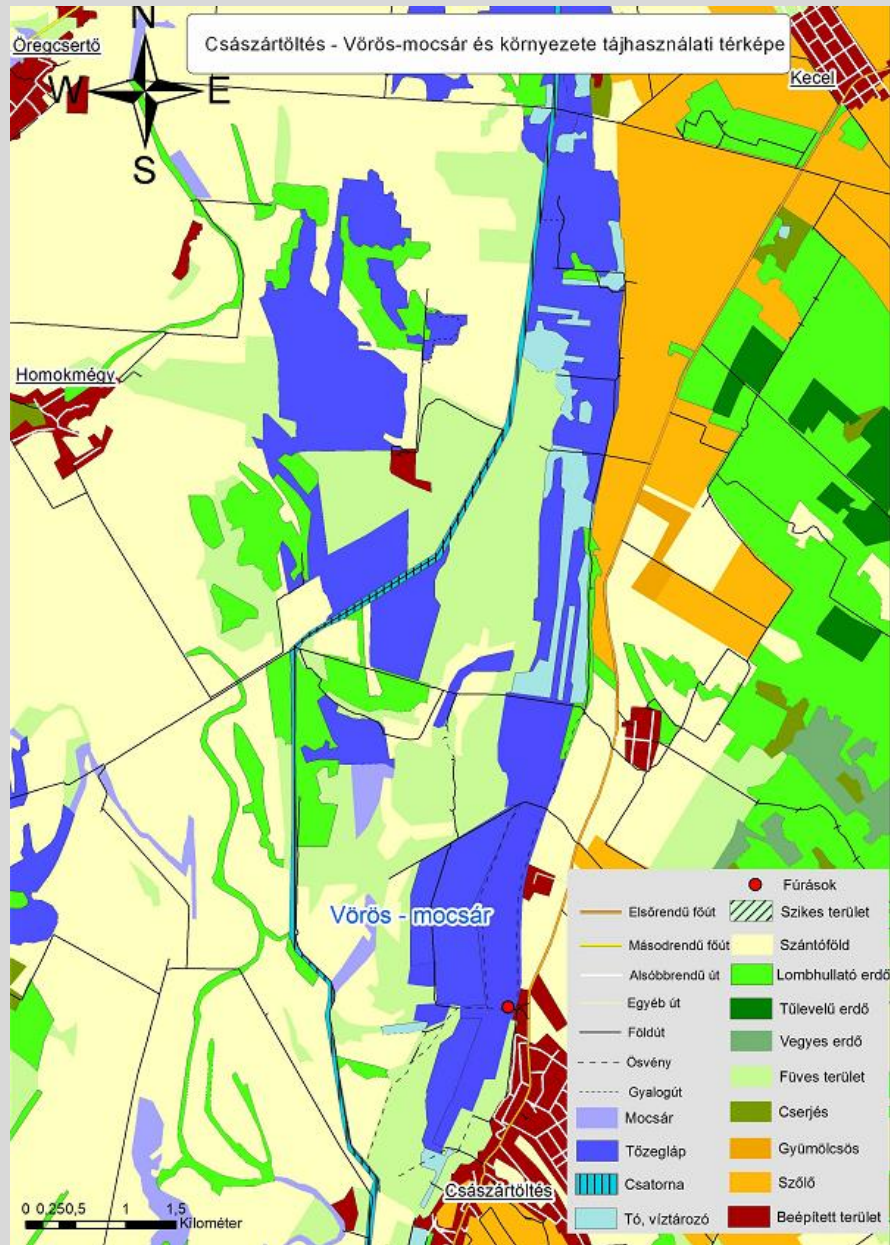
221. ábra Második osztrák katonai térkép felmérése (1806-1869) nyomán készült térkép a császártöltési Vörös - mocsárról (Rothe Moraeste), és környezetéről (Forrás: Timár, G., Molnár, G., Székely, B., Biszak, S., Varga, J., Jankó, A. (2006): Digitized maps of the Habsburg Empire – The map sheets of the second military survey and their georeferenced version. Arcanum, Budapest, 59 p. - megvásárolva)



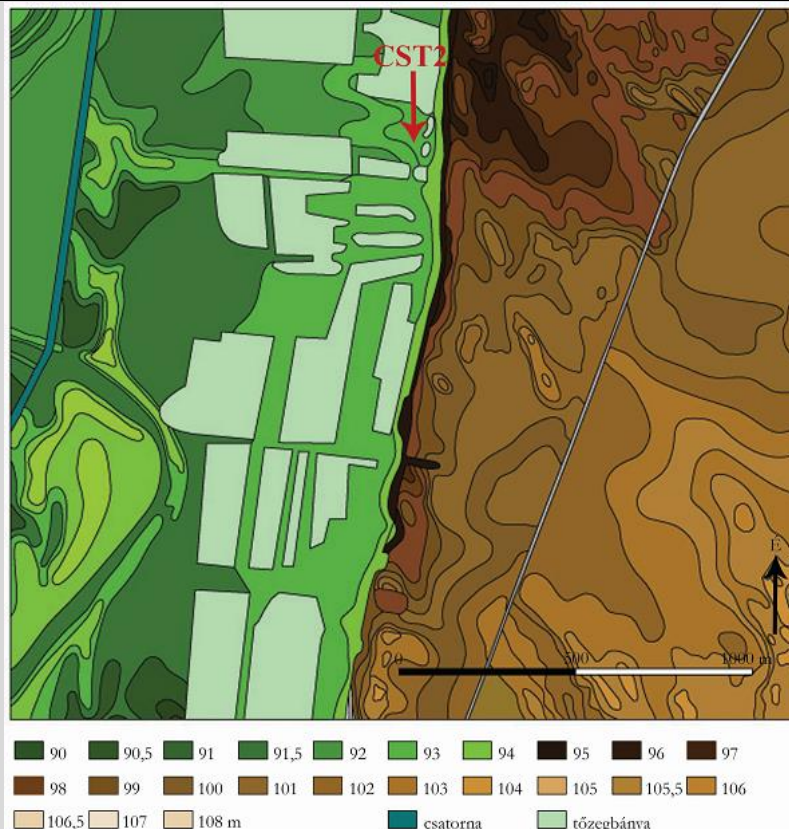
222. ábra Második világháborús katonai térkép felmérése (1941) nyomán készült tájhasználati térkép a császártöltési Vörös-mocsárról és környezetéről (Forrás: új, eredeti ábra, Sümegei, Novák, 2017)

Ugyanis ki kell emelnünk ezt a tényezőt a császártöltési üledékgyűjtő medencénél, mivel az amerikai palinológusok és saját vizsgálataink alapján is a pollenek egy része ezekkel az árvizekkel könnyen szállítódik, és az üledék és pollencsapdaként egyaránt működő lokális üledékgyűjtő medencéknél az árvizekkel is szállítódó és távolról behordódott pollenanyaggal is számolnunk kell. Így a császártöltési (és szinte minden alföldi holtág eredetű) üledékgyűjtő medencénél tudomásul kell vennünk, hogy nem csak szél szállította, hanem árvizek által

beszállított pollenanyaggal kell számolnunk. Ennek nyomán a lokális növényzet mellett nagyobb régiók növényzetének behordódhatott pollenanyaga is befolyásolta a szelvényben kirajzolódó pollenképet, ahogy ezt korábban valamennyi ilyen irányú munkánknál hangsúlyoztuk maximálisan figyelembe véve az amerikai fosszilis pollen (sporomorfa) kutatók ilyen irányú alapvető megállapításait.

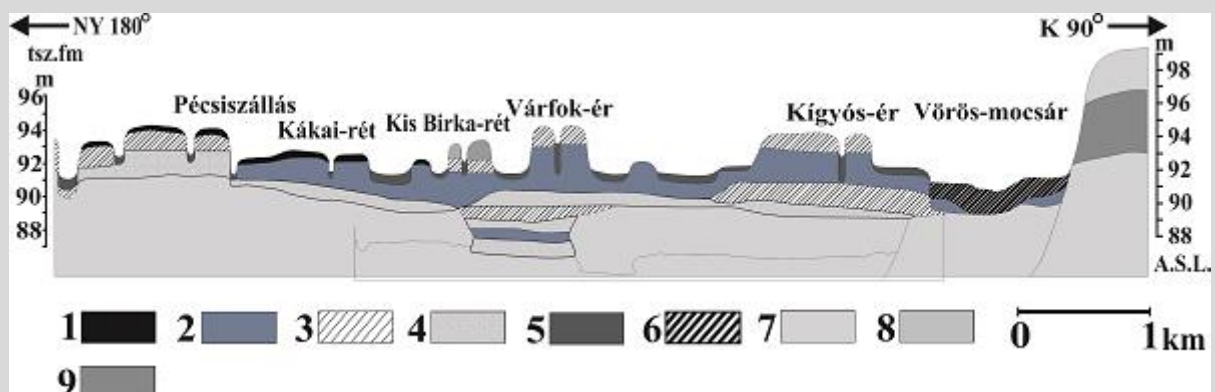


223. ábra Napjaink tájhasználati térképe a császártöltési Vörös-mocsárról és környezetéről (Forrás: új, eredeti ábra, Sümegi, Novák, 2017)



224. ábra A császártöltési zavartalan magfúrás helyzete a császártöltési Vörös-mocsáron (Forrás: új, eredeti ábra)

A zavartalan, orosz fúrófejjel átlapolóan lemélyített fúrás helyszíne a Vörös-mocsár bányászattal nem zavart, tőzeggel borított része volt (224. és 225. ábra).



225. ábra Földtani keresztmetszvény a császártöltési Vörös-mocsáron és a Duna-völgyében Császártöltés és Pécsiszállás között (Forrás: Miháلتz, 1953 nyomán átrajzolva és módosítva)
 1 = mezősegi talaj, 2 = jégkori alluviális üledék, 3 = jégkori ártéri üledék (infúziós lösz) – homokos kőzetliszt kifejlődésben, 4 = alluviális – fluviális homokos kőzetliszt, 5 = mocsári agyagos üledék, 6 = tőzegréteg, 7 = folyóvízi homok, 8 = futóhomok, 9 = eolikus homokos lösz, löszös homok

A hazaszállítás után a mintákat a céloknak megfelelően hosszában elvágtuk és az ilyenkor szokásos módon, a vizsgálatoknak megfelelően 4 °C-on tároltuk. Ezekből történt a szemcseösszetételi, szervesanyag- és karbonáttartalom izzítási veszteség (LOI) alapon történő meghatározása, geokémiai, a mágneses szuszceptibilitás, a pollenanalitikai, makrobotanikai

illetve a quartermalakovológiai vizsgálatok elvégzése. Az üledékfácies leírásai során a Troels-Smith-féle nemzetközi lazaüledék nevezéktani kifejezéseket és szimbólum rendszert használtuk. A radiokarbon (AMS) vizsgálatok előkészítésére 1 darab borsókagyló teknőt (0,2 mg tiszta Mollusca héjat), illetve nyolc (8) darab tőzegmintát használtunk fel. A mérések előkészítése megfelelt a nemzetközi standard módszereknek. Egy kagyló mintát a gliwiczei radiokarbon laboratóriumban vizsgáltattuk meg, további 8 mintát a debreceni radiokarbon laboratóriumban (**1. táblázat**). A nyers radiokarbon adatok kalibrációját, naptári korra átszámítását az internetről letölthető calib 700 programmal végeztük el. A szedimentológiai vizsgálatot EasySizer 20 típusú, 42 szemcsefrakciót párhuzamosan mérő lézerszedigráf műszerrel végeztük el a megfelelő mintaelőkészítés után. A mágneses szuszceptibilitás mérése során az üledék mágnesezhető elemtartalmát mérjük. Ehhez a vizsgálatához is az izzításos tömegvesztés mérésére előkészített légszáraz és porított mintákat használtuk. A méréshez a Bartington MS2 Magnetic Susceptibility Meter nevű mobil, terepi és laborvizsgálatra egyaránt használatos mérőműszerrel dolgoztunk 2,7 MHz-en. Minden mintán öt mérést hajtottunk végre, majd a kapott értékeket kiátlagoltuk. A karbonát- és szervesanyag-tartalom meghatározása izzítási veszteség mérésének módszere alapján történt. A geokémiai vizsgálatok elvégzéséhez *Dániel Péter* 2004-ben kidolgozott extrakciós módszerét használtuk fel és értékelésre a leginformatívabb vizes extrakció eredményeit kerültek. A szedimentológiai, izzítási veszteség, geokémiai, pollenanalitikai vizsgálatokat 1 cm-ként végeztük el és mutatjuk be. A szelvényben a pollenkoncentráció meghatározása a *Lycopodium* spóratablettás módszer és HF kezelés segítségével történt. A fúrásanyagból 8 cm-et átfogó, mintegy fél kilogramm anyagot használtunk fel malakovológiai vizsgálatra. A mintákat 0,5 mm-es átmérőjű szűrőszitákra helyezve, folyó csapvíz segítségével eltávolítottuk a földes elegyrészeket, így visszamaradtak a vízben oldhatatlan mészkiválások, göbecsek, valamint a Mollusca héjak is. A sziták száradása után a mintákat kis műanyag dobozokba helyeztük további szárításra, majd szétválogattuk azokat. Ezt követően határoztuk meg az előkerült héjakat és értékeltük a Mollusca faunát.

A pollen alapú természetes vegetációfejlődés modellezése mellett a pollenelemzéseink esetében a paleohidrológiai állapotot jelző vízi-vízparti növényekhez kapcsolható polleanyagot kiemelten kezeltük. A tankönyvünkben már korábban bemutatott távoli pollen behordódás jelenségére különösen ügyelnünk kellett, amely különösen az allúviumokban, főleg a magaspartokkal szegélyezett allúviumokban található holtág rendszerekben jelentkezik, mivel itt a szél által szállított pollenek mellett igen jelentős lehetett a víz által a folyó teljes vízgyűjtő területéről összehordott pollenanyag felhalmozódása is. A korábban

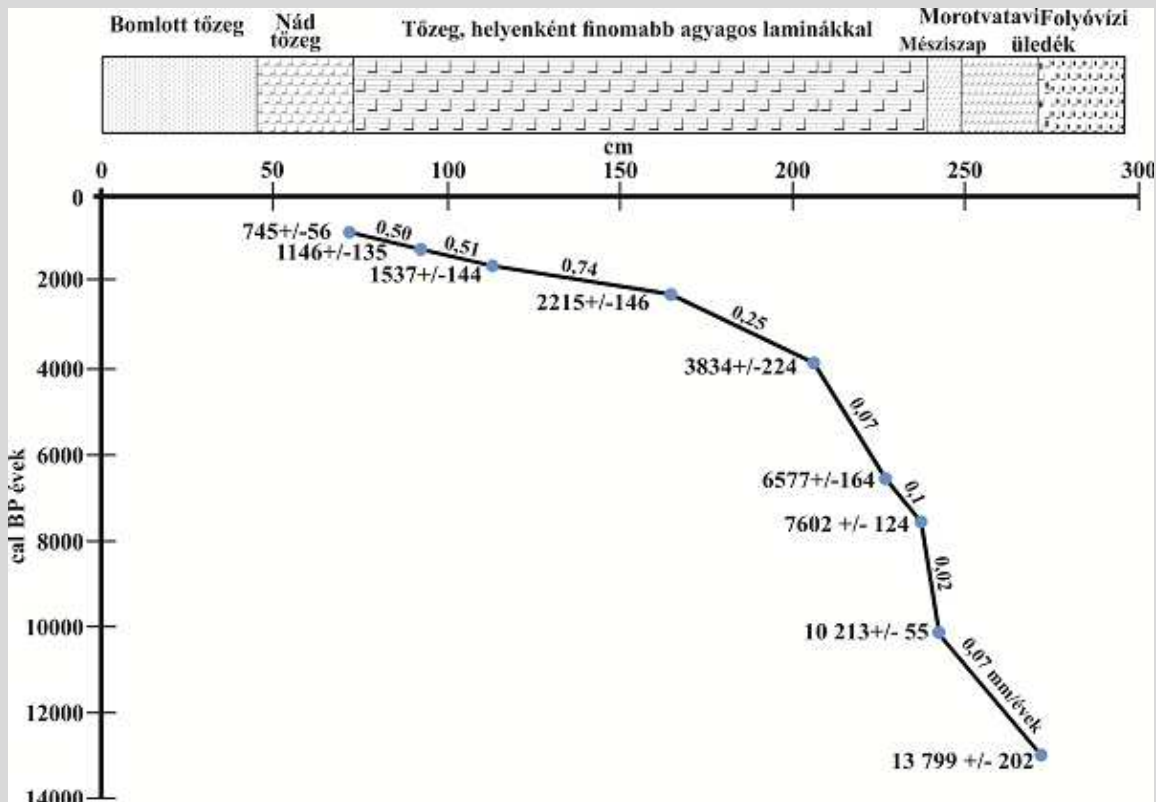
lerakódott, majd kimosódott és a holocén rétegekben újra lerakódott pollenanyaggal is kiemelten kellett számolni a Vörös-mocsár rétegsorában. Vagyis az aktívan fejlődő allúviomokban található holtág rendszereket, mint a csatornaszerűen elnyúló császártöltési Vörös mocsarat nem tekinthetjük ideális pollenlelőhelynek és paleohidrologiai szempontból a fentebb említett bizonytalanságok mellett ezeknek a lelőhelyeknek a helyzete még további bizonytalansági tényezőkkel terhelt mind vegetációtörténeti, mind az emberi hatások rekonstrukciója szempontjából. Érdekes módon ezt a bizonytalansági tényezőt nem mindig emelik ki a legújabb, az Alföld vegetációtörténetével, az emberi hatásokkal foglalkozó kutatások, holott a korábbi és a jelenlegi vizsgálatok erre a kiemelkedően fontos bizonytalansági tényezőre világosan rámutattak. Viszont tudomásul kell vennünk, hogy a Magyar Alföldön döntően holtágak állnak rendelkezésünkre a pollenvizsgálatokhoz a hordalékkúpok területén található, homokbuckák közötti mélyedésben kialakult tavak mellett. Így a dunai allúviumon található hajósi és császártöltési morotvatavak pollenanyagának elemzésénél és a levont következtetéseknél is figyelembe kell vennünk a fentebb leírt és a lokális paleohidrologiai hatásokat behatóró bizonytalansági tényezőket is. A makrobotanikai anyag előkészítését és vizsgálatát a tankönyv korábbi fejezetében bemutatott módszerek alapján dolgoztuk fel 1 centiméterenként.

Radiokarbon és geokronológiai vizsgálat eredményei

cm	Anyag	Uncal BP (évek)	+/-	cal BP (évek)	+/-	cal BC/AD (évek) – 2 szigma
80	tőzeg	875	45	745	56	1039 – 1251 AD
100	tőzeg	1228	53	1146	135	670 – 939 AD
120	tőzeg	1619	49	1537	144	269 – 557 AD
170	tőzeg	2253	62	2215	146	411 – 120 BC
210	tőzeg	3695	75	3834	224	2392 - 1885 BC
230	tőzeg	5785	74	6577	164	4792 - 4467 BC
240	tőzeg	6756	72	7602	124	5776 -5529 BC
245	gyékény	9045	45	10 213	55	8320 – 8209 BC
260	kagyló	11.600	60	13 799	202	12.052 – 11.648 BC

1.táblázat A radiokarbon mérés és kalibrált korok eredményei a Vörös-mocsár zavartalan fúrászelvényéből (CST2 jelzésű fúrás)

A radiokarbon adatok alapján a zavartalan magfúrás a szelvényt a késő-glaciális kortól az oszmán korig (középkor végéig, az újkor kezdetéig) fogja át (**1. táblázat és 226. ábra**). Az ülepedési ráta átlagosan 0,2 mm/évnak adódott, így 1 cm mintaköz 50 évet fog át átlagosan, de az ülepedési ráta változásai miatt (**226. ábra**) 150 és 20 év között változik egy-egy 1 cm-t átfogó minta kifejlődésének időbeli intervalluma.



226. ábra A radiokarbon adatok nyomán kalibrált naptári korok nyomán szerkesztett ülepedési görbe a császártöltési Vörös-mocsári magfúrás szelvénye mentén a rétegsor feltüntetésével (Forrás: új, eredeti ábra)

A folyóvízi szakasz lezárulása a császártöltési mederben a radiokarbon vizsgálatok alapján egyértelműen a jégkor végén, az MIS2 szint záró szakaszában, a késő-glaciális kor második felében, az Allerod klímacyklusban történt. Ez a szint a közép-európai régészeti rétegtanban (archeosztratigráfiában) a késő-paleolitikumnak, más néven epipaleolitikumnak, újabban a Magdalenian kultúra, illetve Federmeser kultúra szintjének tartják.

A folyóvízi szakasz az Allerod fázis végén lezárult, ezt követően a mederben egy oligotróf tavi környezet fejlődött ki és ez a morotvatavi környezet az Allerod fázis végétől a Preboreális szintig (10.213 +/- 55 cal BP évig) állt fenn (**1. táblázat**). Így a késő-glaciális korban, a kora mezolitikum szintjének megfelelő időhorizontban egy mállatlan ásványi anyagban, kőzetlisztben gazdag üledék felhalmozódásával jellemezhető morotvató alakult ki a Vörös-mocsár medrében.

A Preboreális szintben az üledék jellege megváltozott, karbonáttartalma jelentősen megemelkedett, a morotva tavi környezet karbonátban dús mezotróf rendszerré alakult át és tavi mészszip halmozódott fel a mederben. Az ülepedési ráta ebben a morotva tavi szakaszban, hasonlóan a hajósi mederben kialakult morotvatóhoz, nem volt jelentős, 0,02-0,04 mm/év sebességűnek adódott. Ez az oligotróf és mezotróf morotvatavi szakasz párhuzamosítható a mezolitikum első szakaszával, az idősebb mezolit szinttel.

Majd ezt követően a Boreális fázisban, mintegy 8000-9000 cal BP évek között a meder elnadasodott és tőzegképző környezetté, nádtőzeges rendszerré alakult át. Így a mezolitikum második felétől, a késő-mezolitikum szintjétől a császártöltési mederben tőzefelhalmozódás indult meg és ez a tőzegképződés maradt fenn egészen az utolsó 200 évig, a folyószabályozásig. A biogén feltöltődés kialakulása, a tőzegképződés kifejlődése következtében az ülepedési ráta megnövekedett, a meder feltöltődése felgyorsult 0,2-0,8 mm/év közötti értékeket (**226. ábra**) mutatott a mezolitikum és az újkor közötti időszakban.

A császártöltési mederben kialakult zárt növényzeti takaró, a biogén feltöltődés és tőzegképződés kialakulása nyomán üledékfácies változás nem történt az elmúlt 9000 év során, így ez a tényező nem befolyásolta az növényi maradványok felhalmozódását a császártöltési mederben. Az ülepedési ráta (**226. ábra**), a radiokarbon adatok (**1. táblázat**) alapján, az 1-2 cm mintavételi megoldással évtizedes felbontással tudtuk az utolsó 9000 év növényzeti és környezeti változásokat elemezni a szelvény környezetében.

Császártöltési szelvény üledékföldtani leírása

295–270 cm között, a szelvény fekjében fehéresszürke színű (Munsell color: 10 YR 1/7), jelentős mennyiségű csiga- és kagylóhéj tartalmú, finomhomokos apróhomok (Troels-Smith kategória: Ga4) fejlődött ki (**2. táblázat**). Ebből a szintből a Mollusca héjak mellett csak elszórt növényi maradvány került elő, pollenanyagot ez a szint nem tartalmazott. A réteget mállatlan szilikátok alkották (**227. ábra**), mindenekelőtt kvarc, muszkovit, biotit, földpát, keverve apró karbonátos szemcsékkel, szervesanyag-tartalma ennek a szintnek elenyésző volt. 270–250 cm között sásmaradványokat tartalmazó, szerves anyagban relatíve gazdag, barnásszürke színű (10 YR 2/4) kőzetlisztes üledék (Lc1As3), tavi réteg, amely áradások által bemosott, vagy összemosott szervesanyag-törmeléket tartalmazott, vízdoldható Ca, Mg, K, Fe, Mn tartalma jelentős (**227. ábra**). Jelentős mennyiségű Mollusca héjat, makrobotanikai maradványokat, pollenanyagot tartalmazott.

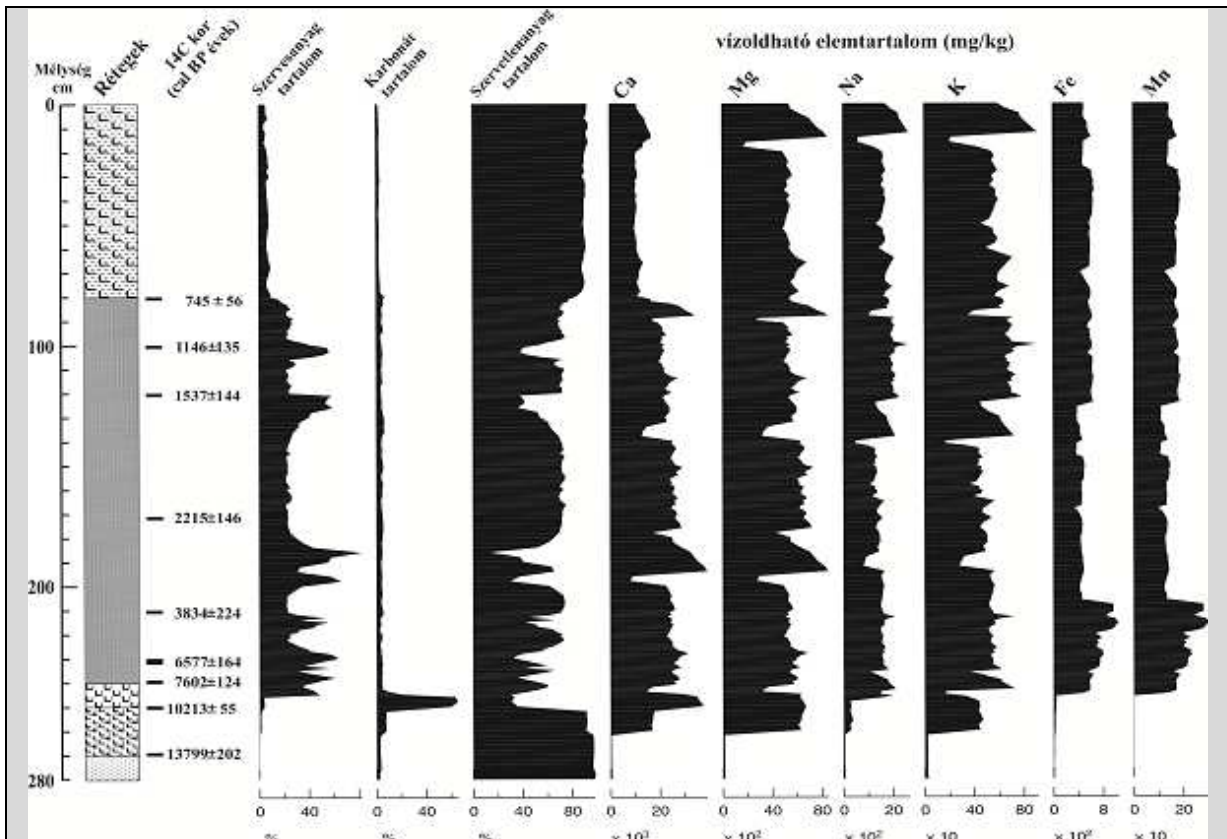
250–240 cm között kiemelkedő karbonát és vízdoldható Ca, Mg tartalmú, szürkésfehér színű (10 YR 1/8) agyagos mészszip (chalk) (Lc2As2) réteg húzódik, jelentős mennyiségű Chara maradványt, csiga- és kagylóhéjat tartalmazott.

240–80 cm között feketésbarna színű (10 YR 2/3), szerves anyagban, Fe, Mn, Ca, Mg, K, Na tartalomban relatíve gazdag (227. ábra), karbonáttartalmú tőzegszint (Th4). A rétegből jelentős mennyiségű makrobotanikai maradvány, Mollusca héj és pollenanyag került elő.

80 cm-től a felszínig tartó tőzegréteg (Sh3As1) vörösbarna színű (10 YR 4/3), jelentősebb Fe, Mn, K és agyagtartalmú üledék (227. ábra). Jelentős mennyiségű Mollusca héjat, bomlott határozhatatlan és növényi maradványokat tartalmazott ez a szint, pollenanyag ebből a rétegből nem került elő. A réteg alatt húzódó tőzegréteg bomlott, talajosodott (kotusodott) változatának fogható fel. Valószínűsíthető, hogy a tőzegréteg bomlásának folyamata az 1972-ben lezárult tőzegtányászat során történt a talajvízszint csökkentés nyomán alakult ki, bár nem zárható ki, hogy ez a folyamat már 100 évvel korábban, már a XIX. századi folyó- és talajvíz szabályozás következtében megindult (2. táblázat).

Mélység (cm)	Troels-Smith szimbólumok	Üledék típusa	Üledék genetika	Rétegtan	Régészeti rétegtan
80–0	Sh3As1	Bomlott tőzeg	Bomlott sástőzeg	Szubboreális	Oszmán és Újkor
240–80	Th4	Döntően nád tőzeg	Tőzeg	Atlantikus - Szubboreális	Neolit kor - Középkor
240–250	Lc2As2	Mésziszap	Mezotróf morotvató	Preboreális - Atlantikus	Mezolit - Kora Neolit kor
250–270	Lc1As3	Tavi üledék	Oligotróf morotvató	Alleröd-Preboreális	Késő Paleolit – Mezolit kor
270–295	Ga4	Folyóvízi homok	Folyómeder	Késő-Glaciális	Késő Paleolit kor

2. táblázat Üledéktípusok, rétegtani egységek a császártöltési zavartalan magfúrás szelvényén (CST2 jelzésű fúrás)



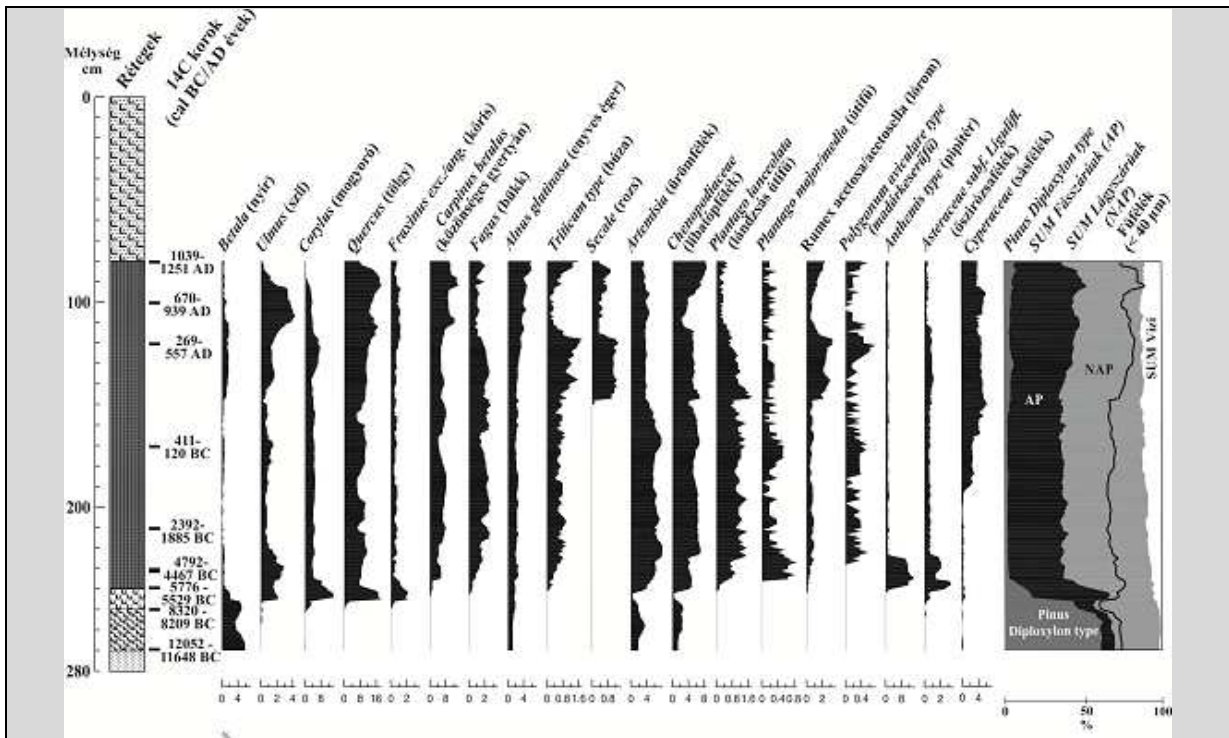
227. ábra Üledékföldtani, geokémiai vizsgálatok eredményei a Vörös-mocsári magfúrás szelvény mentén, a rétegsor Troels-Smith szimbólumokkal ellátva, cal BP évek 1950-től értendőek (Forrás: új, eredeti ábra)

Császártöltési pollenszelvény

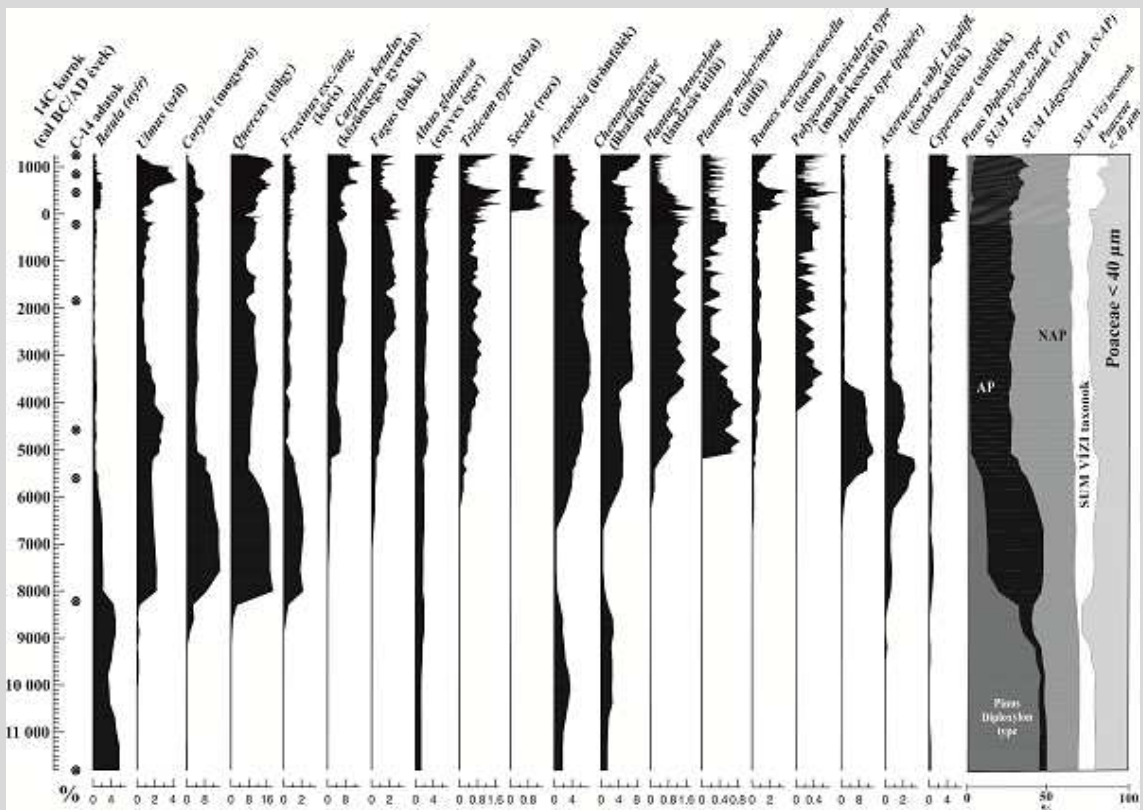
270 és 80 cm között került elő értékelhető polleanyag a császártöltési szelvényből. A 155 pollenre kivett mintából 147 db tartalmazott értékelhető pollenanyagot. A statisztikai elemzések (kluster és főkomponens analízis) alapján 10 lokális pollenzónát (3. táblázat, 228. és 229. ábra) tudtunk elkülöníteni a császártöltési szelvényben.

Császártöltés - Vörös-mocsár 1. lokális pollenzóna (CST VM LPZ 1)

270–252 cm közötti (14.000–12.000 cal BP évek között, Késő Glaciális Alleröd fázis – *Pinus* subgenus *Diploxylon* pollen típus és Poaceae (fűfélék) dominancia szintje) szintben a fapollenek aránya 65–72 % közötti.



228. ábra Pollenanalitikai vizsgálatok eredményei a Vörös-mocsári magfúrás szelvény mentén, a rétegsor Troels-Smith szimbólumokkal ellátva, naptári korokkal, BC = Krisztus előtti, AD = Krisztus utáni (Forrás: új, eredeti ábra)



229. ábra Pollenanalitikai vizsgálatok eredményei a Vörös-mocsári magfúrásból a szelvény mentén vett radiokarbon anyagok nyomán készített naptári korszaklára átkonvertálva (Forrás: új, eredeti ábra)

A *Pinus subgenus Diploxlon* pollen típus, benne az erdei fenyők (*Pinus sylvestris*), valamint a nyírfélék (*Betula*), lucfenyők (*Picea*), *Poaceae* (fűféle), *Artemisia* (ürömfélék: **230. ábra**) pollenjei dominálnak a szelvénynek ebben a szakaszában. Az AP/NAP aránya alapján boreális erdőssztyepp-vegyeslombozatú tajga vette körül a császártöltési Vörös-mocsár folyómedrét a jégkor végén, az Alleröd szakaszában. Valószínűleg a medret közvetlenül zárt vegyeslombozatú tajgaerdő övezte – jégkor végi ligeterdő típusként. Ugyanakkor a medret 100 méteres távolságban kísérő és a meder fölé 5-6 méteres lösszel borított magasparton boreális típusú, ma Belső-Ázsiában megfigyelhető mozaikos szerkezetű sztyepp-erdőssztyepp növényzet alakult ki.



230. ábra *Artemisia* (üröm) virágporszem (pollen) a jégkori rétegekből (Forrás: saját ábra)

Császártöltés - Vörös-mocsár 2. lokális pollenzóna (CST VM LPZ 2)

252–248 cm között (12 000–11 600, Késő Glaciális Dryas III fázis – *Poaceae* (fűfélék) és *Pinus subgenus Diploxlon* pollen típus dominancia szintje). A fűfélék dominanciája 40 % fölé emelkedett, a *Pinus sylvestris* dominanciája 50 % alá csökkent, a *Betula* aránya is erőteljesen lecsökkent (**228., 229. ábra**). Ennek nyomán egy szárazabb klímaszakasz rajzolódott ki, amelyet talán a késő glaciális Dryas III. fázissal párhuzamosíthatunk, elsősorban a radiokarbon adatok és az ülepedési ráta alapján. Ebben a paleohidrológiai szakaszban kifejezetten kedvező csapadékviszonyok alakulhattak ki, a hőmérséklet csökkent és a páratartalom megemelkedett.

Császártöltés - Vörös-mocsár 3. lokális pollenzóna (CST VM LPZ 3)

248–242 cm között (11.600–8500, Preboreális–Boreális fázisok, *Ulmus – Fraxinus – Quercus – Corylus* = szil – kőris-tölgy-mogyoró dominancia szint)

A lombosfák dominanciája 45 % fölé emelkedett, az erdei fenyő (*Pinus sylvestris*) dominanciája 30 % alá csökkent, a *Betula* (nyír) aránya is erőteljesen lecsökkent (**228., 229. ábra**). Ennek nyomán a holocén kezdetén az ártéren a keményfás ligeterdők kiterjedtek, a sztyepp-erdőssztyepp vegetáció kiterjedése lecsökkent, de a pollenarány alapján a fák (Arbor Pollen) együttes aránya az erdő/erdőssztyepp határán mozgott. Ugyanakkor meg kell jegyeznünk, hogy az AP/NAP arány nyomán rekonstruált sztyepp-erdőssztyepp-erdő vegetáció döntően a Kelet-Európai-síkság zonális növényzeti vegetációjának pollenelemzésén alapult. Viszont az eddigi vegetáció- és pollenelemzések alapján a Kárpát-medencében makro-, mezo- és mikroszinten egyaránt mozaikos vegetáció fejlődött ki, amely nem zónákba, hanem fraktálszerű foltokba, tájjellegű struktúrákba rendeződött. Így nem zárható ki, hogy a Kelet-Európai-síkságon megfigyelt vegetáció- és pollenösszetételbeli változás csak korlátozottan használható a Kárpát-medencében. Ennek nyomán feltételezzük, hogy a lösszel, futóhomokkal, löszös homokkal, homokos lösszel fedett magasparton a holocénnek ebben a korai szakaszában egy nyílt sztyepp-erdőssztyepp fejlődött ki. Ugyanakkor az ártéren, a Vörös-mocsár szintjében és közvetlen környezetében a szil-hárs-kőris-tölgy-éger dominanciájú, mai tölgy-szil-kőris keményfás ligeterdők jelenkor kezdetén megjelent ősei stabilizálódtak. A polleneredmények alapján egyértelműen látható, hogy a tölgy-szil-kőris keményfás ligeterdők nem egy szukcesszió sorozat záró társulását, hanem egy, az adott éghajlati és környezeti feltételek között kialakuló társulást alkottak. A kora holocén égeresek (*Alnetum*) pedig valószínűleg az alföldi keményfás ligeterdő (*Fraxino pannonico – Quercetum*) mocsár felőli oldalán boríthatták a felszínt és az elhagyott medrek partját. Ebben a paleohidrológiai szakaszban kifejezetten kedvező csapadékviszonyok alakulhattak ki.

Császártöltés - Vörös-mocsár 4. lokális pollenzóna (CST VM LPZ 4)

242–239 cm között (8500–7900, Boreális fázis, *Corylus–Ulmus* = mogyoró/szil dominancia maximum szintje) A lombosfák dominanciája 45 % alá csökkent, a *Pinus sylvestris* dominanciája 20 % alá, a *Betula* aránya 2 %-ra csökkent (**228., 229. ábra**). Ugyanakkor a *Corylus* aránya ebben a fázisban ismét megemelkedett. Ennek nyomán a holocén kezdetén az ártéren a keményfás ligeterdők kiterjedtek, a sztyepp-erdőssztyepp vegetáció kiterjedése lecsökkent, de a fák (Arbor Pollen) együttes aránya alapján az erdő- és erdőssztyepp határán álló vegetációt rekonstruálhatunk a területen. A pollenösszetétel alapján, hasonlóan, mint a 4 km-re délebbre található hajósi szelvény esetében, feltételezzük, hogy a császártöltési medret

és polleszenlvényt kísérő, száraz felszínű, futóhomokkal és eolikus lösszel fedett magasparton sztyepp-erdőssztyepp, míg az allúviumon ezzel párhuzamosan zárt lomboserdő alakulhatott ki. A nyitottabb, fényben gazdagabb erdőtípus (a szil és mogyoró) pollenarányának növekedése nyomán a halász–vadász–gyűjtögető közösségek hatását rekonstruálhatjuk, akik kezdetben talán spontán, de később tudatos tevékenységükkel, a szegély vegetáció kiterjesztésével az egyik legfontosabb, jelentős szénhidrát tartalékot jelentő és könnyen tárolható terméssel rendelkező mogyoró terjedését segíthették elő. A mogyoró termése mellett a vesszős hajtásait is hasznosíthatták, például építkezésre, vadászösvények kialakítására, rekesztő halászatra, tüzelő anyagnak, ahogy erre nyugat-európai példák rámutatnak. Ezek nyomán feltételezzük, hogy a termelő gazdálkodás egyes elemeit (például intenzív gyűjtögetés) már gyakorolhatták a késő-mezolitikumban a Kárpát-medencében közvetlenül a kora neolit közösségek megtelepedése előtt, a preneolitikáció során. A pollenadatok alapján ebben a mintegy 600 éves paleohidrológiai szakaszban a csapadék mennyisége lecsökkent.

Császártöltés - Vörös-mocsár 5. lokális pollenzóna (CST VM LPZ 5)

239–230 cm között (7900–6400 cal BP év között, Atlantikus fázis, gabona és gyomok megjelenési szintje, neolit közösségek megtelepedése és neolitikum = újkőkori gazdálkodás kifejlődésének szintje). Ebben a szintben megjelentek a gabonafélék, elsősorban a termesztett búza pollenjei, valamint a megtelepedés, növénytermesztés és állattenyésztés során elterjedő gyomok (*Plantago major/media*, *Plantago lanceolata*, *Athemis*, *Asteraceae*, *Rumex*) virágporaszemeinek aránya erőteljesen megemelkedett (**228.**, **229. ábra**). Ezzel párhuzamosan a *Quercus*, *Fraxinus* aránya lecsökkent, míg az *Ulmus*, *Corylus* aránya valamelyest növekedett. A fák együttes pollenaránya 40 % alá csökkent. A pollenösszetétel alapján mind a magasparton, mind az ártéren erőteljes emberi bolygatás – emberi tevékenység alakulhatott ki ebben a szakaszban, a kora-neolitikumtól 5900 +/- 100 cal BP évtől kezdődően. A neolitikum során a gyomnövények és a lágyszárúak aránya fokozatosan növekedett és a neolitikum végén a korábbi gyomnövény pollenösszetétel megváltozott és a madárkeserűfű (*Polygonum aviculare*) aránya emelkedett meg. A késő-neolitikum során a gyomösszetétel változása mellett az ürömfélék (*Artemisia*), libatopfélék (*Chenopodiaceae*) taxonok pollen aránya is megemelkedett. A neolitikum kezdetétől, sőt a mezolitikum végétől jelen lévő bükk és gyertyán (*Fagus*, *Carpinus*) pollenek aránya a neolitikum során fokozatosan megemelkedett, és ennek nyomán a bükk és gyertyán a neolitikum során már jelentősebb lokális erdőalkotó lehetett. A változások teljesen hasonlóak, mint amelyeket a legkorábbi Kárpát-medencei Körös-kultúra, illetve más középső- és késő-neolit lelőhelyek melletti üledékgyűjtő medencékben kimutattunk az elmúlt években a Magyar Alföldön. A vízi növények pollenjei

alapján a csapadékbevitel kisebb hullámzást mutatott ebben a fázisban, de az előző fázishoz képest mindenképpen egy csapadékosabb klímaszakaszt rekonstruálhatunk. A fás szárúak csökkenése emberi hatásra az építő és tüzelő anyagként hasznosított fák kitermelése miatt csökkent. A bükk és gyertyán dominanciájának növekedése a tenyészidőszak hőmérsékletének fokozatos csökkenését és a csapadékosabb tenyészidőszak kifejlődését valószínűsítik paleohidrológiai szempontból.

Császártöltés - Vörös-mocsár 6. lokális pollenzóna (CST VM LPZ 6)

230–210 cm között (6400–4000 cal BP év, Atlantikus fázis vége, szil és mogyoró visszaszorulása, és a bükk–gyertyán–tölgy dominancia szint kialakulása). A rézkor szinte egészét és a bronzkor kezdetét átfogó lokális pollenzónában az emberi hatások igen erőteljesek voltak, a növénytermesztésre utaló növények, az emberi hatásra terjedő gyomok alapján. Ugyanakkor a szil pollen jellegzetes 5000 cal BP évekre tehető visszaesése is jelentkezett ebben a szintben. A területen a kettős vegetáció ebben a fázisban is fennmaradt (**228., 229. ábra**). Az allúviumon emberi bolygatással jellemezhető, bükkal kevert gyertyános tölgyes dominált. Ugyanakkor a magasparton gyomokkal és sztyeppei-erdőssztyeppei növényzettel borított térség fejlődött ki. A pollenösszetétel alapján egy hűvösebb és csapadékosabb éghajlati szakasz rajzolódott ki ebben a pollenszintben.

Császártöltés – Vörös-mocsár 7. lokális pollenzóna (CST VM LPZ 7)

210–170 cm között (400 –2400, Szubatlantikus fázis, sástőzeg kifejlődésének kezdete erős emberi hatásokkal). Ebben a pollenszakaszban kiegyenlített, csapadékosabb és a vízgyűjtő területen jelentkező jelentősebb árvizekkel terhelt szint. A mederben nádtőzeget követően megjelent a sástőzeg, a meder feltöltődése felgyorulhatott és sás (*Carex*) taxonok lepték el a korábbi fázisban nádassal borított meder felszínét. A meder felszínét fokozatosan lepték el a *Carex* (sás) fajok és a bronzkor végén alakult ki a zárt sástőzeg lág. A bronzkor második felében és a vaskor első szakaszában a jelentős és folyamatos emberi hatások mellett a bükk és a gyertyán pollenek arányának egyik maximuma alakult ki ebben a szintben és az fás szárú pollenek együttes aránya 48–51 % között mozgott (**228., 229. ábra**). Ez a kisebb méretű visszaerdősülési szint, a sástőzeg kifejlődése, és az erőteljes gyomvegetáció dominancia nyomán az erőteljes emberi hatás ellenére is visszaerdősülési folyamatok zajlottak az ártéren. Ezért egy kifejezetten csapadékos éghajlati szakasz jellemezhetette a bronzkor végét és a vaskor kezdetét, így jelentős víztöbblet jelentkezett a vizsgált területen, amely hatására a Vörös-mocsár felszínét borító vízi növényzet teljes mértékben megváltozott és feltöltődött meder teljesen elláposodott.

Császártöltés – Vörös-mocsár 8. lokális pollenzóna (CST VM LPZ 8)

170– 120 cm között (240 –1500 cal BP évek = Krisztus előtti 400 – Krisztus utáni 500 évek között), Szubboreális fázis kezdete, *Triticum* type (búza) – *Secale* (rozs) és gyompollen dominancia szintje). A késő-vaskortól a császárkor végéig fokozatosan növekedő emberi hatásokat, egyre erőteljesebb gyomvegetáció dominanciáját, benne *Rumex*, *Plantago lanceolata*, *Polygonum aviculare* (lórom, lándzsás útifű, madárkeserűfű), valamint a búza (*Triticum* type) és rozs (*Secale*) pollen dominanciájával (228., 229. ábra) figyelhettük meg. Az Arbor Pollen együttes aránya 40 % alatti volt. Az egyik legerőteljesebb emberi hatás mutatható ki a pollenszelvény alapján, a növénytermesztés és az állattenyésztés egyaránt igen jelentős lehetett a pollenszelvény környezetében az antik időkben. Talán a szőlőtermesztés helyi jelenlétét támasztja alá néhány *Vitis* (szőlő) pollen jelenléte, bár ezek származhattak a vadon élő ligetszőlő (*Vitis sylvestris*) virágaiból is, mivel ez a faj még ma is gyakori a dunai allúvium erdeiben. Ez utóbbi viszont az egyik intenzíven gyűjtögetett növény a dunai ártéren egészen a Krisztus utáni XX. századig. A császárkori szintből előkerült pollenösszetétel alapján helyi/regionális gabona-, dió-, és gyümölcsstermesztés rekonstruálható, valamint jelentős emberi bolygatás, megtelepedés rajzolódik ki a vizsgált völgyben. A pollenösszetételben mutatkozó jelentősebb fenyő pollenarány nem a helyi fenyőkből származik, hanem az egész kontinensre kiterjedő jelenség. Ugyanis a döntően az európai lomboserdei övezetben kialakított római (császárkori) kultúrtáj, mezőgazdasági övezetek, fejlett út- és településhálózat révén az európai lomboserdő kisebb-nagyobb foltokra tagolódott, agrárövezetekkel tagolt erdőfoltok maradtak csak fenn. Így a mezőgazdasági tevékenységgel és fejlett megtelepedéssel kevésbé bolygatott európai fenyő-, más néven tajgazóna, és a hegyvidéki fenyőerdők pollenanyaga dominált a légkörben, így a császárkori felszínre jutó pollenekben. E folyamat során alakultak ki ezek a speciális, fenyőpollenben relatíve gazdagabb üledékes lerakódások szinte mindenütt az európai kontinensen egy császárkori környezettörténeti vezető szintet alkotva.

A pollenösszetétel alapján ez egy kifejezetten száraz paleohidrológiai szakasz, hosszú, napfényben gazdag, kiegyenlített hőmérsékletű tenyészidőszakok alakultak ki ebben késő-vaskort és császárkort átfogó 1000–1100 éves periódusban. A római császárkori fejlett építészet (ekkor alakították ki a dunai allúviumot átívelő, több méter vastagságú töltést, és a limest és a limessel szembeni ellenerődöket is), fejlett agrotechnika mellett ez a kedvező, szárazabb éghajlati periódus is hozzájárult a dunai allúvium mezőgazdasági és kiterjedt humán hasznosítására.

Ugyanis a dunai árterek ebben a szárazabb szakaszban kiszáradtak, a talajvízszint lecsökkenhetett és ez kedvezően hathatott az alluviális terület használatára, humán hasznosítására. Ennek a szárazabb éghajlati szakasznak a kifejlődését támasztják alá a császárkori (szarmata) kutak tengerszint feletti magassági adatai is a vizsgált régióban, mivel a legmélyebb helyzetű kutakat ekkor alakították ki a dunai ártéren.

Császártöltés - Vörös-mocsár 9 lokális pollenzóna (CST VM LPZ 9)

120 - 110 cm között (1500 – 1100 cal BP = Krisztus utáni 500 és 900 évek közötti Szubboreális fázis II. szakasza, erdőregenerációs szint). A császárkor végén IV.–V. század fordulójától kezdődően a pollenösszetétel alapvetően megváltozott. A *Triticum* type, *Secale* (búza és rozs) pollenanyaga bár fennmaradt, de aránya drasztikusan visszaesett, csak úgy, mint a gyomoké (**228., 229. ábra**). A csonthéjasok (*Prunus*), a szőlő (*Vitis*), a bodza (*Sambucus*) pollenek eltűntek a pollenszelvényből. A fűz (*Salix*), éger (*Alnus*), gyertyán (*Carpinus*), tölgy (*Quercus*), szil (*Ulmus*), bükk (*Fagus*) aránya erőteljesen megemelkedett. A fás szárúak változása, az AP pollenarányának 45 %-ot meghaladó aránya az erőteljes emberi bolygatás csökkenését, a természetett fák teljes visszaszorulását, egy erőteljes visszaerdősülési folyamat megindulását jelzi. A visszaerdősülést támasztja alá a lágyszárúak arányának, közte a fűfélék, ürömfélék, libatopfélék drasztikus visszaesése és a vízparti növényzet erőteljes növekedése. Az emberi bolygatás és termelő tevékenység visszaesését jelzi a természetett növények drasztikus visszaszorulása is, annak ellenére, hogy a vizsgált üledékgyűjtő környezetben igen jelentős számú népvándorlás kori, elsősorban avar lelőhelyet sikerült régészetileg igazolni. A mezőgazdasági termelés drasztikusan visszaesett, a pollenösszetétel alapján elsősorban az állattenyésztés maradhatott fenn, illetve dominálhatott a vizsgált területen a népvándorláskor folyamán. Egy hűvösebb és csapadékosabb éghajlati paleohidrológiai szakasz fejlődhetett ki ekkor, néhány magyar történész által több évtizede hangoztatott adatok nélküli kiszáradási hipotézisével szemben. Viszont a császártöltési pollenszelvénynek ez a szakasza teljesen szinkron eredményeket mutat az azonos szélességen lévő Aral-tavi képződményeken végzett paleohidrológiai vizsgálatok eredményeivel. Azaz, hogy mind a Kárpát-medencében, mind Közép-Ázsiában hűvös és relatíve csapadékos éghajlati fázisban magas tószint, jelentősebb víztömeg és nedvesebb árterek, jelentősebb árvízi víztömeg és magasabb talajvízszint alakult ki a népvándorlás korában, mint az előtte lévő császárkorban. Ennek nyomán a császártöltési paleohidrológiai adatok (nem elszigetelten) azt jelzik, hogy a magyar történetírás és környezettörténészek tévúton jártak, amikor a népvándorláskor kialakulását és a néptömegek mozgását a Kárpát-medence, Kelet-Európa, Közép-Ázsia kiszáradásához kötötték. Pont az ellenkező folyamatok mutathatók ki

ezek a területeken a paleohidrológiai elemzések alapján. Ebből is látszik, hogy napjaink kutatásai még ezekben a történelmi (vagy annak tűnő, valójában természettudományhoz sorolható környezettörténeti) kérdésekben is analitikus paleohidrológiai elemzéseken, adatokon és nem csupán hipotéziseken alapul ma már.

Császártöltés - Vörös-mocsár 10 lokális pollenzóna (CST VM LPZ 10)

110–80 cm között (1100–700 cal BP évek = Krisztus utáni IX. és XIII. század között, Szubboreális fázis II. szakasza, sástőzeg erőteljes emberi hatással). A X. század második felétől, végétől a pollenösszetétel újabb erőteljes változást mutatott.

Az erdei fás szárú pollenek aránya ismét 40 % alá csökkent. Bár az emberi hatásra jellemző gyomok, napfénykedvelő cserjék és haszonnövények pollenarány folyamatosan változott, de egy jellegzetes emelkedés rajzolódott ki egészen a XIII. századig, de valamennyi pollenösszetéti paraméter folyamatos és erőteljes emberi hatásokat, köztük igen jelentős mezőgazdasági tevékenységet valószínűsít a vizsgált területen a X. és XIII. század között.

A pollenösszetétel, a gabonafélék, a búza és rozs (*Triticum* type, *Secale*), valamint a gyomok pollenarányának fokozatos és egyre erőteljesebb emelkedése növekvő emberi hatásokat, erőteljes mezőgazdasági, közte szántóföldi tevékenységet és növekvő emberi létszámot mutat. A pollenösszetétel alapján a magyar honfoglalást követően letelepült életmóddal és kiterjedt szántóföldi földműveléssel találkozhatunk, amely különbözött a népvándorláskor végének gazdálkodásától, és nem annak szerves folytatása. A pollenösszetétel alapján a középkori gazdálkodást mozaikos növényzeti szerkezet jellemezte, szántók, legelők, kaszálók, erdők szinte teljesen azonos arányú jelenléte jellemezte a vizsgált területet. A magyarság megjelenésével és megtelepedésével párhuzamosan alakult ki a mozaikos térhasználati szerkezet.

A felerősödő emberi hatások, a kiterjedő mezőgazdasági tevékenység ellenére a dunai allúviumon az erdővel, elsősorban a keményfákkal borított felszínnek aránya megemelkedett. Ennek nyomán tudatos erdőgazdálkodással, erdővédelemmel számolhatunk a magyarok megtelepedését követően. Ebben is erőteljesen különbözik ez a pollenhorizont a népvándorlás korától.

A XIII. századtól felhalmozódott tőzeganyag utólag kiszáradt és talajosodott, valószínűleg a XX. században gépesített tőzegkitermelés talajvízszint szabályozása – süllyesztése miatt, ezért az ennél fiatalabb tőzegszintből értékelhető pollenanyag már nem került elő. A makrobotanikai anyag is tönkrement, mindössze a csiga- és kagylóanyag maradt meg tanulmányozható formában.

cm	Lokális Pollen Zónák	Kor	Pollenzóna leírása/Paleohidrológiai értékelése
110-80	CST VM LPZ 10	Krisztus utáni IX-XIII. század	Mezőgazdasági tevékenység, közte a földművelés felerősödik, a növekvő emberi hatás ellenére az erdősült területek aránya emelkedett – mozaikos növényzeti és művelési szerkezet, erdők, legelők, rétetek, szántóföldek foltjai – mozaikjai egymás mellett. Hosszabb tenyészidőszakú, kedvezőbb éghajlatú szakasz.
120-110	CST VM LPZ 9	Krisztus utáni V. -IX. század	Erdőregenárációs szint, hűvösebb, csapadékosabb paleohidrológiai szint, erőteljes társadalmi változásokkal, népvándorlás kora
170-120	CST VM LPZ 8	Krisztus utáni IV. –Krisztus előtti V. század	Késő Vaskor – Római Császárkor, kedvezőbb éghajlatú, hosszabb tenyészidőszakokkal jellemezhető paleohidrológiai szint, emberi hatás maximum kifejlődése a dunai ártéren
210-170	CST VM LPZ 7	Krisztus előtti 2000 és IV. század	Sástőzeg lép erőteljes emberi hatással. Az utolsó 10 ezer év legcsapadékosabb tenyészidőszakaival jellemezhető Késő Bronzkori és Kora Vaskori paleohidrológiai szakasza, erőteljes emberi hatásokkal és gyomok terjedésével
230 - 210	CST VM LPZ 6	Krisztus előtti 4400 és 2000	Szil és mogyoró (<i>Ulmus, Corylus</i>) visszaesés, bükk-gyertyán-tölgy (<i>Fagus, Carpinus, Quercus</i>) dominancia maximumának kialakulása Rézkor és Bronzkor kezdete, előző kiegyenlített éghajlatú szakaszhoz képest hűvösebb és csapadékosabb paleohidrológiai szakasz, nádtőzeg képződés zajlik a Vörös-mocsár medrében.
239 - 230	CST VM LPZ 5	Krisztus előtti 5900 és 4400	Kiegyenlített éghajlattal jellemezhető tenyészidőszakok, termelő emberi hatások kezdete, neolitikum időszaka. A kiegyenlített hőmérséklet mellett a csapadék ciklikus hullámszerű változása figyelhető meg. Nádtőzeg képződésnek a kezdete ide kötődik
242-239	CST VM LPZ 4	8500 - 7900	Késő-Mezolitikum, Atlantikus fázis kezdete, mogyoró és szil (<i>Corylus – Ulmus</i>) dominancia szintje. Kifejezetten száraz paleohidrológiai szakasz, alacsony tavi vízszinttel és mésziszap képződéssel. A mogyoró kiemelkedő pollenmaximuma háttérben emberi, preneolit (intenzív gyűjtögetés és szegélyhatás kiterjesztési) hatások is jelentkezhetnek.
248-242	CST VM LPZ 3	11.600 - 8500	A dunai allúviumon, a Vörös-mocsár környezetében szil – kőris – tölgy – mogyoró

			(<i>Ulmus – Fraxinus – Quercus – Corylus</i>) dominancia szint kifejlődése nyomán alföldi keményfás ligeterdők (<i>Faxino-Quercetum</i>) kifejlődése, a magasparton szárazabb mérsékeltövi sztyepp – erdőssztyepp kialakulása, kettős növényzeti és pollen hatás kialakulása a pollenanyagban. Kiegyenlített, emelkedő tényésidőszaki hőmérséklet és csapadékos fázis a holocén kezdetén.
252-248	CST VM LPZ 2	12.000 – 11.600	Fűfélék és erdei fenyők dominanciájával jellemezhető boreális típusú erdőssztyepp kifejlődése a jégkor végén, hideg és szárazabb klímaszakasz kialakulása, a száraz, mély talajvíz helyzetű magaspart és magas talajvízállású, nedves aljzatú dunai ártéri területek együttes hatása a növényzetre és a pollenösszetételre a jégkor utolsó fázisában. Pollen-összetétel kétarcúságának kifejlődése. Jégkor végi oligotróf tavi fázis, paleohidrológiai szakasz kialakulása.
270-252	CST VM LPZ 1	14.000 – 12.000	Erdei fenyő, nyír és fűfélék dominanciájával jellemezhető boreális típusú vegyeslombozatú, erdőssztyepp kifejlődésű tajgás sztyepp és sztyeppés tajgára jellemző késő-glaciális pollenfázis kifejlődése, fluviális paleohidrológiai szakasz kialakulása.

3. táblázat Pollenfázisok kifejlődése a császártöltési (CST2 jelzésű fúrás) zavartalan magfúrás szelvényén

Császártöltési szelvény makrobotanikai vizsgálatának eredményei

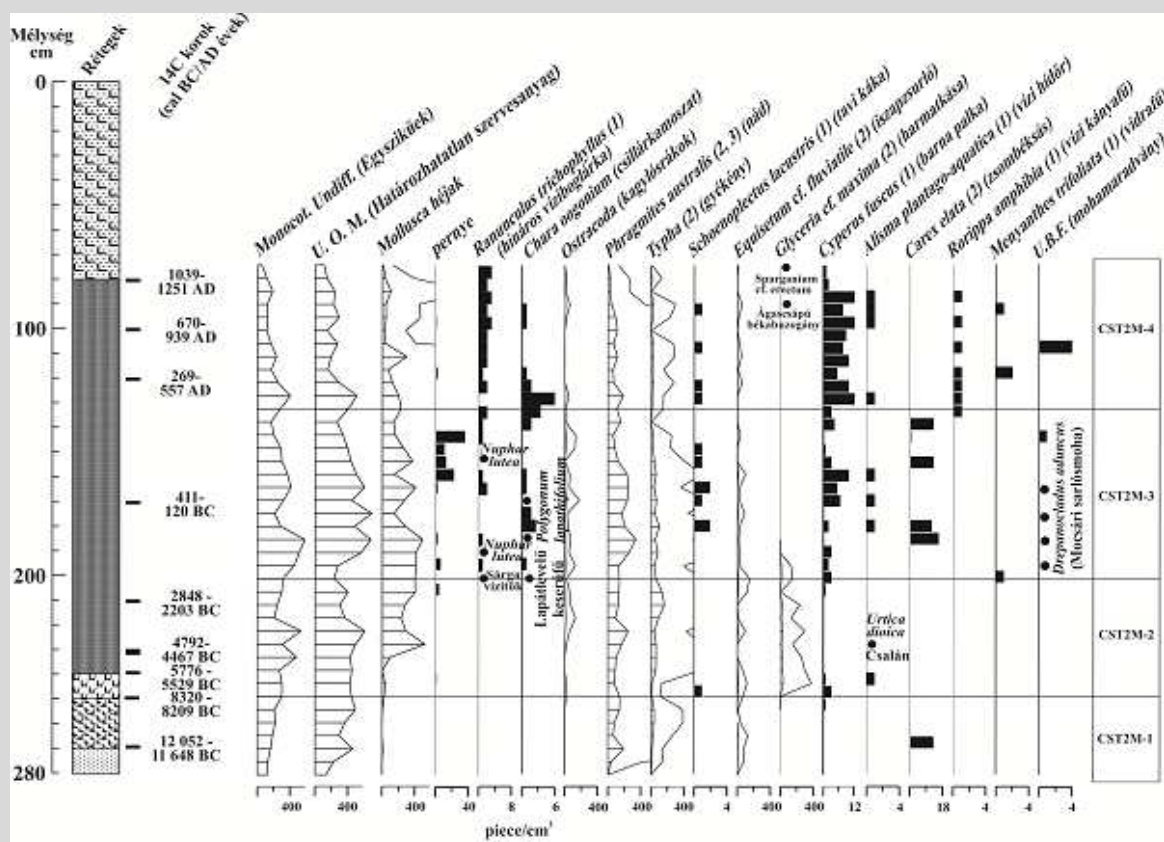
A császártöltési Vörös-mocsár szelvényét makrobotanikai szempontból is megvizsgáltuk és a maradványok változása alapján 5 makrobotanikai szintet (**4. táblázat**) sikerült elkülöníteni (CSVM LMBZ 1 – CSVM LMBZ 5). Makrobotanikai anyagok 270 és 80 cm között kerültek elő.

Császártöltés – Vörös-mocsár 1. lokális makrobotanikai zóna (CSVM LMBZ 1)

270–245 cm, 14 000–11 500 cal BP évek = 12 000–9 500 cal BC évek között, a jégkor végén, a késő-glaciális fázisban fejlődött ki a zavartalan magfúrással feltárt első makrobotanikai zóna (**231. ábra**). A makrofosszília tartalma rendkívül alacsony volt ennek a szintnek, gyékény, nád, iszapzsurló (*Typha, Phragmites, Equisetum fluviatile*). A makrobotanikai anyag alapján egyértelműen még mozgó vízben halmozódott fel az üledék, és a növényi maradványok a mozgó víz peremén rakódhattak le (**4. táblázat**).

Császártöltés – Vörös-mocsár 2. lokális makrobotanikai zóna (CSVM LMBZ 2)

240–200 cm, 11 500 és 8000 cal BP évek = 9 500–6 000 cal BC évek között kifejlődött oligotróf és mezotróf állandó vízborítású tavi fázisok). A holocén első szakaszában, annak kezdetén a makrofosszília tartalom jelentősen megemelkedett. Ez egyrészt a fluviális szakasz és a mozgó vízi környezet lezárulásának és ezzel párhuzamosan a morotvatavi környezet kifejlődésének köszönhető. Másrészt pedig a javuló éghajlati feltételek miatt a morotvatavi környezet pereme elláposodott (4. táblázat). Gyékény és nád (*Typha*, *Phragmites*) maradványok jelentkeztek a legjelentősebb arányban és jelentős mennyiségben kerültek elő a fűféléktől (Poaceae) pollen alapon el nem különíthető harmatkása (*Glyceria maxima*) maradványok is. A Mollusca és kagylósrák (Ostracoda) héjak jelenléte is folyamatossá vált ebben a kora-holocén szintben (231. ábra).

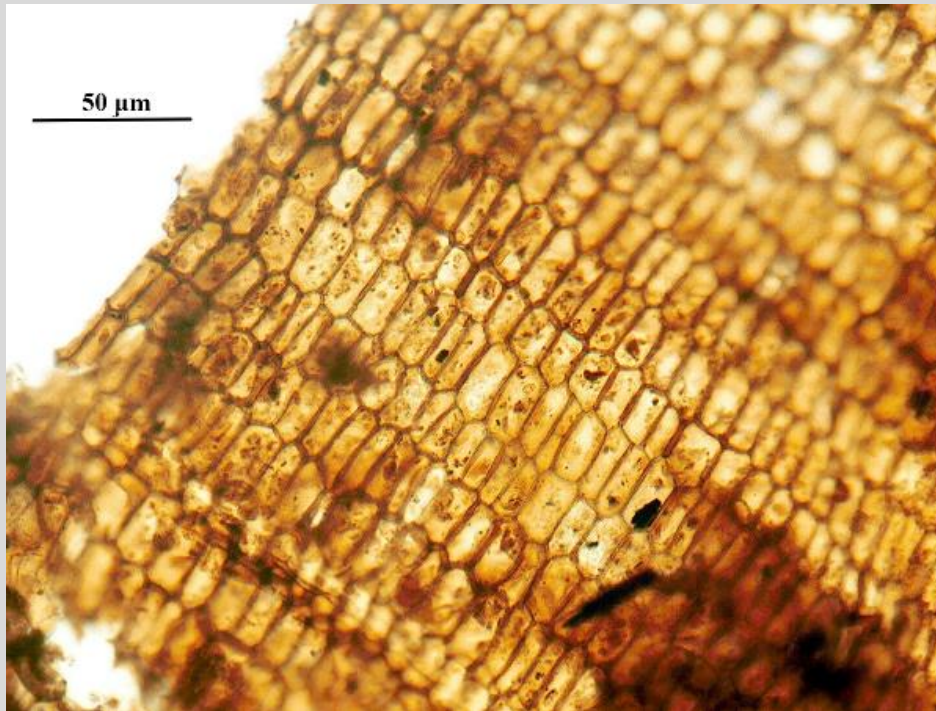


231. ábra Makrobotanikai vizsgálatok eredményei a Vörös-mocsári magfúrás szelvény mentén, a rétegsor Troels-Smith szimbólumokkal ellátva, naptári korokkal, BC = Krisztus előtti, AD = Krisztus utáni (Forrás: új, eredeti ábra)

Császártöltés – Vörös-mocsár 3. lokális makrobotanikai zóna (CSVM LMBZ 3)

A fúrásszelvénynek a harmadik makrobotanikai lokális zónája 200–135 cm, 8 000–2 000 cal BP years = Krisztus előtti 6000 év és Krisztus születésének éve között képződött nádtőzeg lép és nádtőzeg/sástőzeg lép szintjeiből áll. A gyékény (*Typha*) és a nád (*Phragmites*: 232. ábra) a két fő tőzegalkotó a tőzégképződés kezdetén, majd fokozatosan keveredik a zsombék sás (*Carex elata*) tőzeganyagával neolitikum végétől. A zsombéksás (*Carex elata*) a rézkor

kezdetétől vált dominánssá a tőzegben és így a nádas tőzegláp helyét a zombéksásos láp váltotta fel a Krisztus előtti 4000 évtől fokozatosan. A tőzégképződés kezdetén nádas lápos tavi állapot alakulhatott ki, ahol a nyíltabb vízfelszíneket gyökerező hínárok, például sárga vízitők boríthatták. A zombéksás a császárkorban lett egyeduralgó a fokozatosan feltöltődött üledékgyűjtő meder, a Vörös-mocsár területén (**231. ábra** és **4. táblázat**).



232. ábra *Phragmites* (nád) levél szöveti képe (Forrás: saját ábra)

Császártöltés – Vörös-mocsár 4. lokális makrobotanikai zóna (CSVM LMBZ 4)

A fúrásszelvénynek a negyedik makrobotanikai lokális zónája 135–80 cm, 2 000–700 cal BP = Krisztus születésétől a Krisztus utáni XIII. század végéig tartó sástőzeg fázis alkotja. A makrofosszília tartalom az előző szinthez képest lecsökkent és 4. lokális makrobotanikai zónában végig alacsony maradt. Döntően sás taxonok, leginkább zombéksás (*Carex elata*) és barna palka (*Cyperus fuscus*), hínáros víziboglára (*Ranunculus trichophyllus*) maradványok alkotják ezt a szintet (**231. ábra** és **4. táblázat**). A maradványok paleohidrológiai elemzése alapján a tőzegláp vízszintje már lecsökkent és fluktuált ebben a szintben. Iszaptársulások és változó, sekélyvíz-borításra jellemző víziboglárka társulások alakultak ki. Bár a tőzégképződés folytatódott, de a sástőzeg képződés vált a dominánssá, a nádtőzeg (**232. ábra**) aránya lecsökkent.

Császártöltés – Vörös-mocsár 5. lokális makrobotanikai zóna (CSVM LMBZ 5)

A felszíntől 80 cm, az utolsó 700 naptári évet átfogóan vízhatású (hidromorf) talaj képződött a már kialakult, valószínűleg Krisztus után XIII. és XX. század között. A XX. századra, az

iparosított tőzegbányászat során (1952-1972 között) kialakított mesterséges talajvízszint csökkentéshez kapcsolható a hidromorf talajképződés a Vörös-mocsár területén. A talajképződés során nemcsak a pollenanyag semmisült meg, hanem a tőzeget alkotó makrobotanikai maradványok is szétestek, felismerhetetlenül dezintegrálódtak, a kialakuló vízhatású talaj huminanyagát alkotva.

cm	Local Makro-botanikai Zónák	cal BP évek	Local Makro-botanikai Zónák leírása
80–0	CSVM LMBZ 5	utolsó 700 naptári év	Nincs felismerhető makrobotanikai anyag
135–80	CSVM LMBZ 4	2000–700	<i>Phragmitetum - Ranunculetum aquatilis - Cypero-Juncetum bufonii</i> tőzegközösségek
135– 240	CSVM LMBZ 3	8000–2000	<i>Phragmitetum - Nymphaeetum albo-luteae - Cypero-Juncetum bufonii</i> tőzegközösségek
240– 250	CSVM LMBZ 2	11.500–8000	<i>Glycerietum - Phragmitetum communis tavi</i> és lápos tavi állapot közösségei
270– 250	CSVM LMBZ 1	14.000 – 11.500	<i>Equisetum fluviatile</i> – élő, fluviális vízi növényzeti közösségei

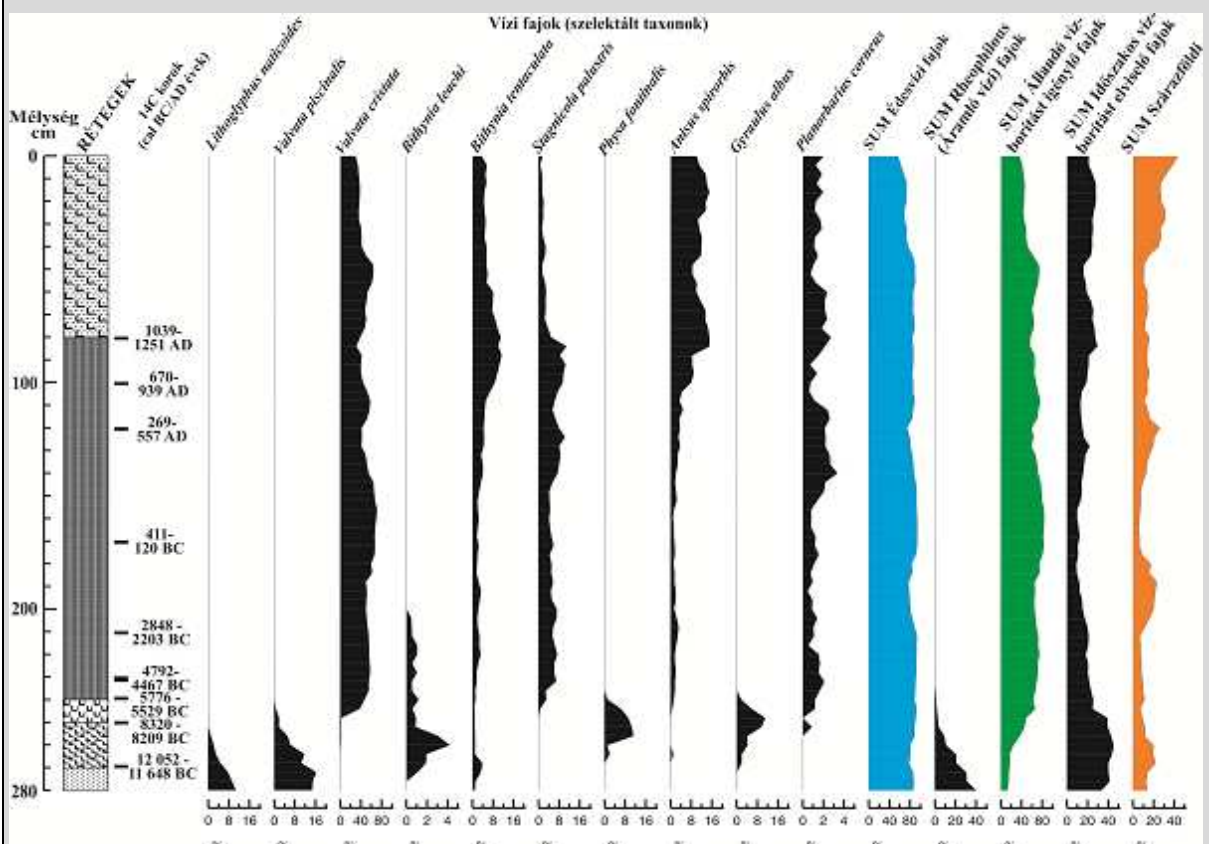
4. táblázat Makrobotanikai fázisok kifejlődése a császártöltési (CST2 jelzésű fúrás) zavartalan magfúrás szelvényén

Császártöltési szelvény malakológiai vizsgálatának eredményei

A szelvényben 52 Mollusca faj (29 édesvízi csiga, 3 kagyló taxon és 23 szárazföldi faj) 12.632 (10.727 édesvízi and 1905 szárazföldi) egyede került elő a 4 centiméterenként kiemelt 71 darab mintából. Valamennyi minta statisztikusan értékelhető malakológiai anyagot tartalmazott és a statisztikai elemzésekhez (**233. és 234. ábra, 5. táblázat**) a mintánként előkerült egyedszám megfelelő volt. A Mollusca fauna változásai alapján 8 lokális malakológiai zónát lehetett kijelölni (**5. táblázat**). A szelvényt egészében a vízi fajok dominanciája jellemezte, csak a legfelső 40–50 cm-ben, az utolsó malakológiai zónában emelkedett meg a szárazföldi fajok együttes aránya 40-45 %-ra. A malakológiai zónák az üledékes fácies változásait követték, azaz a lokális környezeti változások, a meder üledékkel történő feltöltődése és annak menete irányította a folyamatot (**233. és 234. ábra**).

Császártöltés – Vörös-mocsár I. lokális malakológiai zóna (CST VM LMZ 1)

A fúrásszelvényben az első malakológiai zóna 280–270 cm, 15.000–14.000 BP évek = 13.000 és 12.000 cal BC évek között *Lithoglyphus naticoides*–*Valvata pulchella* lokális malakológiai zóna fejlődött ki. A szelvény fekjét alkotó folyóvízi homok a késő-glaciális kezdetén halmozódott fel. A folyóvízi homokban kifejezette a fluviális környezetet jelző, áramló és oxigénben gazdag vizet kedvelő (reofil) elemek domináltak (30–40 %). Mind a csiga (*Viviparus acerosus*, *Lithoglyphus naticoides*, *Valvata piscinalis*, *Valvata naticina*), mind a kagyló fauna tekintetében (*Pisidium amnicum*, *Unio crassus*) a folyómeder sodorvonalában élő, oxigénben gazdag vízi környezetet kedvelő fajok kerültek elő jelentősebb arányban (233. és 234. ábra és 5. táblázat).

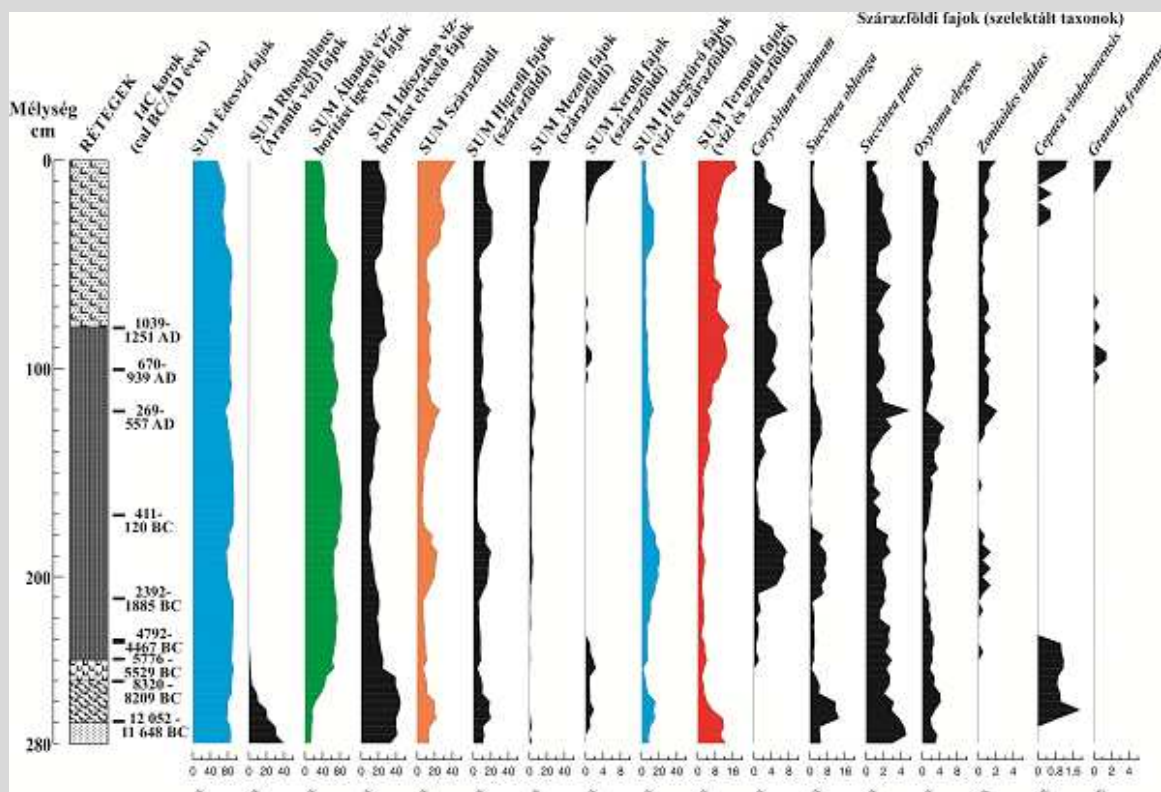


233. ábra Malakológiai vizsgálatok (vízi fajokra vonatkozó) eredményei a Vörös-mocsári magfúrás szelvény mentén, a rétegsor Troels-Smith szimbólumokkal ellátva, naptári korokkal, BC = Krisztus előtti, AD = Krisztus utáni (Forrás: új, eredeti ábra)

Ugyanakkor jelentős mennyiségű, időszakos vízborítást is elviselő fajok, valamint vízparti, de már szárazföldi környezetben élő (amfibikus) csigák aránya is jelentős volt ebben a szintben. Ez alapján a fauna jelentős részét különböző élőhelyekről származó, összerosódott héjak alkotják, amelyek a folyóvízi tevékenység nyomán halmozódtak fel a vizsgált folyómederben. A fauna összetétele, a hidegtűrő-hidegkedvelő, észak-európai elterjedésű és a jégkorban az egész Kárpát-medencében jelenlévő *Valvata pulchella* és a jégkor végén megjelenő, enyhébb

éghajlatot kedvelő *Lithoglyphus naticoides* együttes megjelenése, a hidegkedvelő és az enyhébb klímát kedvelő elemek közös, átfedő elterjedése rendkívül jellemző a Kárpát-medencebeli késő-glaciális és kora holocén malakofaunára. Ez a faunaösszetétel a Kárpát-medence Európa többi részétől elkülönülő faunafejlődésére utal, amelynek háttérében a medence kettős refúgium (a hideg időszakban a melegkedvelő fajoknak, a felmelegedésekben a hidegtűrő fajoknak nyújt menedékterületeket) hatása húzódhat meg.

Császártöltés – Vörös-mocsár 2. lokális malakológiai zóna (CST VM LMZ 2) A fúrásszelvényben a második malakológiai zóna 270–250 cm, 14.000–11.500 BP years = 12.000 és 9500 cal BC évek között *Bithynia leachi*–*Bithynia tentaculata* lokális malakológiai zóna fejlődött ki.



234. ábra Malakológiai vizsgálatok (szárazföldi fajokra vonatkozó) eredményei a Vörös-mocsári magfúrás szelvény mentén, a rétegsor Troels-Smith szimbólumokkal ellátva, naptári korokkal, BC = Krisztus előtti, AD = Krisztus utáni (Forrás: új, eredeti ábra)

A szelvény fekjét alkotó folyóvízi homokra egy (morotva)tavi üledék települt, amelyben az üledékfáciesnek megfelelően az állandó vízborítást igénylő malakológiai csoport tagjai domináltak (233. és 234. ábra és 5. táblázat). Ugyanakkor a folyóvízi környezetből még fennmaradtak a mozgó vizet kedvelő elemek (például *Valvata piscinalis*: 235. ábra), így egy oxigénben gazdag aljzatú, jól átvilágított, szerves anyagban szegény oligotróf tavat rekonstruálhatunk a császártöltési mederben a jégkor utolsó szakaszában.

A tavi rendszerben a hidegkedvelő és az enyhébb klímát kedvelő elemek, mint a *Bithynia leachi* és a *Bithynia tentaculata* egymás mellett és közel azonos arányban kerültek elő. Vagyis a folyóvízi ösztlet mellett a kettős refúgium hatás (a Kárpát-medencében az utolsó 2,58 millió év, a negyedidőszak során, a lehülések során a melegkedvelő fajok, a felmelegedések folyamán a hidegkedvelő fajok maradtak fenn a menedékhelyeken, más néven refúgiumokban) az állandó vízborítást igénylő vízi csigafauna csoport elemei között is kimutatható.

Császártöltés – Vörös-mocsár 3. lokális malakológiai zóna (CST VM LMZ 3) A fúrásszelvényben a harmadik malakológiai zóna 250–240 cm, 11.500–8 000 BP years = 9500 és 6000 cal BC évek között *Physa fontinalis*–*Gyraulus albus* lokális malakológiai zóna fejlődött ki.



235. ábra Áramló, mozgó, oxigénben gazdag vizet kedvelő *Valvata piscinalis* (változékony kerekcsigák) (Forrás: új, eredeti ábra)

A holocén kezdetén a malakofauna átalakult, a tavi rendszer mezotróffá vált és egy *Chara* moszatokban (csillárcamoszatokban) gazdag aljzatú tavi rendszer (ún. „*Chara tó*”) alakult ki. Ez a karbonátban gazdag, mezotróf tavi állapot átfogta a mezolitikum végét. Bár a hidegkedvelő-hidegtűrő elemek (például *Bithynia leachi*) ebben a szakaszban is kimutathatóak, de arányuk jelentősen csökkent már a császártöltési szelvénynek ebben a szakaszában. A Mollusca faunában a karbonátban gazdag, jól átvilágított, stabil vízmagasságú környezetre jellemző fajok (*Physa fontinalis* = balos hólyagcsiga, *Gyraulus albus* = rácos tányércsiga: 236. ábra) domináltak. A fauna összetétele alapján magas vízállású, vegetációval bevont tavi környezet jellemezte a vizsgált medencét a holocén kezdetén.



236. *ábra* Meszes, mezotróf *Chara* tavakat kedvelő *Gyraulus albus* (rácsos tányércsiga) (Forrás: wikipedia, módosítva)

Császártöltés – Vörös-mocsár 4. lokális malakológiai zóna (CST VM LMZ 4)

A fúrásszelvényben a negyedik malakológiai zóna 240–200 cm, 8000–3400 BP = 6000–1400 cal BC évek között fejlődött ki és *Valvata cristata*–*Bithynia leachi* lokális malakológiai zóna alkotta. A tavi rendszer erőteljesen eutrofizációnak indult a neolitikum kezdetén és sűrű növényzeti bevonat alakult ki a császártöltési mederben. Ennek nyomán a malakofauna átalakult, és az eutróf, növényzettel bevont vizeket kedvelő fajok, elsősorban a *Valvata cristata* (korong alakú kerekszájú csiga: 237. *ábra*) taxon került előtérbe.

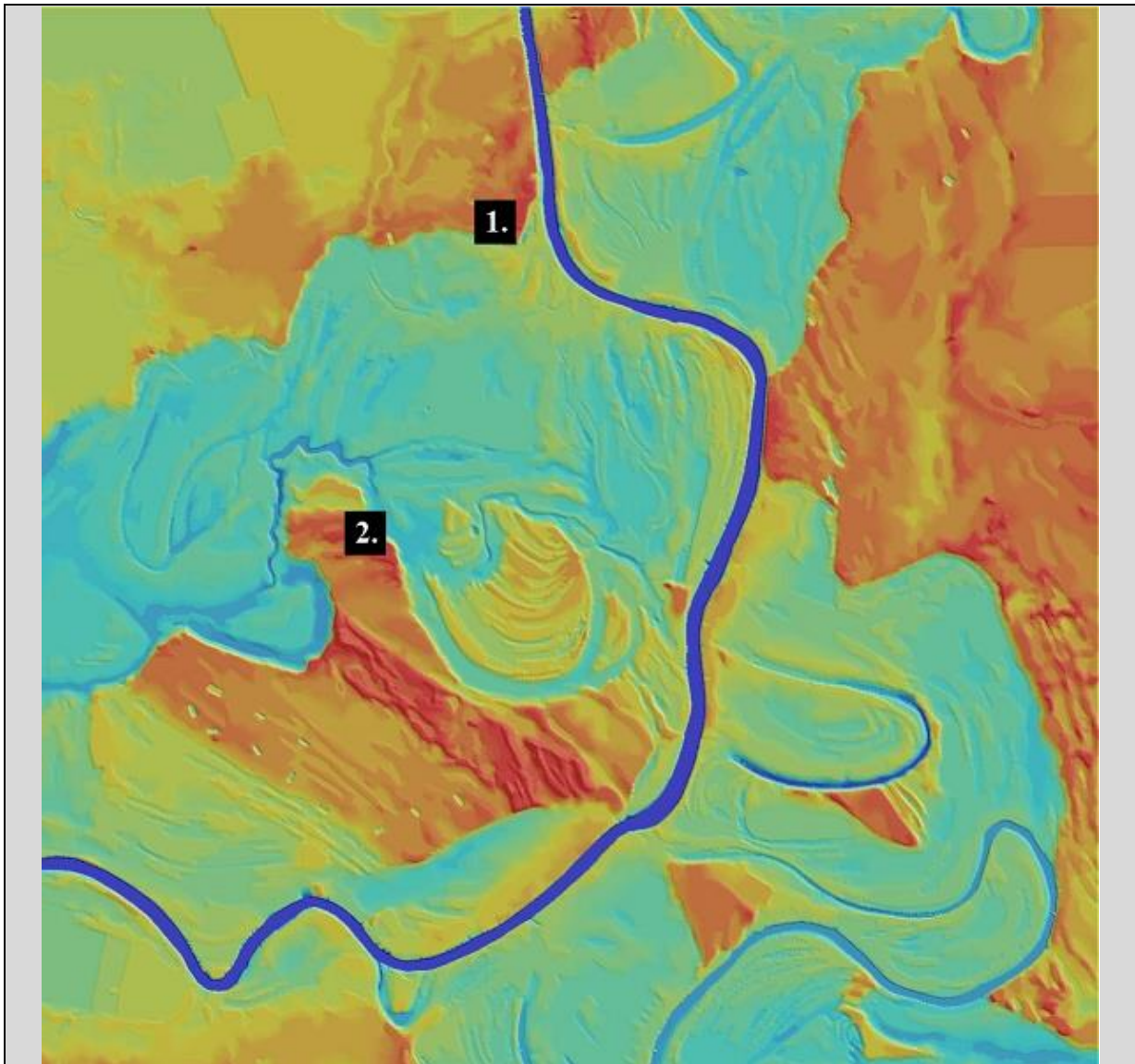


237. *ábra* Meszes lápos tavakban, tőzeglápokon, eutróf tavakban elterjedt *Valvata cristata* (korongalakú kerekszájú csiga) (Forrás: új, eredeti *ábra*)

Ennek a fajnak az elterjedése, előtérbe kerülése a lápos tavi állapot kialakulását követően alakulhatott ki. Az eddigi ökológiai vizsgálatok alapján a foszfor- (és a szervesanyag-) tartalom növekedése okozhatta a karbonátos, *Chara* tavi állapot összeomlását, mivel a

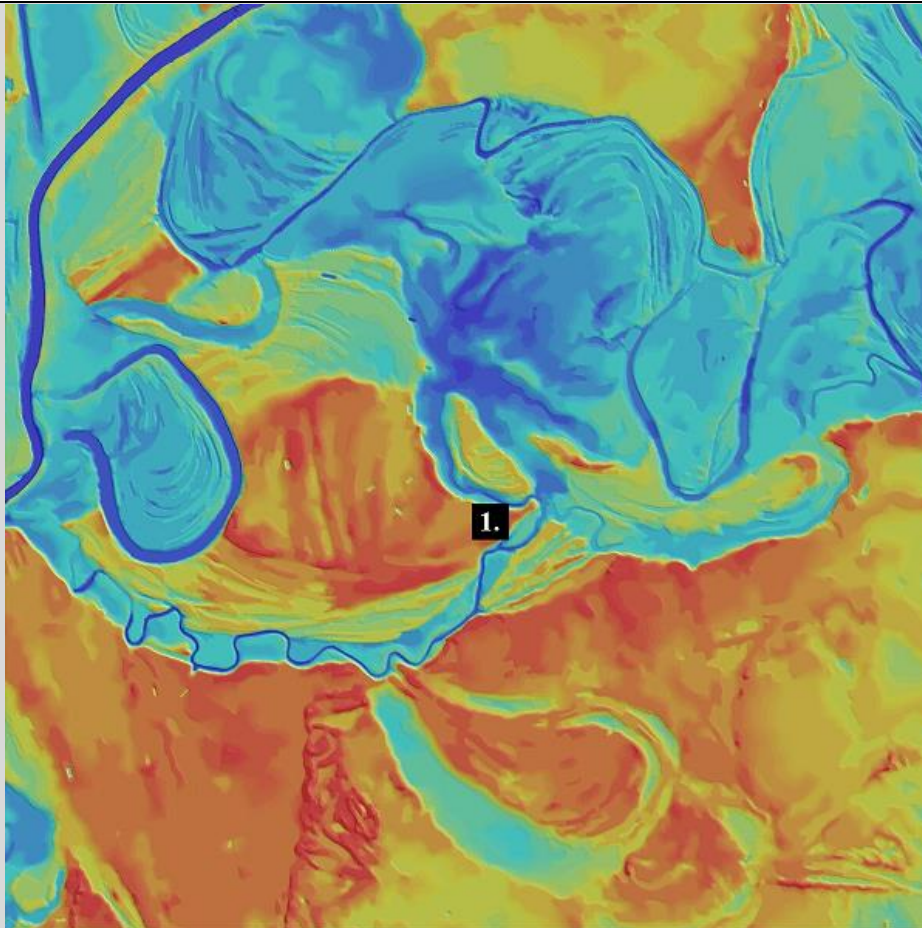
foszfortartalom emelkedésével a magasabb rendű növények előnybe kerültek a mésziszap felhalmozódásában szerepet játszó csillárkamoszatok pedig visszaszorultak. A magasabb rendű növények növekvő mennyisége szerves anyagban dús, növényi maradványokat tartalmazó tavi környezet kialakulásához, a tavi rendszer eutrofizációjához vezetett, amely szerves anyagban gazdag iszap, majd a növényzet (fitomassza) növekedésével tőzeg kialakulásához vezetett.

Ezen üledékréteg kialakulása és a magasabb rendű növények elszaporodása okozta karbonátos tavi rendszerek átalakulását és a mésziszap képződés lezárulását. A mederben a lápos tavi környezet kialakulását követően tőzefelhalmozódás indult meg és ez a tőzégképződés jellemezte az utolsó 8000 évet a császártöltési mederben. Ezt követően már nem jelentkezett fácies változás a mederben, így a szelvényben talált változások emberi vagy éghajlati hatásra alakulhattak ki. Jelenlegi ismereteink alapján nem lehet eldönteni, hogy a tőzégképződés megindulásában szerepe volt-e a kora-neolitik közösségek megtelepedésének. Mégis az eddigi paleohidrológiai adatok, a tiszapüspöki és kőtelki (238. ábra), nagykörűi (239. ábra), ecsefalvi (94. ábra), maroslelei (240. ábra) Körös-kultúra környezetében végzett vizsgálataink arra utalnak, hogy a megtelepedett életmóddal (241. ábra) jellemezhető kora-neolitik közösségek környezetében megváltozott a morotvatavak feltöltődési állapota.

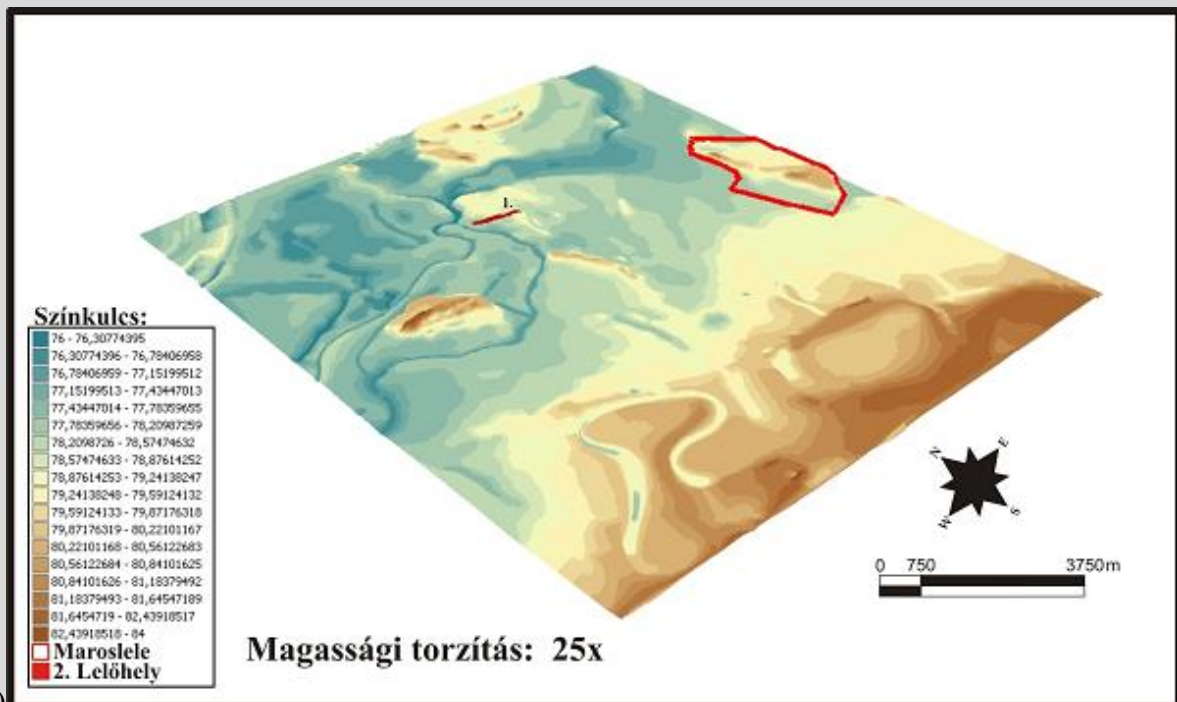


238. ábra Kőtelek Huszársarok (1) és Nagykőrű Tsz Gyümölcsös Körös leőhelyek elhelyezkedése digitális domborzati modellen (Forrás: új, eredeti ábra)

Így az elsősorban a kertszerű földműveléssel, és legeltető állattenyésztéssel jellemezhető Körös-kultúra környezetében található morotvatavak eutrofizációnak indultak a Krisztus előtti 5700–6000 évek között, a császártöltési mederhez hasonlóan. A fauna átalakulása és a tőzegképződés megindulása, a tavi rendszer eutrofizációja összefüggést mutathat a Körös-kultúra közösségeinek megtelepedésével, de még nem pontosan ismert az a tényező, tevékenység, amellyel ezt a környezeti átalakulást elindították.



239. ábra Tiszapüspöki - Háromág Körös lelőhely (1) elhelyezkedése digitális domborzati modellen (Forrás: új, eredeti ábra)



240. ábra Maroslele – Pana Körös lelőhely (1) elhelyezkedése digitális domborzati modellen (Forrás: új, eredeti ábra)



241. *ábra* Körös ház maradványainak régészeti feltárása a tiszapüspöki Háromág lelőhelyen
(Forrás: szerző felvétele, 2004)

Valószínűsíthető, hogy a talajerózió, és ezzel együtt a környezet, mindenekelőtt a Körös lelőhely melletti holtágak eutrofizációját indíthatták el. Ugyanakkor ez a császártöltési malakológiai zóna átfogja a neolitikumot, a rézkort és a bronzkor első felét is, de több kisebb változást, elsősorban a hőmérsékletre érzékenyebb fajok változásai alapján éghajlati ingadozásokat tartalmazhat ez a szint. Viszont a tőzegképző lápos tavi állapot a malakofauna alapján alapvetően a bronzkor végéig fennmaradt és csak a bronzkor második felében alakult át a meder élővilága és növényzeti borítottsága.

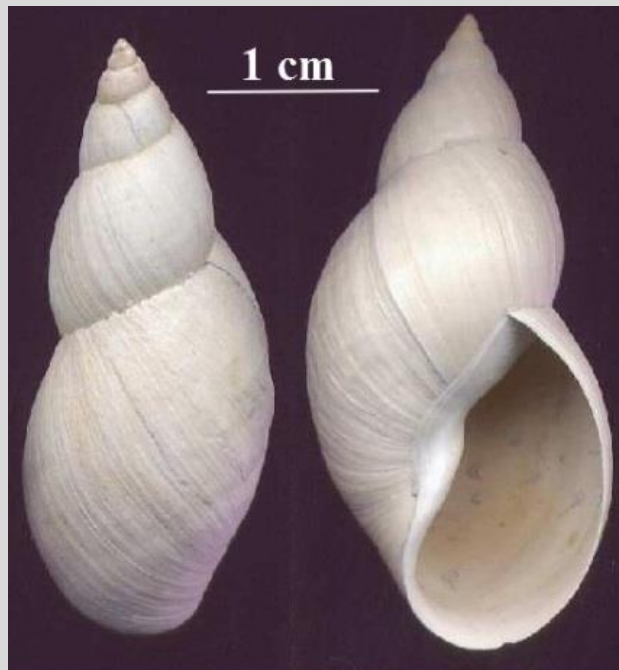
Császártöltés – Vörös-mocsár 5. lokális malakológiai zóna (CST VM LMZ 5)

A fúrásszelvényben az ötödik malakológiai zóna 200–120 cm, 3400–1500 BP évek = Krisztus előtti 1400 és a Krisztus utáni 500 évek között fejlődött ki és a *Valvata cristata*–*Planorbarius corneus*–*Lymnaea palustris* lokális malakológiai zóna kifejlődésével jellemezhető. A bronzkor második felében a császártöltési Mollusca fauna összetétele teljesen átalakult, bár továbbra is a tőzegképző környezetet jelző *Valvata cristata* dominált, de a kísérő faunában a sekélyebb és talán a hidegebb vizű környezetet jelző euroszibériai *Planorbarius corneus* (nagy tányércsiga: **242. ábra**), és a holarktikus *Lymnaea palustris* (mocsárcsiga: **243. ábra**) dominanciája emelkedett meg. A tőzegképző környezet, a növényzet megváltozhatott és a növényzeti borítás is erőteljesebbé válhatott a malakofauna összetételének változása alapján. Hasonló változásokat lehetett kimutatni más üledékgyűjtő medencékben is a bronzkor

második felében, a Kis-Balaton, a Balaton, a Kolon-tó medencéiben, a Benta-völgyében egyaránt.



242. *ábra* Eutróf vizeket, lápos környezetet kedvelő, jelentős tűrőképességgel rendelkező, eurosibériai elterjedésű nagy tányércsiga (*Planorbis corneus*) (Forrás: wikipedia, módosítva)



243. *ábra* Eutróf vizeket, lápos környezetet, patakokat, ártéri pocsolyákat egyaránt kedvelő, jelentős tűrőképességgel rendelkező, holarktikus elterjedésű nagy mocsárcsiga (*Lymnaea palustris*) (Forrás: wikipedia, módosítva)

A környezeti változást a szárazföldi fajok, elsősorban a vízparti elemek arányának növekedése is jelzi. Valószínűsíthető, hogy mind az éghajlat, mind az emberi hatás

megváltozott ebben a szintben és egy kifejezetten hűvösebb, csapadékosabb környezetben a felerősödő emberi hatások nyomán a medence feltöltődése felgyorsult és ennek nyomán változott meg a növényzeti borítás és ezt követte a malakofauna átalakulása is. A malakofauna kifejlődése teljes mértékben párhuzamosítható a sás növényzet terjedésével, a sásláp állapot kialakulásával a bronzkor végén.

Császártöltés – Vörös-mocsár 6. lokális malakológiai zóna (CST VM LMZ 6)

A fúrásszelvényben az hatodik malakológiai zóna 120–80 cm, 1500–800 BP évek = Krisztus utáni V. század és a Krisztus utáni XII. század évek között fejlődött ki a *Lymnaea palustris*–*Bithynia tentaculata* lokális malakológiai zóna. Ez a lokális malakológiai zóna egy újabb környezeti állapot kifejlődését jelzi, a növényzeti bevonat a mederben lecsökkenhetett, talán a nyitottabb vízfelület aránya emelkedhetett meg, és a lápi pocsolyák aránya növekedhetett meg, mivel az eutróf tavi környezetet kedvelő fajok aránya erőteljesebbé vált. A klíma enyhébb lehetett a fauna összetétele alapján, vagyis a népvándorlaskor és a középkor során egy viszonylag kiegyenlített éghajlattal számolhatunk. A növényzeti felszín csökkenését emberi hatás is okozhatta és nem zárható ki, hogy ebben az időszakban felhasználhatták a meder felszínét borító sásleveleket házak, ólak, tetők szigetelésére, és/vagy a zsombéksásos lápon legeltettek (például sertéseket, lovakat), és ennek hatására csökkenhetett a növényzeti borítás. Ebben a szakaszban az emberi zavarás és bolygatás a meder környezetében és magában a mederben erőteljesebbé vált.

Császártöltés – Vörös-mocsár 7. lokális malakológiai zóna (CST VM LMZ 7)

A fúrásszelvényben az hetedik malakológiai zóna 80–40 cm, 800–400 BP évek, a Krisztus utáni XII és XV/XVI. század között húzódó *Valvata cristata*–*Anisus spirorbis* lokális malakológiai zóna alkotja. A medret időszakosan kiszáradó pocsolyaközösségek és állandó, növényzettel borított tavacsok alkothatták a Mollusca fauna összetétele alapján. A feltöltődés előrehaladott állapota alakult ki a középkor második felében, ezért a meder, vagy annak egy része időszakosan ki is száradhatott. Az időszakos vizekben is elterjedten megjelenő *Anisus spirorbis* (ajakos tányécsiga: **244. ábra**) dominanciája az ártéri időszakos pocsolyák jelenlétét támasztja alá.



244. ábra Időszakos vizekben, pocsolyákban is tenyésző, palearktikus elterjedésű fehérszájú, vagy más néven ajakos tányécsiga (*Anisus spirorbis*) (Forrás: wikipedia, módosítva)

A kiszáradás mellett a szárazföldi növényzet is meghódíthatta a medret és a lágyszárú növényzeti borítás is jelentős lehetett a mederben és környezetében. Ezt jelzi a malakofauna összetétele, közte a szárazföldi, elsősorban lágyszárúak levelén élő vízparti faunaelemek terjedése ebben a szakaszban. A középkor második felében az emberi hatások csökkenésével számolhatunk az ártéren, feltételezhető, hogy az emberi megtelepedés, és így az emberi hatások döntő része a dunai allúviumot kísérő magaspartokra tevődött át, vagyis megszűnt a Vörös-mocsár közvetlen közelében.

cm	Lokális Malakológiai Zónák	Cal BP évek	Lokális malakológiai zónák fácies jelző domináns Mollusca elemei
44–0	CST VM LMZ 8	400–100	<i>Anisus spirorbis</i> – <i>Succinea oblonga</i>
80–44	CST VM LMZ 7	400–800	<i>Valvata cristata</i> – <i>Anisus spirorbis</i>
120–80	CST VM LMZ 6	1500–800	<i>Stagnicola palustris</i> – <i>Bithynia tentaculata</i>
200–120	CST VM LMZ 5	3400–1500	<i>Valvata cristata</i> - <i>Planorbarius corneus</i> – <i>Stagnicola palustris</i>
240–200	CST VM LMZ 4	8000–3400	<i>Valvata cristata</i> – <i>Bithynia leachi</i>
250–240	CST VM LMZ 3	11.500–8000	<i>Physa fontinalis</i> – <i>Gyraulus albus</i>
270–250	CST VM LMZ 2	14.000–11.500	<i>Bithynia leachi</i> – <i>Bithynia tentaculata</i>
280–270	CST VM LMZ 1	15.000–14.000	<i>Lithoglyphus naticoides</i> – <i>Valvata pulchella</i>

5. táblázat A császártöltési zavartalan (CST2 jelzésű) magfúrással feltárt rétegsor quartermalakológiai zónái

Császártöltés – Vörös-mocsár 8. lokális malakológiai zóna (CST VM LMZ 8)

40 cm-től a felszínig, 400 BP évektől napjainkig, azaz az utolsó 400 naptári évet átfogóan az *Anisus spirorbis*–*Succinea oblonga* lokális malakológiai zóna fejlődött ki. A feltöltődés ebben a szakaszban végső fázisába lépett, a láp időszakosan kiszáradó mocsárrá alakult. A klíma ezzel párhuzamosan hidegebbé-hűvösebbé vált és a vízparti, nedves rétekre, fűzlápokra, mocsarakra jellemző amfibikus eurosibériai elterjedésű elemek (borostyánkőcsigák) aránya vált dominánssá ebben a szakaszban. A tenyészidőszak hőmérséklete erőteljesen lecsökkent és a szárazföldi fajok aránya alapján a meder feltöltődése és kiszáradás, azaz a feközet, a tőzeg talajosodása, bomlása már a középkor végén, a török korban, az újkor kezdetén megkezdődött. Ezt a természetes folyamatot erősítette fel a XX. században intenzívebbé váló tőzegkitermelés és a gépesített tőzegkitermeléshez kapcsolódó talajvízszint csökkentés. A malakológiai adatok alapján nem zárható ki, hogy az elmúlt négyszáz évben a feltöltődött, mocsárrá alakult császártöltési mederben már megindulhatott a korábban felhalmozódott tőzeganyag kitermelése és a tőzeg felhasználása.

A császártöltési Vörös-mocsár szelvényének összehasonlító paleohidrológiai értékelése

A császártöltési mederből is előkerültek értékelhető paleoökológiai anyagok, mivel a késő-glaciális kezdetén ez a meder is kialakult. A vízparti területeken, a morotvatavakban a nád, helyenként a gyékény és az *Equisetum fluitantis* borítása ebben a szakaszban megemelkedett. A Kárpát-medencei késő-glaciális szelvények legfontosabb jellemvonása, hogy a holocén felé haladva a sztyepei elemek aránya növekedett, a hidegkedvelő elemek, mint a *Betula nana*, *Pinus cembra*, *Pinus mugo*, *Larix* kiszorultak a flórából és egy fajgazdag, hidegtűrő és enyhébb klímát kedvelő elemeket (*Corylus*, *Ulmus*, *Quercus*, *Fraxinus*) egyaránt tartalmazó boreális erdőssztyepp jellemezte a vizsgált területet. A növényzeti változások alapján az Alföld déli részén, amely az eurázsiai löszövezet déli szegélye, egy önálló régiója lehetett egyben a lehülések során jelentősebb növényzeti borítás alakult ki a párásabb-humidabb lokális környezet, míg a felmelegedéseket követő kiszáradások nyomán a sztyepei-erdőssztyepei környezet stabilizálódott. A jégkor végén, hasonlóan a Balaton legősibb medencéjének fejlődéséhez, a fentebb bemutatott balatonedericsi részmedence vízborítási változásához hasonló változások jelentkeztek. Ahogy korábban megfogalmaztuk a Kárpát-medence tavainak, morotvatavainak a jégkor végi paleohidrológiai fejlődése a Balkán-félszigeti édesvízi paleohidrológiai rendszerek fejlődésével mutat hasonlóságot. Azaz az enyhe szakaszokban jelentősebb párolgás nyomán alacsonyabb vízállás, míg a hűvösebb szakaszokban magasabb vízállást rekonstruálhattunk a jégkor végén.

A császártöltési adatok megerősítik azon elképzeléseinket, hogy az Alföld egésze nem erdősült be a holocén kezdetén. Ugyanakkor az is egyértelmű, hogy nem hideg sztyepp–meleg sztyepp változások játszódtak le a területen a jégkor/jelenkor határán, mint azt korábban modellezték, hanem a jégkor végén kialakult erdőssztyepp szerkezet öröklődött át a jelenkorra, de az azt felépítő fajok cserélődtek le. Adataink egyértelműen azt bizonyítják, hogy az Alföld északi részén, a tiszai allúviumon kialakított pollenszelvények eredményeit nem lehet általánosítani az Alföld egészére, mert az Alföld nem egy homogén táj, hanem eltérő felépítésű mezoszintű és mikroszintű mintázatot mutat.

A császártöltési késő-glaciális anyagnak a legjelentősebb öskörnyezeti tanulsága, hogy az adatok megerősítették a korábban leírtakat, hogy egy kevert, átmeneti növényzet és fauna alakult ki a Kárpát-medencében a késő glaciális során. Vagyis a jégkori lehűlések során elterjedt hidegkedvelő-hidegtűrő fauna- és flóraelemek, valamint a jelenkorban elterjedő enyhébb éghajlatot kedvelő faunaelemek együtt jelentkeztek a szelvényekben, azaz egykor egymás mellett éltek. Ez a kettős refúgium hatás legjobban a Kárpát-medence jégkor végi csigafaunáinak összetételében figyelhető meg. A késő-glaciális során az erdővel borított területek aránya a dunai allúviumon jelentősebb volt, de a magaspart mikrokönyezete a felmelegedéssel egyre szárazabbá vált és ennek nyomán a magasparton a sztyepei, nyitott erdőssztyepei környezet terjedt ki. Ebből a geomorfológiai kettőségből származó, paleohidrológiai sorozatot követő élőhely mintázatok miatt alakulhatott ki az általunk rekonstruált erdőssztyepp a vizsgált területen.

Kora holocén – preboreális szint (11.600 és 10.200 cal BP évek között)

Ezt a horizontot korábban nyír-fenyő erdő kifejlődésével és az egész medencét beborító vegyeslombozatú tajgfázissal azonosították. Ezzel szemben adataink azt mutatják, hogy a császártöltési szelvényben az erdőssztyepp vegetáció dominált ebben a szakaszban, csak úgy, mint a jászsági hordalékkúpokon, a hortobágyi és a hajdúsági területeken. Ilyen irányú elemzéseinket a recens biológiai megfigyelések, biológiai alapú természetrajzi és történeti modellek is alátámasztják. A dunai allúviumon vegyeslombozatú, jelentős arányban mérsékeltövi lombos fákat és cserjéket (szil, hárs, tölgy, kőris, mogyoró) tartalmazó, nyír és erdei fenyő dominanciával jellemezhető vegyeslombozatú tajga dominált, de a magasparton egyértelműen fűfélékkel, ürömfélékkel, libatopfélékkel (*Gramineae*, *Artemisia*, *Chenopodiaceae*), azaz lágyszárúakkal jellemezhető mérsékeltövi sztyepp-erdőssztyepp borítás alakult ki.

A regionális növényzet erdőssztyeppnek adódott, ahol a fák és cserjék pollenaránya 50–60 % közötti érték körül jelentkezett. A makrobotanikai anyag alapján ebben a jégkor végén a

hajósi mederben kialakult barnamohaláp fennmaradt a holocén kezdetén, míg a császártöltési mederben egy oligotróf tó fokozatosan mezotróf tavi rendszerré, Chara-tóvá alakult át. A két meder a holocén kezdetén két teljesen eltérő kémiai karaktert mutatott az eltérő biológiai feltöltődés és a feltöltődésben szerepet játszó növények elemakkumulációja következtében. Ennek nyomán egy kalcium, magnézium elemekben dús és foszfor-, foszfátszegény Chara-tó alakult ki a császártöltési mederben, csillárkamoszat szőnyeggel a tavi aljzat, a bentosz felszínén. Így ebben a tavi rendszerben a csillárkamoszatok vázából mészszip halmozódott fel, és a karbonátos tavakra jellemző lúgos karakter alakult ki, szemben a hajósi mederrel, ahol a megtelepedett barnamohák egy savanyúbb karaktert alakítottak ki és a hajósi mederben barnamoha lúp képződés vette kezdetét.

Így lokális szinten a biogén feltöltődés eltérése következtében már a dunai allúviumon, a kora-holocén ártéri erdők területén is mozaikos környezet fejlődött ki, eltérő környezeti mozaikok egymás mellettsége alakult ki. Bár rekonstruálhatók az egyes radiokarbon adatokkal korolt paleoökológiai szelvények nyomán az azonos fejlődéstörténeti párhuzamai a kora-holocén vegetáció- és faunafejlődésnek, de igen jelentős eltérések is kimutathatóak még a közvetlenül egymás mellett található szelvényekben is. Éppen ezért a kora-holocén során már lokális szinten is kialakult mozaikosság következtében nem fogadhatók el az egész medencét homogenizálni igyekvő sémák és modellek. Az eddigi adatok, mind a makrobotanikai anyagok, mind a malakológiai anyagok alapján lokális paleohidrológiai változásokat rekonstruálhatunk. Ezeknek a lokális sorozatoknak az összehasonlításával rekonstruálható csak a regionális vagy ennél nagyobb egységek egykori élővilága. Az Alföldön, a holocén kezdetén hasonlóan a császártöltési és a hajósi szelvényekhez az erdőssztyepp vegetáció jelentkezett az izsáki (Kolon-tó), a hortobágyi (Kunkápolnási mocsár, Fecskerét, Mátá-ér, Zám-Halásfenék), jászsági (Megyesi-erő), a maroslelei (tiszai holtágak), a Polgár környéki (Király-ér, Hódos-ér, Kengyel-ér), mezőföldi (sárréti) pollenszelvényekben. A fásszárúak és a lágyszárúak aránya változatos volt ezekben a szelvényekben, de mindenütt az 50 – 70 % közötti pollenarány jelentkezett a preborális szintben az Alföldön, amely pollenarány az erdőssztyepp vegetációnak feleltethető meg. Ezzel szemben a szubkárpáti régióban, a prealpi régióban, a Balaton környékén, az Alföld peremén a fás szárúak pollen aránya meghaladta a 70 %-ot, a dombsági, középhegységi területeken zárt erdő, elsősorban vegyeslombozatú tajga fejlődött ki a preboreális fázisban, de a partiumi területeken hárs dominanciájú erdők alakultak ki a patakok, folyók árterein, homokbuckák közötti nyírségi nyírvizek partján.

Kora-holocén – boreális szint (10 200 és 8 000 cal BP évek között)

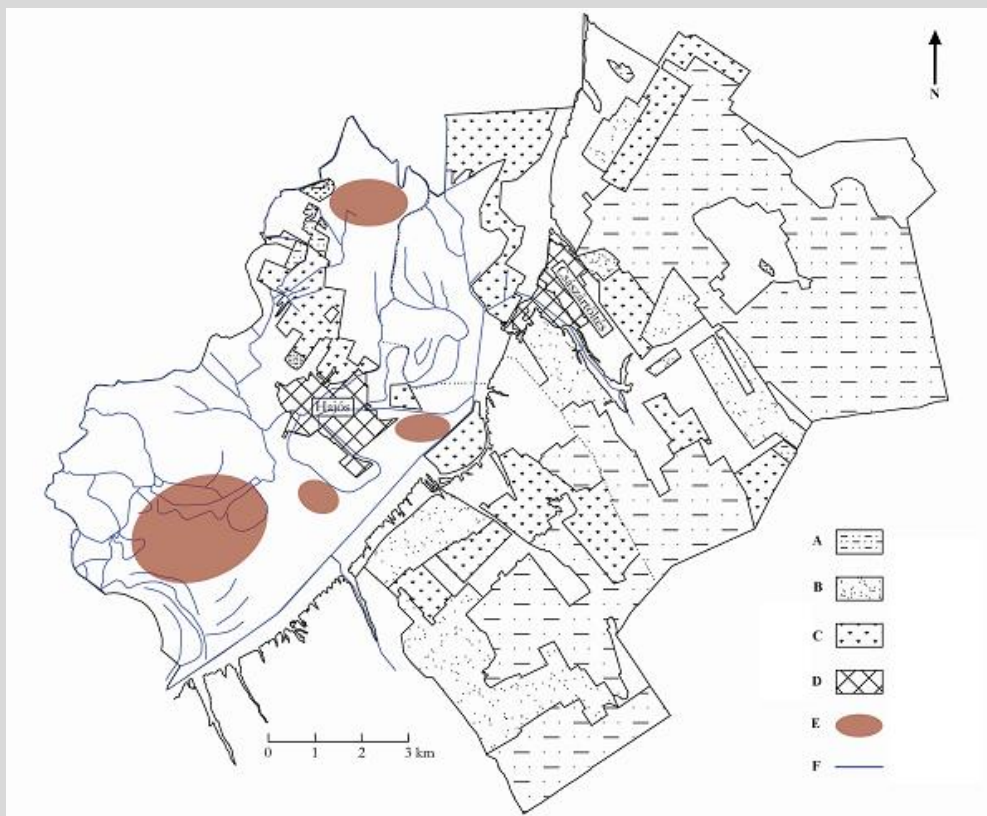
A hajósi holtágban még ebben a szakaszban is fennmaradt a barnamoha láp állapot, míg a császártöltési mederben a *Chara*-tavi fázis dominált. A *Chara*-tavi rendszerben karbonátos és jól átvilágított tavi környezetet kedvelő csigafauna dominált. A medreket egy mérsékeltövi erdőssztyepp övezte, olyan módon, hogy a dunai allúviumon, közvetlenül a Vörös-mocsár medre körül ebben a fázisban keményfás ligeterdők alakultak ki, tölgy, szil, kőris, hárs és mogyoró (*Quercus–Ulmus–Fraxinus–Tilia* és *Corylus*) dominanciával. Az előző fázisban még fennmaradt erdei fenyő (*Pinus sylvestris*) dominancia lecsökkent, a lokális fenyő jelenlét ez alapján fokozatosan megszűnt, a nyír (*Betula*) aránya lecsökkent. Ezzel párhuzamosan a magasparton a lágyszárúak aránya tovább emelkedett és egy sztyepp és nyitott erdőssztyepp állapot stabilizálódott a magasparton. Az előző fázishoz hasonló növényzeti szerkezet jellemezte ezt a szakaszt, de már a jelenkorban elterjedő fák és lágyszárúak domináltak a területen. Úgy tűnik, hogy hasonlóan, mint a Jászság területén a boreális fázisban (Székesdülő, Szúnyogos-dülő, Megyes-erdő holtága) egy kettős környezeti hatás – lösszel, futóhomokkal fedett száraz felszínű sztyepp és egy jelenkori keményfás ligeterdő fejlődött ki a mezolitikum második felében.

Ez a növényzeti változás volt a jellemző az Alföld több területén is, úgy, mint a Kiskunságban, a Hortobágyon, az Alsó-Tisza vidékén, a Mezőföldön. Az Alföld körül kialakult erdőszült zónában, ebben az időszakban a korábban kialakult vegyeslombozatú tajga, illetve hárserdőségek alakultak át zárt tölgyerdővé.

A növényzeti változásoknál a legjelentősebb tényező a késő-mezolitikum során kifejlődött mogyoró (*Corylus*) pollen maximuma volt. Hasonló mogyoró (*Corylus*) pollen maximumot lehetett kimutatni a keleméri Mohosokon, Tiszaháton, Balaton környezetében, prealpi régióban. Ezeket a mogyoró (*Corylus*) dominancia csúcsokat egyértelműen a mezolitikum közösségek szervezett gazdasági tevékenységével, a mogyoró kezdetben talán véletlenszerű, de később tudatos, szegélyvegetáció kiterjesztésével kapcsolhatjuk össze. Hasonló változásokat modelleztünk a Dunántúlon, a balatontördemici, zalavári és más zalai, őrségi, kerka-vidéki szelvényekben is. A mogyoró terjesztése mellett a fiatal hársfa és szilfa leveles ágainak felhasználásával lombbetetés és a szárított borostyán levelek (*Hedera*) alomként és téli etetésnél felhasználását is bizonyítani lehetett a késő mezolitikum során a Kárpát-medencében. Ennek nyomán ebben a paleohidrológiai és időrétegtani szakaszban már erőteljes emberi beavatkozásokkal számolhatunk az erdők életében még a neolitikum közösségek megtelepedése előtt, a halászó-vadászó-gyűjtögető mezolitikum közösségek intenzív gyűjtögetése és téli félévre vonatkozó saját élelmiszerként és állatok etetésére felhalmozott szárított táplálék kialakítása nyomán. Kiemelkedő jelentőségű, hogy a császártöltési (és a hajósi)

szelvényekben 8500–8200 cal BP (6500-6200 cal BC) évek között úgy emelkedett meg a mogyoró és a gyomok dominanciája, hogy nem növekedett meg a pernye aránya. Ez alapján a mogyoró terjedése nem égetést/égést követően indulhatott meg, hanem az utak, vadászösvények, vagy éppen az erdőszél kiterjesztése, a mogyoró visszametszése nyomán alakult ki ez a jelentős mogyoró pollen dominancia maximum.

Ugyanakkor 8000 cal BP éveknél (a Krisztus előtti 6000 éveknél) megjelenő Körös-kultúra közösségei kettős megtelepedési stratégiát folytattak, azaz, hogy a földművelésre szinte alkalmatlan, nehezen, vagy egyáltalán nem művelhető agyagos hidromorf talajokkal jellemezhető aktív folyóártereken és az ártereket övező lösszel, infúziós lösszel fedett, jól művelhető ármentes területeken is megtelepedtek, és ez már jelzi, hogy ez a kultúra erősen kettős arcú. Vagyis két teljesen eltérő (alluviális ligeterdők, száraz erdőssztyepp) környezetben is képesek megélni.

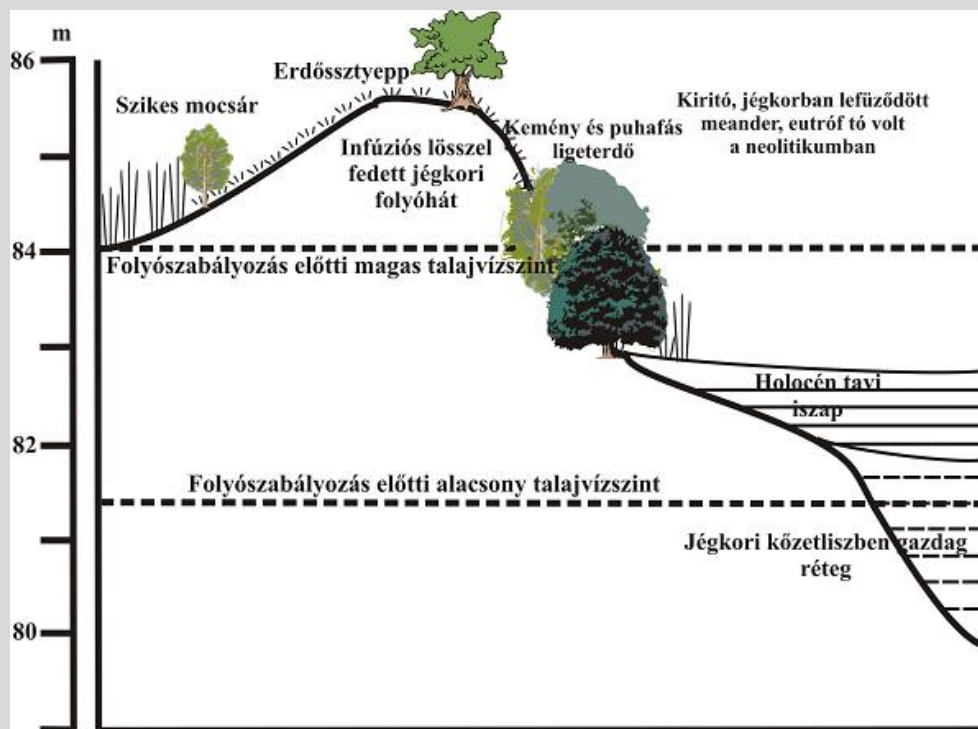


245. ábra Kora neolitik Körös kultúra közösségeinek megtelepedése a vizsgált területen (Forrás: Knipl, Sümegi, 2011 nyomán átrajzolva) A = jelenlegi erdők, B = jelenlegi kertek és szőlők, C = legelők, D = települések belső területei, E = Körös kultúra megtelepedési területei, F = rekonstruált kora neolitikumban létező folyóágak

A mezőgazdasági termelésre csak korlátozottan, vagy egyáltalán nem alkalmas ligeterdő a hagyományos–mezolitikus halászat–vadászat–gyűjtögetésnek viszont kiváló színtere volt, és lehetőséget biztosított a Körös-kultúrába ötvöződő-beolvadó, megjelenő mezolitikus hagyományok folytatására. Sajnos a holocén során aktív folyóvízi ártereken található Körös

lelőhelyek közül még egyet sem tártak fel a kutatók, a régészeti feltárások a könnyebben feltárható pleisztocén folyóhátak felszínén található lelőhelyekre koncentráltak. Így az ártéren található medrekben feltárt késő-mezolitikus, vagy rendkívül korai neolitikus környezeti átalakítások régészeti háttéréről csak a gyűjtögetett, halászott, vadászott élőlények maradványai alapján következtethetünk. Ezt a paleohidrologiai szakaszt egyébként alacsony talajvízállás jellemez, így nem véletlen, hogy a Körös-kultúra közösségei megjelenhettek a dunai ártér kiemelkedő pontjain, az elhagyott folyóhátakon, a lápok és mocsarak peremén (245. ábra).

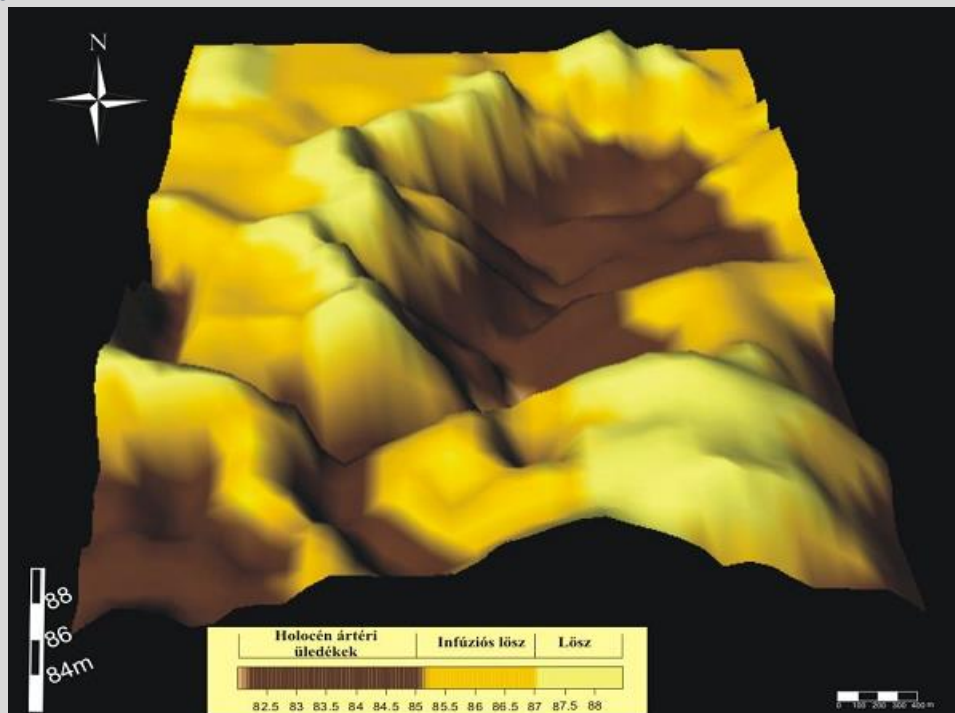
Teljesen hasonló alluviális síkon és allúvium peremi megtelepedéseket alakítottak ki a Tisza - völgyében és a Körösök völgyében a Körös-kultúra közösségei (246., 247., 248., 249. ábra). A Körös-kultúra megismerése szempontjából a legfontosabb lelőhely a szerző által régészeti geológiai szempontból feldolgozott tiszapüspöki és nagykörűi lelőhelyek voltak, ahol komplex paleohidrologiai elemzéseket lehetett végezni (250. ábra).



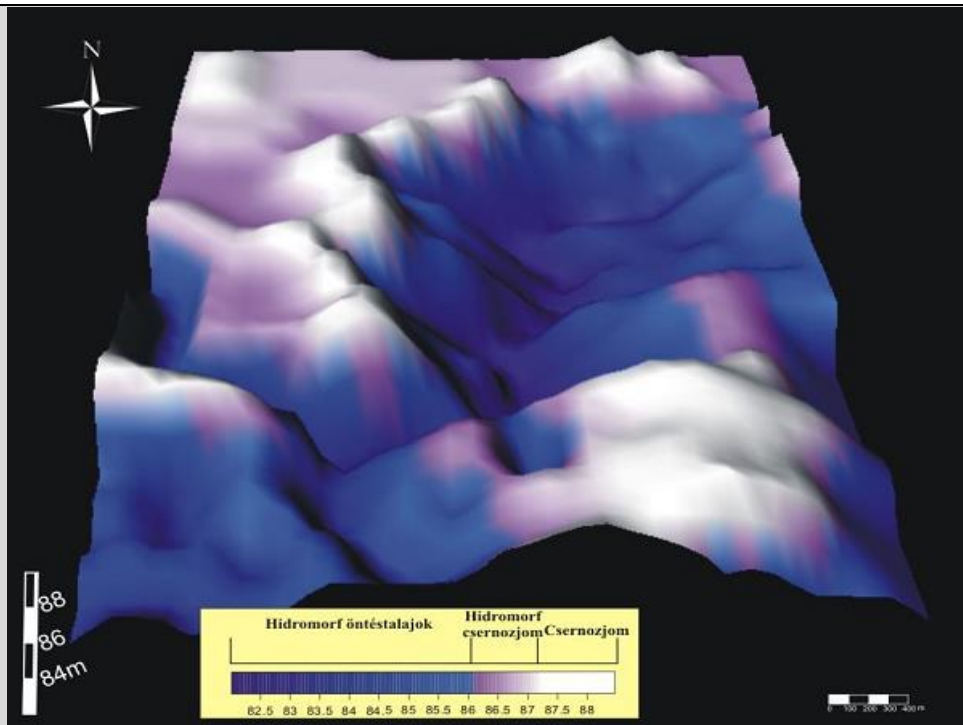
246. ábra Kora neolit Körös kultúra közösségeinek megtelepedése az ecsefalvi Kiritó területén, a jégkori, holocén során fosszilis folyóhát területén, két rendszer, a száraz felszínű, sztyeppel – erdőssztyeppel borított jégkori maradványfelszín és a holocén során feltöltődő, galériaerdővel borított Kiritó morotvató partjának határán (Forrás: Sümegei, 2007 nyomán módosítva)



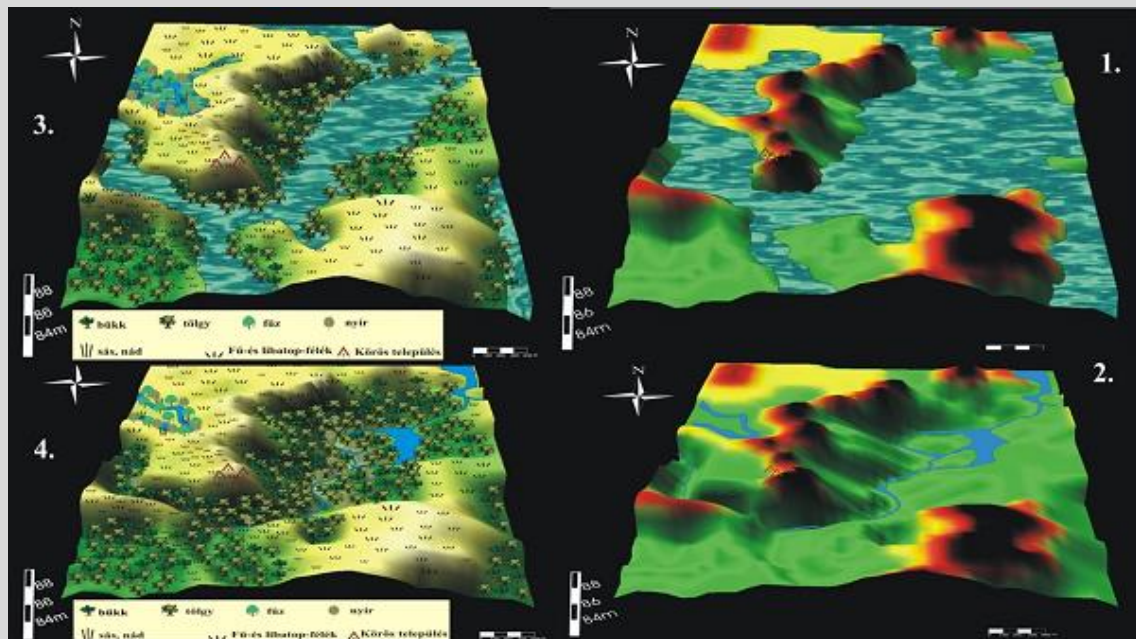
247. ábra Nagykörű Tsz Gyümölcsös Körös lelőhely elhelyezkedése egy szigetszerűen megjelenő maradványfelszínen és kora holocén környezeti tényezők (Forrás: Sümegi, 2007 nyomán módosítva) 1 = Körös lelőhely, 2 = Futóhomokkal és lösszel, mezőségi talajjal fedett hordalékkúp maradvány, 3 = hordalékkúpot a kora neolitikumban borító fajgazdag erdőssztyepp, 4 = feltöltődő holtágak a tiszai allúvium szintjében, 5 = kora neolitikumban a tiszai árteret borító alföldi keményfás ligeterdő (*Fraxino pannonico – Quercetum*), 6 = kora neolitikumban a tavi állapotban lévő, pollen és makrobotanikai elemzésre kiválasztott morotvató



248. ábra Tiszapüspöki – Karancspart – Háromág lelőhely morfológiai és laza üledékes viszonyai (Forrás: Gulyás, Sümegi, 2004 nyomán módosítva)



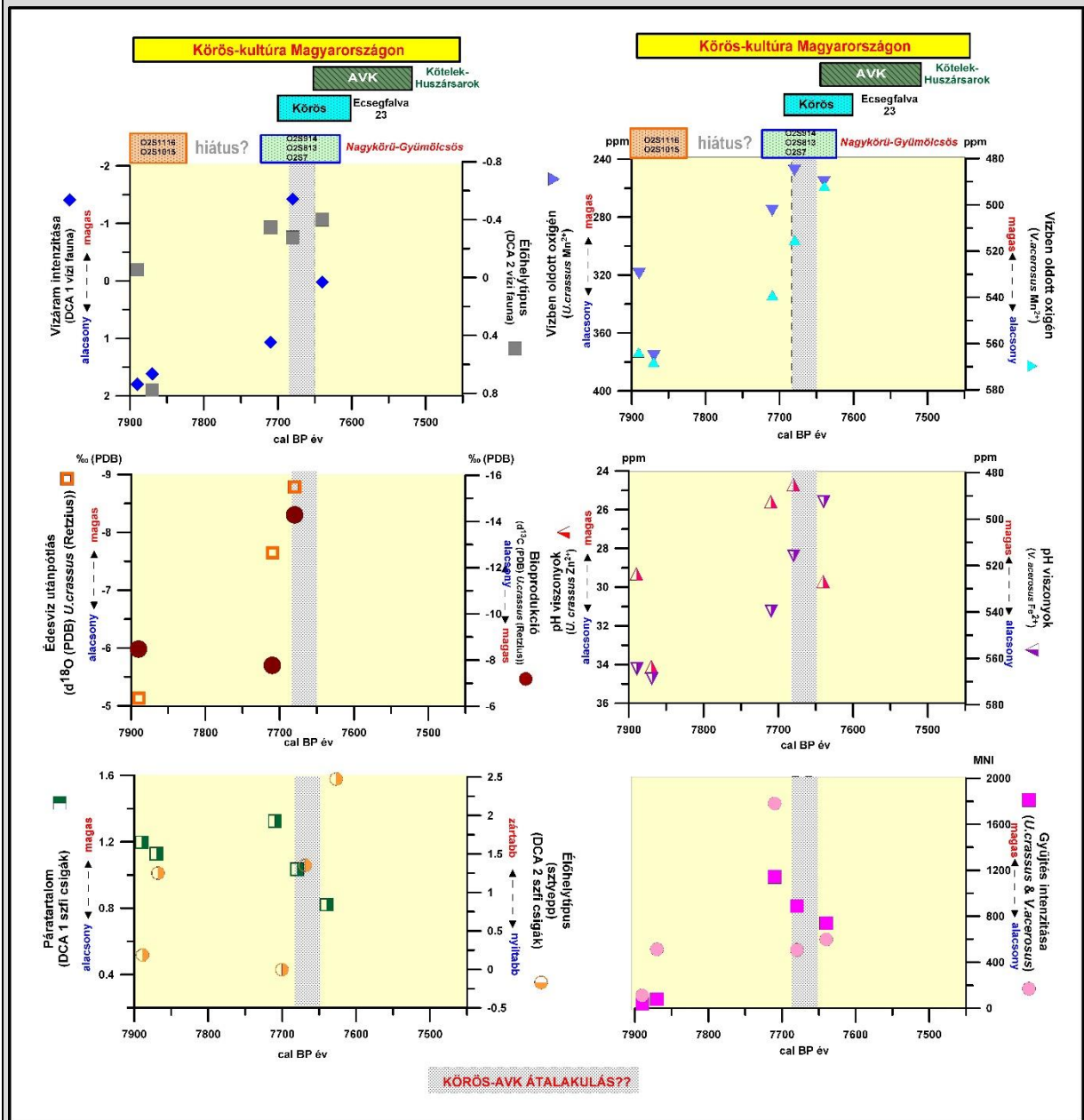
249. ábra Tiszapüspöki – Karancspart – Háromág lelőhely talajtani viszonyai (Forrás: Gulyás, Sümegei, 2004 nyomán módosítva)



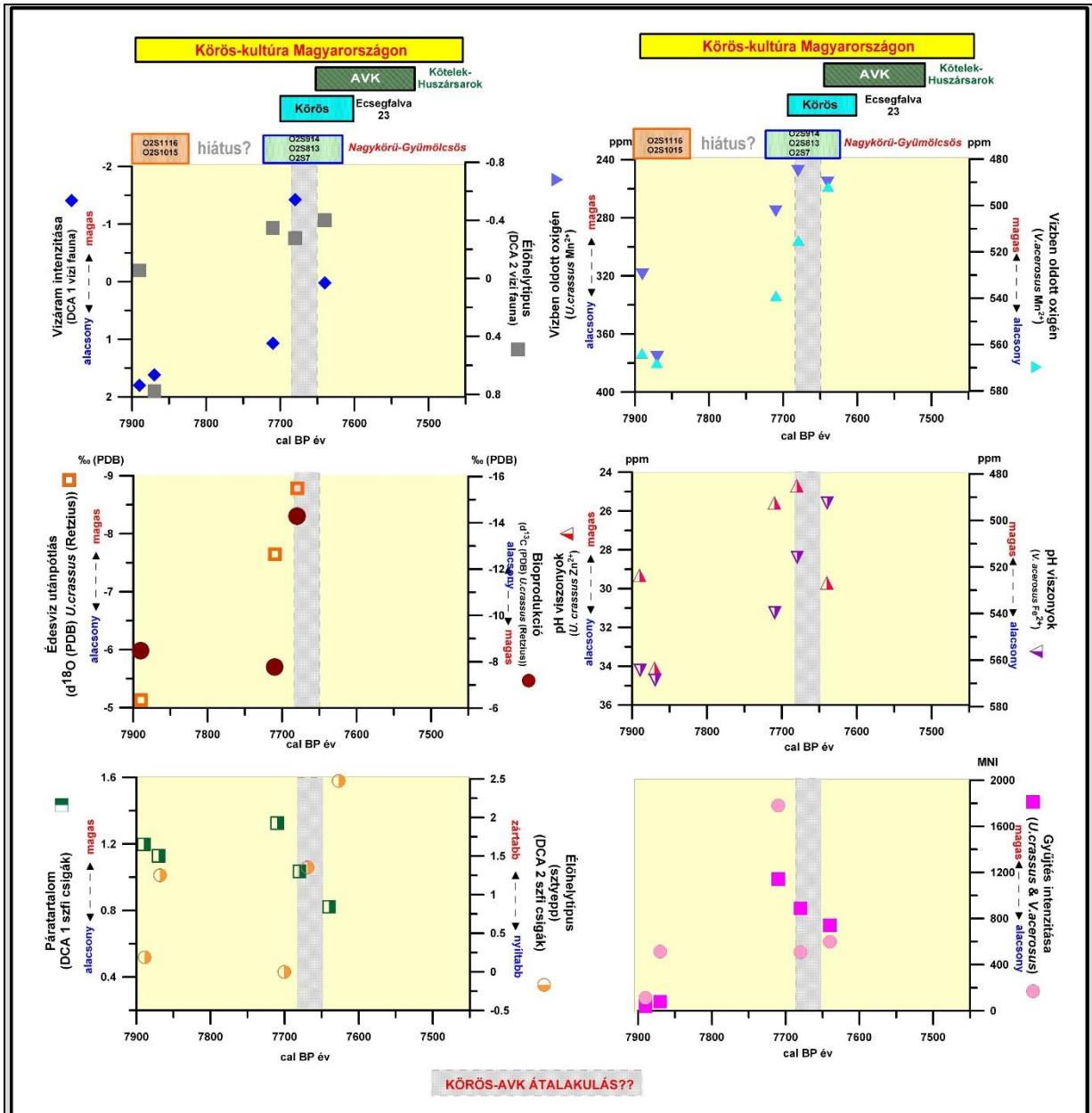
249. ábra Tiszapüspöki – Karancspart – Háromág lelőhely talajtani viszonyai (Forrás: Gulyás, Sümegei, 2004 nyomán módosítva) 1 = tavaszi (hóolvadás utáni) és nyár kezdeti (csapadékmaximumhoz köthető) áradások idején, 2 = áradások közötti kisvizek idején, 3 = kora neolitikus kori vegetáció rekonstrukció pollen adatok alapján áradások idején, 4 = kora neolitikus kori vegetáció rekonstrukció pollen adatok alapján áradások közötti kisvíz idején

A fentebb felsorolt lelőhelyeken, valamint a késő-neolitikus gorsai és szegvári telleken végzett paleohidrologiai elemzéseknél az Alföldre a legpontosabb paleohidrologiai rekonstrukciókat

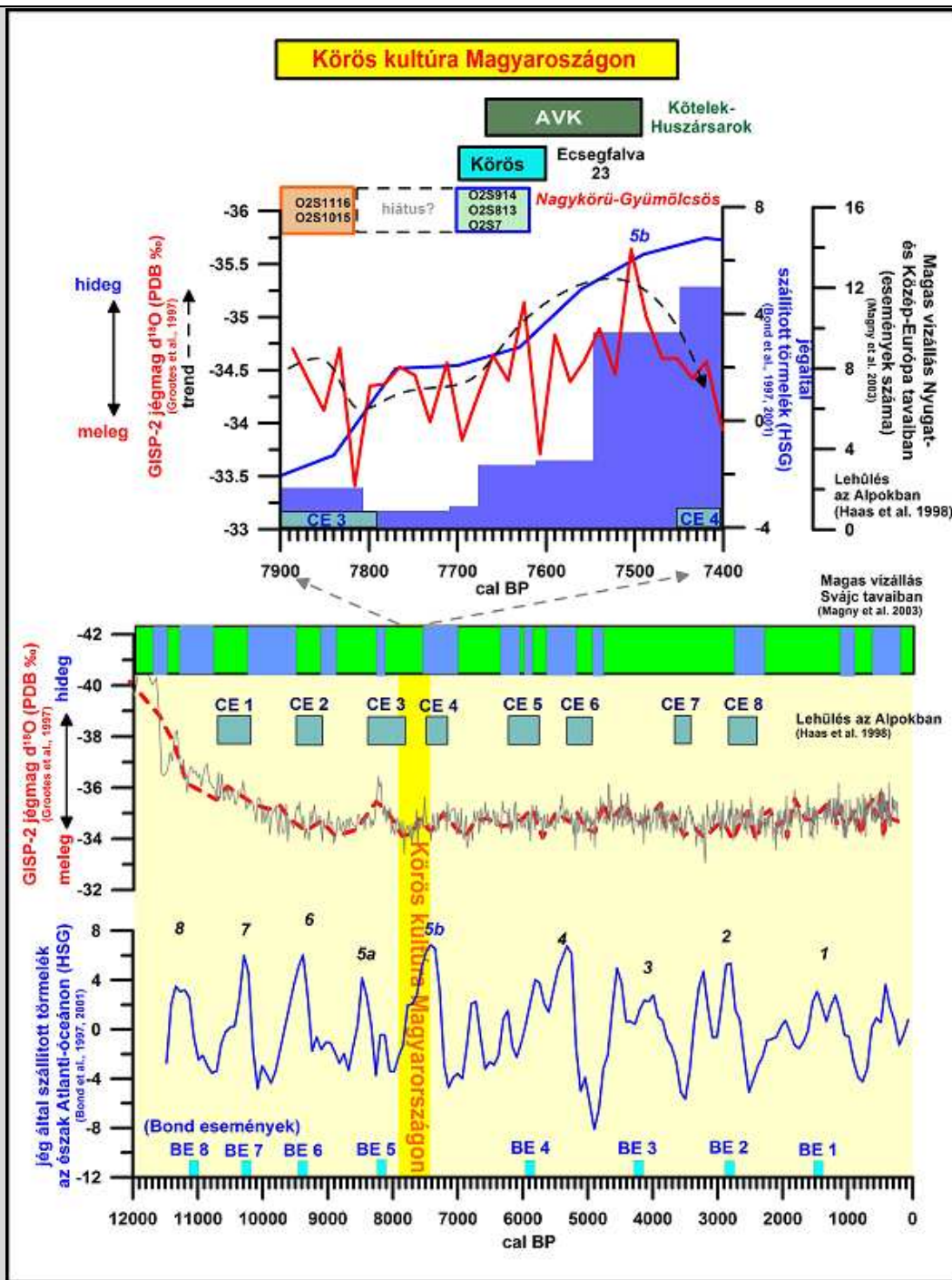
készíthették el (251., 252., 253., 254., 255. ábra), így a tiszai Alföld Krisztus előtti 6000 és 4800 évek közötti paleohidrológiai változásait a legteljesebben a szegedi Földtani és Őslénytani Tanszék kutató közössége rekonstruálta.



250. ábra Tiszapüspöki – Karancspart – Háromág lelőhely neolitikumi paleohidrológiai és növényzeti viszonyainak rekonstrukciója (Forrás: Gulyás, Sümegi, 2004 nyomán módosítva) 1 = tavasi (hóolvadás utáni) és nyár kezdeti (csapadékmaximumhoz köthető) áradások idején, 2 = áradások közötti kisvizek idején, 3 = kora neolit kori vegetáció rekonstrukció pollen adatok alapján áradások idején, 4 = kora neolit kori vegetáció rekonstrukció pollen adatok alapján áradások közötti kisvíz idején



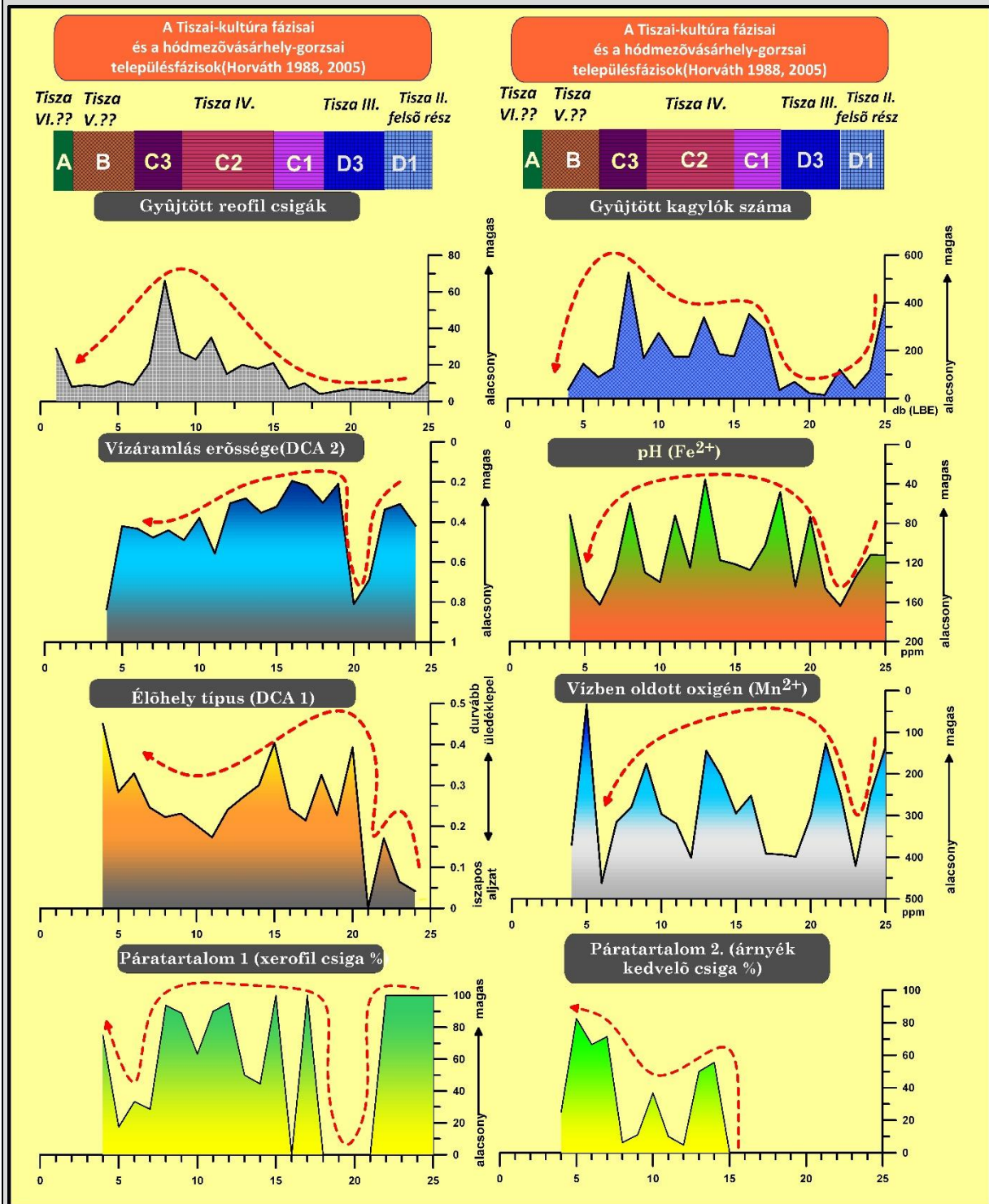
251. ábra Nagykörű Tsz Gyümölcsös Körös lelőhely kagylóanyaga alapján végzett paleohidrologiai elemzés (Forrás: Gulyás, Sümegei, 2011 nyomán módosítva)



252. ábra Nagykörű Tsz Gyümölcsös Körös lelőhely kagylóanyaga alapján végzett paleohidrológiai elemzés összehasonlító elemzése (Forrás: Gulyás, Sümegi, 2011 nyomán módosítva)

A hajósi és a császártöltési szelvények jelentőségét az adja, hogy a Körös-kultúrának a Duna-völgyében a vizsgált medrek környezetében bizonyítottan megtelepedései mutathatók ki. Ezért az eddig tárgyalt Tisza és Körös folyók völgyében kimutatható Körös megtelepedés mellett egy teljesen új megtelepedési környezetet vontunk vizsgálat alá, ráadásul egy olyan területen, a Duna-völgyében, amely a legfontosabb útvonalat és kapcsolatot jelentette a

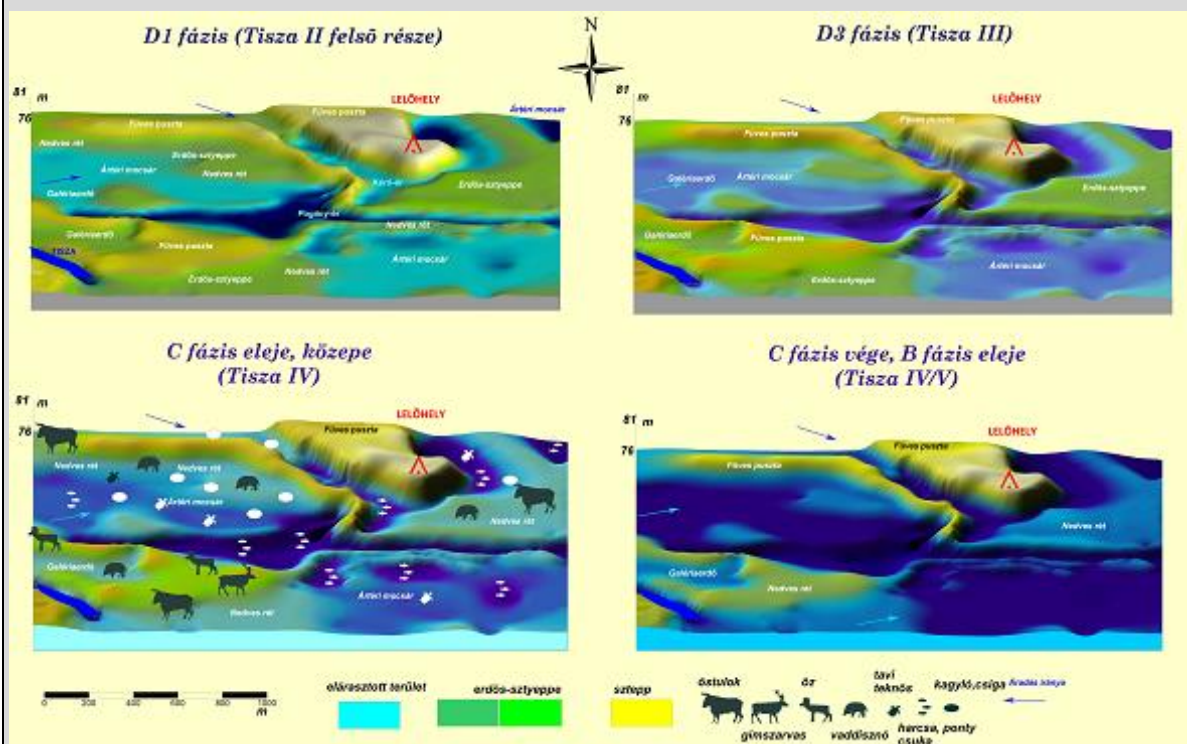
neolitikumban és a rézkorban legfejlettebb balkáni régió és a nyugat-európai peremterületek között.



253. ábra Gorzsa Cukortanyai késő neolit tell lelőhely kagylóanyaga alapján végzett paleohidrológiai elemzés (Forrás: Gulyás, Sümeji, 2011 nyomán módosítva)

A neolit és rézkori hatások lehatárolásához, a késő-mezolitikum végén a gyomvegetációt, természetett növények arányának változását használtuk fel Behre archeobotanikus osztályozásait felhasználva. Ezeket a gyomnövény kategóriákat egészítettük ki azokkal a

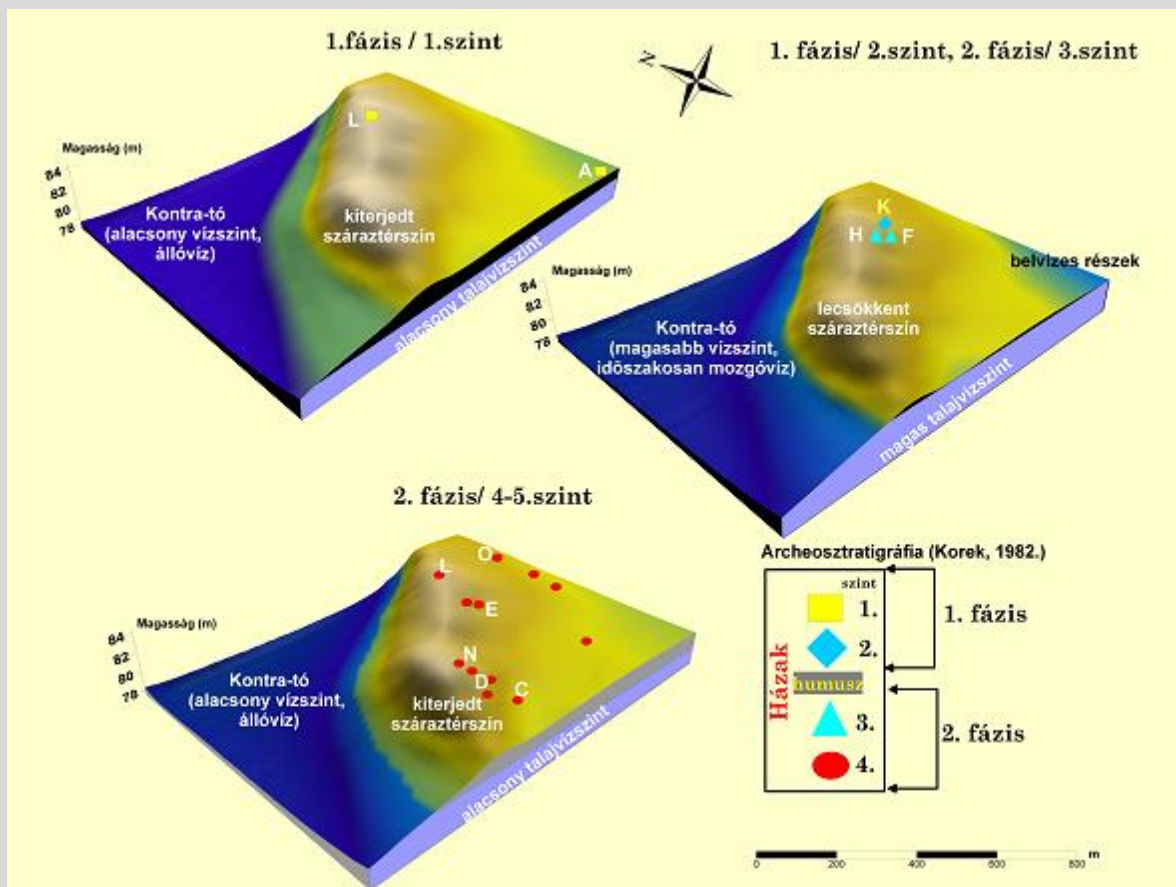
gabonafélékkel, haszonnfákkal, cserjékkel, amelyeket a késő-mezolitikum és a kora-neolitikumban, illetve a neolitikum későbbi szakaszaiban hasznosíthattak. Behre alapvető, pollenalapú gyomvegetációval foglalkozó munkáját, ha áttekintjük, látható, hogy a gyomnövény pollenek, haszonnövények több esetben csak nemzetségre határozhatóak meg, vagy csak magasabb rendű taxoncsoportot lehet megadni a pollenvizsgálatokkal. Így az egyes csoportok nem választhatók el egymástól egyértelműen, egyes faj szintjén nem azonosítható taxonokat több csoportba is besorolhatunk (*Artemisia*, *Chenopodiaceae*). Ez jelentősebb bizonytalanságot eredményez az értékelésben, de trendszerűen jellemezhető vele az emberi hatás minősége, mennyisége és gyomnövényzet terjedése időben és a két szelvényünk alapján térben is.



254. ábra Gorzsa - Cukortanyai késő neolit tell paleohidrologiai viszonyainak rekonstrukciója (Forrás: Gulyás, Sümegei, 2011 nyomán módosítva)

A termesztett növények megjelenése és a gyomok (amelyek között a kora-holocén természetes növénytársulásokat alkotó elemek is előfordultak) arányának változása alapján a termelő gazdálkodás, gabonatermesztés a császártöltési szelvény környezetében 6200 cal BC (8200 cal BP) éveknél már kimutatható volt. A radiokarbon adatok hibahatárát figyelembe véve 6200–6000 cal BC (8200–8000 cal BP) évek közöttinek tekinthetjük a gabonatermesztés és az egyértelmű növénytermesztés, letelepült életmód és állattenyésztés nyomán megemelkedett gyomnövény arányváltozást, de hangsúlyozzuk, hogy ez a hatás folyamatosan emelkedett ki a késő-mezolitikus szintben kialakult gyomnövény arányának növekedésből.

Ennek a 6200 cal BC évekig visszamenő változásnak kiemelkedő jelentősége van, mivel a legkorábbi Kárpát-medencei neolit civilizáció, a Körös-kultúra Maros folyótól északra történő megtelepedését 6000 cal BC éveknél valószínűsítik. Így adataink ennél idősebbek és ennek nyomán a Körös-kultúra legkorábbi megtelepedését tártuk fel a dunai Alföld ezen szakaszán, amelyhez hasonlóan idős megtelepedés található Nagykőrű, Tiszapüspöki környezetében is. Bár a középső-holocén során kimutatott szilfa pollen visszaesését igen sokféleképpen magyarázták már, mégis szinte valamennyi magyarázat visszavezethető a neolit közösségek megtelepedésére, az erdőirtások hatására kifejlődő erdőátalakulásokra, és ennek nyomán az erdei mikroklíma megváltozására, valamint az őskori szilfavész feltételezett gombabetegségére, és ezt a betegséget okozó gombákat terjesztő rovarok neolit irtványok mentén történő terjedésére.



255. ábra Szegvár - Tűzköves késő neolit tell paleohidrológiai viszonyainak rekonstrukciója (Forrás: Gulyás, Sümegei, 2011 nyomán módosítva)

Ezt a késő-neolitikumi *Ulmus* pollendominancia visszaesést viszont a rézkor kezdetén egy hűvösebb és csapadékos klímaszakaszban kirajzolódó gyors *Ulmus* pollen mennyiségre vonatkozó regeneráció követte, hasonlóan, mint azt az Alföld más területein is megfigyelhettük. A tölgy-szil erdők fejlődése az Alföldön teljes mértékben eltért a

középhegységi zónában megfigyelhető változásoktól és felvetődik, hogy az alföldi erdőssztyepei területeken található középső-holocén szilfa populáció növényi kártevőkkel és az erdő ritkulásokkal szemben ellenállóbb volt, mint a középhegységi zárt lomboserdőkben található szilfa populációk. Viszont a késő-neolitikumban a fás szárúak csökkenése, az *Ulmus* pollen arányának jellegzetes visszaesése, ezzel párhuzamosan a bolygatott erdőkre jellemző gyomok terjedése és a pernye arányának növekedése az ártéri területek erőteljes hasznosítását jelzi. A gabonapollenek arányának növekedése nem volt arányban a fás szárúak visszaesésével, viszont a rágást-taposást elviselő gyomok növekedése igen jellegzetesen kapcsolódott ehhez a fás pollen csökkenési szinthez. A ligeterdők visszaszorításával az ártéri legelőterületeket növelhették meg a Krisztus előtti 5000 és 4000 évek közötti késő-neolit és a kora-rézkori közösségek a vizsgált pollenszelvények környezetében.

A rézkor középső szakaszától a vaskor (6000 – 2000 cal BP évek = 4000 cal BC évtől Krisztus születéséig)

Ebben az időszakban a vizsgált medrekben a tőzegképződés, döntően a nádtőzeg képződés dominált, de tavi tündérrózsás–sárga vízítők maradványok jelzik, hogy a nádason belül tavacsok is kifejlődtek. A fő fafajták a lápok és mocsarak között kifejlődött alluviális galériaerdőkben a tölgy, gyertyán, bükk és az éger (*Quercus, Carpinus betulus, Fagus Alnus*) volt. A fás szárú pollenek aránya 35-40% körül mozgott, de ennek az oka az lehetett, hogy a magaspartról származó tömeges fűfélékhez, ürömfélékhez, libatopfélékhez sorolható pollenek lefedték–felhígították a pollenképet. Bükkal kevert galériaerdők, gyertyános tölgyesek, égeresek alakultak ki az allúviumon. A pollenösszetétel alapján erőteljes emberi hatás és nyitott erdőssztyepp dominált a vizsgált régióban. A rézkor középső szakaszától a vaskor végéig az emberi hatások ciklikusan változtak a vizsgált szelvényekben, de a növényzet alapvető szerkezete, az erdőssztyepp kifejlődés az egyre erőteljesebb emberi hatást követően is fennmaradt. Így azok az elképzelések, amely szerint az Alföld erdőssztyepp környezetből egységesen kultúrsztyeppé vált, tarthatatlanok az itt bemutatott szelvényeink, de más pollenfeldolgozásaink alapján is. Adataink inkább azokat a korábban megfogalmazott elképzeléseket támasztják alá, hogy az Alföld vegetációfejlődésének emberi hatásra történő módosulása térben és időben eltérően játszódott le, és nem alkot egy egységes sémát. Az itt bemutatott adataink és a korábban a hajósi szelvényen elvégzett vizsgálatok egyaránt azt bizonyítják, hogy nem lehet egyetlen szelvényen megfigyelt változásokat az Alföld egészére kivetíteni. Ugyanis az Alföld egy mozaikos és nem homogén táj, amelynek geológiai, talajtani, talajvízmagassági eltéréseiből igen erőteljes paleohidrológiai különbségek származnak, és ezeket az eltéréseket még fokozták is az eltérő időben és eltérő helyen

megtelepedő, igen különböző tájhasznosítási módszerekkel dolgozó kultúrák. Az egész Alföldre vonatkozó tájhomogenizáció, amelyet főként külföldi szerzők és hazai követőik a bronzkor végére vizionáltak, csak a XIX. századi folyószabályozás és csatornázás után alakult ki.

Az antropogén változások mellett jellegzetes paleohidrológiai állapotot erőteljesen befolyásoló éghajlati változások is lejátszódtak a rézkor, bronzkor és a vaskor időszakában. Mivel összefoglalásunk célja éppen ezt célozta meg, ezért itt jelezzük, hogy a legerőteljesebb klímaváltozásokat a bronzkor végén és a vaskor kezdetén rekonstruálhattuk és ezek a változások jól szinkronizálhatók voltak a Kárpát-medence más pontján a hasonló időszakokban lejátszódott változásokkal. A bronzkorban kialakult II. őskori termelési szint kifejlődését a gyomvegetáció, az *Achillea* előtérbe kerülése jelzi ugyanúgy, mint azt Tisza völgyében és a Kiskunságban több helyen is megfigyelhettük korábban. A klíma a késő-bronzkor és kora-vaskor során kifejezetten hűvös és csapadékos volt, legfőképpen a tenyészidőszakban. A rézkor második felétől a vaskor végéig több ciklikus környezeti változás és az egyre erőteljesebb emberi hatások ellenére a vizsgált terület erdőssztyepp jellege nem változott, és a bronzkorban kifejlődött a növénytermesztési és mezőgazdasági termelési szint és a hozzá kapcsolódó *Achillea* típusú gyomvegetáció is.

Római Császárkor (2000 – 1500 cal BP évek = Krisztus születésétől a Krisztus utáni V. évszázad között)

Az újkort leszámítva a legjelentősebb emberi hatások a vizsgált területen a császárkorban fejlődtek ki. A növénytermesztésre utaló gabonapollenek és gyomok aránya a szelvényekben maximumot mutatott, és az őskorban végig kimutatható árpa és búza pollenek mellett megjelentek és tömegessé váltak a *Secale* (rozs) pollenek. Ez alapján egy rendkívül fajgazdag és sokszínű mezőgazdaság alakult ki az vizsgált medrek körzetében, és a medrek nyugati előtérében húzódó dunántúli magaspárt már a rómaiak védelmi rendszerének, a limesnek a részét alkotta. A magaspárt mellett igen jelentős hatással voltak a rómaiak a vizsgált területen a dunai allúviumra is, mivel a Tisza- és Duna-völgye közötti egyik feltételezett átkelő hely pont a régészeti elemzések alapján vizsgált két (hajósi és császártöltési) szelvény között található császártöltési Szamár-völgyben húzódott. A hajósi meder északi részén, a Császártöltés községhez tartozó területen pedig a szállítást és a dunai rakodást elősegítő, mindmáig fennmaradt töltést is építettek és fenntartottak a Krisztus utáni III.–V. évszázad között.

A medrek körüli építkezések, a medrek között húzódó töltések és utak, és az ezekhez kapcsolódó megtelepedések során igen erőteljes emberi hatást fejtettek ki a medrek

környezetében, amelyet a pollenösszetétel jól visszatükröz. Ugyanakkor ezek a hatások elmaradnak a Dunántúl belső területein kimutatható emberi hatásoktól, és egyértelműen jelzik, hogy a limes közelében található és a rómaiakkal intenzív kapcsolatot kialakító szarmata közösségek, bár erőteljes hatással voltak környezetükre, ezek a hatások a dunai allúviumon nem érték el a római provinciákban kialakult, szinte teljes környezetet átalakító emberi hatásokat.

Népvándorlás kora és a Magyar Honfoglalás kora (1500–1000 cal BP évek = Krisztus utáni V. és X. század között)

A népvándorlás korában a bronzkor végén megindult és a császárkorban jelentősebbé vált sástőzeg képződés rendkívül elterjedté vált. Jelentős mértékű erdőregeneráció indult meg, de az erdőssztyepp állapoton nem lépett túl a folyamat. Az *Alnus*, *Salix*, *Quercus*, *Ulmus*, *Fraxinus*, *Carpinus* fák dominanciája erőteljesen megemelkedett ebben a szintben. Ugyanakkor a termelőgazdálkodásra utaló természetű gabonák és gyomok is fennmaradtak a vizsgált szelvény ezen szakaszán, csak az arányuk csökkent. Bár rendkívül problematikus a meghatározása ennek a pollentípusnak, de a vizsgálatok nyomán ebben a szakaszban megjelentek a vizsgált szelvényben a zab (*Avena*) pollenek is. A népvándorlás kori szelvényszakasz alapján az állattenyésztés került előtérbe a vizsgált területen. A tölgy, szil, kőris, mogyoró, bükk, gyertyán és éger (*Quercus*, *Ulmus*, *Fraxinus*, *Corylus* és *Fagus*, *Carpinus*, *Alnus*) fák pollendominanciájának ciklikus változásai alapján erőteljes éghajlati változások alakultak ki, de a jelentősebb erdőborítással jellemezhető allúvium és a döntően sztyepei növényzettel borított magaspart révén az erdőssztyepp jellege alapvetően fennmaradt a vizsgált növényzetnek a Krisztus előtti V. és X. évszázadok között is.

Középkor és Oszmán kor (Krisztus utáni X. és XVII. század között)

A középkor során folytatódott mindkét meder esetében a sástőzeg felhalmozódása. A pollenösszetétel alapján ekkor felerősödtek az emberi hatások, és a növénytermesztés és állattenyésztés egyensúlyba kerülhetett. A szántók és legelők, valamint az erdők kiterjedése ugyanolyan lehetett a középkor során, és több szórt apró település alakult ki a régióban. Ennek nyomán a környezeti mozaikosság megnövekedett, és az erdőssztyepp szerkezetéhez legjobban alkalmazkodó területváltó és mozaikos, erdő–szántó–legelő és pihentetett földek foltjaiból álló gazdálkodási forma fejlődött ki. Ez a mozaikos környezeti hasznosítás a honfoglalás kori magyar közösségek egyik legfontosabb sajátossága, és feltételezhető, hogy a középkori gazdálkodás sikerességének egyik kulcsát alkotta. A *Juglans*, *Vitis*, *Prunus* pollenek jelenléte a gabonatermesztés mellett kertkultúra kialakulását is jelzi a Krisztus utáni XI–XII. századtól. A középkor végén, az oszmán megszállás periódusában egy újabb erőteljes

erdőregeneráció indult meg, a gyomok és a termesztett növények aránya erőteljesen lecsökkent, a *Juglans*, *Vitis*, *Prunus* pollenek eltűntek a szelvényből, és ennek alapján az emberi közösség létszáma, és az emberi hatás erőteljesen lecsökkenhetett az oszmán hódoltság korában. A fás szárúak között a bükk és a gyertyán (*Fagus*, *Carpinus*) aránya emelkedett meg erőteljesen. Ez egyrészt a kis jégkor éghajlati változásaival, a hűvösebb és csapadékosabb éghajlattal függhet össze, de igen komoly kapcsolatot mutat a bükk és a gyertyán terjedése az oszmán háborúk generálta hadiipar igényeivel. Bár az sem zárható ki, hogy ezen változások mögött is emberi hatások húzódnak meg, mivel ekkor a Kárpát-medence szinte egésze háborús övezet volt, és a hadigazdálkodásban igen jelentős tételt alkottak a kohászati munkák, a kovácsolás, és a kovácsműhelyek. Ennek egyik kiemelkedő jelentőségű feltétele a megfelelő energiaforrást alkotó faszénanyag előállítása, az intenzív boksa gazdálkodás. A boksa gazdálkodásban a legfontosabb fákat a bükk és a gyertyán alkotta a mérsékelt övezetben, mivel a legjelentősebb mennyiségű faszénanyagot, a legjobb jövedéket (1 mázsa fából 60-70 kg faszenet) a bükkfából és gyertyánfából nyerték ki.

Mindezek mellett az ezekből a fából kinyert faszénanyag fűtőértéke (17-20 MJ/m³, azaz 4000–5000 kalória/m³) eléri a barnaszén fűtőértékét is. Így a hadiövezetekben, ahol a fegyverek és a lőpor előállítása, fegyverek, lőszerszámok javítása, a lópatkók előállítása, a lovak patkolása a mindennapi élet szerves részét alkotta, a megnövekedett kovácsműhely munka igényhez kiemelkedő mennyiségű és jó minőségű faszénanyag ellátást kellett biztosítani. Valószínűleg ez a tényező is szerepet játszott az igen jelentős energiaforrást biztosító gyertyán és bükk arányának jelentősebb növekedésével a terület erdeiben, de az emberi tényezők mellett bizonyosan éghajlati okok, hűvösebb és csapadékosabb klímafázis kialakulása is szerepet játszott a bükk és a gyertyán terjedésében.

Az utolsó 300 év (Újkor)

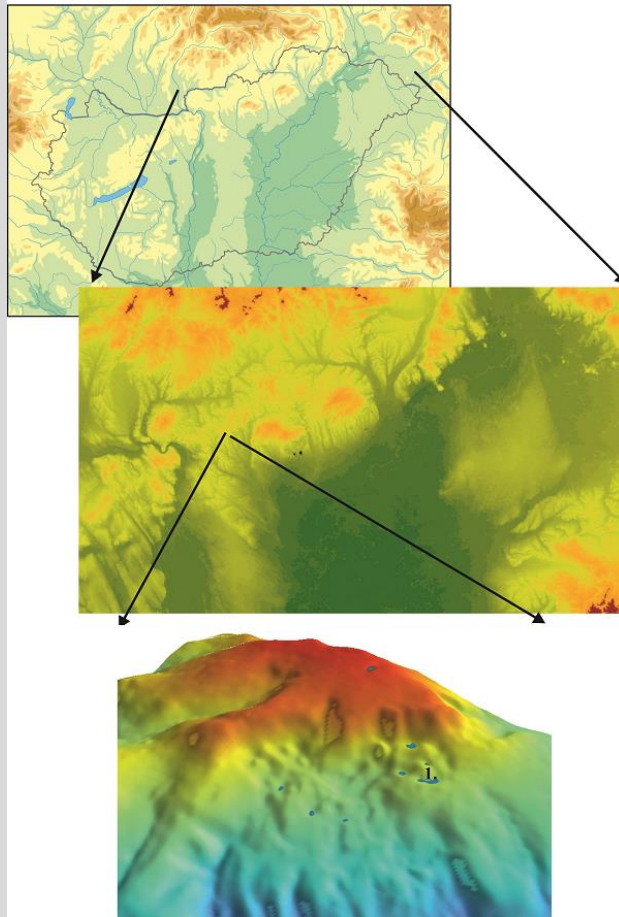
A tőzegképződés folytatódott a szelvényekben, de a császártöltési szelvényben a XIX.–XX. században megindult talajosodás és emberi csatornázási hatás nyomán már nem lehetett ezt az időhorizontot környezettörténeti szempontból értékelni. A XVIII. századtól a tölgy (*Quercus*) konstans és erőteljes megjelenése mutatható ki, de egyre erőteljesebb volt az emberi hatás. Ekkor mutatható ki a legjelentősebb gabonatermesztés, és a búza (*Triticum*), az árpa (*Hordeum*), a rozs (*Secale*) és a zab (*Avena*) is felismerhető a pollenanyagban. A kertkultúrára jellemző szőlő, dió és gyümölcs (*Vitis*, *Juglans*, *Prunus*) pollenek aránya a XVIII. század közepétől egyre erőteljesebb. A területen kimutatott pollen és makrobotanikai alapú környezettörténeti rekonstrukciókhoz ebben a szakaszban, 1743/1744-től, Császártöltés település kialakításától kezdődően már jelentős írásos dokumentumok, mezőgazdasági és

erdészeti adatok kapcsolódnak. A császártöltési paleohidrológiai adatok megfelelő bázist alkotnak a más területeken hasonló elemzésekkel végzett anyagok statisztikus összehasonlításához és az eddigi, hasonló alapokon végzett környezettörténeti elemzések nyomán kialakított adatbázishoz. Az új összehasonlítási alap és adatbázis alapján az egyes itt megrajzolt változásokat korrekten módon összehasonlítva értékelhetjük és értelmezhetjük majd az egész Kárpát-medencében.

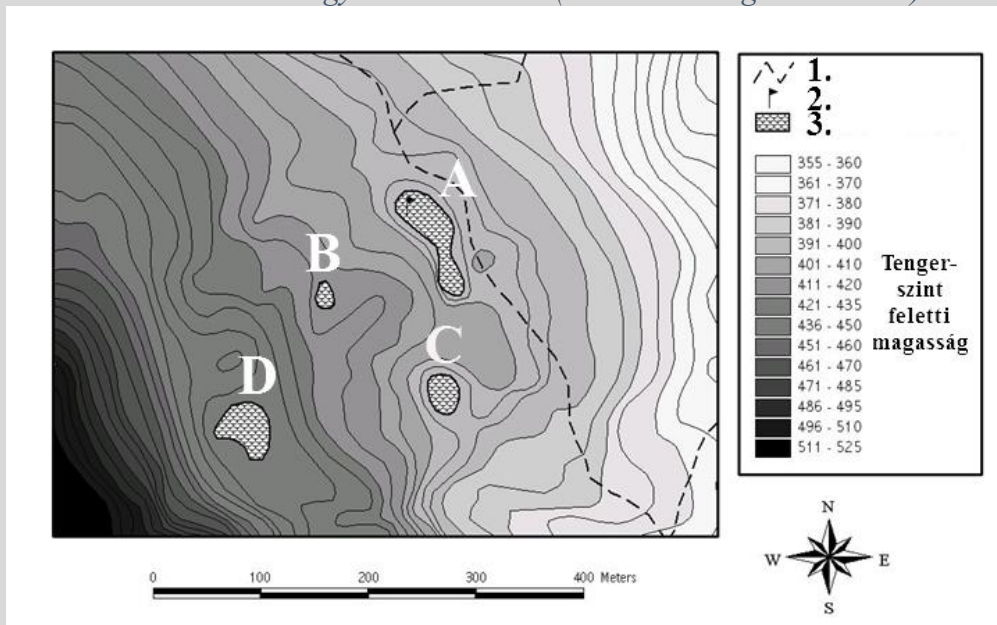
Esettanulmány 5.

Tőzegmohás lápok paleohidrológiai elemzése

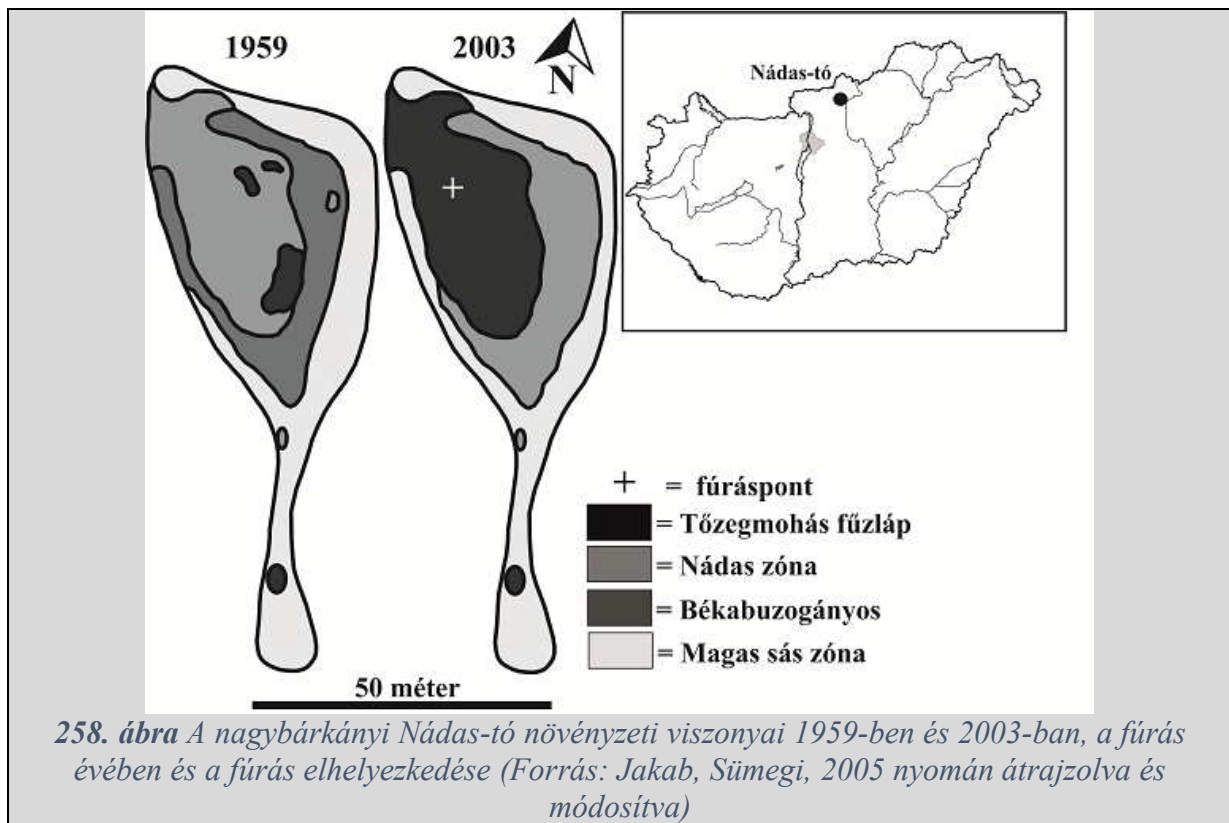
A nagybárcányi Nádas-tó egy jelentős részében füzes tőzegmoha láppal borított medence, amely a Keleti vagy Pásztói Cserhátban a Nagybárcány község határában emelkedő 516 méter magas Hármashatár-hegy északi oldalában helyezkedik el, mintegy 360 méter tengerszint feletti magasságban (**256., 257. ábra**). A láp medrének átmérője kisebb, mint 200 méter (**258. ábra**), ezért az eddigi pollenanalitikai alapú (**204. ábra**) paleohidrológiai vizsgálatok alapján ideális üledékgyűjtő medencét alkot ahhoz, hogy a lokális, láp medre körül közvetlenül és a láp medrében kialakult környezeti változásokat, köztük az emberi hatásokat rekonstruálhassuk (**259. ábra**).

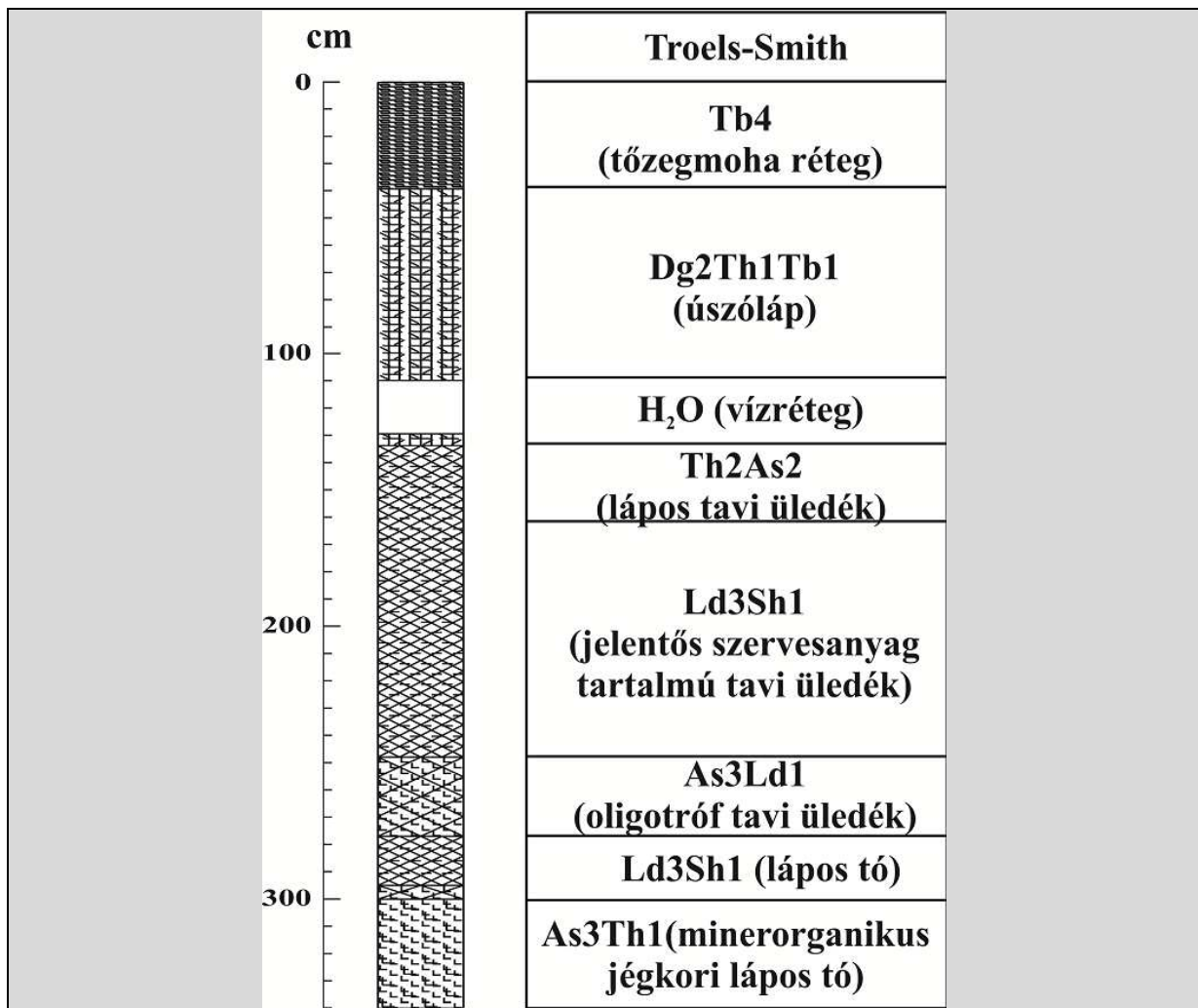


256. ábra A csuszamlással kialakult hepető, a nagybárkányi Nádastó elhelyezkedése a Kárpát-medencében, a szubkárpatí klímahatás alatt álló Felvidéken, és a nagybárkányi Hármas – Határhegy északi oldalán (Forrás: Sümeği et al. 2011)



257. ábra A nagybárkányi Nádastó és a többi csuszamlásos hepető elhelyezkedése és morfológiai viszonyuk a Hármas – Határhegy északi oldalán (Forrás: Sümeği et al. 2011) 1 = földutak, 2 = fűráspont, 3 = tavak, lápos tavak, A = Nádastó, B = Békalencsés-tó, C = Füzes-tó, D = Feneketlen-tó

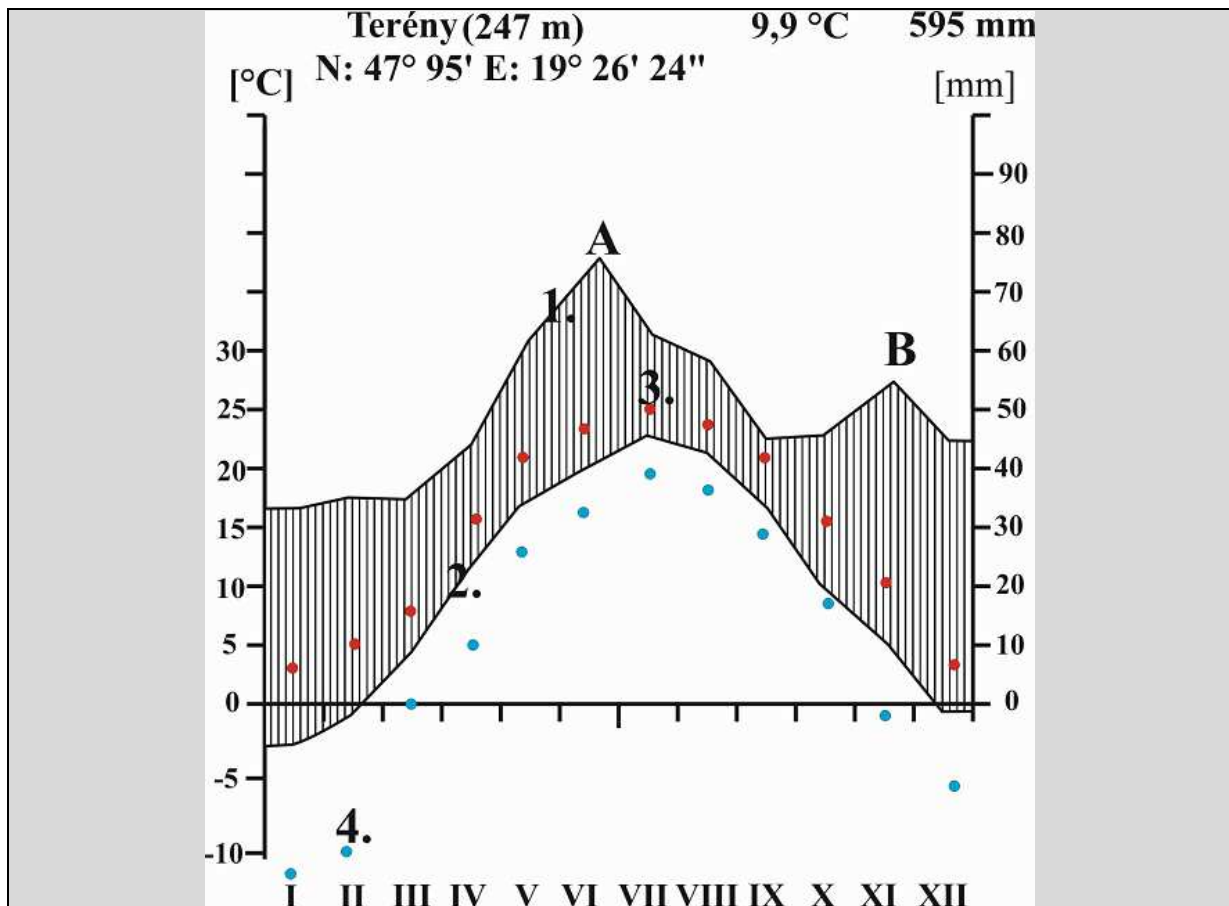




259. ábra A nagybárkányi Nádas-tó centrumában tőzegmohás fűzlápon mélyített fúrás rétegsora mélység mentén Troels-Smith nemzetközi laza üledék kategóriákkal, genetikai megnevezésekkel és rétegenkénti szimbólumokkal (Forrás: új, első szerző által készített ábra)

A Nógrád megyében elhelyezkedő Keleti-Cserhát nyugatról a Galga, keletről a Zagyva völgye által határolt, 350 km² területű kistája hazánkban. Legalacsonyabb pontja 160 m, legmagasabb pontja pedig az 575 m magas Purga csúcs. Felszínének körülbelül 85 %-a alacsony középhegység, 15 %-a pedig tagolt dombság. Az átlagos relatív relief 120 m/km², ám egyes területeken eléri a 200 m/km² értéket. Az átlagos vízfolyássűrűség 3,7 km/km², s ez völgyekben 7 km/km² értéket is felvehet. A kistáj központi részét ezen két jellemző a földtani adottságokkal párosulva meglehetősen csuszamlásveszélyessé teszi. Északnyugaton a hegység lábánál felső-oligocén homokos, agyagos összletek találhatóak a felszínen, ezt követően alsó-miocén slír és kavics rétegsorok, majd vékonyabb, hasadékvulkanizmus által kialakított andezittakarók következnek. Erre kisebb területeken lajtamésző, alacsonyabb térszíneken néhol szarmata mészkő rakódott. A csuszamlási felszín a slír üledéken fejlődött ki és a fedő vulkáni kőzet, az andezit nyomása is szerepet játszhatott ebben a folyamatban.

Éghajlata mérsékeltén hűvös és mérsékeltén száraz (**260. ábra**). A napsütéses órák száma évi 1900-1950. Az évi középhőmérséklet 9,0-13,0°C közötti. Éves csapadékmennyisége 400-900 mm között változik, de átlagosan 620-660 mm/ év közötti a 30 kilométerre található terényi meteorológiai állomás adatai alapján (**260. ábra**). A tenyészidőszakban (8 hónap: március 15-től – november 15-ig) 1951 és 2002 között 900 és 200 mm között változott a csapadékbevitel, átlagosan 340-350 mm közötti értékkel. A tenyészidőszakban (8 hónap: március 15-től – november 15-ig) 1951 és 2002 között 15,5 és 18,5 °C között változott a tenyészidőszakok átlaghőmérséklete, 50 évre vonatkozóan 17 °C átlag értékkel. A hótakarós napok száma átlagosan 45, a hótakaró átlagos vastagsága 25cm. Az uralkodó szélirány északnyugati. A hőmérséklet 100 éves átlagos évi menete (**260. ábra**) alapján márciustól novemberig számolhatunk a tenyészidőszakkal, az átlagos legmelegebb hőmérséklet július–augusztusban jelentkezik +20 és + 21,5 °C között, a leghidegebb a január -3 és -4 °C közötti átlaghőmérséklettel. A legmelegebb átlagos havi hőmérsékletek tekintetében a terület kiegyenlített, a legmelegebb havi hőmérséklet nem éri el a + 25 °C-ot, a téli legmagasabb hőmérsékletek kiemelkedőek +2 és +3 °C közöttiek (**260. ábra**). A leghidebb hónapok hőmérsékleti átlagában viszont már jelentős különbségek jelentkeznek (**260. ábra**), mivel januárban a legalacsonyabb átlaghőmérséklet -12 °C alatti, februárban ugyanez a paraméter - 10 °C, míg decemberben -5 °C körüli. A hidegebb telek egyértelműen a szubkárpati éghajlati hatásnak tulajdoníthatóak, a melegebb nyarak pedig a kontinentális éghajlati hatás kifejlődésére utalnak. Ugyanakkor a csapadék átlagos menetében két maximum mutatható ki (**260. ábra**). Nyár elején júniusban jelentkezik egy maximum, majd nyár végén, ősz kezdetén egy kontinentális hatásra kifejlődő minimum alakul ki, azután pedig egy október– november hónapokat átfogó kevésbé jelentős, másodlagos csapadékmaximum jelentkezik (szubmediterrán éghajlati hatásként fogható fel). Ezért a területen szubkárpati, atlanti, kontinentális és szubmediterrán éghajlati hatás egyaránt jelentkezik, csak hatásuk intenzitása változik évről-évre.



260. ábra A nagybárkányi Nádas-tóhoz hasonló szélességi körön és geomorfológiai helyzetben található terényi meteorológiai állomás nyilvános adatai nyomán szerkesztett Walter-Lieth klímadiagram (Forrás: új, első szerző által készített ábra, a meteorológiai alapadatokat Major György meteorológus akadémikus biztosította az első szerzőnek)

1 = csapadék 100 éves átlagos havi menete, 2 = hőmérséklet 100 éves átlagos havi menete, 3 = 100 éves átlagosan jelentkező legmelegebb havi átlagok menete, 4 = 100 éves átlagosan jelentkező leghidegebb havi átlagok menete, A = nyár kezdeti csapadékmaximum (atlantikus éghajlati hatás), B = őszi második csapadékmaximum (szubmediterrán éghajlati hatás)

A terület talajait nagyobb részben viszonylag alacsony termőképességű, vulkanikus eredetű kőzeteken illetve üledékes kőzeteken kialakult agyagbemosódásos barna erdőtalajok (55 %), alacsonyabb térszíneken, löszös alapkőzeten pedig többnyire barnaföldek alkotják (34 %). Jelentősnek tekinthető a lepusztulás, többek között az elterjedten kifejlődött csuszamlások nyomán, illetve az így kialakult, gyakorlatilag terméketlennek tekinthető területek aránya is, mely 8 %-ra tehető. A patak völgyekben öntéstalajok is megfigyelhetők, részarányuk azonban nem jelentős. Növényföldrajzi térfelosztást tekintve a kistáj a Pannóniai flóratartomány (*Pannonicum*), az Északi-középhegység flóraidék (*Matricum*) illetve a Nógrádi flórajárás (*Neogradense*) területén található. A természetes, potenciális növénytársulások közül a gyertyános kocsánytalan tölgyesek (*Quercopetrae-Carpinetum*), a cseres tölgyesek

(*Quercetum petrae-cerris*), a mészkerülő tölgyesek (*Luzulo-Quercetum*), valamint extrazonális bükkösök (*Aconito-Fagetum*) a jellemzőek.

A nagybárkányi Nádas-tó üledékgyűjtő rendszerébe egy 3,4 méteres zavartalan magfúrást mélyítettünk a csuszamlási felszín alapközetéig a környezettörténeti - paleohidrológiai és régészeti geológiai vizsgálatok során nemzetközileg elfogadott és használatos Orosz-fejes (175. ábra) kézi fúróval (259. ábra). További fúrásokat is mélyítettünk a lápon, amely a fúrás kialakításakor tőzegmohás fűzláp állapotában volt, de az úszóláp peremén kialakult vízgyűrűben (ún. „lag” zónában) a méteres vízmélység miatt 2002/2003 telén nem tudtunk fúrást mélyíteni. A láp vízszintje rendkívül megemelkedett 2002/2003 telén, annak ellenére, hogy a 2002 év rendkívül száraz volt. A téli hóolvadás által okozott vízfelesleget egy a láp északnyugati részébe mélyített lecsapoló árok vezette le. A láp növényzetének felmérését *Jakab Gusztáv* szarvasi intézetigazgató még PhD munkája során végezte el, és összehasonlította *Máthé Imre* és *Kovács Margit* botanikusok 1959-ben készített botanikai felmérésének eredményeivel 2003-ban. Ennek alapján látható, hogy a tőzegmoha réteg, a tőzegmohás fűzláp (*Salici pentandae-Sphagnetum*) szétterjedt a XX. század második felében a Nádas-tó felszínén, és a peremekre szorította a nádas társulást (*Scirpo-Phragmitetum*), amely kiszorította békabuzogányos (*Sparganietum*) növénytársulást. Egyetlen társulás kiterjedése maradt változatlan a XX. század végén, a nem zsombékoló magas sásos növénytársulás (*Caricetum ripariae*) a láp peremén (258. ábra).

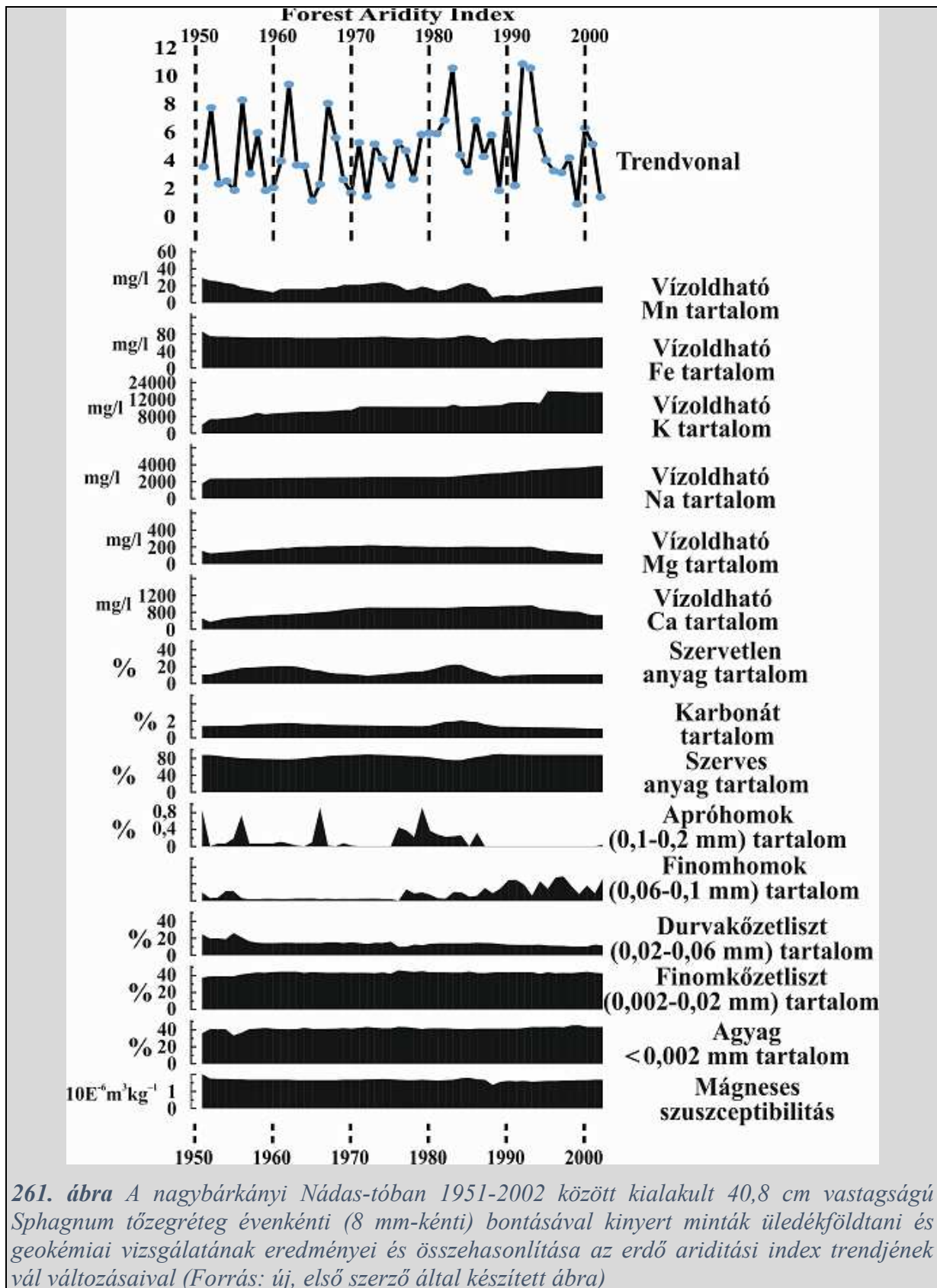
A folyamatos és bolygatatlan magmintákat laboratóriumban a különböző vizsgálati céloknak megfelelően hosszában elvágtuk, és a makrofosszília vizsgálatokra, valamint a pollenanalitikai és üledékföldtani elemzésekre szánt részeket a finomrétegtani vizsgálatoknak megfelelően kezdetben 4-8 cm-es részmintákra bontottuk, majd végül 1 cm-ként feldolgoztuk az egész szelvényt.

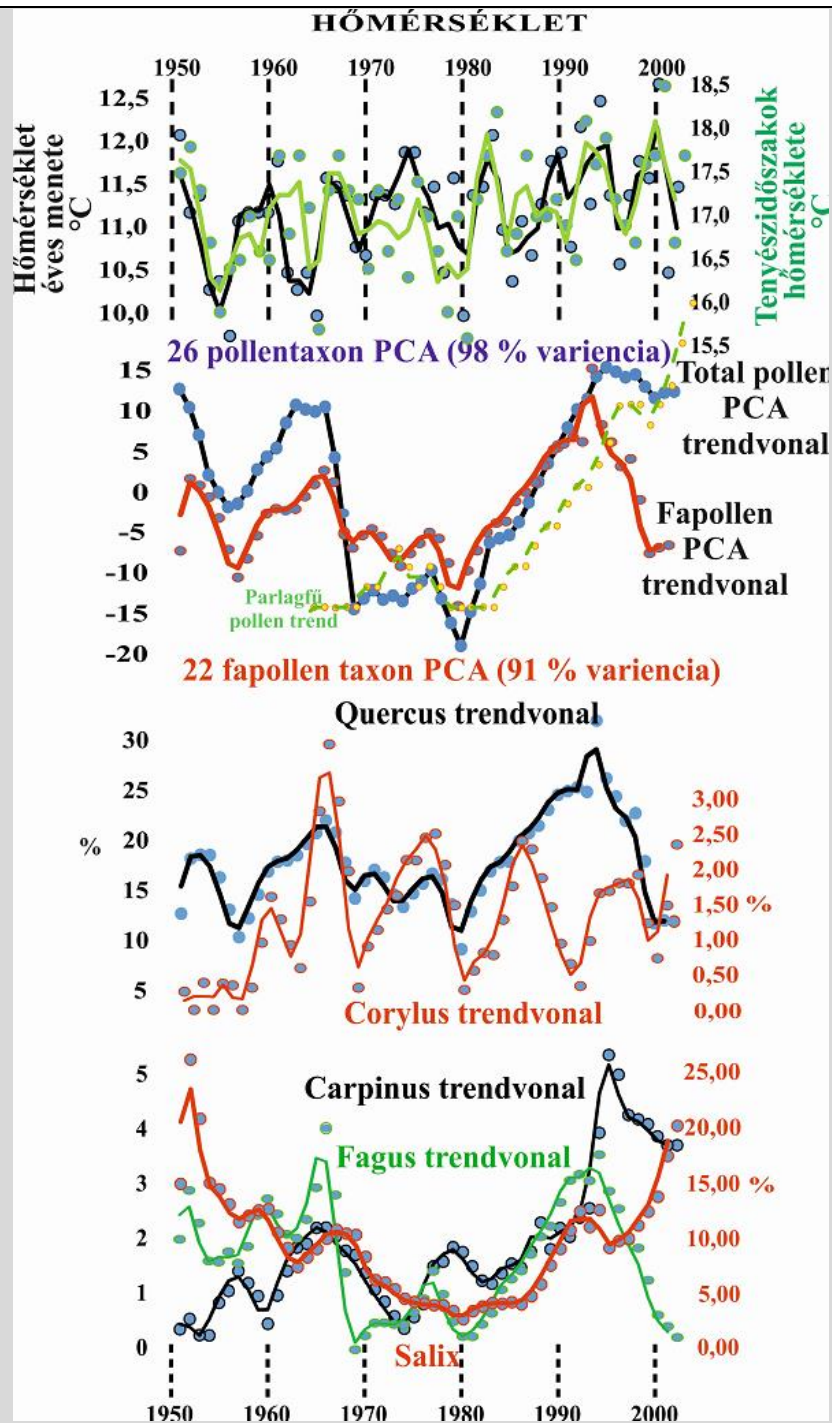
A legfelső, megközelítőleg 50 év alatt, 1952 és 2002 között képződött 40 cm vastagságú tőzegmohás tőzegrétegeket 8 mm-t (0,8 cm) átfogó mintákra bontottuk. Így XX. század második feléről éves felbontású adatsorhoz jutottunk mind pollen, mind makrobotanikai szempontból. A területen végzett 50 évnél idősebb tölgyfák dendrokronológiai elemzése nyomán pedig átfogó aktuálhidrológiai adatsorhoz jutottunk, amelyet a terület paleohidrológiai elemzésénél és értelmezésénél használtunk fel. Az üledékföldtani vizsgálatokat izzítási veszteség alapján megállapított szervesanyag- és karbonáttartalom vizsgálatokra, valamint vizes extrakciós leválasztású fő- és nyomelemtartalom meghatározásra alapoztuk. A kronológiai elemzések alapját a radiokarbon vizsgálatok eredményei alkották, amelyek felnyúltak egészen a XX. századig, az 1950-es évekig. A láp

ilyen irányú feldolgozásával a XX. század második felében a nagybárkányi Nádas-tó hidrológiai viszonyainak változását, a terület csapadékbevételét követhettük több szempontból is éves szinten. Illetve a csapadék és a hőmérséklet változásának hatását vizsgálhattuk meg a láp makrobotanikai és a pollenösszetételbeli változásaira.

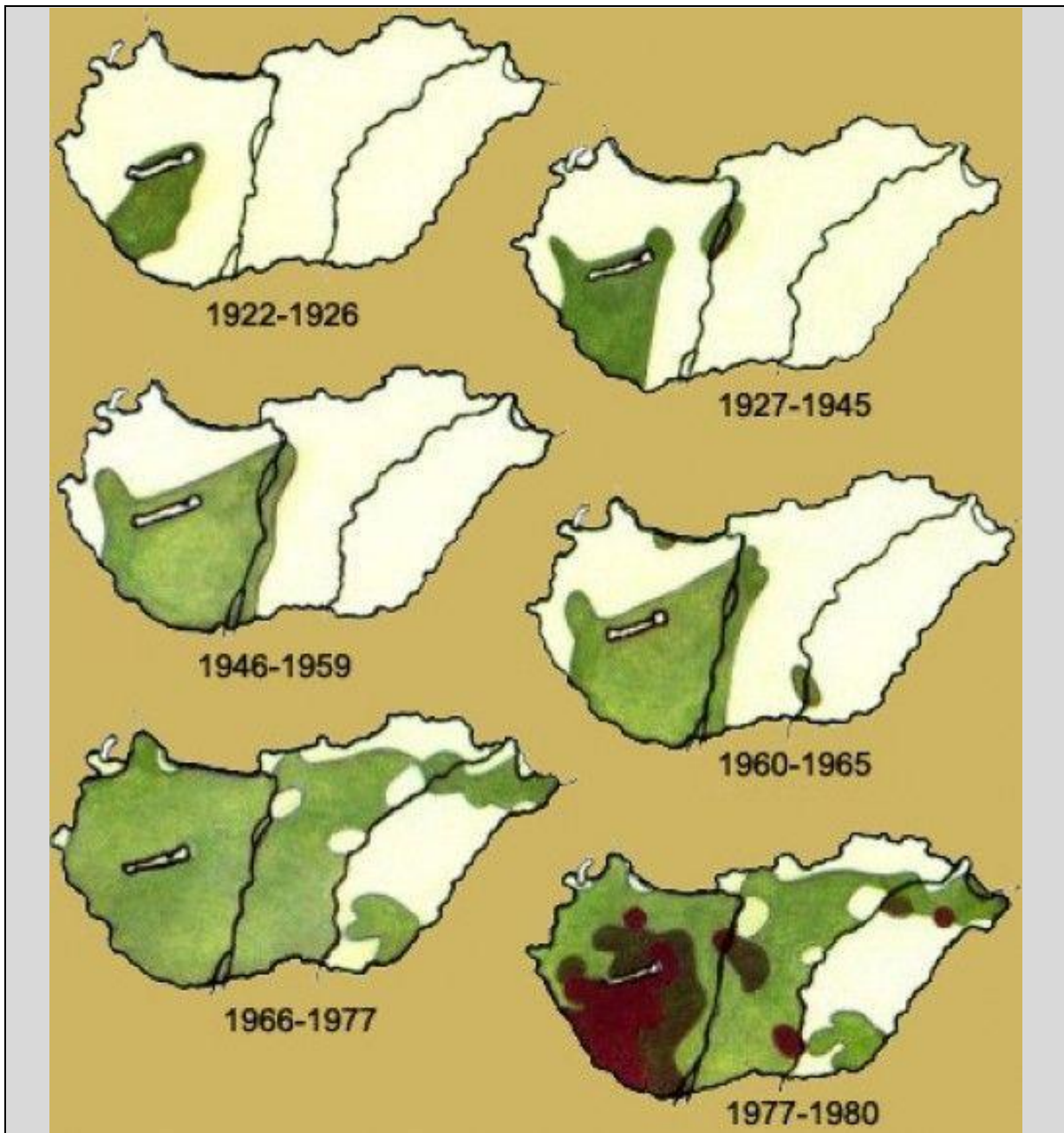
A nagybárkányi láp paleohidrológiai elemzésének legjelentősebb eredményei az 1950/1951 és 2002/2003 évek között kifejlődött döntően *Sphagnum* (tőzegmoha) maradványokból álló 40 cm vastagságú tőzegréteg éves szintű bontásával értük el.

A kronológiai lehatárolást úgy végeztük el, hogy a vizsgált 40 cm alsó szintjében már jelentkezett a hidrogénbomba effektus, és ennek nyomán 5 +/- 5 évnek határolhattuk le a 40 cm-nél lévő kort. Legvalószínűbb kialakulási kornak 1951 adódott 40,8 cm-nél és 0,8 mm-ként vizsgálva a legfelső tőzegmoha rétegeket évenként haladhattunk mind az üledékföldtani-geokémiai, mind a makrobotanikai, a pollenanalitikai eredmények alapján, és ezeket vetettük össze az éves klímaadatokkal, legfőképpen az erdő ariditási index (FAI) és hőmérsékleti trendekkel (**261. ábra**). Kronológiai szempontból a kontrollként használt parlagfű (*Ambrosia artemisiifolia*) megjelenése a szelvényben (**262. ábra**) a radiokarbon adatok szerint számolva 1966/1967 évben jelent meg a területen, és az országos parlagfű terjedésének felmérése (**263. ábra**) alapján is ekkor, 1966-ban jelent meg a vizsgált területen a parlagfű. Még egy kronológiai kapaszkodó ismeretes 1951 és 2002 évek között – ez pedig a csernobili atomerőmű 1986. évi katasztrófájához kötődik, amikor is igen jelentős mennyiségű cézium izotóp (Cs-137) szabadult fel. Ezzel párhuzamosan a svájci, cseh és más közép-európai adatok alapján a mágneses szuszceptibilitási (MS) értéke a lápokban és tavakban felhalmozódott üledékeknek jellegzetesen megváltozott, és pont ezt a változást mutathattuk ki a nagybárkányi tőzegrétegben is a radiokarbon mérés nyomán lehatárolt 1986-os szintben az MS adatok nyomán (**261. ábra**). Így az 1951-2002 évek között kialakult 40,8 cm vastagságú tőzegréteget 8 mm-es mintákra bontva sikerült éves szinten megvizsgálni. A 26 legfontosabb növényi pollen taxon és a 26 fa pollen taxon százalékos változása alapján megrajzolt főkomponens változás trendjei eltérnek a hőmérsékleti adatok változásaitól (**262. ábra**).





262. ábra A nagybárcányi Nádas-tóban 1951-2002 között kialakult 40,8 cm vastagságú *Sphagnum* tőzegréteg évenkénti (8 mm-kénti) bontásával kinyert minták pollenvizsgálatának eredményei, a parlagfű megjelenése (1966/1967), a fapollenek változásainak trendjei és a hőmérséklet éves és tenyészidőszaki menete. Bár 26 legfontosabb növényi pollen taxon és a 26 fa pollen taxon százalékos változása alapján megrajzolt főkomponens változás trendje eltért a hőmérsékleti adatok változásaitól. Ezen komponensek durvább több évet átfogó változást mutat, de a hőmérsékletre érzékeny, és a terület döntő faállományát alkotó tölgy (*Quercus*), mogyoró (*Corylus*), bükk (*Fagus*), gyertyán (*Carpinus*) pollen anyagának trendjei különböző mértékben, de követték az éves és a tenyészidőszak hőmérsékletének változásait (Forrás: új, első szerző által készített ábra)

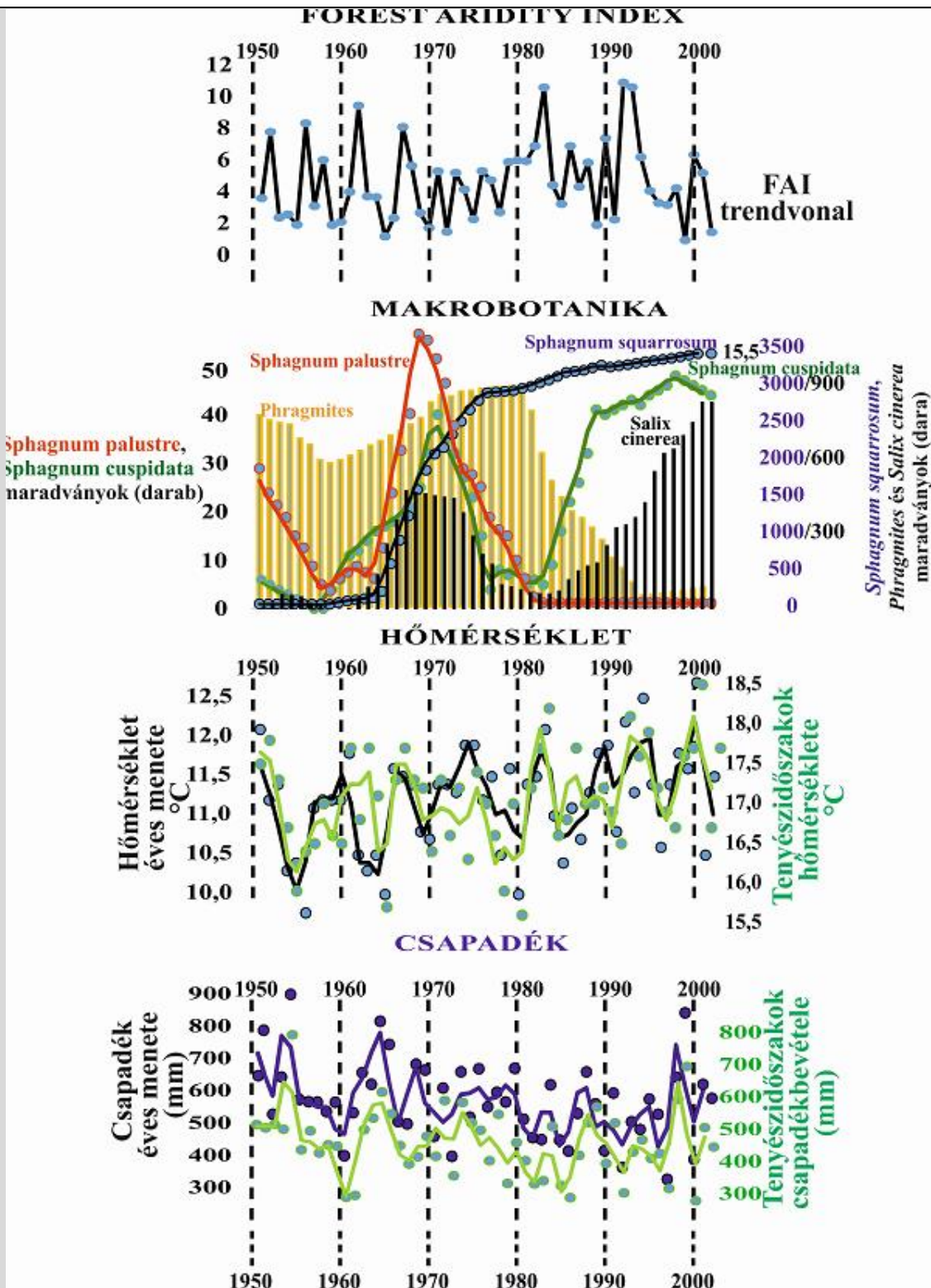


263. ábra A parlagfű (*Ambrosia artemisiifolia*) terjedése Magyarországon, a nagybárkányi, Nádas-tavi régiót 1966/1967-ben érte el ez a növény, és a radiokarbon mérés alapján is ekkor, 1966-ban jelentek meg *Ambrosia artemisiifolia* (parlagfű) pollenek a vizsgált szelvényben

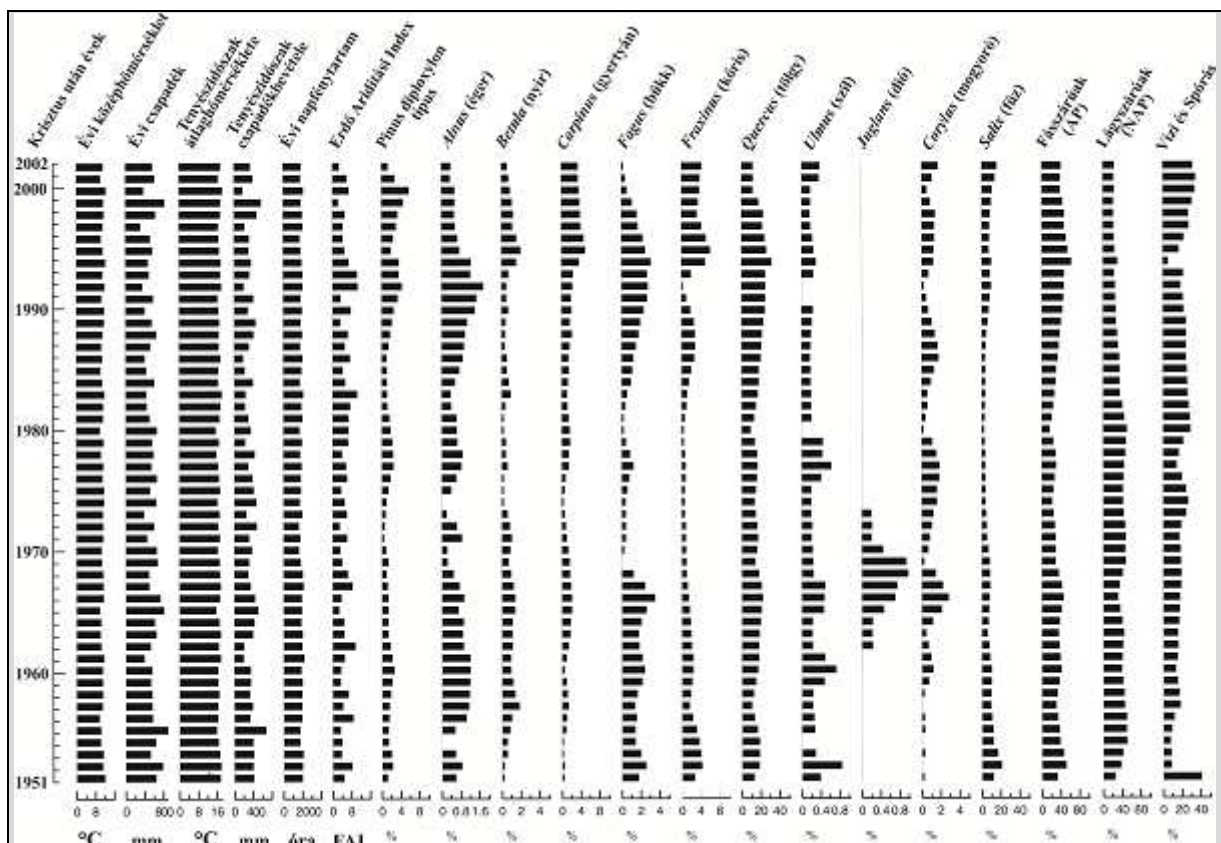
(http://allergia.network.hu/kepek/allergen_novenyek/a_parlagfu_terjedese_magyarorszagon oldal ábrája nyomán átrajzolva)

E komponensek durvább, több évet átfogó változásokat, trendeket – amelyeket egyébként a parlagfű (*Ambrosia artemisiifolia*) dominancia trendjei is jól mutatnak – a hőmérsékletre érzékeny, és a terület döntő faállományát alkotó tölgy (*Quercus*), mogyoró (*Corylus*), bükk (*Fagus*), gyertyán (*Carpinus*) pollen anyagának trendjei különböző mértékben, de követték az éves és a tenyészidőszak hőmérsékletének változásait. 1951 és 1966 között egy pollenegység, 1966-1990 között egy második pollenegység fejlődött ki. Majd 1990 és 2000 között egy

harmadik pollenösszetételi egység alakult ki, és 2001-től pedig már egy újabb pollenösszetételű zóna alakulhatott ki a pollenanyag és a fa pollenek összetételének statisztikai elemzése alapján (262. ábra). Úgy tűnik, hogy 1965 és 1990 között a mogyoró, tölgy, bükk és a gyertyán (262. ábra) és a fás szárú taxonok együttes pollenaránya (265. ábra) egyaránt lecsökkent. Mivel a csapadék éves vagy tenyészidőszakbeli mennyiségében nem jelentkezett számottevő különbség (264., 265. ábra) az 1961-1966 és az 1966-1990 között időintervallumban ezért egyértelmű, hogy bármennyire is nem mutattak erdészeti beavatkozást a területre vonatkozó erdészeti jegyzőkönyvek 1966-1990 között, jelentős (engedély nélküli?) erdészeti beavatkozás történhetett. A tölgy, a bükk és a gyertyán visszaesése alapján a kitermelt fa mennyisége a Nádas-tó pollenbefogó területének mintegy 30-35 %-a lehetett. Majd az erdő gyors regenerációnak indult, de az 1990-es évek végén és a 2000-es évek kezdetén legalább az erdőállomány felét érintő, újabb fakitermelés történhetett. Ez utóbbi fokozatos volt (egyeléses kitermelési technika), és a bükkfa (*Fagus*) állományt érintette legerőteljesebben, amelyet ekkor szinte teljesen mértékben kivágtak a Nádas-tó körül (262., 264., 265. ábra). Így a bükk pollenaránya gyakorlatilag 0 %-os lett 2002-re a nagybárkányi Hármashatár-hegy északi oldalán 400-450 méteres tengerszint feletti magasságnál. Nem zárható ki, hogy a bükkfák kitermelése és a gyertyán visszaesése mögött a XX. század végén megindult és a XXI. század kezdetén tetőző klímaváltozás okozta környezet átalakulás is szerepet játszhatott (bükkfák kiszáradása), de ez nem volt olyan drasztikus, amely megmagyarázná ezeket a változásokat. A ciklikus hőmérsékleti (és ariditási) változásokat egyébként a szegélyvegetációban elterjedt napfénykedvelő (heliofil) mogyoró (*Corylus*) pollenarányának trendjei tükrözték legjobban a fás szárúak közül (264., 265. ábra). A XX. század második felében természetesen nem csak a hőmérséklet, hanem a csapadék és mindkettőt figyelembe vevő ariditási index is befolyásolta a lápi üledékgyűjtőnek és környezetének fejlődését. A lápi üledékgyűjtőben a nádas, a tőzegmoha és a fűz változása egy különös szerkezetet mutatott, amelyet az 1959 és a 2002/2003-ban készült, a Nádas-tó vegetációjára vonatkozó vegetációtérképeinek összehasonlításai (258. ábra) is visszatükröztek már. A makrobotanikai adatok alapján az 1951 és 1981 között egy rendkívül fajgazdag, változatos élőhelyek, növénytársulások foltjaiból, zonációiból álló vegetáció fejlődött ki a Nádas-tó medrében, amelyben egyidőben volt jelen a nádas, a *Sphagnum palustre* (csónakos tőzegmoha), *Sphagnum squarrosum* (berzedt tőzegmoha), *Sphagnum cuspidatum* (keskenylevelű tőzegmoha) alkotta tőzegmoha szőnyeg és a *Salix cinerea* (hamvas fűz) folt.



264. ábra A nagybárkányi Nádas-tóban 1951-2002 között kialakult 40,8 cm vastagságú *Sphagnum* tőzegréteg évenkénti (8 mm-kénti) bontásával kinyert minták makrobotanikai vizsgálatának eredményei a hőmérsékleti, csapadék és ez utóbbi mindkettőt figyelembe vevő (FAI) erdő ariditási indexel (Forrás: új, első szerző által készített ábra)

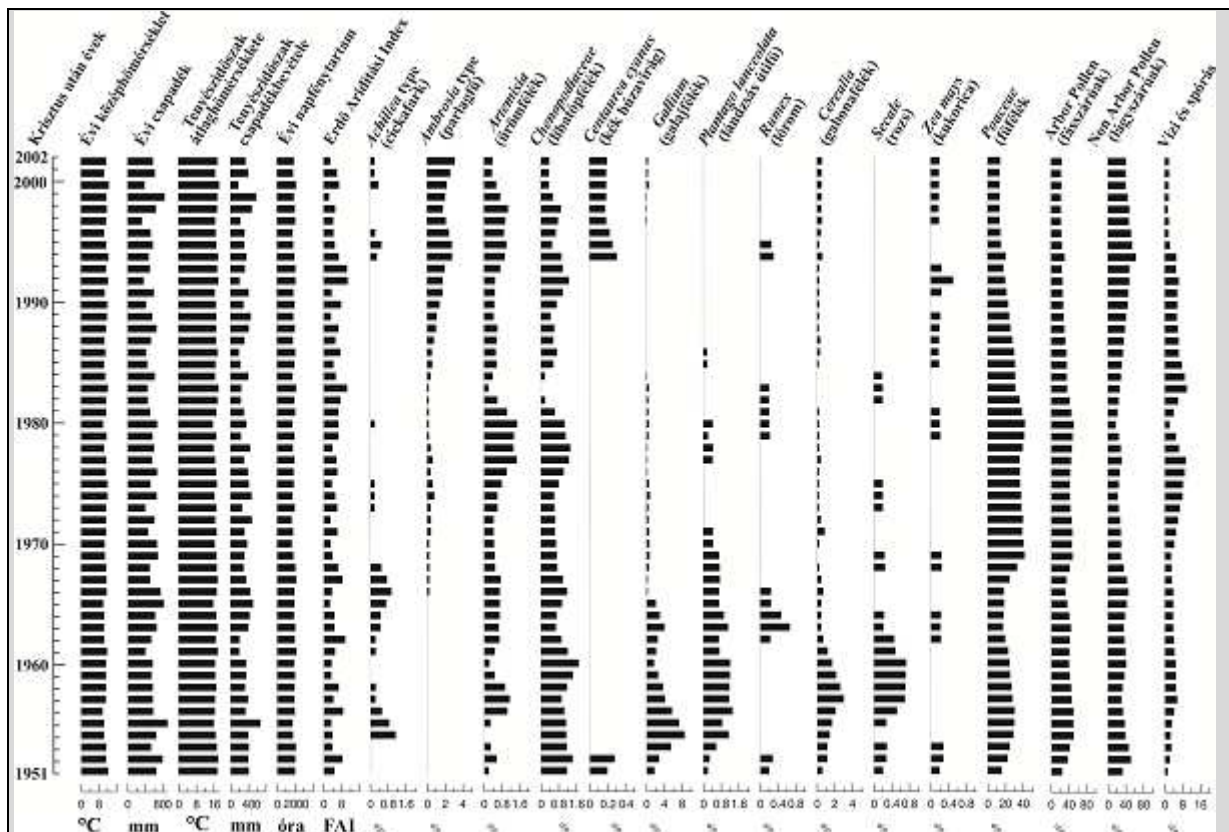


265. ábra A nagybárkányi Nádas-tóban 1951-2002 között kialakult 40,8 cm vastagságú *Sphagnum* tőzegréteg évenkénti (8 mm-kénti) bontásával kinyert minták pollenanalitikai vizsgálatának eredményei fásszárú pollen taxonokra vonatkozóan és ugyanezen évek mezoklíma állomás adatai nyomán rekonstruált hőmérsékleti és csapadékváltozás a Nádas-tó régiójában (Forrás: új, szerzők által készített ábra)

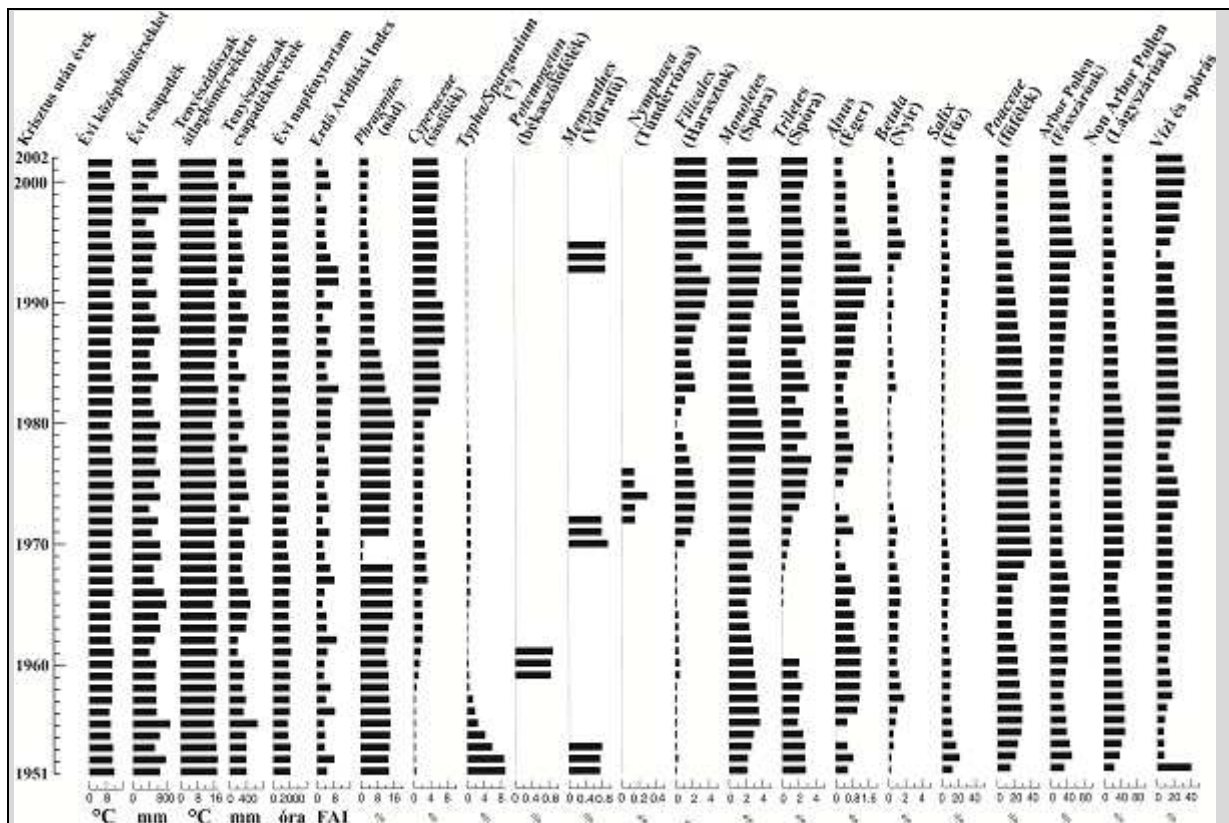
A hamvas fűz kiterjedési maximuma 1967-1973 között, majd az 1990-es évek végén és a fűrés pillanatában 2002/2003 telén alakult ki. Feltételezhető, hogy akárcsak napjainkban a hamvas fűz (*Salix cinerea*) ránőtt a tőzegréteg szőnyegre, amelyben a savanyú pH-ra legkevésbé érzékeny *Sphagnum palustre* (csónakos tőzegréteg) dominált, és leárnyékolta azt, stabilizálva a páratartalmat a tőzegréteg felszínén. A nádas maximális kiterjedése is 1967-1984 között fejlődött ki a makromaradványok nyomán (264. ábra). Majd a *Sphagnum palustre* (csónakos tőzegréteg) az 1967-1973 közötti maximumot követően fokozatosan és teljesen kiszorult a Nádas-tóból, az 1980-as évek kezdetétől jelenléte már minimális a területen. A terepeken és laborokban végzett pH mérések alapján 6-os érték alatt a *Sphagnum palustre* (csónakos tőzegréteg) anyagcsere forgalma és növekedése gyorsan lecsökken, ezért nem zárható ki, hogy a tőzegréteg szőnyegén belüli pH változás okozta a visszahúzódását. A *Sphagnum cuspidatum* (keskenylevelű tőzegréteg) arányának az 1968-1972 közötti maximumot követően a hamvas fűzzel (*Salix cinerea*) együtt visszaesett a területen, majd aránya az 1982. évi minimumot követően a hamvas fűzzel (*Salix cinerea*) együtt fokozatosan emelkedett és a XXI. század kezdetén a tőzegréteg szőnyegnek egyik meghatározó elemévé

vált. A *Sphagnum squarrosum* (berzedt tőzegmoha) 1966-tól fokozatosan emelkedett a tőzegmoha lápszőnyegen és a XXI. század kezdetén a tőzegmoha szőnyegnek már a másik meghatározó eleme volt. Mind a *Sphagnum squarrosum* (berzedt tőzegmoha), mind a *Sphagnum cuspidatum* (keskenylevelű tőzegmoha) élettevékenysége és fotoszintézise erőteljes pH 6 alatti értéknél is, ezért feltételezhető, hogy a tőzegmoha taxonok közötti dominancia átrendeződés fő faktorát a pH érték változása adta.

Így a Nádas-tó vízi növényzetének fő fejlődési vonalát alkotó tőzegmohák relatíve függetlenül fejlődtek a területen zajló meteorológiai állomáson mért csapadék és hőmérséklet adatoktól. Ugyanis ezekre a taxonokra a legjelentősebb hatással a láp felszínének páratartalma volt, valamint a hamvas fűz (*Salix cinerea*) árnyékoló és páravisszatartó szerepe is kiemelkedő lehetett. Nem véletlen, hogy a jelenlegi úszóláp kifejlődésében az 1980-as évektől kezdődően a nád visszaszorulásával párhuzamosan a hamvas fűz (*Salix cinerea*) terjedése alapvető szerepet játszott. Amennyiben valamennyi pollenanyagot figyelembe vesszük (**265., 266., 267. ábra**), akkor látható, hogy a fás szárú pollenek arány, a nádmaradványok visszaesésével párhuzamosan 1967 és 1981 között a pászitfűfélék (Poaceae), gyomok aránya emelkedett meg és meglepő módon a vidrafű (*Menyanthes*), a tündérrózsa (*Nymphaea*) maradványok is megjelentek. Úgy tűnik, hogy a feltételezhetően emberi hatásra bekövetkezett erdővisszaszorulás hatására a lefolyási tényező megnövekedett, és ennek nyomán a Nádas-tó vízszintje is megemelkedett és a lápi környezet mellett sekélytavi állapot (lápszem tó) is kifejlődött, ahol a vidrafű és a tündérrózsa is megtalálta a megfelelő élőhelyet. Vagyis a csapadékbevétel és hőmérséklet mellett figyelembe kell vennünk a növényzeti borítást is a Nádas-tó XX. század végi fejlődéstörténeténél, mert ezek a tényezők egymás hatását felerősíthették, vagy gyengíthették. Ugyanakkor bármilyen kisméretű a Nádas-tó – átmérője maximum 153 méter lehetett (a fúrás időszakában 107 méteres volt az átmérő), mert utána természetes lecsapolódás alakult ki a csuszamlásos hepetó peremén északnyugati irányba húzódó völgybe. A Nádas-tó területe jelenleg 0,25 hektár, maximális kiterjedése 0,78 hektár lenne, ez felett már nem tud tovább terjedni az exogén geológiai adottságok miatt, mert a tó (láp) vize lecsapolódik a völgy irányába. Mivel az éves változások nyomán az 1967-1981 közötti időszakban jelentős változás alakult ki, ezért a csapadék és hőmérséklet, mezoklíma állomás adatai alapján megrajzolt ariditási index 1951-2002 közötti értékeit összehasonlítottuk ugyanezen időszak üledékföldtani-geokémiai vizsgálatok adatainak elemzéseivel is, hogy sikerül-e valamilyen kapcsolatot találni a mezoklíma állomás éves bontású adatai és az ugyancsak éves bontású földtani adatok között a XX. század végére vonatkozóan (**261. ábra**).



266. ábra A nagybárkányi Nádas-tóban 1951-2002 között kialakult 40,8 cm vastagságú *Sphagnum* tőzegréteg évenkénti (8 mm-kénti) bontásával kinyert minták pollenanalitikai vizsgálatának eredményei lágyszárú pollen taxonokra vonatkozóan és ugyanezen évek mezoklíma állomás adatai nyomán rekonstruált hőmérsékleti és csapadékváltozás a Nádas-tó régiójában (Forrás: új, szerzők által készített ábra)



267. ábra A nagybárkányi Nádastóban 1951-2002 között kialakult 40,8 cm vastagságú *Sphagnum* tőzegréteg évenkénti (8 mm-kénti) bontásával kinyert minták pollenanalitikai vizsgálatának eredményei vízi és spórás pollen taxonokra vonatkozóan és ugyanezen évek mezoklíma állomás adatai nyomán rekonstruált hőmérsékleti és csapadékváltozás a Nádastó régiójában (Forrás: új, szerzők által készített ábra)

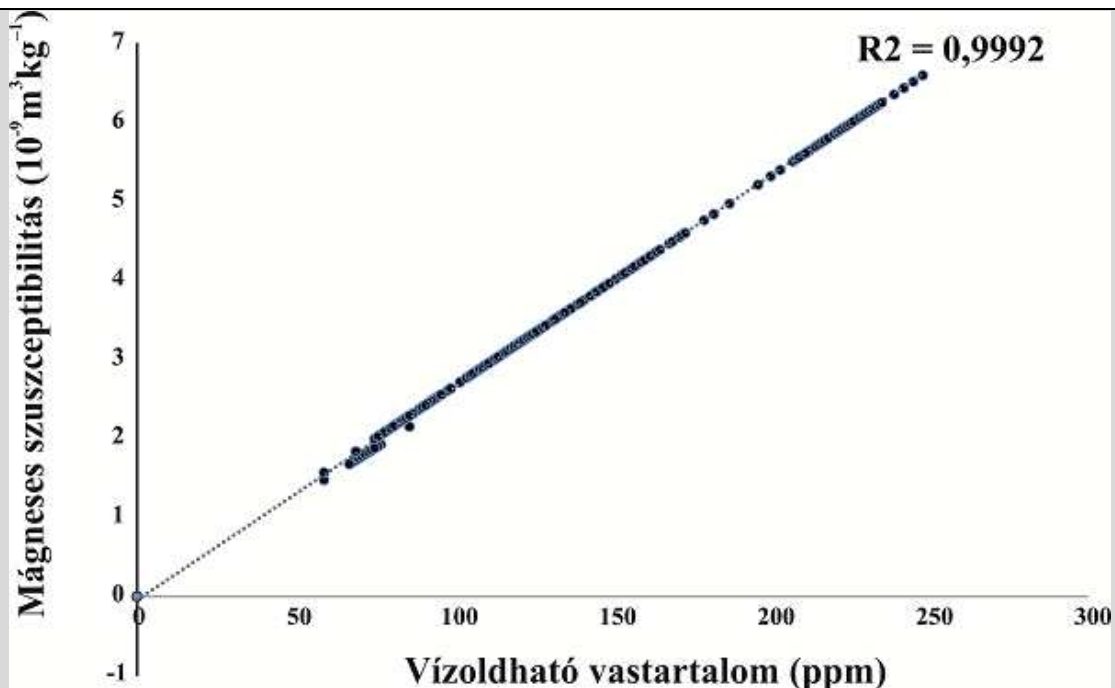
A vízdoldható elemtartalomból a vízdoldható nátrium, kálium tartalom a szervesanyag-tartalom növekedésével és *Sphagnum squarrosum* (berzedt tőzegmoha), *Sphagnum cuspidatum* (keskenylevelű tőzegmoha) alkotta tőzegmoha szőnyeg terjedésével mutatnak egyértelmű összefüggést. A vízdoldható vas, mangán tartalom is ehhez a változáshoz kapcsolódik és feltételezhető, hogy a savasabb lápi-tavi környezet kifejlődése, az úszó lápi szőnyeg kiterjedése nyomán egyre erőteljesebb reduktív környezet hatására emelkedett meg a vízdoldható vas, mangán tartalom a XX. század második felében. Ezzel szemben a vízdoldható kalcium, magnézium a szervesanyag-tartalomhoz és az 1960-as végétől az 1980-as évekig tartó erőteljesebb általános erózióhoz, a magasabb vízállású fázis kifejlődéséhez kapcsolódhatott (261. ábra). Vagyis a vízdoldható elemtartalom változása nem hozható automatikusan összefüggésbe a hőmérsékleti vagy csapadékbevételei változásokkal, hanem az erózió és az üledékgyűjtő rendszerben kifejlődött növénytakarások okozta elemtartalom változásokkal együtt értelmezhető csak.

Az üledékes paraméterek közül a homokfrakció (finom és apróhomok frakciók) változása (261. ábra) közvetlenül összefüggésbe hozhatók a szárazabb/csapadékosabb és

melegebb/hűvösebb fázisok váltakozásával. A homokfrakció váltakozása, ciklikus dominancia csúcsai egyértelmű összefüggést mutatnak az ariditási indexel és ennek nyomán az egykori eróziós tényezők változásaival (**261. ábra**). A homokfrakció változásai alapján az ariditási index maximumokkal teljesen azonos időben kifejlődött 6 csúcsot sikerült kimutatni 1951 és 2002 között, és a kisebb ariditás növekedésekhez is kisebb jelentőségű homokfrakció növekedések kapcsolódtak. Ennek nyomán a szárazabb és csapadékosabb ciklusok váltakozása növeli meg az eróziót az üledékgyűjtő medence környezetében. Valószínűsíthető, hogy a hirtelen lezúduló esők, vagy a gyors hóolvadás nyomán alakulhattak ki ezek a homokfrakció maximumok, üledék befolyások a Nádas-tavi üledékgyűjtő medencében. Sajnos ilyen irányú exogén geológiai folyamatok elemzését nem végezték még hazánkban, így a vizsgált területen sem. Így ennél pontosabb értelmezését nem adhatjuk meg az FAI (Forest Aridity Index) és a homokfrakció kapcsolatának jelenleg.

A szervetlen anyag, valamint a szervesanyag- és a karbonáttartalom XX. század végi változása hasonlóságot mutat az agyag, finomkőzetliszt és durvakőzetliszt tartalom változásaival. A finomabb frakció jelentősebb aránya szoros összefüggést mutat MacKereth brit kutató elemzéseinek nyomán a Nádas-tavi üledékgyűjtő medence hidrológiai-paleohidrológiai rendszerének vízgyűjtő területén zajló intenzív mállással, a területen jelentkező Barna Erdei Talaj (BET) fejlődésének folyamatosságával.

A mágneses szuszceptibilitási (MS) értékek az 1986-os csernobeli atomerőmű katasztrófa évét leszámítva teljesen szoros kapcsolatot mutatnak a vízdoldható vastartalommal (**268. ábra**). A két tényező között rendkívül szoros korreláció (0,9992) mutatható ki mindkét tényezőre vonatkozó 53-53 mérés összehasonlítása, és lineáris korrelációja alapján (**268. ábra**). Tulajdonképpen a csernobeli atomerőmű baleseti évét (1986) leszámítva a két tényező közötti kapcsolat 1-es korrelációs értéket mutatna. Így az atomerőművi balesetet leszámítva, amely a világon mindenütt megemelte a mágneses szuszceptibilitási (MS) értékeket, az MS értékek a vízdoldható vastartalommal mutattak összefüggést.



268. ábra A nagybárkányi Nádas-tóban 1951-2002 között kialakult 40,8 cm vastagságú *Sphagnum* tőzegréteg évenkénti (8 mm-kénti) bontásával kinyert minták vízoldható vastartalom és mágneses szuszceptibilitási értékeinek összehasonlító értékelése. A két tényező között rendkívül szoros korreláció (0,9992) mutatható ki mindkét tényezőre vonatkozó 53 mérés összehasonlítása és lineáris korrelációja nyomán. Tulajdonképpen a csernobili atomerőmű baleseti évét (1986) leszámítva a két tényező között kapcsolat 1-es korrelációs értéket mutatna (Forrás: új, első szerző által készített ábra)

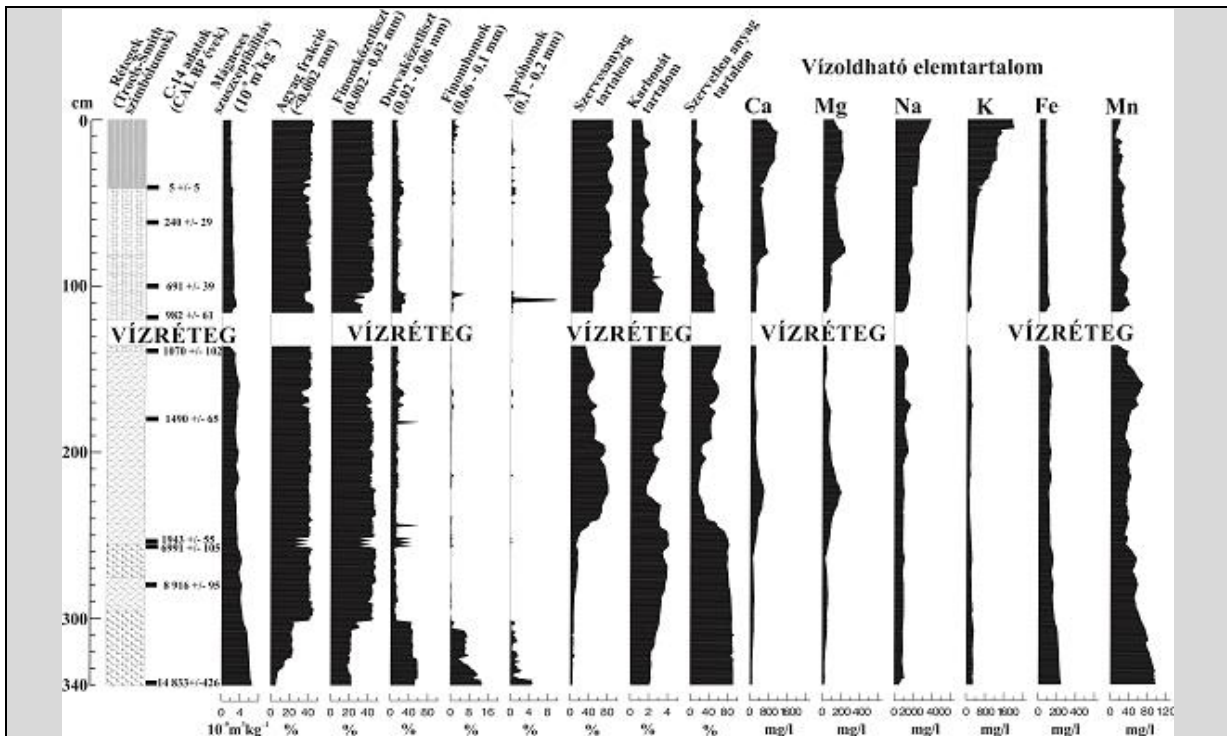
Összefoglalva a XX. század második felében éves szinten végzett üledékföldtani, geokémiai, pollenanalitikai és makrobotanikai elemzéseket egyértelműen megállapítható, hogy a hőmérsékletre érzékeny fák és cserjék (tölgy, szil, hárs, mogyoró, bükk és gyertyán) mutatják a hőmérsékleti értékekkel és ariditási indexel a kapcsolatot, csak úgy, mint az eróziós tényezőkhöz kapcsolódó homokfrakció is hőmérséklet/csapadék által irányított. Ezek a tényezők kiválóan alkalmazhatóak megfelelő üledékgyűjtő méret esetén lokális, vagy regionális szinten az egykori hőmérséklet, csapadék, vagy ariditás rekonstrukciójára. A klímátényezők és a pollenösszetétel kapcsolatát az (feljegyzések nélkül is kimutatható) emberi hatás erőteljesen felülírta, módosította a vizsgált területen.

Ugyanakkor a Nádas-tó üledékgyűjtő medencéjében feltárt makrobotanikai adatok nem mutattak összefüggést a mezoklíma állomás meteorológiai adataival, illetve azokból számolt ariditási indexel. Ennek oka is egyértelmű, ahogy már korábban – elsősorban észak és nyugat-európai, valamint észak-amerikai – szerzők rámutattak, az üledékgyűjtő medencékben található makrofita vegetáció mikroklíma hatás alatt áll, azaz közvetlenül a láp – tó felszínén jelentkező klíma paraméterekkel mutatnak összefüggést ezen tényezők változásai. Viszont az üledékgyűjtő medencékben a növényzet a mezoklíma adatokhoz képest módosító hatással

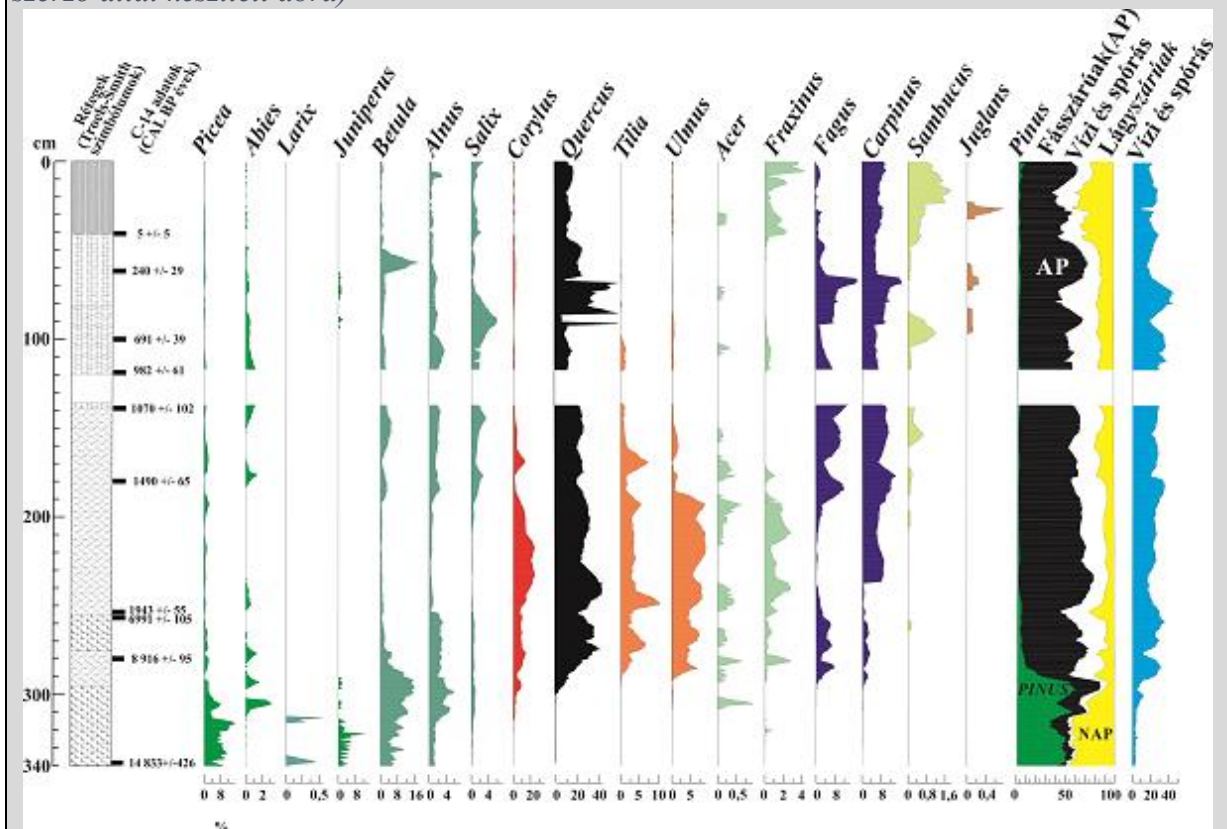
rendelkezik. Így különösen a középhegységi, magashegységi zónában kialakuló mikroklimatikus foltokban elhelyezkedő lápok, tavak makrobotanikai anyaga teljesen a lokális környezeti, közte klimatikus tényezőkkel mutat kapcsolatot. Így nagyobb területek közötti klimatikus kapcsolat feltárásában erősen korlátozott ez a tényező. Ezt erősíti meg a nagybárcányi XX. század második felére vonatkozó paleohidrologiai vizsgálatok sorozat is.

Természetesen nem csak a XX. század végén felhalmozódott üledéket, hanem a nagybárcányi Nádas-tó üledékgyűjtő medencéjében kialakult egész rétegsort megvizsgáltuk (**259. ábra**). A szelvény fekéjét egyértelműen jégkor végi üledék alkotta, a radiokarbon vizsgálatok alapján 14.800 cal BP évtől (1950-től, a hidrogénbomba robbantás évétől számítódik) indul a feltárt összlet. 1 cm-es mintavétellel gyakorlatilag 100 éves lépésekben tudtuk megtárgyalni a jégkor (pleisztocén) végi és jelenkor (holocén) kezdeti szinteket és az ekkor lejátszódott környezeti változásokat.

Az első üledékes szint 340 és 300 cm (14.800–10.700 cal BP évek) között fejlődött ki, amelyet fehéresszürke színű, jelentős homokfrakciót tartalmazó finomkőzetlisztes durvakőzetliszt réteg alkot (**269. ábra**). Az agyag és a szervesanyag-tartalom ebben a szintben a legkevésbé jelentős, a durvakőzetliszt, finomhomok, apróhomok, szervesanyag, vízoldható Fe, Mn tartalom a legjelentősebb. Ebben a szintben a tűlevelűek (**270. ábra**), mindenekelőtt a fenyőfélék (*Pinus* subgenus *Pinus*) domináltak, de viszonylag jelentős arányban megjelentek a lucfenyők (*Picea*), borókafélék (*Juniperus*), jegenyefenyők (*Abies*) is. A rendkívül kevés pollent kibocsátó vörösfenyő (*Larix*) virágporaszemei is megjelentek ebben a szintben (**270. ábra**), és két horizontban a vörösfenyő pollenaránya elérte a 0,5 %-ot, amely nyomán helyben élő vörösfenyő példányokat feltételezünk. A lombosfák közül a jelentős tűrőképességgel jellemezhető és boreális erdők déli szegélyén, tűlevelű erdőkben is megjelenő nyír (*Betula*), éger (*Alnus*) és fűz (*Salix*) virágporaszemei jelentek csak meg (**270. ábra**). A fás szárúak pollenaránya 50-60 % között mozgott ebben a késő-glaciális korú szintben.

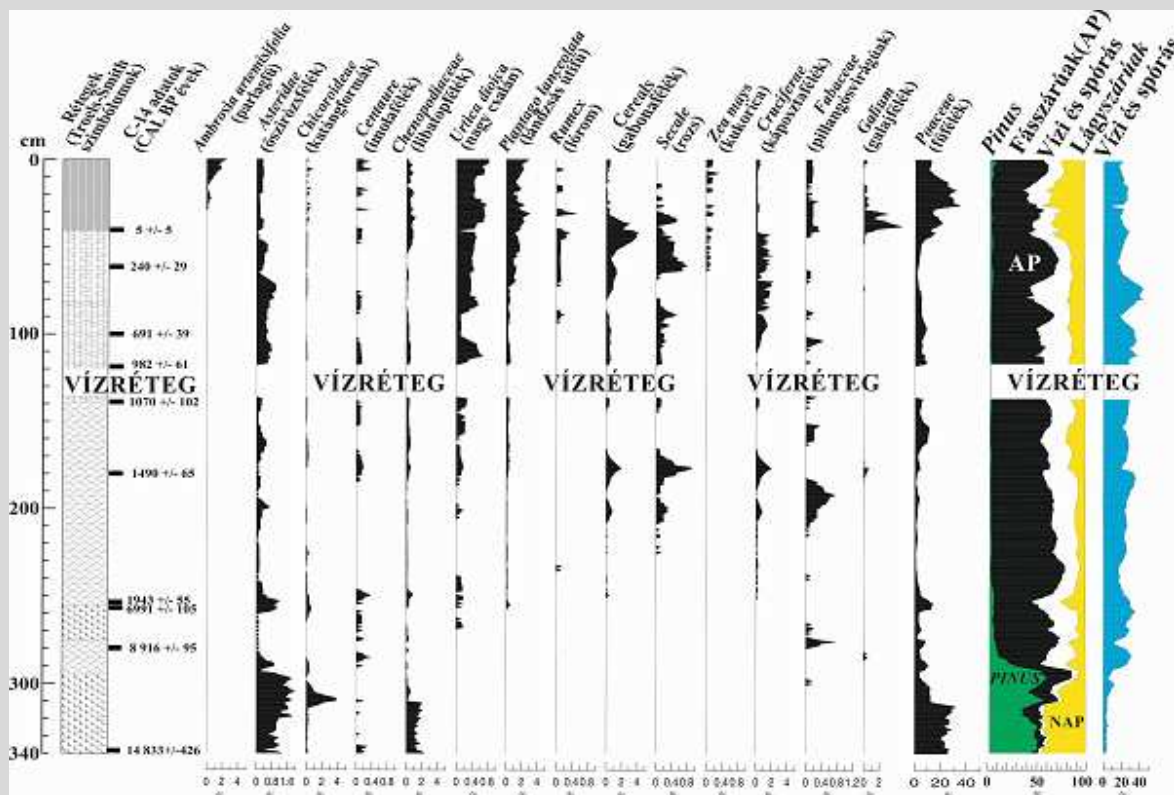


269. ábra A nagybárkányi Nádastóban kialakított 340 cm-es zavartalan magfúrás szelvényén 1 cm-ként végzett üledékföldtani és geokémiai vizsgálatának eredményei (Forrás: új, első szerző által készített ábra)

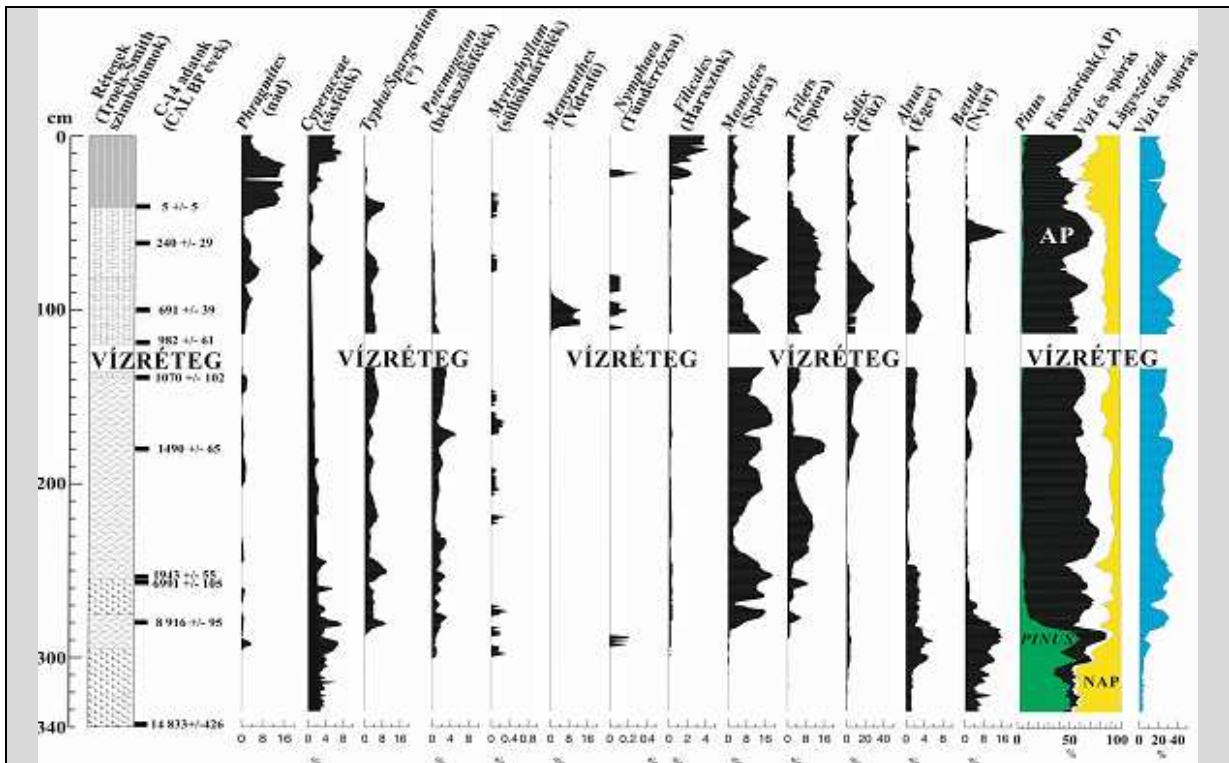


270. ábra A nagybárkányi Nádastóban kialakított 340 cm-es zavartalan magfúrás szelvényén 1 cm-ként végzett pollenanalitikai vizsgálat eredményei 1 – fás szárúak pollenarányának változásai (Forrás: új, szerzők által készített ábra)

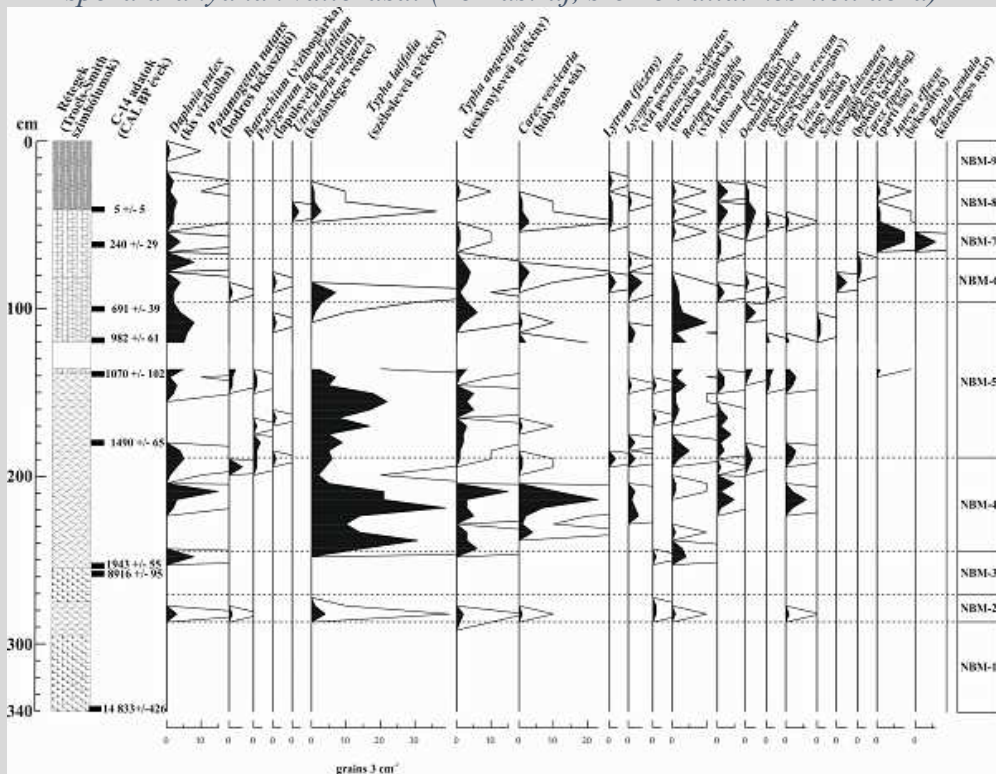
A lágyszárúak között (271. ábra) mindenekelőtt a pázsitfűfélék (*Poaceae*), az őszirózsafélék (*Asteridae*), libatopfélék (*Chenopodiaceae*) domináltak. A lágyszárúak pollenaránya 50–40 % között mozgott (271. ábra). A vízi, vízparti és a spórás elemek (272. ábra) között a sásfélék (*Cyperaceae*) domináltak. Hűvös, hideg klímaszakaszban, oligotróf tavi környezetben halmozódott fel az üledék a nagybárkányi Nádas-tó hepetavában és ebben a szakaszban két rövidebb intervallumú, néhány száz évet átfogó hidegmaximumot lehetett kimutatni a Közép-Európában jelenleg csak magashegységi környezetben élő vörösfenyő megjelenési nyomán 14.800 és 14.500 cal BP, valamint 11.000–10.700 cal BP évek között (272. ábra). Ezt az oligotróf (szervesanyag-terheléstől mentes), csak mállatlan vagy minimális mállással jellemezhető környezetre jellemző ásványszemcsékkel felöltődő (ún. „*minerorganikus*”) paleohidrologiai képet támasztja alá a szelvényen végzett makrobotanikai elemzés is (273. ábra) mivel makrobotanikai anyagot nem lehetett a szelvénynek ezen szakaszán kimutatni 5 cm mintavétellel, és 1 cm mintavétellel is csak néhány sásmaradványt és határozhatatlan növényi törmeléket. A szervesanyag-tartalom elenyésző volta ebben a szintben teljes mértékben alátámasztja a makrobotanikai vizsgálat eredményeit.



271. ábra A nagybárkányi Nádas-tóban kialakított 340 cm-es zavartalan magfúrás szelvényén 1 cm-ként végzett pollenanalitikai vizsgálat eredményei 2 – lágyszárúak pollenarányának változásai (Forrás: új, szerzők által készített ábra)



272. ábra A nagybárkányi Nádas-tóban kialakított 340 cm-es zavartalan magfúrás szelvényén 1 cm-ként végzett pollenanalitikai vizsgálat eredményei 3 – vízi és spórás növények pollen és spóra arányának változásai (Forrás: új, szerzők által készített ábra)



273. ábra A nagybárkányi Nádas-tóban kialakított 340 cm-es zavartalan magfúrás szelvényén 5 cm-ként végzett makrobotanikai vizsgálat eredményei 1 (Forrás: Jakab, Sümegi, 2005 nyomán átrajzolva, átszerkesztve, kiegészítve)

A jégkor végi és a holocén legkorábbi szakaszát átfogó növényzeti borításban és szerves anyagban szegény, oligotróf tavi paleohidrológiai állapotot követően még a holocén korai szakaszában (300–275 cm, 10.700 és 8000 cal BP évek között) a mágneses szuszceptibilitás érték, a homokfrakció aránya, a vízdoldható Mn, Fe tartalom fokozatosan csökkentek. A durvakőzetliszt tartalom ugrásszerűen csökkent le, ezzel párhuzamosan az agyag- és finomkőzetliszt tartalom ugrásszerűen megemelkedett. Az üledékes környezet változásai a hőmérséklet és csapadék növekedését, a jelenkori (holocén) környezet kifejlődését jelzik paleohidrológiai szempontból. Az agyagtartalom erőteljes növekedése a mállás intenzitásának növekedését jelzi.

Az üledékföldtani változásokkal párhuzamosan a pollenanyag összetétele is átalakult. Bár a paleohidrológiai állapot kezdetén még a vörösfenyő, jegenyefenyő, lucfenyő visszaszorult és eltűnt, de a fenyő (elsősorban az erdei fenyő: *Pinus sylvestris*) és nyír (*Betula*) pollenek domináltak, ezen paleohidrológiai zóna végén már visszaszorultak ezek az elemek is. Ezzel a pollen összetételbeli változással párhuzamosan a jelenkorban (holocén során) elterjedt lombosfák és cserjék, mindenekelőtt a tölgy (*Quercus*), hárs (*Tilia*), szil (*Ulmus*), mogyoró (*Corylus*) domináltak (270. ábra). Vagyis a holocén kezdetén kifejlődött paleohidrológiai zónában egy jellegzetes növényzeti váltást rekonstruálhattunk a pollenösszetétel változása alapján. Úgy tűnik, hogy a jégkor végi környezet átalakulása a hőmérséklet és csapadék növekedésének hatására a jelenkor (holocén) kezdetén változott meg ebben a szubkárpati zónában, szemben az alföldi területtel, ahol ezek a változások közel 1000-1500 évvel korábban már lejátszódtak. A pollenvizsgálat alapján a lágyszárúak teljes mértékben visszaszorultak ebben a szintben (271. ábra). Vagyis kialakult ennek a paleohidrológiai szakasznak a második felében a szubkárpati dombsági környezetre jellemző zárt tölgyeserdő vegetáció a nagybárkányi Nádas-tó körül. A tölgyerdő alatt intenzív barna erdei talajképződés zajlott és a málláshoz, erőteljesebb talajképződéshez kapcsolódóan emelkedett meg a Nádas-tó üledékgyűjtő medencéjében az agyag, finomkőzetliszt és szervesanyag-tartalom is (269. ábra).

Adataink nyomán a hőmérséklet és csapadékváltozás indukálta vegetáció átalakulást követően teljes mértékben átalakult a paleohidrológiai állapot az üledékgyűjtő medencéjében és környezetében. Egyértelműen megállapítható, hogy az éghajlati változások a növényzet átalakulását indítják el és ennek nyomán alakul át a mállás, a mállás során felszabaduló elemtartalom és üledékes környezet is. Vagyis az éghajlati változás a növényzet átalakításán keresztül okozza az egykori paleohidrológiai környezet változását. Ez tükröződik vissza a vízi növények pollenanyagában és a makrobotanikai anyagban is (272. és 273 ábra).

A tavi rendszer kimélyülését, mintegy méteres vízborítás kifejlődését jelzik az üledékgyűjtő medence központi részén a gyökerező hínárok, mint a tündérrózsa (*Nymphaea*), a süllőhínár (*Myriophyllum*), és a bodros békaszőlő (*Potamogeton natans*) maradványok. Ezzel párhuzamosan a vízi, állandó vízborítású környezet, és az enyhébb, holocénre jellemző paleohidrologiai állapot kifejlődését jelzik a keskenylevelű gyékény (*Typha angustifolia*), a széleslevelű gyékény (*Typha latifolia*), a közönséges nád (*Phragmites communis*), az ágas békabuzogány (*Sparganium erectum*), a kis vízibolha (*Daphnia pulex*) maradványok. A holocén kezdetén a nagybárkányi Nádas-tó üledékgyűjtő medencéjében kifejlődött tavacska egy mocsaras-vizenyős terület vehette körül a torzsika boglárka (*Ranunculus sceleratus*) és a vízi kányafű (*Rorippa amphibia*) maradványok alapján. A vízparti terület jelentős részét égerfák (*Alnus*), nyírfák (*Betula*) és fűz (*Salix*) borította még (272. és 273 ábra). A holocén kezdetén tehát egy sekély, szerves anyagban relatíve gazdag tavi állapot jellemezte a vizsgálat alá vont üledékgyűjtő medencét.

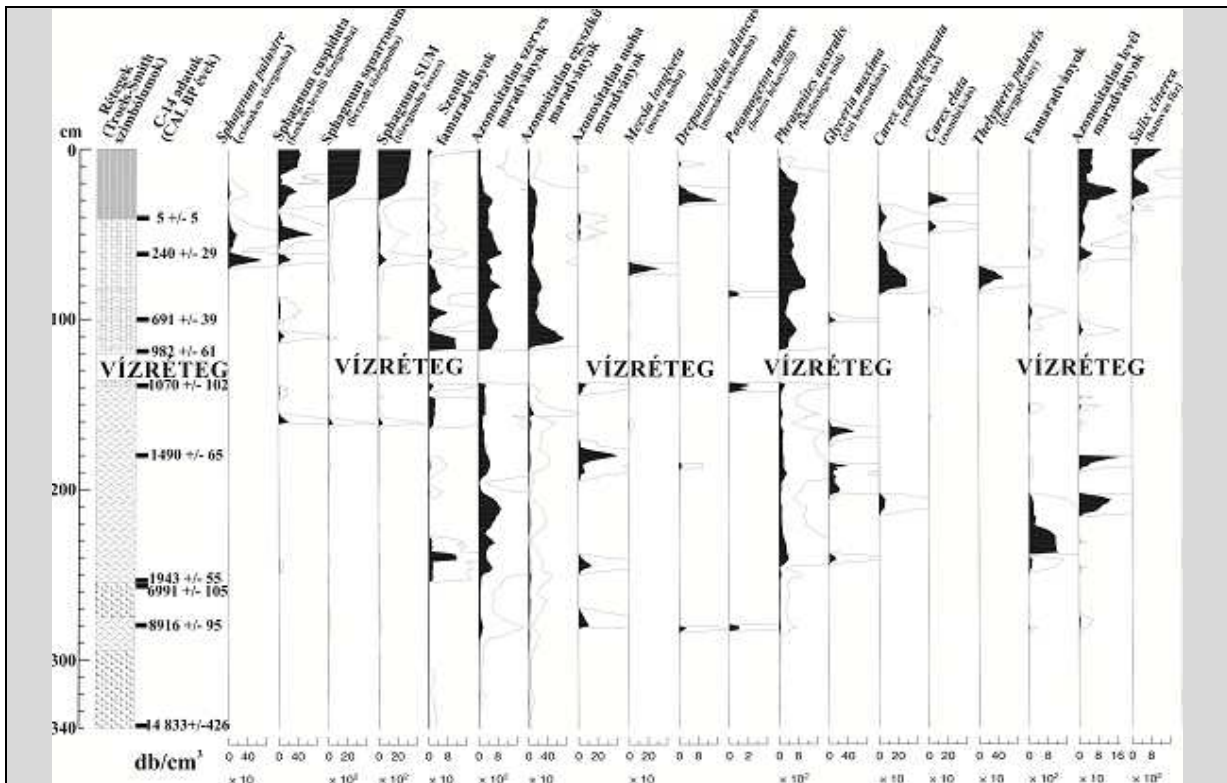
A zárt, cserjeszintben gazdag tölgyes erdei környezet stabilizálódása nyomán megközelítőleg 8000 és 7000 cal BP évek (275-250 cm között) egy újabb paleohidrologiai állapot fejlődött ki. Az üledékes tényezők szinte semmilyen változást nem mutattak, leszámítva, hogy az üledék világosabb színű lett, karbonáttartalma megemelkedett. A növényzeti adatok (270., 271., 272., 273 ábra) alapján az egykori vízmélység megemelkedhetett, mivel a gyökerező hínárok, mindenekelőtt a süllőhínár (*Myriophyllum*), békaszőlő (*Potamogeton*) maradványok aránya növekedett. Ennek nyomán az üledékgyűjtő medencében a növényzeti zónák, övezetek eltolódhattak és a medence egyik legmélyebb pontján kialakított fűrészpont közvetlen környezetében egy sekélytavi (1,0-1,5 méter mély) állapot stabilizálódhatott. Ennél jelentősebb vízborítás nem fejlődhetett ki az egykori Nádas-tavon, mivel az exogén geológiai adottságok következtében a felesleges víz elvezetődött a mederből északnyugati irányban. A tavacska kimélyülését a vízi növények arányának növekedése egyértelműen visszajelzi (270., 271., 272., 273 ábra). Ezen paleohidrologiai zóna végén már jelentősebb emberi hatások is megjelentek a szelvényben, az erdőborítás csökkent, gyomok és természetű növények pollenjei jelentek meg.

250/249 cm-nél található a legjelentősebb paleohidrologiai változás a szelvényben és ez teszi a vizsgálat alá vont szelvényt a Kárpát-medence utolsó 2000-2100 év szempontjából a legfontosabb paleohidrologiai objektummá és elemzésünket alapvető paleohidrologiai vizsgálatossorozattá. Ugyanis a vaskor végén (megközelítőleg Krisztus előtti 70-es években, a Krisztus előtti első évszázadban) a területen élt közösségek, történelmi források alapján kelták, egyszerűen kiásták az egykori Nádas-tó üledékgyűjtő medencéjét, és egy emberi

hatású, mélyebb vízgyűjtővel rendelkező mesterséges tavacsskát alakítottak ki benne. Ez a vízgyűjtő ciszternának, helyenként kenderáztatónak használatos tavacska nem egyedülálló, a vizsgált, kelták (cotinus és/vagy osius törzs tagjai) által lakott szubkárpáti övezetben több helyen előfordulnak – csak úgy, mint a napjainkig megfigyelhető kenderáztató lyukak a skóciai, írországi lápokon. Az emberi hatás révén az utolsó 2000-2100 évben 249/250 cm üledék halmozódott fel és leszámítva a XX. század második felében kifejlődött, éves szinten elemzés alá vont tőzegmoha réteget 1 cm-es mintavételi stratégiával megközelítőleg 10 éves felbontással tárgyalhattuk a paleohidrológiai változásokat ebben az időintervallumban.

A mesterséges tavi környezet kialakulását, a kiásás utáni gyors és hirtelen feltöltődést jelzi a finomkőzetliszt, durvakőzetliszt, és homok tartalom farkasfog-szerű dominancia változása 249 és 244 cm (Krisztus előtti 70 és 20 évek) között (**269. ábra**). A mesterséges tó kialakításával párhuzamosan a szervesanyag-, vízdoldható Ca és Mg tartalom ugrásszerűen megemelkedett. Az üledékes paraméterek változása alapján a kelták által kialakított mesterséges tó gyors feltöltődésnek indult és megközelítőleg 2100 év alatt (Krisztus születése előtti 70 évtől a Krisztus utáni 1950 ig) mintegy 249 cm üledék halmozódott fel a mesterséges tóban. A vizsgálatok alapján a legfelső 40,8 cm 1951 és 2002 között halmozódott fel. Így 208 cm üledék mintegy 2020 év alatt rakódott le, azaz átlagosan 1 mm/év volt az ülepedési ráta a mesterséges tóban, és ennek nyomán 1 cm(10 mm)-ként kiemelt minták elemzésével megközelítőleg 10 évenkénti lépésben vizsgáltuk a tavi rendszer paleohidrológiai változásait.

Az első üledékes szintet a Krisztus előtti I. évszázad és a Krisztus utáni IV. évszázadot, gyakorlatilag a Kárpát-medence császárkorát fogta át. A szervesanyag és karbonát tartalom látványosan lecsökkent ebben a horizontban és a szervesanyag-tartalom megemelkedett és több száz éven keresztül a vízdoldható Ca, Mg tartalommal együtt maximumot mutatott (**269. ábra**). A mesterséges tavi környezet alapvetően különbözött a korábbi kora-holocén tavi állapottól. a mesterséges tavi környezet kialakításakor, a Krisztus előtti I. évszázadtól a Krisztus utáni I. századig jelentős mennyiségű pernye, szenült famaradványok kerültek elő a mintákból a Krisztus előtti 70 és a Krisztus utáni 50 évek között felhalmozódott 249–237 cm szintből (**274. ábra**).



274. ábra A nagybárkányi Nádas-tóban kialakított 340 cm-es zavartalan magfúrás szelvényén 1 cm-ként végzett makrobotanikai vizsgálat eredményei 2 (Forrás: új ábra)

Ez mellett igen jelentős mennyiségű döntően tölgy (*Quercus*) fadarabok jelentkeztek a szelvény rétegsorában 249 és 200 cm (Krisztus előtti 70 és a Krisztus utáni 400 között, gyakorlatilag a Kárpát-medence római császárkorában). A makrobotanikai maradványokból a mélyebb szintekben már megjelent tőzegmoha (*Sphagnum*) maradványok (*Sphagnum* összes: 274. ábra) a kiásás nyomán eltűntek a szelvényből, majd csak a népvándorlás kor végén, magyar honfoglaláskor kezdetén telepedtek meg újra az új, már antropogén hatású üledékgyűjtő medencében. A jelentős pernye, égett faszenek és a famaradványok szintjében a fapollenek, mindenekelőtt a tölgy (*Quercus*) pollenaránya felére csökkent (270. ábra). Ennek alapján feltételezhető, hogy a kelta törzs egy csoportja megtelepedett a Nádas-tó környezetében és fakitermelés által alakított ki magának megtelepedési helyet, úgy, ahogy szinte minden atlantikus, alpi, vagy Kárpát-medencei kelta megtelepedési szintben ez megfigyelhető volt. Az üledékgyűjtő medencéjében a megtelepedési szintben megfigyelhető jelentős mennyiségű tölgy famaradvány jelenléte (274. ábra) alapján nem zárható ki, hogy az emberi hatásra kialakított tavacsának (ciszternának) a falát tölgygerendákkal, tölgypallókkal szegélyezték, és ehhez megközelítőleg 1-3 hektár kiterjedésű tölgyerdő anyagát használták fel. Mivel a nagybárkányi Hármashatár-hegyen a laza szerkezetű „halmazfalú”, vagy tanyabokor szerű megtelepedés (ahogy a szubkárpati zónában több helyen feltárt kelta

megtelepedések is bizonyítják) és a ciszterna kiépítése párhuzamosan történt, ezért pontosan nem lehet megállapítani, hogy a Nádas-tóban kialakított mesterséges vízgyűjtőhöz használták-e fel a kitermelt faanyagot. Jelenleg a tavi üledékgyűjtő medence peremén nem figyelhető meg szenült, vagy szenülés nélkül fennmaradt faanyag, és a kelta közösségek megtelepedését és települését is csak a regionális környezetben végzett régészeti vizsgálatok nyomán feltételezhetjük.

Az emberi megtelepedés folyamatos létét lehetett bizonyítani a Krisztus előtti 70 és Krisztus utáni 400 évek közötti pernye-, fa és szenült famaradvány maximummal, gyomok, természetű növények pollenjeinek és makrobotanikai anyag jelenlétével. A megtelepedést követő erdőirtás után, amelyet a lágyszárúak pollenanyagának emelkedése is alátámasztott, az erdő (mindenekelőtt a tölgyes rész) gyorsan regenerálódott. Az erdő összetétele, a termomezofil, termoxerofil fajok (mogyoró, szil, hárs, tölgy, stb.) késő-vaskortól a késő császárkor végéig tartó dominancia maximuma egy mainál jelentősebb tényszerűségi hőösszeggel, jelentősebb nyári hőmérsékleti maximumokkal jellemezhető, mintegy 400-500 éves melegebb (és szárazabb) klímaperiódus kifejlődését jelzi a Krisztus előtti I. évszázad és a Krisztus utáni IV. évszázad között.

Talán nem véletlen, hogy a területen megtelepedő közösség egy ciszternát alakított ki a Nádas-tó medencéjében ebben a periódusban. A pollen és makrobotanikai adatok alapján a júliusi középhőmérséklet megközelítőleg $+1\text{ °C}$ -al lehetett melegebb, mint az utolsó 2000 év átlaga, míg a csapadék mennyisége ebben a periódusban 50 mm/év értékkel lehetett alacsonyabb a 2000 év átlagánál. Ennek nyomán az erdőövezet eltolódott, a bükk nem jelentkezett a Nádas-tó környékén, pollenanyaga minimális, a tölgyerdők taxonjainak pollenanyaga dominált, az utolsó 2000 évben egyedülálló módon (**270. ábra**), és mellette gyertyán virágporoszemek jelentkeztek jelentősebb arányban. Az erdő összetétele alapvetően különbözött a mai erdő összetételétől, bár gyertyános tölgyesre jellemző, de tölgy dominanciával, és nem a mai gyertyán dominanciával jellemezhető erdőkhöz hasonlítható. Különösen a xerothermofil és a napfénykedvelő mogyoró 20 %-ot is elérő dominanciája jelzi a szárazabb és melegebb klíma periódust. Valószínűsíthető, hogy a kedvezőbb klímazakasz kialakulása mellett az erdőgazdálkodásban már a termelő gazdálkodás kezdetétől kiemelkedő módon hasznosított erdei termék, a mogyoró (sövényeknél, fonott házfalagnál jól használható vesszők, jó tárolható, könnyen konzerválható, jól szállítható, nagy energiájú terméssel rendelkező) növény terjedését „segíthették” a szegélyvegetáció kiterjesztésével. Így a klímahatások és az emberi hatások összefonódhattak és felerősíthették egymást. A kialakított, talán ciszternaként funkcionáló mesterséges tóban keskenylevelű és széleslevelű gyékény,

közönséges nád, harmatkása, míg a parti régióban rostatövű sás terjedt el. A pollen és makrobotanikai adatok szerint a mesterséges tóban egy eutróf, növényzettel bevont tavacska alakult ki, és nem zárható ki az erdőre jellemző pollenek gyors aránynövekedését tekintve, hogy a területen kialakított települést néhány évtized után felhagyták és a ciszternát is, és ezért alakult ki viszonylag gyorsan növényzeti borítás a mesterségesen kialakított tavi rendszerben. A terület lehet, hogy gazdasági hátrégiót alkotott, mert a pernye, szenült famaradványok alapján, ha időszakosan is (például nyár végi erdei legeltetés, amelyhez a ciszterna jól hasznosítható itató tavat alkothatott), de állandó település nélkül lakott lehetett a Nádas-tó környéke a császárkor során.

A római császárkori (de Barbarikum területén lévő régióra vonatkozó) klímaperiódust követően a bükk és gyertyán pollenek aránya megnövekedett a vizsgált szelvényben a Krisztus utáni IV. században. Ezzel párhuzamosan a szil, hárs és mogyoró aránya erőteljesen visszaesett (**270. ábra**). Az eddigi makrobotanikai maradványok összetétele is megváltozott, a gyékény maradványok aránya lecsökkent, a közönséges rence (*Utricularia vulgaris*), bodros békaszőlő (*Potamogeton natans*), *Batrachium* (víziboglárka), vízi hídőr (*Alisma plantago-aquatica*) maradványok jelentek meg. Mivel a sásfélék (*Cyperaceae*), a gyékény/békabuzogány (*Typha/Sparganium*) aránya jelentős maradt (**272. ábra**), ezért feltételezhető, hogy a Nádas-tó vízszintje megemelkedett a népvándorláskor kezdetén, a Krisztus utáni IV. században. A vízszintemelkedés nyomán a nád, a gyékény, a sások a kimélyülő tavi rendszer peremére szorultak, a tavi paleohidrológiai rendszer átalakult, és a növényzeti övek követték a változást. A paleohidrológiai változások nyomán egy hűvösebb, csapadékosabb (párásabb) klímafázist rekonstruálhatunk a Krisztus utáni IV. évszázadra vonatkozóan. Ez a lokális klíma adat is teljesen ellentmond az erre az időszakra feltételezett kiszáradásnak, amelyet a magyarországi történészek a népvándorláskor fő mozgatórugójának írtak le.

A Krisztus utáni V. és VII. század között kiegyenlített, mérsékelt, de párás klímaviszonyok jellemezték a nagybárcányi Nádas-tó környezetét, majd a bükk és gyertyán pollenek aránya lecsökkent, a hárs, a mogyoró aránya megemelkedett Krisztus utáni 670–710/720 évek között. Ennek nyomán a Krisztus utáni VII. század végén, a VIII. század kezdetén egy melegebb és szárazabb éghajlati szakasz kialakulását valószínűsíthetjük a népvándorlás koron belül. A makrobotanikai anyagban a kisebb vízmélységet és erőteljesebb felszíni növényzeti borítást jelző növények kerültek előtérbe. Így vízszintcsökkenés következett be a Nádas-tavon és a sekély vízteret a növényzet teljesen bevonta. A moha, köztük mocsári sarlósmoha maradványok megjelenése a tó medrének centrumában egy időszakos, talán nyár végi mocsári

állapot kifejlődését valószínűsíti ebben az időszakban. Ezzel a változással párhuzamosan növénytermesztést (rozs) és állandó megtelepedést és/vagy kertkultúra kialakulását jelző gyomok jelentek meg a szelvényben. Úgy tűnik, hogy a Krisztus utáni VII. század végén (második felében) a Kárpát-medence egészét birtokló Avar Birodalomban, talán az éghajlat változás hatására, egy belső átrendeződés történt, és a középhegységi, szubkárpáti zónában az emberi jelenlét felerősödött. A jelenség nem elszigetelten jelentkezett, hasonló változások mutathatók ki a Mátrában a siroki Nyírjes tőzegmoha láp szelvényén, a keleméri Mohosokon, erdélyi, közte székelyföldi lápokon is. Úgy tűnik, hogy a melegebb, szárazabb éghajlati szakaszban a magasabb fekvésű dombsági, alacsony és közepes magasságú hegységi területek felértékelődtek és nagyobb népsűrűség alakult ki ezekben a régiókban, ebben a paleohidrológiai szakaszban. Majd a Krisztus utáni VIII. században és annak végén is egyenletesen csapadékos és mérsékelt klíma alakult ki. Kiszáradási periódusra csak a Krisztus utáni IX. században, 820-850 évek közötti időszakban (a karibi térségben, korallokon végzett paleohidrológiai átalakulásokkal teljesen szinkronban) lévő paleohidrológiai változásokból következtethetünk. Így az Avar Birodalom felbomlásában az extrém felmelegedés és szárazság nem játszott szerepet, ahogy a hazai történészek jelentős része állította még az elmúlt években is. Ugyanakkor a pernye, szenült fa mennyisége nyomán arra következtethetünk, hogy a VII. századtól a terület folyamatosan lakott volt és az is maradt a magyar honfoglalás korában is. A nagybárkányi paleohidrológiai elemzés úttörő jellegű volt abban a tekintetben, hogy rámutatott arra, hogy az igen sokszínű gazdálkodással (és nem a néhány történész által angolul is több helyen megfogalmazott pogány „nomadizálással”) jellemezhető késő Avar Birodalom nem ökológiai krízis, hanem a külső és belső társadalmi konfliktusok, technikai és gazdasági elszigetelődés, lemaradás nyomán bomlott fel. Hogy nem egykori környezeti, közte paleoklimatológiai és paleohidrológiai tényezők hatására történt az Avar Birodalom felbomlása a német és osztrák történészek és régészek több elméleti modellben már korábban is rámutattak. Ebből az elemzési sorból is látszik, hogy napjaink legjelentősebb környezeti problémáihoz azok a paleohidrológiai elemzések adják a legtöbbet, amelyek emberi közösségekhez, azok múltbéli környezeti viszonyához kapcsolódnak. Ugyan 10 évvel később, de teljesen hasonló adatokat mutatnak az erdélyi, közte székelyföldi lápok, valamint a dunántúli, prealpi lápok paleohidrológiai elemzése is.

A nagybárkányi Nádas-tó paleohidrológiai vizsgálata vezetett el egy másik jelentős, a magyar honfoglaláshoz fűződő toposz megdöntéséhez is, mivel a honfoglalás korában tudatos beavatkozás történt a Nádas-tó medrében, hasonlóan, mint amelyeket a Bodroghözben, Nyírségben, Erdélyben több helyen kimutattunk. Ezen beavatkozás, a tómeder kimélyítése

nyomán alakult ki fúrás során feltárt vízréteg is (269.–274. ábra). Víz tározókat, itatóhelyeket, halastavakat, ártereket, talajvíz magasságot szabályozó árkokat alakítottak ki a honfoglaló eleink a különböző lelőhelyeken végzett elemzések alapján. Úgy, ahogy korát megelőző módon erre a tóközi árokrendszerek régészeti – történeti elemzésével erre *Takács Károly* mosonmagyaróvári történész rámutatott. Úgy tűnik, hogy a honfoglalást a katonai vezetőkkel és katonai kíséretükkel azonosította több évtizeden át a hazai történetírás és átsiklott azon a csak néhány történész-régész által publikált tényen, hogy a betelepülő és/vagy már itt lévő és újrászervezett közösségekben jelentős növénytermesztő, állattenyésztő, erdőgazdálkodást, bányászatot és a vízterekbe aktívan beavatkozó halászatot és vízgazdálkodást folytató közösségek is részt vettek.

Ezek alapján a magyar honfoglalás során betelepült közösségek, bármilyen hadi és művészeti tárgyakkal is rendelkeztek, nem egy nomád katonai társadalmat alkottak, ahol egyszerre minden férfi pásztor és katona, hanem rétegzett társadalmat alkottak, amelyet a katonai arisztokrácia és annak katonai kísérete tartott össze. Talán szokatlan, hogy ezeket a megállapításokat egy paleohidrológiai elemzés során tettük meg, de tudni kell, hogy a honfoglaló magyarság gazdasági beavatkozásait (történelmi és gazdaságtörténeti írásos feljegyzések hiányában) erdélyi, magyarországi, felvidéki, délvidéki tavak, lápok paleohidrológiai elemzése során tártunk fel.

Adataink azt mutatják, hogy egy sokszínű pásztor-, paraszt-, erdő-, és vízgazdálkodást egyaránt folytató közösség áramlott be magyar honfoglalás korában, és a felerősödött környezetet átalakító emberi hatás 600 méteres tengerszint feletti magasságig mindenütt, így a nagybárcányi Nádas-tó környékén is megjelent. Ezt jelzik a honfoglalás kori erdőirtások, a gabonafélék, mindenekelőtt a rozs termesztése, kertkultúrákra jellemző pollenanyag megjelenése, a gazdálkodás hatására terjedő gyomok, a Nádas-tó kimélyítése, a vízgyűjtő ciszterna felújítása egyaránt – ezek nem jellemzők egy nomadizáló katonai közösségre, sokkal inkább egy sokszínű gazdálkodást folytató, rétegzett társadalomra. Természetesen ezek az adatok nem a katonai vezetőrétegre, katonai arisztokráciára és kíséretére vonatkoznak, hanem a honfoglaló magyarság, és/vagy a honfoglaló magyarság által újrászervezett, már a medencében élő gazdasági közösségekre. A nagybárcányi Nádas-tó üledékgyűjtő medencéjében, rétegsorában a medence több pontjához hasonlóan fennmaradtak a magyar honfoglalás korára, környezetére, gazdálkodására vonatkozó természettudományi anyagok, amelyeket a medencét átfogó, mintegy 137 üledékgyűjtő medence paleohidrológiai elemzése során tártunk fel. Talán szokatlan, hogy a történelmünk egy szeletét, a gazdaságtörténetet természet-tudományi, paleohidrológiai elemzések segítségével közelítjük meg, de tudomásul

kell vennünk, hogy ezek a vizsgálatok sokkal pontosabb és átfogóbb adatokat biztosíthatnak, mint az erősen szubjektív emberi feljegyzések, írásos történelmi források. Valószínűsítjük, hogy a jövőben a történelmi célú paleohidrológiai elemzések szerepe egyre jelentősebbé válik, és ennek eredményeit már láthatjuk a középkori, oszmán kori, vagy újkor kezdeti áradások és az újkor kezdetére tehető korszaki, Kárpát-medencére, mindenképp a Dunára és mellékfolyó-hálózatára vonatkozó áradások elemzésekor. Ugyanis ezeknél az elemzéseknél már a természettudományi alapú kronológiai és paleohidrológiai vizsgálatok jelentették a döntő faktort.

A nagybárkányi Nádas-tó középkori paleohidrológiai fejlődése különböző éghajlati szakaszok kifejlődését mutatta az utolsó 1000 év folyamán. Így a magyar honfoglaláskort követő középkor kezdetén a terület folyamatosan lakott volt, bár a pernye és szenült famaradványok mennyiségi változása nyomán változó népsűrűséggel. A területen a népvándorláskor végén követően ismét jelentősebb mennyiségben telepedtek meg a mohák, köztük a tőzegmohák (**274. ábra**) és változó mennyiségűből a lág felszínének nedvességi viszonyaira és a lokális éghajlati változásokra következtethetünk. Az üledékes paraméterek is jelzik az emberi zavarást, tulajdonképpen a terület a Krisztus utáni VII. század második felétől a Krisztus utáni XIII. századig folyamatosan lakott volt (**269. ábra**).

A Krisztus utáni XIII. században a korábbi erőteljes emberi hatásokkal szemben az emberi környezet átalakítás drasztikusan visszaesett és a terület elnéptelenedett. A növénytermesztést jelző gabonafélék és a gyomok aránya erőteljesen lecsökkent, és a területen a nád és a fű lett domináns, és döntően nádból, gyékényből, sásból álló tőzegréteg fejlődött ki, hasonlóan, mint a császárkorban. A különbség a középkor második felében kifejlődött és a császárkori tőzegréteg között, hogy a középkori szintben a moha maradványok jelentkeztek, bár kezdetben még elenyésző arányban. A karbonát és szervetlen anyag tartalom, homokfrakciók együttes aránya ezzel párhuzamosan lecsökkent. A tőzeg szervesanyag-tartalma meghaladta 80 %-ot (**269. ábra**). Tulajdonképpen a Krisztus utáni XIII. századtól kezdődően megközelítőleg 100 éves ciklusban emelkedett meg az emberi hatás a Nádas-tó környékén, és feltételezhető, hogy ezek a hullámszerűen jelentkező emberi hatások már évszázados ciklusban jelentkező erdőtermeléshez köthetőek.

Vagyis a Krisztus utáni XIII. század második felében a Nádas-tó körül a közvetlen emberi megtelepedés megszűnt a paleohidrológiai elemzések nyomán, ezzel párhuzamosan a természet növények, mint a dió (*Juglans*) eltűnt a vizsgált szelvényből. Valószínűsíthető, hogy a Krisztus utáni 1265-ben oklevélben már említett Árpád kori település, Nagybárkány község helyzete ekkor stabilizálódik a Hármashatár-hegy alatti völgyben. Ettől kezdődően a

vizsgált üledékgyűjtő medence környéke gazdasági háttér területté vált és maradt a Krisztus utáni XIV.–XV. század során is.

Az oszmán korban, XVI–XVII. században a bükk, gyertyán, vízi növények, mindenekelőtt a sásfélék és a tőzegmohák arányának növekedése a hőmérséklet csökkenését, különösen a téli félév során és a tenyészidőszak lerövidülését jelzi. A pollen arányok változása nyomán 1450-től indult meg ez a hőmérséklet csökkenés, csapadék és páratartalom növekedés által indukált folyamat, amelyet a nagyon sok irodalomban, közte paleohidrológiai elemzésekben is ún. „*kisjégkor*” néven híresült el. A növényzeti változások arra utalnak, hogy megközelítőleg 1 °C hőmérséklet csökkenés következett be éves szinten Nagybárcány és környezetében, és megközelítőleg 50/100 mm csapadékmennyiség növekedés következett be 1450 és 1710 között. A csapadék mennyiségét azért nem lehetett pontosabban megadni, mert a hőmérséklet csökkenése jelentős páratartalom növekedéssel járt együtt, valamint a csapadék jelentős része a téli félévre koncentrálódott, hó formájában hullott le. Így a Nádas-tó medrében kifejlődött moha–sás–nád tőzeg növekedés erőteljesebbé vált és horizontális kiterjedése is megnövekedett, valószínűleg egy tőzegréteg úszóláp szőnyeg fejlődött ki a Krisztus utáni XVI.–XVII. századokban. Az erdei pollenek aránya csak azért szorulhatott vissza, mivel a vízi növények és spórások sporomorfa anyaga az egész szelvényen belül maximumot mutatott ebben a szintben (**270. ábra**).

A pollenösszetételben a hárs (*Tilia*), szil (*Ulmus*), mogyoró (*Corylus*), bodza (*Sambucus*), dió (*Juglans*) visszaszorultak és az éger (*Alnus*), nyír (*Betula*) terjedt el. A legjelentősebb változásokat a hűvösebb éghajlati feltételeket is elviselő gyertyán (*Carpinus*) és bükk (*Fagus*) dominanciájának erőteljes növekedése jelentette ebben a szintben. Bár valószínűsíthető, hogy a klimatikus feltételek kialakulása okozta változások mögött is emberi hatások húzódnak meg, mivel ekkor a Kárpát-medence szinte egésze háborús övezet volt és a hadi gazdálkodásban igen jelentős tételt alkottak a kohászati munkák, a kovácsolás, és a kovácsműhelyek. Ennek egyik kiemelkedő jelentőségű feltétele, a megfelelő energiaforrást alkotó faszénanyag előállítása, az intenzív boksagzaldálkodás kialakítása volt. A boksagzaldálkodásban a legfontosabb fákat a bükk és a gyertyán alkotta a mérsékelt erdei övezetben, mivel a legjelentősebb mennyiségű faszénanyagot, a legjobb szénült fa jövedéket (1 mázsa fából 60–70 kg faszenet lehetett kinyerni = 60–70 %-os kihozatal) a bükkfából és gyertyánfából nyerték/nyerhették ki. Mindezek mellett ezekből a fából kinyert faszénanyag fűtőértéke (17–20 MJ/m³, azaz 4000–5000 kalória/m³) eléri a barnaszén fűtőértékét is. Így a hadiövezetekben, közte Nagybárcány térségében is, ahol a fegyverek és a lőpor előállítása, fegyverek, lőszerszámok javítása, a lópatkók előállítása és a lovak patkolása a mindennapi

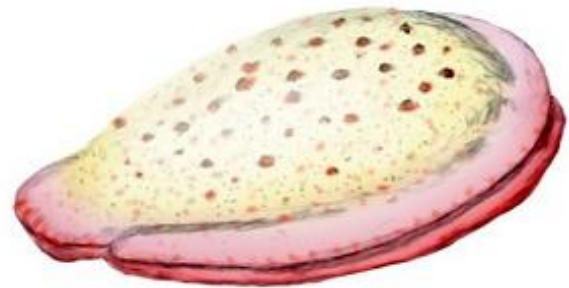
élet szerves részét alkották, a megnövekedett kovácsmunka igényhez kiemelkedő mennyiségű és jó minőségű faszénanyagot kellett biztosítani. Ehhez a megnövekedett szenült fa igényhez az erdőszült középhegységi régióban kialakított erdőgazdálkodással alakították ki a megfelelő mennyiséget és minőséget. Így a kisjégkor éghajlati hatása mellett társadalmi igények is elősegíthették a bükk és gyertyán terjedését a Krisztus utáni XVI.–XVII. században a nagybárcányi Nádas-tó környezetében és a tölgy, bükk, gyertyán fapollen arányok látványos és erőteljes változásai a kisjégkori boksagzálkodáshoz kapcsolódtak. Természetesen a bükk, gyertyán mellett a tölgy, szil, hárs, mogyoró faanyagát is felhasználhatták faszén előállítására, de ezeknél a fáknál, cserjéknél 40 %-os kihozatal volt a maximum, amit elérhettek. Mindezek mellett a mogyoróból készült faszenet leszámítva 10 %-kal alacsonyabb fűtőérték jelentkezett ezen fák faanyagánál a bükk és a gyertyán faszenekhez képest. A XVIII. század kezdetén a bükk és a gyertyán pollenek aránya visszaszorult, bár az erdők, mindenekelőtt a tölgyes erdők, nyírfélék arányának párhuzamos növekedése azt jelzi, hogy ezek a fák terjedtek el, valószínűleg a bükk és gyertyán erdők irtványán. A XVIII. század végén a nagybárcányi jobbágyfalu a hegy láb felszínig kiterjesztette a művelt területeket és a történelmi térképek elemzése alapján mind a mai napig ezeket a területeket művelik, amelyeket 250-260 éve kialakítottak. A hegy láb felszínétől a csúcsig viszont teljes erdőborítás figyelhető meg a XVIII. századtól kezdődően ugyanezek a térképeken – teljesen összhangban a Nádas-tó fűrasszelvényén végzett botanikai elemzések Krisztus utáni XVIII.–XX. század közötti szakaszában jelentkező eredményekkel. Úgy tűnik, hogy az elmúlt 250–260 év során a Nádas-tó környezetében gyertyános tölgyes stabilizálódott, a hidegzugokban elszórtan bükk fákkal. Magában a medencében az erdők által stabilizált párás mikrokörnyezet hatására is egy tőzegmoha lép fejlődött ki, kezdetben még csónakos tőzegmoha és keskeny tőzegmoha (*Sphagnum palustre* és *Sphagnum cuspidata*), majd a XX. századtól kezdődően berzedt tőzegmoha (*Sphagnum squarrosum*) dominanciájával.

Az itt bemutatott és a Kárpát-medencében még 136 üledékgyűjtő medencében elvégzett analitikus paleohidrológiai vizsgálatok és értelmezések segítségével az üledékgyűjtő természetes és ember által befolyásolt fejlődéstörténete, az ember hatása az egykori hidrológiai rendszerekre kiválóan rekonstruálható. Ezek az elemzések segítenek megérteni a napjainkban zajló ember által alapvetően befolyásolt környezeti folyamatokat, azok trendjeit és irányát. Ezen adatok segítenek megrajzolni az ember által indukált jelenlegi éghajlati változás jövőbeli hatásait is.

4.6.7. *Mollusca* taxonok a paleohidrológiában

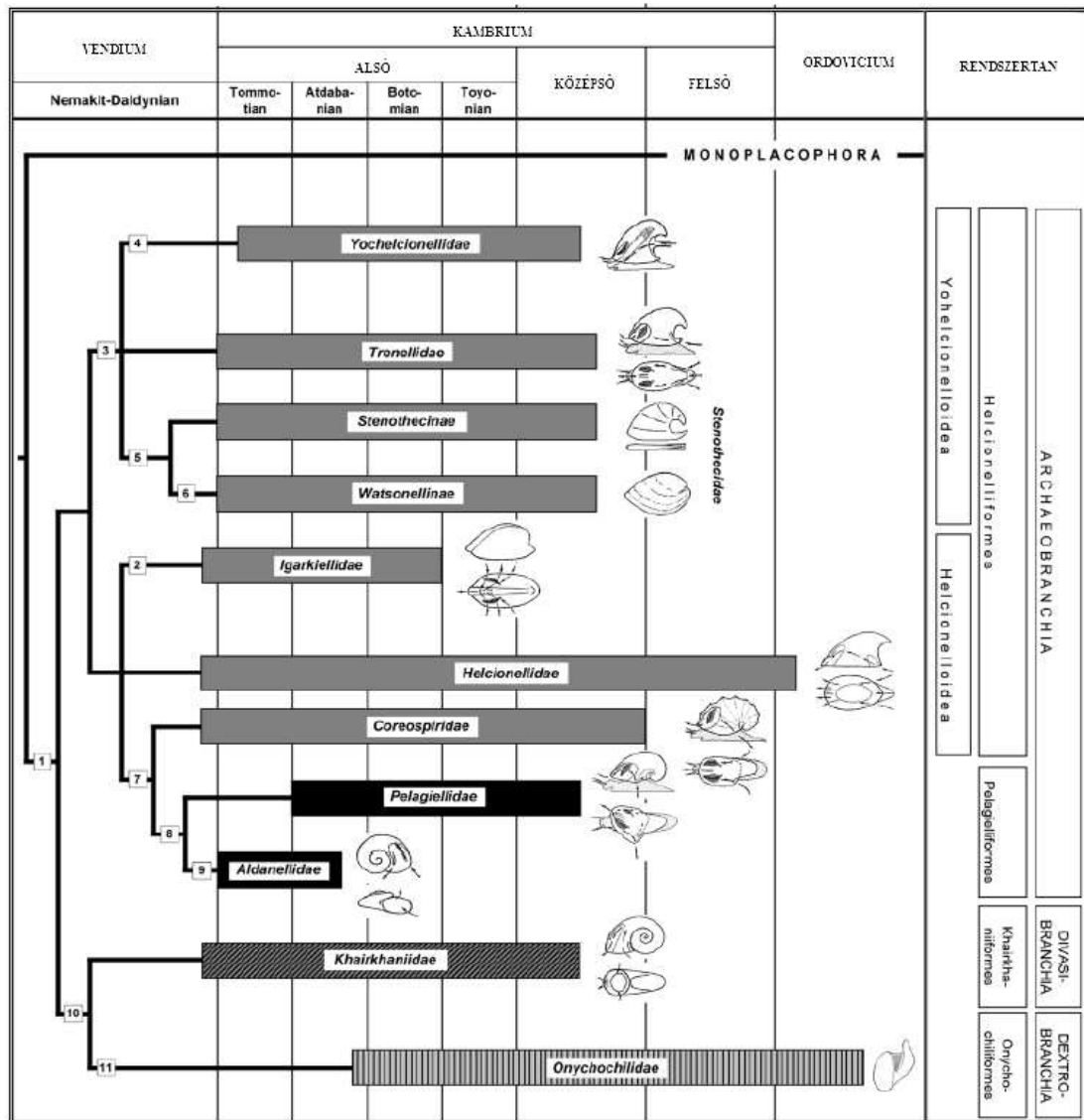
A puhatestűek (*Mollusca*) törzse az ízeltlábúak mellett az állatvilág (*Animalia*) legnépesebb törzse. Valószínűleg az ősi laposférgekből fejlődhettek ki, de a *Mollusca* törzs fejlődése magasabb szintre jutott, mint a gyűrűsférgék, mivel emésztőmiriggyel, elkülönült légzőszervvel, szívvel, és egyes fajok, például a lábasfejű taxonok rendkívül fejlett érzékszervvel (bár az ideghártya szempontjából a gerincesektől eltérő, de rendkívüli érzékenységgel rendelkező szemmel) rendelkeznek. A szöveti differenciálódás eredményeként már testtájaik is kifejlődtek: fej, láb, köpeny és zsigerzacskó. A csigák szárazföldi elterjedését elősegítette a héj, a csigaház kialakulása, amely védelmet és vízvisszatartási lehetőséget nyújtott számukra. Ennek ellenére a szárazföldi csigák egy része nem vált igazi szárazföldi állattá, mivel csak csapadékos – párás időszakban aktívak, a közte lévő szárazabb, hidegebb szakaszokat inaktív állapotban élik túl. Ugyanakkor ki kell emelnünk azt a tényt, hogy a puhatestűek a mélyebb tengerektől kezdődően a trópusi esőerdők területén át egészen a magashegységi, szubarktikus régióig elterjedtek. Az egyik legelterjedtebb állattörzset alkotják és a szélsőséges környezethez szubarktikus és közép-ázsiai magashegységek hideg és száraz területeihez alkalmazkodott szárazföldi csigákat már valóban teresztriális taxonoknak tekinthetjük. Bár ezeknek a szélsőséges szárazföldi környezetekhez alkalmazkodott taxonoknak az adaptációja egészen speciális, ugyanis egyszerűen inaktívak a számukra kedvezőtlen időszakokban, azaz anabiózisban, hibernálva töltik a kedvezőtlen, túl száraz vagy túl hideg évszakokat, vagy akár éveket. Természetesen ez az adaptációs folyamat a negyedidőszakban, az utolsó 2,5-3 millió évben a hullámszerűen, időben ciklikusan változó lehűlések (glaciálisok) és felmelegedések (interglaciálisok) következtében fejlődött ki, de maga a *Mollusca* törzs ennél jóval korábban létrejött. Az eddigi őslénytani adatok alapján az 635-542 millió év között kifejlődött *Ediacara faunában*, 555-558 millió évek között már megjelent a *Kimberella* nevezetű lágyszemű, bilaterális

(féreg)szimmetriát mutató héj nélküli Mollusca-szerű élőlény (275. ábra), amelyet talán a Mollusca törzs legősibb, első alakjának tekinthetünk⁴³.



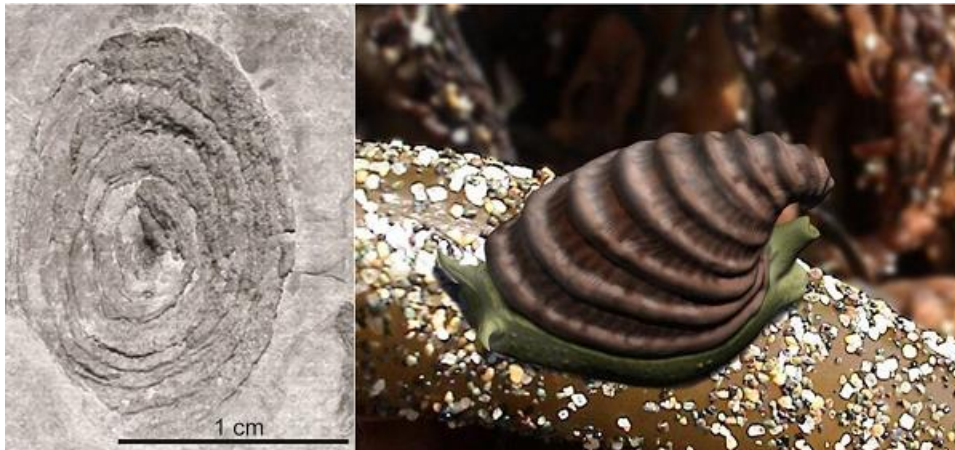
275. ábra Az első Mollusca (Mollusca-szerű) taxon, a héj nélküli *Kimberella* fosszília és rekonstrukció az Ediacara faunából, 555-558 millió évvel ezelőtti neoproterozoikumi (prekambriumi Vendium időszak) rétegekből (Forrás: wikipedia ábrák nyomán szerkesztve)

A neoproterozoikum Vendium időszakát követően, az 542/541 millió évnél a Kambrium időszakban a Mollusca törzs evolúciója is felgyorsult (276. ábra), a környezet fejlődése mellett igen fontos szerepet játszhatott ebben a robbanásszerű fejlődésben az élőlények hosszanti tengelyének kialakulását és embrionális testszegmenset meghatározó, szövetes állatok egyedfejlődésében alapvető HOX (Home Box) gének megjelenése. Ekkor az egyetlen héjjal rendelkező, ősi kopolyús alakok (*Archeobranchia* alosztály) fejlődése felgyorsult és kialakultak a kambriumi időszak legfejlettebb Mollusca csoportjai (*Helcionellidae*: 277. ábra) és ezeknek a csoportoknak a változatos környezethez alkalmazkodó adaptív radiációja, és ennek nyomán létrejött csoportok, taxonok (278. ábra).



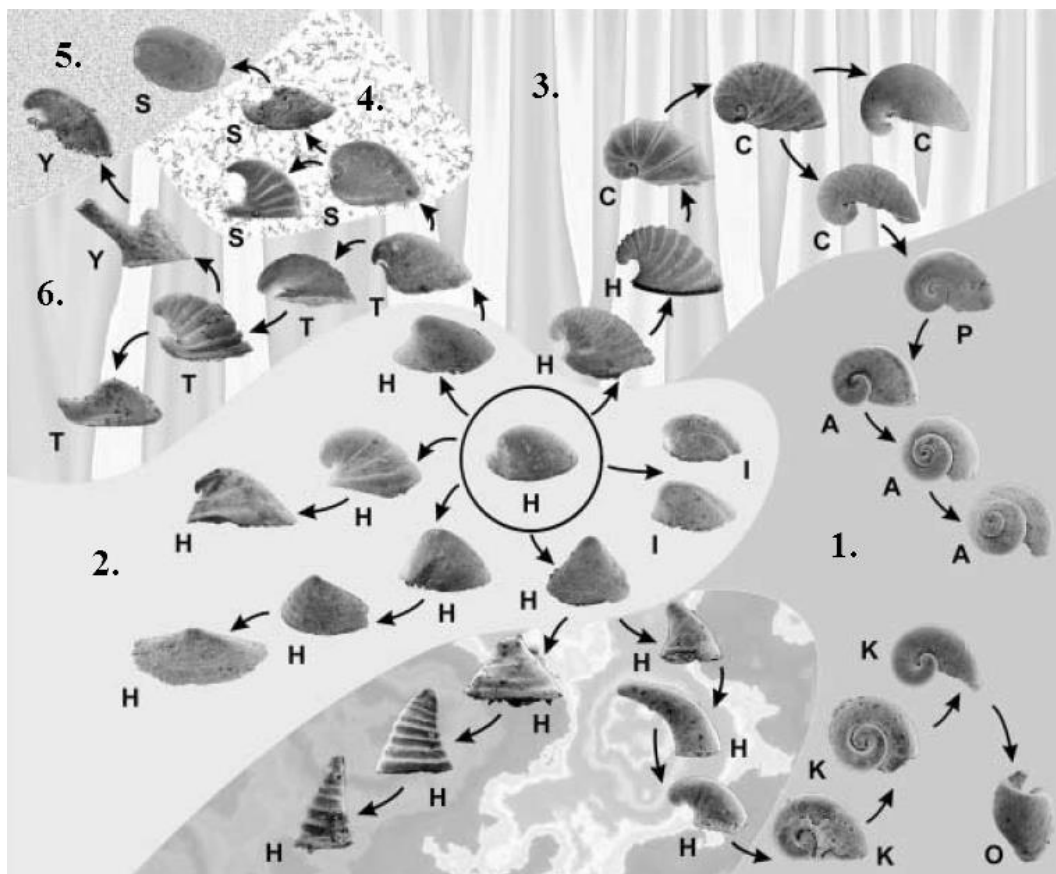
276. ábra A Mollusca törzs Vendium, Kambrium és Ordovicium időszakokat átívelő 560 – 440 millió évek közötti korai törzsfjlődése a Mollusca törzsnek és a Helcionellidae taxonok, maradványcsigák (Monoplacophora osztály) kifejlődése (Forrás: researchgate: Parkhaev, P. Y. (2008). The early Cambrian radiation of Mollusca. In: Lindberg, W. P. D. R. (2008). Phylogeny and Evolution of the Mollusca. University of California Press. 33, 69, a szerző írásbeli engedélye nyomán közölve)

1 = felcsavarodás (torzió), 2 = izmok külső tapadási pontjának kialakulása a kialakuló héjakon, 3 = hátsó helyzetű légcsovek, 4 = mély légcsoőárkok, 5 = a test kétoldalú lapultsága, 6 = iszaplakó életmód, 7 = egy síkban felcsavarodott ház és hosszanti szájadék, 8 = aszimmetrikus héj, 9 = tornyosan felcsavarodott ház, kanyarulat mentén kifejlődött szájadék, 10 = túlcsavarodott héj



277. *ábra Helcionellidae maradványcsiga fosszilis héja és testrekonstrukciója*
(Forrás: researchgate és wikipedia ábrák nyomán szerkesztve)

A korai Mollusca törzsfajlás eredményeként kialakultak a maradványcsiga (*Monoplacophora*), a csiga (*Gastropoda*), a kagyló (*Bivalvia*) osztályok és ezeket a taxonokat már kiválóan felhasználhatjuk a kambrium és vendium időszakokra vonatkozó paleohidrológiai rekonstrukciónál. Sőt a kambrium végén megjelentek az első lábfejű (*Cephalopoda*) taxonok is. A texasi San Saba mészkőből előkerült *Plectronoceras* csoport tagjait tekintik az első lábfejűeknek. Sajnos teljesen ép héj nem került még elő, így az őslénytani rekonstrukciók meglehetősen hiányosak ezen a téren. A prekambrium végén/kambrium kezdetén kialakuló Mollusca törzset a következő anatómiai vonások jellemzik: a test zsigerzacskóból, lábból+fejből áll, az utóbbi hiányozhat is, mivel a törzsfajlás során a feji régió redukálódott és eltűnt. A puhatestűek között már a legkorábbi stádiumban is jelen voltak növényevő, hulladékévő és ragadozó alakok, majd a törzsfajlás során későbbiekben megjelentek a parazita-formák is. A puhatestűek törzsét egységesen jellemzi, hogy a kültakaró egyrétegű hengerhámból áll, a mozgás bőrízomtömlővel valósul meg, a légzés hám (ektodermális) eredetű kopoltyúval történik kezdetben, majd a törzsfajlás során jóval később a szárazföldi csigák kialakulásával megjelent az ugyancsak ektodermális eredetű tüdő. A táplálkozás és emésztés radula (reszelőnyelv), előbél, középbél és utóbél rendszerrel zajlik, amelyben központi szerepet játszik a középbéli mirigy (hepatopancreas).

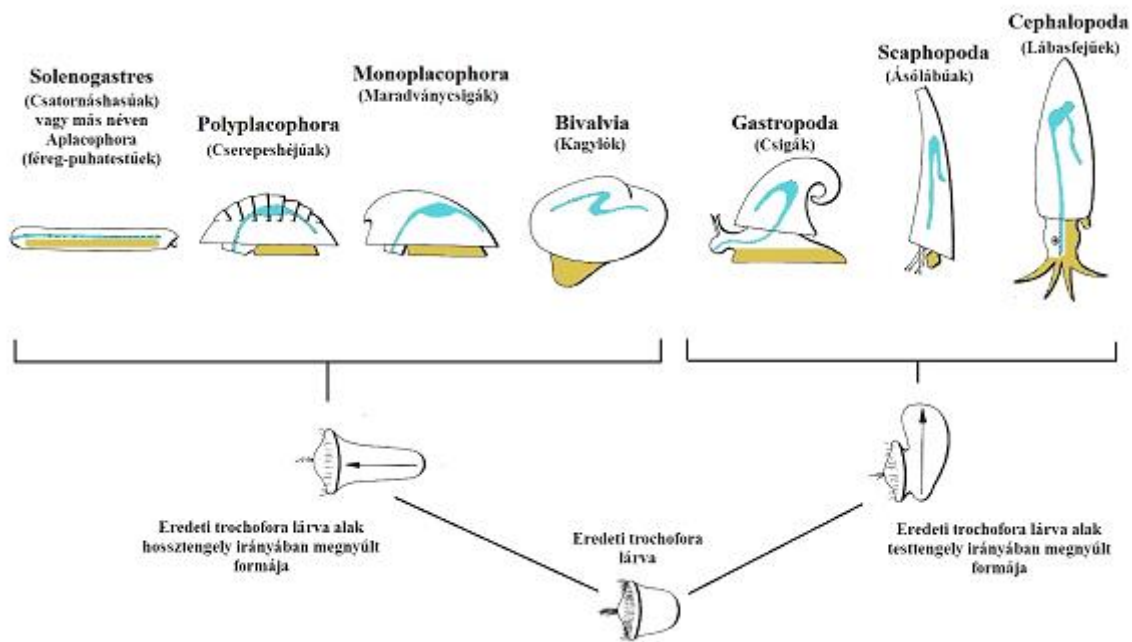


278. ábra A kambrium időszakának legfejlettebb Archeobranchia alosztályhoz sorolható Helcionellidae taxonok adaptív radiációja (Forrás: researchgate Parkhaev, P. Y. (2008). The early Cambrian radiation of Mollusca. In: Lindberg, W. P. D. R. (2008). Phylogeny and Evolution of the Mollusca. University of California, 33, 69: szerző írásbeli engedélyével közölve)

1 = mobil epifauna, 2 = sziklás aljzat felszínén élők, 3 = tengeri hínár teleptestet fogyasztók, 4 = szálás hínarakat fogyasztók, 5 = iszaplakó alakok, 6 = üreglakók, H = Helcionellidae taxonok, I = Igarkiellidae taxonok, T = Trenellidae taxonok, Y = Yochelcionellidae taxonok, S = Stenotheceidae taxonok, C = Coreospiridae taxonok, P = Pellagiellidae taxonok, A = Aldanellidae taxonok, K = Khairkhaniidae taxonok, O = Onychochilidae taxonok

Az anyagszállítás nyílt keringési rendszerben történik, a nyílt keringési rendszert egy izmos érrendszeri rész, a szív tartja mozgásban. A keringési rendszerben vérnyirok (hemolimfa) mozog, jellemzően a puhatestűeknél és a rákoknál a belső és külső gázcserét megvalósító kékeszöld színű réztartalmú hemocianin. A kiválasztás vesécskékkal (metanephridium), a szaporodás híműs, vagy váltivarú megoldásokkal, de minden esetben trochofora lárvákkal történik. A trochofora lárváknak két típusa fejlődött ki és így alakult ki a puhatestűek alaki

sokszínűsége. Az egyik lárvatípus az eredeti lárvaforma hossz tengelyénél nyúlt meg [(*Aplacophora*, vagy más néven *Solenogaster* (féreg-puhatestűek, vagy más néven csatornáshasúak osztálya), *Polyplacophora* = cserepeshéjúak osztálya, *Monoplacophora* = maradványcsigák osztálya, *Bivalvia* = kagylók osztálya], míg a másik lárvaalak (279. ábra) az eredeti testtengely irányában nyúlt meg [*Gastropoda* = csigák osztálya, *Cephalopoda* = lábasfejűek osztálya, *Scaphopoda* = ásólábúak osztálya].



279. ábra A puhatestűek alaki sokszínűsége alapvetően két módosult lárvatípusra vezethető vissza. (Forrás: wikipédia - módosítva)

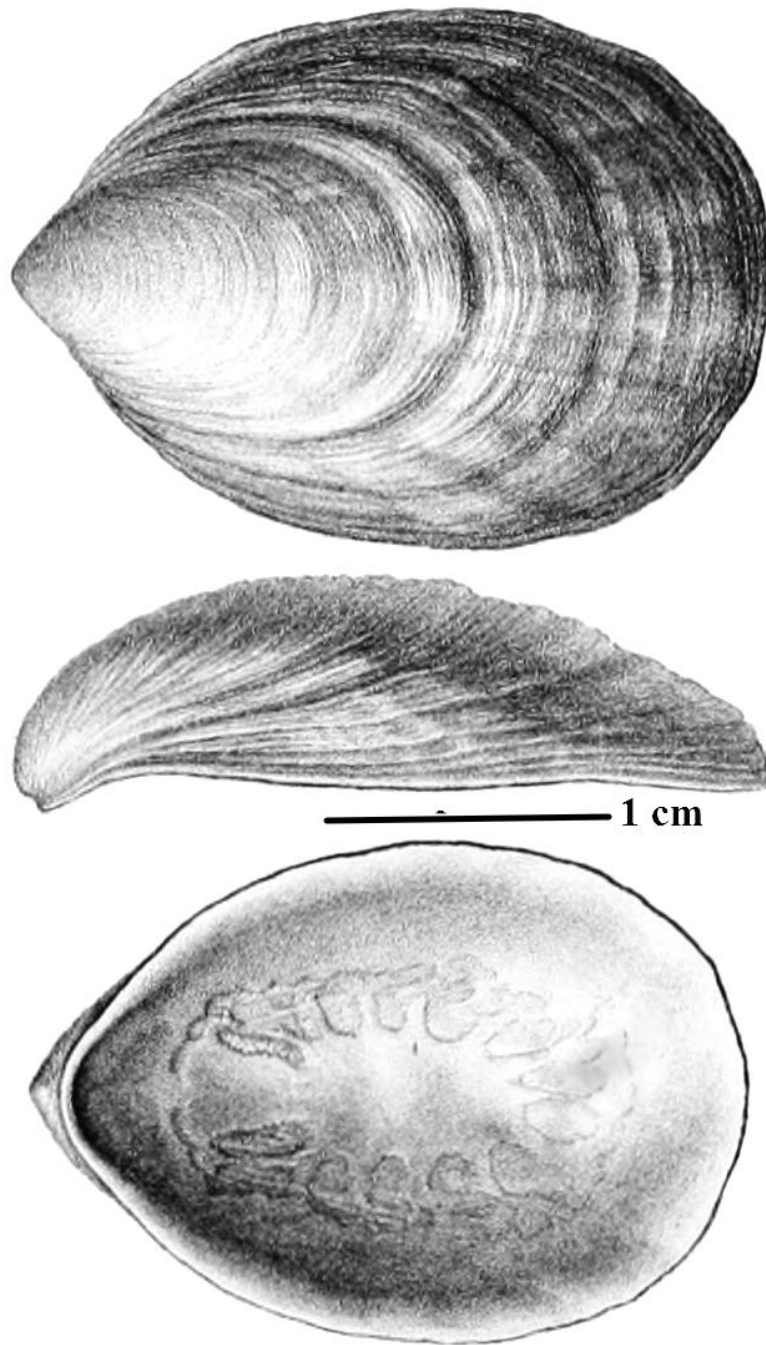
1./ Az egyik lárvaalak az eredeti lárvaforma hossz tengelye mentén nyúlt meg (*Solenogastres* vagy *Aplacophora* [csatornáshasúak vagy féreg-phatestűek], *Polyplacophora* [Cserepeshéjúak], *Monoplacophora*, *Bivalvia*). 2./ A másik lárvaalak az eredeti testtengelye irányában nyúlt meg (*Gastropoda*, *Scaphopoda*, *Cephalopoda*). (A kék szín az állat bélrendszerét, a sárga a lábát jelöli.)

A puhatestűek fejlett idegrendszeri szabályozással rendelkeznek, ez a törzsfajlás során ugrásszerű átalakulásokkal a lábasfejűekben éri el a csúcát, porcos tokkal védett agyi dúc formájában, de a garatkörűli idegdúc elterjedt és fejlett idegdúcok (zsigeri, láb) egyaránt jelentkeznek a különböző taxonoknál.

4.6.7.1. *Monoplacophora* taxonok paleohidrológiai szerepe

A maradványcsiga vagy más néven egyteknőjű (*Monoplacophora*) osztály képviselői közül jelenleg 11 élő fajt ismerünk. 1957-ig csak a fosszilis, sekélytengeri fenéklakó formáit ismertük és az akkor rendelkezésre álló paleontológiai és biológiai adatok azt sugallták, hogy a maradványcsigák a devon időszak végén kihaltak. Viszont a dán Galathea kutatóhajó panamai mélytengeri fúrásaiból több élő példány előkerült 1952-ben (*Neopilina galathea*: **280. ábra**). A taxonok felépítése pszeudoszelvényezettséget mutat, vagyis szerveik szelvényezetten jelentkeznek, de héjukon nem jelentkezett szelvényezettség. A csoportnak csak a paleozoikum kezdetén, az ópaleozoikumban ismeretes paleohidrológiai jelzőszerepe, amikor is a maradványcsiga taxonok még kifejezetten sekély tengerekben éltek. Így bár a törzsfajlás terén rendkívül jelentős az osztályhoz sorolható maradványok szerepe, paleohidrológiai szerepük csekély.

Viszont kiemelkedő jelentőségük a maradványcsigák abból a szempontból, hogy az élőhelyváltásuk (sekély tengerből mélytengerbe költözésük - habitatváltásuk) következtében rámutatnak a paleohidrológia területén is az aktualizmus elvének korlátozott voltára. Ezen elv alapján a Föld múltjában ugyanazok a folyamatok hatottak, mint jelenleg. Úgy tűnik, hogy a *Monoplacophora* osztály ebből a szempontból kivételt jelent, mivel jelenlegi életük, mélytengeri életmódhoz alkalmazkodott héjvastagságuk jelentős módon eltér a fosszilis alakokétól.



280. ábra *Pilina ungius* egy kihalt paleozoikumi, szilur időszakban élt maradványcsiga héja felül, oldalt és alulnézetben. Jó látható a héj belső felületén kétoldali (bilaterális) és szelvényyszimmetriát (szelvényezettséget) mutató izomtapadási pontok (Forrás: wikiwand)

4.6.7.2. Féregcsigák vagy csatornáshasúak (*Aplavophora* vagy más néven *Solanogastres*) osztály paleohidrológiai jelző szerepe

A féregcsigák, más néven féreg-puhatestűek vagy csatornáshasúak osztálya radulával rendelkezik. Az idegrendszerük felépítése mellett ez az egyetlen

anatómiai jellegzetessége ennek a csoportnak, amely a puhatestűek törzséhez kapcsolja az ide tartozó taxonokat. Ugyanis a puhatestű (Mollusca) egyedeken kívül más csoportoknak nincs ilyen reszelőnyelvük. A féregcsigáknak nincs lábuk, hanem a hasi oldalon csillós sejtek borította barázda helyezkedik el, míg a hengeres kifejlődésű test többi részét szilárd kutikula borítja (**281. ábra**). Szemeik és egyensúlyérzékelő szerveik hiányoznak.



281. ábra Epimения verrucosa recens féregcsiga felépítése (Forrás: wikipédia)

Valamennyi ide sorolható taxon tengeri ragadozó, és jelenleg a tengerpart (árapály övezet) előtti mélyebb tengerrészen, 40 és 4000 méter között az iszapban élnek (inbentosz lakók), az ott lévő állatokra vadásznak, illetve korall és hidroidpolip telepekkel táplálkoznak. A felépítésük következtében csak kivételes esetben fosszilizálódhattak, de jelenleg egyetlen ehhez az osztályhoz sorolható fossziliát sem ismerünk, ezért törzsfelődésükre, paleohidrológiai szerepükre vonatkozóan korlátozottak az információink.

4.6.7.3. Bogárcsigák vagy Cserepeshéjúak (Polyplacophora) osztályának paleohidrológiai szerepe

A bogárcsigák (cserepeshéjúak) hátoldalát megnyúlt héj borítja, amelyet 8, egymás mögött sorakozó lemez alkot (**282. ábra**); ezek a lemezek az állat testét

látszólag ízeltté teszik, innen a magyar nevük bogárcsigák vagy más néven cserepeshéjúak. Ez a hátpajzsuk általában véve megnyúlt tojás- vagy inkább ellipsziszalakú, felül domború. A bogárcsigáknál a törzstől elhatároló és köpenyüregnek tekinthető hosszanti barázdában sorakoznak a szám szerint nagyon változó kopoltyúk, többnyire egy-egy sort alkotva a test két oldalán. A test hátulsó részén, szintén a köpenybarázdában foglalnak helyet egymástól elválasztottan az ivar- és vesenyílasok. Ez az első Mollusca osztály, amely külső vázat fejlesztett. A 8 db páncélszerű darabokból álló héjak négyrétegűek, aragonitot tartalmaznak és 8 pár izomegység kapcsolódik a héjakhoz, amelyek a körkörös mozgásért, az összegömbölyödésért felelősek⁴⁴. A cserepeshéjú taxonok reszelőnyelvében található 17 db kitinfogban mágnesezhető ásványok, magnetit válhat ki. Az egész világon a hideg tengerektől a trópusi tengerekig elterjedtek az árapály övezetben, sziklás felszíneken, zátonyokon. Csak normál sósvízi formáik ismeretesek, kemény kőzetfelszínen vagy kagylóhéjakon élnek, a szerves anyagban, finom szemcsékben gazdag, laza, ún. „*pélites aljzatot*” kerülnek. 10 méternél mélyebb zónákban már rendkívül ritkák. Ugyanakkor néhány taxon 6000 méteres mélységben is megél. Még az árapályzónában is rejtett életmódot élnek. Nappal fénytől védett helyekre, általában a sziklák repedéseibe húzódnak, vagy a kövek alsó oldalára tapadnak. Az árapály övezetben kialakult erőteljes hullámveréshez alkalmazkodnak, erőteljes, tapadókorongszerű lábukkal rögzülnek a sziklákhöz. Védekezésépp ászka módjára összegömbölyödnek. Döntően éjjel táplálkoznak. Táplálékukat elsősorban kisebb moszatok, közte kovamoszatok alkotják, és a Cserepeshéjúak (Polyplacophora) osztályhoz sorolható, mintegy 940 ma is élő fajuk mindegyike növényevő. A moszatokat, moszatnyákot a puhatestűekre jellemző reszelőnyelvükkel (radulával) legelik le.

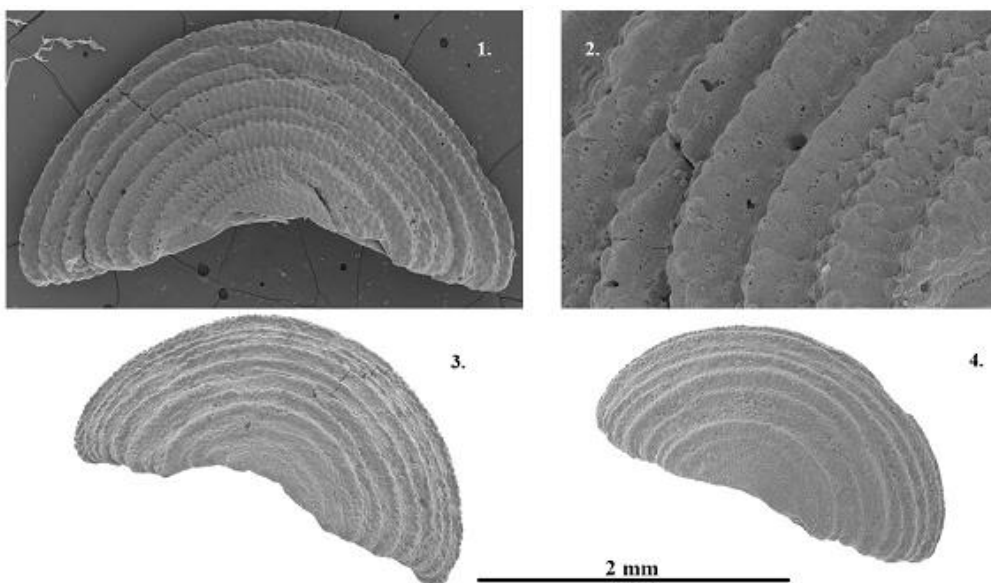


282. ábra *Tonicella lineata recens* cserepeshéjú (*Polyplacophora*) felépítése és élethelyzete (Forrás: wikipédia)

Kambriumtól ismeretesek fosszilis alakjaik (**283. ábra**), több mint 430 kihalt alakkal, bár a fosszilis maradványok fennmaradásához finomabb szemcseösszetételű üledékbe ágyazódás, vagy vasas, karbonátos bekérgezés, általában speciális fosszilizációs és fennmaradási környezet szükséges. Paleohidrológiai jelzőszerepük a tengeri árapály övezetre, tengeri környezetre korlátozódik. Magyarországon a bakonyi miocén időszak badeni emeletben felhalmozódott tengeri képződményeiből került elő viszonylag gazdag Cserepeshéjúak (*Polyplacophora*) fauna. 6 nemzetség 8 fajt határolták el 150 elkerült héj elemzése alapján (Dulai, 2005: **284. ábra**).



283. ábra Fosszilis cserepeshéjúak (*Polyplacophora*) egyik típusa, kihalt kambirumi taxon (*Polysacos vickersianum*) egyedének hátlemezei finom pélitbe ágyazva (Forrás: http://digimorph.org/specimens/Polysacos_vickersianum/)



284. ábra Fosszilis *Lepidopleurus cajetanus* (Poli, 1791) cserepeshéjú (*Polyplacophora*) taxon – lelőhely: Bánd község, miocén időszak, badeni emelet, tengeri rétegek (Forrás: Dr. Dulai Alfréd tárigazgató, Magyar Természettudományi Múzeum, Őslénytani és Földtani Tárban dolgozó paleontológus írásos hozzájárulásával bemutatva)

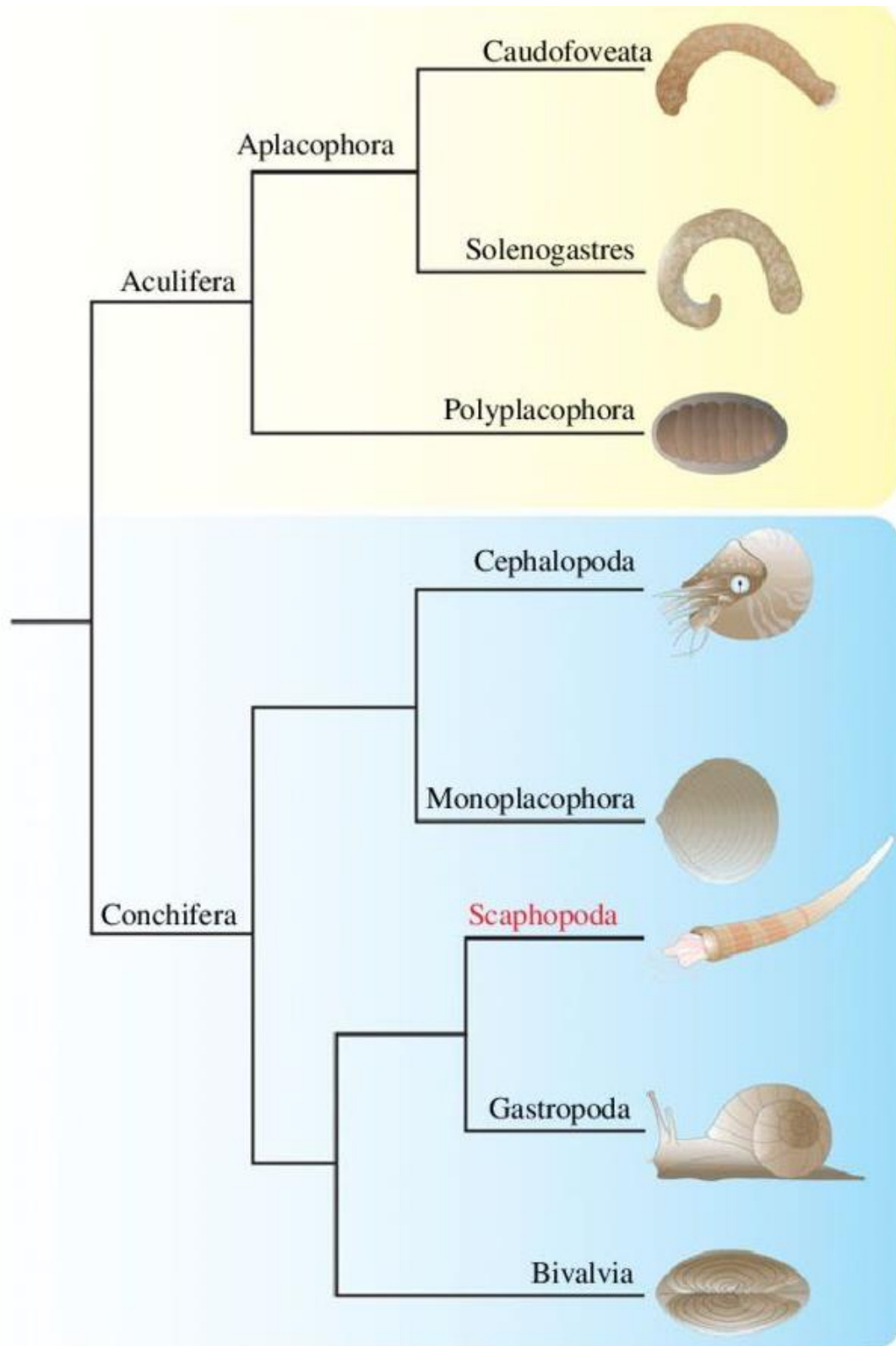
- 1 = feji héj (hossza 2,0 mm, szélessége 4,5 mm, nagyítás: 16 X)
- 2 = feji héj növekedési bordái = 74 X nagyításba
- 3 = feji héj (hossza 2,5 mm, szélessége 5,5 mm, nagyítás: 13 X)
- 4 = feji héj (hossza 2,6 mm, szélessége 5,6 mm, nagyítás: 13 X)

4.6.7.4. Csigák (*Gastropoda*) osztályának paleohidrológiai szerepe

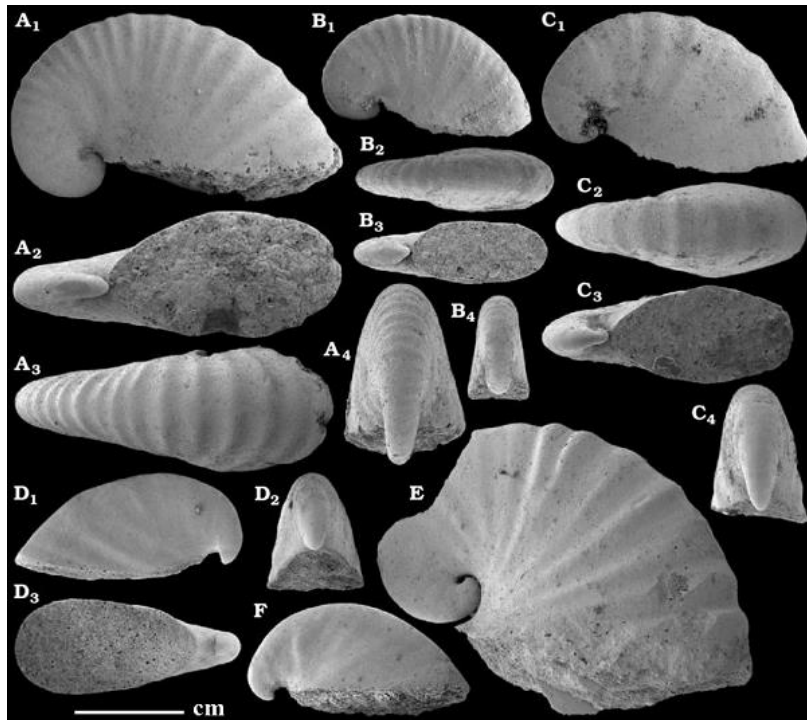
A csigák a Puhatestűek törzsének fajokban leggazdagabb osztályát alkotják, óvatos becslés alapján 110 ezer faj tartozik ebbe a classisba. Latin nevüket a mozgásukat alapvetően meghatározó hasi oldalon található bőrizomtömlőről kapták. Törzsfelődésük, kialakulásuk és időbeli fejlődésük csak a többi puhatestű osztállyal együtt értelmezhető, bár testfelépítésük annyira változatos, hogy nehéz olyan közös formákat találni, amely ezeknél a taxonoknál jelent meg először és a korai formákat egyaránt jellemzik, összekötik a csoportot. Két nagy evolúciós megközelítést alakítottak ki a puhatestű taxonok fejlődéséről (*Aculifera* hipotézis, *Testaria* hipotézis), de bármelyik fejlődéstörténet is valósult meg, a *Gastropoda* osztály a maradványcsigák (*Monoplacophora*), a kagylók (*Bivalvia*), az ásólábúak (*Scaphopoda*), a lábasfejűek (*Cephalopoda*) osztályával egy fejlődési ágon alakulhatott ki (**285. ábra**). Az első fosszilis alakban is fennmaradó csigák a kambrium korai szakaszában jelentek meg (**276. és 277. ábra**) és a *Helcionellidae* taxonokhoz sorolhatjuk ezeket az egyedeket (**286. ábra**). A csigákat (és az összes Mollusca osztály) egy hipotetikus, már héjjal rendelkező, de bilaterális szimmetriát mutató ősi Archimollusca taxonból származtatják. Az elő torziót, felcsavarodást mutató legősibb fosszilis leletek a régebbi besorolás nyomán az *Archeogastropoda* rendbe sorolható taxonoknál jelentek meg. Ezek közé sorolhatóak a *Bellerophontoidea* (Ulrich & Schofield, 1897) szupercsalád tagjai is (**287. ábra**). bár jól jelzi ennek a csoportnak az ősi és differenciált voltát, hogy több kutató a jellegzetességeik alapján a maradványcsigákhoz sorolja ezeket a taxonokat. Sőt bizonyos jellegzetességeik, a *Bellerophontoidea* planispirális héja, a lábasfejűek irányában mutatnak rokonságot.

A kétoldali szimmetria mellett a legősibb torziót (felcsavarodást) mutató planispirál alakú *Bellerophontoidea* taxon (**288. ábra**) értelmezésénél és a paleohidrológiai rekonstrukcióknál, a tengerekben, folyókban, tavakban, lápokban, mocsarakban egyaránt elterjedt csigák változatos környezeti

jelzőszerepének értelmezésénél egyaránt fontos a felcsavarodás (torzió) megértése és evolúciós jelzőszerepének meghatározása (289. ábra).



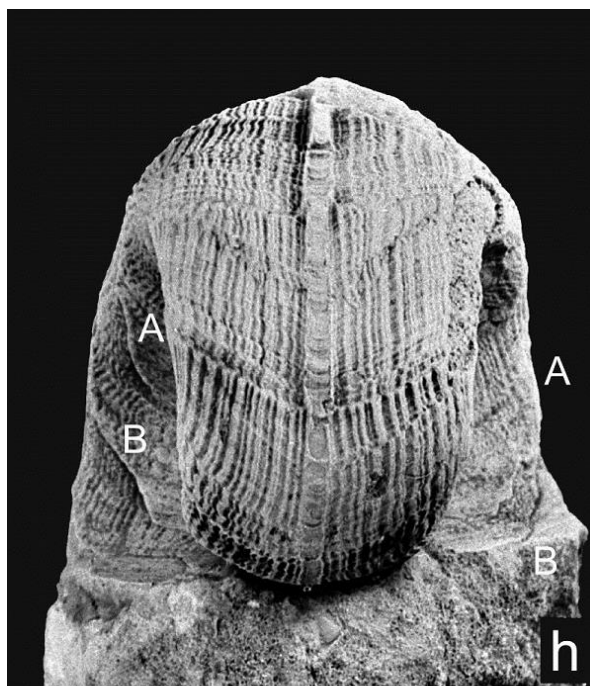
285. ábra Aculifera-hipotézis leszármazási ága a Mollusca törzsben (Forrás: wikipedia)



286. *ábra* Kora kambriumi, első, bilaterális szimmetriát mutató Gastropoda osztályba sorol Helcionellidae taxonok (Forrás: researchgate: Parkhaev, P. Y. (2007). *The Cambrian 'basement' of gastropod evolution*. Geological Society, London, *Special Publications*, 286, 415-421. – a szerző írásos engedélyével közölve)



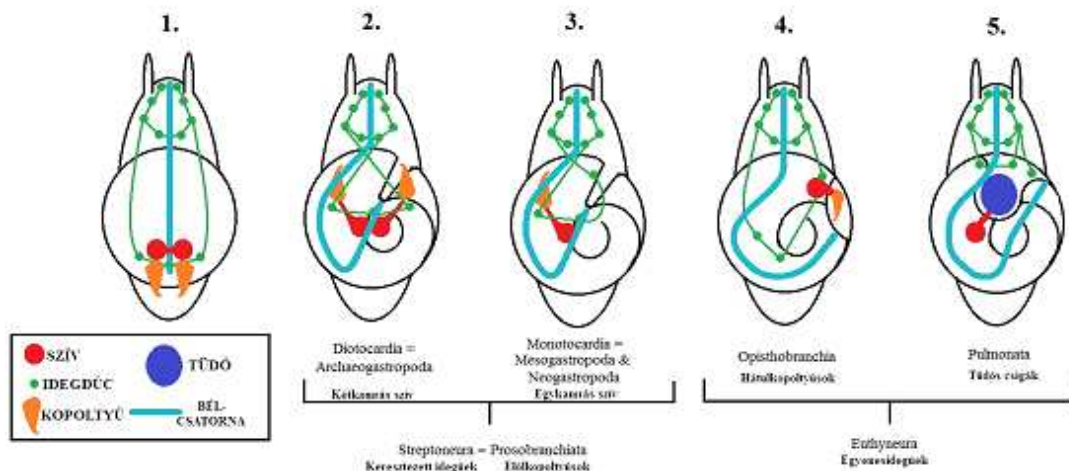
287. *ábra* A legősibb torziót (felcsavarodást mutató) planospirál alakú Bellerophonitoidea taxon az észtországi paleozoikumi földtani rétegekből (Forrás: https://fossilid.info/491?mode=in_baltoscandia&lang=en#gallery-4, szabadon letölthető és felhasználható)



TUG 666-37

1 cm

288. ábra A kétoldali szimmetria mellett a legősibb torziót (felcsavarodást mutató) planospirál alakú *Bellerophontoidea* taxon az észtországi paleozoikumi földtani rétegekből (Forrás: https://fossilid.info/491?mode=in_baltoscandia&lang=en#gallery-4, szabadon letölthető és felhasználható)

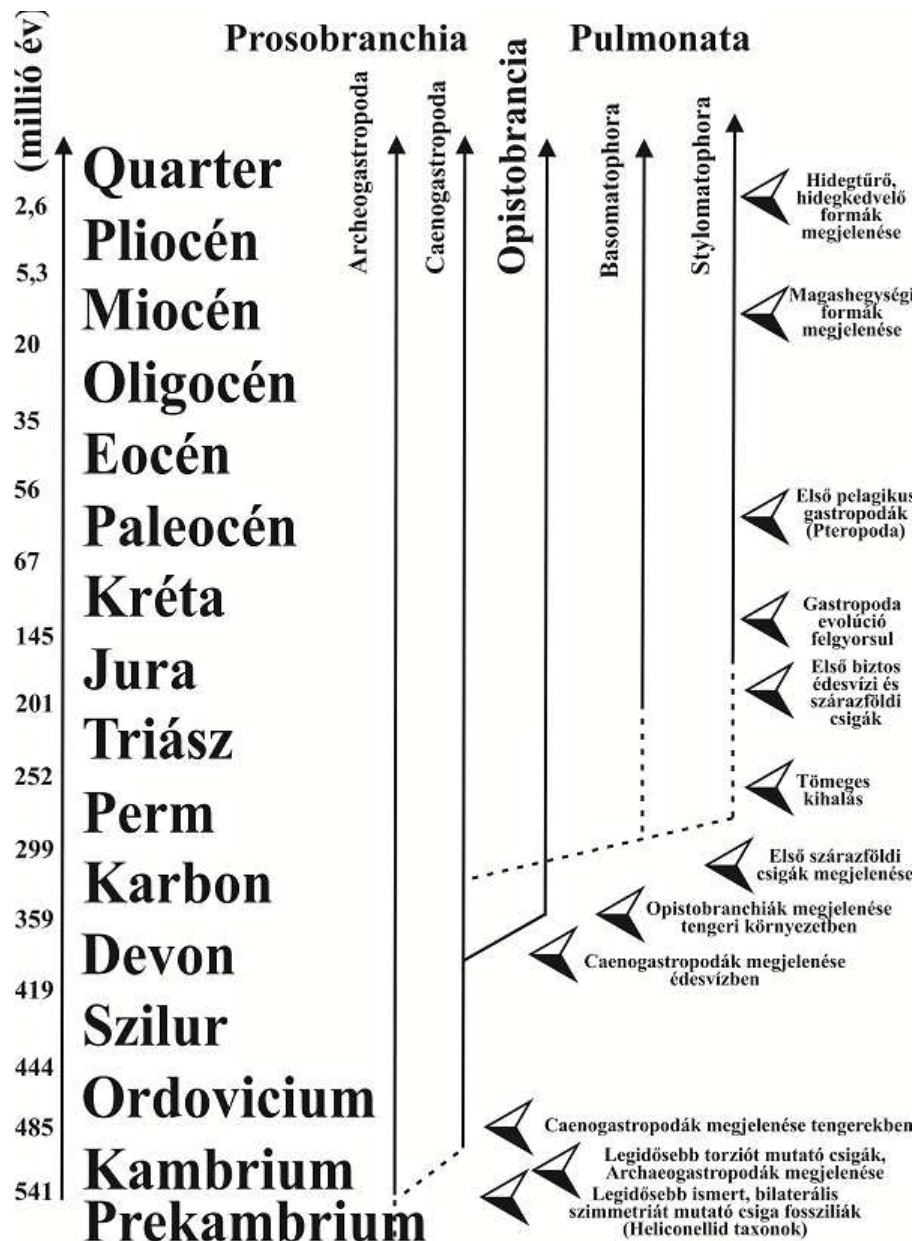


289. ábra Az ősi felcsavarodás mentes, kétoldali szimmetriát mutató csigáktól az első torzió során kialakult torzióval és kétoldali szimmetriával rendelkező *Archaeogastropodákon* át az aszimmetrikussá váló belső szervekkel jellemezhető *Mezo- és Neogastropodákon* át a részleges retorzióval újra hátul kopolyússá váló *Opisthobranchiákon* keresztül az édesvízi és szárazföldi környezetben elterjedő tüdős csigákig (*Pulmonata*) tartó fejlődési sorozata a csigák (*Gastropoda*) osztályának (Forrás: wikipédia – átalakítva)

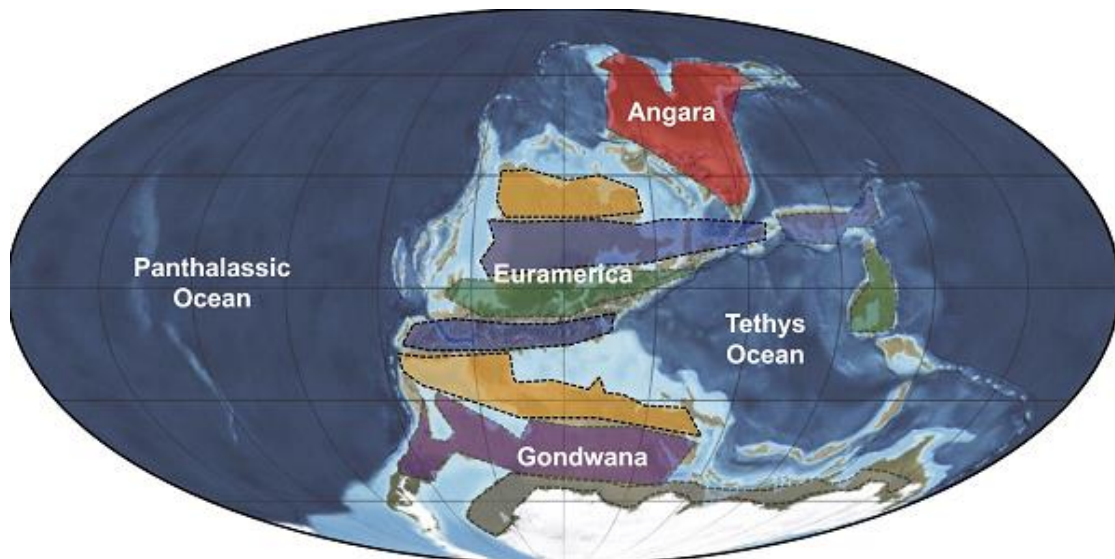
A 193. ábrán látható összefoglalóan a felcsavarodás és a visszacsavarodás hatása a csigák belső testfelépítésére és külső megjelenésére. A ma élő csigák

jellegzetes alakját, de a csigák egész törzsfajlásában lejátszódott anatómiai változásokat két evolúciós folyamat, a ház felcsavarodása és a ház szimmetriájának eltűnése alakította ki. A Prekambrium végén élt és a Kambrium kezdetén élő, bilaterális szimmetriát mutató ősi csigák (*Anchigastropodák* – talán ezek közé sorolhatók *Helcionellidae* taxonok is) belső felépítésében a garatkörüli ideggyűrűt követően az egyenes, hosszanti, kétoldali szimmetriát mutató (féreg idegrendszerre jellemző) idegszálak jelentkeztek (**289. ábra** 1 jelzésű állapot). A bélcsatorna tápnylása a feji régiónál volt, a végbélnylás, a kopoltyúk, a keringési rendszer motorja, a bilaterális szimmetriájú, kétkamrás szív a feji régiótól legtávolabbi ponton, hátul helyezkedett el (ősi szimmetrikus, hátul kopoltyús állapot: *Helcionellidae* taxonok). A legelső felcsavarodás (torzió) során a csigatest és héj teljes torziót szenvedett, ennek nyomán a belső szervek és maga a ház továbbra is kétoldali szimmetriát mutatott, de teljes torzióval (**289. ábra** 2. jelzésű állapot). Így a hátul lévő kopoltyúk előre kerültek, az idegrendszer teljes keresztezésen esett át, és egy 8-as szerkezetet mutat (valószínűleg a planospirál alakú *Bellerophontoidea* taxon tartozhat ide). Ez az állapot elsősorban a kambrium időszakra lehetett a jellemző (**290. ábra**), majd a kambrium végén megjelentek a Caenogastropoda (Mezo- és Neogastropod) taxonok (**290. ábra**), amelyek belső aszimmetriát mutatnak már. A kétkamrás szívet egykamrás váltotta fel, az egyik kopoltyú már felszívódott a törzsfajlás során (**289. ábra** 3. jelzésű állapot). A törzsfajlás következő szakaszában, megközelítőleg a devon időszak végén, a karbon időszak kezdetén (**290. ábra**) megjelentek a retorziót, visszacsavarodás hatására fejlődő másodlagosan (részlegesen) hátul kopoltyús csigák (*Opisthobranchia*) (**289. ábra** 4. jelzésű állapot), keresztezett idegrendszerrel, tengeri környezetben. Ekkor a rendkívül csapadékos, a kontinensek elhelyezkedése következtében az északi félteke (Laurázsia) jelentős szárazföldi területét trópusi esőerdő és szubtrópusi erdő borította (**291. ábra**). Ezekben a területeken valószínűleg több ezer mm/év csapadékbevitel jelentkezhetett. A jelentős csapadékbevitel nyomán az

egyenlítői területeken igen jelentős kiterjedésben édesvízzel borított terek, folyók, folyó árterek, tavak, mocsarak, lápok alakulhattak ki és ennek következtében az édesvízi formák, valamint a vízparti, amfibikus életmódot folytató csiga taxonok kialakulásának a lehetősége erőteljesen megemelkedett. Mivel ezek csigaformák leszármazási ágak nélkül kihaltak, ezért csak feltételezhető, hogy mind az édesvízi, mind a szárazföldi (vízparti) tüdős csigák (a Gastropoda osztály legfejlettebb *Pulmonata* rendje) már ekkor kialakultak (289. ábra 5. jelzésű állapot, 290. ábra).



290. ábra A Gastropoda taxonok megjelenése, törzsfajlódése a földtani időben (Forrás: researchgate adatok alapján saját szerkesztésű ábra)

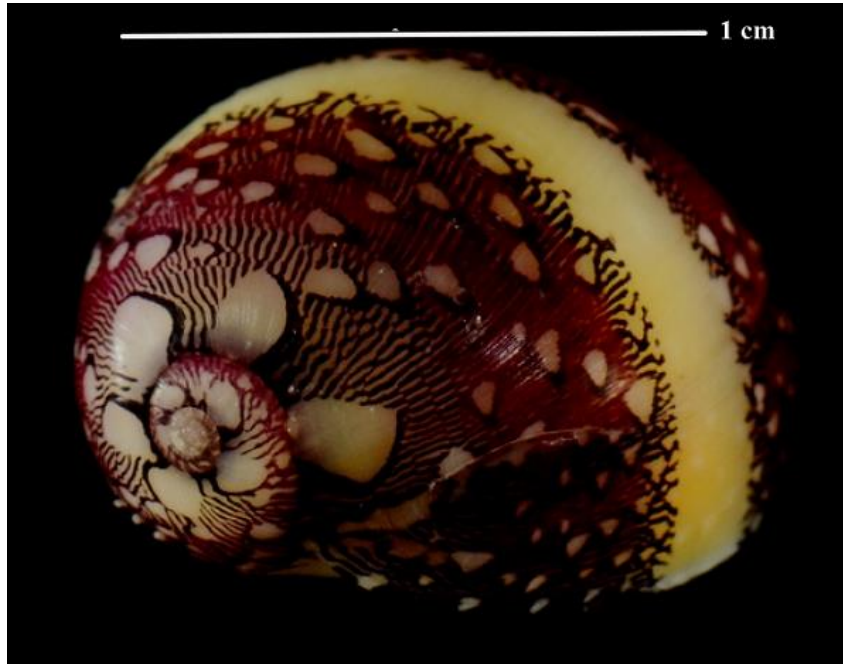


291. ábra A karbon kori globális biómok kiterjedése (Forrás: wikipedia) zöld = trópusi esőerdő, kék = szubtrópusi erdő, narancs = száraz területek, vörös = északi mérsékeltövi erdők, lila = déli mérsékeltövi erdők, szürke = tundra, fehér = eljegesedett terület

Ez a máig vitatott kérdéskör vitatott környezetet jelző és besorolású fossziliákon alapul. Az viszont már egyértelmű, hogy a csigák evolúciója a kréta végi kihálást követően felgyorsult, és a harmadidőszak kezdetén az Opisthobranchiákhoz sorolható tenger felszínén lebegő (pelágikus) életmódot folytató tengeri pillangók (*Pteropoda*) már kialakultak. Az is biztos, hogy a tüdőcsigák (*Pulmonata* rend) a jura időszak végén már megjelentek mind az édesvízi, mind a szárazföldi környezetben. Vagyis 160 millió évtől már biztosan használhatjuk paleohidrológiai jellemzésre az édesvízi és a szárazföldi (mocsarakon, lápokon, vízpartokon) taxonokat is. Mind a tengeri, mind az édesvízi, változóan vízborított területek csigafaunája átalakult a harmadidőszak végén kifejlődött lehülés hatására, fokozatosan kialakultak azok a hidegtűrő, hidegkedvelő formák, amelyek a negyedidőszaki legjelentősebb lehülések során már a domináns taxonokat alkották. A negyedidőszaki lehülések (glaciálisok) során érte el a *Pulmonata* evolúció a csúcspontját, mivel az eredetileg paleotrópusi környezetben kialakult higrotermofil formákból xeromontán (szárazságtűrő, hidegtűrő, sőt hidegkedvelő) formák is létrejöttek. A paleohidrológiai környezetet jelző csigafajok a kambrium kezdetétől, vagyis az

utolsó 540 millió évtől dokumentálhatóak. A kambrium időszak kezdetén a gyors adaptív radiációnak köszönhetően a tengeri környezetben a vízmélységet, az aljzat minőségét, a sótartalmat már jól jellemző csigaközösségek jöttek létre és ezek a közösségek a törzsfajlás során az egykori tengeri paleohidrológiai környezet jó jelző elemei maradtak napjainkig. Az édesvízi környezet jellemzésére biztosan viszont csak a jura időszak végétől használhatók az ezen osztályhoz sorolható taxonok.

A Gastropodák paleohidrológiai jelzőszerepénél sokféle osztályozást alakíthatunk ki vízkémiai, vízhőmérsékleti, oxigénben telítettség, aljzat iránti igény alapján, de kiemelkedő jelentőségűek paleohidrológiai szempontból azok az édesvízi taxonok, amelyek a tengerekre jellemző jelentős sótartalom elleni védekezésül rendkívül vastag, különböző módon díszített héjakat fejlesztettek ki. Héjaik K- és Na-tartalma kimagasló. Ezért elsősorban a *Melanopsis* – *Fagotia*, valamint a *Neritina* (például *Neritina virginea*: **292. ábra**) – *Theodoxus* vonalakat vizsgálták és tekintik édesvízbe kitelepült tengeri fajnak, pedig a *Neritina* taxonok már önmagukban is figyelemre méltóak paleohidrológiai szempontból is, mivel a csigák döntő többségével szemben nem hímnősek, hanem váltivarúak.



292. ábra *Neritina virginea* (rohamsisak csiga) a Karibi térségben, Bahamákon, Közép-Amerikában elterjedt tengeri csiga (Forrás: wikipedia)

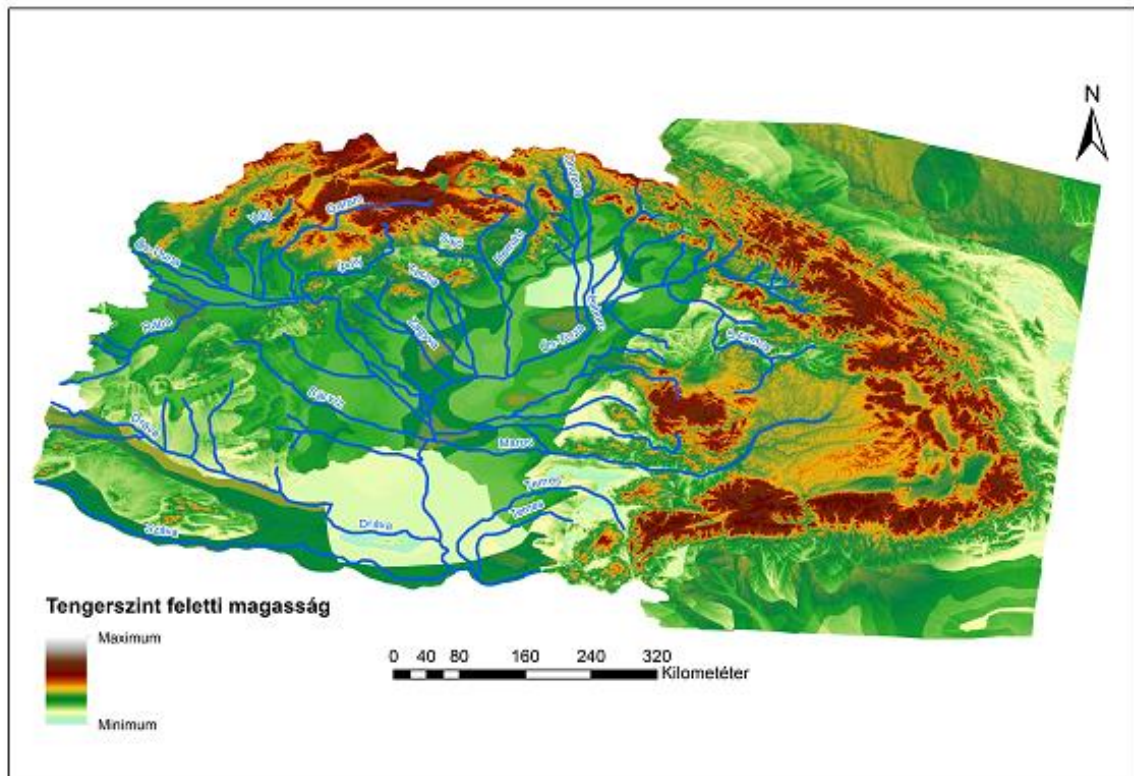
A *Neritina* (népszerű nevén rohamsisak csiga) – *Theodoxus* (bödöncsiga) összefüggés sajnos kevésbé vizsgált paleohidrológiai-paleontológiai (öslénytani) szempontból a Kárpát-medencében. Pedig a Kárpát-medence, Délkelet-Európa alapvető ebből az aspektusból is, mivel a pliocén végén – negyedidőszak kezdetén az Al-Duna vidékéről telepedtek be a *Neritina* egyedek a dunai vízrendszerbe (*Theodoxus kroloppii* új taxon). Természetesen nem csak a dunai vízrendszer utolsó 5 millió éves fejlődése során terjedtek el a rohamcsigák (*Neritina*) az édesvízi rendszerekben és váltak édesvízi fajokká. Ismeretes a *Neritina pulligera* (valódi rohamsisak csiga: **293. ábra**) faj kitelepedése az édesvizékbe a Csendes-óceáni szigeteken (Okinawa, Pápua-Új Guinea, Mikronézia, Salamon szigetek, Fidzsi-szigetek, Új Kaledónia, Vanuatu szigetek), Észak-Ausztráliában (Queensland provincia), Délkelet-Ázsiában (Indonéz szigetvilág, Fülöp-szigetek, Thaiföld, Malajzia), az Indiai-óceáni szigetvilágban (Komoró-szigetek, Nikobár és Adamán szigetek, Madagaszkár, Mauritius, Rodrigues szigetek, Réunion, Seychell szigetek) és a Kelet-Délkelet-Afriakai partvidéken. Ez a taxon, valószínűleg az utolsó 17 ezer év során, a jégkorszak végén bekövetkezett igen jelentős paleohidrológia változást, az

elolvadó több millió km² jégömeg hatására 200 méterrel megemelkedő tengerszintet követve, a tengerparti régióban jelentős mértékben felhíguló tengervíz hatására telepedett ki a part menti édesvizetekbe, mocsarakba, patakokba, folyókba. Csak így magyarázható, hogy a világtengerek különböző pontján egyszerre jelentkezik ennek, az eredetileg tengeri fajnak az édesvízi megjelenése. Annyira fiatal geológiai értelemben, és mégis annyira erőteljes ez az élőhely (habitat) váltás, hogy az édesvízi faj (*Neritina pulligera* - valódi rohamsisak csiga: **293. ábra**) morfológiai jellegei semmiben sem különböznek a tengeri *Neritina* taxonok külső megjelenésétől. Ezzel a fiatal, a jégkor végi, megközelítőleg 17 ezer éve megindult mintegy 30-40 millió km², helyenként kilométeres kifejlődésű (vagyis több millió km³) jégtakaró fokozatos olvadása, a tengerparti régió édesvízzel felhígított vízkészletének növekedése következtében kialakult, kevésbé vizsgált változással szemben a Kárpát-medence és Délkelet-Európa régióiban az utolsó 5 millió évben játszódott le a folyamat és itt már a *Neritina* héjak morfológiai jellegzetességei is megváltoztak a részletes őslénytani elemzések alapján. Ugyanakkor sajnálatos tény, hogy ennek a kérdéskörnek az eddigi publikált vizsgálatainál a recens fajok genetikai elemzésére koncentráltak és az őslénytani adatokat (pedig ezekre a hiányosságokra már 1999-ben nemzetközi és hazai előadásokon felhívtuk a figyelmet!), meglehetősen leegyszerűsítve kezelték, csak úgy, mint az ösföldrajzi változásokat.



293. ábra *Neritina pulligera* (valódi rohamsisak csiga) a Csendes-óceáni, DK-ázsiai, Észak- ausztráliai, Kelet-afrikai és Indiai-óceán területen elterjedt, édesvízbe kitelepülő tengeri csiga (Forrás: wikipedia)

Ez utóbbiak azért kiemelkedő jelentőségűek, mert az alsó pleisztocén folyóvízi környezet mind a Kárpát-medencében, mind az Al-Duna vidékén alapvetően különbözött a maitól (**294. ábra**). Így a recens elemzések önmagukban egyoldalúnak tekinthetőek őslénytani, geológiai szempontból, és téves hipotézis sorozatok kialakításának útjára vezethetik az ezzel a kérdéskörrel foglalkozó recens malakológusokat. Így az is elkerülheti figyelmüket, hogy a felső pliocén–alsó pleisztocén során a dunai vízrendszerbe betelepült faj nem került leírásra korábban a paleontológusok által, ugyanis a hivatkozott eredeti édesvízi faj még csak nem is hasonlít a kitelepült felső pliocén–alsó pleisztocén taxonra. A munkáinkban felsorolt gyűjteményeket áttekintve arra következtethetünk, hogy az ebben a kérdéskörben alapvető zágrábi, belgrádi, bukaresti, kisinyovi felső pliocén–alsó pleisztocén fosszilis fluvialis taxonokat, köztük a bődöncsiga (*Theodoxus*) példányokat sem vizsgálták.



294. ábra Alsó pleisztocén folyóvízi hálózat a Kárpát-medencében (Sümeghy József magyar geológus 1944-ben megadott térképei nyomán átrajzolva, új saját ábra)

Ez az egész kérdéskör a magyarországi malakológiában 1905 után csak 1999 második felében került elő, a szerző, *Sümeghi Pál* püspökfürdői expedíciója, a püspökfürdői Szent László tavi rendszernél *Heinrich Wolf* osztrák császári és magyar királyi geológus 1866. évi, valamint *Tóth Mihály* és *Kormos Tivadar* magyar paleontológusok szelvényeinek azonosítása és új zavartalan magfúrások kialakítása, öslénytani mintavételek nyomán. *Tóth Mihály* 1890-ben, *Kormos Tivadar* 1900-1902 között alakított ki a püspökfürdői (ma *Băile 1 Mai* nevezetű) területen geológiai szelvényeket és fúrásokat és közölték az ott fellelhető különböző *Theodoxus* (bödöncsiga), *Fagotia* (folyamcsiga) és *Melanopsis* (homorcsa csiga) maradványokat. Az 1999. évi expedíciót követően mutattunk rá, hogy ezeknek a fajoknak a változásai összefüggésben vannak a terület paleohidrológiai váltoásaival, és ezen paleohidrológiai átalakulások

következtében jelentek meg előbb a különböző ökoformák, majd stabilizálódtak ezekből az új fajok.

Éppen ezért, a tankönyvünkben bemutatott eredmények legújabb, teljes körűnek tekinthető paleohidrológiai-paleontológiai adatokon alapulnak és ezért az egyik legfontosabb modellt alkotja a Kárpát-medencében és a pontusi területeken a pliocén végén, alsó pleisztocén során lejátszódott sósvízi rohamsisak és édesvízi bődöncsigák (*Neritina/Theodoxus*) kérdéskörében, az édesvízi habitat (élőhely) váltásra vonatkozóan. Ugyanis a *Theodoxus kroloppii* felső pliocén–alsó pleisztocén során édesvízbe kitelepedett új taxon az alsó pleisztocén végén / középső pleisztocén kezdetén mintegy 700-800 ezer év között fokozatosan két *Theodoxus* taxonra, két ma is élő fajra, két sister groupra osztódott (*Theodoxus prevostianus*: **295. ábra**, *Theodoxus danubialis*: **296. ábra**).



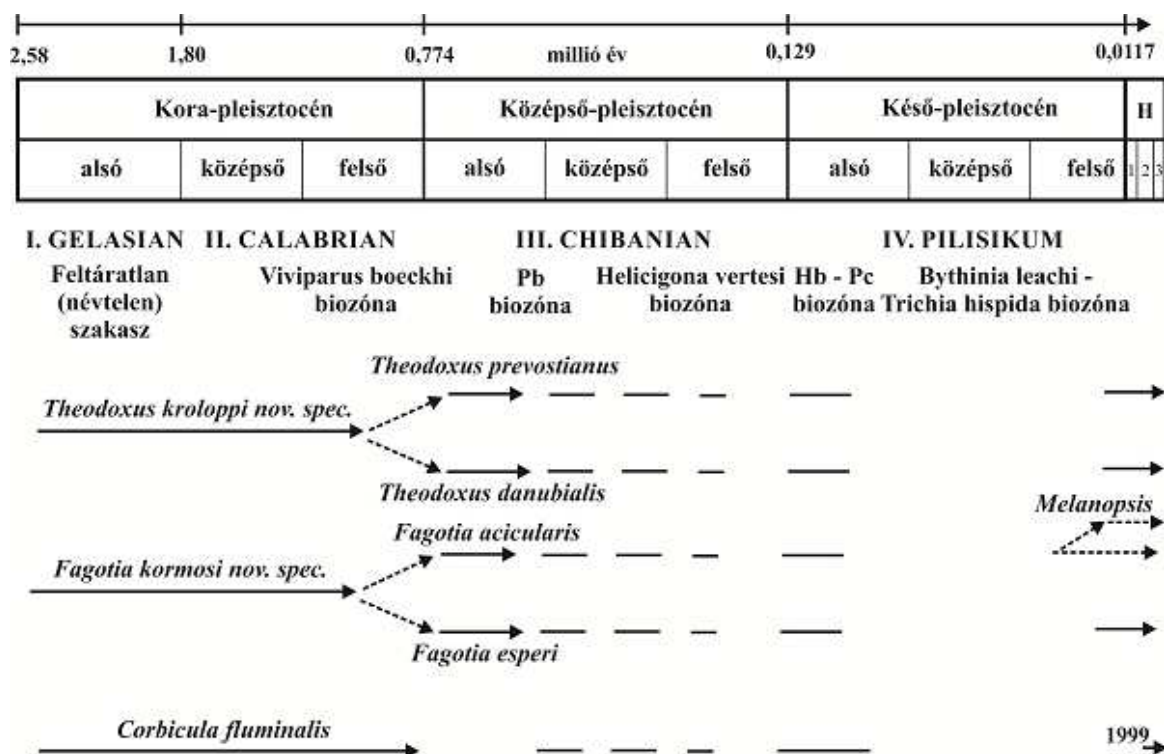
295. ábra *Theodoxus prevostianus* (fekete bődöncsiga) termálvíz forrásokban maradt fenn, sikeresen telepítették vissza a kácsi termálforráshoz (Forrás: wikipédia)



296. ábra *Theodoxus danubialis* (dunai rajzos bődöncsiga) a dunai vízrendszer és jobb oldali mellékfolyóinak karaktereleme (Forrás: wikipédia)

Ezek a fajok a legjelentősebb középső pleisztocén negyedidőszaki felmelegedések (interglaciálisok) során vándoroltak csak be és terjedtek szét a Kárpát-medencében (**297. ábra**). A lehülések (glaciálisok) folyamán visszahúzódtak a menedékhelyeikre (refúgiumokba) a Balkán félsziget északi részén, a Kárpát-medencében pedig a termálforrások környezetében. Ez utóbbinál rendkívül megnehezíti a paleohidrológiai megközelítést, hogy csak az interglaciálisok során halmozódott fel jelentősebb vastagságú üledék, benne értékelhető őslénytani anyag, közte a bődöncsigák. Ugyanis a termálforrások döntő részének vízutánpótlása elsősorban az interglaciálisok során volt biztosított. Ezen termálforrásokhoz közeli üledékek közül kiemelkedik a budai Várhegy, az egri vár, a tatai Angolpark, a vértesszőlősi édesvízi mészkőterületeken feltárt mészkőrétegek és azoknak a Mollusca faunája.

Valamennyi felsorolt lelőhelyet *Krolopp Endre*, a szegedi egyetem Földtani és Őslénytani Tanszékének címzetes egyetemi tanára dolgozta fel, és állapította meg a *Theodoxus* taxonok megjelenési szintjeit, valamint azok kapcsolatát az üledékképződés típusával és a negyedidőszaki rétegtani eredményekkel. Vagyis nem ismerünk olyan szelvényt a Kárpát-medencében, ahol a bődöncsigák folyamatos, egész felső pliocén és negyedidőszakot átfogó jelenléte bizonyítható, szemben a recens csigafajok genetikai vizsgálataira alapozott modellekkel operáló kutatásokkal (**297. ábra**).



297. ábra A Kárpát-medence és Közép-Európa quartermalakológiai rétegtani szintjeinek összefüggései a globális rétegtan szintekkel és emeletekkel, valamint a geokronológiai adatokkal – *Theodoxus kroloppi* faj chronospecies időbeli kifejlődésével és a sister groupjainak tekinthető *Theodoxus danubialis* (dunai rajzos bődöncsiga), *Theodoxus prevostianus* (fekete bődöncsiga) megjelenésével (Forrás: saját ábra)

I.Gelasian, II.Calabrian, III.Chibanian, IV.Pilisikum emeletek, H = Holocén (utolsó 11 700 év), H1 = Greenlandian fázis (11 700–8200 év), H2 = NorthGrippian fázis (8200-4200 év), H3 = Meghalayan fázis (utolsó 4200 év), Pb biozóna = Preforatella bidentata biozóna, Hb – Pa biozóna = Helicigona banatica – Phenacolimax annularis biozóna

Krolopp Endre példamutatóan megbízható munkája alapján egyértelműen bizonyíthatóak a bődöncsigák hullámszerű bevándorlásai, és az édesvízi mészkő rétegzett, ciklikus, negyedidőszaki interglaciálisokhoz kötődő kifejlődése (297. ábra). Ugyancsak Krolopp Endre tárta fel és írta le az édesvízi mészkőrétegek mellett a Kárpát-medencében a neotektonikus süllyedékekben felhalmozódott üledékeket feltáró fúrásokból előkerülő negyedidőszaki Mollusca faunát is, és ismerte fel a ciklikus kifejlődésű interglaciális vízi faunákban a *Theodoxus* fajok hullámszerű megjelenését. Az időbeli vizsgálatok mellett a bődöncsigák térbeli megjelenését is vizsgálta, elsősorban a középső pleisztocénre vonatkozóan.

Magának a *Neritina–Theodoxus* összefüggésnek (**297. ábra**) az eddigi feltárása több magyar és osztrák-magyar birodalmi kutató generációt, több magyarországi malakológus-paleontológus kutatót vonzott. Ide sorolható *Heinrich Wolf, Tóth Mihály, Kormos Tivadar, Horváth Andor, Schréter Zoltán, Krolopp Endre, Fűköh Levente, Sümegi Pál*, akik konkrét szelvényeket, és malakológiai anyagokat dolgoztak fel ebben a kérdéskörben és tettek fontos megállapításokat. Paleohidrológiai elemzéseink a fentebb felsorolt paleontológusok elemzésein és az általuk leírt őslénytani anyagon alapszanak.

Az egri vár bástyájának és környékének felszíni alapját jelentő édesvízi mészkőnek az első leírása *Schréter Zoltán* paleontológus nevéhez fűződik (1912), majd ugyancsak Schréter Zoltán foglalkozott először az egri termálvizű források csiga-, és kagyló faunájával is (1923)⁴⁵. Majd a paleohidrológiai szempontú elemzések eredményeinek újszerű összefoglalását Krolopp és munkatársai végezték el 1989-ben. Ez utóbbi komplex munka részletesen foglalkozik a terület kialakulásával, geomorfológiai helyzetével, az édesvízi mészkő kifejlődésével és az üledékekben található ősmaradványok elemzésével. A gyűjtött anyag érdekessége, hogy viszonylag nagy példányszámban tartalmazza a napjainkban az Ibériai félsziget, valamint francia és német területek folyóiba, vagy az olasz Garda-tóba, a kelet-ázsiai területekről az 1980-as évektől behurcolt, de az utolsó interglaciálisban még természetes úton betelepedett *Corbicula fluminalis* (nagy kosárkagyló) példányait is (**298. ábra**).



298. ábra *Corbicula fluminalis* (nagy kosárcagyló) Kárpát-medencei interglaciális (Forrás: wikipédia)

A faj 1999-ben jelent meg újra, behurcolt elemként hazánkban a Duna bajai szakaszán, előtte recens elterjedése ismeretlen volt. Az egri feltárásokban az 1970-es évek végén, az 1980-as évek első felében végzett részletes földtani és őslénytani feltárások során fosszilis formában már nem sikerült megtalálni nagy kosárcagyló példányait. Valószínűleg azt az édesvízi mészkőréteget már lefejtették a területen, vagy elfedték házakkal, kőfalakkal, ahol ez a taxon jellemzően megjelenhetett az egri területen. Idősebb pleisztocén üledékekben viszont több lelőhelyről is előkerült Magyarországon, de megtalálható Nyugat-Európában is az alsó és a középső pleisztocén időszakban lerakódott üledékekben (**297. ábra**).

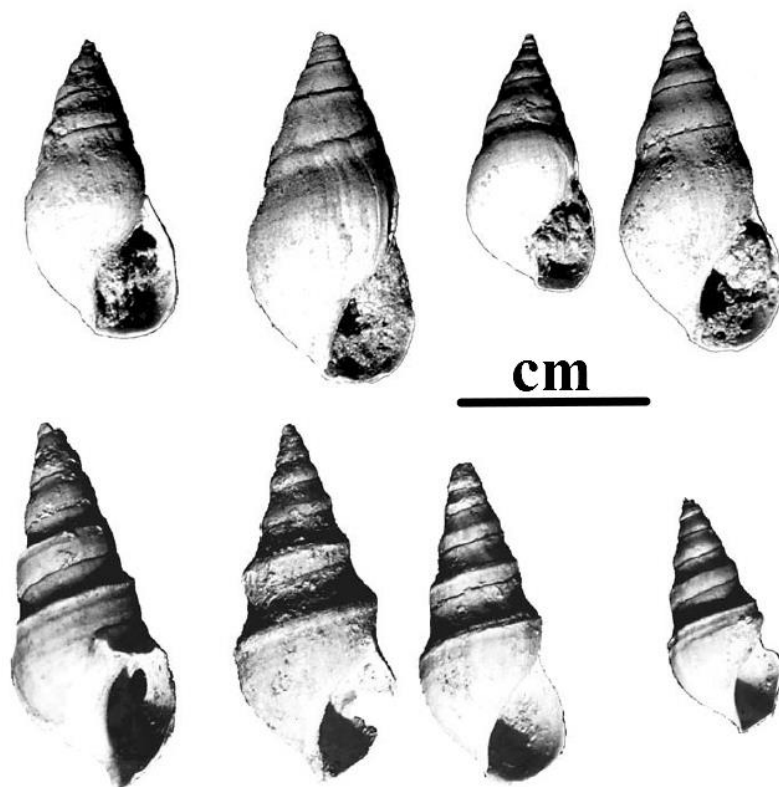
Az eddigi őslénytani adatok alapján a középső pleisztocén kezdetén, mintegy 800 ezer évvel ezelőtt ennek a fajnak a Kárpát-medencén belüli elterjedésének határa az Alföld délkeleti területén húzódnak. Ez az elterjedési adat azt jelzi, hogy a Kárpát-medencében már a középső pleisztocén során kialakult az a környezetválasztó vonal, amelytől délre és északra eltérő paleohidrológiai régiók fejlődtek ki.



299. ábra *Theodoxus transversalis* (sávós bődöncsiga) Tisza és Sajó, valamint a mellékfolyóik mai karaktereleme (Forrás: wikipédia)

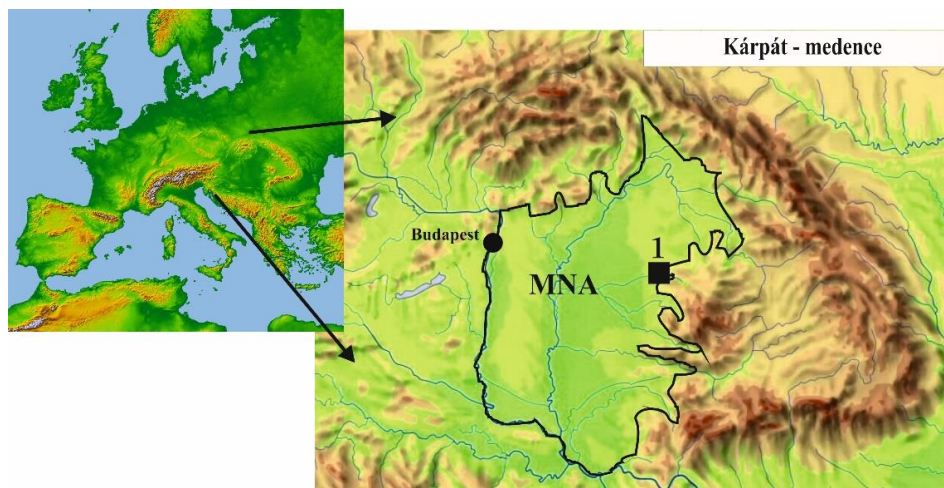
Az egri előfordulás, mint a jelenleg ismert legfiatalabb geológiai megjelenés a pleisztocén rétegsorban, a középső pleisztocén végén, a felső pleisztocén kezdetén a Riss-Würm Interglaciális végén az adatok alapján. *Krolopp Endre* paleontológus szerint feltehető, hogy a kosárcagyló példányok az egri langyos vizű forrásokban menedék (reliktum) jelleggel maradhattak csak fenn és az utolsó jégkori lehülés, a Würm, vagy más elnevezés szerint Weichselian glaciális során ki is pusztultak a területről. Az 1930-as években gyűjtött egri interglaciális anyag további érdekessége, hogy a faunában együtt fordul elő a három *Theodoxus* faj, a *prevostianus*, *transversalis* (**299. ábra**) és a *danubialis*. Fossilisan ez az egyetlen adat, ahol ez a három *Theodoxus* faj együttesen jelentkezik, bár ez három faj napjainkban szintén előfordul Közép-Európában területén, de nem egy helyen. Önmagukban már ezek is az egri mészkőképződés speciális paleohidrológiai tényezőit mutatják. Ugyanis a három faj eltérő elterjedést mutat jelenleg. A *Theodoxus transversalis* döntően a Kárpát-medence keleti részén, a Tisza és mellékfolyóihoz kapcsolódva maradt fenn és jégkor végi, holocén kori elterjedés fosszilis adatai ehhez a folyóhoz és mellékfolyóihoz kötődnek elsősorban. A *Theodoxus prevostianus* csak

szigetszerűen, termálvíz-forrásokhoz kötődve jelenik meg a Kárpát-medencében napjainkban, míg a *Theodoxus danubialis* elterjedése teljes egészében a Dunához és mellékfolyóihoz kötődik (Kárpát-medence nyugati része). A fauna összetétele alapján az utolsó interglaciális során az egri termálvíz-források lefolyhattak egészen az Eger-patakig, így a patakban élő fajok (*Theodoxus transversalis*, *Theodoxus danubialis*) egészen a forrásmész-kő kiválásokban alapvető szerepet játszó termálforrásokig felhatolhattak. Ennek következtében a két paleohidrológiai élettér, a meleg vizű források és a termálvíz-bevétel során állandó hőmérsékletű patakok faunája keveredhetett. Így jelentkezett együtt, unikális módon a három, egyébként eltérő paleohidrológiai jelzőszerepet betöltő, eltérő környezetben élő bődöncsiga taxon. Kiemelendő érdekessége az egri édesvízi mészkőből származó faunának, hogy a gyűjtött anyagban nagyszámú *Fagotia acicularis* csigafajhoz tartozó egyedek is találhatóak. A példányok egy része külső morfológiájában eltér a törzsalaktól. Ezeket *Schréter Zoltán* dolgozatában új fajként, *Melanopsis doboi*, illetve annak alfaji formáiként írta le (300. ábra). Az egri vári vasúttal átvágott területe, az ún. „Zárkándy-bástya” édesvízi mészkőben feltárt *Fagotia* példányok egy része külső morfológiájában eltér a törzsalaktól. Ezeket az egyedeket *Schréter Zoltán* dolgozatában új fajként, *Melanopsis doboi*, illetve annak alfaji formáiként írta le (300. ábra). Kiemelkedő jelentőségűek ezek a morfológiai változatok, még ha a magyar taxonómia, egyelőre, elég merev rendszertani megközelítéssel, annak ellenére, hogy nem mutatják egyértelműen a *Melanopsis*okra jellemző bélyegeket, *Melanopsis doboi* elnevezés mellett maradt ezeknél a formáknál. Ugyanis ezek a formák átmenetet jelentenek a *Fagotia acicularis* és a *Melanopsis* taxonok között.



300. ábra *Fagotia acicularis*, *Melanopsis doboi* taxonok az egri édesvízi mészkőből (Forrás: Schréter Zoltán paleontológus fotó összeállítása 1971-ben)

Sajnos ezen kérdéskör az egri édesvízi mészkő rendszernek csak az utolsó interglaciálishez kötődő, időbeli korlátolt kifejlődése miatt tovább nem vizsgálható. Ennek nyomán a recens, ma élő populációkig elvezető *Fagotia* – *Melanopsis* leszármazási kérdéskör az egri területen nem vizsgálható tovább időben. Szerencsére ismeretes a Kárpát-medencében olyan terület is, ahol a jégkor végétől tanulmányozható ez a kérdéskör, a magyarországi negyedidőszaki paleohidrológiai vizsgálatok ezen a területen kezdődtek el 1866-ban. Ez a mára már világhírű feldolgozás sorozat az Alföld és Erdély közötti átmeneti sávhoz, a partiumi területen, Nagyvárad (Oradea) mellett található püspökfürdői Szent László tavi rendszerhez (Băile 1 Mai, Peța) kötődik (**301. ábra**).



301. ábra Nagyvárad (Oradea) mellett, Hajó (középkori magyar nevén Hőjő) és Rontó községek közötti püspökfürdői (Băile 1 Mai) termáltó és termálvíz terület (1) elhelyezkedése a Kárpát-medencében (Forrás: saját ábra)

Esettanulmány 6.

A terület tudományos felfedezése Kitaibel Pál (1757–1817) magyar természettudóshoz kötődik, aki 1796-ban a kor technikai szintjének megfelelően lovaskocsin, ökrös és bivaly vontatta szekereken, lóháton és gyalog Budapestről indulva Nagyváradra (Oradea) majd Félixfürdőre (Băile Felix), Püspökfürdőre (Băile 1 Mai) ment. Ezen expedíciós útja során fedezte fel és írta le a fehér lótuszt (*Nymphaea lotus var. thermalis*) a püspökfürdői területen (**302. ábra**).



302. ábra *Nymphaea lotus var. thermalis* színes rajza magyarosított nevén Waldstein Ferenc Ádám (1759–1823) (wartenbergi gróf) és Kitaibel Pál (1757-1817) (természettudós) közös könyvéből (Forrás: *Descriptiones et icones plantarum rariorum Hungariae* – 3 kötet 28 füzet 200 példány: 1802-1812)

A nílusi tündérrózsa (*Nymphaea lotus*) trópusi (afrikai) vidékek lakója. Így hatalmas meglepetést okozott Kitaibel Pálnak, mikor 1798-ban Nagyvárad közelében, a püspökfürdői Pece-patak hőforrások által táplált vizében, a középkori elnevezés szerinti Szent László tóban (Băile 1 Mai, Peța) megpillantotta. A felfedezését követően többféle nézet alakult ki a püspökfürdői fehér lótosz (*Nymphaea lotus* var. *thermalis*) eredetére vonatkozóan. Voltak, akik szerint emberi tevékenység következtében (betelepítve) jelent meg, mások szerint vízimadarak hurcolhatták be. Ugyanakkor több geológus felvetette, hogy a hőforrások által táplált püspökfürdői meleg vízben, a folyamatosan működő termálvizek hatására vészelt át a jégkorszakot, azaz jelenléte a harmadidőszak (tercier) végétől folyamatos. A püspökfürdői tündérrózst a neves francia botanikus DeCandolle *Nymphaea thermalis* (hévízi tündérrózsa) néven önálló fajként is leírta. Tuzson János (1870–1943) a budapesti tudományegyetem paleobotanikus professzorának vizsgálatai azonban nem igazolták faji önállóságát ennek a növénynek, ezért a trópusokon élő törzsalak változataként (*Nymphaea lotus* var. *thermalis*) írta le.

A kérdéskört nem lehet eldönteni fosszilis adatok, őslénytani előzmények elemzése nélkül, viszont a terület geológiai elemzéseinek kezdete nem a növényekhez, hanem a területen található bennszülött (endemikus) bordás homorcsa csiga (*Melanopsis parreyssi*) faj felfedezéséhez kapcsolódik. Az első bordás homorcsa csiga (*Melanopsis parreyssi*) egyedet az osztrák von Mühlfeld természettudós és múzeumi gyűjtő szerezte be egy, a történelmi Magyarországon tett gyűjtő- és beszerző expedíciója nyomán – pontosabb lelőhely megnevezés nélkül. Mühlfeld által begyűjtött példányok nyomán írta le bordás homorcsa csiga (*Melanopsis parreyssi*) fajt (**303. ábra**) a XIX. század egyik legkiemelkedőbb, európai, dél-amerikai területeket és az ott lévő fosszilis és recens csigafajokat is jól ismerő német paleontológusa és malakológusa, Rudolph Amadeus Philippi (1806-1904: **304. ábra**). Philippi 1846-1847-ben a faj leírásakor a németországi (Weimar melletti) Kassel városkában élt és alkotott, majd ezt követően költözött családjával együtt Chilébe.



303. ábra A bordás homorcsa csiga (*Melanopsis parreyssi*) első ismert példányának (holotypusának) rajza (Forrás: Philippi *Abbildungen und Beschreibungen neuer oder wenig gekannter Conchylien* című 1847-ben megjelent (Fischer Kiadó, Kassel) munkájából, a 15. ábra)



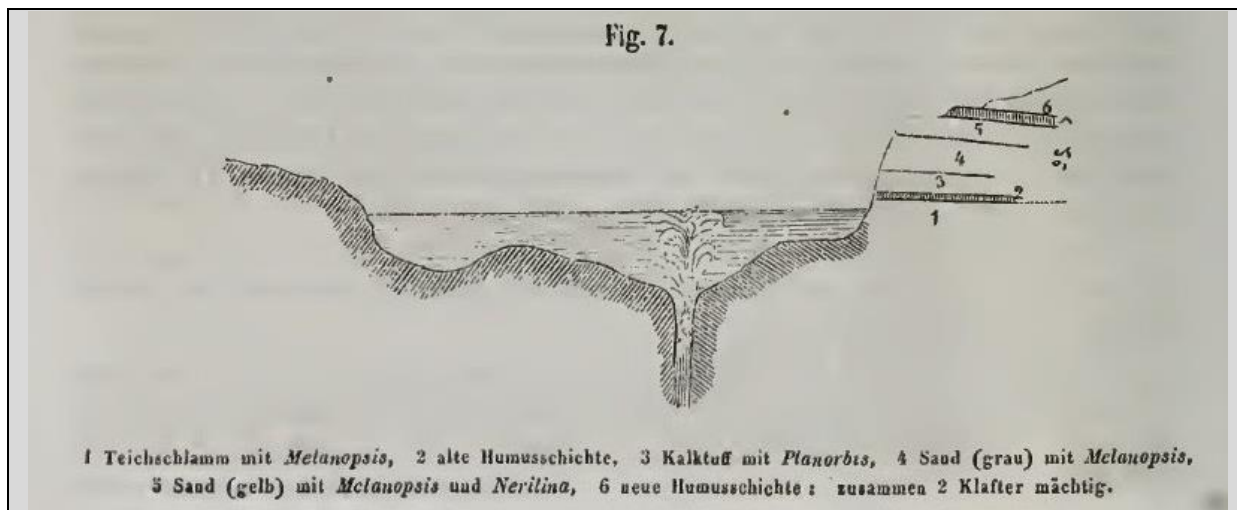
304. ábra Rudolph Amadeus Philippi (1806-1904) német paleontológus - malakológus a recens bordás homorcsa csiga (*Melanopsis parreyssi*) faj leírója (1847) (Forrás: researchgate: Kabat, A. R., Coan, E. V. 2017. *The Life and Work of Rudolph Amadeus Philippi (1808–1904)*. *Malacologia*, 60, 1-30. – első szerző írásos engedélyével közölve)

A recens bordás homorcsa csiga (*Melanopsis parreyssi*) egyedek származási helyét keresve az osztrák von Bregrath Franz Ritter Hauer 1852-ben találta meg és írta le a püspökfürdői élő

példányokat, bár Hauer akkor még ma Kis-Ázsiában elterjedt *Melanopsis costata* faj jelenlétéről írt. Hauer munkája nyomán jelent meg a területen a magyarországi quartergeológiai és quartermalakológiai vizsgálatokat elindító *von Heinrich Wolf* (1825–1882) császári (majd császári és királyi) geológus (**305. ábra**) 1860-ban a püspökfürdői területen. Így az első földtani rétegsort és a holocén, valamint a fekü homok rétegekben található *Melanopsis* és *Neritina* (fosszilis) taxonokat *von Heinrich Wolf* császári geológus közölte először a püspökfürdői területről (1863). *Von Heinrich Wolf* által közölt rétegsor, benne egy holocén kezdeti humuszos (tőzeges?) szinttel, közvetlenül a püspökfürdői meleg vizű tó partján helyezkedett el (**306. ábra**). Sajnos *von Heinrich Wolf* sem égtájat, sem felülnézeti térképet, sem méretarányt nem közölt munkájában, így, az elmúlt 150-160 év során történt változások miatt ma már nehezen használható leírást adott meg ebben az alapcikkében, de közölt szelvényében lévő rétegsor egyes elemei az 1999-ben, majd 2009-ben elkészített feltárásokban is megfigyelhetők voltak, így még ma is használható adatokat találhatunk *Wolf* (1863) munkájában. Sőt a *Wolf* által jelzett püspökfürdői meleg vizű tavat is pontosan azonosítani lehetett a területen, a meleg vizű tó centrumában a *Wolf* által is jelzett termálvíz feláramlási zónával és forrásszájjal.



305. ábra *von Heinrich Wolf* (1825–1882) osztrák császári, majd császári és magyar királyi geológus, a püspökfürdői terület első geológiai leírója és a fosszilis *Melanopsis* és *Neritina* egyedek első feltárója (Forrás: <http://www.digiporta.net/>)



306. ábra von Heinrich Wolf osztrák császári, majd császári és magyar királyi geológus földtani szelvénye 1863-ban a püspökfürdői területről, a termáltóról, a termáltó alatt és peremén húzódó geológiai rétegekről, a termálforrás és a tó viszonyáról (Heinrich Wolf 1863-ban készült könyvéből)

Wolf expedícióját és publikációját követően Mocsáry Sándor bihari polihisztor járt a területen, és a püspökfürdői Pecze folyóban kialakított fürdő hévizében élő *Melanopsis costata* és *Neritina serratilinea* var. *thermalis* nevezetes csigákról írt (1870). Ezt követően Zsigmondy Béla vízkutató fúrásának rétegsora (1886) és Wolf munkája nyomán a Nagyvárad földtani feldolgozása során említették meg ezeket a Mollusca fajokat (Szontágh, 1890).

Minden eddigi felsorolt kutatás és kutató ellenére a püspökfürdői terület paleohidrológiai fejlődéstörténetét feltártó kutatás sorozatban a döntő momentumot Tóth Mihály természettudós, főreál gimnáziumi tanár kutatásai és 1890-ben Nagyváradon rendezett 25. Magyar Orvosok és Természetvizsgálók Vándorgyűlésén megtartott előadása és legfőképpen az előadás előtt végzett munkája jelentette. Ugyanis Tóth Mihály egyszerűen kiment a püspökfürdői területre és a Heinrich Wolf által leírt meleg vizű tavi rendszertől mintegy 50 méterre keleti irányban egy földtani szelvényt alakított ki és mintasorozatot vett egészen a folyóvízi kavicsréteggig. Kronológiailag felismerte, hogy a szelvénye visszanyúlik a jégkorig (akkori megnevezéssel diluviális időszakig). A feltárt üledékekből pedig kinyerte az ősmaradványokat, közte a *Melanopsis* és akkori megnevezéssel *Neritina* (valójában *Theodoxus*, közte *Theodoxus prevostianus*) formákat. Az előkerült ősmaradványokat morfológiai elemzések alapján 23 taxonra, általa felállított faji kategóriába sorolta. Rájött, hogy a fajok egy sorozatot alkotnak, a jégkor végétől napjainkig tartó üledékszelvényben belül egymás után jelentkeznek csigaformák (amelyeket ő még fajoknak írt le) a sima héjú, hosszú változatoktól a rövid változatokig. Előadásában és publikációjában beszámolt a fekvő üledékben, édesvízi mészkőrétegben feltárt „fenyőtörzsekről”. Munkája rendkívüli hatású

volt, és szinte azonnal megjelent nála az Osztrák-Magyar Monarchia két kiemelkedő malakológusa, a horvát származású *Spiridon Brusina* (1902), és a Magyar Királyi Földtani Intézet vezető geológusa, paleontológusa (és régésze), a magyar quartermalakológiai iskola megteremtője, *Kormos Tivadar* (1903).

Spiridon Brusina a Tóth Mihály féle taxonokat átcsoportosította, a fajok és változatok számát jelentős mértékben szűkítette, összevonta, és felszíni gyűjtéssel egészítette ki. Ez utóbbit sajnos nem veszik figyelembe, bár tudományosan leírta a Tóth Mihály féle anyagot, nem igazán lépett tovább a püspökfürdői *Melanopsis* és *Neritina* származási kérdéskörében, a terület paleohidrologiai értelmezésében.

Kormos Tivadar viszont a rendkívüli nehézségek, a forró (26-28 °C) rétegvíz és a 20 °C hőmérsékletű talajvíz betörés ellenére, többnapos munkával 10-11 méteres földtani szelvényével lejutott a fekü mezozoós mészkő szintig. Sőt vizsgálataihoz felhasználta a területen mélyített fúrás *Zsigmondy Béla* mérnök 102 méteres fúrászelvényének leírását is. Nagyon gondos munkát végzett! Leírta Tóth Mihály földtani szelvényét és a szelvénynek az ősmaradvány tartalmát is rétegek szerint. A saját földtani szelvényének kialakítása előtt tanácskozott *Szontágh Tamás* bányatanácsossal, akitől megtudta, hogy a területen több helyen gyógyvizes fürdő gödröket alakítottak ki, és rétegzavarokat hoztak létre az utolsó 400-500 év során, mikor felvirágzott a püspökfürdői termásvíz kultúra. Így a földtani szelvény helyét alapos felszíni vizsgálat után egy zavartalan felszínen választotta ki. A földtani szelvényét 2 m² kiterjedésű felületen alakította ki, és szivattyú használatával ellensúlyozta talajvíz betörést. A rétegeket felülről lefelé makroszkópos is látható tulajdonságaik nyomán írta le, és a kor tudományos szellemének megfelelően egyeléeses technikával gyűjtött Mollusca héjakat, benne a *Melanopsis* és *Neritina* taxonokat is rétegenként írta le. Kézi fejtéssel 7,6 méterig jutott, mivel ebben a szintben durva kavicsréteg fejlődött ki, ahol a forró talajvíz betörés annyira intenzív volt, hogy nem lehetett tovább haladni. A fúrás kialakítását is talajvíz betörés és a méteresnek feltételezett kavicsréteg durva szemcséi miatt akadályozta meg. Így a fekü mezozoikumi tengeri mészkő felé a rétegsort *Zsigmondy Béla* mérnök fúrása alapján, hipotetikusan írta csak le.

Munkáiban a *Melanopsis* (homorcsacsiga), *Neritina* (*Theodoxus* - böcsöncsiga), *Planorbarius* (tányércsiga) alakok kialakulását, fejlődését egyaránt elemezte és elsőként mutatott rá arra, hogy a fekü rétegekben jelentkező hosszú és sima héjú *Melanopsis* taxon és a dunai vízrendszerben *Fagotia acicularis* (sima folyamcsiga) héjfelépítése között nincs különbség. Ennél az elemzési sorozatnál mutatott rá arra is, hogy az egyes rétegek eltérő paleohidrologiai környezetet jeleztek. Így a rétegenként változó csigaformák kialakulása a paleohidrologiai

környezet változásától függött és ennek nyomán a fauna és a formák fokozatos változása nyomán alakult ki a *Melanopsis parreyssi* faj. Így Kormos Tivadar először mutatott rá arra, hogy a *Fagotia acicularis* fajból alakulhatott ki *Melanopsis parreyssi* faj mégpedig a termálvízrendszer paleohidrológiai változásai nyomán. Munkája példamutató volt abban a tekintetben is, hogy a csigák elemzését ugyan igyekezett a botanikai anyag (fehér lóbusz) alapján akkor még feltételezett harmadidőszaki oázis elmélettel egyeztetni, de elsősorban a kinyert őslénytani anyag és földtani rétegsor elemzése nyomán rajzolta meg a fejlődéstörténetet, és elzárkózott a hipotézis sorozatoktól. Többek között arra is rámutatott, hogy nincsenek a területről paleobotanikai, mindenekelőtt levélmaradvány leletek, amelyek nyomán a kérdéskört, az egykori paleohidrológiai állapotot és az oázis elméletet korrekt módon kezelni lehetne. Csak sajnálni lehet, hogy a kor tudományos szelleméhez igazodott és nem gyűjtött statisztikusan értékelhető malakológiai anyagot, vagy nem végezte el a rétegek finomrétegtani bontását. Mindkét tudományos kérdéskör Kormos püspökfürdői vizsgálataihoz képest egy félvszázaddal később, az 1950-es években lett megnyugtató módon kialakítva. Annyi azonban megállapítható, hogy az utolsó tényleges földtani szelvényezést, üledékföldtani vizsgálatokat és őslénytani gyűjtést, csigafajokra alapozott paleohidrológiai elemzést Kormos Tivadar végezte el 1999 előtt a püspökfürdői területen. Az ezt követő – igen tekintélyes mennyiségű döntően magyar, román publikáció már csak Tóth Mihály és Kormos Tivadar által kinyert őslénytani anyagra alapozott, illetve erőteljesen hipotetikus volt, és jelentős részük hangos gondolkodásnak tekinthető csak.

Sümegei Pál vezette kutatások 1999 őszén kezdődtek el. Még debreceni egyetem adjunktusaként a Széchenyi professzori ösztöndíjat elnyerve szervezte meg az első terepi expedícióját a püspökfürdői területen a nagyváradi Körösvidéki Múzeum vezetésének, *Chiriac Aurél* múzeumigazgató és *Venczel Márton* osztályvezető paleontológus segítségével és az általuk adott engedélyekkel. Több, többméteres térképező geológiai fúrást alakítottunk ki ekkor, és az akkor még jól látható, védett termáltavon egy keresztshelvényt hoztunk létre. Majd egy ásott földtani szelvényt hoztunk létre, ahol a fekvő kavicsréteggel feltártuk a geológiai rétegsort. Ekkor még a természetvédelmi területté nyilvánított tavi rendszer teljes érintetlen volt (**307. ábra**), jelentős számú lóbuszvirággal (**308. ábra**), és homoresca csigákkal és az endemikus halfajjal, a Rakovitza kelével. Majd ezt a munkát folytattuk egy magyar – román határmenti munka keretében 2009-ben.



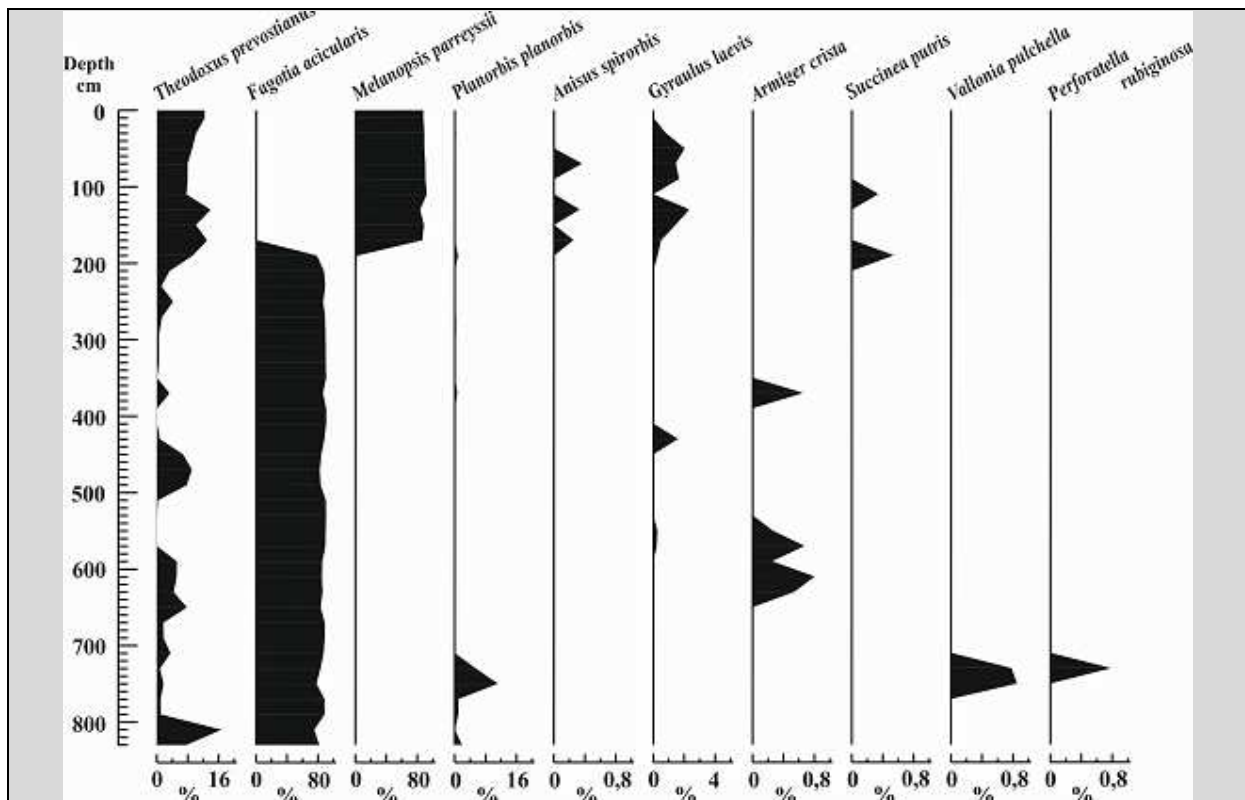
307. *ábra* A püspökfürdői termálvíz tó teljes kiterjedésben a Pece árterén 2009-ben (Forrás: saját felvétel)



308. *ábra* *Nymphaea lotus* var. *thermalis* „mező” a püspökfürdői termálvíz tó felszínén, 2006-ben (Forrás: Venczel Márton nagyváradi paleontológus felvétele, írásos engedélyével bemutatva)

Ekkor a fekü kréta időszak mészakőig alakítottunk ki egy 8,4 méteres mélységű földtani szelvényt, állandó és több irányú szivattyúzással. A feltárt rétegeket finomrétegtani

mintavételezéssel 20 cm-es részekre, mintákra bontottuk majd a finomrétegtani mintákat kettős szitamérettel átmostuk és a szitákon fennmaradó csiga- és kagylóhéjakat, gerinces maradványokat, szenült famaradványokat, növényi maradványokat kiválogattuk és még a töredékesen jelentkező anyagokat is meghatároztuk. Minden mintán végzetünk spóratablettás pollenfeltárást és pollenelemzést. Mintánként több száz, összesen több mint 30 000 csiga és kagylóhéj került elő az iszapolás során. Ez alkotta a paleohidrológiai elemzés őslénytani (quartermalakológiai) alapját. A növényi maradványokat, a szenült famaradványokat a vízi élettér paleobotanikai jellemzésére, míg a jelentős, de mégis elszórtan jelentkező hal- és kétéltű csontmaradványokat a folyamatosan és statisztikus mennyiségben jelenlévő puhatestű faunával együtt a termálvízi élettér jellemzésére használtuk fel. Az üledékmintákon izzítási veszteségen alapuló szervesanyag-, karbonáttartalom, szervetlen anyag tartalom, lézerszedigráfós szemcseösszetétel meghatározást, valamint különböző geokémiai módszerekkel elem- és ásványösszetétel meghatározást végeztünk a mórahalmi Homokkert Kft-vel (a pályázati vezető partnerrel) közös munkában. Mivel ennek a fejezetnek a célja a csigák alapján történő paleohidrológiai rekonstrukció, ezért itt csak erre térünk ki (**309. ábra**). A szelvény menti csigafauna taxononkénti dominancia (százalékos arány) változásainak (**309. ábra**) nyomán egyértelműen látható, hogy a víz élettér az egykori termál tavi környezet többször megváltozott. A radiokarbon vizsgálatok alapján 14-18 ezer évek között, a szelvény kialakulásának kezdetén a kopoltyús csigák, a fekete bődöncsiga és folyamcsiga abszolút dominanciája jelentkezett a szelvényben. Ennek nyomán oxigénben gazdag, relatíve hűvös - vízi élettér jelentkezhetett a termál tó medencéjében, a víz hőmérséklete a vegetációs periódusban alatta maradhatott 20 °C-nak, a fauna összetétele és recens párhuzamos alapján 15-16 °C lehetett.



309. ábra A püspökfürdői termáltó üledékébe mélyített szelvény Mollusca faunájának dominancia változásai szelvény mentén (Forrás: saját ábra)

Az üledék jellege, a kőzetlisztben gazdag, de szerves anyagban, karbonátban szegény finomkőzetlisztes durvakőzetliszt réteg kifejlődése is a hűvösebb vízhőmérsékletet támasztja alá. Majd 14 és 9 ezer évek között a fauna összetétele megváltozott, váratlanul megjelentek a szelvény vízparti, szárazföld csigafajok. Ebben a szintben olyan jelentős mennyiségű szenült famaradvány került elő, hogy egy sötétebb, humuszos szint fejlődött ki. Fenyőféle nem, de bükk és gyertyán faszenek előkerültek ebből a szintből, a pollenanyagban pedig a jelentős mennyiségű lágyszárú és fenyőpollen mellett a Kárpát-medence legidősebb gyertyán, bükk és tölgy pollen megjelenéseit lehetett igazolni a jégkor végén, a holocén kezdetén. A növényi maradványok között ekkor megjelentek a *Nymphaea lotus* var. *thermalis* magjai is. A csigafauna változása alapján a vízszint erőteljesen lecsökkent, de a víz hőmérséklete megemelkedett és 16-19 °C közötti lehetett a tenyészidőszak során.

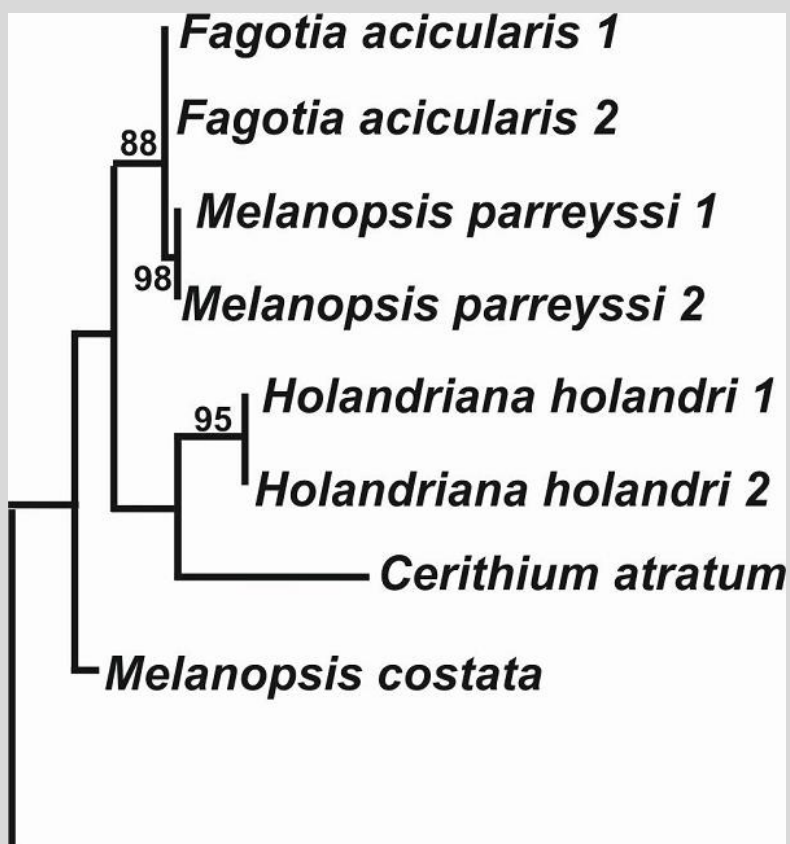
A következő fázisban, a holocén kezdetén és középső szakaszában a vízszint jelentős mértékben megemelkedett és ezzel a paleohidrológiai változással együtt párhuzamosan a víz hőmérséklete is meghaladta a már előbb 20 °C, majd a 25 °C-ot, és a forrásszaj környékén, a feláramlási tölcserben valószínűleg ennél is jelentősebb lehetett. Ebben a szakaszban a *Fagotia acicularis* var. *thermalis*, a vastag falú *Fagotia* megjelenési forma dominált és több spirális szutúrávonallal díszített példány, Tóth Mihály, Sipirdon Brusina, Kormos Tivadar paleontológiai munkáikban leírt fajok, véleményünk szerint ökoformák is megjelentek a

szelvényben. A holocén utolsó szakaszában, az utolsó 4200 év során a termálvíz hőmérséklete tovább emelkedhetett, meghaladhatta a 32 °C-ot, a tavi rendszer feltöltődött és sekély, eutróf tóvá alakulhatott. Úgy tűnik, hogy a víz hőmérséklete elsősorban nem a külső, levegő hőmérséklettől, hanem a feláramlási zóna vízutánpótlásától, víztömegétől (az pedig a csapadék mennyiségétől), és a feláramlás mélységétől, a tektonikus vonal mentén feláramló rétegvíz eredeti hőmérsékletétől függött elsősorban. Maga az endemikus *Melanopsis parreyssi* (bordás homorca csiga) ebben az utolsó szakaszban jelent meg, és ezzel párhuzamosan a *Fagotia acicularis* (folyamcsiga) és termálvizekre, mészforrásokra jellemző *Fagotia acicularis* var. *thermalis* sima, de vaskos héjú példányai eltűntek az üledékből. A kopolyús csigák mellett igen jelentős számú, vízi környezetre jellemző tüdőscsiga (*Basommatophora* alrend) jelent meg ebben a szintben és a vízparti elemek (*Stylomatophora* alrend egyedeinek) gyakorisága is megemelkedett. A szelvényben ekkor a növényi maradványok abundanciája (egyedszáma), a szervesanyag-tartalom jelentős mértékben megemelkedett és enyhén tőzeges, agyagos finomkőzetliszt réteg fejlődött ki. Bár a szén- és oxigén izotópelemzésnek még a kezdetén vagyunk, de már ezek a 40 cm-enkénti izotópgeokémiai és még inkább a geokémiai adatok is azt jelzik, hogy a vízi élettér alapvetően átalakult az utolsó 4200 év során, és ezen változásokhoz köthető a bordás homorca csiga (*Melanopsis parreyssi*) kifejlődése és stabilizálódása (310. ábra). A bordás homorca csiga (*Melanopsis parreyssi*) vízhőmérsékleti igényei alapján a tó vízének hőmérséklete ekkor stabilan 32 °C feletti volt.



310. ábra A bordás homorca csiga (*Melanopsis parreyssi*) a püspökfürdői szelvény felszínközeli rétegéből (Forrás: saját fotó)

Hogy mennyire összekapcsolható a *Fagotia acicularis* (folyamcsiga) fajjal a bordás homorcsa csiga kifejlődése, az elemzéseinktől teljesen függetlenül elvégzett lengyel kutatók vezette genetikai vizsgálatok eredményei (311. ábra) világítottak rá. Így a két, *Melanopsidae* családhoz (*Melanopsidae* familia) sorolható taxon közötti váltás és átmeneti zóna nem véletlen, mivel a *Fagotia acicularis* fajból vezetik le a *Melanopsis parreyssii* faj kialakulását a legmodernebb genetikai elemzések alapján. Annak ellenére, hogy a bordás homorcsa csiga (*Melanopsis parreyssii*) morfológiai jellegzetességeit tekintve teljesen elkülönül a folyamcsigától (*Fagotia acicularis*) és leginkább a Kis-Ázsiában élő *Melanopsis costata* fajhoz hasonlítható, amelytől viszont genetikailag a legjelentősebb távolság jelentkezik az elemzések alapján (311. ábra).



311. ábra Recens *Melanopsis* taxonok 18S mitokondriális sorozatán végzett genetikai elemzés eredménye, molekuláris óra alapján megrajzolt hipotetikus filogenetikus elágazások (Forrás: researchgate: Smolen, M., Falniowski, A. 2009. Molecular phylogeny and estimated time of divergence in the central European Melanopsidae: *Melanopsis*, *Fagotia* and *Holandriana* (Mollusca: Gastropoda: Cerithioidea). Folia Malacologica, 17(1). nyomán átrajzolva - az első szerző írásos engedélyével közölve)

A *Fagotia acicularis* átalakulását fokozatosan és egyértelműen a paleohidrológiai környezet átalakulása generálta. Napjainkban ez a legjelentősebb csigafajok alapján és csigafajokra vonatkozó paleohidrológiai feldolgozás a Kárpát-medencében, amelynek jelentősége akkor emelkedett meg igazán, amikor 2012-ben a püspökfürdői termáltó – az emberi beavatkozás, a

túlzott termálvíz kitermelése következtében – kiszáradt (312. ábra) és télen befagyott. A meleg talajvíz szintje 5 méteren húzódik jelenleg. A kiszáradás miatt a területen élő endemikus halfaj (Rakovitza kele: *Scardinius racovitzai*, 313. ábra), a bordás homorcsa csiga (*Melanopsis parreyssii*) és a *Nymphaea lotus* var. *thermalis* a kihalás szélére került és csak Müller Tamás gödöllői kutató erőfeszítéseinek köszönhetjük, hogy van még lehetőség a visszatelepítésükre. Jelenleg mind a magyar, mind a román természetvédők a fajok megmentésén, mesterséges szaporításán, és a termáltó visszaállításán fáradoznak.



312. ábra A kiszáradt püspökfürdői termáltó – három, közte a homorcsa csiga (*Melanopsis parreyssii*) Kárpát-medencei endemizmus a kihalás szélére került (Forrás: Dr Müller Tamás felvétele – írásos engedélyével közölve)

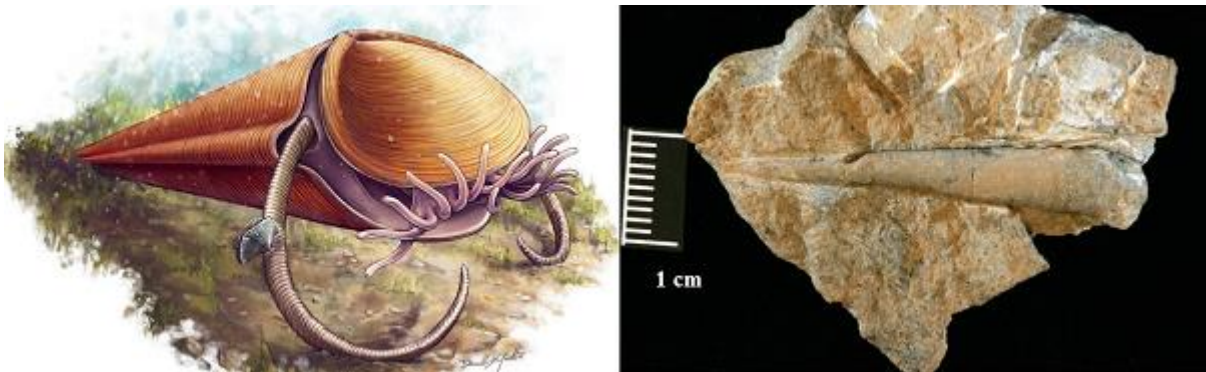


313. ábra (Rakovitza kele (*Scardinius racovitzai*) püspökfürdő endemikus, kihalás szélén lévő halfaja (Forrás: wikipedia)

4.6.7.5. Kagylók (*Bivalvia* más néven *Lamellibranchia* vagy *Pelecypoda*) osztályának paleohidrológiai szerepe

Leggyakrabban használt nevük (*Bivalvia*) a kettős teknőre utal. A kagylók héja két részből áll, de a két rész egy egységes, lárvakori héjkezdeményből származik. A kagylók teste teljes egészében elfér a héjban, amely nem homológ a csigák héjával, mivel a kagylói teknői utólagosan, az oldalsó teknőkből fejlődtek ki. A kagylók osztálya a kambrium kezdetén alakult ki, ekkor még – a mai őslénytani felfogás alapján – a csigák osztályával átmeneti *Coniconchia* osztályába sorolt héjsorozatok kötötték össze ezt a két rendszertani osztályt. Ide sorolhatóak az igen korán, a Burgess palában már megjelent *Hyolitha* taxonok is (314. ábra).

A két osztály között, a paleozóikum végén kihalt *Hyolitha* taxonok jelentették az átmenetet, de a kihalásukkal a két osztály teljesen elkülönült egymástól. A két rész gyakran egymás tükörképe, de akadnak olyanok is, ahol az egyik fél kisebb vagy laposabb. Csak a kezdetleges fajoknál háromrétegű a héj, a kagylók többségénél hiányzik a gyöngyházréteg. A kagyló fejlődése során szélsőségesen aszimmetrikus héjak is kialakultak (*Gryphae* - népszerű nyugati nevén ördögkarom osztriga: 315. és 316. ábrák, *Hippurites* genusok: 317. ábra).



314. ábra A kambrium kezdetétől, a Burgess palából is ismert *Hyolitha* rekonstrukciója és fosszilis héja. A faj az eddigi adatok alapján a paleozoikum végén kihalt (Forrás: wikipedia és Europeana Collection anyag alapján kialakított új összeállítás)

A kagylóknak már a kialakulásuk kezdetétől nincs fejük (*Acephala*), amely csökevényes, így radula (reszelő) nyelvük sincs, viszont a szájnyílás és a

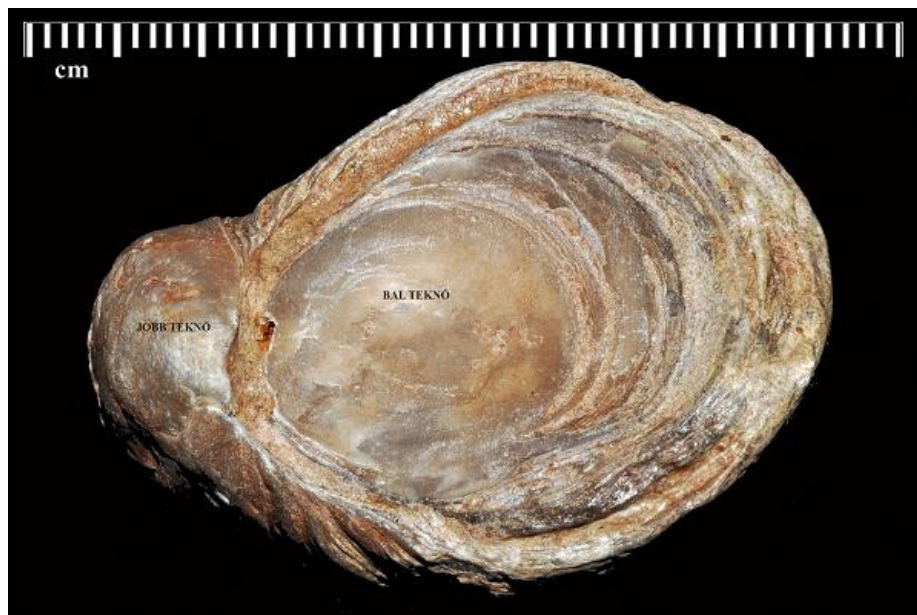
körülötte lévő érzékszervek fennmaradtak. A láb felső részébe behatolnak a zsigerek. Lábuk alakja nyelvyszerű, velük lassú helyváltoztatásra is képesek, sőt izmosabb lábú fajoknál az inbentoszba is be tudják ásni magukat (schizodont (hasadtfogúak) közé sorolható ősi *Trigonia* félék: **318. ábra**, *Neotrigonia* félék: **319. ábra**). Lábukat messze kinyújtják, majd megduzzasztják, a láb ilyen módon megragad az aljzatban, így húzzák magukat. A láb a bentoszlakó fajoknál tölcsérré (szifóvá) alakulhat és ennek segítségével az iszapba mélyen be tudnak ágyazódni, mintegy passzív védekezésül a kagylók és a szifó keresztül szerzik be a friss vizet és táplálékot (iszaplakó kagyló: **320. ábra**). A csigákhoz hasonló mászó talp sosem alakult ki kagylóknál. Sőt a bőrizomtömlős láb a helyt ülő (ún. „szesszilis”, főleg zátonyalkotó rudista kagylóknál, mint például a *Hippurites*) fajoknál teljesen visszafejlődhetett.



315. ábra Jura időszakbeli, mára kihalt osztrigafaj, az aszimmetrikus házat felépítő *Gryphaea* (ördögkarom osztriga) nemzetségbeli *Gryphaea arcuata* fosszília oldalnézetből fotózva. A bal teknő búbosan elcsavarodott, a jobb teknő lapos. Ez a már kihalt nemzetség se sekély tengeri aljzatot borított pad formájában a triász időszaktól az eocén időszakig. Ebben a megközelítőleg 200 millió éves időtartamban két virágkora alakult ki az ördögkarom osztrigáknál, az első a jura időszakban, a második az eocén időszakban, közvetlenül a kihalás előtt fejlődött ki (Forrás: wikipedia)

Maga a mészváz, a gerincesek csontjához hasonlóan, részben kalcium-karbonátból, részben szerves proteinfonalakból épül fel. Általában elkülöníthető egy külső réteg (osztrákum) és egy belső gyöngyházzréteg (hiposztrákum), sőt a kagylók egy részénél a kagylóteknő borító szerves anyag (periosztrákum) is megfigyelhető. A teknők anyaga általában aragonit, egyeseknél azonban az osztrákum kalcit, csak a hiposztrákum aragonit, mások váza pedig kizárólag kalcitból épül fel.

A kagylókat elsősorban a tengeri, mindenekelőtt a sekélytengeri élettér paleohidrológiai jellemzésére lehetett használni a paleozoikum során. Ugyanakkor az első édesvízi kagylók már igen korán, a devon középső szakaszában 400 és 390 millió évek között jelentek Földünkön (*Archanodon* taxonok: **321. ábra**).



316. ábra Jura időszakbeli, mára kihalt osztrigafaj, az aszimmetrikus házat felépítő *Gryphaea* (ördögkarom osztriga) nemzetségbeli *Gryphaea arcuata* fosszília alulnézetből, jobb teknő irányából fotózva, bal és jobb teknő megjelöléssel (Forrás: wikipedia)



317. ábra Mezozoikum végén, a kréta időszakban zátonyalkotó, ősi pachyodont (durván egyenlőtlen) fogazatú, erősen aszimmetrikus héjakkal rendelkező, kihalt *Hippurites* kagyló fosszília oldalirányból fotózva, jobb teknő és bal teknő megjelöléssel (Forrás: wikipedia - átalakítva)



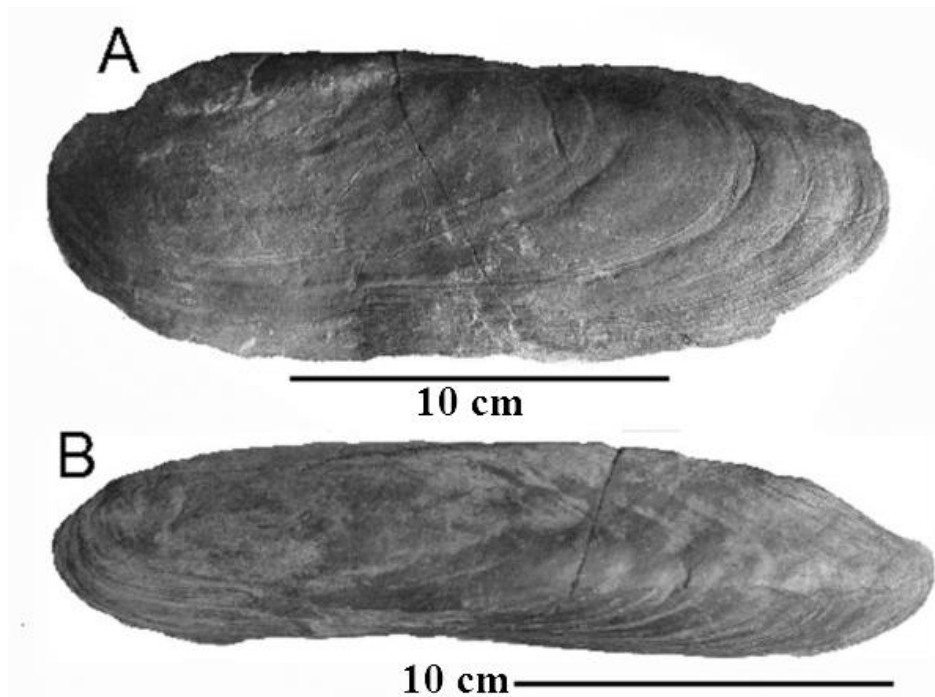
318. ábra A paleozoikum végétől (cc. 300 millió évtől) a harmadidőszak kezdetéig (cc. 55 millió évig) élő, mára már kihalt ősi hasadtfogú tengeri *Trigonia* kagyló fosszilis példánya. A teknők kapcsolatát alkotó „fogak” száma háromra redukálódott ennél a taxonnál, amelyből egy az egyik héjon, kettő a másikon helyezkedik el. Az egymagában álló fog sokszor elágazik, innen a „hasadt fog” megnevezés. (Forrás: Europeana Collection szabadon letölthető, felhasználható ábra)



319. ábra Tasmania és Ausztrália sekély tengerparti vizeiben ma is élő, a kihalt *Trigonia* félékkel párhuzamosan 1802-ben felfedezett hasadtfogú *Neotrigonia* kagyló jobb és bal teknője (Forrás: wikipedia)



320. ábra Iszapkagyló (*Panopea generosa*) közel 50 cm hosszúságú szifóval (Forrás: wikipedia)



321. ábra Az első édesvízi kagylók az amerikai középső devon rétegekben feltárt *Archanodon* taxonok (Forrás: researchgate: Chamberlain Jr, J.A., Chamberlain, R.B. 2014. *The Devonian bivalve, Archanodon catskillensis: A status report on the first freshwater mussel from New Jersey.* Rainforth, E. (ed.) *Contributions to the Paleontology of New Jersey II.*, 24-40.)

A kagylók paleohidrológiai felhasználásánál hasonló logikával dolgozunk, mint a növényi maradványoknál, a mikrozoológiai leleteknél vagy a csigák héjainál. Felszíni feltárásnál vagy fúrásnál (bármilyen korú szelvényeket is dolgozunk fel) a makroszkóposan elkülöníthető rétegeket részmintákra bontjuk (finomrétegtani mintavétel), majd a részmintánként a laza üledékből lisztszita szövetméretével (0,5 mm) azonos méretű szitával kinyerjük a Mollusca, köztük a kagylóhéjakat. Majd a szárított héjakat nagyítóval, mikroszkóppal határozzuk, döntően a zárszerkezet alapján.

4.6.7.6. *Kagylók az archeozoológiai alapú paleohidrológiai elemzésekben*

A diagenizált, kompakttá vált üledékből már jóval nehezebb a kagylóhéjakat (vagy foraminifera vagy más paleohidrológiai szempontból fontos ősmaradványokat) kinyerni. A diagenizált, különösen a diagenizált meszes tengeri, tavi, fluviális üledékeknél az egyébként jól működő tömény ecetsavas feltárás kevésbé használható, ezért itt a felmelegítés és lehűtés (fagyasztás)

környezetbarát technikáját használhatjuk felváltva, mert ezzel a technológiával a héjak mentén az üledék elválk és a kagylóanyag kinyerhető. Hasonló technikával, de a hűtés-fűtés melletti zárt térben a nyomás változtatásával gerincesek fosszilis csontjait is sikerült már kiemelni, illetve a réteglapok mentén lenyomatokat leválasztani és megvizsgálni még a paleozoikum korai szakaszában kialakult diagenizált üledékekben is.



322. ábra Egy közel ezer éves 50 hektáros (a fotózott központi területén 10 hektáros), több méter magas „Calusa indián” kagylóhalom a sekély vízi floridai (dunedini Pineland) eusztárium rendszerben, egy vízparti szigeten kialakítva. A történelmi és régészeti emlékhely Florida nyugati részén, Fort Myeris város előterében a tengerparton található (Forrás: az első szerző felvétele 2005-ből)

Kiemelkedő jelentőségük a kagylók vizsgálata szempontjából az ún. „kagylóhalomok” (**322. ábra**). Több ezer ilyen eltérő korú halom ismeretes a különböző óceánok és tengerek partján Alaszkától Japánon át Ausztráliáig, Új-Zélandig, a Karibi-térségtől Nyugat- és Észak-Európáig, Dél-Afrikáig. Az eddigi halmok elemzése alapján valamennyi emberi hatásra alakult ki és gyűjtögetett, döntően kagyló- (és csiga)héj maradványokból áll. Jelentőségük paleohidrológiai szempontból kiemelkedő, mivel a gyűjtögetett kagylóhéj rétegek (**323. és 324.**

ábra) éves, évszakos felhalmozásúak (325. ábra) és olyan jelentős mennyiségben jelentkeznek, hogy héjstatisztikai és héjak geokémiai vizsgálatára egyaránt alkalmasak.



323. ábra „Calusa indian” kagylóhalom döntően kagylóhéjából álló rétegei a Randell floridai (dunedini Pineland) történelmi és régészeti centrumból. A történelmi és régészeti emlékhely Florida nyugati részén, Fort Myeris város előterében a tengerparton található (Forrás: az első szerző felvétele, 2005)

A héjak ilyen irányú vizsgálatával a tengerpartokon végzett intenzív gyűjtögetés hatását, a héjak lamináinak kémiai elemzése nyomán pedig az egykori paleohidrológiai rendszerek változását lehet modellezni. A tengerparti kagylóhalmokat elemezve az utolsó 160-170 ezer év változásai követhetők nyomon, mivel a legidősebb halmok erre az időszakra, a középső paleolitikumra nyúlnak vissza, de az első kagylógyűjtési nyomok 1,5 millió évre, az alsó paleolitikumra tehetők. Ugyanakkor ismeretesek olyan ausztrál halmok, amelyek az 1920-as években még aktívan fejlődtek a gyűjtögető közösségek hatására.

A kagylóhalmoknak a paleohidrológiai elemzésekben kiemelt szerepe mellett ki kell emelnünk, hogy az egykori ember múltbeli környezetének vizsgálatát éppen

ezeknek a halmoknak a vizsgálatával kezdték el Észak-Amerikában, Japánban, Chilében és Észak-Európában az 1830-as és 1850-es évek között, mivel ezek a halmok kiválóan megőrizték 3D-ben az emberi tevékenység nyomait, és az eszközöket. Természetesen nem csak a tengerpartokon találhatunk kagyló és csiga gyűjtögetésre utaló nyomokat, hanem a szárazföldek belső területein a legjelentősebb, ma már sokszor feltöltődött folyók árterein, tavak peremén is kialakítottak az emberi közösségek édesvízi kagylóhalmokat.



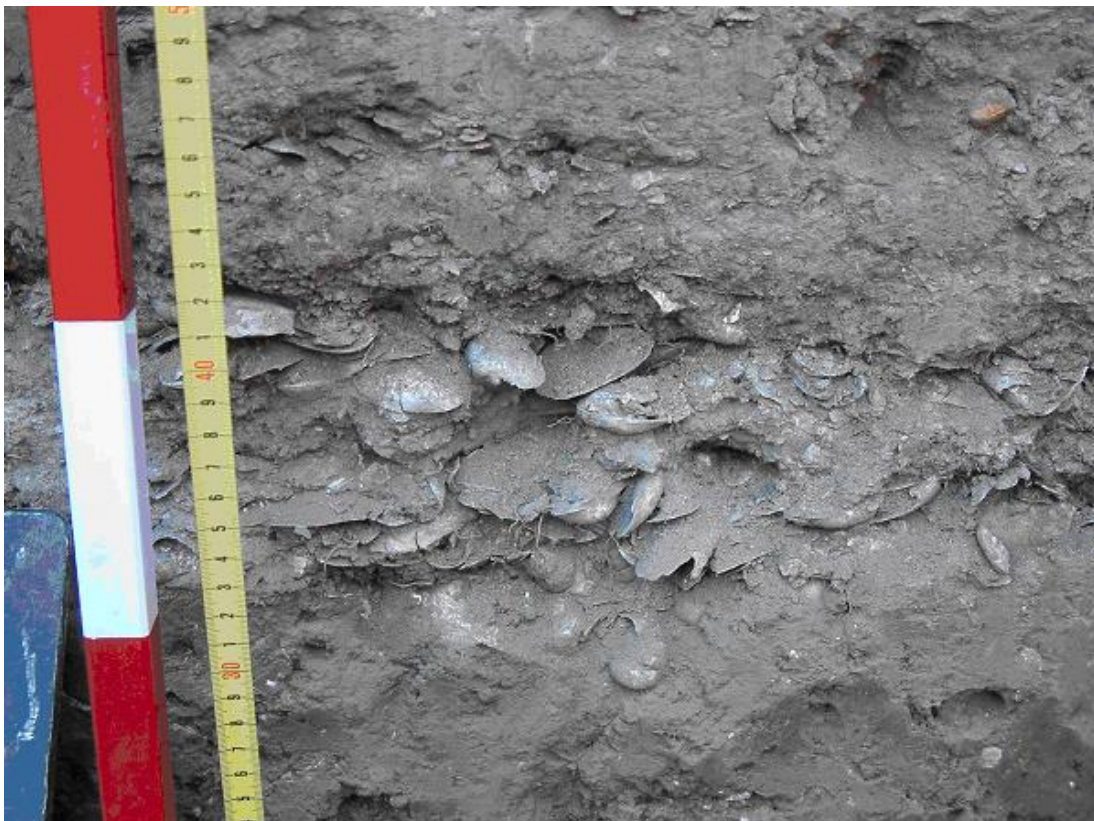
324. ábra „Calusa indián” kagylóhalom döntően összehordott kagyló- és csigahéjából és áradások (tengerszint emelkedések) nyomán kialakult rétegeinek váltakozása – rekonstruált életkép a Randell floridai (dunedini Pineland) történelmi és régészeti centrumból. A történelmi és régészeti emlékhely Florida nyugati részén, Fort Myeris város előterében a tengerparton található (Forrás: az első szerző felvétele, 2005)



325. ábra *Mercenaria campechiensis* (nehéz kagyló: A jelzésű rész) „*Calusa indián*” kagylóhalom egyik igen jelentős gyűjtögetett kagylóanyaga, amelynek félbevágott és csiszolt héjain (B jelzésű rész) jól láthatók az évszakos növekedési vonalak még makroszkóposan is, de mikroszkópi felvételen (C jelzésű rész, W = téli félévben kialakult növekedési vonalak) szinte a napi növekedési vonalak is elkülöníthetőek. A *Randell floridai* (dunedini Pineland) történelmi és régészeti emlékhely és bemutató Florida nyugati részén, Fort Myeris város előterében a tengerparton található (Forrás: az első szerző felvétele, 2005)

Ezek közül a legidősebb édesvízi kagylóhalmok az ausztrál Mungo-tóhoz kötődnek, ahol 35 ezer éve már gyűjtöttek édesvízi kagylókat (és csigákat) étkezési, munkaeszköz (például kagylókés) és díszítési célból. Az édesvízi kagylóhalmok elterjedése mégis csak a jégkor végi mezolitik halászó–vadászó–gyűjtögető közösségek kialakulásához kötődik Elő-Indiában, Hátsó-Indiában, Japánban, az amerikai kontinenseken, Afrikában és Európában egyaránt. Ennek oka nyilvánvaló, mivel a jégkor végén, a holocén kezdetén kifejlődött környezeti változások hatására a folyók árterei ekkor váltak olyan stabil vízellátásúvá,

illetve az év jelentős részében jégmentessé, amely lehetővé tette a kagylók stabil gyűjtését. A Kárpát-medencében is ismeretesek a Duna, a Tisza, a Körös folyókhoz kapcsolódó édesvízi kagylóhalmok, bár a világ többi részével ellentétben, itt, csakúgy, mint a Balkán-félszigeten, a kagylóhalmok az első neolitik kultúrákhoz, a Starcevo- és Körös-kultúrák közösségeihez (326. ábra), majd egy több évszázados helyben élő, preurbán szinthez, a késő-neolitik és bronzkori telkekhez kötődnek.



326. ábra A Nagykorú Tsz Gyümölcsös régészeti lelőhelyen feltárt Körös gödör Unio héjakkal kitöltött egykori talajjal kevert anyaga (Forrás: az első szerző felvétele)

Ezeknek a kagylóhalmoknak a feldolgozása a szegedi archeomalakológiai műhely kialakulásához, Czögler Kálmán szegedi reálgimnáziumi tanár, 1930-as években elkezdett malakológiai munkájához kötődnek. Ez a kezdeti feldolgozás – annak ellenére, hogy több ezer héj került elő a lelőhelyekről – a fajok meghatározásáig és az egyedek leszámolásáig jutott. Így a Kárpát-medencében található kagylóhalmok első átfogó archeozoológiai elemzése 1997-ben készült el a Polgár–Kenderföld bronzkori tellhez kapcsolódóan. A kagylóhalmok

kagylóanyagának archeozoológiai elemzésében pedig alapvető szerepet játszottak Kiss Árpád szegedi agrárkutató, malakológus által 1990-ben már közölt recens kagylókon végzett növesztési és biometriai elemzési vizsgálatai.



327. ábra Évgyűrű elemzésre elkészített Unio kagylómetszet a gorzsai késő neolitik tell kagylóanyagából (Forrás: az első szerző felvétele)

Ez az 1990-es években elkezdődött archeomalakológiai elemzési sorozat a taxonális felméréséken, dominancia viszonyokon túl a fajonkénti és az összesen fogyasztott kagylóhús megállapítása mellett kitért a gyűjtési időszak meghatározására és a gyűjtögetett kagylók korának megállapítására is. Ez a munka folytatódott a gorzsai, a szegvári, a tápéi (lebői) késő-neolitik tell, majd az ecsegfalvi, a nagykörűi, a tiszapüspöki, a szajoli, a maroslelei kagylóhalmok feldolgozásával, de már egy teljes anyagon, biometriai elemzéssel, a héjak csiszolatain (**327. ábra**) végzett kémiai és a növekedési vonal elemzéseivel kiegészítve (Gulyás Sándor vezette munkák, 2011).

A kagylóhalmok felhalmozódásának és az évenként a közösség által fogyasztott kagylóhús értelmezésében alapvető szerepet játszott az ezeken a halmokon először a szegedi archeomalakológiai kutatócsoport által végeztet radiokarbon alapú kronológiai elemzések is. Jelenleg a Földtani és Őslénytani Tanszéken Nagy Balázs PhD hallgató végez ilyen irányú archeomalakológiai munkákat a dunai térség legidősebb kora-neolitik Starcevo-kultúra bátaszéki megtelepedésén egy unikális jellegű kagylógödör anyagán. Munkájában a tiszai és a Körösök

folyó anyagának elemzéseit bővíti, elsősorban a kémiai vizsgálatok területén. Ugyanis az édesvízi kagylók előnye, hogy ún. „*filtráló életmódjuk*” miatt a vízben található nyomelemeket annak arányában építik be a héjukba, amilyen arányban ezek a vízben rendelkezésre állnak. Így a héjakban mért mangántartalom és a bioprodukciónak között szoros kapcsolat áll fent. S a recens kagylókon mért mangáncsúcsok és a fitoplanktonvirágzás jól párhuzamosíthatóak egymással.

A zöld algák képesek nagy mennyiségű Mn^{2+} -t megkötni, amely a pusztulásukat követően a bakteriális lebontás hatására felszabadul. A nagy fitoplankton virágzást jelentős méretű lebontás követi, ami nagy mennyiségű oxigén felhasználásával jár együtt. Az eutrofizáció mértéke és az oldott oxigén koncentráció között szoros a kapcsolat ennek következtében, a kagylóhéjak mangántartalma kiváló környezetjelző lehet. A csökkenő oxigénszint miatt megtörténik a vas és a mangán redukciója, aminek hatására a vízben alacsonyabb pH viszonyok alakultak ki. A Fe^{2+} , a Co^{2+} és a Zn^{2+} vízoldhatósága erősen függ a pH értékétől, ezért a mért elemtartalom ismeretében információt kaphatunk az egykori dunai vízi élettér pH viszonyainak változásairól. Bár ezek a kagyló vizsgálatok alapvető adatokkal szolgálnak az egykori Kárpát-medencét behálózó folyók paleohidrológiai jellemzőiről, de az előkerült anyagok sokrétű paleohidrológiai vizsgálata alapján egy rendkívül változatos, mozaikos felépítésű, élővíz ágakat és holtágakat egyaránt tartalmazó allúviumból kerültek begyűjtésre a kagylók. Ugyanakkor az egyértelműen megállapítható, hogy az emberi megtelepedések a nagyobb árvizek közötti szakaszokban jelentkeztek elsősorban. S bár a kagylóhalmok tonnákban mérhető mennyiségű kagylóanyagot tartalmaznak, de ez éves szinten néhány kiló kagylóhúst jelenthetett csak az ezt a táplálékot gyűjtögető közösség számára.

4.6.7.7. Lábasfejűek (Fejlábúak – Cephalopodák) paleohidrológiai jelző szerepe

A puhatestűek legfejlettebb csoportját alkotják. Nevüket a szájnylás körüli karok alapján kapták, amelynek száma a rendszertani besorolás alapját is alkotja. Külső vázas csoportjaik rendkívül jelentősek voltak a geológiai múltban, és a legteljesebb tengeri paleohidrológiai elemzéseket 500 és 70 millió évek között ezeknek az egykori élőlényeknek a maradványaira alapozhatjuk. Bár napjainkban csak néhány fajuk él már (a mintegy 430 millió éve kialakult és máig fennmaradt Nautilusfélék – csigaházás polipok: **328. ábra**).

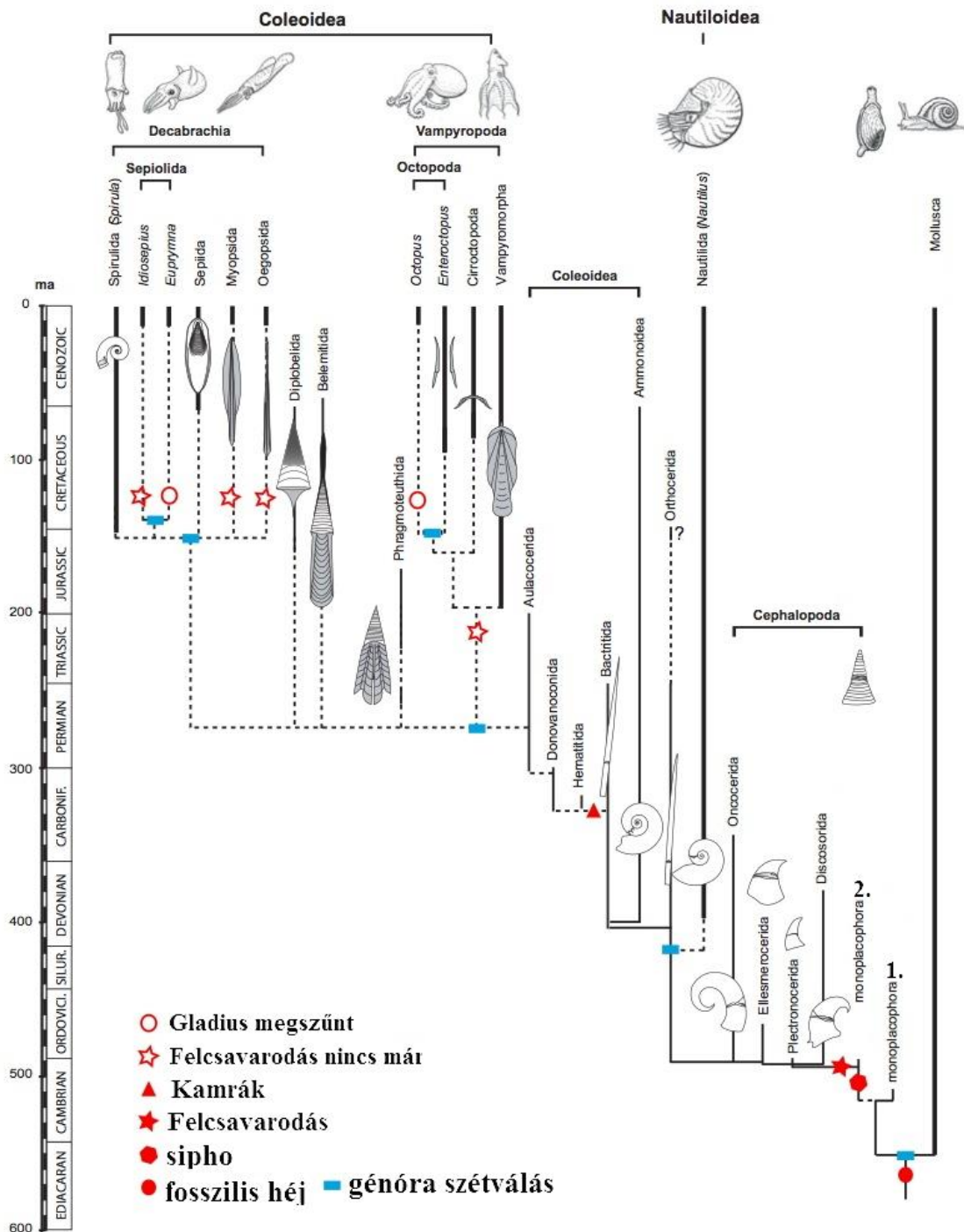


328. ábra Napjainkban is fennmaradt külső vázas fejlábú (*Nautilus pompilius*)
(Forrás: wikipedia-kiegészítve)

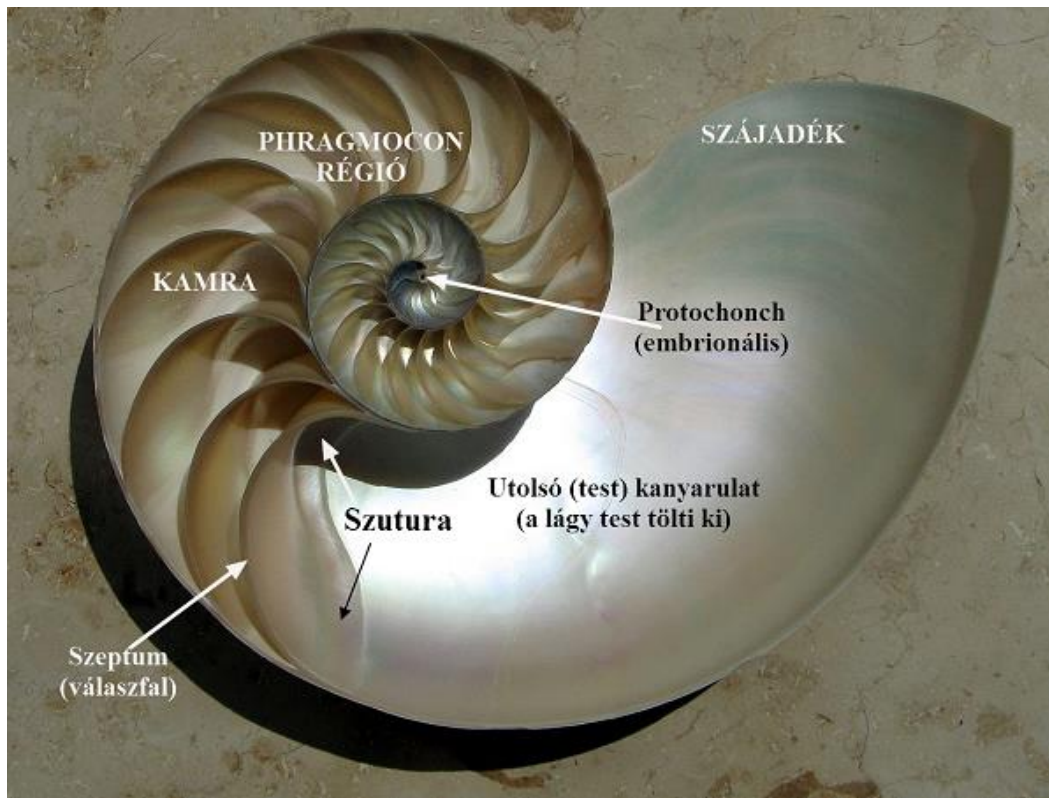
Viszont a mintegy 320 millió éve kialakult, majd igen jelentős fejlődésen átesett belső vázas csoportok alkotják a lábasfejűek mai legelterjedtebb taxonjait (nyolckarú polipok, tízkarú szépiák, tintahalak). A fejlábúakra jellemző a nagyon magas fokú szervfejllettség, a tölcsér (infundibulum) és a karok jelenléte), a felcsavarodást (flexiót) jelző U alakú bélcsatorna, a tengeri ragadozó életmód és a gyors törzsfjlődés. A cephalopodáknál valódi celebráció (központosuló idegrendszer) játszódott le a törzsfjlődés során és egységes porctokkal védett központosult idegdúc központ (agy) alakult ki ennél a

csoportnál. Látószervük rendkívül fejlett és arányaikban a legjelentősebb mérettel rendelkeznek a gerinctelenek között. A szájníylásnál két erős, fordított papagájcsőrre emlékeztető „állkapocs” helyezkedik el, amely egyes fosszilis formáknál elmeszesedve (*Rhyncholith*) maradt fenn. A szájadékban, a garatban helyezkedik el a reszelőnyelv, a radula. A bélcsatorna csavarodása miatt a végbélníylás iránya egyezik a szájníylásával. A köpenyüregben vannak a kopoltyúk, amelyek száma az ősi típusnál négy (Tetrabranchiata), a fejlettebb ma élő taxonoknál általában már csak két kopoltyú maradt fenn (Dibranchiata). A tölcsér a puhatestűek lábából módosult mozgásszerv, aminek az elkeskenyülő része a köpenyüregből kifelé irányul⁴⁶. A külső vázas fejlábúak mintegy 500 millió éve jelentek meg (**329. ábra**).

A külső váz anatómiája sokat változott, az egyes alaktól a felcsavarodott héjig (**330. ábra**). Ez utóbbi az egy síkban (nem spirálisan) felcsavarodott külső héj, mindmáig megmaradt. A felcsavarodásnál az utolsó kanyarulat többnyire csak részben burkolja be a korábbi kanyarulatokat. Az utolsó kanyarulattól szabadon hagyott, korábbi kanyarulatok kívülről is látható része a köldök. A szeptumok peremének érintkezési vonala a ház belső falával a kamravarratvonal, más néven szutúra⁴⁷. A kamravarratvonal egyedi fejlődése utal az egykori törzsfajlódási (makroevolúciós) folyamatokra. Különösen az ammoniteszek (kihalt ammonitesz alosztály taxonjainál) határozásánál van kiemelkedő szerepe a kamravarratvonalnak, hiszen itt a ház alakja és díszítése a törzsfajlódás során többször megismétlődik. A tényleges rendszertani különbség feltárására a kamravarratvonal vizsgálata a legalkalmasabb. A kamravarratvonal az ősi, még egyenes alakoknál (**330. ábra**) egyszerű, amikor azonban a ház felcsavarodik, a szeptum felülete, különösen a peremi része meghajlik, hullámos vonalat ír le (**330. ábra**).



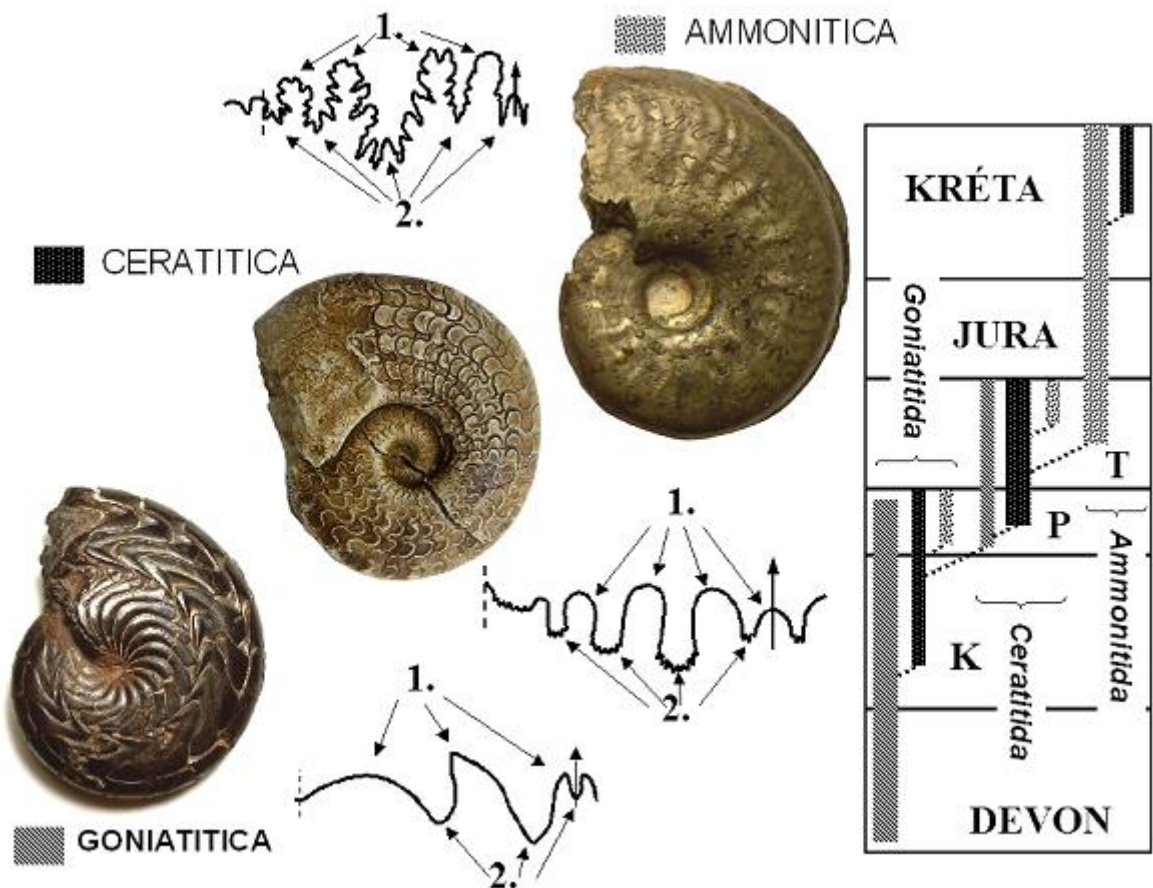
329. ábra Cephalopoda (Fejlábúak, Lábasfejűek) összehasonlító evolúciója és a törzsfajlás során kialakult anatómiai változások (1 = Monoplacophora szerű élőlények megjelenése, 2=Valódi Monoplacophora taxonok megjelenése, gladius = már kihalt belső vázasok egyenes, római kardra emlékeztető belső karbonátos izomtapadási testrésze (Forrás: wikiwand - módosítva)



330. ábra Külső vázas fejlábúak (*Nautilus*-féle) héjmetszetének anatómiája
(Forrás: wikipedia - kiegészítve)

A kamravarratvonal lakókamra felé eső részét nyeregnek (szella), hátrafelé irányuló részét lóbusznak nevezzük. A hullámos peremnek megfelelően váltják egymást a nyergek és lóbusok (**331. ábra**)⁴⁸.

A nyergek általában lekerekítettek, a lóbusok kihegyesedők. Elsősorban a lóbusok, de a nyergek is további apróbb, csipkeszerű elemekre tagolódnak a törzsfajlás során. Az ősi, de ma is élő külsővázas fejlábúaknál, a *Nautilus*-féléknél a lóbusvonal egyszerű, viszont a fejlett, de kihalt ammoniteszeknél a lóbusvonal az egyedi fajlás és a törzsfajlás során fokozatosan bonyolódik. Különösen fontos az ammoniteszeknél az első és második gázkamra közti szeptum kamravarratvonala (*primer szutura*). Ez az ősi ammoniteszeknél külső, oldalsó és belső lóbusból áll, valamint két nyeregből, a külső és a belső nyeregből.



331. ábra A felcsavarodott külső vázas kihalt lábasfejűek - ammoniteszek kamra varratvonal (szutura) típusainak kifejlődése időben (1 = nyereg, 2 = lóba, K = Karbon időszak, P = Perm időszak, T = Triász időszak) (Forrás: wikipedia - kiegészítve)

Az ammoniteszeknél általános jelenség, hogy a kamravarratvonal mindinkább bonyolódik, amint az embrionális kamrától a lakókamra irányába haladunk. Az embrionális kamrát a szifó köti össze a lakókamrával⁴⁹.

A szifó véredényszerű szövetből áll, amely hosszú, megnyúlt csőben húzódik. A szifó valamennyi kamrán végighúzódik, érintve minden szeptumot. A szifó és a szeptum találkozásánál alakul ki a szifótölcsér, ami előre- vagy hátrafelé irányulhat. A Nautilus-féléknél mindig a kamrák középső részén, tehát a fragmokónusz tengelyében helyezkedik el a szifó, és mindig peremi helyzetű volt a már kihalt ammoniteszeknél.

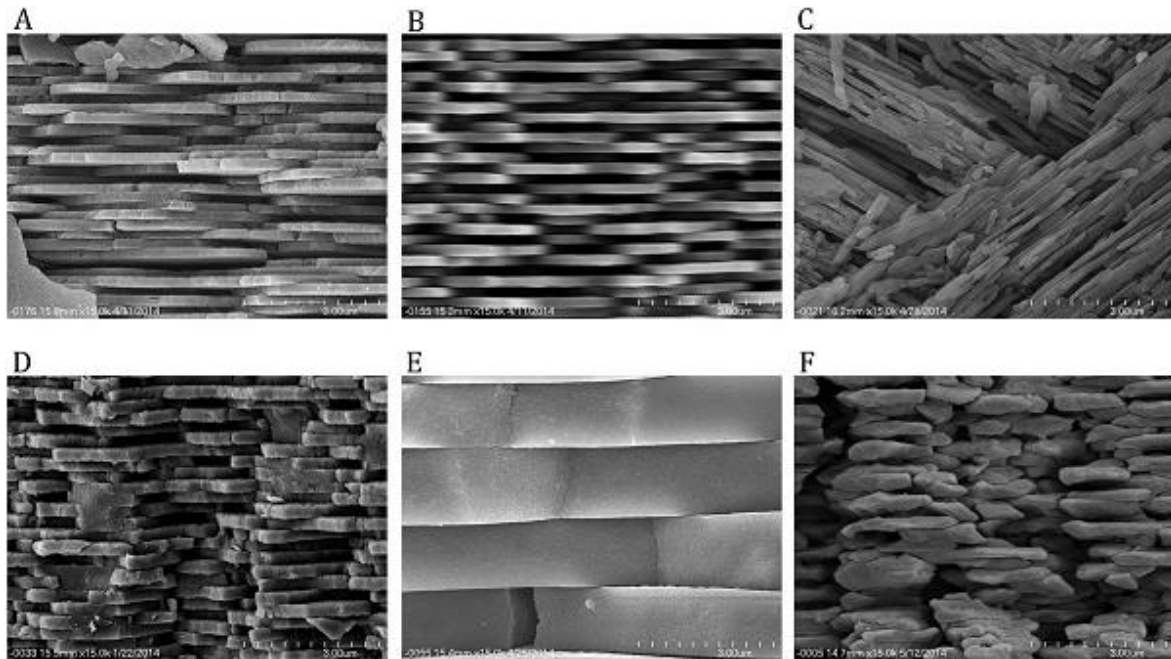


332. ábra Ép házzal fosszilizálódott ammonitesz, *Jeletzkytes* taxon az észak-amerikai kréta rétegekből (Forrás: wikipedia - kiegészítve)

Az ammoniteszek szifója mindig keskeny, henger alakú. Ezzel szemben a Nautilus-félék ősein nagyon változatos lehet a szifó felépítése, amely gyakran széles és benne különböző vázelemeket találunk, lemezeket, tölcséretet, gyűrűszerű elemeket. A külső vázas cephelopodák háza általában díszített (**332. ábra**), de a fosszilis alakok döntő része kőbél formájában kerül elő.

A *Nautilus*-félék díszítése általában egyszerű, annál változatosabb viszont az ammoniteszeké. A sima házú alakokon a finom növedékvonalak mindegyike megfelel egy-egy korábbi szájadékperemnek. A bordák erősebbek, mint a növedékvonal. Ezek az ammoniteszek leggyakoribb díszítőelemei. Az ammoniteszek bordái, kevés kivételtől eltekintve, alapvetően különböznek a kagylók vagy a csigák bordáitól. A kagylók, és különösen a csigák házát a bordák csak kívülről díszítik, belül sima marad a ház. Az ammoniteszeknél

viszont - a lebegés megkönnyítése végett - hullámos a házfal, illetve, az ezt elválasztó köpenyfelület⁵⁰.



333. ábra Különböző ammonitesz és kagyló taxonok gyöngyház rétegének összehasonlító nagy felbontású pásztázó elektronmikroszkópiás (SEM) elemzése (Sessa, J.A., Larina, E., Knoll, K., Garb, M., Cochran, J. K., Huber, B.T., Landman, N.H. 2015. Ammonite habitat revealed via isotopic composition and comparisons with co-occurring benthic and planktonic organisms. Proceedings of the National Academy of Sciences, 112(51), 15562-15567. – első szerző [corresponding author] írásbeli engedélyével közölve)

A = *Discoscaphites iris* (kréta időszakbeli ammonitesz) héjanyagából készült felvétel, B = *Eubaculites carinatus* (kréta időszakbeli ammonitesz) héjanyagából készült felvétel, C = *Gyrodes crenata* (kréta időszakbeli csiga) héjanyagából készült felvétel, D = *Sphenodiscus pleurisepta* (kréta időszakbeli ammonitesz) héjanyagából készült felvétel, E = *Nucula percrassa* kréta időszakbeli kagyló) héjanyagából készült felvétel

A *Nautilus*-félék külső része általában lekerekített, az ammoniteszeken azonban gyakran kiélesül a külső rész. A hosszirányú taréjt (karina) kétoldalt árok (szulka) szegélyezheti. Eltekintve a külső, szerves eredetű periosztrakumtól, a külsővázások háza aragonit, ami az utólagos diagenézis során kalcittá alakulhat. Mikroszkopikus aragonit szemcsék alkotják a *Nautilus*-félék külső prizmarétegét (gömbös-prizmaréteg), oszlopos kristályok az ammoniteszekét (**333. ábra**). A külső prizmarétegen belül következik a gyöngyházréteg, amelyet a kagylókéhoz hasonlóan táblaszerű mikrokristályok építenek fel (**333. ábra**)⁵¹.

Gyöngyhágréteg alkotja a szeptumot is. A gyöngyhágrétegen belül van a félig-prizmás réteg, amely helyenként hiányozhat. A belsővázak váza lényegében megfelel a külsővázak házának, de egyrészt új vázrésszel egészült ki, másrészt az egyes vázrészek a különböző csoportoknál módosultak. Megvan az embrionális kamra, a protokonch, a kamrázott és szifóval átjárt fragmokónusz, de a lakókamra többé-kevésbé elcsökevényesedett, vagy csak nyelvyszerűen előreugró hátlemezként maradt meg, de teljesen el is tűnhetett⁵². A kihalt csoportok proosztrákuma még aragonitból épült fel, a maiaknál már szarunemű, nem tartalmaz karbonátot. Új képződmény a rosztrum, ami a protokonchtól kiindulva fokozatosan körülveszi a fragmokónuszt. A rosztrum szivar alakú, tömött kalcitváz (**334. ábra**), amelyet az állat kívülről, újabb és újabb mészburok elválasztásával növel. A rostrum keresztmetszetben sugaras szerkezetű. Kitűnően fosszilizálódik. A törzsfejlődés során a rostrum is elcsökevényesedhet és csak a fragmokónusz marad meg vagy pedig az sem.



334. ábra Kihalt devon időszaktól a kréta időszak végéig létezett belső vázas fejlábúak, Belemnites lágy testének belső részén elhelyezkedő aragonitból felépülő rostrum észak-amerikai kréta rétegekből (Forrás: wikipedia - kiegészítve)

Mivel a lágy test csak rendkívüli helyzetben fosszilizálódik, ezért bizonyítékok csaknem teljes hiánya miatt az Ammonoideák lágytestének anatómiája a

legvitatottabb terület. Pedig az olyan kérdések, mint hogy hány karjuk vagy kopoltyújuk volt, volt-e tintzacskójuk, mekkora és milyen látószerveik voltak stb. jelentősen közelebb vinne minket a csoport eredettörténetének megfejtéséhez. A gyér leletanyag mellett tovább nehezíti a tudományos munkát az is, hogy ha találnak is valamilyen átkristályosodott lágyszövetet egy fossziliában, annak pontos meghatározása igen nehéz. Vannak olyan szervek, mint például az állkapocs vagy a radula (reszelőszerű rágók), amelyek eleve keményebb anyagból, pl. kitinből álltak, így egy szerencsés kövület esetén ezek még könnyebben felismerhetők. De az olyan, igazán puha szöveteket, mint pl. a köpeny vagy a karok, a legkivételesebb esetben is nehéz felismerni. Érdekesség, hogy az ilyen szervek beazonosításához még aktuálpaleontológiai vizsgálatokat is végeztek: megnézték, hogy a mai belsővázazs fejlábúak egyes szervei mennyi idő alatt lesznek az enyészeté (rothadnak el), és az ez alapján felállított időbeli sorrend segített kizárni bizonyos testrészeket a kövületek tanulmányozásánál.

Az ammoniteszek átfogó elemzésével foglalkozó *Christian Klug* svájci kutató és csapatának munkája nyomán lehetőségünk nyílt az ammoniteszek lágystestének anatómiáját is bemutatni. *Klug* munkáiból⁵³ kitűnik, hogy a beazonosított szervek a kövületek döntő többségénél kitinből álló rágószervekhez tartoznak. Utána következnek az emésztőszervek (gyomor és bélrendszer), kisebb számú példánnyal a nyelőcső, a kopoltyú és a köpeny (**335. ábra**). Sajnos az olyan fontos szervek, mint a szemek vagy a karok/csápok maradványai, csak feltételezhetők néhány fossziliánál, bár néhány szerencsés esetben a karok lenyomata is fennmaradt (**335. ábra**).

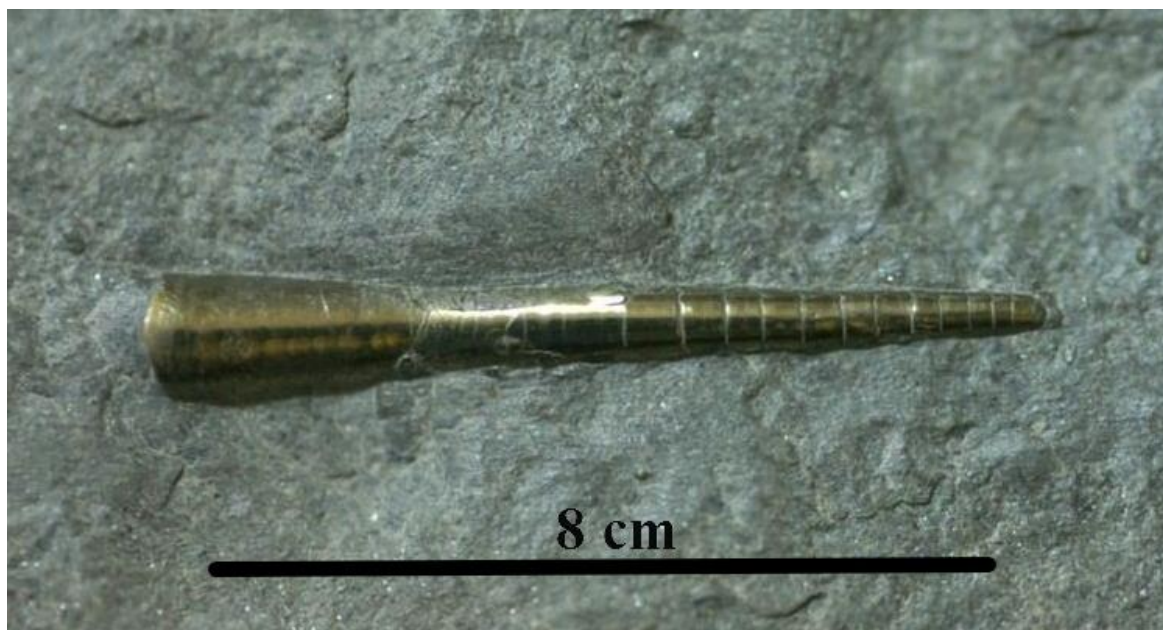
Ezzel tovább pontosítható az egyes taxonok életmódja és ezt felhasználva sokkal pontosabb paleohidrológiai elemzéseket készíthetünk. Annak ellenére, hogy az ammoniteszek lágyszövetek maradványai korlátozottan állnak rendelkezésünkre, azok megerősítik a korábbi következtetéseket, vagyis az Ammonoideákat rendszertanilag továbbra is a puhatestűek törzsén belül a *Cephalopoda*, azaz a fejlábúak osztályába soroljuk. Ugyanakkor több eredmény sugallja azt, hogy

anatómiailag, így valószínűleg filogenetikailag is közelebb álltak a mai belső vázas fejlábúakhoz, mint a Nautilus-félékhez. Ezt támasztja alá egy német-amerikai kutatócsoport 2011-ben kiadott cephelopodák evolúcióját bemutató átfogó tanulmánya is. Ebben felhasználták a molekuláris evolúcióbiológia technológiai vívmányait is, és a molekuláris óra eljárásával térképezték fel a jelenleg élő fejlábúak filogenetikáját (329. ábra).



335. ábra Kihalt belső vázas Belemnites kréta időszaki fosszília lágy test és karok körvonalával, gladiussal, radula nyelv, és emésztőrendszer maradványaival, lenyomataival (Forrás: wikipedia – kiegészítve)

Nagyon érdekes, hogy ez a vizsgálat minden eddigi, fossziliák alapján kialakított következtetést megerősített, és az Ammonoideák csoportjának megjelenését is az eddig feltételezett időszakra, a kora devonra, 400 millió évre teszi. Ami a családfát illeti, a molekuláris vizsgálatok azt is megerősítették, hogy az Ammonoideák a mai belső vázas fejlábúak vonaláról, egy, a nautiluszoktól már korábban elkülönült ágról, a *Bacritida* rendről (336. ábra) válhattak le.

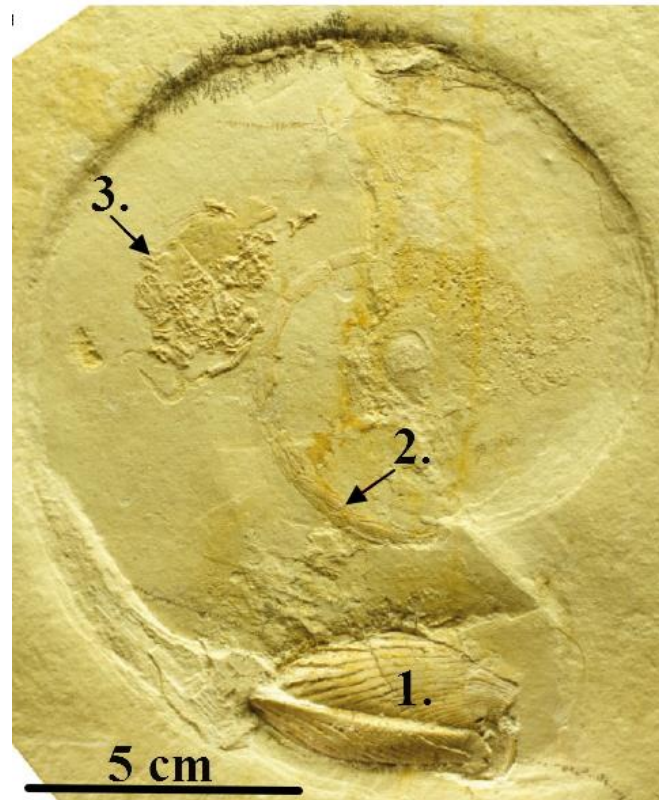


336. ábra Korai, devon időszakbeli, evolúciós szempontból, ammoniteszek eredete szempontjából kiemelkedő jelentőségű Bactritida rendhez sorolható orthoconicus (egyenes, felcsavarodás mentes) taxon maradványa (Forrás: wikiwand - kiegészítve)

Valamennyi mai fejlábú váltivarú, és a felépítésük alapján feltételezzük, hogy a kihalt taxonok is azok voltak. A megtermékenyülés mindig belső, és részt vehet benne az ivarszervvé módosult kar is. Feltűnő, hogy az összajúakra jellemző trochofóra lárvaállapot és az ebből kialakuló veligera lárva hiányzik. A fejlábúak nagy része lárvaállapot nélkül, közvetlenül fejlődik ki a megtermékenyített petéből. Keveset tudunk a fosszilis alakok egyedi fejlődésének korai szakaszáról⁵⁴.

Az Ammonoideák táplálkozásával kapcsolatban jóval pontosabbak az információink és ez is alátámasztja ennek a kihalt alosztálynak a kiemelkedő paleohidrológiai rekonstrukciós szerepét. Ugyanis egész tisztán kivehető fossziliák állnak a rendelkezésünkre ahhoz, hogy rekonstruáljuk a kihalt néhai csigaházak polipok étrendjét. Ezek a leletek fontos információkkal szolgálnak a paleohidrológia számára. Egyrészt, hogy mi volt az ammoniteszek helye a tengeri táplálékláncban, és arról is, hogy melyik tengeri lélettér, milyen paleohidrológiai rendszer elemei voltak. A paleohidrológiai-geológiai-paleontológiai eredmények alapján az ammonoideák táplálékai foraminiferák

(szilárd vázú egysejtűek), planktonikus tengeri liliomok, apró rákok, csigák, kagylók és szivacsok lehettek elsősorban (337. ábra).

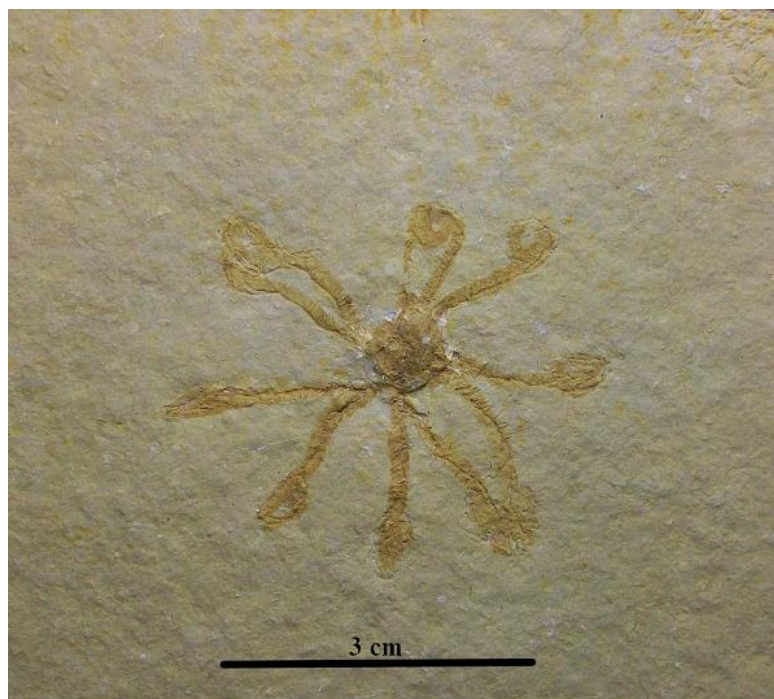


337. ábra Jura időszakbeli *Neochetoceras ammonitesz* németországi unikális maradványa papagájcsőrszerű szájszervvel (aptichus-al = 1), siphon maradvánnyal (= 2), és jura időszaki, mára kihalt *Saccocoma* csalánozó táplálék maradvánnyal az egykori ammonitesz bélcsatornába (= 3) (Forrás: researchgate: Ritterbush, K.A., Hoffmann, R., Lu Lukeneder, A., De Baets, K. 2014. *Pelagic palaeoecology: the importance of recent constraints on ammonoid palaeobiology and life history*. *Journal of Zoology*, 292, 229-241. az első szerző [corresponding author] írásos hozzájárulásával bemutatva)

A következtetések levonása olyan fossziliák alapján történt, amelyeknél az ammonitesz héj lakókamrájában egyéb maradványokat is kimutattak. Ezen példányok esetében néhányukra vannak alternatív magyarázatok is: ahol kisebb méretű ammonoidea héjak vannak, ott meg kell vizsgálni, hogy nem embrionális maradványokról van-e szó, esetleg elképzelhető, hogy az állat saját testében gondozta az ivadékát. Más töredékes vázmaradványoknál pedig az is előfordulhat, hogy azok utólag, a betemetődés során sodródhattak a megüresedett lakókamrába. Ettől függetlenül vannak olyan leletek, ahol

egyértelmű, hogy az állat által elfogyasztott táplálékáról van szó, ezek a maradványok pedig egytől egyig arra utalnak, hogy az Ammonoideák mikropredátorok, vagy más szóval mikrofág életmódot folytató állatok voltak, azaz kisméretű élőlényekkel táplálkoztak (**337. ábra**)⁵⁵.

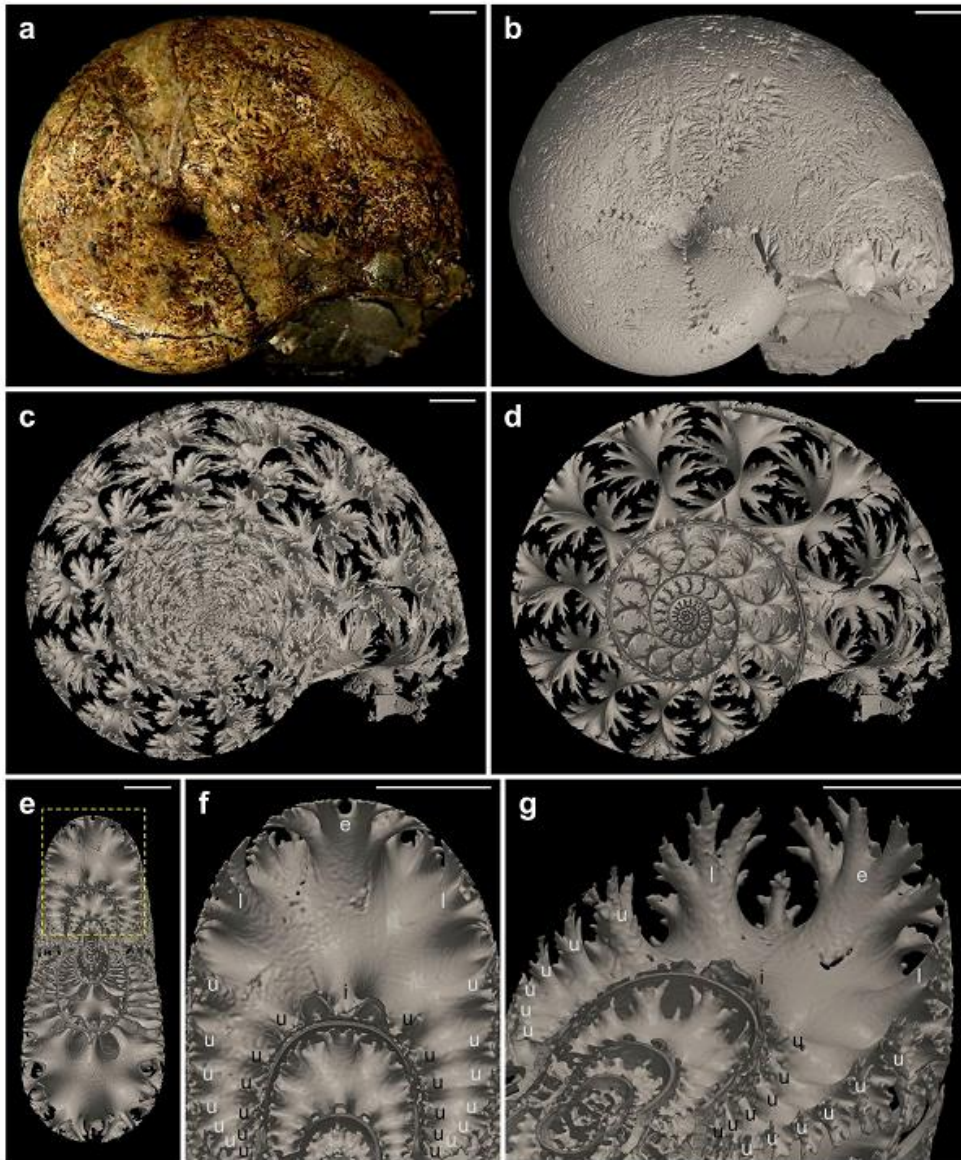
Ezen életmód feltételezése egyébként összecseng azokkal a vizsgálatokkal, amelyek az ammoniteszek rágószerveit vizsgálták. Ezek arra a következtetésre jutottak, hogy a mezozoós ammonitesz formák többsége képtelen lehetett nagyobb méretű táplálék megragadására és elfogyasztására. Maradtak tehát a mikroszkopikus méretű planktonikus lények, esetleg kisebb úszó vagy aljzathoz rögzített puhatestűek, tüskésbőrűek, csalánozók (**338. ábra**)⁵⁶. Természetesen arra nincs egyértelmű adat, hogy mekkora részük szerezte be ezt a táplálékot aktívan úszva, vagy a vízben lebegve, és mekkora részük az aljzatról felcsipegetve az ott élő, vagy elhullott állatokat. A planktonikus tengeri csalánozók talán legismertebb példája az, amely a jura időszaki híres solnhofeni litográf pala egyik leggyakoribb ősmaradványa, és több alkalommal találták meg vázelemeiket ammonitesz fosszíliák lakókamrájában (**337. és 338. ábra**).



338. ábra Egy lebegő – úszó életmódot folytató kihalt csalánozó (*Saccocoma*) jura időszakbeli lenyomata. Ez a taxon gyakran volt az ammoniteszek zsákmánya (Forrás: wikipedia – kiegészítve)

Kiemelkedő jelentőségű a solnhofeni felső jura litograph palában talált nyomfosszília (*Lumbricaria*), pontosabban fosszilis ürülék (koprolit). Mivel ezek a leggyakoribb koprolitok solnhofeni felső jura litograph palában és a leggyakoribb fossziliák ugyanitt az ammoniteszek, ezért feltételezhető, hogy ezek a *Lumbricaria* maradványok az ammoniteszek ürülékei voltak. Ezek a leletek is segítenek megérteni az ammoniteszek táplálkozását, annak mechanizmusát. Táplálkozási szempontból vizsgálták meg az ammoniteszek kitines kalcitból álló szájszervét (*aptychus*: **337. ábra**) is, mivel korábban azt feltételezték, hogy ezek az állat védelmét szolgálták olyan módon, hogy veszély esetén az állat visszahúzódott a házába és az *aptychus* szervvel lezárta azt⁵⁷.

Viszont jelentős méretbeli problémák jelentkeztek a szájadék és az *aptychus* mérete között és ez ellentmond a védelmi funkciónak. Így újravizsgálva felmerült, hogy az *aptychus* az ammoniteszek szájszervének része volt (hasonlóan mint a mai polipok papagájcsőrszerű képződménye) és az állkapocs alsó részét alkothatta egy táplálkozási modell szerint.

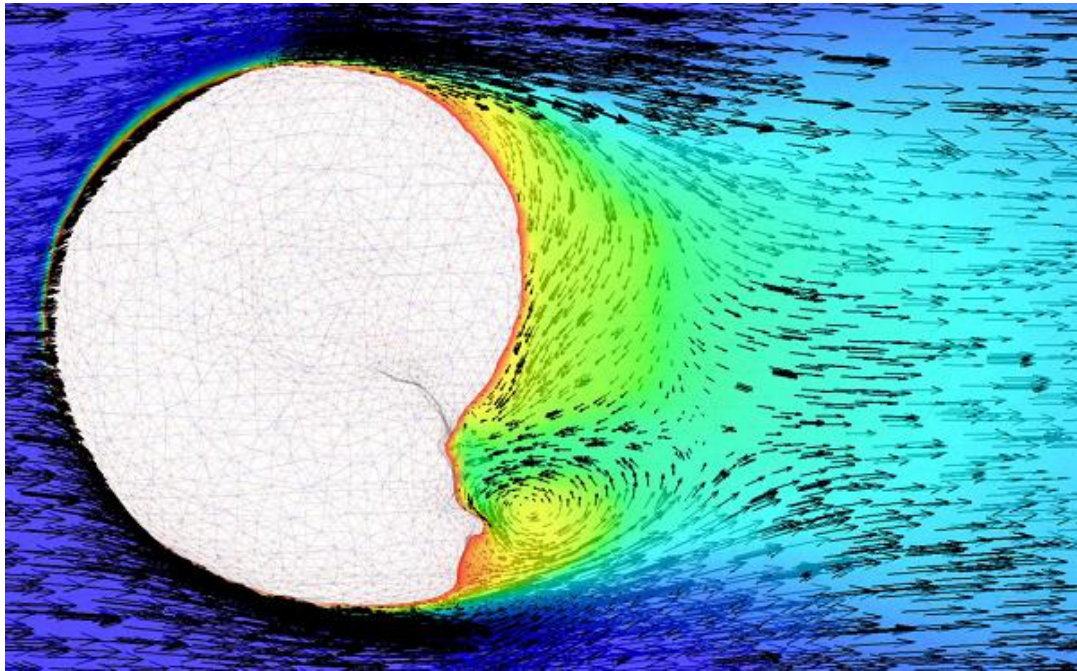


339. ábra *Damesites damesi* ammonitesz kőbél kamraválaszfalainak mikrocomputer tomográfias képe a = *Damesites damesi* kőbél normális fényben fotózva, b) tomográfban felszíni réteget fotózva, c) microtomográf (CT) sekély mélységű felvétel 3D-ben, d) microtomográf (CT) felvétel középső mélységű szakaszban fotózva, e) keresztmetszeti kép, és keresztmetszeti kép kinagyítva, f) 3D-be elforgatott microtomográfias felvétele az e jelzésű szeptum (kamraválaszfal) keresztmetszeti képnek, g) az e jelzésű szeptum (kamraválaszfal) keresztmetszeti képe 90 ° elforgatva, (a képen belüli jelzések: e = külső lóba, u = köldök lóba, i = belső lóba, fehér csík = skála = 5 mm) (Forrás: researchgate: Inoue, S., Kondo, S. 2016. Suture pattern formation in ammonites and the unknown rear mantle structure. Scientific reports, 6, 33689, az első szerző [corresponding author] írásos engedélyével bemutatva)

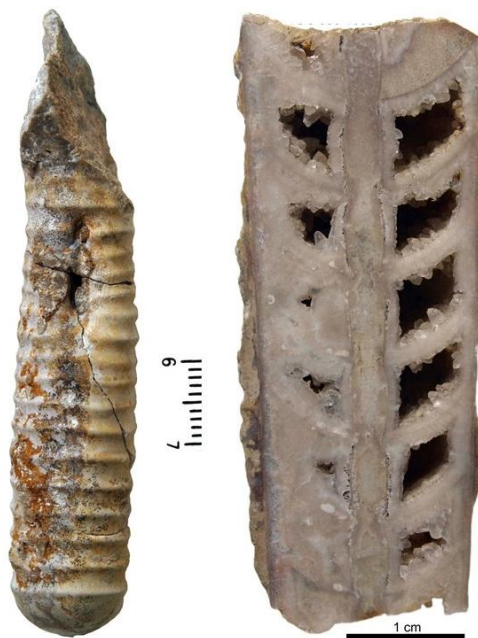
Sőt egyes, még megerősítésre váró hipotézisek még azt is feltételezik, hogy ezt az alsó állkapcsot, mint egy kanalat használhatták az ammoniteszek, és ezzel

gyűjtögették be a laza üledékes aljzatba, az inbentoszba bújt táplálék állatokat. Paleohidrológiai szempontból nagyon fontos kérdéskör az ammoniteszek úszása és lebegése. A Nautilus-félék mindkettőre képesek, de a genetikai elkülönülés miatt a Nautilusz taxonoknál tapasztalható jelenségek (az aktualizmus elve) csak erőteljes kontrollal használható. Bár a mérnöki modellek, vízkiszorítási matematikai megközelítések ellentmondani látszanak az ammoniteszeknél mind a lebegésnek, mind az úszásnak, ezek a modellek inkább az inbentosz (iszaplakó) életmódot látszanak alátámasztani, csak úgy, mint a héjak erőteljes díszítettsége (**339. ábra**). Mégis a ritka unikális lágytest leleteknél a planktonikus életmódot folytató zsákmányok az ammoniteszek gyomrában, a pelágikus (nyílt tengeri) környezetben lerakódott üledékekben in situ (autochton – helyben) történő beágyazódása az ammonitesz héjaknak.

Ugyancsak az úszó életmódot támasztják alá a számítógépes modellkísérletek (**340. ábra**), és az áramló vízzel teli tartályokban tesztelt ammonitesz testek is. Ezen kísérletek nyomán egyértelmű, hogyha nem is mindegyik taxon, de az ammoniteszek jelentős része képes volt úszni. A számítógépes kísérletek még érdekesebb eredményt hoztak: volt olyan háztípus, amelynél a házat díszítő bordák nemhogy rontottak volna az áramvonalasságon, hanem még elő is segítették azt. Már a kambrium időszak utolsó szakaszában megjelentek az első valódi fejlábúak héjai, amelyek szeptumain (kamraválaszfalain) keresztülhatolt a szifó. A szifó a kamrák gáztérfogatának szabályozására szolgál. Az egyenes (**341. ábra**) vagy enyhén görbült ház (**342. ábra**) felcsavarodása volt a fejlődés következő lépcsőfoka.



340. ábra Ammoniteszek ház számítógépes szimulációs modell kísérlete – az áramló vízben tesztelése az ammonitesz háznak (Forrás: Szalapaj, P. 2014. *Contemporary architecture and the digital design process*. Routledge, London, Allison, P.A., Sutton, M.D., Gorman, G.J., Piggott, M.D. 2018. *Computational Fluid Dynamics Of Oxycone Ammonites*. Hebdon, N., Ritterbush, K. A., Choi, Y. 2020. *Computational fluid dynamics modeling of fossil ammonoid shells*. *Palaeontologia Electronica*, 23(1). Fitos, A. 2018. *Ismeretlen ismerősök: az Ammonoideák titkos élete.*)



341. ábra Kambrium időszakának fiatalabb szakaszából származó még egyenes házzal rendelkező korai Cephalopoda (*Nautilus* féle) taxon háza és keresztmetszete, kamrákkal és közepén a szifóval (Forrás: <https://fossilid.info>)



342. ábra Ordovicium időszakából származó még enyhén görbült házzal rendelkező korai Cephelopoda (Nautilus-féle) (Forrás: <https://fossiilid.info>)

Az ősi alakok a terhelést (amely őket vízszintes helyzetbe hozta) a csúcshoz közel eső kamrák feltöltésével, belülről oldották meg. Maga a felcsavarodás - ellentétben a csigákéval - egy síkban történt, kezdetben csak részleges volt. A ház kezdeti része egyenes maradt, csak a lakókamrához közel eső rész csavarodott fel (**343. ábra**).

TUG 1589-76



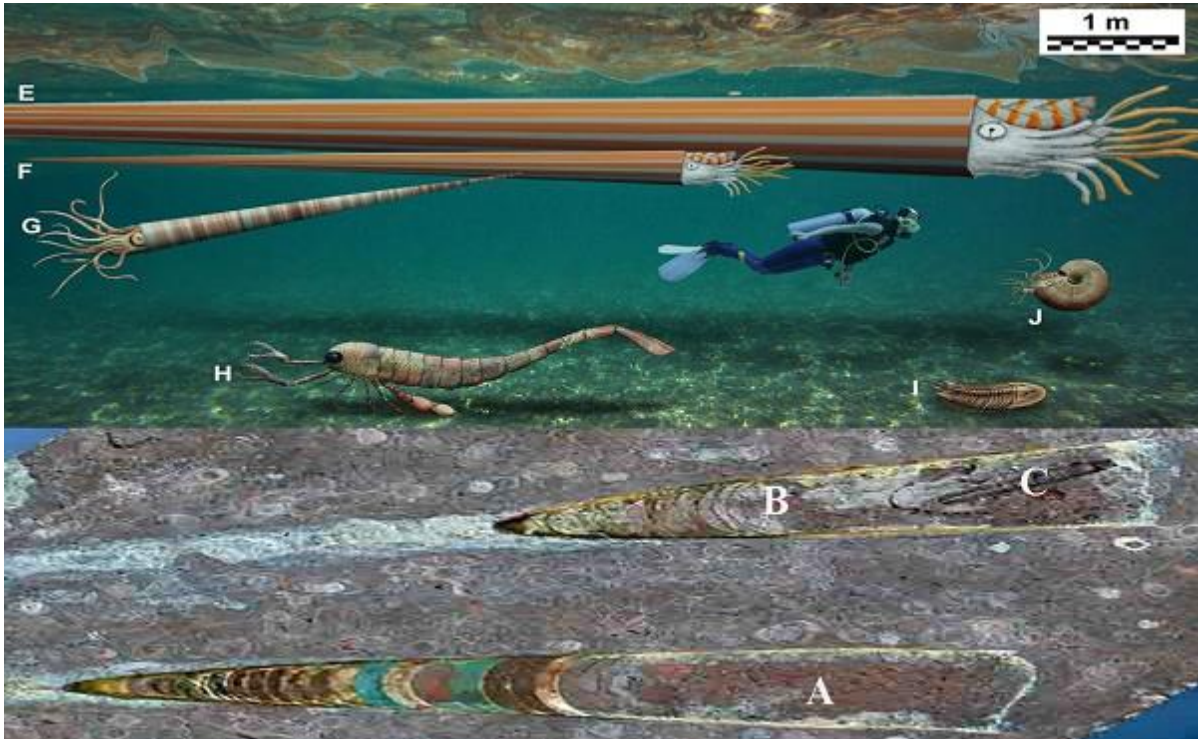
343. ábra Szilur időszakból származó, már felcsavarodásnak indult házzal rendelkező Cephelopoda (Ammonitesz-féle) (Forrás: <https://fossiilid.info>)

Később a felcsavarodás teljessé vált, és a kanyarulatok mind érintették egymást. A felcsavarodás nagyon sok előnnyel járt. A felhajtóerő központja nem a lágytest mögé, hanem a test súlypontja fölé került, hasonlóan a léghajók súlyeloszlásához. Ezzel az állat egyensúlyi helyzete a vízben biztosabb lett, az oldalirányú mozgás és a ház irányításának lehetőségei pedig bővültek. A felcsavart házú alak jobban manőverezhetett, mint az egyenes házú. Kedvezőbb volt a felcsavarodás a térkihasználás szempontjából is. Egy kétméternyi, felcsavart házú külsővázasa háza kiegyenesítve 12 m hosszú lenne. Ilyen méretet az egyenes házú ősök sohasem értek el (**344. ábra**), a leghosszabb egyenes vázú korai cefalopodák az *Orthoceras*, *Cameroceras*, *Endoceras* taxonok közül kerültek ki és mintegy 9-10 métereseek voltak⁵⁸. A külsővázasa lábasfejűek fejlődése azonban nem állt meg a ház felcsavarodásával, hanem két irányban folytatódott a törzsfajlás során.

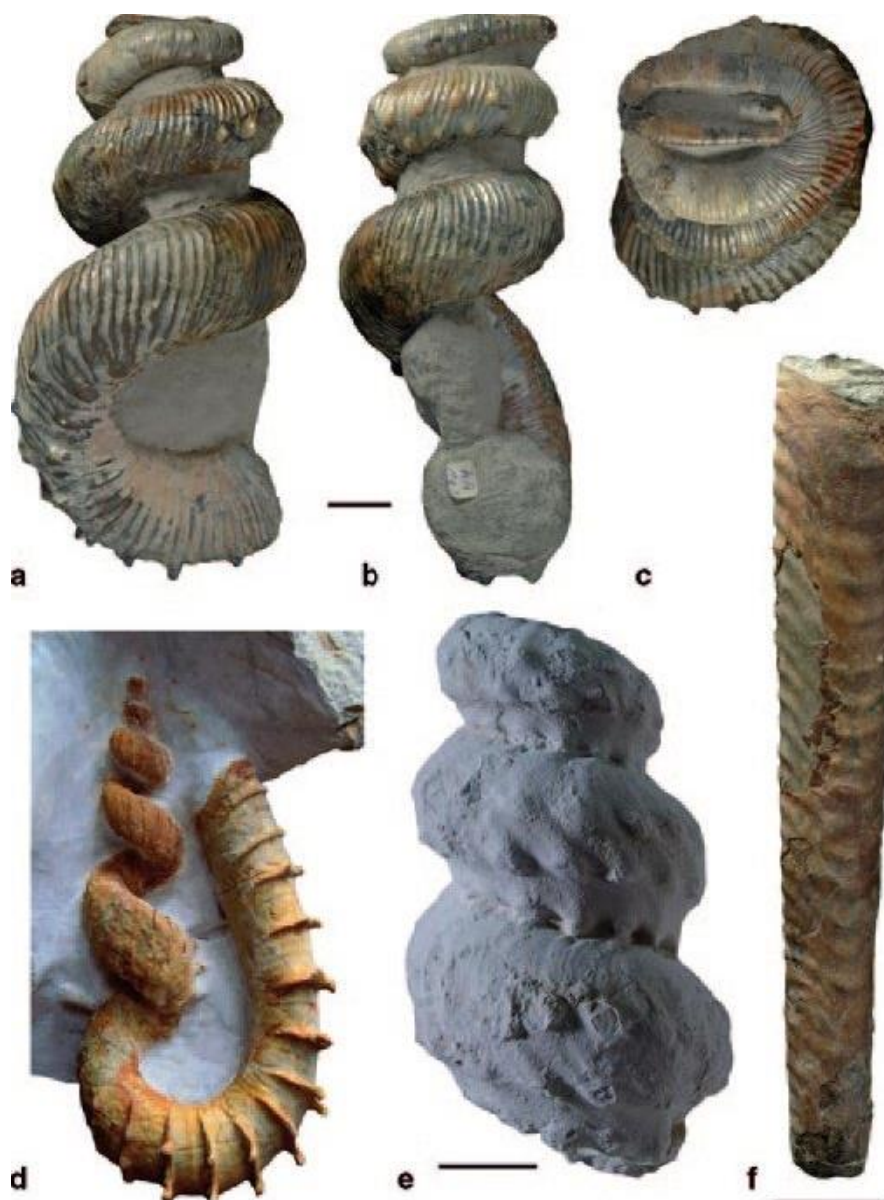
A Nautilus-félék háza általában sima maradt, de a kamraválaszfal peremi részein kisebb hullámok jelentek meg. Az ammoniteszek törzsfajlását viszont a külső házfal díszítettsége és a belső kamraválaszfal peremi részének bonyolult rajzolata jellemzi. Valószínűsíthető, hogy a díszítés a vékony házfal megerősítését segíthette elő. Viszont a váz külső részén megjelenő csomók és tüskék védő, valamint egyensúlyozó szerepet játszottak. Ugyancsak alkalmazkodásnak kell tekintenünk a kamraválaszfalak peremének fokozatos megvastagodását és díszítésének változását. Ez a kamraválaszfal felületének növekedését jelentette, egyrészt a belső szilárdítás fokozásával, másrészt a hidrosztatikus berendezés fejlődésével, az egykori paleohidrológiai körülményekhez való alkalmazkodással magyarázhatjuk.

Különleges funkciót tölthetett be a kicsavart házú ammoniteszek megjelenése (laza spirális, kampószerű, botszerű, sőt teljesen egyenes alakok), mivel ezek az alakok a földtörténet során többször, kisebb eltérésekkel, de megjelentek. Ezek a különleges alakok a földtörténeti középkor végén élő, nem szabályosan felcsavarodott heteromorfikus alakoknál váltak gyakoriakká (**345. ábra**). Ez a

jelenség valószínűleg életmódváltozással járt és feltételezhető, hogy a heteromorf alakok egy jelentős része nektonikus és planktonikus életmódot folytatott⁵⁹.



344. ábra A legjelentősebb hosszúsággal rendelkező egyenes házú kora paleozoikumi Cephalopodák (*Orthoceras*, *Cameroceras*, *Endoceras*) összehasonlító mérete [A és B = több méter hosszúságú *Othoceras* – *Nautilus* féle egyedek a szilur időszakból, palás üledékből, C = egy kisebb méretű *Orthoceras*, E = mintegy 10 méteres hosszúságú *Endoceras giganteum* (*Nautilus* féle) *Ordovicium* időszak második feléből, F = mintegy 5 méteres hosszúságú *Endoceras giganteum* (*Nautilus* féle) *Ordovicium* időszak második feléből, 3 méteres hosszúságú *Deiroceras hollardi* *Devon* időszakból, H = tengeri skorpió (*Erupterygii*) *Jaekelopterus rhenaniae* a *Devon* időszakból, J = *Hungioides bohemicus*, 90 cm hosszú *Trilobita*, I = 50 cm átmérőjű *Carinoceras*, *Devon* időszakból (Forrás: wikipedia – kiegészítve)

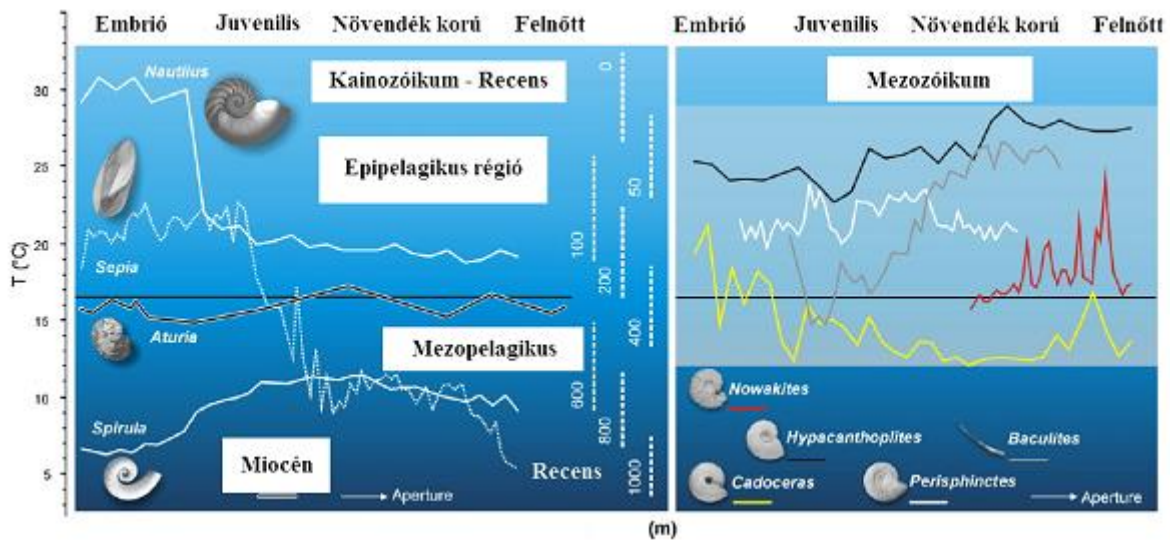


345. ábra Néhány késő kréta időszakából származó heteromorf ammonitesz *a, b, c = Didymoceras nebrascense*, *d = Hyphantoceras reussianum*, *d = Mariella (Wintonia) brazoensis*, *f = Baculites anceps pacificus*, (Forrás: wikipedia - kiegészítve)

Az ammoniteszeknél újabban elkülönítik a kicsiny (mikrokonch), általában rendellenes szájadékú alakokat a nagyobb méretű (makrokonch), egyszerű szájadékú alakoktól, és feltételezik, hogy a kicsik hímek, a nagyok nőstények lehettek. A mai fejlábúak mind ragadozók, amelyek a gerinctelenek közül gyors mozgásukkal és intelligenciájukkal egyetlen versenytársai a halaknak⁶⁰. Általában halakkal, rákokkal táplálkoznak, a halak (cápák), valamint a harmadidőszaki Nautilus-féléknek a kialakuló cetek között találjuk fő

ellenségeiket. A nehézkesen úszó Nautilus kénytelen beérni döggel is vagy lassan mászó állatokkal (pl. férgek, rákok). Valamennyi fejlábú kizárólag tengeri, nagyrészt epibentosz (tengerfenéken élő) és batipelágikus (nyílt mélytengeri zónában, 1000-4000 méter között élő) szervezet, vagy pedig a tengerfenék közelében él (**346. ábra**). Feltehetően az epibentoszba (tengerfenéken, vagy annak közelébe élők közé) tartoztak a fiatal ammoniteszek is. Az üledékföldtani és az ammoniteszek egyedfejlődését egyaránt vizsgáló paleohidrológiai elemzések alapján mind a mezozoikumi, mind a kainozoikumi fejlábúaknál az egyedfejlődés során élőhely (habitat) váltás következett be, csak úgy, mint azt a ma élő cephalopodáknál megfigyelhetjük (**346. ábra**)⁶¹.

Így a paleohidrológiai elemzéseknél kiválóan alkalmazhatók az ammonitesz héjak, kőbelek és az eltérő egyedfejlődési szakaszba tartozó egyedek és ezen fosszilikák nyomán lehatárolt egykori paleohidrológiai környezetek. Magyarországon kiemelkedő jelentőségű mezozoikumi ammonitesz-lelőhelyek ismereteseek, amelyekhez jelentős paleohidrológiai feldolgozások kapcsolódnak már *Böckh János* (1872) munkái és idősebb *Lóczy Lajos* 1891-ben megkezdett Balaton és környékét feldolgozó grandiózus kutatásától kezdődően. Ugyanis *Fülöp József*, *Géczy Barnabás* döntően ammoniteszekkel foglalkozó paleontológus akadémikusok iskolateremtő tevékenysége nyomán *Vörös Attila*, *Pálfy József*, *Haas János* akadémikusok, *Galács András*, *Főzy István*, *Buday Tamás*, *Császár Géza* professzorok és munkatársaik, többek között *Bujtor László*, *Dulai Alfréd*, *Kázmér Miklós*, *Kordos László*, *Piros Olga*, *Szabó József*, *Szente István* paleontológusok is átfogó, ammoniteszre, és más őslénytani adatokra alapozott, triász, jura és kréta időszakokra vonatkozó paleohidrológiai tanulmányokat tehettek közé.



346. ábra A paleohidrológiai elemzéseknél felhasznált rekonstrukciós modell az ammoniteszek nemzedékváltozásához kapcsolható élőhely (habitat) váltások napjainkban (recensen), a kainozóikumban és a mezozoikum során (Forrás: researchgate: Ritterbush, K.A., Hoffmann, R., Lu Lukeneder, A., De Baets, K. 2014. Pelagic palaeoecology: the importance of recent constraints on ammonoid palaeobiology and life history. *Journal of Zoology*, 292, 229-241. – kiegészítve, magyarra fordítva)

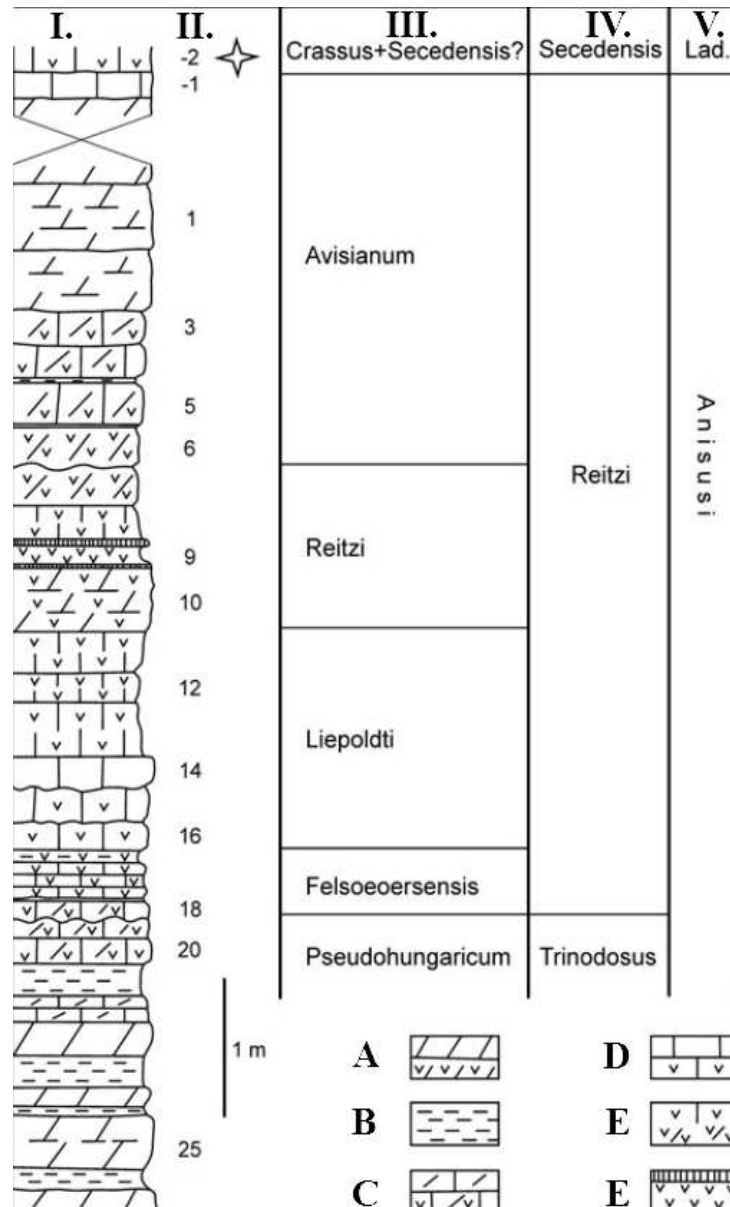
Munkájuk nyomán a Dunántúli-középhegységben, elsősorban a felsőörsi, tatai, bakonycsérnyei, tagyoni, úrkúti, pénzesgyőri, szentkirályszabadi mezozoós ammonitesz lelőhelyek kiemelkedő jelentőségük nemzetközi szinten is és kutatásaik, publikációik⁶² nyomán készíthettük el az ammoniteszek paleohidrológiai szerepének bemutatását is. A balatonfelvidéki Felsőörs községhez tartozó Forrás-hegyen nemzetközileg is jól ismert középső triász rétegsor bukkan ki a felszínre (**347. ábra**).



347. ábra A felsőörsi Forráshegyi védett geológiai feltárásánál Gulyás tanár úr terepgyakorlatot vezet (Forrás: Csökmei Bálint intézeti mérnök felvétele – hozzájárulásával közölve)

A kovás mészkő- és márgarétegek számos ammoniteszt tartalmaznak, köztük a *Reitzites reitzi* fajt, amelyről egy rétegtani szintet, az ún. „Reitzi zónát” is elneveztek (348. ábra).

A felsőbb rétegekben az ammoniteszek az uralkodó ősmaradványok és különösen a *Ptychites*-félék (349. ábra) nagyon gyakoriak. Az aszófői Farkó-kő mesterséges árkaiban *Balatonites balatonicus* (350. ábra), valamint *Norites*, *Bulogites* és *Schreyerites* ammoniteszek találhatók. A nemesvámosi Katrabóca területén a *Protrachyceras*, a *Joannites* és az *Arpadites* (351. ábra) példányok gyakoriak.



348. ábra A Vászolyi Formáció rétegszlopa a szentkirályszabadjai feltárásban az ammonoidea biosztratigráfiai beosztás feltüntetésével (Forrás: Vörös, A. 1993. Redefinition of the Reitzi Zone at its type region (Balaton area, Hungary) as the basal zone of the Ladinian. *Acta Geologica Hungarica*, 36(1), 15-38, a szerző írásos engedélyével közölve)

I = Rétegsor, II = Rétegszámolás, III = ammonoidea szubzónák, IV = ammonoidea zónák, V = emeletek
 A = dolomit, tufás dolomit, B = agyag, C = dolomitos mészkő tufával, D = mészkő tufával, E = meszes tufit, dolomitos tufit, csillag = *Tacinites cf. crassus*, és *Nevadites* sp. taxonok előfordulása, Lad. = ladiniai emelet



349. ábra Triász korú nektonikus ragadozó életmódot folytató, egész Tethys és Pacifikus régióban elterjedt, a magyarországi anisusi képződményekben is előkerült *Ptychites ammonitesz* taxon (Forrás: wikipedia - kiegészítve)



350. ábra A Tethys ősóceán területén több helyen megtalált *Balatonites balatonicus* ammonitesz típuspéldánya a Balatonfelvidéki Mencshely község középső triász rétegsorából (Forrás: Dr. Főzy István címzetes egyetemi tanár felvétele, írásos engedélyével bemutatva)



351. ábra Arpadites ammonitesz a nemesvámosi Katrabóca középső triász rétegsorából (Forrás: Dr. Főzy István címzetes egyetemi tanár felvétele, írásos engedélyével bemutatva)

A biosztratigráfiai besoroláson túl átfogó paleohidrológiai tanulmányok is készültek a Dunántúli-középhegység (és a Mecsek területén) feltárt triász, jura és kréta időszaki ammoniteszek nyomán. Az alsó triászban az olenyoki emeletben jelennek meg a perm végi nagy kihalást túlélő ammoniteszek, mindössze két taxonnal, de az anisusi emeletben az ammoniteszek fajszáma már 56-ra nőtt. Bár a korai triász ammonitesz diverzitás növekedésénél a globális események, a perm végi kihalás eseményt követően a globális bioszféra újraépülését, regenerációját valószínűsíthetjük, de ezt követően a Tethys-rendszerben kifejlődött tengerelöntések és tengerszint növekedésének hatása jelentkezett. Az anisusi emelet kezdetén az Aszófői Dolomit és Iszkahegyi Mészköhöz és Megyehegyi Dolomit a lagunáris és szupretidális paleohidrológiai környezete nem kedvezett az ammoniteszeknek, azért itt egy fajdiverzitási minimum alakult ki. Majd a középső triászban erőteljes a fajsza szám növekedése, különösen a bentonikus ammoniteszek fajsza számának növekedése háttérben igen jelentős paleohidrológiai változás játszódott le. Így a Tethys peremén kifejlődött

karbonátos rámpa tektonikusan feldarabolódott, és a kimélyülő tengerperemeken, a kialakuló változatos felszínű tengeralatti lejtőkön az ammoniteszek számára új ökológiai niche-k fejlődtek ki. Ezen paleohidrológiai változás, a kialakult változatos tengeralatti felszín indukálta környezeti sokszínűség hatására az ammoniteszek evolúciója így felgyorsulhatott és a fajszám megemelkedett. Majd a középső triász végén egy újabb paleohidrológiai átalakulás következett be, és a tengeri medencék kimélyülése, a mezopelágikus régió kiterjedése és dominánssá válása nyomán az ammoniteszek diverzitása lecsökkent. Viszont a medencék fokozatos feltöltődésének hatására (a Veszprémi Marga kifejlődése) sekélyebb vízi környezetek is kialakultak.



352. ábra Tatai geológiai kert felső triász és jura rétegsorának részlete (Forrás: Dr. Molnár Dávid egyetemi adjunktus terepgyakorlati felvétele - hozzájárulásával közölve)

Ezen tényező, valamint a csapadékosabb éghajlat által indukált finomszemcsés terrigén üledékes anyag beszállítódása, és a kialakult oldott és lebegtetett

tápanyag mennyiségének növekedése kapcsán újból megemelkedett a pelsói régió ammonitesz fajszáma, különösen a tenger alatti lejtők progradációs részén. A jura időszakból igen jelentős számú, ammoniteszekben gazdag karbonátos üledékes rendszeret ismerünk Magyarországon, a Villány belterületén lévő Templom-hegy klasszikus rétegsorától, az úrkúti és bakonycsernyei feltáráson át a tatai geológiai kert jura rétegsoráig (352. ábra).

Bár mindegyik lelőhely kiemelkedő jelentőségű, de a legjobban megközelíthető a tatai geológiai kert, amelyik jól kiépített, kiváló terepgyakorlati hely, ezért ennek a lelőhelynek a bemutatására koncentrálnak a jura időszi pelsoi egység ammonitesz faunájának és paleohidrológiai szerepének bemutatásánál. A tatai geológiai kert északnyugati végén, közvetlenül a Kálvári-domb temploma alatti régióban található a bemutató legidősebb kőzete a galamszürke színű felső triász korú, az egykori árapály övben és az árapály öv alatti jól átvilágított sekélytengeri környezetben felhalmozódott kőzetfajták szabályos váltakozásából, a lofer ciklusokból álló Dachsteini Mészkö⁶³. Az üledékciklusok a Föld pályaelem-változásaihoz köthető tengersizint ingadozásához kapcsolódik. Egy-egy (csillagászati, extraterresztriális, vagy Milankovic) ciklus a mintegy 19-26 ezer évek közötti tengersizint változását őrzi, a tengersizint emelkedésétől a tengersizint csökkenéséig. A ciklus kezdetén néhány centiméter vastagságú vörösesbarna színű agyagos réteg, őstalaj (A tag) húzódik, de a tenger előrenyomulásánál ez a trópusi laterit talajszint döntően elmosódik, így hiányozhat, kisebb mértékű eróziós diszkordancia nyomán.



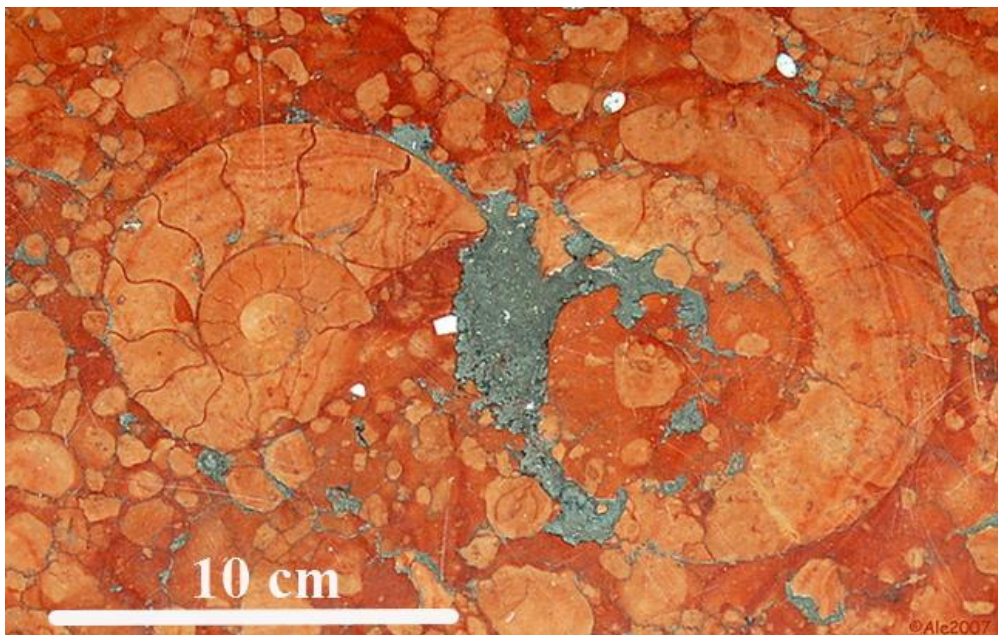
353. ábra A triász időszakra jellemző, triász végén kihalt vastag falú, szív alakú *Megalodus* kagyló egy példánya (Forrás: wikipedia - kiegészítve)



354. ábra *Megalodus* kagylók egykori élőhelyzetben betemetődve, beágyazódva a felső triász korú Dachsteini Mészköben, a lofer ciklus C tagjában (Forrás: wikipedia - kiegészítve)

Erre a szintre települ az árapály övezetben élt kékalgák vékony lemezes szerkezetű sztromatolit rétege (B tag), majd a vízszint emelkedésével 10-20

méter mély, jól átvilágított tengeri aljzatot vastag héjú, triász idősakra jellemző *Megalodus* kagylók (353. és 354. ábra) népesítették be, és akár több méter vastagságú *Megalodus*-os karbonátos pad fejlődhetett ki. A vihardagályok idején a kagylók üledékkel temetődtek be és maradványaink *in situ* beágyazódva, egykori élőhelyzetben maradtak fenn (354. ábra). A tatai rétegsoron a felső triász világosszürke színű rétegekre jura idősakban felhalmozódott halvány rózsaszín, majd vörös színű mészkőrétegek települtek. Az üledékrétegek színének megváltozása a világtengereken kifejlődött paleohidrológiai átalakulás következtében jött létre. Ezek a változások egy globális környezeti krízishez kapcsolódnak, amelyben több élőlény kihalt. A triász időszak végén és a jura kezdetén keletkezett mészkőrétegeket közel függőleges hasadékok szelik át a tatai bemutató területén, helyenként pedig a hasadékok bonyolult hálózata alakult ki.



355. ábra *Ammonitico rosso* kőzetfácies, mélytengeri környezetben képződött vörös színű, hematitban gazdag, ammoniteszek maradványait tartalmazó mészkő – hazánkban, a Gerecsében több helyen is vörös márvány néven díszkönek bányászták (Forrás: wikipedia – kiegészítve)

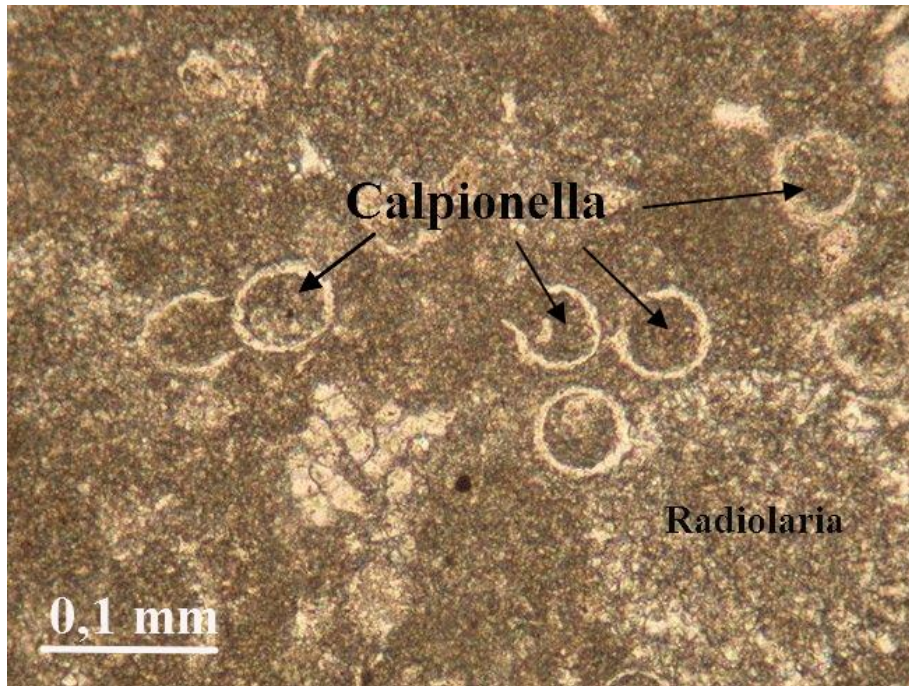
A hasadékrendszer világos vörös, a jura tengerben képződött mészkő és a triász mészkődarabkák töltik ki. A jura idősakban az erőteljes tektonikai mozgások nyomán jellegzetes árkos–sasbérce szerkezetek alakultak ki a tengeri borítás

alatt és ennek nyomán differenciált élőhely szerkezet jött létre a sasbércek (horsztok) felszínén kifejlődő sekélytengeri, vagy szárazföldi fáciesektől, a tenger alatti, horsztok oldalán kifejlődött lejtőüledékeken át a mélytengeri árkokban felhalmozódott környezetig. A mélytengeri árkokban halmozódott fel a jura időszak egyik legmarkánsabb kőzetfáciése, a paleohidrológiai szempontból is kiemelkedő jelentőségű *Ammonitico rosso*, ammonitesz tartalmú vörös mészkő (355. ábra).

A tatai geológiai park jura rétegeinek elemzése alapján egyértelműen kirajzolódik, hogy ez a fácies több paleohidrológiai változás nyomán kialakult kőzetrétegből áll. A jura időszak kezdetén mintegy 199-200 millió évvel ezelőtt rózsaszín mészkövek megváltoztak és 190 millió éve keletkezett világos vörös mészkő szabad szemmel is látható ősmaradványokat tartalmaz, de alárendelt mennyiségben. Ugyanakkor apró pörgekarúak (brachiopodák) és jóval nagyobb méretű ammoniteszek olykor előkerülnek ebből a szintből. Viszont mikroszkóp alatt azonban tengeri liliumok (crinoideák) apró váztöredékei, tengeri szivacsokból származó apró kovatúk és mészvázú egysejtűek (foraminiferák) maradványai is megfigyelhetők. Az egykori élőlények maradványai döntően sekélytengeri üledéklerakódási környezetre utalnak az ekkor képződött rétegekben. A rétegsorban egyre fiatalabb szintek felé haladva látható, hogy a kőzetrétegek egyre sötétebb árnyalatúak lesznek és vastkosabb, néhány decimétert átfogó rétegvastagságú szintek fejlődtek ki. A rétegek felszínén centiméteres átmérőjű csőszerű képződményeket figyelhetünk meg, amelyeket barnásvörös agyagos mészkő tölt ki. Valószínűsíthető, hogy a jura tengerek fenekén egykor élt, iszapba beásó szervezetek, elsősorban tengeri férgek nyomai maradtak így fenn. Erre a szintre világosabb és sötétebb foltokat tartalmazó vörösbarna színű mészkőréteg sorozat települt. A sötétebb foltokat tengeri liliumok töredékei alkotják. A foltos, vörösbarna mészkőrétegek felett sötét barnásvörös, agyagos és mészkőrétegek váltakozását figyelhetjük meg a tatai feltárásban. A mészkőrétegekben centiméteres átmérőjű fekete gumókat

figyelhetünk meg, amelyek vas-mangán-oxid ásványokból állnak. Ezek a rétegek mintegy 165-178 millió évvel ezelőtt keletkeztek, a korábbiaknál jóval mélyebb tengerben. Erre utal az, hogy a fenéklakó (bentosz) szervezetek maradványai már szinte teljesen hiányoznak, helyettük a lebegő (planktonikus) és az úszó (nektonikus) szervezetek maradványai válnak uralkodóvá. A 160-165 millió év közötti jura időszakban egysejtű kovavázú sugárállatkák (radioláriák) vázainak tömegéből álló tűzkőréteg keletkezett. Ennek következtében a jura tenger süllyedése–kimélyülése olyan mértékű volt, hogy vízmélység elérte a karbonát kompenzációs szintet és megindult a karbonátos vázak visszaoldódása és kovavázú egysejtűek, ebben az esetben Radiolaria egyedek héjai halmozódtak fel, és diagenizálódva (közetté válás során) flint sávvá (tűzkő réteggé) alakultak. A jura időszak végén az üledék akkumuláció lelassult, így 1 millió év alatt csupán néhány centiméter üledék keletkezett. Feltételezhető, hogy lerakódásmentes periódusok is kialakultak ebben az időszakban. Az üledékfelhalmozódás mentes periódusokban a bentoszt borító kemoszintetizáló baktériumok élettevékenysége nyomán kialakult vas-mangán-oxid kérget alkotott az tengerfenék felszínén, befedve és kiváló tafonómiai állapotban megőrizve az aljzat fölötti vízoszlopban élt, majd elpusztulásuk után a tengerfenékre került szervezetek vázának iszappal kitöltődött maradványait. A geológiai park felső szintjében, így a megközelítőleg 150 millió éves kérgesült tengeraljzati rétegek is megfigyelhetőek, ammonitesz maradványok tömegével. A jura és kréta időszak határa ezen szint felett, mintegy 145 millió évnél, egysejtű mészvázú plankton állatok, *Calpionella* maradványok (**356. ábra**) alapján húzták meg a tatai feltárás rétegsorozatában. A kréta időszakban is kiemelkedő jelentőségű paleohidrológiai változások rekonstruálhatók a tatai mészkő sorozat feltárásában, vagy akár a lábatlani Nagy-Bersek-hegy rétegsorán, de az ammoniteszek paleohidrológiai jelzőszerepe a pénzegyőri (Tilos-erdőnek nevezett) kréta időszaki feltárásokban a legkifejezettebb. A szürkés színű homokos mészmárgában, a Pénzeskúti Márgában vagy

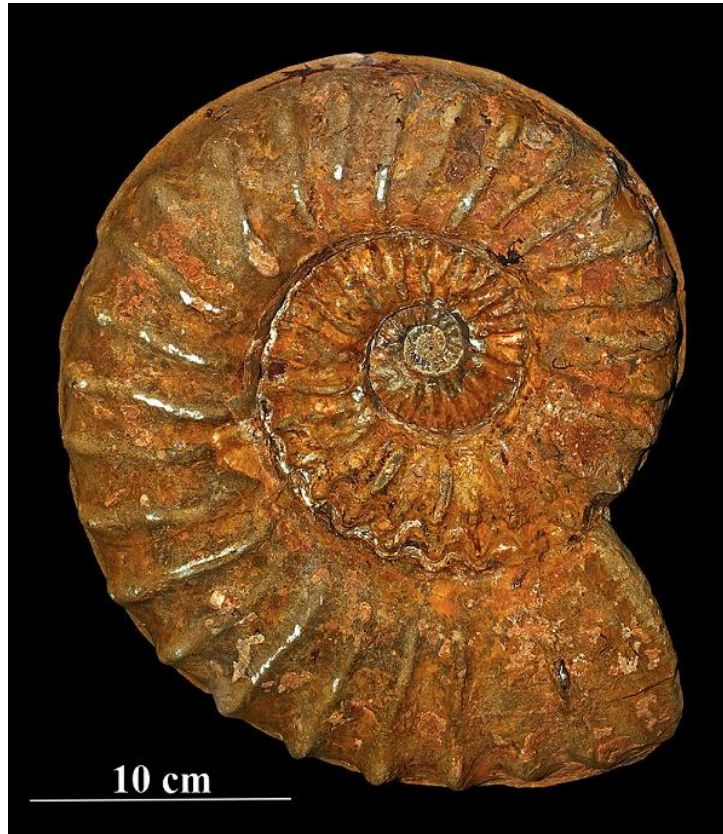
turriliteszes márgában rendhagyó módon csiga alakban spirális felcsavarodott kréta időszi ammoniteszről, a *Turrilites* taxonról (357. ábra) kapta a nevét. Az ősmaradványokban nagyon gazdag alsó rétegek tömegesen felhalmozódtak ammonitesz, csiga, kagyló és tengeri sün fossziliákat tartalmaznak⁶⁴. Az ammoniteszek egy része különösen szép, mivel a példányok héja is megőrződött. A *Mortoniceras* taxonok (358. ábra) szögletes kanyarulat keresztmetszetű, erős bordákkal és csomókkal díszített vázú állatok voltak. A heteromorf *Anisoceras* (359. ábra) korai kanyarulatai csigavonalban csavarodtak, majd egy egyenes szakaszban és visszahajló kampóban folytatódtak. A *Scaphites hugardianus* fajnak rövid, kampószerűen kicsavarodott külső kanyarulata volt, amelyet sűrű és finom bordák díszítettek (360. ábra)⁶⁵. A Turriliteszes márga képződése során a kréta időszi tenger maximális vízmélysége 200 méteres lehetett, de ciklusosan változott a vízmélység a vízparti mocsaras területektől a sekélytengerig. A szubtrópusi–trópusi mállás és terrigén agyag (talaj) behordás hullámszerű felerősödése hatására, amelyet a kréta képződményben kimutatható triász korú bemosódott sporomorfák is megerősítenek, jött lére a márgás kifejlődés (a mészkő helyett). A szelvény kiemelkedő jelentősége még, hogy a zárwatermők megjelenése és arányuk uralkodóvá (dominánsá) válása is megfigyelhető.



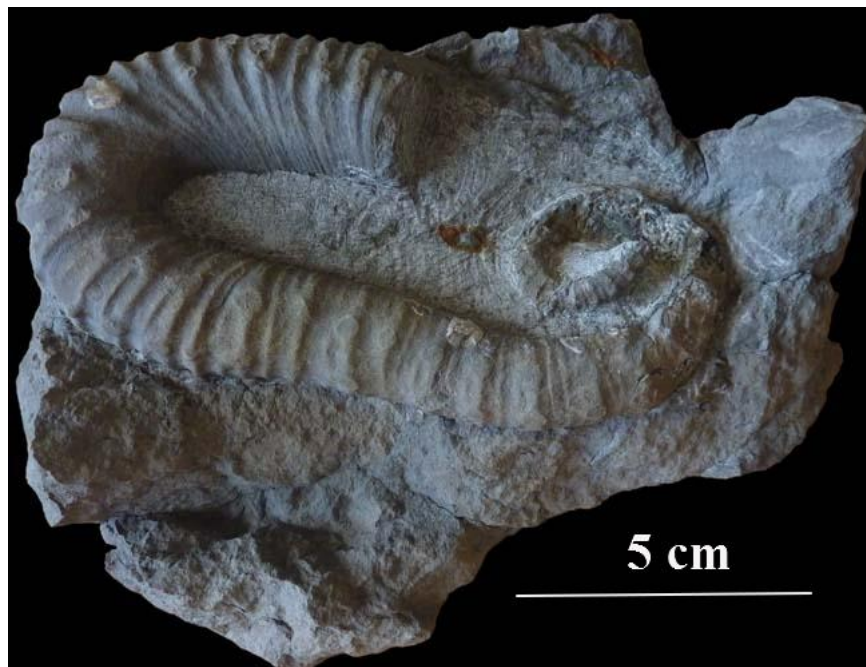
356. ábra *Calpionella* plankton lény 40 - 250 μm átmérőjű meszes vázainak maradványai kréta mészkőben (Forrás: researchgate: Császár, G., Haas, J., Sztanó, O., Szinger, B. 2012. From Late Triassic passive to Early Cretaceous active continental margin of dominantly carbonate sediments in the Transdanubian Range, Western Tethys. *Journal of the Alpine Geology*, 54, 33-99.- a szerzők írásos engedélyével közölve)



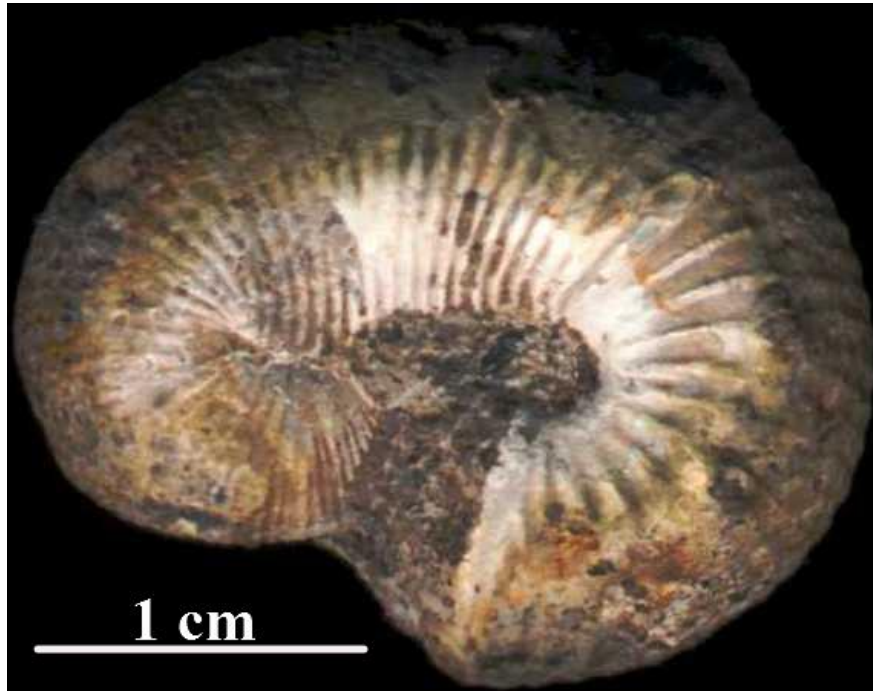
357. ábra *Turrilites ammonites* taxon kréta képződményből, a pénzesgyőri *Turrilites* márga egyik vezérvözelete (Forrás: wikipedia- kiegészítve)



358. *ábra* *Mortonicerias ammonites* taxon, pénzegyőri *Turrilites* márga egyik vezérvülete, kréta képződményből (Forrás: wikipedia- kiegészítve)



359. *ábra* *Heteromorfa Anisoceras* taxon, pénzegyőri *Turrilites* márga egyik vezérvülete, kréta képződményből (Forrás: wikipedia - kiegészítve)



360. ábra Heteromorf Anisoceras taxon, pénzegyőri Turrilites márga egyik vezérkövülete, kréta képződményből (Forrás:

A zárwatermő sporomorfák, szövetek a márgában a kréta időszak végéig kiszorították a fenyőfélék, páfrányok maradványait, ezért a jura időszakban fejlődésnek indult zárwatermők a partközeli síkságon szinte egyedülálló váltak már a kréta időszak végére.

Ellenőrző kérdések:

13.1. Mi az az Ediacara fauna?

13.2. Mi jellemzi a Kimberella taxont és mi a kapcsolata a Mollusca (puhatestűek) törzsével?

13.3. Sorolja fel Mollusca (puhatestűek) törzsének osztályait.

13.4. Mutassa be a maradványcsiga (Monoplacophora) osztály paleohidrológiai jelentőségét.

13.5. Mutassa be a Csatornáshasúak (Solanogastres) osztály paleohidrológiai szerepét.

13.5. Mutassa be a Cserepeshéjúak (Polyplacophora) osztály paleohidrológiai szerepét.

- 13.6. Mutassa be a csigák (*Gastropoda*) osztályának paleohidrológiai szerepét.
- 13.7. Mi az a *Helcionellidae* familia?
- 13.8. Mi az a *Bellerophontoidea* szuperfamilia?
- 13.9. Nevezze meg és mutassa be a *Gastropoda* (csiga) osztály rendjeit
- 13.10. Mi a *Fagotia-Melanopsis*, *Neritina-Theodoxus* taxonok paleohidrológiai szerepe?
- 13.11. Mutassa be a *Neritina - Theodoxus* taxonok kapcsolatát és az édesvízi *Theodoxus* taxonok kialakulásának paleohidrológiai modelljét.
- 13.12. Mutassa be a *Fagotia-Melanopsis* taxonok kapcsolatát és az édesvízi *Melanopsis parreyssii* taxonok kialakulásának paleohidrológiai modelljét.
- 13.13. Mik azok a *Hyalitha* taxonok?
- 13.14. Mik azok a *Gryphaea* taxonok?
- 13.15. Mik azok a *Hippurites* taxonok?
- 13.16. Mik azok a *Trigonia* és *Neotrigonia* taxonok?
- 13.17. Nevezze meg az első kagyló (*Bivalvia*) taxonokat.
- 13.18. Ismertesse a kagylók (*Bivalvia*) paleohidrológiai szerepét.
- 13.19. Ismertess a kagylók (*Bivalvia*) archeozoológiai alapú paleohidrológiai szerepét.
- 13.20. Mik azok a tengerparti kagylóhalmok?
- 13.21. Melyik kultúrához és milyen korhoz kapcsolódnak édesvízi kagylóhalmok?
- 13.22. Mutassa be a lábasfejűek (*Cephalopoda*) osztály paleohidrológiai jelzőszerepét.
- 13.23. Mi az a *Rhyncholith*?
- 13.24. Mutassa be a nautiluszfélék és az ammoniteszfélék közötti felépítésbeli és paleohidrológiai jelzőszerepbeli különbséget.
- 13.25. Mi az az *aptychus*?
- 13.26. Mi az a *Lumbricaria* nyomfosszília és hogyan kapcsolódik az ősi lábasfejűekhez (*Cephalopoda*)?

13.27. Mi a siphó szerepe a lábasfejűeknél (Cephalopoda)?

13.26. Nevezze meg a legfontosabb magyarországi Ammonites taxonokat.

13.27. Mi az a lofer ciklus és milyen részekből áll?

13.28. Mi a Turritites taxon és mi a paleohidrológiai jelzőszerepe?

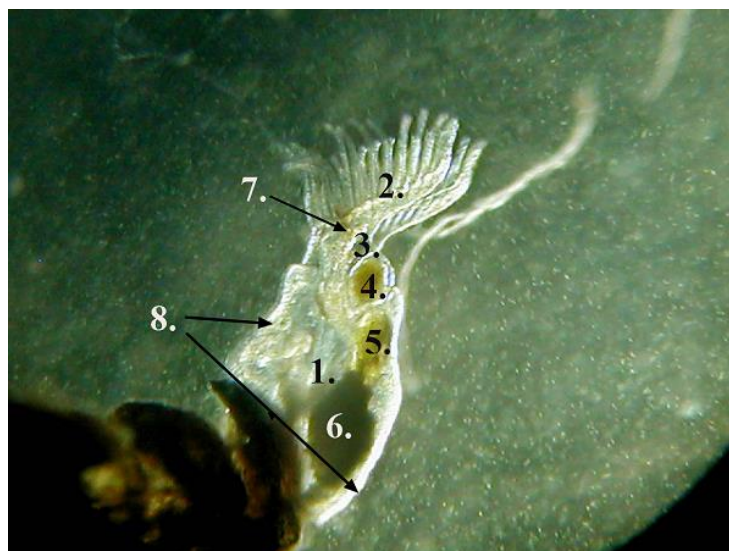
13.29. Mi az a Calpionella és mi a paleohidrológiai jelzőszerepe?

13.30. Mi az Ammonitico rosso, hol képződik és mi a paleohidrológiai jelzőszerepe?

13.31. Mi az a Megalodus és mi a paleohidrológiai jelzőszerepe?

4.6.8. Mohaállatok (Bryozoa) osztálya

A mohaállatok (Bryozoa) osztálya Tentaculata (Tapogatókoszorúsok) törzséhez tartozik. Mohaállatok a mohaszerű telepeikről kapták nevüket, maguknak az ide sorolható élőlényeknek nincs véredényrendszerük, érzékszerveik, kiválasztószervük, sem légzőszervük – a tapogatók csillós hengerhámján keresztül zajlik a légzés és kiválasztás is. A hidegebb vizekben kevésbé szaporodnak, a trópusi területeken és vizekben a szaporodásuk gyorsabb. 8000 fajuk ismeretes recensén, de a kihalt fajok száma ennek többszöröse⁶⁶.



361. ábra Recens mohaállat egyed és felépítése [1= merev hátsó rész, az ún. „cisztidium”, 2 = tapogatók (loforák), 3 = végbél, 4 = védő perem (operculum/lunarium), 5 = ovárium, 6 = gyomor, 7 = appertúra (szájadék), 8 = tok (zoécikum)] (Forrás: wikipedia - kiegészítve)

A mohaállat egyedének hátsó merev része (az ún. „*cisztídium*”: **361. ábra**) szaru-, kitin- vagy mészanyagú külső vázat választ ki – ezek fosszilizálódnak (**362. ábra**). Ez az ún. „zoécium” (=tok). Az egyed elülső mozgatható része az ún. „*polipídium*” (tapogatók) a zoécium nyílásán (apertúra) keresztül nyomulhat ki a cisztídiumból.



362. ábra Fosszilizálódásnak indult édesvízi mohaállat telep rész, fosszilizálódó zoécikum részek (Forrás: wikipedia)

Az apertúra körül tüskék, kiemelkedő perem (perisztóma), félhold alakú védőtető (lunárium) vagy mozgatható szájadékfedő (operkulum) lehet, ami mind a lágytest védelmét szolgálja. Ellentétben a korallállat telepek egyedeivel, a bryozoák telepeit különböző egyedek építik fel. Vannak táplálkozást végző, szabályos egyedek, autozoidok, ezek váza az autozoécium. Vannak azután kisebb méretű, nagyon módosult alakú és erősen specializálódott működést végző heterozoidok. A mohaállat egyedek rendkívül változatosak. Az egyedekhez hasonlóan nagyon változatos a *Bryozoa* telepek alakja, mérete és felépítése. Az ősi típusú mohaállatok váza több mint 50%-ban tartalmaz szerves

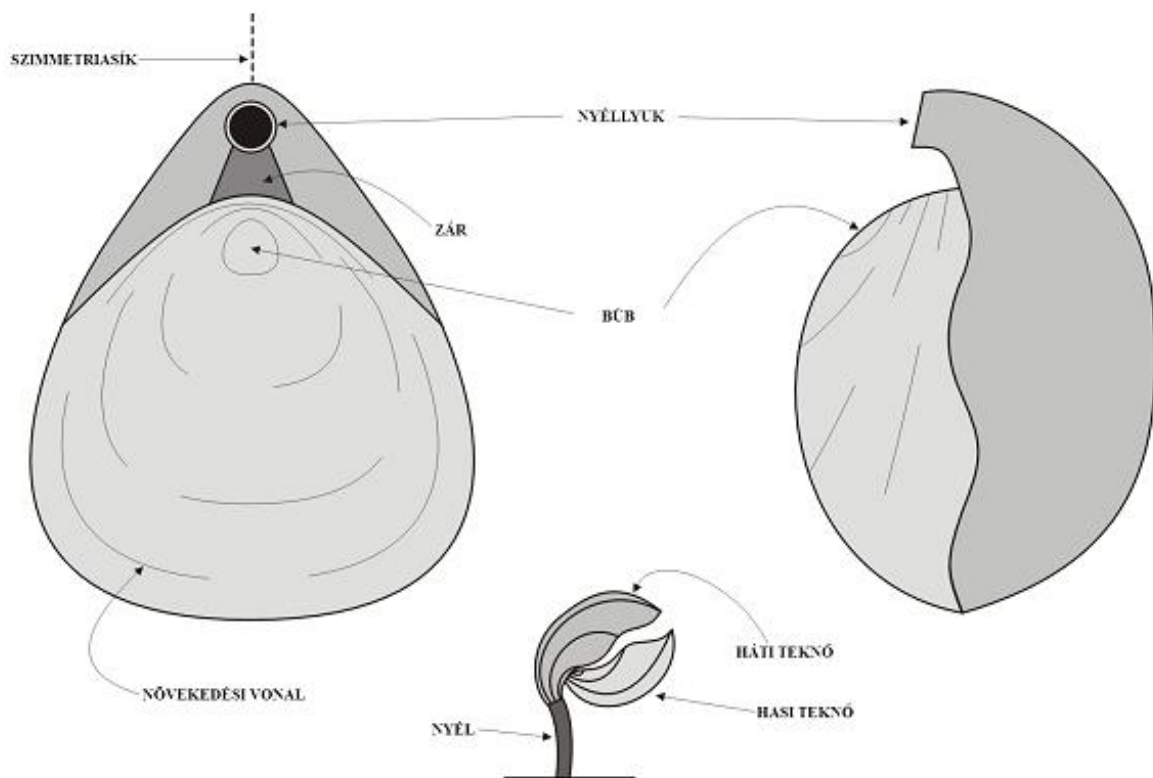
anyagot. Ezek a vázak csak kivételes esetben maradnak fenn. A mészvázúak egy részénél még magas a szervesanyag-tartalom (25-50%), és magának a zoéciumnak a különböző része különböző mértékben meszesedik el. A törzsfjlődési fok mellett az egyedi fejlődés és a környezeti viszonyok módosíthatják a váz elmeszesedését. Gyakran ellenállóbb a zoécium alsó része, mint az apertúra vagy az ahhoz kapcsolódó vázelemek. A Bryozoa fossziliák megtartása tehát nagyon különböző lehet, ami megnehezítheti határozásukat. A fosszilizálódott tok (zoécium) aragonit, kalcit vagy a kettő együttesen is lehet. A kalcitváz felépítése lemezes, tömött, oszlopos, fonalas vagy szabálytalanul összehalmozott kristályokból áll. Az aragonit váz fonalas szerkezetű. A mohaállatok a vízben lebegő táplálékot tapogatóikkal gyűjtik össze. Főleg kovamoszatokat, férgek, csigák, rákok apró lárváit fogyasztják⁶⁷. Paleohidrológiai szempontból kiemelkedő jelentőségű, hogy a legtöbb mohaállat sekélytengeri élőlény. A napjainkban is élő mohaállatok döntő részének legerőteljesebb sűrűsége 20-80 m mélység között alakult ki, Ugyanakkor akadnak köztük mélytengeri alakok is, amelyek akár 6000 m mély vizekben élnek. Kedvelik a tiszta, 6-7 pH-jú tengervizet, és az egyenletes táplálékáramlást biztosító lassú, de folyamatosan áramló vizet. Ugyanakkor egyes taxonok alkalmazkodtak az erősebb hullámveréshez, vagy a teljesen nyugodt vizekhez. Ismeretesek olyan taxonok, amelyeknek telepalakja aszerint változik, hogy nyugodt vagy erősebben mozgó vízben élnek. Ezen fossziliák nyomán az egykori víz áramlását rekonstruálhatjuk. Minden szilárd, víz alatt bentosz felszín alkalmas lehet megtelepülésükre, mégis nagyobb számban találjuk őket a sziklás aljzaton, kékalga szőnyegen, vagy a gerinctelenek vázain. Kivételesen vannak a mészvázúak közt is olyanok, amelyek elviselik a csökkentsósvizet (brakkvizet). Ugyanakkor jelentős mennyiségű édesvízi alakjuk is ismeretes. A paleozoikumban, az ordovicium időszakától ismeretesek az alakjaik, a devontól már nagyon gyakorikat. A paleozoikum végén a nagy részük, döntően a sekélytengerben élő alakjaik kihaltak, a máig fennmaradó új alakok a jura

időszaktól alakultak ki és terjedtek el. Paleohidrológiai szempontból kiemelkedő jelentőségű kőzetalkotók. Dél-Ausztrál sekélytengeri, hullámverés nyomán kialakult karbonátos homok 85 %-át alkotják a bryozoa váz törmeléke. Perzsa-öbölben élő 13 mohaállat fajból mindössze egyetlen bentoszt bekérgező mohaállat taxon 20 cm lencsét alkot a recens üledékben⁶⁸. A fosszilis Bryozoa-fajok többsége karbonátos kőzetekből került elő: mészkőből, márgából, ritkábban durva törmelékes kőzetekből vagy palából, kerülnek elő, de néhány helyen kőzetalkotó mennyiségben jelentkeznek, mint az eocén korú Budai-hegységben, mindenekelőtt a Mátyás-hegyen elterjedten jelentkező ”*bryozoás márga*”. Az eocén márga bryophyta taxonok alapján 400-1200 méter közötti vízmélységben rakódott le, egészen pontosan halmozódott át egy szubmarin (tenger alatti lejtőn). Éppen emiatt az áttelepítődés miatt nehéz az egykori paleohidrológiai helyzetét tisztázni az üledékanyagának, mivel mind a bryozoa faunában, mind a kísérő (kagyló, tüskésbőrű, ostracoda) faunában, mind a nagyforaminiferák között a sekélytengeri (70-400 méter közötti vízmélységben élők), illetve a sekély vízmozgatású batiális vízmélységben élők (1000-1200 méter között élők) egyaránt jelen vannak. Ez utóbbiak aránya kiemelkedő. Valószínűsíthető a taxonok összetétele alapján, hogy nem túl nagy távolságra, relatíve meredek tenger alatti lejtő telepítődtek át a sekélytengeri életközösség tagjai és batiális vízmélységnél akkumulálódhattak. Ennek nyomán a bryozoás márga életközössége összerosódott, és az üledék anyaga keveredett a tenger alatti lejtőn áthalmozódás nyomán, és jelentős vízmélység mellett halmozódhatott fel.

4.6.9. Pörgekarúak (Brachiopoda) osztálya

A pörgekarúak (*Brachiopoda*) osztályába a mohaállatoktól sok szempontból eltérő tapogatókoszorús alakok tartoznak. Eredeti magyar tudományos nevük nagyon pontosan visszaadta fejlődéstörténeti kapcsolatukat és helyzetüket, mivel *kagylósféregnek* hívták ezeket az élőlényeket⁶⁹. Kifejezve ezzel szoros kapcsolatukat az ősi féreg taxonokkal. Míg a mohaállatok telepei a fejletlen

csalánozókéra emlékeztetnek, a pörgekarúak sokkal inkább a kagylókra hasonlítanak. A bryozoák és a brachiopodák között csak az egyedfejlődés korai szakaszában mutatkoznak a rokon vonások. Általában jellemző a brachiopodákra, hogy magányos egyedek alkotják, háti és hasi teknőjük van, külső vázuk szaru, vagy meszes anyagú, az aljzathoz nyéllal rögzülve élnek. Valamennyi *Brachiopoda* a kagylókhoz hasonlóan kétteknős (**363. ábra**), a teknők azonban nem két oldalról, laterálisan védik az állatot, hanem hasi és háti irányból és a kagylókkal szemben a pörgekarú teknőkre merőlegesen alakult ki a kétoldali részarányosság (tükörsík). Így az egyes teknők jobb és bal oldala egyforma. Általában mindkét teknő domború, bár a domborúság mértéke igen eltérő lehet⁷⁰.



363. ábra Pörgekarúak (*Brachiopoda*) héjanatómiája (Forrás: wikipedia, magyarra fordítva, kiegészítve)

Ugyanakkor ismeretesek olyan brachiopodák, amelyeknek a háti teknője lapos vagy homorú, sőt ismeretesek kúp alakú teknővel rendelkező pörgekarúak. A pörgekarúak jól fosszilizálódó (**364. ábra**) teknőinek körvonala általában ovális,

vagy kör alakú, ritkán lekerekített sarkú háromszögre, négyszögre vagy trapézra emlékeztet.



364. ábra Fossilis kagylósférgek – pörgekarúak (Brachiopoda) kőzetalkotó mennyiségben jelentkező kettős héjai az észak-amerikai ordovicium időszakából (Forrás: wikipedia)

A két teknő a zárosperem mentén nyitható és csukható. A zárosperemnél van a teknők hátsó, az ezzel ellentétes irányban a teknők mellső része. A teknők szétnyílásakor a két teknő a mellső részen távolodik el leginkább egymástól. A brachiopodáknak nincsen ligamentumuk, a teknőket izmok aktívan nyitják és zárják⁷¹.

Az ősi taxonoknál oldalirányban mozdítják el a siklató izmok a két teknőt, a fejlettebbeknél a nyitást nyitóizmok végzik. A nyitóizmok egyik végükkel a háti teknő hátsó, zárperemi részéhez, másik végükkel a hasi teknő felületéhez tapadnak, és összehúzódva a háti teknő peremi részét közelebb húzzák a hasi teknőhöz. Ilyenkor elernyednek a záróizmok. A teknők zárásakor a nyitóizmok meglazulnak, és a két (háti és hasi) teknőt összekötő záróizom összehúzódik. A

brachiopodák záróizma hasonlít a kagylókéra. Az izmok tapadási pontjai a teknők belső oldalán láthatók.

A fejlettebb kagylóknál a zárszerkezet fogai akadályozzák meg azt, hogy nyitáskor a két teknő oldalirányban félrecsússzon. Ugyanakkor a brachiopodák zárszerkezete nem annyira sokféle, mint a kagylóké. A hasi teknőn két fog van, aminek két fogmeder felel meg a háti teknőn. Mivel a fogak nagyon szorosan illeszkednek a fogmederbe, és a záróizmok is fejlettebbek a nyitóizmoknál, a két teknő nem nyílik szét az elhalás után. A brachiopodákat, ellentétben a kagylók nagy többségével, mindig kétteknősen fosszilizálódva találhatjuk meg a fosszilis anyagban (**364. ábra**)⁷².

Az első kagylósférgek a kambrium korai fázisában, mintegy 540 millió évvel ezelőtt jelentek meg a fosszilizálódott pörgekarú (*Barchiopoda*) héjak alapján. Az egyik ősi, mindmáig (a héj felépítése nyomán változatlanul – perzisztens módon) fennmaradó *Lingula* genus (**365. ábra**).

Ez utóbbinak a korai alakjait *Lingulella* néven (**366. ábra**) egyes publikációkban elkülönítik, mivel a korai alakoknál nem volt még nyéllyuk, de az összes többi tényezőben változatlan maradt a héjfelépítés. Maga a *Lingula* felépítésére, az elkülönítésére jellemző, hogy a héj pereme sima, nincsen semmiféle zárszerkezetük (**365. ábra**).

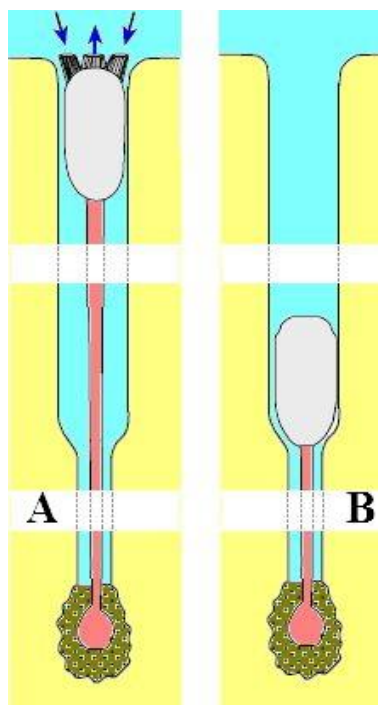
A héjak zárását és nyitását csak a két izomköteg végzi. Közös jellemzőjük még az U-alakú bélcsatorna, amellyel a végbélnyílás a test elülső felére tolódik. A pörgekarúak nyele lehet szabadon mozgó, vagy közvetlenül a héj rögzülhet az aljzathoz (**367. ábra**). Egyes típusok képesek a nyéllal a lazább üledékbe ásni magukat, és a nyél körül csőszerű vázat is kiválasztanak (**368. ábra**). A rögzített nyélvéggel és a rugalmas nyéllal a laza üledékben, aljzatban lakócsövet alakítanak ki, ahová veszély esetén, vagy apálykor visszahúzódik a *Lingula* pörgekarú, majd áradáskor kinyúlik a nyél és a teknővel védett lágy test a felszín közelébe kerül (**366. ábra**) és a vízben oldott szerves anyaggal táplálkoznak (**369. ábra**). A brachiopodák teknőit a köpeny választja el (**370. ábra**).



365. ábra Az egyik legősibb pörgekarú taxon, a *Lingula recens* teknője (Forrás: wikipédia)



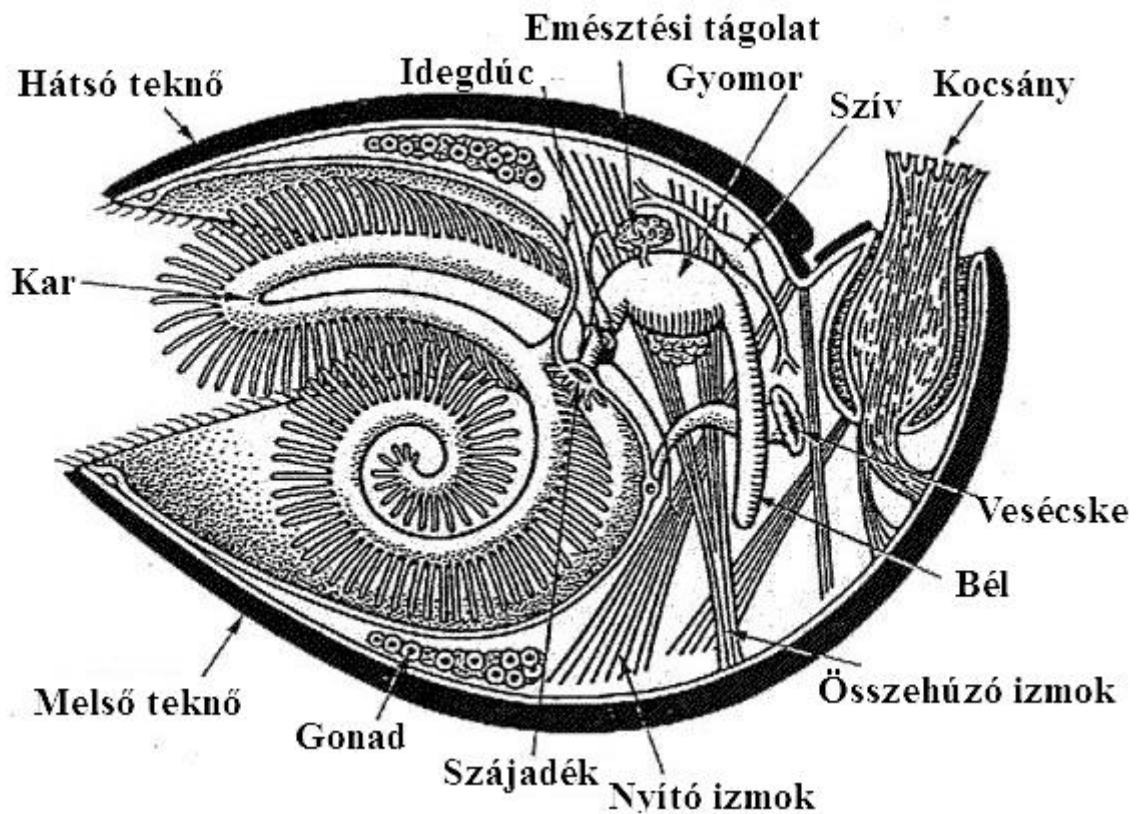
366. **ábra** Fossilis *Lingula* (*Lingulella*) teknő az ordovicium időszaki üledékbe ágyazódva (Forrás: wikipedia)



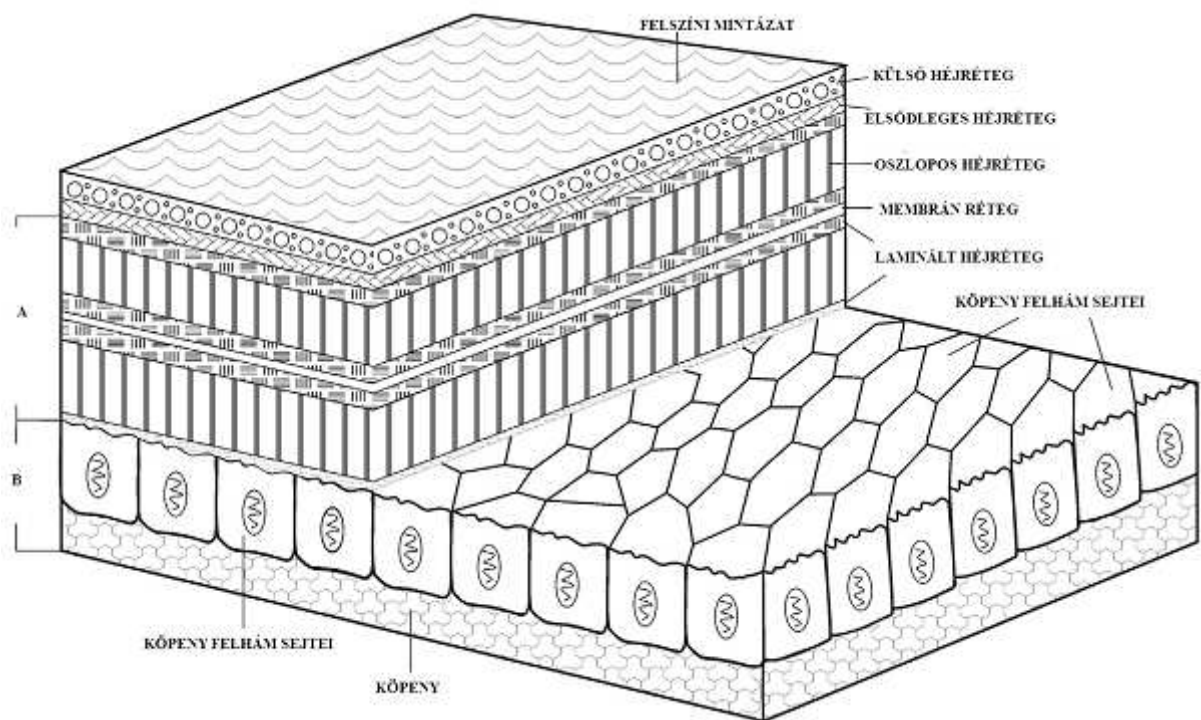
367. **ábra** A *Lingula* teknőjének és nyelének a laza üledékben beásott életmóddal jellemezhető működési elve az árapályövezetben kialakított lazább üledékben kialakított lakócsőben (A = áradás idején, B = apálykor az üledékben kialakított lakócsőbe visszahúzódva) (Forrás: wikipedia - átalakítva)



368. ábra Ma élő *Lingula* pörgekarú teljes külső felépítése, teknő, nyél és nyél rögzítő csőszerű váz (Forrás: wikipedia - kiegészítve)



369. ábra Pörgekarúak (*Brachiopoda*) belső felépítése (Forrás: wikipedia – kiegészítve, magyarra fordítva), karnak nevezett részek valójában kopoltyúk



370. ábra A pörgekarúak teknőjének szerkezete A = másodlagos héjréteg, B = köpeny, a karoknak nevezett részek valójában kopolyúk (Forrás: wikipedia – kiegészítve, magyarra fordítva)

Az ősiek váza sok szerves anyagot tartalmazó kitinfoszfát, a fejlettebbeké mészanyagú (370. ábra), csaknem mindig kalcit ásványból áll. Mivel a kalcit ellenállóbb az aragonitnál, számos kőzetben, amelyben az aragonit vázú ammoniteszeknek csak a kőbelük maradt meg, a brachiopodák teknői fosszilizálódtak (pl. ammonitico rosso). A váz külső, szerves rétege (periosztrakum: (370. ábra) nem fosszilizálódik. Ezen belül van a vékony elsődleges réteg, amely általában finom kalcitszemcsékből áll (370. ábra). Ez alatt van a másodlagos réteg, amely a felületre hegyes szögben elhelyezkedő keskeny kalcitfonalakkból épül fel (laminált kalcit réteg). Egyes brachiopodáknál a felületre merőleges oszlopos réteg helyezkedik el a másodlagos rétegen belül⁷³. Nagyon sajátos paleohidrológiai vonása a brachiopodák teknőjének a pontozottság. Több csoportnál a köpeny helyenként betüremkedik a teknőbe és keskeny, henger alakú üreget hagy maga után. Ezek az üregek elsősorban a köpenyben áramló kémiai anyagok raktározására valók, így bizonyos fokú védettséget nyújtanak az állatnak. A periosztrakum elpusztulása után az üregeket

többnyire idegen anyag tölti ki, ami a teknő felületén apró pontok alakjában látható. Ez a szerkezet teljesen ismeretlen a kagylók világában. Az ilyen pontozott (ún. „*endopunktált*”) brachiopodák héjtöredékeit könnyen elkülöníthetjük a kagylóktól, elváltozott karbonátos kőzetekben is. A nyél (pedikulum) két teknő között vagy a hasi teknő hátsó, bubi részén nyúlik ki a teknőből. A nyél izmos, kutikulával borított köpenynyúlvány, amivel rögzíti magát az állat az aljzathoz. Külön izmok mozgatják a nyelet. Maga a nyél nem fosszilizálódik, a nyélkilépés helye (*pedikuláris forámen*) viszont igen. A nyélkilépés helye lehet kör alakú vagy háromszögletű. A pörgekarúak a tengervízben lebegő szerves anyagot szűrögetik táplálék szempontjából, ún. „*szuszpenzió-fogyasztók*”⁷⁴.

A pörgekarúak 540 millió éves földtörténeti múltjuk révén rendkívül fontos paleohidrológiai jelzőszerepet (paleohidrológiai bioindikátor funkciót) töltenek be, de csak tengerben és óceánokban élnek. Így édesvízi életterek paleohidrológiai jellemzésére nem használhatjuk fel ezt a csoportot. Ugyanakkor tudnunk kell, hogy a fosszilis pörgekarú taxonok és a ma élő taxonok jelzőszerepe eltér egymástól. Ma élő pörgekarúak egy részének környezeti tűrőképessége igen jelentős. Ugyanaz a taxon 5-1900 m mélység között fordul elő, és 12° °C-tól 3 °C-ig tartó hőmérsékleti intervallumban, azaz igen eltérő feltételek között is élhet. A maiak nagyobb fajszámban élnek a mérsékelt övben, mint a trópusi vagy a sark körüli területeken. Feltűnő az is, hogy az Antarktisz közelében helyenként egy-egy fajuk olyan egyedszámban fordul elő, hogy uralkodó eleme a bentosz-közösségeknek. A mai brachiopodák közt találunk mélytengerieket is. Az abisszikumban, óceáni mélységben élő taxonok, különböző nemzetségek az azonos életkörülmények miatt megtévesztően hasonlítanak egymásra. A mai brachiopodák elterjedését messzemenően befolyásolja az aljzat minősége és az óceáni áramok sebessége. A lárvák csak szilárd aljzaton, kavicson, héjtöredéken, mészmoszaton, stb. tudnak megtelepedni. A szilárd megtelepedési helyet körülvevő üledék viszont nagyon

változatos lehet. A szilárd aljzat tehát nem feltétlenül sziklás tengerfenék vagy nagy felületen megszilárdult üledék, hanem csak egy stabil pont a tengerfenéken (héj, héjtöredék, egy – egy kavics, vagy fix helyzetű mészvázú). A mai taxonok a nyugodt vizet kedvelik.

Az akváriumi kísérletek és a terepi robotfelvételek szerint a hevesebb vízmozgáskor vagy a fokozottabb üledék lerakódásakor a teknők összezárulnak. Ezzel párhuzamosan megáll a pörgekarúak teknőinek a növekedés. Amikor a víz kitisztul, a teknők szétnyílnak, és a növekedés megindulását a pörgekarú teknőkön erősebb növedékránc jelzi. A kihalt brachiopodák életmódja sokkal változatosabb lehetett, mint a maiaké. Nagy többségük nyéllel rögzült az aljzathoz, de voltak köztük cementálók, szabadon fekvők, részben az üledékbe temetettek, vagy esetleg csapkodó teknővel mozgó csoportok is, azonban mindegyikük az epibentoszba (tengeraljzaton élők) nagy csoportjába tartozott. A kambrium időszak epibentosz faunájában jelentkezett a szaruhéjas *Lingula* (*Lingullela*), *Obulus* és a mészvázú *Orthis* nemeztiségek. Az ordovícium és szilur időszakban már a homokos – meszes sekélytengeri üledékes rendszerek és élőhelyek egyik legfontosabb alkotó elemét alkották (**371. ábra**). Igen korán az ordovícium időszakában, megközelítőleg 480 és 445 millió év között alakult ki az első virágkoruk (akmé)⁷⁵.

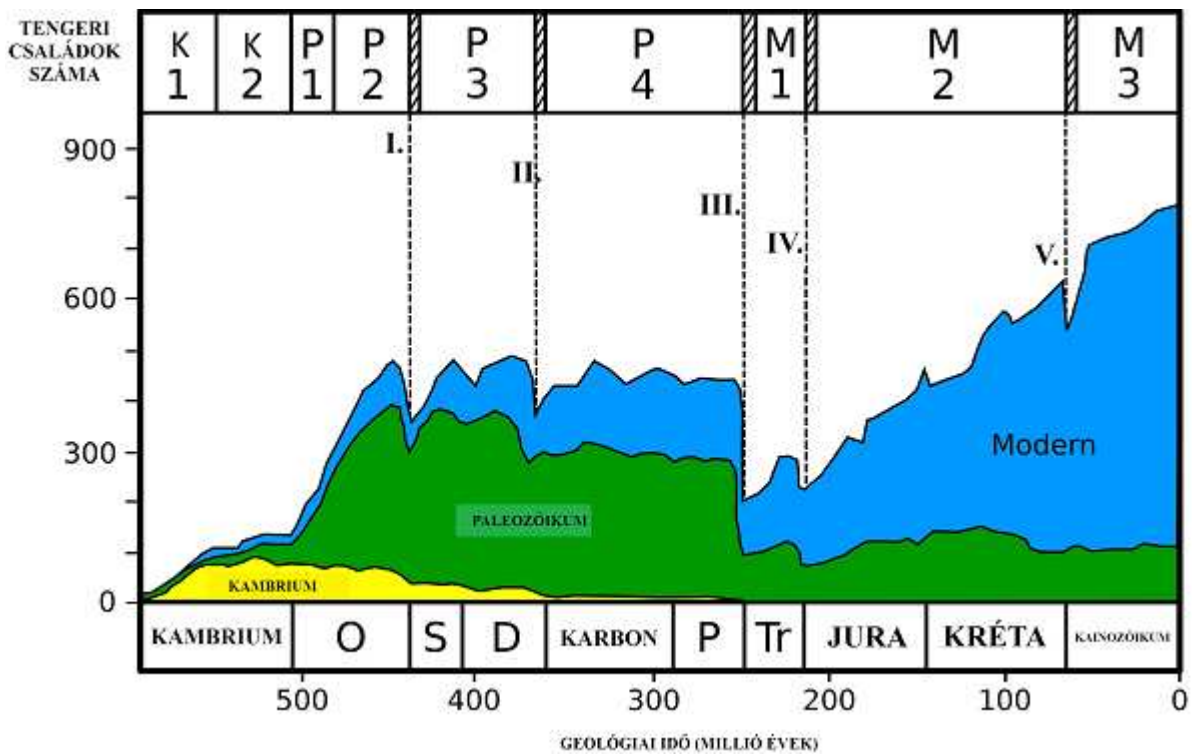


371. ábra Ordovícium időszaki rekonstruált epibentosz életkép a déli sark környezetéből, korallokkal, pörgekarúakkal, graptoliteszekkel, orthoceras lábasfejűekkel, tengeri liliumokkal, soksejtű algákkal, trilobitákkal és pörgekarúakkal (Forrás: wikipedia)

4.6.9.1. Sepkoski féle kihalási hullámok

Itt kell megismerkednünk paleohidrológiai szempontból is a tengeri élővilág fejlődéstörténetének rövid összefoglalásával a fejlődési csúcsok, virágkorokkal, és kihalási hullámokkal. *Jack Sepkoski* (1948-1999) amerikai (chicagói) paleontológus elsőként alakított ki őslénytani, paleohidrológiai szempontból kiemelkedően jól hasznosítható, családok (famili) időbeli megjelenésére, visszaszorulására alapozódott online tengeri adatbázist és ennek nyomán az utolsó 541 millió évre vonatkozó fejlődéstörténeti vonalat szerkesztett (**372. ábra**). A fejlődéstörténet nyomán a tengeri fauna előretörését, a fauna családok számának maximumát (akmékat = virágkorokat), és visszaesését (kihalási hullámokat), tengeri élővilág globális fejlődéstörténetét állapított meg (**372. ábra**). *Jack Sepkoski* (más paleontológusokkal azonos) véleménye alapján a neoproterozoikumi fosszilizálódó szövetes élőlényekből álló Ediacarai fauna

kifejlődését követően a kambrium időszak során, az embrionális testszégmensek fejlődésére rendkívüli módon hatással lévő HOX (Homeobox) gének kifejlődésének hatására következett be egy faunarobbanás.



372. ábra Paleohidrológiai szempontból is kiemelkedő jelentőségű Jack Sepkoski amerikai (chicagói) paleontológus által kialakított fejlődéstörténeti görbe az utolsó 540 millió évre vonatkozóan

C1 = ósszivacsok (Archaeocyathus) ősi zátonyok megjelenése, C2 = klasszikus kambriumi életközösségek, háromkaréjú ősrákok (Trilobita) dominanciájával, P1 = Ordovíciumi tengeri biodiverzitási maximum kezdete, P2 = az Ordovíciumi tengeri biodiverzitási maximum, P3 = Szilur – Devon időszaki tengeri élővilág fejlődési csúcs, kihalt fenéklemez (Tabulata) korallokból és szivacsokból álló zátonyok kifejlődése, P4 = Permokarbon tengeri fauna, M1 = Triász tengeri fauna, M2 = Jura – kréta tengeri fauna, M3 = Kainozóos tengeri fauna, I. = Ordovícium időszak végi kihalási szint, II. = Késő – Devon időszaki kihalás, III. = Perm-Triász határán kialakult nagy kihalási hullám, IV. = Triász időszak végi kihalási hullám, V. = Kréta időszak végi kihalási hullám (Forrás: wikipedia – kiegészítve, magyarra fordítva)

Valószínűleg a jól fosszilizálódó héjakkal rendelkező állatok kialakulása nyomán jött létre ez a gyors és látványos változás, a fossziliák számának ugrásszerű emelkedése. Az ugrásszerű emelkedés a legelső puhatestűekhez,

trilobitákhoz, pörgekarúakhoz, tengeri sünökhöz, hexakorallokhoz kapcsolódik. Ide tartozik a pörgekarúak megjelenése és felfutása is, de a pörgekarúak első virágkora az ordovíciumban fejlődött ki (**372. ábra**).

Valójában az ordovíciumi radiációval kifejlődött egy paleozóikumi fejlődéstörténeti – evolúciós „plató”, bár ezt a platót két (ordovicium - szilur határán, késő devon időszakban kifejlődött) kihalási hullám részekre bontja. A pörgekarúak fejlődése viszont töretlen volt a paleozóikum során, a szilur időszak fejeződését követően a devon időszakban igen jelentős diverzitást mutattak, több fajuk kőzetalkotó mennyiségben jelentkezett ekkor, és a 30 cm-t is meghaladó óriás alakjuk is megjelent (*Gigantoproductus giganteus*: **373. ábra**).



373. ábra Devon időszi, legnagyobb méretű pörgekarú, *Gigantoproductus giganteus* taxon (Forrás: wikipedia – kiegészítve, magyarra fordítva)

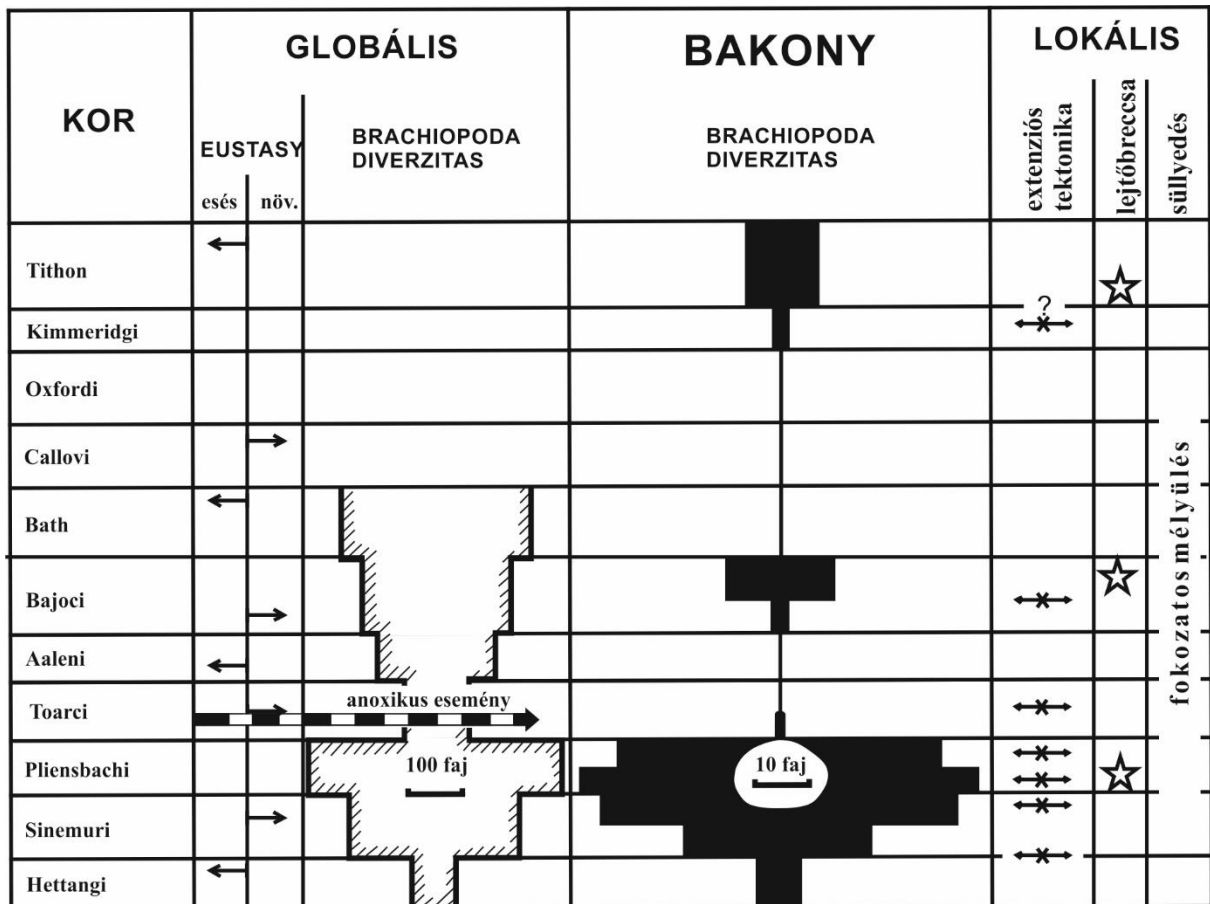
Ugyanakkor a devon időszakban a pörgekarúak már a sekélytengeri és zátonykörnyezetekben már osztoztak a vastagfalú kagylókkal és a karbon időszak során a domináns pörgekarúak (*Productus*- és *Spirifer*-félék) élőhelye eltolódott a középmélységű vizek irányába és ott mészköves összletek egyik

legfontosabb bioindikátor elemévé váltak. Az ordovícium és a devon időszak virágkora követően a perm időszakban is jelentős biodiverzitás (faj- és nemzetségszám) növekedés következett be a pörgekarúaknál, viszont a perm/triász határon bekövetkezett kihalási hullám során a pörgekarú nemzetségek döntő része kihalt. Jelenlegi ismereteink szerint 1600 kihalt pörgekarú nemzetségük ismeretes és 70 ma is élő nemzetségük ismert csupán. A pörgekarúak mezozoikum kezdeti kihalásával indultak terjedésnek az epibentosz közösségekben a kagylók, és váltak ezen élőhely egyik domináns csoportjává. A brachiopodák hanyatlásának okát viszonylag szűk alkalmazkodási képességükben kell keresnünk. A brachiopodák – szemben a kagylókkal és csigákkal - nem tudták meghódítani sem az inbentoszt, sem pedig az édesvízi környezetet, helyhez kötött életmódjukkal és viszonylag vékonyabb teknőikkel az epifaunában kevesebb lehetőségük nyílt a védekezésre, mint a kagylóknak vagy a csigáknak. Így a kagylók és pörgekarúak szerepcseréjének oka az életmódban keresendő⁷⁶. A pörgekarúak többsége helyhez kötött életmódot folytat, nyéllel rögzül az aljzathoz. Az árapályzóna hullámverési övét nehezen viselik el, mivel házaik törékenyek. A rögzítettség miatt a számukra kedvező vízmélységet nem tudták és tudják követni, mivel az árapály jelenségét döntő többségük nem tudja ellensúlyozni. Ennek nyomán elsősorban ott terjedtek el, ahol a legkisebb a tengerjárás, ezért kiválóan alkalmazhatóak ezen egykori térségek megrajzolásához, térképezéséhez.

Ugyanakkor nem csak a napi szintű vízmélység ingadozást nem tudták követni, hanem a hosszabb idő alatt kialakuló tengervíz kimélyülést (transzgresszió), vagy vízszint csökkenést (regressziót) sem. A túl mélyre kerülő pörgekarúak oxigénszegény vizekben találták magukat, a túl magasra kerülők pedig a hullámverési övben – mindkét élőhely kedvezőtlen (pejus) területnek számít a brachiopodáknak. Legnagyobb többségük ezen felül a tengervíz sótartalmára is nagyon érzékeny, sem a bepárlódott ultrasós vizet, sem a csökkentsós vizet (brakkvizet, például a folyótorkolatok) nem szeretik, kerülik⁷⁷.

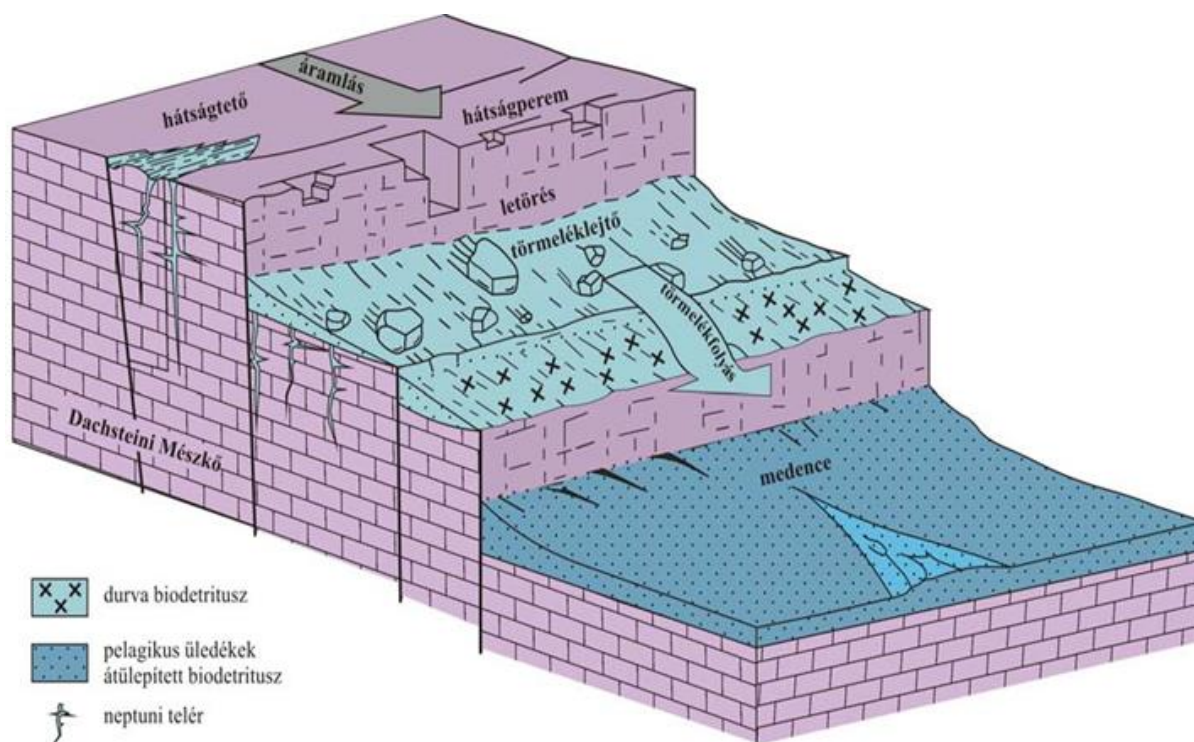
Mivel szűk a környezeti alkalmazkodó képességük, nem bírták és bírják az élőhelyeken jelentkező versengést, ezért olyan alárendeltek a mai faunákban. Viszont ezért fokozott a jelentőségük a paleozoós bentosz-közösségek paleohidrológiai elemzésekor. A pörgekarúak földtani - paleohidrológiai szempontból, mint kőzetalkotók, környezetjelzők és korjelzők egyaránt jelentősek. A brachiopodák csaknem minden üledékes kőzetben előfordulhatnak. Különösen gyakoriak a márgás, agyagos vagy homokos kőzetekben és mészkövekben. Egy-egy rétegben kőzetalkotó mennyiségben fordulhatnak elő, részint mert csoportokban élnek, részint mert a nyél elpusztulása után a vízáram egy helyre sodorhatja össze könnyű és gömbölyű alakjuk miatt a tenger alatti lejtőkön gyakran jól guruló vázaikat. Ezért nemritkán lencseszerű brachiopodás rétegeket találunk a brachiopodamentes kőzetekbe települve. Éltek köztük zátonyépítő taxonok is.

A paleozoós csoportok közt sokkal több élt a sekélytengerben és zátony-közösségekben, mint jelenleg. Ezen jelenség kialakulását a perm/triász határán lejátszódott kihalás mellett a kagyló és csiga taxonok élőhely versengése okozta. A paleohidrológiai elemzésekben a vízmélységen kívül előfordulásukból következtethetünk az egykori sekélytenger vízmozgására, az aljzat milyenségére, a parttól való távolságra és mindenekelőtt az egykori sekélytengerek térbeli elrendeződésére. A napjainkban megfigyelhető lárvaállapot rövid időtartamát és a felnőtt állat helyhez kötött életmódját figyelembe véve nehéz elképzelni, hogy a brachiopoda egyedek átszelhették volna az óceánt a földtani múltban. A brachiopodák az adott selfen terjedhettek csak el. Így az azonos vagy közel rokon brachiopoda-faunák elterjedéséből következtethetünk az egykori, döntően paleozoikumai kontinentális peremek, illetve az egykori epikontinentális, partközeli sávok kapcsolatára.



374. ábra Bakonyi jura pörgekarú fauna diverzitásának változása a globális és lokális paleohidrológiai tényezők átalakulásának tükrében (Forrás: Vörös, A. 1982. A bakonyi pliensbachi brachiopoda fauna rétegtani értékelése. Földtani Közlöny, 112, 351–361 - a szerző írásos engedélyével közölve)

Ezt megelőzően fajdiverzitási maximumok alakultak ki a területen. Nagyon fontos megállapítás a terület pörgekarú faunájának fejlődésével kapcsolatban, hogy a toarci emeleti pörgekarú diverzitási minimumot követően a selfeken élő pörgekarú fauna túlélte a változást és regenerálódott. A globális események mellett lokális tényezők, a bakonyi terület egyes részeinek, medencéinek fokozatos süllyedése okozta a brachiopodák diverzitásának csökkenését a középső és felső jura során. Egyrészt a lokális tektonika okozta tenger alatti lépcsős felszínek kialakulását, kimélyülés során létrejött tenger alatti lokális medencék, tenger alatti lejtők és tenger alatti hátságok (seamountok) környezetében eltérő paleohidrológiai állapotokkal jellemezhető élőhelyek jöttek létre.



375. ábra Bakonyi jura időszakra tehető tektonikus események nyomán kialakult vetők mentén felső triász korú Dachsteini Mészkö bázisán létrejött tenger alatti lépcsős felszínek (seamountok, lejtők, medencék), és ennek nyomán kialakult eltérő élőhely sorozatok, amelyek alapvetően befolyásolták a pörgerkarú fauna kifejlődését (Császár, Vörös, Galác, 1998 nyomán – a szerzők írásos engedélyével közölve)

A hátságok (seamountok) tetején az üledék kifejlődése és fauna összetétele alapján 100-200 méteres vízborítás lehetett, tektonikus vetők nyomán kialakult lépcsős felszínen 200-500 méteres becsült vízmélység, a medencékben pedig 500 méternél mélyebb vízborítás alakulhatott ki. Mivel a brachiopodák szuszpenzió fogyasztók, így a tápanyagellátásukat a tengervízben lebegtetett szerves anyag eloszlása szabja meg. A szerves anyag mennyisége a szárazföldről és a produktív sekélytengeri területektől, jelen esetben a víz alatti hátságoktól való távolság szabja meg, de a vízmélység növekedése is erőteljesen befolyásolja, mivel a lebegő szerves anyag a mikrobák hatására mineralizálódik. Így a brachiopoda faunát a középső és felső jura során a bakonyi terület fokozatos süllyedése okozta. Ugyanakkor a bajoci és a titon emeletekben kialakult brachiopoda diverzitási csúcsok az extenziós tektonikai epizódokhoz, normál vetők kialakulásához köthetőek, mivel ezen tektonikus

tevékenység nyomán változatos ökológiai fülkék, élőhelyek és a megtapadáshoz szükséges sziklás kemény aljzatok fejlődtek ki a tenger alatti lejtőkön kialakult breccsák (szögletes mészkőtömbökből álló lejtőlábi törmelékkúpok) hatására. Így nem véletlen, hogy a jura időszak tenger alatti lejtőkön jöttek létre a leggazdagabb pörgekarú közösségek, ahol a tápanyag mennyiség beáramlása, a vízmélység és a sziklás aljzat egyaránt jelen volt (375. ábra).



376. ábra Hierlatzi fáciesben felhalmozódott brachiopoda és kristályos kalcittal cementált selymes fényű brachiopoda héjából álló mészkő a gerecséből (Forrás: Dr. Dulai Alfréd tárigazgató, Magyar Természettudományi Múzeum, Őslénytani és Földtani Tárban dolgozó paleontológus írásos hozzájárulásával bemutatva)

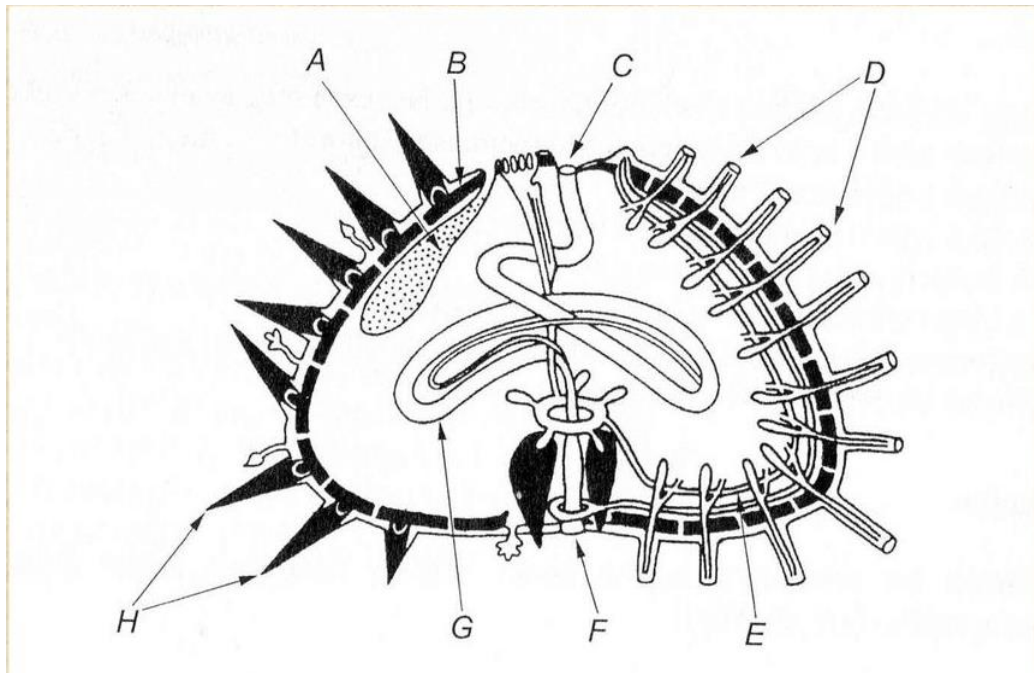
Nem véletlen, hogy a leggazdagabb pörgekarú közösségeket a tenger alatti lejtőn, és a lejtők tövében kifejlődött, lejtőfáciesű Hierlatzi (brachiopodás) Mészkőben tárták fel⁷⁸. A tengeralatti vetőzónák közelében, a tenger alatti törmelékkúpon, lejtőtörmelék nagy, szögletes mészkőtömbökből álló lejtőlábi breccsák alakultak ki. Ezekhez kapcsolódva gyakori képződmény a durva biogén váztöredékekből álló Hierlatzi Mészkő. Ezen mészkőfácies, mészkő típus képződését a pörgekarúak (*Brachiopoda*) és tengeri liliumok (*Crinoidea*)

határozták meg. Ezen csoportok, az ide tartozó taxonoknak kiváló életlehetőséget nyújtottak a tenger alatti sziklás lejtők és a tengerfenéken heverő nagy mészkőtömbök. A Hierlatzi Mészkövet az állatok pusztulása után a tenger alatti lejtő tövében felhalmozódott és kristályos kalcittal cementált selymes fényű brachiopoda-héjak alkotják. Ez a hierlatzi mészkő fácies kifejlődés a típushelyén, a kelet-alpi Hallstatton kívül, a Dunántúli középhegységben, elsősorban a Bakonyban és a Gerecsében is több helyen előfordult (**376. ábra**).

4.6.10. Echinodermata (Tüskésbőrűek)

A tüskésbőrűek (*Echinodermata*) törzsére jellemző (**377. ábra**): a vízédényrendszer, a kalcit-lemezekből álló, belső váz, az ötsugaras szimmetria, a tengeri, bentosz (iszaplakó) életmód. A vízédényrendszer (ambulakrális rendszer) a testüreg egyik elkülönült részéből (hidrocöl) fejlődik ki. A víz egy szitaszerű szűrőlemez (madreporit) likacsain keresztül jut be a vízédényrendszerbe. A beszívott víz a “köcsatornán” keresztül jut a gyűrű alakú körcsatornába, és onnan az öt sugárirányú sugárcsatornába. A sugárcsatornák tapogatószerű kiöblösődései kinyúlnak a váz felületére. Ezek az ambulakrális lábak, amelyek tapadókorongban végződhetnek, és izmokkal működtetett szivattyúhólyagok segítségével kinyújthatók vagy összehúzhatók. A vízédényrendszernek az állat légzésében, táplálkozásában és helyváltoztatásában van szerepe. A legtöbb tüskésbőrű esetében a sugárcsatornák és az ambulakrális lábak a váz meghatározott lemezeivel érintkeznek. Az ambulakrális lábak nem fosszilizálódnak, az egykori vázon azonban fennmaradnak az ambulakrális lábak kilépését lehetővé tevő nyílások (pórusok: **378. ábra**), és magában a váz lemezeiben az eredeti csatornarendszer kőbélkitöltései. Ennek alapján rekonstruálható a vízédényrendszer. A tüskésbőrűek váza belső váz, amely a mezodermből keletkezik. A váz lemezekből áll, minden egyes lemez egyetlen kalcitkristály. A fosszilis tüskésbőrű-maradványok (**379. és 380. ábra**) könnyen felismerhetők a kalcitkristályok romboédes hasadása alapján. Minden egyes lemez a növekedés során kalcittük összeolvadásából válik egységes kristállyá. A

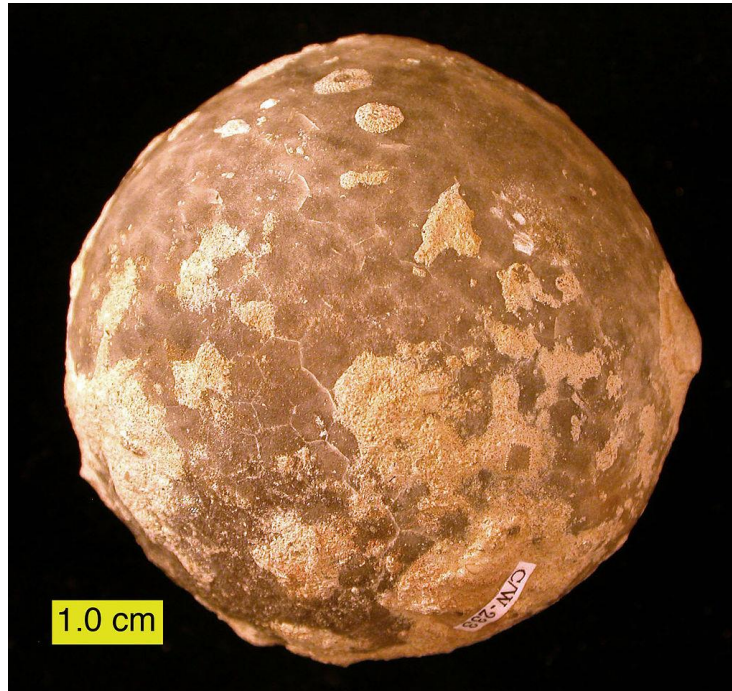
lemezek mozgathatóan vagy szilárdan kapcsolódhatnak egymáshoz, kivételesen a bőrben szétszórt, mikroszkopikus kicsinységű vázelemekre redukálódhatnak⁷⁹.



377. ábra Tüskésbőrű (Echinodermata) testfelépítésének vázlata (Forrás: wikipedia) A= gonad, B=mészlemez, C=végbélnyílás, D=ambulakrális lábacsák, E=vizedény-rendszer, F=szjadék, G= bélcsatorna, H=mésztüskék



378. ábra Tengeri sünök ambulakrális lábainak kilépési pórusaival (Forrás: wikipedia)



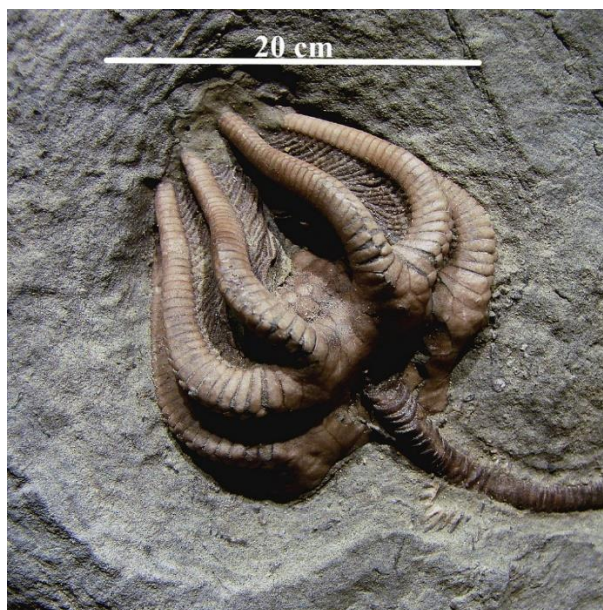
379. ábra Fossilis, ordovícium időszaki tengeri sün (*Echinospaerites aurantium*) maradványa Észtországból (Forrás: wikipedia)



380. ábra Fossilis tüskésbőrűekhez sorolt, napjainkban is létező tengeri liliom (*Crinoidea*) maradványa a jura időszakból (Forrás: wikipedia)

A tüskésbőrűek mind tengeriek, kevés kivételtől eltekintve az inbentoszban (aljzatban) és aljzaton, a bentosz felszínén élnek. Egyaránt találunk köztük

rögzülteket és a tengerfenéken vagy az iszapban mozgó alakokat. Annak ellenére, hogy a tüskésbőrűek közel állnak a legfejlettebb gerinchúrosokhoz (*Chordata*), nagyon hosszú földtörténeti múltjuk van. Valószínű, hogy őseik már a prekambriumban is éltek. Erre utal néhány, a paleozoikum előtti neoproterozoikumi Ediacara-faunából előkerült lelet, amelyek még váz nélküliek. Feltűnő, és evolúciós szempontból nagyon figyelemre méltó az a tény, hogy a kambriumban számos, egymástól messzemenően eltérő csoportjuk élt, anélkül, hogy ezeket a gyakori leletek közé sorolhatnánk. Jóllehet, kevés osztályuk ma is jelentős, kétségtelen, hogy a messzi földtörténeti múltban volt az igazi szétkülönülésük, differenciálódásuk időszaka. Lehetséges, hogy robbanásszerűen fejlődtek a kambrium hajnalán, vagy még inkább a prekambrium végén. Valamennyi osztályuk (13) már az ópaleozoikumban megjelent, és ezeknek több mint 50%-a (7 osztály) már a devon időszakban kihalt. Ezután már alacsonyabb rendszertani fokon fejlődtek tovább, inkább az alkalmazkodás irányában, mintsem új fejlődési szint kialakításával. A tüskésbőrűek kihalt nagyobb csoportjai inkább őslénytani, mintsem földtani szempontból jelentősek, a gerinctelenek között ugyanis a tüskésbőrűek váza a legösszetettebb. Egy - egyed váza 2 millió elemből állhat.



381. ábra Fossilis tüskésbőrűekhez sorolt, napjainkban is létező tengeri lilium (Crinoidea) maradványa a karbon időszaktól (Forrás: wikipedia)

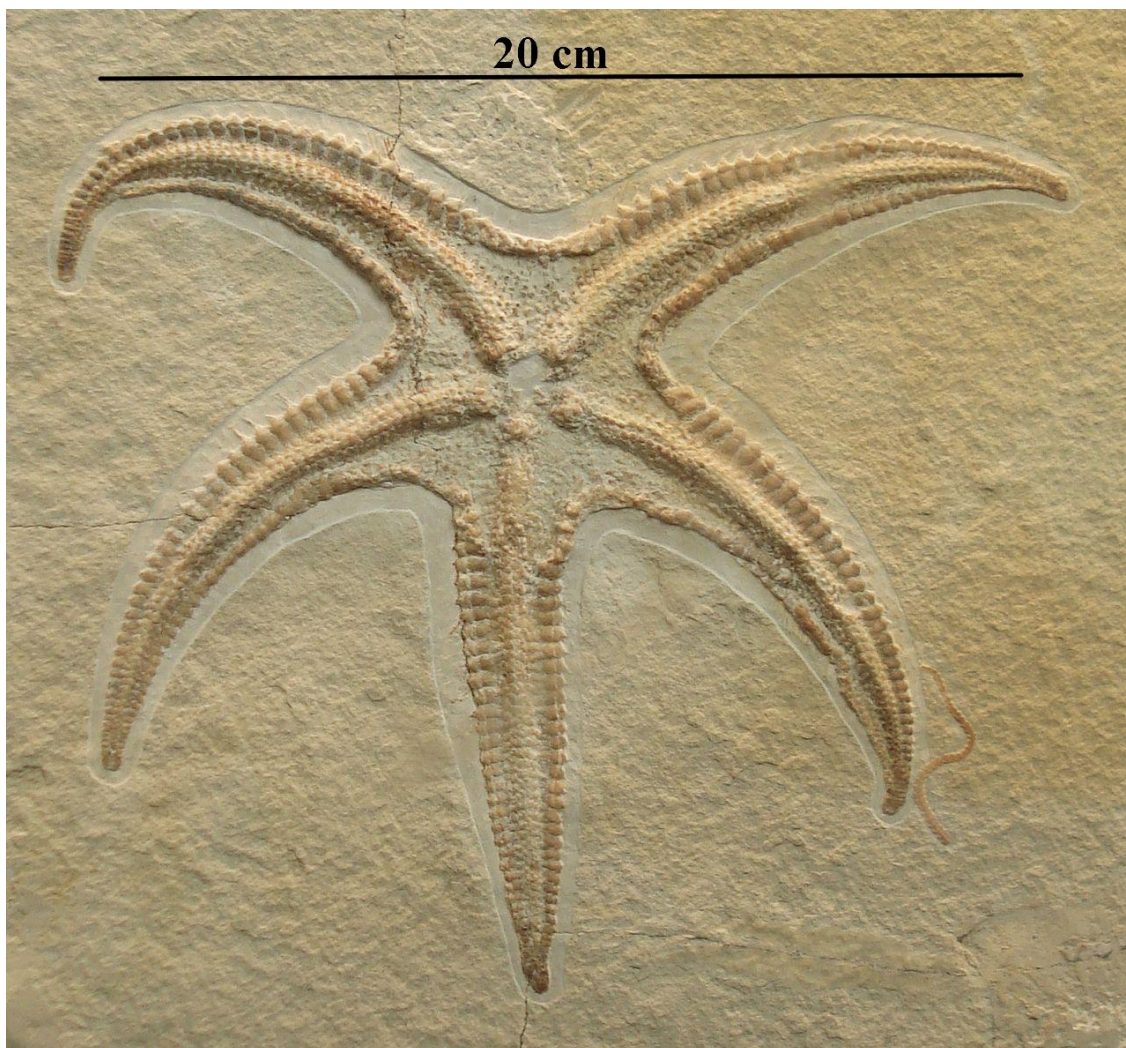
A váz legtöbb bélyege szoros kapcsolatban van a lágytesttel, ami megkönnyíti az alak hasonlóságok felismerését, megalapozottabbá teszi az egyes osztályok rendszerét. A vázon megfigyelt változások alapján, a rétegtani helyzet figyelembevételével, kijelölhetjük az egyes csoportok evolúciójának irányait, és az egyes fajokat korjelzésre is felhasználhatjuk. Sok tüskésbőrű váza szétesik az elhalás után és a vízmozgás hatására összemosódik. Ennek nyomán a tüskésbőrűek között is jelentkeznek tengeri kőzetalkotók. Az adott paleohidrológiai keretek figyelembevételével részletesebben csak ezekkel a csoportokkal foglalkozunk⁸⁰.



382. ábra Már kihalt kígyókarúakhoz sorolható, *Ophiopetra lithographica* fossziliája a jura időszakból (Forrás: wikipedia)

4.6.11. Crinoidea (Tengeri liliomok)

A tengeri liliomok (*Crinoidea*) alkotják a *Crinozoa* altörzs egyetlen jelenleg is élő osztályát. Fejlődésük az ordovicium időszaktól, mintegy 480 millió évtől számíthatjuk, ezért a földtörténeti léptékben kialakított paleohidrológiai elemzéseknél az ordovicium időszaktól használhatjuk fel ezeket a taxonokat. Virágokra emlékeztető alakjukról kapták a nevüket (**380., 381. ábra**). Általában jellemző rájuk, a két vagy három lemezsorból álló kehely, a mozgatható, lemezekből álló karok, a mozgatható, lemezekből álló nyél. A kehely (téka) két részből áll, alsó, dorzális tokból (patina), és a felső fedőlemezből (tegmen).

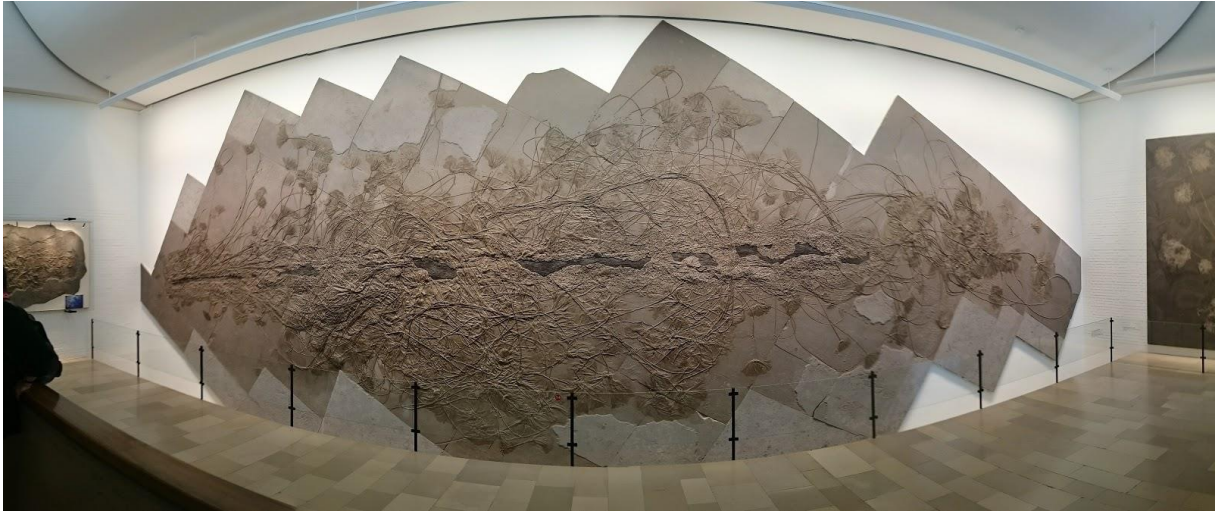


383. ábra Fossilis tüskésbőrűekhez sorolt, napjainkban is létező tengeri liliom (Crinoidea) kehely maradványa a szájadék- és a végbélnyílással, a jura időszakból (Forrás: wikipedia)

A dorzális tok henger, kúp vagy félgömb alakú domború, lapos, esetleg bemélyülő alsó résszel. A tengeri liliomoknál a szájnílás és a végbélnílás tehát fölfelé irányul, és ezt a kivételes fossziliáknál is megfigyelhetjük (**383. ábra**).

A mai tengeri liliomok apró lebegő szervezetekkel táplálkoznak: kovamoszatokkal, foraminiferákkal, radioláriákkal, rákok lárváival stb. A táplálékot a kehely peremén lévő karok függelékeivel szűrik ki a tengervízből, és a függelékek mérgező anyagával bontják meg apró áldozataikat. A karokon végighúzó ambulakrális csatornák mentén jut a táplálék a szájníláshoz. A szabadon mozgó tengeri liliomok karjaikkal gyűjtik össze a szerves

törmelékanyagot. Mivel a lárvák a szülők közelében települnek meg, a tengeri liliomok általában sűrűn egymás mellett élnek.



384. ábra Fosszilis tengeri liliom erdő kialakulása fenyő uszadék fára tapadva, kolonizálva az alsó jura időszaki bitumenes olajpalából, Holzmaden, Németországból (Forrás: Urwelt Múzeum, Hauff honlapja)

Ilyen értelemben szokás “krinoidea-erdőkről” beszélni. Az egykori krinoidea-erdők “koronaszintje” akár 20 m magasan is lehetett a tengerfenéktől! A mai tengeri liliomok a sekély, meleg, tiszta, nyugodt vizű, oxigénben gazdag tengerrészeket kedvelik, elsősorban a korallzátonyok lagúnáit. Egyesek megtalálhatók a mélytengeri árkokban (9700 m mélységben) is. Többségük a sziklás, egyenetlen aljzaton él, ahol könnyebben megtapadhat a kapaszkodó kacsokkal. A cementálók kemény felszínen élnek, de elágazó gyökerükkel meg tudnak tapadni a lágy iszapban is. A kihalt krinoideák között találunk uszadékfára tapadt, pszeudoplanktoni életmódot folytató (Holzmaden, alsó jura korú 183 millió éves fekete olajpalában – *Posidonia pala*) és pelágikus, lebegő-úszó alakokat (Solnhofen, felső jura).

A kambriumi Burgess-palából újabban leírt krinoidea-leletek pontos rendszertani helye bizonytalan. Első biztos képviselőiket az ordovíciumból ismerjük. A legkorábban kialakult tengeri liliomoknak még monociklikus kelyhük volt, négy radiáliával és négy karral. A szilurban a tengeri liliomok gyakoribbá váltak, a karbonban érték el virágkorukat. A perm/triász határon

rohamosan megfogyatkozott a számuk, és négy alosztályuk közül három kihalt. A mezozoikumban gyakoribbak lettek, anélkül, hogy régi jelentőségüket visszanyerték volna. A krinoideák törzsfejlődése során a szabályos ötsugaras szimmetria alakult ki, el nem meszesedő kehelyfedővel és mozgathatóan ízesülő karokkal. Krinoidea bioapatit a paleozoós és mezozoós üledékes kőzetsorokban gyakori. A krinoideás mészkövek vastagságából és nagy vízszintes elterjedéséből ítélve az egykori “krinoidea-erdőben” millió számra élhettek tengeri liliumok (**384. ábra**).

4.6.11.1. Krinoideás mészkövek egykori környezetének paleohidrológiai jellemzése

A krinoideás mészkövek egyértelműen tengeri környezetre utalnak, elsősorban sekélytengerre, zátony vagy más, erősebb vízmozgással jellemzett terület közelségére, ahol a váz felmorzsolódott. A krinoideák ott éltek, ahol megmaradt a gyökerük vagy a cementáló talpkorongjuk. Előfordulhat, hogy az elhalt állat az elhalás után összefüggően megmarad speciális paleohidrológiai állapot esetén. Ez esetben a vízmozgás nagyon jelentéktelen, az üledékképződés viszont gyors volt. Gyakoribb az az eset, amikor a nyugodt vizű élethelyen élő állatok vázát az erősebb viharoktól felkorbácsolt tengeri hullámozgás - áramlás elsodorja a tenger alatti hátságokra, a súlyosabb kelyhek pedig az eredeti élőhelyük közelében, a tenger alatti lejtő alján maradnak. A vízmozgás hatására a nyél- és karizék szétesnek, kémiai, illetve fizikai változáson mennek át. A vázból kioldódik a szerves anyag, és nehezebb anyagokkal (agyag, mészszip, vaskiválás) helyettesíthetnek⁸¹.

Ezzel egy időben az egymáshoz és az aljzathoz ütődő vázelemek koptatódnak. A felmorzsolódott krinoideatörmelék nyugodtabb vizű medencerészekben vagy sziklahasadékokban halmozódik fel, de az eredeti élethelytől mindenképpen eltérő környezetben. A gyöker-, kehely- és nyélmaradványok lerakódási helyéből és megtartási állapotából következtethetünk az egykori tenger alatti térszíni viszonyokra és a vízmozgás fokára.



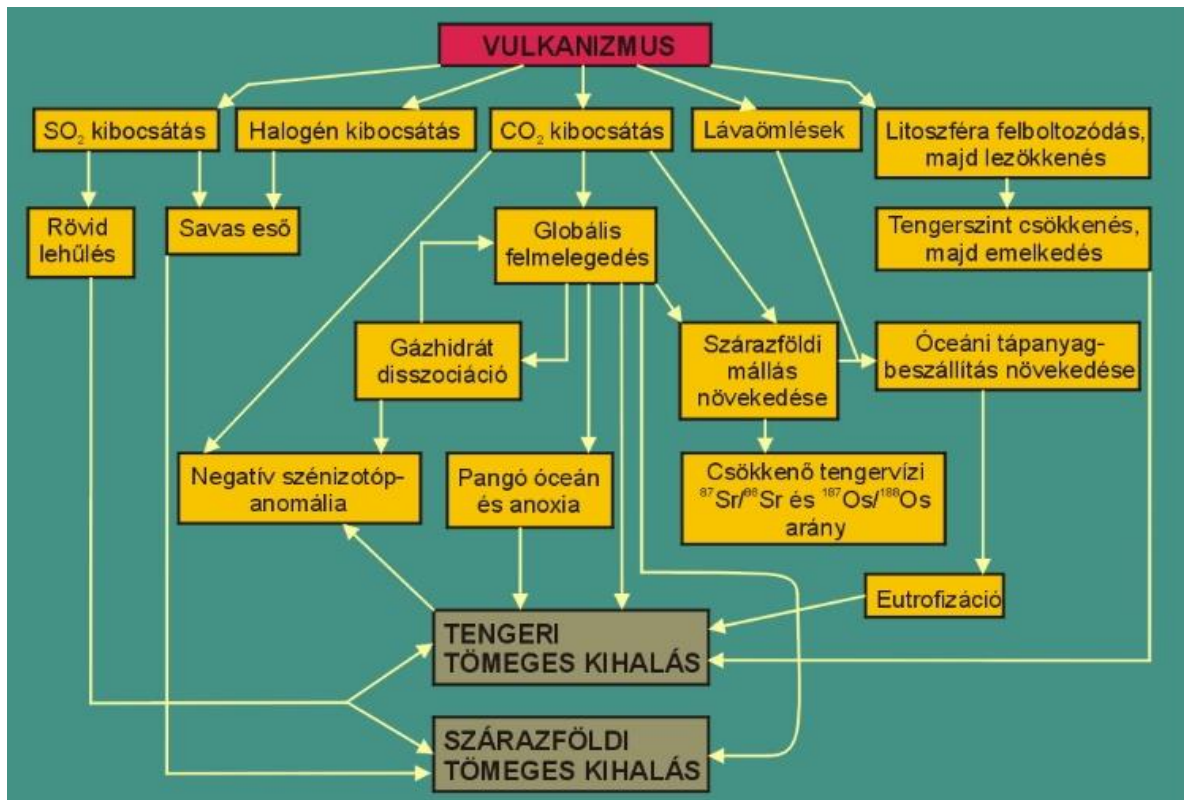
385. ábra *Pentacrinus subanularis* jura időszaki tengeri lilium kapaszkodó kacsokkal egykori uszadék fára tapadva a Holzmadeni alsó jura elzárt medence részben fosszilizálódva (Forrás: catawiki)

A krinoideás mészkőben sok esetben megfigyelhető a kereszt-rétegzettség, vagy magának a krinoideás közbetelepülésnek lencse-, illetve dűneszerű alakja, ami egyértelműen utal az egykori szállítódásra és a vízmozgásra. A krinoideák 5300 faja közül jelenleg 540 él. A mezozoós krinoideák közül a leggyakoribb a *Pentacrinus* nemzetség volt. Nevét ötszögletes nyeléről kapta. A nyéltagok ízesülési felületén öt, szírszerű bemélyülés van, rovátkolt peremmel. A nyélen gyakoriak a kapaszkodókacsok, amelyek helyettesítették a gyökeret. A

Pentacrinus gyakran tapadt uszadékfára (**385. ábra**), és amikor a fatörzs a megterheléstől lesüllyedt, a mozdulatlan vízű, elzárt medencerészben (Holzmaden, alsó jura) a váz nem esett szét, hanem teljes épségben maradt meg (**385. ábra**).

Az oxigénhiányos környezetben kialakuló 183 millió éves holzmadeni, fekete olajpalában, vagy nemzetközi nevén *Posidonia* palában, amely áramlatoktól, zagyáraktól mentes aljzaton halmozódott fel. Az itt lerakódott üledék annyira finom szemcséjű volt, hogy teljesen kitöltötte az aljzatra süllyedő maradványok pórusait, ezért a lágytest körvonala is megmaradhatott. Ezt a rendkívüli fosszilizációs helyzetet még segítette, hogy holzmadeni pala bitumen tartalma akár a 8%-ot is elérheti. Ezt az anoxikus (oxigénmentes), bitumenben gazdag, finomszemű üledékekben, szerves anyagban gazdag szapropéles - pélites (tengeri iszapos) környezetet a paleohidrológiai elemzésekben *euxin fáciesnek* (euxin környezetnek) nevezzük. Nevét a Fekete-tenger ókori görög elnevezéséről kapta, mivel jelenleg a Fekete-tenger elzárt medencéjében, a tengeri aljzaton hasonló finomszemű, anoxikus, szerves anyagban gazdag szapropéles - pélites (tengeri iszapos) környezet fejlődött ki. Alsó jura korú holzmadeni fekete palához hasonló kőzetkifejlődések egész Európában megtalálhatóak Nagy-Britanniától Görögorszáig, így Magyarországon is előbukkan alsó jura korú (toarci emelethez sorolható) feketepala a Mecsek hegységben, az Apátvarasdhoz közeli Réka-völgyben. A földtani – őslénytani és paleohidrológiai elemzések alapján az alsó jura során jelentősen megemelkedett a tengerek plankton-produktivitása. A vízben sodródó planktonikus lények, egysejtűek számának növekedésével többszörösére nőtt a tengervíz szervesanyag-tartalma. Ezen megnövekedett szervezetek folyamatosan pusztulnak, és szépen lassan lesüllyednek a tenger aljzatára, egyrészt megnövelve az aljzat biomassza tartalmát, másrészt süllyedésük – bomlásuk során oxigént vonnak el környezetükből, a tengervízből. Ennek nyomán

oxigénmentes környezet, halott vízi környezet alakulhat ki, akár a tengervíz oszlop több rétegében is.



386. ábra Triász/jura határán kialakult, vulkanizmus indukálta környezeti változások nyomán kifejlődött kihalás hullám geológiai – paleoklimatológiai – paleohidrológiai háttere (Forrás: researchgate: Wigall, 2001 nyomán Pálfy József akadémikus módosításaival)

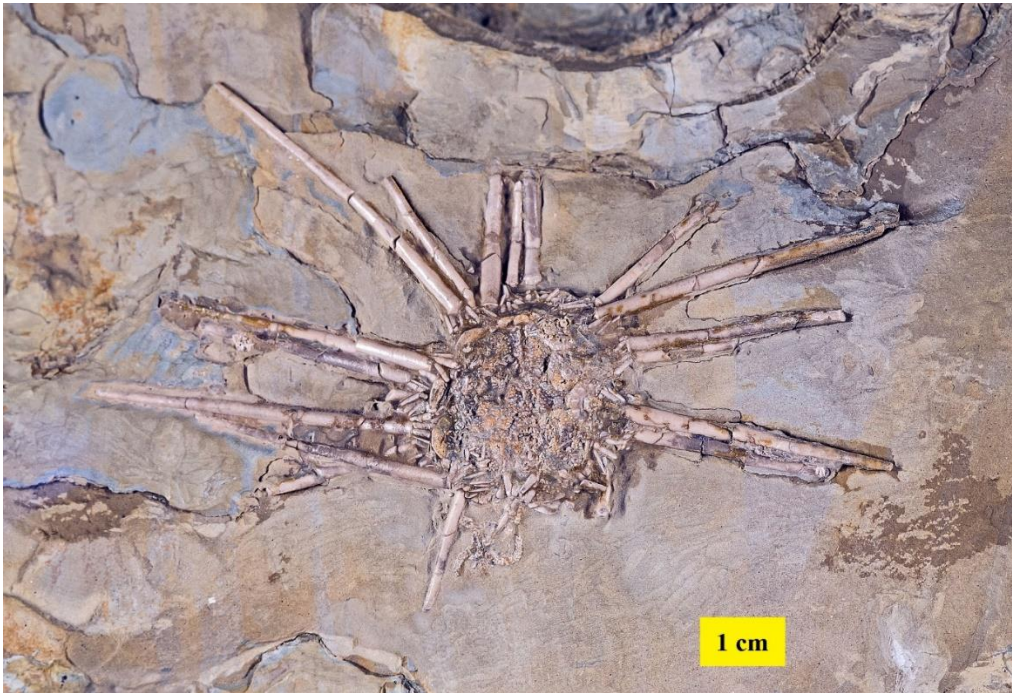
Amennyiben az aljzaton alakul ki az anoxikus környezet akkor keletkezi fekete olajpala alapját alkotó bitumenben–szerves anyagban gazdag üledék. A világoceánokon végzett Deep Sea Drilling Project (DSDP) keretében végzett kutatások nyomán egyértelművé vált, hogy a toarci óceáni anoxikus esemény (T-OAE) 183 millió éve kirajzolódó dél-afrikai Karoo és az antarktiszi Ferrar bazaltplatóinak kifejlődéséhez kapcsolódnak. A két térség a jura időszaki Gondwana szuperkontinens révén még összefüggő terület volt.

Ennek a két bazaltplatónak a kifejlődését pedig mintegy 20 millió évvel előzte meg a Középső Atlanti Vulkáni Provincia árbazalt vulkáni működése, 201-202 millió évek között a triász és jura időszak határán és alakított ki egy rendkívül kihalási hullámot. Természetesen ez a több százezer km², illetve Középső

Atlanti Vulkáni Provincia esetében több millió km² területre kiterjedő intenzív vulkanizmus kifejlődése nem magyarázza meg önmagában a tengerfenéki anoxia jelenségét, vagy a triász/jura határon kialakuló masszív kihálási hullámot.

4.6.12. Echinoidea (Tengeri sünök)

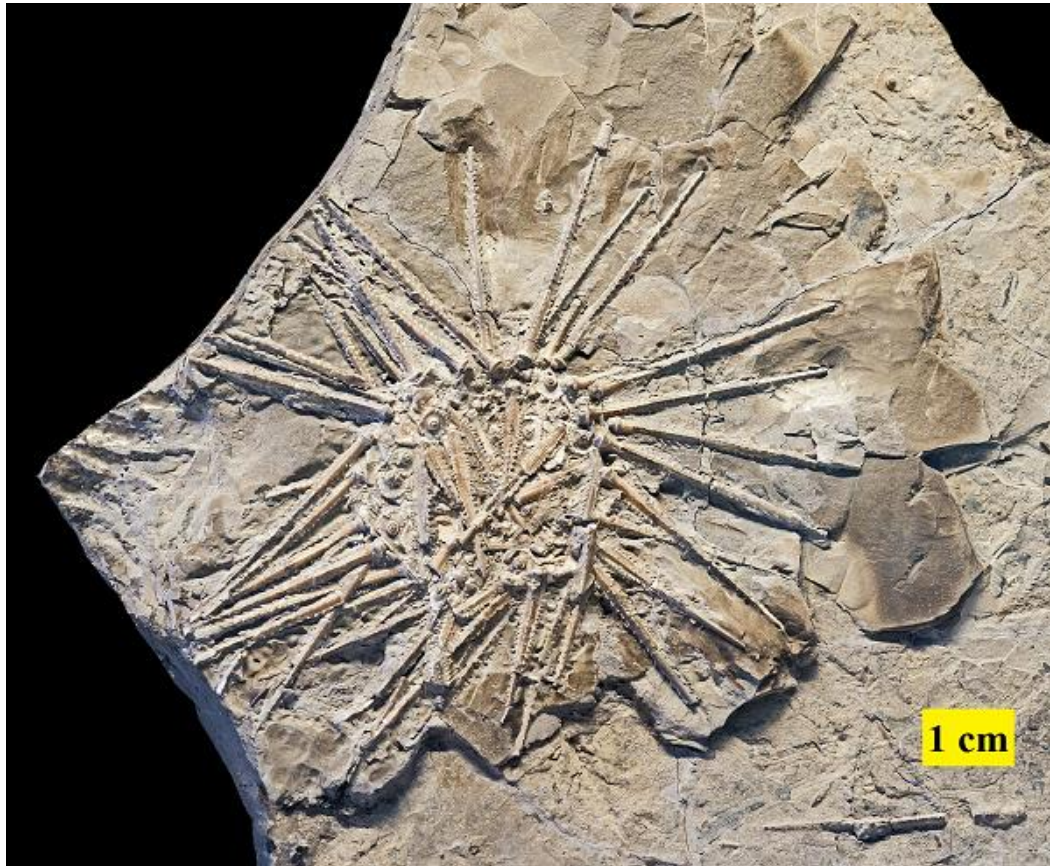
A tengeri sünök az Echinozoa altörzsbe tartoznak. Ebben az altörzsben nincsen nyél, és nincsenek karok. A tengeri sünökre általában jellemző a gömbszerű, szív-, vagy korong alakú test, a mozgatható tüskék, a szilárdan összenőtt táblasorokból álló váz, az alsó szájníválás. A tengeri sünök a belső vázat kívülről burkoló tüskékről kapták nevüket. A tengeri sünök általában kicsinyek. Átmérőjük néhány mm és 20 cm között változik. Maguk a tüskék nagyon változatos alakúak és szerkezetűek. Lehetnek hosszúak, lándzsaszerűek, vagy rövidek és bunkó alakúak. Mindig izmokkal mozgathatóan kapcsolódnak az összenőtt lemezekből álló vázhoz, ezért általában lehullanak a vázról az állat elhalta után. A fosszilis tengeri sünökön csak kivételes esetben maradnak meg a tüskék (**387. ábra**), helyük azonban szemölcszerű kiemelkedés alakjában megőrződik⁸².



387. ábra *Miocidarid coeva* triász időszaki tengeri sün, kivételesen jól, tüskékkel együtt fosszilizálódott példánya (Forrás: wikiwand)

A szájnylás mindig alul van, a tengerfenék felé irányul, meghatározva ezzel a táplálkozás formáját is. Többnyire középen van a szájadék, vagy kissé eltolódik a mellső perem felé. A szájnylás és korona közti részt (perisztóma) vagy hártya borítja, vagy apró lemezek. A szájadékperem kör alakú ép, vagy bemetszett.

A tengeri sünök egy részének öt, háromszögletű lemezből összetett erős rágószerve van, az "Arisztotelész lámpása". Kívülről a rágónak csak a csúcsait látjuk, a rágó az állat elhalta után többnyire kiesik a koronából. Az iszaplakó (inbentonikus) tengeri sünöknek nincsen Arisztotelész lámpásuk, a szájadékuk, lapátszerűen kiöblösül.



388. ábra *Archaeocidaris brownwoodensis* ritka paleozóos tengeri sünök egyik taxonja, kivételesen jó megtartásban karbon kori tengeri üledékből (Forrás: wikiwand)

Azok a tengeri sünök, amelyeknek rágójuk van, növényekkel vagy apró állatokkal táplálkoznak, amelyeket a tengerfenéken gyűjtenek össze. Az iszaplakók (inbentonikus) tengeri sünök az üledékben levő szerves anyagokkal táplálkoznak, egyszerűen úgy, hogy keresztülpréselik a bélcsatornán a törmeléket, vagy a szájnyílás körüli apró ambulakrális lábakkal gyűjtik össze a szerves anyagot. Paleohidrológiai szempontból kiemelkedő jelentőségű, hogy általában mozgó életmódot folytatnak a tengeri sünök, lassan másznak a tengerfenéken, vagy különböző mélységbe ássák be magukat az iszapba.

Kivételesen vannak köztük olyanok is, amelyek üreget vájnak a sziklába, betelepülnek, majd többé nem hagyják el a sziklaüreget, csak egy kis nyíláson érintkeznek a tengervízzel. Ezek a taxonok az aljzaton rögzült életközösséghez (szesszilis bentoszba tartoznak. Paleohidrológiai szempontból kiemelkedő, hogy a tengeri sünök jelentős része az árapályövben vagy a sekélytengerekben él, csak

kevés nemzetségük hatolt le az abisszikus mélységekbe. A törzsfajlás során az első tengeri sünöket az ordovícium időszakából, mintegy 500 millió évtől ismerjük. A paleozoós alakok egy részének lemezei háztetőcserép-szerűen illeszkedtek egymáshoz, és így a váz hajlítható volt. A végbélnyílás a szájnírással átellenes felső részen volt, fejletlenek voltak a tüskék és egyszerű volt a rágószerv. A paleozoikumban a tengeri sünök a ritka fosszíliaák közé tartoznak (**388. ábra**). 5000 fosszilis és 850 ma élő fajukat ismerjük, ezeknek mindössze 2,5%-a paleozoós. A paleozoikum végén az ősi típusú tengeri sünök kihaltak, csak néhány nagy tüskéjű, szilárd vázú alak élte túl a Sepkoski-féle III. kihalási szintet a perm végén. Paleohidrológiai szempontból kiemelkedő jelentőségű, hogy ezek a taxonok ma is élnek, de mellettük egyre jelentősebb szerephez jutottak azok az alakok, amelyek már nem a tengerfenéken, hanem a tenger iszapjában (inbentoszban) élnek. Az inbentosz meghódítása a jurától máig tartó folyamat eredménye. Ez az új környezet erőteljes alkalmazkodást kívánt meg, ami megváltoztatta az állat alakját (**389. ábra**).

Az iszapban már nincsen szükség az erős védőtüskékre, ezért előnybe kerültek azok az egyedek, amelyeknél a tüskék kisebbek és sűrűbbek lettek, serteszerűen borították be az állat testét. Az iszapba húzó állat körül a szükséges vízárámról a keskeny övekben csoportosuló csillók gondoskodnak. Az ambulakrális lábak megerősödtek, gyakran több lemez összeolvadásával megnőttek, és szintén tüskéket viseltek.



389. ábra *Clypeus plotti*, az inbentosban élő tengeri sünök jura időszaki jellegzetes képviselője (Forrás: wikiwand)

Ezzel egyrészt szilárdabb lett a váz, másrészt az ambulakrális mezők kiszélesülése megkönnyítette a mozgást és a táplálkozást az aljzatban (inbentosban)⁸³. Ebben a fejlődési fázisban az inbentosban élő tengeri sünök felső részén levő ambulakrális lábak átalakulnak légzőszervvé, az alsó oldalon, a szájnyílást körülvevő kopoltyúk, amelyek úgy sem juthatnának az iszapban elegendő vízhez, eltűnnek. Mivel a tengeri sünök a jura időszaktól kezdődően az iszapban élnek, a szájadéknál található erős rágó (ún. „*Arisztotelész lámpása*”) fölöslegessé válik és eltűnik. A tengerfenéken mászó alakok eredetileg kör alakúak. Az iszaplakók vagy lapos pajzsszerűekké válnak, vagy kétoldali részarányos, megnyúlt szív alakot öltenek. A lapos testtel könnyű elbújni az iszapban, és a rejtőzés mellett a hullámverés ellen is nagyobb a védelem, az áramvonalas alak pedig megkönnyíti az iszapban ásó mozgást. Mindez a tengeri sünök különböző törzsfajlódási ágán különböző sebességgel végbemenő folyamat, amelyet az egyes ágakon általában méretnövekedés és alakátalakulás

kísért (390. ábra). Jelenleg a tengeri sünök virágkorukat élik. A mezozoikumból és a kainozoikumból 15 rendjük ismert, ezek közül mindössze egy halt ki. A fosszilis tengeri sünök elsősorban jó környezetjelzők, ezért kiválóan hasznosíthatók az egykori tengeri élettér paleohidrológiai elemzéséhez. Mivel nagyon összetett külső vázuk van, és a bentoszélet változatos feltételeihez messzemenően alkalmazkodtak, értékes felvilágosítást nyújtanak a paleohidrológiai elemzésekhez az egykori üledék minőségéről, a vízmozgásról, az egykori táplálékviszonyokról. Ugyanakkor kőzetalkotó mennyiségben nem jelentkeztek, viszont a döntően sárgásmoszatok (kokkofloridák) maradványai által alkotott kréta időszakbeli írókréta fáciesben (144. ábra) különösen jelentősek a maradványaik.



390. ábra *Clypeaster portentosus* az inbentosz (aljazatbeli) életmódhoz alkalmazkodott, már megnyúlt alakú tengeri sün miocén tengeri üledékből (Forrás: wikiwand)

A tüskésbőrűek (*Echinodermata*) tehát a gerinctelenek nagy faj- és alakgazdagságú törzse, többségük a tengerekben él a sarkvidékektől az Egyenlítőig. A rendkívül sokszínű és változatos formavilágú tüskésbőrű állatok közé tartoznak a tengeri lilomok (*Cnidaria*), tengeri csillagok (*Asteroidea*), kígyókarúak (*Ophiuroidea*), tengeri uborkák (*Holothuroidea*) és tengeri sünök. Környezeti igényeik bizonyos feltételekben azonosak, többek között a víz sótartalma tekintetében, más esetben, mint a földrajzi elhelyezkedés – igen változatosak, de minden tekintetben ragaszkodnak az élőhelyük lokális ökológiai viszonyaihoz. Éppen ezért kiválóan alkalmazhatóak a tengeri paleohidrológiai elemzésekhez. A tenger vizének sótartalma kiemelkedő jelentőségű mindegyik ide tartozó taxonnál, az átlagos 35 ezrelékes sóaránynak mindössze csekély mértékű növekedését vagy csökkenését tűrik el⁸⁴. Ráadásul a víznek a sótartalom természetes ingadozásán túlmenő változásait egyáltalán viselik el, így a bepárlódó és így túl sóssá váló, vagy az ezzel ellentétesen kiédesedő vizekből rövid idő alatt kipusztulnak. Mindegyik csoportnak kalcium-karbonátból álló váza van, melyet a vízben oldott hidrokarbonát ionokból építenek fel. Egy globális tengerfenék élőlényeit átfogó kutatás többek között a világ számos pontján különböző tengeri sünök vázkiválasztó tevékenységét figyelte, melynek fő célja a kibocsátott szén-dioxid elnyelésének tanulmányozása volt. Az összes ma élő tüskésbőrűvel számolva, mintegy 100 millió tonna elnyelt szén-dioxidot köszönhetünk e törzs tagjainak azáltal, hogy a tengervízben oldott hidrokarbonátot beépítve szervezetükbe, így egyfajta biológiai szénpumpaként – kivonják a globális szénkörforgásból a széndioxidot. Ez a világ éves szén-dioxid-kibocsátásának összesen 1–2 százalékát kötik meg a tüskésbőrűek, de összehasonlításképpen megfelel Lengyelország egy évnyi szén-dioxid kibocsátásának.

Mint hogy karbonátból álló szilárd vázuk van, ezért kiválóan megőrződnek így a földtörténeti múltban is felhasználhatók a paleohidrológiai elemzésekhez, ezen tulajdonságuk a jelenben zajló éghajlati és környezeti változások egyre inkább

értékesebbé válik ez a csoport, mivel a földtörténeti múlt eseményeinek feltárásával egyre pontosabb trendeket rajzolhatunk meg az ember által indukált éghajlati változással kapcsolatban. A szén-dioxid megemelkedett szintje azonban maguknak a tüskésbőrűeknek sem tesz jót, mivel a vízbe diffundált széndioxid szénsavként jelentkezik a tengervízben. Ez jelentős mértékben megnöveli a tengervíz savasságát. A kémhatás változása világszinten mindössze 0,1-0,2 eltolódást jelent a savas közeg felé, azonban már ez is komoly változásokat képes okozni a tüskésbőrűek fejlődésében és fauna összetételében. Különböző vízmélységben élő, embrionális életszakaszukban lévő tengeri sünökön végeztek laboratóriumi kísérleteket, amelyekben a víz kémhatását mesterségesen tolták el a savas pH irányába, fokozatosan olyan arányban, ahogy az a jelenlegi szén-dioxid-kibocsátás mértékéből az elkövetkező évtizedekben várhatóan következik. A kísérletek végeredménye: a mélyebb vízben élő taxonok esetében drámai visszamaradások következtek be a vázak fejlődésében. Ugyanakkor a sekélyvízi forma egyedei képesek voltak tolerálni a savas közeget, mivel a part közeli vízben akár természetes módon is előfordulhat a tengervíz kémhatásának ingadozása. Viszont az itt élő taxonok váza a törzsfajlás során jelentősen elvékonyodott a normál kémhatású vízben nevelt példányokéhoz képest. A csökkenés oka, hogy a savas közegben a mészváz kiválasztása jóval nehezebbé válik. Csakhogy a vékonyabb vázú formák jobban kitetté válnak a tengervíz áramlási szeszélyeinek. Éppen ezért a sekély tengerben fontos tényező, a vízmozgás. Viszont itt a legjelentősebb a tüskésbőrűek faj- és egyedgazdagsága, és ennek nyomán az egymással való versengés is kiélezettebb⁸⁵.

Erre mutatott rá egy az Új-Zéland és Antarktisz közötti területen végzett tengerbiológiai vizsgálat sorozat az Admiralty elnevezésű tenger alatti magaslaton (seamounton). A sarki vizekkel borított magaslaton milliós számú tenyésznemű nagyméretű, mintegy 50 centiméter magas tengeri liliumok, amelyek a *Hyocrinoidea* családba tartoznak. Ezek állandóan az aljzathoz rögzülve élnek.

Ugyanitt jelentős egyedsűrűségben találtak ezen a területen kígyókarú tengeri csillagokat (*Ophiocamax gigas*) is. Ugyanakkor feltűnően hiányoznak ebben a tengeri lilium erdőben olyan ragadozó csoportok, mint a rákok vagy a halak. Ezzel szemben több helyen megfigyelték ezen a magaslaton, hogy a tengeri csillagok és a tengeri sünök támadták meg a tengeri liliumokat.

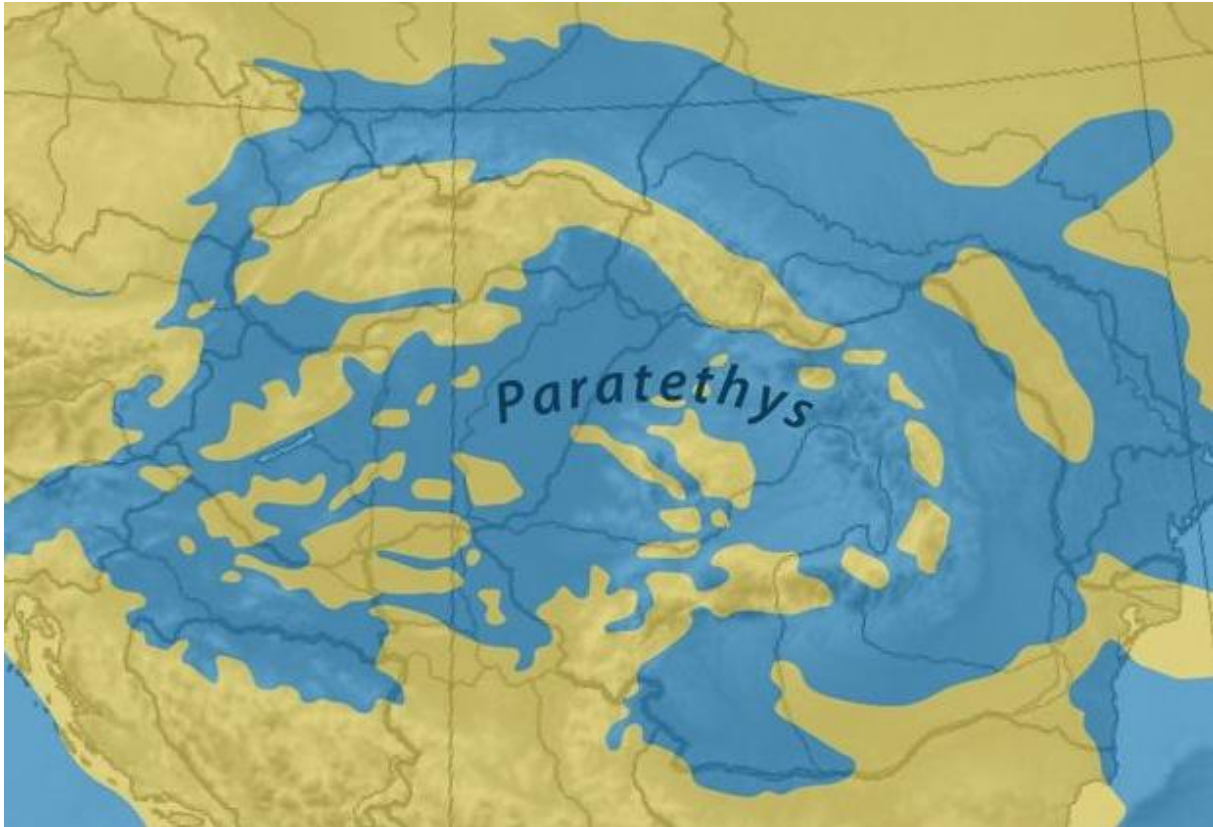
Az élő példányok mellett a tenger aljzatát borító köveken mindenhol jól látható a korábban élt tengeri liliumok rögzülésének a helye. A krinoidea példányok átlagosan 20 éves élettartama és a tengeraljzaton felhalmozódott vázak mennyisége alapján ez az életközösség már legalább 25 ezer éve, az utolsó jégkori hidegmaximum (LGM) óta virágzik az Admiralty magaslat területén⁸⁶. Valószínűsíthető, hogy az LGM során lecsökkent tengervíz magasság hatására és az antarktisi sarkkörü jégtakaró kiterjedésének növekedése nyomán szigetelődhetett el ez a speciális fauna a területen és indult el sajátos tenger alatti szigetszerű fejlődésnek. Ez a földtörténeti ókorra jellemző "paleozoós típusú" élőközösség, amely a tengeri liliumok dominanciájával és a modern ragadozó csoportok hiányával jellemezhető, óceánográfiai okok miatt alakulhatott ki az Admiralty területén. Az Antarktisz partjairól ugyanis tápanyagban szegény hideg vizek érkeznek ide, ezért a ragadozók nem tudnak megtelepedni a vizsgált területen⁸⁷.

Nem véletlen történt ez a tüskésbőrűekre kiterjedő paleohidrológiai elemzéseket is tartalmazó tengerbiológiai vizsgálat sorozat, mivel a jelenlegi világóceán savasodása az éghajlatkutatás egyik legégetőbb folyamatává vált. Mindenekelőtt a vízoszlop felső részén élő fitoplankton rétegre, mint fontos oxigéntermelő és szén-dioxid-elnyelő növényzeti filmszintre vonatkozó kutatások emelhetők ki. Azonban a tengerfenéken élő szervezeteket is kiemelkedő jelentőségűek, mivel a fenéklakó tüskésbőrű szervezetek savasodásra való reakcióját összevetjük a felszínhez közeli fitoplankton adataival, akkor pontosabb képet kaphatunk az óceán egészének kémhatásváltozásairól, ennek nyomán a globális éghajlati változás okozat környezeti átalakulás trendjéről. Ebben kiválóan felhasználhatók

a tüskésbőrűek, mivel a klíma változása a közvetlen hőmérséklet-emelkedésben is komoly hatást gyakorol az echinodermatákra. Elterjedésük szoros összefüggést mutat a tengerfelszín hőmérsékletével: legnagyobb fajgazdagsággal a mediterrán és a szubtrópusi, trópusi éghajlaton találhatók meg, de a sarkvidékeken is jelen vannak. A tüskésbőrűeknél általános szabályszerűség, hogy minél melegebb a klíma, annál nagyobb a sokféleség. Az egyes éghajlati viszonyokat kedvelő formák azonban a hőmérsékletnek már kis ingadozására is érzékenyen reagálnak. Tengeri sünökön végzett kutatás alapján az Antarktika körül élő formák (lásd a fentebb bemutatott Admiralty magaslat tengeri lilium erdejét) esetében a vízhőmérséklet 1–2 °C emelkedése már drasztikus romlást jelent a szaporodásban: a megtermékenyülő peték számának ugrásszerű csökkenésén túl az embriók fejlődéséig jelentős visszaesése tapasztalható. Az Antarktisz körüli vizekben napjainkban tengeri sünök ma jóval kisebb számban fordulnak elő, mint fosszilis megfelelőik. Így a tüskésbőrű csoport tehát jól mutatja, hogyan reagálnak a tüskésbőrűek az óceánvíz hőmérsékletének változására akár évmillió nagyságrendben is⁸⁸.

Az egykori környezet és éghajlat tüskésbőrűekkel történő feltárása hazánkban is folytatható. Magyarország európai szinten is jelentős echinodermata-, azon belül is főként tengerisün-leletanyaggal büszkélkedhet⁸⁹. Az országban a Soproni-hegységtől a Dunántúli-középhegységen és a Mecseken át az Északi-középhegységig számos helyen található olyan földtani feltárások, melyek az egykoron hazánk helyén több tíz millió évvel ezelőtt elterülő ősi tengerág, a Paratethys élővilágának maradványait zárják magukba. Ezek mind mennyiségben, mind pedig fajgazdagságban egyedülálló echinodermata-fossziliákat tartalmaznak. Ugyanis a XIX. század közepe óta ezrével gyűjtötték tüskésbőrűek ősmaradványát, ennek eredményeként számos fajt és nemzetséget írtak le magyarországi előfordulású tengerisün-kövéletek alapján. Ma a példányok jelentős részét – hozzávetőlegesen 7000 példányt – számláló kollekciónál található a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet Földtani és

Geofizikai Gyűjteményében, valamint a Magyar Természettudományi Múzeum *Dulai Alfréd* paleontológus vezette Őslénytani és Földtani Tárában. A magyarországi tengeri sünökre vonatkozó eredmények kiemelkedőek. Egyértelműen megállapítható volt, hogy a hazai fosszilis tengeri sünök többségének mai képviselői a Földközi-tenger térségében élnek, de van olyan is, amely ma kizárólag csak az Indiai-óceánban található.



391. ábra A Paratethys tengerág központi részének elhelyezkedése és kiterjedése a miocén időszak badeni emeletében (Forrás: wikipedia)

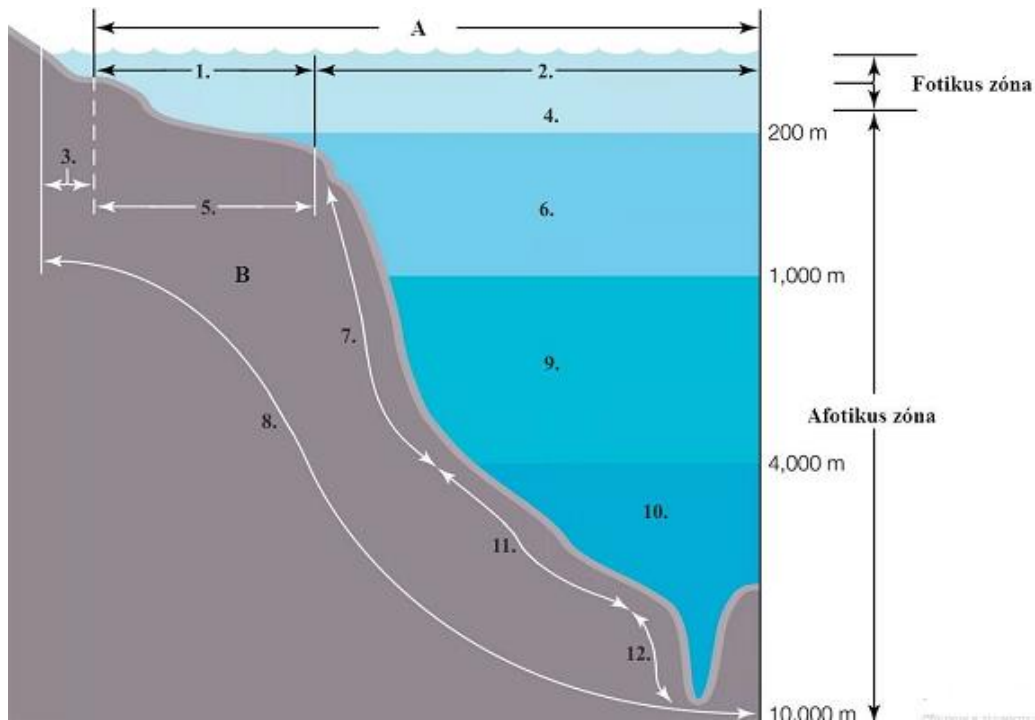
Dulai Alfréd paleontológus által összefogott harmadidőszakra vonatkozó kutatások nyomán ismeretes, hogy a tüskésbőrű fauna és más csoportok is mintegy 13,5 millió éve, a miocén időszak badeni emeletében érték el legnagyobb diverzitásukat a Kárpát-medencében. Ekkorra tehető a tengeri környezeti optimum a Paratethys rendszerben (**391. ábra**). A badeni korszak során nagyon sokféle üledékes kőzet képződött, de a legismertebb talán a sekélytengeri, főleg mészhomokkő anyagú mészkő, a *Lajtamészkő Formáció*, *Rákosi Tagozat*.

A Rákosi Tagozatba sorolt lajtamészakőben található fossziliák a méretük és a sok ezer leírt fajuk révén a trópusi tengerekre emlékeztetnek, de részletes vizsgálatuk s a mai élőlényekkel való összehasonlításuk alapján ma már bizonyosra vehető, hogy szubtrópusi, vagy meleg-mérsékelt éghajlaton kellett élniük. A paratethysbeli *korallzátonyok* az egész neogén idején ekkor terjedtek a legészakabbra, bizonyítva, hogy a Paratethys tengerág vize nem hűlt tartósan 16–17 °C alá. Dél-Lengyelországban éppúgy megtaláljuk a korall maradványaikat, mint a Börzsöny, a Bakony vagy a Mecsek lejtőin⁹⁰. Rendkívül szép korallmaradványokra akadtak Visegrádon, a Börzsöny déli részén, valamint a bakonyi Márkón is. A zátonyok szerény mérete, és fajokban viszonylag szegény volta a mai analógiák szerint a Dél-Japánéhoz vagy a floridai Bermuda-szigetekéhez hasonló éghajlatra utal. A zátonyokkal egyidőben az iszapos partokon tengerparti mangrove-mocsarak is húzódtak, igaz, létüket csupán egyetlen növénynemzetség, a középkor perzsa tudósról elnevezett *Avicennia* (fekete mangrove) jelzi (**392. ábra**). Ennek nyomán a mangrove mocsarak elterjedésének északi szegélye alakulhatott ki a Középső-Paratethys északi partvidékén. A mangrove mocsarakkal lesz a legteljesebb a bádeni Paratethys tengeri környezetének hasonlósága a mai floridai – bahamai területekkel (Key West mangrove mocsarai: **392. ábra**). A Paratethys tengerágak körüli partok növényvilága tartalmazott ugyan trópusi elemeket – pálmaféléket, cikászokat –, ez azonban csupán a fagyok hiányát bizonyítja. Így ebben a korban a térségünkben fagymentes mediterrán-szubtrópusi éghajlat alatt meleg, karbonátban dús tengervíz uralkodott, ami kedvezett a tengeri sünök életkörülményeinek. Középső-Paratethys medencéjében malakológiai vizsgálatok alapján a víztömeg rétegződését valószínűsítették, ezt támasztják alá stabilizotópos mérések eredményei is.



392. ábra A Paratethys északi partvidékén a miocén időszak bádeni emeletében elterjedt, a középkor perzsa tudósról elnevezett Avicennia (fekete) mangrove mocsár ma is élő kifejlődése Floridában (Forrás: wikipedia)

A tidális (árapály övezetben), sekély neritikus környezetben felhalmozódott biogén eredetű „lajtamésző” mind az intramontán medencékben, mind a kárpáti előtéri süllyedékekben elterjedt. A szárazföldi dús növényzet és gyakori csapadék révén kialakult mállással és csepperózióval bőséges, szerves anyagban dús tápanyagot juttatott a partvidékekre, sekélytengeri, jól átvilágított (fotikus) régióba (**393. ábra**). Ennek köszönhetően a tengeri sünök virágkorukat élték ebben a tengerágban. Így nem véletlen, hogy a mai mediterrán és szubtrópusi tengerekben és óceán részletekben található tengeri sün taxonok éltek a Kárpát – medencében a Paratethys középső részén.



393. ábra A tengeri és óceáni mélységzónák elhelyezkedése (Forrás: wikipedia – magyarra fordítva, módosítva), zónák: A = nyílttengeri (pelagikus), aljzat nélküli víztömeg, 1 = sekélytengeri (neritikus), 2 = óceáni, 3 = littorális (hullámverési), 4 = epipelágikus, A tengeri és óceáni mélységzónák elhelyezkedése (Forrás: wikipedia – magyarra fordítva, módosítva), zónák: A = nyílttengeri (pelagikus), aljzat nélküli víztömeg, 1 = sekélytengeri (neritikus), 2 = óceáni, 3 = littorális (hullámverési), 4 = epipelágikus, 5 = szublittorális, 6 = mezopelágikus, 7 = batiális mélységig nyúló kontinentális lejtő, 8 = bentosz vagy más néven aljzat, 9 = batiopelágikus szint, 10 = abisszopelágikus szint, 11 = abisszikus síkság, 12 = hadális (mélytengeri árkok) szintje

Ezekben az időkben igen intenzív vulkáni tevékenységgel számolhatunk, amelynek kettős hatása volt. Egyrészt a kovasavban gazdag magmás tevékenység időről időre savassá tette a vizeket, és ez a pH változás megtizedelte a tengerek élővilágát, közte a tüskésbőrű faunát is. Másrészt a vulkanizmus elmúltával, ahogyan a vulkanikus talajon gazdag növényzet képes volt megtelepedni és kifejlődni, úgy a Paratethys tengeri élővilágnak is értékes tápanyagul szolgáltak a szárazföldi élővilág regenerációját, a mállást, a talajosodást, az eróziót követően a tengerbe jutó szerves anyag. A tengeri élővilág felfutását segítette még a vulkánok által a bioszférába juttatott, mállásnak indult ásványi anyagok és nyomelemek. Az ezt követő igen rövid

földtörténeti idő alatt azonban markáns változások léptek fel: a korábban itt elterülő tenger elzáródott a világóceántól, így fokozatosan kezdett kiédesedni. Ezt a változást a tüskésbőrűek már nem tudták átvészelni, számuk rövid földtani idő alatt nagymértékben lecsökkent, majd teljesen eltűntek, kihaltak a Kárpát-medencében fokozatosan kiédesedő tavi rendszerré alakuló Paratethys rendszerből. Ez utóbbi változás komoly figyelmeztetés számunkra, hogy Földünk jelenlegi (már erőteljesen változó) hidrológiai-környezeti egyensúlya nem magától értetődő állapot. A ma még (bár már erőteljesen változó) optimális viszonyok könnyedén, nem várt hirtelenséggel megváltozhatnak.

Ezen a részen kell összefoglalnunk a hidrológiai és paleohidrológiai elemzéseknél egyaránt használatos tengerfenék és a tengeri (óceáni) környezet függőleges tagozódását (**393. ábra**). A nyílt tengeri vagy nyíltvízi (pelágikus) élettérben két nagyobb egységet lehet elkülöníteni, az aljzatig átvilágított sekélytengeri (neritikus) régiót és az óceáni régiót (**393. ábra**). A neritikus régióban egy hullámverési és árapály övezetet (parti vagy más néven litorális zónát), és egy szublitorális (kontinentális self) zónát különíthetünk el. Ez utóbbit úgy határozzák meg, hogy a 200 méterig terjedő vízmélységig terjedő enyhe lejtésű terület a kontinentális talapzat, vagy más néven kontinentális self övezet. A self övezettel azonos mélységben fejlődött ki a nyíltvízi pelágikus régióban és a sekélytengeri (neritikus) régióban a fotikus (más néven trofogenikus, átvilágított, növényi planktonok által lakott, tengeri szervesanyag-termelő) zóna (**393. ábra**). A fotikus zónát a paleohidrológia kutatásokban gyakran epipelágikus (nyílt tenger felszíni) réteggént különítik el (**393. ábra**). Ez alatt helyezkedik el az afotikus (trofolitikus, át nem világított) zóna, a lebontás színtere, a heterotróf élőlények területe, ahol a behulló, bemosódott, vagy a tengerben termelődő szerves anyagot fogyasztják, lebontják. Az afotikus rétegben a következő zónákat lehet elkülöníteni paleohidrológiai szempontból: 200-1000 méter közötti mezopelágikus szint, 1000-4000 méter között batiopelágikus szint, 4000-11 000 méter abisszopelágikus szint. A tüskésbőrűek

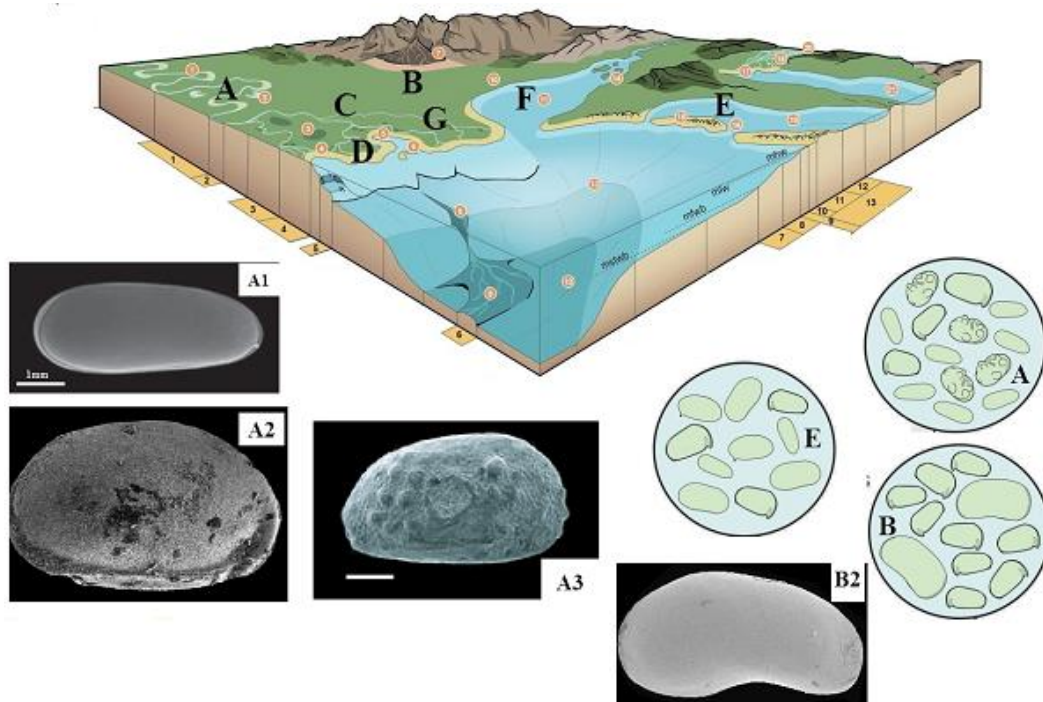
a szerves anyagban dúsabb neriktikus régióban, selfen és a kontinentális lejtőn jelentkeztek a legnagyobb tömegben mind a földtörténeti múltban, mint a geológiai jelenben.

4.6.13. *Ostracoda* (Kagylósrákok)



394. ábra *Cypris pubera* édesvízi kagylósrák (osztrakoda) teknő a Kolon-tavi fúrásszelvény pleisztocén (jégkor) végi rétegéből (Forrás: Sümegei et al. 2011)

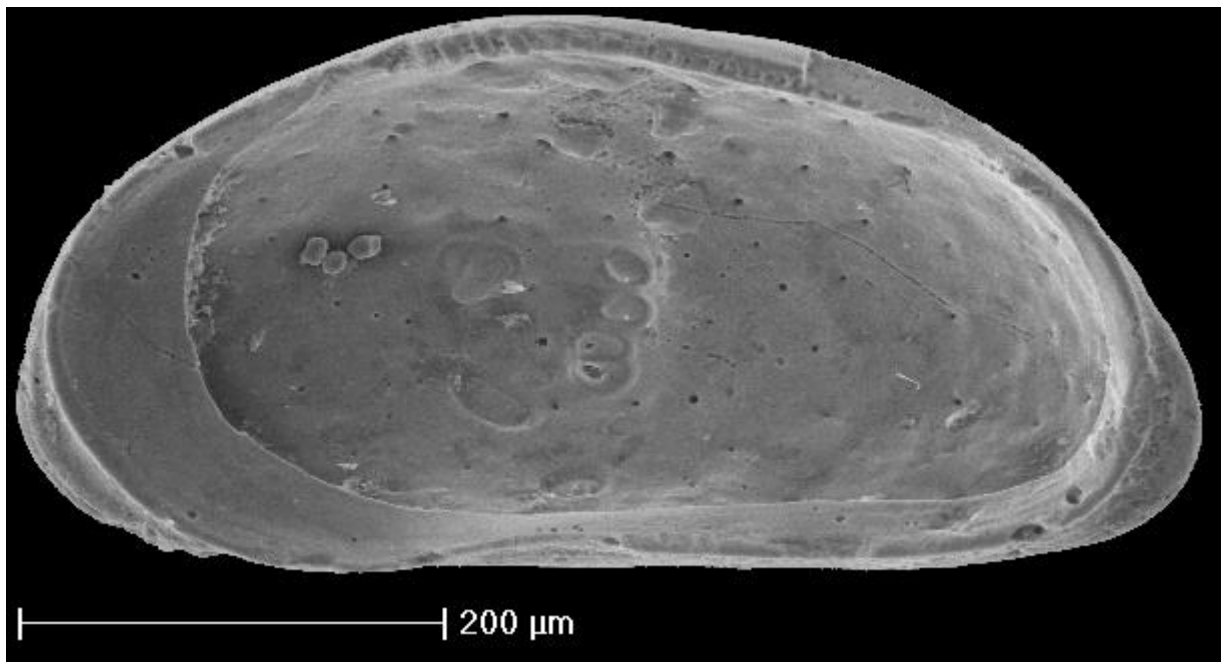
Ezen alacsonyabb rákok közé sorolt csoport a nevüket két oldalsó teknőjükéről kapták, amelyek nagyon hasonlítanak a kagylók teknőjéhez (**394. ábra**), de általában mikroszkopikus kicsinségűek (0,2-25 mm). A cm-es nagyságú kagylósrák alakok már óriás növekedésűnek tekinthetőek. Kiemelkedő jelentőségűek paleohidrológiai szempontból, mivel az összes vízi környezetben, élettérben megtalálhatóak, a talajvíztől a pocsolyákon, tavakon, tengerparti brakkvizeken át a mélytengeri árkokig. Így alapvetőek az egykori vízi élettér és környezet fejlődésének megrajzolásában, a paleohidrológiai rekonstrukciókban (**395. ábra**), bár meg kell jegyeznünk, hogy rendkívül nehezen határozható csoportot alkotnak. Ugyanis váltívarúság jellemző rájuk, és ennek során az eltérő ivarok eltérő alakban élhettek és felnőtté válásuk során 7 lárvális állapoton mennek keresztül és minden lárvális állapotnak van saját teknője⁹¹.



395. ábra Jura végi/kréta időszak kezdeti paleohidrológiai környezetek és kagylósrák (*Ostracoda*) jelzőfaunáik a déli-angliai Wealden rétegsorából (Forrás: új, eredeti ábra)

A = édesvízi környezet állandó vízborítású folyókkal és morotvatavakkal: *Alicenula* taxonok (A1) > *Cypridae* (A2) > *Theriosynoecum* taxonok, B = időszakos vízborítású paleohidrológiai környezetek, efemer tavakkal, időszakos (áradásokhoz köthető) vízfolyásokkal: *Cypridae* (A2) > *Mantelliana* (B2) taxonok, C = időszakos tengerparti folyóágak, összemosott, kevert kagylósrák faunák egyedeivel, D = tengerparti esztuárium (torkolat) régió kevert édesvízi és brakkvízi kagylósrák faunák egyedeivel, E = tengerparti lagúnák, in situ brakkvízi kagylósrák faunák egyedeivel: *Mantelliana* (B2) > *Cypridae* (A2), F = összemosott időszakos és állandó vízfolyásokra jellemző kagylósrák fauna kevert egyedeivel, G = összemosott, édesvízi és brakkvízi kagylósrák fauna kevert egyedeivel, Narancsszínű körök, fehér számok: 1 = meanderező folyó, 2 = morotvató, 3 = folyóhát mögötti mocsár, 4 = madárláb delta ágak, 5 = madárláb deltaágak között kialakult öböl, 6 = folyótorkolat, 7 = hordalékkúp, 8 = bevágódó, tenger alatti alakú völgy, 9 = tenger alatti, selfperemi hordalékkúp, 10 = tengerparti síkság, 11 = tengerparti öblözet, 12 = medence, 13 = selfperem, 14 = esztuárium, 15 = tengerparti dűnék, 16 = árapály övezet, 17 = tavi delta, 18 = fonatos meder, Okkersárga alapú, fekete számok: 1 = ártér, 2 = folyómeder, 3 = felső deltasík, 4 = alsó deltasík, 5 = elődelta (prodelta), 6 = tenger alatti, selfperemi hordalékkúp, 7 = alsó árapályöv, 8 = felső árapályöv, 9 = hullámverési öv, 10 = öbölfenék, 11 = tengerparti dűnék, 12 = hullámverés és folyók által összehordott, keveredett, összemosott, padokat, barázdákat alkotó hordalék, 13 = öböl peremi üledékes komplexum

Mindez mellett a héj kifejlődése, díszítettsége környezetfüggő is. Így egy rendkívül problémásan határozható - értékelhető paleobiológiai indikátor csoportról van szó, bár a fauna teljes feltárása nyomán igen pontos paleohidrológiai rekonstrukciókat készíthetünk (**395. ábra**). Nem véletlen, hogy globálisan is igen kevés kagylósrákokkal (osztrakódákkal) foglalkozó, és még kevesebb fosszilis taxonokkal dolgozó szakembert, ún. „specialistát” tarthatunk számon. Az osztrakóda két teknő módosult carapax (háti pajzs), háti részen rugalmas sarokpánt (ligamentum) feszíti szét. Akárcsak a kagylóknál, záróizmok biztosítják a zárást, amelyek nyoma heg alakjában látható a teknő belső oldalán – így jól felhasználható bélyeget alkot a határozáshoz. A két teknő körvonala többnyire ovális, háti záras peremmel, amelyen fogak és fogmedrek lehetnek⁹². Gyakran a két teknő különböző méretű, és a nagyobb átfedi a kisebbet. A teknők felülete sima, szemcsés, csomós, tüskés, bordás, hálózatos, árkolt stb. lehet és az izomtapadási pontok, a felszíni kifejlődés, általános alak révén határozhatók (**396. ábra**). A teknők felépítése kétrétegű. A külső lemez három, kitinhártyával összeragasztott kalcitrétegből áll. A pelágikus alakoknál a meszes külső réteg hiányozhat. A belső lemeznek csak a pereme meszesedik el. A jelenleg élő alakok teknőin színes, hámréteggént funkcionáló kitinburok van, ami a fosszilizálódáskor megsemmisül, de a meszes héjrétegük fennmarad. A kagylósrákok így a meszes héjrétegük révén kiválóan fosszilizálódnak és még kőzet csiszolatokban is felismerhetőek (**397. ábra**). Fosszilisán az ordovicium időszak végétől, mintegy 450 millió évtől ismeretesek tengeri környezetben fennmaradt héjmaradványaik (**398. ábra**).



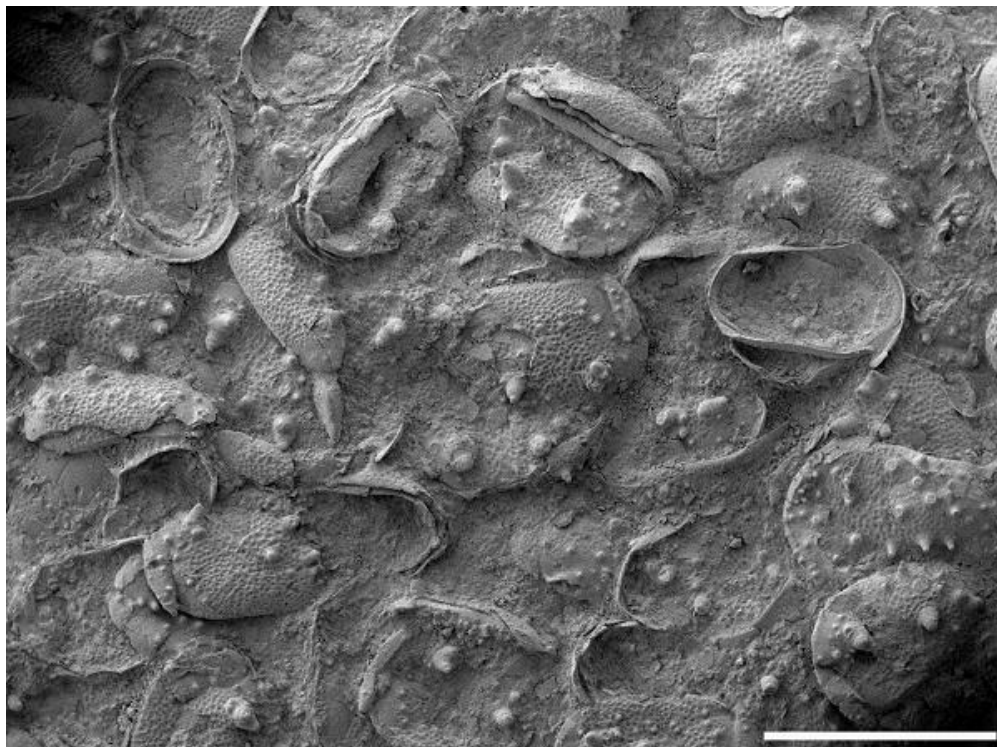
396. ábra *Cyamocytheridea* nemzetségbe sorolt kagylósrák (osztrakoda - Ostracoda) bal oldali teknőjén jól látható, határozáshoz felhasználható izom benyomatok pásztázó elektronmikroszkópiás (SEM) felvételen (Forrás: wikipedia)



397. ábra Texasi perm időszaki üledékből készített vékonycsiszolat Ostracoda héj metszetével (Forrás: wikipedia)



398. *ábra* Szilur időszaki óriás növekedésű kagylósrák (*Ostracoda*) héjak tengeri üledékből (Forrás: wikipedia)



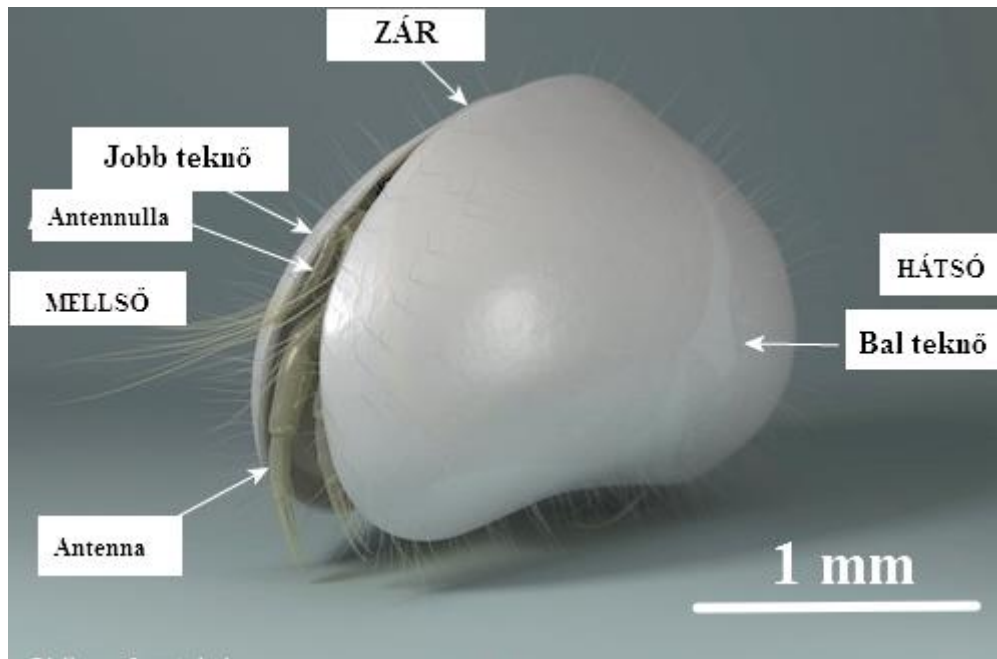
399. *ábra* Tömegesen fellépő kőzetépítő mennyiségű kréta édesvízi (tavi) kagylósrák (*Ostracoda* – *Cypridae* taxonhoz tartozó) egyedek (Forrás: wikipedia)

Legnagyobb példányaik elérték az 5 cm-t is a karbon időszakban. Édesvízi kagylósrák (Ostracoda) taxonok a karbon időszakban jelennek meg, de a jura időszakban terjednek csak el – hasonlóan az édesvízi kagylókhoz és csigákhoz (399. ábra). Az édesvízi kagylósrák taxonokat a burmai kréta időszaki, baltikumi eocén időszaki és a mexikói miocén korú gyantába (borostyánba) ágyazott példányaik révén ismerjük legjobban (400. ábra).



400. ábra Burma területéről származó kréta időszaki gyantába (borostyánba) ágyazott 1 cm nagyságot is meghaladó óriási méretű kagylósrák (Ostracoda) (Xing, L., Sames, B., McKellar, R., Xi, D., Bai, M., Wan, X., 2018. A gigantic marine ostracod (Crustacea: Myodocopa) trapped in mid-Cretaceous Burmese amber. *Scientific Reports*, 8, 1365. www.nature.com/articles/s41598-018-19877-y *OPEN ACCESS, az első szerző [corresponding author] írásos engedélyével közölve)

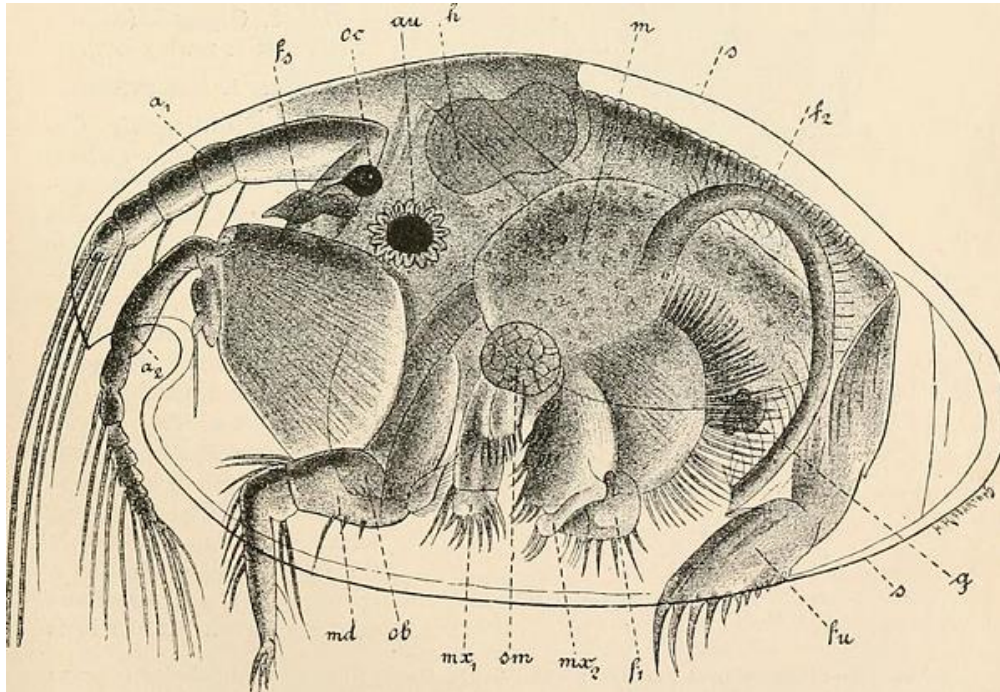
Az ivari alaktól, a környezettől egyaránt függő rendkívüli héjváltozatosság (401. ábra) mellett a belső szervek a váltivarúság figyelembe vételével jól követhető sémát követnek a kagylósrákoknál (402. ábra).



401. ábra Az élő ka ylósrákok külső jellegzetességei nyitott teknőknél (Forrás:, *Japan Ostracoda Research at Lake Biwa Museum, Japan: https://www.biwahaku.jp/smith/ostracod_carapace.html, Dr Robin James Smith, Lake Biwa Museum, Kusatsu, Japán, írásos engedélyével bemutatva*)

A lágy test a teknőkben helyezkedik el, annak mintegy kétharmadát tölti ki, bár nem szegmentált, de a test közepén található befűződés révén jól elkülöníthető a feji (preorális) és a tori (posztorális) régió (**402. ábra**). A szinte a teknők közepén elhelyezkedő preorális (feji) részhez tartoznak a homlok, felső-ajak és hypostoma régiók. A homlok régióhoz kapcsolódnak az antennulák, az antennák és a mandibulák függelékei (**402. ábra**). Az antennulák alkotják a fej és homlok első (felső) függelékpárját (végtagjait), amelyek széles bázissal kapcsolódnak a homlok régióhoz. Szerepük a kagylósrákok úszásában és érzékelésében van. Mászás és kúszás esetén az első antennula sertéi szerteágaznak és az állat előtte lévő területet ezekkel érzékeli. Úszáskor az első antennula felfelé és hátrafelé, míg a második antennula lefelé és hátrafelé mozog⁹³. Az antennák képezik második pár fej-függelék, vagy más néven végtag párt (**402. ábra**). Az antennulákkal együtt az úszásban van szerepük, míg a torlábakkal együtt a mászásban, illetve kúszásban. A homlokhoz kapcsolódnak, közel a felső-ajakhoz, teljesen visszahúzódnak a teknőkbe, amikor ezek bezárulnak. Akárcsak

az antennulákon, ezeken is megtalálhatók a hosszú „úszó serték”, amelyek kiválóan jellemzik a vízi életmódot folytató fajokat, viszont néhány iszaplakó taxonnál ezek hiányozhatnak⁹⁴.



402. ábra Nőstény élő kagylósrák (*Cypridina mediterranea*) anatómiai felépítése (Forrás: wikipedia) ai = antenulla, a = antenna, fs = frontális ízesülése az antenna (végtag) párnak, md = mandibulák, oc = egyetlen (küklopsz) szem, aw = páros szem, oft = felső-ajak, h = szív, m = gyomor, s = teknőhéj, q = ivarmirigy, fi = első láb, mx₁ = első maxilla, mx₂ = második maxilla, sm = fu = furca, f₂ = tisztogató láb, sm = héjtektonket záró izom

A mandibulák alkotják a harmadik feji régióhoz kapcsolható függelék (végtag) párt, amely a szájnílás két oldalán helyezkedik el (**402. ábra**). Ennek a végtag párnak a szerepe a táplálkozásban van, mindenek előtt a táplálék megrágásában.

A maxillák, amelyek a mandibulák mögött helyezkednek el, a hyperstoma régió két oldalán enyhén görbült alapi résszel. Szerepük a rágásban és keringésben van.

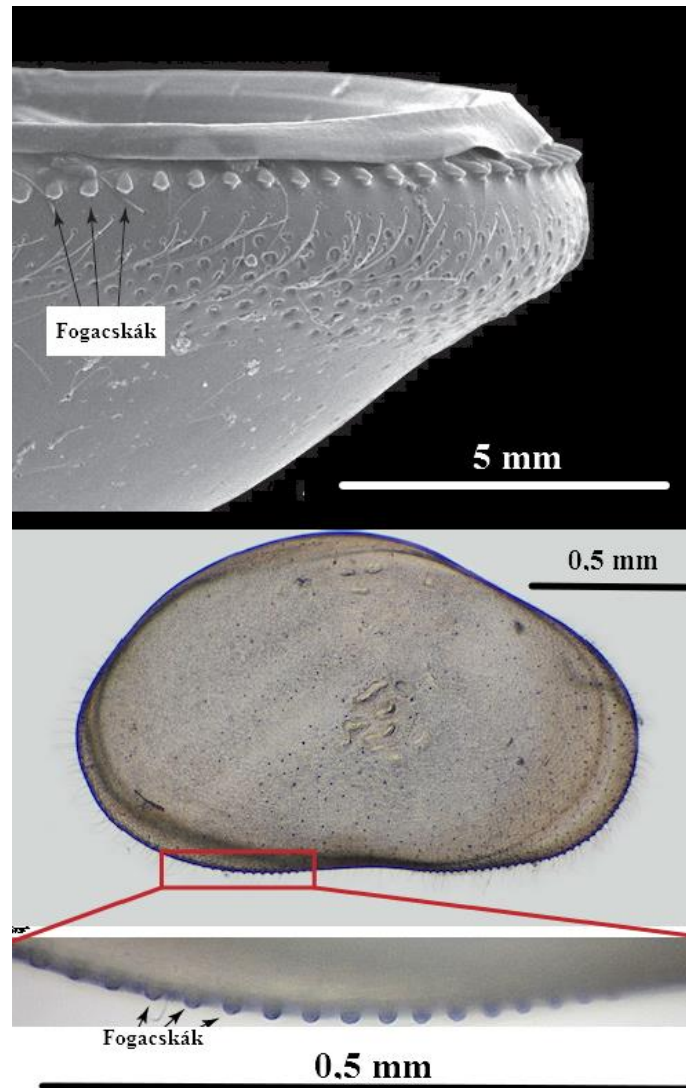
Az első pár torláb (**402. ábra**) szerkezete igen eltérő lehet az egyes kagylósrák taxonoknál, attól függően, hogy milyen célt szolgálnak. A tengeri kagylósrák többségénél mozgás célját (kúszást) szolgálják, míg az édesvízi fajok egy részénél táplálkozást segítő funkciójuk van.

A második pár, általában jelentős méretű és karommal rendelkező torláb döntően mászást szolgálta, de néha kopoltyúlemezekkel együtt jelentkezik. Míg a harmadik pár torláb általában az első és második torláb párhoz hasonlítanak mind felépítésben, mind funkcióban, de módosulhatnak és a test, különösen a maxillák tisztítását szolgálhatják, mivel a rugalmas kitin révén a láb akár 180° fordulatot is tehet és így harmadik pár torláb a teknő egész felületét elérheti. Sajnos csak rendkívül ritka leletekben maradnak fenn fosszilizisan ezek a függelékek. A páros kifejlődésű furca (**402. ábra**) a kagylósrákok testének hátsó-hasi részéhez csatlakoznak és sohasem szegmentáltak, bár fontos mozgató szervek karommal, sertékkal – viszont ezek a mozgató szervek egyes csoportoknál redukálódhatnak is. A kagylósrákok fontos érzékszerveik a szemek, amely kifejlődhetett páros (összetett) látószervként, és egyes kagylósrák faunaelemeknél egyetlen, fejrégió közepén kialakult küklopsz (vagy más néven naupliusz) szem jelentkezett. Élő formáknál még zárt teknőknél is áttűnik vörös, vagy fekete négyszögű, vagy kerek foltként, amely egyetlen szervvé összenőtt, általában három optikai kúpokból áll. Ez a vak alakoknál hiányozhat, de szét is válhatnak kettős (páros) szemmé, illetve hármas összetett szem is kialakulhat.

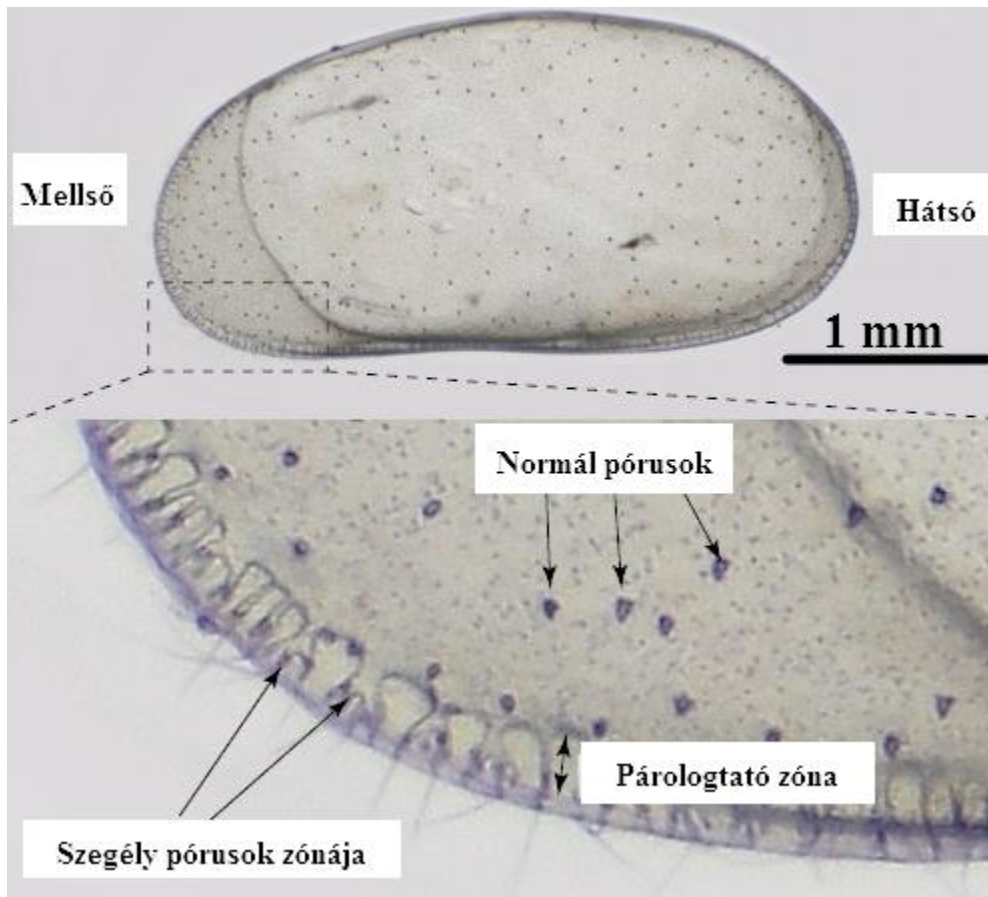
A kagylósrákok általában ivarosán szaporodnak, de egyes csoportoknál szűznemzés (partheogenezis) jelentkezik, mert a nemek ugyan különválnak, de a hím ezeknél a csoportoknál hiányzik. Vannak taxonok, ahol mindkét szaporodási forma előfordul, sokszor csak ideiglenes jelleggel. Sok taxonnál az elterjedési területtől függ a szaporodási mód – az európai területén igen elterjedten jelentkezik a partheogenezis, amelyet a kutatók többsége a jégkori környezethez alkalmazkodás egyik típusának tart. A megtermékenyített petéket a kagylósrák nőstény általában a teknőkön (carapaxon) kívül helyezi el a második és harmadik torláb segítségével. A petelerakás paleohidrológiai szempontból kiemelkedő jelentőségű, mivel a petelerakás helyét a nőstények a víz oxigéntartalmának függvényében választják ki és döntően oxigénben gazdag vízrészeket részesítik előnyben. Ugyanakkor néhány taxonnál a petéket a

vízszint fölé rakják le. A kagylósrák peték kialakulását és túlélését egyaránt a vízborítás és a szárazság befolyásolja. A szárazsággal szembeni ellenállóképesség a kitines falon belül található vizes oldaltoknak köszönhető. A petében található nagy mennyiségű folyadék emeli a túlélési arányát. A víz hőmérsékletének emelkedése, a meleg serkentőleg hat a peték kikelésére, a hidegvízzel szemben ellenállók. Ez utóbbi szintén a negyedidőszaki ciklikusan jelentkező lehülési (glaciális) hullámok során kialakult rendkívüli hidegekhez történő alkalmazkodás során alakulhatott ki. A petékből kikelt kagylósrákok növekedése nem folytonos, így amikor az állat teste túlnövi a merev vázat és a teknőket, akkor megszabadul azoktól és újat alakít ki. A recens vizsgálatok alapján a legtöbb kagylósrák nyolc lárvaállapoton túl éri el a felnőtt méretet. Valószínűleg a fosszilis alakok is hasonló fejlődésén mentek keresztül. A lárvaállapotok során levedlett carapaxnak, amely megmarad, ezideig nem tulajdonítottak jelentőséget a paleohidrológiai vizsgálatokban, viszont jelentős nevezéktani, rendszertani bizonytalanságot hordoznak, mivel a lárvaállapotban levedlett teknők (carapaxok) különböznek a felnőtt teknőktől, sokszor új fajként (akár új nemezségként) írják le azokat és ennek nyomán taxonómiai zűrzavar alakulhat ki. A recens kagylósrákoknál viszonylag egyszerű a helyzet, mivel felszíni üledékrétegben mind a nyolc lárvaállapot teknői megtalálhatóak. Viszont fosszilis alakoknál, fossziliáknál már más a helyzet, mivel a lárvaállapotok teknő máshol rakódtak le, vagy nem fosszilizálódtak a lárvakori teknők nagyfokú törékenysége miatt, vagy pedig elvesztek a paleohidrológiai elemzéseknél, az üledékből kinyerés – rostálás (iszapolás) során. Ennek ellenére igen sok helyen és sok rétegben fennmaradtak mind a felnőtt, mind a juvenilis példányok. A juvenilis és a felnőtt teknőket a méret, az alak, a teknő vastagsága, a díszítettség, az oldalnyúlványok – kinövések (fogacskák: **403. ábra**), az izomnyomatok, a lágytest lenyomatai (különösen a felnőtt korban kifejlődő szervek lenyomatai), a teknőn (carapax) és annak peremén megfigyelhető

pórusok, póruscsatornák (404. ábra) ivari kétalakúság kifejlődése, és a zárperem fejlettsége nyomán lehet elkülöníteni.



403. ábra Hemicypris vulgaris kagylósrák taxon bal teknőjén kimutatott fogacskák (szabályos marginális kinövések) pásztázó elektron-mikroszkópos (SEM) felvételen (felső ábra), Cyprinotus eunoi kagylósrák taxon jobb teknőjének peremén kimutatott fogacskák (szabályos marginális kinövések) normál mikroszkópi felvételen (Forrás: Ostracoda Research at Lake Biwa Museum, Japan: https://www.biwahaku.jp/smith/ostracod_carapace.html, Dr Robin James Smith, Lake Biwa Museum, Kusatsu, Japán írásos engedélyével bemutatva)



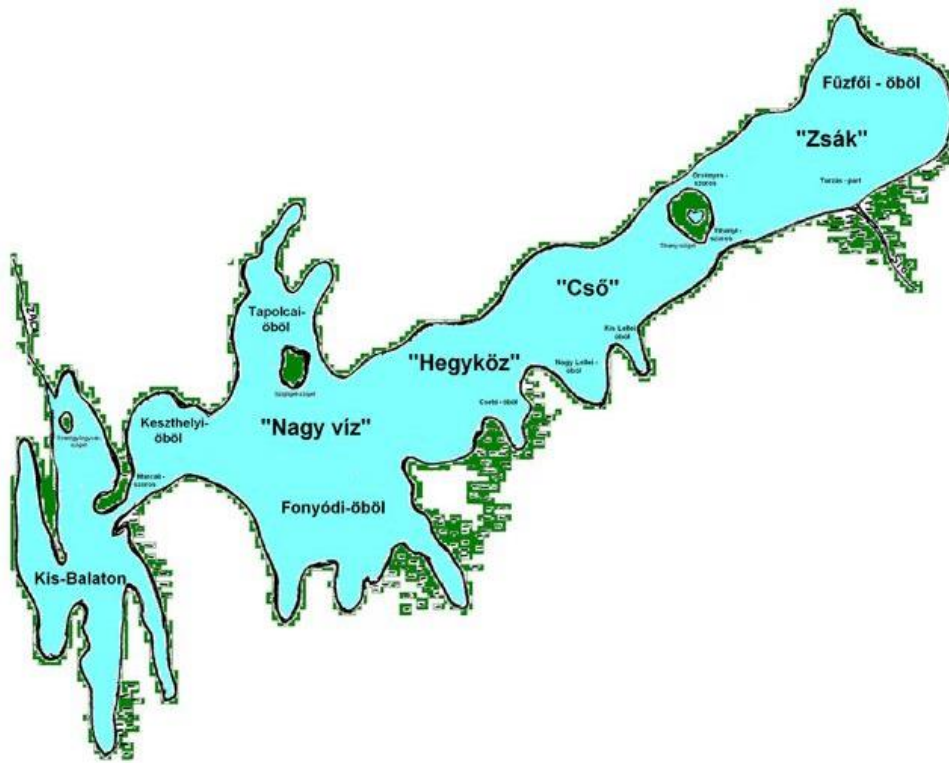
404. ábra Kagylósrák (*Candocypris novaezeelandiae*) héjon és héjperemen kimutatható pórusok és a párologtató zónát alkotó marginális pórusosor (Forrás: Dr Robin James Smith Lake Biwa Museum Kusatsu, Japan Ostracoda Research at Lake Biwa Museum, Japan: https://www.biwahaku.jp/smith/ostracod_carapace.html, Dr Robin James Smith, Lake Biwa Museum, Kusatsu, Japan írásos engedélyével bemutatva)

Magyarország recens kagylósrák faunájáról *Farkas Henrik* biológus készített összefoglaló elemzést még 1958-ban. A fosszilis ostracoda fauna elemzésénél kiemelkedik *Széles Margit*, *Szurominé Korecz Andrea* döntően harmadidőszaki, mindenekelőtt pannon korú képződményekre, valamint a balatoni pleisztocén és holocén kori üledékekre vonatkozó ilyen irányú munkássága. Napjainkban *Tóth Emőke* paleontológus mezozoikumi és harmadidőszaki tengeri üledékeken, mindenekelőtt miocén időszak szarmata emeletbeli képződményeken végzett kagylósrák elemzéseit kell kiemelnünk. *Tóth Emőke* (*Görög Ágnes* és *Monostori Miklós* paleontológusok vezetett PhD munkája keretében) átfogó kagylósrák elemzést végzett a dunántúli Zsámbéki-medencében és környékén található

szarmata képződményeken. Munkája nyomán ismerhetjük a legteljesebb és átfogó fosszilis harmadidőszaki kagylósrák fauna elemzést Magyarországról. A vizsgált területen rendkívül jó megtartású, juvenilis és felnőtt héjakat egyaránt tartalmazó egyedekben gazdag kagylósrák fauna került elő. Összesen 27 osztrakoda taxont sikerült a terület szarmata rétegeiben azonosítani, de ebből mindössze 6 faj volt, amely valamennyi szarmata szintben előkerült. Az előkerült fosszilis kagylósrák fauna kiváló lehetőséget biztosított a Paratethys központi részén felhalmozódott harmadidőszak végi kagylósrák faunák összehasonlításához, a komparatív paleohidrológiai elemzéséhez. Mivel a Zsámbéki-medencében folyamatos a kifejlődés a bádeni emelet és a szarmata emelet között, ezért jól rekonstruálható volt, hogy a báden emeletet követően (hasonlóan a tuskésbőrűekhez) jelentős diverzitás csökkenés alakult ki a kagylósrák faunában. Ezt jelzi, hogy a mintegy 100 bádeni taxonból mindössze hét alak maradt fenn a szarmata emelet kezdetén, alárendelt egyedszámban. A hét túlélő taxon mellett 8 új kagylósrák faj jelent meg. Az új szarmata emeletre jellemző ostracoda fauna összetétele nyomán Tóth Emőke osztrakoda bázisú paleohidrológiai elemzésével 80 méternél sekélyebb, jól szellőzött sekélytenger partvidéki régióját rekonstruálta a területen. A megállapításai nyomán a feltárt szarmata kagylósrák fauna elsősorban litorális zónában élő algákon, tengeri füvek szárán, levelein élnek. A feltárt osztrakoda faunának a héjain a díszítettség erőteljes csökkenését figyelték meg és ennek nyomán a fauna erőteljes stresszhelyzetben élt. A stresszhelyzetet a víz kémiai állapotának folyamatos változása (sótartalmának csökkenése, kiédesedése), a táplálékanyag átalakulása, versenyhelyzet kifejlődése, vagy mindez együttesen válthatta ki.

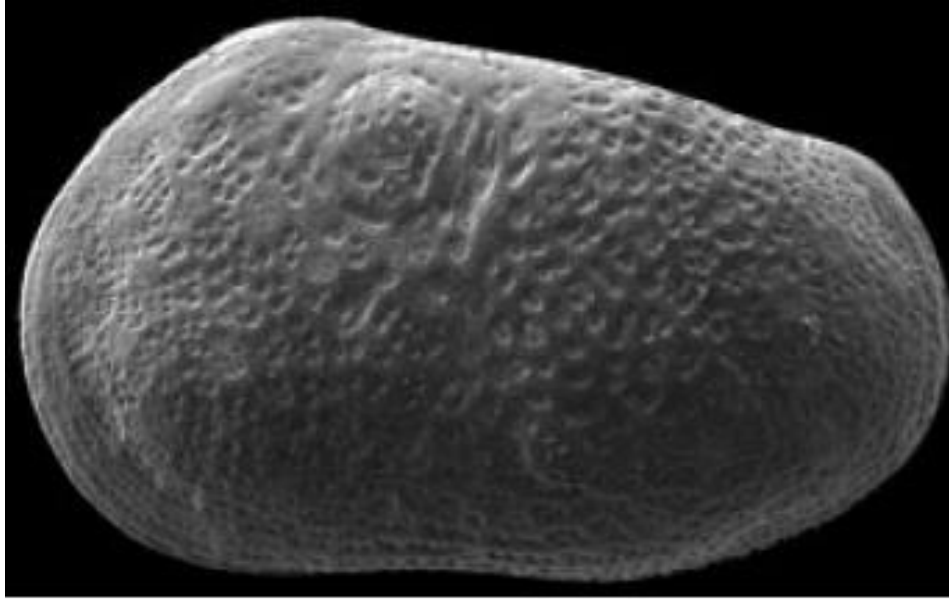
Földtani szempontból egy jelentős időbeli és fáciesbeli váltással a másik jelentős kagylósrák alapú paleohidrológiai elemzésre, a jégkor végi és holocén kori balatoni üledékekhez kapcsolódó vizsgálat rövid bemutatására törekszünk. A Balaton jelenlegi tómedrében az 1980-as években 33 zavartalan magfúrást mélyítettek a Magyar Állami Földtani Intézet geológusának, Cserny Tibornak a

vezetésével. A balatoni tómeder ún. „Cső” részén (405. ábra) Révfülöp – Balatonboglár között mélyítették a Tó-25 jelzésű fúrást, amelynek részletes pollenelemzését *Bodor Elvira*, a kagylósrák faunájának feltárását és elemzését *Szurominé Dr. Korecz Andrea* végezte el.



405. ábra A Balatoni tómeder nép elnevezésű részei (Forrás: Sümegei et al. 2020)

A kagylósrák fauna alapján készített paleohidrológiai elemzésben a legkiemelkedőbb eredménynek a *Cytherissa lacustris* (406. és 407. ábra) kimutatását tekinthetjük, mivel ez a taxon jó paleohidrológiai jelzőelem, szaporodásához igényli a 18 °C-nál hűvösebb évi középhőmérsékletű, jól szellőzött, tiszta vizet. A taxon előfordulása igazolta, hogy a késő-pleisztocén idején a Balaton vize még nem vált eutrofikussá. Ebben az időben a víz minősége főként a mezotrofikus állapoton belül volt és csak kisebb mértékben ingadozhatott.



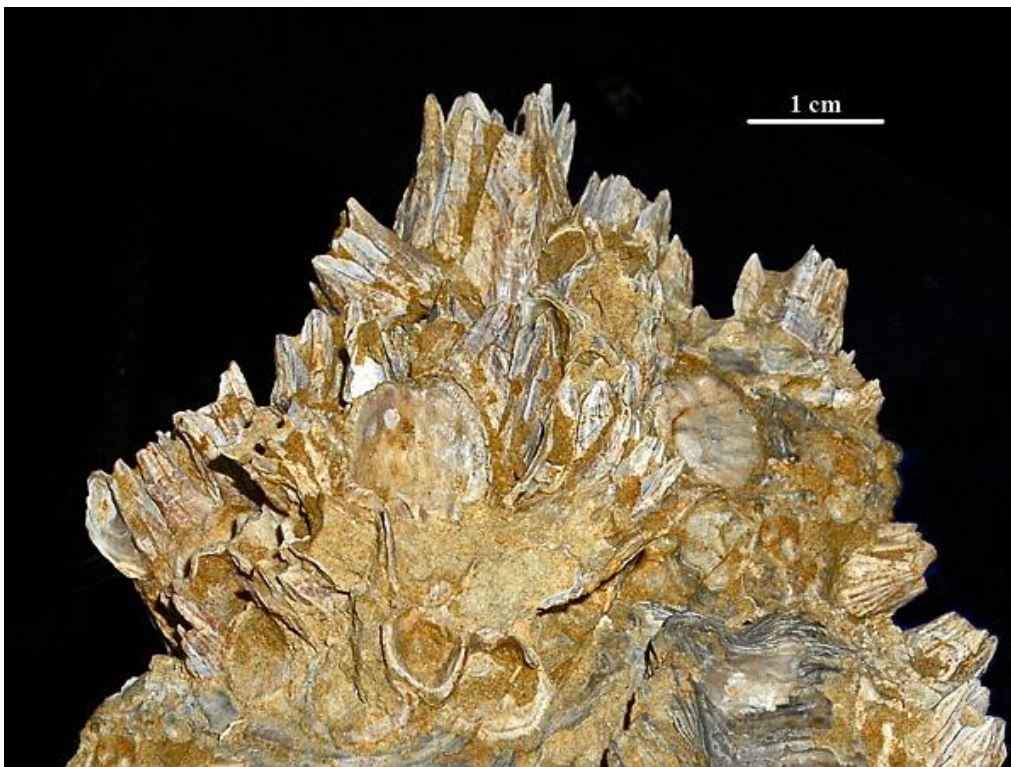
406. ábra *Cytherissa lacustris* pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) felvétele (Forrás: researchgate: Mischke, S., Herzsuh, U., Sun, N., Qiao, Z. H., Sun, Z. 2006. A large Middle Pleistocene freshwater to oligohaline lake in the contemporary hyperarid Qaidam Basin (China). Episodes, 29, 34.) – a bal oldali héj hosszúsága: 758 μm



407. ábra *Cytherissa lacustris* nőstény bal oldali héjának mikroszkópi felvétele (Forrás: Ostracoda Research at Lake Biwa Museum, Japan: https://www.biwahaku.jp/smith/ostracod_carapace.html, Dr Robin James Smith, Lake Biwa Museum, Kusatsu, Japán írásos engedélyével bemutatva)

4.6.14. Cirripedia (Kacsalábú rákok)

A kagylósrákokhoz hasonlóan az alsórendű rákokhoz tartoznak. Viszont ennél a csoportnál már csak a szabadon úszó naupliusz lárva utal a rákok rokonságára. A felnőtt állat ugyanis mozdíthatatlanul ránő az aljzatra, teste leegyszerűsödik. Eltűnik a szelvényezettség, az összetett szem, az antenna, a szív és a váltivarúság. Megjelenik viszont a köpeny, amely szilárd mészvázat választ el. A kacslábú rákok elhalása után a mészlemezek szétesnek.



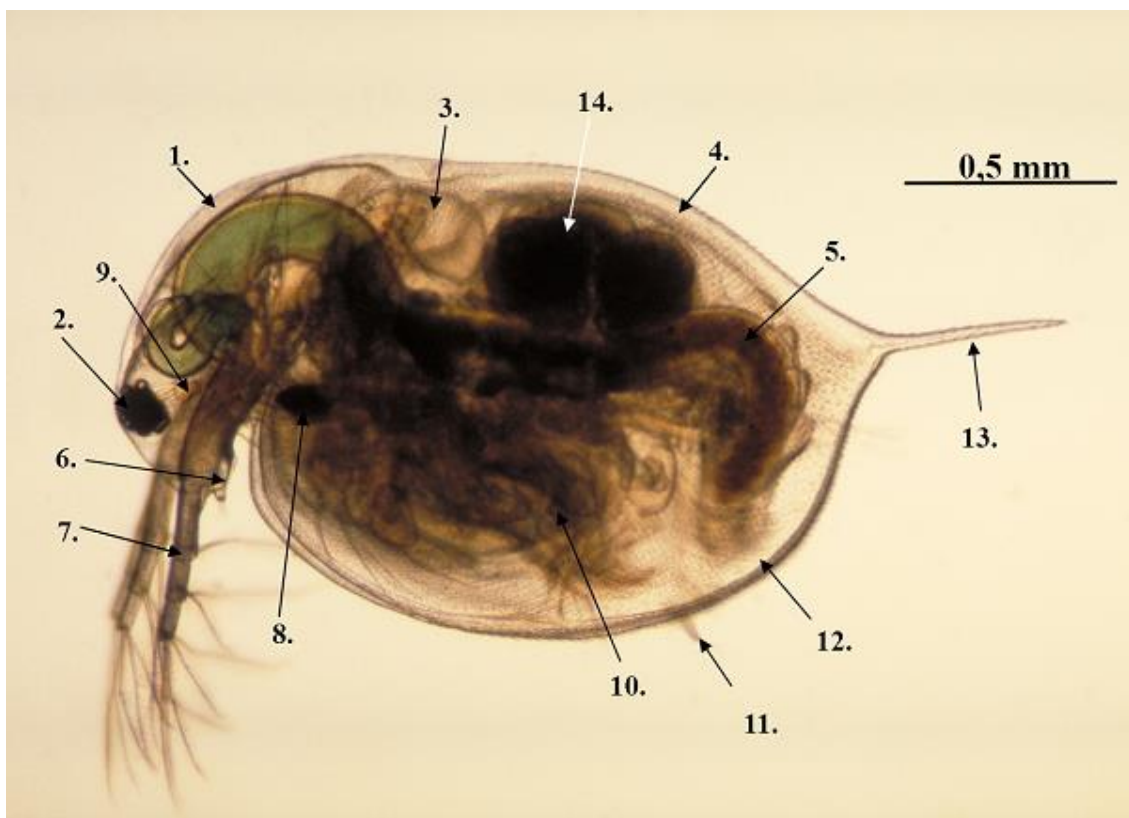
408. ábra Pliocén időszaki, fosszilis tengeri makk (*Balanus*) (Forrás: wikipedia)

A tengeri makkoknál (*Balanidae*) a háromszögletű lemezek összenőve csonka kúp alakú, erős vázat építenek, ez a lágytestet védi. A nyitott felső részt az állat belülről operkulummal zárja le, ami a fosszilizálódáskor kieshet vagy elpusztulhat. Az állat 6 pár torlábával táplálkozik (“kacslábak”), kiszűrve a vízből a lebegő növényi és állati planktoni szervezeteket. A nyél nélküli kacslábú rákok mind tengeriek, vázukba visszahúzódva, aljzatra ránőve képesek elviselni a szélsőséges, árapályövi feltételeket is. Általában kavicsos, sziklás aljzaton települnek meg, de vannak köztük olyanok is, amelyek úszó, sodródó vázra (pl.: sodródó Nautilus ház) vagy uszadék fára rögzítődnek. A kacslábú

rákok a karbon időszaktól máig élnek, gyakoriak a hazai harmadidőszaki, sekélytengeri, partközeli, durvatörmelékes üledékes kőzetekben. Közismert nemzetségük a *Balanus* (408. ábra)⁹⁵.

4.6.15. Ágascsápú rákok (*Cladocera* rend)

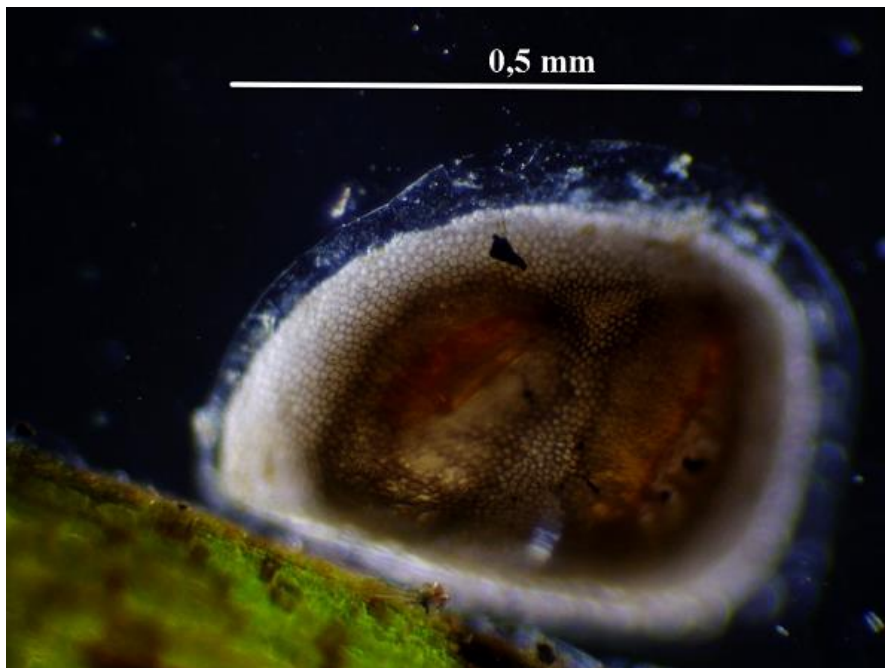
Az ágascsápú rákok (*Cladocera* – kaldocera) döntően édesvízben, ritkán brakkvízben élnek, mindössze 8 fajuk ismeretes óceáni – tengeri környezetben. Az ágascsápú rákok külső kitines vázból és lágyszövetekből álló testtel rendelkeznek (409. ábra).



409. ábra Ágascsápú rákok (*Crustacea*) anatómiája *Daphna magna* (nagy vízibolha) példáján (Forrás: wikipedia) 1. = fejpajzs pórusokkal, 2. = összetett szem, 3. = szív, 4. = héj, 5 = bélcsatorna, 6 = elsődleges antennák, 7 = másodlagos antennák, 8 = szájadék, 9 = szemecske, 10 = torlábak, 11 = hasi tüske, 12 = végbél, 13 = héjtüske (végkarom), 14 = költőüreg petéekkel

Ami szinte minden ágascsápú rákra néhány ritka kivételtől eltekintve jellemző, hogy fejüket kitines fejpajzs fedi, amelyen pórusok találhatóak. Testüket két fél héj fogja közre, utópotrohuk pedig végkaromban (héjtüskében) végződik. Ezek a fő karakterek az egyes taxonokra jellemzően alakultak ki, így egyértelmű

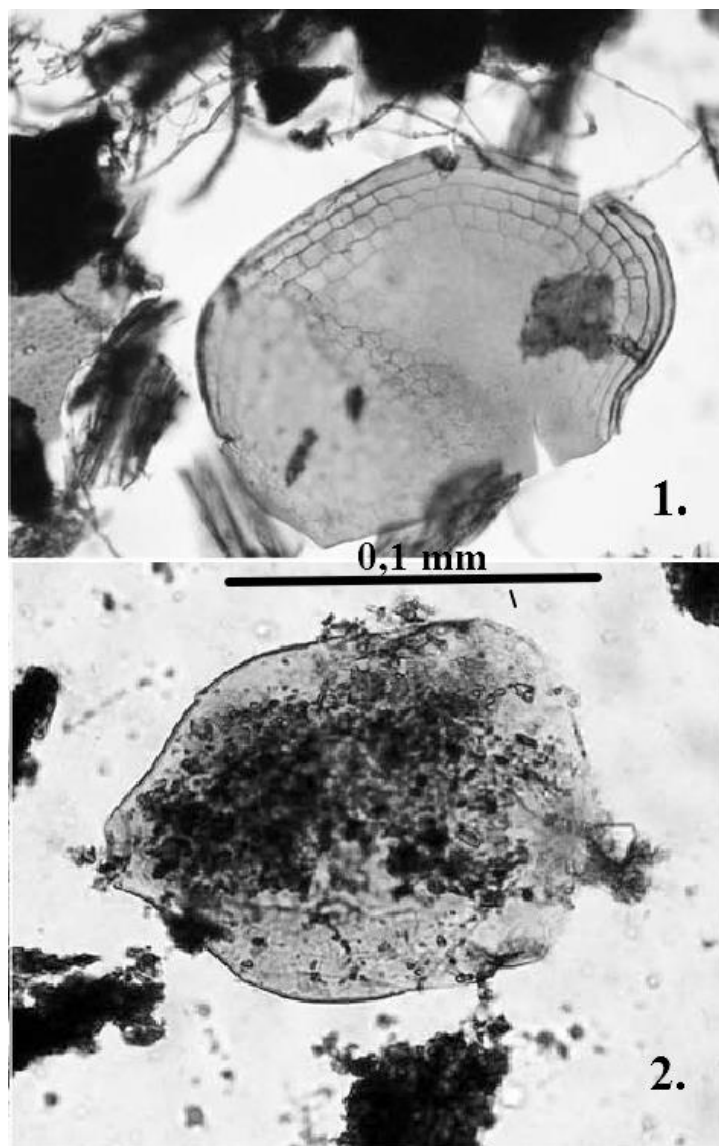
határozóbélyegként szolgálnak azonosításukhoz. Az európai taxonok határozásnál a legátfogóbb angol nyelvű munkát *Szeroczyfiska Krystyna* és *Kaarina Margareta Sarmaja-Korjonen*, lengyel – finn kutató szerző páros jelentette meg még 2007-ben. Az ágascsápú rákok (*Cladocera*) rend taxonjai szűznemzéssel szaporodnak, de kedvezőtlen körülmények között ivaros szaporodás alakul ki és tartós petét, ún. „*ephippium*”-ot (410. ábra) alakítanak ki.



410. ábra Ágascsápú rákok (*Crustacea*) tartós petéje (*ephippiuma*) (Forrás: wikipedia)

A tartós peték héjának kialakításában a nőstény héjanyaga is részt vesz. A tartós peték akár egy évszázadig is életképesek és ennek révén összekötő anyagot jelentenek a paleohidrológiai és a hidrológiai elemzések között. Méretük és számuk elsősorban a torfitástól és az egykori hőmérséklettől függött⁹⁶. A trofitás vízi ökoszisztéma elsődleges szervesanyag-termelésének a mértéke, vagyis a növényi szervesanyag-termelés intenzitása a vizekben. Alapját a fotoszintézis biokémiai folyamata jelenti, amelyhez fény, szervesetlen növényi tápanyagok, megfelelő hőmérséklet és klorofilltartalmú növényzet (alga, hínár) szükséges. Így az ágascsápú rák (*Cladocera*) maradványok alapján rekonstruálhatjuk az

egykori trofitási (elsődleges szervesanyag-termelési) viszonyokat a paleohidrológiai elemzésekben. Természetesen az elsődleges hatótényező, a trofitás mellett még igen sok tényező befolyásolja kladocerászok (ágascsapú rákok) méretét és egyedszámát, többek között az ágascsapú rákokat fogyasztó halak predációs nyomása is fontos tényezőt jelentett és jelent ma is. Az első ágascsapú rák fossziliákat az észak-amerikai karbon időszak képződményekben tárták fel. A legősibb ágascsapú rákok megjelenése a tengeri faunának az édesvízbe kitelepedéséhez, kolonizációjához és adaptációjához kapcsolódik a karbon édesvízi környezetben, az algákkal borított tavi, folyóvízi, eusztáriumi aljzaton. A csoport fejlődéstörténete nyomán döntően a trópusi – szubtrópusi területekre koncentrálódnak az ágascsapú rákok, itt található napjainkban is a legtöbb taxon, a legtöbb endemizmus, izolált populáció, és a legtöbb refúgium. Az eddigi paleohidrológiai adatok nyomán igen széles körben elterjedt csoportot alkottak az adaptálódtak a kontinensek vándorlása okozat környezeti változásokhoz, a földtani környezet átalakulásához egyaránt. A csoport széleskörű elterjedésének beszűkülése, izolálódása a harmadidőszak végén, a negyedidőszak kezdetén meginduló ciklikus éghajlati változásokkal, a hullámszerűen, ritmikusan jelentkező lehülések során vette kezdetét. Ugyanakkor az ágascsapú rákok (*Cladocera*) egyes taxonjai sikerrel alkalmazkodtak a negyedidőszak (*Quarter*) ciklikusan jelentkező, de fokozódó lehüléseihez (glaciálisaihoz) is, bár negyedidőszaki szétterjedésük, diverzitás maximumuk elsősorban a ciklikusan jelentkező felmelegedésekhez, interglaciálisokhoz kötődik. A harmadidőszaktól kezdődően globális diverzitásuk folyamatosan csökken, tulajdonképpen a mezozoikumi és harmadidőszak kezdeti (paleogén) fajgazdagságukat figyelembe véve túlélő, maradvány (reliktum) csoportnak tekinthetjük az ágascsapú rákokat a földtani időskálán.



411. ábra Az utolsó interglaciális korú lengyelországi tavi rendszerből előkerült, tőzegrétegben elterjedt *Chydorus sphaericus* (1) és a kőzetlisztben gazdag, minerorganikus tavi rétegekben elterjedt *Monospilus dispar* (2) ágascsapú rák maradványok (Forrás: researchgate Niska, M. 2012. Fossil Cladocera remains in the Eemian sediments-preservation, frequency and dominant species. Studia Quaternaria, 29, 31-43 – a szerző írásos engedélyével közölve)

Jól mutatja, hogy a negyedidőszaki alkalmazkodás ellenére is a jelenlegi magashegységi hidegvizű tavakban csak néhány, átlagosan 2 – 5 igen jelentős tűrőképességgel rendelkező fajuk jelentkezik, bár ezeknél az elszigetelt élettereknél a lokális környezeti tényezők döntő faktort alkotnak. Jól mutatja a recens hegyi tavak ágascsapú rák közösségének fajszegénységét egy lengyelországi, utolsó (Riss-Würm, vagy más néven Eemian) interglaciális

időszakára vonatkozó cladocera tanulmány. Ugyanis ebben a tanulmányban, 24 feltárt mintában 26 ágascsápú rák taxont mutattak ki a középső pleisztocén végi (Riss, vagy más néven Visztula) eljegesedés során kialakult olvadékvíz síkság felszínén kialakult, utolsó interglaciális tavi rendszereiben lerakódott, detrituszban gazdag üledékben. Az utolsó interglaciális tavi üledékben feltárt ágascsápú rák maradványok összehasonlításánál jelezték, hogy a lengyelországi holocén második felében lerakódott tavi üledékekben 30 ágascsápú rák taxont sikerült kimutatni, pedig a lengyel tavak víztere nem ideális az eredetileg meleg édesvízi környezethez alkalmazkodott cladocerasz fauna számára. A meghatározott 26 fajnak több mint 6000 egyedét vizsgálták meg és ennek nyomán a tavi rétegsorban kifejlődött mállatlan ásványi felhalmozódással jellemezhető, kőzetlisztben gazdag, a detrituszban (szerves anyagban és agyagban gazdag, ún. „*pélitben*”) gazdag tavi üledékek ágascsápú rákfaunáját, valamint a tőzegréteg cladocera faunáját sikerült elkülöníteni (**411. ábra**).

A detrituszban gazdag szintből kerültek elő a termofil (melegkedvelő) taxonok, amelyek az aljzat összetételére, a szerves anyagban gazdag iszap jelenlétére érzékenyek, és ebben a szintben fejlődött ki a legjelentősebb diverzitás is. Ennek nyomán az utolsó interglaciális során eutrofizálódó, felmelegedő tavi környezet, amikor a trofitás megemelkedett, volt a legmegfelelőbb az ágascsápú rák fauna számára. Közép-Európában a lengyelországi és romániai adatok mellett kiemelkedő jelentőségűek a magyarországi, mindenek előtt a balatoni kagylósrák fauna feldolgozások. *Daday Jenő* (akinek a Kárpát-medencei, pontosabban erdélyi édesvízi foraminifera kutatásai is alapvetőek voltak) kolozsvári magántanár XIX. század végi kutatásaival kezdődött el ennek a csoportnak balatoni kutatásai. Több kutató is foglalkozott a kérdéskörrel, de több évtizedes átfogó elemzése ennek a csoportnak *Ponyi Jenő* tihanyi kutató munkásságához kapcsolódik. *Ponyi Jenő* professzor 26-66 taxont mutatott ki a recens balatoni területről és a legjelentősebb fajszámot 1970-es években találta. 1990-es években átfogó munkát jelentetett meg a balatoni ágascsápú rákokról. A

fosszilis ágascsapú rákok maradványait a balatoni geológiai fúrásokban *Korponai János*, *Kövér Csilla* vizsgálták meg és döntően a Keszthelyi-öbölben mélyített, utolsó 2000 év fejlődését átfogó fúrás feldolgozásra alapozva a következő megállapításokat tették. Négy ágascsapú rák zónát sikerült a fúrás szelvényében lehatárolniuk.

Az első zóna a késő vaskort fogta át és fauna összetétele sekélyebb, felmelegedő, eutrofizálódó víztér kifejlődését jelezte. Ez a tendencia nem folytatódott a császárkorban, amely során meglepő módon (és minden más balaton fúrás elemzésének ellentmondó módon) a víz trofitása lecsökkent a keszthelyi fúrás vizsgálata nyomán, és az ágascsapú taxonok összegyedszáma lecsökkent. A tó ekkor mezotróf állapotba lépett vissza.

Majd a császárkor végén és a népvándorláskor kezdetén egy újabb trofitási, és ehhez kapcsolódó ágascsapú összegyedszám maximum fejlődött ki a Keszthelyi-öbölben ezen fúrás elemzés alapján. Ezeket a változásokat a fúrásból előkerült két leggyakoribb faj, *Alona quadrangularis* és az *Alona affinis* taxonok egyedszám változásai tükrözik legjobban. Ezek az *Alona* taxonok a nemzetközi vizsgálatok alapján növényzettel (hínarakkal) borított aljzatot kedvelik, de a planktonikus eutrofizáció erősödésével egyedszámuk visszaesik, mert a planktonikus növényi szervezetek ekkor előtérbe kerülnek, és a fényért való versengés során a hínarak, az *Alona* taxonok élőhelyei háttérbe szorulnak. *Korponai János* vezette kutatások kimutatták, hogy a császárkor végén, a népvándorláskor kezdetén a tó (pontosabban a Keszthelyi-öböl) ismét eutróffá vált.

Ezt követően a népvándorláskor második felétől egésze a XX. századig két kisebb, de jelentős trofitás és ágascsapú rák összegyedszám maximum rajzolódott ki, de ezeket nem értelmezték. Viszont a XIX. és XX. századokra tehető felső 50 cm üledékszakszt szinte éves felbontásban tárgyalták. Sajnos maga a szelvény kronológiai adatairól semmit nem írtak, így nem tudhatjuk, hogy milyen adatok nyomán alakították ki a szelvény kronológiai beosztását. Viszont a térségben

végzett saját kutatásaink és radiokarbon adataink alapján a népvándroláskort követő két trofitási csúcs és ágascsáp rák összegyedszám maximum a magyar honfoglalás és a korai Árpádkorhoz kapcsolódik.

A XIX. és XX. századi elemzéseknél az ágascsápú rákok elemzését összekapcsolták a halászati adatok értelmezésével és több új megállapítást tettek, amelyek közül a legfontosabb az volt, hogy a XX. század végén a tó hipertrof állapotba került. A fűrásszelvény ágascsápú rák faunájának elemzésénél a legfontosabb eredménynek azt tekinthetjük, hogy a *Cladocera* közösség fajgazdagsága a trofitással növekedett, oligtrofizációval csökkent. Ez a trend jó egyezést mutatott a lengyelországi utolsó interglaciális során felhalmozódott tavi üledékek ágascsápú rák faunájának változásaival, és teljesen hasonló eredményeket mutatott ki *Jakab Gusztáv* szarvasi intézetigazgató ágascsápú rák maradványokra is kiterjedő elemzése az igen jelentős számú radiokarbon adatokkal korolt az utolsó 10 000 évet átfogó fenékpusztai és az utolsó 20 000 évet átfogó balatonedericsi fűrásaink szelvényeinknél.

4.6.16. Felsőbbrendű rákok (Malacostraca osztály)

A felsőbbrendű rákok (Malacostraca) osztályába tartozik a tízlábú rákok (*Decapoda*) rendje. Ez a rend fogja át az osztály legfejlettebb taxonjait. A toron levő 5 pár járólábról kapták a nevüket, amelyeket mászásra, úszásra vagy ásásra használnak. Az első pár járóláb sokszor fejlettebb, mint a többi, és erős ollóban végződhet. Maga a tor 8 szelvényből áll és az első 3 szelvény függelékpárai állkapcsi lábbá módosultak. Egységes carapax burkolja fejtorukat. A 6 pár potrohláb a szaporodásnak, illetve az ivadékgondozásnak megfelelően módosul⁹⁷.

A tízlábú rákok döntő többsége tengeri, de vannak köztük édesvíziek, mint a hazánkban is előforduló folyami rák. A tízlábú rákok az egész tengeri életteret benépesítik. Vannak köztük lebegő, úszó, mászó és iszapban ásó alakok. A vastag karapaxú fajok a sekélytengert lakják. Ezek carapaxa vagy ollója nem túl ritka a hazai harmadidőszaki zátonyfáciesű rétegekben sem. Maguk a tízlábú

rákok viszonylag későn jelentek meg. Első képviselőiket a triász időszaktól, mintegy 210 millió évtől ismerjük. Az egyik csoportjuknak, a remeterákoknak (412. ábra) lágy a potroha, ezért üres csigaházakba húzódba keresnek védelmet. Mászás közben a csigaház egyik oldalát koptatják⁹⁸. Bár maguk a remeterákok nem fosszilizálódnak, a csigaházakat figyelmesen szemlélve felismerhetjük a remetrákok által kialakított koptatási nyomokat a csigaházak egy részénél.



412. ábra Remeterák (*Pagurus bernhardus*) közönséges kürtcsiga házba húzódba (Forrás: wikipedia)

A rákok között számos faj alkalmazkodott a szárazföldi területekhez is, mint az ászkarákok, amelyek a sarki területeken kívül mindenütt elterjedtek. A legjelentősebb méretű szárazföldi rák a pálmatorvaj rák, amely akár 4 kg súlyú is lehet (413. ábra). A tengervízi fajok kiemelkedő jelentőségű szerepet töltenek be a tengeri táplálékláncban, mint a sarkvidéki tengerekben élő világítórákok (amelynek 13 faja óriási tömegű rajokat képez, amelyeket krillnek hívunk: 414. ábra).



413. ábra Pálmatorvaj rákok (*Birgus latro*) éppen „munkába” (kókuszdióért) indulnak a kókuszpálma törzseken a francia Polinézia területéhez tartozó Bora Bora szigetén (Forrás: wikipedia)



414. ábra A sarkvidéken élő, világítórákoknak (krillnek) egyik fontos faja, az északi krill (*Meganyctiphanes norvegica*) (Forrás: wikipedia)

A krillek növényeket, mindenekelőtt algákat lebontani képtelen állatoknak, halaknak, pingvineknek, fókáknak, szilasceteknek biztosít nagy tömegű

táplálékot. Néhány rák taxon parazita életmódra tért át, mint a gazdasági szempontból is fontos haltetvek, amelyek halakon, közte tenyésztett halakon élősködnek, illetve élősködő kacslábú rákok, amelyek tízlábú, közte gyűjtögetett, halászott és tenyésztett rákok belső élősködőit alkotják. Több rákfajt halásznak, illetve aquakultúrákban tenyésztenek. Évente változó mértékben, de több mint 10 millió tonna rákot (!), közte langusztákat, garnélarákokat, homárokot és krillt halásznak és hasznosítanak a halpiacokon világszerte. Ez a döböntes mennyiség, amelynek több mint 10 %-a veszteség, azaz évente 1 millió tonna kifogott rák romlik meg és válik eladhatatlanná. Így azon kívül, hogy a rákhalászat megbontja a természetes táplálékpiramist, és ezzel a tengeri élőlények millióit veszélyezteti – igen jelentős ökológiai problémákat okoz. Ugyanis a tengerparti területeken kialakított ráktenyésztési zónák pedig a természetes vegetációt alakítják át sokszor végzetes módon, mint a trópusi mangrove erdők irtásánál, ahol a letartott vegetáció helyén garnélarákokat tenyésztenek. Ennek nyomán a tengeri árhullámok és szökőárak (*cunamik*) sokkal mélyebben tudnak a szárazföldre behatolni, és mangrove-erdők hiányában sokkal jelentősebb pusztítást tudnak végezni.

A mezozoikum időszakban kifejlődött tízlábú rákok fosszilis leletei Magyarországon és a Kárpát-medencében döntően a harmadidőszaki tengeri rétegekből kerültek elő. A fosszilis decapoda leletekkel *Lőrenthey Imre* XIX. század végén és XX. század kezdetén dolgozó legendás, akadémikus professzora kezdett el foglalkozni, és a fajleírásoknál, a paleohidrológiai állapotok rekonstrukcióinál máig ható megállapításokat tett. Majd *Müller Pál* paleontológus foglalkozott átfogóan paleohidrológiai szempontból ezzel a csoporttal. Müller Pál munkája során 1984-ben monográfiában ismertette a Középső-Paratethys tenger középső miocén (badeni) tengeri Decapoda-faunáját (**415. ábra**). Több száz tétel, több ezer maradványát vizsgálta meg és publikálta azokat, közte oligocén korú Paratethys üledékeiből és eocén szigettenger nummuliteszes rétegeiből előkerült decapoda maradványokat. A tengeri rák

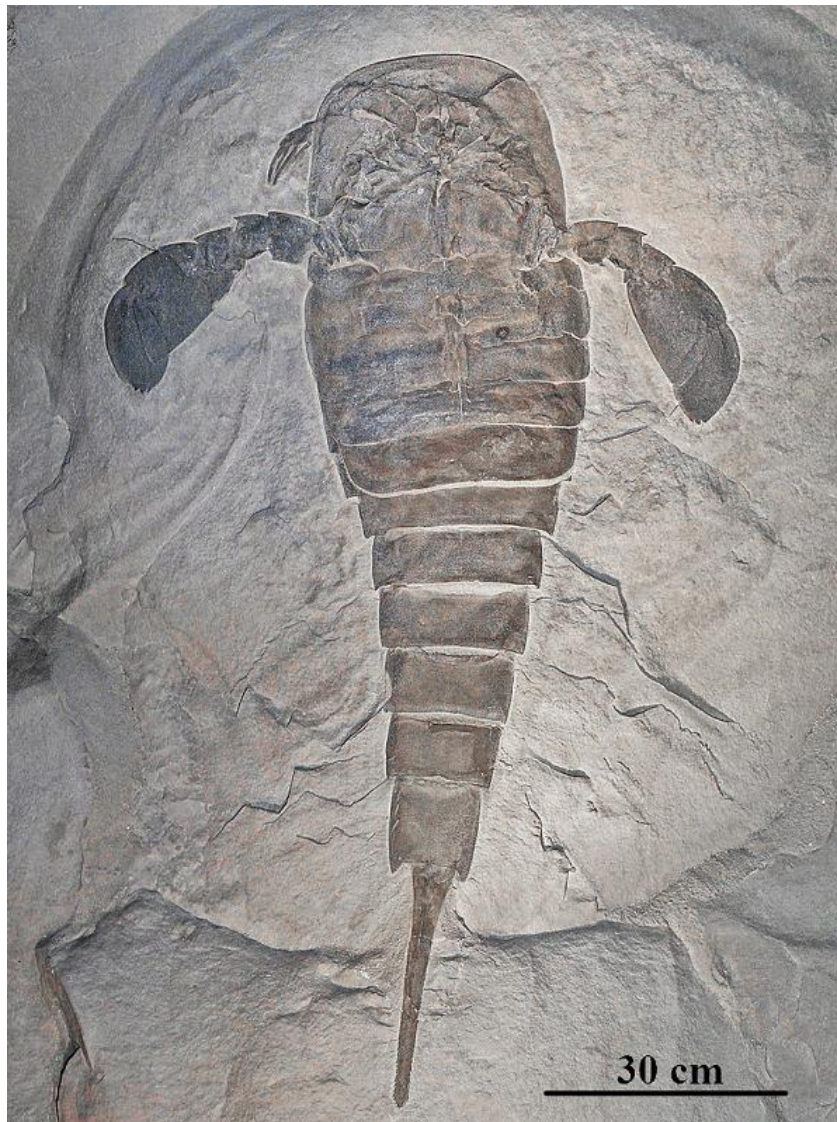
maradványok mellett elszórt negyedidőszaki rákmaradványok ismeretesek a Kárpát-medence folyóvízi, tavi üledékeiből és forrásmészköveiből.



415. ábra *Maja biaensis* középső miocén (bádeni emelet) korú Decapoda (tíz lábú rák) fosszilis fejpáncélja (cephalon) (Forrás: Dr. Dulai Alfréd tárigazgató, Magyar Természettudományi Múzeum, Őslénytani és Földtani Tárban dolgozó paleontológus írásos hozzájárulásával bemutatva)

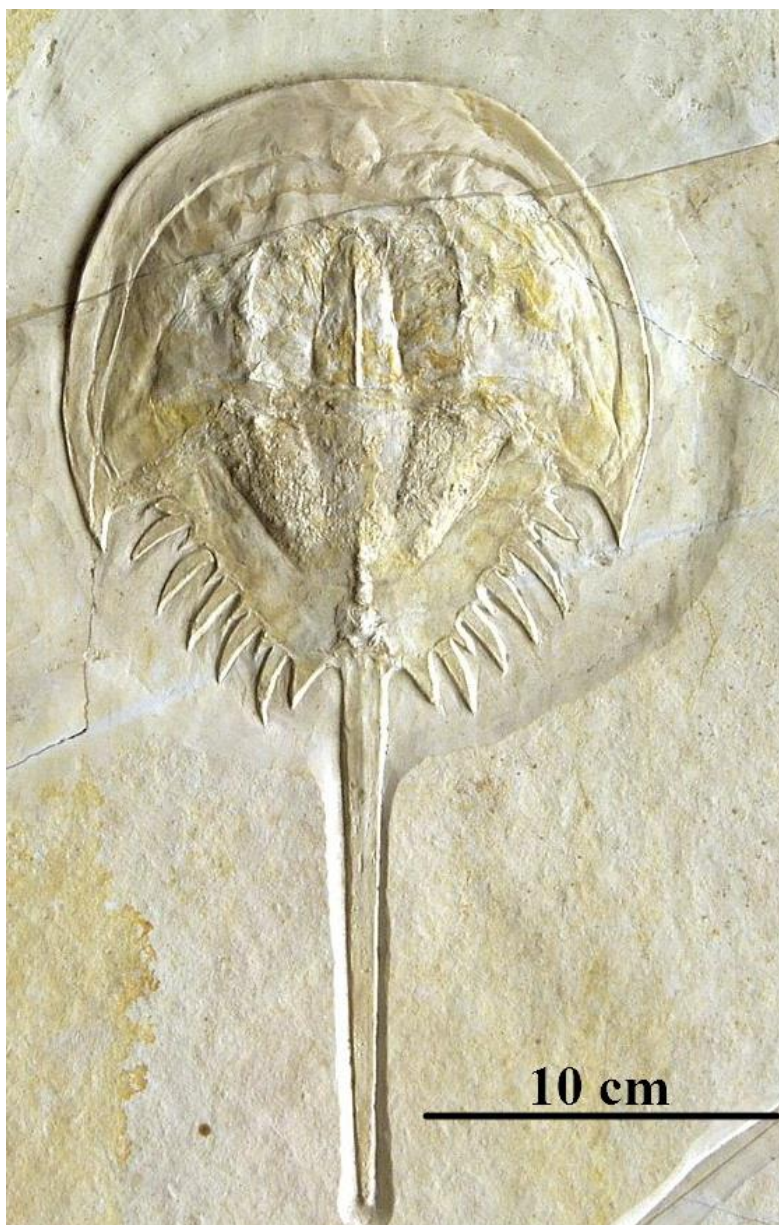
4.6.17. *Merostomata* (Rákszabásúak) osztálya

A felsőbbrendű rákok mellett fontos paleohidrológiai jelzőelemként jelentkezett a kambrium és a perm időszakok között a rákaszabásúak (azaz nem a rákok) közé sorolható kihalt *Eurypterida* taxonok (**416. ábra**), amelyek között találjuk a Földünkön valaha élt legjelentősebb méretű, 2,5 méter hosszúságú, eusztárium (folyótorkolati) területén kifejlődött édes- és brakkvízben élő ízeltlábúakat (*Jaekelopterus rhenaniae*). Ezek az egykori óriási méretű tenger ízeltlábúak (ún. „tengeri skorpiók”) a perm időszak végén kihaltak, de valószínűsíthető, hogy a paleozoikum során a ragadozó életmódjuk következtében a halak felépítését és életmódját alapvetően befolyásolták (*predátor effektus*).



416. ábra Földünkön valaha élt legnagyobb méretű ízeltlábúakhoz, eurypteridákhoz tartozó *Eurypterus remipes* az észak-amerikai szilur rétegekből (Forrás: wikipedia)

A rákfélékhez (*Merostomata* osztályhoz) tartozik még a 450 millió éve, az ordovícium időszakban kialakult, paleohidrológiai szempontból kiemelkedő jelentőségű, fossziliákból is jól ismert (417. ábra) tőrfarkúak (*Xiphosura*) is, amely igazi élő kövületnek tekinthető. Élő kövületnek tekinthetők azok a taxonok, amelyek évmilliókon keresztül, több kihalási hullámot túlélve változatlan, vagy közel változatlan formában fennmaradtak, vagy egy olyan csoport, amelynek rokonsága már kihalt.



417. *ábra* Fossilis törfarkú (*Mesolimulus*) a felső-jura korú solnhofeni litográf palából (Forrás: wikipedia)

Jelenleg egyetlen élő fajt, a váltivarú, kitines páncéllal borított, lópatkó alakú feji, a csáprágókat, 3 pár lábat tartalmazó hasi, és hosszú, tüskés törfarokból álló atlanti törfarkú (*Limulus polyphemus*) taxont soroljuk ide (418. *ábra*). A törfarkúak az év nagy részében mélyebb tengerrészekben élnek, de szaporodni kijárnak a tengerpartra. Ez a törzsfajlásuk során kialakult ciklikus élőhely váltás okozza a törfarkúak jelenlegi tömeges pusztulását, mivel a XX. században a sekély partokon milliósámra megjelenő atlanti törfarkúakat előbb trágának darálták le, majd az 1950-es évek végén felfedezték, hogy a kékszínű vérük

hihetetlenül hatásos a baktériumok elleni védekezésben, mint baktérium detektor, ezért megcsapolják a partra kimászó törzfarkúak véréit, majd a megcsapolt egyedeket visszaeresztik az óceánba, ahol a legyengült egyedek jelentős része elpusztul. Óvatos becsléssel mintegy harmaduk pusztul el a gyógyszeripar és a biotechnológiai ipar indukálta eljárást követően. Jelenleg a szintetikus eljárásokon dolgoznak, hogy megmentse ezt a fajt a kihalástól.

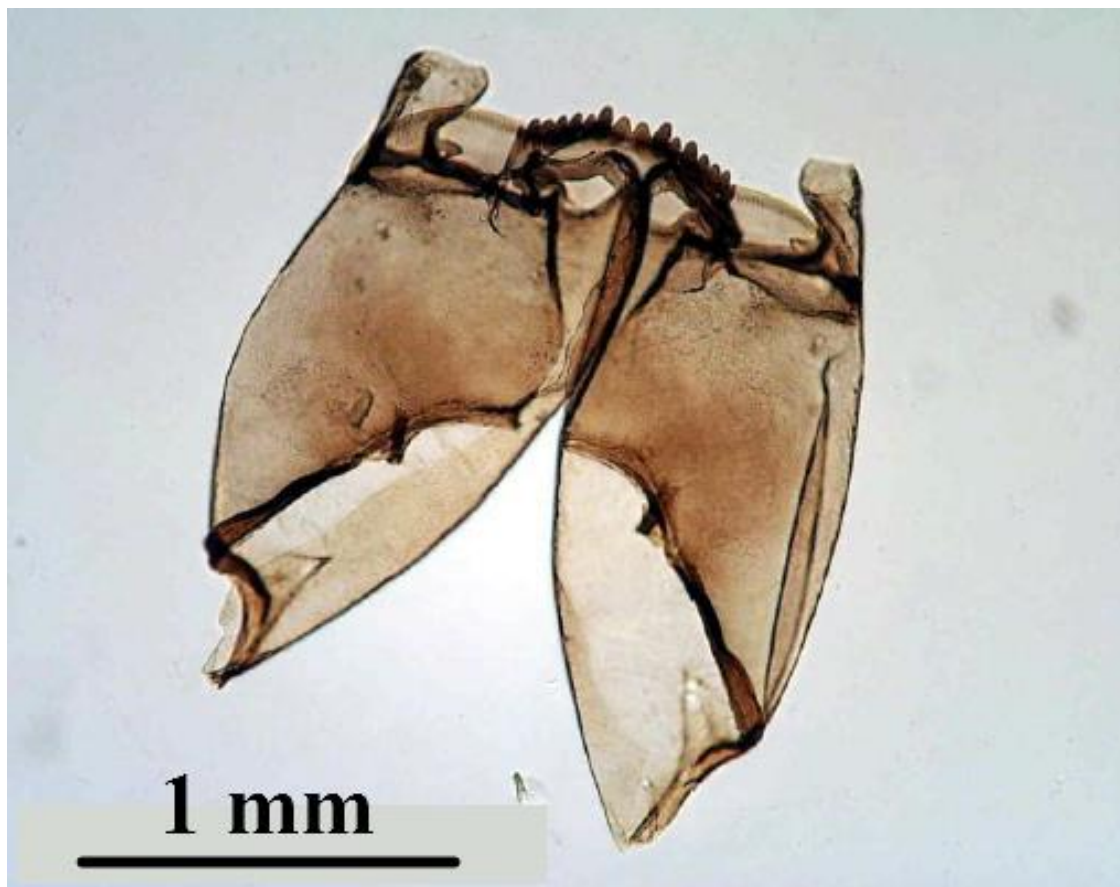


418. ábra Atlanti törzfarkú (*Limulus polyphemus*) nőstény a héján meglepedő, parazita *Crepidula* csigákkal (Forrás: wikipedia)

4.6.18. Árvaszúnyogok (*Chironomidae*) család

Bár fosszilizisan még sokkal több ízeltlábú csoportot ismerünk, de az eddig felsorolt paleohidrológiai szempontból jelentős taxonok mellett csak az árvaszúnyog (*Chironomidae*) taxonok fontosak paleohidrológiai szempontból, mivel a vízi környezet hőmérsékletében bekövetkező változások fontos jelzői, és jelentős szerepet játszanak a víztestek anyagforgalmában. Az árvaszúnyog (*Chironomidae*) családot 11 alcsaládra osztották fel a biológiai kutatások során, ezeken belül több száz faj ismert, a legkisebbek 2 milliméteres nagyságúak, a legnagyobb méretűek elérik a 14 millimétert is. Külső szerveik is változatos felépítésűek, elülső lábaik erősen megnyúltak, előrenyújtva mintegy pótlólagos

csáppárnak tűnnek. Szájszerveik viszont erősen visszafejlődtek. A nőstény csápjai rövidek, fonalasak, a hímé hosszabbak, sűrű, bozontos szőrűek. Életciklusuk teljes körű: pete – lárva (vízi környezetben) – báb – kifejlett árvaszúnyog állapotokat különítünk el egyedfejlődésük során. Szúnyogokhoz hasonlóságuk nem véletlen, adaptációs mimikrinek tekinthető, amely során az árvaszúnyog önvédelmi célból vérszívó szúnyognak a formáját vett fel a fejlődés során, így tartja távol magától a veszélyes prédátorokat. Innen származik a nevének (*Chironomidae*) eredete is az ógörög kheironómos szóból (= pantomin színész, ugyanis eredetileg az ógörög – római színházakban játszó, színészek által megjelenített ismerős alakok és helyzetek gúnyos - groteszk kifejezése volt a mára már átalakult, és némává vált pantomin).



419. ábra *Sergentina coracia* árvaszúnyog kitines fejmaradványa Sziklás-hegység holocén tavi üledékből (Forrás: <https://www.nps.gov/articles/alpine-lakes-glaciers-and-benthic-invertebrates.htm>)

Maguk az árvaszúnyogok igen jelentős elterjedésükkel, jelentős taxonszámukkal, és többféle élőhelyükkel (planktonikus - lebegő, bentonikus – iszap felszínélakó és inbentosz – iszaplakó), valamint változatos táplálkozási módjukkal (ragadozók, főként iszapfalók, vízszűrők, élősködők) kiemelkedő jelentőségű paleohidrológiai indikátor csoportot alkotnak. Az eddigi adatok és paleohidrológiai feldolgozások nyomán a fajgazdag és jelentős egyedszámmal jelentkező árvaszúnyogok az egykori klimatikus (hőmérsékleti) tényezők, valamint a vízszint ingadozások és trofitási viszonyok rekonstrukciójában kiválóan alkalmazhatók. Ugyanakkor kiválóan felhasználták az afrikai holocén paleotavak vízminőségének változásánál, a szalinitás kérdéskörénél is. Így a vízi makrogerinctelen csoportok között kiemelkedő jelentőségűek a paleohidrológiai elemzésekben.



420. ábra Hím árvaszúnyog (Chironomidae) maradványa eocén időszaki baltikumi borostyánban, Lengyelországból (Forrás: wikimedia commons)

Az árvaszúnyog család taxonjainak paleohidrológiai jelentőségét az adja, hogy a fosszilis és szubfosszilis tavi környezetben jól fennmaradnak az árvaszúnyog fejek kitines kapszulái (419. ábra). Skandináviában igen kiterjedt adatbázist hoztak létre a jégkor végi és holocén tavi rétegekből előkerült árvaszúnyog maradványok alapján és ennek nyomán holocénre vonatkozó klimatikus,

mindenek előtt hőmérsékleti és vízborítási változásait rekonstruálták térben és időben. Bár döntően a holocén tavi üledékek paleohidrológiai jellemzésére használják fel, de ismeretesebbek jura és kréta időszaki maradványai is az árvaszűnyogoknak. A leghíresebb és legjobb megtartású fosszilis leleteik a kréta időszaki libanoni és az eocén kori baltikumi borostyánokból kerültek elő (**420. ábra**). Így ennek a csoportnak a fejlődését és paleohidrológiai jelzőszerepét a jura időszaktól kezdődően tudjuk hasznosítani.

4.6.19. *Graptolithina* (Graptoliták)

Graptoliták (*Graptolithina*) a félgerinchúrosokkal rokonságot mutató, kihalt, kambrium és a karbon időszak között élt, csak tengerben élő kolónia képző állatok (**421. ábra**). Már *Carolus Linnaeus* (Karl Linné) 1758-ban leírta őket a binominális nomenklatúra szempontjából is alapvető *Sytema Natura* művében – igaz még a növények őseit látta bennünk. Graptoliták a nevüket (= rajzolt kő) a fekete palákon ceruzavonásnak tűnő, ezüstösen fénylő vázokról kapták (**422. ábra**), mivel ez nagyon hasonló volt a sziklára vésett hierogrifákra⁹⁹. *Graptolithina* alosztály a jelenlegi rendszertani (taxonómiai) felfogás szerint *Hemichordata* (fél-gerinchúrosok) törzsébe, azon belül a *Pterobranchia* osztályába tartozik. Az alosztályhoz tartozó taxonok jellemzői a mikroszkópikus méretű kúp. vagy hengyszerű tokok, elágazó, vagy egyszerű telepek és a kitinváz (**423. ábra**). Az apró (csak fosszilisán megtalálható, így csak rekonstruált) graptolita egyedeket ugyanúgy zooidnak hívják, mint a mohaállatok egyedeit. Az egyedek telepekbe (rabdoszóma) csoportosulva éltek (**423. ábra**). A zooidok általában 1 mm-nél kisebb, kúp vagy henger alakú tokban (tékában) laktak (**424. ábra**). A telep első egyede volt a szikula. A szikula embrionális, csúcsi része volt a proszikula (**423. ábra M rész**). A szikula felépítése eltért a többi zooid tokjától. A proszikulából nagyon vékony fonál (stolon = sztolon), vagy cső (nema) indult ki, amely a szikulából bimbózás útján keletkezett egyedeket kötötte össze. Az új egyedek tokjai vagy egyformák voltak, vagy pedig háromféle alakúak. Ez utóbbi esetben feltehető, hogy a

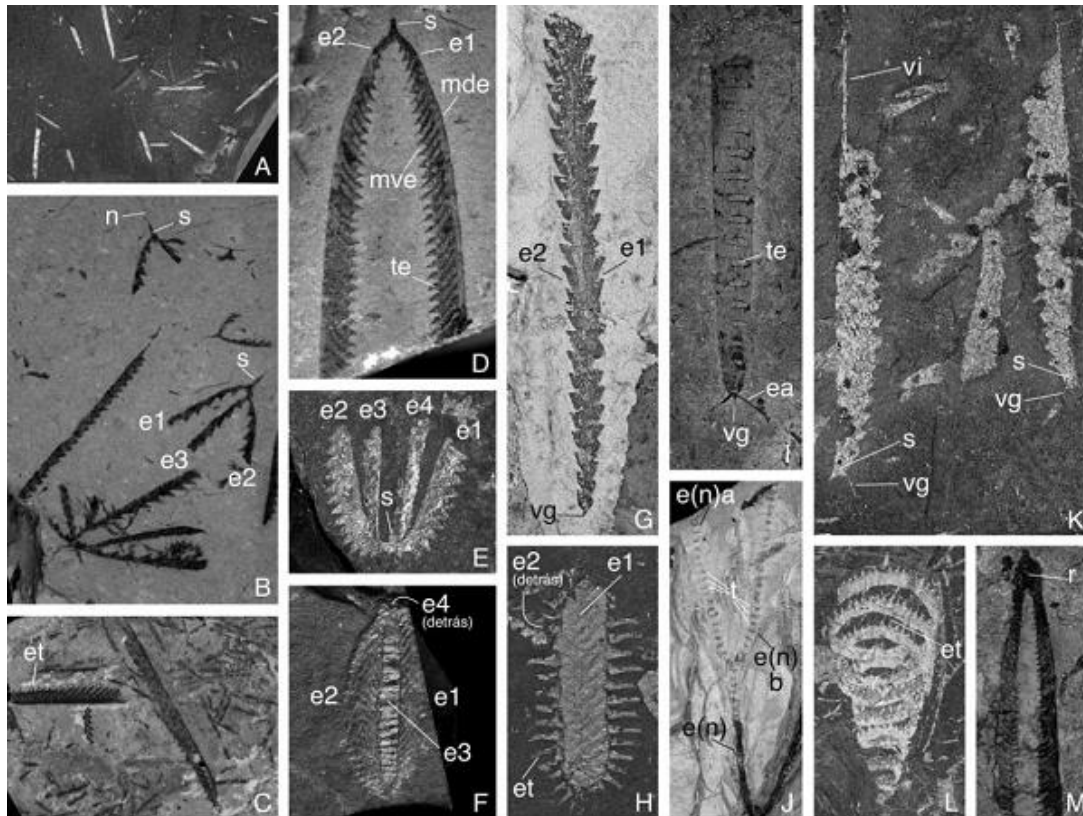
nagyobb tokokban éltek a nőstények, a kisebbben a hímek, a harmadik tokból pedig az új egyed bimbózott ki.



421. ábra Amplexograptus graptolita az Egyesült Államokbeli Tennessee államban található ordovicium időszaki tengeri üledékes kőzetből (Forrás: wikipedia)

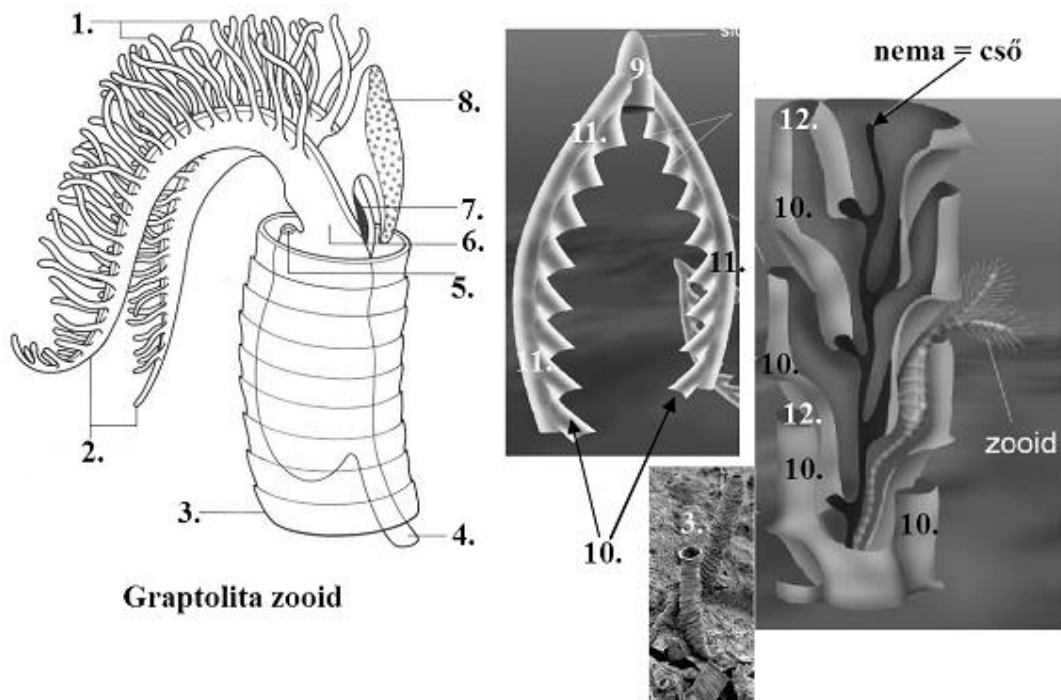


422. ábra Monograptus graptolita csehországi szilur agyagpalában (Forrás: új, saját fotó a Földtani és Őslénytani Tanszék gyűjteményéből)



423. ábra Graptoliteszek változatos formái, az eltérő ópaleozoós tengeri környezethez alkalmazkodásának és a törzsfajlódás hatásának példái (Forrás: researchgate: Maletz, J. 2017. Graptolite paleobiology. John Wiley, New York)
 A és B = egyenes és elágazó graptolita telepek szilur agyagpalában, C = *Saetograptus* telep (rabdoszóma) a baltikumai paleozoikum rétegekből, D = *Didymographus* telep, E = *Tetragraptus* telep, F = *Phyllograptus*, G = *Eoglyptograptus*, H = *Glossograptus* telep I = *Normalograptus* telep, K = *Colonograptus* telep (rabdoszóma), L = *Spirograptus* telep spirálisan elhelyezkedő tokokkal, M = *Didymographus* telepének első egyede (= szikula) a csúcsi résszel (proszikulával), e = sztolon (fonál), ea = szitulából induló fonál, bimbozási sorral kialakított thékák, s = szikula (kezdő egyed), te = theca (=tok), n = nema (cső), en = elágazó fonalak (sztolon), et = fonalas spirális thecasor (telep), mde = marginális elhelyezkedésű fonál (stolon vagy sztolon), mve = külső marginális fonál (stolon vagy sztolon), r = telep (rabdoszóma), vi = virguela (vesszőcske = telepágacsak), vg = virgula (telepág)

A fonál, illetve a cső mentén egy, két vagy négy sorban helyezkedtek el egymás mellett a tokok. Maga a telep sokfelé ágazhatott. és az egyes ágakat harántkapcsok köthették össze (**424. ábra**). Sok esetben a telep csak kétfelé ágazott el, vagy egyetlen, egyenes vagy lazán spirális tengely mentén helyezkedtek el a tokok (**424. ábra**)¹⁰⁰.



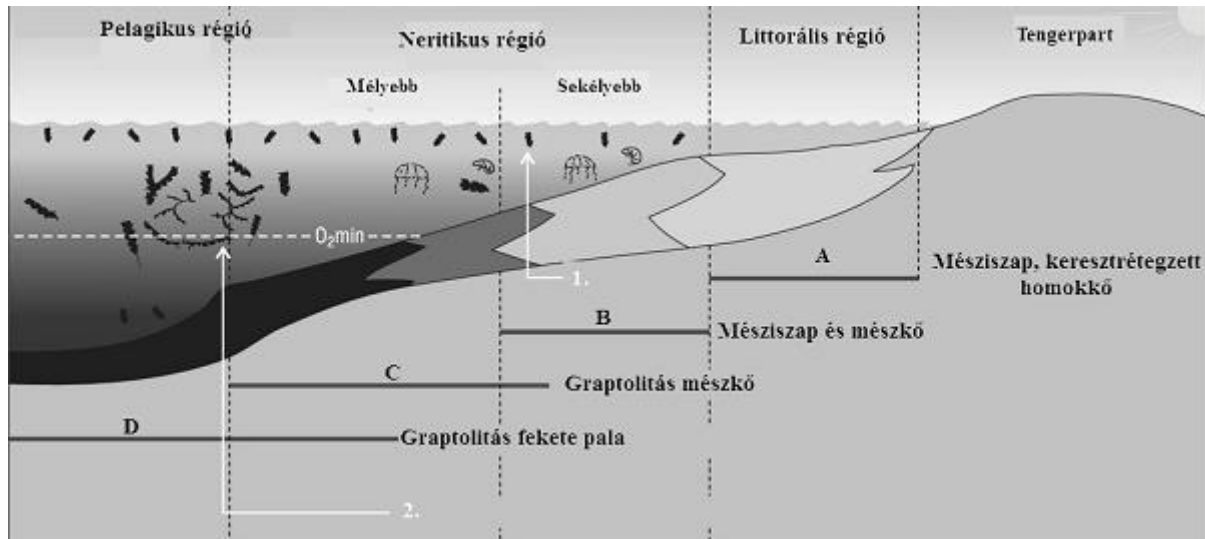
Graptolita zooid

424. ábra *Graptolita* zooid rekonstruált felépítése (Forrás: wikipedia - átalakítva, magyarra fordítva és kiegészítve) 1 = tentaculaták (tapogatók = csápok), 2 = tapogatókat tartó karpár, 3 = tubus felszíni rostokkal, 4 = sztolon (stolon) – fonál, 5 = végbél, 6 = gallér, 7 = szájadék, 8 = fejpajzs, 9 = szikula, 10 = theca, 11 = fonál (stipe), 12 = szájadék

Néha a telepek úszóhólyag köré csoportosultak. A graptoliták szerves eredetű kitinváza kettős falú. A külső réteg lemezes felépítésű. A belső réteg nagyon jellegzetes. Váltakozva egymáshoz kapcsolódó félgyűrűkből áll, amelyek két, zezgugos vonal mentén érintkeznek egymással. A belső réteg lágy és áttetsző. A fosszilizálódáskor a legtöbb graptolita váza összepréselődik, diagenizálódik, deformálódik. A graptoliták kiváló paleohidrológiai jelzőelemek, ismereteseek planktonikus létformáik az epipelágikus régióból, mélytengeri alakjaik, sekélytengeri aljzaton növekvő formáik a beágyazó üledékek fáciese nyomán **(425. ábra)**¹⁰¹.

Viszont az egyes formák életmódjáról már komoly viták folynak, valaki lebegő alakként, mások aljzathoz rögzült formaként rekonstruálják ugyanazokat a taxonokat. Graptoliteszek ősei helyhez kötött életmódot folytattak és tiszta vízű, sekélytengerekben éltek. Többségük azonban alkalmazkodott a lebegő életmódhoz, és vagy a felszínen lebegő moszaterdőkhöz tapadva sodródtak,

esetleg az úszóhólyagok segítségével lebegtek a vízben. Így elhatolhattak a nyílt óceánokba is. A különböző tengerekben azonban más-más graptolita taxonok éltek, és a faunaprovinciák kijelölésével következtethetünk az ordoviciumi és szilur tengeri képződmények eredeti földtani kapcsolataira.



425. ábra Szilur időszaki litofáciesek és graptolita biofáciesek tengeri üledékgyűjtő medencében (Forrás: wikipedia – átalakítva, magyarra fordítva és kiegészítve) 1 = epipelágikus graptolitesz taxonok, 2 = kontinentális lejtő igen fajgazdag és jelentős egyedszámú graptolitesz faunákkal, A = keresztarétegzett homokkő, mészkő, mésziszap graptolitesz maradványok nélkül, B = mészkő és mésziszap epipelágikus lebegő és iszapba rögzült graptolitesz formákkal, C = tengeri mészkő és mésziszap gazdag lebegő graptolitesz taxonokkal, D = fekete pélites agyagpala diverz és egyedszámban a leggazdagabb graptolitesz faunákkal (oxigén szegény aljzattal – pusztulási [letális] zóna a graptoliteszek számára)

Legfontosabb a korjelző szerepük. A graptoliták jelentős ösföldrajzi elterjedése gyors törzsfajlódással párosult. Így akméjük (virágkoruk) idején ugyanolyan fontos korjelző értékűek voltak a rétegek koráról, mint a kambrium időszakban a trilobiták, vagy a mezozoikumban az ammoniteszek. A graptoliták rendszertani helye mindaddig bizonytalan volt, amíg préselt kétdimenziós formában voltak ismertek. Háromdimenziós vázuk kipreparálása és pásztázó elektronmikroszkópiás felvételei nyomán sikerült feltárni rokonságukat a félgerinchúrosokkal (*Hemichordata* törzsszel).

Ellenőrző kérdések:

- 14.1. Mi az a mohaállat (Bryozoa) és mi a paleohidrológiai jelzőszerepe?*
- 14.2. Mik azok a pörgekarúak (Brachiopoda) és mi a paleohidrológiai jelzőszerepe?*
- 14.3. Mi a különbség a kagylók (Bivalvia) és a pörgekarúak (Brachiopoda) szimetriaviszonyai között?*
- 14.4. Ismertesse a Lingula (Lingullela) paleohidrológiai jelentőségét.*
- 14.5. Ismertesse a Seposki féle kihalási hullámokat.*
- 14.6. Milyen különbségek jelentkeznek az I., a II., a III., a IV. és az V. kihalási hullám között?*
- 14.7. Ismertesse a tüskésbőrűek (Echinodermata) paleohidrológiai jelentőségét.*
- 14.7. Ismertesse a tengeri liliomok (Crinoidea) paleohidrológiai jelentőségét.*
- 14.8. Ismertesse a tengeri sünök (Echinoidea) paleohidrológiai jelentőségét.*
- 14.9. Ismertesse a tengeri élettájakat és paleohidrológiai jelentőségüket.*
- 14.10. Ismertesse a kagylósrákok (Ostracoda) paleohidrológiai jelentőségét.*

Ellenőrző kérdések:

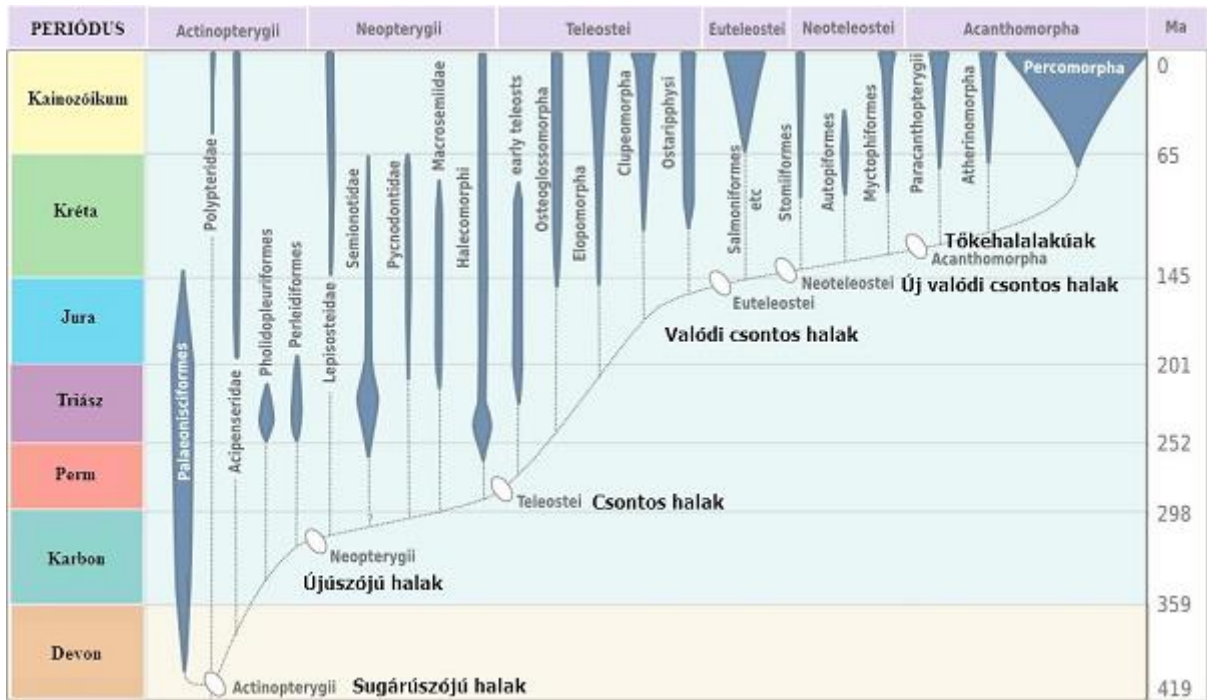
- 14.11. Mi az a mohaállat (Bryozoa) és mi a paleohidrológiai jelzőszerepe?*
- 14.12. Mik azok a pörgekarúak (Brachiopoda) és mi a paleohidrológiai jelzőszerepe?*
- 14.13. Mi a különbség a kagylók (Bivalvia) és a pörgekarúak (Brachiopoda) szimetriaviszonyai között?*
- 14.14. Ismertesse a Lingula (Lingullela) paleohidrológiai jelentőségét.*
- 14.15. Ismertesse a Seposki féle kihalási hullámokat.*
- 14.16. Milyen különbségek jelentkeznek az I., a II., a III., a IV. és az V. kihalási hullám között?*
- 14.17. Ismertesse a tüskésbőrűek (Echinodermata) paleohidrológiai jelentőségét.*
- 14.18. Ismertesse a tengeri liliomok (Crinoidea) paleohidrológiai jelentőségét.*
- 14.19. Ismertesse a tengeri sünök (Echinoidea) paleohidrológiai jelentőségét.*

- 14.20. Ismertesse a tengeri élettájakat és paleohidrológiai jelentőségüket.
- 14.21. Ismertesse a kagylósrákok (*Ostracoda*) paleohidrológiai jelentőségét.
- 14.22. Ismertesse a balatoni rencens és negyedidőszaki kagylósrák (*Ostracoda*) fauna paleohidrológiai jelentőségét.
- 14.23. Ismertesse a kacslábú rákok (*Cirripedia*) paleohidrológiai jelentőségét.
- 14.24. Ismertesse az ágascsápú rákok (*Cladocera* rend) paleohidrológiai jelentőségét.
- 14.25. Ismertesse felsőbbrendű rákok (*Malacostraca*) paleohidrológiai jelentőségét.
- 14.26. Ismertesse atlanti törzfarkú (*Limulus polyphemus*) jelentőségét.
- 14.27. Ismertesse az árvaszúnyog (*Chironomidae*) paleohidrológiai jelentőségét.
- 14.28. Ismertesse a graptoliták (*Graptolithina*) paleohidrológiai jelentőségét.

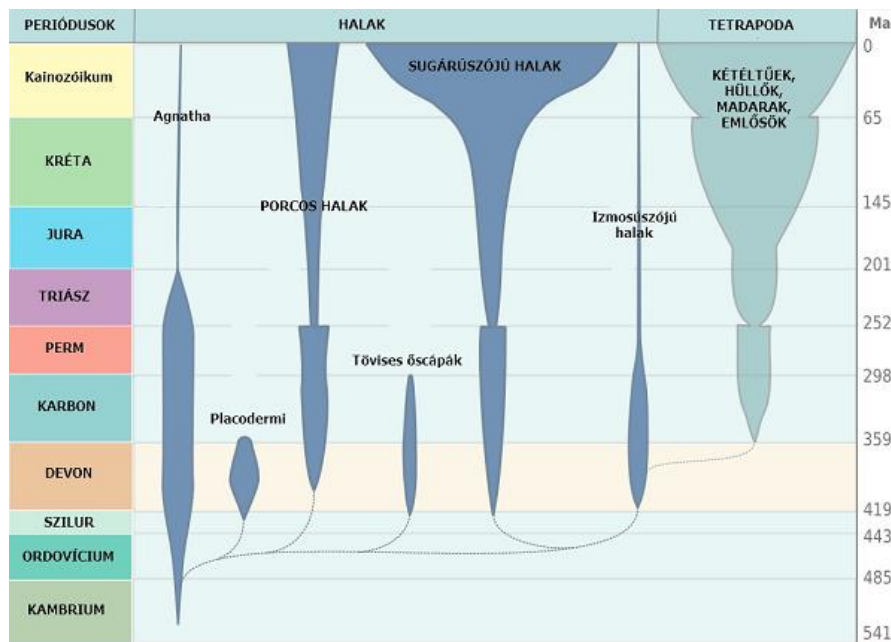
4.6.20. Gerincesek (*Vertebrata*) törzse (genetikai elemzések nyomán altörzs)

A gerincesek legfontosabb közös jellemzője a porcos és csontos belső váz, illetve a hátoldali gerinchúr, illetve gerincoszlop, a hátoldali központi idegrendszer, a két részből álló koponya, hasi oldali emésztőrendszer, három részre tagolt test. A gerinchúr entodermális eredetű és a gerincesek embriójában, mint rugalmas merevítő pálca a test hossz tengelyében a fejtől a farokig húzódik. A legtöbb gerinces csoportnál felnőtt korban a gerinchúr visszafejlődik, vagy teljesen felszívódik; helyét és szerepét a gerincoszlop veszi át, viszont egy jelentős csoportnál végig fennmarad. Az gerincesek központi idegrendszerét agyat az agykoponya védi, a gerincvelőt a maga a gerinc, míg a bélcsatorna bevezető nyílásánál az arckoponya helyezkedik el. A fejen számos érzékszerv található. A nyaki rész csak a fejlettebb csoportokra jellemző, míg az alacsonyabbrendű gerinceseknél az ennek megfelelő részen találjuk a bélcsővel kapcsolatos kopoltyúkat. A fosszilizálódó csontok az eredeti porcos állomány helyettesítésével (pótcsonatok), vagy a rostos kötőszövet átalakulásával (bőrccsonatok) jönnek létre. A fogak alapanyaga dentin, amely a csontokhoz

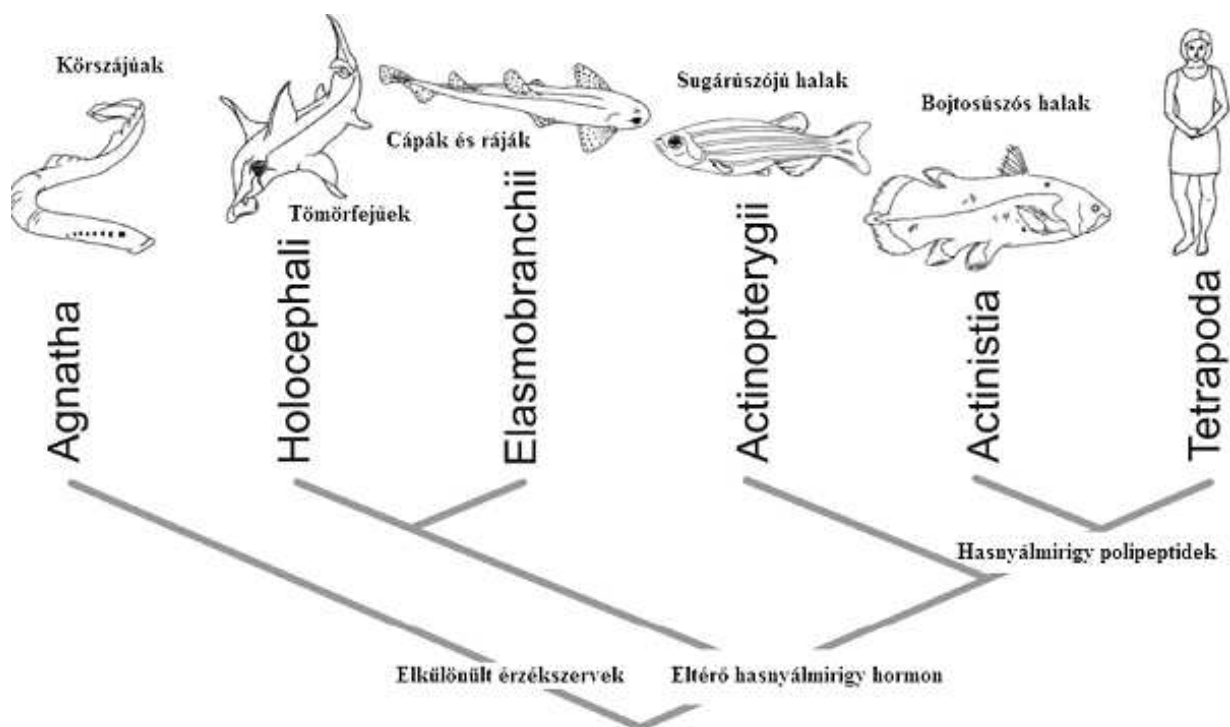
hasznos összetételű és nagyon ellenálló és jól fosszilizálódik, így jól használható a paleohidrológiai elemzésekben. Paleohidrológiai szempontból a halak (*Pisces*) taxonok emelkednek ki a gerinces taxonok közül, mint egykori vízi környezetet jól jelző bioindikátor elemek. A halak egy a gerinchúrosok (*Chordata*) törzséhez tartozó, mai felfogásunk alapján egy rendszertanon kívüli kategória. Régebben önálló osztályként írtál le, de ma már egy olyan ősi csoportnak tartják, amelynek tulajdonságai visszavezethetők egy közös ősre, viszont a csoport maga nem tartalmazza annak a bizonyos legközelebbi közös ősnek az összes leszármazottját (parafiletikus csoport). Külön ki kell emelnünk azt a tényt, hogy valamennyi négy végtaggal rendelkező élőlény (így az ember is) az emberionális fejlődés egy jellemző szakaszában halhoz hasonló, és így az egyedfejlődés során láthatóvá válnak a közös evolúciós múlt formai nyomai. A hal taxonok jelenlegi száma 28 ezer körüli, és még 3 ezer fajuk ismert fosszilizisan. Az eredetileg egy osztályba sorolt halakat, ma két altörzsbe, két főosztályba, 12 osztályba és 120 rendbe soroljuk és taxonómiájuk szinte csak specialista szakemberek számára áttekinthető¹⁰². Szorosabb értelemben (*sensu stricto*) vett törzsfejlődésük a sugárúszójú halak (*Actinopterygii*) devon időszaktól követhető (**426. ábra**), a porcos halak (*Chondrichthyes*) fejlődése az ordovíciumtól indult meg. Tágabb értelemben (*sensu lato*) vett fejlődésük a gerincesek korai fejlődésétől, az állkapocs nélküli, körszájú halak (*Agnatha*) megjelenésétől elválaszthatatlan, ezért a neoproterozoikum időszakától, mintegy 700 millió évtől kísérelhetjük nyomon fejlődésüket fossziliák és a genetikai vizsgálatok alapján (**427. ábra**, **428. ábra**).



426. ábra Halak törzsejlődésének egyik kladisztikus változata a geológiai időben (Forrás: wikipedia - átalakítva)



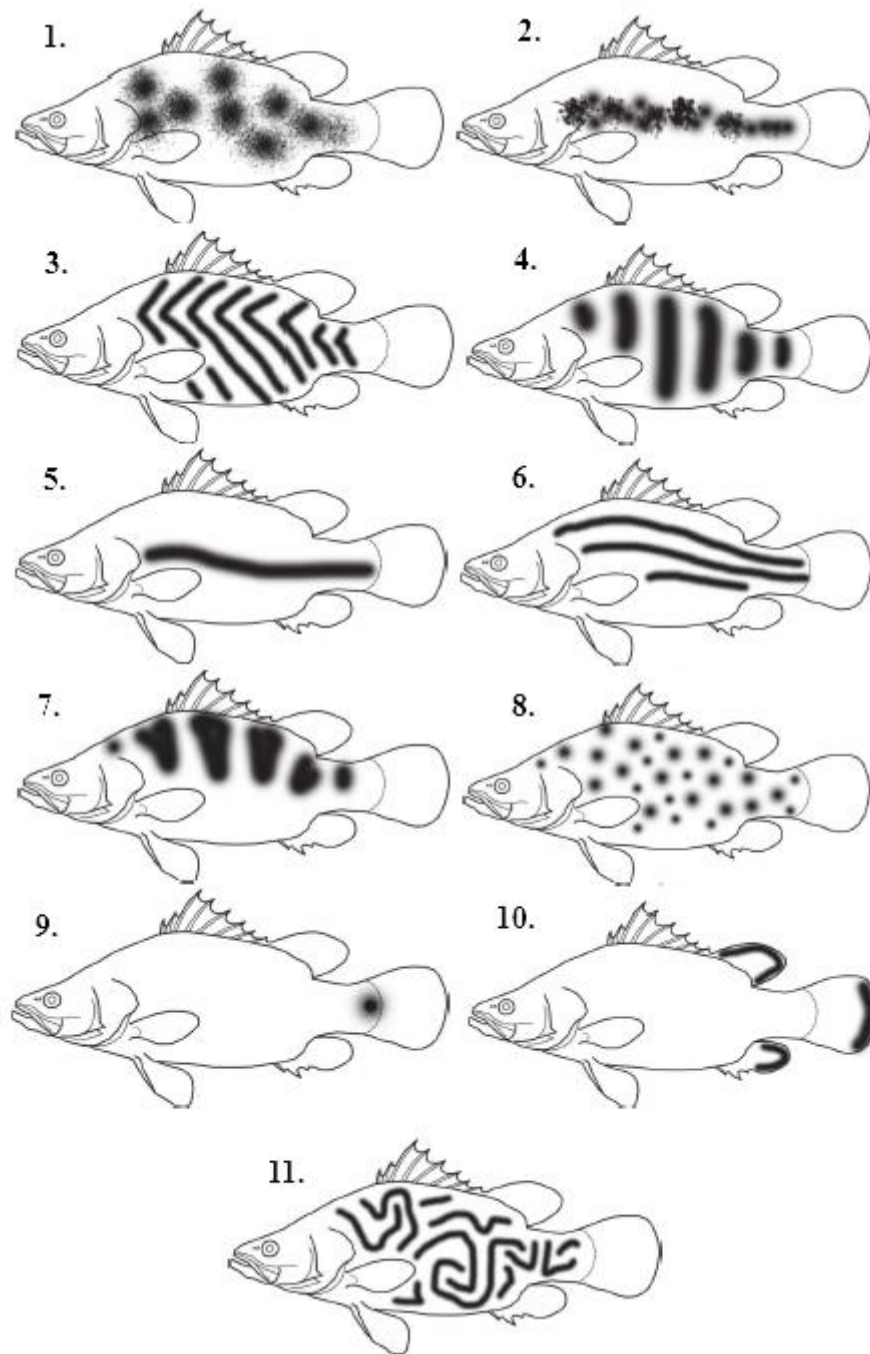
427. ábra Chordata törzsejlődése geológiai időben (Forrás: wikipedia - átalakítva)



428. ábra Chordata törzsfejlődésének egyik kladisztikus változata, morfológiai és hormon adatok nyomán (Forrás: wikipedia - átalakítva)



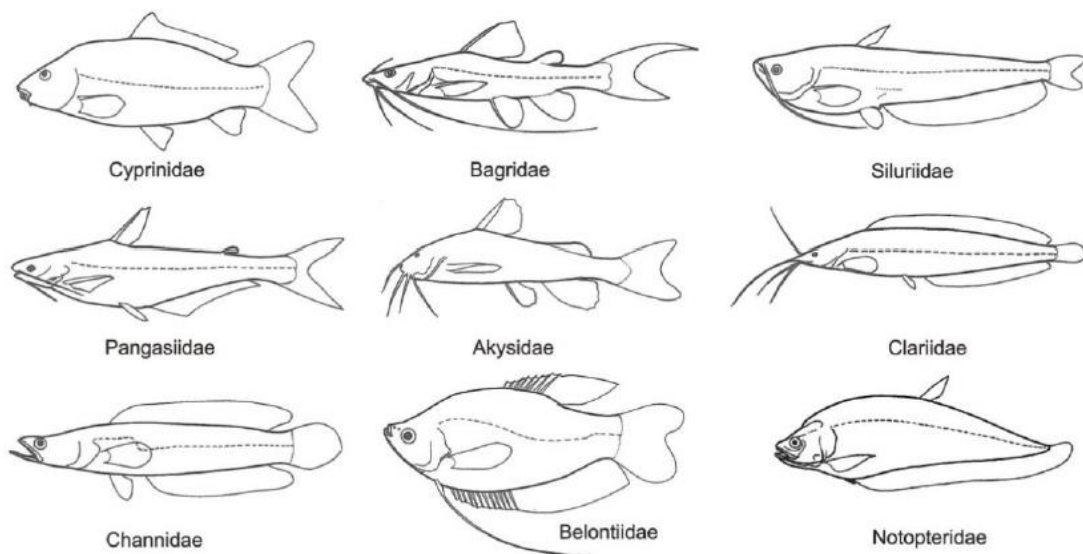
429. ábra Sugárúszójú hal (*Priscacara serrata*) eocén időszaki fosszilis csontváza (Forrás: wikipedia)



430. ábra Recens csontos halak felszíni mintázatának és rejtő színezetének variációi (Forrás: researchgate: Keat-Chuan Ng, C., Aun-Chuan Ooi, P., Wong, W. L., Khoo, G. 2017. A review of fish taxonomy conventions and species identification techniques. Survey in Fisheries Sciences, 4, 54-93) 1 = foltos, 2 = vonalban foltos, 3 = rendfokozatszerűen csíkozott, 4 = sávozott, 5 = laterálisan csíkos, 6 = csíkozott, 7 = nyergesen (hátán) sávozott, 8 = pettyes, 9 = szemfoltos, 10 = peremen csíkozott, 11 = absztrakt módon sávozott (festett)

Halak testét fej, test és farok régiókra osztjuk és erre a korai fejlődési szakaszra sokféle porc-, és/vagy csontrészt jellemző (429. ábra). Viszont paleohidrológiai

szempontból kiemelkedő jelentőségű, hogy a halak testalakja - benne a rosszul, vagy egyáltalán nem fosszilizálódó testszínezettel (430. ábra) - rendkívül változatos, ez nagyon jól tükrözi a különböző halfajok életmódját (431. ábra), egykori paleohidrológiai környezetét. Ez nem rendszertani besorolás, hanem ún. *taxon-free osztályozás*, ami rendszertani kategóriától független, alak és életmód osztályozást tesz lehetővé. Amennyiben rendszertantól független taxon-free osztályozást követjük, akkor a fosszilis közösségek ökológiai jellegeinek (pl.: testtömeg, táplálkozási preferencia, fajszám) vizsgálatán alapulnak.



431. ábra *Recens halak formai változatossága (Forrás: researchgate: Keat-Chuan Ng, C., Aun-Chuan Ooi, P., Wong, W. L., Khoo, G. 2017. A review of fish taxonomy conventions and species identification techniques. Survey in Fisheries Sciences, 4, 54-93)*

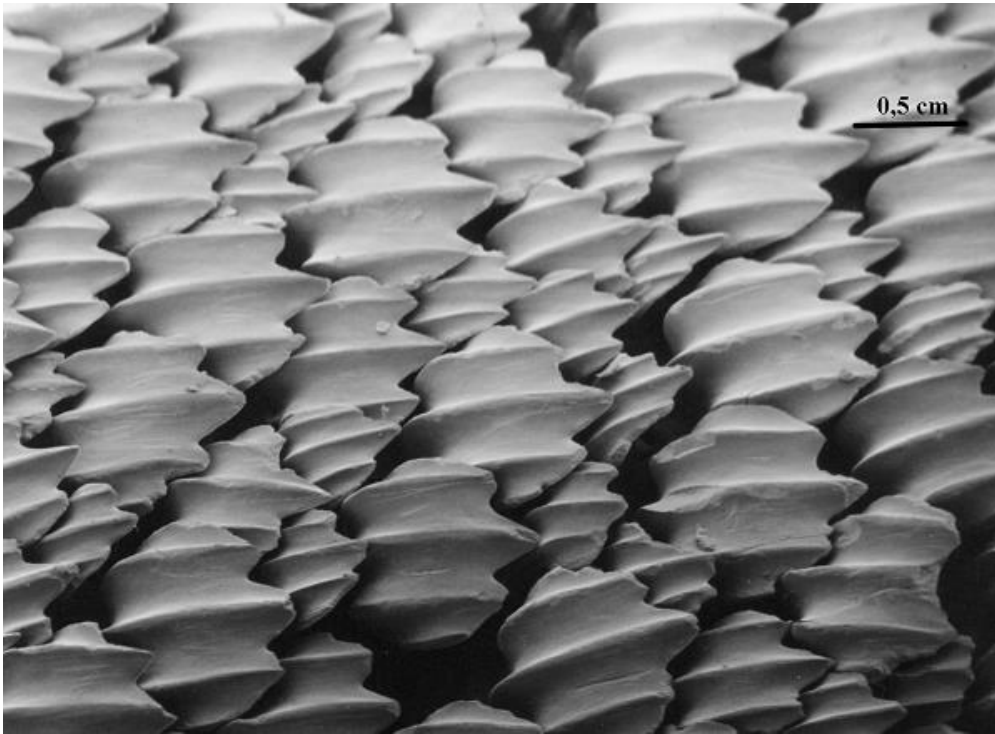
A halaknál az alak mellett a legjelentősebb taxon-free osztályozást a kültakarón található pikkelyek teszik lehetővé (432. ábra). Nem véletlen, hogy a recens és fosszilis halak átfogó osztályozását a svájci Agassiz éppen a pikkelyek alapján készítette el 1833-1843 között. A halak bőre egymástól világosan megkülönböztethető két rétegből áll: a többrétegű, el nem szarusodó hámból (*epidermisz*) és a vastag irhából (*cutisz*). A hámban sok a nyálkát termelő sejtcsoport. A nyálkatermelés egyrészt védekezés a halak bőrén megtelepedő paraziták ellen, másrészt surlódást csökkentő tényező, amely a vízi életmódhoz

alkalmazkodás egyik formája. A mélytengeri halaknál a hámban mirigyszerű világító sejtek is megtalálhatók¹⁰³.



432. ábra Ősi pikkelyes új valódi csontos hal fosszília (forrás: wikiwand)

A pikkelyek legősibb típusa a plakoid (fogas) pikkely, amely pulpát és cementet tartalmaz, kívülről pedig vastag zománcreteg borítja (433. ábra). A halak fejlődésének igen korai csoportját alkotó porcos halak testét apró zománctüskék fedik (csontos [fogas] placoid pikkely), ettől a bőr érintése durva, dörzspapírszerű. Ezek a tüskék semmiben sem különböznek a szájüreg peremét kibélelő fogaktól, csak nem olyan nagyok, hanem olyan kicsinyek, hogy a bőr felszíne távolról bársonyos hatást kelt. A cápa- és rájabőr pikkelyzetén csak azért ismerhetjük fel teljesen tisztán a fogazattal (434. ábra) közös eredetet, mert ezek a taxonok megmaradtak egy olyan ősi fejlődési fokon, amikor még a specializálódás még nem mosta el a gerinces fogazattal közös eredetének bizonyító vonásait¹⁰⁴.



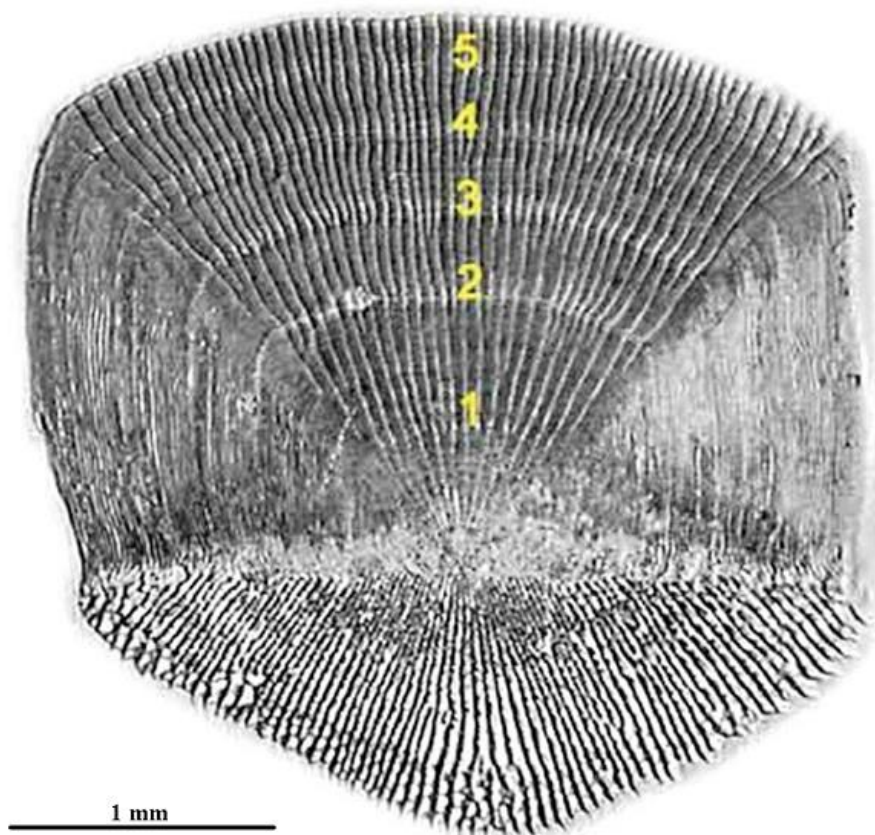
433. ábra Legősibb placoid pikkely (Forrás: wikipedia)



434. ábra Carcharocles megalodon (óriásfogú cápa) kültakaró placoid pikkelyeivel rokon foga (Forrás: wikipedia)



435. *ábra* Ázsiai csontnyelvű hal (*Asian arowana*) hal cikloid (kerek) pikkelye
(Forrás: wikipedia)

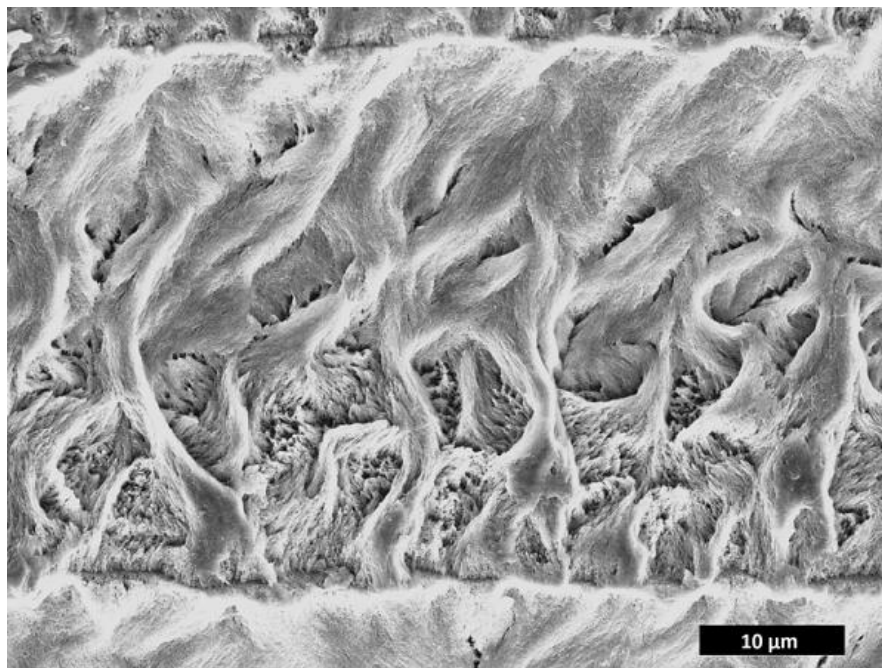


436. *ábra* *Oreochromis andersonii arikai* hal (Okavango delta tavi – mocsári rendszeréből) hal ktenoid (fésűs) pikkelye éves növekedésű részekkel (1...5 = éves növekedési részek) (Forrás: Davidson, T. A., Sayer, C. D., Perrow, M. R., Tomlinson, M. L. 2003. Representation of fish communities by scale sub-fossils in shallow lakes: implications for inferring percid–cyprinid shifts. *Journal of Paleolimnology*, 30, 441-449)

A cikloid (kerek: 435. ábra) és ktenoid (fésűs: 436. ábra) pikkelyek tetőcserépszerűen fedik egymást, míg a ganoid (zománcos: 437. ábra) pikkelyek mozaikszerűen illeszkednek egymáshoz.



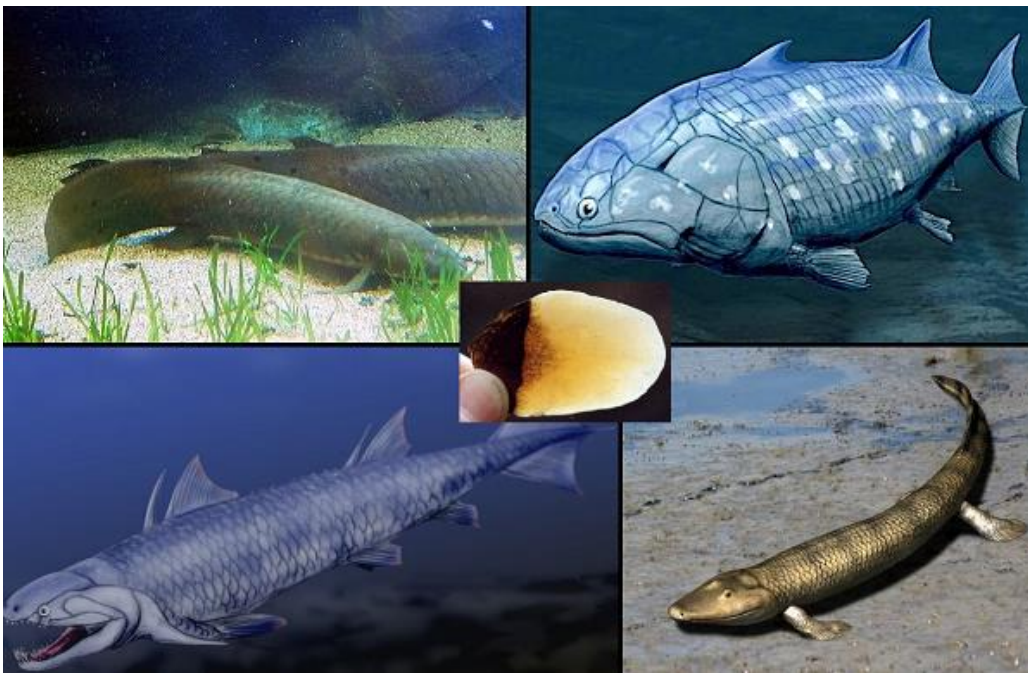
437. ábra Fossilis ganoid pikkelyek kréta időszaki *Lepidotes* egyed oldalán (Forrás: wikipedia)



438. ábra Alligátorhal (*Atractosteus spatula*) ganoid pikkelyében kifejlődött ganoid (zománc) réteg (Forrás: wikipedia)

A cikloid (kerek) pikkelyen koncentrikus körökben növekvő dentinrétegeket lehet megkülönböztetni (435. ábra). A ktenoid (fésűs) pikkely szabadon álló része fogazott (436. ábra). A ganoid (zománc) pikkely kozminrétegét fénylő ganoin (zománc) borítja (438. ábra). Az ősi bojtosúszós halak (Crossopterygii/Sarcopterygii) és tüdőshalak felszínét borító kozmoid pikkely dentinrétege részben visszafejlődött és a kozminréteg került túlsúlyba¹⁰⁵.

Már a pikkelyek elemzésénél is látható, hogy a halak változatos formai megjelenése a környezethez alkalmazkodáson abban rejlik, hogy az ősi alakok egy jelentős része (körszájúak, porcos halak, bojtosúszós halak, tüdős halak, stb.) fennmaradtak mind a mai napig. Így szinte 700 millió év fejlődésének eredményét, a törzsfejlődésnek az egyes állomásait, taxonjait is láthatjuk a mai halfaunában.

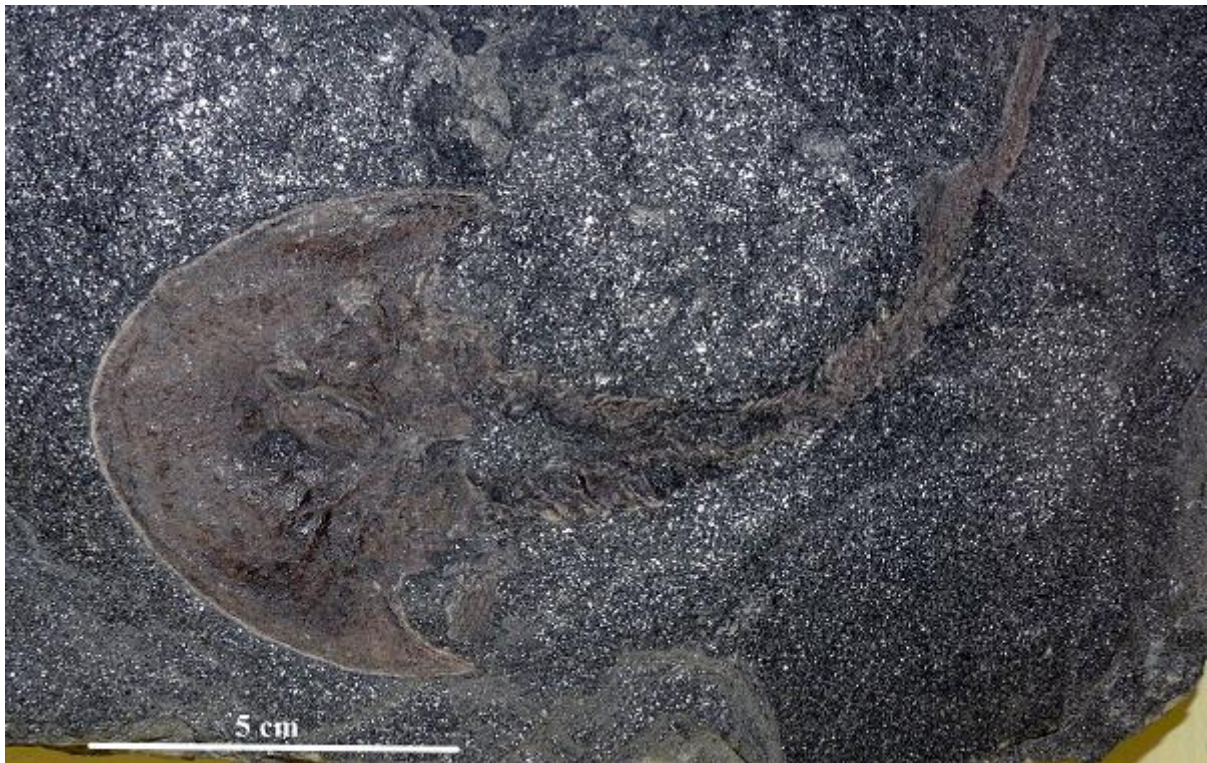


439. ábra A csak az ősi bojtosúszós halaknál (rajzos 3D rekonstrukciók) és a ma élő is élő, akváriumban is tartható tüdős halaknál, ma is élő bojtosúszós halaknál (Crossopterygii – Sarcopterygii) megtalálható kozmoid pikkely ((Forrás: wikiwand)

4.6.21. Agnatha (Állkapocs nélküliek)

Korábban osztályként kezelt, mai felfogásunk alapján az állkapocs nélküliek (Agnatha: 440. ábra) nem rendszertani kategória, de a paleohidrológiai

kutatásokban mind a mai napig használt csoport. Ide sorolható a szintén parafiletikus prekambriumtól mind máig fennmaradt körszájúak (*Cyclostomata*: **441. ábra**) és a kihalt, ordovicium időszakában megjelent és a devon időszakban kihalt cserepesbőrűek (*Ostracodermi*: **442. ábra**) és a kutatók egy része szerint ide soroljuk a rendkívül problematikus, csak fogalakú maradványokból ismert kambriumtól ismeretes kihalt *Conodonta* taxonokat, a *Conodonta* törzset is (**443. ábra**).



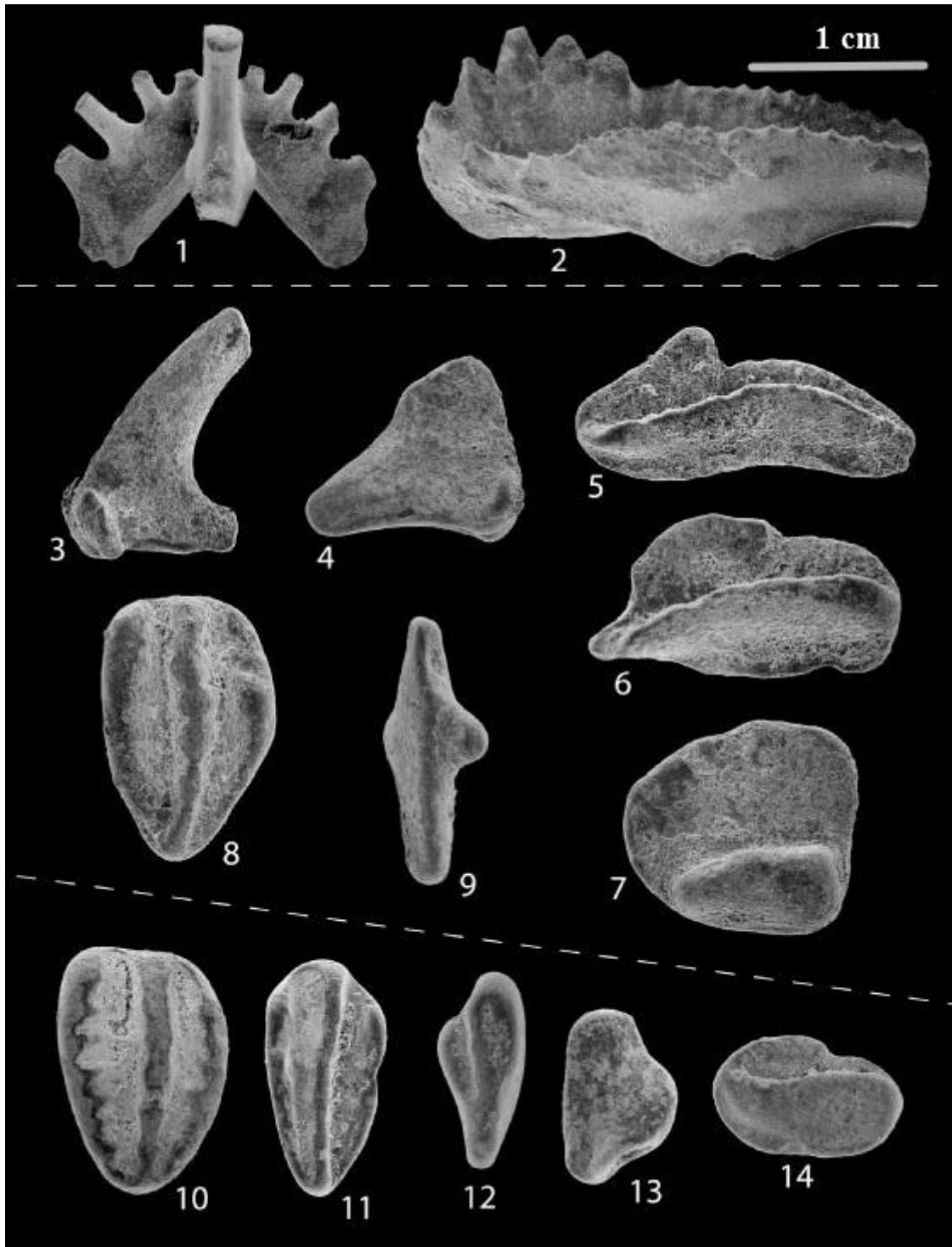
440. ábra *Hemicyclaspis* (kihalt álkapocs nélküli – Agnatha) fosszília az amerikai Kaledon pászta rétegeiből (Forrás: wikipedia)



441. ábra *Lasanius problematicus* (kihalt körszájú Cyclostomata) fosszília (Forrás: wikipedia)



442. ábra Cephalaspis lyelli (kihalt, a geológia egyik alapító egyéniségének Lyell-nek a nevét viselő cserepesbőrű – Ostracodermi) fosszília skóciai devon időszaki rétegekből (Forrás: wikipedia)



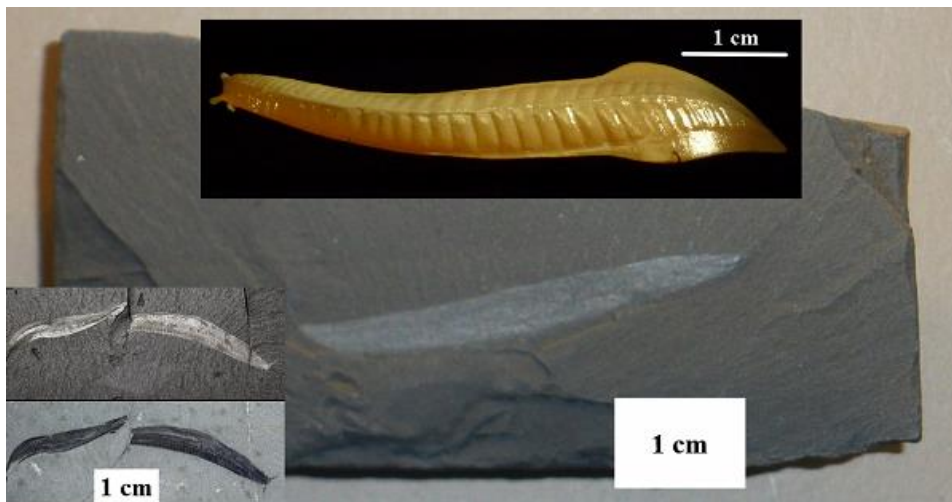
443. ábra Kihalt, napjainkban az álkapocs nélküli halakhoz (Agnatha) sorolt Conodonta (konodonta) taxonok észak-amerikai (pennsylvániai) karbon időszaki rétegekből (Forrás: wikipedia)

Az álkapocs nélküliekre átfogóan jellemző, hogy egész életük során megőrzik a gerinchúrt. Ez a rugalmas pálcára emléztető, hatalmas vakuólumoktól feszülő sejtekből álló belső támasztó szerv ugyanúgy megtalálható egy

emberi embrióban, mint egy hallárvában, vagy akár egy fiatal zsákállatban, és minden egyes egyedben az embriogenezis során egyfajta belső feszítő-vázként szolgál a szervezet számára. A fejlődés későbbi stádiumaiban gyakran fölösleges lesz, s ilyenkor vagy teljesen, nyomtalanul eltűnik (lásd zsákállatoknál), vagy beépül a létrejövő szövetekbe (így bennünk a porckorong belsejében lelhető fel a nyoma). Ugyanakkor a koponyátlanok gerinchúrja az egész egyedfejlődés során megmarad¹⁰⁶.

4.6.22. Cephalochordata (Fejgerinchúrosok)

Az első gerinchúrosokat, a prekambriumi Ediacarai faunához visszavezethető *Pikaia* nemzetséghez sorolható taxonokat (444. ábra) a kiemelkedő jelentőségű paleohidrológiai lelőhelyről, a kambrium időszaki Burgess Palából (445. ábra) ismerjük legjobban. Burgess Pala kambriumi Kanadában, a Sziklás-hegység (a Nagy Kontinentális Vízválasztó) nyugati részén, a Yoho Nemzeti Parkban található (446. ábra).



444. ábra Kihalt fejgerinchúros, *Pikaia* taxon fosszilis lenyomatai a kambriumi Burgess Palából, és 3D virtuális rekonstrukciója (Forrás: wikipedia)

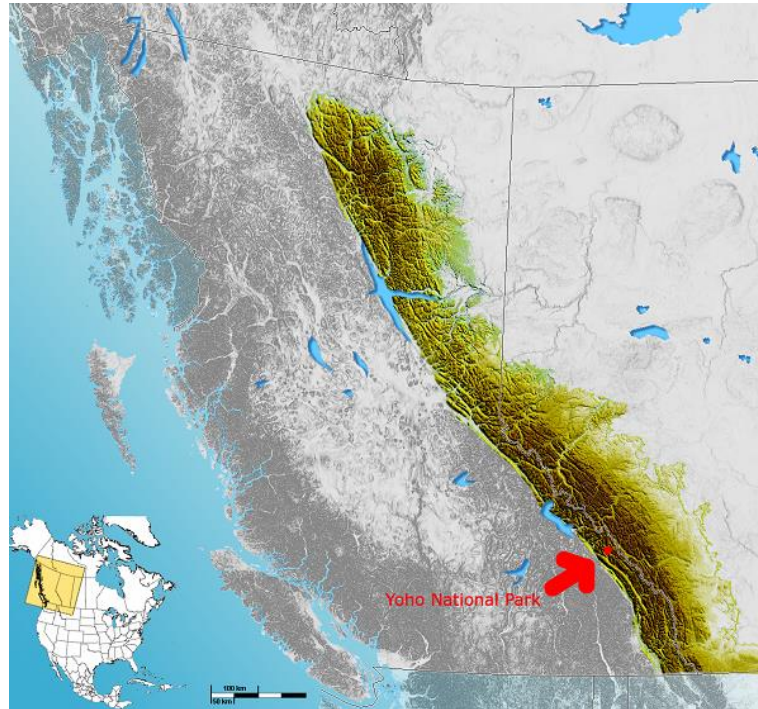
Bár a lelőhely felfedezője (1909) és első feltárója *Charles Doolittle Walcott* amerikai geológus részletesen leírta a terület földtani képződményeit, és igen jelentős számú, több, mint 60 ezer fossziliát gyűjtött és vizsgált meg, de a XX. század második felében történt újrvizsgálat és új értelmezés adta meg a lelőhely igazi paleohidrológiai értékét. Ugyanis a megközelítőleg 530 millió

éves burgessi agyagpalában nem csak a szilárd vázak maradtak fenn, hanem épségben hátra maradtak a lágyszervek lenyomatai is (444. ábra)¹⁰⁷.



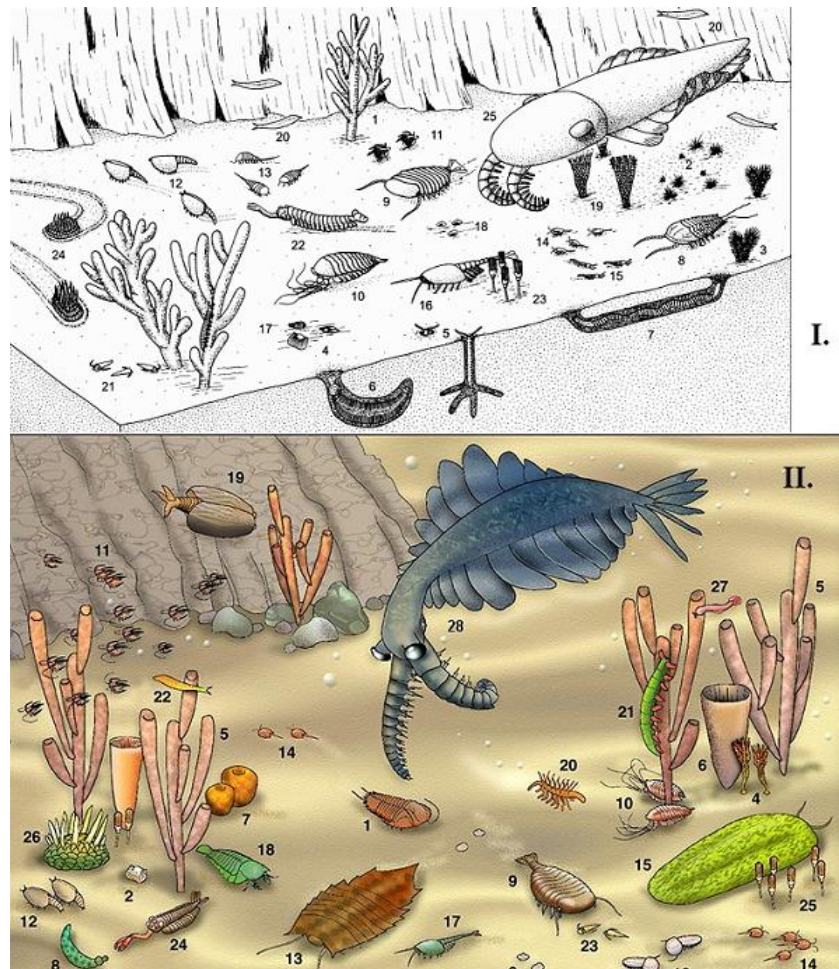
445. ábra Középső kambrium korú, mintegy 530 millió éves Burgess Pala feltárása az ún. „Walcott” kőbányában, a kanadai Sziklás-hegységben. A lelőhely a nevét Charles Doolittle Walcott amerikai geológusról (1850-1927), a lelőhely felfedezőjéről és leírójáról, fosszilis faunájának első feltárójáról kapta (Forrás: wikipedia)

A rendkívüli megőrződést biztosító fosszilizáció teljesen speciális paleohidrologiai helyzetben jött létre. Az egykori élővilágot tenger alatti iszapcsuszamlás temette be hirtelen.



446. ábra Burgess Pala lelőhelye a Yoho Nemzeti Parkban, térképen (Forrás: wikipedia)

Az oxigénszegény környezetben a lágyszövetek elrohadása nagyon lassan megy végbe, így van idő ezeknek a maradványoknak a fosszilizálódására – ősmaradvánnyá válásához, lenyomatok kialakításához. Annyira finom a szervesanyag betemető üledék, hogy kitölt minden pórust és rést az egykori szövetekben, így a lágyszövetek lenyomata is megmaradt. A kőzetek között mintegy 40 különböző ízeltlábút fedeztek fel. Emellett gyakoriak a tüskésbőrűek, a szivacsok és a férgek (447. ábra). Kisebb példányszámban fordulnak elő a pörgekarúak, a puhatestűek, és az itt tárgyalt gerinchúros lándzsahalak (447. ábra). A Burgess Pala élővilága (448. ábra) jól jelzi a paleozoikum legkorábbi szakaszában lejátszódott gyors törzsfajlódási változásokat (morfológiai radiációkat). Korábban ezt „robbanásszerű” változásként írtak le.



447. **ábra** Burgess Pala középső kambriumi rekonstruált élőlényei, életközössége, kihalt taxonokkal – kétféle elképzelésben (Forrás: wikipedia)

I.: Szivacsok: *Vanuxia* (1), *Choia* (2), *Pirania* (3); Brachiopodák: *Nisusia* (4); Soksertéjű férgek: *Burgessochaeta* (5); Frakosférgek: *Ottia* (6), *Louisella* (7); Trilobiták: *Olenoides* (8); egyéb ízeltlábúak: *Sidneyia* (9), *Leanchoilia* (10), *Marella* (11), *Canadaspis* (12), *Molaria* (13), *Burgessia* (14), *Yohoia* (15), *Waptia* (16), *Aysheaia* (17); Molluskák: *Scenella* (18); tükésbőrűek: *Echmatocrinus* (19); gerinchúrosok: *Pikaia* (20); *Haplophrentis* (21), *Opabina* (22), Mohaállatok: *Dinomischus* (23), előgyűrűsférgek: *Wiwaxia* (24), és a ragadozó, már kihalt anomalocaris: *Laggania cambria* (25)

II.: Trilobita: *Olenoides serratus* (1) egyéb ízeltlábúak: *Sidneyia* (9), *Waptia* (17), *Helmetia* (13), *Sanctacaris* (18), *Tegopelte* (15), *Naraoia* (16), *Leanchoilia* (10), *Canadaspis* (12), *Odaraia* (19), *Marrella* (11), and *Burgessia* (14), *Opabinia* (24), *Wiwaxia* (26), *Hallucigenia* (20), és az egykori óriási ragadozó, egy *Anomalocaris* (28)

Napjaink adatai nyomán inkább többszörös evolúciós robbanásnak, „törzsfajlódási tüzijátéknak” nevezhetjük a fosszilizáció szempontjából kiemelkedő jelentőségű kitines, karbonátos, vagy foszfátos házakkal, vázakkal,

belső és külső támasztó elemekkel megjelenő, proterozoikum végi és paleozoikum kezdeti, hullámszerűen változó diverzitással jellemezhető faunákat, mint a prekambrium 541–571 millió évek között kifejlődött *Ediacarai faunán* belül jelentkező *Avalon életközösség*, *Fehér-tengeri életközösség*, *Nama életközösség*, majd a két erőteljes kambriumi időszaki diverzitás növekedés¹⁰⁸.



448. ábra Jól fosszilizálódott tengeri ízeltlábúak a középső kambrium kori Burgess Palából (Forrás: Kimmig, J., Strotz, L. C., Kimmig, S. R., Egenhoff, S. O., Lieberman, B. S. 2019. *The Spence Shale Lagerstätte: an important window into Cambrian biodiversity*. *Journal of the Geological Society*, 176, 609-619., fekete csíkok: 10 mm = (a), (e), (l) és 5 mm = (b) (c), (d), (f), (k) - az első szerző [corresponding author] írásos engedélyével bemutatva)

A kambriumi diverzitás növekedéseket az oxigénszint gyors növekedése indította be, amely aktívabb mozgásokat tett lehetővé, és nagyobb, sokat lélegző

testek kialakulásához vezetett. A földtani adatokból ugyanakkor az is látszik, hogy már az ediacarai fauna kifejlődése idején óriási fluktuációk jellemezték az óceáni oxigénszintet, vagyis már ebben az időszakban is voltak oxigénben nagyon gazdag régiók. Feltehetően ezek az oxigénben gazdag régiók (oxigénnel telített tengerfenéki oázisok) voltak az új élőlények kialakulásának bölcsői, fejlődési központjai, amelyek révén a diverzitás növekedés, az egykori sokféleség kialakulása megindult. Ezek közül az első kambrium időszaki diverzitás növekedés kötődik a Burgess Pala élővilágához és az ebben a szintben megjelenő gerinchúrosokhoz¹⁰⁹.

A gerinchúrosok legközelebbi rokonai a tüskésbőrűek (*Echinodermata*) és a félgerinchúrosok (*Hemichordata*) mivel mindhárom törzs az újszájúak közé tartozik. Ugyanakkor a különböző szerzők között mind a mai napig nincs teljes egyetértés a gerinchúrosok (*Chordata*) származását illetően. A leginkább elfogadott elmélet *Walter Garstang* (1868-1949) angol paleobiológus - paleontológus nevéhez fűződik, aki az ún. „*juvenilis felnőtt*” elméletet fogalmazta meg, miután felfigyelt a tengeri zsákállat (*Ascidia*) lárvája, a kifejlett lándzsahal és gerincesek közötti nagyfokú hasonlóságra. A tengeri zsákállat lárva farokszerű nyúlvánnyal rendelkezik, amelynek a mozgásban van elsősorban szerepe. Ennek segítségével a lárva aktívan úszhat, mielőtt véglegesen letapadna az aljzatra. Garstang elmélete az úgynevezett *pedomorfozis*-ra alapoz, amely szerint a törzsfajlás során (kb. 540 millió éve) a zsákállat lárvájához hasonló állatkák ivarszervei teljesen kifejlődtek anélkül, hogy a lárva teljesen átalakult volna (vagyis felnőtt korban is megmaradt a gerinchúr, az idegcső és a fark). A gerinchúrosok testének hosszizomzata szelvényezett (*metamer*). Az ideg-, kiválasztó- és ivarszervek is szelvényekre tagolódnak. Sem páros végtagjaik, sem porcos vagy csontos vázuk nem volt. Nincs elkülönült izmos szívük, de véredényrendszerük majdnem teljesen zárt, helyenként összehúzódásra képes, lüktető, szívként működő véredényekkel. A légzés a kopolyúbél oldalrészével történik, ahol mintegy 200 kopolyúrész van.

A táplálékfelvétel úgy történik, hogy a szájnylás körüli csillók segítségével az állat vízáramot kelt, amellyel algákat, ostorosokat, szerves törmeléket tartalmazó tengervizet szűr át. A csoport ma is élő tipikus képviselője a lándzsahal (*Branchiostoma lanceolatum*), amely sekély vízben a tengerparti homokba ássa magát (pl.: a Fekete tengerben is). Váltivarúak a taxonok, anélkül, hogy külső ivari jellegeik lennének. A csoport átmenetet képez az ősi gerinchúrosok és gerincesek között.

4.6.23. Szájtató vagy más néven körszájú halak (*Cyclostomata*)

Az állkapocs hiánya miatt nem tudják becsukni a szájukat (**449. ábra**), ezért állandóan vizet kell áramoltatniuk a szájukon keresztül. Bár állkapcsuk nincs, de fogaik, fogsoraik ismeretesek. A kifejlett példányaik erős szívószájukkal (**450. ábra**) rátapadnak a halak bőrére, kopolyájára, és áldozatuk vérét szívják - vérparaziták. Parazita életmódja miatt időről időre jelentős károkat okoznak a tengerek, folyók, tavak halállományában. A felmérések szerint egy felnőtt körszájú halegyed évente kb. 20 kilogramm tömegű hal pusztulását okozza parazitizmusával. Tengeri, tavi és folyóvízi élettérhez alkalmazkodott taxonjaik egyaránt vannak és magyarországi folyókban is élnek, dunai és tiszai vízterekben élő alfajaik is ismeretesek, mint az erdélyi, vagy tiszai ingolna (*Eudontomyzon danfordi*), és a dunai ingolna (*Eudontomyzon mariae*). A szájtató halak a prekambriumtól megjelenő állkapocs nélküliek (*Agnatha*) máig élő csoportját alkotják (**427. ábra**).



449. ábra Kőrszájúak édesvízi képviselőjének, a folyami ingolnának (*Lampetra fluviatilis*) fejrégiója (Forrás: wikipedia)



450. ábra *Petromyzon marinus* (tengeri ingolna) ovális szája koncentrikus gyűrűkbe rendezett fogakkal, csontos, reszelős nyelvvel (Forrás: wikipedia)

4.6.24. Cserepesbőrűek (*Ostracoderni*)

A csoport szilur időszak végén jelent meg, és a devon időszak során halt ki (427. ábra). Paleohidrológiai szempontból kiemelkedő jelentőségű, hát-hasi irányban

lapított testű, mintegy 30 cm hosszú, bentosz (aljzat) felszínén élő állatok voltak. Egységes fejpajzsuk volt dermális csontból, amelyet kívülről dentin burkolt (442. ábra). A belső váz porcszövete elmeszesedett formában maradt meg. A koponya felépítése az ingolákéra emlékeztet. Az agyalapi mirigy ezeknél a taxonoknál a fejtetőn volt, a két egymáshoz közel fekvő szem között pedig mindig ott találjuk a pineális szervet, amely lényegében egy harmadik szemnek felelt meg. A szemek előtt elhelyezkedő orrnyílás páratlan volt (440. és 442. ábra). A megnyúlt törzset függőleges irányú sorokba rendezett, egymást tetőcserépszerűen fedő pikkelyek borították (451. ábra). Csak elülső páros úszóik voltak. Ezeket is evezőlapátszerű pikkelyek borították, de nem volt bennük merevítő úszósugár. Az osztrakodermik túlnyomórészt a bentosz felszínén tartózkodtak, ahol apró méretű lényekkel táplálkoztak, és testük kígyózó mozgásával úszni is tudtak. Néhány képviselőjüket leszámítva édesvízi környezetben éltek. A felső szilur korban jelentek meg és a középső devon korban tűntek el a cserepesbőrűek a fosszilis anyagokból. A cserepesbőrűek rendkívül változatos fosszilis anyaggal jellemezhetőek, a *Boreaspis* taxon fejpáncélja elől középen hosszú tüskeszerű nyúlványban folytatódott, míg a *Benneviaspis* fejpajzsa szélesen lekerekített. A *Thyestes*, *Sclerodus* és *Cephalaspis* (452. ábra) tojásdad alakú fejpáncélja kétoldalt hátrafelé szarvszerű képződményekben (cornua) végződött. Az európai devonból ismeretes *Hemicyclaspis* (440. ábra) taxonnak a fejpáncélján nem volt az előzőkhöz hasonló szarvacskája¹¹⁰.



451. ábra *Cardipeltis bryanti* (Ostracoderma – cserepesbőrű) fosszília az észak amerikai Wyoming állambeli Bighorn hegység devon időszaki rétegeiből (Forrás: wikiwand)



452. ábra *Cephalaspis* (Ostracoderma – cserepesbőrű) fosszília (Forrás: wikipedia)

4.6.25. *Anaspida* (Anaszpidák)

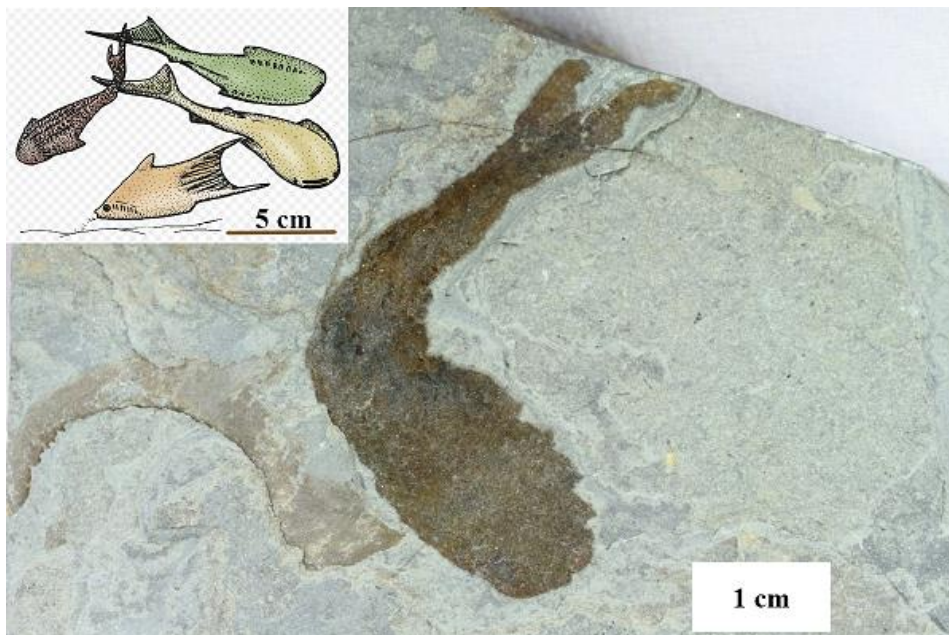
Az osztrakodermákkal ellentétben az Anaspida taxonoknak nem volt egységes fejpajzsuk, bár ugyanúgy az álkapocs nélküli halakhoz (Agnatha) tartoztak. Orsó alakú halszerű testüket kizárólag pikkelyekből álló külső váz borította (**453. ábra**). Szemeik nagyok és a fej oldalán helyezkedtek el, ornyílásuk páratlan, míg szájuk a fej elülső végén helyezkedett el. Farokúszójuk fordított heterocerk típusú volt (a gerincoszlop az alsó hosszabb lebenyben folytatódott: **453. ábra**). Egyeseknek fejlett páros úszók voltak. Édesvízi, vagy csökkent sósvízi (brakkvízi) környezetben éltek a középső szilur kortól a felső devon korig. A *Pharyngolepis* egy mintegy 20 cm hosszú cigarettaszerű állat volt, csúcsállású szájjal (**454. ábra**). Törzsét hosszú, szabályos, néhány sorba rendeződő pikkelysor borította¹¹¹.



453. ábra *Berkania elegans* kihalt Anaspida (ősi, kihalt álkapocs nélküli hal) fosszília, és rekonstruált test-makett (Forrás: wikipedia)



454. *ábra* *Pharyngolepis oblongus* kihalt Anaspida (ősi, kihalt álkapocs nélküli hal) fosszília, és rekonstruált test-makett a göteborgi természettudományi múzeumban (Forrás: wikipedia)



455. *ábra* *Shielia taiti* kihalt Thelodont (ősi, kihalt álkapocs nélküli hal) fosszília, és rekonstruált testfelépítés rajzok (Forrás: wikipedia)

4.6.26. Thelodonti (Telodonták)

Ez a csoport kevésbé ismert, mivel a jó megtartású fossziliák meglehetősen ritkák. Szemeik oldalt helyezkedtek el és páros ornyílásaik voltak (455. *ábra*). Páros úszóik és fordított heterocerk farokúszójuk volt. A szilurban és a devonban éltek. A *Phlebolepis* taxonok paleohidrológiai szempontból fontos

indikátor elemeket alkottak az ordovícium időszakra vonatkozóan, mivel édesvízben, brakkvízben és tengervízben egyaránt éltek taxonjaik¹¹².



456. ábra *Rhinopteraspis* kihalt *Heterostraci* (ősi, kihalt álkapocs nélküli hal) fosszília, és rekonstruált testfelépítés rajzok (Forrás: wikiwand)

4.6.27. *Heterostraci* (Heterosztrakák)

Rendszerint csak a dentinnel borított és több elemből álló külső páncéljuk fosszilizálódott (**456. ábra**). Szemeik kicsik, a száj közelében elhelyezkedő orrnyílásaik párosak voltak. Testük elülső részét nagy csontlemezek- (a fejen rendszerint egy ornamentált nagy középső és oldalt néhány kisebb), törzsüket pedig sűrű pikkelyek borították (**457. ábra**). Egyesek háti lemeze hosszú tüskében végződött (pl.: *Pteraspis*). A hasi oldalukon is páncélt viseltek. A kopolyúnyílások ennek következtében egy-egy hátsó kivezető nyílásba torkollhattak. A kambriumtól a felső devonig éltek. Az *Anglaspis*-nak nem voltak úszói, így a faroktájékát oldalirányba mozgatva csak nehézkesen haladhatott előre. Az *Eglonaspis* fejét borító csontlemezek teljesen egybeforrtak. Elöl hosszú nyúlványt (rosztrumot) találunk végén a szájnnyílással, amellyel feltehetően könnyen beásta magát az iszapba. A heterosztrakák tengeri aljzaton és eusztárium környezetben, talán brakkvízi környezetben is éltek a felső szilur kor és a késő devon kor között.



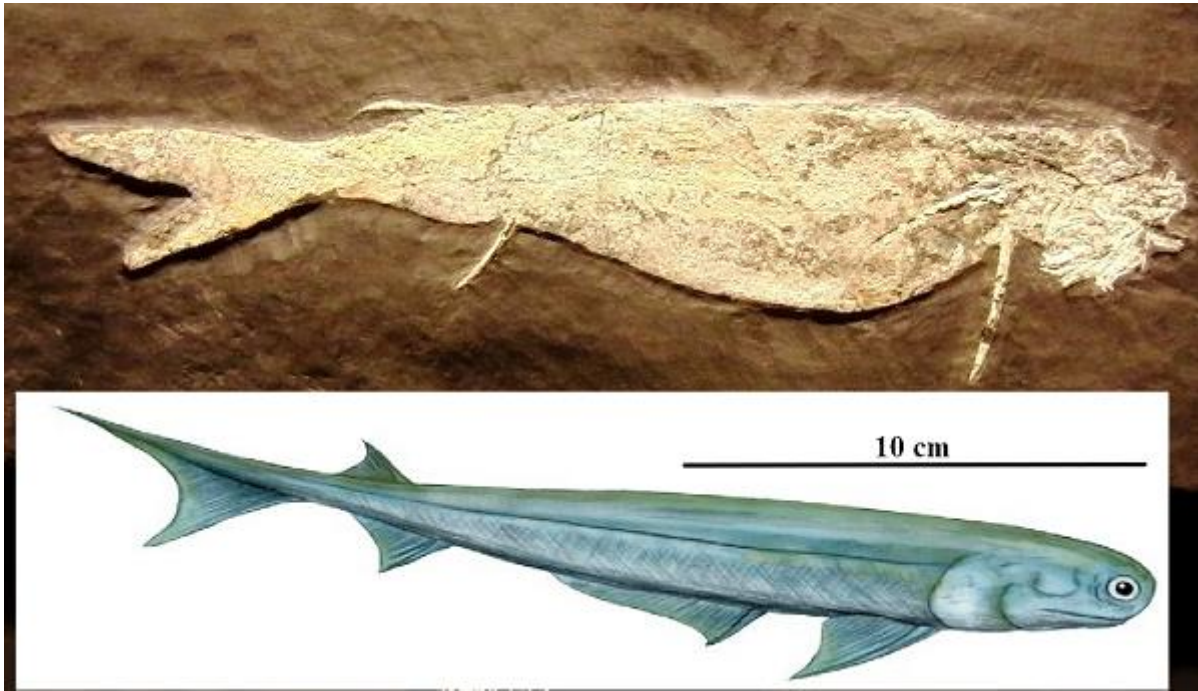
457. ábra *Heterostraci* (ősi, kihalt állkapocs nélküli hal) fosszilis pikkelyei
(Forrás: fossilinfo)

4.6.28. *Gnathostomata* (Állkapcsosok)

Az állkapcsosok a gerinchúrosok (*Chordata*) törzsének gerincesek (*Vertebrata*) altörzsébe sorolható altörzs ága. Az ősi állkapocs nélküli gerinceseken kívül valamennyi élő és kihalt gerinces állat (tövises őscápák, páncélos őshalak, porcos és csontos halak, kétéltűek, hüllők, madarak, emlősök: **427. ábra**) ebbe a csoportba tartozik. Az állkapcsosok (*Gnathostomata*) monofiletikus csoportot alkotnak, és a közös, monofiletikus csoportot összekötő tulajdonságuk az arckoponya, valamint a nyakszirti (occipitális) régió megléte. Az alsó és felső állkapcsok az elülső embrionális kopolyúívekből fejlődnek. Az állkapcsok a rágás szolgálatában állnak, rajtuk pikkely eredetű fogak lehetnek.

4.6.29. *Acanthodii* (Akantodik – tövises őscápák)

A legősibb állkapcsosoknak (**427. ábra**) számítanak a tövises cápák (**458. ábra**), a szilur időszak korai szakaszától a perm végi kihalásukig léteztek, a devon időszakában tömegesek voltak, akkor volt a virágkoruk (akméjük).

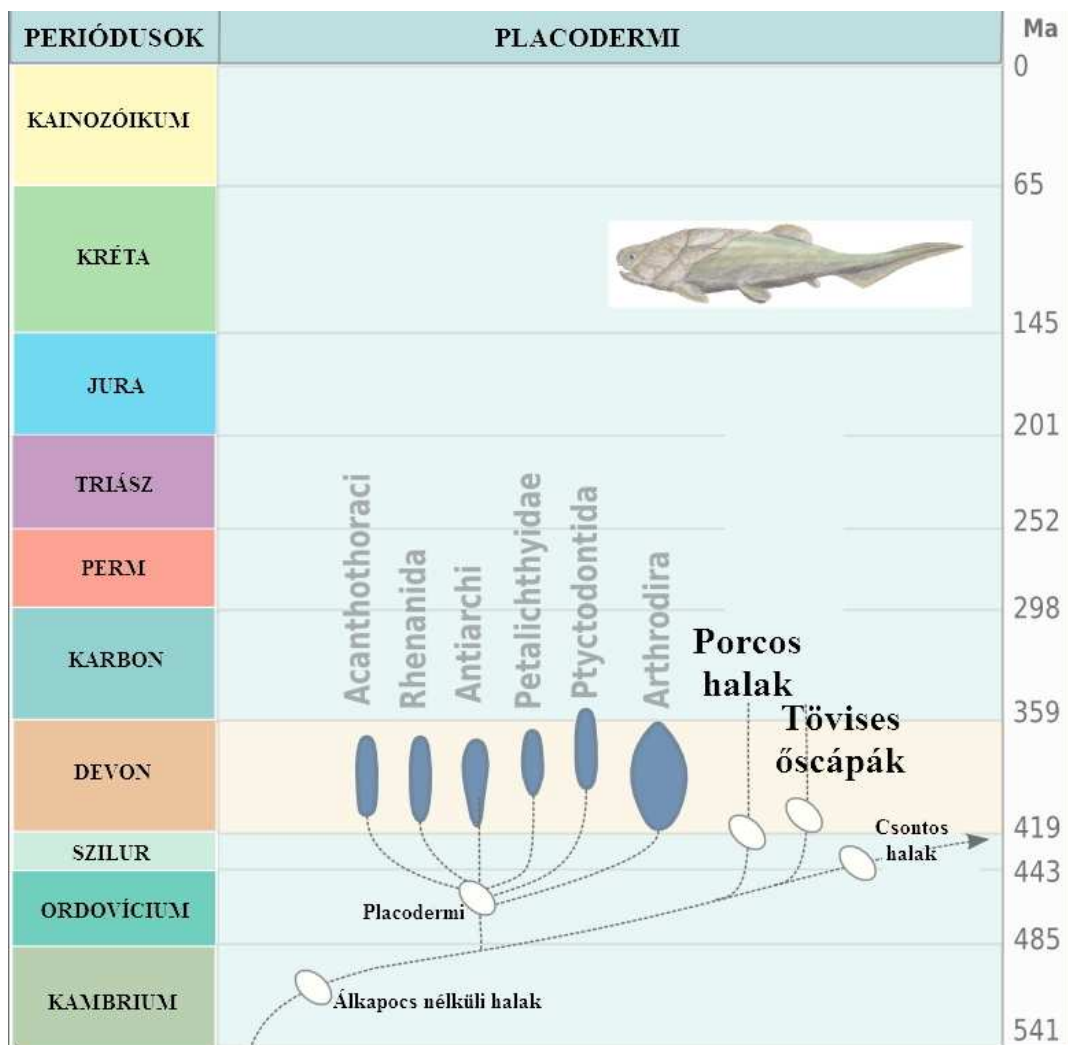


458. ábra *Acanthodes* (tövises őscápa) fosszília a tokiói természettudományi múzeum kiállításán és rekonstruált képe a szilurból (Forrás: wikipedia)

Általában jellemző erre a csoportra, hogy a nyelvcsonti ív nem ízesül az állkapocshoz, kopolyúfedőik csak részlegesek, és fejlett úszótövisaik voltak. Az első kopolyúívából már kialakult az állkapocs ennél a csoportnál, de a második kopolyúív még nem alakult át annak a felfüggesztésére. A kopolyúréseket a hasi oldalról részleges kopolyúfedők (operkulum) borították. Páros és páratlan úszók egyaránt voltak. A páros úszók száma elérhette a 7 darabot is, amelyből arra lehet következtetni, hogy ezek a bőr kitüremkedéseiből keletkeztek. Valamennyi úszót elcsontosodó úszótövisek merevítették ki (erről kapták a nevüket), amelyet védekezésre használtak. Farokúszójuk heterocerk típusú volt. A testüket borító pikkelyek háromrétegűek voltak, amelyet kívülről ganoin réteg (**438. ábra**) fedett (ganoid pikkely: **437. ábra**). Paleohidrológiai szempontból fontosnak tekinthető az egykori élőhelyük, mivel a tengerek partközeli részein brakkvizekben éltek, de az édesvizekbe is behatoltak. Felépítésük alapján ragadozó életmódot folytattak¹¹³.

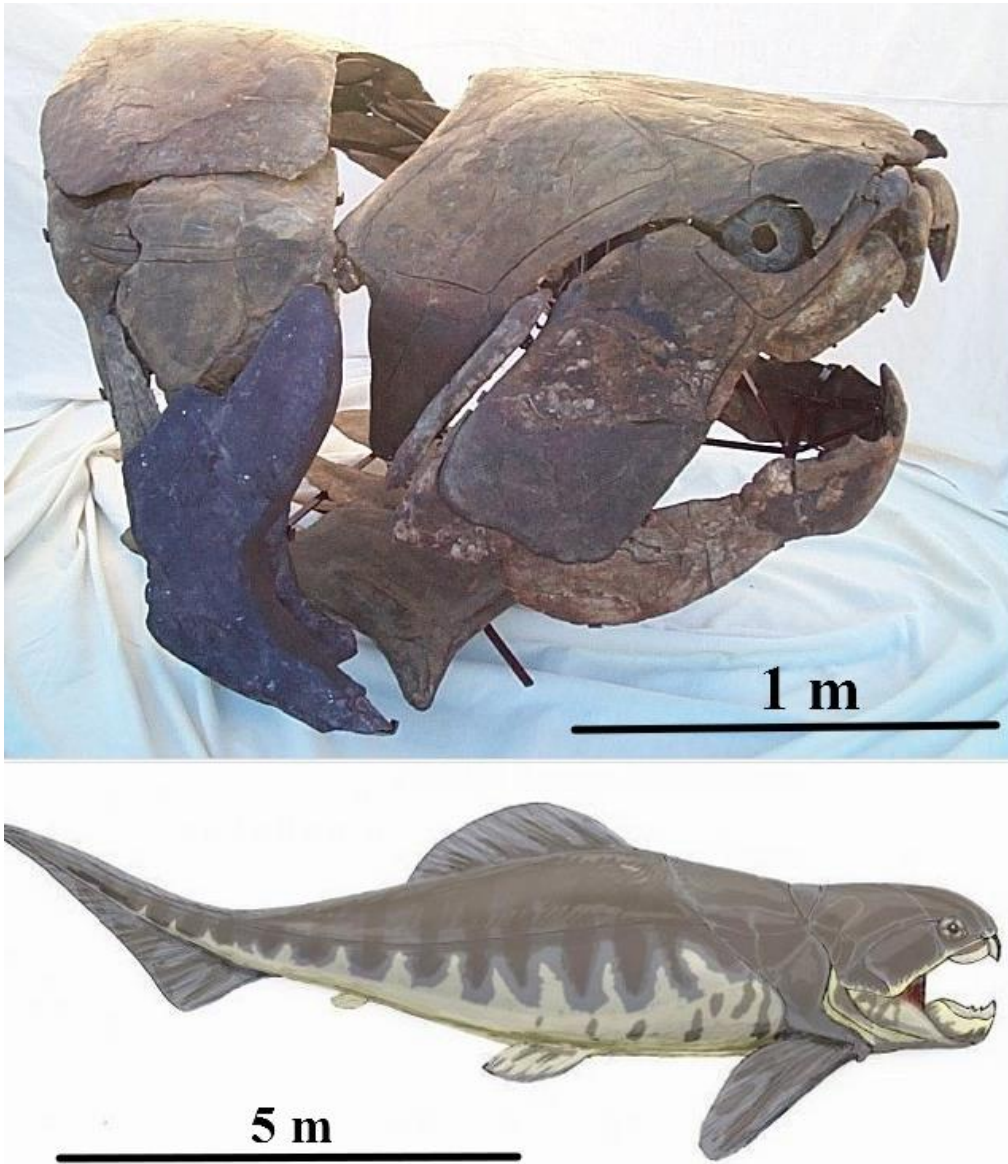
4.6.30. Placodermi (Páncélozott őshalak kihalt osztály)

A devon időszakra jellemző (459. ábra) páncélozott halak (460. ábra) jellemzői a kettős csontpáncél (460. ábra) kifejlődése, a valódi fogak hiánya, a kopoltyúfedő, az állandó gerinchúr, a heterocerk farokúszó (460. ábra) kialakulása. A páncélozott halak páncélja bőrcsontokból állt, amely a fejet és a törzs elülső részét burkolta. A törzs hátsó része és a farok vagy csupasz volt vagy pikkelyek borították. A páncél különböző alakú csontlemezek összenövéséből jött létre. Felületük rendszerint szemcsézett, és dentin réteg nélküli volt. A fejpáncélon a nagy szemeket apró csontlemezek vették körül. A kopoltyúkat a fejpáncél hátsó része fedte (460. ábra).



459. ábra A páncélozott őshalak (Placodermi) megjelenése és eltűnése a földtani időben, legfontosabb rendjeik és kapcsolatuk a devon időszaki halakkal (Forrás: wikipedia)

Állkapcsuk fejlett volt, fogait éles csontlemezek helyettesítették. A fejpáncél mozgathatóan ízesült a törzspáncélhoz. A szájon át a kopoltyúkhöz áramló víz a két páncél közötti résen áramlott ki.



460. ábra *Dunkleosteus terrelli*, mintegy 10 méter hosszú páncélos devon időszaki őshal (Placodermi) fosszilis fejpáncélzata és rekonstrukciós rajza a heterocerk farokkal (Forrás: wikipedia)

A primitív páncélosalak szája még a *Cyclosotma* (körszájú) taxonokhoz hasonló, de a későbbi fejlődés során a fejpáncél körbevette a szájnyílást is. Majd ennek tagolódásával és mozgatható ízület képződésével alakult ki a nyitható száj. Később a száj belső csontos vázat is kapott a módosult elülső kopoltyúívekből, amelyek a külső váz eltűnésével átvették a mozgás szerepét

is. A csoport rendkívül sikeres volt, de idővel a páncélzattól megváló mozgékonyabb utódjaik vették át helyüket. A *Placodermi* taxonok központi idegrendszere a cápákéra emlékeztet. A törzspáncél hasi oldala tüskékben végződött. A törzspáncélhoz ízesült a páncélozott páros mellúszó is. Általában 10–40 cm-es állatok voltak, de legnagyobb testméretű fajok (*Dunkleosteus terrellii*, *Titanichthys agassizi*) példányaik meghaladták a 10 métert is (460. ábra). Így ezek a fajok alkották a legnagyobb testű állatokat a devon időszakban. A devon időszakban az édesvizek csúcsragadozói voltak, de a karbon időszakban, máig tisztázatlan okokból kihaltak. Akárcsak a cserepesbőrűeknél (*Ostracodermi*) a *Placodermi* taxonoknál is külső csontos pikkelyekből álló páncél borította a testet, azonban az osztrakodermik külső merev páncéljával ellentétben a placodermiknél a fej-, és a testpáncél mozgatható ízület révén kapcsolódott egymáshoz. Jellemző rájuk az erős, állkapocsszerű szájfelépítés, bordák nélküli porcos váz, primitív kopolyfedő, páros úszók (has és mellúszó), heterocerk farokúszó, a belső fülben 3 félkörös ívjárat (az *Ostracodermi* és a *Cyclosotma* taxonoknál csak kettő van). Számos csoportnál a felső állkapocs az agykoponyához szilárdan kapcsolódott, így náluk a szívó táplálkozás nem jöhetett létre. A fogakat csontos lemezek helyettesítették, és ez egy rendkívül ősi tulajdonság a *Placodermi* taxonok között. Kezdetben tengeri környezetben éltek, főként tengerparti, eusztáriumi kevert vízi környezetben, később azonban számos csoport az édesvízhez is alkalmazkodott. A legtöbb *Placodermi* taxonnak alsó állású szája volt és ragadozó életmódot folytattak. A páncélzat kialakulásában és fejlődésében, a placodermik (páncélozott őshalak) között kialakult óriás növekedés kifejlődésében valószínűleg jelentős szerepet játszhatott a halaknak a 2-3 méteres nagyságú szintén édesvízi és eusztárium brakkvízi környezetében élő csáprágos tengeri skorpiókkal (*Eurypterida*) kialakult evolúciós versenyfutás is¹¹⁴.

4.6.31. *Chondrichthyes (Porcos halak)*

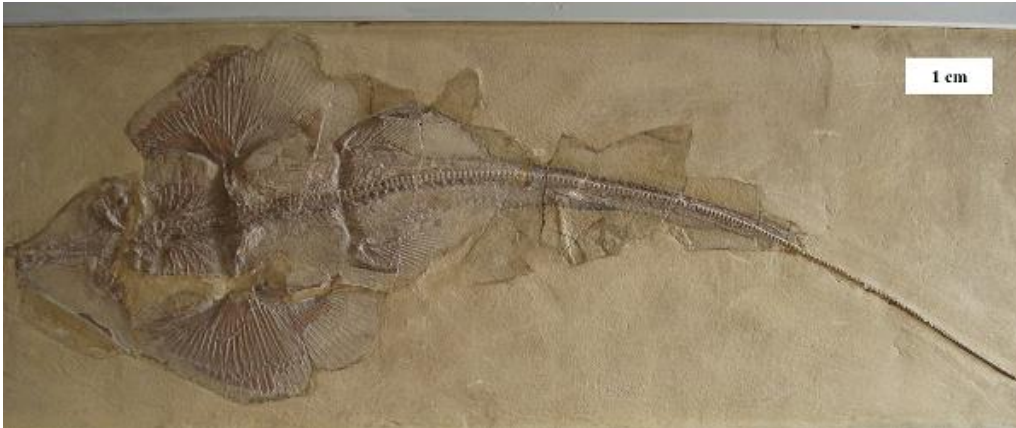
A porcos halakra összefoglalóan jellemző a belső porcos váz, az erős fogak, a gerinchúr hüvelyéből kialakuló csigolyák (461. és 462. ábra), a külső kopoltyúrések, a plakoid pikkelyek (433. ábra), a heterocerk farokúszó. A porcos vázban mész rakódhat le, amely szilárdítja a vázat, de ennek ellenére az nem fosszilizálódik. Fogaik rendszerint hegyesek és kúp alakúak (463. ábra), vagy széles, lapos őrlőfogak. A hegyes fogak a plakoid pikkely megfelelői és számos sorban ülnek az állkapcsokban (464. ábra). Kopoltyúréseiket (5-7 pár) nem fedi kopoltyúfedő. Orrnyílásuk nincs kapcsolatban a garattal, és nincs úszóhólyagjuk. A legrégebbi porcosshal mikrofosszíliák, fogas pikkelyek és olykor csigolya maradványok a késő ordoviciumtól, mintegy 455 millió évvel ezelőttről származnak.



461. ábra Kifejlett példányainál 2 méteres kifejlődésű *Hybodus frassi* fiatal példánya jura időszaki solnhofeni litográf mészkőből (Forrás: wikipedia)

A legrégebbi cápa fosszíliák, illetve az első fogmaradványok Nyugat-Mongóliából és Szibériából (Tuva) kerültek elő a felső szilur kori rétegekből, koruk mintegy 420 millió év (*Mongolepis*, *Elegestolepis*). A korai, kisebb méretű, 100 cm alatti testhosszal jellemezhető cápáknak, amelyek a korai devon korban jelentek meg (*Stethacanthus*: 465. ábra, *Cladoselache*) sima szélű többhegyű kladodonta foguk (466. ábra) volt, amely csak a kisebb táplálék megragadására volt alkalmas. A korai cápák között már megtalálhatóak a szinte

kizárólag csak édesvízben élt kistestű Xenacanthidák (*Xenacanthiformes*: **467. ábra**).



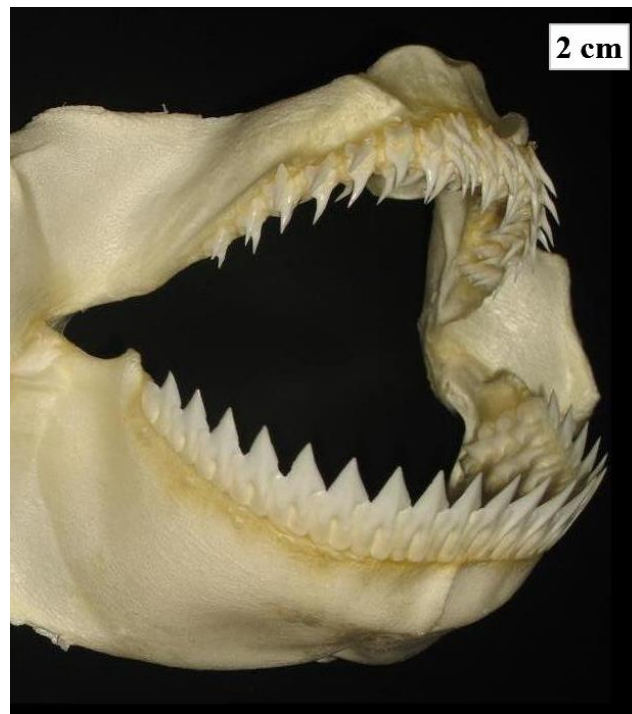
462. ábra Fossilis rája (Spathobatis bugesiacus) maradványa jura időszaki solnhofeni litográf mészkőből, a müncheni természettudományi múzeumban kiállítva (Forrás: wikipedia)



463. ábra Fossilis cápafogak a Libanoni-hegység kréta időszaki képződményekből (Forrás: wikipedia)

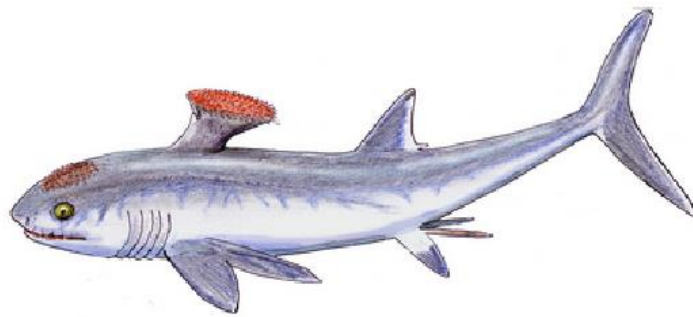
A porcoshalak fejlődésében két nagy esemény volt: a devon időszak közepén (400 millió évvel ezelőtt), amikor a kötöttkopoltyús őscápák és a tömörfejűek (kimérák) elváltak, és a jura időszakban, mikor a ráják és a mai "modern" cápák kialakultak (140 millió éve - ezek relatíve fiatal halcsoportok). A kimérák sohasem voltak alakgazdagok. Ma alig néhány fajuk él a mélyebb tengerekben.

Ezzel szemben a cápák és ráják, ha messze el is maradnak a valódi halak (*Teleostomi*) 31 000 darabot is túllépő fajszáma mögött, mégis rettegett ragadozó voltukból következő csúcsragadozó szerepük - különösen a meleg tengerekben - mindig biztosította nagy példány- és fajsámukat. A ma élő cápacsaládok, illetve cáparendek döntő többsége már a kréta időszakban kialakult, így egy furcsa kettősség jellemzi a porcoshalakat. Volt olyan földtörténeti időszak (karbon időszak), mikor egyszerre éltek a korai cápák a kezdetleges fejlődési fokon lévő mai "modern" cápákkal, kimérákkal és rájákkal¹¹⁵.



464. ábra Placoid pikkelysorhoz hasonló cápafog-sorok egy recens búvárcápa (Dalatias licha) állkapcsában (Forrás: wikipedia)

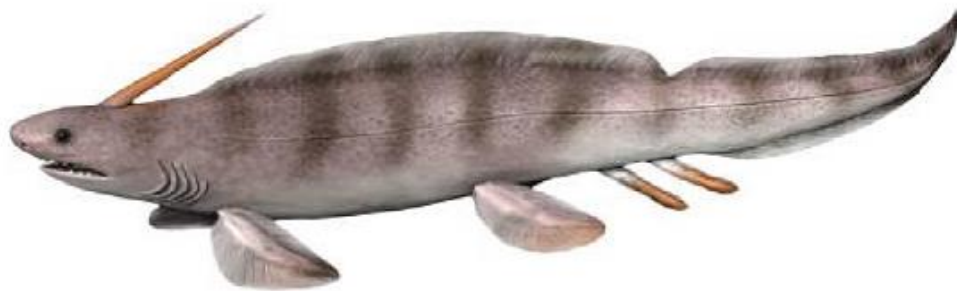
Ez a karbon időszak volt a porcoshalak virágkora (akméja). A földtörténeti korokban több tömeges kihalási hullámot is túléltek, például a kréta - harmadidőszak határán kifejlődött, a devon időszaki és a perm végi nagy kihalási hullámokat. A fosszilis porcos halaknak közel 3000 faja ismert és rendszerezett a szilurtól kezdve napjainkig. Ezért egy bizonyos ponton túl nem lehet a porcos halakat (*Chondrichthyes*) szétválasztani, amelyek összességében egy monofiletikus kládot alkotnak (egy közös őstől származnak).



465. *ábra* *Stethacanthus korai*, devon időszaki cápa taxon fosszíliaja és rekonstrukciója (Forrás: wikipedia)



466. *ábra* *Stethacanthus korai*, devon időszaki cápa taxon kladodonta foga (Forrás: fossil wiki)



467. ábra Xenacanthiformes korai, devon időszaki cápa taxon fossziliája és rekonstrukciója (Forrás: wikipedia)

4.6.32. Elasmobranchii (Cápák és ráják alosztálya)

Ebbe az osztályba sorolhatók a cápák és a ráják. Jellemzőjük, hogy az állkapocs csak lazán, szalagokkal kapcsolódik az agykoponyához és nincs kopoltyúfedőjük. A törzsfajlásuk során három morfoanatómiai szerveződési szintet lehet megkülönböztetni: 1./ Kládodont (a legősibb típus – paleozoikumi taxonok). 2./ Hibodont (átmeneti típus – késői paleozoikum és kréta időszak közötti taxonok). 3./ Fejlett típus, amely magába foglalja a modern nektonikus (nyílttengeri) ragadozókat (*Euselachi*) és a bentonikus (iszapban turkáló) puhatestű fogyasztókat (*Bathoidei* [ráják, vagy rájaszerűek]: **468. ábra**) egyaránt.

A kládodont típus jellegzetes képviselője a *Cladoselache*: **469. ábra**. Ennek teste megnyúlt (50-125 cm), szája csúcsállású volt, fogai pedig több kúpot viseltek, amelyek közül a középső jóval magasabb volt a többinél. Páros úszói a

tövi részükön kiszélesedtek és hasi állású volt, míg a farokúszó homocerk típusú volt. A gerinchúr még nem volt csigolyákra tagolódva.



468. ábra Kihalt, a kréta és eocén időszakokban élt fűrészkes rája (*Sclerorhynchiformes*) ősmaradványa (Forrás: wikipedia)

A hibodont típus lényegében a *Hybodus* (470. ábra) nemzetségre utal nevében, amely széles körben elterjedt volt a triástól a krétáig (a legkorábban a felső devonban jelennek meg és a kréta végén pusztultak ki). Néhány ma is élő nemzetség szoros rokon vonásokat mutat ezzel a típussal (pl.: *Chlamydoselache*, *Heterodontus*, *Hexanchus*). Az állkapocs izesülése hasonló, mint a kladodont típusnak (amfisztilikus), de az agykoponya hátsó része sokkal rövidebb. A mellúszók elkeskenyedő tendenciát mutatnak és latero-ventrális állásúak. Farokúszójuk heterocerk állású. A tengelyváz még gerinchúrból áll, amely kezdetlegesen tagolódott (részben elmeszesedett bordák és csigolya nyúlványok). Több sorban elhelyezkedő fogazatukon elkülöníthetők az áldozat megragadására alkalmas erőteljes és kihegyezett elülső fogak, míg a hátsók koronája lapított volt és azok gumói a táplálék megőrlésére voltak alkalmasak¹¹⁶.

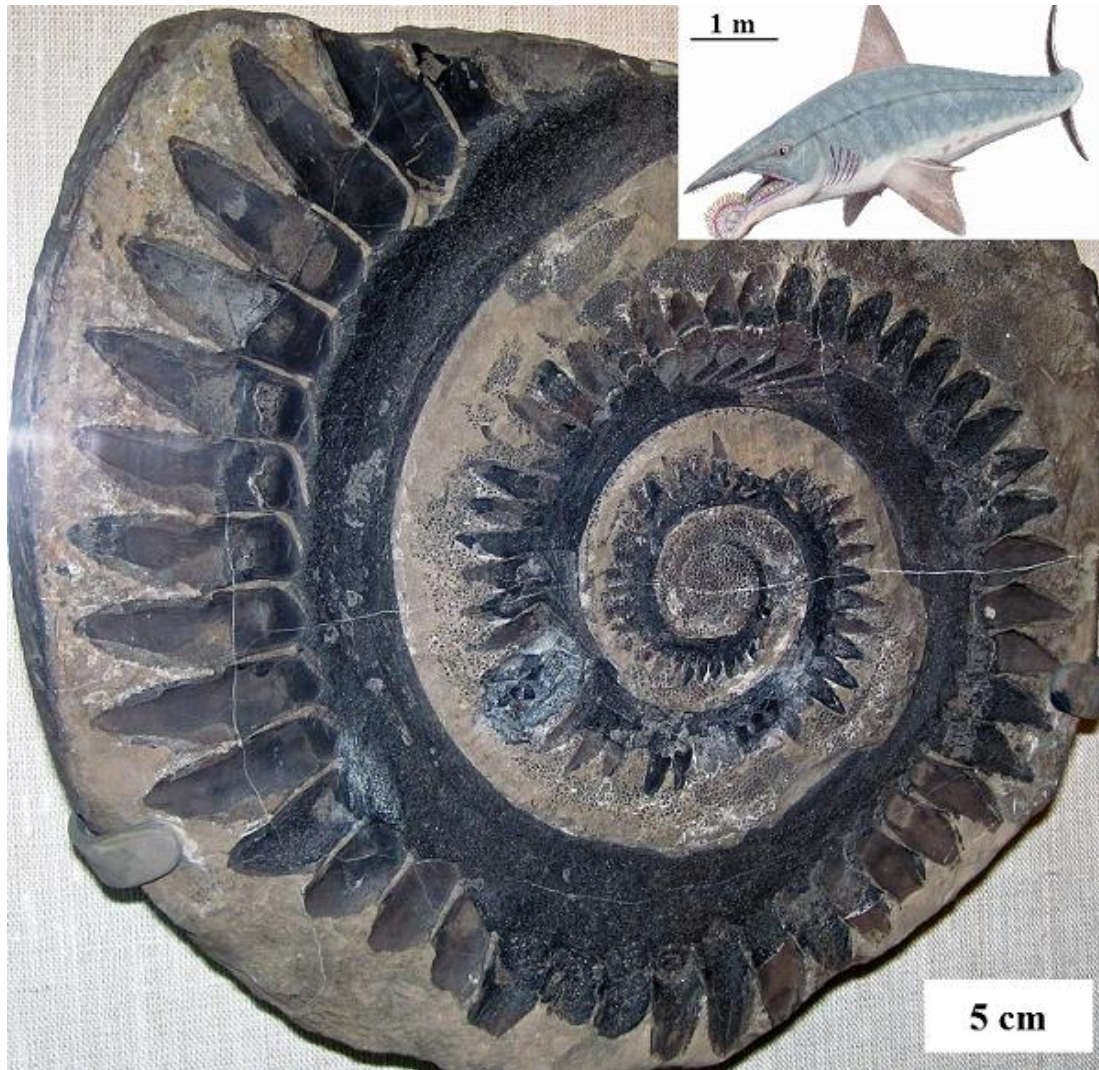


469. *ábra* *Cladoselache fylleri* devon időszakban élt, kladont típusú, kihalt cápa taxon fosszilis maradványa és rekonstrukciója (Forrás: wikipedia)

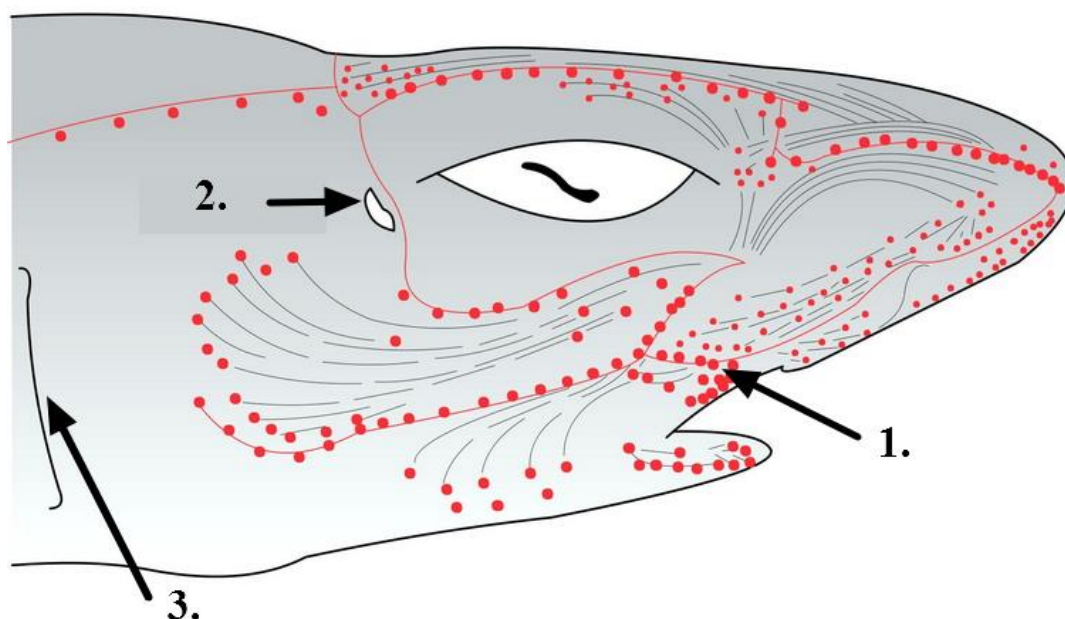


470. *ábra* *Hybodus* cápa ősmaradványa Belemnites (ősi, kihalt tintahalakkal rokon puhatestű) rostrum maradványokkal a gyomrában (Forrás: wikipedia)

A kihalt, 4-7 méter hosszúságú *Helicoprion* (felső karbon–triász kezdete) fogazata jellegzetesen spirális (körfűrészre emlékeztető) elhelyezkedésű volt az alsó állkapocsban (471. ábra), amelyen a fogak hátulról előre cserélődtek anélkül, hogy az elhasznált fogak kihulltak volna.



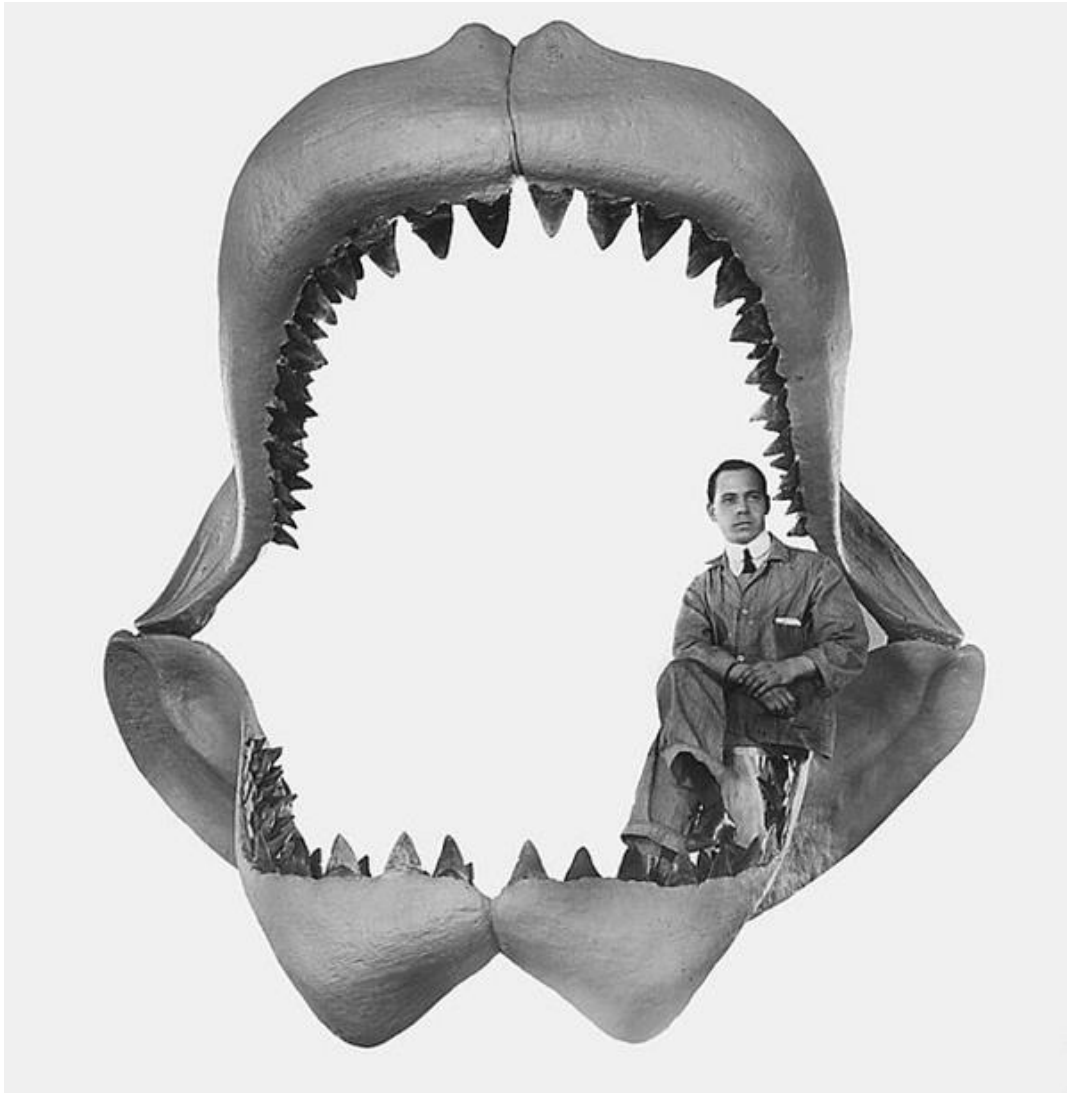
471. ábra Karbon időszaktól a triász kezdetéig élt, 4-7 méter hosszúságú kihalt hibodont típusú *Helicoprion* cápa alsó állkapcsában ülő, körfűrészre emlékeztető spirális fogazata és az állat rekonstrukciós rajza (Forrás: wikipedia)



472. ábra A modern cápák fején megfigyelhető Lorenz ampullák (más élőlények által kibocsátott elektromos mezőt érzékelő szerv: 1 jelzéssel), a szem mögötti rés (szpirakulum: 2 jelzéssel) és az első kopolytú (3 jelzéssel) elhelyezkedése (Forrás: wikipedia)

A modern típus a ma is élő cápák többségét foglalja magába (**427. és 428. ábra**). Ez az evolúciós szint a jura időszakban kezdődött. Ennél a fejlett típusnál a szájhasi állású, az állkapocs hiosztikus ízesülésű (az ún. „*hyomandibulare*” közbeiktatásával ízesül az agykaponyához), a *szpirakulum* (szem mögötti rés, amely a kopolytúkkal is kapcsolatban állva a gázcserét segíti) is kifejlődött a modern cápáknál (**472. ábra**). A ma élő cápák páros úszói az életmódtól függően átalakultak, keskeny a nektonikus alakoknál, széles a benton lakóknál. A gerinchúrt csigolyák helyettesítik, amelyek egymással összeforrnak. Fosszilis alakjaiknak döntően a fogaik maradtak fenn (pl. *Lamna*, *Carcharodon*, *Squalus*, *Carcharias*). Az ősi cápák között több édesvízben is élt, a mai modern alakok mind tengerlakó életmódot folytatnak. Ezek közé tartozott a miocén és a pliocén időszakokban élt, ezt követően kihalt, a mai fehércápáknál háromszor – ötször nagyobb, akár 20 méteres hosszúságot és 60 tonnát is elérő *Carcharocles megalodon* (óriásfogú cápa: **473. ábra**), amely a Földünkön élt legnagyobb méretű ragadozó lehetett (**474. ábra**). Ezt az elképesztő hústömeget rendkívül jelentős mennyiségű növényi és állati plankton, vagy kisebb halak tömegét

fogyasztó nagyméretű tengeri emlősök (pl.: bálnák, fókák, rozmárok) és halak tarthatták fenn. Ennek nyomán a Negyedidőszak (Quarter) előtti tengeri ökoszisztéma jóval gazdagabb, és tápláléklánca szerteágazóbb lehetett, mint a negyedidőszakban kifejlődött tengeri környezeteké.



473. ábra A kihalt, miocén – pliocén időszakban élt Carcharocles megalodon (óriásfogú cápa) állkapcsa egy mai emberrel összehasonlítva (Forrás: wikipedia)

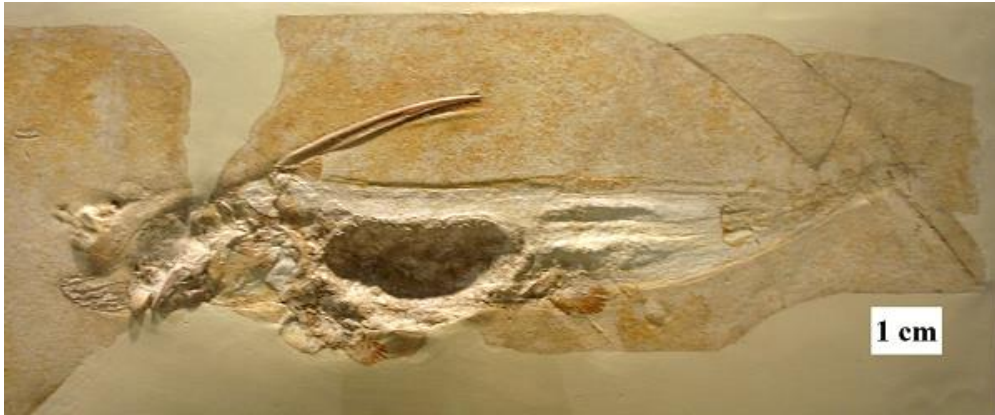


474. ábra A kihalt, miocén – pliocén időszakban élt Carcharocles megalodon (óriásfogú cápa) egy mai búvár méretével összehasonlított rekonstrukciója (Forrás: www.timeknowledge)

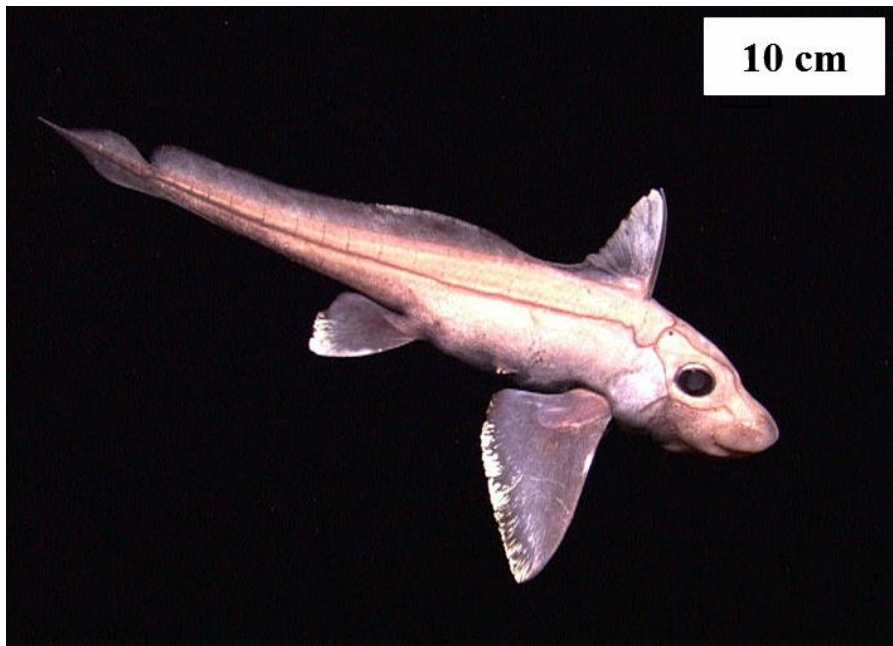
4.6.33. Holocephali (Tömörfejűek)

Porcos vázúakon belül korábban rendként, ma alosztályként elkülönített csoport. Igen sajátos szerkezetük van a kopolyúknak. Helyettük széles és porcos tüskék által merevített bőrredő fejlődött, amely a nyelvívtől kiindulva, egész szabályos kopolyúfedőt alkot, amivel a csontoshalak rendelkeznek. A fecskendőnyílás eltűnt. A fogsor szilárd rágólemezekké alakult, amelyekből két pár a felső-, egy pár pedig az alsó állkapocsban van elhelyezve; e lemezek széles alapi részből állnak, amelyeken a rágólécek sorakoznak. E rágólemezek sajátos kialakulása okozza valószínűen, hogy a felsőállkapocs a koponyával szilárdan összenőtt (autosztília), úgyhogy olyan, mintha a felsőrágólemezek közvetlenül a koponya alapján helyezkednek el. Paleohidrológiai szempontból kiemelkedő jelentőségű, hogy kizárólag tengeri környezetben éltek és élnek ma is. A devon időszaktól kezdve ismeretesek fossziliáik, s virágkorukat (akméjukat) a jura időszaki liásztól a krétakorig terjedő időben érték el (**475. ábra**). Ma már csak néhány nemzetségük és fajok él szétszórta a

világtengerekben. Jellegzetes mai képviselőjük a tengeri macska (*Chimaera monstrosa*: 476. ábra).



475. ábra *Ischyodus avitus*, mai macskacápákra emlékeztető jura időszaki tömörfejű cápa ősmaradvány Észak-Dakotából (Forrás: wikipedia)



476. ábra Tengeri macska (*Chimaera monstrosa*), a tömörfejűek egyik mai képviselője (Forrás: wikipedia)

4.6.34. *Osteichthyes* (Csontos halak)

A fosszíliák alapján a szilur időszakban már biztosan megjelenő csontos halakra (*Osteichthyes*) általában jellemző az elcsontosodó belső váz, a kopolyúfedő, úszóhólyag, a fejlett felső vállöv, a ganoid, cikloid és ktenoid pikkelyek, bár egyes taxonok csupaszok. Egyes taxonoknál a váz másodlagosan porcosává válhatott. A kopolyúfedő (operkulum) a négy pár kopolyúrést fedi. A páros

úszők közül a mellűsző helyzete mindig állandó, mivel függesztőőve a koponya hátsó részéhez kapcsolódik. A hasűsző helyzete is változó a csontos hal taxonok között. A több mint 31 000 ide sorolt faj egy nagyon fontos paleohidrológiai jellemző alapján is csoportosítják taxon-free rendszerben, mégpedig a táplálkozás szerint. A két nagy csoportot a ragadozó és a „békés” halak alkotják. A két csoport táplálkozás típusában azért átfedi egymást. Ez utóbbi nagy csoportot oszthatjuk mindenevő, kemény növényi részeket fogyasztó, lágy növényi és algafogyasztó, fitoplankton fogyasztó, zooplankton fogyasztó, növényi bevonat (perifiton) fogyasztó, növényi törmelék (detritusz) fogyasztó, iszap (bentosz) fogyasztó csoportokra. A bentosz fogyasztóknál megkülönböztetünk döntően a bentosz felszínén lévő élő állatokat fogyasztókat – ún. „*epifágokat*”, illetve döntően az iszapban magában élő állatokat fogyasztókat – ún. „*infág*” taxonokat. Ezek mellett ismereteseek táplálék specialisták is a valódi csontos halak között, mint a gyümölcsevők, a rovarévők, dögevők, élőködők, parazita fogyasztók, korallfogyasztók és hámevők. Ezeknek a taxon-free csoportoknak az egyedszám (abundancia) és százalékos aránya (dominanciája), táplálék szerint osztályozott csoportok aránya alapján igen pontos táplálék piramis és teljeskörű tápláléklánc szerkeszthető a paleohidrológiai elemzéseknél és jól felhasználható az egykori vízi környezet jellemzésére¹¹⁷. A fosszilis vizsgálatok döntő része a fosszilizálódó fogakon alapul, mivel nem csupán a ragadozó halaknak, hanem a kisebb zsákmányállatokat fogyasztóknak, sőt a növényevőknek is lehetnek fogaik. Az állkapocsban űlő fogak száma és mérete jelentősen különbözik. Ezek a különbözőségek rendszertani kategóriánként változik, így határozásra alkalmas bélyegek *Osteichthyes* (csontos halak) főosztályához soroljuk a sugárűszőjú halak (*Actinopterygii*) osztályának, azon belül a porcos vérteshalaknak (*Chondroste*), és az újűszőjú halaknak (*Neopterygii*) az alosztályokhoz tartozó taxonokat (**426–428. ábra**). Ugyancsak ehhez a főosztályhoz soroljuk az izmosűszőjú halak (*Sarcopterygii*) osztályához sorolható bojtosűszőjú halak (*Coelacanthimorpha*)

és a tüdős halak (*Dipnoi*) alosztályait. A bojtosúszójú halak (*Coelacanthimorpha*) alosztályához sorolhatók bojtosúszójúhal alakúak (*Coelacanthiformes*) rendje (426–428. ábra), amelyhez az evolúciós szempontból kiemelkedő jelentőségű *Latimeria* genus is tartozik (477. ábra). A tüdős halak alosztályához sorolhatóak (426–428. ábra) a tüdőshal alakúak (*Ceratodontiformes*) és a götehalalakúak (*Lepidosireniformes*). A bojtosúszós halak jellegzetessége, hogy úszójukban csontok találhatók, amelyeket izmokkal mozgatni képesek. Ezen tulajdonságaikat először ősmaradványokon tanulmányozták, és már ezek alapján felállították azt az elméletet, hogy az összes szárazföldi gerinces az ősi bojtosúszós halakból származik. A mai bojtosúszós maradványhal (*Latimeria chalumnae*) ennek az ősi csoportnak ma is élő leszármazottja. Átlagosan 80-95 kg-os tömeget érhet el, 2 méter hosszúra nőhetnek példányai. Ugyanakkor tudnunk kell, hogy az ősi (478. ábra) és a mai élő bojtosúszós maradványhalak között jelentős különbségek is fellelhetőek. Az első és legfontosabb, hogy az ősi bojtosúszós csoportok édesvizekben, tavakban, közte efemer (ciklikusan kiszáradó) tavakban és édesvízi mocsarakban éltek. A mai taxonok tengeriek, mégpedig a zátonytestek külső oldalán élnek, ahol a kiválóan, külön izmokkal mozgatható csontos úszóikra támaszkodva a zátonytesten „sétálnak” préda és biztonság után kutatva. A másik fontos jellegzetesség, hogy az ősi bojtosúszósoknál egy „tüdőként” funkcionáló előbél betüremkedés fejlődött ki, amely lehetővé tette a levegő nyelését és a légcserét – ez a mai bojtosúszós alakoknál funkció nélküli zsírszövettel kitöltött szervvé alakult át¹¹⁸.



477. ábra Bojtosúszós maradványhal (*Latimeria chalumnae*) fajnak egy 1968-ban az Indiai-óceáni Comore szigeteknél kifogott 132 cm hosszú és 34 kg-os, a nantes-i (Franciaország) természettudományi múzeumban kiállított példánya (Forrás: wikipedia)



Eusthenopteron foordi (Sarcopterygii: Crossopterygii) Devonian Quebec



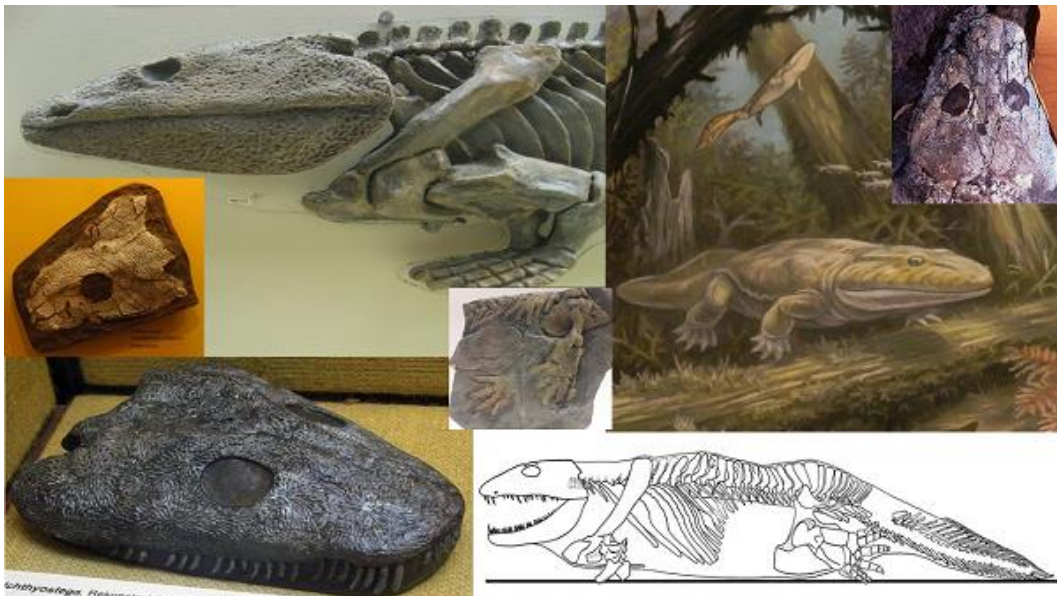
478. ábra Kihalt, devon időszaki, kifejletlen mintegy 1,5 méteres ősi bojtosúszós halféle (*Eusthenopteron foordi*) ősmaradványa és rekonstruált makettje (Forrás: wikipedia)

A kutatók többsége egyetért abban, hogy az ősi bojtosúszójú halak (és nem a mai, anatómiailag és környezeti szempontból is elétrő élő bojtosúszójú halak) fontos szerepet játszottak a szárazföldi gerincesek kialakulásában. A jelenleg rendelkezésre álló adatok alapján az ősi bojtosúszójú halak alosztályának

(*Crossopterygii*) taxonjai lehettek az ősei a szárazföldi tetrapodáknak. Ez az élő környezeti változás kiemelkedő jelentőségű paleohidrológiai vizsgálatok szempontjából, ezért itt részletezzük. Első lépésben tudnunk kell, hogy nem a gerincesek hódították meg az állatvilágból elsőként a szárazföldi környezetet. A szilur végén, nem sokkal az edényes növények után, 420 millió évvel ezelőtt már az állatvilág taxonjai is elkezdtek a szárazföldek meghódítását. Az első szárazföldi fauna úttörői az ízeltlábúak voltak: kemény, eredetileg a ragadozók ellen kialakult páncéljuk a vízvesztés ellen is hatásosnak bizonyult. Az ízeltlábúak idővel bolygónk egyik legsikeresebb állatcsoportjává lettek: legkorábbi szárazföldi formáik a pókszabásúak és a százlábúak voltak. Az első szárazföldi gerincesek, a kétéltűszerűek osztálya a labirintusfogúak (*Lambyrinthodontia*) alosztályától (*Crossopterygii*) származtathatók, amelyek a devon időszakában alakulhattak ki. Maguk a labirintusfogúak (*Lambyrinthodontia*) egészen a triász időszak végéig fennmaradtak. A virágkoruk a karbon időszak végén fejlődött ki, amikor jelentős egyedszámban éltek a trópusi jellegű mocsári kőszén erdőkben. Jelentős mennyiségű maradványukat sikerült feltárni perm és triász időszaki rétegekben is. A triász időszak végén tűntek el a labirintusfogúak (*Lambyrinthodontia*) fossziliái.

A paleontológusok döntő többsége egyetértett abban, hogy az első ismert szárazföldi gerinces az *Ichthyostega* (nevük a pikkelyekre emlékeztető fogaziból, a hallemmez szóból származik), és eredetileg úgy gondolták, hogy a kétéltűek labirintusfogúak (*Lambyrinthodontia*) alosztályának önálló rendjéhez (*Ichthyostegalia*) tartozó hallemezesek (*Ichthyostega*) alkották a halak és kétéltűek közötti átmenetet. Az első, Grönlandról előkerülő leletek ezt támasztották alá, bár már az első grönlandi feltárások során egyértelművé vált, hogy a hallemezesek (*Ichthyostega*) mellett az ichtiostegák (*Ichthyostegalia*) rendjéhez tartozóan több taxon maradványa (*Ymeria*, *Achantostega*, stb.) is előkerült a beágyazó devon időszak végi folyó artéri efemer (időszakos) tavak, kőzetlisztben gazdag, vörös színű (Old Red Sandstone), arkózás üledékéből.

Majd idősebb, középső devon korú leletei is előkerültek a hallemezűeknek (*Ichthyostega*) Ausztráliában. Ezen leletek alapján viszonylag jól megrajzolható volt a hallemezések (*Ichthyostega*) felépítése (**479. ábra**). A csontmaradványok és a rekonstrukciók szerint egy olyan kétéltű lehetett a hallemezés (*Ichthyostega*), amely életének legnagyobb részét a vízben töltötte, ezért valószínűleg hasznát vette működőképes oldalvonal-szervének. Ez mellett is mutatott halszerű bélyegeket ez a kihalt, egykori élőlény. Megmaradt a kopoltyúfedele, farka alul-felül úszósugarakkal ellátott, fogai csontos pikkelyeknek tűnnek inkább, melyek mélyen beágyazódtak az állkapocsba. Kétéltűekhez közelálló viszont a mozgatható nyaka, erőteljes váll- és medenceöve, kétágú bordái (**479. ábra**). Majd az új leletek, főleg a *Panderichthys* (**480. ábra**), *Tiktaalik* (**481. ábra**) maradványok nyomán viszont egyértelművé vált, hogy a hallemezűek (*Ichthyostega*) már a korai kétéltűek közé tartozhattak (**482. ábra**) és az ősi bojtosúszósok és a labirintusfogúak között egy fejlődési sor alakulhatott ki (**483. ábra**).



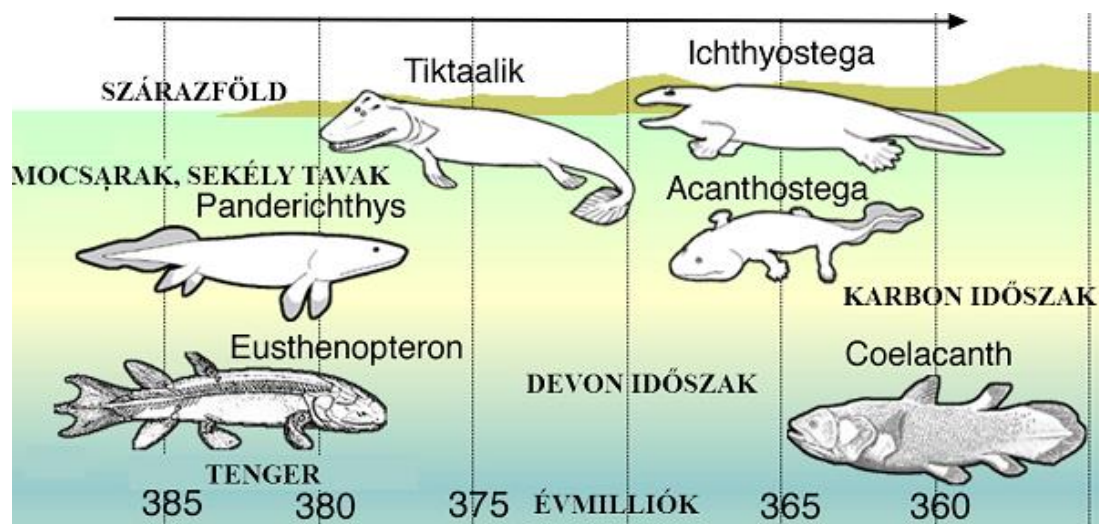
479. ábra Az első kétéltű, a grönlandi és ausztráliai devon képződményekből kimutatott hallemezű (*Ichthyostega*) csontmaradványai és rekonstrukciós ábrázolásai (Forrás: wikipedia)



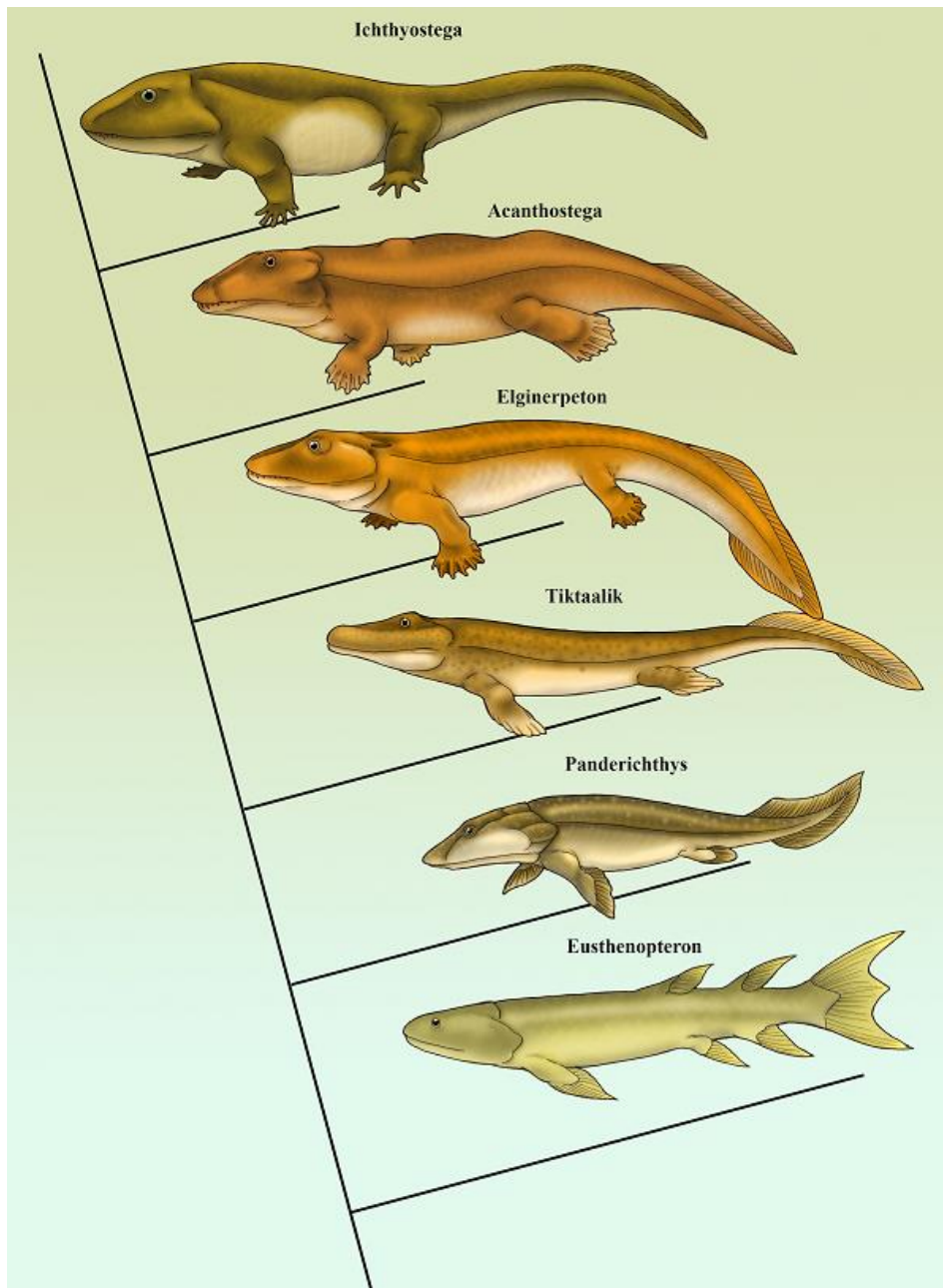
480. ábra Egy devon időszaki *Panderichthys rhombolepis* maradványa restaurálás előtt (Forrás: fossilidinfo)



481. ábra A devon időszaki kétéltű labirintusfogúak (*Labyrinthodontia*) közé sorolható *Tiktaalik* ősmaradványa (Forrás: wikipedia)



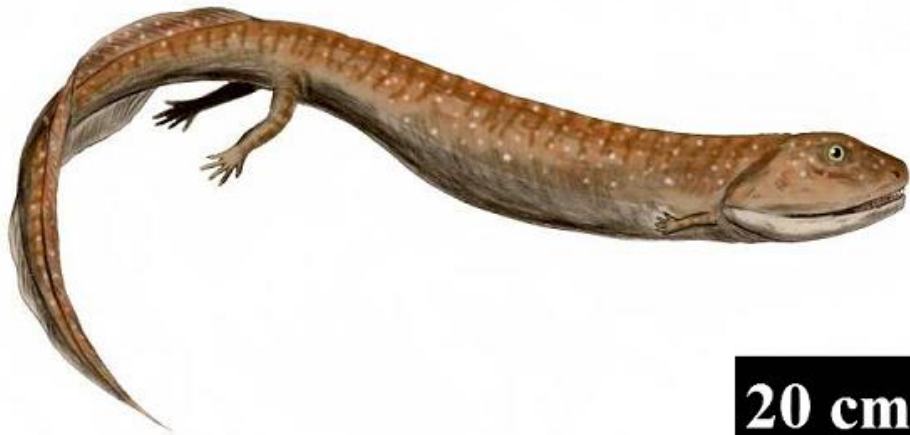
482. ábra Egy evolúciós elképzelés a bojtosúszós halakból származtatott korai kétéltűek kialakulásáról a kor, a környezet és a fossziliák figyelembe vételével (Forrás: wikipedia)



483. ábra Egy evolúciós elképzelés a halakból származtatott első szárazföldi kétéltűek, a labirintusfogúak (*Labyrinthodontia*) fokozatos kialakulásáról (Forrás: wikipedia)

Feltűnő, hogy az *Ichthyostega*, jellegei nyomán, a legfejlettebb közöttük, holott időben az ide tartozó leletek a legkorábbiak, mivel a devon időszak középső szakaszában már megjelentek. Az *Ichthyostega* egyedeken több olyan morfológiai jelleg jelentkezett, amely erős specializáltságot mutatott. Így koponyája egyetlen darabból állt, kezdeti ujjainak száma 7-8-ról pedig már ekkor redukálódott, 3-5 között változó. Mivel mind a koponyavarratok, mind az

ötujjúság minden későbbi Tetrapodára jellemző, az ezt túlhaladó *Ichthyostega* nem lehetett a keresett ős – legalábbis nem közvetlenül. Az egyszer már teljesen összeforrt koponyacsont az utódoknál nem lehet újra varratos, a háromujjú állatnak nem lesznek ötujjú utódai, legfeljebb néhány atavisztikus egyednél. Az *Ichthyostega* minden bizonnyal egy korai, és talán sikertelen kísérlet volt a szárazföld meghódítására a gerincesek részéről – már ha egyáltalán szárazföldinek tekinthető, mivel élete döntő részét vízben töltötte. Feltételezhetően egy evolúciós zsákutcának tekinthető mai felfogásunk alapján. Még az is elképzelhető, hogy a kétéltűek fejlődési vonalától teljesen független a hallemezűek kifejlődése. Az *Ichthyostega* talán áldozatul esett a felső-devon nagy fajpusztulási hullámának, utat engedve a fejletlenebb, specializálatlanabb, ezért fejlődőképesebb rokonságnak. A paleontológus kutatók egy része szerint a Tetrapodák ősei sokkal inkább a *Crassigyrinus* rokonságában keresendők. A *Crassigyrinus* a karbon időszak kezdetéről származik, mintegy 360 millió évvel ezelőttről. Rövid, lapított, felül úszósugarakat viselő farka igen közel áll a halakéhoz, csakúgy, mint gyenge lábai (484. ábra). Fejlett oldalvonal-szervei és kopolyúfedele egész életében megmaradt, szemöldökeresznek nyoma sincs, nyakát nem tudta mozgatni. Végtagjai viszont minden esetben ötujjúak, ami a Tetrapoda-ős legközelebbi rokonságának első számú jelöltjévé avatja. Fejletlensége még nem redukció következménye, hanem valódi, fejlődési lehetőségekkel teli ősiség. Tulajdonképpen alig-alig lehet a halaktól elkülöníteni, és kétéltű-szerű bélyeget találni rajta. A *Temnospondylii* taxonok kissé erősebb végtagjaikkal már közelítik az addigra régen kihalt *Ichthyostega* fejlettségi szintjét, de a test maga még mindig nagyon halszerű (485. ábra). A farok csak kissé nyúlik hátra, a nyak fejletlen¹¹⁹.



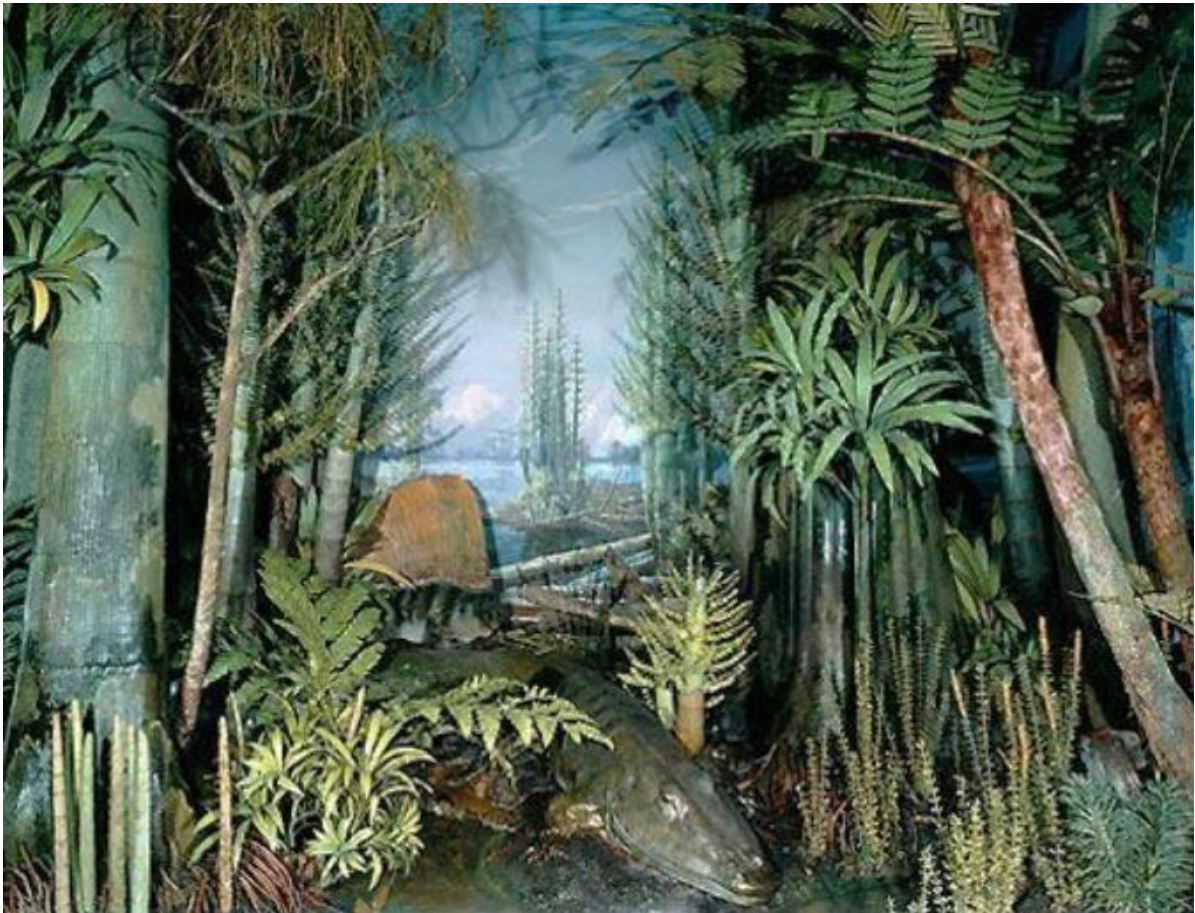
484. *ábra* Karbon időszak kezdetén kialakult *Crassigyrinus scoticus* korai Tetrapoda (kételtű) a skóciai rétegekből (Forrás: wikipedia)



485. *ábra* *Sclerocephalus haeuseri* (korai kételtű taxon) perm időszak kezdetén lerakódott rétegekből Németországból (Forrás: wikipedia)

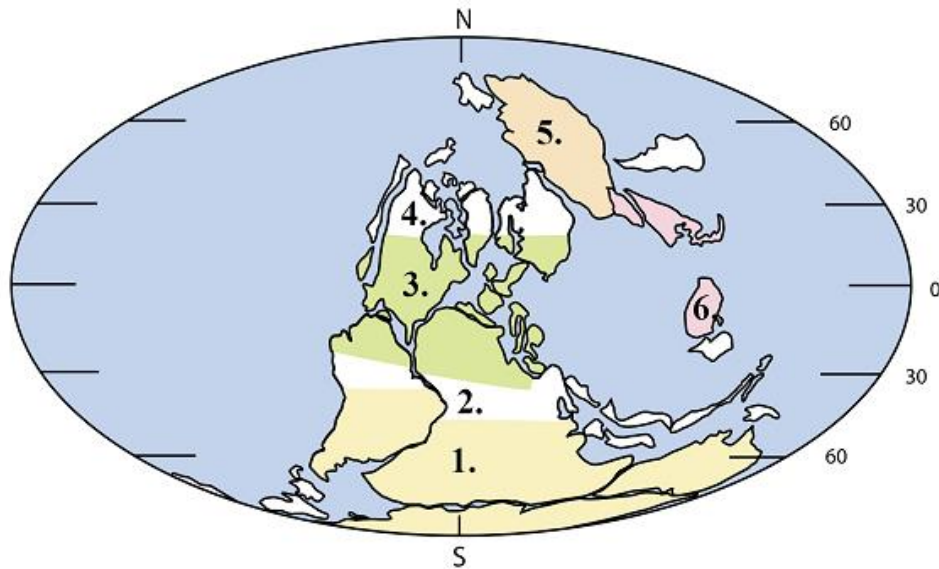
A koponya legömbölyített, koponyacsontjai épphogy ízesültek, csakúgy, mint a több darabból álló alsó állkapocs. Szemöldökívük még mindig nincs. A *Crassigyrinus* és a *Temnospondylii* is abba a rokonsági körbe tartozik, ahová a hagyományos rendszerezés szerint az *Ichthyostega* – azaz a *Sclerocephalides* családba. Ez a család a karbon időszakban rendkívül változatos felépítésben jelent meg, fő jellegzetességük a háromszögletű fej volt, amely a nyaknál kicsúcsosodik.

Akármelyik fejlődési sorozat is alakult ki, az egyértelműen megállapítható, hogy a karbon kezdetére a korai (kétéltű) tetrapodák már kialakultak. Paleohidrológiai szempontból ez azért jelentős változás, mivel ezek a kétéltűek egyértelműen édesvízi környezetben terjedtek el, vagy a szaporodásuk édesvízhez kötődik. A korai devon végi, karbon időszaki kétéltűek döntő része vízi életmódot élt, de a karbon időszaki rendkívül párás, nedves kőszén mocsári erdőkben (486. ábra) mindenütt, így a szárazföldön is elterjedhettek.

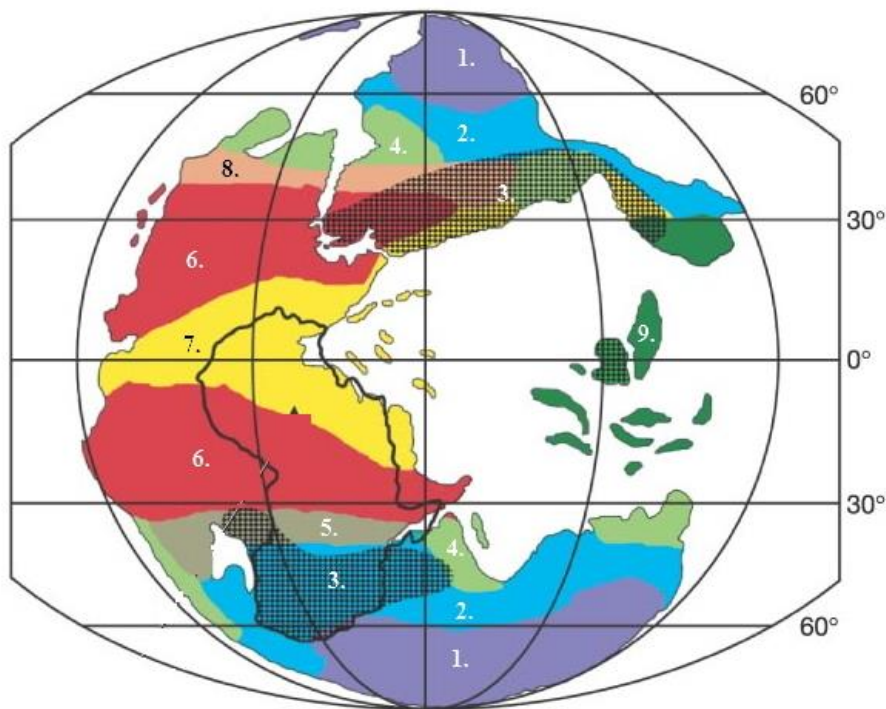


486. ábra 20-30 méter magas ősi zsurlókból, korpafüvekből, páfrányokból álló karbon időszaki trópusi jellegű karbon időszaki kőszénerdő rekonstrukciója, az erdőben, közte pikkelyfák (Lepidodendron) odvában is élt egykori hallemezűvel (Ichthyostega) (Forrás: wikipedia)

Az elterjedésükben jelentős szerepet játszott az egyenlítői éghajlat kiterjedése, és az éghajlati adottságokat követő karbon időszaki 20-30 méter magas ősi zsurlókból, korpafüvekből, páfrányokból álló trópusi jellegű kőszénerdők elterjedése az egyenlítő mentén (487. ábra).



487. ábra Rekonstruált karbon időszaki globális vegetáció régiók Földünkön (Forrás: wikipedia) 1 = Gondwana vegetációs öv, 2 = déli átmeneti öv, 3 = Euamerikai trópusi esőerdő öv, 4 = északi átmeneti öv, 5 = Angarai flóra öv, 6 = Kathay féle flóra öv



488. ábra A perm időszaki Pangea szuperkontinens kifejlődése és a klimatikus – vegetációs övezetek Földünkön 1 = hideg klímaöv, 2 = hűvös klímaöv, 3 = korábbi (karbon időszaki) fauna és flóra refúgium (menedék) területe, 4 = szubtrópusi éghajlati öv, 5 = mérsékeltövi sivatagi öv, 6 = meleg kontinentális éghajlati öv, 7 = trópusi szavanna éghajlati öv, 8 = mediterrán éghajlati öv, 9 = trópusi esőerdő régió (Forrás: wikipedia- módosítva)

A karbon időszakot tekinthetjük a kétéltűek virágkorának Földünkön, bár a karbon időszak végén már megjelentek hüllők. De csak a szuperkontinens, a Pangea kialakulását követően bekövetkezett szárazabb periódus, és a félsivatagi, sivatagi környezet (488. ábra) kiterjedése nyomán szorultak vissza a kétéltűek és vették át a helyüket a hüllők.

Ellenőrző kérdések:

15.1. *Ismertesse a halak (Pisces) paleohidrológiai jelzőszerepét.*

15.2. *Mi az a taxon-free osztályozás?*

15.3. *Milyen tényezők alapul a halak (Pisces) taxon-free osztályozása?*

15.4. *Mi az a placoid pikkely?*

15.5. *Mi az a cikloid pikkely?*

15.6. *Mi az a ktenoid pikkely?*

15.7. *Mi az a kozmoid pikkely és milyen taxonoknál figyelhető meg?*

15.8. *Ismertesse az álkapocs nélküliek (Agnatha) jellegzetességeit és paleohidrológiai jelentőségét.*

15.9. *Mik azok a cserepesbőrűek (Ostracodermi)?*

15.10. *Ismertesse a gerinchúrosok (Cephalochordata) jellegzetességeit és paleohidrológiai jelentőségét.*

15.11. *Ismertesse a Burgess Pala névadó lelőhely helyét, idejét és képződésének egykori paleohidrológiai környezetét.*

15.12. *Ismertesse az anapszidák (Anaspida) paleohidrológiai jelentőségét.*

15.13. *Ismertesse az telodonták (Theolodonti) paleohidrológiai jelentőségét.*

15.14. *Ismertesse az heterosztrakák (Heterostraci) paleohidrológiai jelentőségét.*

15.14. *Ismertesse az akantodik (Acanthodii) paleohidrológiai jelentőségét.*

15.15. *Ismertesse a páncélozott őshalak (Placodermi) paleohidrológiai jelentőségét.*

15.16. Ismertesse a porcos halak (*Chondrichthyes*) paleohidrológia jelentőségét.

15.17. Ismertesse a cápák és ráják (*Elasmobranchii*) paleohidrológiai jelentőségét.

15.18. Ismertesse a tömörfejűek (*Holocephali*) paleohidrológiai jelentőségét.

15.19. Ismertesse a csontos halak (*Osteichytes*) paleohidrológiai jelentőségét.

15.20. Ismertesse a tüdőshal alakúak (*Ceratodontiformes*) paleohidrológiai jelentőségét.

15.21. Ismertesse a hallemezűek (*Ichthyostega*) paleohidrológiai jelentőségét.

4.6.35. *Amphibia* (Kétéltűek) osztálya

A kétéltűek a legősibb szárazföldi gerincesek, és a fentebb leírtak alapján látható, hogy a kifejlődésük a devon időszak végén már megindult és a karbon időszakra már biztosan lejátszódott. A magzatburok hiánya (*Anamina*), az egyedfejlődés folyamán kialakult átalakulás (metamorfózis), fejlett végtagok és fejlett medenceöv jellemzi ezt az osztályt. Petéiket a vízben, vagy szárazföldi nedves környezetben rakják le. Ezeknek a petéknek nincs szilárdabb védőburkuk és a petékből kikelő lárvák kopolyúval lélegeznek. A lárvaállapot végét metamorfózis követi, amikor az állat már tüdővel lélegzik. A vízi környezettől nem tudnak teljesen elszakadni és így a szárazföldi környezethez való alkalmazkodásuk is korlátozott. Éppen ezért tárgyaljuk paleohidrológiai szempontból ezt az osztályt is. A mai kétéltűeknek a bőre nyirkos, amelyen keresztül jelentős oxigéncsere megy végbe. A bőrlégzés nem elsődleges, hanem specializálódással kapcsolatos másodlagos bélyeg, amely a mezozoikum során fejlődött ki¹²⁰.

Ugyanis az ősi kétéltűeknek bőrsontokból kialakuló külső páncélja volt és a fossziliákon megmaradt lenyomatok, illetve maradványok nyomán az egykori bordák fejlettsége arra utal, hogy a ki- és belégzés is hasonló módon történt, mint a hüllőknél vagy az emlősöknél. A szárazföldi élethez való alkalmazkodás kapcsán a kétéltűeknek fokozottan le kellett küzdeniük a nehézségi erőt. Ennek hatására a hátsó végtagpárjuk fokozatosan megerősödött és a medenceöv

csontjai kapcsolatba kerültek a keresztcsigolyákkal. A mellső függesztőöv elvált a koponyától és hátrébb tolódott. Az ősi kétéltűek koponyája még zárt (sztegális), amelyet csak a páros ornyílások, a szemnyílások és a szimmetriasíokban fekvő harmadik szem tört át. A lárvaállapotot kivéve valamennyi kétéltű ragadozó. A mai, az ősi kétéltűektől anatómiájukat és életmódjukat tekintve, több szempontból is különböző taxonok, a mezozoikumtól napjainkig tartó fejlődés eredményei.



489. ábra Az ősi hüllőszerű kétéltűek egyik fontos taxonjának (Diplocaulus) maradványa a marokkói perm rétegekből (Forrás: wikipedia)

A csupasz kétéltűek (*Lissamphibia*) a triász kezdetén alakultak ki és mindmáig jelen vannak Földünkön, bár diverzitásuk erőteljesen lecsökkent a jégkor, a negyedidőszak során, mivel élőhelyeik területei összeszűkültek. Ugyanis a lissamphibiák nagy része ma is élő, általában csupasz testű, sajátos életkörülményekhez alkalmazkodott kétéltű. Bőrük rendszerint pikkelytelen és

nagyon gazdag nyálmirigyekben. Belső vázuk másodlagosan porcossá válhat, a füllabirintusban pedig sajátos érzékelő papillákat találunk.



490. ábra A mexikói axolotl (*Ambystoma mexicanum*) vad (nem tenyésztett) alakja, természetbeli színével és külső kopoltyúival (Forrás: wikiwand)

Paleohidrológiai szerepük minimális, döntően az egykori folyóvízi, vagy tavi–lápi teljes ökoszisztéma jellemzésekor használják fel paleohidrológiai rekonstrukciónál. Ugyanakkor a csupasz kétéltűek között ismeretes a farkos kétéltűek rendje (*Caudata*), amelybe több vízi életmódot folytató család taxonjai tartoznak. Ezek közül kiemelkedik a harántgötefélékhez (*Ambystomatidae*) tartozó mexikói axolotl (*Ambystoma mexicanum*), amelynek vad (nem tenyésztett) alakjai (490. ábra) az eredeti élőhelyük lecsapolása és a tenyésztéshez felhasznált példányok miatt a kipusztulás szélére kerültek. A faj érdekessége a széles feje két oldalán található több pár kopoltyú, mely felnőtt, ivarérett korára is megmarad. Egy esetben veszíti el azokat, ha a tavi rendszer, amelyben él, kiszárad, akkor leválnak a fejről, és az állat átáll a tüdővel való légzésre (ún. „neoténia”).

Az *Ambystoma* nemzetség a többi mexikói taxonnal együtt az *Ambystoma tigrinum* komplex tagjait alkotják. Az axolotl élőhelye a többi neoténias kétéltűéhez hasonlóan a nagy víztest és azt övező meredek partok, jódhiányos

alapközettel. Ezek a körülmények kedveznek a neoténiának, bár a mexikói tigrisszalamandra is ugyanezen a területen él, és nem neoténiás. A neoténiás fajok környezete rendszerint hegyes vagy dombos, az élelem kevés és jódban szegény.



491. ábra Fossilis Ambystoma maradványa külső kopolyúval, hosszú, mai fark szervvel azonosítható lenyomattal és azonosítható, halakat tartalmazó gyomortartalommal kínai jura időszi rétegekből (Forrás: wikiwand)

Egy ilyen környezetben az axolotl számára előnyös, ha nem érik el a felnőtt méretet, mert így kevesebb és rosszabb minőségű étellemmel is beérik. Ha közvetlenül vagy közvetve sok jód kerül a szervezetükbe, akkor az átalakulás végbemegy, és szárazföldi szalamandraként több és jobb ételmezt kell fogyasztaniuk. Egyes hegyi tavakban az axolotl példányok jódhány miatt törpék lesznek, és kreténizmus alakulhat ki náluk. Jelenleg az édesvízi környezetben élő axolotl azért vált az orvosbiológiai kutatások egyik célélőlényévé, mivel a kétélűek között általános képesség, hogy visszanyerik lábaikat, farkukat, több belső szervüket, sőt, szívük és agyuk egy részét is – ennél az akváriumban is kitűnően tartható fajnál erőteljesen jelentkezik. A regenerált szervek és

testrészek teljesen épek, és funkcióképesek. Az orvosbiológiai kutatások az emberi szervek, szövetek regenerációjának megvalósításáért vizsgálják az axolotl szervi és szöveti regenerációját. Az axolotl taxonokat is tartalmazó *Ambystoma* genus fosszilisan a jura időszaktól már biztosan ismeretes (491. ábra). Olyan jelentős, több ezres tömegben kerültek elő *Ambystoma* genushoz sorolható csontok az észak-amerikai Lamar barlang (Yellowstone Park) holocén kori rétegeiből, hogy az utolsó 3000 év éghajlati változásait igen pontosan sikerült ezekkel a leletekkel lehatárolni.

Az axolotl taxonokat is átfogó harántgötefélék (*Ambystomatidae*) mellett a barlangi vizekben, forrásokban élő kopolyúsgöték (*Proteidae*), szögletesfogsorú-götefélék (*Hynobiidae*), tüdőtlenszalamandra-félék (*Plethodontidae*), és a jelenleg létező legnagyobb, másfél métert is meghaladó testméretű kétéltűek az óriás szalamandrafélék (*Cryptobranchidae*) közé tartozó taxonok (492. ábra) élnek döntően édevízi (források, barlangi tavak, források, mocsarak) környezetben.



492. ábra Földünk jelenleg élő, legjelentősebb méretű kétéltű taxonjai az óriás szalamandrafélék (*Cryptobranchidae*) taxonjai, 1 = a legnagyobb méretű, kifejletlen 1,5 méternél nagyobb kínai óriásslamandra (*Andrias davidianus*), 2 = a második legjelentősebb méretű, kifejlett mintegy másfél méteres japán óriásslamandra (*Andrias japonicus*), 3 = az észak-amerikai tavakban élő, maximum 75 cm hosszúságra megnövő mocsári ördög (*Cryptobranchus alleganiensis*) (Forrás: wikipedia - átalakítva)

Mivel ezek a taxonok fosszilisán a miocén időszakban már biztosan megjelentek, ezért paleohidrológiai szerepük a harmadidőszak végétől kifejlődött édesvízi környezetre vonatkozóan emelhető ki.

4.6.36. *Reptilia (Hüllők) osztálya*

Az első hüllőleleteket a felső karbonból ismerjük. Ezidőtájt már megfigyelhető a legősibb anapsid, synapsid és diapsid koponyájú hüllők elkülönülése (mintegy 20, viszonylag kistermetű, rovarevő nemzetség maradványai ismeretesek felső-karbon korból). Felvirágzásuk a felső-permben, majd az alsó triászban követhető nyomon, amely feltehetően egybeesik a Pangaea feldarabolódásának folyamatával. A hüllők maximális alakgazdagságukat, diverzitásuk csúcsát a felső-krétában érték el¹²¹.



493. ábra *Pareiasaurus* mocsárlakó, perm időszaki, kihalt őshüllő kipreparált (*Anapsida* alosztály, *Cotylosauria* rend) teljes ősmaradványa, vásárlási ára, 1 600 USD – ről csökkentve jelenleg 1 250 USD (*Dapper Cadaver* fosszília kereskedelmi oldalról letöltve (Forrás: www.dappercadaver.com/products/pareiasaurus-fossil-item) oldaláról

A hüllők tüdővel lélegző Tetrapodák. Hallócsontjaik száma 1 (columella), állkapcsuk több csontból áll, elkülönült nyakcsigolyáik vannak (atlas, axis) és a kereszttájék két vagy több csigolyából áll. A szaporodás tojásokkal történik, metamorfózis nélküli. A tojásban sok szikanyagot találunk. Az embriót kettős magzatburok védi (amnion és chorion). A kettő között kialakuló húgyhártya (allantois) kezdetben a vizeletet raktározza, később tüdőként működik.

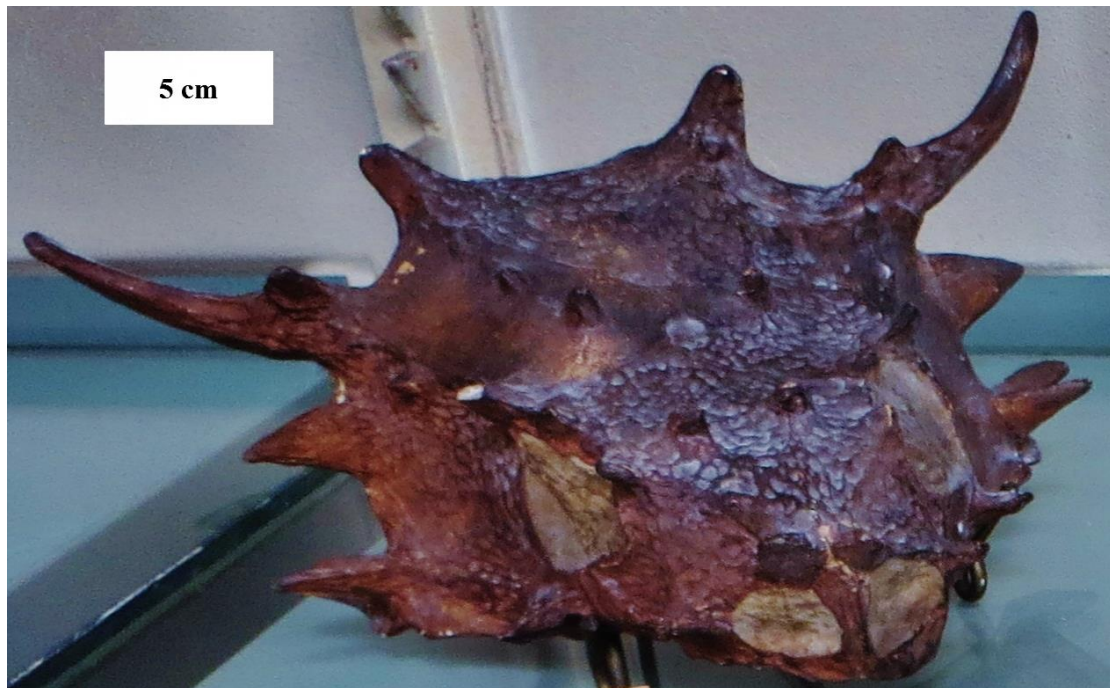


494. ábra Bradysaurus középső perm időszaki, kihalt, mocsárlakó őshüllő összerakott (Anapsida alosztály, Cotylosauria rend) teljes ősmaradványa, múzeumi kiállítási példánya (Forrás: wikipedia)

Az ivadékok a nőstény testében is kikelhetnek (ovoviviparia). Ennek nyomán a hüllők az extrém hideg és száraz környezethez is tudnak alkalmazkodni. Az embriónak még megvan a kopoltyúzacsckója, de hiányzik a kopoltyúlemez és a kopoltyúnyílás. A mai hüllők testfelületét szarupikkelyek vagy lemezek borítják, amelyek az epidermisz hámrétegében keletkeznek. A kihalt hüllők egy részének a testét szőr borította, amely az egyes csoportoknál önállóan alakulhatott ki

(*Pterosauria*, *Synapsida*). Mivel a hüllők döntően szárazföldi életmódot folytattak és folytatnak, ezért csak azokkal a csoportokkal foglalkozunk itt, amelyek paleohidrológiai szempontból jelentősek. A legősibb hüllők teljesen szárazföldi életmódot folytattak, míg egyes csoportjaik visszatértek a vízi életmódra (*Ichthyopterygia*, *Sauropterygia*).

4.6.37. *Anapsida* alosztály

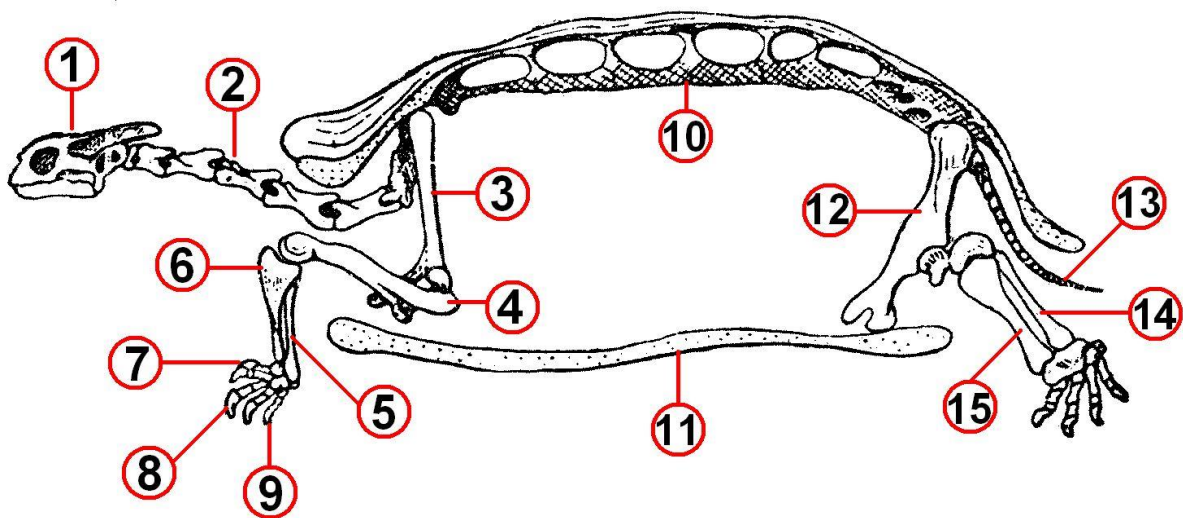


495. ábra *Elginia* középső perm időszaki, kihalt, mocsárlakó őshüllő (*Anapsida* alosztály, *Cotylosauria* rend) fosszilis koponyája, múzeumi kiállítási példánya (Forrás: wikipedia)

Teljesen zárt koponyájú, ősi hüllők, a koponyán általában nagy parietális nyílással és két külső orrnyílással. A koponyatető fedőcsontjai gyakran erősen díszítettek. A hátsó fülbemetszés már hiányzott, míg az állkapocs ízesülésében szerepet játszó quadratum csont függőleges helyzetű volt. A fogak rendszerint kúp alakúak és protothecodont típusúak. A csigolyák idegívcsatornái hát-hasi irányban lapítottak, rövid tövisnyúlvánnyal. A csigolyatest amphicoel típusú, míg a gerinchúr egész életen át megmaradt¹²². A felső karbontól a felső triászig éltek. Virágkoruk az alsó permre tehető. Ez a csoport egyes rendszerezők szerint

összekötő kapocs lehetett a kétéltűek és a fejlettebbnek tekintett hüllő csoportok között.

Anapsida alosztályhoz sorolható a *Cotylosauria* rend, amelyen belül már jelentkeztek édesvízi környezetben élő taxonok. Ezek közé sorolható a *Pareiasauria* alrend néhány faja is, amelyek a középső perm–alsó triász között élő nagyméretű cotylosauriák voltak, elől lekerekített, masszív, erősen díszített koponyával (a díszítés dermális [bőr] eredetű volt). Az állkapocs ízesülése a nyakszirti bütyök előtt, a felső fogsor szintje alatt volt. A fogaik egyformák, laposak és fogazott szélűek. A végtagok rövidek és a törzs alatt helyezkedtek el, az ujjpercek pedig szélesek. A háti részen dermális páncéllemezt viseltek. Lomha mozgású növényevő mocsárlakók lehettek a beágyazó üledék kifejlődése és az ősmaradványaik alapján. Ismertebb képviselőik a *Pareiasaurus* (493. ábra), *Bradysaurus* (494. ábra), és a hátul hosszú szarvakat viselő *Elginia* (495. ábra).



496. ábra Teknősök (*Testudo*) csontváza (Forrás: wikipedia) 1. koponya, 2. nyakcsigolya, 3. lapocka, 4. felkarcsont, 5. singcsont, 6. sugár, 7. első lábujj, 8. harmadik lábujj, 9. ötödik lábujj, 10. csigolyák, 11. vívómellény, 12. medencecsont, 13. keresztcsonti csigolya, 14. szárkapocscsont, 15. sípcsont

4.6.38. *Testudines* (teknősök) rendje, hüllők monofiletikus csoportja

A teknősök kétrészes teknővel (*plastron* és *carapax*) védett, rövidtörzsű, anapsid koponyájú gerincesek, amelyek a perm időszakban jelentek meg. A koponyán a *foramen parietale* hiányzik, az orbitális nyílások pedig a koponya közepe

tájékán vannak. Az állkapocsban a fogakat csőrszerű szarukáva helyettesíti. Csigolyáik rendszerint előlvájtak. A vállöv csontjai a bordák alatt vannak, míg a mellcsontjuk hiányzik (496. ábra). A hátpajzs (carapax) összenőtt a bordákkal, vagy a csigolyák tövisnyúlványaival, valamint a vállövvvel és a medenceövvvel¹²³. A mellvért a claviculához és az interclaviculához kapcsolódik. A *plastron* és *carapax* plastralis híddal kapcsolódik össze (496. ábra).

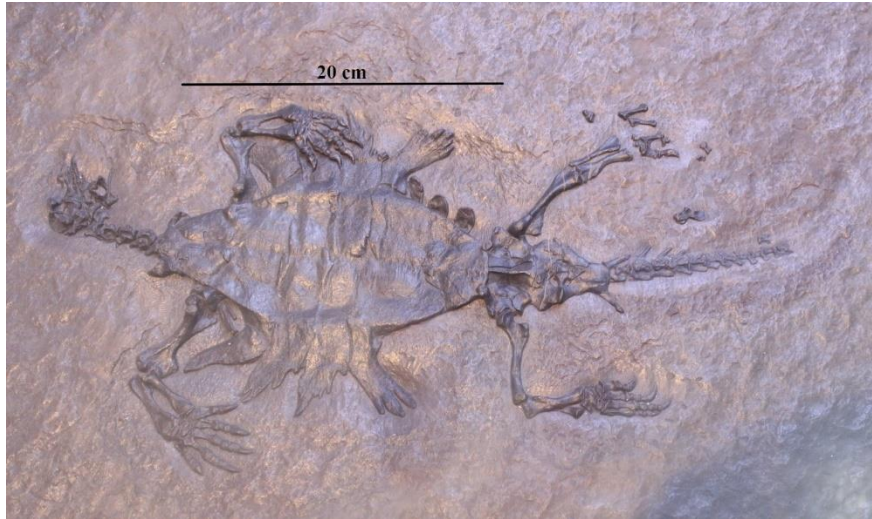


497. ábra Közönséges levesteknős (*Chelonia mydas*) egy csendes-óceáni (Hawaii) korallzátonynál (Forrás: wikipedia)

Környezetük szempontjából elkülönítünk vízi és szárazföldi teknősöket. Bár a vízi környezetben élő teknősök, mint a *Cheloniidae*, a tengeriteknős-félék (497. ábra) is kijárnak a szárazföldre, folyók, mocsarak, tavak, tengerek partjára szaruhéjú tojásaikat lerakni, de életük döntő része vízi környezethez kötött.

Proganochelydida taxonok a legősibb triász kori teknősök voltak, széles hátpáncéllal, amely összefort a mellvérttel. Nyakukat nem tudták a teknőbe visszahúzni. A szájpadráson kis gumósszerű fogakat viseltek, de csökevényes

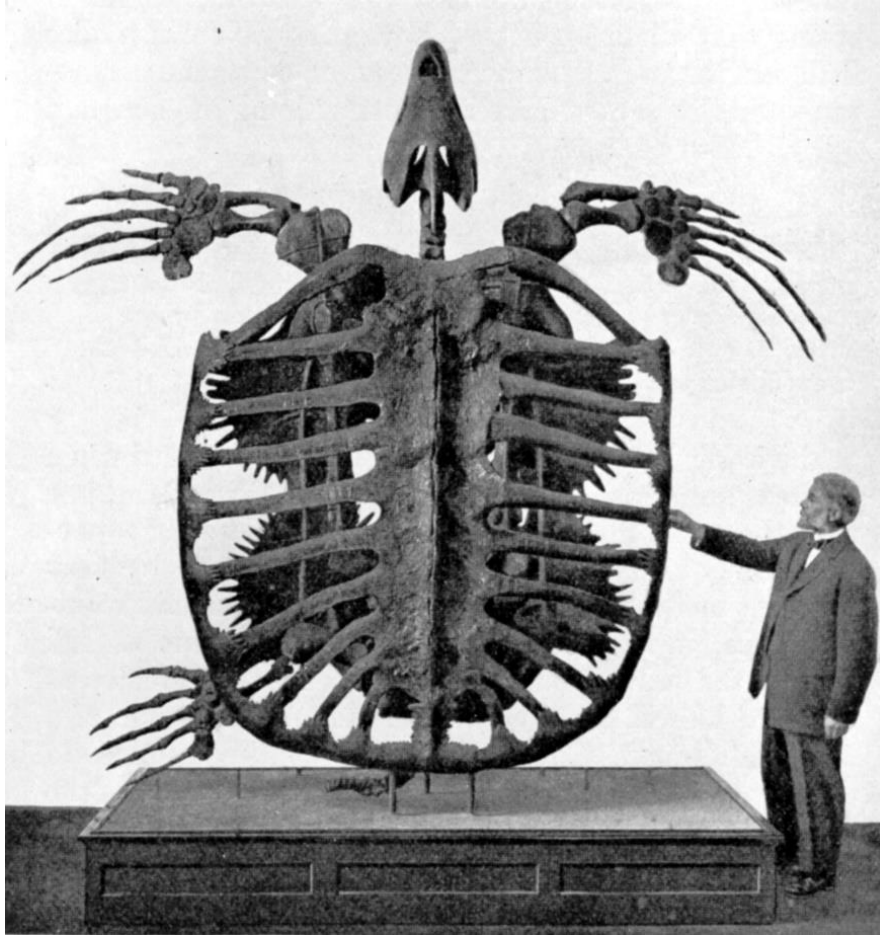
fogakat találhatunk az állkapcsokon is. Az egyik legrégebbi, már kihalt, ehhez a csoporthoz sorolható nemzetséget a tengeri környezetben élő *Odontochelys* (498. ábra) taxonok alkotják.



498. ábra *Odontochelys semitestacea* az ősi teknősök egyik első képviselője, egy késő-triász kori, 220 millió éves ősmaradványa (Forrás: wikipedia)

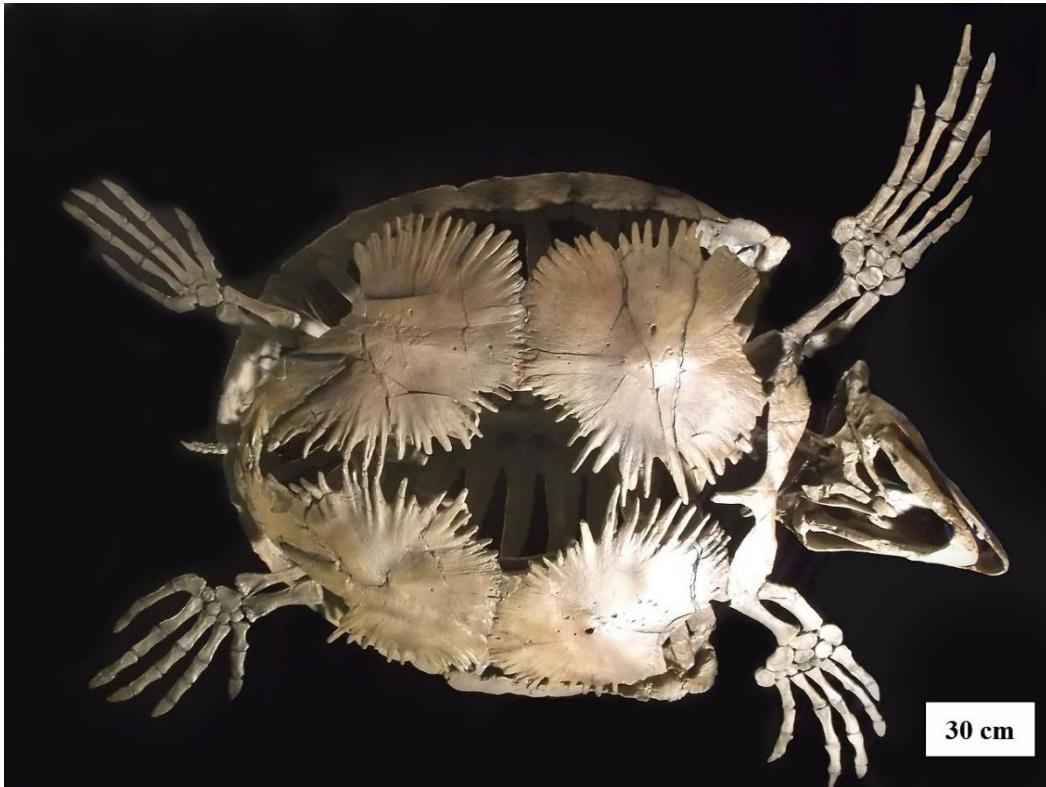
4.6.39. *Protostegidae* család

A már kihalt, csak a kréta időszak tenger képződményekből ismert *Protostegidae* család szintén tengeri környezetben élt, az egyik legfontosabb és legnagyobb méretű képviselőjük, a 4 méter hosszú és majd 5 méter széles, késő-kréta kori *Archelon ischyros* (499. ábra) faj volt. Az *Archelon* egy lassan úszó állat lehetett, a hatalmas úszólábai alapján nagy távolságot tehetett meg, és nyílttengeri életmódot folytathatott. Az állat mindenevő volt, sérült halakat, medúzákat, dögöket és tenger felszínén lebegő növényi planktont egyaránt fogyasztott. Az éles, csőrszerű szájszervével fel tudta nyitni a házas állatok házát, csigák, ammoniteszek héjait. Mivel a fejét és uszonyait nem tudta behúzni a páncélja alá, így a jelentős testmérete ellenére könnyű zsákmány volt az egykori nagy testű tengeri ragadozók számára.



499. ábra *Archelon ischyros* késő kréta kori, kihalt, legnagyobb méretű ismert tengeri teknős fosszíliája (Forrás: wikipedia)

Ugyanez az életmód és élettér jellemezte a szintén kihalt, késő kréta kori, második legnagyobb testméretű tengeri teknős fajt, a *Protostega gigas* fajt (**500. ábra**) is. A *Protostega gigas* fajnak nem volt védőpajzsa, csak úgy, mint a ma élő legnagyobb tengeri teknősöknek, a kérgesteknősöknek (*Dermochelys coriacea*), ahol a legnagyobb példányok mérete megközelíti az egytonnát és meghaladja a 2,5 métert (**501. ábra**). Így bár védtelenebb volt a *Protostega gigas*, de több mázsával könnyebb lehetett és ennek következtében talán gyorsabb is. Valószínűleg csak úgy, mint a mai kérgesteknősök, lassúbb tengeri élőlényekkel, medúzákkal, lábasfejűekkel, kagylókkal, dögökkel táplálkozhatott¹²⁴.



500. ábra *Protostega gigas* késő kréta kori, kihalt, a második legnagyobb méretű ismert tengeri teknős (Forrás: wikipedia)



501. ábra Ma élő legnagyobb tengeri teknős, a kéregteknős (*Dermochelys coriacea*) (Forrás: wikipedia)



502. ábra Felső – triász korú tengerekben élt, a triász időszak végén kihalt kavicsfogú álteknős (Placochelys placodonta) koponya oldalnézetből (Forrás: wikipedia)

4.6.40. Placodontomorpha (álteknősök) alosztály

Koponyájuk merev (akinetikus) felépítésű, amelyen felső halántékablakot találunk, így az *Euryapsida* alosztályhoz sorolhatóak. A foramen parietale tágas volt. Fogazatukat *thecodont* (fogmederben ülő) és *heterodont* (eltérő alakú) fogakkal jellemezhetjük. Az elülső fogak megnyúltak és mély fogmederben (ún. „*alveolusokban*”) ültek. Ezzel szemben az állkapocs hátsó részén és a szájpadcsonton széles, kavicsszerű őrlőfogakat találunk. Csigolyáik mindkét oldalról vájt (ún. „*amphicoel*”) típusúak, bordáik szélesek és erőteljesek voltak. A hasi bordák is nagyon fejlettek voltak. A végtagok a vízi életmódhoz alkalmazkodtak (rövid végtag csontok). Testüket kívülről kicsi, hatszögletű lemezekből álló dermális (bőr) eredetű páncél borította. A páncél soha nem nőtt össze a csigolyákkal és a bordákkal. Többségük sekélytengeri élőlény (pl. *Psephoderma*, *Placodus*, *Placochelys placodonta*: **502. ábra**) de ismeretes triász időszaki édesvízi nemzetség is (*Henodus*: **503. ábra**).



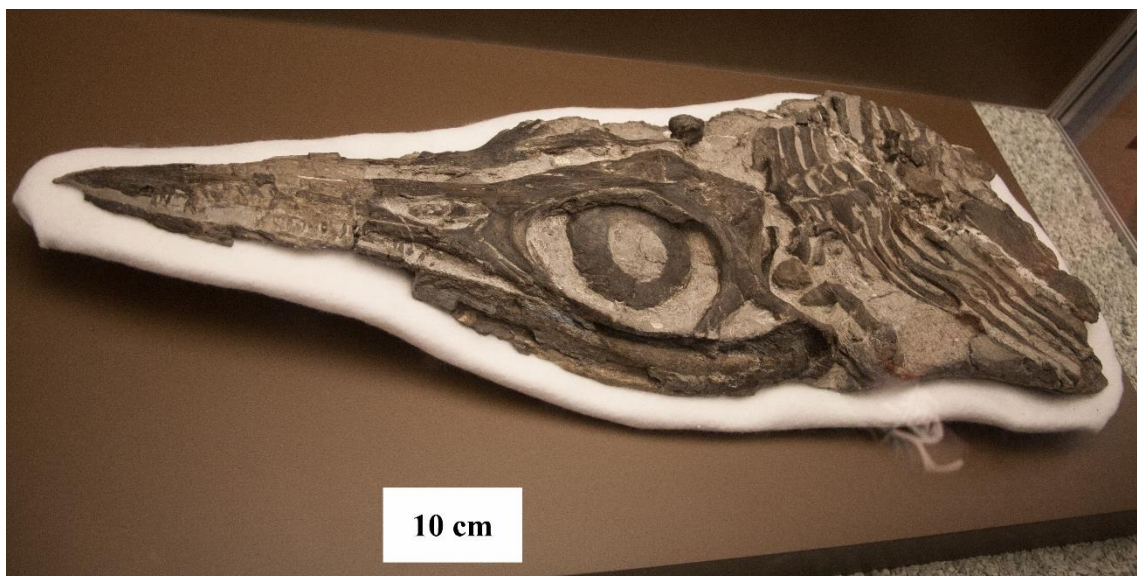
503. ábra Felső triász korú édesvizekben élt, a triász időszak végén kihalt *Henodus chelyops* ősmaradványa (Forrás: wikipedia)

A kavicsfogú álteknősök egy viszonylag szűk elterjedési területről ismertek Európában (Germán-medence, alpi terület, a Földközi-tenger keleti és déli pereme). A kavicsfogú álteknősök csak a triász időszakban éltek és Sepkoski féle IV. kihalási hullámban, a triász időszak végén, a jura időszak kezdetén szorultak vissza és haltak ki. Átlagosan 1-2 méteres hosszúságú élőlények voltak, de legnagyobb kifejlődéseik elérték a 3 méteres hosszúságot is. A magyarországi, kiemelkedő jelentőségű, nemzetközileg is kiemelkedően jól megőrződött kavicsfogú álteknősleleteket (koponya, páncél, borda és végtag csontok), *Lóczy Lajos* geológus egyik leghíresebb tanítványa, *Laczkó Dezső* piarista tanár, paleontológus tárta fel a felső triász kori Veszprémi Marga

formáció rétegeiben, a veszprémi Jeruzsálem hegyen. A kavicsfogú álteknős csontleleteken végzett összehasonlító jellegű csontszövettani elemzések alapján tudjuk, hogy a páncélzatot alkotó csont igen tömör. A mai tengeri tehenek tömör bordázatához hasonlóan itt a páncélzat biztosította azt a passzív súlyt, amely az amúgy tudóval lélegző test könnyebb víz alatt tartását, és a könnyebb víz alatti manőverezését segítette elő. Ezek alapján, továbbá a koponya morfológiája, az elülső fogak hiánya, a nagyméretű hátsó őrlőfogak, a fejlett állkapocs záró- és nyitó izmok, a csontváz és az uszonyos végtagok alapján a Placohcelys egy vízi életmódhoz alkalmazkodott, tengerben élő, jól úszó, páncélozott hüllő volt. Feltételezhető, hogy kis és közepes méretű, az aljzaton vagy az aljzatban ülő, nem, vagy csak gyengén rögzülő, kemény héjú (kagylókat, pörgekarúakat) szervezeteket fogyasztott. Az elülső fogak hiányában és a keskeny, csőszerű rostrum (orr régió) alapján feltételezik, hogy táplálékának egy részét szívóhatással szippanthatta ki az aljzat felszínéről és magából az aljzataból (bentosztaból). A felső triász időszakban élt, szintén a *Placodontomorpha* (álteknősök) alosztályába sorolható, mintegy méteres hosszúságú *Henodus chelyops* (503. ábra) teknősök viszont édesvizekben éltek, és az aljzat felszínén kialakult lágy lebegő iszapot fogyasztották, szuszpenzió szűrőgető életmódot folytattak.

4.6.41. *Ichtyopterygia* (halgyíkok - *Ichtyosauruszok*) alosztálya

Felső halántéklakú, megnyúlt, keskeny orr-részű, nagy szemű, a tengeri életmódhoz a legmesszemenőbben alkalmazkodott Tetrapodák voltak. Koponyájuk merev (*akinetikus*) felépítésű (504. ábra). A koponyarés (*foramen parietale*) előretolódott a homlokcsont (*frontale*) és a falcsont (*parietale*) határára. A halánték feletti csont (*supratemporale*) nagyon nagy volt és kapcsolatban állt a pikkelycsonttal (*squamosummal*).



504. ábra Kihalt *Ichtyosaurus* (halgyík) koponya a jura időszakból (Forrás: wikipedia)

A hallójáratban a szokatlanul fejlett kengyel (*stapes*) a négyszög csonthoz (*os quadrate*) kapcsolódott. Az alsó állkapocs hat csontelemből állt, amelyben nagyszámú egyforma, hegyes, kúp alakú fogat találunk. A fogak dentin szerkezete a labirintusfogú (*Labyrinthodonta*) taxonokra emlékeztet. *Pleurocentralis* csigolyáik mindkét oldalról vájtak (amphicoel típusúak), a neurális ívek nem nőttek össze a csigolya testtel (*rhachitom*). Csak az első két nyakcsigolya alakja tért el a többitől. Ez a két csigolya összenőhetett, így az állat nem tudta elfordítani a nyakát. A hasi bordák erőteljes bordakosarat alkothattak (**505. ábra**). A kéz- és lábcsontok száma megemelkedett. Az ujjpercek száma felülmúlhatta valamennyi Tetrapodáét. Farokúszójuk vertikálisan helyezkedett el. Váltivarúak, elevenszülők (*viviparia*) voltak (**506. ábra**). Az embriókkal (akár egy tucattal is) együtt fosszilizálódott halgyíkokhoz sorolt *Stenopterygius quadricissus* anyaállatok mind a németországi, mind az angliai alsó jurakori rétegekben feltárták (506. ábra) már. A halgyíkok a virágkorukat az alsó jurában érték el.



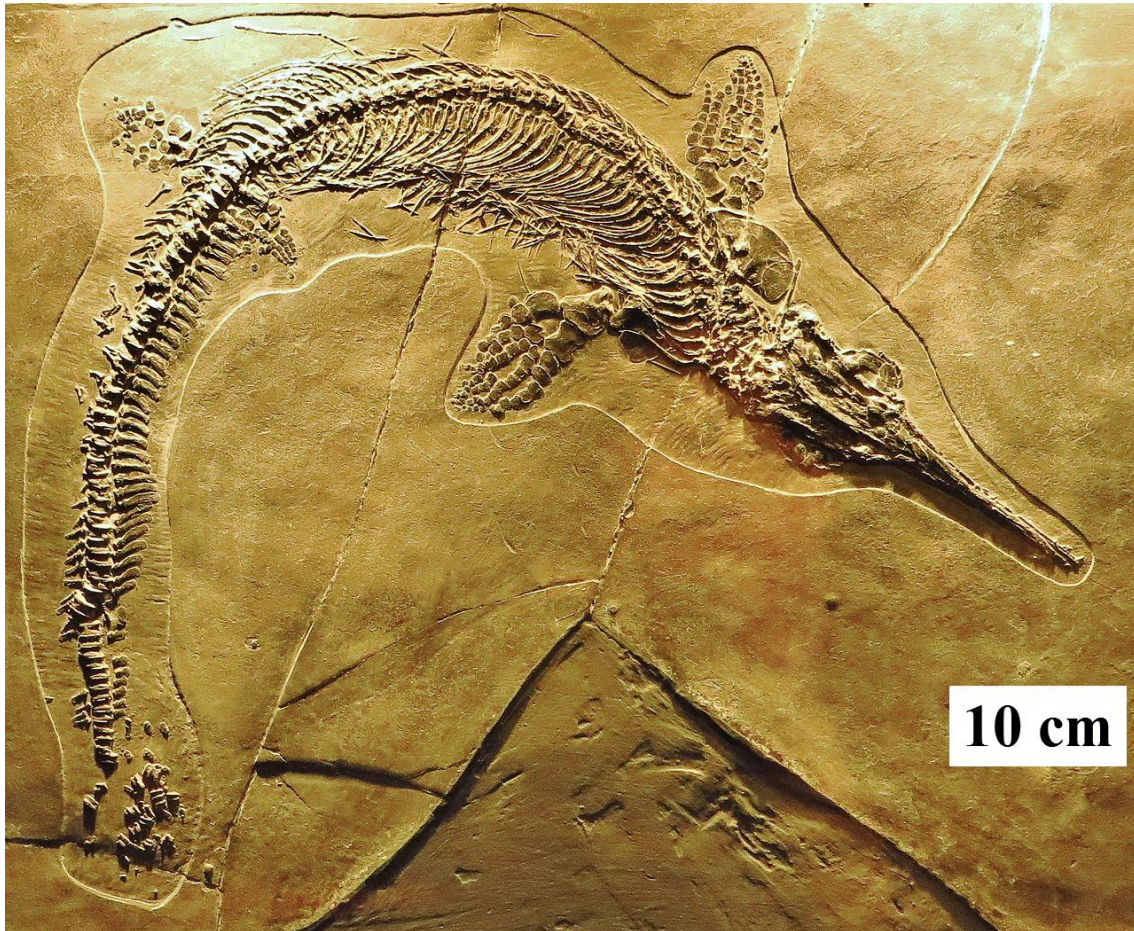
505. ábra Kihalt Ichthyosaurus (halgyík) taxon, *Stenopterygius quadriscissus* adult és juvenilis példányok maradványai a németországi alsó jura (toarci emeleti) rétegekből (Forrás: wikipedia)



506. ábra A kihalt Ichthyosaurus (halgyík) taxon, *Stenopterygius quadriscissus* elevenszülését bizonyító, szülés pillanatát megörökítő ősmaradvány együttes a brit jura időszaki rétegekből (Forrás: wikipedia)

Az ősi triász időszaki formák kisméretűek (1-2 m) voltak, míg a későbbi, fejlettebb taxonok elérhették a 16 métert is. Az ősi formákhoz tartozó *Mixosaurus* (507. ábra) taxonnak (triász) külső orrnyílását nem a *lacrimale* (könnycsont), hanem a *maxillare dorsalis* (hátsó állcsonti) nyúlványa határozta.

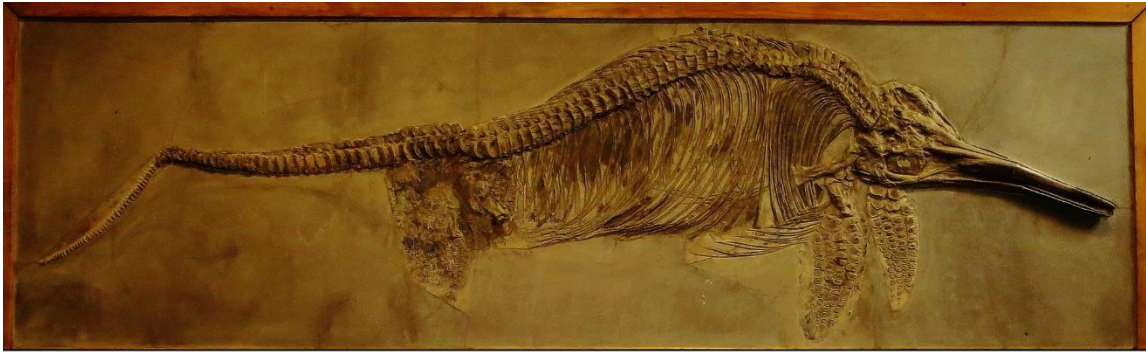
A gerincoszlop egyenes, a mellső végtag ötujjú, a hátsó fejlettebb volt és a krokodilokhoz hasonlóan mozoghatott – kicsit krokodilszerű volt az egész fosszilis lény.



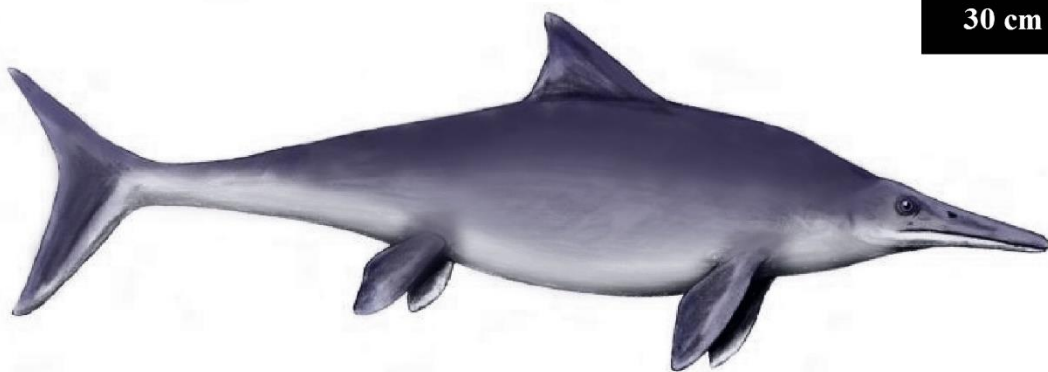
507. ábra Triász időszi halgyík genus, *Mixosaurus cornalianus* teljes ősmaradványa (Forrás: wikipedia)

A *Grippia* (középső triász) hátsó fogai még gumószerűek voltak, mellső végtagja háromujjú volt, farokúszója lefelé hajlott, a hátsó végtagja viszonylag fejlett volt. Az alsó jurára jellemző *Ichthyosaurus* külalakja a delfinre emlékeztet leginkább (508. ábra). Valamennyi halgyík (*Ichthyosaurus*) nyílttengeri ragadozó életmódot folytatott, hasonlóan a mai delfinekhez. Mozgásuk viszont jelentős mértékben különbözött, mert a halakhoz hasonlóan oldalirányú hullámzással haladtak és nem fel/le mozgással, mint ma a delfinek. Mellső végtagjaik segítették az úszásban, csak úgy, mint a farokúszó erőteljes csapásai, a cápászerűen háromszög alakú hátúszó pedig stabilizálta az állat

egyensúlyát a vízben. Kisebb tengeri hüllőket, halakat és tintahalakat zsákmányoltak.



30 cm

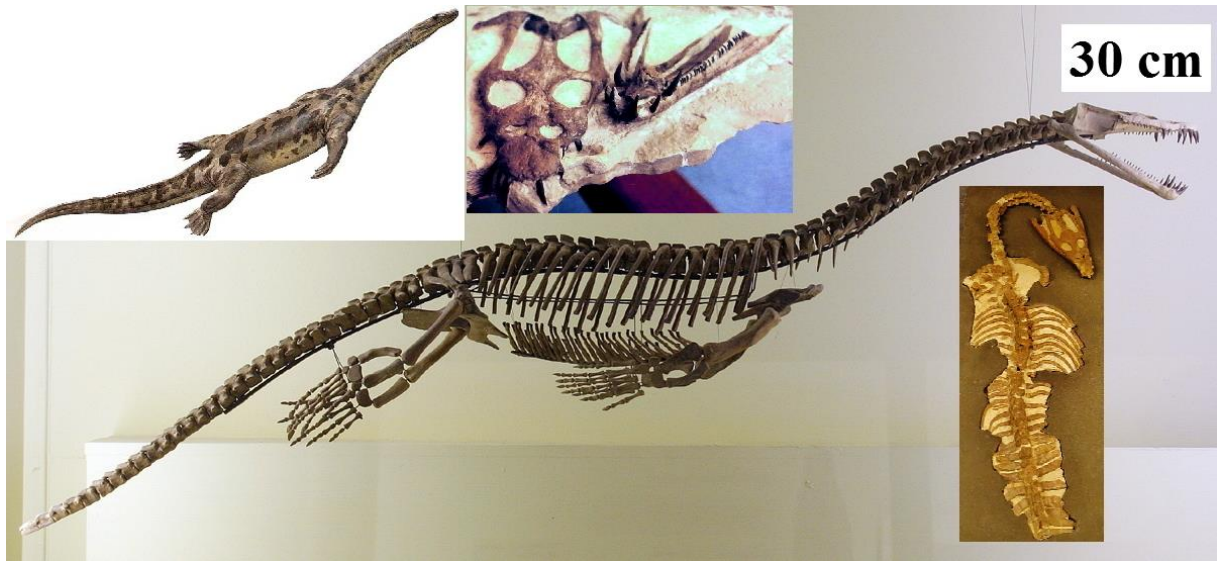


508. ábra Alsó jura időszakra jellemző *Stenopterygius triscissus* teljes ősmaradványa és rekonstruált életképe (Forrás: wikipedia)

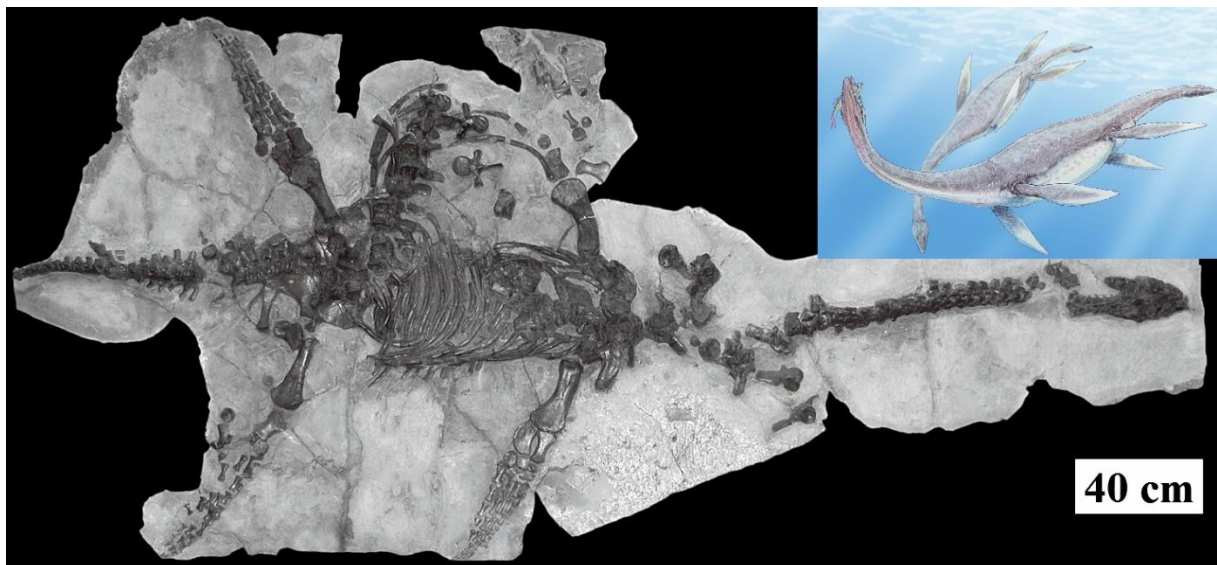
4.6.42. *Sauropterygomorpha* alosztály

Akinetikus koponyájú hüllők voltak, másodlagosan felső halántéklakkal (ősi diapsidáktól származhattak) és evezőszerű, ötujjú végtagokkal. A falcsonton (parietale) volt halántéklak. A külső ornyílás hátrafelé tolódott a szemnyílás közelébe. A fogak kúp alakúak, egyformák és önálló fogmederben ültek. A bordák egy fejjel ízesültek a csigolyákhoz. A hasi bordák kosárszerűen védték a testüreget. A függesztőövek dorsalis elemei fokozatosan redukálódtak, a ventrálisak megerősödtek. A végtagok ötujjúak voltak, az ujjpercek száma a későbbi csoportoknál megnőtt (*hyperphalangia*). Mozgásukban leginkább a fókákhoz hasonlíthatnak. Feltehetően kimásztak a szárazföldre és ott rakták le tojásaikat. A felső perm-től a kréta időszak végéig éltek. A triász időszaki 4 méteres hosszúságú *Nothosaurus* (**509. ábra**) partközeli sekélyebb vizekben

vadászott, időszakosan kimászhatott a partra, hogy felmelegedjen, mint a mai fókák.



509. ábra *Nothosaurus mirabilis* csontváza, koponya és testleletei, rekonstruált életképe (Forrás: wikipedia)



510. ábra *Plesiosaurus dolichodeirus* ősmaradványa és rekonstruált életképe (Forrás: wikipedia)

Ragadozó volt, de nem csúcsragadozó, kisebb halakat, fejlábúakat, hüllőket zsákmányolhatott, de a nagyobb hüllők, dinoszauruszok vadásztak a northosauruszokra. Teknősökhöz hasonlóan a parti fövényen, a dagályszint felett rakhatta le a tojásait. *Nothosaurus* leletek többek között az Erdélyi-

középhegységben található Élesd község melletti triász időszi (anizuszi) rétegekből kerültek elő¹²⁵.

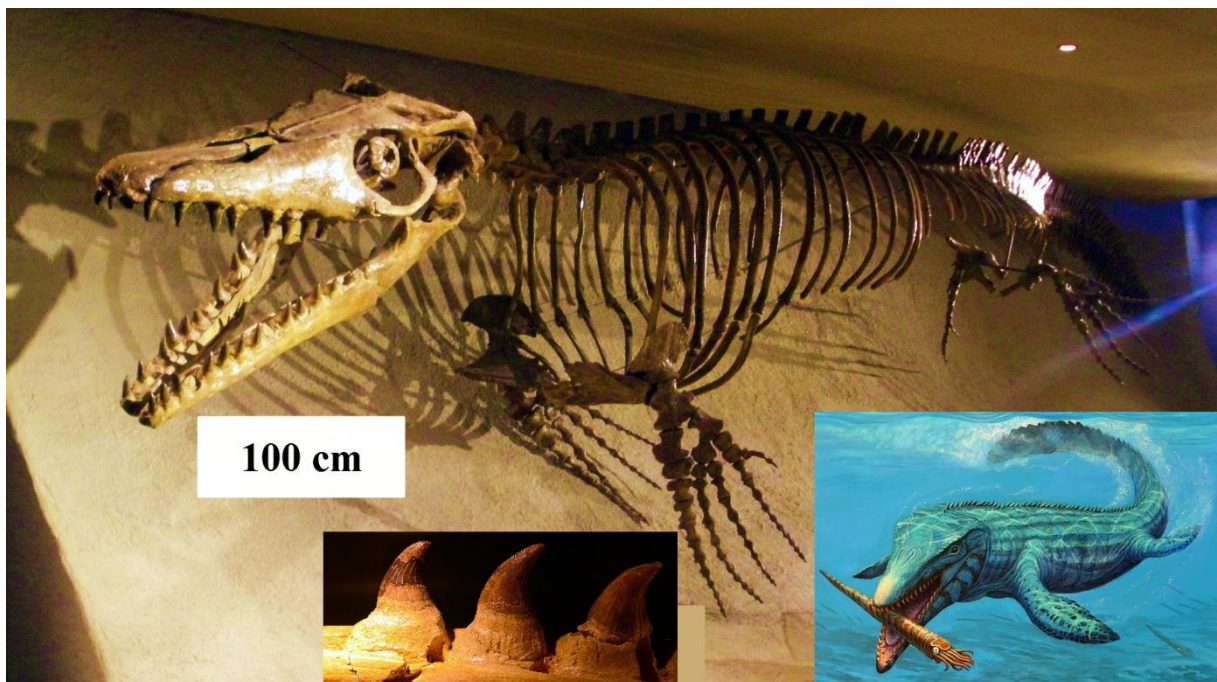
A *Plesiosaurus* (jura időszak, liász kor) elérhette az 5 m-es hosszt (**510. ábra**), míg az *Elasmosaurus* (felső kréta) a 12 m-t is. Ez utóbbi nyakcsigolyáinak a száma elérhette a 76 darabot. Mindkét nemzetség a nyílt tengereken vadászott, kisebb halakra, hüllőkre, lábasfejűekre. Elevenszülők lehettek. A mezozoikumi tengeri paleohidrológiai vizsgálatokban, ökoszisztéma elemzésekben ezek a taxonok fontos szerepet játszanak (**511. ábra**).



511. ábra *Plesiosaurus* vadászó élethelyzetben a jura időszi tengeri rekonstrukcióban (Forrás: Julius Csotonyi rekonstrukciós festménye, washingtoni Smithsonian Intézet facebook oldaláról szabadon letölthető kép: <https://www.facebook.com/OceanPortal/photos/a.158756736960/10157142118416961/?type=3>)

4.6.43. Sauria (gyíkok) alrendje

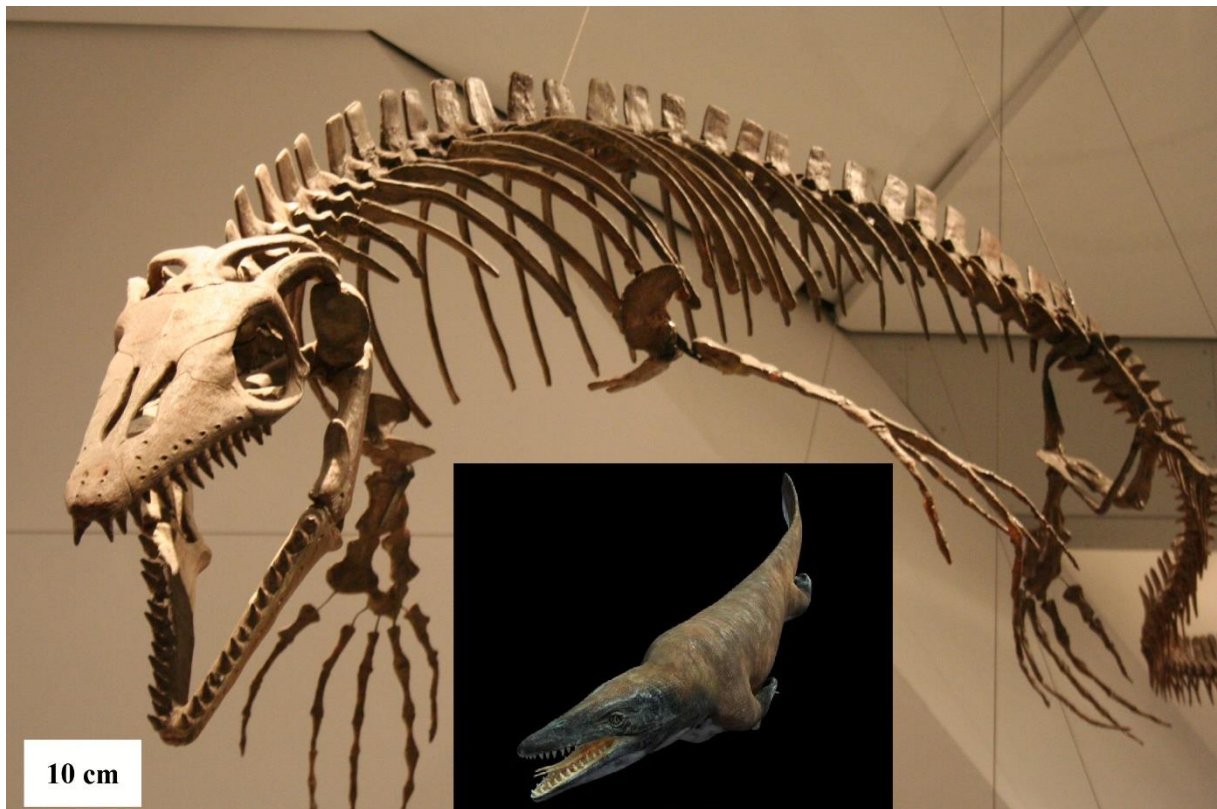
A gyíkok (*Sauria*) a hüllők (*Reptilia*) osztályába és a pikkelyes hüllők (*Squamata*) rendjébe tartozó alrend. Paleohidrológiai szempontból olyan fontos taxonokat sorolhatunk ide, mint a másodlagosan tengeri életmódra áttért *Mosasauridae* (mosasauruszfélék családja – Meuse folyó gyíkja). Ez utóbbiak a felső kréta kor jellegzetes ragadozói voltak, esetenként elérték a 12 m-es testhosszat is. Jellegzetes képviselőik a *Mosasaurus* (512. ábra), a *Platecarpus* (513. ábra) és a *Tylosaurus* (514. ábra).



512. ábra Kréta időszaki Meuse folyó gyíkjának (*Mosasaurus hoffmanni*) teljes fosszilis csontváza, fogai és rekonstruált életképe (Forrás: wikipedia)

A Meuse folyó gyíkjának (*Mosasaurus*) egyik jellegzetes faja, az akár 17 méteresre is megnövő *Mosasaurus hoffmanni*. A szájában számos kúp alakú fog ült (512. ábra), feje mély hordó alakú, evezőszerű lábain hátul 4 ujj, elől 5 ujj helyezkedett el. A teste egy hatalmas farkban végződött, amely a fő mozgató szerve volt. A testfelépítése alapján a vízfelszín közelében (epipelágikus régióban) vadászhatott. Táplálékát halak, teknősök, ammoniteszek, kisebb tengeri hüllők alkothatták. *Mosasaurus hoffmanni* első maradványai 1764-ben egy kréta időszaki képződményeket bányászó kőfejtőben, a hollandiai

Maastricht városában kerültek elő. A leleteket a hollandiai Haarlem városban található Teylers Múzeum vásárolta meg, és mind a mai napig megmaradtak a leletek a múzeumban. A *Platecarpus* hasonló korban élt tengeri ragadozó volt, de felépítése alapján mélyebb régiókban is vadászhatott, mint a *Mosasaurus* és cápaszerű életmódot folytatott, a tengeri életmódhoz jobban adaptálódott mosasaurusz családhoz tartozó taxon volt¹²⁶.

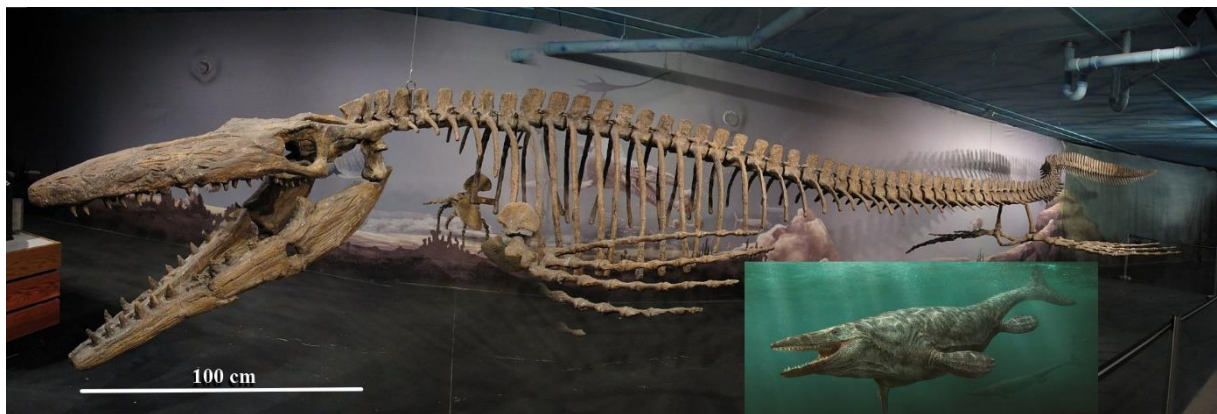


513. ábra Kréta időszaki *Platecarpus* tengeri ragadozó teljes fosszilis csontváza, fogai és rekonstruált életképe (Forrás: wikipedia)

Ugyanebben a korban élt a ma élő varánuszokkal rokonítható, 15-17 métert is elérő, a korának tengeri csúcsragadozója a *Tylosaurus* (514. ábra).

A *Tylosaurus* hosszú, megnyúlt koponyájában kúpos, csontrepesztően erős fogak ültek. A végtagok evezőszerű úszókká alakultak, de a nagy sebességű úszáshoz nem a végtagjaikat, hanem hosszú és lapos farkukat használták. A *Tylosaurus* taxonoknak szárazföldi ősei a többi tengeri hüllőcsoporthoz képest később, csak az alsó kréta időszakában vándoroltak vissza a tengerbe. Az ősök –

mint maguk a kréta időszaki trópusi tengerekben elterjedt moszaszaurusok is – a pikkelyes hüllők (*Squamata*) rendjébe tartoztak, ugyanúgy, mint a valódi gyíkfélék, a kígyók és a ma is élő varánuszok. Mind a sekélyebb vizekben, mind a mélyebb tengerekben otthonosan mozogtak, mindkét tengeri területen lerakódott üledékből kerültek elő ősmaradványaik. A XIX. századi felfedezése óta viszonylag jelentős számban előkerült *Tylosaurus* maradványokból jól rekonstruálható ennek az egykori csúcsragadozónak az életmódja is.



514. ábra Kréta időszaki *Tylosaurus* tengeri csúcsragadozó teljes fosszilis csontváza, rekonstruált életképe (Forrás: wikipedia)

Nem volt előle menekvés sem a megfeneklésig sekély parti vizekben, sem pedig a nyílt-tenger távoli térségeiben. A *Tylosaurus* ugyanúgy megtámadta a nagy ragadozó csontos halakat, a már igen elterjedt cápákat (**515. ábra**), az élővilág történetének valaha élt legjelentősebb méretű tengeri teknősét az akár 6 méteres *Archelon*-t, mint a nála kisebb más moszaszaurusokat, pleszioszaurusz-féléket és tengeri krokodilokat (**514. ábra**). Sőt a tenger felszínén szálló repülő hüllőkre, madarakra is rátámadt (**515. ábra**), a mai fehér cápához hasonlóan a vízből hirtelen kivetődve húzta le a tenger felszínén repülő élőlényeket¹²⁷.



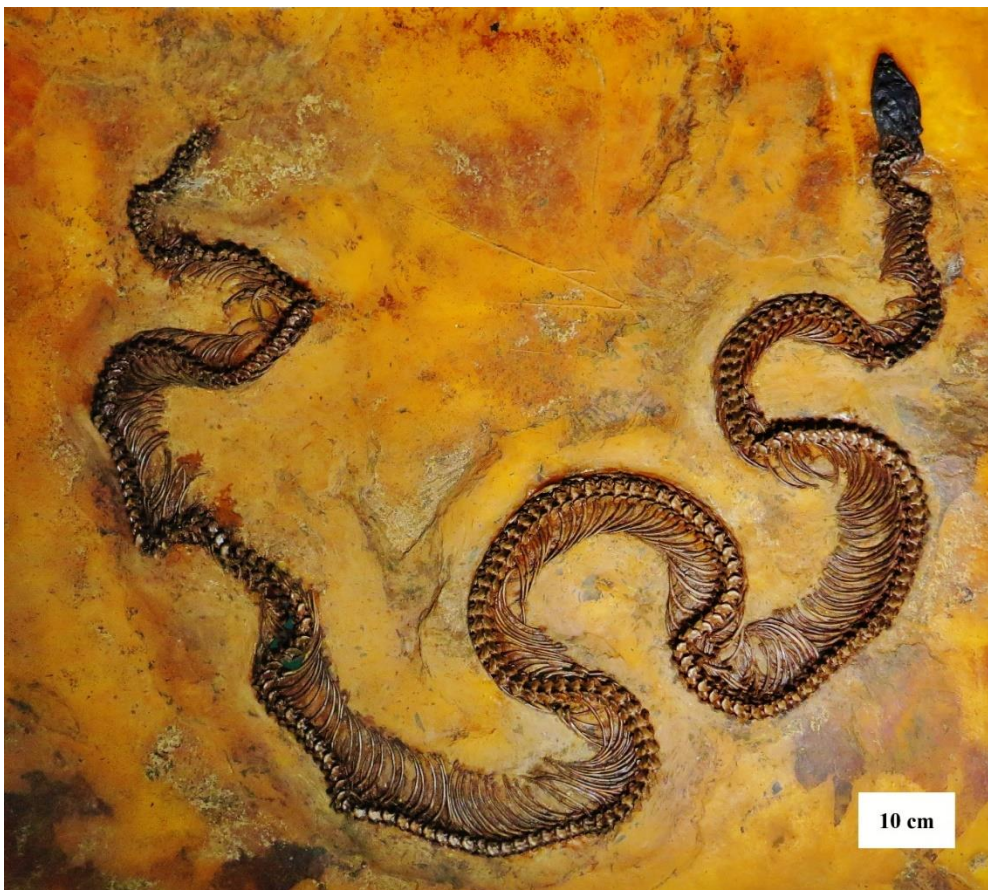
515. ábra Kréta időszaki Tylosaurus tengeri csúcsragadozó rekonstruált életképei, a korabeli cápákra támadó, és a tenger felszínén szálló repülő hüllőkre vadászó Tylosaurus (Forrás: wikipedia)

A *Tylosaurus* hatalmas mérete ellenére, időnként az egészen sekély vízbe is kicsapott, ahhoz hasonlóan, ahogy napjainkban a kardszárnyú delfinek fogják el a partra kifutva a parti sekély vízben lévő, vagy part mentén heverő fókákat. Amerikában több olyan szárazföldi növényevő *Hadrosaurus* taxonokhoz tartozó lábcsont maradványt is találtak, amelyen a *Tylosaurus* harapásnyomát

azonosították. Így az egykori tengerparti területeken, a vízben hűsölő nagy testű növényevő dinoszauruszokat is megtámadta a *Tylosaurus*.

4.6.44. *Serpentes (kígyók) alrendje*

Az ide sorolható taxonok teste megnyúlt, végtagjaik elcsökevényesedtek. Egyeseknél a medenceöv csökevényes formában megmaradt, elsősorban az óriáskígyóknál (pl. Boidae – *Palaeopython*: **516. ábra**). Az alsó krétától napjainkig ismertek óriáskígyó maradványok. Az eddig ismert legősibb kígyó a *Lapparentophis*, az algériai alsó krétából ismeretes. A Dél-Amerika felső krétájából ismert *Dinilyisia patagonica* már a Boidae család jellegeit hordozza magán. Európa paleogénjét általában a boa-félék, míg a neogént a siklófélék uralták. Ez utóbbiak legnagyobb része Ázsiából vándorolt Európába. A viperák a miocén időszakban jelentek meg Európában (*Macrovipera*, *Vipera*).



516. ábra A kréta időszokban kialakult *Paleopython* (őspiton) eocén időszaki messeli olajpalában fennmaradt ősmaradványa (Forrás: wikipedia)

A méregfogú siklók második alcsaládját a paleohidrológiai szempontból számításba vehető tengeri kígyók alkotják. Amennyire nehéz a többi kígyó taxont elhatárolni, éppen olyan könnyen megy a tengeri kígyóknál, mivel evezőfarkuk olyan szembetűnő ismertetőjel, hogy lehetetlen őket más fajokkal összetéveszteni. Felületes megtekintésre inkább hasonlítanak angolnászzerű halakhoz, mint kígyókhoz. A felső állkapocs fogzatát rövid, barázdás méregfogak és a hozzájuk csatlakozó kisebb, szintén barázdás fogak alkotják. Az alsó állkapocs egész hosszában tömör ragadozófogakkal van fegyverezve. A felső állkapocs megjelenése az idetartozó 9 nemzetségben nagyon különböző. Az egyik csoportban a két ragadozófog mögött még szilárd, barázdálatlan fogak helyezkednek el, és pedig a laposfarkúaknál (*Laticauda*) 1, az *Enhydirá*-n 2, a *Pelamydrus*-on pedig 7–8. A második csoportnál 4–18 olyan fogat mutattak ki, amelyek felül szintén barázdát viselnek, ezek egyenlő közökben követik a két méregfogat. Ebbe a csoportba tartoznak az evezőkígyó (*Distira*) és a *Hydrophis* taxonok. A vázban különösen a farkcsigolyák tövisnyúlványai figyelemreméltók, amelyek mind alul, mind fölül erősen meghosszabbodtak. A tengeri kígyók foghúsa sűrű vér-érhálózata következtében igen gazdagon el van látva vérrel. Ez az érhálózat hasonló módon szolgálja a vízben való lélegzést, mint egyes teknősök torkának vérerekben gazdag bojtos lebenyei¹²⁸.

4.6.45. *Archosauria* (uralkodó gyíkok) egyik osztága

A felső permben jelentek meg és virágkoruk a mezozoikumban volt. Jellegeik alapján ide sorolhatók a *Thecodontia*, *Crocodylia*, *Saurischia* és az *Ornithischia* rendek. Ma egyetlen rendjük él: a *Crocodylia*. Ez az egyetlen rend, amely paleohidrológiai szempontból számításba vehető (517. ábra). A madarakkal rokon, monofiletikus kapcsolatban álló rend, amelynek 30 taxonja, a tengerparti környezetben is megtelepülő bordás krokodil (*Crocodylus porosus*) kivételével, valamennyien édesvízi ragadozók. A Hátsó-Indiában, az Indonéz szigetvilágban, Mikronéziában, Polinéziában, és Észak-Ausztrália partvidékén elterjedt bordás

krokodil eredeti élőhelye a folyótorkolatok vidéke és a partvidéki mangrovemocsarak.



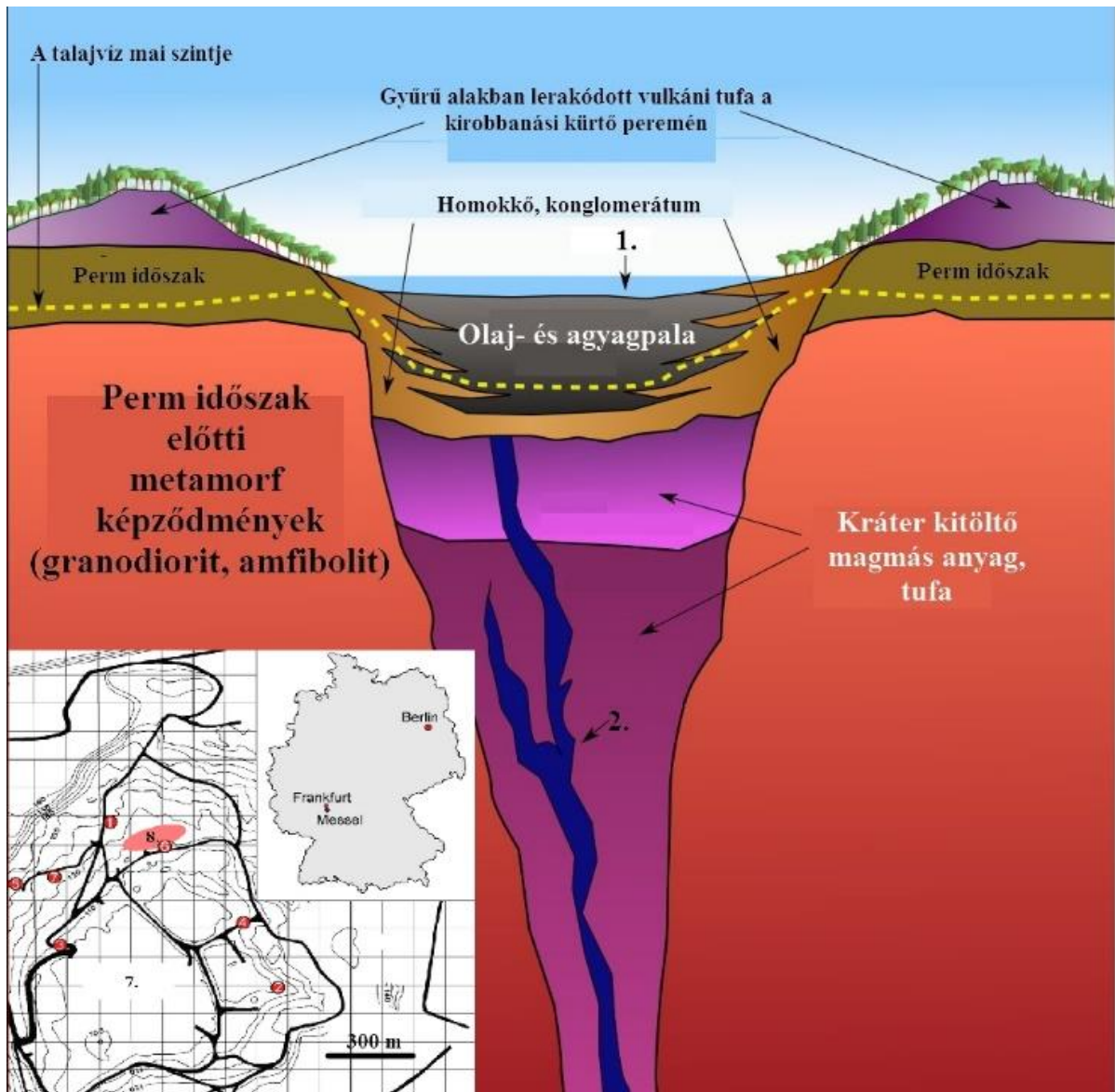
517. ábra Németországi Messelben, az eocén bitumenes olajpalában fennmaradt krokodil (*Crocodylia*) fosszilis csontváza (Forrás: wikipedia)

Többnyire a tengerpartok kevert jellegű, úgynevezett brakkvizében él, de kedveli az édesvizet is, a nagyobb folyókban a partoktól több kilométeres távolságban is megél, és előfordul az édesvízi tavakban, mocsarakban is. A legnagyobb méretű a krokodilok között a nílusi krokodil (*Crocodylus niloticus*), akár a 6–8 métert is elérheti, de leírtak már kivételes, 10 méteres és 1 tonnás példányokat is. A krokodilok ragadozók, mindenféle állati eredetű táplálékot felfalnak, sőt a dögöt sem vetik meg. Napközben a parton napoznak, hogy vérük felmelegedjék, inkább éjjel vadásznak, de ha van lehetőségük, nappal is zsákmányolnak. A krokodilok Európa és az Antarktisz kivételével minden kontinensen élnek.

A krokodil ősmaradányok több helyen előfordulnak, de az egyik legfontosabb és legismertebb lelőhelyük (csak úgy, mint harmadidőszaki, paleogén kétéltűeknek, kígyóknak, korai emlősöknek, madaraknak, bogaraknak, virágoknak) a Németországban található, az eocén időszaki Messeli lelőhely. Bár ez a fontos paleohidrológiai lelőhely elsősorban a harmadidőszaki korai emlős fauna fejlődése szempontjából kiemelkedő, de itt ismertetjük, mert a kígyók és a krokodilok faunája is kiemelkedő paleohidrológiai jelentőségű. Az eocén

időszakban Németországban két híres paleohidrológiai lelőhely alakult ki ekkor. A geiseltali barnakőszén medence Halle mellett, és az olajpala medence Messelnél, Darmstadt mellett. Mindkét telep édesvízi eredetű, és lerakódásuk után a rétegsor nem folytatódik tovább, mivel Németország jelentős része a harmadidőszak folyamán szárazföld volt, így lepusztulás jellemezte. A két lelőhely, bár azonos korú, mégsem hasonlítható össze egymással. Halle mellett egy lokális süllyedékben jelentős kiterjedésű lápos terület képződött, amely a déli irányból érkező folyók vizét gyűjtötte össze. Ez a helyzet hosszan fennállott, így a nedves, trópusi, magas vízállású környezetben zajló kőszénképződés az egész középső eocén kort átfogta, sőt még a felső eocénbe is átnyúlt. A geiseltali barnakőszén medencének az alapkőzete triász időszaki kagylós mészkő (Muschelkalk) volt, amely az agresszív huminsavakat semlegesítette, ezért a növényi és az állati eredetű ősmaradványok kiváló megtartásúak maradhattak. A maradványok alapján kiváló paleohidrológiai elemzéseket lehetett végezni az eocén időszakra, a geiseltali eocén édesvízi képződményekre vonatkozóan.

Messeli lelőhely (bánya) földtani környezete a geiseltali bánya geológiai adottságaitól teljesen eltért. A jura tenger visszavonulása után már az egész kréta időszak alatt Dél-Németország legnagyobb része kiemelkedett szárazföld volt. Ennek nyomán a felszínen lévő triász és jura kőzetek sok helyen lepusztultak. Ez volt a helyzet az Odenwald hegység északi részén, Messel környékén is. A kristályos alapkőzet fölött már csak a perm időszaki ún. „vörösfekű” réteg (Rotliegend) bemosódott üledékes anyagai, homokkő, konglomerátum kőzetek húzódtak, és arra rakódtak rá az eocén tavi rétegek. A perm időszaki vörösfekű kőzet nagy mennyiségben tartalmaz savanyú (riolitos) vulkáni kőzeteket is. Az ún. „*Messel Formáció*” csak elszigetelt foltokban található, és nem fedi le teljesen a fekjét.



518. ábra A németországi Messelben kialakított eocén időszi barnaszenet, majd olajpalát, agyagpalát fejtő szén- és kőbánya, és eocén ősmaradványokat tartalmazó, feltöltődött egykori krátertő rétegeinek és környezetének földtani keresztmetszelve (Forrás: wikipedia) 1 = a krátertő egykori vízszintje, 2 = $Ar40/Ar39$ kora a krátert kitöltő magmás anyagban kifejlődött bazalt dyke (47,8 +/- 0,2 millió év) és a terület elhelyezkedése, a bánya szintvonalas térképével (1-6 = legfontosabb korai emlős lelőhelyek, 7 = a bánya központja, 8 = ún. „teknős” domb)

Maga az eocén időszi *Messel Formáció* vulkáni krátertavakban alakult ki (518. ábra). Így a paleohidrológiai lelőhelynek azt a típusát képviseli, amely vulkánkitöréssel keletkezett. A messeli bányát először barnakőszén bányászat céljából nyitották meg 1859-ben, majd a szénréteg kimerülését követően áttértek a területen található olajpala fejtésére. Az ősmaradványok intenzív gyűjtése

1900-ban kezdődött, és akkor terjedt el, amikor az olajpala ára lecsökkent, és a bányát gazdasági okok miatt részlegesen bezárták 1971-ben. Majd 1972-ben egy cementgyárat építettek a bányában, és elkezdték szeméttel feltölteni a bánya mélyedését. Ezt a folyamatot zárta le Hessen tartomány vezetése, amikor megvásárolta a bányát 1991-ben, hogy a tudományos célú gyűjtést és munkát támogassa. Az UNESCO 1995-ben nyilvánította világvédelem alá a bányát, és a gyűjtőhelyet, amely jelenleg magánvállalkozásként, tudományos célból üzemel.



519. ábra Eocén időszi rágcsáló, Masillamys teljes testmaradványa a messeli eocén rétegekből (Forrás: wikipedia)

A bányaudvar és gyűjtési terület majd egy négyzetkilométer kiterjedésű (518. ábra) és a tavi rétegsor, a tó fenekén anoxikus körülmények között felhalmozódott eocén olajpala 13 méteres vastagságú rétegösszletben maradt fenn a fekvő perm időszi rétegek felett. Az euxin fáciesű tavi rétegsorban olyan jelentős számú, közte vízi élőlények ősmaradványai maradtak fenn, hogy ez alapján azt feltételezték, hogy nem csak a meredek partról a tóba csúszott és belefulladt élőlények fosszilis fennmaradásáról lehet a messeli lelőhelynél szó. Mivel a krátertó vulkanikusan aktív területen helyezkedett el a Rajna árok geológiai rendszerében, ezért felmerült, hogy egy szokatlan paleohidrológiai helyzet alakulhatott ki a messeli krátertóban az eocén időszak folyamán. A különleges paleohidrológiai helyzetet az egykori kürtőből, az egykori

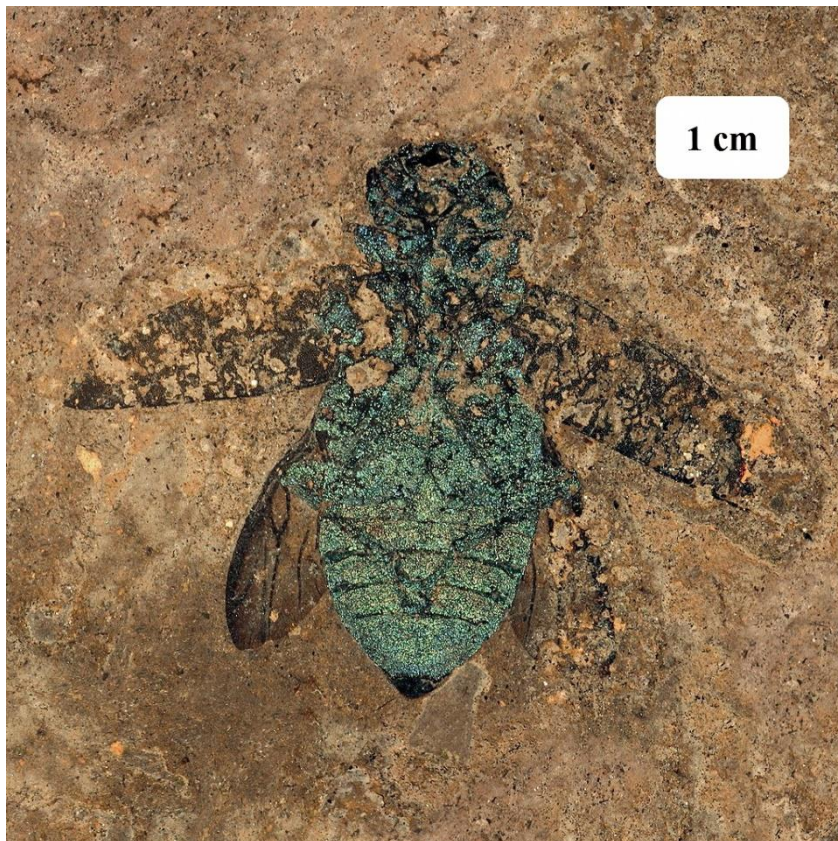
magmakamrából feláramló széndioxid és kénhidrogén gázok okozhatták, amelyeknek a feltörései nyomán ciklikusan a vízi és a vízparti környezetben lévő élőlények megfulladhattak, és tetemük felhalmozódott az eocén időszak tavi rendszerben.



520. ábra Eocén időszaki denevér, Palaeochiropteryx tupaiodon teljes testmaradványa a messeli eocén rétegekből (Forrás: wikipedia)



521. ábra Ősi sügér, a *Palaeoperca proxima* teljes testfossziliája, test körvonalának lenyomatával a messeli eocén rétegekből (Forrás: wikipedia)



522. ábra Eocén időszaki díszbogár, Buprestidae az eredeti színében a messeli rétegekből (Forrás: wikipedia)

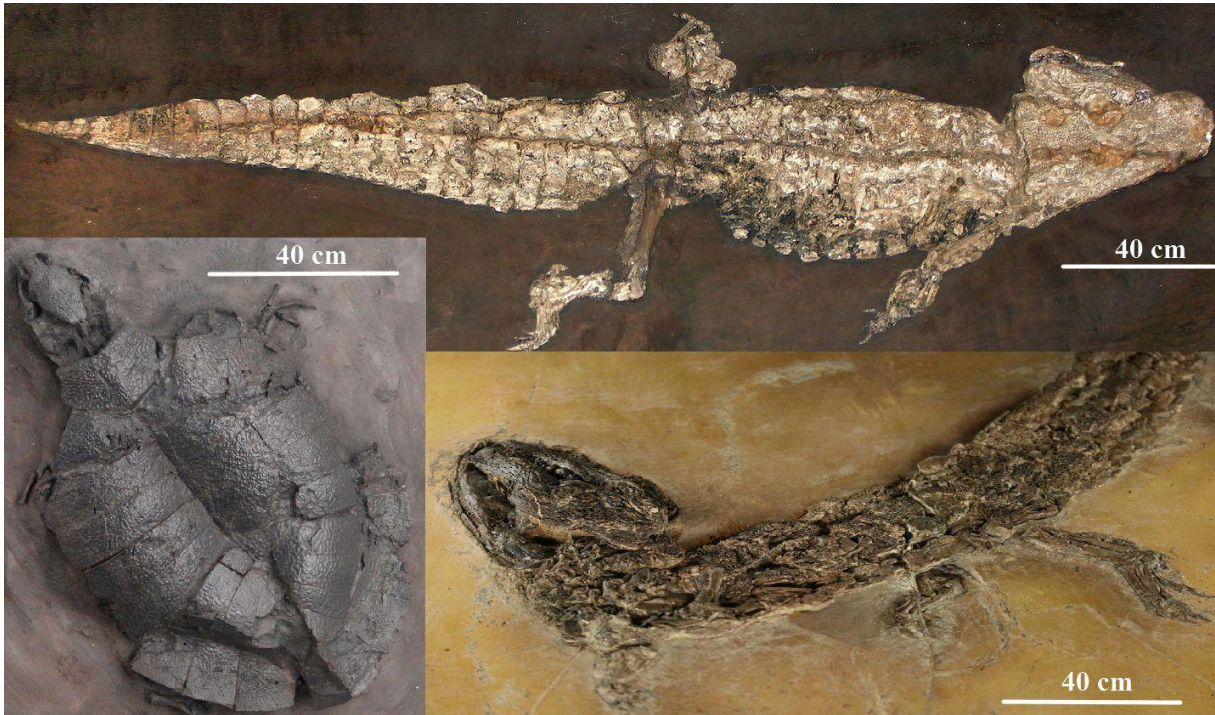


523. ábra Eocén időszaki, a legelső lófélékhez tartozó vemhes Eohippus messeliensis kanca magzattal együtt fosszilizálódva a messeli rétegekből (Forrás: wikipedia)



524. ábra Eocén időszaki vízi, vízparti fosszilis ökoszisztéma paleohidrológiai rekonstrukciója a színesen is megmaradt ősmaradványok nyomán (Forrás: wikiwand)

A tófenéken felhalmozódó finomszemű üledék, az anoxikus környezetben kialakult lebontók nélküli aljzat, a jelentős szervesanyag-tartalom megvédte a tetemeiket a teljes lebomlástól és ez a lassú üledékképződéssel (0,1 mm/év) együtt kiváló fosszilizációs környezetet biztosított (519. és 520. ábra) az eocén időszakban.



525. ábra Édesvízi teknősbéka és krokodil maradványok a messeli eocén rétegekből (Forrás: wikipedia)

Így mind a vízi (521. ábra), mind a szárazföldi (522. ábra) élővilág elemei tömegesen maradhattak meg, teljes testfosszília állapotban (523. ábra) és ezeknek az elemzésével szinte teljes paleohidrológiai képet rekonstruálhatunk a messeli eocén időszakai tavi és tóparti mocsári környezetről (524. ábra). Ezek közé tartoznak a mezozoikum során kialakult, de a paleogén, közte eocén időszakban is elterjedten jelentkező krokodil és teknős taxonok maradványai is (525. ábra).

A messeli eocén időszakai krátertóban zajlott vízi és szárazföldi élőlények egykori fulladását okozó szén-dioxid és kén-hidrogén feláramlást a kameruni Nyos krátertó (526. ábra) felfedezése és megfigyelése során lehetett bizonyítani.

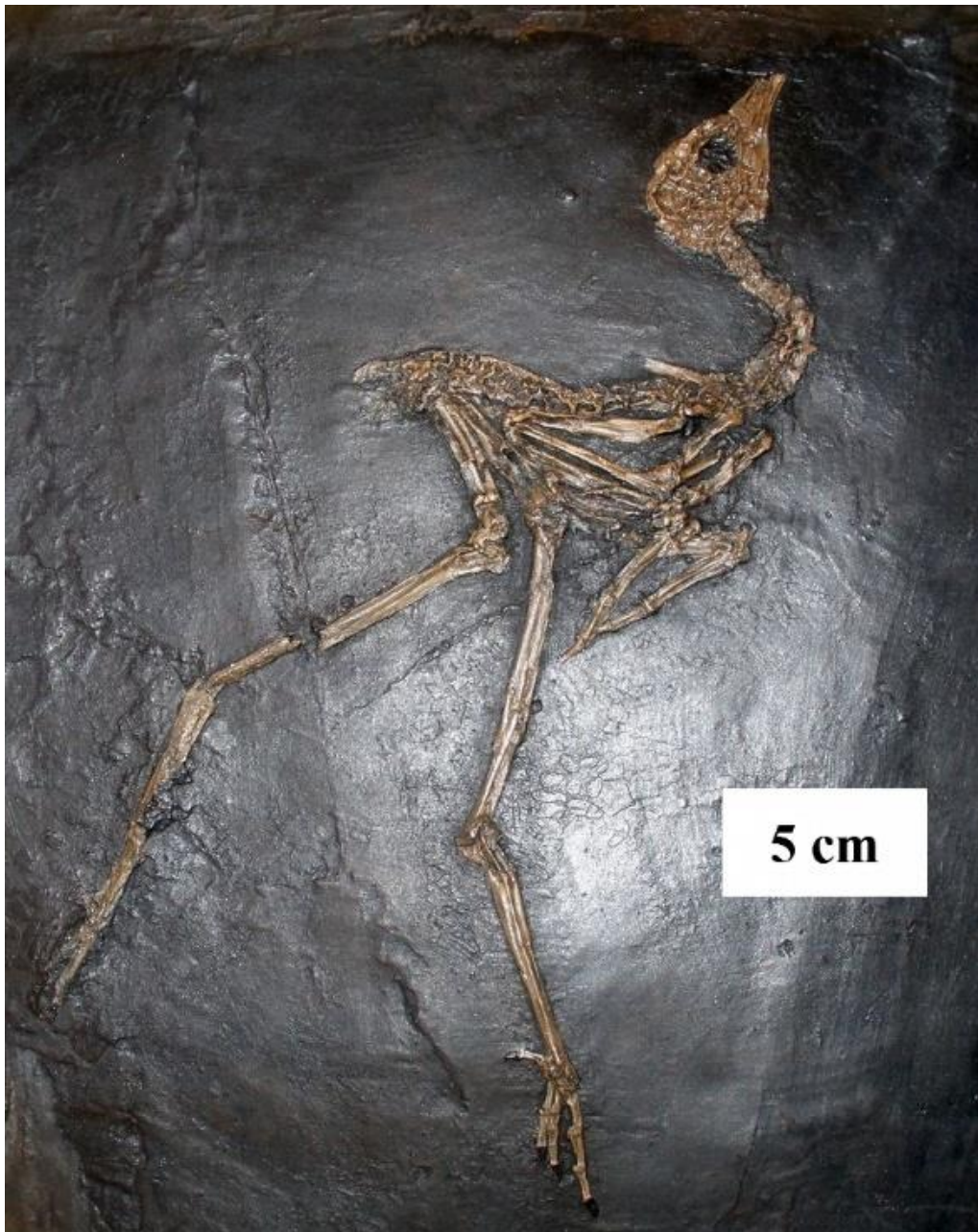
1986-ban a magma-kamrából hirtelen jelentős mennyiségű széndioxid áramlott fel a tóba és a felszínen szén-dioxid felhő terült szét, megfullasztva a tó környékén az élővilág számtalan egyedét, közte 1740 embert a tó környéki falvakban és városokban. Hasonló, a paleohidrológiai adatok alapján ciklikusan megjelenő folyamatot feltételeznek az eocén időszak messeli krátertő esetében is. Valószínűsíthető, hogy a messeli rétegekben feltárt denevérek és madarak (527. ábra) is ezeknek a váratlanul feltörő szén-dioxid felhőknek eshettek áldozatul az eocén időszakban.



526. ábra Napjainkban széndioxidot (és kénhidrogént), közte gyilkos széndioxid felhőt kibocsátó kameruni Nyos krátertő (Forrás: wikipedia)

A messeli lelőhelyről előkerült és paleohidrológiai szempontból is kiemelkedő ősmaradványok döntő részét tematikus formában a frankfurti Senkenbergi Múzeumban állították ki. Bár jelenleg a messeli lelőhelyen döntően magánvállalkozásban szervezett tudományos gyűjtés zajlik, de egy látogatóközpontot is kialakítottak a lelőhelyen. Így a messeli lelőhely és az

előkerült leletek közvetlenül tanulmányozhatóak a látogatóközpontban, illetve a múzeumban.



527. ábra Eocén időszi madár, egy korai bölömbika (Messelornis) maradványai a messeli krátertóban lerakódott rétegekből (Forrás: wikipedia)

Bár az egykori hüllő csoportok között még több olyan taxon is előfordult, amelyek vízi környezetben éltek, de a fentebb bemutatott taxonok döntően lefedik a paleohidrológiai rekonstrukciókban felhasznált maradványokat. Így ennél részletesebben a hüllők paleohidrológiai jelzőszerepével nem foglalkozunk könyvünk keretében.

Ellenőrző kérdések:

16.1. Ismertesse a kétéltűek (Amphibia) paleohidrológiai jelzőszerepét.

16.2. Ismertesse csupasz kétéltűeket (Lissamphibia) paleohidrológiai jelzőszerepét.

16.3. Ismertesse a mexikói axolotl (Ambystoma mexicanum) jellegzetességeit és ősi alakjainak paleohidrológiai jelzőszerepét.

16.4. Ismertesse óriás szalamandrafélék (Cryptobranchidae) paleohidrológiai jelzőszerepét.

16.5. Ismertesse a hüllők (Reptilia) paleohidrológiai jelzőszerepét.

16.6. Ismertesse a teknősök (Testudines) paleohidrológiai jelzőszerepét.

16.7. Ismertesse a legnagyobb méretű tengeri teknős környezeti és időkeretét.

16.8. Mi a Placohelys placodonta? Mikor és milyen környezetben élt?

16.9. Hol és milyen korú rétegekben tártak fel Magyarországon kavicsfogú álteknős (Placohelys placodonta)?

16.10. Ismertesse a halgyíkok (Ichtyosaurus) jellegzetességeit és paleohidrológiai jelentőségét.

16.11. Ismertesse a Nothosaurus és Plesiosaurus jellegzetességeit és paleohidrológiai jelentőségét.

16.12. Ismertesse a Tylosaurus jellegzetességeit és paleohidrológiai jelentőségét.

16.13. Ismertesse a kigyók (Serpentes) jellegzetességeit és paleohidrológiai jelentőségét.

16.14. Ismertesse a krokodil (*Crocodylia*) rend jellegzetességeit és paleohidrológiai jelentőségét.

16.15. Ismertesse a Messel lelőhely tér és időkereteit, környezetét.

16.16. Ismertesse a Messel lelőhely paleohidrológiai hátterét.

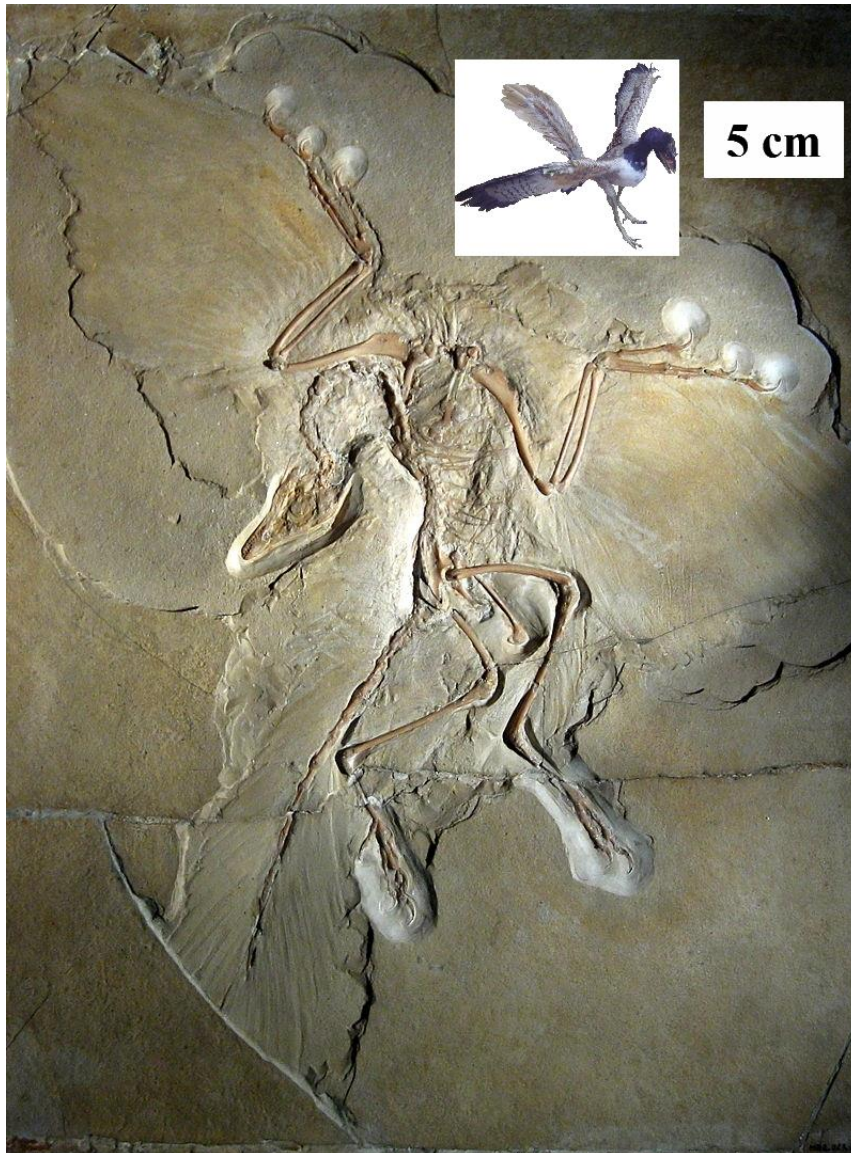
4.6.46. *Aves (Madarak) osztálya*

A madarak testét toll fedi, amely a gerincesek epidermiszének legsajátosabb formája. A toll a hüllők pikkelyével homológnak tekinthető, bár a két képződmény között átmeneti formát nem találtak. A központi idegrendszerük rendkívül fejlett. A madarak előagyának agyféltekéi ráborulnak a középagyukra. A kisagy terjedelmes. Az agyból 12 pár, az egész testük irányítását végző agyideg indul ki. A madarak látása nagyon fejlett, több olyan anatómiai elemmel rendelkeznek, amely egyedülálló az élővilágban, mint például a keselyű szemének felépítése. A szemet elcsontosodott scleragyűrű védheti. A hallás és a szaglás kevésbé fejlett. A madarak fogazatát csőr helyettesíti. Szívük négyüregű, keringésük zárt, testhőmérsékletük állandó. Kiválasztószervük a kloákába nyíló utóvese. Húgyhólyagjuk nincs. A madarak csontvázára a pneumatikus felépítés és a csontok összenövése jellemző, amely könnyebbé és szilárdabbá teszi a vázat. A quadratum mozgathatóan (két fejjel) ízesül az agykoponyához. Az ethmoideum (külső rostacsont) és a mesethmoideum (középső rostacsont) között szintén mozgatható ízesülés fejlődött ki. A postfrontale (hátsó homlokcsont) és a postorbitale (szemgödör mögötti csont), valamint az ectopterygoideum (külső röpcsent) hiányzik. Nincs parietális (fali - falcsonti) nyílásuk. Az orbitális (homlok) nyílás előtt a dinoszauruszokra emlékeztető preorbitális (előhomloki) nyílást találunk, míg az orbitális nyílás mögötti halántékarok a diapsid típusú koponya halántéklakainak felel meg. A középfülben egy hallócsont van, a columella. A koponya egyetlen ízületi bütyökkel kapcsolódik a gerincoszlophoz. A nyakcsigolyák száma 9-23 között változhat¹²⁹. A csigolyák heterocoel (nyeregszerű) ízesülésűek. A hátcsigolyák száma 3-10. A keresztcsigolyák

száma 1-3, amelyek synsacrummá (keresztcsonttá) nőnek össze. A faroktájéki csigolyák részben szabadok, részben pygostyllé (farktőcsonttá) nőnek össze. Ez utóbbihoz a faroktollak mozgathatóan kapcsolódnak. A bordák két fejjel ízesülnek a csigolyákhoz. A bordáknak két, egymáshoz képest mozgatható szegmense van (vertebralis és sternalis), amely lehetővé teszi belégzéskor a mellkas kitágulását. A mellcsont kidomborodik, amelyen a jól repülő csoportoknál kiemelkedő carina (taréj) van. A futómadaraknál ez utóbbi visszafejlődhet. Egyes paleohidrológiai szempontból kiemelkedő jelentőségű csoportoknál (vízi madarak) a mellcsonthoz hátul metasternum (mellvég) kapcsolódhat. A vállövben a kulcscsontok elől furculává nőhetnek össze. A humerus (felkarcsont) rövid és fejlett, míg az alkarcsontok közül az ulna (singcsont) fejlettebb (ez a tollak megtapadására alkalmas csomósor visel). A carpus (csüd) összenő a metacarpussal (lábközép csonttal), így összefüggő carpometacarpus csontot alkotnak. Az első metacarpus rövid, míg a második és a harmadik hosszú. Ezekhez összesen három ujj kapcsolódik (a 4. és 5. ujj hiányzik). A medenceöv csontjai szorosan összeforrtak egymással és a synsacrummal (keresztcsonttal). A pubis (szeméremcsont) hátrafelé irányul és párhuzamos az ischiummal (ülőcsonttal). A femur rövid és erős. A tibia (lábszárcsont) hosszú és fejlett, míg a fibula (lábszárcsont) csökevényes. A proximális (végtagnak a testhez közelebb eső része) lábtőcsontok a tibiával (tibiotarsus), míg a disztális lábtőcsontok a proximalis lábközépcsontokkal nőttek össze (tarsometatarsus). A hátsó végtagon négy ujj van. Az ötödik ujj visszafejlődött.¹³⁰

A madarak az Archosauriáktól, a hüllők egyik csoportjától származtathatók, legközelebbi rokonaik a krokodilok. Őseik feltehetően valamely *Saurischia* (*Theropoda*) csoportban keresendők. Egyik első képviselőjük, az *Archaeopteryx*, a solnhofeni felső jurából ismeretes (**528. ábra**). A jelenlegi uralkodó őslénytani álláspont szerint az *Archaeopteryx* a felső jurakori, 146-151 millió évvel ezelőtt élt primitív madár volt, amelynek valamennyi fosszíliáját a németországi

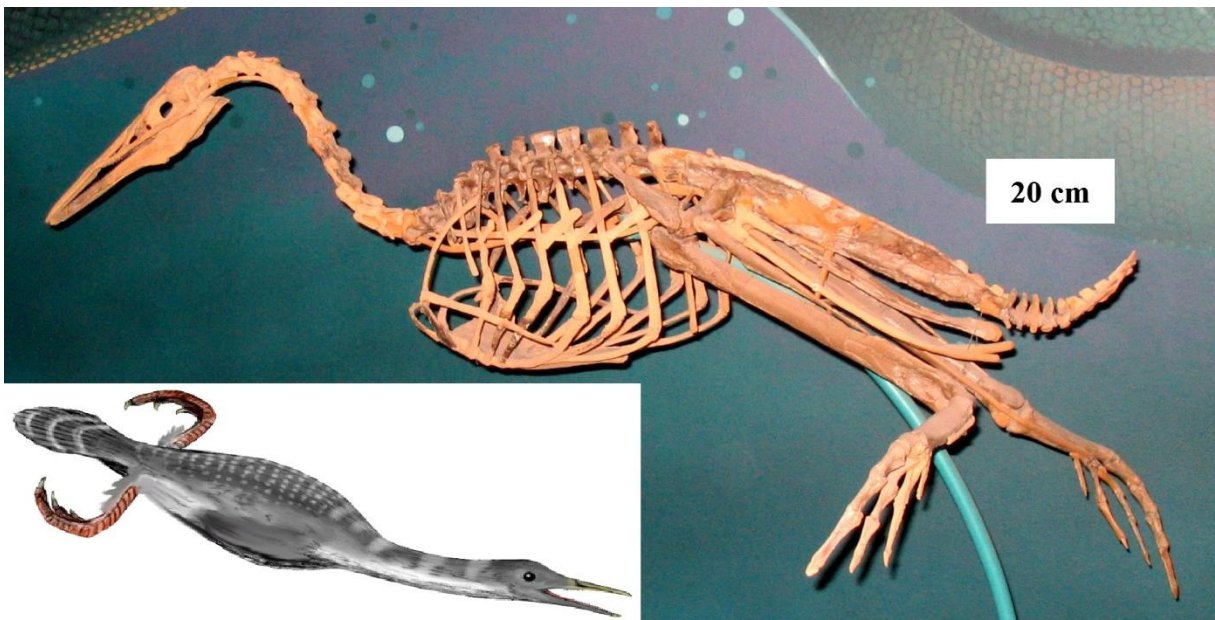
solnhofeni litográf palában tárták fel. E tény miatt többször is felmerült, hogy a leletek hamisítványok és ezért többször megvizsgálták a leleteket a British Múzeum vezetésével, és az adott időszakban legmodernebbnek tartott technikákkal igazolták, hogy a leletek fosszilisak és eredetiek.



528. ábra Az első madarak egyike *Archaeopteryx* a felső jurakori solnhofeni litográf palából, a berlini természettudományi múzeumban kiállítva és rekonstrukciós festménye (Forrás: wikipedia)

A legutóbbi ilyen átfogó vizsgálat 1987-ben történt. *Archaeopteryx* tollairól viszonylag kevés információval rendelkezünk, de szerkezeti és formai azonosságok nyomán hasonlóak lehetettek, mint a mai madarak tollai. Több, a mai madarakhoz való hasonlóság ellenére az *Archaeopteryx* több tetrapoda

hüllőkre jellemző tulajdonsággal is rendelkezik. A mai madarak többségétől eltérően apró fogaik voltak és hosszú csontos farkuk, mint a jura időszaki dinoszauruszoknak. A farokcsigolyák összeforrásának és farkcsíkká alakulásának még nincs nyoma, azonban mind a 23 farokcsigolya csigolyanyúlványai rövidek, ellentétben a theropodákkal. *Archaeopteryx* méretben és külsőben a mai szarkákra hasonlíthatott. Széles, lekerekített végű szárnyaik voltak és hosszú farkuk. Legfeljebb fél méteres hosszúságúra nőhettek. A tollai a mai madarak repüléshez használt tollára hasonlítanak és ennek alapján repülhettek. Bár ez utóbbi esetén felmerült, hogy elsősorban siklórepülést végeztek, Egyébként hüllőszerűek voltak, állkapcsukban éles fogakkal, hosszú csontos farkkal és három ujjal, amelyek meghajlott karomban végződtek. Természetesen az *Archaeopteryx* mellett ismeretesek még korai madár taxonok, elsősorban a kínai leletek kiemelkedők ebben a kérdéskörben. A jelentős számú lelet ellenére a madarak korai fejlődése, kialakulása területén még igen jelentős számú kérdés maradt és átmenetük a hüllők és madarak között mind máig tisztázatlan.



529. ábra Az első vízimadarak egyikének, a *Hesperornis* kréta időszaki taxonnak a csontváza és rekonstrukciós festménye (Forrás: wikipedia)

A madarakat két alosztályba szokták sorolni: a “gyíkfarkú” madarakat (pygostyl [farktőcsont] nélkülieket) a *Sauriurae* alosztályba (*Archaeornithes*, *Enantiornithes* infraclassis = alosztályág), míg a “madárfarkú” madarakat az *Ornithurae* alosztályba (*Odontoholcae*, *Neornithes* infraclassis = alosztályág). A madarak alosztálya (infraclassis) közül az első három (*Archaeornithes*, *Enantiornithes*, *Odontoholcae*) még a mezozoikumban kihalt, míg a negyedik alosztályág az újmadáralkatúak (*Neornithes*) a kainozoikum folyamán fejlődött ki és a pliocénben érték el virágkorukat (akmójukat).

A kihalt madarak között már megjelentek azok a taxonok, amelyek már alkalmazkodtak, vagy alkalmazkodásnak indultak a vízi életforma felé. Ezek között az egyik legfontosabb az *Ornithurae* alosztály *Odontoholcae* alosztályágához (infraclassis) sorolható, kihalt, mintegy 1,8 méter magas kifejlődésű *Hesperornis* genus, amely a kréta időszakban terjedt el (**529. ábra**). Koponyája hosszú és keskeny volt, a felső állkapcsában kisméretű fogakkal. A csigolyák heterocoel (nyeregszerű) típusúak és a faroktájékon nem nőttek össze pygostyllé (farktőcsonttá). Nem rendelkezett furculával (kulccsont) és a mellső végtag csökevényes volt. Hosszú lábai úszóhártyában végződtek, a madár szárnya kisméretű volt, amelyet a merülés közben irányváltoztatásra használt. A *Hesperornis* tengeri madár ragadozó életmódot folytatott és rövid merülései során halakkal, ammoniteszekkel és ősi fejlábúakkal táplálkozhatott. A *Hesperornis* ideje legnagyobb részét a vízfelszínén úszva töltötte, úszás közben gyors volt. Nagy távolságokat volt képes megtenni úszva és hullámon „utazva”. A *Hesperornis* a meleg vizeket kedvelte, a szárazra csak szaporodási célból jött ki. A lábai nem tudták fenntartani a testét a szárazon, ezért hason csúszott, amikor a fészkehez ment. Mivel a szárazon alig tudott járni, így könnyű zsákmánynak bizonyulhatott, ezért a fészkelő helyeket elérhetetlen szikla kiszögelésekben alakította ki, és nagy egyedszámú költő kolóniákban gyűlt össze – a jelentős számú madár az együttes tömegével védekezett a ragadozók ellen. A *Hesperornis* példányait a vízben elsősorban a cápák, pleziosauruszok, a

szárazföldön a ragadozó dinoszauruszok, és a repülő gyíkok (pteroszauruszok) vadászták le. A trópusi területeken ma is elterjedt galápagosi pinvinekhez hasonló életmódot folytathattak. A kréta időszakban 80 millió év körül alakult ki a *Hesperornis* genus és 65 millió évvel ezelőtt a kréta végi nagy kihalási hullámban tűnt el.

Neornithes – újmadárszabásúak a kainozoikum kezdetén fejlődtek ki, és diverzitásuk folyamatosan növekedett egészen a pliocén időszakig, majd a negyedidőszaki ciklikus éghajlati változások során visszaszorultak, diverzitásuk csökkenni kezdett. Legerőteljesebb visszaszorulásuk második lépése a vadász–halász–gyűjtögető életmódot folytató közösségek megjelenésével a felső paleolitikum végétől, a mezolitikum és a neolitikum kialakulásával indult meg, de a legjelentősebb taxon- és egyedszám csökkenés a Krisztus utáni XX. század második felében játszódott le. Jelenleg a madár fajok, így a vízi madár fajok is az ember okozta környezetszennyezés, és élőhely megsemmisítés következtében a tömeges kihalás peremére jutottak. Óvatos becslés alapján az ismert madárfajoknak fele, közte a vízimadarak jelentős része kihalt az elkövetkező 50-100 év folyamán.

Napjainkban a madarak a Föld szinte valamennyi életterén megtalálhatók, a magashegységektől kezdve egészen a nyílt tengerekig. Ismertek fajok, amelyeknek – a kotlás kivételével – minden élettevékenysége a levegőhöz kötődik, más fajok röpképtelen futómadarak, számos faj tipikus vízimadár, némelyik 80 méter mélységbe is lemerülhet. Vonulás közben akár 10 000 méter magasságig is emelkedhetnek, kihasználva a ritka levegő kisebb ellenállását. Ez a rendkívüli diverzitás a mezozoikum végén lezajlott hulló uralta élővilág bukásához, és ezzel párhuzamosan az emlősök és madarak felemelkedéséhez köthető és mintegy 70 és 60 millió évek között kezdett kialakulni.

A vízi madarak egy részének kifejlődése is ehhez a változáshoz kötődik, de ez megelőzte a kréta időszak végi nagy kihalási hullámot, vagyis kialakulásuk már a kréta időszak során megkezdődött. Ugyanakkor tudnunk kell, hogy mind az új,

szinte naponta közölt genetikai elemzések és az egyre jelentősebb mennyiségű őslénytani anyag alapján folyamatosan formálódik a madarak, közte a vízimadarak osztályozása és szinte naponta sorolják át a kutatók az egyes elképzelések szerint a rendeket és taxonokat. A paleohidrológiai változások és rekonstrukciók szempontjából alapvető ősmaradványok ehhez képest jóval stabilabb megközelítéssel, és átgondoltabb, döntően formai és anyagvizsgálati alapú revízióval rendelkeznek. Az őslénytani alapú modellek, besorolások az átgondoltabb változtatásaikkal sokszor (látszólag) szembe kerülnek a gyorsan változó biológiai megközelítésekkel.

A *Neornithes* – újmadárszabásúak alosztályát két öregrendbe bontják a taxonómiai elemzések döntő részében. Az egyik öregrendet a futómadár-szabású (*Palaeognathae*, vagy más néven *Ratitae*) taxonok alkotják – nincsenek köztük vízimadarak. Így paleohidrológiai szempontból teljesen irreleváns öregrendet alkotnak.

A másik öregrend ágat a tarajos szegycsontúak (*Neognathae*) alkotják, amelyek viszont kiemelkedő jelentőségű vízimadarak – a paleohidrológiai elemzések szempontjából is –, mivel igen jelentős számú vízi életmódhoz alkalmazkodott taxont fog össze. A vízi madarak egyik legfontosabb klád ágát az *Aequorlitorornithes*, azon belül is *Aequorornithes* taxonok alkotják. Ide tartozik szinte az összes, vízi életmódhoz adaptálódott madár. Ezen taxonok közül a legősibb csoportot és a legteljesebb vízi élethez alkalmazkodott taxonokat a pingvinalakúak (*Sphenisciformes*) rendjében találhatjuk. Ez a rend a vihardar-alakúak rendjével együtt az *Austrodyptornithes* csoportot alkotja, de a két rend szétválása még a kainozoikum kezdetén, mintegy 60 millió évvel ezelőtt megtörtént. A pingvinalakúak (*Sphenisciformes*) rendjéhez egyetlen család a pingvinfélék (*Spheniscidae*) tartoznak. A pingvinek kialakulása, fejlődésük felgyorsulása a kréta időszak végén indulhatott meg, és akkor válhatott el a fejlődésük a legközelebbi rokonaiknak, az albatrosznak és a vihardaroknak az ősi csoportjaitól. A pingvineknek az albatroszokkal,

viharmadarakkal közös ősei valószínűleg a gödényalkatúak (Pelecaniformes) rendjében keresendő a genetikai elemzések és a fossziliák alapján.

A mai értelemben vett pingvinek kialakulása az eddigi fosszilis leletek nyomán közvetlenül a mezozoikum végén lejátszódott nagy kihalási hullám után, mintegy 66 millió éve, a paleogén időszakban kezdődött el, ekkor veszíthették el röpképességüket, és alkalmazkodtak a vízi életmódhoz.



530. *ábra* Új-Zélandi Waipara folyó mentén feltárt óriás waiparai pingvin (*Crossvallia waiparensis*) csontváza és a csontváz részei (Forrás: <https://www.delmagyar.hu/ország-vilag/dobbenetes-felfedezes>) 1 = jobb láb, 2 = bal láb, 3 = gerincoszlop, 4 = jobb szárny, 5 = bal szárny

Az új-zélandi Déli szigeten, Otago és Canterbury tartományokban, illetve a Chatman-szigeteken (a Déli szigettől keletre) a paleocén időszak végén, harmadidőszak kezdetén lerakódott rétegekben előkerült korai pingvin maradványok segítettek megérteni. Ezek közé tartozik a megközelítőleg 66 és 56 millió évek közötti rétegekben feltárt, jelenlegi kronológiai megközelítés alapján mintegy 61 millió évesnek tartott óriás waiparai pingvin (*Crossvallia waiparensis*) csontváza is (530. *ábra*). Ennek első maradványait amatőr paleontológusok találták meg 2018-ban. Majd a német és új-zélandi paleontológusok tártak fel jobban megmaradt csontmaradványokat az új-zélandi

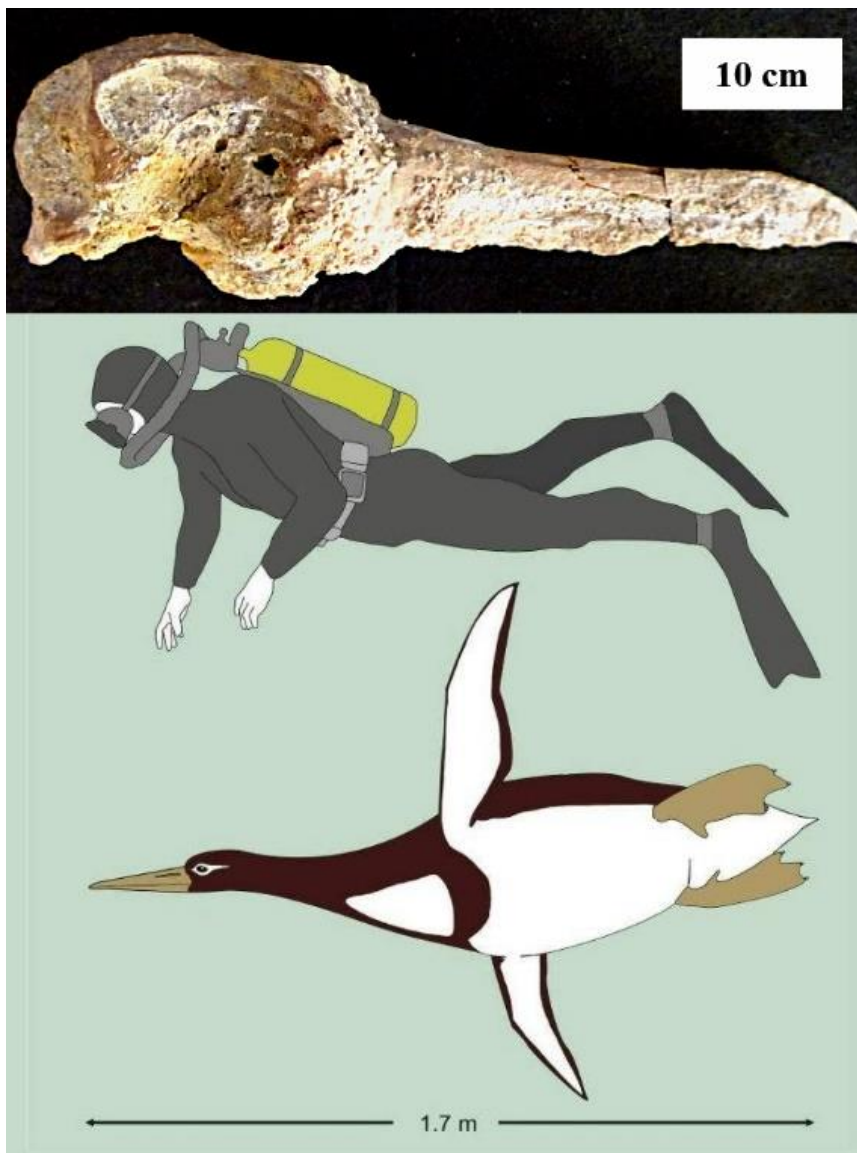
Déli szigeten, Canterbury tartományban, a Waipar folyó által feltárt paleocén rétegekben (nem messze attól a helytől, ahol a Földtani és Őslénytani Tanszék és a Lincol Egyetem közös földtani és őslénytani feldolgozást végez 2014 óta). Az óriás waiparai pingvin (*Crossvallia waiparensis*) 160 cm nagyságú lehetett, és testtömege elérte a 80 kilogrammot. Valószínűsíthető, hogy kialakulásuk közvetlenül a mezozoikumban uralkodó hullók kihalását követően következett be (531. ábra), de nem zárható ki, hogy a kréta időszak végén már megindult a pingvinek gyors evolúciója és adaptív radiációja.



531. ábra Művészi elképzelés a kréta végi/harmadidőszak kezdeti hatalmas paleohidrológiai változásról, az utolsó tengeri óriáshüllő kipusztulásáról, és az óriás méretű pingvinek uralmának kezdetéről a paleocén időszakban, a világtengerek parti zónájában, Új-Zéland szigetein (Forrás: National Geographic: <https://www.nationalgeographic.com/news/2012/2/120227-new-giant-penguins-species-science-ksepka-new-zealand/>)

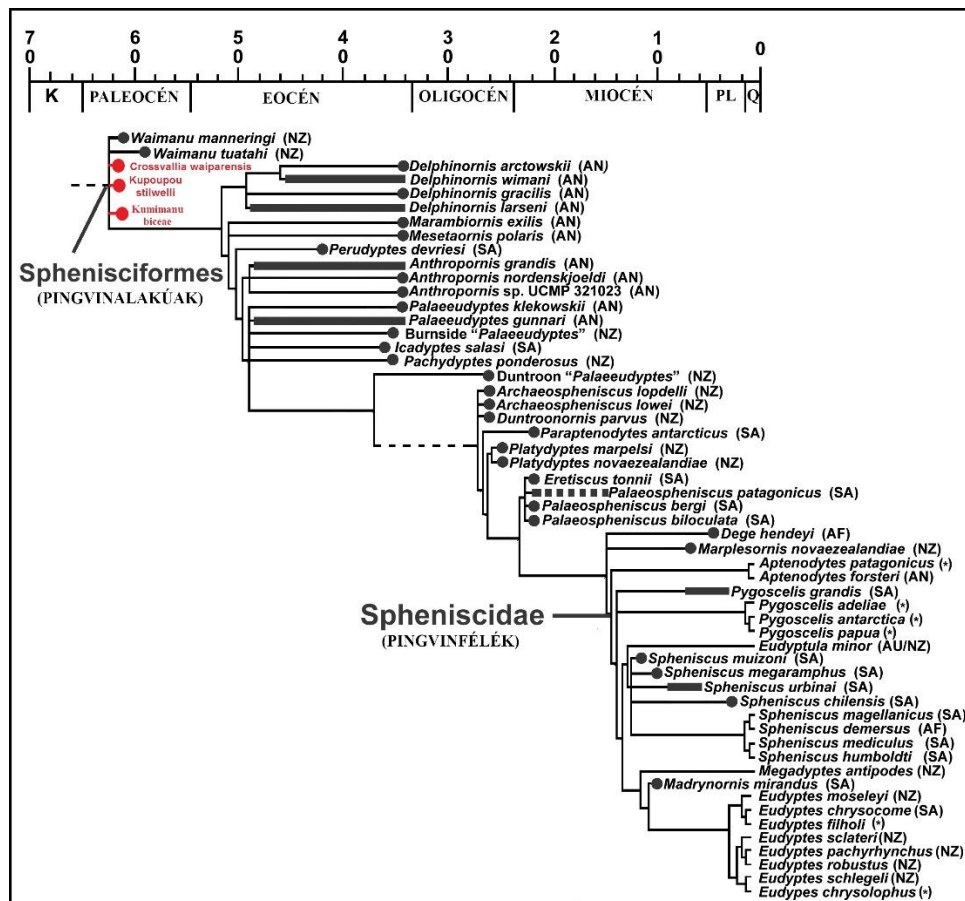
Ebben az időszakban a déli kontinens, benne a mai Antarktisz alkotó szigetekkel még teljesen jégmentesek voltak, sőt az őslénytani és paleohidrológiai adatok azt sugallják, hogy trópusi esőerdők borították ezeket a

területeket. Így az ősi pingvinek trópusi tengerparti zónában indultak fejlődésnek, és adaptív radiációjuk is itt kezdődött el. Ma csak a Galápagosi pingvinek (*Spheniscus mendiculus*) és a Humboldt pingvinek (*Spheniscus humboldti*) egy része él trópusi területeken. Az új-zélandi szigetvilág a geológiai mozgások hatására ekkor már levált az Ausztrál kontinensről, és a paleocén kezdetén már elérte a mai 1800 km-es távolságát az ausztrál partoktól. Ennek nyomán több szigetből álló Zélandia kontinens darabként világtengerekkel körbevéve létezett már a pingvinek kifejlődése idején.



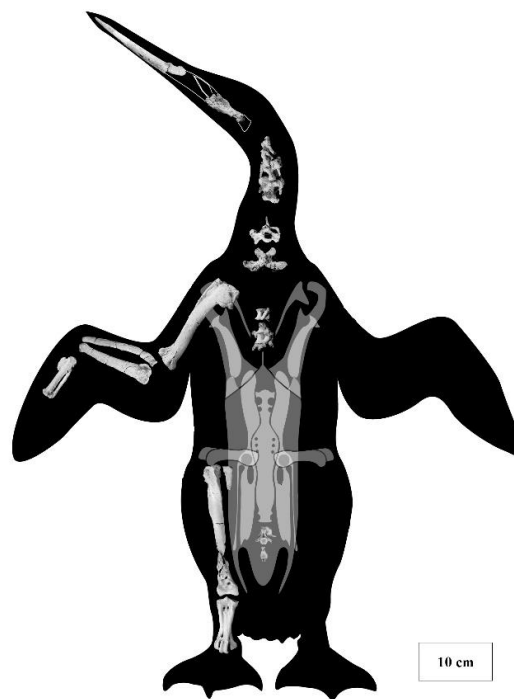
532. ábra Új-Zélandi Otago tartományban feltárt eddig ismert legnagyobb méretű, 170 cm és 90 kilogrammot meghaladó súlyú, óriás pingvin, a *Kumimanu biceae* fosszilis koponyacsontja csőrrel és rekonstrukciós rajza (Forrás: wikipedia)

Ezen a paleocén szigetvilágban az eddig feltárt egyik legidősebb pingvin leleteket a 62-60 millió évvel ezelőtt lerakódott, jelentős foszfor- és szervesanyag-tartalmú durva homokkő rétegekben feltárt korai pingvin csontvázak jelentik a Chatman-szigeteken. Ezek közül ezideig legidősebbnek a *Kupoupou stilwelli* kihalt pingvinfaj bizonyult, átlagosan mintegy 61 millió évesnek tekinthetők a leletei alapján. Ez a faj, a többi, Chatman-szigeteken, új-zélandi Déli-szigeten, Otago tartományban feltárt paleocén időszaki pingvinhez képest relatíve kisebb testméretű volt, megközelítőleg 110 cm-es testmagassággal és a mai legnagyobb testméretű császárpingvinekhez hasonló testmérettel. Tengerparti, jellegzetes kolóniákban élhettek akár csak a mai pingvinek.



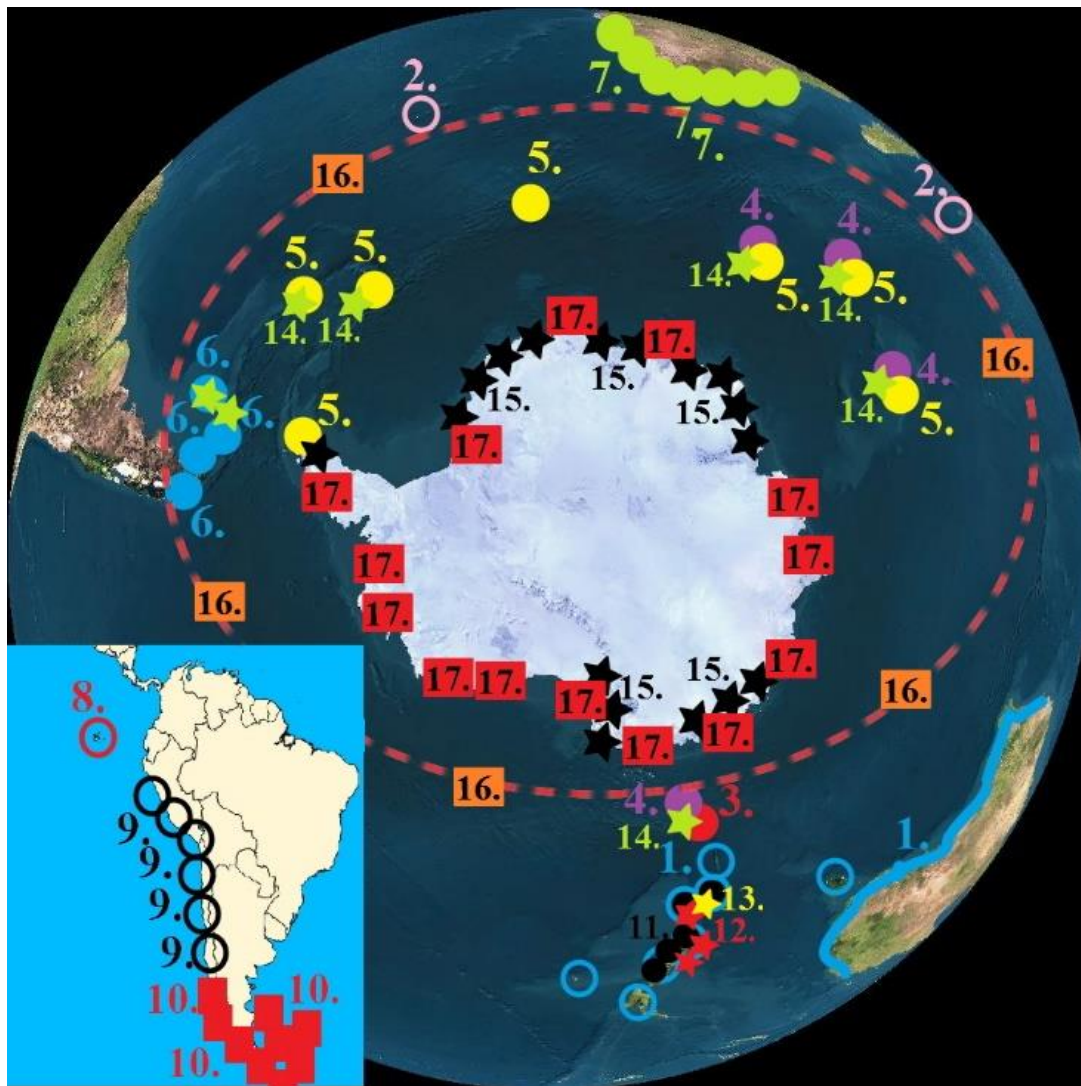
533. ábra A pingvinek evolúciós törzsfája, az eddig feltárt fosszilis és élő pingvin taxonokkal 2012-ből (Forrás: wikipedia) pirossal jelölve azok a paleocén fajok, amelyeket azóta tártak fel, a törzsfán jól látható a negyedidőszak (PL = Pliocén, Q = Quarter) során lejátszódott adaptív radiáció (<https://fossilpenguins.wordpress.com/2010/05/03/penguin-tree-of-life/> nyomán átrajolva, módosítva, kiegészítve, magyarra fordítva)

Ugyanakkor a *Kupoupou stilwelli* kihalt pingvinfaj mellett Földünkön eddig élt (feltárt) legnagyobb méretű korai, már kihalt pingvin taxonok is előkerültek Új-Zélandról. Otago tartományban feltárt leletek között találták meg az eddig ismert legnagyobb méretű, 170 cm és 90 kilogrammot meghaladó súlyú, óriás pingvin, a *Kumimanu biceae* leleteit, amely kora 60-56 millió évek közötti (532. ábra). Az itt bemutatott pingvinek mellett a korai, paleocén pingvinek között még igen fontos volt *Waimanu* (maori nyelven vízimadár) genus (533. ábra), bár az ide tartozó taxonok (*Waimanu manneringi*, *Waimanu tuatahi*) mérete (534. ábra) valahol a mai császár- és a kiráypingvinek között lehetett.



534. ábra Kisebb méretű, 80 cm magas, maximum 30 kilogrammos adult egyedekkel jelentkező *Waimanu tuatahi* (tuatahi vízimadara) csont maradványainak beillesztése a rekonstrukciós rajzba (Forrás: wikipedia)

Paleohidrológiai szempontból így a paleocén kiemelkedő jelentőségű időszak volt, mivel a korábbi hüllő uralmat relatíve gyorsan követte a madarak és az emlősök uralma, de a déli tengereken egyértelműen az igen gyorsan kifejlődött nagyméretű pingvinek és a kihalási hullámot túlélő cápák voltak a csúcsragadozók.



535. ábra Az *Eudyptes* pingvin fajok elterjedése, kiegészítve a dél-afrikai (Forrás: új, eredeti ábra a legújabb pingvinológiai publikációk nyomán) 1 = *Eudyptes minor* (kék pingvin), 2 = *Eudyptes moseleyi* (északi sziklaugró pingvin), 3 = *Eudyptes schlegeli* (royal-pingvin), 4 = *Eudyptes filholi* (keleti sziklaugró pingvin), 5 = *Eudyptes chrysolophus* (makaróni pingvin), 6 = *Eudyptes chrycosome* (aranytollú vagy más néven déli sziklaugró pingvin), 7 = *Spheniscus demersus* (pápaszemes vagy más néven afrikai pingvin), 8 = *Spheniscus mendiculus* (pápaszemes vagy más néven afrikai pingvin), 9 = *Spheniscus humboldti* (Humboldt pingvin), 10 = *Spheniscus magellanicus* (Magellán pingvin), 11 = *Megadyptes antipodes* (sárgaszemű pingvin), 12 = *Eudyptes pachyrhynchus* (fjorlandi pingvin), 13 = *Eudyptes robustus* (Snares szigeti pingvin), 14 = *Aptenodytes patagonicus* (királypingvin), 15 = *Aptenodytes forsteri* (császárpingvin), 16 = *Pygoscelis papua* = számárpingvin és *Pygoscelis antarcticus* (kantáros pingvin) elterjedése, költő helyei a többi pingvinfajjal átfedő, a kantáros pingvin Antarktisz minden tengerparti részén költ, 17 = *Pygoscelis adeliae* (adelide pingvin)

A pingvinek evolúciója rendkívül látványosan folytatódott az utolsó 60 millió év során, de a legerőteljesebben és leglátványosabban a negyedidőszak során alakultak át (**533. ábra**). Minden ma ismert faja a negyedidőszak során, az Antarktisz jégmezőhöz, és környezetében lejátszódott alkalmazkodás és az egykori áramlásokhoz kapcsolódó változások során fejlődött ki (**535. ábra**).

A ma élő pingvinek is különös testalkatú madarak. A legnagyobb pingvinféle 115 centiméter, a legkisebb csak 40 centiméter magas. Mivel sarló alakú, hegyes szárnyukat a repüléshez hasonló módon – bár a levegő helyett a vízben történő helyváltoztatáshoz, úszáshoz – vízben repüléshez használják, mellcsonti tarajuk nem korcsosodott el úgy, mint például a futómadaraké. A tarajon és a széles lapockán hatalmas izmok tapadnak. Szárnyuk jobban hasonlít a halak vagy a delfinek uszonyára, mint más madarak szárnyára: a durva, lapos evezőfelülethez a rövid és széles szárnycsontok adnak vázat. Négyujjú, rövid, durva úszóhártyás lábuk annyira hátul van, így a szárazon csaknem egyenesen állnak. Nincs térdük, ezért nem tudnak ülni. Mivel nem tudnak ülni, állva, a farkukra támaszkodva pihennek – éppen ezért farktollaik merevek, mint harkályoknak hasonló funkciót ellátó farktollai. Rövid farkuk általában 32 tollú.

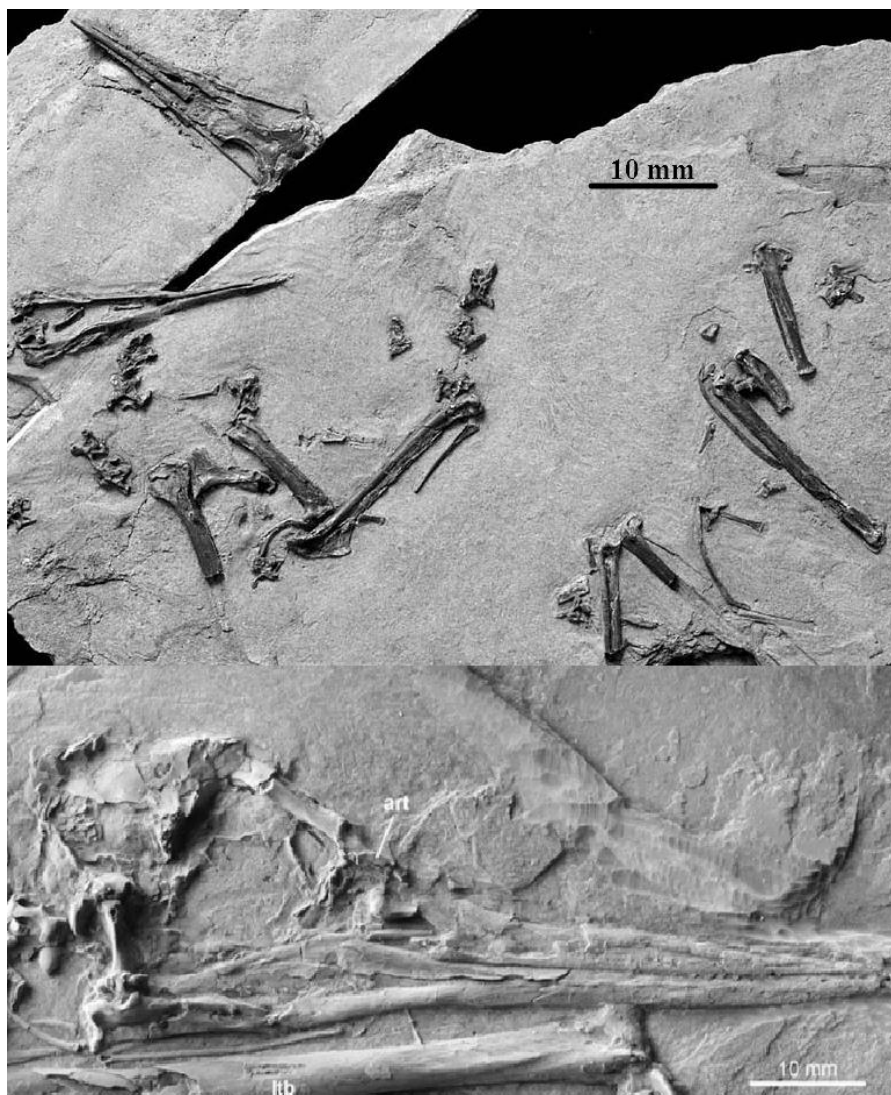
Minden más madárnál jobban alkalmazkodtak a vízi életmódhoz. Idejük java részét a vízben töltik, ahol halakat, kisebb tintahalakat, krilleket (rákokat) vadásznak le, esetenként akár 20 m-nél is mélyebbre merülve. Szárnyuk csak a vízben evezésre (vízben repülésre) alkalmas, repülni nem tudnak vele. Másodpercenként kettőt-hármat is csapva a víz alatt hajtják magukat előre, mintha ott repülnének – a leggyorsabban úszó pingvinek sebessége eléri a 36 km/h-t. Ez a motorcsónakokkal összevethető sebesség. Eközben az e célokra átalakult lábukkal kormányoznak, illetve fékeznek. Úszásuk leginkább a delfinfélékhez hasonlít, és azokhoz hasonlóan időnként ki is szökkennek a vízből, akár 1,5 méter magas sziklára is ki tudnak ugrani (aranytollú pingvin). A szaporodási időszakban a költőhely és a tenger között ingáznak. Egyébként a tengereken töltik minden idejüket, szigeteken (esetleg jégtáblákon) pihennek

meg. Telepesen fészkelő madarak, a fészekszomszédok tollzatuk apró sajátosságairól felismerik egymást. Ezt több fajnál a fejen növvő díszszallak is elősegítik. Többségük (a király- és a császárpingvin kivételével) kettő, legfeljebb három tojást rak. Kicsinyeik pelyhesek és fészeklakók. „Fészkeiket” meglehetősen szegényesen, növényekkel bélelik ki.

A szárazföldön természetes ellenségük alig akad, csak a ragadozó madarak támadják meg fészkeiket. A vízben fő ellenségeik az emlősök, elsősorban a fókák, különösen a ragadozó életmódot folytató leopárdfókák, valamint a fogascetek. A jelenlegi globális éghajlati változás, a vízi környezetszennyezés és környezeti átalakulás nagyon különböző módon hat az egyes pingvin fajokra és populációkra, de mivel döntően hideg éghajlathoz alkalmazkodva fejlődtek ki, a pingvin fajok döntő részének jövője rendkívül bizonytalan a jelenlegi ember által is generált felmelegedésben, a szuperinterglaciális betetőzése és stabilizálódása felé haladva.

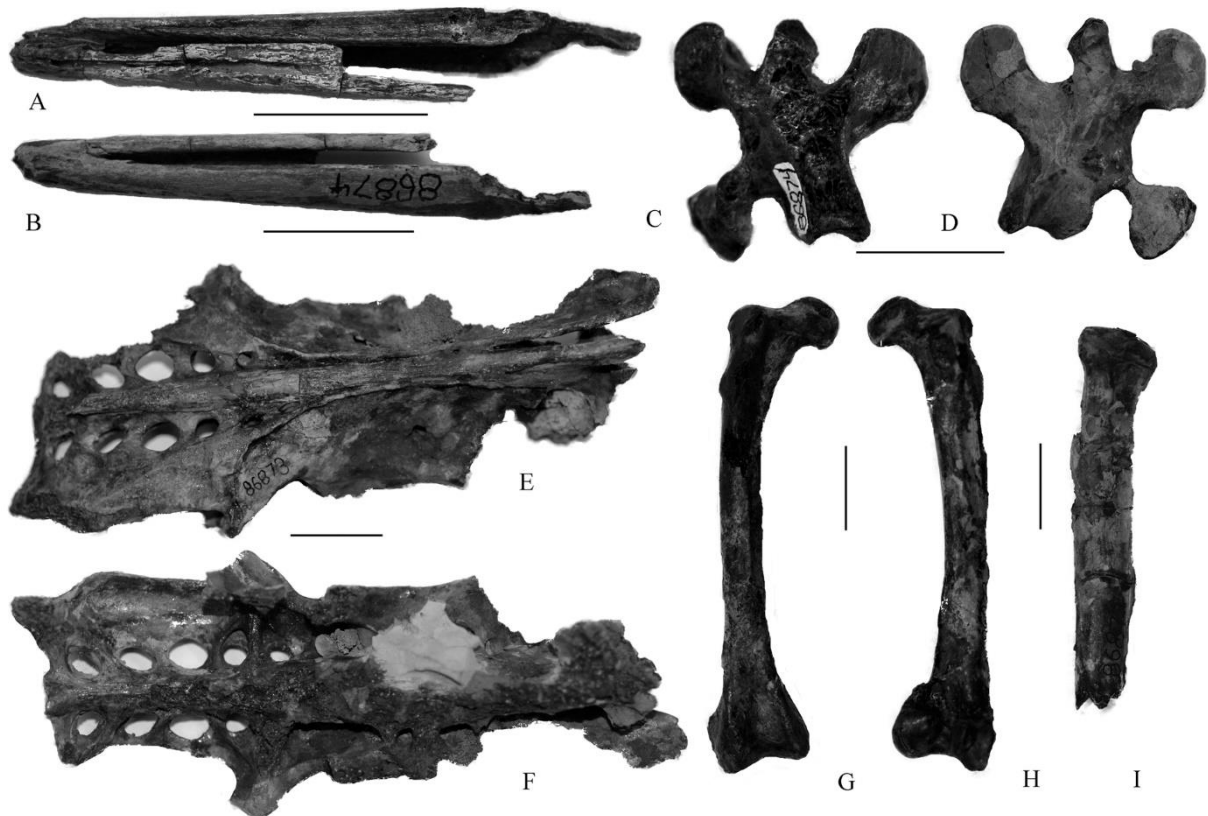
A búváralakúak (*Gaviiformes*) rendjének taxonjai közül az *Enaliornis* taxon fossziliáját az angliai kréta időszak albai emeletből írták le. Ennek nyomán a búváralakúak és pingvinalakúak fejlődéstörténetének szétválása már a mezozoikum végén, a kréta időszakban megtörtént. Ezen fosszilis maradványok alapján az *Aequorornithes* (vízimadarak) kládág elkülönülése, különböző, döntően vízi–vízparti életmódot folytató madár taxonokra, már egyértelműen megtörtént az óriás hüllők mezozoikum végi kihalása előtt. A fentebb bemutatott pingvin fossziliák nyomán a vihardár-alakúak (*Procellariiformes*) rendjétől (albatroszok, viharfecskek, vihardarak, bukóvihardara) legkésőbb a paleocén időszak során elvált a pingvinek fejlődése. A vihardár-alakúak belső fejlődését mutatják a miocén időszak bukóvihardarak megjelenését jelző észak-amerikai fossziliák. Az albatroszok jégkorszaki (negyedidőszak) diverzitás növekedését pedig a döntően az Antarktisz körüli nyílt vizeken történő elterjedésük jelzi, a kétévenkénti és szigetekhez kötött szaporodási ciklusuk, a Jeges-tenger területén kialakult teljes hiányuk. Az északi

féltekén a nyugatias szelek övében azért elterjedtek, és a pingvinekhez hasonlóan egyetlen trópusi fajuk ismeretes, a galápagoszi albatrosz (*Phoebastria irrorata*). Az albatroszok a legnagyobb súlyú röplő madarak, elérhetik a 12 kilogramot, és az adult, különböző fajhoz tartozó egyedeik szárnyfesztávolsága a 3,5-2 méter közötti méretet is. Az albatroszokkal és vihardarakkal rokonítható *Diomedeoididae* (536. ábra) kihalt, oligocén–miocén időszakban élt fosszilis család. Az albatroszokkal rokon *Gigantornis* (vihardár-alakúak – *Procellariiformes*) az eocén időszak középső szakaszából ismeretes.



536. ábra Az albatroszokkal és vihardarakkal rokonítható kihalt, oligocén időszaki *Diomedeoides brodkorbi* maradványai (Forrás: wikipedia) ltb = bal tibiotarsus, art = megerősödött praefrontale csont

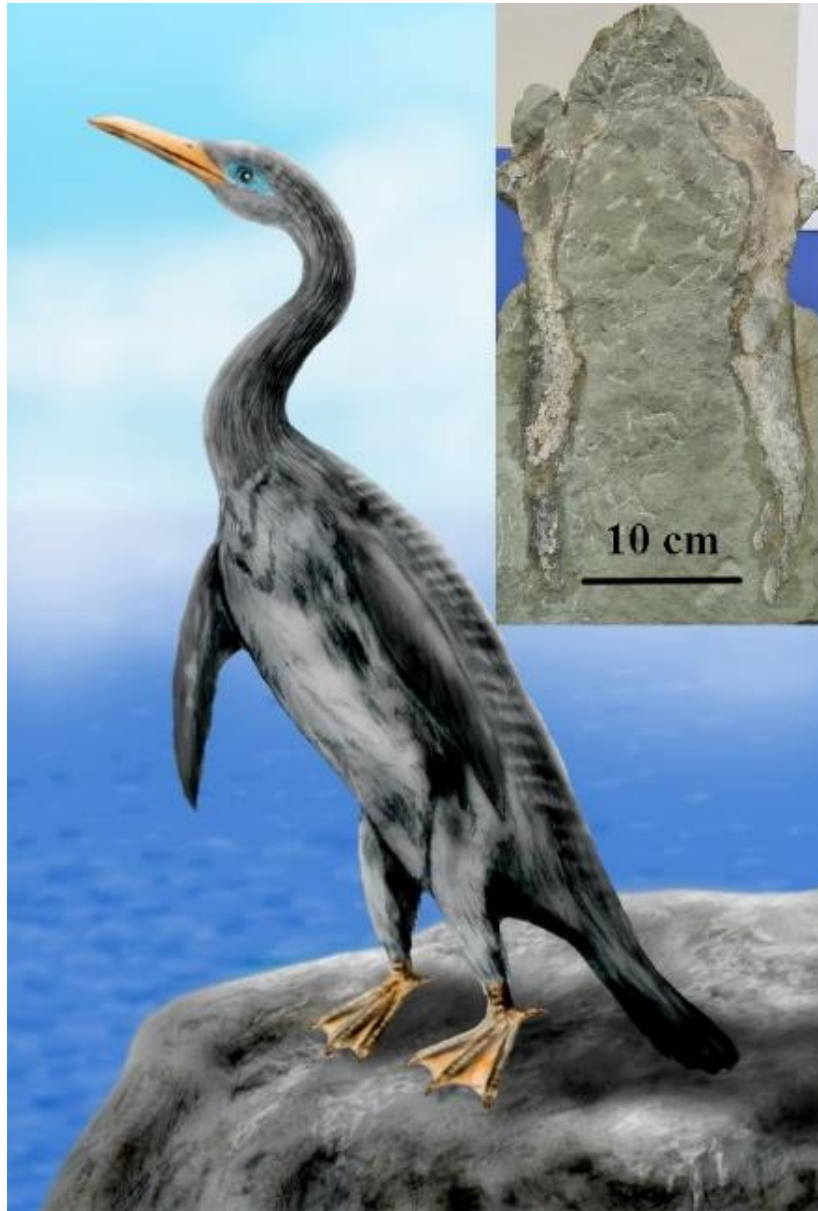
A vízimadarak másik kládágán, a gödényalkatúak (*Pelecaniformes*) rendjébe sorolható taxonok jelentős része is vízi–vízparti életmódot folytat. A fossziliák alapján ez a csoport már a kései kréta időszakban kifejlődött és fejlődési iránya levált *Aequorornithes* kládág fejlődésétől.



537. ábra A szulaalakúak (*Suliformes*) rendjéhez sorolt fosszilis *Plotopteridae* családhoz sorolható Csendes-óceán keleti partján (USA nyugati részén) feltárt, oligocén időszi *Tonsala hildegardae* csontok (Forrás: wikipedia) fekete vonal = 10 mm (1 cm)

A szulaalakúak (*Suliformes*), benne a tengeri életmódot folytató fregattmadárfélékkel (*Fregatidae*), kígyónyakú madárfélékkel (*Anhingidae*), szulafélékkel (*Sulidae*), valamint a tengerek, az édesvizek, közte halastavak, tavak, folyó partján egyaránt fellelhető kárókatonafélékkel (*Phalacrocoracidae*) egyaránt kialakulásnak indultak a mezozoikumi őshüllők kihalása után. A szulaalakúak (*Suliformes*) már a harmadidőszak kezdetén, az eocén időszak során elkülönültek a többi madárcsoporttól a szulaalakúak (*Suliformes*) rendjéhez sorolt fosszilis *Plotopteridae* maradványok alapján (537. ábra). Ez a fosszilis, kihalt család maradványai alapján készült rekonstrukciók (538. ábra)

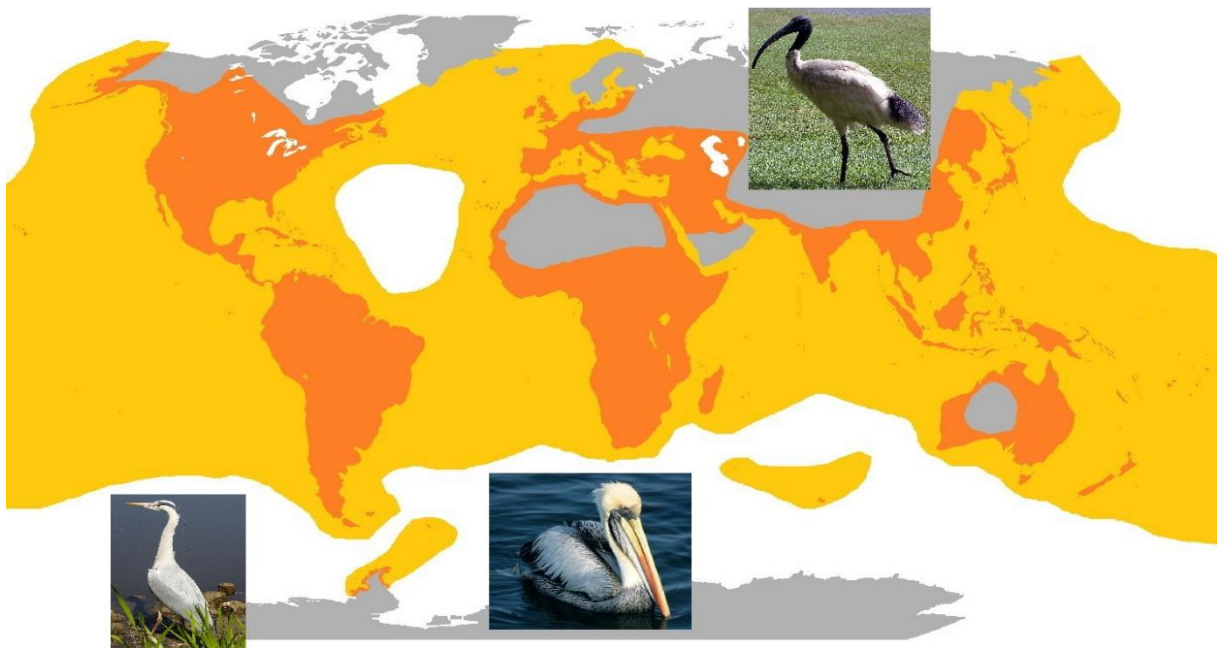
nyomán annyira hasonlítanak a pingvinekhez is, hogy az északi félteke pingvineinek is nevezik a kihalt *Plotopteridae* családhoz tartozó taxonokat a paleohidrológiai rekonstrukciókban.



538. ábra Japánban feltárt és kiállított fosszilis *Plotopteridae* családhoz sorolható oligocén időszaki *Copepteryx* genus sorolható maradványok és a maradványok nyomán készült rekonstrukció (Forrás: wikipedia)

Az elterjedése alapján, amely a legszárazabb és leghidegebb területeket leszámítva egész Földünkre jellemző (**539. ábra**), az egyik legsikeresebb madár taxonjai a szintén vízi (édesvízi, tengerparti, beltavi, folyóparti, mocsári és delta) környezetben élő gödényalakúak (*Pelecaniformes*), közte a gémfélék

(*Ardeidae*), ibiszfélék (*Threskiornithidae*) kialakulása és fejlődése szintén megindult a kréta időszak végén. Sőt ennek a rendnek több családja is kifejlődött már a paleocén időszak folyamán. A gödényalakúak (*Pelecaniformes*) rendjéhez hasonló széles körű elterjedéssel rendelkező és fontos vízimadár taxonokkal jellemezhető gólyalakúak (*Ciconiformes*) kialakulása viszont az oligocén időszak végén indult meg, és az erdőlakó formáik egészen fiatal kifejlődésűek, ideje a jégkor (Pleisztocén) végére tehető csupán.



539. ábra A gödényalakúak (*Pelecaniformes*) rendjéhez tartozó taxonok globális elterjedése és legfontosabb taxonjaik (Forrás: wikipedia)

A szintén vízi, brakkvízi, édesvízi és tengerparti környezetben egyaránt megtalálható flamingóalakúak (*Phoenicopteryformes*) legősibb képviselőjét (*Gallornis*) a franciaországi alsó krétából írták le, és az egész Földünkön elterjedt vöcsökalkakúak (*Podicipedidae*) legidősebb ősmaradványait ugyancsak kora kréta korúnak tartják Romániában. Az egész Földünkön elterjedt lilealakúak (*Charadriiformes*) rendje, közte a kifejezetten vízi életmódhoz kötött halfarkasok, alkafélék, sirályfélék, csérfélék, székicsérfélék, gulipánfélék, csigaforgatófélék, tokoscsőrűfélék, gémlilefélék, levéljárófélék kialakulása már a kréta időszak végén (**540. ábra**) megindult. Ugyanakkor a lilealakúak

életmódbeli diverzitását visszatükröző formai sokszínűségük az eocén – oligocén időszakok folyamán alakult ki döntően. Az ugyancsak kiemelkedő jelentőségű, lábujjaik között úszóhártyával rendelkező vízimadarakat átfogó lúdalakúak (*Anseriformes*) kialakulása a paleocén időszakban megindult. A korai megjelenés ellenére a lúdalakúak fő fejlődési szakasza a negyedidőszakra tehető, amikor a jégtakaró és az éghajlat ciklikus változásaihoz alkalmazkodva egész Földünkön (Antarktiszt és nagyobb sivatagokat leszámítva) elterjedtek a tengerparti területektől az édesvízi folyókon, tavakon, mocsarakon át a magashegységi tavakig, mocsarakig és lápokig.



540. ábra Lillealakiúak (Charadriiformes) rendjébe sorolható ősmaradvány az észak-amerikai kréta időszaki rétegekből (Forrás: wikipedia)

A paleohidrológiai vizsgálatokban is fontos szerepet játszó vízimadarak kialakulása és fejlődése azt mutatja, hogy ezeknek a taxonoknak a megjelenése és felemelkedése már a kréta időszakban, mintegy 100 millió éve megindult. Ez azért kiemelkedő, mert ezek a fosszilis leletek azt mutatják, hogy még a mezozoikumi őshüllő uralma idején megindult a madarak, közte a vízimadarak fejlődése. Ez a fejlődés felgyorsult a paleocén időszakban, az őshüllők kihalását

követően. A tömeges kihalás hatására kialakult üres ökológiai fülkéket elfoglalhatták az ősi madarak, és alkalmazkodhattak, adaptálódhattak a különböző őskörnyezeti rendszerekhez. A recens ökológiai vizsgálatoknál ebben az értelmezésben a niche kifejezést használják. A niche egy megfogalmazás szerint egy olyan tényező, avagy kölcsönhatás, aminek köszönhetően bizonyos fajok és populációk életben tudnak maradni, azaz nem pusztulnak el és nem kerülnek a kihalás szélére. Ugyanakkor tudnunk kell, hogy a niche az ökológiában használatos elméleti fogalom, amelynek nem része a topográfiai tér és a geológiai idő. Ez a megközelítés paleohidrológiai szempontból értelmezhetetlen, mivel valamennyi paleohidrológiai megközelítés úgy kezdődik, hogy az esemény mikor és hol történt, azaz a paleohidrológiai értelmezéseknek térbeli és időbeli vetületei vannak. Így a madarak, közte vízimadarak (és az emlősök, közte a vízi élettérhez alkalmazkodott emlősök) mezozoikum/kainozoikum határán bekövetkezett tömeges felemelkedésénél másféle fogalmi rendszert alakítottak ki a paleohidrológiai értelmezésnél.

Ezeket a fogalmakat *George Gaylord Simpson* (1902-1984) amerikai paleontológus, az Arizónai Egyetem professzora vezette be a tudományos kutatásokban, a paleohidrológiai rendszerek átalakulását is érintő, *quantum evolúciónak* elnevezett elméleti modellrendszerében. Véleménye szerint a viszonylag gyors evolúciós diverzifikáció, amely új adaptív zónába való kerüléskor (pl.: egy sziget, vagy új környezeti forrásokkal bíró élettér meghódítása), a korábbi ökológiai kényszerfeltételek megszűnésével (őshüllők kihalása) kialakult új alkalmazkodási (adaptív) zóna forrásainak kihasználásával és felosztásával, a különböző életforrásokra való széttartó (divergens) és összetartó (konvergens) fajkeletkezésekkel (specializációkkal), az adaptív zóna feltagolódásával megy végbe. A folyamat eltérő térbeli (lokális, regionális, mega, globális) és eltérő időbeli skálákon játszódhat le, így különböző taxonómiai rangú csoportok, taxonok lehetnek érintettek ebben a folyamatban. Az őshüllők és a mezozoikumi élővilágának tömeges kihalása nyomán a

fennmaradt madarak és emlősök gyors és tömeges adaptív radiációja játszódott le Földünkön (amely az eddig ismert egyetlen lakható hely az ismert univerzumban, mondhatni egy lakható sziget a világűrben) és ennek hatására fejlődtek ki a vízi életmódhoz alkalmazkodott új taxonok. Ezeket a taxonokat, így a madarak mellett az emlősöket, mindenekeelőtt a vízi életmódhoz alkalmazkodott emlősöket használjuk fel a kainozoikumi paleohidrológiai rekonstrukciók során.

Ellenőrző kérdések:

17.1. Ismertesse a madarak (Aves) paleohidrológiai jelzőszerepét.

17.2. Ismertesse a Hesperornis madár paleohidrológiai jelzőszerepét

17.3. Ismertesse a pingvinek (Spheniscidae) paleohidrológiai szerepük van?

17.4. Mi volt az oka a paleocén óriás pingvinek kialakulásának?

17.5. Ismertesse a pingvinek fosszilis és recens elterjedésének okait.

17.6. Mely időszakban vált el egymástól a búváralakúak (Gaviiformes) és a pingvinalakúak (Sphenisciformes) fejlődéstörténete?

17.7. Ismertesse a vízi életmódra áttért madarak paleohidrológiai jelentőségét.

17.8. Mi az a quantum evolúció?

4.6.47. *Mammalia* (Emlősök) osztálya

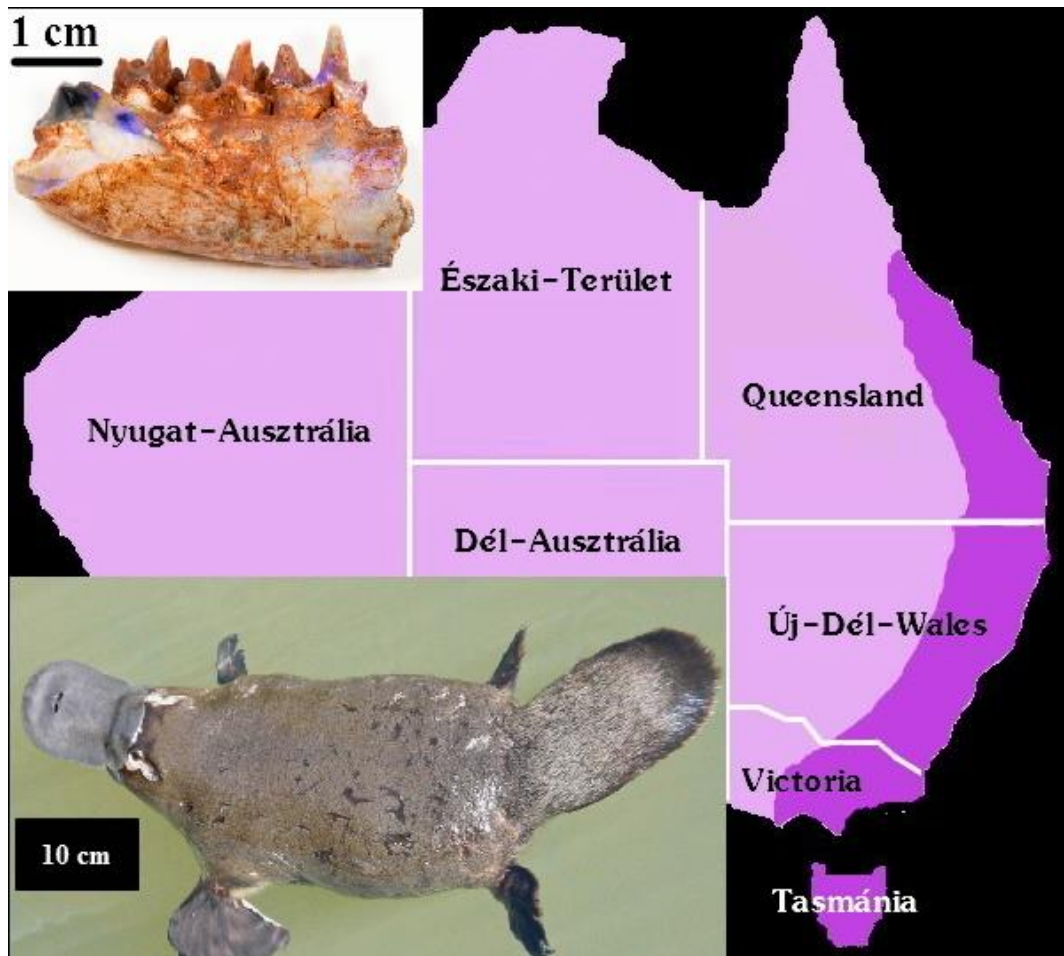
Az emlősök osztályába a legfejlettebb gerincesek tartoznak. Testüket szőr (egy száruképlet, amely nem homológ a hüllők pikkelyével) borítja, bőrük mirigyekben gazdag. Központi idegrendszerük fejlett (az agykéreg megvastagodik és kialakulnak az agytekervények). Szívük négyüregű, tüdejük fejlett és állandó testhőmérsékletűek (*homoiothermia*). Kiválasztószervük az utóvese. A koponya két ízületi bütyökkel kapcsolódik a gerincoszlophoz. Szájpadlásuk és állkapocs-ízesülésük másodlagos. A középfül hallócsontocskáinak a száma három. Fogazatuk heterodont és a fogváltások száma korlátozott. Az emlősök váza jobban elcsontosodott, mint a hüllőké. Az epifizisek (a csöves csontok porccal borított végei) a növekedés befejeztével elcsontosodnak (a hüllőknél általában ez porcos marad). Az alsó állkapocs csak a dentaleből áll, amely a squamosumhoz kapcsolódik. A fogazat thecodont típusú és csak az állkapcsok peremén nőnek, a szájpadlásról hiányoznak. A teljes fogazat 44 fogból áll. Az ősi primitív emlősöknek ennél több foguk is lehetett, míg a fejlettebb alakoknak ennél jóval kevesebb foguk fejlődött ki. A heterodont (eltérő alakú fogakból álló) fogazat másodlagosan homeodonttá (azonos alakú fogakká) válhat (pl.: delfin), vagy redukálódhat (pl.: vendégízületesek – *Xenathra*).

A fogak közül a zápfogak (molarisok) a legjellegzetesebbek. A felső állkapocs őrlőfogainak (molárisainak) a gumói a *conusok*, a kisebb gumók a *conulusok*. Az alsó állkapocs gumói a *conidok*, illetve a *conulidok*. Az ősi erszényes és méhlepényes emlősök fogai háromszög alakúak, három nagyobb *conussal*. A trigon a felső, a trigonid az alsó háromszögletű zápfog¹³¹. A trigon hátsó sarka kiszélesülhet egy újabb gumóval (*hypoconus*), az alsó molarison a *hypoconiddal*. Így a fog alakja négyszögletessé válik, és a záródó állkapocsban a fogak részlegesen fedik egymást. Ily módon nemcsak nyíróhatás, hanem zúzóhatás is érvényesülhet a fogak mozgatásánál, a táplálék őrlésénél. Az ősi, korai

emlősformáknál a zápfogak kúpjai hegyesek és magasságuk eltérő – rovarrevő/ragadozó fogazat jellemezte ezeket a taxonokat. Az alacsony, lekerekített gumójú zápfogak gumós (bunodont) típusúak, és a mindenevőkre, vegyes táplálkozású emlősökre jellemzőek. Rendkívül fontos elkülönítő bélyeget alkotnak az emlősöknél a tejmirigyek és a tejmirigyek váladékával (tejjel) a nőtények az újszülötteket táplálják. Ez az anatómiai bélyeg fennmaradt a paleohidrológiai rekonstrukciónál használatos víziemlősöknél is.

A legtöbb emlősnél a tejmirigyekhez emlők is csatlakoznak, ez alól kivétel képeznek a tojásrakó emlősök (*Prototheria*). Ezeknél a taxonoknál a tejmirigyek egy hosszanti bőrredőbe nyílnak. Az emlősök rendkívül sikeres élőlények, a szárazföldeken egyértelműen dominálnak, de a vízi élettér meghódítását is megkezdték a kainozoikum kezdetén. Az emlősöket elevenszülő emlősök (*Theria*) és tojásrakó emlősök (*Prototheria*) alosztályaira osztjuk. Ugyanakkor ismeretes egy másfajta megosztás is, az egyik kládágat a *Yinotheria* taxonok (kacsacsőrű emlős és a hangyászsün), az összes többi emlős, mint az erszényesek (*Marsupialia*) és a kihalt őseik (*Methatheria*), valamint a méhlepényesek és a kihalt őseik (*Eutheria*) taxonjai alkotják a másik alosztályt (*Theriformes* = elevenszülő emlősök).

A tojásrakó emlősök (*Prototheria*) között jelentek meg az édesvízi környezetben élő első víziemlősök, a kloákások (*Monotremata*) rendjébe sorolható kacsacsőrű emlősök (*Ornithorhynchus paradoxus*: 541. ábra). Latin nevének jelentése „*furcsa madárcsőrű*”. A kacsacsőrű emlős adult egyedei 50-60 cm hosszúságúak. Áramvonalas testalkatuk és testszínük a vidrára emlékeztet, ám széles és lapos, kemény bőrből álló szájszervük („csőr”) a kacsára hasonlít (541. ábra). Fogaik sincsenek, csak az újszülötteknek. Testtömegük 700 és 2400 g között változik: a hímek nagyobbak, mint a nőtények (ivari dimorfizmus). A hímek hátsó lábaikon „sarkantyúkat” (avagy „fullánkokat”) viselnek, és azokhoz méregmirigy csatlakozik: a sarkantyúkat vetélkedéseikben használják.



541. ábra Ausztrália keleti partvidékén élő kacsacsőrű emlős (*Ornithorhynchus paradoxus*) és elterjedése (sötétlila színnel jelölve) és a felbecsülhetetlen értékű, átópálosodott kora kréta kori kacsacsőrű emlős ősének, egyik legkorábbi ausztrál emlőst alkotó *Steropodon galmani* taxon állkapcsát is megtalálták, és a sydney-i Ausztrál Múzeumban őrzik (Forrás: új összeállítás a wikipedia ábrák nyomán)

A mérég nem nagyon veszélyes, de rendkívüli fájdalmat okoz, amit fájdalomcsillapítók sem csillapítanak. A kacsacsőrű emlős úszás közben szemét, orrlyukait és fülét is becsukja, de csőrét oldalirányban ingatja. Csőrének mindkét felületén körülbelül negyvenezer-negyvenezer, vízszintes sorokba rendezett elektromos érzékelő és további harmincezer nyomásérzékelő pálcika található. A két sejtfajta az ember látókérgére emlékeztető módon rétegződik a csőr felületén, és az agy tevékenységének jelentős részét az ezektől kapott információk feldolgozása köti le. Ezek az elektromos érzékelők felfogják az egészen kis állatok izommozgásai keltette jeleket is, a nyomásérzékelők pedig a

vízben álló, lebegő, illetve mozgó dolgokról visszaverődő hullámokat észlelik. A kétféle információ együttes feldolgozása lényegesen jobb képalkotást tesz lehetővé a zavaros vízben, mint a látás.

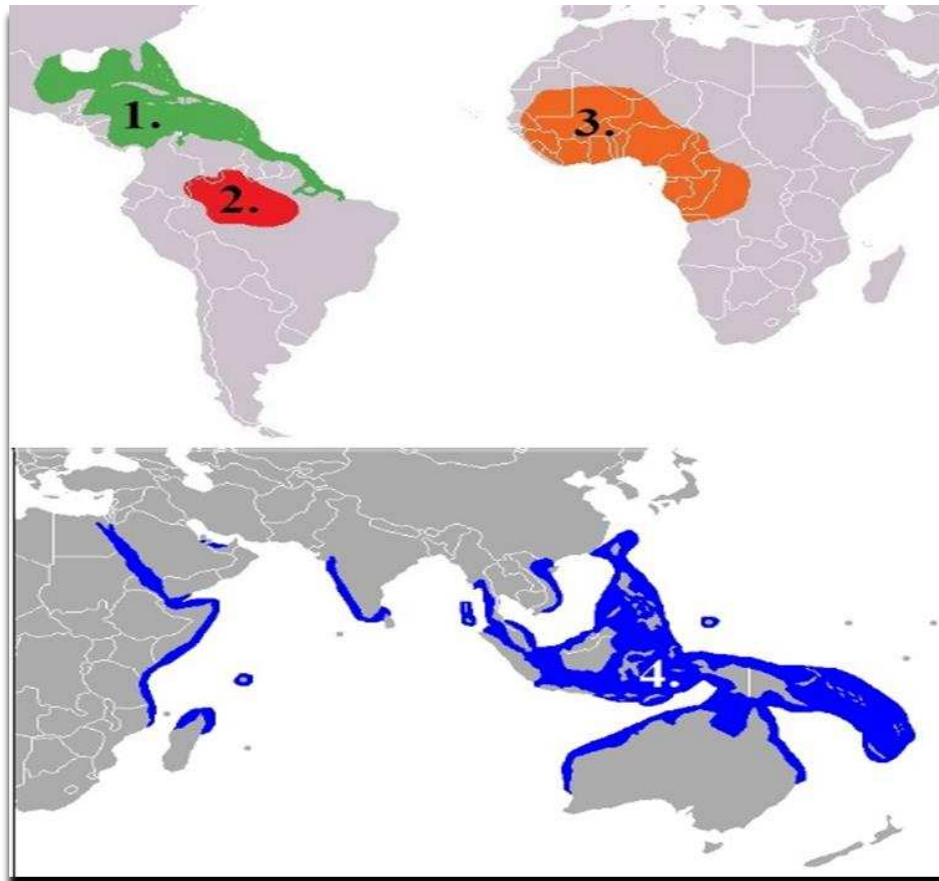


542. ábra Az első vízi emlősök egyik taxonja, a belső-mongoliai jura időszaki rétegekben, a holotípus csontanyagának fotója, rekonstrukciós rajza, illetve művészi élethelyzetben lévő rekonstrukciói (Forrás: új összeállítás a wikipedia ábrák nyomán)

A legelfogadottabb modellek szerint az emlősök kifejlődése, az első éjszakai rovarévi emlősök megjelenése 225 millió évvel ezelőtt, a triász időszakban vette kezdetét, de az első emlősökhöz kapcsolható fogak, fogtöredékek, csontmaradványok csak a felső triász korban, 204 millió éves rétegekből kerültek elő. Ezt követően úgy tűnik, hogyha az őshüllők uralma miatt lassan is, de változtak a korai emlősök, és egyre változatosabb taxonok jelentek meg, úszáshoz – édesvízi fennmaradáshoz, ásáshoz – földalatti életmódhoz alkalmazkodtak, de folytatták éjszakai életmódjukat a jura időszak során. A kacsacsőrű emlős, legkorábbi, kréta időszak kezdetén élt őseinek maradványait – amelyek egyben az első emlős maradványok is Ausztráliában – feltárták, és a maradványokat, közte a felbecsülhetetlen értékű, opalizált állkapcsot, a sydneyi Ausztrál Múzeumban őrzik (541. ábra). Ezt a kréta időszaki opalizált állkapcsot

a *Steropodon galmani* taxonhoz sorolták. A Gondwana kontinensről származó leletek alapján az első korai emlősökhöz kapcsolódik ez a lelet, és ennek nyomán a kacsacsőrű emlősfélék megjelenése és vízi emlős életmódjuk már igen korán, a kréta időszak kezdetén, mintegy 120-110 millió évvel ezelőtt kialakult. Természetesen a gondwanai kontinensen megjelent tojásrakó emlősök (*Prototheria*) és erszényesek (*Marsupialia*) ősei mellett a laurázsiai területeken zajlottak az emlősök fejlődésében a legfontosabb fejlődéstani lépések, és kialakultak a korai emlősök, emlősszerű élőlények. Ezek között az egyik legfontosabb és legkorábbi taxonok a Kínához tartozó belső-mongóliai jura időszaki rétegekben feltárt, édesvízi környezethez alkalmazkodott hódfarkúak (*Castorocauda*: 542. ábra). Ezek a leletek, hasonlóan a valószínűleg kisebb dinoszauruszokat fogyasztó jura időszaki, éjszakai ragadozó életmódot folytató *Repenomamus* kihalt korai emlősökhöz, egyértelműen azt mutatják, hogy a mezozoikum során az emlősök nem csak visszahúzódó, üreglakó életmódot folytattak. Sőt változatos életmódban jelentkeztek már jura időszak során, bár az őshüllők uralma miatt formai, életmódbeli diverzitásuk meg sem közelítette az őshüllők kihalása utáni fajgazdagságukat¹³².

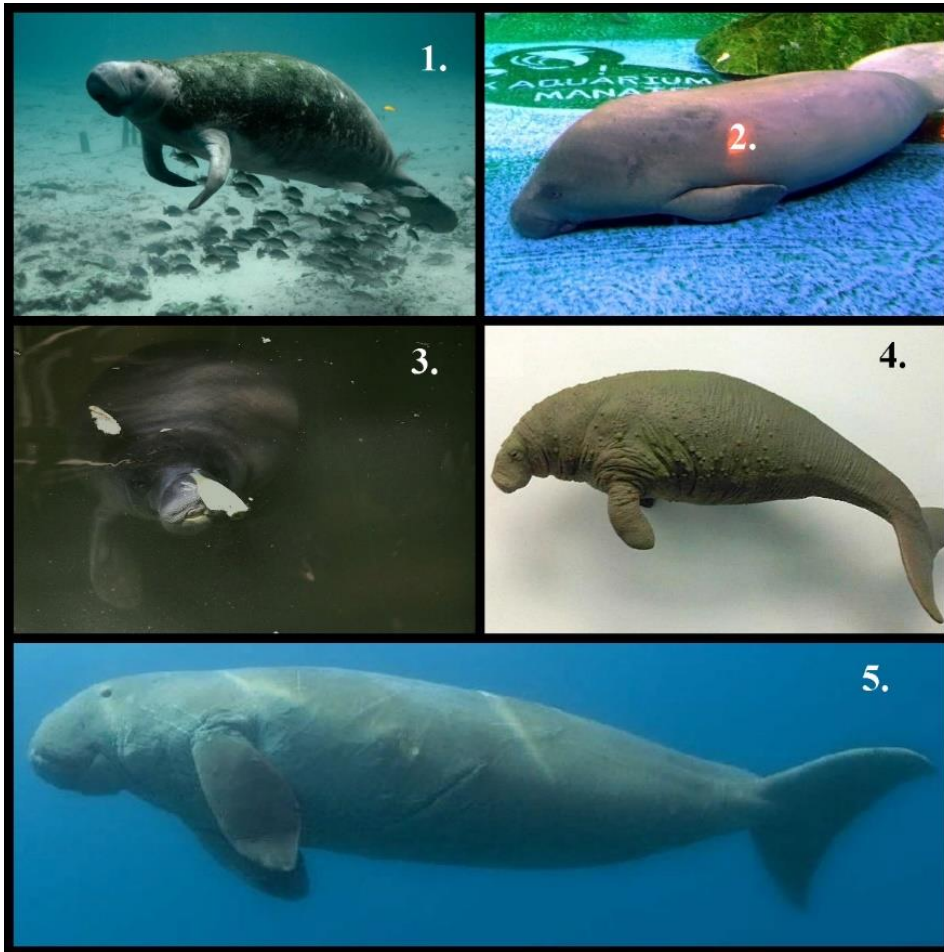
Az emlősök legjelentősebb csoportját a méhlepényes (*Placentalia*) taxonok alkotják. Ezeknél a taxonoknál a vemhesség alatt az anya méhében a méhlepény táplálja a kölyköket. A méhlepényesek elevenszülők. Mai életmódjukat és formai diverzitásukat mutatja, hogy a 3-4 cm nagyságú dongódenevér és 30 méteres hosszúságú kékbálna ugyanazon ősi formákból származnak és az őshüllők kihalását követően felszabaduló, betöltetlen adaptációs zónákhoz alkalmazkodás során fejlődtek ki.



543. ábra A tengeritehenek (*Sirenia*) közé sorolt karibi manátusz (*Trichechus manatus* = 1 jelzésű terület), dél-amerikai manátusz (*Trichechus inunguis* = 2), afrikai manátusz (*Trichechus senegaliensis* = 3) és a dugong (*Dugong dugon* = 4) elterjedése (Forrás: új összeállítás a wikipedia ábrák nyomán)

A méhlepényesek közül a tengeritehenek (*Sirenia*), cetek (*Cetacea*), és a ragadozók (*Carnivora*) rendjében ismeretesebbek elsősorban vízi életmódhoz adaptálódott taxonok, ezért a továbbiakban csak ezekkel a paleohidrológiai szempontból is fontos csoportokkal foglalkozunk. A tengeritehenek (*Sirenia*) közé soroljuk a kelet-afrikai, előindiai, indozéziai és észak-ausztráliai elterjedésű dugong (*Dugong dugon*), karibi manátusz (*Trichechus manatus*), dél-amerikai manátusz (*Trichechus inunguis*), afrikai manátusz (*Trichechus senegaliensis*) taxonokat (**543. ábra**). A tengeritehenek bár elhízott cetnek néznek ki (**544. ábra**), de ez csak a konvergens fejlődés, a vízi életmódhoz alkalmazkodás eredménye. Valójában a rokonsági körük az ormányosok (*Proboscidae*) és a szirti borzok (*Procaviidae*) között találhatóak az átfogó összehasonlító anatómiai és genetikai elemzések alapján. A tengeritehenek

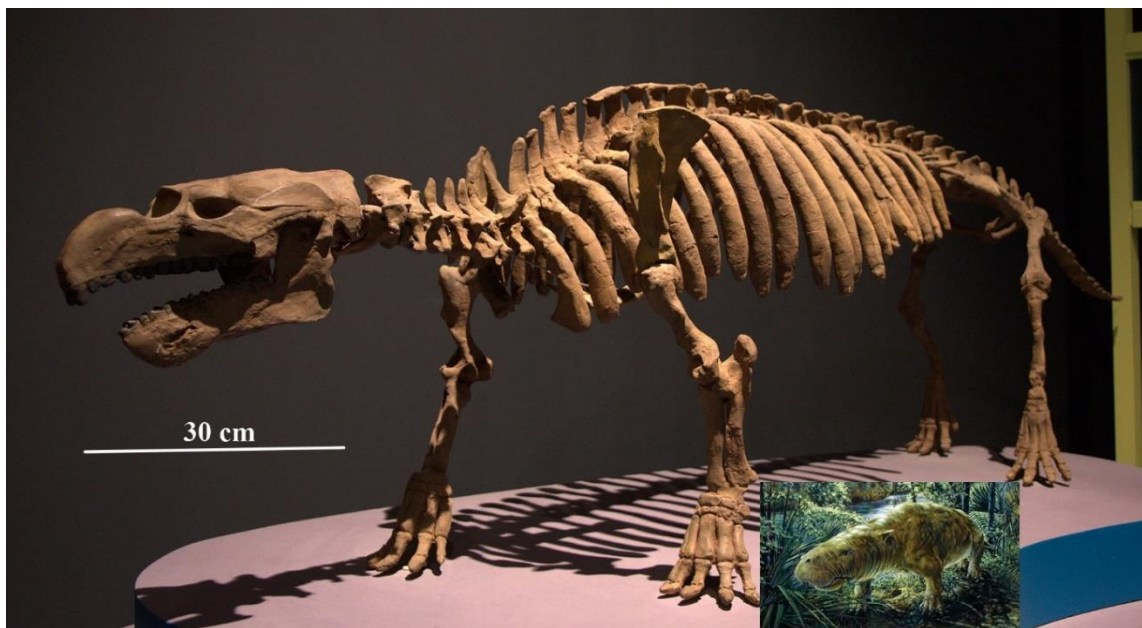
törzse hengeres, vastag, orsó alakú, két mellső úszóval és egy vízszintes farokúszóval. Ez utóbbiak nem a hátsó végtagokból alakultak ki.



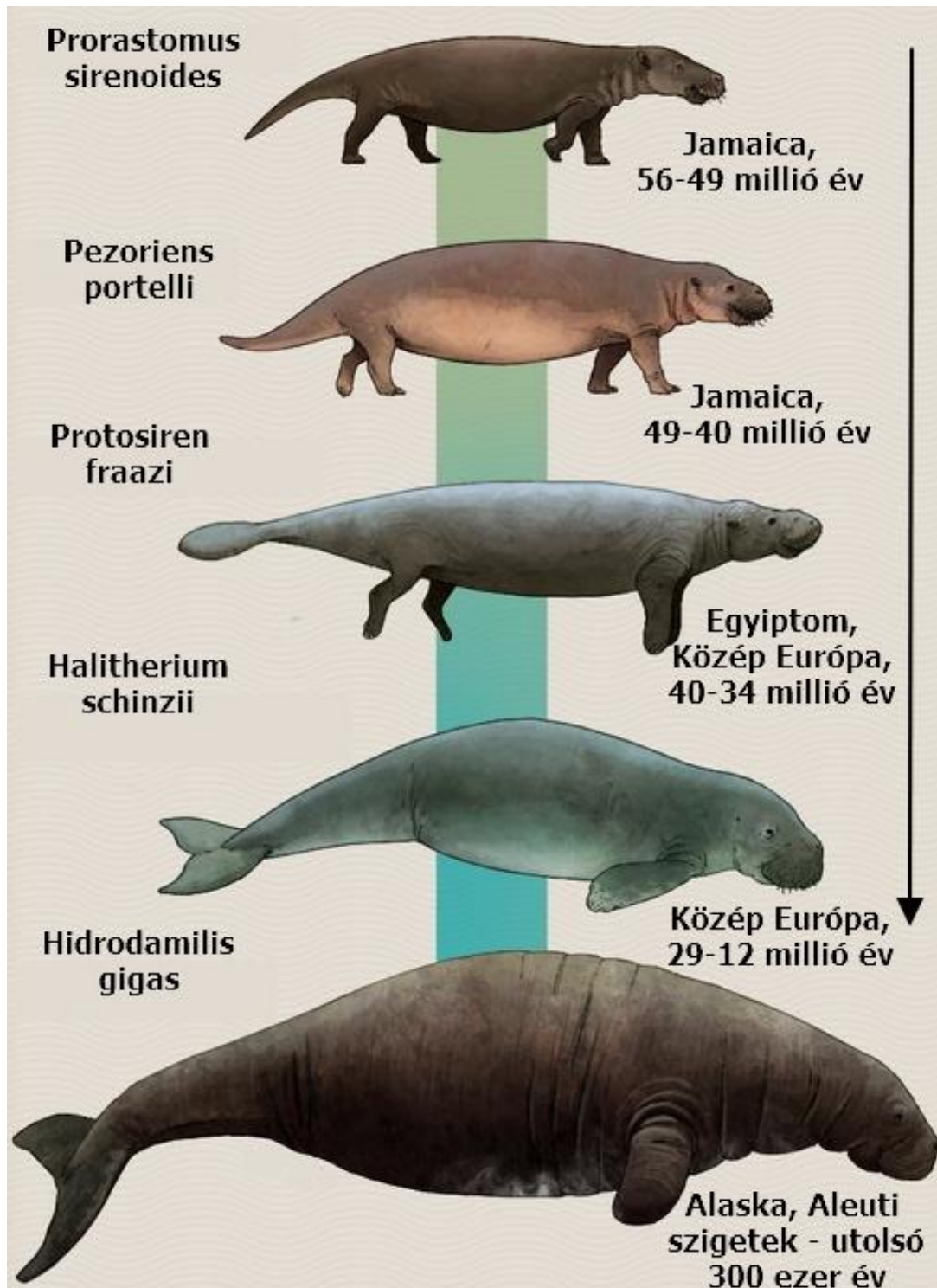
544. ábra Karibi manátusz (*Trichechus manatus* = 1), afrikai manátusz (*Trichechus senegaliensis* = 2), dél-amerikai (amazónaszi) manátusz (*Trichechus inunguis* = 3); Steller tengeritehén (*Hidrodamalis gigas* = 4) leírások alapján készült élethű modell - a faj emberi vadászat miatt valószínűleg 1768-ban kihalt; és a dugong (*Dugong dugon* = 5) (Forrás: wikipedia)

A ma is élő alakok testmérete elérheti a 4 métert és a 600 kilogrammot, de az ember által kipusztított, sarkvidéki hideghez alkalmazkodott Steller tengeritehén (*Hidrodamalis gigas*) elérhette a 10 métert, zsírrétege a 20 cm vastagságot, súlya pedig a 10 tonnát. A szirének eredetileg szárazföldi emlősök voltak, és fejlődésük során fokozatosan alkalmazkodtak a vízi környezethez. A mellső végtagok úszókká alakultak, melyeken már külsőleg nem kivehetők az eredeti kéztőcsontok és ujjpercek, de még jól elkülönülve megtalálhatók az úszók belsejében, sőt egyes szirénfajok úszóin még jól elkülöníthető módon a karom

maradványokat is megtalálhatjuk. A mellső úszók könyökben mozgathatóak, a hátsó függesztőöv (a medencecsont) elcsökevényesedett, és funkcióját veszítve kötőszövetbe ágyazódva található és már nincs kapcsolatban a gerincoszloppal. A gerincoszlop farki része a hátsó farokúszóig nyúlik, merevíti azt. A farokúszó vízszintes helyzetű, az állat ezzel hajtja magát előre a vízben. Olykor támadószervként is funkcionál, erős ütésre képesek vele, még ha szárazra kerülnek is – fontos motorikus részük.



545. ábra Pezosiren portelli eocén időszaki szirének teljes maradványa, amikor még néglábú élőlényként éltek a szirének és a rekonstrukciók alapján vízilószerű ambfibus életmódot folytattak. A Pezosiren portelli megközelítőleg a mai törpe vízilóra emlékeztető méretű volt és hasonló környezetben élhetett – művészi rekonstrukció az egykori élőlényről (Forrás: wikipedia)

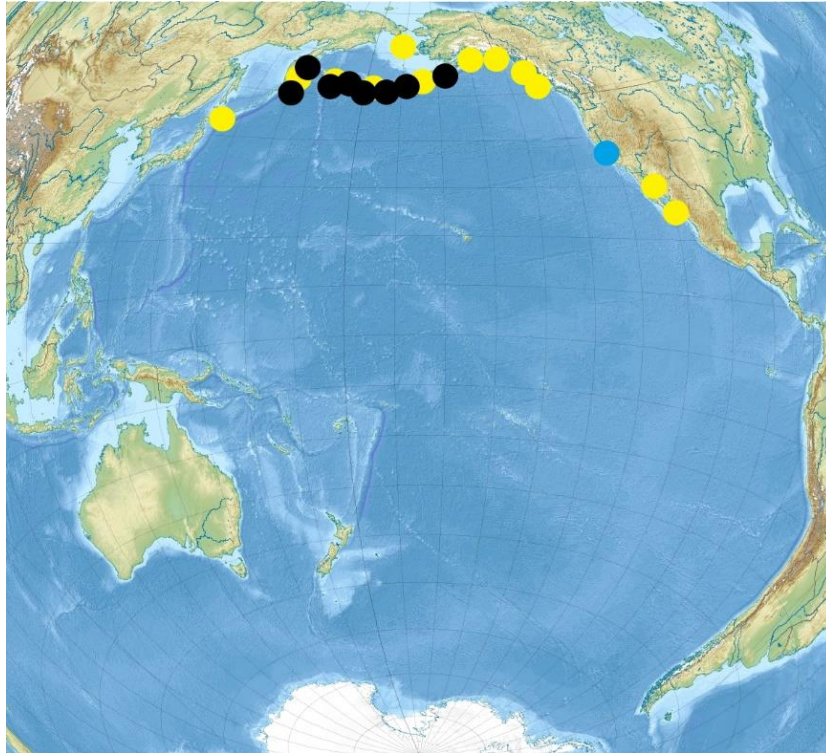


546. ábra A szirénfélék törzsfjlődése, a trópusi vizekben lejátszódott lábak elvesztésétől a sarkvidéki környezethez alkalmazkodásig az eocén időszaktól kezdődően napjainkig, egy fejlődési sorozat alapján (Forrás: új összeállítás a wikipedia ábrák nyomán) – a nyíl a fejlődési irányt mutatja

Kulcscsontjuk teljesen hiányzik, a fejlődés során visszafejlődött, keresztcsontjuk nem alakult ki. Koponyájuk a patások erőteljes koponyájára emlékeztet. A

sziréneknek vannak mozgatható nyakcsigolyáik, és külön mozgatható nyaki részük, de a vastag zsírréteg miatt ez külsőleg nem különül el a törzstől. A szirének élőhelye a növényekkel, barnaalga mezőkkel, hínarakkal bevont vizek, tengerparti öblök, lagúnák, folyók, mocsarak és tengervizek (például Sargassó-tenger). Itt nem csak az alapvető növényi táplálékokat fogyasztják, hanem a sűrű növényzet rejtő helyet jelent számukra a cápákkal és fogas cetekkel (és az emberekkel) szemben. Az első fosszilis szirénmaradványok kora eocén korú rétegekből ismeretesek. Mindenekelőtt Jamaica szigetén kerültek elő korai szirénekhez kapcsolható taxonok maradványai (545. ábra). Ezek a korai szirének még négy lábú élőlények voltak, és a rekonstrukciók alapján vízilőszerű ambfibikus életmódot folytattak (545. ábra)¹³³. Ebből a vízilőszerű ambfibikus életmódból kiindulva alkalmazkodtak a tavi, mocsári, tengerparti környezethez a tengeritehenek ősi taxonjai (546. ábra), és ezen változások nyomán a hátsó medenceöv felfüggesztése és a hátsó végtagok előbb fokozatosan funkció nélküli szervekké alakultak, majd morfológiailag is eltűntek a tengeritehenek testéről (546. ábra). A tengeritehenek fejlődési sorának végén alakult ki az alkalmazkodási maximumuk, amikor a negyedidőszak, a középső jégkorszak (pleisztocén) hideg (mindel glaciális) szakaszában az eredetileg trópusi övezetben elterjedt (szárazföldi) élőlényből egy hideg éghajlati övhöz alkalmazkodott, rendkívül nagytestű élőlény lett. Ezen pleisztocén (jégkori) interglaciális/glaciális váltásokhoz kapcsolódó faunahullámok során, mintegy 300 ezer évvel ezelőtt, a mindel eljegesedés folyamán alakult ki a rendkívüli méretekkkel jellemezhető Steller tengeritehén (*Hidrodamalis gigas*) és terjedt el Behringia peremén, az aleuti, kamcsatkai és alaszakai partvidéken. A tengeritehenek földi történetének szinte törvényszerű fordulata, hogy a középső pleisztocén egyik lehűlési maximumában kifejlődött, és a glaciálisok során jóval elterjedtebb (547. ábra), a jelenkori felmelegedés során az aleuti–alaszakai–kamcsatkai menedékhelyekre (refúgiumokba) visszaszorult Steller tengeritehén (*Hidrodamalis gigas*) egyedeket végül a zsírjukért, bőrükért, tejnedveikért és

húsukért mészárolták le és irtották ki. Az viszont már a sors különös fintora, hogy a német származású *Georg Wilhelm Steller* tengerbiológus 1741-ben készült publikációi és rajzai nyomán jelentek meg a tömeges pusztítást végző „vadászok” és „munkájuk eredményeként” 1768-ban, 27 évvel a felfedezés és leírás, publikáció után a Steller tengeritehén (*Hidrodamalis gigas*) kipusztult¹³⁴.



547. ábra Az ember által a XVIII. században kipusztított Steller tengeritehén (*Hidrodamalis gigas*) elterjedése a negyedidőszaki utolsó interglaciálisában (sárga körök), az utolsó eljegesedés idején (kék kör), történelmi időkből, utolsó 1000 év során (fekete kör) (Forrás: új ábra)

4.6.48. Cetacea (Cetek) rendje



548. ábra Földünk legnagyobb méretű élő és valaha élt állata a kék (vagy más néven óriás)bálna (*Balaenoptera musculus*) egy 75 személyes utasszállító hajóval összevetve (Forrás: wikipedia)

Az új genetikai elemzésekre alapuló besorolás alapján a párosujjú patásokkal együtt kellene tárgyalni ezen rendbe sorolt taxonokat, de a paleohidrológiai elemzéseknél jól használható a klasszikus és napjaink őslénytanában elterjedten hasznosított besorolás is. Így a cetek (*Cetacea*) rendbe sorolható már kihalt őscetek (*Archaeoceti*), delfinek (*Delphinidae*) és bálnák (*Mysticeti* – szilascetek, mivel a bálna szó nem rendszertani kifejezés, hanem a nyelvújítás során kialakított szófordulat) taxonjaival foglalkozunk itt a paleohidrológia e-

tankönyv keretében. A cetek a tengeritehenekhez hasonlóan szárazföldi emlősöktől származnak, így levegőt lélegeznek be, állandó testhőmérsékletűek, utódaikat szoptatják, de a törzsfajlás, a vízi életmódhoz történő alkalmazkodás során az alakjuk a halakéhoz hasonlóan áramvonalas lett. A szirénekhez hasonlóan a mellső végtagjaik uszonyokká alakultak, a hátsó végtagjaikat és függesztő övüket elvesztették, nincs szőrzetük, és a szárazföldi emlős korszakból átörökölt, a gerincük függőleges mozgásával úsznak (szemben a halak és hüllők oldalirányú mozgásával). Ezen mozgásuknak megfelelően – a szirénekhez hasonlóan – a farokúszójuk vízszintes kifejlődésű. A cetek mérete egy és harminc (!) méter, tömegük pedig 30 kilogramm és 173 tonna (!) között változik. A 30 méter/173 tonna körüli paraméterekkel a ma élő (és valaha élt) legnagyobb földi állat, a kék (vagy más néven óriás) bálna (*Balaenoptera musculus*) jellemezhető (**548. ábra**). A szilascetek döntő részét az évszakos vándorlás jellemzi, a nyári félét hidegebb, sarkkör környéki vizekben töltik, és ekkor táplálkoznak, majd a téli félét trópusi vizekben töltik, ekkor szaporodnak. A vándorlás közben nem táplálkoznak. A szilascetek (*Mysticeti*) alrendjéhez tartozó taxonoknak nincsenek fogaik, hanem a szájpadról lógó szarulemezek (az ún. „szilák”) segítségével szűrik ki a vízből a táplálékukat jelentő zooplanktonokat, döntően a sarkvidéki területeken élő alacsonyabb rendű rákokat, a krilleket. A fogascetek (*Odontoceti*) alrendjéhez tartozó taxonoknak, a szilascetekkel szemben, vannak fogaik, és tintahalakat, halakat zsákmányolnak, bár fogazatuk rendkívül változatos, a delfineknek például több száz foguk van, a narváloknak pedig külső agyaruk is megjelenik. Különleges képességük, hogy a visszhang alapján képesek tájékozódni. A fogascetekhez (*Odontoceti*) sorolhatók a delfinfélék (*Delphinidae*), disznódelfinfélék (*Phocoenidae*), narválfélék (*Monodontidae*), a folyami delfinfélék (*Platanistoidea*), törpeámbráscetfélék (*Kogiidae*), ámbráscetfélék (*Physeteridae*), csőröscetfélék (*Ziphiidae*) családjaihoz sorolható taxonok. Csoportos ragadozó (családi) életmód jellemzi ennek az alrendnek a

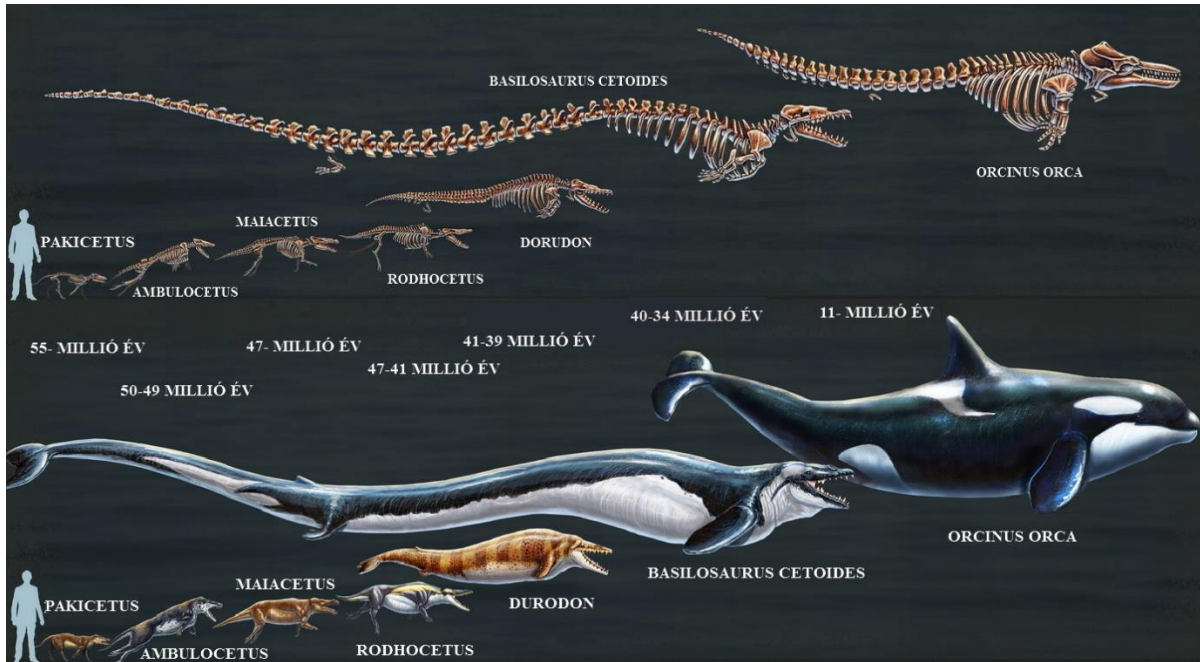
tagjait, amelyek közül a leginkább figyelemre méltóak a rendkívüli esetben 80 tonnát is elérő, és 20 métert is meghaladó ámbráscetfélék (**549. ábra**). A világtengerekben mindenütt jelen vannak ámbráscetek, közel egymilliós a példányszámuk globálisan - egy átfogó felmérés nyomán. Ragadozó életmódot folytatnak, döntően mélytengeri kalmárokkal táplálkoznak, fejlett hanglokátorral tájékozódnak, és akár 1,5 órára is képesek egy levegővétellel lemerülni, és így 1000 méteres tengeri mélységet is elérhetnek.



549. ábra Ámbráscet nőstény borjával (Forrás: wikipedia)

A paleohidrológiai elemzésekben a fogascet (*Odontoceti*) maradványok csak a harmadidőszak eocén időszakától kezdődően használhatók fel, egyszerűen azért, mivel ennek az alrendnek a kialakulása ekkor kezdődött el a fossziliák alapján. A fogascetek (*Odontoceti*) maradványai alapján felállított evolúciós sor (**550. ábra**) rendkívül hasonló a tengeri tehének fejlődéséhez, már csak azért is, mivel az első taxonjaik négy lábú szárazföldi élőlények voltak. Ezek közé tartoznak az eocén időszakban, mintegy 55-34 millió éve élt *Pakicetus* taxonok (**551. ábra**), vagy az *Indohyus major* faj is. A mintegy 2 méteres és 135 kilogrammos, a mai (törpe) vízilovakhoz hasonlóan amfibikus életmódot folytató *Pakicetus* genus taxonjai a cetfélék (*Cetacea*) rendjébe, azon belül a kihalt őscetek (*Archaeoaceti*) alrendjébe sorolhatóak, azaz egykor élt közös őseik voltak a

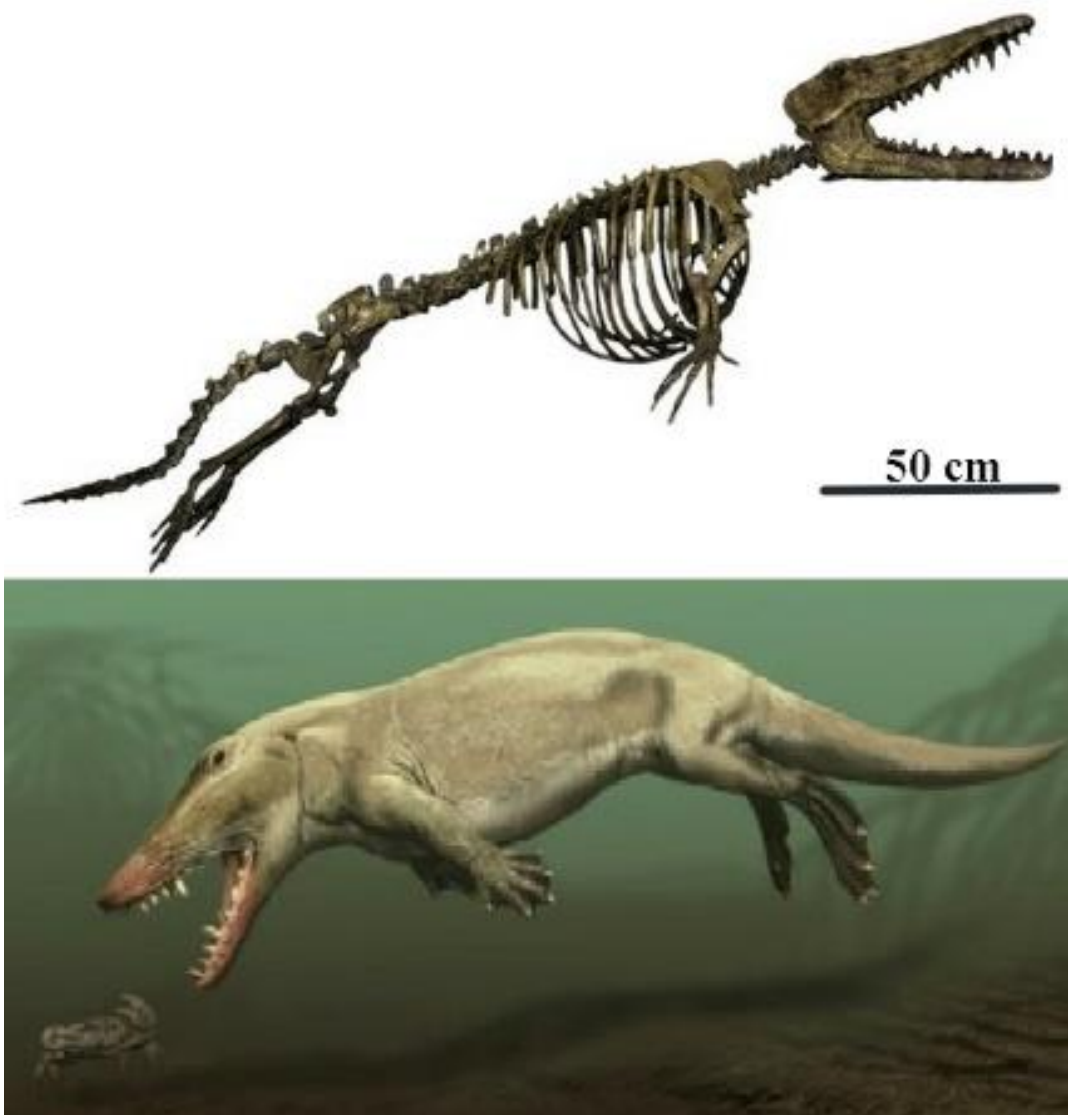
tengeritehenekkel, a valamikor a kréta időszak végén vagy a paleocén kezdetén létező szárazföldi párosujjú patásokkal.



550. ábra A fogascetek (Odontoceti) maradványok alapján felállított evolúciós sor (Forrás: wikipedia - átalakítva)



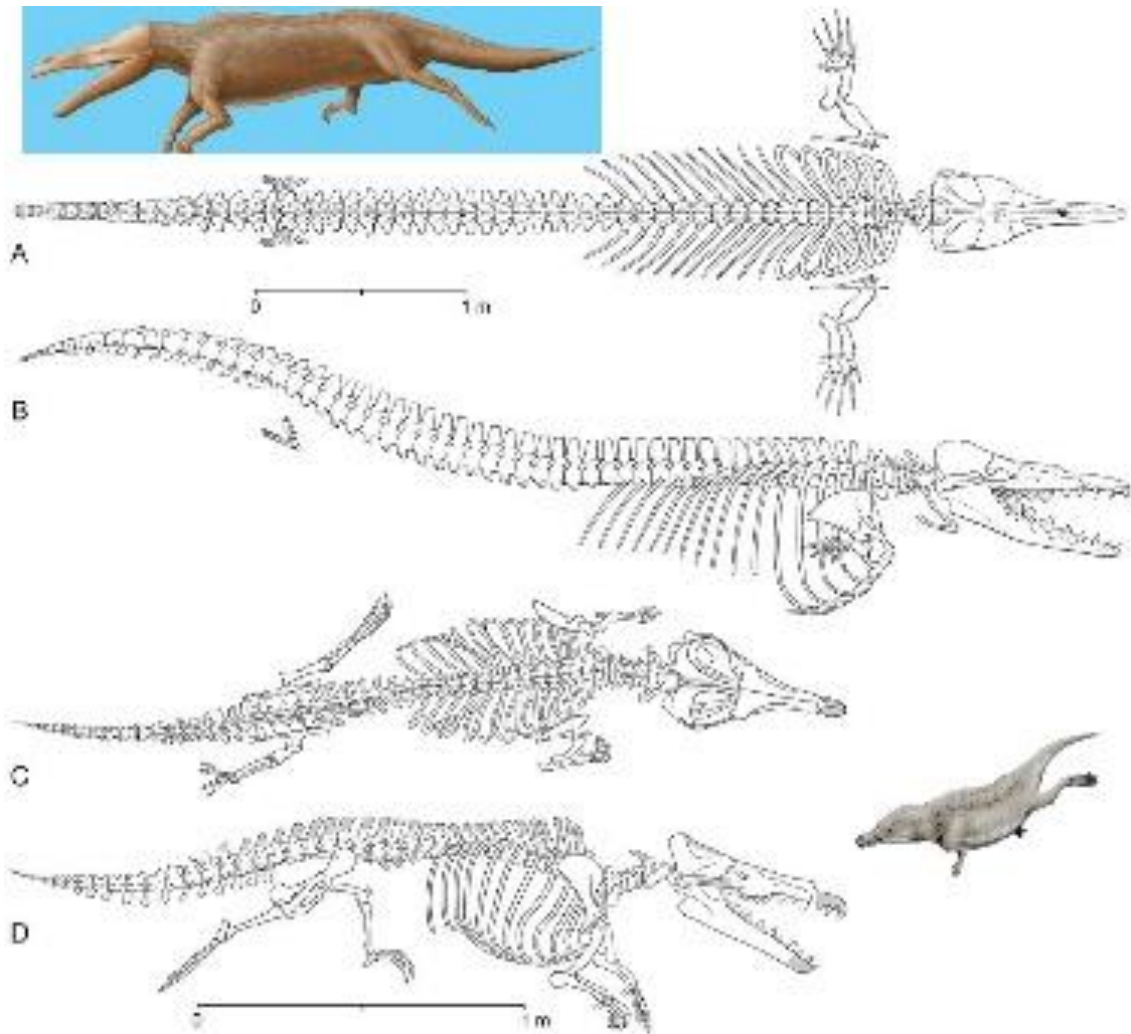
551. ábra A fogascetek (Odontoceti) eocén időszi négy lábú, szárazföldi őseinek egyike a Pakicetus atocki csontváza (Forrás: wikipedia)



552. ábra A fogascetek (*Odontoceti*) eocén időszaki négylábú, amfibikus életmódot folytató, de már a vízi életmódhoz adaptálódott ősi taxonja, a sétáló cet (*Ambelocetus*) csontváza és rekonstruált művészi életképe (Forrás: wikipedia - átalakítva)

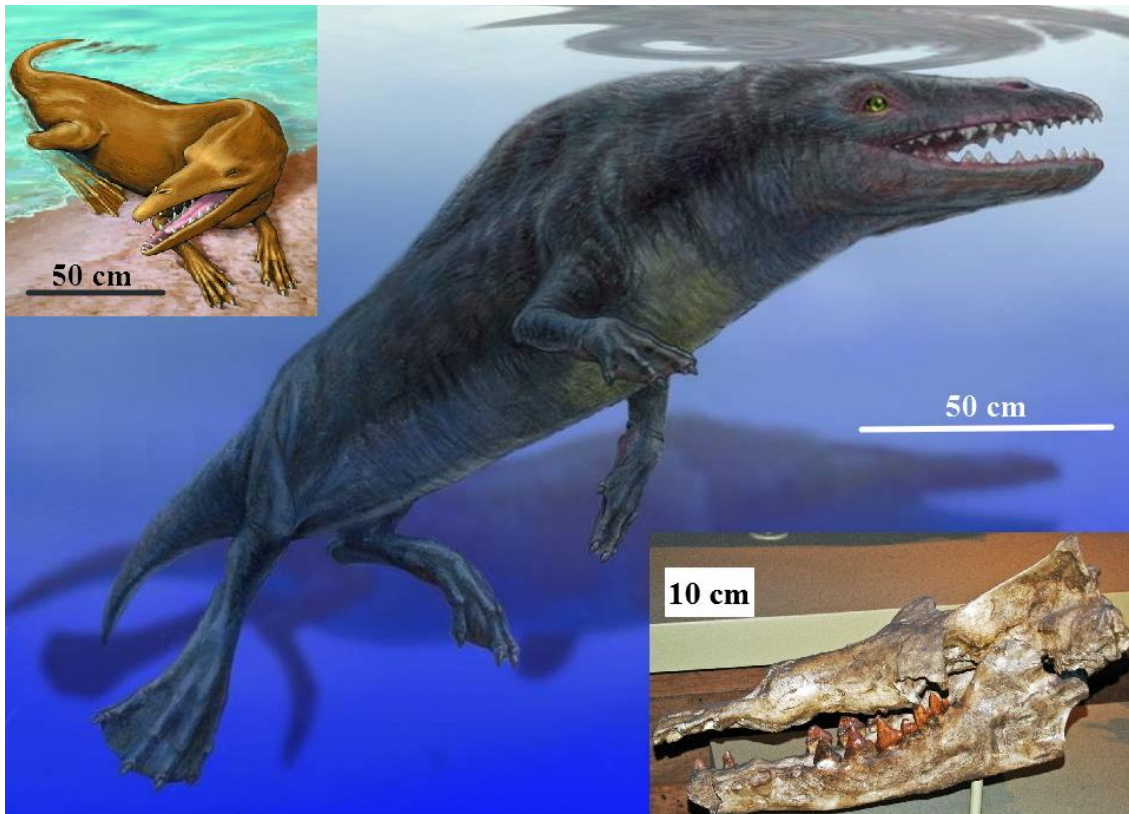
Az *Ambelocetus* (sétáló cet) taxon is az eocén során, mintegy 50 és 49 millió évvel ezelőtt létezett, 3 méter hosszú, krokodilszerű élőlény volt (**552. ábra**), amely képes volt a szárazföldön is járni, de inkább már a vízi életmódhoz alkalmazkodott. A füle már a cetekhez hasonlóvá alakult – eltűnt a külső fülkagyló, és az orrcsontjának módosulása következtében már képes volt víz alatt is nyelni, és a delfinekhez – cetekhez hasonló fogsorozatuk volt. Az *Ambelocetus* (sétáló cet) taxonok egyedei a fokozatosan beszűkülő Tethys-óceán keleti szektorában a folyótorkolatoknál (eusztárium rendszereknél), a tengerparti

és a sekélytengeri övezetben egyaránt jelen voltak. Így az édesvízi, csökkent sós vízi és sós vizekben egyaránt élhettek.



553. ábra A fogascetek (*Odontoceti*) eocén időszaki négy lábú, amfibikus életmódot folytató, de már a vízi életmódhoz adaptálódott ősi taxonja, a cetek anyja (*Maiacetus*) csontváz rajza és művészi élethelyzetű rekonstrukciói (Forrás: wikipedia és wikifossil – átalakítva)

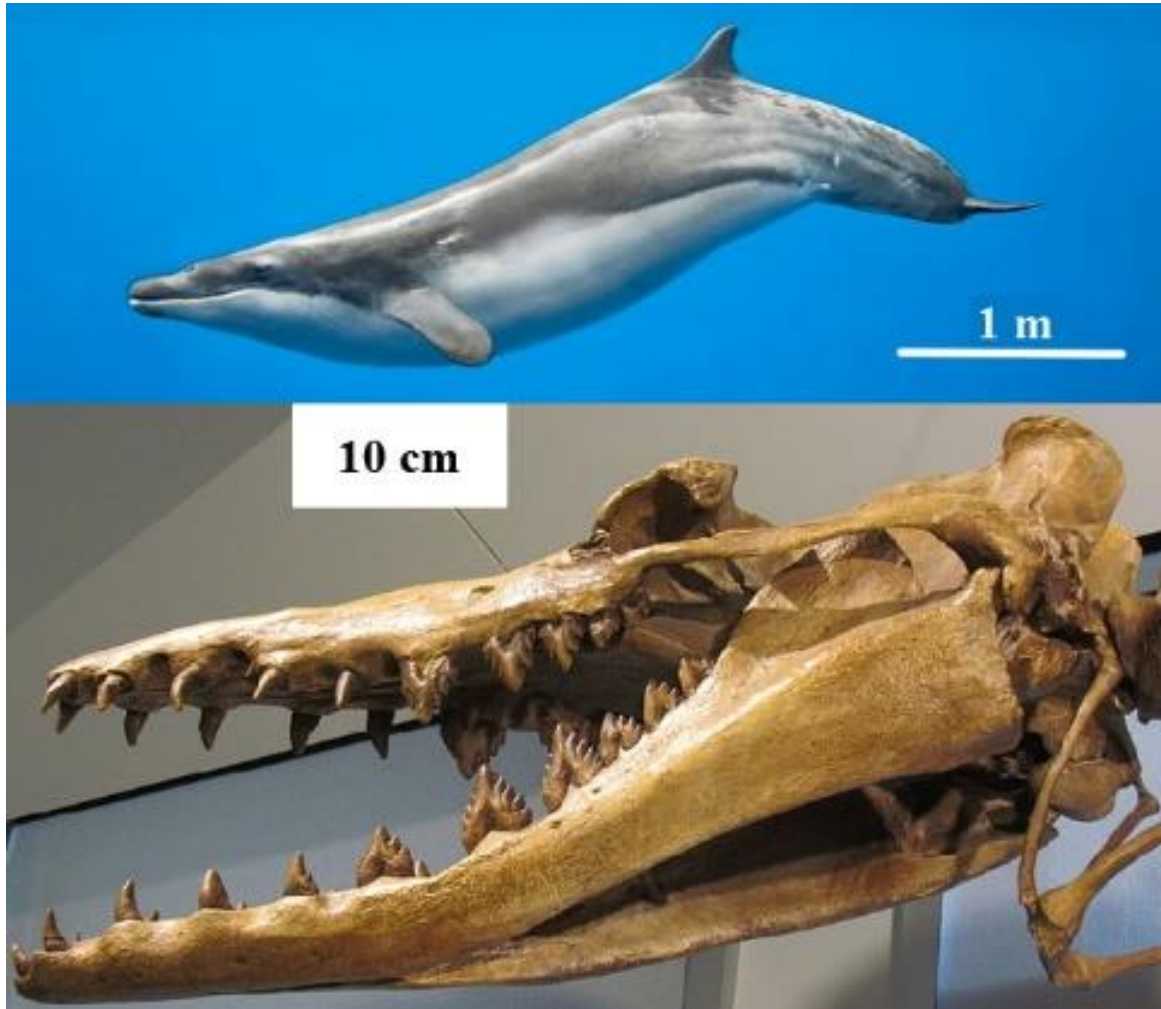
Az adatok azt mutatják, hogy az Indiai kontinens és az Eurázsia kontinensek közötti Tethys-óceán keleti medencéje volt a cetek kialakulásának színtere az eocén időszak során. Ezt támasztja alá a Tethys eocén üledékeiben, Pakisztánban feltárt *Maiacetus* (cetek anyja) lelet (**553. ábra**), és az ugyanitt az eocén időszak lutéciai emeletében felhalmozódott üledékből származó, már úszóhártyás lábakkal rendelkező *Rodhocetus* (**554. ábra**) leletek is.



554. ábra A fogascetek (*Odontoceti*) eocén időszi négylábú, amfibikus életmódot folytató, de már a vízi életmódhoz adaptálódott ősi taxonja, *Rodhocetus* koponyája, illetve vízi és szárazföldi élethelyzetű rekonstrukciója (Forrás: wikipedia és wikifossil – átalakítva)

A cetek kialakulásának következő fejlődési állomását a *lándzsa fogú őscet* (*Dorudon*) taxonok kialakulása jelentette. Az elnevezés jól látható az őscet fogzatán, maga az állat szinte teljesen ragadozó fókaszzerű (leopárdfóka szerű) megjelenésű volt (**550. és 555. ábra**). Teljesen vízi életmódra rendezkedett be, fókaszzerű (delfinszerű) testtel rendelkezett, hátsó lábai és függesztő övei elkorcsosultak, mellső lábai helyett már úszókarok jelentkeztek, hatalmas farokúszója volt a fő mozgató szerve úszás közben, amit teljesen delfinszerűen

végzett (555. ábra). Ragadozó életmódot folytatott, halakat és tintahalakat zsákmányolt. Az eddigi adatok alapján az eocén időszak végén szorult vissza és tűnt el a világtengerekből¹³⁵.



555. ábra A fogascetek (*Odontoceti*) eocén időszaki már teljesen vízi életmódhoz adaptálódott ősi lánzsafogó taxonja, a *Dorudon* koponyája, és vízi élethelyzetű rekonstrukciója (Forrás: wikipedia és wikifossil - átalakítva)

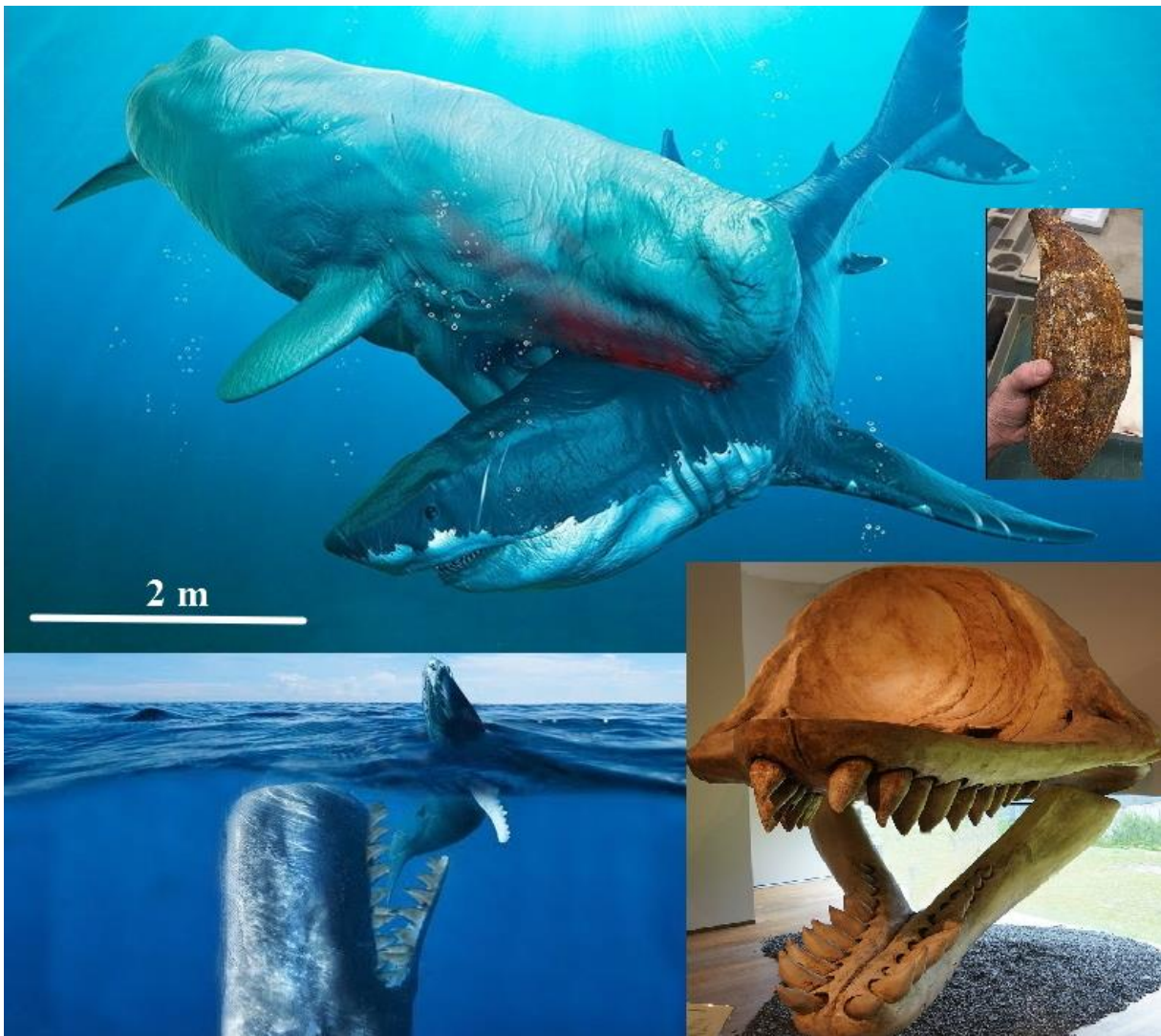
A földtörténet eddigi legnagyobb ragadozó cet faja, a 20 méteres hosszúságot, és talán az 50-60 tonna súlyt is elérő *Basilosaurus cetoides* (556. ábra) az eocén időszak végén, mintegy 40 millió éve fejlődött ki és az eocén végének tengeri csúcsragadozója volt, bár a felépítése következtében elsősorban a vízfelszín közelében, illetve sekélytengerben vadászhatott csak. Hátsó végtagjai és függeszítő öve még volt, de már elcsökevényesedett. A cetfélék fejlődési csúcspontját a kardszárnyú delfin (*Orcinus orca*), más néven orka - vagy (angol

neve után) gyilkos bálna alkotja. Kialakulását a miocén időszakra teszik, és 11 millió évtől már biztosan számolhatunk áramvonalas testének és életformájának a folyamatos jelenlétével a világoceánok rendszerében. Abszolút tengeri csúcsragadozó, a legnagyobb példányaik elérik 10 métert és 10 tonnát. Valamennyi cetfélélt megtámadják családi falkákba verődve, de fókákat, pingvineket, tengeri récéket, és más madarakat, rozmárokat, halakat, cápákat, tengeri teknősöket, part mentén kóborló vagy tengersizoron átkelő patásokat egyaránt fogyasztanak.



556. ábra A földtörténet eddigi legnagyobb ragadó cet fajának, a *Basilosaurus cetoides* rekonstruált képe és koponyája (Forrás: wikipedia és wikifossil - átalakítva)

Nemcsak az eocén időszaki *Basilosaurus cetoides*, vagy a miocén időszaktól jelenlévő orka taxonok (550. ábra) jelentették a fogascetek közötti csúcsragadozókat, a miocén és pliocén időszakban ismeretes egy fosszilis faj, a *Livyatan melvillei*, amely a mai ámbráscetekhez hasonló méretű, 17-18 méteres és 55-60 tonnás lehetett (557. ábra). Mindkét állcsontjában viselt fogakat és a fogak mérete egészen elképesztő módon meghaladta a 36 cm-es hosszúságot (557. ábra). Kifejlett példánya minden cetet, cápát képes lehetett elfogyasztani a miocén időszakban (557. ábra). A cetek, közte a ragadozó életmódot folytató fogas cetek fejlődéstörténete jól példázza a paleohidrológiai elemzéseknél felhasznált vízi emlősök kialakulását.



557. ábra A miocén időszaki gyilkos bálna (*Livyatan melvillei*) rekonstruált képe, koponyája és fosszilis foga (Forrás: wikipedia és wikifossil - átalakítva)

A cetek mellett részlegesen vagy teljesen vízi életmódra áttért menyétfélékhez tartozó, tengeri sünöket, rákokat, csigákat és kagylókat, halakat fogyasztó tengeri vidrák (*Enhydra lutris*) a negyedidőszak során tértek át a tengervízi életmódra és vált el a fejlődésük a szárazföldi menyétféléktől. A tengeri vidra elterjedési területe a jégkor során, mintegy 2 millió éve alakult ki, amikor kezdetben Kamcsatka, Szahalin és Hokkaidó partvidéken, az Aleuti-szigeteken majd az alaszakai partvidéken, azt követően az egész észak-amerikai Pacifikus partvidéken elterjedtek. A részlegesen vízi életmódra áttért, paleoarktikus elterjedésű, Észak-Afrikában, Euráziában elterjedt európai vidra (*Lutra lutra*) fejlődése a tengeri vidraféléktől mintegy 5 millió évvel ezelőtt a pliocén időszakban vált el, míg a vidrafélék kialakulása a miocén második felében, 11-12 millió év között történhetett az eddigi paleohidrológiai elemzések nyomán. Magának az európai vidrának a kialakulása a negyedidőszak kezdetén, 2,6-2,4 millió évvel ezelőtt játszódott le. Úgy tűnik, hogy mind a tengeri, mind az édesvízi környezethez adaptálódott vidrák esetében a negyedidőszak kezdetén lejátszódott környezeti változások indították el a környezet (habitat) váltást. Valószínűsíthető, hogy a globális lehülés során a hőmérsékleti változásra érzékenyebb vízi ragadozók visszaszorulása következett be, üres élettér alakult ki, amelyet a miocén során fejlődésnek indult, vízi életmódra áttért és a vastag prémrétegük révén védettebb vidra taxonok ki tudtak tölteni mind az édesvízi, mind a tengeri habitatokban (élőhelyeken).

A vízi életmódra áttért ragadozó emlősök mellett ismeretesek vízi rágcsálók is, az eredetileg észak-amerikai, de a betelepítések nyomán egész Euráziában is elterjedt pézsmapocok (*Ondatra zibethicus*), az eleve eurázsiai vízipocok, más néven közönséges kószapocok (*Arvicola amphibius*), illetve Eurázsia legnagyobb testű rágcsálója, az európai hód (*Castor fiber*) és vikariáns észak-amerikai társa a kanadai hód (*Castor canadensis*). A hódfélék kialakulása és elkülönülése a többi emlős taxontól már a kainozoikum kezdetén, a paleocén időszakban elindult, de vízi életmódra áttérésük a miocén végén, mintegy 7-8 millió évvel

ezelőtt történhetett. Az eurázsiai hódok adaptív radiációja a jégkor végén, a jelenkor (holocén) kezdetén indult meg, de emberi hatásra, főként a XIX. századi túlvadászat nyomán ez a folyamat megállt és a kialakult alfajok fennmaradása is kétséges. Ugyanakkor sikeres visszatelepítésük zajlott a Brit-szigeteken (Skóciában), a magyarországi folyókban, az Elbán, Hollandiában, Skandináviában és az Al-Dunán. Ennek nyomán a faj fennmaradása biztosítottnak tűnik, de élőhelyeik igen jelentős emberi nyomás (szennyezés, bolygatás) alatt állnak.

Ellenőrző kérdések:

18.1. Ismertesse az emlősök (Mammalia) paleohidrológiai jelzőszerepét.

18.2. Ismertesse a legfontosabb vízi életmódra áttért emlősöket (Mammalia) és paleohidrológiai jelzőszerepüket

18.3. Hová soroljuk a kacsacsőrű emlőst (Ornithorhynchus paradoxus) az emlősök (Mammalia) osztályán belül és milyen paleohidrológiai szerepük van?

18.4. Mik azok a hódfarkúak (Castorocauda) és miért fontosak paleohidrológiai szempontból?

18.5. Ismertesse a tengeritehenek (Sirenia) legfontosabb taxonjait és paleohidrológiai jelentőségüket

18.6. Ismertesse a cetek (Cetacea) legfontosabb taxonjait és paleohidrológiai jelentőségüket

18.7. Mi a különbség a szilascetek (Mysticeti) és fogascetek (Odontoceti) között?

18.7. Mutassa be a szilascetek (Mysticeti) és fogascetek (Odontoceti) legfontosabb taxonjait és paleohidrológiai jelzőszerepüket?

18.8. Mutassa be a vízi életmódra áttért ragadozó emlősök (Carnivora) legfontosabb taxonjait és paleohidrológiai jelzőszerepüket

18.9. Mutassa be a vízi életmódra áttért rágcsáló emlősök legfontosabb taxonjait és paleohidrológiai jelzőszerepüket?

III.fejezet

5. Speciális édesvízi (állóvízi) paleohidrológiai környezetek – tavak, lápok, mocsarak

Az állóvizeknek általában kismértékű a lefolyása és önálló medencével rendelkeznek. Az állóvizek legismertebb képviselői a tavak, a lápok és a mocsarak. Sajnos a magyarországi oktatásban ezeket az állóvízi állapotokat egy fejlődési sor, állapotsorozat részeként oktatják (tavak–fertők–lápok–mocsarak). Ennek nyomán pont az egyes állóvizek fejlődéstörténeti lényegét egyszerűsítették le egy sorozattá, holott a folyamat szétágazó, azaz a tóból mocsár is kialakulhat, lápi fázis közbeiktatása nélkül és a felszíni biogén feltöltődés (úszóláp) kifejlődése nyomán láppá is alakulhat a tó, fertő állapot nélkül.

5.1. Tavak

A tavaknak nevezzük azokat a geológiai képződményeket, ahol a stagnáló víztömeg önálló, tengertől, folyótól elkülönült medencével rendelkezik. A tavak keletkezésétől a feltöltődésig, kiszáradásig tartó folyamatában olyan sokszínűség és egyediség jelentkezik, hogy a különböző tavak elemzése nyomán elképesztő mennyiségű, eltérő osztályozás készült a tavi állóvizek fejlődéstörténetének minden mozzanatáról. Sajnos sokszor az egyedi megfigyeléseket, vagy hipotéziseket általánosították a tavakkal és a tavak fejlődésével kapcsolatban. Majd évtizedeken át hivatkoztak és hivatkoznak, tankönyvekben számon kérve mutatják be ezeket az általában elméleti, sokszor már szakcikkekben többszörösen is megcáfolt modelleket és megközelítéseket.

A tavak osztályozásának legvilágosabb módja a keletkezésük alapján történő kategorizálás, bár paleohidrológiai szempontból a tavakat más szempontok szerint soroljuk be, mint hidrobiológiai és hidrológiai szempontból. A legfontosabb tényező a paleohidrológiában a víz egykori mélysége, a víztest kiterjedése és a feltöltődés időtartama. Ennek nyomán mindenekelőtt hosszú

ideig fennmaradó, rövid ideig fennmaradó és időszakos tavakat különítünk el paleohidrológiai szempontból.

A hosszú ideig fennmaradó, több millió év alatt feltöltődő tavak döntően szerkezeti árkokban alakultak ki és rendkívüli mélység (Bajkál-tó, Tanganyika-tó) jellemzi ezeket a geológiai képződményeket. A rövid ideig fennmaradó és időszakos tavak rendkívül változatos genetikával jellemezhetőek. Lehetnek folyóvízi eredetűek – lefűződött egykori medrekkel rendelkező morotvatavak, vulkáni kürtöket kitöltő krátertavak, jég által kialakított tavak, mint kártavak, végmoréna tavak, glinttavak, belföldi jégtakaró szelektív eróziója nyomán kialakult tavak. A jég által kialakított tavakhoz tartozik a visszahúzódó belföldi jégtakaróból leszakadt, az olvadékvíz síkságon megmaradt ún. „holtjég” maradványok elolvadás nyomán kialakult tavak.

Szélfúttá mélyedésekben is kialakulhattak tavak, ezek általában időszakos tavak, de ismeretesebbek több ezer éven át fennmaradó eolikus homokfelszíneket borító tavak, mint a Nyírségben található nyírtavak, amelyek döntően emberi hatásra száradtak ki vagy töltődtek fel az elmúlt 150-200 évben. Víznyelők, karsztos mélyedések (például poljék) talajjal, finomszemű üledékekkel történő elzáródása nyomán is kialakulhatnak tavak, de hegyomlás, völgyelzáródás is hozhat létre állóvizet. A forrásoknál, meszes patakoknál az édesvízi mészkőkiválások nyomán kialakult földtani gátak hatására (ún. „*tetarata tavak*”), a barlangokból kilépő karsztvizeknél, illetve a forrástölcséernél is alakulhatnak ki tómedencék, az ún. „*forrástavak*”. A folyók deltáinál a turzások mögött szintén létrejöhetnek önálló tómedencék, az ún. „*turzástavak*”, amelyek sok esetben csökkent sós vizű vagy kevert vizű vízterekkel jellemezhetőek.

A változatos genetika ellenére ezeknek a rövid ideig fennmaradó tavaknak a feltöltődése relatíve gyorsan lejár, és néhány száz, néhány ezer év alatt ezeknek az állóvizeknek az önálló medencéje feltöltődik, és teljesen feltöltődött mocsárra, vagy sok esetben lápokká alakulnak át.

5.2. Lápok

A lápok aktív tőzegképző környezetek (**6. táblázat**), ahol a stabilabb vízellátás következtében a tőzeg felhalmozódásának mértéke meghaladja a tőzeg bomlásának léptékét, míg a mocsarakban nem történik tőzegfelhalmozódás és a vízellátásuk ciklikusan változik, időszakosan kiszárad. Az időszakos kiszáradáshoz kapcsolódik a magasabb vízállásnál kialakult tőzeg erőteljes bomlása, oxidációja, talajosodása és sok esetben megsemmisülése is. A lápok osztályozásának legátfogóbb módját Balogh Márton limnológus végezte el (1. táblázat). Így a vízellátás, a tőzegképződés, a vízkémiai paraméterek, valamint a morfológiai adottságok alapján osztályozhatóak a lápok. Természetesen tengerszint feletti magasság, éghajlati övek, biogén feltöltés kifejlődése és mértéke, a láp kiterjedése és formája nyomán is osztályozhatjuk a lápokot és tudomásul kell vennünk, hogy az észak-euroázsiai, kanadai, nyugat-európai, új-zélandi régiókban jóval kiterjedtebbek a lápterületek, és a közép-európai formáktól eltérő megjelenésűek (például írországi lejtőlápok – blanket bog-ok). Ennek nyomán a lápok osztályozása, vizsgálata, elemzése ezeken a területeken eltérhet a közép-európai sémáktól.

Lápfelszínek szerint	dagadóláp	átmeneti láp	síkláp
Tápanyag szerint	oligotróf láp	mezotróf láp	eutróf láp
Növényzet szerint	tőzegmoha láp	tőzegmohás láp	rétláp
pH szerint	erősen acidofil láp	acidofil	neutrális/basofil láp

6. táblázat A lápok átfogó osztályozása (Balogh Márton limnológus alapján)

Paleohidrológiai könyvünk befejező részében néhány speciális tavi, lápi és mocsári környezetet mutatunk be, hogy ezeken az egyedi eseteken keresztül mutassuk be tarka világunkban jelenlévő állóvizeink sokszínűségét.

5.3. Varv-tavak, laminált tavi rétegek, klasszikus varv

A folyóvízi, tavi, tengeri üledékekben megfigyelhető rétegzettséget *ritmitnek*

nevezzük, ha pedig a rétegződés mm-es kifejlődésű, *laminációról* beszélünk. A lamináció speciális esete, ha a laminák éves vagy évszakos ciklusoknak megfelelően fejlődtek ki, ekkor *varvokról* beszélünk. A tavi üledékek éves rétegzettsége a biogén produkció, a vízkémiai viszonyok és az ásványi anyagok bemosódásának évszakos, ritmikus változása nyomán alakulhat ki. A klasszikus varv kialakulása úgy történik, hogy a jégtakaró peremén található tavakban vagy sekély tengerekben a tavaszi, nyári gyors jégolvadás során jelentős mennyiségű durva, mállatlan üledék halmozódik fel (világos színű homok és kavicsfrakció). Ezt követően, a téli félév során a finomabb szemcséjű üledékek, elsősorban a lebegő, szuszpendált és sötétebb színű agyagfrakció rakódik le. A világosabb színű durvább törmelék és a sötétebb színű finomabb szemcsékből álló sávok váltakozása alkotja az éves ritmust (**558. ábra**).



558. ábra Mikroszkóp felvétel varv laminákról (Forrás: wikipedia)

A varv képződményeknek elemzési és értékelési nehézségei legjobban a dendrológiai problémákkal vethetők össze. A lokális tényezők, a mállás, az erózió sebessége, intenzitása, bioproduktivitás szintje (élőlények szaporodása és életműködése) igen jelentős mértékben befolyásolhatja az egyes varv laminák

kifejlődését. A sekély tavi rétegeket a viharos szelek könnyen áthalmozhatják. Ezeket a kronológiai sorozatokat és a távkorrelációkat egyaránt befolyásoló hibákat részletes szemcseösszetétel elemzéssel, illetve a laminákba zárt fossziliák vizsgálatával küszöbölhetjük ki. A varvokból származó radiokarbon adatok általában idősebb kort adnak meg, mint amit a varvok esetében a számítás alapján kapunk. Ennek oka a tavak vízébe beoldódott és a varvokban kivált, jelentős mennyiségű, a mezozoós kőzetek lepusztulásából származó, szénizotópokat nem tartalmazó, inaktív karbonátban, az ún. “*rezervoár-hatásban*” keresendő. A kronológiai elemzés mellett a varvokat éghajlati viszonyok tanulmányozására is felhasználgják a varvok szélességének kifejlődésére alapozva (558. ábra). A varvok kronológiai és paleoklimatológiai adatait sikerrel hasonlították össze a varvokból származó pollenkép alapján rekonstruált őséghajlati változásokkal és a pollenszemcsékből nyert radiokarbon adatokkal. A varv-típusú üledékeknek (558. ábra) fontos szerepe volt a skandináv jégtakaró visszahúzódásának vizsgálatában, a jég olvadásának és mozgásának kronológiai modellezésében, de felhasználták vegetációfejlődési, tájhasználati, tófejlődési, valamint éghajlati változások rekonstrukciójára is.

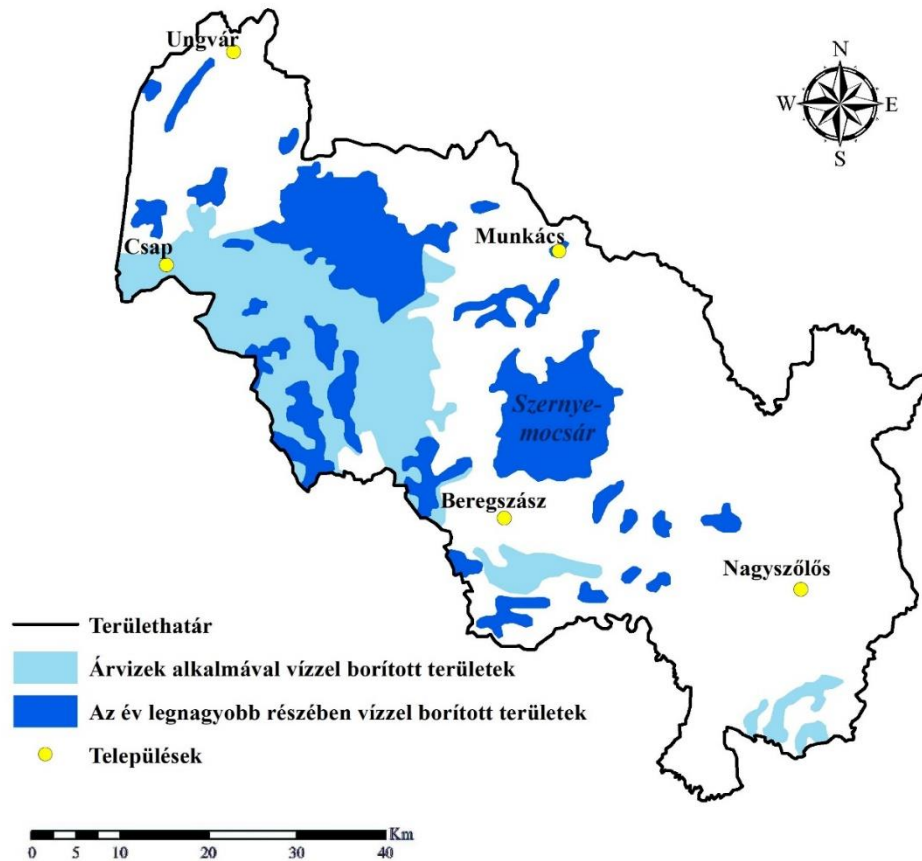
5.4. A kárpátaljai Szernye-mocsár fejlődéstörténete

Nagy Tibor, Molnár Ferenc, Gönczy Sándor, Kárpátalja, Beregszász, II. Rákóczi Ferenc Főiskola



559. ábra Az egykori Szernye-mocsár területe Forrás: Google Earth, 2017)

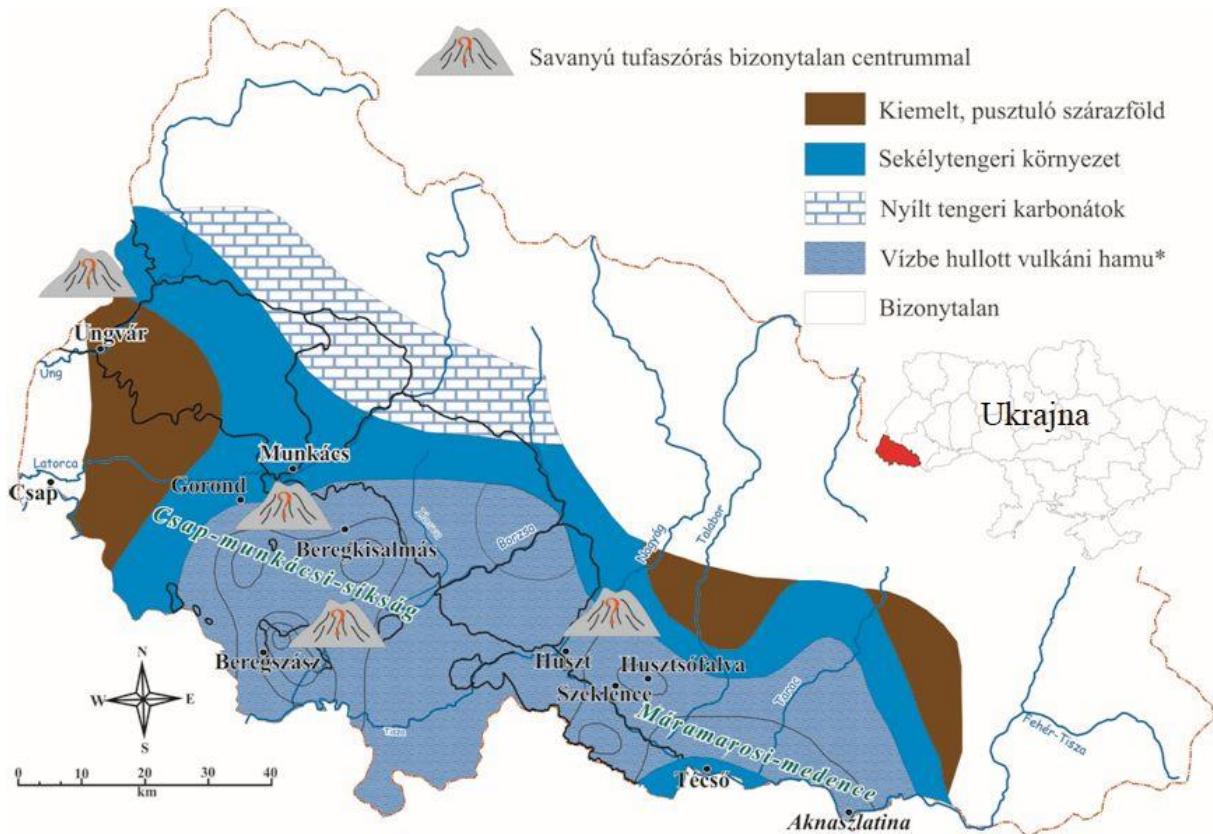
Az egykori Szernye-mocsár a Kárpát-medence északkeleti részén fekszik, politikai értelemben a mai Ukrajna területén, Kárpátalja megyében a Beregszászi és Munkácsi járások határán. Már csak egykori mocsárról beszélhetünk, hiszen XIX. század végi és a XX. század elejei lecsapolások ezt az élőhelyet megváltoztatták. Ugyanakkor bármilyen térképet nézünk a mocsár területe mindenütt jól kivehető, mindenhol jól elkülönül a környezetétől. A Kárpátaljai alföld viszonylag egyenletes településhálózata ma is mutatja az egykori vízjárta területeket. A közigazgatási vagy települési térképeket vizsgálva szembeötlő, hogy a Gát–Dercen–Fornos–Bárdháza–Makarja–Beregújfalu–Nagyberég–Tasnád–Makkosjánosi (középkorban is létező) települések körbeölelik a mocsár területét.



560. ábra A Kárpátaljai alföld árvízjárta és vízborította területei a lecsapolások előtt (Forrás: Magyarország vízborította és árvízjárta területei az ármentesítő és lecsapoló munkálatok megkezdése előtt Földművelésügyi Minisztérium Vízirajzi Intézete, Budapest 1938 – kárpátaljai szerzők által átrajzolva)

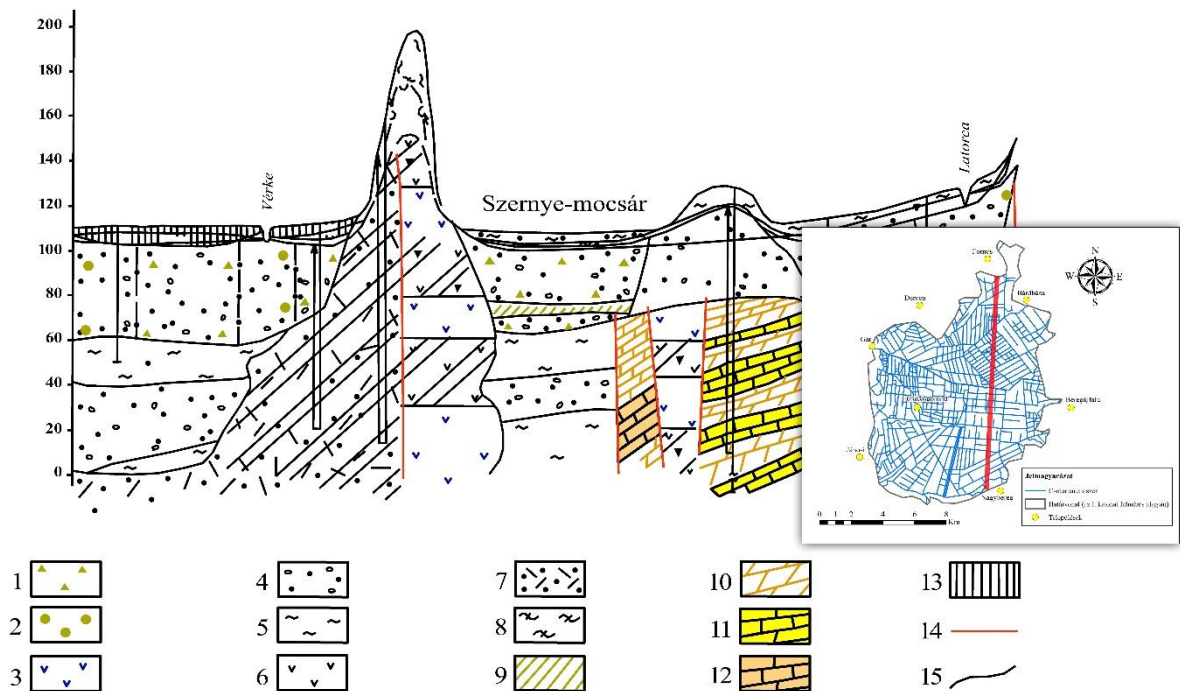
Az egykori láp belsejében csak egy település, Csikósgorond található. A kárpátaljai „gorondok” (Gorond, Csikósgorond, illetve az egykori Nyárasgorond és Szilvásgorond, stb.) olyan térségeket jelöltek, amelyek a mocsarakban vagy erősen vízjárta területeken szárazak maradtak a legmagasabb vízállásnál is.

Lényegében ezek a települések az egykori mocsári emberi élet, a mocsári életforma központjai voltak. Ha a Google Earth szuper nagy felbontású műholdképeit vizsgáljuk, ott is nagyon jól elkülönül a mocsár a környezetétől, talajainak sötétebb színével, a magasabb vízmegtartó képessége miatt (559. ábra).



561. ábra A miocén időszaki kárpáti emelet ősföldrajzi vázlatja Kárpátalján, *a kisebb körök a tufa méretének durvulását mutatják (Forrás: (Voznyeszenszkij, 1988 nyomán átszerkesztve, átrajzolva Gönczy, 2016)

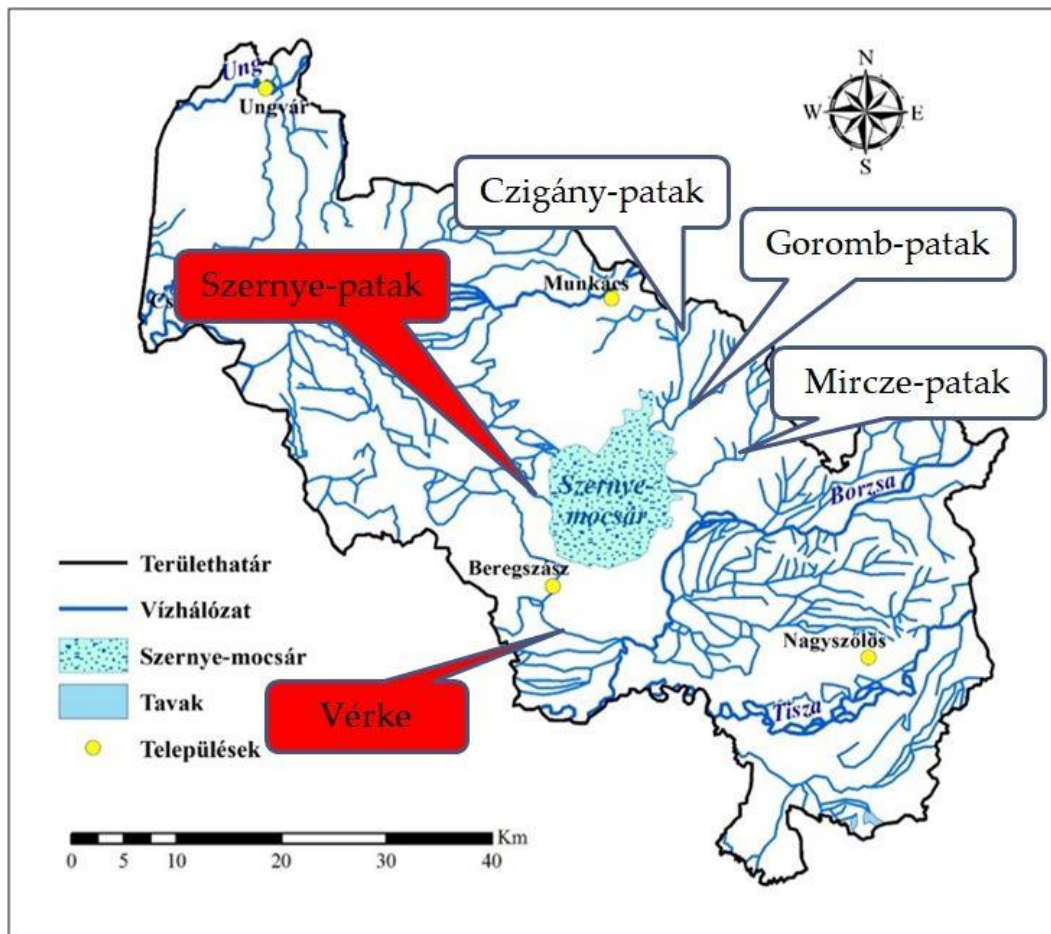
A Szernye-mocsár neve talán a szláv eredetű „*Srnje*” = öz szóból származik. Viszont tudnunk kell, hogy az írott történelem folyamán a láp egy részére, vagy egész területére vonatkoztatva többféle névváltozattal is találkozunk. Az északnyugati részét Nagy-tónak (1364-es határjárás) vagy Gáti-tónak is nevezték (1881). A mocsár egész területét nevezték Szörnyei-lápnak vagy Szörnyű-lápnak is. A XX. század elején kezdték nevezni Fekete-mocsárnak. Valószínűsíthető, hogy a kiszáradó tőzegtelepeken kialakuló helyi tüzek nyomán keletkezett fekete foltok miatt nevezték így. Mások az újkori névváltozatot a lassan kiszáradó mocsár fekete színű, kotus talajával hozzák kapcsolatba.



562. ábra Beregszász és Munkács közötti vízföldtani szelvény (Forrás: Gavrilenko ed., 1989 nyomán a kárpátaljai szerzők által átrajzolva) 1. természetes védettségét részben élvező víztartó; 2. természetes védettségét nélkülöző víztartó; 3. tömeges megjelenésű lávakőzet; 4. kavics, murvás homok; 5. agyagos homok; 6. lávaközetek, főleg andezit; 7. tufák; 8. mállott felszín; 9. részben természetes védettségét élvező rétegvíz; 10. agyagpala, aleurolit; 11. homokkőbe zárt, természetes védettségét élvező rétegvizek (szarmata); 12. homokkőbe zárt, természetes védettségét élvező rétegvizek (tortonai); 13. lösszős vályogtalaj; 14. törésvonalak; 15. réteghatárok

Lehoczky Tivadar a kárpátaljai területek első monografikus feldolgozójánál olvashatjuk először (1881), hogy a Szernye-mocsár egy vulkán kráterében (kalderájában?) keletkezett. Később Fodor István kárpátaljai botanikus (1996) újra említi Lehoczky felvetését, azonban egyik kutató sem írta le, hogy mire alapozzák állításaikat. A jelenkori domborzatot megvizsgálva valóban az látszik, hogy a majdnem kör alakú mocsár mintegy 3-8 m-rel alacsonyabb, mint a környező területek (**560. ábra**). Mivel más szakirodalomban nem találtunk semmilyen, a keletkezésére vonatkozó adatot, így a tágabb környezet paleohidrológiai vizsgálatsorozatba kezdtünk. A paleohidrológiai elemzésünket a Szernye-mocsár fekü képződményeinek feltárásával kezdtük. A Kárpátalja síksági területein több fúrásban és nagy vastagságban található meg az

úgynevezett Taracújfalvi geológiai formáció.

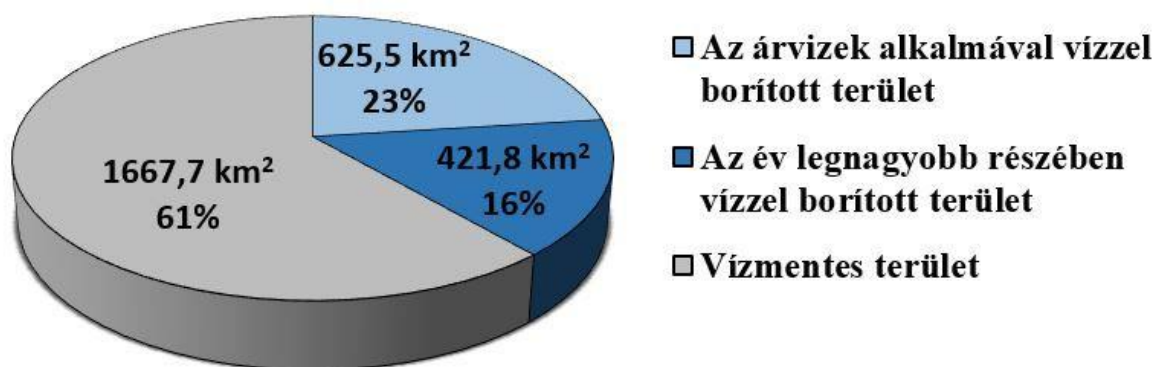


563. ábra A Kárpátaljai alföld árvízjárta és vízborította területei a lecsapolások előtt In: Magyarország vízborította és árvízjárta területei az ármentesítő és lecsapoló munkálatok megkezdése előtt (Forrás: Földművelésügyi Minisztérium Vízügyi Intézete, Budapest 1938 térképe nyomán a kárpátaljai szerzők által szerkesztett ábra)

A paleogén aljzatkomplexumra, vagy a neogén báziskonglomerátumra (Teresuli-konglomerátum) települő formáció két részből áll, melyeket egy több tíz méter vastag konglomerátum réteg választ el. Az alsó tagozatot riolit- riodácit- és dácittufa, tufit, agyag és márga rétegek alkotják, míg a felső tagozatban tufa, tufit, márga, homokkő és néhol lithothamniumos mészkő található. A tufák felső tagozatát a radiometrikus kormeghatározás $16,5 \pm 0,5$ millió évre teszi.

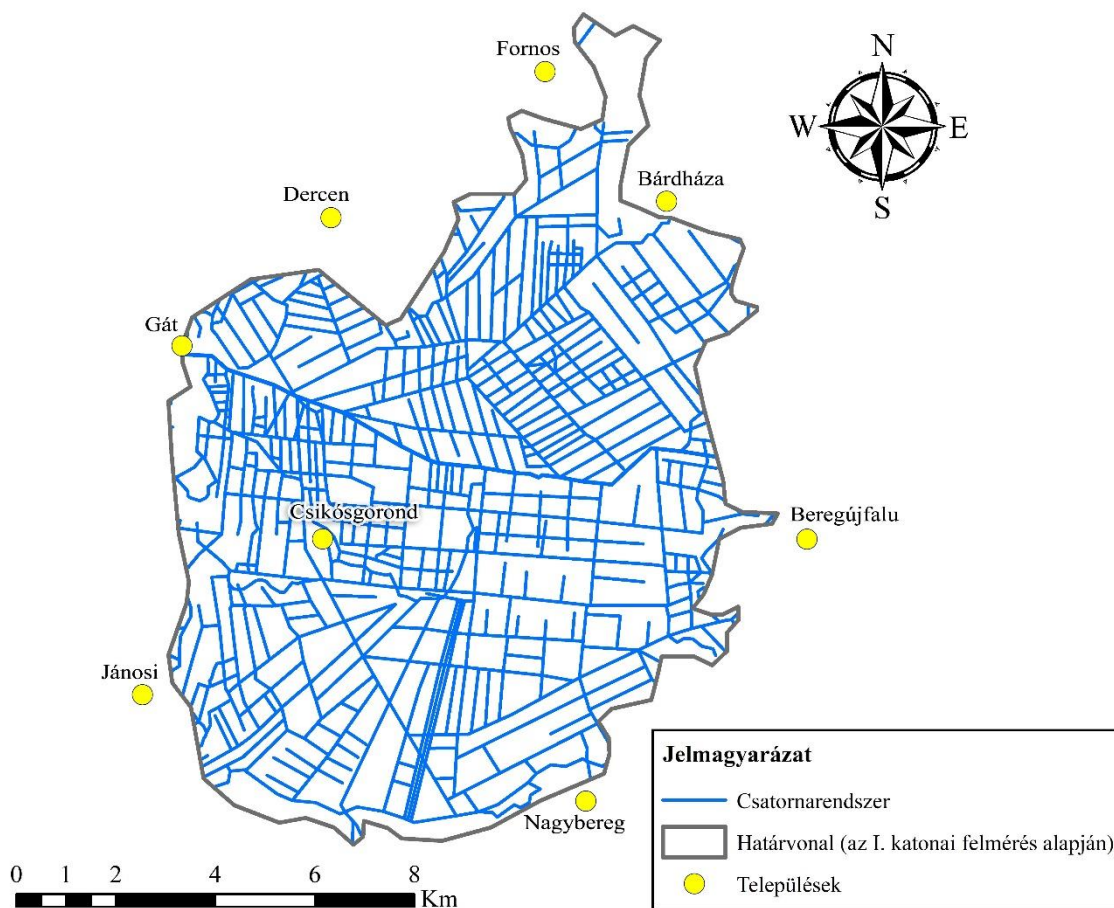
Hasonló korú és összetételű kitörési produktumokat ismerünk a Vihorlát területéről ($15,8 \pm 1$ millió év), illetve az Aknaszlatinai-medencében Bustyaháza és Nyéresháza területéről ($16,5 \pm 0,5$ millió év). Kárpát-medencei szinten a Tari

Dácittufa Formációval ($15,9\pm 0,6$; $16,4\pm 0,8$ millió év) kapunk kronológiailag hasonló értéket. Az elmondottak alapján a Kárpát-medence keleti, északkeleti részén a kárpáti-bádeni elemetekben jelentős savanyú vulkanizmust feltételezhetünk. Ugyanakkor a tufát szolgáltató kitörési központokat nem ismerjük, azonban a fúrásokban észlelhető szemcsedurvulások alapján közvetett bizonyítékokat kapunk erre nézve. A vulkáni xenotufák elterjedése alapján Voznyeszenszkij (1988) a Beregszászi-dombsághoz köti a centrumokat. A kárpátaljai szerzők feltételezik, hogy léteztek még más vulkánok is innen Északi irányban, Gorond és Beregkisalmás környékén, vagyis a mai Szernye-mocsár területén (561. ábra).



564. ábra A Kárpátaljai alföld vízzel borított és vízmentes területeinek százalékos megoszlása a lecsapolás előtt (Forrás: új, eredeti, a kárpátaljai szerzők által szerkesztett ábra)

A Kárpátaljai alföld vízföldtani térképe a mocsár területén egy depressziós tölcsért mutat, amely a térképhez tartozó egyik földtani szelvényen is (562. ábra) nagyon jól látszik. A mocsár északi és déli határában lávaközetek találhatóak, míg a tölcsér belsejét üledék tölti ki, így a paleohidrológiai célokra felhasznált földtani szelvény alapján egy döntően folyóvízi üledékkel feltöltődött kaldera rajzolódik ki (562. ábra). A földtani keresztmetszvény adatok paleohidrológiai értékelése azt sugallja, hogy valójában egy miocén kalderában kialakult tavi rendszer feltöltődött és ciklikusan kiszáradó maradványa a napjainkban már lecsapolt és művelés alá vont Szernye-mocsár.



565. ábra A Szernye-mocsár jelenlegi csatornahálózata (Forrás: új, eredeti, a kárpátaljai szerzők által google map nyomán szerkesztett ábra)

Kárpátalján a vízrendezési munkák előtt a terület mintegy 39 %-a (1047,3 km²) volt időszakosan vagy állandóan vízzel borított (563. és 564. ábra), melynek 11,5 %-át (120,9 km²-t) a Szernye-mocsár tette ki. A vízrendezési munkálatok során ezt az állapotot szüntették meg. A mocsarat elsősorban a Czigány-, a Goromb-, és a Mircze-patakok táplálták (563. ábra). Ez utóbbi az elmúlt 200-300 évben keresztülfolyt a mocsár területén, így nemcsak táplálta, de részben le is vezette a mocsár vizet. A vízlevezetés legnagyobb része a Vérke patakon keresztül a Borzsa patakba, illetve a Szernye-patakon keresztül a Latorca folyóba történt (563. ábra). Maga a kárpátaljai paleohidrológiai rendszer, benne a Szernye-mocsárral a folyó- és árvízszabályozás nyomán alakult át (564. ábra), ezért érdemes megismerni a kárpátaljai hidrológiai szabályozás menetét és

hatását is.

A vízrendezés keretében, a Szernye-mocsár lecsapolási munkálatainak első fázisa 1781-ben kezdődött meg, amikor *Budinszky János*, Bereg megyei vízügyi mérnök erre vonatkozó tervet készített. Az elképzelést 1794-ben megyei szinten hitelesítették. A munkálatok 1795-ben kezdődtek meg. Első lépésben a Vérke patak torkolatában kőgátat építettek, hogy így előzzék meg a Vérke patak, Borzsa patak, illetve Tisza folyó általi visszaduzzasztását. A gátat azonban még a befejezése előtt, 1798-ban egy árvíz elsodorta. Ez természeti katasztrófa mintegy 50 évre befagyasztotta a lecsapolást.

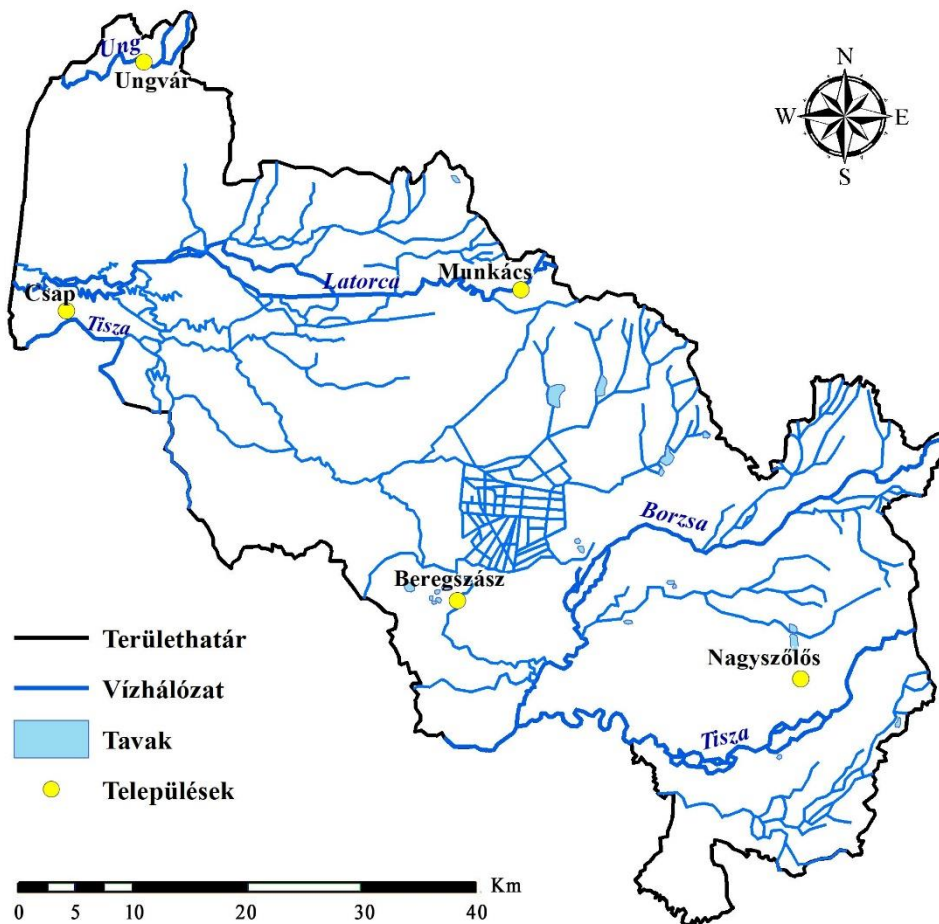
A munkálatok második szakasza 1851. július 15-én kezdődött, amikor a mocsár körül földdel rendelkező birtokosok egyezséget kötöttek a láp kiszáraitására. Az ehhez kapcsolódó perek 1868-ig elhúzódtak, így a mocsár felosztása Szunyoghy József munkácsi uradalmi főmérnök által csak 1868. október 2-án lett véglegesítve. Az új lecsapolási terv keretében egy majd 14 km hosszú árkot ástak, amelybe bevezették a hegyvidék irányából érkező patakokat és elvezették azokat a Latorca folyó irányába.

A XVIII. században megkezdett munkálatok kisebb-nagyobb megszakításokkal a XX. század 90-es éveinek kezdetéig folytatódtak. A XX. század kezdetén mintegy 30 km hosszú vízlevezető csatornarendszer készült el. Az 1955-1964 évek között a már korábban elkészült kanálisokat megújították, kimélyítették és kiszélesítették, majd 59 km hosszúra bővítették. Ezen kívül mintegy 179 km alsóbbrendű kanálist építettek ki, és 424 km sekély csatornarendszer került kialakításra. Ezzel párhuzamosan négy víztározót építettek a mocsarat tápláló patakokon, amelyek összesen 22,3 millió m³ vizet tárolhatnak (565. ábra).

1966 és 1990 között átfogó talajjavítási (meliorációs) munkálatok folytak a területen. Ennek keretében 10500 ha-on cserépanyagú víztelenítő (ún. „*drenázs*”) csőrendszer lett lefektetve. Két jelentős szivattyúállomást is kialakítottak, amelyek 1,8 m³/s átemelő képességgel rendelkeztek. Az 1990-es évek elején, még a szovjet-rendszerben újabb felújítási munkatervet alakítottak

ki, azonban ennek végrehajtására már nem került sor. Az előbb különváló, majd háborúba keveredő ország gazdasági mélyrepülése meghiúsított minden nagyobb volumenű, hosszú távú befektetést.

Szernye-mocsár jelenlegi állapota

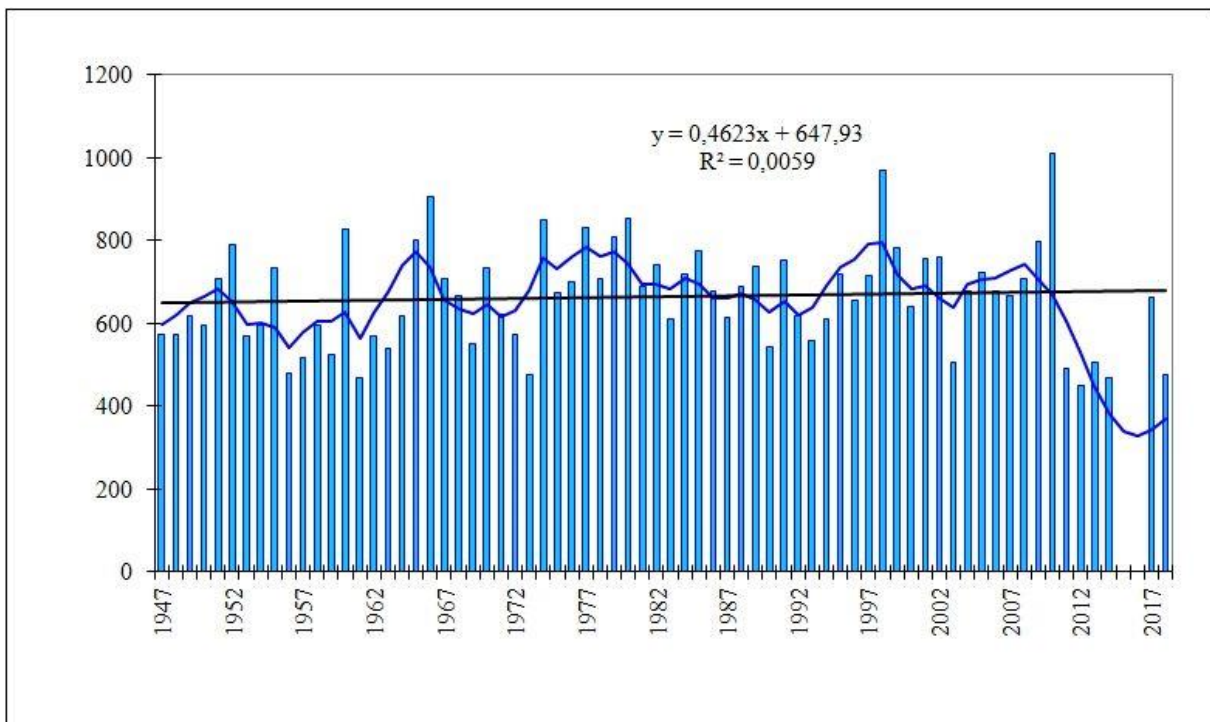


566. ábra Kárpátaljai-alföld jelenlegi vízhálózata (Forrás: új, eredeti, a kárpátaljai szerzők által google map nyomán szerkesztett ábra)

Ukrajnában a mocsarak területi kiterjedésének tekintetében az északi Csernyihiv, Voliny és Rivne megyék játsszák a vezető szerepet. Kárpátalja megye e tekintetben az utolsó, hisz a 14 km²-nyi hegyvidéki dagadólápokon kívül alig találunk vizenyős területet. E tény nagyrészt az elmúlt 200 év lecsapolásainak és a szovjet-rendszerben létrehozott meliorációs rendszernek köszönhető. Bár ez utóbbi tekintetben Kárpátalja Ukrajna állam

középmezőnyébe sorolható csak a maga 1799 km²-re kiterjedő alagsó rendszerével.

Az elmúlt 30 év erős gazdasági visszaesése azt is magával hozta, hogy a többi, „nem gyors hasznot hozó” állami vállalattal együtt a meliorációt végző és karbantartó cégek nagy részét bezárták vagy összevonták, az ott dolgozók számát a minimálisra csökkentették.

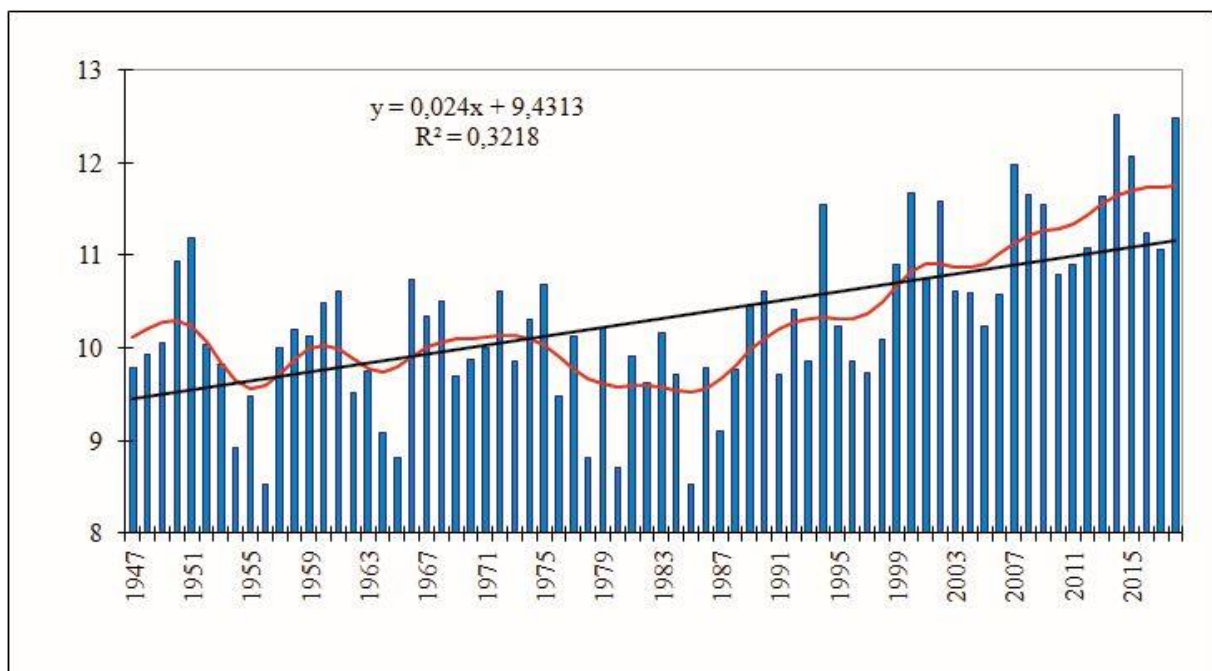


567. ábra Az évi átlagos csapadékmennyiség változása Kárpátalja síksági területein 1947-2018 között (Forrás: beregszászi meteorológiai állomás adataira épülő új, eredeti, a kárpátaljai szerzők által szerkesztett ábra)

Így a Szernye-mocsár területén, hosszabb-rövidebb megszakításokkal több, mint 200 évig épített lecsapoló rendszer elhanyagolttá vált. Mi sem bizonyítja ezt jobban, mint hogy a múlt században épített 662 km hosszú különböző rangú csatornahálózatból a kataszteri térképek alapján már csak 485,35 km-nyit tudunk terepen beazonosítani (**565. ábra**), a Google Earth műholdfelvételein még ennél is kevesebb azonosítható (**566. ábra**).

A Szernye-mocsár környezetének csapadékviszonyait a beregszászi meteorológiai állomás adatai alapján lehet leginkább vizsgálni (**567. ábra**). A

diagramon jól látható, hogy 2012 óta az átlagnál kevesebb eső esik, igaz a képet árnyalja, hogy két év adata nem áll rendelkezésünkre (**567. ábra**). Hasonló csapadékszegény periódusok voltak az 1950-es, 60-as és 70-es években is. Ugyanakkor vannak kifejezetten csapadékos évek, így hosszú távú negatív változásról egyelőre nem beszélhetünk. Ha ez a tendencia marad és a csatornahálózatot továbbra sem fogják karbantartani, előfordulhat, hogy a mocsári állapot lassan visszaáll és a szántóterületek időszakos legelőkké alakulnak majd.

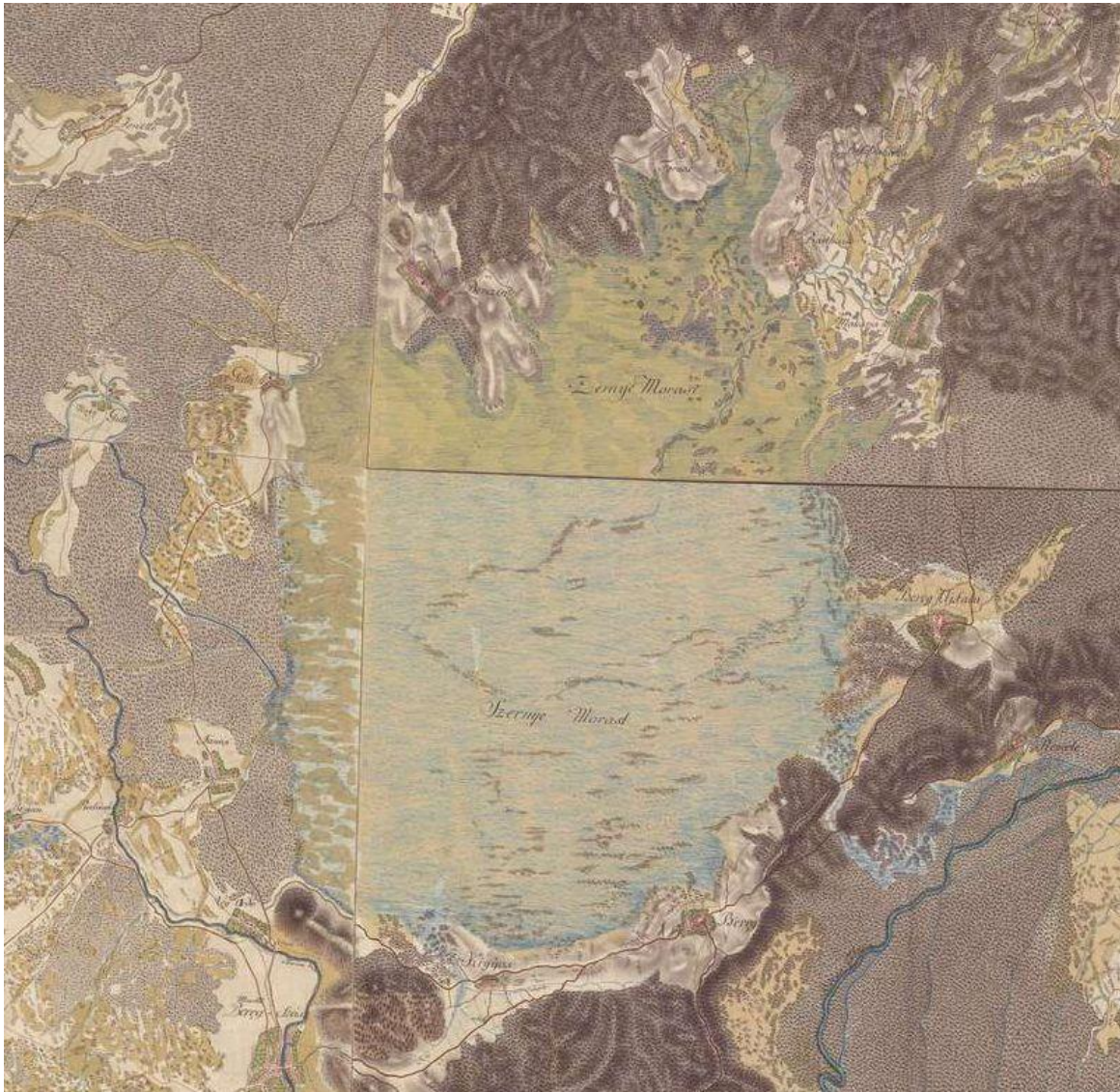


568. ábra Az évi átlagos középhőmérséklet változása Kárpátalja síksági területein 1947-2018 között (Forrás: beregszászi meteorológiai állomás adataira épülő új, eredeti, a kárpátaljai szerzők által szerkesztett ábra)

Ennek azonban ellentmond az évi átlagos középhőmérséklet változása Kárpátalja síksági területein, mivel itt 2°C-os emelkedés figyelhető meg (**568. ábra**). Azt azonban meg kell jegyezni, hogy ez utóbbi adatot érdemes óvatosan kezelni, mivel a beregszászi meteorológiai állomást a 80-as években részben körbeépítették, így a városi hősziget valamilyen szinten pozitívan befolyásolja az értékeket és hőmérsékletváltozást okozhatott. Ennek ellenére a hőmérsékleti

változás trendje egyértelmű és a kárpátaljai terület fokozott felmelegedését jelzi.

A Szernye-mocsár talajai



569. ábra A Szernye-mocsár területe a Magyarország - Első Katonai Felmérés (A) és a Magyar Királyság – Második Katonai Felmérés (B) térképek alapján
(Forrás: Arkanum Kiadótól vásárolt digitális térképek)

A Szernye-mocsár lecsapolása mellett az egyik legfőbb érv az volt, hogy a felesleges vízmennyiség levezetése után kiváló minőségű, jelentős szervesanyag-tartalmú termőföldhöz juthatnának a környező települések közösségei, nagyobb földbirtokosai.

A lecsapolást megelőzően a mocsár (valójában láp) árterének területén a gazdálkodás fokgazdálkodás jellegű volt. A mocsár (pontosabban lápos tavi rendszer) peremterületei magasabb tengerszint feletti magasságuk miatt

ritkábban, rövidebb időre kerültek elöntés alá, illetve elöntés után is hamarabb vonult vissza a víz azokról. Ezeken a területeken főleg legeltető gazdálkodást folytattak, valamint kaszálóként hasznosították ezen részeit a lápnak. A mocsár többi részén egész évben állandó vízborítással lehetett számolni, néhol a víz mélysége akár a 3,8 métert is meghaladhatta, vagyis a parti mocsaras zónán túl stabil tavi állapot fejlődött ki. A lápos tavi állapot elsősorban feltöltődő folyómedrekhez kapcsolódik, így fragmentumokban jelentkezett. Ezeken a vidékeken a lápvidékekre jellemző halászati módszerekben merült ki a terület hasznosítása. Keményebb teleken, ha befagyott a lápos tavak vize, az itt-ott foltokban megjelenő égerfákat vágták ki, s hasznosították faanyagként vagy tűzifaként, illetve a jég alól termelték ki a sulyom termését, amely jól tárolható és szállítható, jelentős tápanyagtartalmú maggal rendelkezik.

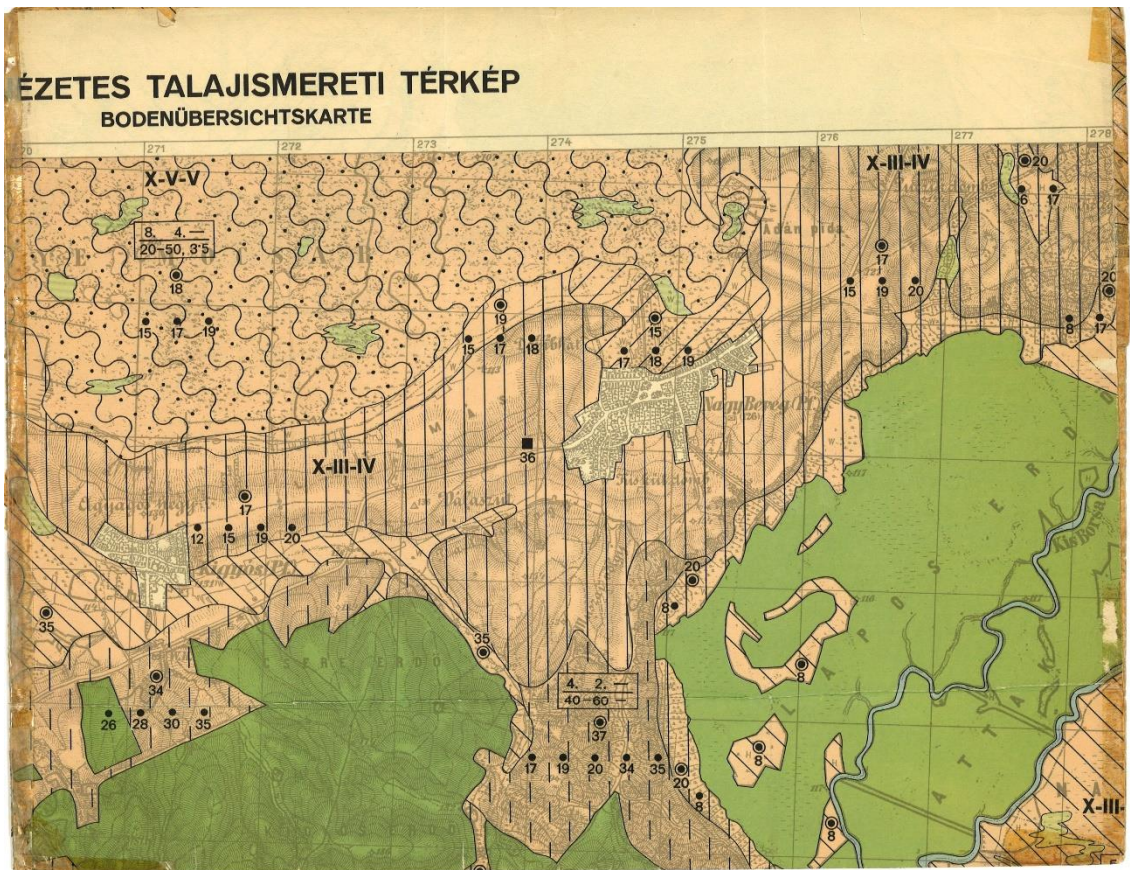
Vagyis a népi Szernye-mocsár elnevezés félrevezető, mivel ez a terület egykor valójában egy hatalmas láp–lápos tó volt. Így az állandó vízborítottságú területen élő, jelentős vastagságú növénytakaró révén jelentős mennyiségű szerves anyag halmozódott fel, és az anaerob környezetben nem bomlott le. Ennek a biogén feltöltődésnek hatására tőzeg képződött, és halmozódott fel. Így a terület tudományos értelemben véve láp volt, egészen pontosan lápos tó, azonban a népi köznyelvben több évszázadon keresztül mocsárként, tehát valamilyen vizenyős, időszakosan vízzel borított területként volt megnevezve, s a korabeli térképeken is ez szerepel (**569. ábra**).

Hasonló névkeveredéssel másutt is találkozhatunk a történelmi Magyarország területén, bár a népnyelvben világosan elkülönült a mocsár és a láp, úszóláp szavak és kategóriák használata, de a történelmi térképek készítői döntően a mocsárzónában mozogtak a XVIII. és XIX. századok során. Ez mellett valószínűsíthető, hogy a latin és/vagy német nyelvű megbeszélések folyamán nem azokkal az emberekkel érintkeztek az osztrák kancellária bérén dolgozó térképezők, akik a lápi területeken a fokgazdálkodást fenntartották, és legjobb ismerői voltak a lápos tavi–lápi és mocsári területeknek.

Az egészében átgondolatlan, főként a hollandiai poldereken kialakított kertek látványának bővületében élő, az alföldi területekről, a gazdasági terekről, és az alföldi népeletről semmit sem ismerő arisztokrácia által végig vitt lecsapolást követően a visszamaradt tőzegrétegen rétláp talaj alakult ki, amelyek eleinte jó legelőket és bő termésű szántókat biztosítottak. Ugyanakkor a felhalmozódott tőzegréteg csakhamar oxidációnak indult, s lassan, de biztosan lebomlott és kiszáradása következtében a kora tavaszi szelek könnyedén elhordták. Emiatt a termőréteg elvékonyodott, s a közvetlenül ez alatt elhelyezkedő magas agyagtartalmú egykori fekvő igencsak megnehezítette a talaj művelhetőségét. Ráadásul hozzájárult a belvizek és a pangóvizek kialakulásához is, amik szintén megnehezítették a terület mezőgazdasági hasznosítását. Ezért a vízszabályozást követő pár évtizedben már átfogó talajtani vizsgálatokra volt szükség a terület mezőgazdasági hasznosításának fenntartása érdekében. Így a Szernye-mocsár területén előforduló talajokat több ízben is vizsgálták, s térképezték a XX. században. Az egyik ilyen jelentős talajtérképezési és vizsgálati munka *Kreybig Lajos* a Királyi Földtani Intézet Agrogeológiai Osztályán dolgozó geológus nevéhez fűződik. Az általa kezdeményezett és vezetett országos szintű térképezés célja az volt, hogy közvetlenül azokat a talajtulajdonságokat állapítsa meg, amelyek a talaj élővilágának és a termesztett növények életteni feltételeit biztosítják. Sajnos a Szernye-mocsár területéről csupán egy olyan szelvény felvételezése valósult meg, amely csak részben fedi le a mocsár területét. Ez a 4769/2 számú, Beregszász elnevezésű térképlap, melyet *Han Ferenc* geológus felvételezett és látott el magyarázattal.

A talajszelvények feltárása és azok laboratóriumi elemzése után a szerző három, egymástól élesen elkülöníthető talajféleséget ír le. Ezek közül az egyik a térképszelvény központi részét, így a beregszászi dombvidék nagy részét borító köves erdőtalaj. A másik, ami esetünkben releváns, az a dombvidéktől északra fekvő Szernye-mocsár humuszanyagokban gazdag, tőzeges talaja. Ezen kívül pedig, mintegy az első kettőt patkó alakban körbeölelő, a síkságon elterülő,

egykori öntéstalajon képződött vízhatású erdőtalaj. Bár az említett talajok egymástól jól megkülönböztethetőek, ugyanakkor közös bennük az, hogy erősen savanyúak, szabad kalcium-karbonát csak igen kevés helyen mutatható ki, akkor is csak csekély mennyiségben.



570. ábra A beregszászi térképlap a Szernye-mocsár déli részével (részlet) (Forrás: Magyar Királyi Földtani Intézet Agrogeológiai Osztályának átnézetes talajismereti térképe (Forrás: Magyar Királyi Intézet kárpátaljai térképezése, 1939)

A Szernye-mocsár legdélebbi részéből mintegy 8-10 km²-nyi területet ábrázol az agrogeológiai-paleohidrológiai térképszelvény (**570. ábra**). Jellemző talajszelvénye a 18. számú földtani szelvény. A szelvény környezete mezőgazdaságilag művelt terület, ami a szelvényfeltárás időpontjában legelőként volt hasznosítva, ám megjegyzi a leírás, hogy gyenge terméshozam jellemzi búzából, burgonyából és kukoricából egyaránt. A talajvízszint 210 cm mélységben húzódott a szelvény felvételekor. A talajszelvényben három szintet különböztettek meg. Az első szint 0-15 cm mélységben található, melynek

barnás fekete színe magas humusztartalomra utal. A leírás szerint a humuszos szint vastagsága 20-50 cm között váltakozott a terület szelvényeiben. Fizikai féleségét tekintve vályog, melyben nagy mennyiségben van jelen tőzeg és növényi rost egyaránt. Morfológiai struktúráját (szerkezetességét) tekintve poros, valószínűleg a mezőgazdasági művelés következtében leromlott állapotú. A talaj kémhatása ebben a szintben, vizes kivonatban pH 4,5 — tehát erősen savanyú, szabad kalcium-karbonátról itt nem is beszélhetünk. A következő szint 15-70 cm közé tehető, melynek színe vöröses szürke.

Ebben a szintben vaskiválások is megfigyelhetők. Fizikai féleségét tekintve iszap, amit a leíró füzet úgy jellemez, mint erősen tömörödött vályog fizikai féleség. Szerkezetét tekintve tömörödött morzsás szerkezeti egységek jellemzik a szintet. A kémhatás még mindig erősen savanyú, pH 4,8 vizes kivonatban mérve. A harmadik szint 70-130 cm között írható le, s valószínűleg mélyebben is folytatódik. Erre a szintre kékesszürke szín jellemző, tehát egy erősen reduktív környezet volt megfigyelhető ebben a mélységben. Fizikai féleségét tekintve erősen tömörödött iszap, mely érszerű vaskiválásokkal, glejes foltokkal tarkított. Nyomokban mészkonkrécio is megfigyelhető volt. A szint üledékének vizes oldatában a kémhatása pH 6,5 adódott. Összességében tehát egy magas humusztartalmú, ugyanakkor erősen savanyú és rossz szerkezetű, kötött, gyenge terméshozamú talajként írták le a Szernye-mocsár déli részét jellemző fő talajtípust.

A másik jelentős talajtérképezési és talajvizsgálati kutatómunka 1957-1961 között valósult meg. Kárpátalja, mint közigazgatási egység ekkor a Szovjetunió egyik tagállamának, az Ukrán Szovjet Szocialista Köztársaságnak (USzSzK) a fennhatósága alá tartozott. Nagyszabású talajtérképezési munka indult meg, melynek eredményei a mai talajtani kutatások kiindulási alapját alkotják. A kutatómunka körülbelül 45 millió hektár területen, több mint 1600 szakember bevonásával zajlott, akik 36 kutatóintézetben és felsőoktatási intézményben dolgoztak. A talajtani szakemberek mellett geobotanikusok, agronómusok és

geodéták is részt vettek a terepi munkálatokban. A munkaterv szerint minden 10 vagy 25 hektár területről el kellett készülnie legalább egy talajszelvénynek a talaj heterogenitásától valamint a műszaki-technikai lehetőségektől függően, ami reprezentálta az adott terület talajtani jellemzőit és sajátosságait. Bár pontosan nem tudjuk hány szelvényt tártak fel és írtak le, de a számuk körülbelül kétmillióra tehető. A feltárt szelvényekből genetikai talajszintenként mintákat gyűjtöttek, amelyeket laboratóriumi vizsgálatoknak vetettek alá, s ezáltal fizikai és kémiai tulajdonságaiban is vizsgálták a talajokat.

A kutatómunka eredményeként minden mezőgazdasági termelészövetkezet egy több komponensből álló, komplex dokumentumcsomagot kapott, amely a következő részekből állt:

- 1:10000 vagy 1:25000 méretarányú talajtérkép
- agronómiai kartogramok, amelyek a talaj termőképességét meghatározó alapvető mutatókat jellemezték
- egy talajtani leírás az adott terület talajtípusairól agronómiai megközelítésből, illetve egy módszertani ajánlás az effektív területhasználathoz.

A talajtérképezési munkálatok eredményeit a későbbi évtizedek folyamán egyes esetekben kiegészítették vagy pontosították, azonban hasonló nagyszabású munkálatok azóta nem történtek. Az akkor elkészült talajtérkép digitális változata, amely a különböző talajtípusokat talajfoltonként ábrázolja, s nevezi meg, szabadon hozzáférhető. Sajnálatos módon azonban a Szernye-mocsár területére jellemző reprezentatív talajszelvények leírását, valamint felvételezési és laboratóriumi jegyzőkönyvét még nem állt módunkban megszerezni.

Az egykori Szernye-mocsár talajtípusairól az USzSzK-ban történt átfogó talajtérképezési munkálatok eredményeibe az alábbi térképrészlet nyújt betekintést (**571. ábra**).

A jelmagyarázatban szereplő talajtípusok közül csupán a tőzeges láptalaj az, ami még egyértelműen magán hordozza a lápi eredet legszembeütőbb bélyegét, a

vastag tőzegréteget, ebben az esetben 20-30 cm vastag tőzeges feltalajról beszélhetünk. Azonban az ábra alapján az is látszik, hogy az 1960-as évek elejére ez a talajtípus már csak az egykori mocsár csekély részén van jelen.



571. ábra A Szernye-mocsár (a térkép centrumában) és környezetének talajtérképe (Forrás: Az Ukrán SzSzk talajtérképe, Krupszkij, 1967 nyomán)

A területet a térképezés szerint legnagyobbbrészt a podzolos glejes gyeptalaj, a homokos, glejes gyeptalaj, a glejes réti talaj és a glejes podzolos réti talaj alkotja.

A réti talajok kialakulásában fontos szerepe van az időszakos erős vízhatásnak, ami a leggyakrabban a magas talajvízszintnek köszönhető. Főleg mélyfekvésű területekre és sík folyóteraszokra jellemző. A vízhatásra beálló levegőtlenység jellegzetes szervesanyag-képződést és az ásványi részek redukcióját váltja ki. Ezek a talajok jelentős humuszszinttel rendelkeznek.

A gyeptalajok képződésében fontos szerepe van a gyepesedés folyamatának, amelynek köszönhetően lágyszárú növények gyökérzetükkel szerteágazóan behálózzák a feltalajt, ezáltal segítve a szerkezetesség kialakulását. Megvalósul az anyagok intenzív körforgása a talaj és a rövid életciklusú lágyszárú növények között, s ennek köszönhetően a legfontosabb tápelemek felhalmozódnak a talajban. A jól fejlett gyökérrendszer a teljes növényi biomassza 65-95%-át is kiteheti, ami a humuszanyagok kiemelt forrása. Glejes gyeptalajok gyakran alakulnak ki mocsarak, lápok peremterületein, illetve folyóteraszokon.

Új talajszelvény-felvételezés kezdeti eredményei

Szelvény megnevezése	Földrajzi koordináták	Tengerszint feletti magasság
szm2	É.sz.48°17'0.895" K.h.22°48'0.947"	109 m
szm5	É.sz.48°17'5.128" K.h.22°45'6.527"	107 m
szm8	É.sz.48°16'18.218" K.h.22°46'50.149"	107 m

7. táblázat A feltárt szelvények földrajzi koordinátái és tengerszint feletti magasságuk

A legutóbbi átfogó talajtérképezési munkálatok óta eltelt közel hatvan év. Felkeltette érdeklődésünket, hogy ez alatt az idő alatt hogyan fejlődtek, alakultak át a talajok az egykori Szernye-mocsár területén. Ennek felderítése végett 2019 novemberében helyszíni talajfelvételezésre került sor a mocsár délkeleti területein, Beregújfalu község határában. Nyolc talajszelvényt sikerült feltárnunk, s leírnunk, ezekből az alábbiakban három olyan típusszelvényt szeretnénk kiemelni, amelyek jól reprezentálják a terület talajtani sokszínűségét. Az alábbi ábrán láthatjuk a szelvények földrajzi elhelyezkedését.



572. ábra Az szm2 jelű szelvény kifejlődése (Forrás: Dr. Gönczy Sándor felvétele)

Láthatjuk, hogy a három szelvényből kettő (szm2 és szm8) a podzolos glejes gyeptalajhoz, míg egy (szm5) a tőzeges láptalajhoz tartozik. Az 2. táblázatból egyértelműen kitűnik, hogy igen csekélynek mondható tengerszint feletti magasságkülönbség figyelhető meg a vizsgált szelvények között. Az szm2 elnevezésű szelvény (572. ábra) a Szernye-mocsár egykori peremterületén

helyezkedik el. A szelvény környezetét a mocsár lecsapolása után hosszú ideig szántóként hasznosították, az utóbbi 30 évben azonban legelőként hasznosul.

A talajszelvény felső 0-10 cm-es szintje (Asz) sötét színű, enyhén szürkülő, humuszanyagokban gazdag szint. Fizikai féleségét tekintve agyagos vályog, némi homokkal, ami valószínűsíthetően ráhordás eredetű. Szerkezetessége aprómorzás jelleget mutat. A következő elkülönülő szint egy humuszanyagokban még mindig gazdag szint, 10-25 cm mélyen (Asz₂). Agyagos vályog fizikai féleségű, apró szemcsés szerkezetű szint, melyben a tört és vágott felszínek különbségéből arra következtethetünk, hogy ebben a szintben időszakosan pangóvízesedés lép fel. A következő szint, ami 25-60 cm közötti mélységben (Bgl) található, szerkezetét tekintve erősen elkülönül az eddigi szintektől. Sokkal tömörödtebb szerkezetű, szemcsés strukturális elemekkel, melyek hasábokba rendeződnek. Egy vékony rétegben, 35 cm mélységben lemezesen elváló szerkezetet figyelhetünk meg, amelyet eketalp réteggént azonosíthatunk. Fizikai féleségét tekintve agyag, a talajmátrix erősen szürkül, vörös foltokkal tarkított, tipikus glejes mintázatot mutat. 60-85 cm között (B₂glss) egy sötét színű, agyag fizikai féleségű szinttel találkozhatunk, amely kevésbé reduktívnek mutatkozik, mint a fölötte lévő szint. A sötét színe miatt, amely egyáltalán nem illik bele a fölötte és az alatta lévő szintek közé, egy eltemetett réteggént határoltuk be. Teljes bizonyossággal azonban csak a kémiai elemzések után tudjuk megmagyarázni a szint eredetét. A talaj színe itt is mutatja a glejes jelleget, emellett apró, pontszerű, fekete mangánszeplőket és vöröses vaskiválásokat is láthatunk. A magas duzzadó agyag-tartalmat az ebben a szintben megjelenő csúszási tükrök mutatják.

A következő szint (Cglss) 85 cm-nél kezdődik és a szelvény aljáig tart, sőt valószínűsíthetően tovább is. Nagyon magas agyagtartalom és erősen reduktív környezet jellemzi. Színeit tekintve „márványozott” jellegű: megtalálható a mátrix szürkéje, a visszaoxidált vas vöröse, valamint az erősen redukálódott agyag kékesszürke (galambszürke) színe. Megfigyelhető még, hogy az agyag

zsugorodásakor az előttről lévő sötét színű szintből az itt keletkező repedésekbe behulló anyag az agyag duzzadásakor csapdába esik és sötét csíkok formájában válik láthatóvá.



573. ábra Az szm5 jelű szelvény kifejlődése (Forrás: Dr. Gönczy Sándor felvétele)

Összességében a legújabb talajrendszerezésen alapuló WRB (World Reference Base) rendszer szerint a diagnosztikai szinteknek megfelelően Endovertic Gleysol-ként határoztuk meg a szelvény talajtípusát.

Az szm5 jelölésű szelvényünket (573. ábra) kifejezetten egy olyan területen tártuk fel, ahol a talajtérkép szerint tőzeges láptalajt kell látnunk. Ez a terület

sokáig mezőgazdasági művelés alatt állt, csupán az utóbbi néhány évben nem jellemezhető intenzív szántóföldi használatlaltal.

A talaj legfelső szintje 0-30 cm között (A) került megállapításra. Nagyon sötét színű, magas szervesanyag-tartalmú, tőzeget már nem, hanem csak humuszosodott szerves anyagot tartalmazó, roppanó, alacsony térfogattömegű, vályog fizikai féleségű szintként írható le.

A következő szint 30-50 cm-es mélységben (Bst) egy erősen stagnic jelleget mutató, vályogos agyag/agyag fizikai féleségű szint következik, mely gyaníthatóan a lúp fekéje lehetett. A gyökérjáratokban rozsdabarna vaskiválásokkal találkozhatunk.

50-75 cm között (B₂) egy ún. „hátrahagyott” humuszos szintet találunk. Erősen tömörödött, agyag fizikai féleségű enyhén glejes tulajdonságokat mutató szintként definiálhatjuk, mely magas agyagtartalmánál fogva az esetek többségében a fölötte lévő szintben pangóvíz létrejöttét okozhatja.

75 cm-től 120 cm-ig (Cglss), a szelvény aljáig (valószínűsíthetően mélyebben is) egy erősen kiszürkült, csúszási tükrökben gazdag, agyag fizikai féleségű szint következik. Erősen glejes tulajdonságokat mutat, sok esetben valószínűleg teljesen vízben áll. A repedéseket itt is sok esetben humuszanyagokban gazdag sötét színű talaj tölti ki.

A diagnosztikai szintek figyelembevételével ezt a talajt a WRB talajosztályozási rendszer szerint Epistagnic Gleysol-nak határoztuk meg.

Az szm8 jelzésű szelvényünket (574. ábra) közvetlenül egy völgytalp és egy domboldal találkozásánál alakítottuk ki. A felső 0-25 cm-es szint (Ach) humuszanyagokban gazdag, sötét színű, agyagos vályog fizikai féleségű, szerkezet nélküli szint.



574. ábra Az szm8 jelű szelvény kifejlődése (Forrás: Dr. Gönczy Sándor felvétele)

A következő szint 25-35 cm-ig tart, amely egy sötét, szürkésfekete színű, vashumátos, szemcsés szerkezetű, a réti talajokra jellemző A₂ szint, agyag fizikai féleséggel. 35-50 cm-ig egy átmeneti szint következik, amelyben hirtelen megnövekszik a vaskiválások mennyisége. 50-115 cm között egy glejes homogén szint következik. Fizikai féleségét tekintve vályog/agyagos vályog. A helyszíni talajfelvételezés eredményeképp a WRB rendszere szerint Chernic Gleysol-ként írtuk le ezt a szelvényt. A három leírt szelvényt együttesen értékelve elmondhatjuk, hogy néhány évtized alatt is jelentős változások következhetnek be egy-egy terület talajaiban. Míg az 1940-es években még az egykori Szernye-mocsár területének nagy részén lebomlatlan tőzeg volt

megfigyelhető a talaj felső szintjében, addig ez az 1960-as évekre már csak foltokban volt kimutatható. Ha pedig az általunk végzett szelvényfeltárásokat értékeljük, akkor elmondhatjuk, hogy abban a talajfoltban, ahol még az 1960-as évek elején lebomlatlan tőzeget írtak le, s emiatt tőzeges láptalajként nevezték el, mára már a tőzeg teljesen lebomlott, humuszosodott, s a talajfejlődés is inkább a rétiesedés irányába mozdult el. A talaj termőképessége és szervesanyag-tartalma drasztikusan csökkent.

Bár a fentiekben leírt és bemutatott szelvények mindegyike jelentős humusztartalommal rendelkezik, azonban a talaj agyag/agyagos vályog fizikai félesége megnehezíti a talajművelést, növeli a talaj kötöttségét, elősegíti a pangóvizek kialakulását. Az előzetes vizsgálatok alapján pedig elmondhatjuk, hogy erősen savanyú kémhatásúak a vizsgálati terület talajai.

Mint az a lecsapolás utáni, a mezőgazdasági művelést követő első évtizedekben kiderült (s azóta újból és újból megerősítést nyert), a termelésbe bevont területek termőképessége messze elmaradt az elvárásoktól, talajjavító technológiai eljárások nélkül a termés hozamok erősen lecsökkennek. A lecsapolással oly mértékben megszabadították a területet a vízmennyiségétől, hogy sok esetben öntözésre szorul. Mindez sajnos azzal járt együtt, hogy a természetes lápi élőhelyek megszűnésével csökkent a biodiverzitás, s az a lápokra jellemző fajgazdagság és faji összetétel, ami egykor jellemezte a területet, mára teljesen megváltozott, az esetek többségében végleg el is tűnt.

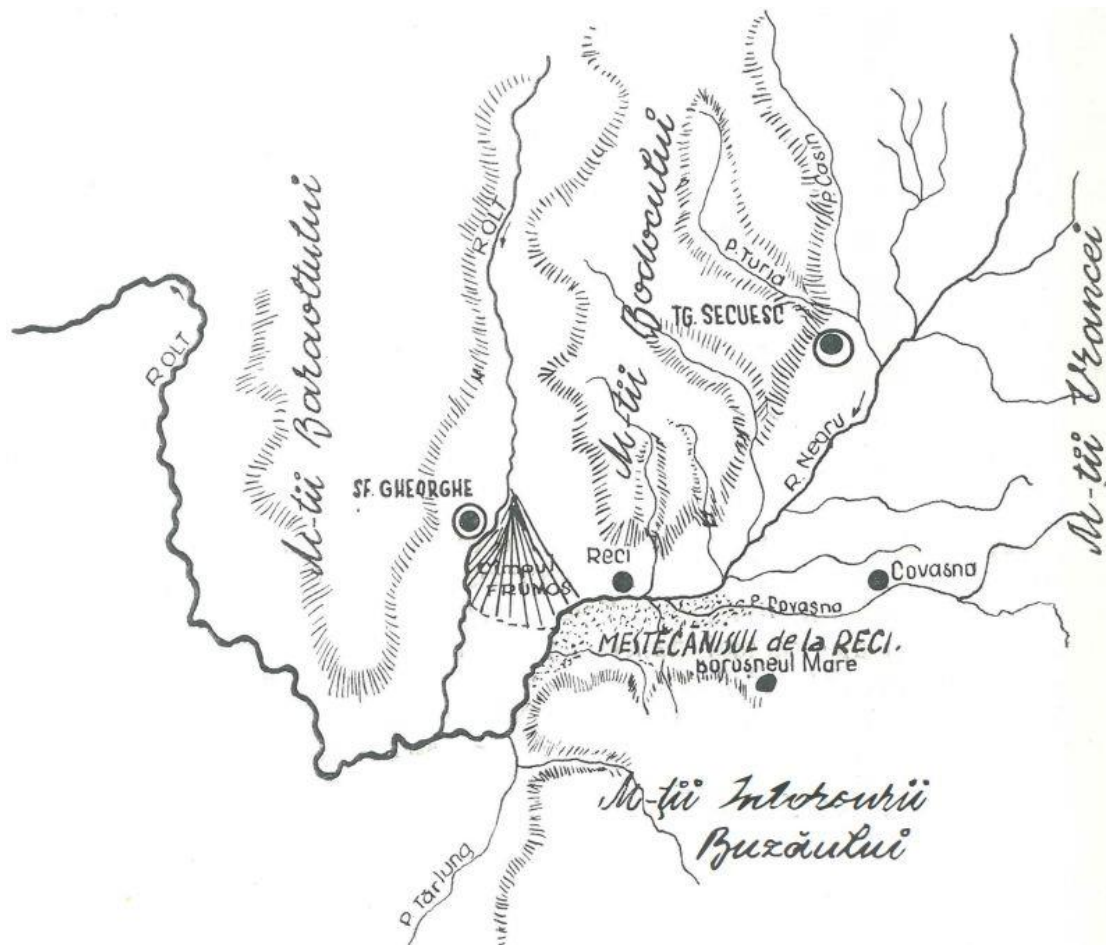
A paleohidrológiai elemzések alapján a jégkor végén még tavi állapot fejlődött ki a feltöltődött miocén vulkáni kaldera felszínén, amely a holocén során elláposodott, foltokban lápos tavak fejlődtek ki a területen, a központi lápi régió peremén fejlett és széles mocsári zónával. Az atlanti szabályozott régiók bűvöletében élő osztrák birodalmi arisztokrácia vezette és vezényelte alföldi árvíz- és folyószabályozás nyomán a terület kiszáradásnak indult. Így a kezdeti, még jelentős szervesanyag-tartalmú, lápi tőzegrétegekből kifejlődött tőzegtalajok réti talajokká alakultak át és néhány évtizeddel a szabályozást

követően a termőképességük drasztikusan csökkeni kezdett. Bár két nagyobb talajfelmérés is történt a területen, az első a Magyar Királyság, a másik a Szovjetunió keretei között. Mindkét felmérés rámutatott a túlszárítás és növényzet átalakulás nyomán kialakult negatív tendenciára. Ennek nyomán a folyamatos kemizálás és gépi művelés nyomán maradhatnak csak mezőgazdasági szempontból termékenyek ezek a tőzegből kialakult vízhatású (réti) talajok. Mivel a gazdasági és társadalmi válság miatt nincs tőkeerő ezeknek a talajoknak a feljavítására, ezért romló gazdálkodási feltételek jellemzik a Szernye-mocsár egykori területén történő mezőgazdasági tevékenységet. A helyzetet tovább rontja, hogy a talajvíz-elvezető rendszer karbantartásának elmaradása nyomán a hóolvadás és csapadékmaximumot követő ciklikus magas talajvízállás fejlődött ki a vizsgált területen és a mélyebb fekvésű területeken újra mocsári környezet jött létre. Ennek nyomán az anaerob, reduktív és az aerob, oxidatív környezetek hullámszerű változásai alakultak ki és a réti talaj minősége ennek nyomán leromlott és csak gyenge minőségű legelőterületként hasznosítható elsősorban. Összegezve a Szernye-mocsár paleohidrológiai fejlődését leírható, hogy az elmúlt 200 év gépi (indusztriális) civilizációjának megjelenésétől és a terület vízszabályozásától kezdődően mind a növényzet, mind a talaj fejlődése teljes mértékben az emberi hatások függvényévé vált.

5.5. A Rétyi Nyír fejlődéstörténete

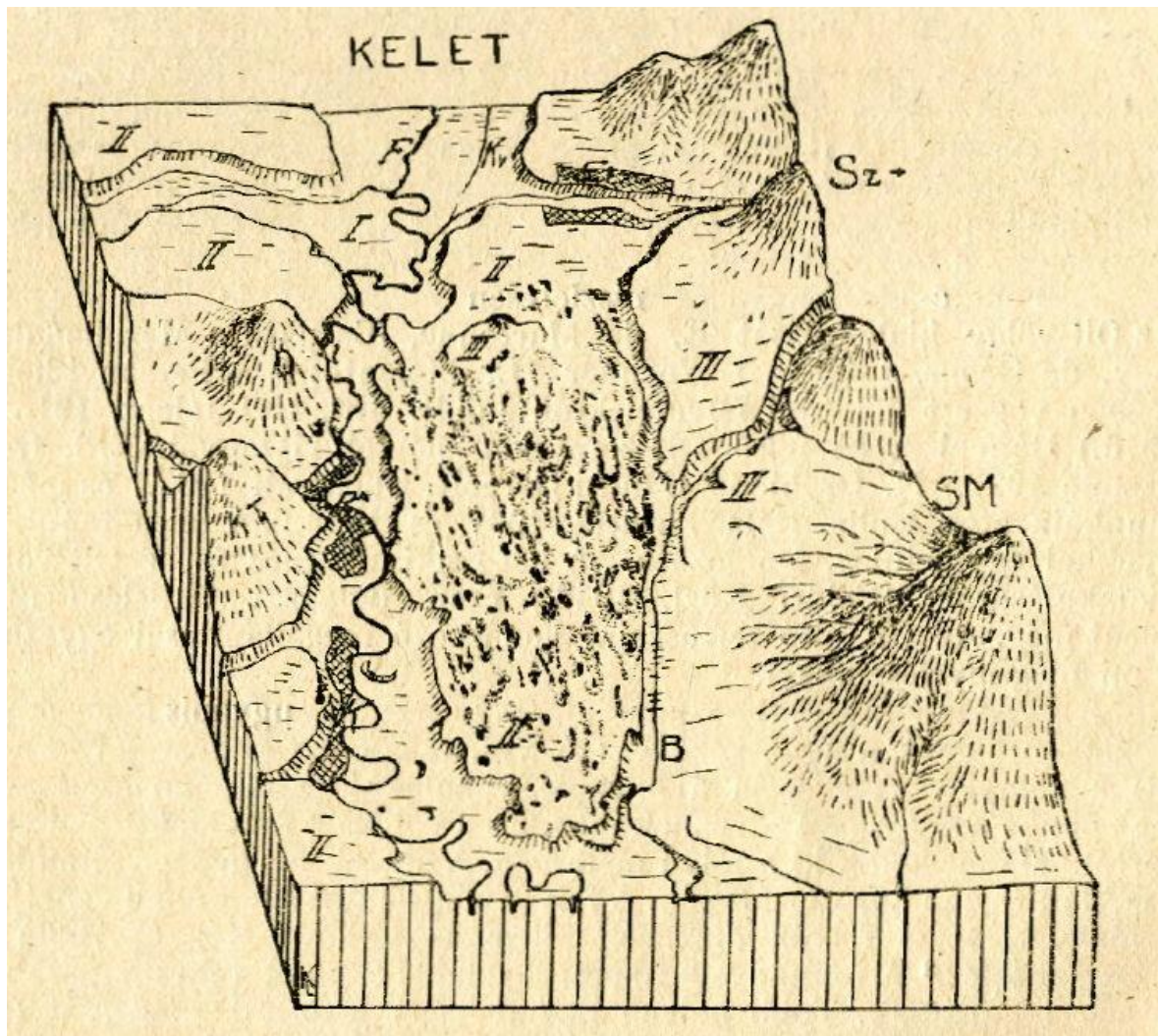
Papucs András (Sepsiszentgyörgy, Erdély, Székelyföld, Hargita megye)

A mai Kovászna megye, egykor Háromszék megye területén levő, Réty, Komolló, Szentivánlaborfalva, Uzon, Egerpatak és Szacsva által határolt, homokos, tavas területet (**575. ábra**) Moesz Gusztáv brassói tanár fedezte fel a tudomány számára a XX. század elején. Az itteni különleges élővilágot több cikkében mutatta be, és azóta sokan vizsgálták azt.



575. ábra Rétyi Nyír és környékének domborzati hatású térképe az Olt egykori hordalékkúpjával (Forrás: Kovács, 1969 nyomán)

A védelem szükségességét is már korán, 1941-ben felismerték: „Komolló területén az erdő 1500 holdról 500 holdra csökkent a kitermelés következtében. Akkor valószínűleg nem sikerült a védetté nyilvánítás, viszont 1962-ben a brassói területi tanács a Sepsiszentgyörgy rajonhoz tartozó három területet, köztük Rétyi Nyírt, természetvédelmi területnek határozta meg. Később ezt a Román Akadémia mellett működő Természeti Értékek Bizottsága évkönyvében is leközölte. A 2000. évi 5-ös számú Törvény harmadik fejezete szerint a megyében 1 db védett terület van, a Rétyi Nyír, ennek is területét az 1962-ben elfogadott több mint 260 hektárról 47-re csökkentették. Ezt javítja a 2004. évi 2151-es Kormányrendelet, mely két védett területet hoz létre a megyében: a Rétyi Nyír – Uzon-Szentivánlaborfalvi tavak (2020 ha) és a Csókás domb – Veczer domb (977 ha) elnevezésűt.



576. ábra A Rétyi Nyír tömszelvénye (Kádár, L. 1949 nyomán) Pontozott részek = futóhomok, fekete foltok = tavak, keresztsávozott területek = települések, B = Béli-patak, E = Eger-patak, F = Feketeügy, K = Kompolló, Kv = Kovászna-patak, Kt = Kőbányatető, R = Réty,

„A Rétyi Nyír keletkezésének tanulmányozását Orbán Balázs a jövő geognosztáira bízta”, kezdtem cikkemet 2018-ban, akkor még nem ismerve, csak kivonatosan Kádár László cikkét (576. ábra), mely hasonlóképpen volt indítva 1949-ben. Így visszatekintve azonban már a múlt geognosztáiról (is) beszélhetünk, akik közül nem is kevesen próbálták megfejteni a rétyi homok rejtélyét. A fő kérdés a homok eredete volt, miképp és mikor képződött, miért pontosan itt van a legtöbb homokdűne fennmaradva?

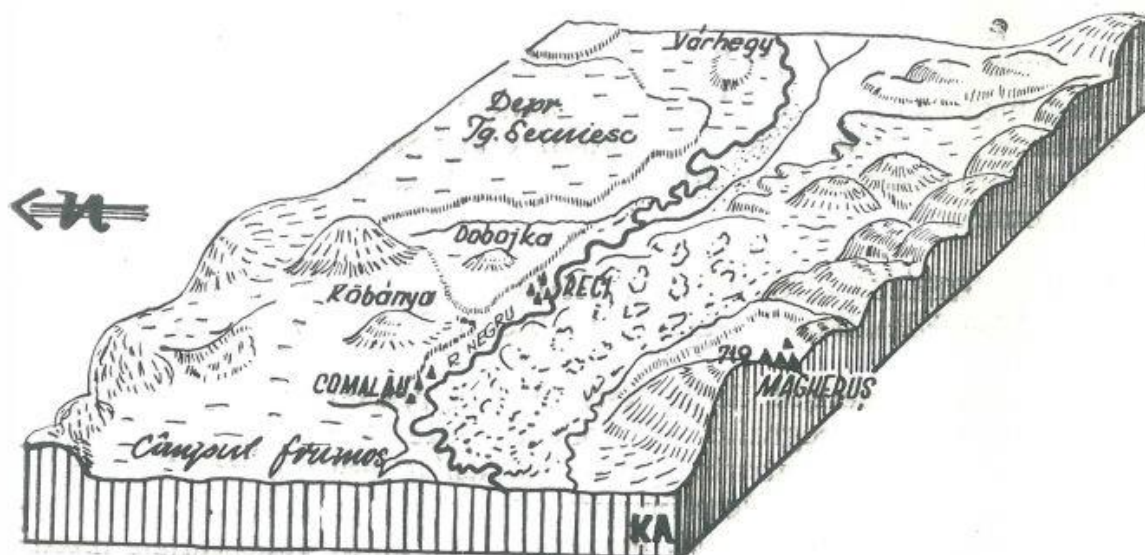
A legáltalánosabban elfogadott elmélet szerint „a Feketeügy zavartalan útját az Olt által a Barcasági-medencére zúdított Szépmező-törmelékkúp akadályozta,

így a folyó a rétyi szűkületben lelassult és lerakta a magával hozott homoktömeget. Miután szabad folyása, nagyjából a mai medre közelében újra kialakult, terhétől megválva folyt tovább. A felhalmozódott homok azonban nem maradt nyugalomban. A negyedkor utolsó időszakában a rétyi szűkületben a felerősödött és munkaképes szelek mozgatni, szállítani kezdték a kiszáradt homokot, szélbarázdákat és buckákat létrehozva.” A homok eredete és kora pedig ugyancsak a szépmezői rétegekhez kötődne, ez a magyarázat az andezittartalomra. Ugyanakkor a folyó jelenlegi helyzetét a Bodzafordulói-hegyek kiemelkedésével egyidejűleg a Bodoki-havasok süllyedése határozta meg, egy észak fele történő elmozdulást okozva.

Ennek az elméletnek kulcsszava a Szépmező-törmelékkúp. Még nem sikerült kiderítenem, hogy pontosan ki vezette ezt be a köztudatba, annyi bizonyos, hogy *Tövissi József* 1972. évi dolgozatában már szerepel.

A Nyírről a tudnivalókat *Kovács Sándor*, a Székely Nemzeti Múzeum (akkor Kovászna Megyei Múzeum) biológusa foglalta össze. Illetve közösen írt egy ismeretterjesztő füzetet a geológia-földrajz szakot végzett Kónya Ádámmal, a vidék kitűnő ismerőjével. Bár Kovács Sándor lépésről lépésre bemutatja a Nyír geomorfológiájáról készített dolgozatokat, köztük a Kádár Lászlóét is, megemlítve a Feketeügy két partján levő teraszokat (**577. ábra**), a végkövetkeztetésben mégis a mai napig általánosan elfogadott kialakulási folyamatot írta be. Csak feltételezni lehet, hogy miért nem vette észre, vagy hívta fel a figyelmet senki a nyilvánvaló ellentétre a Kádár és Tövissi elméletek közt?

Az is valószínű, hogy Tövissinek nem volt tudomása Kádár dolgozatáról, hisz ezt az 1972. évi cikkében nem tünteti fel az irodalomjegyzékben. A Debrecenben 1949-ben megjelent dolgozatot jómagamnak is hosszú időbe került beszerezni, valószínű, hogy régebb még bonyolultabb volt.



577. ábra Rétyi Nyír hordalékkúpjának tömbszelvénye (Kovács, 1969 nyomán)

Ami az elfogadott (a wikipédián a mai napig olvasható) elmélet megkérdőjelezéséhez vezetett, az a Feketeügy két partja közti morfológiai hasonlóság Nagyborosnyó és Egerpatak (bal part), valamint Lécfalva és Szentivánlaborfalva között (jobb part), ami pontosan Réty falu magasságában úgy tűnik, megváltozik, a bal parton mintha nem lenne meg a jobb part magas teraszfala. És valóban, mintha egy magasabb partfal, az ún. „szépmezői-üledékkúp” állná útját a Feketeügynek.

A felvetődő kérdések: való igaz, hogy Komolló – Szentivánlaborfalva vonalán szépen kirajzolódik a „Feketeügy folyását feltartóztató”, mintegy 5-8 m magas terasz, de a bal parton a Szacsva patak torkolatánál is észlelhető egy terasszint a bal parton. És figyelmesebb szemléléssel ez a terasszint követhető a Feketeügy bal partján is, legjobban kirajzolódik az egerpataki részen, de megfigyelhető a Feketeügy árterületének szélén végig Kupános-tavak magasságáig. A teraszok létének egyedül Kádár L. tulajdonított fontosságot, más, eddig olvasott szerzők nem említik létezésüket/vagy csak futólag szólnak róla. Ugyanakkor a szépmezői üledék jelenkori magasságában folytatódik a Felsőhároszéki-medence irányába is, azt csak a Bodoki-havasok keleti oldalából lefutó patakok szabdalják.

A Feketeügy az Olthoz hasonlóan alakíthatta medrét, és ebben az esetben nem egyértelműen alátámasztható a folyását akadályozó törmelékkúp elmélet. Ezzel ugyanakkor az időbeli besorolás is kérdőjelezhető, hisz akkor nem lehet korát korellálni az ezekből a rétegekből kikerülő fossziliákkal: egyértelműen fiatalabb azoknál.

A homok andezittartalma magyarázható a kézdivásárhelyi medencébe a Csomád-hegycsoport vulkánjainak kitöréséből származó üledékekből is, nem kell feltétlenül az Olthoz kötni azt. Illetve Kádár is megállapítja, hogy a homok nem szél által nagy távolságba szállított, hanem folyóvízi üledék, melyet a szél helyben formált.

A homokos terület kiterjedése jóval nagyobb a köztudatban Nyírként ismert területnél, Észak fele Orbaitelek–Szörce települések határán is túlnyúlik, déli irányban pedig Kökösbácsteleknél is megfigyelhető. De a homok egyformán be tudja teríteni mindkét térszintet, a teraszt és a Feketeügy árterületét (jelenleg gátak szabnak határt a folyónak). Ezért van, hogy a terasz szélén magasabbnak tűnnek a homokdűnék. A homok kialakulásához nem szükséges hideg, száraz éghajlat, elegendő egy gyors talajvízszint-csökkenés, vagy növényzet-borítottság változás meleg környezetben is. Ugyanakkor valószínűleg érdekes lenne egy összehasonlító vizsgálat a Háromszéki-havasok, Nemere-hegység, Répát-hegység és Bodoki-havasok flis eredetű kőzetei, és a medence, kiváltképpen a Nyír homokja között. A vidéken végzett fúrásokból tudjuk, hogy a homokos terület kiterjedése nemcsak felületében haladja meg a Nyír nagyságát, hanem mélységében is. Mindenütt homokos rétegek vannak úgy a Feketeügy bal, mint a jobb partján, többtíz méteren.

Tehát nem beszélhetünk kizárólag egy lokális homokfelhalmozódásról, mely egy bizonyos eseményhez (az Olt tusnádi áttörése okán kialakuló törmelékkúp, mely elzárja a Feketeügy folyását) lenne köthető. Inkább medencefeltöltés és annak későbbi eróziója figyelhető meg. A Rétyi Nyírt egy fura kettősség jellemzi: egyrészt *Orbán Balázs* óta Háromszék Szaharájaként emlegetik,

ugyanakkor a tündérrózsás tavak világa jut sokaknak eszébe róla, ezeket tanulmányozta *Moesz Gusztáv* is. A domborzat és a homok kérdése mellett még a tavak kialakulásának oka, és az azokat feltöltő víz problematikája maradt hátra. Mocsaras, tavas terület volt a teljes medence Borosnyó környékén is, de felfele végig a Feketeügy mentén. Erre utalnak úgy a helynevek, mint a katonai felmérések, melyeken követhető a XVIII. századtól a lecsapolóárkok létrehozása is. De mi van a Feketeügy teraszán elhelyezkedő Nyírrrel, ahol a tavak relatív magasabban vannak, mint az árterületen levők. A Nyír négy vízfolyás által van körülvéve: délen a Béldi-patak, keleten a Szacsva és Kovászna patakok, északon és nyugaton a Feketeügy határolja. Egy kis nyakkal kapcsolódik a Szacsva fölötti hegyvidékhez.

A homokdűnék közti tavak, lápos tavak, lápok vizét az általánosságban elfogadott elmélet szerint kizárólag az esővíz pótolja, a tavak fenekén képződött iszap vízzáró réteget alkot és megakadályozza elfolyását. A kiszáradásuk, eltűnésük fő oka ezen elmélet szerint a kevesebb csapadék.

Fekete Tibor 2014-ben végzett szivárgási vizsgálata cáfolja a vízzáró iszaprétek elméletét és megállapítja, hogy a tavak vízszintje megegyezik a talajvíz szintjével. Így valószínűleg a csapadékvizen kívül csak a Szacsva fele vezető nyúlványon keresztül kap még talajvízutánpótlást a terület. A topográfiai felmérés szerint a Nyír belseje fele haladva a tavak magasabban helyezkednek el, mint a peremen levők, és megerősítette, hogy a tavak vízszintje megegyezik a környező területek talajvízszintjével. *Nagy Elek* Háromszék vármegye Emlékkönyvében (1899) még így írt: „több százra rúg a tócsoportok száma. (...) Negyven-ötven lépésnyire egymástól ott terülnek ezek a szép, szabályos formájú tószemek karcsú nyírektől, és sötét lombozatú égerfáktól övezve...”

A Nyír környékén több vízügyi munkálatot is végeztek az utóbbi 40 évben: a Feketeügy szabályozása (1970-es évek), vízlevezető árkok készítése (1970-es évek), a rétyi horgásztavak létrehozása (1970-es évek) és a Béldi-patak lemélyítése (2010-ben). Az éghajlati tényezők szerint az utóbbi száz évben kb

550 mm/év csapadék volt a jellemző a területre. Ez éppen azon a határon van, hogy kevesebb esetén már szárazság lép fel. Ami egyértelműen változott, az az évi átlaghőmérséklet. Ez a talajvízszint csökkenésével párosulva a terület fokozott kiszáradását eredményezte. Minderre „csak” ráadás a fenyő betelepítése, mely akadályozza a tavak hóval történő feltöltését, ugyanakkor több vizet szív el, mint az őshonos nyír, éger társulás. Mára már csak azon tavak medencéjét tölti ki teljes éven át állandó jellegű víz, amelyek a védett területen kívül találhatóak, és mesterségesen lemélyítették őket a környező területek lecsapolása, vagy díszítő létrehozása céljából.

A dr. *Benkő Elek* pesti akadémikus által vezetett, erdélyi tőzegeket kutató csoport eredményeiből tudjuk, hogy a Rétyi Nyír tavaiban az üledékképződés kb. 7 ezer évvel ezelőtt kezdődhetett. Úgy tartják, hogy a szél deflációt csak a talajvízszintig tud okozni. Valószínű, hogy egy szárazabb periódus után ezelőtt 7 ezer évvel fejeződhetett be a homok formálása és emelkedett meg a talajvízszint annyira, hogy létrejöhettek a mélyebb gödröket kitöltő tavacsák.

A Feketeügy szabályozása nyomán a meder kb 1-1,5 méterrel mélyült, megszűnt az áradások által előtött nyíri területek vízzel történő feltöltődése. A Béli-patak mélyítése nyomán egyértelműen kimutatható a talajvízszintre gyakorolt szívóhatása a környező vízfolyásoknak. Az eredmény: 1 állandó tó maradt, mely még nyomokban tartalmazza az egykor az egész nyíri tóvilágra jellemző növényfajokat (tündérrózsa, aldrovanda, harmatfű stb). Sajnos itt is volt olyan időszak, mikor a tündérrózsák szárazon maradtak. Megdöbbentő volt 2015 nyarán az egykor közel 2 méter vastagságot elérő tőzegről tapasztalni a fúrások során, hogy mára alig fél méter maradt, a többi elkorhadt, elbomlott.

A Rétyi Nyír a Feketeügy teraszán elhelyezkedő, a helyben levő homoknak a szél általi áthalmozásával, alakításával létrejött futóhomok terület, melynek buckák közötti mélyedéseiben kb. 7 ezer évvel ezelőtt a nagyrészt csapadék által táplált talajvíz szintjével megegyező vízmélységű tavak alakultak ki. Sajnos a talajvíz szabályozás, azaz erőteljes emberi hatá nyomán az itt található tőzeges

tavak egy része kiszáradt, és döntő többségüknél a felszínközeli tőzegrétegek jelentős része pedig lebomlott. Így a Rétyi Nyír tavainak, lápos tavainak, lápoknak a sorsa teljes mértékben a társadalomtól és az ott élő emberktől vált függővé, akárcsak a Földünk szinte majd minden hidrológiai – paleohidrológiai rendszere.

Ellenőrző kérdések:

19.1. Határozza meg a tó fogalmát.

19.2. Határozza meg a láp fogalmát.

19.3. Határozza meg a mocsár fogalmát.

19.4. Hol található a Szernye-mocsár?

19.5. Milyen geológiai képződményben alakult ki?

19.6. Milyen hatásokra alakult át a Szernye – mocsár napjainkra?

19.7. Milyen paleohidrológiai tényezők jelzik ezt az átalakulást?

19.8. Hol található a Rétyi Nyír?

19.9. Milyen hatásokra alakult ki a Rétyi Nyír?

19.10. Milyen hatásokra alakult át a Rétyi Nyír napjainkra?

19.11. Milyen paleohidrológiai tényezők jelzik ezt az átalakulást?

Ajánlás

Ezt a könyvet gyermekeinknek, *Sümei Réka Tündének* és *Sümei Balázs Pálnak* ajánljuk az együtt eltöltött földi idő és kalandok emlékére, és itt is megköszönjük Sümei Balázs Pálnak a szülőföldünkön, a Kárpát-medencében található lápok, mocsarak, mesterséges és természetes tavak feltárásánál és vizsgálatánál nyújtott terepi és laboratóriumi segítségét: „*Absque sudore et labore nullum opus perfectum est*” („izzadtság és munka nélkül nincs tökéletes mű”...)

Köszönetnyilvánítás

Hálás köszönetünket fejezzük ki mindazoknak, akik tanácsokkal, támogatással, patronálással terepi és labormunkákkal segítették paleohidrológiai munkánkat, ennek a könyvnek az elkészültét, illetve azoknak, akik írásban hozzájárultak az általuk publikált, vagy online megjelentetett ábrák felhasználáshoz:

Mindenek előtt *Dr. Molnár Dávid* egyetemi adjunktusnak, az e-book hivatalos lektorának szeretnénk köszönetet mondani mindenre kiterjedő hasznos munkájáért, javításaiért. A szöveg nyelvtani átnézéséért, javításaikért, hibavadászatért *Benyó-Korcsmáros Réka*, *Cseh Péter*, *Makó László*, *Nagy Balázs*, *Tapody Réka Orsolya*, *Torma Andrea*, *Vári Tamás Zsolt* PhD és MSc hallgatóknak tartozunk köszönettel. Külön megköszönjük *Benyó-Korcsmáros Réka*, *Cseh Péter* PhD hallgatóknál az ábráknál nyújtott segítséget. *Sümei Pál* professzor külön köszönetet mond a PhD, MSc, BSc dolgozatukat megvédő hallgatónak, erdélyi, felvidéki, kárpátaljai, délvidéki barátainak, akik biztatták, hogy ezt az e-book-ot készítse el. Köszönettel tartozunk *Dr. Főzy István* címzetes egyetemi tanárnak, *Dr. Dulai Alfréd* tárigazgatónak, *Dr. Venczel Márton* nagyváradi nyugalmazott múzeológusnak, *Dr. Gulyás Sándor* egyetemi adjunktusnak, *Csökmei Bálint* intézeti mérnöknek, *Dr. Tomis Goslav* professzor emeritusnak (University of Poznan), *Vörös Attila*, *Haas Jánso* akadémikusnak, *Galács András*, *Timár Gábor* professzoroknak (ELTE). Nemzetközi szinten a következő kutatóknak mondunk köszönetet az ábrák bemutatásának engedélyezéséért: *Dr Simon Buckley* (Bergen University), *Dr Tessa Isabel Lane* (University of Adelaide), *Dr Arnoud Slooman* (King Fahd University), *Dr David Wacey* (University of Western Australia), Professor *Xingliang Zhang* (Northwest University), Professor Emeritus *Michael J. Hambrey* (Aberystwyth University), Full Professor *Bruno Granier* (Département des Sciences de la Terre et de l'Univers, University of Kansas), *Dr Robin James Smith* (Biwa Museum), Full Professor *James Shulmeister* (Victoria University of Wellington), Professor Emeritus *Gar W. Rothwell* (Ohio University and Oregon State University), *Dr Alan R Kabat* (Harvard University), Full Professor *Andrzej Falniowski* (Jagiellonian University), *Dr Shinya Inoue* (Hokkaido University), *Dr Pavel Parkhaev* (Russian Academy of Sciences), *Dr Lida Xing* (University of Geosciences, Beijing), *Dr Monika Niska* (Pomeranian University), *Dr Julien*

Kimmig (Penn State University), Dr *Jocely A Sessa* (Drexel University). Külön köszönetet mondunk a wikipédia, wikipedia, wikiwand, wikifossil, és más szabadon letölthető oldalakon található képeket készítő és feltöltő ismeretlen szerzőknek is.

Ajánlott irodalom

- Aguirre, J., Braga, J. C. 2005. The citation of nongeniculate fossil coralline red algal species in the twentieth century literature: an analysis with implications. *Revista Española de micropaleontología*, 37(1), 57-62.
- Agee, J.K. 1993. *Fire ecology of Pacific Northwest forests*. Island Press, Washington. p. 505.
- Albers, P. C., Rieppel, O. 2003. A new species of the sauropterygian genus *Nothosaurus* from the Lower Muschelkalk of Winterswijk, the Netherlands. *Journal of Paleontology*, 77, 738-744.
- Alla A. (Алла А.) 2016. Історія однієї ґрунтової карти. Сучасний стан картографування ґрунтів в Україні / Egy talajtérkép története. A talajtérképezés jelenlegi állapota Ukrajnában. <http://www.50northspatial.org/>.
- Allison P.A., Briggs D.E.G., 1993. The Burgess Shale biota: burrowed" away? *Lethaia*, 184-185.
- Allison P.A., Briggs D.E.G., 1993. Palaeolatitudinal sampling bias; species diversity and the End-Permian extinction event, *Geology*, 21, 65-68.
- Allison, P.A., Sutton, M.D., Gorman, G.J., Piggott, M.D. 2018. Computational Fluid Dynamics Of Oxycone Ammonites.
- Allwood, A. C., Walter, M. R., Kamber, B. S., Marshall, C. P., Burch, I. W. 2006. Stromatolite reef from the Early Archaean era of Australia. *Nature*, 441(7094), 714-718.
- Anderson, K.L., Druckenmiller, P.S., Erickson, G.M., Maxwell, E.E. 2019. Skeletal microstructure of *Stenopterygius quadriscissus* (Reptilia, Ichthyosauria) from the Posidonienschiefer (Posidonia Shale, Lower Jurassic) of Germany. *Palaeontology*, 62), 433-449.
- Anderson, R.Y., Dean, W.E. 1988. Lacustrine varve formation through time. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 62(1-4), 215-235.
- András, B., Attila, E., Lajos, V. 2017. A vízi ökoszisztémák jelentősége a társadalom számára. *Magyar Tudomány*, 178(10), 1206-1215.
- Archer, M., Flannery, T.F., Ritchie, A., Molnar, R.E. 1985. First Mesozoic mammal from Australia—an early Cretaceous monotreme. *Nature*, 318, 363-366.
- Arion et al., (Арїон, О.В., Купач, Т.Г., Дем'яненко, С.О.) 2017. Географія ґрунтів з основами ґрунтознавства / Talajföldrajz és a talajtan alapjai. Навчально-методичний посібник, Київ,.
- Awramik, S. M., Sprinkle, J. 1999. Proterozoic stromatolites: the first marine evolutionary biota. *Historical Biology*, 13(4), 241-253.
- Babinszky, E. 2016. Geológusok tatai zárandokhelye. National Geography, 05-22, <https://ng.hu/termeszett/2016/05/22/geologusok-tatai-zarandokhelye/>

- Bagdasarjan G.P., Danyilovics L.G. (Багдасарян Г.П., Данилович Л.Г.) 1968. Новые данные об абсолютном возрасте вулканических образований Закарпатья / Újabb adatok Kárpátalja vulkáni képződményeinek abszolút koráról. АН СССР. Серия геологическая. Москва.
- Bajpai, S., Thewissen, J.G.M., Kapur, V.V., Tiwari, B. N., Sahni, A. 2006. Eocene and Oligocene sirenians (Mammalia) from Kachchh, India. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 26, 400-410.
- Bakalowicz, M. 2005. Karst groundwater: a challenge for new resources. *Hydrogeology journal*, 13(1), 148-160.
- Bakonyi, G., Juhász, L., Kiss, I., Palotás, G. 2003. Állattan. https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/2011_0001_521_Allattan/index.html
- Balaguru, K., Chang, P., Saravanan, R., Leung, L.R., Xu, Z., Li, M., Hsieh, J.S. 2012. Ocean barrier layers' effect on tropical cyclone intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, 14343-14347.
- Balogh, I. 1985. Bereg megye leírása. Szabolcs-Szatmár-Bereg megyei levéltári évkönyv 5–6, Nyíregyháza.
- Balogh, M. 1999. Az úszóláp-szukcesszió kérdései. I. *Kitaibelia*, 5/1, 9-16.
- Balogh, M. 2000. *Lápok rendszerezése*. In: SZURDOKI, E. (szerk.) *Tőzegmohás élőhelyek Magyarországon: kutatás, kezelés, védelem*. CEEWEB Munkacsoport, Miskolc, 57-65.
- Balogh, M. 2001. Az úszóláp-szukcesszió kérdései II. Az úszólápok növényzetének szukcessziója. *Kitaibelia*, 6/2, 291-297.
- Balogh, M. 2002. Az őrési Tájvédelmi körzet úszólápjai. *Kanitzia*, 10, 203-210.
- Bandel, K. 2001. The history of Theodoxus and Neritina connected with description and systematic evaluation of related Neritimorpha (Gastropoda). *Mitteilungen aus dem geologisch-paläontologischen Institut der Universität Hamburg*, 85, 65-164.
- Barghoorn, E. S. 1971. The oldest fossils. *Scientific American*, 224, 30-43.
- Bardet, N., Suberbiola, X.P., Iarochene, M., Bouyahyaoui, F., Bouya, B., Amaghaz, M. 2004. Mosasaurus beaugei Arambourg, 1952 (Squamata, Mosasauridae) from the late Cretaceous phosphates of Morocco. *Geobios*, 37, 315-324.
- Bassler, R.S. 1952. Taxonomic notes on genera of fossil and Recent Bryozoa. *Journal of the Washington Academy of Sciences*, 42, 381-385.
- Baud, A., Richoz, S., Marcoux, J. 2005. Calcimicrobial cap rocks from the basal Triassic units: western Taurus occurrences (SW Turkey). *Comptes Rendus Palevol*, 4, 569-582.
- Bastesen, E., Rotevatn, A. 2012. Evolution and structural style of relay zones in layered limestone–shale sequences: insights from the Hammam Faraun Fault Block, Suez rift, Egypt. *Journal of the Geological Society*, 169, 477-488.

- Bácsmegi, G, 2015. *Geoarcheológiai és környezettörténeti kutatások Karancsság-alsó-rétek lelőhelyén*. SZTE TTIK Földtani és Őslénytani Tanszék, PhD dolgozat, Szeged.
- Báldi, T. Elemző (általános) földtan. I. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- Báldi, T. 1984. Oligocén és alsó-miocén formációk Magyarországon. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Báldi, T. 1994. Történeti földtan alapjai. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Báldi, T. 2003. Egy geológus barangolásai Magyarországon. Vince Kiadó, Budapest
- Báldi, T., Nagymarosy, A. 1976. A hárshegyi homokkő kovásodása és annak hidrotermális eredete. *Földtani Közlöny*, 106, 257–275.
- Báldi T., Báldiné. Beke M., Horváth M., Kecskeméti T., Monostori M., Nagymarosy A. 1976. A Hárshegyi Homokkő Formáció kora és képződési körülményei. *Földtani Közlöny* 106, 353–386.
- Beach, T., Luzzadder-Beach, S., Dunning, N., Jones, J., Lohse, J., Guderjan, T., Bhattacharya, T. (2009). A review of human and natural changes in Maya Lowland wetlands over the Holocene. *Quaternary Science Reviews*, 28(17-18), 1710-1724.
- Beavington-Penney, S. J., Racey, A. 2004. Ecology of extant nummulitids and other larger benthic foraminifera: applications in palaeoenvironmental analysis. *Earth-Science Reviews*, 67, 219-265.
- Becker, B. 1993. An 11,000-year German oak and pine dendrochronology for radiocarbon calibration. *Radiocarbon*, 35, 201-213.
- Bellwood, D. R., van Herwerden, L., Konow, N. 2004. Evolution and biogeography of marine angelfishes (Pisces: Pomacanthidae). *Molecular phylogenetics and evolution*, 33, 140-155.
- Bengtson, L., Enell, M. 1986. Chemical analysis. In: Berglund, B.E. (ed.) *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. Wiley Press, Chichester, 423-448.
- Bengtson, S. 1983. The early history of the Conodonta. *Fossils and Strata*, 15, 19.
- Bennett, A., Seymour, R., Bradford, D. 1985. *Crocodylus porosus*. *Journal of Experimental Biology*, 118, 161-171.
- Bennett, C. E., Williams, M., Leng, M. J., Siveter, D. J., Davies, S. J., Sloane, H. J., Wilkinson, I. P. 2011. Diagenesis of fossil ostracods: Implications for stable isotope based palaeoenvironmental reconstruction. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 305, 150-161.
- Bennett, K.D. 1992. PSIMPOLL - A quickBasic program that generates PostScript page description of pollen diagrams. INQUA Commission for the study of the Holocene: working group on data handling methods. Newsletter 8: 11-12.
- Bennett, K. D. 2005. Documentation for psimpoll 4.25 and pscomb 1.03: C programs for plotting pollen diagrams and analysing pollen data. Department of Earth Sciences, University of Uppsala.

- BeNosr, K., Fnfue, J. 1999. Notes on the evolution and higher classification of the subclass Neritimorpha (Gastropoda) with the description of some new taxa. *Geologica et Palaeontologica* 33, 219-235.
- Berger, A.L. 1978. Long-Term Variations of Caloric Insolation Resulting from The Earth's Orbital Elements. *Quaternary Research*, 9, 239–267.
- Berglund, B.E., Birks, H.J.B., Ralskajasiewiczowa, M., Wright, H.E. 1996. *Palaeoecological Events During the Last 15,000 Years: Regional Synthesis of Palaeoecological Studies of Lakes and Mires in Europe*. John Wiley, Chichester.
- Beug, H.j. 1961. Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete. Lief. 1. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart
- Beug, H.J. 2004. Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München.
- Bianucci, G., Di Celma, C., Landini, W., Post, K., Tinelli, C., de Muizon, C., Collareta, A. 2016. Distribution of fossil marine vertebrates in Cerro Colorado, the type locality of the giant raptorial sperm whale *Livyatan melvillei* (Miocene, Pisco Formation, Peru). *Journal of Maps*, 12, 543-557.
- Bigler, C., Larocque, I., Peglar, S.M., Birks, H.J.B., Hall, R.I. 2002. Quantitative multiproxy assessment of long-term patterns of Holocene environmental change from a small lake near Abisko, northern Sweden. *The Holocene*, 12, 481-496.
- Biswas, J. 2009. The biodiversity of Krem Mawkhyrdop of Meghalaya, India, on the verge of extinction. *Current Science*, 904-910.
- Bizikov, V. A. 2008. *Evolution of the shell in Cephalopoda*. VNIRO, Moscow.
- Block, Suez rift, Egypt. *Journal of the Geological Society*, 169(4), 477-488.
- Blake, D.B. 2000. The class Asteroidea (Echinodermata): fossils and the base of the crown group. *American Zoologist*, 40, 316-325.
- Blokland, J. C., Reid, C. M., Worthy, T.H., Tennyson, A.J., Clarke, J.A., Scofield, R.P. 2019. Chatham Island Paleocene fossils provide insight into the palaeobiology, evolution, and diversity of early penguins (Aves, Sphenisciformes). *Palaeontologia Electronica*, 22, 1-92.
- Blom, H. 2005. Taxonomic revision of the late Devonian tetrapod *Ichthyostega* from East Greenland. *Palaeontology*, 48, 111-134.
- Bonacci, O. 2012. *Karst hydrology: with special reference to the Dinaric karst* (Vol. 2). Springer Science & Business Media, Berlin.
- Borhidi, A. 2003. Magyarország növénytársulásai. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Botlik, J. 2001. *Volt egyszer egy Szernye-mocsár* I. Honismeret 29/5, 67-76.
- Boyle, J., Ryan, M. J. 2017. New information on Titanichthys (Placodermi, Arthrodira) from the Cleveland Shale (Upper Devonian) of Ohio, USA. *Journal of Paleontology*, 91, 318-336.
- Blöschl, G., Kiss, A., Viglione, A., Barriendos, M., Böhm, O., Brázdil, R., & Retsö, D. (2020). Current European flood-rich period exceptional compared with past 500 years. *Nature*, 583(7817), 560-566.
- Brace, R.C. 1977. The functional anatomy of the mantle complex and columellar muscle of tectibranch molluscs (Gastropoda: Opisthobranchia), and

its bearing on the evolution of opisthobranch organization. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 277, 1-56.

Braddy, S. J., Poschmann, M., Tetlie, O E. 2008. Giant claw reveals the largest ever arthropod. *Biology Letters*, 4, 106-109.

Brady, H.B. 2018. *A Monograph of Carboniferous and Permian Foraminifera: (the Genus Fusulina Excepted)*. Creative Media Partner, Sacramento, USA.

Brasier, M.D., Antcliffe, J., Saunders, M., Wacey, D. 2015. Changing the picture of Earth's earliest fossils (3.5-1.9 Ga) with new approaches and new discoveries. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112, 4859-4864.

Braun M. 1998. *Tavak, lápok és a környezet múltbeli állapotváltozásainak történeti rekonstrukciója az üledék elemösszetétele alapján*. PhD dolgozat, Debrecen, Kossuth Lajos Tudományegyetem.

Braun M., Sümegei, P., Szűcs, L., Szöör, Gy. 1993, A kállósemjéni Nagy-Mohos láp fejlődéstörténete (Lápképződés emberi hatásra és az ősláp hipotézis). *Jósa András Múzeum Évkönyve*, 33-35, 335-366.

Braun, M.-Sümegei, P.-Tóth, A.-Willis, K.J.-Szalóki, I.-Margitai, Z.-Somogyi, A. 2005. Reconstruction of long-term environmental changes at Kelemér, in Hungary. In: Gál, E.-Juhász, I.-Sümegei, P. eds. 2005. *Environmental Archaeology in North-Eastern Hungary*. *Varia Archaeologica Hungarica* sorozat, XIX. kötet, MTA Régészeti Intézet, Budapest, 25-38.

Bujtor, L. 2006. Early Valanginian brachiopods from the Mecsek Mts (southern Hungary) and their paleobiogeographical significance. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 241(1), 111-152.

Bujtor, L. 2007. A unique Valanginian paleoenvironment at an iron ore deposit near Zengővárkony (Mecsek Mts, South Hungary), and a possible genetic model. *Central European Geology*, 50, 183-198.

Bujtor, L. 2012. A mecseki alsó-kréta (valangini) hidrotermális hasadékkitöltés őslénytani jellege. *Földtani Közlöny*, 142, 137-148.

Bujtor, L., Konrád, Gy., Budai, T. 2014. *Rendszeres őslénytani*. Digi-Book Kiadó, Gyula.

Broecker, W.S. 1975. Climatic change; are we on the brink of a pronounced global warming? *Science*, 189/4201, 460-463.

Broecker, W. S. (1991), The great ocean conveyor, *Oceanography*, 4, 79-89.

Brodacki, M. 2006. Functional anatomy and mode of life of the latest Jurassic crinoid *Saccocoma*. *Acta Palaeontologica Polonica*, 51, 261-270.

Brooks, S.J. 2006. Fossil midges (Diptera: Chironomidae) as palaeoclimatic indicators for the Eurasian region. *Quaternary Science Reviews*, 25, 1894-1910.

Booth, A. J., Merron, G. S., Buxton, C. D. 1995. The growth of *Oreochromis andersonii* (Pisces: Cichlidae) from the Okavango Delta, Botswana, and a comparison of the scale and otolith methods of ageing. *Environmental Biology of Fishes*, 43, 171-178.

Brusina, S. 1902. Eine subtropische Oasis in Ungarn. *Mittheilungen des Naturwissenschaftlichen Vereines für Steiermark*, 28, 101–121. Graz.

- Bruzgul, J.E., Long, W., Hadly, E.A. 2005. Temporal response of the tiger salamander (*Ambystoma tigrinum*) to 3,000 years of climatic variation. *BMC ecology*, 5, 7.
- Buckley, S. J., Howell, J. A., Enge, H. D., Leren, B. L. S., Kurz, T. H. 2006. Integration of terrestrial laser scanning, digital photogrammetry and geostatistical methods for high-resolution modelling of geological outcrops. *Remote Sensing and Spatial Information Science*, 36.
- Bullen, R.P. 1953. The famous Crystal River site. *The Florida Anthropologist*, 6, 9-37.
- Caddy, J. F. (2001). A brief overview of catchment basin effects on marine fisheries. *Coastal And Estuarine Studies*, 355-370.
- Callender, E.-Bowser, C.J. 1976. Fresh-water manganese deposits. In: Wolf, K.H. (ed.) Handbook of Strata-Bound and Stratiform Ore Deposits. 7. Elsevier, Amsterdam, New York, 341-394.
- Calder, J.H. 1994. The impact of climate change, tectonism and hydrology on the formation of Carboniferous tropical intermontane mires: the Springhill coalfield, Cumberland Basin, Nova Scotia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 106, 323-351.
- Caldwell, M. W., Albino, A. 2003. Exceptionally preserved skeletons of the Cretaceous snake *Dinilysia patagonica* Woodward, 1901. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 22, 861-866.
- Caldwell, M. W., Budney, L. A., Lamoureux, D. O. 2003. Histology of tooth attachment tissues in the Late Cretaceous mosasaurid *Platecarpus*. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 23, 622-630.
- Callaway, J.M, Nichols, E.L. 1997. Ancient marine reptiles. Academic Press, New York.
- Campbell, N.A., Reece, J.B. 2005. *Biology*. Pearson Press. Cape Town.
- Canu, F., & Bassler, R. S. (1928). *Fossil and Recent Bryozoa of the Gulf of Mexico region* (Vol. 72). US Government Printing Office, Washington.
- Carr, R.K. 2010. Paleogeology of *Dunkleosteus terrelli* (Placodermi: Arthrodira). *Kirtlandia*, 57, 36-45.
- Császár G., Galács A., Vörös A. 1998. A gerecsei jura – fácieskérdések, alpi analógiák. *Földtani Közlöny*, 128, 397–435.
- Császár, G., Haas, J., Sztanó, O., Szinger, B. 2012. From Late Triassic passive to Early Cretaceous active continental margin of dominantly carbonate sediments in the Transdanubian Range, Western Tethys. *Journal of the Alpine Geology*, 54, 33-99.
- Chamberlain Jr, J.A., Chamberlain, R.B. 2014. The Devonian bivalve, *Archanodon catskillensis*: A status report on the first freshwater mussel from New Jersey. In? Rainforth, E. (ed.) *Contributions to the Paleontology of New Jersey II*, 24-40.
- Cisz, P.M. (Цись, П.М.) 1962. Геоморфология УРСР / Az USzSzk geomorfológiája. – Видавництво Львівського Університету.

- Clark, P.U., Pisias, N.G., Stocker, T.F., Weaver, A.J. 2002. The role of the thermohaline circulation in abrupt climate change. *Nature*, 415, 863-869.
- Cofaigh, C. Ó., & Dowdeswell, J. A. 2001. Laminated sediments in glacial marine environments: diagnostic criteria for their interpretation. *Quaternary Science Reviews*, 20(13), 1411-1436.
- Collareta, A., Lambert, O., Landini, W., Di Celma, C., Malinverno, E., Varas-Malca, R., Bianucci, G. 2017. Did the giant extinct shark *Carcharocles megalodon* target small prey? Bite marks on marine mammal remains from the late Miocene of Peru. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 469, 84-91.
- Cope, E.D. 1871. A description of the genus *Protostega*, a form of extinct Testudinata. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 12, 422-433.
- Copper, P. (1985). Fossilized polyps in 430-Myr-old *Favosites* corals. *Nature*, 316(6024), 142-144.
- Craig, G.Y. 1952. A comparative study of the ecology and palaeoecology of *Lingula*. *Transactions of the Edinburgh Geological Society*, 15, 110-120.
- Crerar, L. D., Crerar, A.P., Domning, D.P., Parsons, E.C.M. 2014. Rewriting the history of an extinction—was a population of Steller's sea cows (*Hydrodamalis gigas*) at St Lawrence Island also driven to extinction? *Biology letters*, 10, 20140878.
- Croll, J. 1875. *Climate and Time in Their Geological Relations. A theory of secular changes of the earth's climate*. D. Appleton and Co, New York
- Crowell, J.C., 1978. Gondwana glaciation, cyclothems, continental positioning and climate change. *American Journal of Science*, 278, 1345–1372.
- Darwin, C., Costa, J. T. 2009. *The annotated origin: a facsimile of the first edition of on the origin of species*. Harvard University Press, Cambridge (Massachusetts) and London.
- Davidson, T. A., Sayer, C. D., Perrow, M. R., Tomlinson, M. L. 2003. Representation of fish communities by scale sub-fossils in shallow lakes: implications for inferring percid–cyprinid shifts. *Journal of Paleolimnology*, 30(4), 441-449.
- Dániel, P. 2004. Methods of the five-step extraction-digestion method. pp. 53-56., Results of the five-step extraction-digestion method. In: Sümegei, P.-Gulyás, S. (eds.) 2004. The geohistory of Bátorliget Marshland. Archaeolingua Press, Budapest, 98-108.
- Dean, W.E. 1981. Carbonate minerals and organic matter in sediments of modern North temperate hard-water lakes. *Sedimentary and Petrology, Special Publication*, 31, 213-231.
- Dean, W.E., Gorham, E. 1976. Major chemical and mineral components of profundal surface sediments in Minnesota lakes. *Limnology and Oceanography*, 21, pp. 259-284.
- Debrenne, F. 1991. Extinction of the Archaeocyatha. *Historical Biology*, 5, 95-106.

- Demény, A., Németh, P., Czuppon, G., Leél-Óssy, S., Szabó, M., Judik, K., Németh, T., Stieber, J. 2016. Formation of amorphous calcium carbonate in caves and its implications for speleothem research. *Scientific reports*, **6**, 39602.
- Demény A, Kern Z, Czuppon G, Németh A, Schöll-Barna G, Siklósy Z, Leél-Óssy S, Cook G, Serlegi G, Bajnóczi B, Sümegi P., Király Á, Kiss V, Kulcsár G, Bondár M (2018): Middle Bronze Age humidity and temperature variations, and societal changes in East-Central Europe. *Quaternary International*, **504**, 80-95.
- De Baets, K., Hoffmann, R., Sessa, J. A., Klug, C. 2016. Fossil focus: ammonoids. *Palaeontology online*, 1-15.
- De Buffrenil, V., De Ricqlès, A., Ray, C.E., Domning, D.P. 1990. Bone histology of the ribs of the archaeocetes (Mammalia: Cetacea). *Journal of Vertebrate Paleontology*, **10**, 455-466.
- de Miguel Chaves, C., Ortega, F., Pérez-García, A. 2018. A new placodont from the Upper Triassic of Spain provides new insights on the acquisition of the specialized skull of Henodontidae. *Papers in Palaeontology*, **4**, 567-576.
- de Muizon, C. 2009. Origin and evolutionary history of cetaceans. *Comptes Rendus Palevolution*, **8**, 295-309.
- Derryberry, E.P., Claramunt, S., Derryberry, G., Chesser, R.T., Cracraft, J., Aleixo, A., Brumfield, R.T. 2011. Lineage diversification and morphological evolution in a large-scale continental radiation: the Neotropical ovenbirds and woodcreepers (Aves: Furnariidae). *Evolution: International Journal of Organic Evolution*, **6**, 2973-2986.
- Derycke, C., Cloutier, R., Candilier, A. M. 1995. Palaeozoic vertebrates of northern France and Belgium: Part II. Chondrichthyes; Acanthodii; Actinopterygii (uppermost Silurian to Carboniferous). *Geobios*, **28**, 343-350.
- Dias, M. S., & de Mattos, J. R. L. Human race actions versus the breaking of the CO2 equilibrium limit. International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2011 Belo Horizonte, MG, Brazil, October 24-28, 2011 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA NUCLEAR
- Dimitriadis, S., Cranston, P.S. 2001. An Australian Holocene climate reconstruction using Chironomidae from a tropical volcanic maar lake. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **176**, 109-131.
- Driese, S.G., Mora, C.I. 2001. Diversification of Siluro-Devonian plant traces in paleosols and influence on estimates of paleoatmospheric CO2 levels. *Plants Invade the Land: Evolutionary and Environmental Perspectives*, 237-253.
- Dornbos, S.Q., Bottjer, D.J., Chen, J.Y. 2005. Paleoecology of benthic metazoans in the Early Cambrian Maotianshan Shale biota and the Middle Cambrian Burgess Shale biota: evidence for the Cambrian substrate revolution. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **220**, 47-67.
- Donovan, S.K. 1989. Palaeoecology and significance of barnacles in the mid-Pliocene Balanus Bed of Tobago, West Indies. *Geological Journal*, **24**, 239-250.

- Douglass, A. E. 1941. Crossdating in dendrochronology. *Journal of Forestry*, 39, 825-831.
- Douglas, R. G. 1979. *Benthic foraminiferal ecology and paleocology: a review of concepts and methods*. Special Publication of the Society of Economic Paleontologist and Minerologists, Los Angeles, USA.
- Doyle, J. A. 1973. Fossil evidence on early evolution of the monocotyledons. *The Quarterly Review of Biology*, 48, 399-413.
- Doyle, P., Macdonald, D. I. 1993. Belemnite battlefields. *Lethaia*, 26, 65-80.
- Downs, J. P., Daeschler, E. B., Jenkins, F. A., Shubin, N. H. 2008. The cranial endoskeleton of *Tiktaalik roseae*. *Nature*, 455(7215), 925-929.
- Domning, D.P. 2018. Sirenian evolution. In: *Encyclopedia of marine mammals* Academic Press, New York, 856-859.
- Duggen, S., Hoernle, K., Van den Bogaard, P., Rüpke, L., Morgan, J. P. (2003). Deep roots of the Messinian salinity crisis. *Nature*, 422(6932), 602-606.
- Dulai, A. 2005. Badenian (Middle Miocene) Polyplacophora from the Central Paratethys (Bánd and Devecser, Bakony Mountains, Hungary). *Fragmenta Palaeontologica Hungarica*, 23, 29-50.
- Dulai, A. (2007). Badenian (Middle Miocene) micromorphic brachiopods from Bánd and Devecser (Bakony Mountains, Hungary). *Fragmenta Palaeontologica Hungarica*, 24(25), 1-13.
- Dulai, A. 2020. *Eocén élővilág a Kárpát-medencében*. Természettár Könyvsorozat, Budapest.
- Ebel, K. 1990. Swimming abilities of ammonites and limitations. *Palentologische Zeitschrift*, 64, 25-37.
- Ebel, K. 1992. Mode of life and soft body shape of heteromorph ammonites. *Lethaia*, 25, 179-193.
- Engström, D.R., Hansen, B.C.S. 1984. Postglacial vegetation change and soil development in Southeastern Labrador as inferred from pollen and chemical stratigraphy. *Canadian Journal of Botany*, 63, 543-561.
- Engström, D.R., Wright, H.E. 1984. Chemical stratigraphy of lake sediments as a record of environmental change. In: Haworth, E.Y., Lund, J.W.G. (eds.) *Lake Sediments and Environmental History*. University of Minnesota Press, Minneapolis, 11-69.
- Eldredge, N. 1992. Marjorie Grene, „Two Evolutionary Theories” and modern evolutionary theory. *Synthese*, 92, 135-149.
- Eldredge, N. 2008. Paleontology and evolution. *Evolution*, 62, 1544-1546.
- Enos, P., Samankassou, E. 1998. Lofer cyclothems revisited (late Triassic, northern Alps, Austria). *Facies*, 38, 207.
- Everhart, M.J. 2005. Elasmosaurid remains from the Pierre Shale (Upper Cretaceous) of western Kansas: Possible missing elements of the type specimen of *Elasmosaurus platyrurus* Cope 1868. *Journal of Vertebrate Palaeontology*, 4, 19-32.
- Ezaki, Y., Liu, J., Adachi, N. 2003. Earliest Triassic microbialite micro-to megastructures in the Huaying area of Sichuan Province, South China:

- implications for the nature of oceanic conditions after the end-Permian extinction. *Palaios*, 18, 388-402.
- Faegri, K., Iversen, J. 1975. Textbook of pollen analysis. 3rd edition. Munksgaard, Copenhagen
- Fahlke, J.M. 2012. Bite marks revisited—evidence for middle-to-late Eocene *Basilosaurus isis* predation on *Dorudon atrox* (both Cetacea, Basilosauridae). *Palaeontologia Electronica*, 15, 32A.
- Fedonkin, M. A., Waggoner, B. M. 1997. The Late Precambrian fossil *Kimberella* is a mollusc-like bilaterian organism. *Nature*, 388(6645), 868-871.
- Fedonkin, M. A., Simonetta, A., Ivantsov, A.Y. 2007. New data on *Kimberella*, the Vendian mollusc-like organism (White Sea region, Russia): palaeoecological and evolutionary implications. *Geological Society, London, Special Publications*, 286(1), 157-179.
- Fekete, T. 2014. *Studiu privind permeabilitatea pământurilor din Mestecănișul de la Reci*, jud. Covasna, proiect nr. 819/2014, Geminex SRL, Sf. Gheorghe/Sepsiszentgyörgy.
- Feurdean, A., Liakka, J., Vannière, B., Marinova, E., Hutchinson, S. M., Mosbrugger, V., Hickler, T. 2013. 12,000-Years of fire regime drivers in the lowlands of Transylvania (Central-Eastern Europe): a data-model approach. *Quaternary Science Reviews*, 81, 48-61.
- Filipescu, S., Silye, L., Krézsek, Cs. 2005. Sarmatian micropaleontological assemblages and sedimentary paleoenvironments in the southern Transylvanian Basin. *Acta Palaeontologica Romaniaae*, 5, 173-179.
- Fitos, A. 2018. Ismeretlen ismerősök: az Ammonoideák titkos élete. Paleotóp, 2018 év, márciusi szám: https://paleotop.blog.hu/2018/03/27/az_ammonoideak_titkos_elete
- Fodor, I. 1996. A lecsapolással károsodott az őstermészet. (A Fekete/Szernyemocsár sorsa). Kárpáti Igaz Szó (Ungvár), 1996. november 14. 6. oldal
- Ford, D., Williams, P. D. 2013. *Karst hydrogeology and geomorphology*. John Wiley & Sons, New York
- Fordyce, R. E., Jones, C. M. 1990. Penguin history and new fossil material from New Zealand. In: Davis, L.S., Darby, J.T. eds. *Penguin biology*, 419- 446.
- Forey, P., Janvier, P. 1994. Evolution of the early vertebrates. *American Scientist*, 82, 554-566.
- Fortey, R. A., Whittington, H.B. 1989. The Trilobita as a natural group. *Historical Biology*, 2(2), 125-138.
- Főzy, I. 2013. Early Cretaceous fauna, biostratigraphy, facies and deformation history of the carbonate formations in the Gerecse and Pilis Mountains (Transdanubian Range, Hungary). GeoLitera Kiadó, Szeged.
- Főzy, I., Szente, I. 2012. Ősmaradványok – A Kárpát-Pannon térség kövületei. GeoLitera Kiadó, Szeged.
- Franzen, J. L., Gingerich, P. D., Habersetzer, J., Hurum, J. H., Von Koenigswald, W., Smith, B. H. 2009. Complete primate skeleton from the

- middle Eocene of Messel in Germany: morphology and paleobiology. *PLoS one*, 4, e5723.
- Freytet, P. (1973). Edifices recifaux developpes dans un environnement detritique: exemple des biostromes a Hippurites (rudistes) du Senonien inferieur du sillon languedocien (region de Narbonne, Sud de la France). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 13(1), 65-76.
- Friedman, M., Brazeau, M. D. 2010. A reappraisal of the origin and basal radiation of the Osteichthyes. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 30(1), 36-56.
- Fukumori, H., & Kano, Y. 2014. Evolutionary ecology of settlement size in planktotrophic neritimorph gastropods. *Marine biology*, 161, 213-227.
- Fűkőh, L. 2012. Adatok az egri édesvízi mészkő üledékek pleisztocén Mollusca-faunájához. *Malakológiai Tájékoztató*, 30, 21-30.
- Fryda, J. 1999. Secondary shell deposits in a new plectonotid gastropod genus (Bellerophontoidea, Mollusca) from the Early Devonian of Bohemia. *Journal of Geosciences*, 44, 309-315.
- Gaffney, E.S. 1984. Historical analysis of theories of chelonian relationship. *Systematic Zoology*, 33, 283-301.
- Gai, Z., Donoghue, P. C., Zhu, M., Janvier, P., Stampanoni, M. 2011. Fossil jawless fish from China foreshadows early jawed vertebrate anatomy. *Nature*, 476, 324-327.
- Gaillard, M-J., Birks, H. H. 2007. Paleolimnological applications. In: Elias, S.A. (ed.) *Encyclopedia of Quaternary Science*, Vol. 3. Elsevier, New York, 2337-2355.
- Gajewski, K., Viau, A., Sawada, M., Atkinson, D., Wilson S. 2001. Sphagnum peatland distribution in North America and Eurasia during the past 21,000 years. *Global Geochemical Cycles*, 15, 297-310.
- Galácz A. 1980. Bajocian and Bathonian ammonites from Gyenespuszta, Bakony Mts., Hungary, *Geologica Hungarica Series Palaeontologica*, 39, 1-227.
- Galácz, A. 1984. Jurassic of Hungary: a review. *Acta Geologica Hungarica*, 27, 359-377.
- Galácz A. 1992. *Ősállattani praktikum*. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Galácz A. 2012. Early perisphinctid ammonites from the early/late Bajocian boundary interval (Middle Jurassic) from Lókút, Hungary, *GEOBIOS*, 45, 285-295.
- Galácz A, Kovács Z. 2013. Middle Aalenian - Lower Bajocian (Middle Jurassic) ammonites from Bűdöskút, an old locality in the Bakony Mts, Transdanubain Hungary, *HANTKENIANA*, 8, pp. 7-23.
- Galácz, A., Géczy, B., Monostori, M. 2008. Csernye revisited: New ammonite finds and ostracods from the Lower Jurassic Pliensbachian/Toarcian boundary beds in Bakonycsernye, Transdanubian Hungary. *Geologica Pannonica*, 36, 187-225.
- Gastaldo, R.A. 1987. Confirmation of Carboniferous clastic swamp communities. *Nature*, 326, 869-871.

- Gavrilenko, N.M. (Гавриленко, Н.М.) ed. 1989: Карта естественной защищенности подземных вод Украинской ССР. Закарпатская область / Az Ukrán SzSzK felszín alatti vizeinek természetes védelmi térképe. Kárpátalja megye. M:1 200 000. Составлена в Закарпатской геологоразведочной экспедиции.
- Gál, E., Juhász, I., Sümegei, P. eds. 2005. *Environmental Archaeology in North-Eastern Hungary*. Varia Archaeologica Hungarica sorozat, XIX. kötet, MTA Régészeti Intézet, Budapest.
- Giese, A. (ed.). (2012). *Reproduction of Marine Invertebrates V5: Molluscs: Pelecypods and Lesser Classes*. Elsevier.
- Geisler, J. H. 2019. Whale Evolution: Dispersal by Paddle or Fluke. *Current Biology*, 29, R294-R296.
- Genske, D. D. (2014). *Ingenieurgeologie: Grundlagen und Anwendung*. Springer-Verlag, Berlin.
- Georgalis, G. L., Scheyer, T. M. 2019. A new species of Palaeopython (Serpentes) and other extinct squamates from the Eocene of Dielsdorf (Zurich, Switzerland). *Swiss Journal of Geosciences*, 112, 383-417.
- Géczy, B. 1993. *Ősállattan*. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Gibson, T. G., Bybell, L. M., Owens, J. P. 1993. Latest Paleocene lithologic and biotic events in neritic deposits of southwestern New Jersey. *Paleoceanography*, 8, 495-514.
- Giłka, W. 2011. A new fossil Tanytarsus from Eocene Baltic amber, with notes on systematics of the genus (Diptera: Chironomidae). *Zootaxa*, 3069, 63-68.
- Gingerich, P.D. 1973. Skull of Hesperornis and early evolution of birds. *Nature*, 243, 70-73.
- Gingerich, P.D. 2006. Environment and evolution through the Paleocene–Eocene thermal maximum. *Trends in ecology & evolution*, 21(5), 246-253.
- Gingerich, P.D. 2012. Evolution of whales from land to sea. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 156, 309-323.
- Gischler, E., Shinn, E. A., Oschmann, W., Fiebig, J., Buster, N. A. 2008. A 1500-year Holocene Caribbean climate archive from the Blue Hole, Lighthouse reef, Belize. *Journal of Coastal Research*, 24(6 (246)), 1495-1505.
- Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G., Zech, W. 2001. The 'Terra Preta' phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften*, 88, 37-41.
- Glaser, B., Birk, J.J. 2012. State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de Índio). *Geochimica et Cosmochimica acta*, 82, 39-51.
- Gnoli, M., Pillola, G.L. 2002. The oldest nautiloid cephalopod of Sardinia: Cameroceras cf. vertebrate (Eichwald, 1860) from the Arenig (Early Ordovician) of Tacconis (South East Sardinia) and remarks on the associated biota. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Monatshefte*, 19-26.

- Gingerich, P. D. 1976. Paleontology and phylogeny; patterns of evolution at the species level in early Tertiary mammals. *American Journal of Science*, 276, 1-28.
- Gorbman, A. 1980. Evolution of the brain–pituitary relationship: evidence from the Agnatha. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37, 1680-1686.
- Gorham, E., Swaine, D.J. 1965. The influence of oxidising and reducing conditions upon the distribution of some elements in lake sediments. *Limnology and Oceanography*, 10, 368-279.
- Goslar, T., Kuc, T., Ralska-Jasiewiczowa, M., Rózanski, K., Arnold, M., Bard, E., van Geel, B., Pazdur, M.F., Więckowski, K., Walanus, A. 1993. High-resolution lacustrine record of the Late Glacial/Holocene transition in Central Europe. *Quaternary Science Reviews*, 12, 287-294.
- Goth, K., De Leeuw, J.W., Püttmann, W., Tegelaar, E.W. 1988. Origin of Messel oil shale kerogen. *Nature*, 336, 759-761.
- Gould, S.J. 1968. Trigonias and the origin of species. *Journal of the History of Biology*, 1, 41-56.
- Gould, S.J. 1990. *Wonderful life: the Burgess Shale and the nature of history*. WW Norton & Company, New York.
- Górka, M. 2018. Badenian (middle Miocene) decapod crustaceans from western Ukraine, with remarks on eco-taphonomy, palaeoecology and biogeography. *Acta Geologica Polonica*, 511-535.
- Gönczy, S. 2016. Kárpátalja magmás komplexumai (Adattár, ösföldrajz és esettanulmányok). II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola kiadványa. „RIK-U” kiadó, Ungvár-Beregszász.
- Granier, B.R., Lethiers, A. 2017. *Draconisella mortoni* sp. nov., a Mizzia-like Dasycladalean alga from the Lower Cretaceous of Oman. *Palaeontologia Electronica*, 20(1.6)
- Green, J. C. M. 1954. Method and apparatus for producing laminated sheets of ice, including automatic controlled cycling means. *U.S. Patent No. 2,683,356*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Greguss, P. 1938. A hazai őshonos fák meghatározó kulcsa szövettani alapon. *Botanikai Közlemények*, 35, 37-50.
- Greguss, P. 1945. A középeurópai lomblevelű fák és cserjék meghatározása szövettani alapon. Országos Magyar Természettudományi Múzeum kiadványa, Budapest.
- Greguss, P. 1972. *Xylotomy of the living conifers*. Akadémia Kiadó, Budapest.
- Gingerich, P. D., Wells, N. A., Russell, D. E., Shah, S. I. 1983. Origin of whales in epicontinental remnant seas: new evidence from the early Eocene of Pakistan. *Science*, 220, 403-406.
- Gulyás, S. 2011. *Az édesvízi kagylók szerepe a kárpát-medencei neolitik közösségek gazdálkodásának és az artéri, folyóvízi környezet lokális, regionális adottságainak rekonstrukciójában*. SZTE TTIK Földtani és Őslénytani Tanszék, PhD dolgozat, Szeged.

- Gulyás, S., Sümegi, P. 2004. Some aspects of Prehistoric shellfishing from the Early Neolithic (Körös) site of Tiszapüspöki, Hungary: methods and findings. *Soosiana*, 32, 1-60.
- Gulyás S., Sümegi P. 2012. *Édesvízi puhatestűek a környezetrégészetben*. Geolitera Kiadó, Szeged
- Haas, J. 1982. Facies analysis of the cyclic Dachstein Limestone Formation (Upper Triassic) in the Bakony Mountains, Hungary. *Facies*, 6, 75-83.
- Haas, J. 2004. Characteristics of peritidal facies and evidences for subaerial exposures in Dachstein-type cyclic platform carbonates in the Transdanubian Range, Hungary. *Facies*, 50, 263-286.
- Haas, J., Lobitzer, H., Monostori, M. 2007. Characteristics of the Lofer cyclicity in the type locality of the Dachstein Limestone (Dachstein Plateau, Austria). *Facies*, 53(1), 113-126.
- Hall, J., Arheimer, B., Borga, M., Brázdil, R., Claps, P., Kiss, A., Llasat, M. C. 2014. Understanding flood regime changes in Europe: A state of the art assessment. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18, 2735-2772.
- Hancock, J. 2004. The mid-Cenomanian eustatic low. *Acta Geologica Polonica*, 54, 611-627.
- Han, F. 1939. *Átnézetes talajismereti térkép* (Beregszász, 4769/2). Magyar Királyi Földtani Intézet, Budapest.
- Han, F. 1943. *Magyarázatok Magyarország geológiai és talajismereti térképeihez* (Beregszász). Attila-Nyomda Részvénytársaság, Budapest.
- Hanna, J.A., Graham, E., Pendergast, D.M., Hoggarth, J.A., Lentz, D.L., Kennett, D.J. 2016. A New Radiocarbon Sequence from Lamanai, Belize: Two Bayesian Models from One of Mesoamerica's Most Enduring Sites. *Radiocarbon*, 58, 771-794.
- Hann, B. J., Warner, B. G. 1987. Late Quaternary Cladocera from coastal British Columbia, Canada: A record of climatic or limnologic change? *Archiv für Hydrobiologie. Stuttgart*, 110, 161-177.
- Harper, M. A., Pledger, S. A., Smith, E. G., Van Eaton, A. R., & Wilson, C. J. 2015. Eruptive and environmental processes recorded by diatoms in volcanically dispersed lake sediments from the Taupo Volcanic Zone, New Zealand. *Journal of paleolimnology* 54, 263-277.
- Harvey, A. M., Mather, A. E., Stokes, M. 2005. Alluvial fans: geomorphology, sedimentology, dynamics - introduction. A review of alluvial-fan research. *Geological Society, London, Special Publications*, 251(1), 1-7.
- Haug, J. T., Caron, J. B., Haug, C. 2013. Demecology in the Cambrian: synchronized molting in arthropods from the Burgess Shale. *BMC biology*, 11, 1-10.
- Haynes, A. 1988. Notes on the stream neritids (Gastropoda; Prosobranchia) of Oceania. *Micronesica*, 21, 93-102.
- Hebdon, N., Ritterbush, K. A., Choi, Y. 2020. Computational fluid dynamics modeling of fossil ammonoid shells. *Palaeontologia Electronica*, 23(1).

- Hedges, S. B., Kumar, S. (eds.) 2009. *The timetree of life*. Oxford University Press, Oxford.
- Heidelberger, J.F.D. 2003. Systematic position of *Cyrtoneritimorpha* within the class Gastropoda with description of two new genera from Siluro-Devonian strata of Central Europe. *Bulletin of the Czech Geological Survey*, 78, 35-39.
- Heinrich, A. K. 1962. The life histories of plankton animals and seasonal cycles of plankton communities in the oceans. *J. Cons. Int. Explor. Mer*, 27(1), 15-24.
- Herron, E. M. 1972. Sea-floor spreading and the Cenozoic history of the east-central Pacific. *Geological Society of America Bulletin*, 83, 1671-1692.
- Hips, K., Haas, J. 2006. Calcimicrobial stromatolites at the Permian–Triassic boundary in a western Tethyan section, Bükk Mountains, Hungary. *Sedimentary Geology*, 185, 239-253.
- Hoffmann, P. F., Schrag, D. P. 2000. Snowball earth. *Scientific American*, 282(1), 68-75.
- Hoffman, P. F., & Schrag, D. P. (2002). The snowball Earth hypothesis: testing the limits of global change. *Terra nova*, 14(3), 129-155.
- Holman, J.A., Harrison, D.L., Ward, D.J. 2005. Late Eocene snakes from the Headon Hill Formation, southern England. *Cainozoic research*, 5, 51-62.
- Horie, S. 1981). On the significance of Paleolimnological studies of ancient lakes - Lake Biwa and other relict lakes: With 35 figures in the text. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 21(1), 13-44.
- Hornetz, B., & Jätzold, R. 2003. *Savannen-, Steppen-und Wustenzonen*. Westermann Verlag, Braunschweig, p.305.
- Hopkinson, B. M., Dupont, C. L., Allen, A. E., & Morel, F. M. 2011. Efficiency of the CO₂-concentrating mechanism of diatoms. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **108**, 3830-3837.
- Horváth, E. 2004. Az évgyűrűs kormeghatározás hidrológiai vonatkozásai. *Hidrológiai Közlöny*, 84, 37-57.
- Horváth, M., Nagymarosy, A. 1980. Eocén–oligocén határképződmények a közlekedési létesítményekkel kapcsolatos óbudai feltárásokban. *Őslénytani Viták*, 25, 143–153.
- Houde, P. 1987. Histological evidence for the systematic position of *Hesperornis* (Odontornithes: Hesperornithiformes). *The Auk*, 104, 125-129.
- Hulbert Jr, R.C., Petkewich, R.M., Bishop, G.A., Bukry, D., Aleshire, D.P. 1998. A new middle Eocene protocetid whale (Mammalia: Cetacea: Archaeoceti) and associated biota from Georgia. *Journal of Paleontology*, 907-927.
- Hum, L., Gulyás, S., Sümegi, P. eds 2005. *Late Quaternary and Tertiary Environmental Historical Studies from S Hungary*. Szegedi Tudományegyetem, Földtani és Őslénytani Tanszék, Szeged.
- Huntley, B. & Birks, H.J.B. 1983. *An atlas of past and present pollen maps for European: 0- 13000 years ago*. Cambridge University Press, Cambridge, 667 p.

- Hyžný, M. 2016. Diversity and distribution patterns of the Oligocene and Miocene decapod crustaceans (Crustacea: Malacostraca) of the Western and Central Paratethys. *Geologica Carpathica*, 67, 471-494.
- Ilyashuk, E. A., Ilyashuk, B. P., Hammarlund, D., Larocque, I. 2005. Holocene climatic and environmental changes inferred from midge records (Diptera: Chironomidae, Chaoboridae, Ceratopogonidae) at Lake Berkut, southern Kola Peninsula, Russia. *The Holocene*, 15, 897-914.
- Ingold, C.T. 1966. The tetrastrate aquatic fungal spore. *Mycologia*, 58, 43-56.
- Inoue, S., Kondo, S. 2016. Suture pattern formation in ammonites and the unknown rear mantle structure. *Scientific reports*, 6, 33689.
- Ivantsov, A. Y. 2009. New reconstruction of *Kimberella*, problematic Vendian metazoan. *Paleontological Journal*, 43(6), 601.
- Ivcsenko A. (Івченко А.) 2009. Болотні масиви України / Ukrajna mocsaras területéi. Світогляд №4.
- Jacobson, G.L., Bradshaw, R.H.W. 1981. The selection of sites for palaeovegetational studies. *Quaternary Research*, 16, 80–96.
- Jacomet, S., Kreuz, A. 1999. *Archäobotanik. Aufgaben, Methoden und Ergebnisse vegetations- und agrargeschichtlicher Forschung*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Jakab, G. 2005. *Növényi makrofosszília vizsgálati módszerek kidolgozása negyedidőszaki üledékek paleobotanikai leírására* PhD dolgozat, Szeged.
- Jakab, G., Silye, L. 2018. Só és iszap. Bányák, tavak, erdélyi ősparányok. *Földgömb*, 36, 44-55.
- Jakab, G., Sümegi, P. 2011. *Negyedidőszaki makrobotanika*. Geolitera Kiadó, Szeged.
- Jakab, G., Sümegi, P. 2016. Ingoványos terepen. Tőzeglápok mélyén. *Földgömb*, 34, 34-45.
- Jakab, G., Silye, L., Sümegi, P., Tóth, A., Sümegi B.P., Ilona, P., Benkő, E. 2019. Relict Anthropogenic Ecosystem from the Middle Ages: History of a Salt Marsh from Transylvania (Sic, N Romania). *Environmental Archaeology*, 1-18
- Jankovská, V., Komárek, J. 2000. Indicative value of Pediastrum and other coccal green algae in palaeoecology. *Folia Geobotanica*, 35(1), 59-82.
- Janvier, P. 2001. Ostracoderms and the shaping of the gnathostome characters. *Systematics Association Special Volume*, 61, 172-186.
- Jawad, L. A. 2005. Comparative scale morphology and squamation patterns in triplefins (Pisces: Teleostei: Perciformes: Tripterygiidae). *Tuhinga*, 16, 137-168.
- Jámbor Á. 1975. Olajpala Magyarországon. *Elet es Tudomány*, 30, 1688—1693.
- Jámbor Á . Solti G. 1975. Geological conditions of the Upper Pannonian oil-shale deposit recovered in the Balaton Highland and at Kemeneshát. *Acta Mineralogica — Petrographica Szeged*, 22, 9—28.
- Jell, P.A. 1980. Earliest known pelecypod on Earth - a new Early Cambrian genus from South Australia. *Alcheringa*, 4, 233-239.

- Jiménez-Huidobro, P., Simoes, T.R., Caldwell, M.W. 2016. Re-characterization of *Tylosaurus nepaeolicus* (Cope, 1874) and *Tylosaurus kansasensis* Everhart, 2005: Ontogeny or sympatry? *Cretaceous Research*, 65, 68-81.
- Ji, Q., Luo, Z. X., Yuan, C.X., Tabrum, A.R. 2006. A swimming mammaliaform from the Middle Jurassic and ecomorphological diversification of early mammals. *Science*, 311, 1123-1127.
- Johanson, Z., Tanaka, M., Chaplin, N., Smith, M. 2008. Early Palaeozoic dentine and patterned scales in the embryonic catshark tail. *Biology Letters*, 4, 87-90.
- Johnson, C.C. 2002. The Rise and Fall of Rudist Reefs: Reefs of the dinosaur era were dominated not by corals but by odd mollusks, which died off at the end of the Cretaceous from causes yet to be discovered. *American scientist*, 90, 148-153.
- Johnston, K. J., Johnston, P. A., Powell, W. G. 2009. A new, Middle Cambrian, Burgess Shale-type biota, *Bolaspidella* Zone, Chancellor Basin, southeastern British Columbia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 277, 106-126.
- Jones, P. B. 1999. *Hugo Häring: the organic versus the geometric*. Axel Menges, Stuttgart/London.
- Jørgensen, J. M., Lomholt, J. P., Weber, R. E., Malte, H. (eds.). 2012. *The biology of hagfishes*. Springer Science & Business Media, Berlin.
- Kaim, A., Nützel, A. 2011. Dead bellerophontids walking - the short Mesozoic history of the Bellerophontoidea (Gastropoda). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 308, 190-199.
- Kamenik, C., Szeroczyńska, K., Schmidt, R. 2007. Relationships among recent Alpine Cladocera remains and their environment: implications for climate-change studies. *Hydrobiologia*, 594, 33-46.
- Kabat, A. R., Coan, E. V. 2017). The Life and Work of *Rudolph Amandus Philippi* (1808–1904). *Malacologia*, 60, 1-30.
- Kaiser, S. I., & Corradini, C. (2011). The early siphonodellids (Conodonta, Late Devonian-Early Carboniferous): overview and taxonomic state. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen*, 261(1), 19-35.
- Karátson, D. főszerk. Pannon encyklopédia. Kertek 2000 Könyvkiadó, Budapest.
- Kádár, L. 1949. *A Rétyi Nyír felszíne*. Debreceni Szemle, Debrecen, 15 p.
- Keat-Chuan Ng, C., Aun-Chuan Ooi, P., Wong, W. L., Khoo, G. 2017. A review of fish taxonomy conventions and species identification techniques. *Survey in Fisheries Sciences*, 4, 54-93.
- Keller, G., Adatte, T., Stinnesbeck, W., Rebolledo-Vieyra, M., Fucugauchi, J. U., Kramar, U., Stüben, D. (2004). Chicxulub impact predates the KT boundary mass extinction. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(11), 3753-3758.
- Keller, M., Melillo, J., Mello, W. Z. D. 1997. Trace gas emissions from ecosystems of the Amazon basin. *Ciênc. cult.(São Paulo)*, 87-98.

- Kershaw, S., Li, Y., Crasquin-Soleau, S., Feng, Q., Mu, X., Collin, P. Y., Guo, L. (2007). Earliest Triassic microbialites in the South China block and other areas: controls on their growth and distribution. *Facies*, 53, 409-425.
- Kepecs, S., Feinman, G., Boucher, S. 1994. Chichén Itzá and its hinterland: A world-systems perspective. *Ancient Mesoamerica*, 141-158.
- Keupp, H., Hoffmann, R., Stevens, K., Albersdörfer, R. 2016. Key innovations in Mesozoic ammonoids: the multicuspidate radula and the calcified aptychus. *Palaeontology*, 59, 775-791.
- Kheraskova, T. N., Bush, V. A., Didenko, A. N., Samygin, S. G. 2010. Breakup of Rodinia and early stages of evolution of the Paleoasian ocean. *Geotectonics*, 44, 3-24.
- Kielan-Jaworowska, Z., Crompton, A. W., Jenkins, F. A. 1987. The origin of egg-laying mammals. *Nature*, 326, 871-873.
- Kietzmann, D. A., Bressan, G. S. 2019. The coprolite *Lumbricaria* Münster in the Early Tithonian of the Neuquén Basin, Argentina: new evidence for a holothurian producer. *Paläontologische Zeitschrift*, 93, 357-369.
- Kirschvink, J. L., Gaidos, E. J., Bertani, L. E., Beukes, N. J., Gutzmer, J., Maepa, L. N., Steinberger, R. E. 2000. Paleoproterozoic snowball Earth: Extreme climatic and geochemical global change and its biological consequences. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97, 1400-1405.
- Kiss, A. 2009. Historical climatology in Hungary: Role of documentary evidence in the study of past climates and hydrometeorological extremes. *Időjárás*, 113, 315-339.
- Kiss, A. 2019. *Floods and long-term water-level changes in medieval Hungary*. Springer International Publishing, Heidelberg-London.
- Kiss L. 1978. Földrajzi nevek etimológiai szótára. II. kötet. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Klug, C., Korn, D., De Baets, K., Kruta, I., Mapes, R.H. eds. 2015. *Ammonoid paleobiology: from macroevolution to paleogeography*. Springer, Berlin.
- Knipl, I. 2014. *Duna-Tisza közti hátság és a Kalocsai Sárköz Hajós és Császártöltés községek közötti határterületének geoarcheológiai elemzése*. SZTE TTIK Földtani és Őslénytani Tanszék, PhD dolgozat, Szeged.
- Knipl, I., Sümegi, P. 2012. Life at the interface of two distinct landscapes—relationship of humans and environment in the periphery of the Danube-Tisza Interfluvium between Hajós and Császártöltés. *Central European Journal of Geosciences*, 4, 439-447.
- Knoll, K., Chamberlain, R.B., Chamberlain, J.A. 2017. Escape burrowing of modern freshwater bivalves as a paradigm for escape behavior in the Devonian bivalve *Archanodon catskillensis*. *Geosciences*, 7, 102.
- Kocot, K. M., Poustka, A. J., Stöger, I., Halanych, K. M., Schrödl, M. 2020. New data from Monoplacophora and a carefully-curated dataset resolve molluscan relationships. *Scientific reports*, 10, 1-8.

- Kordos, L. 1982. Evolution of the Holocene vertebrate fauna in the Carpathian Basin. *Zeitschrift für geologische Wissenschaften*, 10, 963-970.
- Kordos, L. 1985. The evolution of the Cenozoic Sirenian of the basin of Hungarian fossil remains. In: *Symposium on European Late Cenozoic mineral resources. Regional committee on Mediterranean Neogene stratigraphy. Congress*. 8.
- Kordos, L. (1990). The evolution of upper Pleistocene voles in central Europe. In *International symposium evolution, phylogeny and biostratigraphy of arviculids (Rodentia, mammalia)*, 275-284.
- Kormos, T. 1903. Adatok a Nagyvárad Püspökfürdő hévvizi Melanopsis-fajainak ismeretéhez. *Földtani Közlöny*, 33, 10–12.
- Kormos, T. (1903): Paleontológiai közlemények. I. Adatok a nagyvárad Püspökfürdő hévvizi Melanopsis-fajainak ismeretéhez. II. A Planorbis multiformis Bronn. sp. átmeneti alakjairól, s egy új változatáról. – *Földtani Közlöny*, 33, 451–462.
- Kormos, T. (1905): A Püspökfürdő hévvizi faunájának eredete. *Földtani Közlöny*, 35, 375–402.
- Kormos, T. (1905): A püspökfürdői és tatai Neritinák kérdéséhez. *Állattani Közlemények*, 4, 39–44.
- Korotkov, A.N. 2001. Selective quantum evolution of a qubit state due to continuous measurement. *Physical Review B*, 63, 115403.
- Korponai, J., Braun, M., Buczkó, K., Gyulai, I., Forró, L., Nédli, J., Papp, I. 2010. Transition from shallow lake to a wetland: a multi-proxy case study in Zalavári Pond, Lake Balaton, Hungary. *Hydrobiologia*, 641, 225-244.
- Korponai, J., Magyar, E. K., Buczkó, K., Iepure, S., Namiotko, T., Czakó, D., Braun, M. 2011. Cladocera response to Late Glacial to Early Holocene climate change in a South Carpathian mountain lake. *Hydrobiologia*, 676, 223.
- Korponai, J., Varga, K. A., Lengré, T., Papp, I., Tóth, A., Braun, M. 2011. Paleolimnological reconstruction of the trophic state in Lake Balaton (Hungary) using Cladocera remains. *Hydrobiologia*, 676, 237.
- Kovács, A. 1969. *Mestecănişul de la Reci – studiu monografic*, Aluta, Muzeul Judeţean Covasna/Kovácszna, Sf. Gheorghe/Sepsiszentgyörgy, 211-267.
- Kovács, S. 2011. Középső-késő-triász Conodonta evolúciós események tükröződése a magyarországi triász medencefáciesekben. *Földtani Közlöny*, 141, 141-166.
- Kövecsi, S. A., Silye, L., Less, G., Filipescu, S. 201). Odd partnerships among middle Eocene (Bartonian) Nummulites: examples from the Transylvanian (Romania) and Dorog (Hungary) basins. *Marine Micropaleontology*, 127, 86-98.
- KövérCs, Cs. 2016. Magashegyi tavak paleoökológiai vizsgálata a Déli-Kárpátokban. PhD értekezés, Sopron.
- Kozłowska, A. 2015. Evolutionary history of the Gothograptus lineage of the Retiolitidae (Graptolithina). *Estonian Journal of Earth Sciences*, 64, 1.
- Kozłowski, S. 2004. Geodiversity. The concept and scope of geodiversity. *Przeł'd Geologiczny*, 52, 833-837.

- Kónya Á., Kovács S. 1970. *A Rétyi Nyír és környéke*. Kovászna Megyei Turisztikai Hivatal, Sepsiszentgyörgy, 36 p.
- Köhler, S. 2001. Turrilites-Nachweis aus dem Untercenoman von Meißen. *Fossilien*, 3, 163-164.
- Kretzoi, M. 1953. *A negyedkor taglalása gerinces faunák alapján*. MTA Műszaki Tudományos Osztályának Alföldi Kongresszusa, Budapest, pp. 89-99.
- Kretzoi, M. 1957. *Wierbeltierfaunistische Angaben zur Quartärchronologie der Jankovich Höhle*. *Folia Archeologica*, 9, 16-21.
- Kretzoi, M. 1977. *Ecological conditions of the "loess period" in Hungary as revealed by vertebrate fauna*. *Földrajzi Közlemények*, 25, 75-89.
- Kriván, P. 1955. *A közép-európai pleisztocén éghajlati tagolása*. Földtani Intézet Évkönyve, 43. pp. 363-503.
- Krijgsman, W., Hilgen, F. J., Raffi, I., Sierro, F. J., Wilson, D. S. 1999. Chronology, causes and progression of the Messinian salinity crisis. *Nature*, 400(6745), 652-655.
- Kroh, A. 2002. First record of gorgonocephalid ophiuroids (Echinodermata) from the Middle Miocene of the Central Paratethys. *Cainozoic Research*, 2, 143-155.
- Krolopp, E 1973. Mollusca-faunánk faunatórténeti vizsgálatának jelentősége. *Soosiana*, 1, 47-52.
- Krolopp, E 1973. *Quaternary malacology in Hungary*. *Földrajzi Közlemények*, 21, 161-171.
- Kröger, B., Klug, C., Mapes, R.H. 2005. Soft-tissue attachment in Orthocerida and Bactritida of Emsian to Eifelian age (Devonian). *Acta Palaeontologica Polonica*, 50, 329-342.
- Крупський (Крупський М. К.) 1967. Карта ґрунтів Української РСР / Az Ukrán SzSzK talajterképe. Укрземпроект.
- Ksepka, D. T., Bertelli, S., Giannini, N. P. 2006. The phylogeny of the living and fossil Sphenisciformes (penguins). *Cladistics*, 22, 412-441
- Ksepka, D. T., Ando, T. 2011. Penguins past, present, and future: trends in the evolution of the Sphenisciformes. *Living Dinosaurs*, 155-186.
- Ksepka, D. T., Fordyce, R. E., Ando, T., Jones, C. M. 2012. New fossil penguins (Aves, Sphenisciformes) from the Oligocene of New Zealand reveal the skeletal plan of stem penguins. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 32, 235-254
- Kustka, A.B., Shaked, Y., Milligan, A.J., King, D.W., Morel, F.M. 2005. Extracellular production of superoxide by marine diatoms: Contrasting effects on iron redox chemistry and bioavailability. *Limnology and Oceanography*, 50, 1172-1180.
- Lambert, O., Bianucci, G., Post, K., De Muizon, C., Salas-Gismondi, R., Urbina, M., Reumer, J. 2010. The giant bite of a new raptorial sperm whale from the Miocene epoch of Peru. *Nature*, 466, 105-108.

- Lamers, L.P., Farhoush, C., Van Groenendael, J.M., Roelofs, J.G. 1999. Calcareous groundwater raises bogs; the concept of ombrotrophy revisited. *Journal of Ecology*, 87(4), 639-648.
- Landman, N. H., Kennedy, W. J., Cobban, W. A., Larson, N. L. 2010. Scaphites of the “nodosus group” from the Upper Cretaceous (Campanian) of the Western Interior of North America. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 1-242.
- Landman, N.H., Cochran, J.K., Slovacek, M., Larson, N.L., Garb, M.P., Brezina, J., Witts, J.D. 2018. Isotope sclerochronology of ammonites (*Baculites compressus*) from methane seep and non-seep sites in the Late Cretaceous Western Interior Seaway, USA: implications for ammonite habitat and mode of life. *American Journal of Science*, 318, 603-639.
- Landman, N.H., Tanabe, K., Davis, R.A. (eds.) 2013. *Ammonoid paleobiology* (Vol. 13). Springer Science & Business Media, Berlin.
- Lane, T.I., Nanson, R.A., Vakarelov, B.K., Ainsworth, R.B., Dashtgard, S.E. 2017. Evolution and architectural styles of a forced-regressive Holocene delta and megafan, Mitchell River, Gulf of Carpentaria, Australia. *Geological Society, London, Special Publications*, 444, 305-334.
- Lacourt, A.W. 1968. A monograph of the freshwater Bryozoa-Phylactolaemata. *Zoologische Verhandelingen*, 93, 1-155.
- Laczkó, D. 1909. Veszprém városának és tágabb környékének geológiai leírása. Veszprém Vármegyei Múzeumok kiadványa, 3. Hornyánszky Viktor Császári és Királyi Udvari Könyvnyomdája, Budapest.
- Lehoczky, T. 1881. Bereg vármegye monographyája. I. Általános rész. Ungvárott nyomtatott Pollacsek Miksa könyvnyomdájában
- Lemanis, R., Zachow, S., Füsseis, F., Hoffmann, R. 2015. A new approach using high-resolution computed tomography to test the buoyant properties of chambered cephalopod shells. *Paleobiology*, 41, 313-329.
- Lima, H. N., Schaefer, C. E., Mello, J. W., Gilkes, R. J., Ker, J. C. 2002. Pedogenesis and pre-Colombian land use of “Terra Preta Anthrosols”(“Indian black earth”) of Western Amazonia. *Geoderma*, 110, 1-17.
- Lingham-Soliar, T. 1995. Anatomy and functional morphology of the largest marine reptile known, *Mosasaurus hoffmanni* (Mosasauridae, Reptilia) from the Upper Cretaceous, Upper Maastrichtian of the Netherlands. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 347, 155-180.
- Lindgren, J., Siverson, M. 2002. Tylosaurus ivoensis: a giant mosasaur from the early Campanian of Sweden. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 93, 73-93.
- Liu, W., Zhang, X. 2012. Girvanella-coated grains from Cambrian oolitic limestone. *Facies*, 58, 779-787.
- Long, J. A., Gordon, M. S. 2004. The greatest step in vertebrate history: a paleobiological review of the fish-tetrapod transition. *Physiological and biochemical zoology*, 77, 700-719.

- Lowe, D. J., De Lange, W. P. 2000. Volcano-meteorological tsunamis, thec. AD 200 Taupo eruption (New Zealand) and the possibility of a global tsunami. *The Holocene*, 10, 401-407.
- Ložek, V. 1965. The relationship between the development of soils and faunas in the warm Quaternary phases. *Anthropozoikum*, 3, 7-33.
- Lóczy, L. 1902. *A veszpremi fogasteknősbeka-lelet.* (Kivonat Lóczy Lajos r. tag február hó 17-en tett előterjesztéséből.) *Akadémiai Értesítő*, 13, 426-429.
- Lóczy, L. 1909. A Balaton Tudományos Tanulmányozásának Eredményei I. A Balaton környékének heológiája és morfológiája. Kilián Frigyes Magyar Királyi Könyvtár Bizománya, Budapest (1913).
- Lukács, R., Harangi, Sz., Bachmann, O., Guillong, M., Dunkl, I., Fodor, L., Soós I., Szepesi J. 2015. A miocén piroklasztitok sztratigráfiája az új U-Pb cirkon geokronológiai eredmények tükrében. In: Pál-Molnár E.–Raucsik B.–Varga A. szerk. Meddig ér a takarónk? A magmaképződéstől a regionális litoszféra formáló folyamatokig: 6. Közletani és geokémiai vándorgyűlés. Ópálos, Románia.
- Lul, H. Y., & Liu, K. B. (2005). Phytolith assemblages as indicators of coastal environmental changes and hurricane overwash deposition. *The Holocene*, 15(7), 965-972.
- Lynn, M. 2000. Az együttélés bolygója, avagy az evolúció új megközelítése, Vince Kiadó, Budapest. [Fordította: Schkotek Zsófia]
- Lyons, P. D., Rioux, M., Patterson, T. 2000. Application of a three-dimensional color laser scanner to paleontology: an interactive model of a juvenile *Tylosaurus* sp. basisphenoid-basioccipital. *Palaeontologia Electronica*, 3(2).
- Laporte, L. F., Laporte, L. K. 2000. *George Gaylord Simpson: paleontologist and evolutionist.* Columbia University Press, New York.
- Lemche, H., Wingstrand, K. G. 1959. The anatomy of *Neopilina galathea* Lemche, 1957. *Galathea Report*, 3, 9-71.
- Lieberman, B. S. 2002. Phylogenetic analysis of some basal early Cambrian trilobites, the biogeographic origins of the Eutrilobita, and the timing of the Cambrian radiation. *Journal of Paleontology*, 76(4), 692-708.
- Maalaoui, K., Zargouni, F. 2016. Biozones de calpionelles et d'ammonites du Berriaisien inférieur et moyen de la Formation Sidi Khalif au JebelMeloussi Tunisie centrale. *Revue de Paléobiologie*, 35, 373-384.
- Macken, A. C., Reed, E. H. 2013. Late Quaternary small mammal faunas of the Naracoorte caves world heritage area. *Transactions of the Royal Society of South Australia*, 137(1), 53-67.
- Madar, S. I., Thewissen, J. G. M., Hussain, S. T. 2002. Additional holotype remains of *Ambulocetus natans* (Cetacea, Ambulocetidae), and their implications for locomotion in early whales. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 22, 405-422.
- Magny, M., 1992. Holocene lake-level fluctuations in Jura and the northern subalpine ranges, France: regional pattern and climatic implications. *Boreas* 21, 319-334.

- Magny, M., 1993. Holocene fluctuations of lake levels in the French Jura and subalpine ranges and their implications for past general circulation pattern. *The Holocene* 3, 306–313.
- Magny, M., 1998. Reconstruction of Holocene lake-level changes in the Jura (France): methods and results. In: Harrison, S.P., Frenzel, B., Huckried, U., Weiss, M., (Eds.,) (Eds.), *Palaeohydrology as Reflected in Lake-level Changes as Climatic Evidence for Holocene Times*. *Paleaoklimaforschung* 25. Akademie der Wissenschaften und Literatur, Mainz, Germany, pp. 67–85.
- Magny, M., 2003. Holocene climatic variability as reflected by mid- European lake-level fluctuations, and its probable impact on prehistoric human settlements. *Quaternary International* 113, 65-79.
- Magny, M., Guiot, J., Schoellammer, P., 2001. Quantitative reconstruction of Younger Dryas to mid-Holocene paleoclimates at le locle, Swiss Jura, using pollen and lake-level data. *Quaternary Research* 56, 170–180.
- Magny, M., Miramont, C., Sivan, O., 2002. Assessment of climate and anthropogenic factors on Holocene Mediterranean vegetation in Europe on the basis of palaeohydrological records. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 186, 47–59.
- Magny, M., Bégeot, C., Guiot, J., Marguet, A., Billaud, Y., 2003. Reconstruction and Palaeoclimatic interpretation of mid-Holocene vegetation and lake-level changes at Saint-Jorioz, lake Annecy, French Pre-Alps. *The Holocene* 13, 265–275.
- Magny et al. 2007. Early-Holocene climatic oscillations recorded by lake-level fluctuations in west-central Europe and in central Italy. *Quaternary Science Reviews*, 26, 1951-1964.
- Maletz, J. 2014. Hemichordata (Pterobranchia, Enteropneusta) and the fossil record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 398, 16-27.
- Maletz, J. (2017). *Graptolite paleobiology*. John Wiley & Sons, New York.
- Malinky, J.M. 2014. Cambrian Hyolitha and problematica from West Laurentian North America: taxonomy and palaeobiogeography. *Alcheringa: An Australasian Journal of Palaeontology*, 38, 338-363.
- McGinnies, W. G. 1963. Dendrochronology. *Journal of Forestry*, 61, 5-11.
- McGraw, D.J. 2000. Andrew Ellicott Douglass and the Big Trees: The Giant Sequoia was fundamental to the development of the science of dendrochronology—tree-ring dating. *American Scientist*, 88, 440-447.
- Mackereth, F.J. 1966. Some chemical observations on post-glacial lake sediments. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 250(765), 165-213.
- Madella, M. 2007. The silica skeletons from the anthropic deposits. In: Whittle, A. (ed.): *The Early Neolithic on The Great Hungarian Plain*. *Varia Archaeologica Hungarica XXI*. Budapest, 447-460.
- Madella, M., Alexandre, A., Ball, T. 2005. International Code for Phytolith Nomenclature 1.0. *Annals of Botany*, 96, 253–260.

- Madella, M., Powers-Jones, A.H., Jones, M.K. 1998. A Simple Method of Extraction of Opal Phytoliths from Sediments Using a Non-Toxic Heavy Liquid. *Journal of Archaeological Science*, 25, 801-803.
- McMenamin, M.A. 1986. The garden of Ediacara. *Palaios*, 1, 178-182.
- McMillan, C. 1971. Environmental factors affecting seedling establishment of the black mangrove on the central Texas coast. *Ecology*, 52, 927-930.
- Maher, L.J. 1972. Absolute pollen diagram of Redrock Lake, Boulder County, Colorado. *Quaternary Research*, 2(4), 531-553.
- Magyari E.K. 2002. *Climatic versus human modification of the Late Quaternary vegetation in Eastern Hungary*. PhD Thesis, Debrecen.
- Magyari E.K., Chapman J.C., Passmore D.G., Allen J.R.M., Huntley J.P., Huntley B. 2010. Holocene persistence of wooded steppe in the Great Hungarian Plain. *Journal of Biogeography*, 37, 915-935.
- Majzon, L. 1955. *Paleozoic Foraminifera of the Bükk Mountains*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Majzon, L. 1966. *Foraminifera vizsgálatai*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Maley, J. (1996). The African rain forest—main characteristics of changes in vegetation and climate from the Upper Cretaceous to the Quaternary. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, Section B: Biological Sciences*, 104, 31-73.
- Marlon, J. R., Kelly, R., Daniau, A. L., Vanni re, B., Power, M. J., Bartlein, P., Feurdean, A. 2016. Reconstructions of biomass burning from sediment charcoal records to improve data-model comparisons. *Biogeosciences (BG)*, 13, 3225-3244.
- Mayr, G. 2005. A Fluvioviridavis-like bird from the Middle Eocene of Messel, Germany. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 42, 2021-2037.
- Mayr, G. 2009. *Paleogene fossil birds*. Springer Science & Business Media, Berlin.
- Mayr, G., De Pietri, V. L., Scofield, R. P. 2017. A new fossil from the mid-Paleocene of New Zealand reveals an unexpected diversity of world’s oldest penguins. *The Science of Nature*, 104, 9.
- Mayr, G., Scofield, R. P., De Pietri, V. L., Tennyson, A. J. 2017. A Paleocene penguin from New Zealand substantiates multiple origins of gigantism in fossil Sphenisciformes. *Nature communications*, 8, 1-8.
- Mayr, G., De Pietri, V. L., Love, L., Mannering, A. A., Scofield, R. P. 2017. A well-preserved new mid-Paleocene penguin (Aves, Sphenisciformes) from the Waipara Greensand in New Zealand. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 37, e1398169.
- Mayr, G., De Pietri, V. L., Love, L., Mannering, A., Scofield, R. P. 2020. Leg bones of a new penguin species from the Waipara Greensand add to the diversity of very large-sized Sphenisciformes in the Paleocene of New Zealand. *Alcheringa: An Australasian Journal of Palaeontology*, 44, 194-201.
- Mayr, G., Pietri, V.L.D., Love, L., Mannering, A.A., Bevitt, J.J., Scofield, R.P. 2020. First complete wing of a stem group sphenisciform from the Paleocene of

- New Zealand sheds light on the evolution of the penguin flipper. *Diversity*, 12, 46.
- Mayr, G., Goedert, J.L., De Pietri, V.L., Scofield, R.P. 2020. Comparative osteology of the penguin-like mid-Cenozoic *Plotopteridae* and the earliest true fossil penguins, with comments on the origins of wing-propelled diving. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*.
- Makádi, L., Caldwell, M. W., Ósi, A. 2012. The first freshwater mosasauroid (Upper Cretaceous, Hungary) and a new clade of basal mosasauroids. *PLoS One*, 7, e51781.
- Martin, P. S. 1984. Prehistoric overkill: the global model. *Quaternary extinctions: a prehistoric revolution*, 354-403.
- Martin, P.S. 2005. *Twilight of the mammoths: ice age extinctions and the rewilding of America* (Vol. 8). University of California Press, San Francisco.
- Martín-Closas, C. 2003. The fossil record and evolution of freshwater plants: a review. *Geologica Acta*, 1(4), 315-338.
- Massare, J. A., Callaway, J. M. 1990. The affinities and ecology of Triassic ichthyosaurs. *Geological Society of America Bulletin*, 102(4), 409-416.
- Mayr, G., Pohl, B., Hartman, S., Peters, D. S. 2007. The tenth skeletal specimen of *Archaeopteryx*. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 149, 97-116.
- Meyer, D. L., Ausich, W. I. 1983. Biotic interactions among recent and among fossil crinoids. In: Tevesz, M. J., & McCall, P. L. eds. *Biotic interactions in Recent and fossil benthic communities* Springer, Boston, MA, 377-427.
- Mehlqvist, K. 2013. *Early land plant spores from the Paleozoic of Sweden—taxonomy, stratigraphy and paleoenvironments*. Lund University, Lund.
- McKillop, H. (1984). Prehistoric Maya reliance on marine resources: Analysis of a midden from Moho Cay, Belize. *Journal of Field Archaeology*, 11(1), 25-35.
- Milankovic, M. 1941. Canon of insolation of the earth and its application to the problem of the ice ages. *Royal Serbian Academy Press, Cemian*, 1-626.
- Miller, T. E. 1996. Geologic and hydrologic controls on karst and cave development in Belize. *Journal of Cave and Karst Studies*, 58(2), 100-120.
- Milligan, A.J., Mioni, C.E., Morel, F.M. 2009. Response of cell surface pH to pCO₂ and iron limitation in the marine diatom *Thalassiosira weissflogii*. *Marine Chemistry*, 114, 31-36.
- Misi, D. 2017. Magyarországi erdeifenyő állományok komplex dendroklimatológiai elemzése az elmúlt 100 év klímaváltozásának tükrében. SZTE TTIK Földtani és Őslénytani Tanszék, PhD dolgozat, Szeged.
- Mittelstaedt, E. L., Dousay, T. 2019. Swimming with the Pakicetus: A new deep-sea submersible video game that teaches the basics of mid-ocean ridge geology. *AGUFM*, 2019, ED11C-0880.
- Mocsáry, S. 1872. Adatok Bihar megye faunájához. Jelentés az 1872-ik év nyarán e megye területén tett állattani kutatás és gyűjtés eredményeiről. *Mathematikai és Természettudományi Közlöny*, 10, 163–200.

- Molnár, S. 2011. *Az artéri gazdálkodás környezettörténeti szempontú vizsgálata két alföldi mintaterület példáján*. SZTE TTIK Földtani és Őslénytani Tanszék, PhD dolgozat, Szeged.
- Moore, P. D., Webb, J. A., Collison, M. E. 1991. *Pollen analysis*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Morlo, M., Schaal, S., Mayr, G., Seiffert, C. 2004. An annotated taxonomic list of the Middle Eocene (MP 11) Vertebrata of Messel. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, 252, 95-108.
- Moriarty, K. C., McCulloch, M. T., Wells, R. T., McDowell, M. C. 2000. Mid-Pleistocene cave fills, megafaunal remains and climate change at Naracoorte, South Australia: towards a predictive model using U-Th dating of speleothems. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 159(1-2), 113-143.
- Morris, S.C. 1985. The Ediacaran biota and early metazoan evolution. *Geological Magazine*, 122, 77-81.
- Motani, R. 1999. The skull and taxonomy of Mixosaurus (Ichthyopterygia). *Journal of Paleontology*, 924-935.
- Motani, R. 1999. Phylogeny of the Ichthyopterygia. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 19, 473-496.
- Morton, J. E., Graham, A. 1955. The evolution of the Ellobiidae with a discussion on the origin of the Pulmonata. *Proceedings of the Zoological Society of London*, 125, Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd, 127-168.
- Motani, R. 1999. The skull and taxonomy of Mixosaurus (Ichthyopterygia). *Journal of Paleontology*, 924-935.
- Motani, R. 2005. Evolution of fish-shaped reptiles (Reptilia: Ichthyopterygia) in their physical environments and constraints. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 33, 395-420.
- Muller, J. 1984. Significance of fossil pollen for angiosperm history. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 419-443.
- Mutti, E. (1985). Turbidite systems and their relations to depositional sequences. In: Zuffa, G.G. ed. *Provenance of arenites*. Springer, Dordrecht, 65-93.
- Murray, A. M. (2001). The fossil record and biogeography of the Cichlidae (Actinopterygii: Labroidei). *Biological Journal of the Linnean Society*, 74(4), 517-532.
- Müller, R. D., Sdrolias, M., Gaina, C., Steinberger, B., Heine, C. 2008. Long-term sea-level fluctuations driven by ocean basin dynamics. *Science*, 319 (5868), 1357-1362.
- Nachtergaele, F. O., Spaargaren, O., Deckers, J. A., Ahrens, B. 2000. New developments in soil classification: world reference base for soil resources. *Geoderma*, 96, 345-357.
- Nagymarosy, A. 1985. Mészvázú nannoplankton a magyarországi alsóoligocénben és az eocén-oligocén határképződményekben. *Őslénytani Viták*, 31, 25-28.
- Nagymarosy, A. 1997. Paleogén rétegtan és ősföldrajz; Magyarországi eocén; Magyarországi oligocén; Legkorábbi miocén; A paleogén flis; A korai miocén

- második fele. In: Karátson, D. (szerk.) A Pannon föld enciklopédiája. Kertek 2000 Kiadó, Budapest, 108–123.
- Nagyné Bodor, E., Szuromi Korecz, A. 1988. An evaluation of sporomorphs and ostracods of the Fehérpart Exposure at Tihany, Lake Balaton. *A Magyar Állami Földtani Intézet évi jelentése az 1986 évről*, 2, 203-225.
- Nagyné Bodor, E., Szurominé Korecz, A., Cserny, T. 2000. A Siófoki-medence vízborításának fejlődéstörténete, palinológiai és ostracoda vizsgálatok alapján. *Hidrologiai Közlemény*, 80, 329-332.
- Nagy, S. A. 2013. Hidroökológia. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen.
- Náfrádi, K. 2012. *Régészeti lelőhelyek szenült faanyagának határozása és értékelése a geoarcheológiai kutatásokban*. SZTE TTIK Földtani és Őslénytani Tanszék, PhD dolgozat, Szeged.
- Náfrádi, K., Sümegi, P. 2015. Régészeti és paleoökológiai lelőhelyekről származó szenült famaradványok vizsgálata és értékelése. In: Töröcsik, T., Náfrádi, K., Sümegi, P. (szerk.) *Komplex archeobotanika*. GeoLitera, Szeged, 117-129.
- Náfrádi, K., Sümegi, P. 2017. Environment reconstruction. In: P. Barna, J. The formation of the Lengyel Culture in South-Western Transdanubia. Archaeolingua Press, Budapest, 401-405.
- Náfrádi, K., Sümegi, P., Töröcsik, T. 2011. A zanati régészeti lelőhely objektumaiból kiemelt mintákon végzett vizsgálatok eredményei. In: *Kvassay, J. (szerk.) "Szombathely-Zanat késő urnamezős korú temetője és a lelőhely más ős- és középkori emlékei"*. KÖSZI VIA kismonográfia sorozat, Budapest, 243-246.
- Náfrádi, K., Sümegi, P., Töröcsik, T. 2012. Charcoal and pollen analyses and vegetation reconstruction of the Alpine foreland in West Hungary. *Central European Journal of Geosciences*, 4, 592-602.
- Náfrádi, K., Persaits, G., Sümegi, P. 2013. Geoarcheological analysis of Székelyudvarhely–Kadicsfalva archaeological site. *Central European Geology*, 55, 365-395.
- Náfrádi, K., P. Barna, J., Sümegi, P. 2015. Geoarchaeological investigations at Sormás-Török-földek, a Neolithic site in Southwestern Transdanubia, Hungary." *Journal of Archaeological Science: Reports*, 1: 8-20.
- Neige, P., Dera, G., Dommergues, J. L. 2013. Adaptive radiation in the fossil record: a case study among Jurassic ammonoids. *Palaeontology*, 56, 1247-1261.
- Niska, M. 2012. Fossil Cladocera remains in the Eemian sediments-preservation, frequency and dominant species. *Studia Quaternaria*, 29, 31-43.
- Obruchev, D. V. 1961. Class Ostracodermi. *Palaeozoic biostratigraphy of the Sayan-Altai mountains*, 560-1.
- Ojala, A. E. K., Francus, P., Zolitschka, B., Besonen, M., Lamoureux, S.F. 2012. Characteristics of sedimentary varve chronologies—a review. *Quaternary Science Reviews*, 43, 45-60.
- Ogura, K., Machihara, T., Takada, H. 1990. Diagenesis of biomarkers in Biwa lake sediments over 1 million years. *Organic Geochemistry*, 16(4-6), 805-813.

- Olive, S., Clement, G., Daeschler, E. B., Dupret, V. 2015. Characterization of the placoderm (Gnathostomata) assemblage from the tetrapod-bearing locality of Strud (Belgium, upper Famennian). *Palaeontology*, 58, 981-1002.
- Orbán, B. 1858. *A Székelyföld leírása*. III. MTA Kiadványa, Budapest, 574 p.
- Orghidan, N. 1930. Observații morfologice în regiunea Brașovului: Bazinul Tg. Secuiesc. *Revista Țara Bîrsei*, II/3, 220-233.
- Oskin, B. 2013. How a volcanic super-eruption launched algae army into the sky? News: <https://www.nbcnews.com/science/main/how-volcanic-super-eruption-launched-algae-army-sky-4B11233767>
- Ostrom, J.H. 1976. Archaeopteryx and the origin of birds. *Biological Journal of the Linnean Society*, 8, 91-182.
- Ösi, A. 2005. Mastication in the most primitive eusuchian crocodylian. *Kaupia, Darmstädter Beiträge zur Naturgeschichte*, 14, 91A.
- Ösi, A., Clark, J.M., Weishampel, D.B. 2007. First report on a new basal eusuchian crocodyliform with multicusped teeth from the Upper Cretaceous (Santonian) of Hungary. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen*, 243, 169-177.
- Ösi, A., Bodor, E. R., Makádi, L., Rabi, M. 2016. Vertebrate remains from the Upper Cretaceous (Santonian) Ajka Coal formation, western Hungary. *Cretaceous Research*, 57, 228-238.
- Ösi, A., Csiki-Sava, Z., Prondvai, E. 2017. A sauropod tooth from the Santonian of Hungary and the European Late Cretaceous 'sauropod hiatus'. *Scientific reports*, 7, 1-8.
- Paasche, E. 1962. Coccolith formation. *Nature*, 193(4820), 1094-1095.
- Panchen, A. L. 1985. On the amphibian *Crassigyrinus scoticus* Watson from the Carboniferous. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 309, 505-568.
- Pandolfi, J. M., Connolly, S.R., Marshall, D.J., Cohen, A.L. 2011. Projecting coral reef futures under global warming and ocean acidification. *Science*, 333(6041), 418-422.
- Papucs, A., Pap, E. (2015): *A Rétyi Nyír természetvédelmi terület vízháztartási problémái*, XVII. Székelyföldi Geológus Találkozó. Koch Antal Földtani Társaság kiadványa, Székelykeresztúr, 73–74.
- Papucs, A. (2018): *Gondolatok a Rétyi Nyír keletkezéséről*, XX. Székelyföldi Geológus Találkozó. Sikló Egyesület kiadványa, Sepsiszentgyörgy, 43-44.
- Parkhaev, P. Y. 2008. The early Cambrian radiation of Mollusca. In: Lindberg, W. P. D. R. (2008). *Phylogeny and Evolution of the Mollusca*. University of California Press. Berkeley 33-69.
- Parkhaev, P. Y. (2007). The Cambrian 'basement' of gastropod evolution. *Geological Society, London, Special Publications*, 286(1), 415-421.
- Pascual, R., Archer, M., Jaureguizar, E.O., Prado, J.L., Godthelp, H., Hand, S. J. 1992. First discovery of monotremes in South America. *Nature*, 356, 704-706.
- Pawson, D. L. 2007. Phylum Echinodermata. *Zootaxa*, 1668, 749-764.

- Pálffy, J. 2000. *Kihaltak és túlélők (Félmilliárd év nagy fajpusztulásai)*. Vince Books, Budapest, 222 p.
- Pálffy, J. 2003. Volcanism of the Central Atlantic Magmatic Province as a potential driving force in the end-Triassic mass extinction. *Geophysical Monograph-American Geophysical Union*, 136, 255-267.
- Pálffy, J. 2006. A triász végi és a kora jura tömeges kihalás. *Általános Földtani Szemle Könyvtára*, 1, 76 p.
- Pálffy, J., Mortensen, J.K., Carter, E.S., Smith, P.L., Friedman, R.M., Tipper, H. W. 2000. Timing the end-Triassic mass extinction: First on land, then in the sea? *Geology*, 28(1), 39-42.
- Pálffy, J., Demény, A., Haas, J., Hetényi, M., Orchard, M. J., Vető, I. 2001. Carbon isotope anomaly and other geochemical changes at the Triassic-Jurassic boundary from a marine section in Hungary. *Geology*, 29(11), 1047-1050.
- Peltier, W. R., Fairbanks, R. G. 2006. Global glacial ice volume and Last Glacial Maximum duration from an extended Barbados sea level record. *Quaternary Science Reviews*, 25(23-24), 3322-3337.
- Persaits, G. 2010. A fitolitok szerepe a geoarcheológiai minták értékelésében. Doktori (PhD) értekezés. SZTE TTIK Földtani és Őslénytani Tanszék, Szeged.
- Persaits, G. & Sümegi, P. 2011. A fitolitok szerepe a régészeti geológiai és környezettörténeti minták értékelésében. In: Unger, J. & Pál-Molnár, E. (szerk.) *Geoszférák 2010. GeoLitera*, Szeged, 307-354.
- Persaits, G., Gulyás, S., Sümegi, P., Imre, M. 2008. Phytolith analysis: environmental reconstruction derived from a Sarmatian kiln used for firing pottery. In: Szabó, P. - Hédl, R. (szerk.): *Human Nature: Studies in Historical Ecology and Environmental History*. Institute of Botany of the Czech Academy of Sciences, Pruhonice, 116-122.
- Persaits, G., Sümegi, P., Törőcsik T. 2014. A solti Tételhegy környezettörténete pollen- és fitolitelemzés alapján. In: Somogyvári, Á. & Szentpéteri, J. (szerk.) *Településtörténeti kutatások. Solt – Tételhegy, Kiskunfélegyháza, Amler-bánya*. Archaeologica Cumania, 3 kötet, Katona József Múzeum és az MTA Bölcsész tudományi Kutatóközpont közös kiadványa, Kecskemét – Budapest, 159 – 204.
- Perrin, W. F., Würsig, B., Thewissen, J.G.M. eds. 2009. *Encyclopedia of marine mammals*. Academic Press, New York.
- Pécskay, Z., Seghedi, I., Downes, H., Prychodko, M., Mackiv, B. 2000. K/Ar dating of neogene calc-alkaline volcanic rocks from Transcarpathian Ukraine. *Geologica Carpathica*, 51, 83-89.
- Phillips, T.L., DiMichele, W.A. 1992. Comparative ecology and life-history biology of arborescent lycopsids in Late Carboniferous swamps of Euramerica. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 560-588.
- Piazza, D. S., Agnolin, F.L., Lucero, S. 2019. First record of a macroraptorial sperm whale (Cetacea, physeteroidea) from the miocene of Argentina. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 21, 276-280.

- Piggott, M. D., Gorman, G. J., Pain, C. C., Allison, P. A., Candy, A. S., Martin, B. T., Wells, M. R. 2008. A new computational framework for multi-scale ocean modelling based on adapting unstructured meshes. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 56, 1003-1015.
- Pimiento, C., MacFadden, B. J., Clements, C. F., Varela, S., Jaramillo, C., Velez-Juarbe, J., Silliman, B. R. 2016. Geographical distribution patterns of *Carcharocles megalodon* over time reveal clues about extinction mechanisms. *Journal of Biogeography*, 43, 1645-1655.
- Plóciennik, M., Self, A., Birks, H. J. B., Brooks, S. J. 2011. Chironomidae (Insecta: Diptera) succession in Żabieniec bog and its palaeo-lake (central Poland) through the Late Weichselian and Holocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 307, 150-167.
- Pluckhahn, T. J., Thompson, V.D., Cherkinsky, A. 2015. The temporality of shell-bearing landscapes at Crystal River, Florida. *Journal of Anthropological Archaeology*, 37, 19-36.
- Pokorny, V. 1998. *Introduction to Marine Micropaleontology*. Elsevier, New York.
- Publikus kataszteri térkép (Публічна кадастрова карта): <https://map.land.gov.ua/kadastrova-karta>
- Punt, W., Hoen, P.P., Backmore, S., Nilsson, S., Le Thomas, A. 2007. Glossary of pollen and spore terminology. *Review of Palaeobotany and Palynology* 143, 1-81.
- Pruss, S. B., Bottjer, D. J. 2004. Late Early Triassic microbial reefs of the western United States: a description and model for their deposition in the aftermath of the end-Permian mass extinction. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 211, 127-137.
- Qiao, L., Shen, S. Z. 2015. A global review of the Late Mississippian (Carboniferous) *Gigantoproductus* (Brachiopoda) faunas and their paleogeographical, paleoecological, and paleoclimatic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 420, 128-137.
- Quade, J., Dente, E., Armon, M., Dor, Y. B., Morin, E., Adam, O., Enzel, Y. 2018. Megalakes in the Sahara? A review. *Quaternary Research*, 90, 253-275.
- Rabi, M., Göhlich, U., Kear, B. P. 2011. An exceptionally complete specimen of the colossal Cretaceous sea turtle *Archelon ischyros*. In: Casanovas-Vilar, I., van Dam, J.A. 9th Annual Meeting of the European Association of Vertebrate Palaeontologists 17, Heraklion, Crete, 14-19.
- Radinsky, L.B. 1968. Evolution of somatic sensory specialization in otter brains. *Journal of Comparative Neurology*, 134, 495-505.
- Raschi, W., Tabit, C. 1992. Functional aspects of placoid scales: a review and update. *Marine and Freshwater Research*, 43, 123-147.
- Rahmstorf, S. 2000. The thermohaline ocean circulation – a system with dangerous thresholds? *Climate Change*, 46, 247-256.
- Rahmstorf, S. 2002. Ocean circulation and climate during the past 120,000 years, *Nature*, 419, 207-214.

- Raymo, M.E. 1991. Geochemical evidence supporting T.C. Chamberlin's theory of glaciation. *Geology*, 19, 344- 347.
- Raymo, M.E. 1994. The Himalayas, organic carbon burial, and climate in the Miocene. *Paleoceanography*, 9, 399-404.
- Raymo, M.E., W.F. Ruddiman 1992. Tectonic forcing of late Cenozoic climate. *Nature*, 359, 117-122.
- Raymo, M.E., Ruddiman, W.F., Froelich, P.N. 1988. Influence of late Cenozoic mountain building on ocean geochemical cycles. *Geology*, 16, 649-653.
- Reif, W. E., Stein, F. 1999. Morphogeny and function of the dentition of *Henodus chelyops* Huene, 1936 (Placodontia, Triassic). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Monatshefte*, 65-80.
- Reille, M. 1992. Pollen et Spores d'Europe et d'Afrique du Nord. Marseille: Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie,
- Reille, M. 1995. Pollen et Spores d'Europe et d'Afrique du Nord. Supplement 1. Marseille: Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie.
- Reille, M. 1998. Pollen et Spores d'Europe et d'Afrique du Nord. Supplement 2. Marseille: Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie.
- Reinfelder, J. R., Milligan, A. J., Morel, F. M. 2004. The role of the C4 pathway in carbon accumulation and fixation in a marine diatom. *Plant Physiology*, **135**, 2106-2111.
- Retallack, G.J. 2001. A 300-million-year record of atmospheric carbon dioxide from fossil plant cuticles. *Nature*, 411(6835), 287.
- Ridgwell, A. 2005. A Mid Mesozoic Revolution in the regulation of ocean chemistry. *Marine Geology*, 217(3-4), 339-357.
- Rhodin, A. G. 1985. Comparative chondro-osseous development and growth of marine turtles. *Copeia*, 752-771.
- Robertson, G.M. 1941. The ostracoderm order Anaspida, with description of some Upper Silurian material. *Transactions of the Kansas Academy of Science*, 44, 314-317.
- Rosén, P., Segerström, U., Eriksson, L., Renberg, I., Birks, H. J. B. 2001. Holocene climatic change reconstructed from diatoms, chironomids, pollen and near-infrared spectroscopy at an alpine lake (Sjuodjijaure) in northern Sweden. *The Holocene*, 11, 551-562.
- Rowe, T. B., Macrini, T. E., Luo, Z. X. 2011. Fossil evidence on origin of the mammalian brain. *Science*, 332, 955-957.
- Ruddiman, W.F. (ed.) 2013. *Tectonic uplift and climate change*. Springer Science & Business Media, New York
- Rudner, E.Z. 2001. *Felső-pleisztocén vegetációtörténeti és paleoökológiai elemzések Magyarországról faszénmaradványok alapján*. PhD dolgozat, Pécs-Budapest.
- Rye, R., Kuo, P.H., Holland, H.D. 1995. Atmospheric carbon dioxide concentrations before 2.2 billion years ago. *Nature*, 378, 603.

- Riding, R. 2006. Cyanobacterial calcification, carbon dioxide concentrating mechanisms, and Proterozoic–Cambrian changes in atmospheric composition. *Geobiology*, 4, 299-316.
- Riding, R. 2012. *Calcareous algae and stromatolites*. Springer Science & Business Media, Berlin.
- Ritterbush, K. A., Hoffmann, R., Lukeneder, A., De Baets, K. 2014. Pelagic palaeoecology: the importance of recent constraints on ammonoid palaeobiology and life history. *Journal of Zoology*, 292, 229-241.
- Rohr, D.M. 1994. Ordovician (Whiterockian) gastropods of Nevada: Bellerophontoidea, Macluritoidea, and Euomphaloidea. *Journal of Paleontology*, 68(3), 473-486.
- Rothwell, G. W. (1972). Evidence of pollen tubes in Paleozoic pteridosperms. *Science*, 175(4023), 772-774.
- Rudwick, M.J. 1970. Living and fossil brachiopods. Hutchinson, London.
- Sakurai, K., Kimura, M., Katoh, T. 2008. A new penguin-like bird (Pelecaniformes: Plotopteridae) from the Late Oligocene Tokoro Formation, northeastern Hokkaido, Japan. *Oryctos*, 7, 83-94.
- Sanger, J. E. 1988. Fossil pigments in paleoecology and paleolimnology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 62(1-4), 343-359.
- Saucède, T., Vennin, E., Fara, E., Olivier, N., Team, T. P. B. 2019. A new holocrinid (Articulata) from the Paris Biota (Bear Lake County, Idaho, USA) highlights the high diversity of Early Triassic crinoids. *Geobios*, 54, 45-53.
- Senowbari-Daryan, B., Zühlke, R., Bechstädt, T., Flügel, E. 1993. Anisian (Middle Triassic) buildups of the Northern Dolomites (Italy): the recovery of reef communities after the Permian/Triassic crisis. *Facies*, 28, 181-256.
- Serlegi, G. 2014. *A Balaton vízszintváltozásának tendenciái a régészeti korszakokban*. SZTE TTIK Földtani és Őslénytani Tanszék, PhD dolgozat, Szeged.
- Scarborough, V.L. 1998. Ecology and ritual: water management and the Maya. *Latin American Antiquity*, 135-159.
- Schaal, S. 2012. Messel Pit Fossil Site–The Legacy of the Environment and Life of the Eocene. In: Talent, J.A. ed. *Earth and Life*. Global Biodiversity, Extinction Intervals and Biogeographic Perturbations Through Time. Springer, Dordrecht, 225-236.
- Scholtz, G. 1970. A visegrádi Fekete-hegy tortonai korall faunája. *Földtani Közlöny*, 100, 192-206.
- Schöll-Barna, G. 2013. *Kagyló- és csigahéjak stabilizotóp-vizsgálata: Környezet- és klímarekonstrukció a Balaton vízgyűjtőjében*. SZTE TTIK Földtani és Őslénytani Tanszék, PhD dolgozat, Szeged.
- Schréter, Z. 1915. Két reliktum csigafaj új termőhelyei hazánkban. *Állattani Közlemények*, 14. 262–265.
- Schréter, Z. 1975. Tanulmány az alsópleisztocén korú Melanopsidák köréből. *Földtani Közlöny*, 105, 1–22.

- Schultze, H. P., Trueb, L. eds. 2018. *Origins of the higher groups of tetrapods: controversy and consensus*. Cornell University Press.
- Schöll-Barna, G., Demény, A., Serlegi, G., Fábrián, Sz., Sümegi, P., Fórizs, I., Bajnóczy, B. 2011. *Climatic variability in the Late Copper Age: stable isotope fluctuation of prehistoric *Unio pictorum* (Unionidae) shells from Lake Balaton (Hungary)*. *Journal of Paleolimnology*, 47, 87–100.
- Seghedi, I., Downes, H., Pécskay, Z., Thirwall, F. M., Szakács, A., Prychodko, M., Matthey D. 2001, Magmagenesis in a subduction-related post-collisional volcanic arc segment: the Ukrainian Carpathians. *Lithos*, 57, 237-262.
- Seilacher, A., Grazhdankin, D., Legouta, A. 2003. Ediacaran biota: The dawn of animal life in the shadow of giant protists. *Paleontological research*, 7(1), 43-54.
- Selden, P. A. (1984). Autecology of Silurian eurypterids. *Special Papers in Palaeontology*, 32, 39-54.
- Sepkoski Jr, J.J. 1984. A kinetic model of Phanerozoic taxonomic diversity. III. Post-Paleozoic families and mass extinctions. *Paleobiology*, 246-267.
- Sepkoski Jr, J.J. 1989. Periodicity in extinction and the problem of catastrophism in the history of life. *Journal of the Geological Society*, 146, 7-19.
- Sepkoski Jr, J.J. 1993. Ten years in the library: new data confirm paleontological patterns. *Paleobiology*, 43-51.
- Sepkoski, D. 2005. Stephen Jay Gould, Jack Sepkoski, and the ‘quantitative revolution’ in American paleobiology. *Journal of the History of Biology*, 38, 209-237.
- Sepkoski, D. 2012. *Rereading the fossil record: the growth of paleobiology as an evolutionary discipline*. University of Chicago Press, Chicago.
- Serbet, R., Rothwell, G. W. 1992. Characterizing the most primitive seed ferns. I. A reconstruction of *Elkinsia polymorpha*. *International Journal of Plant Sciences*, 153, 602-621.
- Sessa, J.A., Larina, E., Knoll, K., Garb, M., Cochran, J. K., Huber, B.T., Landman, N.H. 2015. Ammonite habitat revealed via isotopic composition and comparisons with co-occurring benthic and planktonic organisms. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(51), 15562-15567.
- Sharp, M., Jouzel, J., Hubbard, B., Lawson, W. 1994. The character, structure and origin of the basal ice layer of a surge-type glacier. *Journal of Glaciology*, 40(135), 327-340.
- Shen, S., Shi, G.R. 1996. Diversity and extinction patterns of Permian Brachiopoda of South China. *Historical Biology*, 12, 93-110.
- Shimansky, V.N. 1968. Carboniferous Orthoceratida, Onococerida, Actinoceratida, and Bactritida. *Trudy Paleontologicheskogo Instituta*, 117, 151.
- Shu, D. G., Morris, S. C., Zhang, X. L. 1996. A Pikaia-like chordate from the Lower Cambrian of China. *Nature*, 384, 157-158.
- Sibul, I., Plado, J., Joeleht, A. 2017. Ground-penetrating radar and electrical resistivity tomography for mapping bedrock topography and fracture zones: a

case study in Viru-Nigula, NE Estonia. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 66(3), 142.

Sigwart, J.D. 2009. Morphological cladistic analysis as a model for character evaluation in primitive living chitons (Polyplacophora, Lepidopleurina). *American Malacological Bulletin*, 27, 95-104.

Simpson, G. G. 1932. *Fossil Sirenia of Florida: and the Evolution of the Sirenia*. order of the Trustees, American Museum of Natural History.

Sims, P. A., Mann, D. G., Medlin, L. K. 2006. Evolution of the diatoms: insights from fossil, biological and molecular data. *Phycologia*, 45(4), 361-402.

Silye, L., Colin, J. P., Codrea, V. 2014. Globotalicypridea mirabilis sp. nov. – the first non-marine ostracod taxon from the Upper Cretaceous of the Hațeg Basin, Romania. In *Annales de Paléontologie* (Vol. 100, No. 3, pp. 273-280). Elsevier Masson.

Slotman, A., Simpson, G., Castellort, S., de Boer, P. L. 2018. Geological record of marine tsunami backwash: The role of the hydraulic jump. *The Depositional Record*, 4, 59-77.

Skelton, P.W. 1976. Functional morphology of the Hippuritidae. *Lethaia*, 9, 83-100.

Smith, M. M., Hobdell, M. H., Miller, W. A. 1972. The structure of the scales of *Latimeria chalumnae*. *Journal of Zoology*, 167, 501-509.

Smith, R. J., Janz, H., Okubo, I. 2011. Recent *Cyprididae* and *Ilyocyprididae* (Crustacea: Ostracoda) from Lake Biwa, Japan, including a summary of the lake's ostracod fauna. *Zootaxa*, 2874(1), 1-37.

Soepboer, W., Sugita, S., Lotter, A. F., van Leeuwen, J. F., van der Knaap, W. O. 2007. Pollen productivity estimates for quantitative reconstruction of vegetation cover on the Swiss Plateau. *The Holocene*, 17, 65-77.

Solti, G. 1985. Az alginit (olajpala) kutatása és felhasználási lehetősége Magyarországon. *Földtani Kutatás*, 28, 11-20.

Solti, G. 1982. Olajpala a növénytermesztésben. Több millió éves mútrágya. *Élet és Tudomány*, 37, 13—14.

Spiegel, D. S., Raymond, S. N., Dressing, C. D., Scharf, C. A., Mitchell, J. L. 2010. Generalized Milankovitch cycles and long-term climatic habitability. *The Astrophysical Journal*, 721(2), 1308.

Speijer, R. P., Van der Zwaan, G. J., Schmitz, B. 1996. The impact of Paleocene/Eocene boundary events on middle neritic benthic foraminiferal assemblages from Egypt. *Marine Micropaleontology*, 28, 99-132.

Spötl, C., Mangini, A. 2002. Stalagmite from the Austrian Alps reveals Dansgaard–Oeschger events during isotope stage 3: Implications for the absolute chronology of Greenland ice cores. *Earth and Planetary Science Letters*, 203(1), 507-518.

Stanton, T.W. 1937. The genotype of *Mortoniceras* Meek. *Journal of Paleontology*, 456-458.

- Steel, R. J. 1974. New Red Sandstone floodplain and piedmont sedimentation in the Hebridean Province, Scotland. *Journal of Sedimentary Research*, 44(2), 336-357.
- Sternberg, C. H. 1903. Protostega gigas and other Cretaceous reptiles and fishes from the Kansas Chalk. *Transactions of the Kansas Academy of Science*, 19, 123-128.
- Stockmarr, J. 1971. Tables with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen Spores*, 13, 615-621.
- Stoermer, L. 1952. Phylogeny and taxonomy of fossil horseshoe crabs. *Journal of Paleontology*, 630-640.
- Stöger, I., Sigwart, J. D., Kano, Y., Knebelsberger, T., Marshall, B. A., Schwabe, E., Schrödl, M. 2013. The continuing debate on deep molluscan phylogeny: evidence for Serialia (Mollusca, Monoplacophora+ Polyplacophora). *BioMed Research International*, 2013.
- Strother, P.K. 1991. A classification schema for the cryptospores. *Palynology*, 15, 219-236.
- Strahov N.M. 1960. Osnovy teorii litogeneza. T.1. Tipy litogeneza i ih razmeshchenie na poverhnosti Zemli. [Fundamentals of the theory of lithogenesis. Vol. 1. Types of lithogenesis and its location on the Earth surface]. Moscow, Izdatel'stvo AN SSSR, 212 p.
- Sugita, S. 1994. Pollen representation of vegetation in Quaternary sediments: theory and method in patchy vegetation. *Journal of Ecology*, 82, 881–897.
- Shulmeister, J., Shane, P., Lian, O. B., Okuda, M., Carter, J. A., Harper, M., Heijnis, H. 2001. A long late-Quaternary record from lake Poukawa, Hawke's Bay, New Zealand. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 176), 81-107.
- Sumrall, C.D. 1997. The role of fossils in the phylogenetic reconstruction of Echinodermata. *The Paleontological Society Papers*, 3, 267-288.
- Sümeği, P. 2001. *A negyedidőszak földtanának és ökoszisztémájának alapjai*. JATEPress, Szeged.
- Sümeği, P. 2013. *Régészeti geológia és történeti ökológia alapjai*. JATEPress, Szeged. (Második, javított kiadás)
- Sümeği, P. szerk 2014. *Környezetföldtani és környezettörténeti kutatások a dunai Alföldön*. GeoLitera Kiadó, Szeged.
- Sümeği, P., Gulyás, S., Jakab, G. 2008. Holocene paleoclimatic and paleohydrological changes in Lake Balaton as inferred from a complex quantitative environmental historical study of a lacustrine sequence of the Szigliget embayment. *Documenta Praehistorica*, 35. 33-43.
- Sümeği, P., Jakab, G., Majkut, P., Töröcsik, T., Zatykó, Cs. 2009. *Middle Age paleoecological and paleoclimatological reconstruction in the Carpathian Basin*. *Időjárás*, 113, 265-298.
- Sümeği, P., Schöll-Barna, G., Demény, A. 2013. *A Balaton vízszintváltozásainak 20 ezer éve*. *Természet Világa*, 145, 74-78.

- Sümegei, P., Szilágyi, G., Gulyás, S., Jakab, G., Molnár, A. 2013. The Late Quaternary Paleoecology and Environmental History of the Hortobágy, an unique Mosaic Alkaline Steppe from the Heart of the Carpathian Basin, Central Europe. pp. 165-194. In: Prieto, M.B.M & Diaz, T.B. eds. *Steppe Ecosystems Biological Diversity, Management and Restoration*. Nova Publishers, New York.
- Sümegei, P., Jakab, G., Sümegei, B.P., Tóth, A., Demeter, L., László, K., Györfi, Z., Bencze, Ü., Papucs, A., Ambrus, L., Frink J., Benkő E. 2015. *Negyedidőszak végi tőzegterületek paleoökológiai elemzése – környezettörténeti vizsgálatok erdélyi lápokon*, XVII. Székelyföldi Geológus Találkozó. Koch Antal Földtani Társaság kiadványa, Székelykeresztúr, 86–87.
- Sümegei, P., Gulyás, S., Molnár, D., Náfrádi, K., Törőcsik, T., Sümegei B.P., Müller T., Szilágyi G., Varga Z. 2018. *Ice Age Terrestrial and Freshwater Gastropod Refugia in the Carpathian Basin, Central Europe*. In: Sajal, R. (ed.) *Biological Resources of Water*. Rijeka: InTech Open Access Publisher, 93-117.
- Sweet, W. C., Zunyi, Y., Dickins, J. M., Hongfu, Y. 1992. Permo-Triassic events in the eastern Tethys-an overview. *Permo-triassic events in the eastern tethys: stratigraphy, classification, and relations with the western Tethys, 1*, 1-8.
- Swift, C.C., Barnes, L.G. 1996. Stomach contents of *Basilosaurus cetoides*: implications for the evolution of cetacean feeding behavior, and evidence for vertebrate fauna of epicontinental Eocene seas. *The Paleontological Society Special Publications*, 8, 380-380.
- Szabó, J. 2009. Gastropods of the Early Jurassic Hierlatz Limestone Formation; part 1: a revision of the type collections from Austrian and Hungarian localities. *Fragmenta Palaeontologica Hungarica*, 26, 1-108.
- Szabó, J., Pásztor, L., Bakacsi, Zs., Zágoni, B., Csökli, G. 2000. Kreybig Digitális Talajinformatikai Rendszer (Előzmények, térinformatikai megalapozás). *Agrokémia és Talajtan*, 49, No. 1-2.
- Szabó, M., Ósi, A. 2017. The continental fish fauna of the Late Cretaceous (Santonian) Iharkút locality (Bakony Mountains, Hungary). *Central European Geology*, 60, 230-287.
- Szalapaj, P. (2014). *Contemporary architecture and the digital design process*. Routledge, London.
- Szelepcsényi, Z., Breuer, H., Kis, A., Pongrácz, R., Sümegei, P. 2018. Assessment of projected climate change in the Carpathian Region using the Holdridge life zone system. *Theoretical and Applied Climatology*, 31, 1-18.
- Szente I. Mikroszkópikus ősmaradványok. In: Karátson, D. főszerk. *Pannon encyklopédia*. Kertek 2000 Könyvkiadó, Budapest.
- Szeroczyńska, K. 1998. Palaeolimnological investigations in Poland based on Cladocera (Crustacea). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 140, 335-345.
- Szmolka, P. 2008. Vízi élőhely vizsgálatok a Rétyi Nyírben, és egy élőhely rekonstrukció megvalósításának megalapozása. *Magyar Vízivád Közlemények*, 16, 287-318.

- Szontagh, T. 1890. Nagyváradnak és környékének geológiai leírása. In: Bunyitay, V. (ed.) Nagyvárad természetrajza. Impremira de West, Nagyvárad, 25–32.
- Szónoky, M., Dobos-Hortobágyi, E., Gulyás, S., Szuromi-Korecz, A., Müller, P., Geary, D. H., Magyar, I. 1999. Árpád, a classic locality of Lake Pannon bivalves. *Acta Geologica Hungarica*, 42, 89-108.
- Szurominé Korecz, A., Nagyné Bodor, E. 1999. A Szemesi-medence fejlődéstörténete a Tó-25. számú mederfúrás ostracoda és sporomorpha vizsgálata alapján. *Hidrológiai Közölny*, 79, 383-385.
- Tambutté, S., Holcomb, M., Ferrier-Pagès, C., Reynaud, S., Tambutté, É., Zoccola, D., Allemand, D. 2011. Coral biomineralization: from the gene to the environment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 408, 58-78.
- Tamura, M. 1981. Preliminary Report on the Upper Triassic Megalodonts discovered in South Kyushu, Japan. *Proceedings of the Japan Academy, Series B*, 57(8), 290-295.
- Tanabe, K. 2011. The feeding habits of ammonites. *Science*, 331(6013), 37-38.
- Tan, M., Baker, A., Genty, D., Smith, C., Esper, J., Cai, B. 2006. Applications of stalagmite laminae to paleoclimate reconstructions: comparison with dendrochronology/climatology. *Quaternary Science Reviews*, 25(17-18), 2103-2117.
- Tarlo, L.B. 1962. The classification and evolution of the Heterostraci. *Acta Palaeontologica Polonica*, 7, 249-290.
- Tappan, H., Loeblich Jr, A. R. 1988. Foraminiferal evolution, diversification, and extinction. *Journal of Paleontology*, 695-714.
- Taylor, E. L., Taylor, T. N., Krings, M. 2009. *Paleobotany: the biology and evolution of fossil plants*. Academic Press. Cambridge (Massachusetts).
- Thewissen, J. G., Hussain, S. T. 1993. Origin of underwater hearing in whales. *Nature*, 361, 444-445.
- Thomson, K.S. 1976. The faunal relationships of rhipidistian fishes (Crossopterygii) from the Catskill (Upper Devonian) of Pennsylvania. *Journal of Paleontology*, 1203-1208.
- Thompson, V. D., Marquardt, W. H., Cherkinsky, A., Roberts Thompson, A. D., Walker, K. J., Newsom, L. A., Savarese, M. 2016. From shell midden to midden-mound: The geoarchaeology of Mound Key, an anthropogenic island in southwest Florida, USA. *PLoS One*, 11, e0154611.
- Timár, G. 2004 Space and GIS technology in palaeoenvironmental analysis. *Antaeus*, 27, 135-144
- Timár, G., Molnár, G. 2003. A második katonai felmérés térképeinek közelítő vetületi és alapfelületi leírása a térinformatikai alkalmazások számára. *Geodézia és Kartográfia*, 55, 27-31.
- Timár, G., Molnár, G. 2008. A harmadik katonai felmérés térképeinek georeferálása. *Geodézia és Kartográfia* 60, 23 -27.
- Tiszovszkij Sz. I. (Тисовский С. I.) 2019: Звіт з оцінки впливу на довкілля планованої діяльності, яка підлягає оцінці впливу на довкілля щодо

буріння свердловини для водопостачання / Környezeti hatásvizsgálat tervezett vízkitermelő kút fúrásához. Приватне акціонерне товариство «ПЛЕМІННИЙ ЗАВОД ЗАКАРПАТСЬКИЙ».

Todt, C., Okusu, A., Schander, C., Schwabe, E. 2008. Solenogastres, Caudofoveata, and Polyplacophora. *Phylogeny and Evolution of the Mollusca*, 4, 71-96.

Topper, T.P., Strotz, L.C., Holmer, L.E., Zhang, Z., Tait, N.N., Caron, J.B. 2015. Competition and mimicry: the curious case of chaetae in brachiopods from the middle Cambrian Burgess Shale. *BMC Evolutionary Biology*, 15, 42.

Tóth, E. 2008. Sarmatian (Middle Miocene) ostracod fauna from the Zsámbék Basin, Hungary. *Geologica Pannonica*, 36, 101-151.

Tóth, E. 2009. *Őskörnyezeti változások a Középső-Paratethysben a szarmata folyamán a mikrofauna őslénytani és geokémiai vizsgálata alapján*. PhD értekezés, Budapest/Lyon.

Tóth, M. 1891. Adatok Nagyvárad környéke diluvialis képződményeinek ismeretéhez. *Magyar Orvosok és Természetvizsgálók 25. Vándorgyűlése Munkálatai*, 474–479.

Törőcsik, T., Náfrádi, K., Sümegi, P. 2015. *Komplex archeobotanika*. Geolitera Kiadó, Szeged.

Törőcsik T., Sümegi B.P., Sümegi P. 2018. Az ócsai Selyemrét környezettörténete a jégkor végétől. *Rosalia*, 10, 81-118

Tövissi, J. 1972. *Schimbărele albiei Oltului la extremitatea de sud a Munților Baraoltului*, Aluta, Muzeul Județean Covasna, Sf. Gheorghe, 249-259.

Trájer, A. 2017. Ősföldtani zátonytörténelem. *Természet Világa*, 148/9, 405-408.

Turner, R., Roberts, N., Jones, M. D. 2008. Climatic pacing of Mediterranean fire histories from lake sedimentary microcharcoal. *Global and Planetary Change*, 63(4), 317-324.

Trueb, L., Cloutier, R. 1991. A phylogenetic investigation of the inter-and intrarelationships of the Lissamphibia (Amphibia: Temnospondyli). Schultze, H. P., Trueb, L. eds. 2018. *Origins of the higher groups of tetrapods: controversy and consensus*. Cornell University Press, 223-313.

Vanblaricom, G. R., Eccles, J. L., Olden, J. D., McDonald, P. S. 2015. Ecological effects of the harvest phase of geoduck (*Panopea generosa* Gould, 1850) aquaculture on infaunal communities in southern Puget Sound, Washington. *Journal of Shellfish Research*, 34, 171-187.

Vanuxem, L. 1843. On the ancient oyster shell deposits observed near the Atlantic coast of the United States. *Proceedings and Transactions for Association American Geologists and Naturalist*, pp. 21-28.

Van Valkenburgh, B. (1995). Tracking ecology over geological time: evolution within guilds of vertebrates. *Trends in Ecology & Evolution*, 10(2), 71-76.

Velez-Juarbe, J., Domning, D.P. 2009. Evolution and diversification of Dugonginae (Sirenia; Dugongidae) in the West Atlantic and Caribbean region. In *Geological Society of America, Abstracts with Programs* (Vol. 41).

- Venglinszkij, I.V. (Венглинский, И.В.) 1975. Форфминиферы и биостратиграфия миоценовых отложений Закарпатского прогиба / A Kárpátaljai-süllyedék miocén üledékeinek foraminiferái és biosztratigráfiája. Наукова Думка. Киев. 264с.
- Verescsagin, V.N. ed. (Верещагин, В.Н. ред.) 1982. Стратиграфический словарь СССР. Палеоген, неоген, четвертичная система / Az SzSzkSz sztratigráfiai szótára. (Paleogén, neogén, és negyedidőszak.) Изд. Недра, Ленинград.
- Vozárová, A., Ebner, F., Kovács, S., Kräutner, H. G., Szederkenyi, T., Krstić, B., Skaberne, D. 2009. Late Variscan (Carboniferous to Permian) environments in the Circum Pannonian Region. *Geologica Carpathica*, 60(1), 71-104.
- Voznyeszenszkij A. I. (Вознесенский А. И.) 1988. История формирования неогеновых отложений Закарпатского прогиба / A neogén üledékek kialakulásának története a Kárpátaljai-süllyedékben. Академии Наук СССР, Наука, Москва.
- Velazquez-Castillo, R.R., Reyes-Gasga, J., García-Gutierrez, D.I., Jose-Yacamán, M. 2006. Crystal structure characterization of nautilus shell at different length scales. *Biomaterials*, 2725, 4508-4517.
- Veltz, I., Nel, A., Azar, D. 2007. New chironomid flies in Early Cretaceous Lebanese amber (Diptera: Chironomidae). *African Invertebrates*, 48, 169-191.
- Vida, G. 1981-1985. *Evolúció I-V*. Natura Kiadó, Budapest.
- Vida, G. 2001. *Helyünk a bioszférában*. Typotex Kft, Budapest.
- Vida, G. 2012. *Honnan hívják Homo? Az Antropocén korszak gondjai*. Studia Physiologica Alapítvány kiadványa, Budapest.
- Villéger, S., Novack-Gottshall, P. M., Mouillot, D. 2011. The multi-dimensionality of the niche reveals functional diversity changes in benthic marine biotas across geological time. *Ecology Letters*, 14(6), 561-568.
- Voiculescu-Holvad, C. The Opalised Fossils of Australia: Mineralogical and Paleontological Treasures from the Australian Outback. Researchgate kézirat
- Voigt, A., Held, I. M., Marotzke, J. 2012. Hadley cell dynamics in a virtually dry snowball Earth atmosphere. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 69, 116-128.
- Vörös, A. 1986. Brachiopod palaeoecology on a Thethyan Jurassic Seamount (Pliensbachian, Bakony Mountains, Hungary). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 57, 241-271.
- Vörös A. 1992. Középső-triász (felső-anizuszi) ammonoidea paleobiogeográfia az alp-kárpáti régióban. *Őslénytani Viták*, 38, 71-77.
- Vörös, A. 1993. Redefinition of the Reitzi Zone at its type region (Balaton area, Hungary) as the basal zone of the Ladinian. *Acta Geologica Hungarica*, 36(1), 15-38.
- Vörös, A. 1998. A Balaton-felvidék triász ammonoideái és biosztratigráfiája. *Studia Naturalia*, 12, 1-104.
- Vörös, A. 2002. Victims of the Early Toarcian anoxic event: the radiation and extinction of Jurassic Koninckinidae (Brachiopoda). *Lethaia*, 35(4), 345-357.

- Vörös, A. ed. 2003. The Pelsonian Substage on the Balaton Highland (Middle Triassic, Hungary). *Geologica Hungarica, series Palaeontologica*, 55.
- Vörös, A., Tamás, K., Budai, T. 2015. Új adatok a Balaton-felvidék középső-triász rétegtanához. *Földtani Közlöny*, 145, 315–324.
- Vörös, A., Kocsis, Á. T., Pálffy, J. 2016. Demise of the last two spire-bearing brachiopod orders (Spiriferinida and Athyridida) at the Toarcian (Early Jurassic) extinction event. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 457, 233-241.
- Wade, C. M., Mordan, P. B., Naggs, F. 2006. Evolutionary relationships among the Pulmonate land snails and slugs (Pulmonata, Stylommatophora). *Biological Journal of the Linnean Society*, 87, 593-610.
- Wagner, D., Luck, D. G., & Toonen, R. J. (2012). The biology and ecology of black corals (Cnidaria: Anthozoa: Hexacorallia: Antipatharia). In: *Advances in marine biology*, 63, Academic Press, 67-132
- Walsh, M.K., Prufer, K.M., Culleton, B.J., Kennett, D.J. 2014. A late Holocene paleoenvironmental reconstruction from Agua Caliente, southern Belize, linked to regional climate variability and cultural change at the Maya polity of Uxbenká. *Quaternary Research*, 82, 38-50.
- Walker, D. A., Bockheim, J. G., Chapin Iii, F. S., Eugster, W., Nelson, F. E., & Ping, C. L. 2001. Calcium-rich tundra, wildlife, and the “Mammoth Steppe”. *Quaternary Science Reviews*, 20(1-3), 149-163.
- Walley Williams, T. 1946. The differentiation of placoid, ctenoid and cycloid scales by means of Alizarin red S. *Stain technology*, 21, 55-58.
- Walterh., Lleth H. 1967. Klímdiagramm-Weltatlas. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena
- Walter H., Breckle S.W. 1999. Vegetation und Klimazonen. Grundriss der globalen Ökologie 7. Aufl. Ulmer, Stuttgart, p. 544.
- Ward, I., Veth, P., Prossor, L., Denham, T., Ditchfield, K., Manne, T., Troitzsch, U. 2017. 50,000 years of archaeological site stratigraphy and micromorphology in Boodie Cave, Barrow Island, Western Australia. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 15, 344-369.
- Wang, N.Z. 1995. Silurian and Devonian jawless craniates (Galeaspida, Thelodonti) and their habitats in China. *Bulletin du Muséum national d'Histoire naturelle, 4ème série–section C–Sciences de la Terre, Paléontologie, Géologie, Minéralogie*, 17, 57-84.
- Warren, B. A., Wunsch, C. (eds.) 1981. *Evolution of physical oceanography*. MIT Press, Cambridge.
- Weir, J.T., Mursleen, S. 2013. Diversity-dependent cladogenesis and trait evolution in the adaptive radiation of the auks (aves: alcidae). *Evolution: International Journal of Organic Evolution*, 67, 403-416.
- Wells, H.G. 2017. *The time machine*. Oxford University Pres, Oxford.
- Wesselingh, F. P., Räsänen, M. E., Irion, G., Vonhof, H. B., Kaandorp, R., Renema, W., .Gingras, M. 2001. Lake Pebas: a palaeoecological reconstruction

- of a Miocene, long-lived lake complex in western Amazonia. *Cainozoic Research*, 1(1/2), 35-68.
- Wesselingh, F.P., Räsänen, M.E., Irion, G., Vonhof, H.B., Kaandorp, R., Renema, W., Romero Pittman L. Gingras, M. 2002. Lake Pebas: a palaeoecological reconstruction of a Miocene, long-lived lake complex in western Amazonia, *Cainozoic Research*, 1, 35-81.
- Wesselingh, F.P., Kaandorp, R.J.G., Vonhof, H.B., Räsänen, M.E., Renema, W. Gingras, M. 2006. The nature of aquatic landscapes in the Miocene of western Amazonia: an integrated palaeontological and geochemical approach. *Scripta Geologica*, 133, 363-393.
- White, E. I. (1935). X-The ostracoderm Pteraspis Kner and the relationships of the agnathous vertebrates. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 225(527), 381-457.
- White, T.E. 1940. Holotype of Plesiosaurus longirostris Blake and classification of the plesiosaurs. *Journal of Paleontology*, 451-467.
- White, K., & Mattingly, D. J. (2006). Ancient lakes of the Sahara: the Sahara was once a savannah teeming with life. The story of how the climate changed, and how humans coped, is still being unraveled. *American Scientist*, 94(1), 58-66.
- Whitmore, F. C., Gard, L. M. 1977. *Steller's sea cow (Hydrodamalis gigas) of late Pleistocene age from Amchitka, Aleutian Islands, Alaska* (No. 1036). US Govt. Print. Off..
- Wierzbowski, A., Jaworska, M., Krobicki, M. 1999. Jurassic (Upper Bajocian-lowest Oxfordian) ammonitico rosso facies in the Pieniny Klippen Belt, Carpathians, Poland: its fauna, age, microfacies and sedimentary environment. *Studia Geologica Polonica*, 115, 7-74.
- Wilkinson, A. (1990). Gardens in Ancient Egypt: their locations and symbolism. *The Journal of Garden History*, 10(4), 199-208.
- Williams, A., Cusack, M., MacKay, S. 1994. Collagenous chitinophosphatic shell of the brachiopod *Lingula*. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 346, 223-266.
- Williams, A., Popov, L. E., Holmer, L. E., Cusack, M. 1998. The diversity and phylogeny of the paterinate brachiopods. *Palaeontology*, 41, 221-262.
- Williams, M. 2015. Interactions between fluvial and eolian geomorphic systems and processes: examples from the Sahara and Australia. *Catena*, 134, 4-13.
- Williston, S. W. (1910). A mounted skeleton of *Platecarpus*. *The Journal of Geology*, 18(6), 537-541.
- Willis, K.J., Braun, M., Sümegei, P., Tóth, A. 1997. Does soil change cause vegetation change or vice-versa? A temporal perspective from Hungary. *Ecology*, 78, 740-750.
- Willis, K. J., Sümegei, P., Braun, M., Tóth, A. 1995. The Late Quaternary environmental history of Bátorliget, N.E. Hungary. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 118, 25-47.

- Willis, K. J., Sümegi, P., Braun, M., Keith, D. B., Tóth, A. 1998. Prehistoric land degradation in Hungary: who how and why? *Antiquity*, 72, 101-113.
- Willis, P. M., Molnar, R. E. 1991. A longirostrine crocodile from the Early Tertiary of southeastern Queensland. *Alcheringa*, 15, 229-233.
- Wright, H. E. 1993. *Global climates since the last glacial maximum*. University of Minnesota Press, Minnesota, USA.
- Würsig, B., Thewissen, J.G.M., Kovacs, K.M. eds. 2017. *Encyclopedia of marine mammals*. Academic Press, New York.
- Woollacott, R. M., Zimmer, R. L. (eds.). (2013). *Biology of bryozoans*. Elsevier, New York.
- Wolf, H. 1863. Bericht über die geologischen Verhältnisse im Körösthale in Ungarn, nach den Aufnahmen im Jahre 1860. *Jahrbuch der kaiserlich und königlich geologische Keischsanstalt*, 265-292.
- Wray, J. L. 2009. *Calcareous algae*. Elsevier, New York
- Xing, L., Sames, B., McKellar, R. C., Xi, D., Bai, M., Wan, X. 2018. A gigantic marine ostracod (Crustacea: Myodocopa) trapped in mid-Cretaceous Burmese amber. *Scientific reports*, 8, 1-9.
- Yacobucci, M.M. 2015. Ammonoid Paleobiology: From macroevolution to paleogeography. Springer, Amsterdam.
- Yochelson, E.L. 1996. Discovery, collection, and description of the Middle Cambrian Burgess Shale biota by Charles Doolittle Walcott. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 469-545.
- Yochelson, E.L. 1998. *Charles Doolittle Walcott, Paleontologist*. Kent State University Press, Kent.
- Yokoyama, Y., Lambeck, K., De Deckker, P., Johnston, P., Fifield, L. K. 2000. Timing of the Last Glacial Maximum from observed sea-level minima. *Nature*, 406(6797), 713-716.
- Yonge, C.M. 1957. Reflexions on the monoplacophoran, *Neopilina galathea* Lemche. *Nature*, 179(4561), 672-673.
- Young, G. A., Noble, J. P. 1990. Silurian Heliolitidae (Anthozoa, Tabulata) from the Chaleurs Bay Region, Canada. *Journal of Paleontology*, 44-60.
- Young, G.C. 2010. Placoderms (armored fish): dominant vertebrates of the Devonian period. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 38, 523-550.
- Yuan, C.X., Ji, Q., Meng, Q.J., Tabrum, A.R., Luo, Z.X. 2013. Earliest evolution of multituberculate mammals revealed by a new Jurassic fossil. *Science*, 341, 779-783.
- Yu, W. (1990). The first radiation of shelled molluscs. *Palaeontologia Cathayana*. Springer, Berlin, Heidelberg, 139-169
- Yu, Z., Loisel, J., Brosseau, D.P., Beilman, D.W., Hunt, S.J. 2010. Global peatland dynamics since the Last Glacial Maximum. *Geophysical research letters*, 37(13).
- Zachos, J.C., Wara, M.W., Bohaty, S., Delaney, M.L., Petrizzo, M.R., Brill, A., Premoli-Silva, I. 2003. A transient rise in tropical sea surface temperature during the Paleocene-Eocene thermal maximum. *Science*, 302(5650), 1551-1554.

- Zachos, J. C., Röhl, U., Schellenberg, S. A., Sluijs, A., Hodell, D.A., Kelly, D.C., McCarren, H. 2005. Rapid acidification of the ocean during the Paleocene-Eocene thermal maximum. *Science*, 308(5728), 1611-1615.
- Zatykó, Cs., Juhász, I., Sümegi, P. eds. 2007. Environmental Archaeology in Transdanubia. *Varia Archaeologica Hungarica* sorozat, XXI. kötet, MTA Régészeti Intézet, Budapest.
- Zelenka, T., Póka, T., Mártonné Szalay, E., Pécskay, Z. 2004. A Tari Dácittufa Formáció típuszelvényének felülvizsgálata. A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése, 73-84.
- Zlinszky, A., Tóth, V., Pomogyi, P., Timár, G. 2011. Initial report of the AIMWETLAB project: simultaneous airborne hyperspectral, LIDAR and photogrammetric survey of the full shoreline of Lake Balaton, Hungary. *Geographia Technica*, 6, 101-117.
- Zoltai, S.C., Vitt, D. H. 1995. Canadian wetlands: environmental gradients and classification. *Vegetatio*, 118, 131-137.
- Zhan, R., Wang, G., Wu, R. 2010. Late Ordovician Foliomena fauna (Brachiopoda) of South China. *Journal of Earth Science*, 21, 64.
- Zhang, Z., Robson, S. P., Emig, C., Shu, D. 2008. Early Cambrian radiation of brachiopods: A perspective from South China. *Gondwana Research*, 14, 241-254.
- Zhang, X., Liu, W., Zhao, Y. 2008. Cambrian Burgess Shale-type Lagerstätten in south China: distribution and significance. *Gondwana Research*, 14, 255-262
- Zhu, D.C., Zhao, Z.D., Niu, Y., Dilek, Y., Hou, Z. Q., Mo, X.X. (2013). The origin and pre-Cenozoic evolution of the Tibetan Plateau. *Gondwana Research*, 23(4), 1429-1454.
- Zólyomi, B. 1952. Magyarország növénytakarójának fejlődéstörténete az utolsó jégkorszaktól. *Magyar Tudományos Akadémia Biológiai Osztályának Közleményei*, 1, 491-544.
- Zólyomi, B. 1958. Budapest és környékének természetes növénytakarója. In: Pécsi, M., Maros, S., Szilárd, J. (szerk). Budapest természeti képe. Akadémiai Kiadó, Budapest, 511-642.
- Zólyomi, B. 1987.: *Degree and rate of sedimentation in Lake Balaton*. In: Pécsi, M. (ed.): Pleistocene environment in Hungary. Contribution of the INQUA Hungarian National Committee to the XIth INQUA Congress, Ottawa, Canada, 1987. MTA Földrajzkutató Intézet kiadványa, Budapest, 57-79.

Online oldalak:

<https://blog.oszk.hu/foldabrosz>

<http://greengeology.blogspot.com/> - az első szerző által kialakított, az online rendszer átalakítása miatt ma már inaktív blog

<https://hirmagazin.sulinet.hu/hu>

[http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:PRYBeh-](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:PRYBeh-OBisJ:www.foldtan.ro/files/Paleontologia%2520jegyzet.pdf+&cd=1&hl=hu&ct)

[OBisJ:www.foldtan.ro/files/Paleontologia%2520jegyzet.pdf+&cd=1&hl=hu&ct](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:PRYBeh-OBisJ:www.foldtan.ro/files/Paleontologia%2520jegyzet.pdf+&cd=1&hl=hu&ct)

=clnk&gl=hu – szerző, szerkesztő és irodalom megadása nélkül készült anyag,
gekko.ru oldalán
<https://paleotop.blog.hu/>
<https://pangea.blog.hu/>
<https://regi.tankonyvtar.hu>
https://www.eletestudomany.hu/tuskesboru_koronatanuk

Online hivatkozások:

- ¹ Hoffmann, Gy., Matics, R.: Élet a Földön – történeti földtan
- ² Főzy, I., Szente, I. 2012. Ősмарadványok – A Kárpát-Pannon térség kövületei. GeoLitera Kiadó, Szeged.
- ³ Vadkerti, E., Matics, R., Rauch, T., Hoffmann, Gy.: Evolúció II.
- ⁴ Vadkerti, E., Matics, R., Rauch, T., Hoffmann, Gy.: Evolúció II.
- ⁵ Trájer, A.: Ősföldtani zátonytörténelem
- ⁶ Kendrick, P., Crane, P.R. 1997. The origin and early evolution of plants on land. *Nature* 389. 33-39.
- ⁷ Vadkerti, E., Matics, R., Rauch, T., Hoffmann, Gy.: Evolúció II.
- ⁸ Hoffmann, Gy., Matics, R.: Élet a Földön – történeti földtan
- ⁹ Hoffmann, Gy., Matics, R.: Élet a Fldön – történeti földtan
- ¹⁰ Főzy, I., Szente, I. 2012. Ősмарadványok – A Kárpát-Pannon térség kövületei. GeoLitera Kiadó, Szeged. Szente I. Mikroszkópikus ősмарadványok. In: Karátson, D. főszerk. Pannon encyklopédia. Kertek 2000 Könyvkiadó, Budapest.
- ¹¹ Vida, G. 1981-1985. *Evolúció I-V*. Natura Kiadó, Budapest.
- ¹² Vida, G. 1981-1985. *Evolúció I-V*. Natura Kiadó, Budapest.
- ¹³ Vida, G. 1981-1985. *Evolúció I-V*. Natura Kiadó, Budapest.
- ¹⁴ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ¹⁵ Náfrádi, Törőcsik, Sümegi, 2015 nyomán
- ¹⁶ Jakab, Sümegi, 2011 nyomán
- ¹⁷ Persaits, 2011, Persaits, Sümegi, 2011 nyomán
- ¹⁸ Persaits, 2011, Persaits, Sümegi, 2011 nyomán
- ¹⁹ Persaits, 2011, Persaits, Sümegi, 2011 nyomán
- ²⁰ Shulmeister, J., Shane, P., Lian, O. B., Okuda, M., Carter, J. A., Harper, M., Hejnis, H. (2001). A long late-Quaternary record from lake Poukawa, Hawke's Bay, New Zealand. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 176(1-4), 81-107 nyomán
- ²¹ Sümegi, P., Schöll-Barna, G., Demény, A. 2013. *A Balaton vízszintváltozásainak 20 ezer éve*. Természet Világa, 145, 74-78 nyomán
- ²² Sümegi, P., Schöll-Barna, G., Demény, A. 2013. *A Balaton vízszintváltozásainak 20 ezer éve*. Természet Világa, 145, 74-78 nyomán, Persaits, G. 2010. A fitolitok szerepe a geoarcheológiai minták értékelésében. Doktori (PhD) értekezés. SZTE TTIK Földtani és Őslénytani Tanszék, Szeged. Persaits, G. & Sümegi, P. 2011. A fitolitok szerepe a régészeti geológiai és környezettörténeti minták értékelésében. In: Unger, J. & Pál-Molnár, E. (szerk.) Geoszféra 2010. GeoLitera, Szeged, 307-354.
- ²³ Sümegi, P., Schöll-Barna, G., Demény, A. 2013. *A Balaton vízszintváltozásainak 20 ezer éve*. Természet Világa, 145, 74-78 nyomán, Persaits, G. 2010. A fitolitok szerepe a geoarcheológiai minták értékelésében. Doktori (PhD) értekezés. SZTE TTIK Földtani és Őslénytani Tanszék, Szeged. Persaits, G. & Sümegi, P. 2011. A fitolitok szerepe a régészeti geológiai és környezettörténeti minták értékelésében. In: Unger, J. & Pál-Molnár, E. (szerk.) Geoszféra 2010. GeoLitera, Szeged, 307-354.
- ²⁴ Sümegi, P., Schöll-Barna, G., Demény, A. 2013. *A Balaton vízszintváltozásainak 20 ezer éve*. Természet Világa, 145, 74-78 nyomán, Persaits, G. 2010. A fitolitok szerepe a geoarcheológiai minták értékelésében. Doktori (PhD) értekezés. SZTE TTIK Földtani és Őslénytani Tanszék, Szeged. Persaits, G. & Sümegi, P. 2011. A fitolitok szerepe a régészeti geológiai és környezettörténeti minták értékelésében. In: Unger, J. & Pál-Molnár, E. (szerk.) Geoszféra 2010. GeoLitera, Szeged, 307-354.
- ²⁵ Sümegi, P., Schöll-Barna, G., Demény, A. 2013. *A Balaton vízszintváltozásainak 20 ezer éve*. Természet Világa, 145, 74-78 nyomán
- ²⁶ Persaits, G. 2010. A fitolitok szerepe a geoarcheológiai minták értékelésében. Doktori (PhD) értekezés. SZTE TTIK Földtani és Őslénytani Tanszék, Szeged. Persaits, G. & Sümegi, P. 2011. A fitolitok szerepe a régészeti geológiai és környezettörténeti minták értékelésében. In: Unger, J. & Pál-Molnár, E. (szerk.) Geoszféra 2010. GeoLitera, Szeged, 307-354.
- ²⁷ Sümegi, P., Schöll-Barna, G., Demény, A. 2013. *A Balaton vízszintváltozásainak 20 ezer éve*. Természet Világa, 145, 74-78 nyomán
- ²⁸ Sümegi, P., Schöll-Barna, G., Demény, A. 2013. *A Balaton vízszintváltozásainak 20 ezer éve*. Természet Világa, 145, 74-78 nyomán
- ²⁹ Törőcsik, T., Náfrádi, K., Sümegi, P. 2015. *Komplex archeobotanika*. Geolitera Kiadó, Szeged.
- ³⁰ Jacobson, G.L., Bradshaw, R.H.W. 1981. The selection of sites for palaeovegetational studies. *Quaternary Research*, 16, 80-96.
- ³¹ Törőcsik, T., Náfrádi, K., Sümegi, P. 2015. *Komplex archeobotanika*. Geolitera Kiadó, Szeged nyomán
- ³² Törőcsik, T., Náfrádi, K., Sümegi, P. 2015. *Komplex archeobotanika*. Geolitera Kiadó, Szeged nyomán

- ³³ Töröcsik, T., Náfrádi, K., Sümegi, P. 2015. *Komplex archeobotanika*. Geolitera Kiadó, Szeged nyomán
- ³⁴ Bennett, K.D. 1992. PSIMPOLL - A quickBasic program that generates PostScript page description of pollen diagrams. INQUA Commission for the study of the Holocene: working group on data handling methods. Newsletter 8: 11-12. Bennett, K. D. 2005. Documentation for psimpoll 4.25 and pscomb 1.03: C programs for plotting pollen diagrams and analysing pollen data. Department of Earth Sciences, University of Uppsala.
- ³⁵ Rudner, E.Z. 2001. *Felső-pleisztocén vegetációtörténeti és paleoökológiai elemzések Magyarországról faszénmaradványok alapján*. PhD dolgozat, Pécs-Budapest. Náfrádi, K. 2012. *Régészeti lelőhelyek szenült faanyagának határozása és értékelése a geoarcheológiai kutatásokban*. SZTE TTIK Földtani és Őslénytani Tanszék, PhD dolgozat, Szeged. Misi, D. 2017. *Magyarországi erdeifenyő állományok komplex dendroklimatológiai elemzése az elmúlt 100 év klímaváltozásának tükrében*. SZTE TTIK Földtani és Őslénytani Tanszék, PhD dolgozat, Szeged.
- ³⁶ Náfrádi, K. 2012. *Régészeti lelőhelyek szenült faanyagának határozása és értékelése a geoarcheológiai kutatásokban*. SZTE TTIK Földtani és Őslénytani Tanszék, PhD dolgozat, Szeged.
- ³⁷ Misi, D. 2017. *Magyarországi erdeifenyő állományok komplex dendroklimatológiai elemzése az elmúlt 100 év klímaváltozásának tükrében*. SZTE TTIK Földtani és Őslénytani Tanszék, PhD dolgozat, Szeged.
- ³⁸ Misi, D. 2017. *Magyarországi erdeifenyő állományok komplex dendroklimatológiai elemzése az elmúlt 100 év klímaváltozásának tükrében*. SZTE TTIK Földtani és Őslénytani Tanszék, PhD dolgozat, Szeged. Horváth, E. 2004. Az évgyűrűs kormeghatározás hidrológiai vonatkozásai. *Hidrológiai Közlöny*, 84, 37-57.
- ³⁹ Misi, D. 2017. *Magyarországi erdeifenyő állományok komplex dendroklimatológiai elemzése az elmúlt 100 év klímaváltozásának tükrében*. SZTE TTIK Földtani és Őslénytani Tanszék, PhD dolgozat, Szeged.
- ⁴⁰ Misi, D. 2017. *Magyarországi erdeifenyő állományok komplex dendroklimatológiai elemzése az elmúlt 100 év klímaváltozásának tükrében*. SZTE TTIK Földtani és Őslénytani Tanszék, PhD dolgozat, Szeged.
- ⁴¹ Misi, D. 2017. *Magyarországi erdeifenyő állományok komplex dendroklimatológiai elemzése az elmúlt 100 év klímaváltozásának tükrében*. SZTE TTIK Földtani és Őslénytani Tanszék, PhD dolgozat, Szeged.
- ⁴² Horváth, E. 2004. Az évgyűrűs kormeghatározás hidrológiai vonatkozásai. *Hidrológiai Közlöny*, 84, 37-57.
- ⁴³ Ivantsov, A. Y. 2009. New reconstruction of *Kimberella*, problematic Vendian metazoan. *Paleontological Journal*, 43(6), 601.
- ⁴⁴ https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/2011_0001_521_Allattan/index.html
- ⁴⁵ Fűkőh, L. 2012. Adatok az egri édesvízi mészkő üledékek pleisztocén Mollusca-faunájához. *Malakológiai Tájékoztató*, 30, 21-30.
- ⁴⁶ Giese, A. (ed.). (2012). *Reproduction of Marine Invertebrates V5: Molluscs: Pelecypods and Lesser Classes*. Elsevier.
- ⁴⁷ Giese, A. (ed.). (2012). *Reproduction of Marine Invertebrates V5: Molluscs: Pelecypods and Lesser Classes*. Elsevier.
- ⁴⁸ Giese, A. (ed.). (2012). *Reproduction of Marine Invertebrates V5: Molluscs: Pelecypods and Lesser Classes*. Elsevier. Yacobbuci, M.M. 2015. *Ammonoid Paleobiology: From macroevolution to paleogeography*. Springer, Amsterdam.
- ⁴⁹ Giese, A. (ed.). (2012). *Reproduction of Marine Invertebrates V5: Molluscs: Pelecypods and Lesser Classes*. Elsevier. Yacobbuci, M.M. 2015. *Ammonoid Paleobiology: From macroevolution to paleogeography*. Springer, Amsterdam. Sessa, J.A., Larina, E., Knoll, K., Garb, M., Cochran, J. K., Huber, B.T., Landman, N.H. 2015. Ammonite habitat revealed via isotopic composition and comparisons with co-occurring benthic and planktonic organisms. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(51), 15562-15567.)
- ⁵⁰ Giese, A. (ed.). (2012). *Reproduction of Marine Invertebrates V5: Molluscs: Pelecypods and Lesser Classes*. Elsevier. Yacobbuci, M.M. 2015. *Ammonoid Paleobiology: From macroevolution to paleogeography*. Springer, Amsterdam.
- ⁵¹ Sessa, J.A., Larina, E., Knoll, K., Garb, M., Cochran, J. K., Huber, B.T., Landman, N.H. 2015. Ammonite habitat revealed via isotopic composition and comparisons with co-occurring benthic and planktonic organisms. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(51), 15562-15567.)
- ⁵² Giese, A. (ed.). (2012). *Reproduction of Marine Invertebrates V5: Molluscs: Pelecypods and Lesser Classes*. Elsevier. Yacobbuci, M.M. 2015. *Ammonoid Paleobiology: From macroevolution to paleogeography*. Springer, Amsterdam. Sessa, J.A., Larina, E., Knoll, K., Garb, M., Cochran, J. K., Huber, B.T., Landman, N.H. 2015. Ammonite habitat revealed via isotopic composition and comparisons with co-occurring benthic and planktonic organisms. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(51), 15562-15567.)
- ⁵³ Giese, A. (ed.). (2012). *Reproduction of Marine Invertebrates V5: Molluscs: Pelecypods and Lesser Classes*. Elsevier. Yacobbuci, M.M. 2015. *Ammonoid Paleobiology: From macroevolution to paleogeography*. Springer, Amsterdam. Sessa, J.A., Larina, E., Knoll, K., Garb, M., Cochran, J. K., Huber, B.T., Landman, N.H. 2015. Ammonite habitat revealed via isotopic composition and comparisons with co-occurring benthic and planktonic organisms. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(51), 15562-15567.) Klug, C., Korn, D., De Baets, K., Kruta, I., Mapes, R.H. eds. 2015. *Ammonoid paleobiology: from macroevolution to paleogeography*. Springer, Berlin.
- ⁵⁴ Giese, A. (ed.). (2012). *Reproduction of Marine Invertebrates V5: Molluscs: Pelecypods and Lesser Classes*. Elsevier. Yacobbuci, M.M. 2015. *Ammonoid Paleobiology: From macroevolution to paleogeography*. Springer, Amsterdam. Klug, C., Korn, D., De Baets, K., Kruta, I., Mapes, R.H. eds. 2015. *Ammonoid paleobiology: from macroevolution to paleogeography*. Springer, Berlin.
- ⁵⁵ Giese, A. (ed.). (2012). *Reproduction of Marine Invertebrates V5: Molluscs: Pelecypods and Lesser Classes*. Elsevier. Yacobbuci, M.M. 2015. *Ammonoid Paleobiology: From macroevolution to paleogeography*. Springer, Amsterdam. Klug, C., Korn, D., De Baets, K., Kruta, I., Mapes, R.H. eds. 2015. *Ammonoid paleobiology: from macroevolution to paleogeography*. Springer, Berlin.
- ⁵⁶ Klug, C., Korn, D., De Baets, K., Kruta, I., Mapes, R.H. eds. 2015. *Ammonoid paleobiology: from macroevolution to paleogeography*. Springer, Berlin
- ⁵⁷ Klug, C., Korn, D., De Baets, K., Kruta, I., Mapes, R.H. eds. 2015. *Ammonoid paleobiology: from macroevolution to paleogeography*. Springer, Berlin

- ⁵⁸ Hebdon, N., Ritterbush, K. A., Choi, Y. 2020. Computational fluid dynamics modeling of fossil ammonoid shells. *Palaeontologia Electronica*, 23(1). Fitos, A. 2018. Ismeretlen ismerősök: az Ammonoideák titkos élete.
- ⁵⁹ Giese, A. (ed.). (2012). *Reproduction of Marine Invertebrates V5: Molluscs: Pelecypods and Lesser Classes*. Elsevier. Yacobbuci, M.M. 2015. Ammonoid Paleobiology: From macroevolution to paleogeography. Springer, Amsterdam. Klug, C., Korn, D., De Baets, K., Kruta, I., Mapes, R.H. eds. 2015. *Ammonoid paleobiology: from macroevolution to paleogeography*. Springer, Berlin. De Baets, K., Hoffmann, R., Sessa, J. A., Klug, C. 2016. Fossil focus: ammonoids. *Palaeontology online*, 1-15.
- ⁶⁰ Giese, A. (ed.). (2012). *Reproduction of Marine Invertebrates V5: Molluscs: Pelecypods and Lesser Classes*. Elsevier. Yacobbuci, M.M. 2015. Ammonoid Paleobiology: From macroevolution to paleogeography. Springer, Amsterdam. Klug, C., Korn, D., De Baets, K., Kruta, I., Mapes, R.H. eds. 2015. *Ammonoid paleobiology: from macroevolution to paleogeography*. Springer, Berlin. De Baets, K., Hoffmann, R., Sessa, J. A., Klug, C. 2016. Fossil focus: ammonoids. *Palaeontology online*, 1-15.
- ⁶¹ Giese, A. (ed.). (2012). *Reproduction of Marine Invertebrates V5: Molluscs: Pelecypods and Lesser Classes*. Elsevier. Yacobbuci, M.M. 2015. Ammonoid Paleobiology: From macroevolution to paleogeography. Springer, Amsterdam. Klug, C., Korn, D., De Baets, K., Kruta, I., Mapes, R.H. eds. 2015. *Ammonoid paleobiology: from macroevolution to paleogeography*. Springer, Berlin. De Baets, K., Hoffmann, R., Sessa, J. A., Klug, C. 2016. Fossil focus: ammonoids. *Palaeontology online*, 1-15. Hebdon, N., Ritterbush, K. A., Choi, Y. 2020. Computational fluid dynamics modeling of fossil ammonoid shells. *Palaeontologia Electronica*, 23(1). Fitos, A. 2018. Ismeretlen ismerősök: az Ammonoideák titkos élete.
- ⁶² Vörös A. 1992. Középső-triász (felső-anizuszi) ammonoidea paleobiogeográfia az alp-kárpáti régióban. *Őslénytani Viták*, 38, 71-77. Vörös, A. 1993. Redefinition of the Reitzi Zone at its type region (Balaton area, Hungary) as the basal zone of the Ladinian. *Acta Geologica Hungarica*, 36(1), 15-38. Vörös, A. 1998. A Balaton-felvidék triász ammonoideái és biosztratiográfiája. *Studia Naturalia*, 12, 1-104.
- ⁶³ Haas, J. 1982. Facies analysis of the cyclic Dachstein Limestone Formation (Upper Triassic) in the Bakony Mountains, Hungary. *Facies*, 6, 75-83. Haas, J. 2004. Characteristics of peritidal facies and evidences for subaerial exposures in Dachstein-type cyclic platform carbonates in the Transdanubian Range, Hungary. *Facies*, 50, 263-286. Haas, J., Lobitzer, H., Monostori, M. 2007. Characteristics of the Lofér cyclicity in the type locality of the Dachstein Limestone (Dachstein Plateau, Austria). *Facies*, 53(1), 113-126.
- ⁶⁴ Főzy, I., Szente, I. 2012. Ősmeradványok – A Kárpát-Pannon térség kövületei. GeoLittera Kiadó, Szeged. Yacobbuci, M.M. 2015. Ammonoid Paleobiology: From macroevolution to paleogeography. Springer, Amsterdam.
- ⁶⁵ Főzy, I., Szente, I. 2012. Ősmeradványok – A Kárpát-Pannon térség kövületei. GeoLittera Kiadó, Szeged. Yacobbuci, M.M. 2015. Ammonoid Paleobiology: From macroevolution to paleogeography. Springer, Amsterdam. Császár, G., Haas, J., Sztanó, O., Szinger, B. 2012. From Late Triassic passive to Early Cretaceous active continental margin of dominantly carbonate sediments in the Transdanubian Range, Western Tethys. *Journal of the Alpine Geology*, 54, 33-99
- ⁶⁶ Woollacott, R. M., Zimmer, R. L. (eds.). (2013). *Biology of bryozoans*. Elsevier, New York.
- ⁶⁷ Woollacott, R. M., Zimmer, R. L. (eds.). (2013). *Biology of bryozoans*. Elsevier, New York.
- ⁶⁸ Woollacott, R. M., Zimmer, R. L. (eds.). (2013). *Biology of bryozoans*. Elsevier, New York.
- ⁶⁹ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ⁷⁰ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ⁷¹ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ⁷² <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ⁷³ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ⁷⁴ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ⁷⁵ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ⁷⁶ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ⁷⁷ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ⁷⁸ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ⁷⁹ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ⁸⁰ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ⁸¹ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ⁸² <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ⁸³ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ⁸⁴ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ⁸⁵ https://www.eletestudomany.hu/tuskesboru_koronatanuk
- ⁸⁶ <https://www.origo.hu/tudomany/20110329-tengerek-oceanok-elovilaga-elveszett-vilag-tengeri-liliomok-csillagok-adiralty-magaslat.html>
- ⁸⁷ <https://www.origo.hu/tudomany/20110329-tengerek-oceanok-elovilaga-elveszett-vilag-tengeri-liliomok-csillagok-adiralty-magaslat.html>
- ⁸⁸ <https://www.origo.hu/tudomany/20110329-tengerek-oceanok-elovilaga-elveszett-vilag-tengeri-liliomok-csillagok-adiralty-magaslat.html>
- ⁸⁹ Dulai, A. 2020. *Eocén élővilág a Kárpát-medencében*. Természettár Könyvsorozat, Budapest.
- ⁹⁰ Dulai, A. 2005. Badenian (Middle Miocene) Polyplacophora from the Central Paratethys (Bánd and Devecser, Bakony Mountains, Hungary). *Fragmenta Palaeontologica Hungarica*, 23, 29-50. https://www.eletestudomany.hu/tuskesboru_koronatanuk
- ⁹¹ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ⁹² <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ⁹³ Galász A. 1992. *Ősállattani praktikum*. Tankönyvkiadó, Budapest. Pokorny, V. 1998. *Introduction to Marine Micropaleontology*. Elsevier, New York. Tóth, E. 2009. *Őskörnyezeti változások a Középső-Paratethysben a szarmata folyamán a mikrofauna őslénytani és geokémiai vizsgálata alapján*. PhD értekezés, Budapest/Lyon.

- ⁹⁴ Galác A. 1992. *Ősállattani praktikum*. Tankönyvkiadó, Budapest. Pokorny, V. 1998. *Introduction to Marine Micropaleontology*. Elsevier, New York. Tóth, E. 2009. *Őskörnyezeti változások a Középső-Paratethysben a szarmata folyamán a mikrofauna őslénytani és geokémiai vizsgálata alapján*. PhD értekezés, Budapest/Lyon.
- ⁹⁵ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ⁹⁶ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html> Kövér, Cs. 2016. Magashegyi tavak paleoökológiai vizsgálata a Déli-Kárpátokban. PhD értekezés, Sopron.
- ⁹⁷ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ⁹⁸ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ⁹⁹ Maletz, J. 2017. *Graptolite paleobiology*. John Wiley, New York. Kozłowska, A. 2015. Evolutionary history of the Gothograptus lineage of the Retiolitidae (Graptolithina). *Estonian Journal of Earth Sciences*, 64, 1. <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ¹⁰⁰ Maletz, J. 2017. *Graptolite paleobiology*. John Wiley, New York. Kozłowska, A. 2015. Evolutionary history of the Gothograptus lineage of the Retiolitidae (Graptolithina). *Estonian Journal of Earth Sciences*, 64, 1. <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ¹⁰¹ Maletz, J. 2017. *Graptolite paleobiology*. John Wiley, New York. Kozłowska, A. 2015. Evolutionary history of the Gothograptus lineage of the Retiolitidae (Graptolithina). *Estonian Journal of Earth Sciences*, 64, 1. <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ¹⁰² <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ¹⁰³ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ¹⁰⁴ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ¹⁰⁵ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ¹⁰⁶ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ¹⁰⁷ Gould, S.J. 1990. *Wonderful life: the Burgess Shale and the nature of history*. WW Norton & Company, New York. Allison P.A., Briggs D.E.G., 1993. The Burgess Shale biota: burrowed? away? *Lethaia*, 184-185. Yochelson, E.L. 1996. Discovery, collection, and description of the Middle Cambrian Burgess Shale biota by Charles Doolittle Walcott. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 469-545. Dornbos, S.Q., Bottjer, D.J., Chen, J.Y. 2005. Paleocology of benthic metazoans in the Early Cambrian Maotianshan Shale biota and the Middle Cambrian Burgess Shale biota: evidence for the Cambrian substrate revolution. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 220, 47-67. Zhang, X., Liu, W., Zhao, Y. 2008. Cambrian Burgess Shale-type Lagerstätten in south China: distribution and significance. *Gondwana Research*, 14, 255-262
- ¹⁰⁸ Gould, S.J. 1990. *Wonderful life: the Burgess Shale and the nature of history*. WW Norton & Company, New York. Allison P.A., Briggs D.E.G., 1993. The Burgess Shale biota: burrowed? away? *Lethaia*, 184-185. Yochelson, E.L. 1996. Discovery, collection, and description of the Middle Cambrian Burgess Shale biota by Charles Doolittle Walcott. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 469-545. Dornbos, S.Q., Bottjer, D.J., Chen, J.Y. 2005. Paleocology of benthic metazoans in the Early Cambrian Maotianshan Shale biota and the Middle Cambrian Burgess Shale biota: evidence for the Cambrian substrate revolution. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 220, 47-67. Zhang, X., Liu, W., Zhao, Y. 2008. Cambrian Burgess Shale-type Lagerstätten in south China: distribution and significance. *Gondwana Research*, 14, 255-262
- ¹⁰⁹ Gould, S.J. 1990. *Wonderful life: the Burgess Shale and the nature of history*. WW Norton & Company, New York. Allison P.A., Briggs D.E.G., 1993. The Burgess Shale biota: burrowed? away? *Lethaia*, 184-185. Yochelson, E.L. 1996. Discovery, collection, and description of the Middle Cambrian Burgess Shale biota by Charles Doolittle Walcott. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 469-545. Dornbos, S.Q., Bottjer, D.J., Chen, J.Y. 2005. Paleocology of benthic metazoans in the Early Cambrian Maotianshan Shale biota and the Middle Cambrian Burgess Shale biota: evidence for the Cambrian substrate revolution. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 220, 47-67. Zhang, X., Liu, W., Zhao, Y. 2008. Cambrian Burgess Shale-type Lagerstätten in south China: distribution and significance. *Gondwana Research*, 14, 255-262
- ¹¹⁰ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ¹¹¹ Long, J. A., Gordon, M. S. 2004. The greatest step in vertebrate history: a paleobiological review of the fish-tetrapod transition. *Physiological and biochemical zoology*, 77, 700-719. <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ¹¹² Long, J. A., Gordon, M. S. 2004. The greatest step in vertebrate history: a paleobiological review of the fish-tetrapod transition. *Physiological and biochemical zoology*, 77, 700-719. <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ¹¹³ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ¹¹⁴ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ¹¹⁵ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ¹¹⁶ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ¹¹⁷ Galác A. 1992. *Ősállattani praktikum*. Tankönyvkiadó, Budapest. <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ¹¹⁸ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ¹¹⁹ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>, Galác A. 1992. *Ősállattani praktikum*. Tankönyvkiadó, Budapest
- ¹²⁰ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>, Galác A. 1992. *Ősállattani praktikum*. Tankönyvkiadó, Budapest.
- ¹²¹ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>, Galác A. 1992. *Ősállattani praktikum*. Tankönyvkiadó, Budapest.
- ¹²² <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>, Galác A. 1992. *Ősállattani praktikum*. Tankönyvkiadó, Budapest.
- ¹²³ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>, Galác A. 1992. *Ősállattani praktikum*. Tankönyvkiadó, Budapest.

-
- ¹²⁴ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>, Galácz A. 1992. *Ősállattani praktikum*. Tankönyvkiadó, Budapest.
- ¹²⁵ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>, Galácz A. 1992. *Ősállattani praktikum*. Tankönyvkiadó, Budapest.
- ¹²⁶ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>, Galácz A. 1992. *Ősállattani praktikum*. Tankönyvkiadó, Budapest.
- ¹²⁷ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>, Galácz A. 1992. *Ősállattani praktikum*. Tankönyvkiadó, Budapest.
- ¹²⁸ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ¹²⁹ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ¹³⁰ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ¹³¹ <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ¹³² <https://docplayer.hu/1555232-Paleontologia-jegyzet.html>
- ¹³³ Domning, D.P. 2018. Sirenian evolution. In: *Encyclopedia of marine mammals* Academic Press, New York, 856-859.
- Bajpai, S., Thewissen, J.G.M., Kapur, V.V., Tiwari, B. N., Sahni, A. 2006. Eocene and Oligocene sirenians (Mammalia) from Kachchh, India. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 26, 400-410.
- Simpson, G. G. 1932. *Fossil Sirenia of Florida: and the Evolution of the Sirenia*. order of the Trustees, American Museum of Natural History.
- ¹³⁴ Whitmore, F. C., Gard, L. M. 1977. *Steller's sea cow (Hydrodamalis gigas) of late Pleistocene age from Amchitka, Aleutian Islands, Alaska* (No. 1036). US Govt. Print. Off..
- ¹³⁵ de Muizon, C. 2009. Origin and evolutionary history of cetaceans. *Comptes Rendus Palevolution*, 8, 295-309.
- De Buffrenil, V., De Ricqlès, A., Ray, C.E., Domning, D.P. 1990. Bone histology of the ribs of the archaeocetes (Mammalia: Cetacea). *Journal of Vertebrate Paleontology*, 10, 455-46