

**Закарпатський угорський інститут ім. Ференца Ракоці ІІ**

**Кафедра біології та хімії**

Реєстраційний № \_\_\_\_\_

**Кваліфікаційна робота**  
**ВИВЧЕННЯ ЗМІНИ РОСЛИННОСТІ МІСТА УЖГОРОД**

**ОРОС НІКОЛЕТТ МИХАЙЛІВНА**

Студентка ІІ-го курсу

Освітня програма 091 Біологія

Ступінь вищої освіти: магістр

Тема затверджена Вченою радою ЗУІ

Протокол № \_\_ від \_\_ \_\_\_\_\_ 2022 року

Науковий керівник:

**Гаднадь Іштван Іштванович**

**доктор філософії, доцент**

Консультант:

**Молнар Федір Федорович**

**магістр, викладач**

Завідувач кафедри біології та хімії:

**Когут Ержебет Імріївна**

**доктор філософії, доцент**

Робота захищена на оцінку \_\_\_\_\_, «\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 року

Протокол № \_\_\_\_\_ / 2023

**Закарпатський угорський інститут ім. Ференца Ракоці II**

**Кафедра біології та хімії**

**Кваліфікаційна робота**  
**ВИВЧЕННЯ ЗМІНИ РОСЛИННОСТІ МІСТА УЖГОРОД**

Ступінь вищої освіти: магістр

Виконала: студентка II-го курсу

**Орос Ніколетт Михайлівна**

Освітня програма 091 Біологія

Науковий керівник: **Гаднадь Іштван Іштванович**

**доктор філософії, доцент**

Консультант: **Молнар Федір Федорович**

**магістр, викладач**

Рецензент: **Андрик Єва Йозефівна**

**кандидат біологічних наук, доцент**

Берегово

2023

**II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola**

**Biológia és Kémia Tanszék**

**A VÁROSI ZÖLDFELÜLET VÁLTOZÁSÁNAK VIZSGÁLATA  
UNGVÁR TERÜLETÉN**

**Diplomamunka**

Képzési szint: mesterképzés

**Készítette: Orosz Nikolett**

II. évfolyamos hallgató

Képzési program: 091 Biológia

**Témavezető: Hadnagy István**

**PhD, docens**

**Konzulens: Molnár Ferenc**

**MSc, tanár**

Recenzens: **Andrik Éva**

**a biológiai tudományok kandidátusa, docens**

Beregszász, 2023

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	8
<b>I. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД</b> .....	10
1.1. Ознаки зеленої інфраструктури.....	10
1.1.1. Елементи зеленої інфраструктури: комплексна зелена зона та зелені насадження.....	10
1.1.2. Історичний розвиток комплексних зелених зон міст.....	10
1.1.3. Значення комплексної зеленої зони в містобудуванні ХХІ століття.....	11
1.1.4. Функції та ефекти комплексних зелених зон, як елементів екологічної системи міста.....	11
1.1.5. Взаємозв'язок комплексних зелених зон та проявів зміни клімату в містах.....	12
1.1.6. Стан комплексних зелених зон в більших містах України.....	14
1.2. Дистанційне зондування Землі та його місце в дослідженнях у галузі природничих наук.....	15
1.2.1. Форми дистанційного зондування Землі.....	16
1.2.2. Складові системи ДДЗ.....	16
1.2.2.1. Класифікація штучних супутників та їх орбіт.....	17
1.2.3. Основи дослідження рослинності за допомогою ДДЗ.....	17
1.3. Застосування NDVI у дослідженні рослинності та різних об'єктів.....	18
1.4. Застосування індексу умов вегетації при оцінці комплексних зелених зон.....	20
1.5. Застосовність LST.....	21
<b>II. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ</b> .....	22
2.1. Характеристика дослідженої території.....	22
2.2. Характеристика використаних супутників.....	23
2.3. Хід визначення NDVI.....	25
2.4. Хід визначення індексу умов вегетації.....	27
2.5. Хід визначення LST.....	28
2.6. Підсумовування та обчислення змін.....	30
2.7. Дослідження залежності.....	31
<b>III. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ</b> .....	33
3.1. Результати визначення NDVI.....	33
3.2. Результати визначення індексу умов вегетації.....	38

3.3. Результати визначення LST .....	42
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	48
<b>РЕЗЮМЕ</b> .....	50
<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ</b> .....	53
<b>СПИСОК РИСУНКІВ</b> .....	59
<b>СПИСОК ТАБЛИЦЬ</b> .....	61
<b>ДОДАТКИ</b> .....	62

## TARTALOMJEGYZÉK

<b>BEVEZETŐ</b> .....	8
<b>I. IRODALMI ÁTTEKINTÉS</b> .....	10
1.1. A zöld infrastruktúra sajátosságai .....	10
1.1.1. A zöld infrastruktúra elemei: zöldfelületek és zöldterületek .....	10
1.1.2. A városi zöldfelületek történelmi fejlődése .....	10
1.1.3. A zöldfelület jelentősége a XXI. századi várostervezésben.....	11
1.1.4. A zöldfelület funkciói és hatásai a város ökológiai rendszerének részeként .....	11
1.1.5. A városi zöldfelület és a városklíma alakulásának viszonya .....	12
1.1.6. Zöldfelületek helyzete Ukrajna nagyobb városaiban.....	14
1.2. A távérzékelés és helye a természettudományos kutatásokban .....	15
1.2.1. A távérzékelés formái .....	16
1.2.2. A távérzékelő rendszer elemei .....	16
1.2.2.1. A mesterséges holdak és pályáik kategorizálása .....	17
1.2.3. A növényzet távérzékeléssel történő vizsgálatának alapjai .....	17
1.3. Az NDVI a növényzet és egyéb objektumok vizsgálatának szolgálatában .....	18
1.4. A ZFI a zöldfelületek elemzésében .....	20
1.5. Az LST alkalmazhatósága .....	21
<b>II. ANYAG ÉS MÓDSZER</b> .....	22
2.1. A vizsgálati terület jellemzői .....	22
2.2. A kutatás során felhasznált műholdak jellemzői .....	23
2.3. Az NDVI meghatározásának menete.....	25
2.4. A ZFI meghatározásának menete .....	27
2.5. Az LST meghatározásának menete.....	28
2.6. Változások kimutatása és számszerűsítése .....	30
2.7. Összefüggések vizsgálata .....	31
<b>III. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS</b> .....	33
3.1. Az NDVI meghatározásának eredményei.....	33
3.2. A ZFI meghatározásának eredményei .....	38
3.3. Az LST meghatározásának eredményei .....	42
<b>ÖSSZEFOGLALÁS (magyar)</b> .....	48
<b>ÖSSZEFOGLALÁS (ukrán)</b> .....	50

<b>IRODALOMJEGYZÉK</b> .....	53
<b>ÁBRÁK JEGYZÉKE</b> .....	59
<b>TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE</b> .....	61
<b>MELLÉKLET</b> .....	62

## BEVEZETŐ

A felgyorsult urbanizáció következményeként napjainkban már nemcsak a nagyvárosok, hanem a kisebb települések lakói is egyre szélsőségesebb helyi klímaviszonyoknak vannak kitéve (UNGER, 2010). A városklíma okozta terheléseket és káros hatásokat, melyek az emberiség körülbelül felét érintik, a zöldfelületek képesek enyhíteni (KOLCSÁR – SZILASSI, 2017). A városi zöldfelület ugyanis befolyásolni képes többek között a levegő minőségét, a termikus komfortviszonyokat és a zajterhelés mértékét, élhetőbb környezetet teremtve ezzel a beépített városrészekben, a városi lakosság életminőségét meghatározó tényezőként (MIKLE, 2005; KARANCSI et al., 2016; CSAPÓ – BARANYAI, 2014).

Mára már számtalan bizonyíték állt elő afelől, hogy a zöldfelületek pozitív hatást fejtenek ki a lakosság mentális és fizikai egészségére, biztosítják az ökológiai értékek és a biodiverzitás megőrzését, s mindezekben túl, esztétikai hatásuk révén pozitív gazdasági hatásaik is tetten érhetők az ingatlanpiacon és a turizmusban (PÁLDY – SZIGETI – MAGYAR, 2019; OLÁH, 2012; MIKLE, 2005; JANSSON, 2014).

Mindezek fényében egyértelművé válik, hogy a zöldfelületek monitorozása, állapotuk értékelése, nyomon követése, s a szükségesnél kisebb kiterjedésük, netán nem megfelelő, egyenetlen megoszlásuk esetén a szükséges beavatkozások lebonyolítása elengedhetetlen feladat, mely egyre nagyobb aktualitást élvez környezet-egészségügyi, környezetvédelmi és ökológiai szempontból egyaránt.

A diplomamunka elkészítése során kitűzött céljaink között szerepelt a Landsat-8 és a Sentinel-2 műholdak felvételein végzett számítások alapján a normalizált vegetációs index (NDVI) meghatározása Ungvár város területére vonatkozóan, 2017-2022 közötti időszakot lefedően, valamint az említett index értékei alapján a város területén mérhető zöldfelület-intenzitás (ZFI), s annak vizsgált perióduson belüli évenkénti változásának meghatározása, a kapott NDVI-értékek és ZFI-értékek térképi megjelenítése, a zöldfelület-intenzitás értékeiben bekövetkező változások ábrázolása különbségtérképek segítségével, területszámítással történő számszerűsítése.

A vizsgálatok kiegészítéseként a város területén 2017 és 2022 között jellemző felszínhőmérsékleti értékek műholdfelvételeken végzett LST-számítással történő meghatározását és térképi megjelenítését tűztük ki célul.

A feltételezésünk az volt, hogy a kapott felszínhőmérsékleti értékek alakulása összefüggést mutat a zöldfelület viszonyaival: a város beépített részein, ahol a számítások alacsonyabb NDVI-értékeket, illetve ZFI-értékeket eredményeznek, magasabb



felszínhőmérsékleti értékekkel, a vegetációval nagyobb részarányban borított városrészeken pedig alacsonyabb felszínhőmérsékleti értékekkel találkozhatunk.

Az említett változók között fennálló összefüggéseket korreláció-analízis segítségével szeretnénk volna alátámasztani, s egyben megvizsgálni az összefüggés szorosságában mutatkozó eltéréseket azonos és eltérő műholdak felvételeiből számított indexek, értékek esetében.

## I. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

### 1.1. A zöld infrastruktúra sajátosságai

#### 1.1.1. A zöld infrastruktúra elemei: zöldfelületek és zöldterületek

Az ökoszisztéma szolgáltatások nyújtására képes, természetes és félig természetes, növényzettel borított, ökológiai funkciót betöltő területek hálózatát zöld infrastruktúrának nevezzük. Ezen hálózat gerincét a zöldfelületek és a vízfelületek adják (HANCZ – KOSINA, 2019).

A zöldfelületeken belül kiemelten fontos szerephez jutnak a zöldterületek. A két fogalom eltérő jelentéssel bír, így elkülönítésük elengedhetetlen. Zöldfelület alatt egy város valamennyi vegetációval borított felszínét, a városi térben kibontakozó effektív zöld növényi felszínét értjük, melynek részhalmazát képezik a zöld területek (KOLCSÁR, 2022; KOLCSÁR – SZILASSI, 2017). Zöldterület alatt a jogszabályokban meghatározott kritériumoknak megfelelő területhasználati kategóriát, valamennyi növényzettel borított közterületet értünk, mely közvetlenül megközelíthető, s beépíthetősége nem haladhatja meg a 3%-ot (KOLCSÁR, 2022).

A városi zöldfelület részét képezhetik kisebb zöldfelületi elemek (pl. utcai fasorok, út menti növényzet), nyilvános hozzáférésre vagy rekreációs célokra nem elérhető zöldterületek (pl. zöldtetők), s nagyobb zöldterületek, melyek különféle szociális, rekreációs feladatokat képesek ellátni (pl. parkok, játszóterek) (WHO, 2017).

Egy város zöldfelületi rendszerébe tartoznak a kifejezetten zöldfelületi létesítmények elhelyezésére szolgáló területek mellett a magánterületek kötelékébe tartozó zöldfelületek is (OLÁH, 2012).

#### 1.1.2. A városi zöldfelületek történelmi fejlődése

A zöldfelületek történelmi fejlődését illetően elmondható, hogy a városi zöldterületek önálló funkcionális övként való elkülönítése a 20. század utolsó évtizedeiben következett be, amikor a rekreáció és a sport megnövekedett jelentősége vált tapasztalhatóvá (CSAPÓ – BARANYAI, 2014).

A települési zöldfelületek már az ókorban is léteztek, ám akkor céljuk kizárólag a hatalom reprezentációja és személyi szükségletek kielégítése volt, esetükben egységes rendszer kialakítására nem törekedtek. Hasonlóképp a középkorban kialakított kertek is kizárólag magáncélokot szolgáltak, magántulajdon részeként. A mai értelemben vett zöldfelületi rendszer kialakulása az ipari forradalom hatására megnövekedett területű

városokban következett be, elsőként az Amerikai Egyesült Államokban. Ekkor már célzottan, a városlakók pszichés jólléte, a városi szövet „fellazítása” érdekében születtek a homogén lakó- és ipari területek váltakozását megszakítani hivatott zöldfelületi rendszertervek (OLÁH, 2012).

### **1.1.3. A zöldfelület jelentősége a XXI. századi várostervezésben**

A zöldterületek rendkívül fontosak környezet-egészségügyi, környezetvédelmi, ökológiai, esztétikai és használati szempontból. A városi lakosság életminőségének meghatározó tényezője a környezetében található vegetáció (CSAPÓ – BARANYAI, 2014). Jelentősége az ökoszisztéma szolgáltatásokban nyilvánul meg, amik alatt a vegetáció által biztosított pozitív hatásokat értjük (KOLCSÁR, 2022).

Az Európai Bizottság Zöldinfrastruktúra Stratégiája a fenntarthatóság és élhetőség fundamentumaként értelmezi a zöldfelületek és élővizek nyújtotta ökoszisztéma szolgáltatásokat. Az EU stratégiája szerint ez a városi környezetben egy biológiailag aktív felületekből (zöldfelületek, nyílt vízfelületek) álló térszerkezeti rendszer, mely javítani képes a települési táj élhetőségét (M. SZILÁGYI – VASZÓCSIK, 2022).

A zöldfelület a város ökológiai állapotának indikátoraként szolgál, így a vegetációval borított területek jelenléte minden város esetében elengedhetetlen, adminisztratív és gazdasági státuszukra való tekintet nélkül. A természetes közeg szolgáltatójaként a városi zöldfelület teszi lehetővé a városlakók számára a természettel való kapcsolattartást (НАЗАРУК – ЖУК, 2013). A közparkok, fásított körzetek, közkertek és a városokat körülvevő erdők megfelelő környezetként szolgálnak a polgárok szabadidejének természetben való eltöltéséhez, a pihenéshez és a rekreációhoz (КУЗИК, 2019).

A Natural England által Angliában felállított szabvány javaslata szerint minden városlakónak rendelkeznie kell azzal a lehetőséggel, hogy legfeljebb 300 m távolságban (5 perc séta) egy legalább 2 ha nagyságú zöldfelületet, a lakóhelyétől számított 2 kilométeren belül egy 20 ha területűt, 5 kilométeren belül egy 100 ha, 10 kilométeren belül pedig egy 500 ha kiterjedésű zöldfelületet látogathasson. További javaslata, hogy ezer lakosra legalább 1 ha kiterjedésű természetvédelmi terület jusson (WHO, 2016).

### **1.1.4. A zöldfelület funkciói és hatásai a város ökológiai rendszerének részeként**

A városi zöldfelület funkciója a város ökológiai rendszerében betöltött szerepéből adódik. A zöldfelület növényei hozzájárulnak a levegő minőségének javításához, a levegő szén-dioxid tartalmának felvételével és oxigén kibocsátásával (MIKLE, 2005). A levélfelületek gyanta és

levélszőrök biztosította pormegkötő hatásának köszönhetően a városi növényzet segíti az ülepedő por szűrését, s így a levegő tisztulását ezúton is. Fontos szerepet tölt be a szelek megtörésében, s ezzel a viharkárok enyhítésében, a város hófúvásoktól és homoklerakódásoktól való védelmében, az evapotranszspirációnak és az árnyékolásnak köszönhetően a városklíma kondicionálásában, s így a városi hősziget tompításában. A nyári hónapokban a fák árnyékában akár 7-8 °C-kal alacsonyabb hőmérsékletet mérhetünk a vegetációval nem borított, s árnyékban nem részesülő területekhez viszonyítva (KOLCSÁR, 2022).

A termikus komfortviszonyok kialakítása mellett a zöldfelületek csökkentik a zajterhelés mértékét, ezzel élhetőbb környezetet teremtve a beépített városrészekben. Jelentősen befolyásolják továbbá a városképet és az adott települést a régió tájszerkezetébe bekapcsolják (KARANCSI et al., 2016).

A városi vegetáció számos hidrológiai folyamatban is részt vesz, a lefolyás csökkentése által elősegíti a csapadék hatékonyabb hasznosulását és fontos szerepet tölt be az erózióvédelemben (CSETE – GULYÁS, 2019).

A zöld infrastruktúra hatást gyakorol az emberi egészségre, így megőrzése alapvető minden egészségvédő stratégiában. Az utóbbi években megalapozott bizonyítékok álltak elő arról, hogy a zöld infrastruktúra természetes környezetként pozitív hatással van a mentális és fizikai egészségre, a gyógyulási hajlamra, a stressz és a vérnyomás csökkentésére, a koncentrálóképessegre, szív működésre, viselkedésünkre (PÁLDY – SZIGETI – MAGYAR, 2019).

A zöld infrastruktúra elemei felelnek az ökológiai értékek és a biodiverzitás megőrzéséért, fenntartásáért is, a rekreációs és esztétikai szerepért, s a városszerkezet tagolása révén a városi szövet lazításáért (OLÁH, 2012).

A zöldterületek esztétikai hatása gazdasági hatásokat is maga után von, melyek egyrészt a munkaerőpiacon, másrészt az ingatlanpiacon érhető tetten (MIKLE, 2005). A városi zöldfelület gazdaságra gyakorolt pozitív hatása megnyilvánulhat az ingatlanértékek növekedésében. Amerikai tanulmányok szerint a parkokhoz közeli ingatlanok értékének 20%-os növekedése figyelhető meg. Mindezek mellett a turizmusban, városmárkázásban betöltött szerepe sem elhanyagolható (JANSSON, 2014).

#### **1.1.5. A városi zöldfelület és a városklíma alakulásának viszonya**

A felgyorsult urbanizáció következményeként napjainkban egyre több ember él a természetes területekhez viszonyítva nagymértékben megváltozott környezetben, nemcsak

a nagyvárosok, de a kisebb méretű települések esetében is. A városi levegőkörnyezet valamennyi jellemzőjének folyamatos változása, s különböző mesterséges tényezők révén egy helyi éghajlat, a városklíma kialakulása figyelhető meg az urbanizált térségekben (UNGER, 2010).

Városklíma alatt a települések területén kialakuló jellegzetes éghajlati viszonyokat értjük (DEZSŐ – BARTHOLY – PONGRÁCZ, 2019). Legjellemzőbb vonása a városi hősziget formájában testet öltő, városok felett kialakuló hőmérsékleti többlet megjelenése, ami már kisebb települések esetén is tapasztalható (BOTTYÁN, 2009). A városklíma legegységesebben megnyilvánuló jelenségét – a városi hőszigetet – a felszínközeli léghőmérséklet és a felszínhőmérséklet területi különbségei számszerűsítik (FRICKE – UNGER – PONGRÁCZ, 2020).

A városi hőszigetet, mint éghajlati rendszert, mely több szempontban eltérést mutat az őt körülvevő makroskálájú környezet éghajlati viszonyaihoz képest, a városi környezet keltette helyi és mikroklimatikus hatások összesége határozza meg (FRICKE et al., 2014). Az említett hőtöbblet antropogén tényezők, többek között mesterséges burkolatok alkalmazása, jellegzetes városi geometria kialakítása, a felszín érdessége, az aktív sugárzási felszínek nagy aránya, a csökkent égbolttáthatóság és az emberi tevékenységből származó hő- és szennyezőanyag-kibocsátás következtében alakul ki (DEZSŐ – BARTHOLY – PONGRÁCZ, 2019). Ezek az antropogén tényezők ugyanis jelentősen befolyásolják a terület energiaegyenlegének alakulását (FRICKE et al., 2015).

A városi felszín a sugárzási viszonyok módosítása révén változtatja meg a város sugárzási mérlegét és energiaegyenlegét. A nappal eltárolt hőmennyiség nagy része az épületek falában nyelődik el, – melyek mesterséges felületekként nagyobb arányban nyelik el a beérkező napsugarakat a vegetációval borított felszínhez képest – ahonnan visszasugárzik a felszín felé, s így csak korlátozottan képes a sugárzás által eltávozni (UNGER et al., 2006). A folyamat során nyert energiának az egymással különféle szögeket bezáró, nagyobb kiterjedésű felületek által történő többszörös kisugárzása és elnyelése a környezet melegedését okozza (INCZE, 2018).

A téli időszakban az így kialakuló városi hősziget akár előnyökkel is járhat (fűtési költségek csökkenése, köd ritkábban történő kialakulása), ám a nyári hónapokban a hőtöbblet fennállása a légkondicionálás működtetéséhez szükséges energiaigény növekedését okozza (DEZSŐ – BARTHOLY – PONGRÁCZ, 2019).

Humán és bioklimatológiai szempontból a jelenség felveti a hőstressz, komfortérzet, a hőmérséklettel kapcsolatos, kémiai reakciók által generált szennyeződések problémáját és az orvosmeteorológiai problémákat (BOTTYÁN, 2009).

Az emberiség körülbelül felét érintő, egyre szélsőségesebb helyi klímával jellemezhető városi környezetben tapasztalható terheléseket, káros hatásokat a városi zöldfelületek képesek enyhíteni (KOLCSÁR – SZILASSI, 2017). A város területén kialakított zöldövezetek jellemzően alacsonyabb hőmérsékleti értékekkel jellemezhetőek a beépített városrészekkel szemben, sőt önmagukon túlterjedő mérséklő hatással is rendelkeznek a környező beépített részek felé. Utóbbi jelenség az ún. park szellőnek (park breeze) tudható be, melyet a beépített és vegetációval borított, eltérően lehűlő és felmelegedő felületek között fennálló termikus különbségek indukálta nyomásgradiens okoz. Eredményeképpen a vegetációval jellemezhető területekről a hűvösebb levegő szétáramlik és ez a szomszédos területek bizonyos mértékű hűtéséhez vezet (UNGER, 2010).

#### **1.1.6. Zöldfelületek helyzete Ukrajna nagyobb városaiban**

Napjainkban sok városban a zöldfelületnek a szükségesnél kisebb kiterjedésű területen való reprezentáltsága követhető nyomon. Korábbi kutatások szerint Ukrajna nagyvárosaiban — Lviv, Harkiv, Odessza és Doneck területén — a zöldfelület megoszlásának egyenetlensége, az egyes városrészekben a zöldfelület nem kielégítő kiterjedése figyelhető meg (ШОЛОК, 2014). Ternopil és Zaporizzsja város esetében is elmondható, hogy a város növekedése, ipari fejlődése, a területen zajló urbanizációs folyamatok eredményeképpen egyre nagyobb antropogén terhelés, a beépített területek gyarapodása és a zöldfelület csökkenése tapasztalható (ЯЛОВЕНКО – БЕССОНОВА, 2010; КУЗИК – ЦАРИК, 2020).

A városi zöldfelület jellemzésére szolgál a lakosság zöldfelülettel való ellátottságának mértéke egy főre számítva. Egy 2016-ban közzétett kutatás szerint, a városi erdők számbavételével Kijev város esetében ez 215,2 m<sup>2</sup>/fő, ami nagyon kielégítő szintű zöldfelülettel való ellátottságra utal. Amennyiben kizárólag a város beépítettebb részein belüli vegetációt vesszük számításba, úgy az említett érték 82,3 m<sup>2</sup>/fő. Ezen belül a közhasználatban lévő, a lakosság által pihenés, kikapcsolódás céljából látogatható és a városi környezet állapotára közvetlenül hatást gyakorló, növényzettel borított területek (pl. parkok) területe 20,91 m<sup>2</sup>/fő. Összehasonlításképpen: egy 2009-ben közzétett kutatás szerint, mely 386 európai városról szolgáltat adatot, ahol Európa lakosságának 34%-a él, a városi zöldfelület kiterjedése Európa városaiban 3-4 m<sup>2</sup>/fő (Cádiz, Fuenlabrada (Spanyolország),

Reggio Calabria (Olaszország)) és >300 m<sup>2</sup>/fő (Liège (Belgium), Oulu (Finnország), Valenciennes (Franciaország)) között változik (ДЕРКУЛЬСЬКИЙ, 2016).

## 1.2. A távérzékelés és helye a természettudományos kutatásokban

Távérzékelés alatt azokat az adatelemzést, adatfeldolgozást szolgáló adatnyerési eljárásokat értjük, melyeknél a vizsgált objektum vagy jelenség fizikai, geometriai tulajdonságainak vonatkozásában az információgyűjtés nem közvetlen fizikai kapcsolat útján valósul meg (HORVÁTH, 2008). Az információ közvetítése ilyen esetben történhet elektromágneses hullámok, mágneses és szeizmikus rezgések, hangok vagy a gravitáció segítségével. A fogalom szűkebb értelmezésekor távérzékelés alatt olyan információgyűjtési eljárást értünk, mely során az elektromágneses hullámok közvetítésével kapunk a földfelszínről egységes adatrendszert (KIRÁLY, 2007).

A távérzékelési technológiák segítségünkre lehetnek az ökológiai kutatások (szegélytársulások felmérése, élőhely-térképezés, pufferzónák elemzése), növényélettani kutatások (biomassza becslése, növényi stresszfaktorok meghatározása), környezetvédelmi kutatások (felszíni vizek minőségi vizsgálata, különböző szennyezett területek vizsgálata), vízgazdálkodási kutatások (vízháztartási vizsgálatok, belvíztérképezés), agrár-környezetvédelmi kutatások (ökológiai indikátorok meghatározása), erdészeti kutatások (vegetációtérképezés, biomassza-térképezés), a vadgazdálkodás, földnyilvántartás és a precíziós mezőgazdaság terén (BÍRÓ – LÉNÁRT, 2012)).

A műholdas távérzékelés során szerzett multispektrális adatokból információk nyerhetők a növényzet állapotáról, produktivitásáról, esetleg fenológiai ciklusáról. Az egyes csatornák adatainak kombinálásával lehetővé válik egyes jellemzők számszerűsítése, vegetációs indexek előállítása (KERN et al., 2016).

A távérzékelési eljárásoknak köszönhetően rövid idő alatt nagyszámú adatot gyűjthetünk nagyobb kiterjedésű területekről is, segítségükkel megfigyelhetők a más módszerekkel elérhetetlen, megfigyelhetetlen területek is, s mindeközben esetükben az adatnyerés egy olcsó formájáról beszélhetünk (BELÉNYESI – KRISTÓF – MAGYARI, 2008). A távérzékelés támogatja az adatok naprakészségét azzal, hogy az adatsorok általa reprodukálhatók és az idősoros adatok rövid időn belül újra előállíthatók (HORVÁTH, 2008).

### **1.2.1. A távérzékelés formái**

Elkülönítünk passzív és aktív távérzékelési formákat. Passzív távérzékelésről abban az esetben beszélünk, ha valamilyen természetes forrásból származó sugárzás (felszínről visszaverődött napsugárzás, objektumok által kibocsátott sugárzás) mennyiségét mérjük. Amennyiben a műszerből kisugárzott energiának a vizsgált objektum felszínéről visszaverődött részét mérjük, úgy aktív távérzékelésről beszélünk. Ilyenkor a műszer maga bocsát ki elektromágneses sugárzást (RICZU et al., 2012).

Az aktív távérzékelés előnye, hogy napszaktól és időjárási viszonyoktól független, hátránya, hogy a sugárzás kibocsátásának nagy energiaigénye végett folyamatos működésre nem képes, óránként 10 percet üzemel. Ezzel szemben a minimális energia-befektetést igénylő passzív távérzékelés folyamatos üzemelésre képes, ám esetében csak a nappal és a minimális felhőborítottsággal készült felvételek szolgálnak értelmezhető információval (VÁGÓ – SERES – HEGEDŰS, 2009).

### **1.2.2. A távérzékelő rendszer elemei**

A távérzékelés során nyert adatok begyűjtése történhet műhold, repülőgép, drón, vagy helikopter segítségével (MOLNÁR – SOMOGYI, 2019).

A rendszer összetevői az adóegység és sugárforrás, a hordozóeszköz, az érzékelő és a vizsgált objektum (KIRÁLY, 2007).

Szenzoroknak (érzékelőknek) az elektromágneses sugárzást érzékelő műszereket nevezzük. Ezek lehetnek passzívak (saját sugárforrással nem rendelkezők) és aktívak (saját sugárforrással rendelkezők). Az észlelés távolsága és a hordozóeszköz alapján beszélhetünk továbbá kézi radiométerekről, légi szenzorokról (repülőgépekre telepített megfigyelőműszerek) és műholdas szenzorokról (műholdplatformokra, űreszközökre telepített megfigyelőműszerek) (BELÉNYESI – KRISTÓF – MAGYARI, 2008).

A hordozóeszközök közül az űrtávérzékelésben a műholdak – bolygó körül keringő mesterséges égitestek – a legfontosabbak, melyek mesterséges holdakként, valamilyen Föld körüli pályán keringve az érzékelő megfelelő helyre juttatását hivatottak biztosítani (KIRÁLY, 2007; VÁGÓ – SERES – HEGEDŰS, 2009).

Tematikus térképezésnél fontos szempont a műholdfelvételek nagy térbeli felbontása. Viszonylag nagy térbeli felbontású űrfelvételeket szolgáltatnak a Landsat műholdcsalád, a SPOT műholdcsalád, az IRS műholdcsalád műholdjai és a Sentinel műholdak (LÁSZLÓ, 2014).



### **1.2.2.1. A mesterséges holdak és pályáik kategorizálása**

A műholdaknak alapvetően négy nagy csoportját különítjük el: földmegfigyelő műholdak (többek között az emberi tevékenység hatását figyelik); kommunikációs, navigációs (GPS), mérnöki tesztelést segítő műholdak; hold- és bolygómegfigyelő műholdak (a Naprendszeren belüli megfigyelésekre szolgálnak); csillagászati műholdak (a Naprendszeren kívüli megfigyeléseket végzik) (BELÉNYESI – KRISTÓF – MAGYARI, 2008).

A műholdak pályái kör vagy elliptikus alakúak lehetnek. A körpályán keringő műholdak esetében beszélhetünk továbbá például alacsony magasságú űrpályáról (Low Earth Orbit, LEO), közepes magasságú űrpályáról (Medium Earth Orbit, MEO), geostacionárius pályáról (Geostationary Earth Orbit, GEO). Az alacsony magasságú űrpályák esetében 200 és 1900 km közötti magasság a jellemző. Ez a magasság nagyobb felbontású képek készítését teszi lehetővé. A közepes magasságú űrpályáknál 19 100 – 21 500 km magasságról beszélhetünk (DOBOS, 2009). A geostacionárius pálya ismérve, hogy magassága 35 800 km körüli, s az ilyen pályán keringő műholdak sebessége megegyezik a Föld forgásával, ezért mindig a Föld ugyanazon pontja felett vannak (TAR, 2003).

Alacsony Föld körüli pályán kering például a földmegfigyeléseket, tudományos kísérleteket segítő ISS és a Hubble űrtávcső, közepes magasságú pályán a GPS műholdak keringenek, a meteorológiai műholdak, a galaxisok és csillagok keletkezését vizsgáló Herschel, a távolabbi objektumok vizsgálatát szolgáló James Webb Space Telescope pedig geoszinkron pályán kering (RIEGER – KOCSIS, 2012).

A keringési pálya síkja alapján egyenlítői (ekvatoriális), sarki (poláris), sarok közeli (kvázipoláris) és dőlt (inklinált) pályákat különböztethetünk meg, a műholdak keringésének iránya és igazítása (szinkronizálása) alapján pedig geoszinkron (Föld forgásához igazított) pályát, geostacionárius (geoszinkron pályát, melynek síkja az Egyenlítő síkjába esik), szemiszinkron (a Föld forgásának feléhez igazított) pályát és a napszinkron (a Nap látszólagos járásához igazított) pályát különítjük el (VÁGÓ – SERES – HEGEDŰS, 2009).

### **1.2.3. A növényzet távérzékeléssel történő vizsgálatának alapjai**

A távérzékelés szempontjából az elektromágneses spektrum legfontosabb tartományai a következők: látható tartomány (340 – 760 nm), közeli infravörös tartomány (760 – 1500 nm), középső infravörös tartomány (1500 – 5500 nm), távoli infravörös tartomány (5500 – 15000 nm), mikrohullámú tartomány (1 mm – 1 m) (BÁCSATYAI – MÁRKUS, 2001).

Az elektromágneses sugárzás elérve a földfelszín részben elnyelődik, részben pedig visszaverődik, valamint átlátszó közeg esetén (pl. víz) részben áthalad. Az elnyelt, a visszavert és az áthaladó elektromágneses energia aránya az elektromágneses hullám hullámhosszától és a felszín anyagának típusától és állapotától függ (HORVÁTH, 2008).

Minden felszínen megfigyelhető felszínborítási elem (épület, növényzet, vízfelület, talaj stb.) sajátos elnyelési és visszaverési spektrummal rendelkezik, így a visszaverési spektrumok vizsgálatával lehetővé válik a különböző felszínborítási elemek egymástól való elkülönítése. A spektrális felbontás és hullámhossztartomány ismeretében a növényzet esetében elkülöníthetjük akár a különböző vegetációtípusokat, fajokat is, illetve adatokat szerezhetünk a növények fiziológiai állapotára vonatkozóan (BELÉNYESI – KRISTÓF – MAGYARI, 2008).

A növények fotoszintetikus apparátusából következő, fényelnyelési és visszaverési arány változatossága szolgál alapul a növényzet távérzékeléssel történő vizsgálatának. A növények spektrális tulajdonságai, levelek fényelnyelési sajátosságai változnak anyagcsere-intenzitásuk függvényében, ami a vegetációs index értékében nyomon követhető (MIKA, 2011).

A növények levelének felszínére beeső sugárzás kis része a kutikuláris viaszról közvetlenül visszaverődik, nagyobb része pedig bevezetődik a levél belsejébe, ahol a pigment molekulák (klorofill, karotin, xantofill) energiát nyelnek el a beérkező sugárzásból. Az elnyelés spektrális tartományai főként a kék és a vörös, a közeli infravörös tartomány esetében magas visszaverődés és átvitel tapasztalható. Az elnyelt fénynek a fotoszintézisben nem hasznosuló részét a klorofillmolekula tehát közeli infravörös sugárzás formájában sugározza ki. Különböző fenológiai állapotban lévő és különböző vitalitású növények esetében különböző reflexió jellemző. A reflexióban mutatkozó különbség az infravörös tartományban jól érzékelhető (BÁCSATYAI – MÁRKUS, 2001).

### **1.3. Az NDVI a növényzet és egyéb objektumok vizsgálatának szolgálatában**

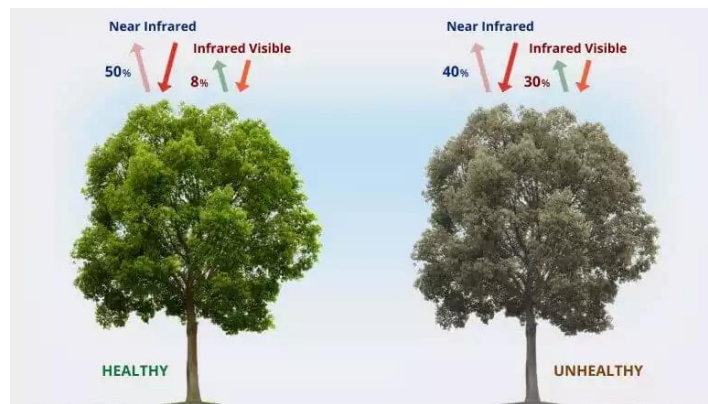
Az NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – vegetációs index, egy dimenziómentes mérőszám, mely egy terület vegetációs aktivitásának (fotoszintetikus kapacitásának) kifejezésére szolgál, s korrelál a területet takaró növényzet fajlagos klorofill tartalmával (MIKA et al., 2011).

Értéke a növényzet által a közeli infravörös és a látható vörös sugárzási tartományban visszavert intenzitásokból számolható ki az alábbi képlettel:

$$NDVI = (NIR - Red)/(NIR + Red)$$

ahol *NIR* a növényzet által a közeli infravörös sugárzási tartományban visszavert intenzitás (közeli infravörös sugárzás reflexiója), *Red* pedig a látható vörös sugárzási tartományban visszavert intenzitás (látható vörös sugárzás reflexiója) (KSHETRI, 2014).

Az index számításához az szolgáltat alapot, hogy a növényzet – a benne található klorofill révén – a látható tartomány sugarainak nagy részét elnyeli, a közeli infravörös sugarakat viszont visszaveri. Minél több zöld levéllel rendelkezik a növény, annál nagyobb különbség mutatkozik a látható és közeli infravörös tartomány sugarainak reflexiójában (БОРОБЕЦЬ, 2019).



**1. ábra.** A látható infravörös (infrared visible) és a közeli infravörös (near infrared) színtartományok elnyelődése és visszaverődése egészséges és gyengélkedő növények leveleiről (Forrás: EOS DATA ANALYTICS)

A mutatószám -1 és 1 között változik. Negatív értékekkel a vízfelületek, felhők vagy a hótakaró jellemezhetők. A talaj jellemzően nullaközeli értéket mutat (0,1-0,2). Ezzel szemben a növényzettel borított felszínek mindig ennél magasabb értékekkel jellemezhetők: ritka növényborítottság esetén 0,2-0,4 közötti, mérsékelt sűrű növényborítottság esetén 0,4-0,6 közötti értékkel, sűrű növényborítottság esetén pedig 0,6 fölötti értékkel (ПАЩЕНКО – МАРОШИКО, 2022).

Az NDVI lehetőséget nyújt a szükséges osztályok elkülönítésére, kiválasztására és az aktuális feladat megoldásához nem szükséges osztályok kizárására még az osztályozási eljárás kezdeti szakaszaiban, ami a kutatás szempontjából irreleváns adatok kizárása, s így az elvégzendő számítások számának csökkenése révén, csökkenti a helytelenül osztályozott pixelek számát, tehát növeli az osztályozás pontosságát (АЛЬПЕРТ, 2022).

Az említett index a növényzet egészségi állapotának reprezentálása, a mezőgazdasági termelékenységgel kapcsolatos előrejelzések és az elsivatagosodás feltérképezése révén a

mezőgazdasági szervezetek és környezetvédelmi kutatások fontos mutatószáma (REMA, 2014). Felhasználása nagyon sokrétű: alkalmazható az esőzés vizsgálatában, talajtípusok elkülönítésében, a természetes tüzek által potenciálisan fenyegetett területek beazonosításában, a talaj degradációjának vizsgálatában, ökoszisztéma szolgáltatások becslésénél, fajgazdagság vizsgálatánál, globális változások nyomon követésénél, emlőskutatásokban, ornitológiai kutatásokban és betegségek vektorainak kutatásánál egyaránt (MIHOLCSA, 2015).

#### 1.4. A ZFI a zöldfelületek elemzésében

A zöldfelület-intenzitás (ZFI) adott területre eső zöldfelületek arányát, területi kiterjedését és a borítottság minőségét (vegetáció egészségi állapotát) százalékértékben kifejező index, a települések élhetőségének egyik meghatározó indikátora. Értéke tehát 0 és 100 között változik. Megjegyzendő esetben, hogy értékének nagysága nem egyezik a zöldfelületek tényleges nagyságával (MÁKONYI – MAGYAR, 2018). Ennek oka lehet például az, hogy egy zárt lombkoronaszint alatt lévő szilárd burkolat nem érzékelhető a felvételeken. Nagyfelbontású felvétel esetén a módszer hibahatára  $\pm 5\%$ , tehát a változásokat, elemzéseket ennek figyelembevételével kell értelmezni (BUDAPEST FŐVÁROS ÖNKORMÁNYZATA, 2020).

A zöldfelület-intenzitás (ZFI) számítása a zöldfelületek felmérésére, elemzésére szolgáló módszer, mely a zöldfelületek térképezését és térinformatikai elemzését űrfelvételek és légifelvételek kombinált feldolgozásával végzi. A módszer segítséget nyújthat a zöldfelület egészségi állapotának és területi arányának felmérésében, valamint az említett paraméterek időbeli változásainak, térbeli eltéréseinek megfigyelésében. A ZFI az egészséges növénytakaró jelenlétének kimutatására alkalmas, a növényállomány szintezettségének és az egyedek fajának, fajtájának, életkorának, életformájának jellemzésére nem terjed ki (JOMBACH, 2014).

A növényzet biológiai aktivitását jellemző NDVI értékeiből származtatható az alábbi képlettel (YANG – CHEN– DI, 2011):

$$ZFI = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \times 100\%$$

A vegetáció egészségi állapotának szempontjából elmondható, hogy a magas ZFI értékek a vegetáció kedvező állapotáról, az alacsonyak pedig kedvezőtlen állapotokról árulkodnak: az 50-100% közötti értékek optimális viszonyokra utalnak, az 50% alatti értékek

különböző mértékű szárazság körülményeit tükrözik, 35% alatti érték esetén pedig aszályt feltételezhetünk, ami jellemzően a növényállomány rossz kondíciójával jár együtt (CEMEHOBA, 2014).

### **1.5. Az LST alkalmazhatósága**

A felszínhőmérséklet (Land Surface Temperature, LST) a földfelszín és az atmoszféra közötti kölcsönhatást tükröző paraméter. A távérzékelés technológiájának gyors fejlődése végett a távérzékelési adatokból származtatott LST egyre nagyobb jelentőséggel bír különböző kutatási területeken (LI et al., 2022).

Az LST a talaj felszínén lejátszódó folyamatok kulcsparamétere, a felszíni energiaegyensúly és az üvegházhatás egyik indikátora. Klimatológiai, hidrológiai, ökológiai és biogeokémiai kutatásokban egyaránt használják (VAN LEEUWEN – SZÉCSÉNYI, 2015). Emellett felhasználják a numerikus időjárás-előrejelzésben, a hidrometeorológiában és az agrometeorológiában is (FASSANG et al., 2009).

Mivel az LST információkkal szolgál a felszínek energiaszintjének időbeli és térbeli változásairól, alapvető fontosságú a vegetáció és a városklíma kutatásánál (SOLANKY – SINGH – KATIYAR, 2018). A városi hősziget azonosítása és jellemzése nagyrészt a felszínborítottság függvényében térbeli változásokat mutató LST értékeinek számításain alapul (JEEVALAKSHMI – REDDY – MANIKIAM, 2017).

## II. ANYAG ÉS MÓDSZER

### 2.1. A vizsgálati terület jellemzői

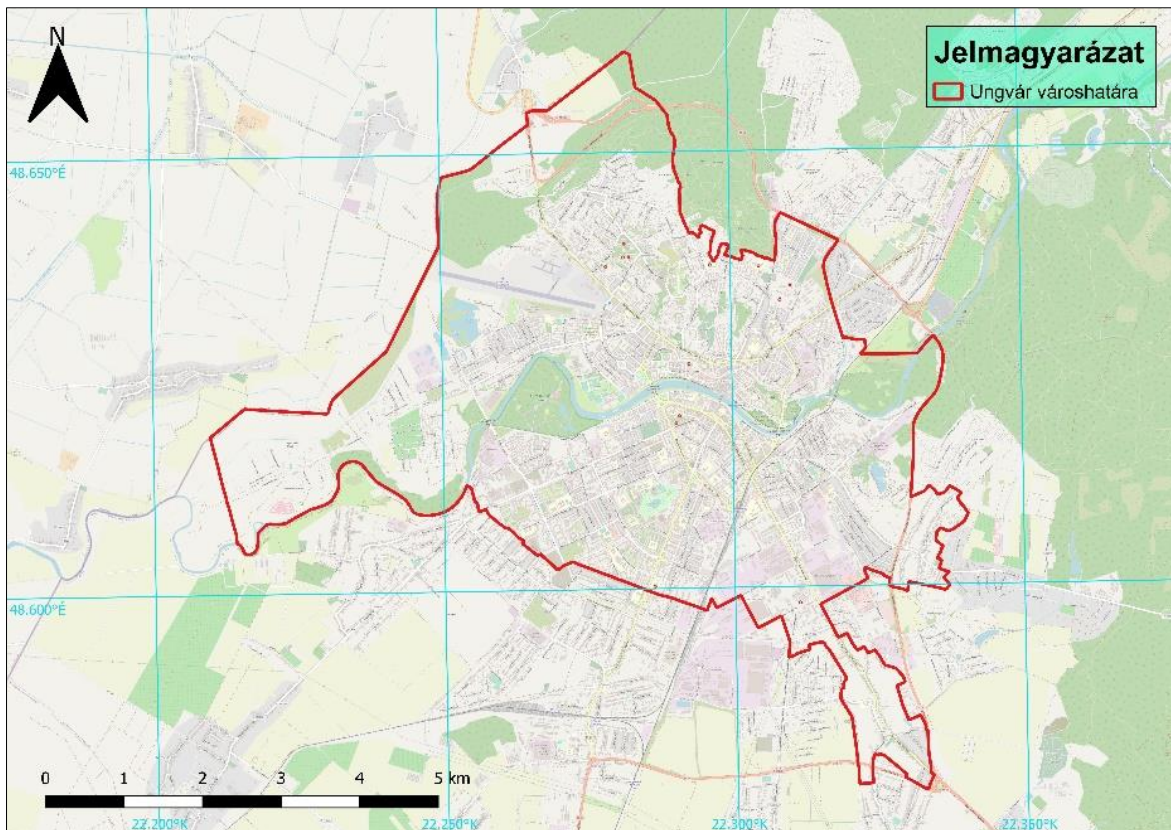
Vizsgálatainkat Ungvár területére vonatkozóan végeztük (2. ábra).

Ungvár város (Ужгород) Ukrajna legnyugatibb megyeszékhelye, Kárpátalja nyugati részén elhelyezkedő közigazgatási és gazdasági központ. A város több európai ország határának közelében található: határának nyugati vonala egybeesik Ukrajna Szlovákiával szomszédos államhatárával (ДЕРЖАВНА СЛУЖБА СТАТИСТИКИ, 2020; ОФІЦІЙНИЙ САЙТ МІСТА УЖГОРОД ТА УЖГОРОДСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ). A Keleti-Kárpátok lábánál, az Ung (Уж) folyó mentén elterülő város átlagos tengerszint feletti magassága 120 m. Területe 41,56 km<sup>2</sup>. Legmagasabb pontja a 224 métert elérő „Велика Дайбовецька” hegy (ПЕРЕСОЛЯК et al., 2020).

A 2001-es népszámlálás alapján a város népessége 115 568 fő, a lakosság 77,8%-a ukrán nemzetiségűnek, 9,6%-a orosz, 6,9%-a magyar, 2,2%-a szlovák, 1,5%-a pedig roma nemzetiségűnek vallotta magát. A 2020-ban közzétett adatok szerint ehhez képest vélhetően 56 fővel csökkent a város lakossága, mely így a megye lakosságának 9,2%-át képezi (MOLNÁR – MOLNÁR D., 2005; ДЕРЖАВНА СЛУЖБА СТАТИСТИКИ, 2020).

A város éghajlata mérsékelten kontinentális, forró nyarak és mérsékelten hideg, enyhe telek a jellemzők. A Kárpátok nyújtotta védelem az északról érkező hideg szelekkel szemben nagyban befolyásolja a város éghajlatát. Éves középhőmérséklete 10,1 °C, legalacsonyabb értéke januárban (1,7 °C), a legmagasabb pedig júliusban (20,9 °C) mérhető. Az évi átlagos csapadékmennyiség a város területén 748 mm, legkevésbé csapadékos hónap a február és április, legcsapadékosabb a június és július. A relatív páratartalom átlagosan 73%, értéke áprilisban a legalacsonyabb és decemberben a legmagasabb (ПЕРЕСОЛЯК et al., 2020).

A város rekreációs életében fontos szerepet játszanak a zöldfelületek és a festői szépségű Ung (Уж) folyó. A város területén található zöldfelület kiterjedése 1574 ha. Ezen belül a „Боздоський” park (58 ha), „Підзамковий” park (3,5 ha), az Ungvári Botanikus Kert (3,2 ha) és a „Закарпатліс” sziklakert (0,5 ha) emelhető ki. A város területének közel 290 hektárját kertek és szőlőültetvények foglalják el. Északnyugat felől erdő határolja. A közhasználatban lévő zöldterületek összterülete 82,83 ha (ОФІЦІЙНИЙ САЙТ МІСТА УЖГОРОД ТА УЖГОРОДСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ).



**2. ábra.** Ungvár földrajzi elhelyezkedése

Ungvár Kárpátalja legnagyobb közlekedési csomópontja. Jelentősége a légi, a vasúti és a közúti közlekedésben is megnyilvánul. A légi közlekedéssel kapcsolatban elmondható, hogy az utóbbi években a személyszállítás gyakorisága csökkenő tendenciát mutat, ami kedvező hatással van a város környezetére (ОФІЦІЙНИЙ САЙТ МІСТА УЖГОРОД ТА УЖГОРОДСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ).

Jelentősebb gazdasági ágazatait az élelmiszeripar, a könnyűipar, a ffeldolgozás, bútorgyártás, gépek és berendezések gyártása képezi (ПЕРЕСОЛЯК et al., 2020). Kárpátalja idegenforgalmának és szállodaüzletének központjaként tartják számon (ОФІЦІЙНИЙ САЙТ МІСТА УЖГОРОД ТА УЖГОРОДСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ).

## **2.2. A kutatás során felhasznált műholdak jellemzői**

Kutatásunk során a Landsat-8 és Sentinel-2 műholdak felvételeivel dolgoztunk.

A Landsat program optikai sávú távérzékelési műholdjai a földfelszín folyamatainak rendszeres követése, állapotának változásairól való adatok szolgáltatása és a földi erőforrások kutatásának elősegítése céljából lettek tervezve, a NASA által elsőként kidolgozott globális földmegfigyelési műholdszorozatként. A Landsat-8 műholdat a program

folytatásaként indították útjára 2013-ban. A műhold napszinkron pályán kering, 705 km-es magasságban. A pászta szélessége, azaz a szenzorok „látómezeje” 185 km, aminek eredményeként felvételeit 185 km x 180 km-es területről készíti, a globális lefedés 16 nap alatt valósul meg. A Landsat-8 műhold két szenzor – az Operational Land Imager (OLI) és a Thermal Infrared Sensor (TIRS) – hordozására szolgál. A szenzorok esetében közepes térbeli felbontásról (30×30 m (a 8-as sáv esetében 15×15m)) beszélhetünk. Felvételeiket a látható fény és a közeli infravörös, közép-infravörös, valamint a hőtartományú-infravörös sávokban készítik (MUCSI, 2013; BARNA, 2020).

A műhold által készített és ingyenesen hozzáférhető felvételek georeferáltak, térképi vetülettel rendelkeznek (BAKÓ – FÜLÖP, 2015).

A Sentinel műholdcsalád az Európai Unió által elindított Kopernikusz-program keretein belül állt szolgálatba, bolygónk és környezete megfigyelése érdekében (BARNA, 2020). A program részét hat különböző típusú (specifikusan a tengerszint, az atmoszféra vagy a felszín multispektrális képeinek rögzítésére alkalmas) műholdakból álló műholdflotta képezi, mely flottákat 2-4 azonos műhold alkot (BÁRCZY – BÁRCZY – SZŐKE, 2019). A műholdcsalád 6 különböző feladatra tervezett műholdjai a sorszám mellett az A, B, C és D betűkkel vannak megkülönböztetve. Az egyforma feladatot ellátó műholdak párosával keringenek (BARNA, 2020).

A Sentinel-2 flotta tulajdonképpen az amerikai Landsat helyettesítésére szolgál, bizonyos értelemben annak továbbfejlesztése (BÁRCZY – BÁRCZY – SZŐKE, 2019). A Sentinel-2 program keretein belül két műhold üzemel egyidejűleg földközeli, napszinkron pályán. A visszatérési gyakoriság, vagyis az időfelbontás esetükben 5 nap, az átlagos pályamagasság 786 km, a keringési idő 100,6 perc. Magyarország területe fölött helyi idő szerint 9 óra 35 és 40 perc között haladnak el (MUCSI, 2016).

A Sentinel-2A és Sentinel-2B műholdak multispektrális, nagy felbontású szenzora a látható fény és a közeli infravörös tartományban készít felvételeket, melyek elsősorban a szárazföldi területek vizsgálatát célozzák meg (BARNA, 2020). A Sentinel-2 fedélzetén elhelyezett MSI multispektrális szenzor 13 spektrális sávban gyűjt adatokat, melyek esetében különböző térbeli felbontás jellemző: 4 sáv esetében 10 m, 6 sávnál 20 m és 3 sáv esetében 60 m a térbeli felbontás, azaz a detektor felületére sávonként 10×10 m, 20×20 m vagy 60×60 m kiterjedésű területről érkezik a földfelszínről visszavert elektromágneses sugárzás. A pászta szélessége 290 km (MUCSI, 2016).

A Sentinel-2 rendelkezik ún. vörös él (red edge) sávokkal, aminek köszönhetően a környezeti stressz hatékonyabban mérhető a vegetáción (KOVÁCS – LADÁNYI, 2021).



A Landsat-8 műholdhoz hasonlóan, a Sentinel-2 MSI szenzorának radiometrikus felbontása – mely azt fejezi ki, hogy a képalkotó rendszer a mérési tartományban hány szintet képes elkülöníteni és rögzíteni – 12-bit. A Landsat műholdak és a Sentinel-2 műholdak által szolgáltatott adatok is elsősorban a mezőgazdaságban, erdészetben, földhasználatban és a környezeti kockázatok térképezésében hasznosíthatók. A Sentinel-2A műhold üzembehelyezésére 2015-ben, a Sentinel-2B műhold üzembehelyezésére pedig 2017-ben került sor (MUCSI, 2016).

### **2.3. Az NDVI meghatározásának menete**

Az NDVI-számítást a Landsat-8 és a Sentinel-2 műhold felvételeivel végeztük. A felvételekhez az USGS (Amerikai Egyesült Államok Földtani Intézete) Earth Explorer keresőfelületén fértünk hozzá ingyenesen. A számításokat a QGIS térinformatikai szoftver segítségével végeztük.

A vizsgált időszak 2017-2022 volt. Ezen belül mindegyik év esetében több felvételt is elemeztünk annak érdekében, hogy egy év jellemzése ne egy pillanatnyi állapot kiértékelése alapján történjen, s a feldolgozott felvételekből származtatott eredményrétegeket a későbbiekben átlagoltuk. Összesen 30 felvételt dolgoztunk fel, ebből 18 a Sentinel-2-től, 12 a Landsat-8-tól származik.

A felvételek kiválasztásakor és letöltésekor a fő szempontunk az volt, hogy azok a vegetációs periódus során készült felvételek legyenek és a felhőborítottság esetükben minimális, lehetőleg 10% alatti legyen (vagy olyan kiterjedésű, amilyennél még nem válik akadályozottá a vizsgálati terület elemzése). A Sentinel-2 műhold esetében minden évből három rendelkezésünkre álló, a fenti szempontoknak megfelelő felvétellel dolgoztunk, melyek a 1. táblázatban feltüntetett időpontokban készültek.

A Landsat-8 műhold esetében kevesebb olyan felvételhez nyertünk hozzáférést, amik az említett szempontok alapján elemzésre alkalmasak voltak, így mindegyik vizsgált évből 2 felvétellel dolgoztunk, 2018 és 2020 kivételével (2018-ban 3 felvétellel tudtuk végezni az elemzést, 2020-ban pedig 1 felvétellel). Ezek készítésének dátumai az 1.táblázatban találhatóak. A Sentinel-2 felvételeihez hasonlóan itt is átlagolt eredményrétegek születtek, s azok alapján vontuk le következtetéseinket.

## 1. táblázat

A felhasznált felvételek készítésének időpontjai

A felvételeket szolgáltató műhold neve	Sentinel-2	Landsat-8
A felhasznált felvételek készítésének időpontjai	2017.06.04.	2017.07.19.
	2017.07.04.	2017.08.04.
	2017.07.31.	2018.05.03.
	2018.05.07.	2018.06.20.
	2018.06.01.	2018.07.06.
	2018.07.04.	2019.08.26.
	2019.06.14.	2019.09.11.
	2019.07.01.	2020.08.28.
	2019.07.19.	2021.05.11.
	2020.05.09.	2021.07.14.
	2020.06.08.	2022.07.01.
	2020.07.15.	2022.07.25.
	2021.05.11.	
	2021.06.18.	
	2021.07.13.	
	2022.05.19.	
	2022.06.20.	
	2022.07.20.	

Az NDVI-számítást megelőzően sorrendbe rendeztük és egyesítettük a letöltött állományok rétegeit virtuális raszter létrehozásával. Koordináta rendszerként a WGS84 ellipszoidon értelmezett UTM vetületi rendszert, s annak 34N zónáját adtuk meg.

Ezt követően a *Raster calculator* segítségével elvégeztük az NDVI-számítást, ami során az előbbieken is ismertetett képletbe ( $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$  (KSHETRI, 2014)) behelyettesítettük a megfelelő csatornák intenzitási értékeit. A Sentinel-2 felvételeinél a 8-as csatorna hordozza azt a hullámhossztartományt, ami a közeli infravörösnek felel meg, és a 4-es csatorna hordozza a vörösnek megfelelőt, így ebben az esetben a 8-as csatornából történt a képletnek megfelelően a 4-es csatorna kivonása és ahhoz való hozzáadása. A Landsat-8 műhold felvételeinél a közeli infravörösnek megfelelő

hullámhossztartományt az 5-ös csatorna hordozza, így ezen felvételek esetében az 5-ös és 4-es csatorna intenzitási értékeivel végeztük a számítást.

A számítások elvégzése, s így az eredményrétegek létrehozása után a *Raster calculator* segítségével átlagolt eredményréteget hoztunk létre (3. ábra), s azoknál a továbbiakban *Egysávos álszínes (Greens)* megjelenítést, *Kvantilis* osztályozási módot és 10 osztályba történő csoportosítást alkalmaztunk. Az átlagolás során a repülőtérenél tapasztaltunk nagyobb eltéréseket azonos év különböző időpontjaiban készült felvételei között, a város beépített területein nem volt szembeutnő változás.



**3. ábra.** Átlagolt eredményréteg (NDVI, Sentinel-2)

#### 2.4. A ZFI meghatározásának menete

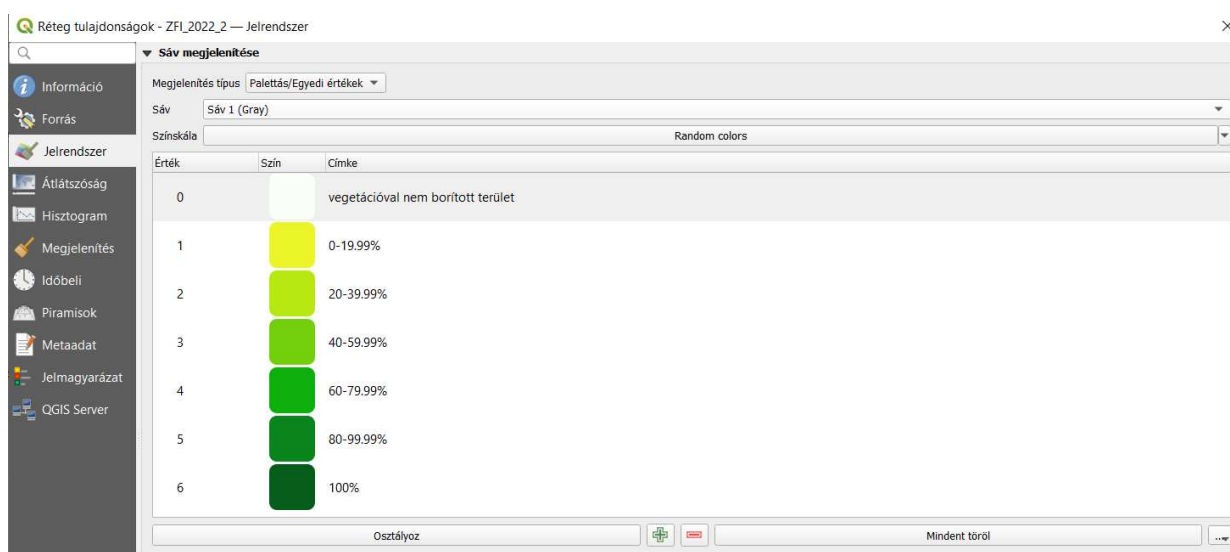
A zöldfelület-intenzitás (ZFI) értékeit az NDVI értékeiből származtattuk, azok újraosztályozása révén, a QGIS térinformatikai szoftver segítségével. Az újraosztályozást tábla alapján végeztük, ahol az NDVI-számítás során kapott 1 és -1 között változó értékek mellé 0-6 közötti értékeket rendeltünk (4. ábra). Ezeket a későbbiekben a ZFI értékeknél megszokott százalékértékekre váltottuk át (5. ábra).

Újraosztályozás tábla alapján

	Minimum	Maximum	Érték
1	-1	0	0
2	0	0.1	1
3	0.1	0.2	2
4	0.2	0.3	3
5	0.3	0.4	4
6	0.4	0.5	5
7	0.5	1	6

**4. ábra.** Az NDVI értékeinek újraosztályozási táblája

A létrejött eredményrétegnél a *Palettás/Egyedi értékek* megjelenítési típust választottuk, s a hét osztály elkülönítéséhez egyéni színekulcsot hoztunk létre (5. ábra).



**5. ábra.** ZFI eredményréteg színekulcsa és az osztályokhoz rendelt százaléértékek

## 2.5. Az LST meghatározásának menete

Az LST-számítást a Landsat-8 műhold felvételeivel végeztük, a QGIS térinformatikai program segítségével. Számításainkhoz a B4, B5 és B10 csatornát használtuk. Az említett csatornák felhasználásával a felszínről érkező visszaverődési értékeket, az általuk hordozott adatok átszámításával, hőmérsékleti értékekké alakítottuk át. A számításokat itt is több rendelkezésünkre álló felvétellel végeztük a vizsgált időszak mindegyik évére (kivétel: 2020), s azokat átlagolva hoztunk létre felszínhőmérsékleti értékeket bemutató eredménytérképeket.

Első lépésben a teljes spektrális radiancia (Top of Atmosphere, TOA) értékét határoztuk meg, melyet a B10 csatorna által hordozott adatok (reflektancia értéke) alapján számítottunk ki, *Raster calculator*-ral, a következő képlet segítségével:

$$TOA(L) = M_L * Q_{cal} + A_L - Q_i$$

ahol  $M_L$  a csatornaspecifikus multiplikatív átszámítási faktort, a  $Q_{cal}$  a Landsat-8 esetében behelyettesítendő B10 csatornát, az  $A_L$  a csatornaspecifikus additív átszámítási faktort, a  $Q_i$  pedig a Landsat-8 esetében a B10 csatornához tartozó korrekciós értéket jelöli (AVDAN – JOVANOVSKA, 2016).

Következő lépésben az előállított TOA-réteg felhasználásával kiszámítottuk a BT (Top of Atmosphere Brightness Temperature) értékét az alábbi képlettel:

$$BT = \frac{K2}{\ln \left[ \left( \frac{K1}{L\lambda} \right) + 1 \right]} - 273,15$$

ahol  $L\lambda$  a teljes spektrális radianciát, vagyis az első lépésben kiszámított raszteres állományt (TOA(L)) jelöli,  $K1$  a B10 csatornánál érvényes első konstans értéket,  $K2$  ugyanezen csatorna esetében érvényes második konstans értéket jelöli, és a 273,15 kivonásával végezhető el az átszámítás Kelvinből Celsiusba (AVDAN – JOVANOVSKA, 2016).

A folyamat harmadik lépését az NDVI-számítás képezte, amit az arra vonatkozó fejezetben tárgyalt módszerrel végeztünk, QGIS *Raster calculator* segítségével, a B5 és B4 csatornák felhasználásával.

Ezt követően az előző lépésben eredményként kapott NDVI raszteres állományból meghatároztuk a vegetációval borított felszínek részarányát ( $P_v$ ), a következő képlettel:

$$P_v = \left( \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2$$

ahol az  $NDVI$  a normalizált differenciált vegetációs indexet, az  $NDVI_{min}$  a műholdfelvétel alapján számított NDVI minimumértékét, az  $NDVI_{max}$  pedig a műholdfelvétel alapján számított NDVI maximumértékét jelöli (AVDAN – JOVANOVSKA, 2016). Ilyen módon megtörtént minden egyes pixel NDVI-értékéből a műholdkép egészére vonatkozó legkisebb NDVI-érték kivonása, majd a kapott eredmény osztása a maximális NDVI-érték és a minimális NDVI-érték különbségével, végezetül négyzetre emelése.

Ötödik lépésben a felszíni emissziós érték (Land Surface Emissivity, LSE) meghatározása történt, amihez az alábbi képletet alkalmaztuk:

$$\varepsilon = 0,004 * P_v + 0,986$$

ahol  $P_v$  a vegetációval borított felszínek részarányát, azaz a negyedik lépésben kiszámított raszteres állományt jelöli (AVDAN – JOVANOVSKA, 2016).

Mindezek után megtörtént a felszínhőmérséklet (Land Surface Temperature, LST) kiszámítása a következő képlettel:

$$T_s = \frac{BT}{\{1 + [(\lambda BT/\rho) \ln \varepsilon_\lambda]\}}$$

ahol  $BT$  a Top of Atmosphere Brightness Temperature, vagyis a második lépésben kiszámított raszteres állományt,  $\varepsilon$  az előző lépésben meghatározott felszíni emissziós értéket,  $\lambda$  az emissziós sugárzás hullámhosszát,  $\rho$  pedig a fény sebességéből és a Planck-állandóból levezetett, Boltzmann-állandóból számított állandót jelöli (AVDAN – JOVANOVSKA, 2016).

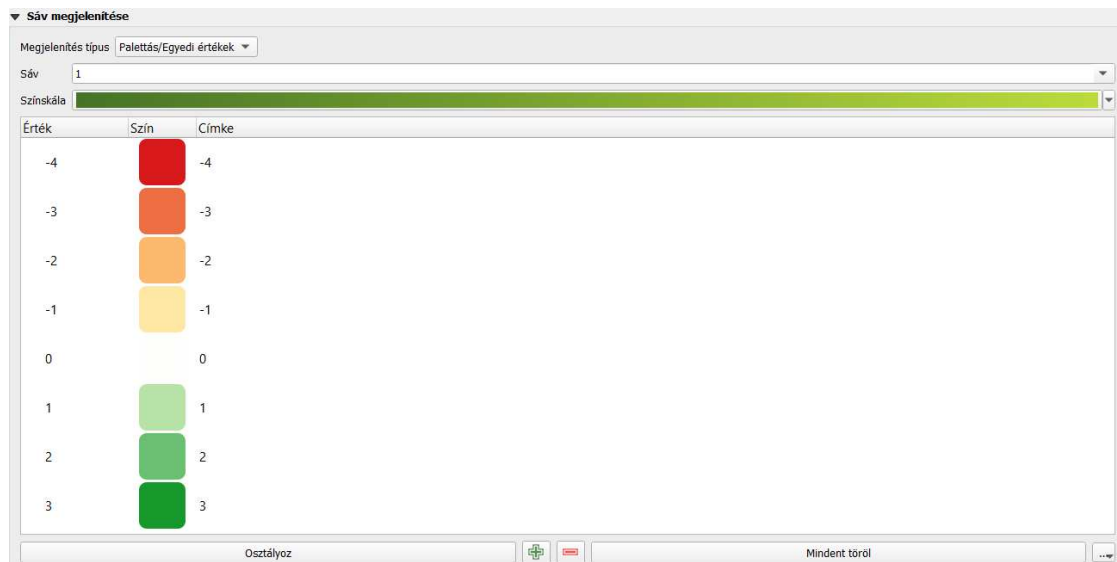
A kapott állománynál a továbbiakban *Egysávos álszínes* megjelenítést és *Invertált RdBu* színskálát alkalmaztunk. Az osztályozást az *Egyenlő intervallumok* osztályozási móddal végeztük, 10 osztály elkülönítésével. Mindezek után az eredményként kapott átlagolt állomány egészéből elvégeztük a kutatásunk szempontjából releváns terület kivágását, maszk réteggel (a vizsgált város területét lefedő vektor réteggel) történő raszter vágással.

## 2.6. Változások kimutatása és számszerűsítése

A vizsgált évek során bekövetkező változások kimutatását két úton kíséreltük meg végrehajtani. Az egyik mód a különbségtérképek előállítása volt. Ennek során a *Raster calculator* segítségével a 2022 esetében kiszámított ZFI-értékekből kivontuk a 2017 esetében meghatározott ZFI-értékeket. A kapott különbségtérképnél 8 kategóriát különböztethettünk meg, melyek értékei -4 és +3 között változtak növekvő sorrendben, s ezekhez egyenként rendeltük különböző színek különböző árnyalatait, *Palettás/Egyedi értékek* megjelenítés alkalmazásával.

A 0 értékkel rendelkező pixelek mellé – melyek esetében nem történt tapasztalható változás a vizsgált időszak alatt a ZFI-érték tekintetében – a fehér színt rendeltük, a negatív értékekkel rendelkező pixelek csoportjaihoz a vörös szín különböző árnyalatait rendeltük, úgy, hogy a szín mélyülése az egyre negatívabb értékeket, vagyis az egyre erőteljesebb csökkenést fejezze ki. A pozitív értékeket mutató pixelek mellé, az előbbi esethez hasonlóan járva el, a zöld szín fokozatosan mélyülő árnyalatait rendeltük a ZFI-értékek növekedésének és a növekedés jellegének (kismértékű növekedés, jelentős mértékű növekedés) szemléltetése érdekében (6. ábra).

A vázolt módszer, az NDVI értékekhez való igazítás révén, azok 2017 és 2022 között végbemenő változásainak szemléltetésére is alkalmazhatónak bizonyult, így segítségével az NDVI értékeiben beállt változásokat bemutató különbségtérképeket is létrehoztunk, Landsat-8 és Sentinel-2 felvételek elemzéséből származó adatokkal.



**6. ábra.** A különbségtérképek létrehozásánál alkalmazott színskála (ZFI)

A változások kimutatásának másik általunk választott módja az volt, hogy az egyes osztályokba tartozó pixelek számának ismeretében meghatároztuk a vizsgált évek során a zöldfelület-intenzitásban végbemenő eloszlásváltozásokat, területi változásokat ha-ban kifejezve. Ehhez a QGIS térinformatikai programból Microsoft Excel fájlba exportáltuk a ZFI-rétegek attribútum adatait, melyek tartalmazták a ZFI meghatározásának folyamata során kapott hat osztályt, s a hat kategóriába sorolt pixelek számát, melyeket a Microsoft Excel táblázatkezelő program segítségével, a műholdfelvételek geometriai felbontásának ismeretében  $m^2$  -be, s majd ha-ba számítottunk át.

A számításokat a vizsgált időszak összes évére elvégeztük, s a továbbiakban oszlopdiagram segítségével ábráztuk az eredményeket.

## 2.7. Összefüggések vizsgálata

Az összefüggések vizsgálatát a JASP nyílt forráskódú statisztikai programcsomag segítségével végeztük. Ennek során egyrészt az NDVI-értékek és az LST-értékek, azaz a felszínhőmérsékleti értékek között fennálló összefüggés, másrészt a különböző műholdaktól származó, eltérő időpontban készült felvételekből számított NDVI-értékek között fennálló összefüggés feltárását tartottuk fontosnak.

Pearson-féle korrelációs együtthatót határoztunk meg a 2017-es Landsat-8 felvételeiből számított NDVI-értékek és a 2017-es Landsat-8 felvételeiből számított LST-értékek között, a 2022-es Landsat-8 felvételeiből számított NDVI-értékek és a 2022-es Landsat-8 felvételeiből számított LST-értékek között, melyek esetében egyazon műholdtól

és egyazon időpontból származó felvételek feldolgozásának eredményeiről van szó. Hasonlóképp meghatároztuk az említett korrelációs együtthatót a különböző műholdaktól és eltérő időpontból származó felvételekből számított eredmények esetében is: megvizsgáltuk az összefüggést a 2017-es Sentinel-2 felvételeiből számított NDVI-értékek és a 2017-es Landsat-8 felvételeiből számított LST-értékek között, a 2022-es Sentinel-2 felvételeiből számított NDVI-értékek és a 2022-es Landsat-8 felvételeiből számított LST-értékek között, továbbá a Sentinel-2 felvételeiből számított és a Landsat-8 felvételeiből számított NDVI-értékek közötti összefüggést, a 2017-es és 2022-es évre vonatkozóan.

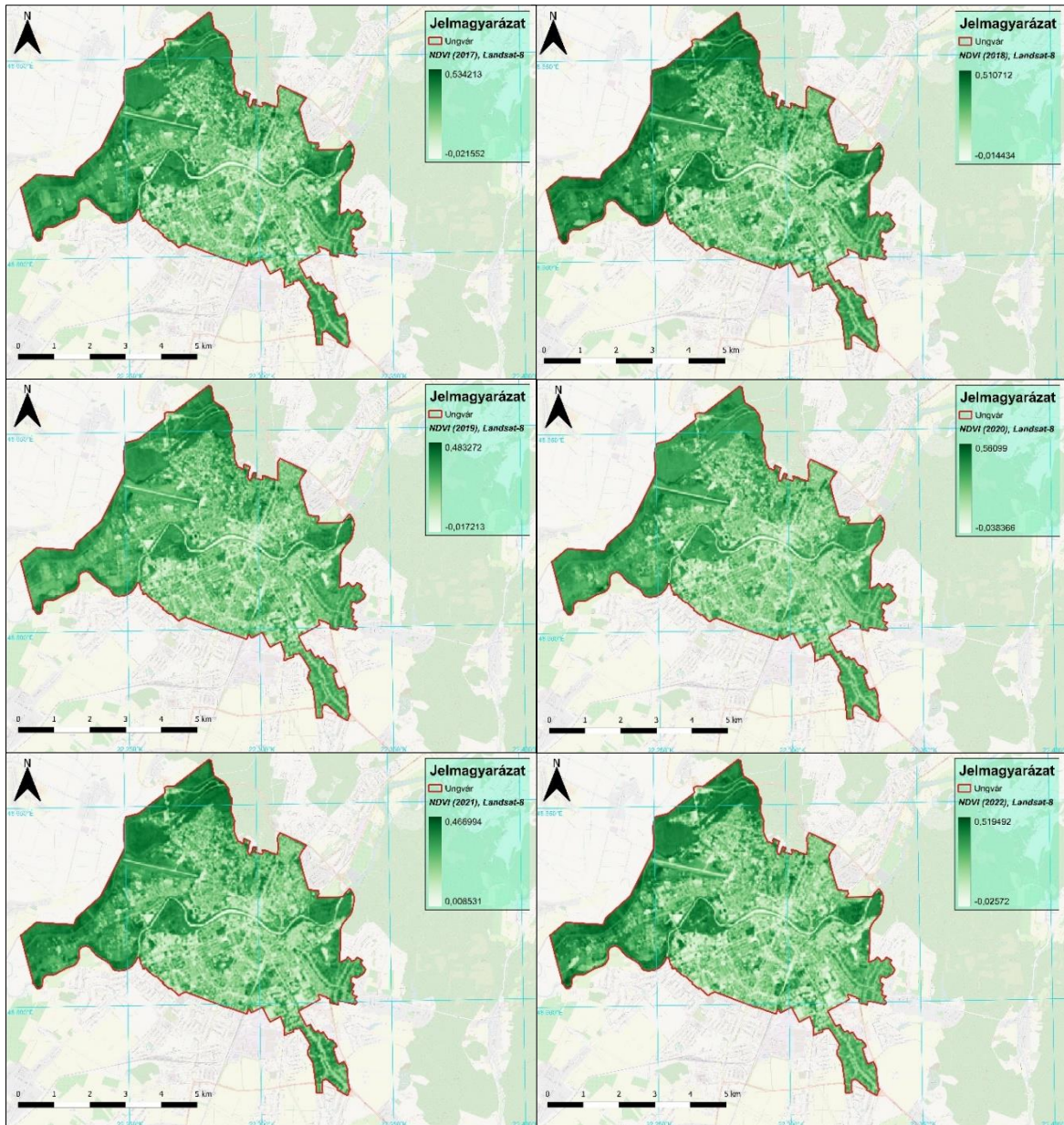
Az összefüggések feltárásához az NDVI és LST raszteres állományok esetében több mint 360000 pixel értékét vektoros pontállományként exportáltuk, majd az attribútumként tárolt eredeti pixelértékeket pontosvesszővel tagolt formátumba alakítottuk át, amit aztán a JASP nyílt forráskódú statisztikai programcsomaggal dolgoztunk fel.



### III. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS

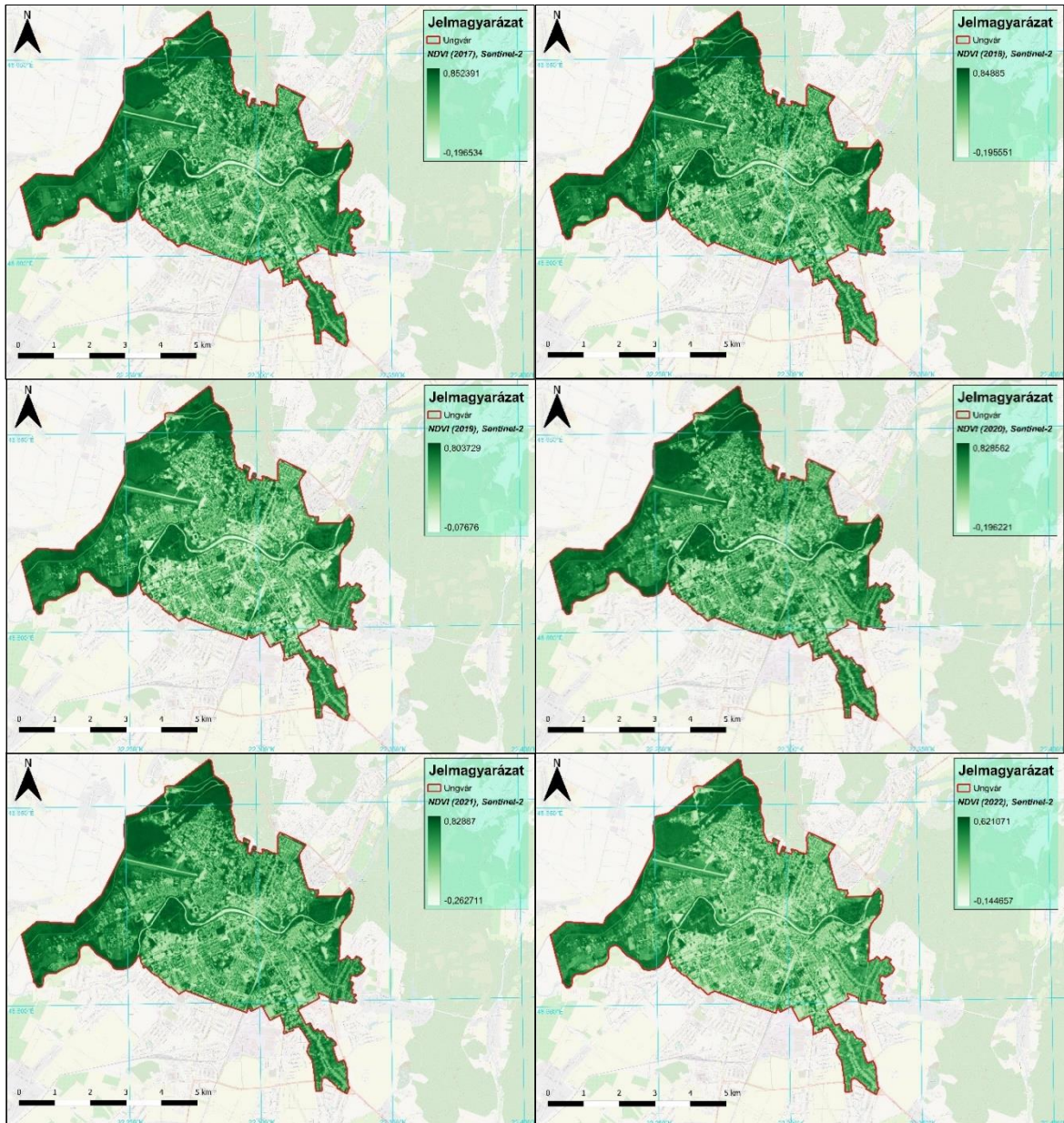
#### 3.1. Az NDVI meghatározásának eredményei

Munkánk során meghatároztuk az NDVI-értékeket Ungvár város területére vonatkozóan, a 2017 és 2022 közötti időszakot lefedően, és elkészítettük az évenként átlagolt NDVI-értékeket bemutató eredménytérképeket a Landsat-8 műhold felvételeiből nyert adatokból származó (7. ábra, 1-6. számú melléklet) és a Sentinel-2 felvételeiből számított NDVI (8. ábra, 7-12. számú melléklet) esetében.



7. ábra. Az NDVI értékeinek eloszlása a Landsat-8 felvételei alapján (2017-2022)

Ahogy az az eredménytérképeken is látszik, az évenként átlagolt NDVI-értékek eloszlása azonos trendet követ mindegyik vizsgált év esetében. A város beépített részein és a vízfelület (Ung folyó) esetében alacsonyabb és negatív értékeket kaptunk, a többi városrész esetében pedig magasabb és pozitív értékeket hozott az NDVI-számítás. A Landsat-8 felvételeiből számított NDVI-értékekhez hasonlóan ez a Sentinel-2 felvételeiből származtatott értékeknél is elmondható, melyek eloszlása nem mutatott jelentősebb eltéréseket.



**8. ábra.** Az NDVI értékeinek eloszlása a Sentinel-2 felvételei alapján (2017-2022)

Az értékekben mutatkozó kisebb eltérések a két műhold felvételeiből számított NDVI esetében egyrészt a felvételek készítésének eltérő időpontjaira, másrészt az eltérő térbeli felbontásból fakadó generalizálásra vezethetők vissza.

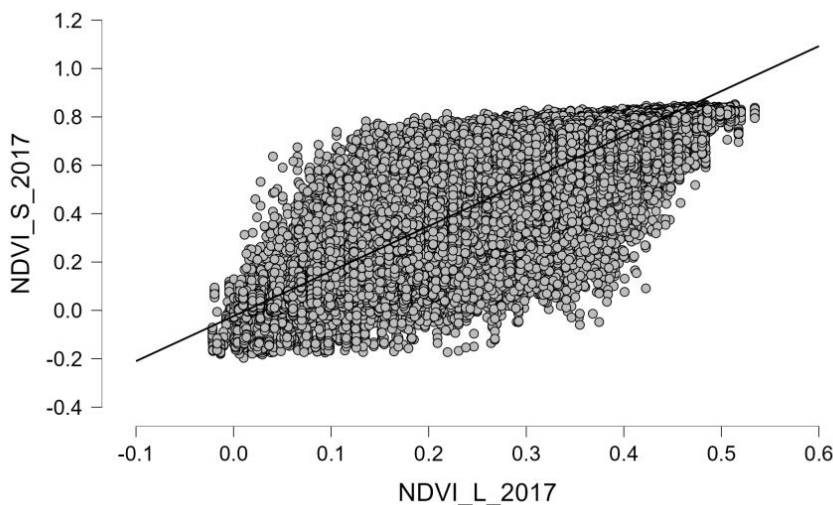
A Landsat-8 és a Sentinel-2 adataiból számított eredményeket összefüggés-vizsgálatnak vetettük alá, azzal a feltételezéssel, hogy a változók között pozitív korreláció áll fenn, tehát egyirányú együttmozgás jellemző esetükben. A vizsgálat során kapott Pearson-féle korrelációs együttható a 2017-es NDVI-értékek esetében 0,866 ( $p < 0,001$ ) volt (9. ábra), ami nagyon szoros összefüggésre utal a különböző időpontban, különböző műholdak által készített felvételekből számított értékek között.

		n	Pearson's r	p	
NDVI_L_2017	-	NDVI_S_2017	362171	0.866***	< .001

Note: All tests one-tailed, for positive correlation.  
 \*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$ , one-tailed

#### Scatter plots

NDVI\_L\_2017 vs. NDVI\_S\_2017



**9. ábra.** A Landsat-8 és a Sentinel-2 felvételeiből számított NDVI-értékek közötti összefüggés (2017)

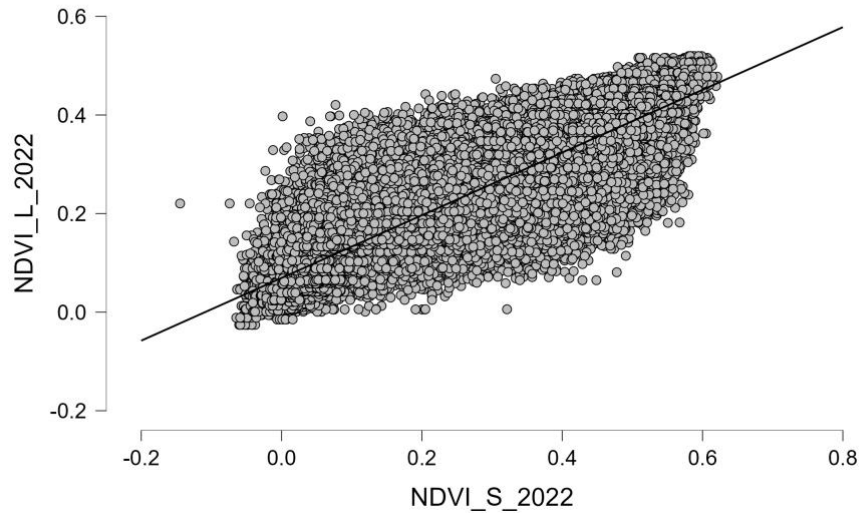
A 2022-es felvételek esetében a kapott Pearson-féle korrelációs együttható értéke némileg még az előzőnél is magasabb: 0,891 ( $p < 0,001$ ) (10. ábra), ami ugyancsak nagyon szoros összefüggést mutat. Tehát ebben az esetben is beigazolódott az elvárásunk, miszerint a két műhold felvételeiből számított NDVI-értékek egyirányú együttmozgást követnek, kölcsönösen megerősítve ezzel hitelességüket.

		n	Pearson's r	p	
NDVI_S_2022	-	NDVI_L_2022	362171	0.891***	< .001

Note. All tests one-tailed, for positive correlation.  
\* p < .05, \*\* p < .01, \*\*\* p < .001, one-tailed

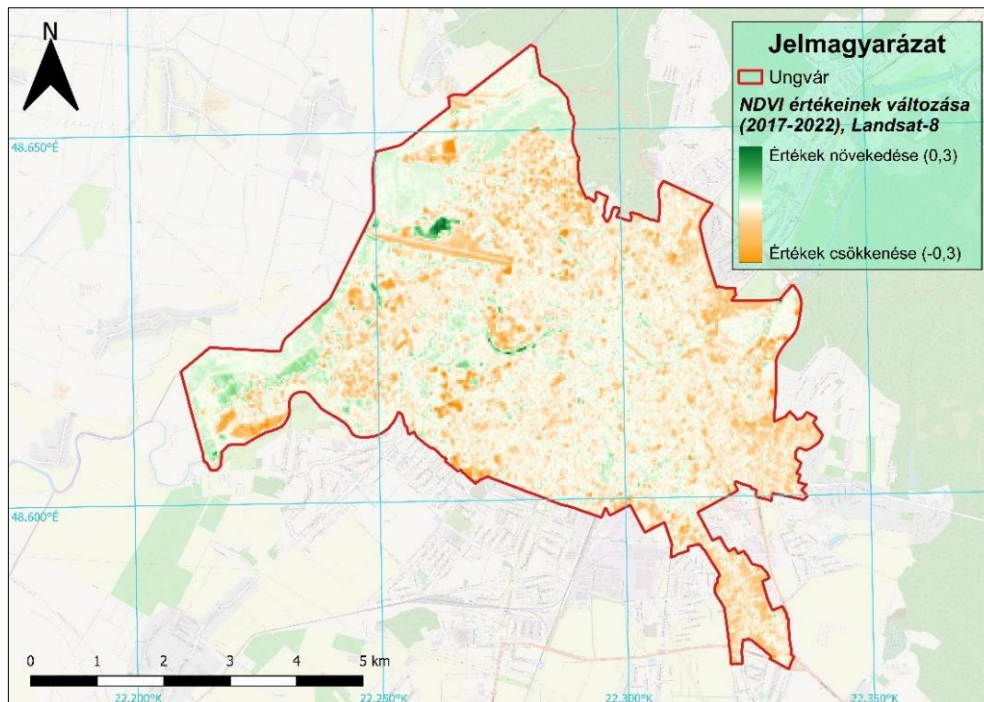
#### Scatter plots

NDVI\_S\_2022 vs. NDVI\_L\_2022



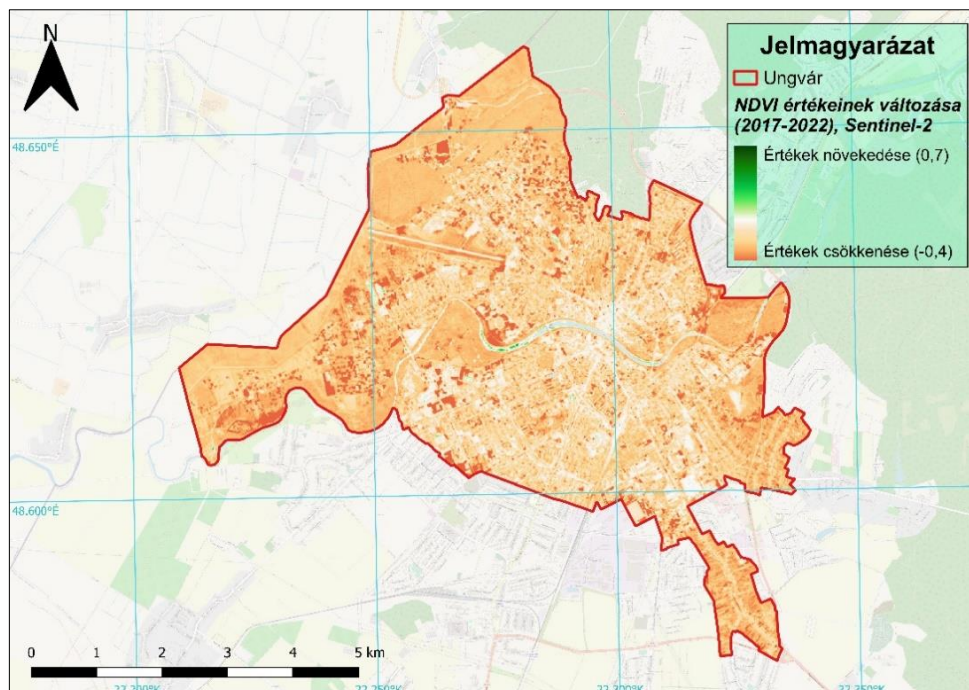
**10. ábra.** A Landsat-8 és a Sentinel-2 felvételeiből számított NDVI-értékek közötti összefüggés (2022)

Ami az NDVI értékeinek a vizsgált periódusban bekövetkező változásait illeti, elmondható, hogy a Landsat-8 felvételeinek elemzésével nyert adatok szerint az eltelt 6 év során a város egyes területein még bizonyos mértékű növekedés is tapasztalható az NDVI értékeiben, továbbá viszonylag sok képpont a 0-kategóriába kapott besorolást, melyek esetében nem tapasztalható változás. Ezek többségükben valószínűleg beépített területek, mesterséges burkolatokkal ellátott felületek lehetnek, de előfordulnak a város azon részein is, melyeknél az elemzés eredményei vegetációval borított felszínre utalnak. Akárcsak a Sentinel-2 felvételeiből számított NDVI-értékek esetében, itt is jellemző a csökkenést jelző pixelek jelentős többsége a növekedést jelző képpontokkal szemben, bár a Landsat-8 felvételeiből számított NDVI esetében kisebb mértékű csökkenés tapasztalható (11. ábra, 13. számú melléklet).



**11. ábra.** Az NDVI-értékek változása 2017 és 2022 között, Landsat-8 felvételeinek elemzéséből származó adatok alapján

A Sentinel-2 műholdtól származó felvételek elemzésének eredményei a város területének majdnem egészére vonatkozó csökkenést jeleznek 2022-ben a 2017-es állapothoz képest, néhány kisebb növekedésre utaló terület kivételével (12. ábra, 14. számú melléklet).

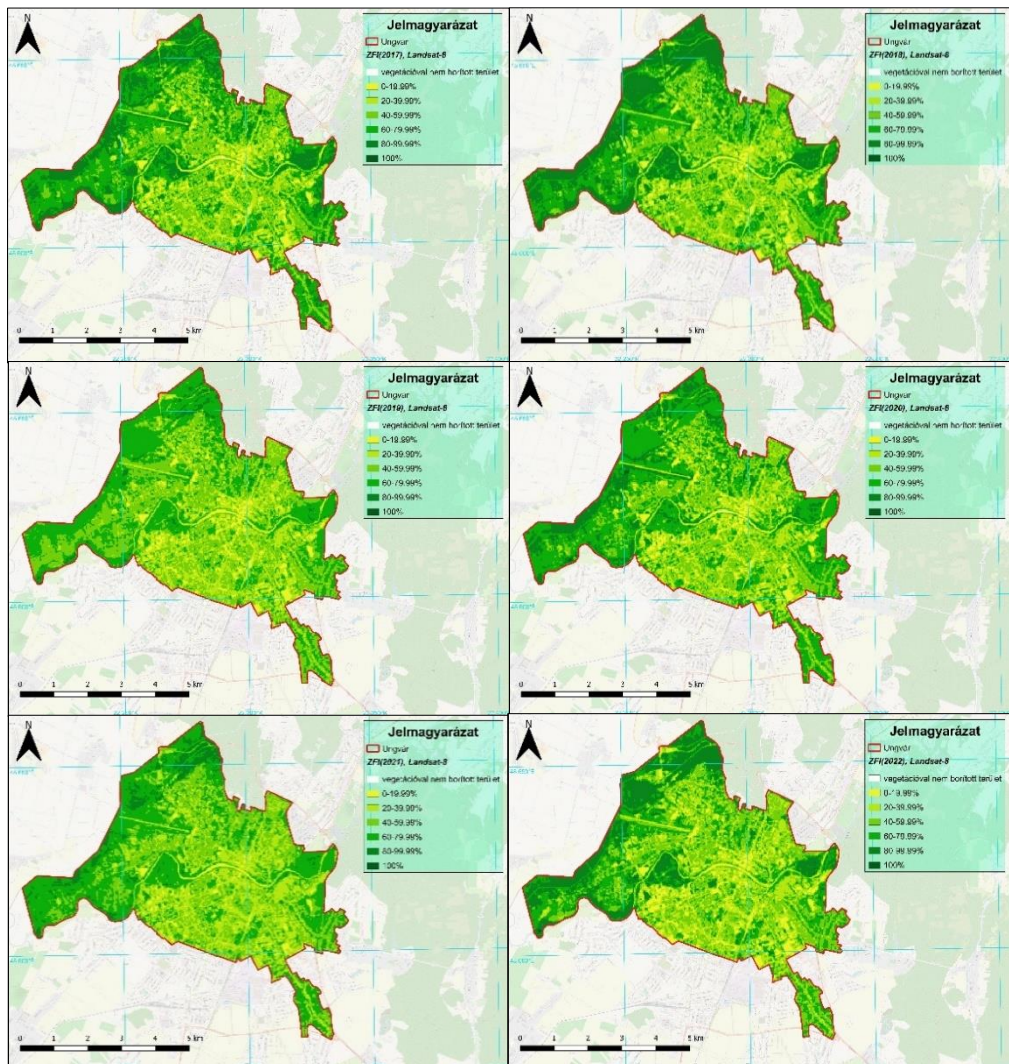


**12. ábra.** Az NDVI-értékek változása 2017 és 2022 között, Sentinel-2 felvételeinek elemzéséből származó adatok alapján

A két műhold felvételein végzett számításokból levezetett csökkenés mértékében ugyan tapasztalható némi eltérés, ugyanakkor a különbségtérképeken jól látszik, hogy ahol az NDVI értékeinek jelentősebb csökkenése követhető nyomon a Sentinel-2 felvételeiből számított értékek esetében, ott a Landsat-8 felvételeiből számított értékeknek is a csökkenése figyelhető meg, s ahol a Landsat-8 esetében az NDVI-értékek növekedését jelzi a különbségtérkép, ott a Sentinel-2 esetében is kisebb mértékű csökkenést jelzett az elemzés.

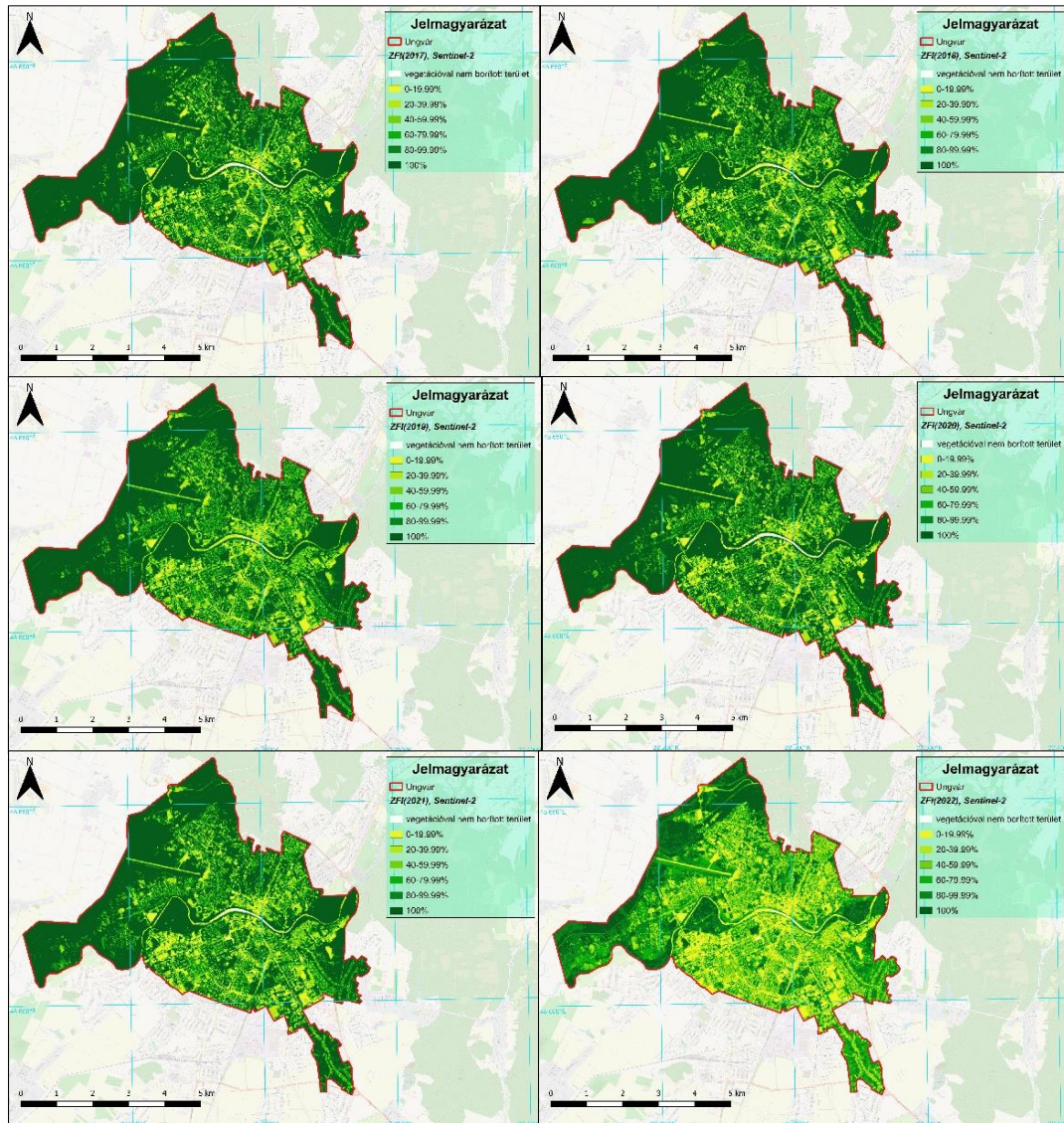
### 3.2. A ZFI meghatározásának eredményei

Az NDVI-számítás eredményeiből származtatott ZFI-értékek, mint az várható volt, azokhoz hasonló eloszlást mutatnak, hozva az előbbieken megfigyelhető trendet, mind a Landsat-8 (13. ábra, 15-20. számú melléklet), mind a Sentinel-2 (14. ábra, 21-26. számú melléklet) felvételeiből számított értékek esetében.



13. ábra. ZFI-értékek eloszlása a Landsat-8 felvételei alapján (2017-2022)

A Sentinel-2 felvételeiből számított ZFI-értékek tekintetében több terület kapott besorolást a maximális, 100%-os növényborítottsággal jellemzett kategóriába. Ennek okát az NDVI-értékek eltéréseinél tárgyalt tényezőkben látjuk.

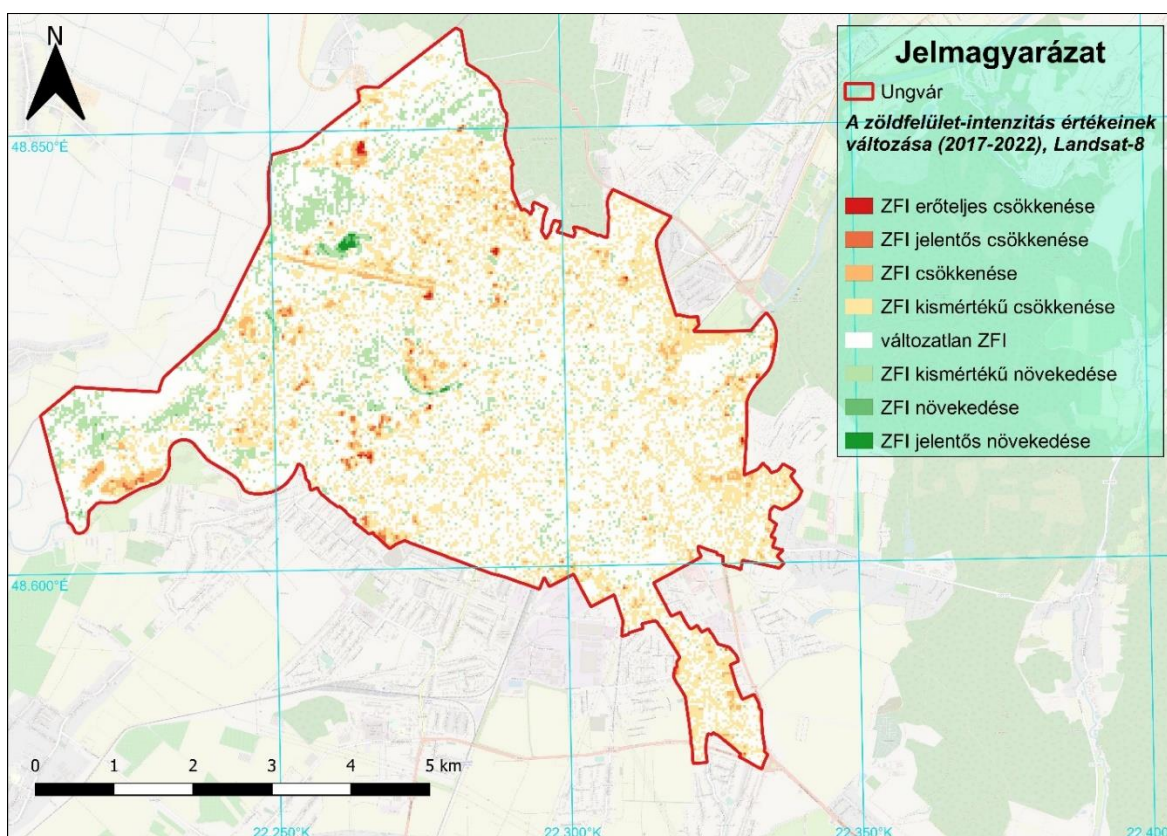


14. ábra. ZFI-értékek eloszlása a Sentinel-2 felvételei alapján (2017-2022)

Mindkét műhold felvételeiből számított értékek eloszlásánál jól látható, hogy a város beépített területein a vegetációval borított területek aránya jelentősen kisebb, esetükben a legtöbb területet lefedő képkocka a Landsat-8 érzékelése alapján a 0-40%-os ZFI-értékkel jellemezhető csoportba kapott besorolást, a Sentinel-2 érzékelése alapján pedig a 0-60%-os értékekkel rendelkező osztályokba. Magasabb, 80% fölötti ZFI-értékekkel az ettől távolabb, és többnyire a városhatárhoz közelebb eső városrészekben találkozhatunk, melyek beépítettsége lényegesen kisebb arányú.

A hat év során bekövetkező változásokat egyrészt különbségtérkép, másrészt az azonos értékeket hordozó pixelek csoportjaival végzett területszámítás segítségével vizsgáltuk.

A különbségtérkép a ZFI értékeinek alakulásában hasonló változásokra enged következtetni, mint az NDVI értékeinek esetében: a Landsat-8 érzékelése szerint az eltelt időszak alatt a város egyes részein a zöldfelület-intenzitás értékeinek növekedése is tetten érhető, noha a csökkenést jelző képpontok túlsúlya a növekményt jelzőkkel szemben itt is fennáll (15. ábra, 27. számú melléklet).



**15. ábra.** A zöldfelület-intenzitás értékeinek változása 2017 és 2022 között (Landsat-8 felvételeinek elemzéséből származó adatok alapján)

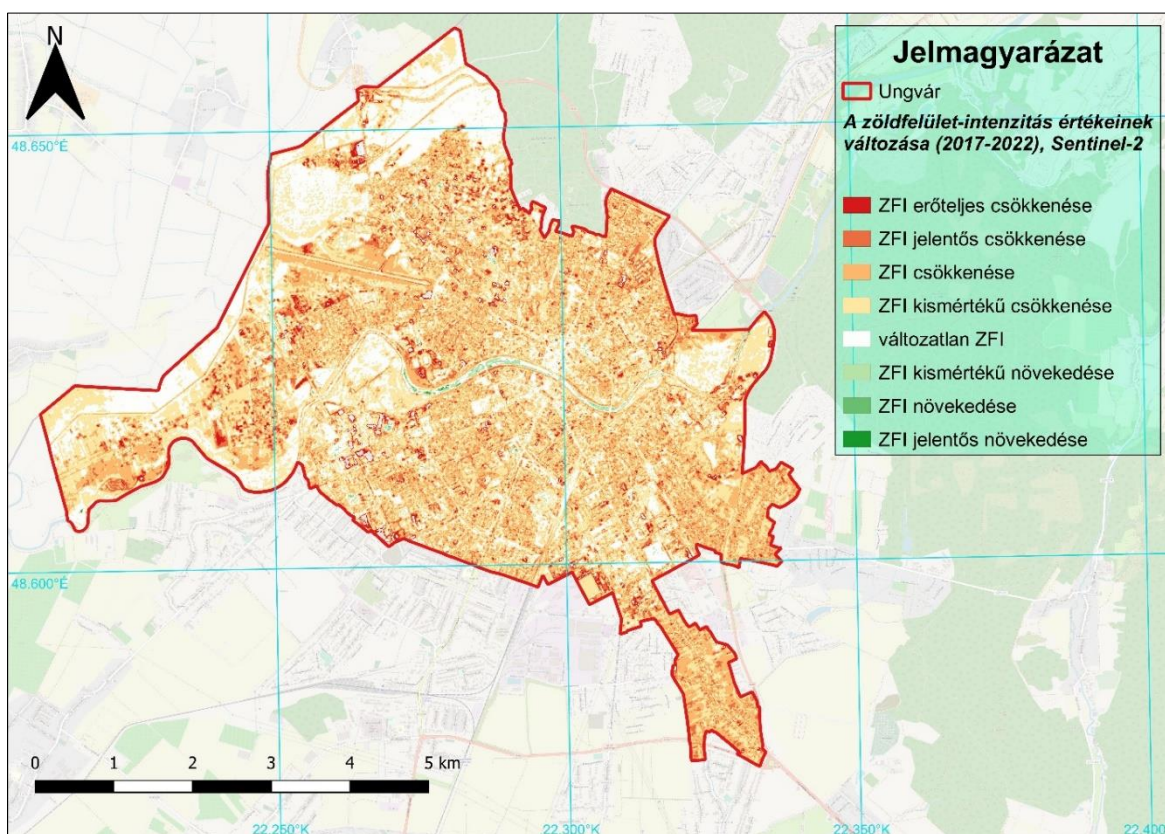
A Sentinel-2 felvételein végzett számítások eredményei szerint (16. ábra, 28. számú melléklet) a város területére túlnyomó többségben a ZFI-értékek csökkenése jellemző, növekmény a városon keresztülhaladó folyó felületén figyelhető meg javarészt, valamint elvétve a város egy-két kisebb részén.

Az értékek egymással való összefüggése a két műhold szolgáltatása felvételeken végzett számítások esetében itt is megfigyelhető: ahol a Sentinel-2 érzékelése szerint a zöldfelület-intenzitás értékeinek erőteljes csökkenése következett be 2022-re, ott a 2017-es



állapothoz képest a Landsat-8 adataiból is erőteljes vagy jelentős csökkenésre következtethetünk.

Hasonlóan, ahol a Sentinel-2 jelentős növekedést jelezett (a folyó felülete), ott a területet lefedő képkockák a Landsat-8 osztályozása szerint is a jelentős növekedésre utaló csoportba kaptak besorolást.



**16. ábra.** A zöldfelület-intenzitás értékeinek változása 2017 és 2022 között (Sentinel-2 felvételeinek elemzéséből származó adatok alapján)

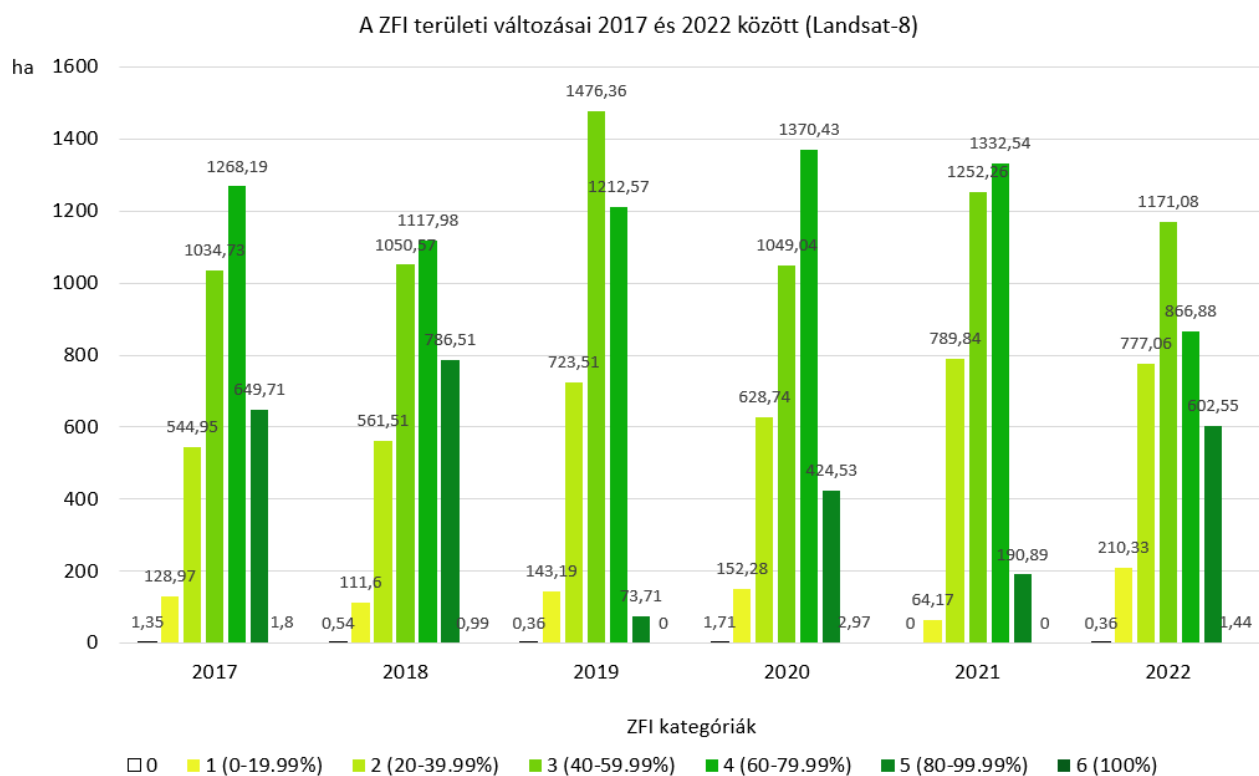
A különbségfájlok létrehozásával nyert információk szerint tehát 2022-re a zöldfelület-intenzitás értékeinek csökkenése jellemző a 2017-ből származó felvételekből számított értékekhez képest.

A bekövetkező változások számszerűsítése érdekében meghatároztuk a zöldfelület-intenzitás értékeinek hat osztályába besorolást nyert pixelek által elfoglalt területek kiterjedését. Az eljárás eredményeit bemutató oszlopdiagramon (17. ábra) az egyes kategóriákon belül lezajlott évenkénti változások is megfigyelhetők.

Az említett módszerrel szerzett adatok alapján elmondható, hogy 2022-ben a 6. (100%-os zöldfelület-intenzitás), 5. (80-99,99%-os zöldfelület-intenzitás) és 4. (60-79,99%-

os zöldfelület-intenzitás) csoportba sorolt képpontok által jelölt területek kiterjedése csökkent, s ezzel párhuzamosan az alacsonyabb ZFI-értéket jelző csoportokba (3. (40-59,99%-os zöldfelület-intenzitás), 2. (20-39,99%-os zöldfelület-intenzitás) és 1. (0-19,99%-os zöldfelület-intenzitás) csoport) tartozó pixelek által lefedett területek kiterjedése növekedett a 2017-ben mérhető értékekhez képest. Emellett megjegyzendő, hogy bár átlagolt értékekkel dolgoztunk, a 2017-2022 közötti időszak során eltelt évek esetében az egyes csoportokban végbement évenkénti változások jelentősek lehetnek, mint azt számításaink mutatják.

Az egyes ZFI-kategóriákon belül bekövetkező változások háttérében a területre jellemző éves klímaadatok és az adott év csapadékmennyiségének alakulása, továbbá a város területén lebonyolított különböző városrendezési munkálatok húzódnak.



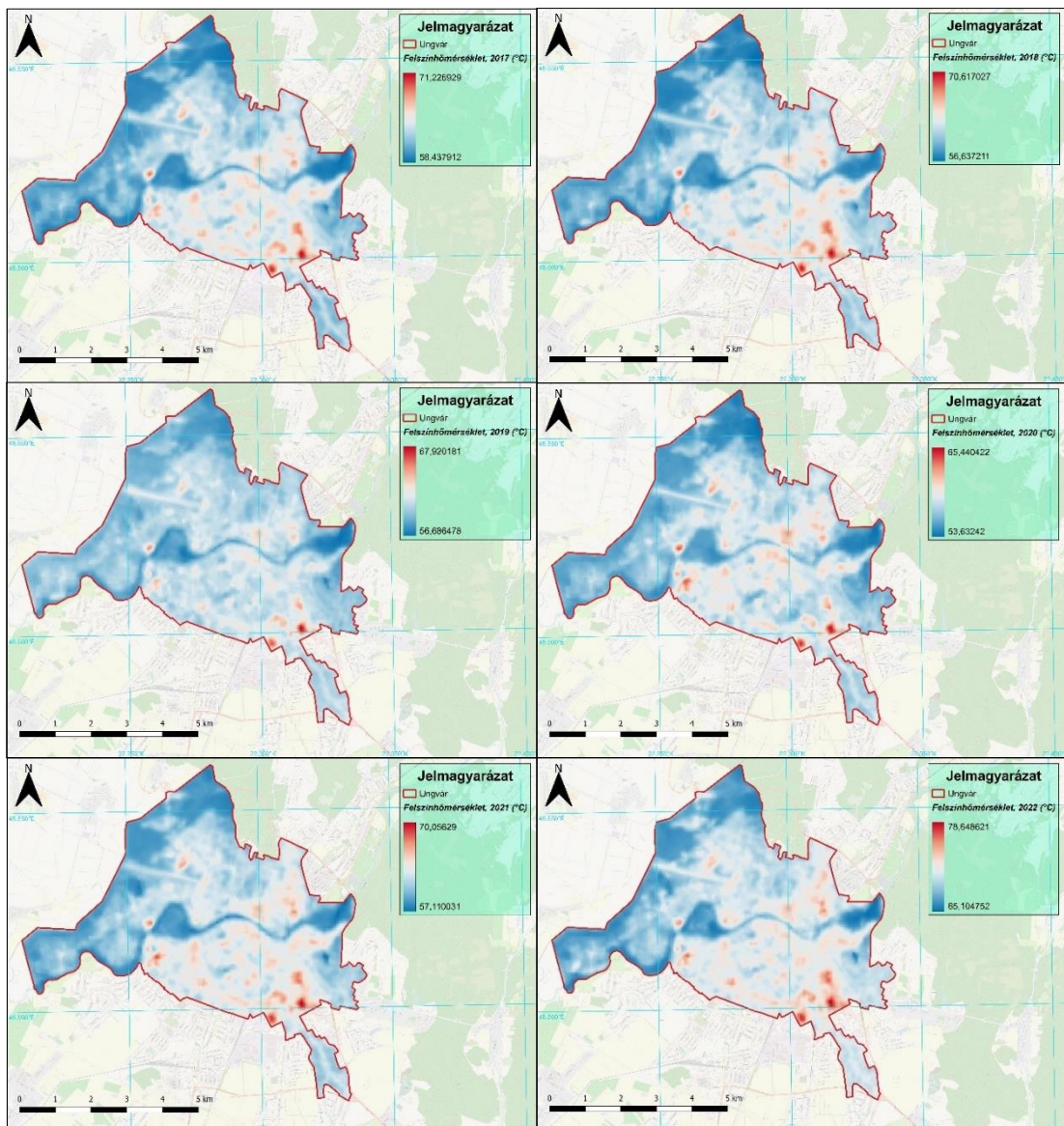
**17. ábra.** A zöldfelület-intenzitás területi változásai 2017 és 2022 között (Landsat-8 felvételeinek elemzéséből származó adatok alapján)

### 3.3. Az LST meghatározásának eredményei

A zöldfelület változásának vizsgálata mellett munkánk másik részét az LST-számítás képezte. Ennek megfelelően létrehoztuk az Ungvár város területére vonatkozó számításokból nyert felszínhőmérsékleti értékeket bemutató eredménytérképeket, a vizsgált

periódus (2017-2022) mindegyik évére. Akárcsak az NDVI és a ZFI esetében, itt is évenként átlagolt értékek alapján vontunk le következtetést.

A vizsgált időszak éveiben jellemző felszínhőmérsékleti értékeket tükröző eredménytérkép (18. ábra, 29-34. számú melléklet) mindegyikének esetében az tapasztalható, hogy a felszínhőmérsékleti értékek a város beépített részein jellemzően magasabbak, azon városrészek esetében pedig, ahol a zöldfelület-intenzitás értékei magasabbak voltak (többségükben 80-100% közöttiek), az LST-számításból kapott felszínhőmérsékleti értékek alacsonyabbak.



18. ábra. A felszínhőmérsékleti értékek alakulása 2017 és 2022 között

A kiugró értékeket jelző területeken a Google Street View segítségével a következő objektumokat figyeltük meg: bevásárlóközpontok, áruházak és parkolásra fenntartott területeik, piac, betongyár, fémkereskedés, vasútállomás, autóbusz állomás, a város központjában található Korzó, s annak szomszédságában, az Ung folyó mentén elterülő intézmények épületei, többek között a Novák Endre Kárpátaljai Megyei Klinikai Kórház, továbbá magasabb felszínhőmérsékleti értékeket kaptunk mindegyik LST-fájl esetében az Ungvári Nemzeti Repülőtér területére vonatkozóan is.

Az említett objektumok és környezetük esetében a városi geometriánál megszokott, a beérkező napsugarakat nagyobb arányban elnyelő mesterséges burkolatok, aktív sugárzási felszínek nagy aránya jellemző, s az emberi tevékenységből származó hő- és szennyezőanyag-kibocsátás sem elhanyagolható mértékű ezeken a területeken, tekintve, hogy a város forgalmasabb helyszíneiről beszélünk. Lévén, hogy az említett tényezők mind a városi hősziget kialakulásához járulnak hozzá, ez magyarázatul szolgál az elemzés során kimutatott hőtöbbletre az említett területeken.

Ahogy azt tehát vártuk, a ZFI-értékek származtatását lehetővé tévő NDVI-értékeknek és az LST-értékeknek a város területén való eloszlása között összefüggés mutatkozott.

A tapasztalható összefüggés alátámasztására meghatároztuk a Pearson-féle korrelációs együtthatót a Landsat-8 felvételeiből számított NDVI-értékek és az ugyanazon műholdtól származó adatok alapján meghatározott LST-értékek esetében, 2017-re és 2022-re vonatkozóan, továbbá a különböző műholdak felvételeiből számított NDVI-értékek és LST-értékek – a 2017-es és 2022-es Sentinel-2 felvételeiből számított NDVI-értékek és az említett évekből a Landsat-8-tól származó felvételekből számított LST-értékek – esetében.

A feltételezésünk az volt, hogy az említett változók esetében ellentétes irányú együttmozgás, vagyis negatív korreláció áll fenn.

A 2017. évi Landsat-8 felvételeiből számított NDVI-értékek és LST-értékek Pearson-féle korrelációs együtthatója:  $-0,732$  ( $p < 0,001$ ) (19. ábra), ami alapján az említett változók között negatív korreláció és szoros összefüggés állapítható meg.

A 2022. évi Landsat-8 felvételeiből számított NDVI értékeinek és LST értékeinek Pearson-féle korrelációs együtthatója ennél is magasabbnak bizonyult, a kapott érték esetükben:  $-0,764$  ( $p < 0,001$ ). Ez alapján a változók esetében nagyon szoros összefüggés állapítható meg, és az elvártaknak megfelelően, az értékek ellentétes irányú együttmozgása jellemző (20. ábra).

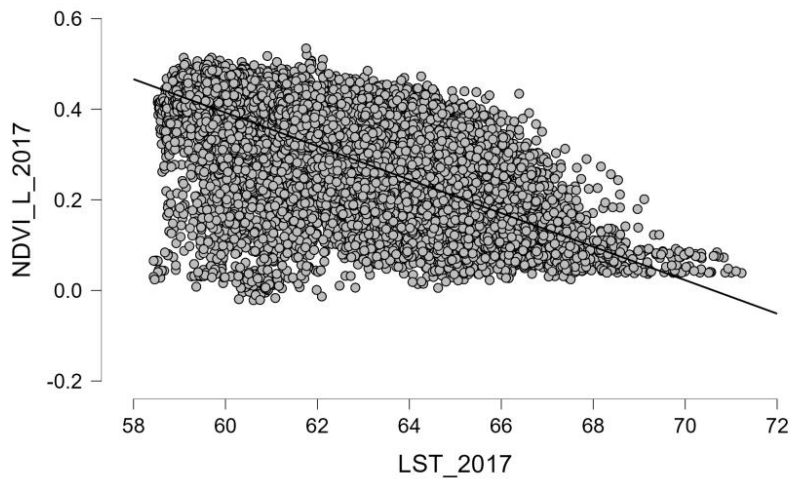
		n	Pearson's r	p	
LST_2017	-	NDVI_L_2017	363173	-0.732***	< .001

Note. All tests one-tailed, for negative correlation.

\* p < .05, \*\* p < .01, \*\*\* p < .001, one-tailed

#### Scatter plots

##### LST\_2017 vs. NDVI\_L\_2017



**19. ábra.** Az LST-értékek és a Landsat-8 felvételeiből számított NDVI-értékek közötti összefüggés (2017)

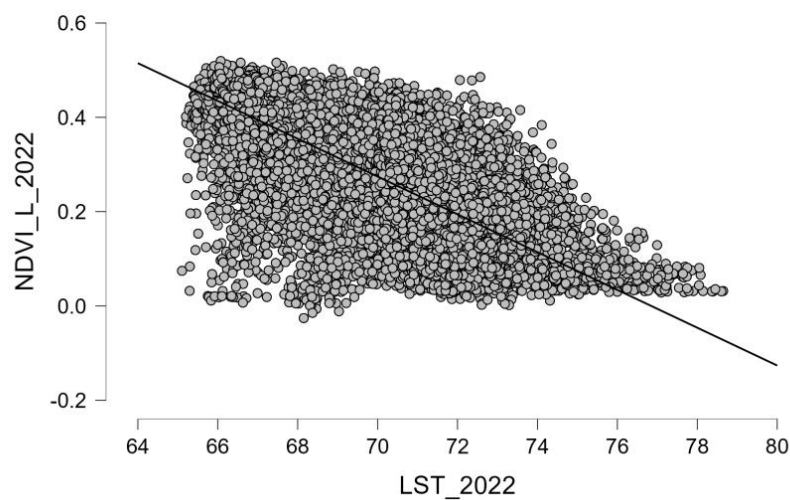
		n	Pearson's r	p	
LST_2022	-	NDVI_L_2022	363173	-0.764***	< .001

Note. All tests one-tailed, for negative correlation.

\* p < .05, \*\* p < .01, \*\*\* p < .001, one-tailed

#### Scatter plots

##### LST\_2022 vs. NDVI\_L\_2022



**20. ábra.** Az LST-értékek és a Landsat-8 felvételeiből számított NDVI-értékek közötti összefüggés (2022)

Az eltérő pályasajátosságokkal rendelkező, különböző műholdak eltérő térbeli felbontással jellemezhető és különböző időpontokban készült felvételein végzett számításokból nyert NDVI-értékek és LST-értékek között a kapott korrelációs együttható valamelyest kevésbé szoros, esetükben az előbbiekhöz képest nagyobb szórás figyelhető meg, ugyanakkor az eltérések ellenére is szoros összefüggésre engednek következtetni az összefüggés-vizsgálat eredményei.

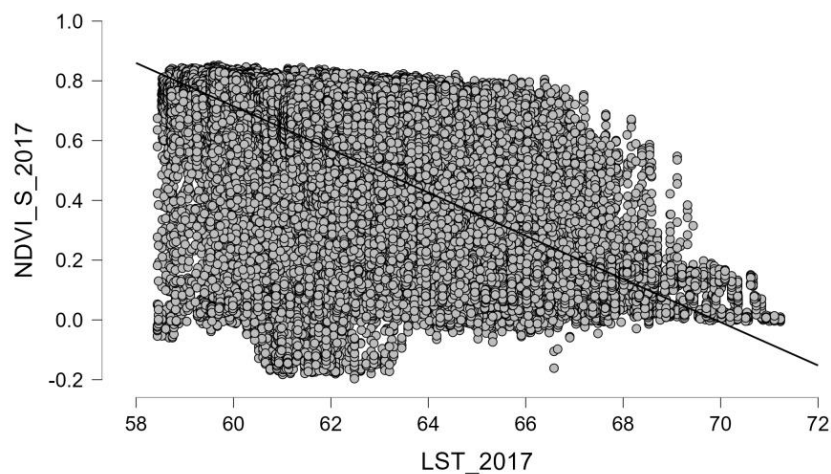
A 2017. évi Sentinel-2 felvételeiből számított NDVI-értékek és az LST-értékek (melyek mindegyike a Landsat-8 felvételek alapján került meghatározásra) között szoros összefüggés és negatív korreláció áll fenn. A Pearson-féle korrelációs együttható esetükben: -0,666 ( $p < 0,001$ ) (21. ábra).

		n	Pearson's r	p	
LST_2017	-	NDVI_S_2017	362171	-0.666***	< .001

Note. All tests one-tailed, for negative correlation.  
 \*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$ , one-tailed

#### Scatter plots

LST\_2017 vs. NDVI\_S\_2017



**21. ábra.** Az LST-értékek és a Sentinel-2 felvételeiből számított NDVI-értékek közötti összefüggés (2017)

Hasonló a helyzet a 2022. évi LST-értékek és a Sentinel-2 felvételeiből számított NDVI-értékek esetében is, ahol az említett korrelációs együttható értéke -0,683 ( $p < 0,001$ ) (22. ábra), vagyis a változók között szoros összefüggés és negatív korreláció figyelhető meg.

Az eredménytérképek alapján tapasztaltak így itt is alátámasztást nyertek: magasabb NDVI-értékek esetén alacsonyabb LST-értékekkel, és alacsonyabb NDVI-értékek, tehát

alacsonyabb zöldfelület-intenzitás esetén pedig magasabb LST-értékekkel, vagyis magasabb felszínhőmérsékleti értékekkel kell számolnunk.

A felsorolt összefüggések egyértelműen mutatják, hogy a vegetációnak jelentős befolyása van a felszínhőmérséklet értékeinek alakulásában.

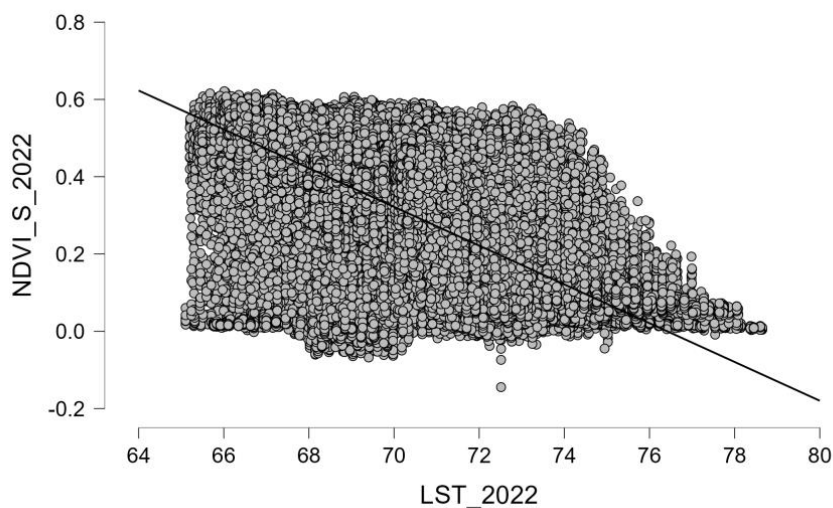
		n	Pearson's r	p	
LST_2022	-	NDVI_S_2022	362171	-0.683***	< .001

Note. All tests one-tailed, for negative correlation.

\* p < .05, \*\* p < .01, \*\*\* p < .001, one-tailed

#### Scatter plots

##### LST\_2022 vs. NDVI\_S\_2022



**22. ábra.** Az LST-értékek és a Sentinel-2 felvételeiből számított NDVI-értékek közötti összefüggés (2022)

## ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatásunk elsődleges célja a városi zöldfelület 2017-2022 között bekövetkező változásának vizsgálata volt, Ungvár város területére vonatkozóan. A számításokhoz felhasznált adatokat az USGS Earth Explorer keresőfelületén ingyenesen hozzáférhető, Landsat-8 és Sentinel-2 műholdak által készített felvételek szolgáltatták, melyek elemzését a QGIS térinformatikai szoftver segítségével végeztük.

A meghatározott normalizált vegetációs index (NDVI) évenként átlagolt értékeinek eloszlása mindegyik vizsgált év esetében azonos trendet követ a Landsat-8 és a Sentinel-2 felvételein végzett számítások eredményei szerint is. Az összefüggés-vizsgálat eredményei alapján elmondható, hogy 2017 ( $r = 0,866$  ( $p < 0,001$ )) és 2022 ( $r = 0,891$  ( $p < 0,001$ )) esetében is a meghatározott NDVI-értékek nagyon szoros összefüggése követhető nyomon, annak ellenére, hogy különböző műholdak által, eltérő időpontban készített felvételek elemzéséből származó értékekről van szó. A feltételezésünk beigazolódott, s a korreláció-analízis pozitív korreláció fennállását, tehát az értékek egyirányú együttlmozgását jelezte. Az értékekben mutatkozó kisebb eltérések a felvételek készítésének eltérő időpontjaira és az eltérő térbeli felbontásból fakadó generalizálásra vezethetők vissza.

Az NDVI értékeinek újraosztályozása révén meghatároztuk a vizsgált periódusban a város területén mérhető zöldfelület-intenzitást (ZFI), ami az NDVI-értékeknél is tapasztalt megoszlást mutatta. A Sentinel-2 felvételein végzett számításoknál több képkocka esetében történt a 6-os csoportba való besorolás, vagyis a rendszer több terület esetében érzékelt maximális, 100%-os növényborítottságot. Ennek okait az NDVI-értékeknél említett tényezőkben látjuk.

Ami a zöldfelület-intenzitás értékeinek a vizsgált hat év során bekövetkező változását illeti, a Landsat-8 felvételein végzett számítások eredményeiből létrehozott különbségtérkép szerint a város egyes részein a zöldfelület-intenzitás értékeinek növekedése is megfigyelhető az eltelt évek során, azonban a csökkenést jelző pixelek által lefedett területek túlsúlyá érzékelhető a növekményt jelzőkkel szemben. A Sentinel-2 felvételeinek elemzéséből nyert adatokból létrehozott különbségfájl a város területének majdnem egészére a ZFI-értékek csökkenését mutatta 2022-ben, a 2017-es állapothoz képest.

A vizsgált évek során bekövetkező változásokat területszámítással számszerűsítettük, a különböző ZFI-értékekkel jellemzett kategóriákba besorolt pixelek által lefedett területek kiterjedésének meghatározásával. Kapott eredményeink szerint 2017-hez képest 2022-re a 6-os (100%), 5-ös (80-99,99%) és 4-es (60-79,99%) csoportba sorolt



képpontok által lefedett terület kiterjedése csökkent, a 3-as (40-59,99%), 2-es (20-39,99%), 1-es (0-19,99%) csoportba tartozó pixelek által lefedett területek kiterjedése pedig növekedett.

Ugyanakkor megemlítendő, hogy habár átlagolt állományokkal dolgoztunk, jelentős évenkénti változást figyeltünk meg az egyes ZFI-kategóriákon belül a 2017-2022 között eltelt évek során, ami a területre jellemző klímaadatok és az adott év csapadékmennyiségének alakulására, valamint a város területén lebonyolított különböző városrendezési munkálatokra vezethető vissza.

Kutatásunk másik részét az LST-számítás képezte. A számítások eredményei alapján elmondható, hogy a felszínhőmérsékleti értékek a város beépített részein magasabbak, azon városrészek esetében pedig, ahol az elemzések magasabb NDVI- és így magasabb ZFI-értékeket (80-100%) is jeleztek, alacsonyabb felszínhőmérsékleti értékeket kaptunk.

A városi vegetáció megoszlása és a felszínhőmérséklet értékeinek alakulása közötti összefüggés vizsgálatára meghatároztuk a változók Pearson-féle korrelációs együtthatóját, mely a Landsat-8 és a Sentinel-2 felvételeinek elemzéséből származó eredmények esetében is negatív korrelációra, vagyis a változók ellentétes irányú együttmozgására enged következtetni. Az azonos műholdtól és azonos időpontból származó felvételek elemzéséből nyert NDVI-értékek és LST-értékek között 2017 esetében szoros összefüggést ( $r = -0,732$  ( $p < 0,001$ )), 2022 esetében pedig nagyon szoros összefüggést ( $r = -0,764$  ( $p < 0,001$ )) állapítottunk meg a korreláció-analízis segítségével, az eltérő pályasajátosságokkal rendelkező, különböző műholdaktól, eltérő időpontból származó és eltérő térbeli felbontással jellemezhető felvételeken végzett számításokból nyert értékek esetében pedig némileg kevésbé szoros kapcsolatra utaló értékeket kaptunk, ugyanakkor esetükben is szoros összefüggés mutatkozott 2017 ( $r = -0,666$  ( $p < 0,001$ )) és 2022 ( $r = -0,683$  ( $p < 0,001$ )) esetében is, tehát a vegetációnak jelentős befolyása követhető nyomon a felszínhőmérsékleti értékek alakulásában.

## РЕЗЮМЕ

Основною метою нашого дослідження було визначення змін комплексної зеленої зони міста Ужгород, включаючи період з 2017 р. по 2022 р. Джерелами даних, використаних для розрахунків були супутникові знімки супутників Landsat-8 та Sentinel-2, вільний доступ до яких ми отримали на пошуковій платформі USGS Earth Explorer, та аналіз яких був здійснений за допомогою вільної географічної інформаційної системи з відкритим кодом QGIS.

За результатами наших розрахунків, розподіл середніх значень визначеного нормалізованого диференційного вегетаційного індексу (NDVI) має однакову тенденцію у разі кожного досліджуваного року, як у випадку розрахунків, здійснених на супутникових знімках Landsat-8, так і у випадку розрахунків, що базуються на даних супутника Sentinel-2. Виходячи з результатів кореляційного дослідження, можна сказати, що існує дуже сильний кореляційний зв'язок між визначеними значеннями NDVI, у випадку 2017 ( $r = 0,866$  ( $p < 0,001$ )) та 2022 ( $r = 0,891$  ( $p < 0,001$ )) років, попри те, що йдеться мова про значення, отримані аналізом знімків різних супутників, відзнятих в різний час. Наше припущення щодо існування позитивної кореляції у разі вищезгаданих значень, а отже існування односпрямованої зміни цих значень, за результатами кореляційного аналізу підтвердилося. Причинами незначних відмінностей отриманих значень можуть бути відмінність в часі створення супутникових знімків та генералізація, спричинена відмінністю просторової роздільної здатності.

Шляхом рекласифікації значень NDVI під час дослідження відбулося визначення змін значень індексу умов вегетації (vegetation condition index, VCI) на території міста протягом років досліджуваного періоду, розподіл яких має таку ж тенденцію, як і значення NDVI. Під час проведення розрахунків на знімках супутника Sentinel-2 категоризація пікселів до 6-ої групи в рамках класифікації відбулося частіше, тобто у разі вищезгаданих супутникових знімків системою було виявлено більше територій, що відносяться до групи, яка характеризується 100%-вим індексом умов вегетації. Причина цього може полягати в тому ж, в чому і у випадках значень NDVI.

Що стосується змін значень індексу умов вегетації протягом досліджуваних шести років, то згідно з картою, створеною за відмінностями значень, виявлених за допомогою розрахунків, проведених на знімках Landsat-8, можна сказати, що на

деяких ділянках території міста під час досліджуваних років значення індексу умов вегетації стали вищими, проте перевага пікселів, що в результаті аналізів вказують на зниження значень вищезгаданого індексу порівняно з пікселями, що вказують на підвищення, значна. Створена карта, що презентує відмінності шестирічного періоду щодо значень індексу умов вегетації, розрахованого на знімках супутника Sentinel-2, вказує на зниження значень індексу умов вегетації майже по всій території міста в 2022 р., порівняно з визначеними значеннями, що характеризують ситуацію 2017 р.

Обчислення змін комплексної зеленої зони відбулося шляхом визначення обсягу площ, репрезентованих на супутникових знімках пікселями, класифікованими за категоріями, що характеризуються різними значеннями індексу умов вегетації. Згідно з отриманими результатами, порівняно з 2017 р., до 2022 р. площа ділянок репрезентованих пікселями, що були класифіковані до груп 6 (100%), 5 (80-99,99%) та 4 (60-79,99%) зменшилася, а площа ділянок, репрезентованих пікселями, що належать до груп 3 (40-59,99%), 2 (20-39,99%) та 1 (0-19,99%) збільшилася.

У той же час слід зазначити, що, хоча ми працювали з середніми значеннями, можна спостерігати значні річні зміни в кожній категорії індексу умов вегетації протягом 2017-2022 років, поясненням чого можуть бути кліматичні дані, характерні для місцевості; зміна кількості опадів у даному році та різноманітні містобудівні роботи, що проводилися на території міста.

Другою метою нашої роботи було дослідження змін температури поверхні землі (LST). За результатами розрахунків можна сказати, що значення температури поверхні землі є вищими в забудованих частинах міста, водночас у тих частинах міста, де під час аналізів були виявлені вищі значення NDVI і, таким чином, були отримані високі значення індексу умов вегетації (80-100%), отримані значення температури поверхні землі були нижчими.

З метою дослідження залежності розподілу значень температури поверхні землі та розподіл значень NDVI на території міста, був визначений коефіцієнт кореляції Пірсона, який свідчить про існування негативної кореляції, тобто про різноспрямовані зміни вищезгаданих значень, як у випадку значень, отриманих в результаті аналізу знімків супутника Landsat-8, так і внаслідок аналізу знімків супутника Sentinel-2. В результаті кореляційного дослідження був виявлений сильний кореляційний зв'язок ( $r = -0,732$  ( $p < 0,001$ )) у разі значень NDVI та LST, отриманих розрахунками на знімках, що були відзняті в 2017 р. одним і тим же супутником та водночас, і був виявлений дуже сильний кореляційний зв'язок ( $r = -0,764$  ( $p < 0,001$ )) у

разі значень NDVI та LST за цих обставин у випадку 2022 р. У випадку значень, отриманих шляхом розрахунків на знімках різних супутників, яким характерні відмінні орбітальні властивості, та знімки яких були створені у різних моментах, як і у разі 2017 р. ( $r = -0,666$  ( $p < 0,001$ )), так і у разі 2022 р. ( $r = -0,683$  ( $p < 0,001$ )) дослідження залежності підтвердило існування сильного кореляційного зв'язку у випадку значень NDVI та LST, що є доказом гіпотези про наявність значного впливу рослинності в формуванні розподілу значень температури поверхні землі на території міста.

## IRODALOMJEGYZÉK

AVDAN U. – JOVANOVSKA G. (2016): Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data. In.: Journal of Sensors Volume 2016. Hindawi Publishing Corporation. 8 pp.

EOS DATA ANALYTICS: NDVI: Normalized Difference Vegetation Index.

In.: <https://eos.com/make-an-analysis/ndvi/>

JANSSON, M. (2014): Green Space in compact cities: the benefits and values of urban ecosystem services in planning. In.: Nordic Journal of Architectural Research 2, p. 139-160.

JEEVALAKSHMI D. – REDDY S. N. – MANIKIAM B. (2017): Land Surface Temperature Retrieval from LANDSAT data using Emissivity Estimation. In.: International Journal of Applied Engineering Research Volume 12, № 20, p. 9679-9687.

KSHETRI T. B. (2014): NDVI, NDBI and NDWI Calculation Using Landsat 7 and 8. GeoWorld Volume II, p. 32-34.

LI Z. L. et al. (2022): Satellite Remote Sensing of Global Land Surface Temperature: Definition, Methods, Products and Applications. In.: Reviews of Geophysics, 77pp.

REMA M. M. A. (2014): The Importance of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Use of the ArcGIS to create NDVI Maps. 7 pp.

SOLANKY V. – SINGH S. – KATIYAR S. K. (2018): Land Surface Temperature Estimation Using Remote Sensing Data. In.: Hydrologic Modeling. p. 343-351.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (2017): Urban Green Spaces and Health: Intervention Impacts and Effectiveness. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, p. 6-8.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (2016): Urban Green Spaces and Health. A Review of Evidence. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, p. 22-28.

YANG Z. – CHEN Z. – DI L. (2011): Vegetation Condition Indices for Crop Vegetation Condition Monitoring. IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering. Conference paper. p. 3534- 3537.

АЛЬПЕРТ С. І. (2022): Новітній підхід до застосування нормалізованого диференційного вегетаційного індексу для класифікування аерокосмічних зображень за наявності неповних та неточних даних. Інформаційні і телекомунікаційні технології. Математичні машини і системи. 2022. №2. с. 19-28.

ВОРОБЕЦЬ І. (2019): Програмний засіб розрахунку NDVI для агротехнічного сектору. II Міжнародна студентська науково – технічна конференція «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання». Тернопіль, с. 38-39.

- ДЕРЖАВНА СЛУЖБА СТАТИСТИКИ (2020): Паспорт міста Ужгород. Статистичний бюлетень. Ужгород, с. 3-5.
- ДЕРКУЛЬСЬКИЙ Р. Ю. (2016): Сучасний стан і тенденції використання зелених зон у м. Києві. Збалансоване природокористування №2/2016, Київ, с. 88- 92.
- КУЗИК І. Р. (2019): Оцінка рекреаційної ємності зелених зон міста Тернопіль. The Third International Scientific Congress of Scientists of Europe. Vienna, с. 577- 584.
- КУЗИК І. Р. – ЦАРИК Л. П. (2020): Геоекологічна оцінка структури комплексної зеленої зони міста Тернопіль та її оптимізація. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. Вип. 34. с. 8-16.
- НАЗАРУК М. – ЖУК Ю. (2013): Зелені зони малих та середніх міст Львівської області: сучасний стан та проблема функціонування. Фізична географія та геоморфологія. – Вип. 1 (69). – Київ: Київський національний університет ім. Т. Шевченка, с. 54-62.
- ОФІЦІЙНИЙ САЙТ МІСТА УЖГОРОД ТА УЖГОРОДСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ: Про Ужгород – Розділ 2. Стартові умови: <https://old.rada-uzhgorod.gov.ua/uzhgorod/koncepcia3>
- ПАЩЕНКО Р. Е. – МАРЮШКО М. В. (2022): Прогнозування рівня врожаю сільськогосподарських культур із застосуванням нечіткого опису чинників впливу та індикаторів стану посівів. Control, Navigation and Communication System. 2022. No. 3, p. 78-87.
- ПЕРЕСОЛЯК В. Ю. et al. (2020): Звіт про стратегічну екологічну оцінку. Ужгород, с. 8-16.
- СЕМЕНОВА І. Г. (2014): Використання вегетаційних індексів для моніторингу посух в Україні. Український гідрометеорологічний журнал, 2014, №14. с. 43-52.
- ШОЛОК І. В. (2014): Порівняльний аналіз озеленення великих міст України та Європи. Вісник ХНУ ім. В. Н. Каразіна, № 1140. Серія «Екологія», вип. 11, с. 42- 49.
- ЯЛОВЕНКО А. С. – БЕССОНОВА В. П. (2010): Характеристика паркових зон міста Запоріжжя. Запоріжжя: Запорізький національний університет. Вип. 15, № 2. с. 71–79.
- BAKÓ G. – FÜLÖP GY. (2015): Fászfárú növekmény detektálása Landsat felvételek elemzésével az invazív fajok kiszűrésének érdekében. In.: Tájökológiai Lapok 13 (1), p. 149-162.
- BARNA R. (2020): Térinformatika. Általános elméleti alapismeretek. Kaposvári Egyetem Gazdaságtudományi Kar. Kaposvár, p. 93-127.
- BÁCSATYAI L. – MÁRKUS I. (2001): Fotogrammetria és távérzékelés. Tankönyvpótló segédlet az erdőmérnök hallgatók részére. Nyugat-Magyarországi Egyetem. Sopron, p. 16-25.

- BÁRCZY P. – BÁRCZY T. – SZŐKE J. (2019): Hazai részvétel a Sentinel programban. In.: *Haditechnika* 53. évf. – 2019/4. p. 54-57.
- BELÉNYESI M. – KRISTÓF D. – MAGYARI J. (2008): *Térinformatika. Elméleti jegyzet.* Szent István Egyetem, Gödöllő, p. 30-40.
- BÍRÓ T. – LÉNÁRT CS. (2012): A távérzékelés mint a geoinformatika innovatív eszköze. In.: *Összhang: Tudomány a gazdaságban és a társadalomban.* Eszterházy Károly Főiskola Líceum Kiadó. Eger, p. 141-146.
- BOTTYÁN Zs. (2009): A városi hősziget, mint a települések lokális klímájának markáns sajátossága. In.: *Hadmérnök* 4. évf. 2. sz. p. 144- 155.
- BUDAPEST FŐVÁROS ÖNKORMÁNYZATA (2020): *Budapest Környezeti Állapotértékelése 2019-2020. Épített zöldfelületek.* 16 pp.
- CSAPÓ T. – BARANYAI G. (2014): *Zöldterületek Budapesten.*
- CSETE Á. K. – GULYÁS Á. (2019): A zöld infrastruktúra hatása a városi vízgazdálkodásra és a csapadékvíz gyűjtésének modellezési lehetőségei a fenntarthatóság jegyében. In.: FAZEKAS I.- LÁZÁR I. (szerk.): *Tájak működése és arculata.* MTA DTB Földtudományi Szakbizottság. Debrecen, p. 287- 291.
- DEZSŐ Zs. – BARTHOLY J. – PONGRÁCZ R. (2019): Természetes és mesterséges városi burkolatok felszínhőmérsékleti viszonyai Budapest XI. kerületében. *ELTE Meteorológiai Tanszék, ELTE TTK Kiválósági Központ*, p. 9-14.
- DOBOS G. (2009): A mesterséges holdak katonai alkalmazásának lehetőségei. In.: *Nemzet és biztonság*, p. 60-69.
- FASSANG Á. et al. (2009): A földfelszín és a növényzet megfigyelése műholdakról. 35. *Meteorológiai Tudományos Napok.*
- FRICKE C. et al. (2015): Vegetáció hatása a városi hősziget jelenségére: műholdas adatok elemzése a budapesti XII. kerületre. In.: MESTERHÁZY B. (szerk.): *XIV. Természet-, Műszaki és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia.* Nyugat-magyarországi Egyetem. Szombathely, p. 34-40.
- FRICKE C. et al. (2014): A vegetáció szerepe a Budapest-hegyvidék városi hősziget jelenségében. In.: *Léggör* 59. évf. p. 150-153.
- FRICKE C.– UNGER J. – PONGRÁCZ R. (2020): Eltérő éghajlatú városok termikus különbségeinek feltárása az LCZ osztályozás koncepciója és műholdas adatok alapján. In.: *Léggör* 65. évfolyam 2. sz. p. 80- 85.

- HANCZ G. – KOSINA G. (2019): Javaslat a zöldfelület jelentőségének növelésére a smart city indikátorok között. In.: International Journal of Engineering and Management Sciences (IJEMS) Vol. 4. (2019). No. 4, p. 370- 380.
- HORVÁTH L. (2008): A távérzékelés adatgyűjtő rendszerei. Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet. Budapest, p. 1-16.
- INCZE D. (2018): A zöldfelületek és a beépítettség szerepe a városi környezetben. ELTE Földrajz- és Földtudományi Intézet. Budapest, p. 9-11.
- JOMBACH S. (2014): Zöldfelület intenzitás állapota és változása 2010-2013 időszakban, Budapest XIII. kerület. Zöldfelületi borítottság és változás-vizsgálat multispektrális űrfelvételek alapján. Budapest Főváros XIII. kerületi Önkormányzat XIII. kerületi Közszolgáltató ZRt. Budapest, 16 pp.
- KARANCSI Z. et al. (2016): A városi parkok és szerepük az idegenforgalomban Szeged példáján. SZTE JGYPK ATTI Földrajzi és Ökoturisztikai Tanszék, ELTE TTK FFI Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék.
- KERN A. et al. (2016): Műholdas távérzékelés az ELTE Űrkutató Csoportjában. In.: Kutatási és operatív feladatok meteorológusként. A meteorológus TDK 2016. évi Nyári Iskola előadásainak összefoglalói. Egyetemi Meteorológiai Füzetek, 27., p. 77-80.
- KIRÁLY G. (2007): A távérzékelés erdészeti alkalmazása. Nyugat-Magyarországi Egyetem. Sopron, p. 13-24.
- KOLCSÁR R. A. (2022): Városi lakosság zöldfelület ellátottságának értékelése geoinformatikai módszerekkel. Szegedi Tudományegyetem. Szeged, p. 9-19.
- KOLCSÁR R. A. – SZILASSI P. (2017): Városi közparkok ökoszisztéma szolgáltatásainak összehasonlító elemzése Zalaegerszeg példáján. In.: Interdiszciplináris táj kutatás a XXI. században. A VII. Magyar Tájökológiai Konferencia Tanulmányai. Szeged, p. 354- 364.
- KOVÁCS F. – LADÁNYI ZS. (2021): Szennyvíziszap kihelyezés rövidtávú következményeinek értékelési lehetősége Sentinel-2 alapú szántóföldi vegetációmonitoring alapján. In.: Agrokémia és talajtan 70 (2021) 1. p. 29-31.
- LÁSZLÓ I. et al. (2014): Távérzékelte felvételek elemzése. Egyetemi jegyzet. Eötvös Loránd Tudományegyetem. Budapest, p. 12-26.
- MÁKONYI G. – MAGYAR D. (2018): Városi zöldfelületek környezetegészségügyi célú minősítésének módszertani lehetőségei, kiemelt figyelemmel a zöldterületek és fasorok potenciális allergénterhelésének megállapítására. Magyar Meteorológiai Társaság Agro- és Biometeorológiai Szakosztályának ülése, OMSZ.



- MIHOLCSA T. (2015): Távérzékelés használata az énekes nádiposzáta (*Acrocephalus palustris*) vedlő- és telelőterületeinek meghatározására. Biológia Doktori Iskola. Budapest, p. 18-38.
- MIKA J. et al. (2011): Műholdokról távérzékelte adatok feldolgozása és hasznosítása. EKF Matematikai és Informatikai Intézet, p. 70-74.
- MIKLE K. M. (2005): A városrehabilitáció és a zöldterületek viszonya Budapesten. In: EGEDY T. (szerk.): Városrehabilitáció és társadalom. Magyar Tudományos Akadémia. Budapest, p. 189-200.
- MOLNÁR J. – MOLNÁR D. I. (2005): Kárpátalja népessége és magyarsága a népszámlálási és népmozgalmi adatok tükrében. Kárpátaljai Magyar Pedagógusszövetség Tankönyv- és Taneszköztanácsa. Beregszász, p. 26-27.
- MOLNÁR T. – SOMOGYI Z. (2019): A távérzékelés alkalmazása az erdészetben és a precíziós gazdálkodásban. In: BOROVICS A. – GYURICZA Cs. (szerk.): Lendületben az agrárinnováció. Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ. Gödöllő, p. 111-118.
- M. SZILÁGYI K. – VASZÓCSIK V. (2022): Zöldfelületi rendszer, zöldinfrastruktúra. In.: Magyar Tudomány 183. évf. 9. szám. Akadémiai Kiadó. Budapest, p. 1137- 1146.
- MUCSI L. (2016): Műholdfelvételek feldolgozásának elmélete és gyakorlata. Olvasólecke. Szegedi Tudományegyetem. Szeged.
- MUCSI L. (2013): Műholdas távérzékelés: Elmélet és gyakorlat. TÁMOP-4.1.2.A/1-11/1 MSc Tananyagfejlesztés. Interdiszciplináris és komplex megközelítésű digitális tananyagfejlesztés a természettudományi képzési terület mesterszakjaihoz. p. 75-97.
- OLÁH A. B. (2012): A városi beépítettség és a felszín típusok hatása a kisugárzási hőmérsékletre. Budapesti Corvinus Egyetem. Budapest, p. 15-21.
- PÁLDY A. – SZIGETI T. – MAGYAR D. (2019): A zöldfelületek hatása a lakosság egészségi állapotára. In.: Egészségtudomány 63. évf. 1-2. sz. Nemzeti Népegészségügyi Központ, p. 66- 84.
- RICZU P. et al. (2012): A 3D lézerek kerékes kertészeti alkalmazhatósága. In.: Agrártudományi Közlemények, 2012/46, p. 75-78.
- RIEGER I. – KOCSIS G. (2012): Műhold pályák. Űrtechnológia.
- TAR D. (2003): Izsák Imre kráter a Holdon. In.: Fizikai szemle 2003/3, p. 85-93.
- UNGER J. (2010): A városi hősziget-jelenség néhány aspektusa. Szeged, 107 pp.
- UNGER J. et al. (2006): A városi felszíngeometria és a hőmérséklet területi eloszlása közötti kapcsolat Szegeden.

VAN LEEUWEN B. – SZÉCSÉNYI Á. (2015): Tovább egy zöldebb úton. Szegedi Tudományegyetem. Szeged, p. 32-39.

VÁGÓ J. – SERES A. – HEGEDŰS A. (2009): Alkalmazott térinformatika 2.

## ÁBRÁK JEGYZÉKE

1. ábra. A látható infravörös (infrared visible) és a közeli infravörös (near infrared) színtartományok elnyelődése és visszaverődése egészséges és gyengélkedő növények leveleiről (Forrás: EOS DATA ANALYTICS) .....	19
2. ábra. Ungvár földrajzi elhelyezkedése.....	23
3. ábra. Átlagolt eredményréteg (NDVI, Sentinel-2) .....	27
4. ábra. Az NDVI értékeinek újraosztályozási táblája .....	27
5. ábra. ZFI eredményréteg színkulcsa és az osztályokhoz rendelt százaléktételek .....	28
6. ábra. A különbségtérképek létrehozásánál alkalmazott színkulcs (ZFI).....	31
7. ábra. Az NDVI értékeinek eloszlása a Landsat-8 felvételei alapján (2017-2022) .....	33
8. ábra. Az NDVI értékeinek eloszlása a Sentinel-2 felvételei alapján (2017-2022).....	34
9. ábra. A Landsat-8 és Sentinel-2 felvételeiből számított NDVI-értékek közötti összefüggés (2017) .....	35
10. ábra. A Landsat-8 és Sentinel-2 felvételeiből számított NDVI-értékek közötti összefüggés (2022) .....	36
11. ábra. Az NDVI-értékek változása 2017 és 2022 között, Landsat-8 felvételeinek elemzéséből származó adatok alapján .....	37
12. ábra. Az NDVI-értékek változása 2017 és 2022 között, Sentinel-2 felvételeinek elemzéséből származó adatok alapján .....	37
13. ábra. ZFI-értékek eloszlása a Landsat-8 felvételei alapján (2017-2022).....	38
14. ábra. ZFI-értékek eloszlása a Sentinel-2 felvételei alapján (2017-2022) .....	39
15. ábra. A zöldfelület-intenzitás értékeinek változása 2017 és 2022 között (Landsat-8 felvételeinek elemzéséből származó adatok alapján) .....	40
16. ábra. A zöldfelület-intenzitás értékeinek változása 2017 és 2022 között (Sentinel-2 felvételeinek elemzéséből származó adatok alapján) .....	41
17. ábra. A zöldfelület-intenzitás területi változásai 2017 és 2022 között (Landsat-8 felvételeinek elemzéséből származó adatok alapján) .....	42
18. ábra. A felszínhőmérsékleti értékek alakulása 2017 és 2022 között .....	43
19. ábra. Az LST-értékek és a Landsat-8 felvételeiből számított NDVI-értékek közötti összefüggés (2017) .....	45
20. ábra. Az LST-értékek és a Landsat-8 felvételeiből számított NDVI-értékek közötti összefüggés (2022) .....	45

21. ábra. Az LST-értékek és a Sentinel-2 felvételeiből számított NDVI-értékek közötti összefüggés (2017) .....	46
22. ábra. Az LST-értékek és a Sentinel-2 felvételeiből számított NDVI-értékek közötti összefüggés (2022) .....	47

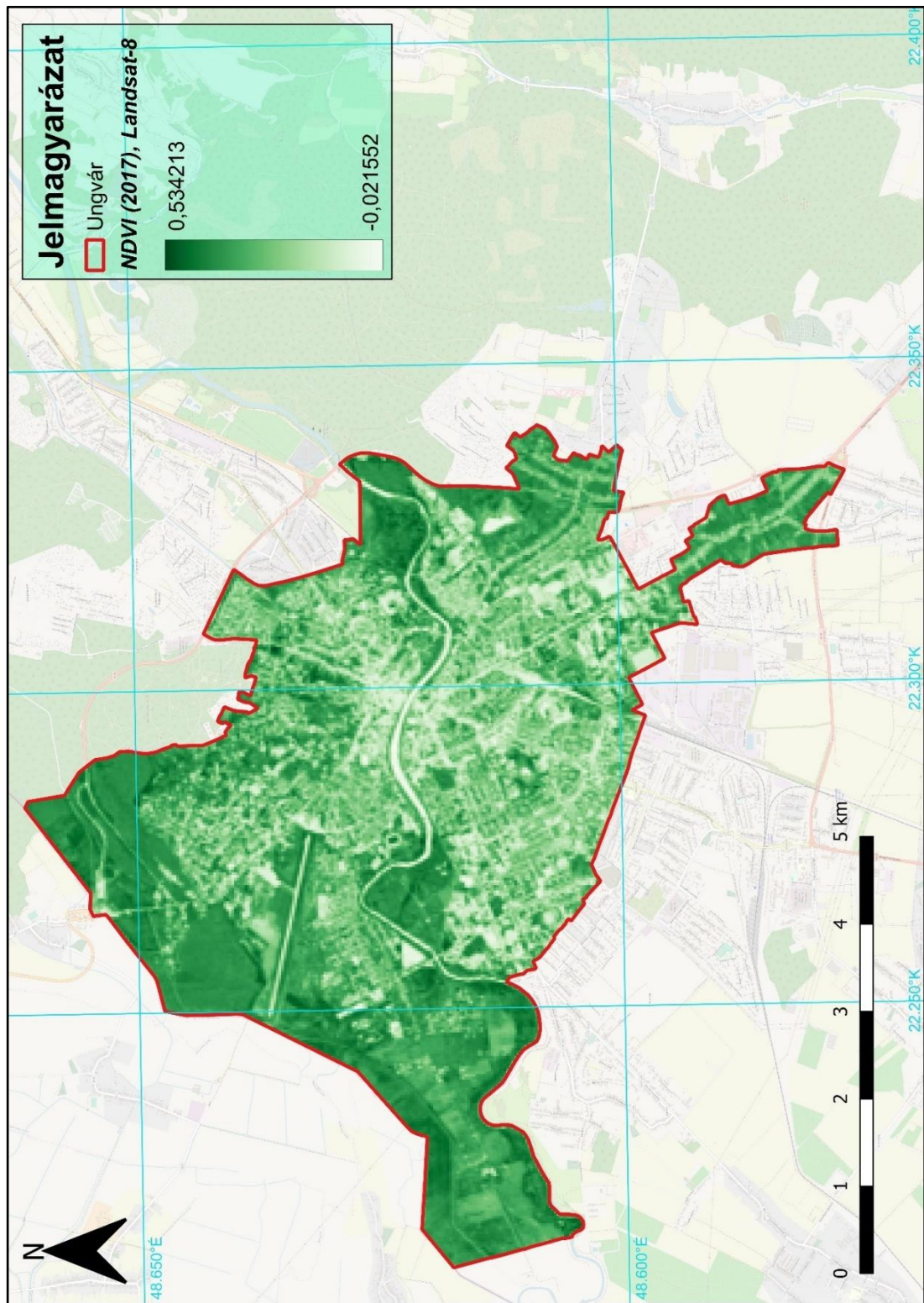
## TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. táblázat. A felhasznált felvételek készítésének időpontjai .....	26
---	----

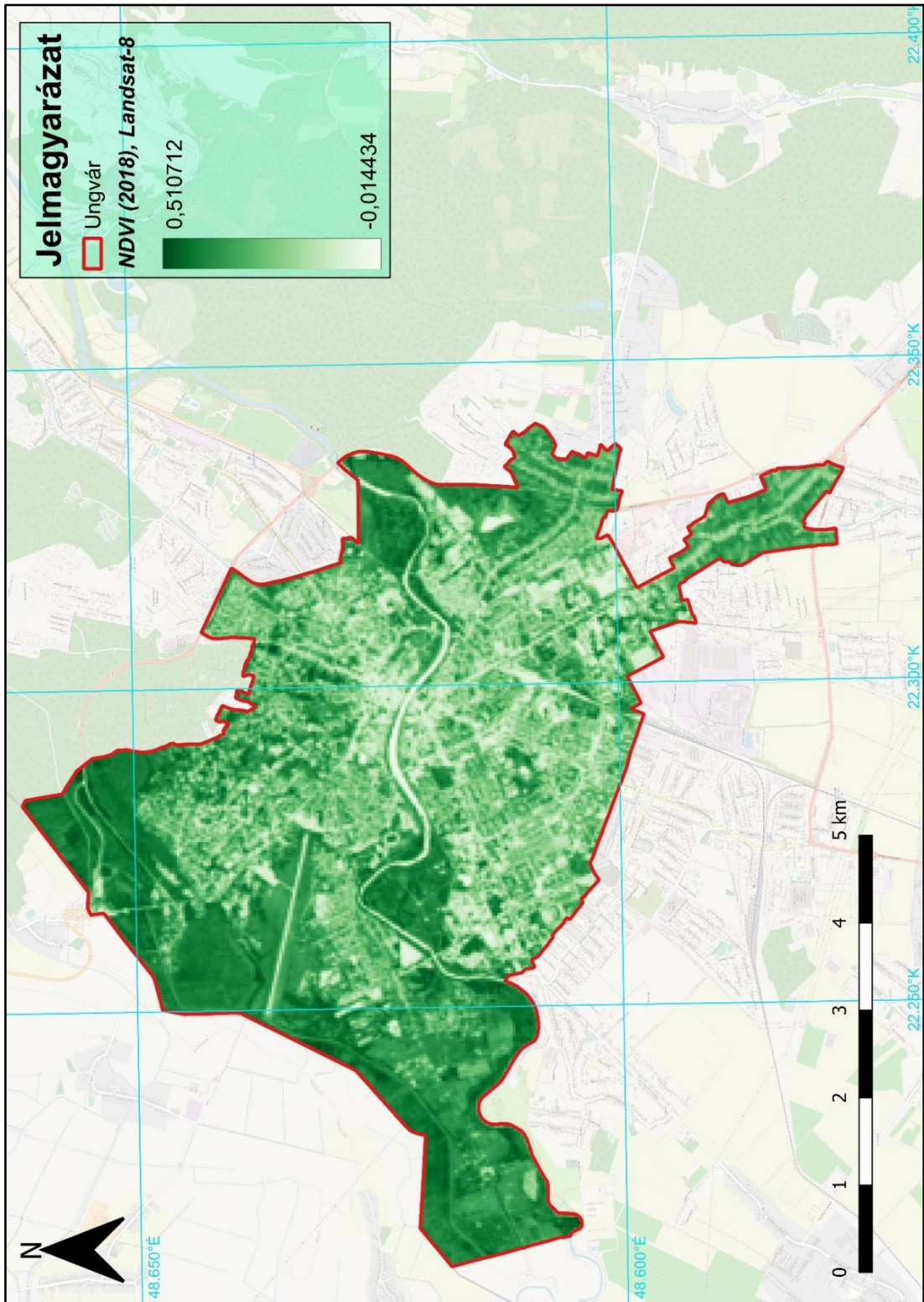
# MELLÉKLET

## 1. számú melléklet

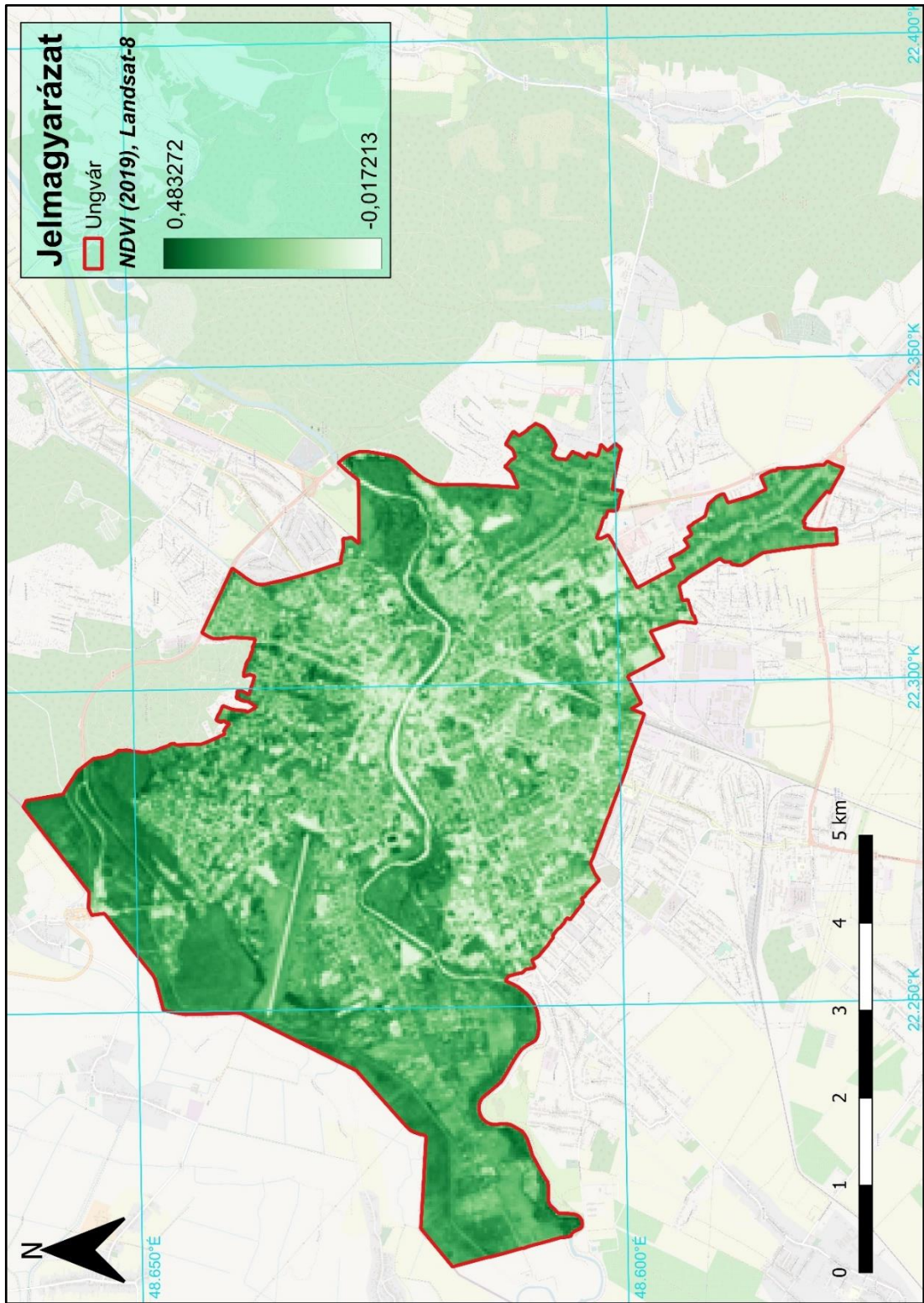
Az NDVI értékeinek eloszlása a Landsat-8 felvételei alapján (2017)



Az NDVI értékeinek eloszlása a Landsat-8 felvételei alapján (2018)

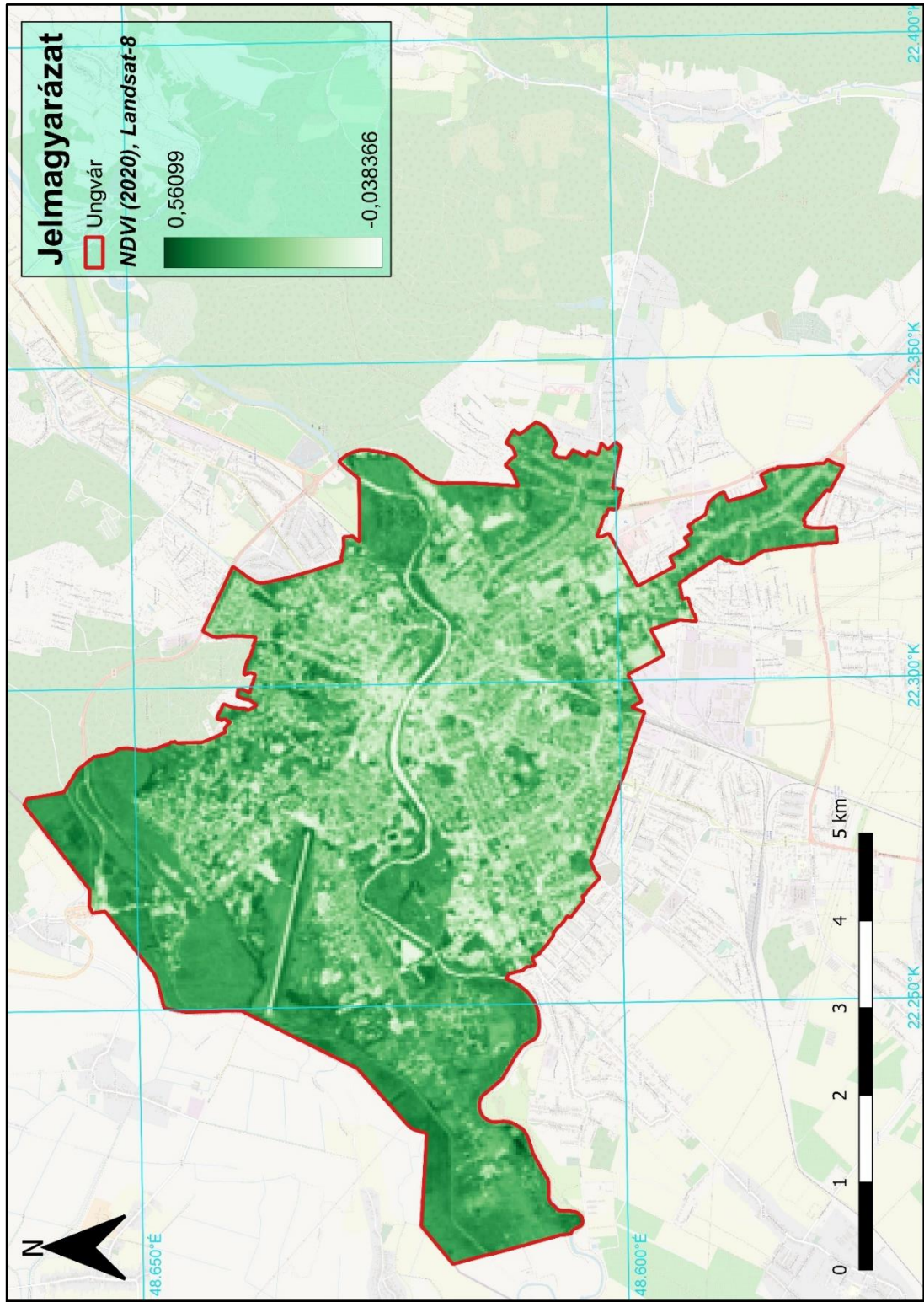


Az NDVI értékeinek eloszlása a Landsat-8 felvételei alapján (2019)

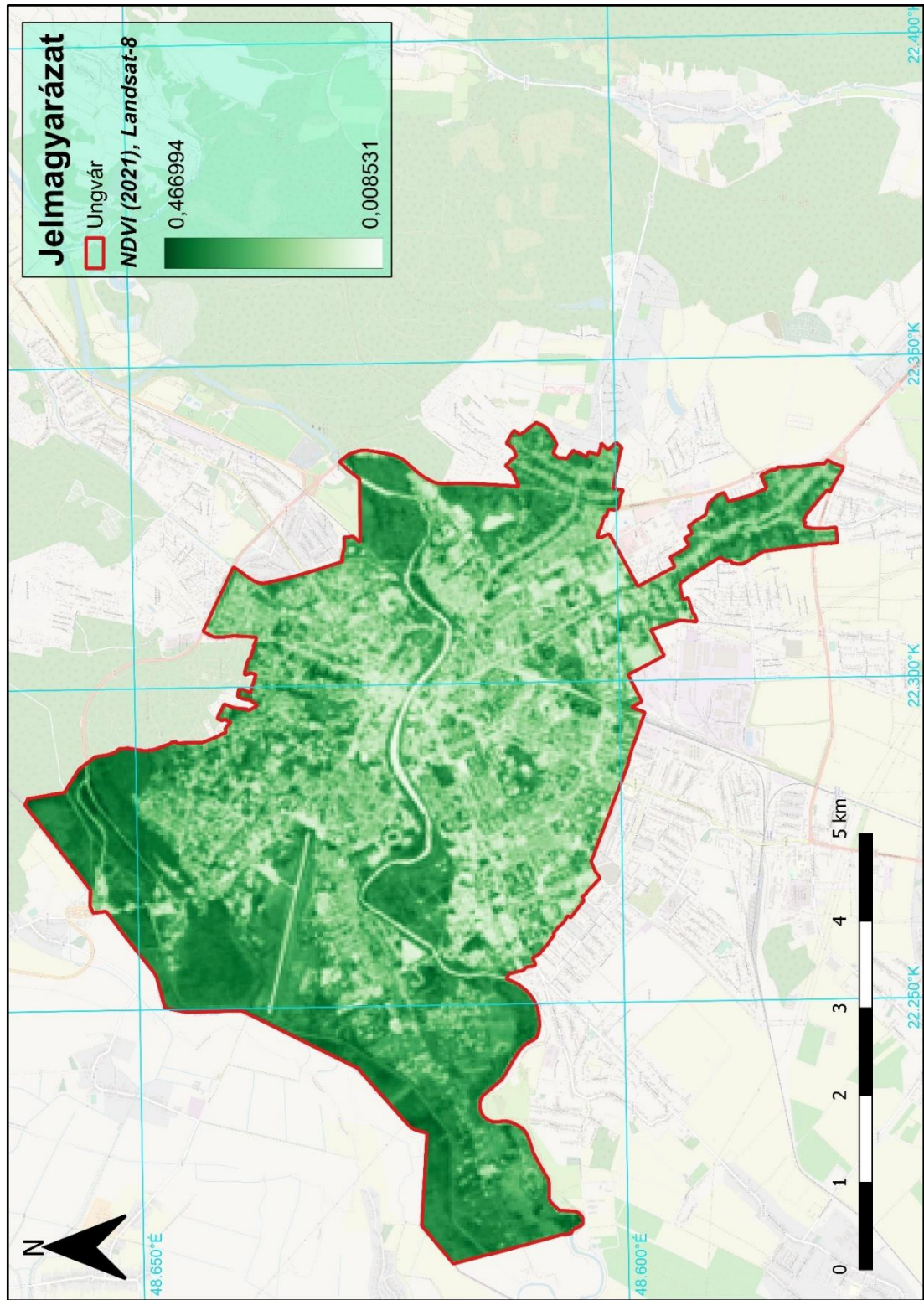




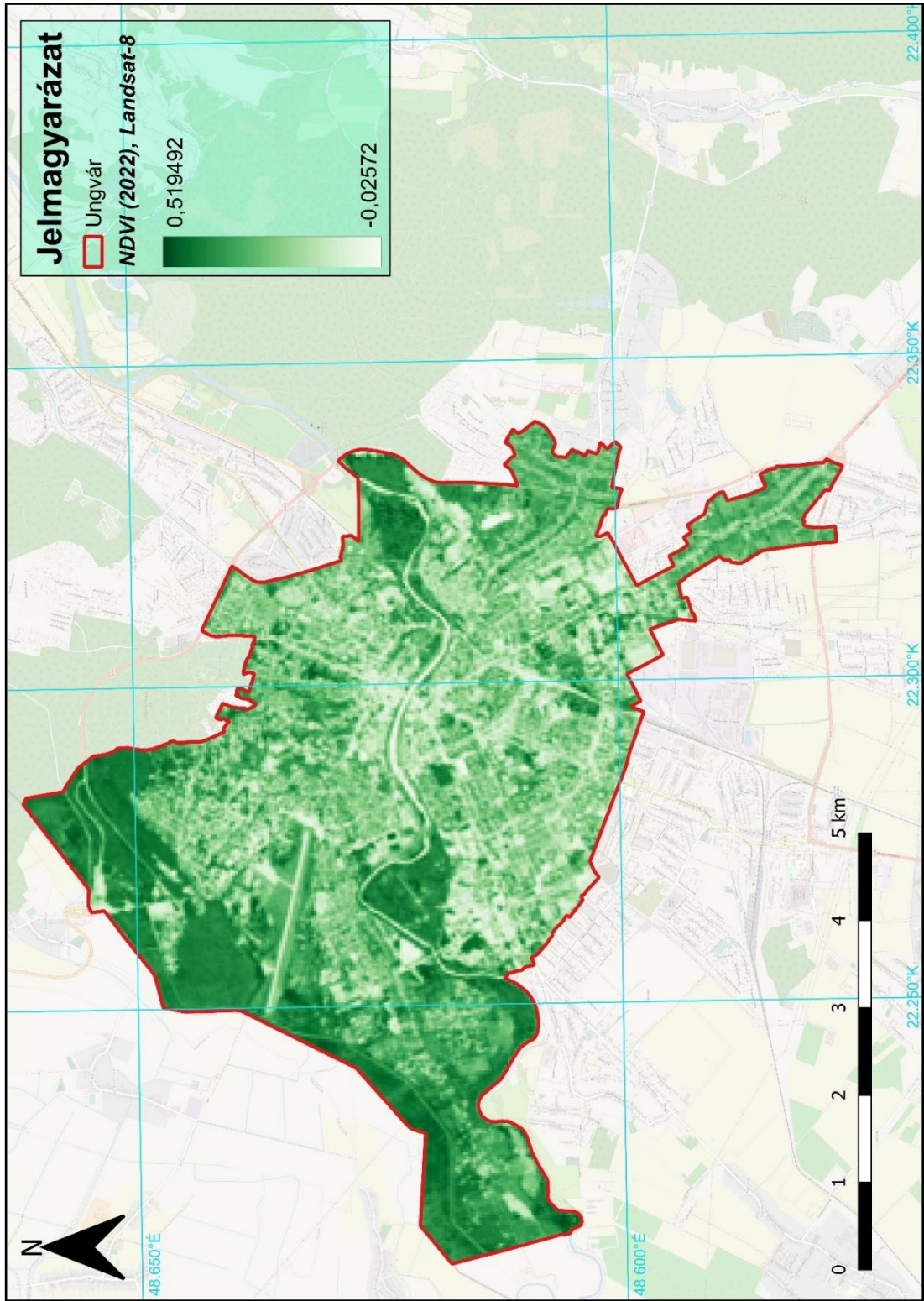
Az NDVI értékeinek eloszlása a Landsat-8 felvételei alapján (2020)



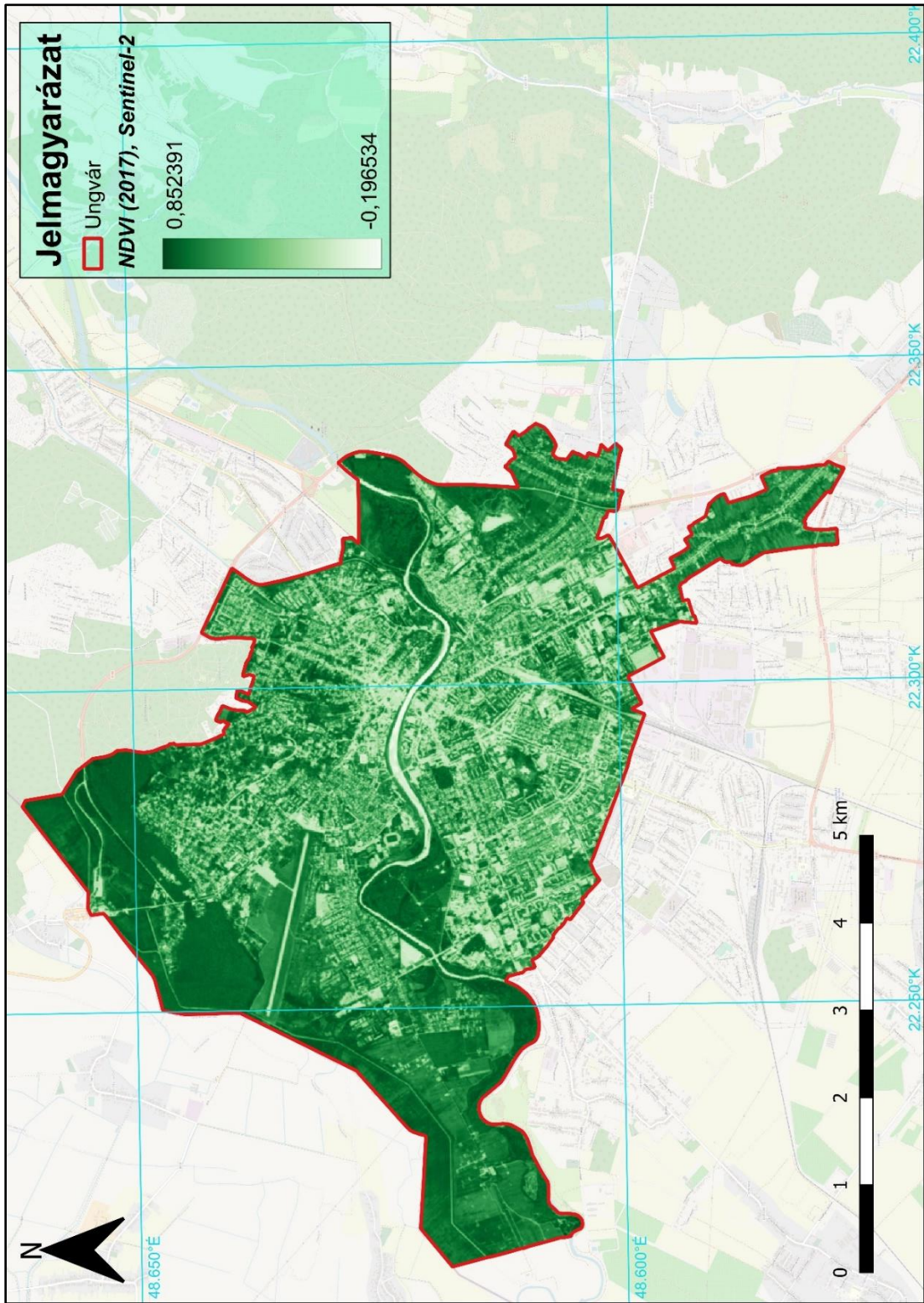
Az NDVI értékeinek eloszlása a Landsat-8 felvételei alapján (2021)



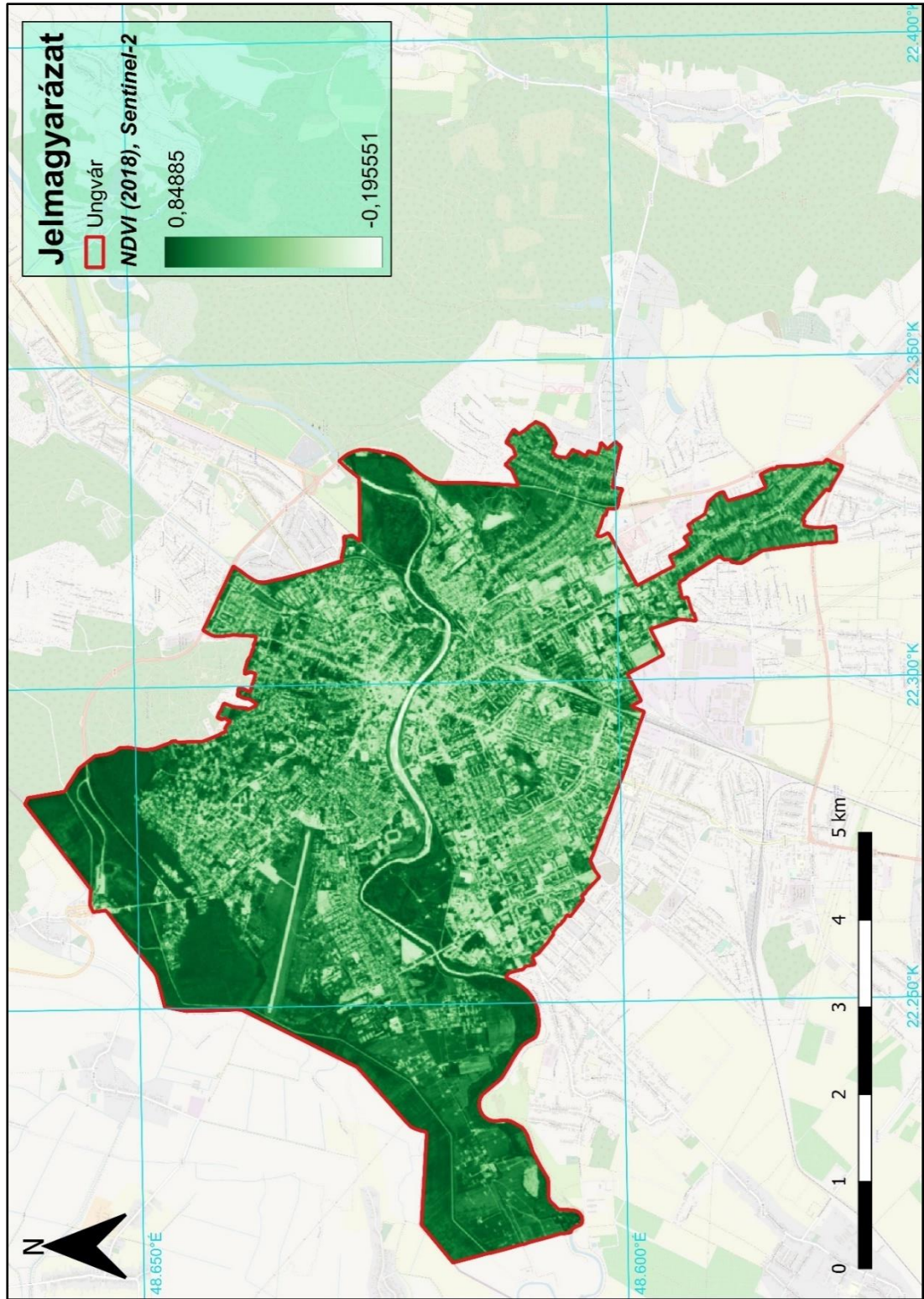
Az NDVI értékeinek eloszlása a Landsat-8 felvételei alapján (2022)



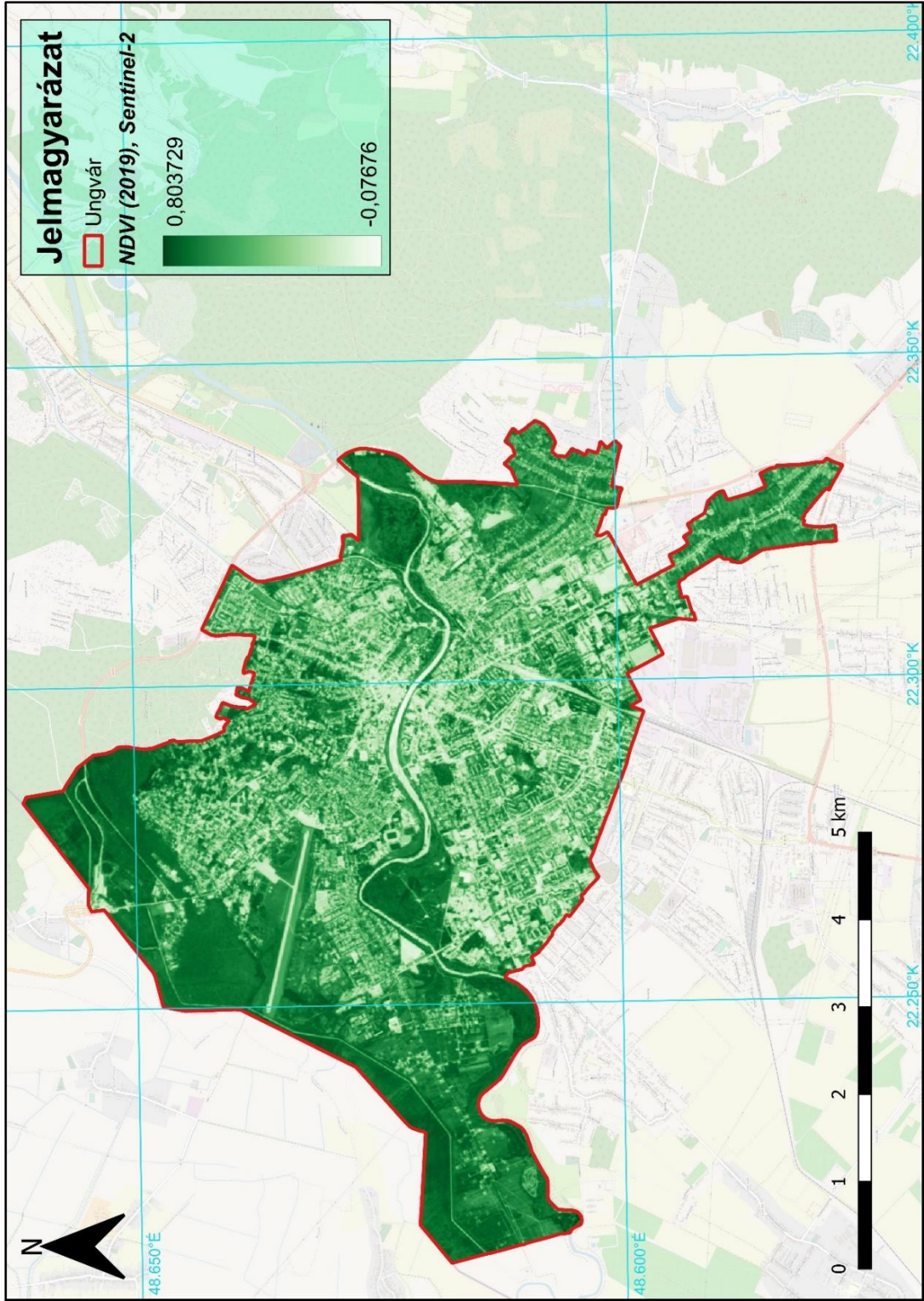
Az NDVI értékeinek eloszlása a Sentinel-2 felvételei alapján (2017)



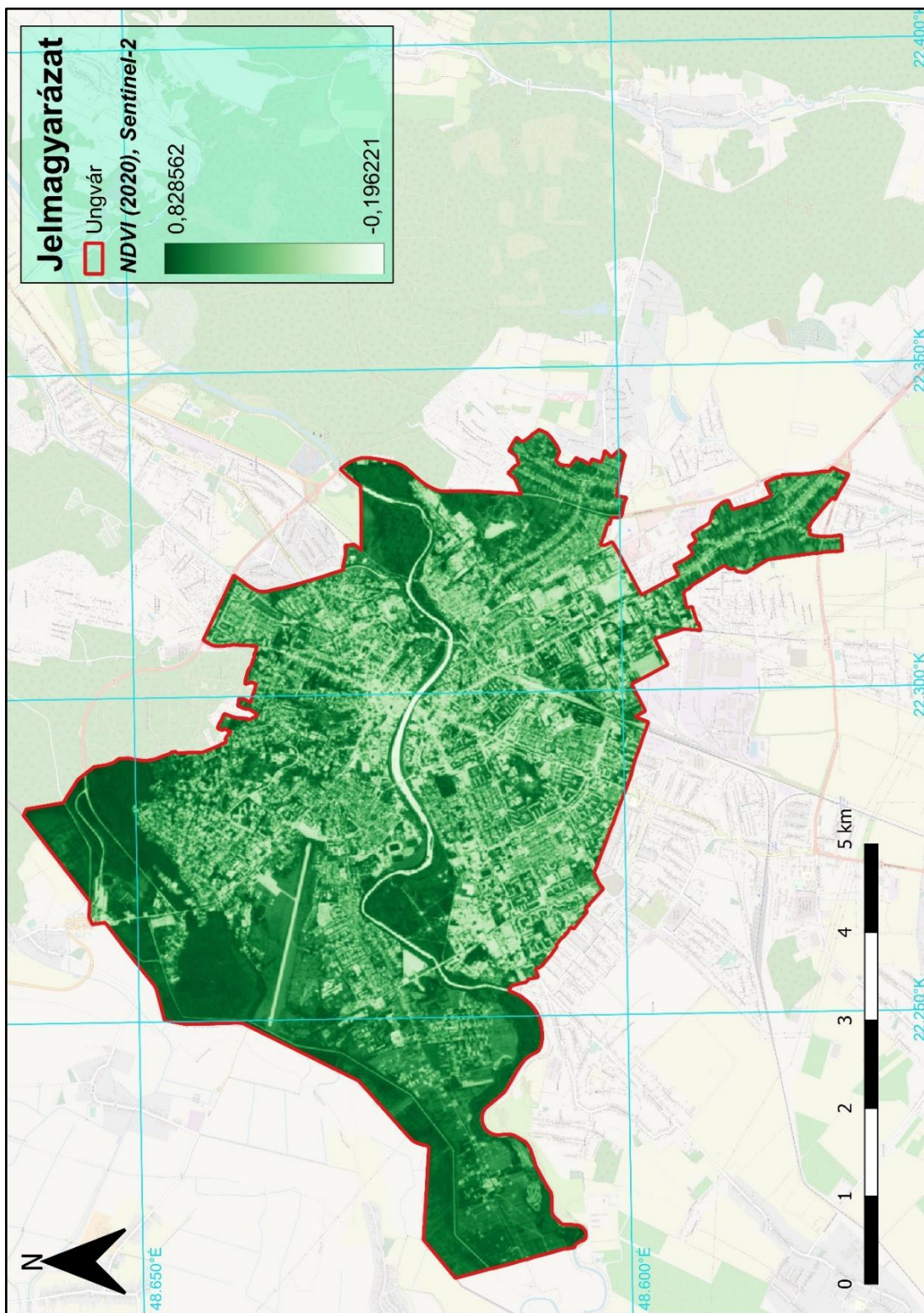
Az NDVI értékeinek eloszlása a Sentinel-2 felvételei alapján (2018)



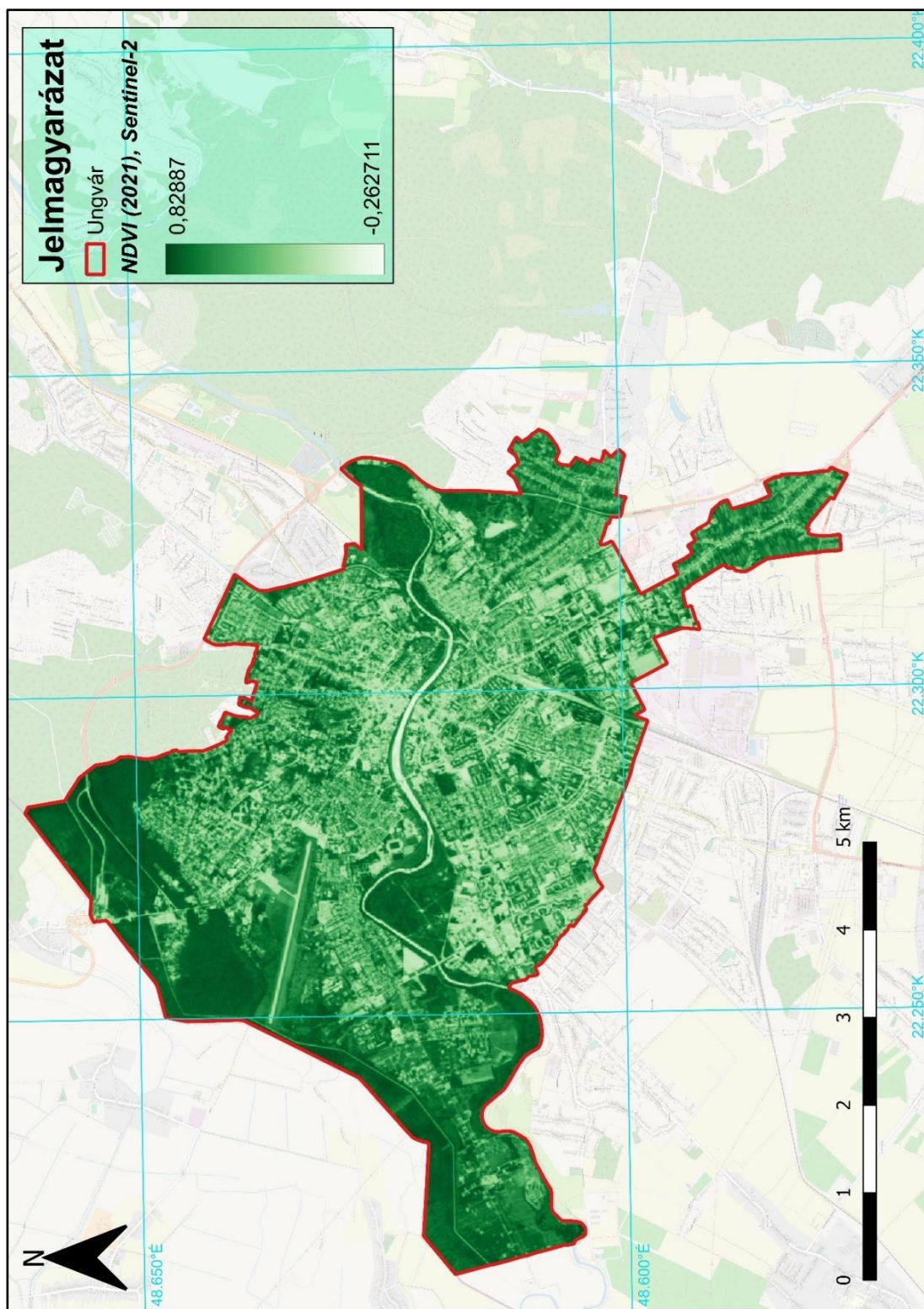
Az NDVI értékek eloszlása a Sentinel-2 felvételei alapján (2019)



Az NDVI értékeinek eloszlása a Sentinel-2 felvételei alapján (2020)

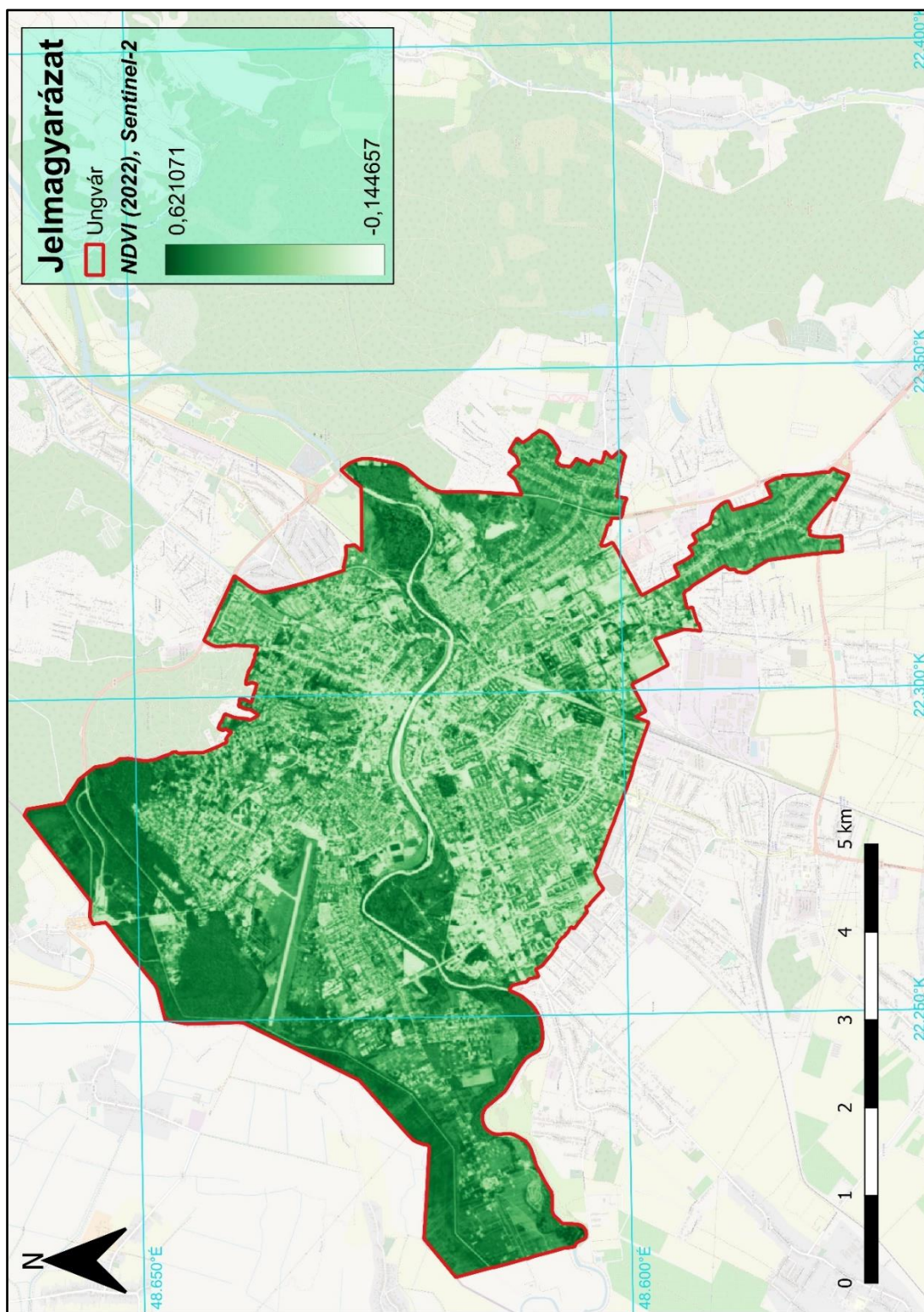


Az NDVI értékeinek eloszlása a Sentinel-2 felvételei alapján (2021)

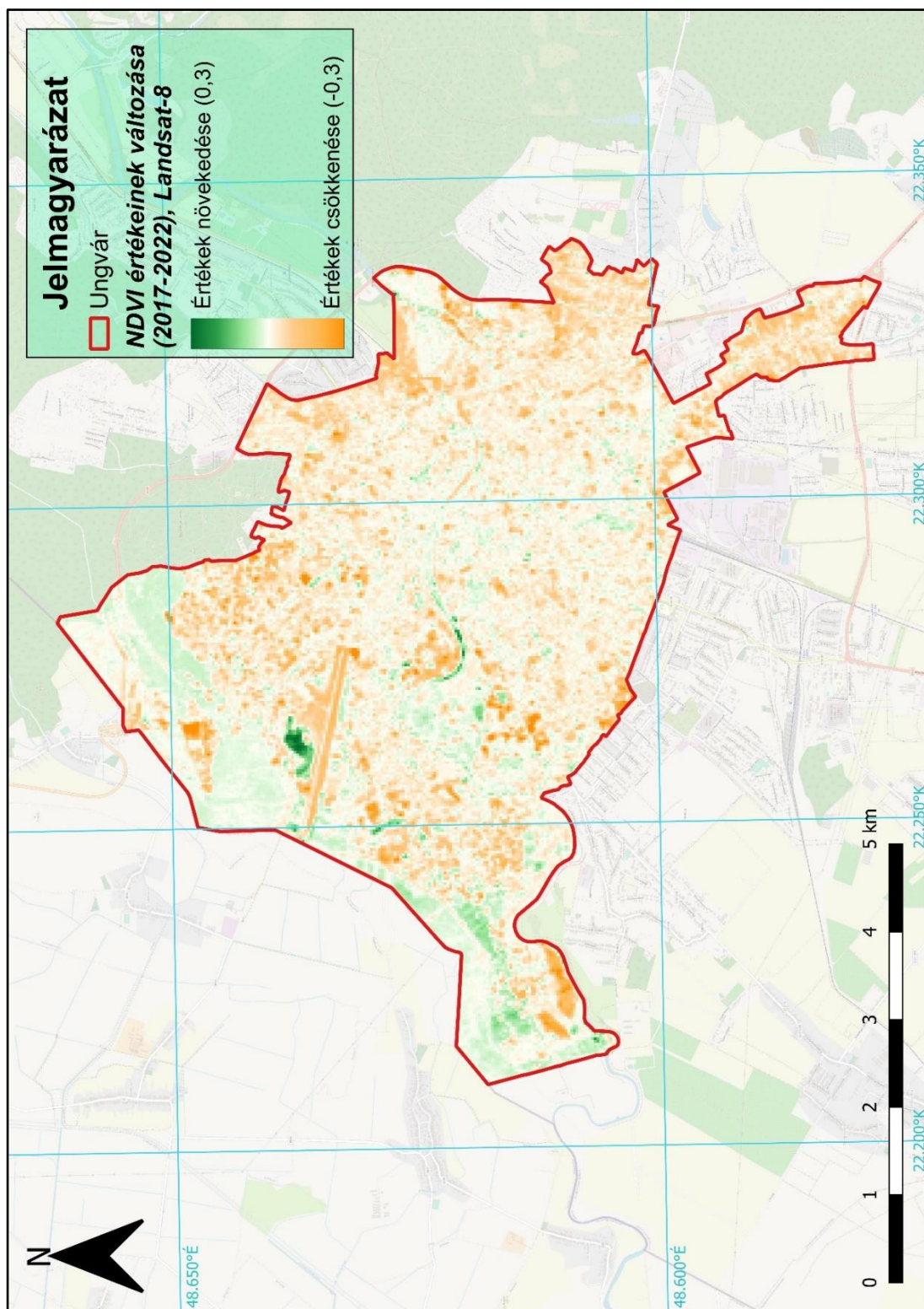




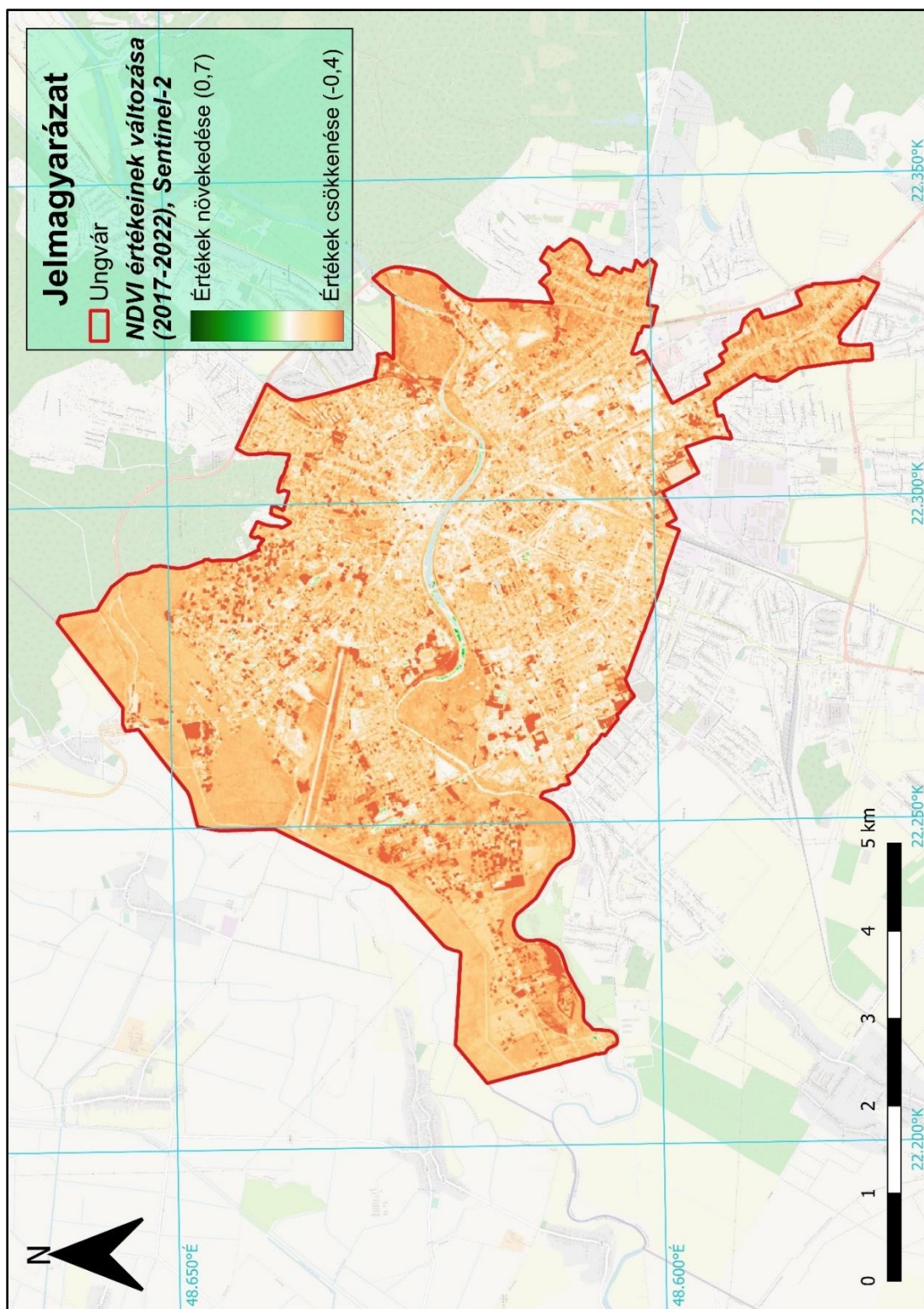
Az NDVI értékeinek eloszlása a Sentinel-2 felvételei alapján (2022)



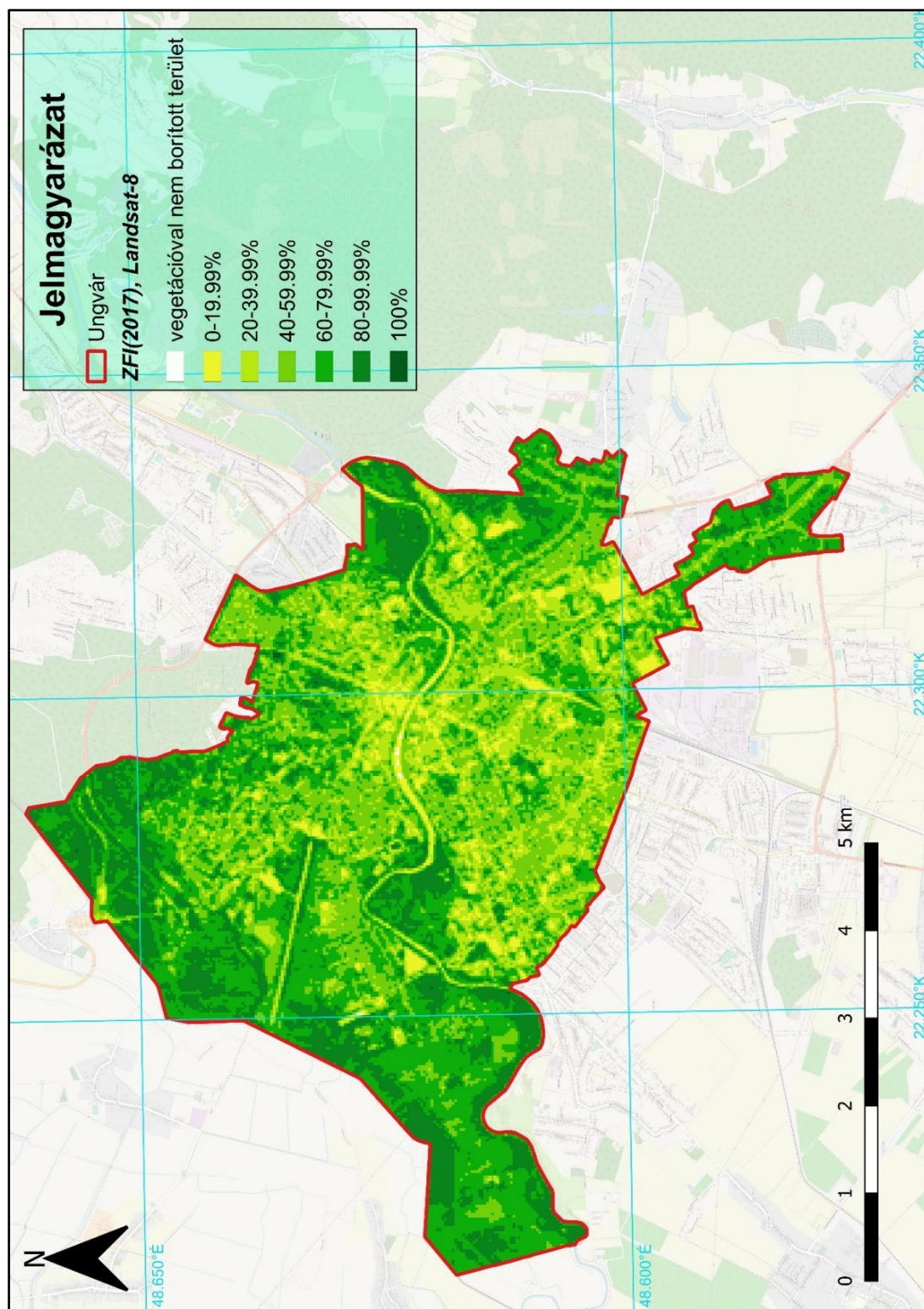
Az NDVI értékeinek változása a Landsat-8 felvételei alapján (2017-2022)



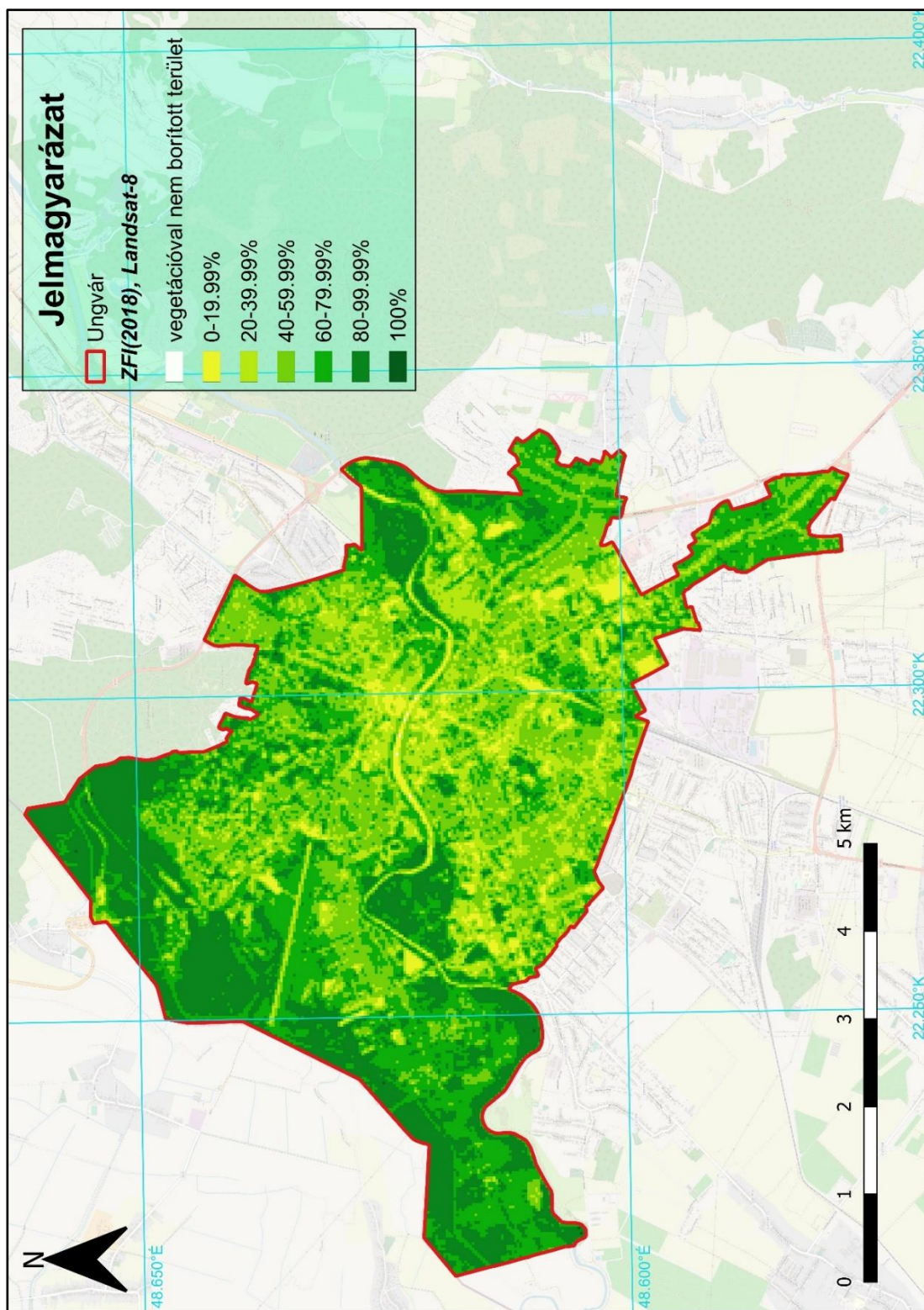
Az NDVI értékeinek változása a Sentinel-2 felvételei alapján (2017-2022)



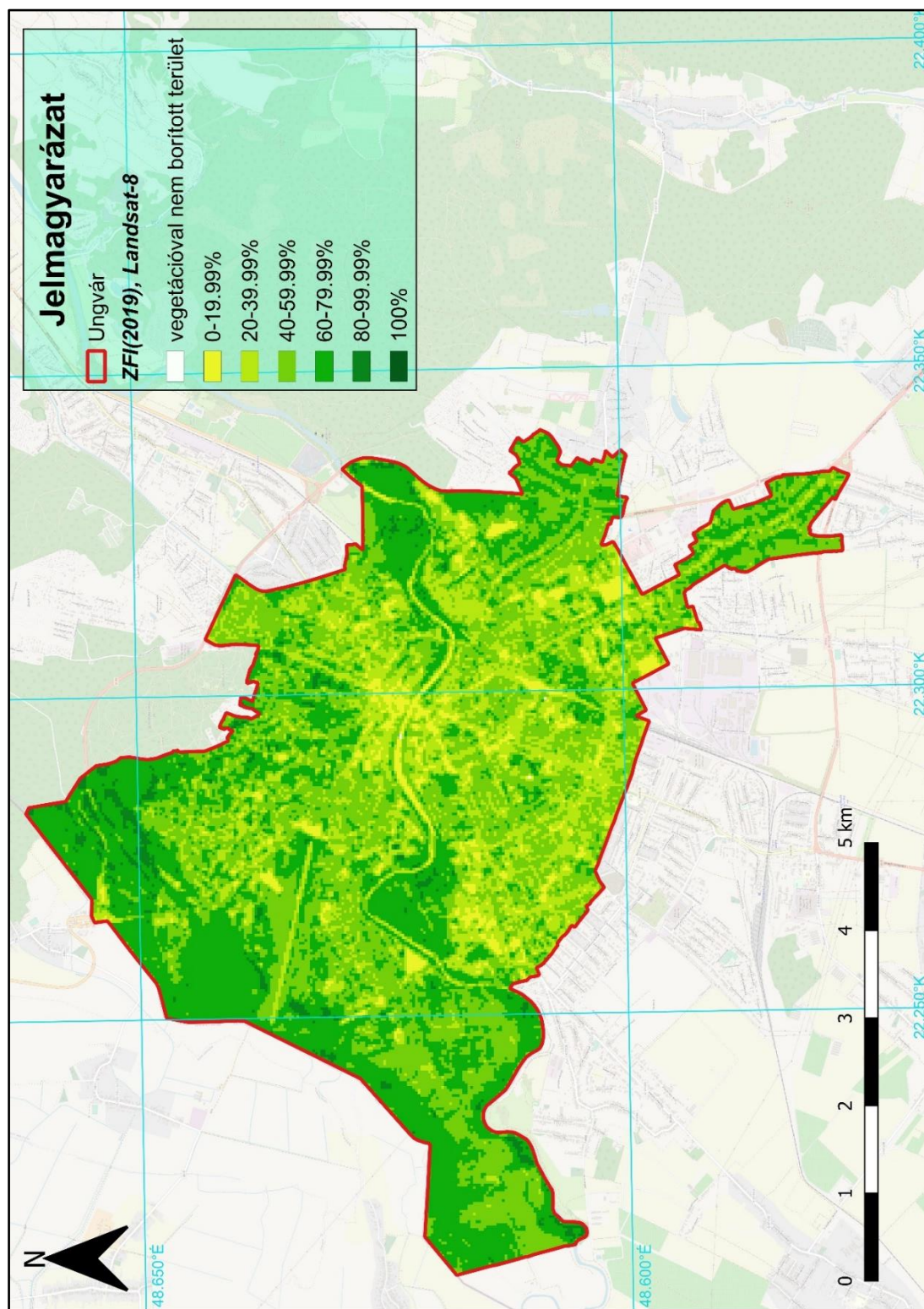
A ZFI értékeinek eloszlása a Landsat-8 felvételei alapján (2017)



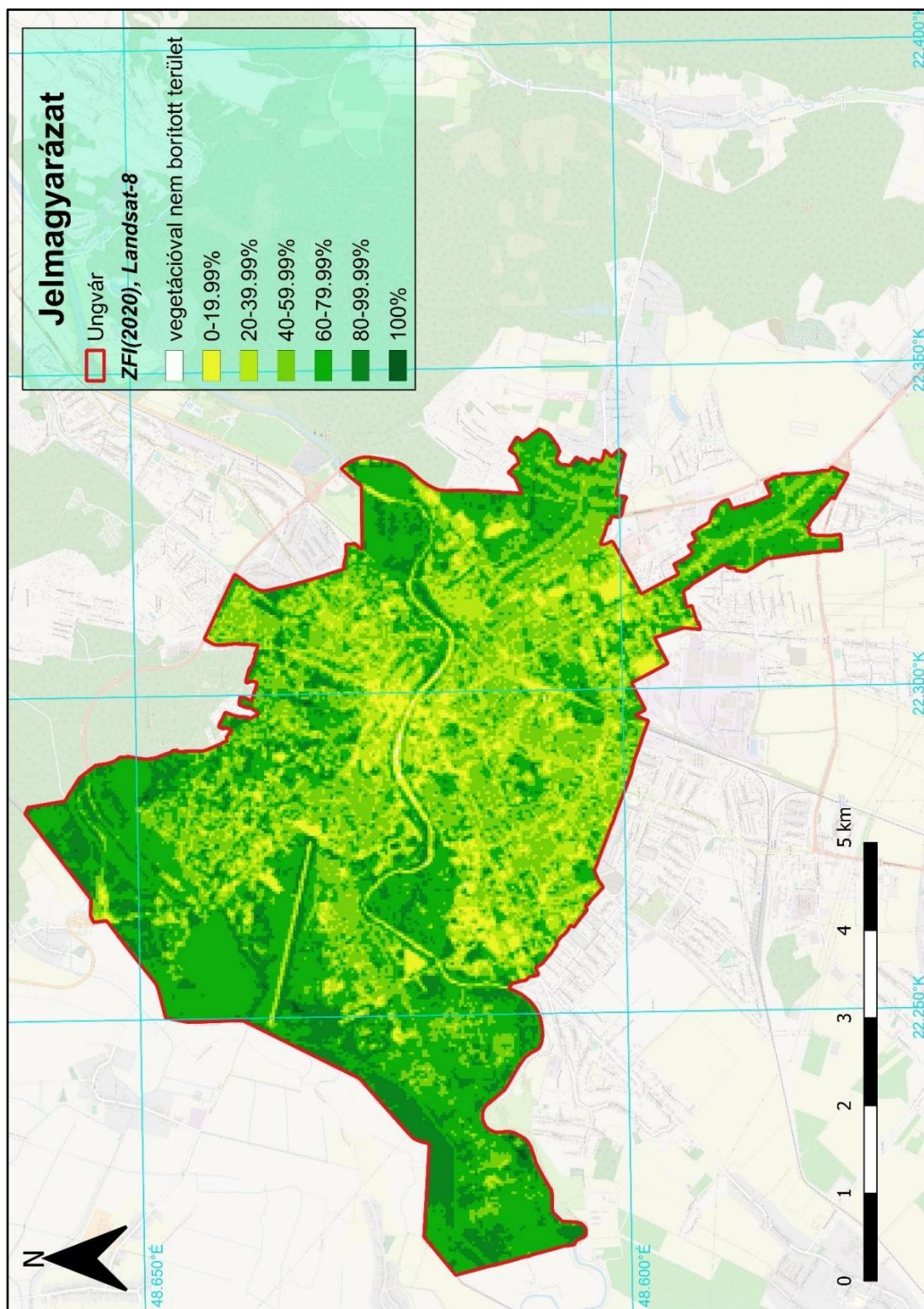
A ZFI értékeinek eloszlása a Landsat-8 felvételei alapján (2018)



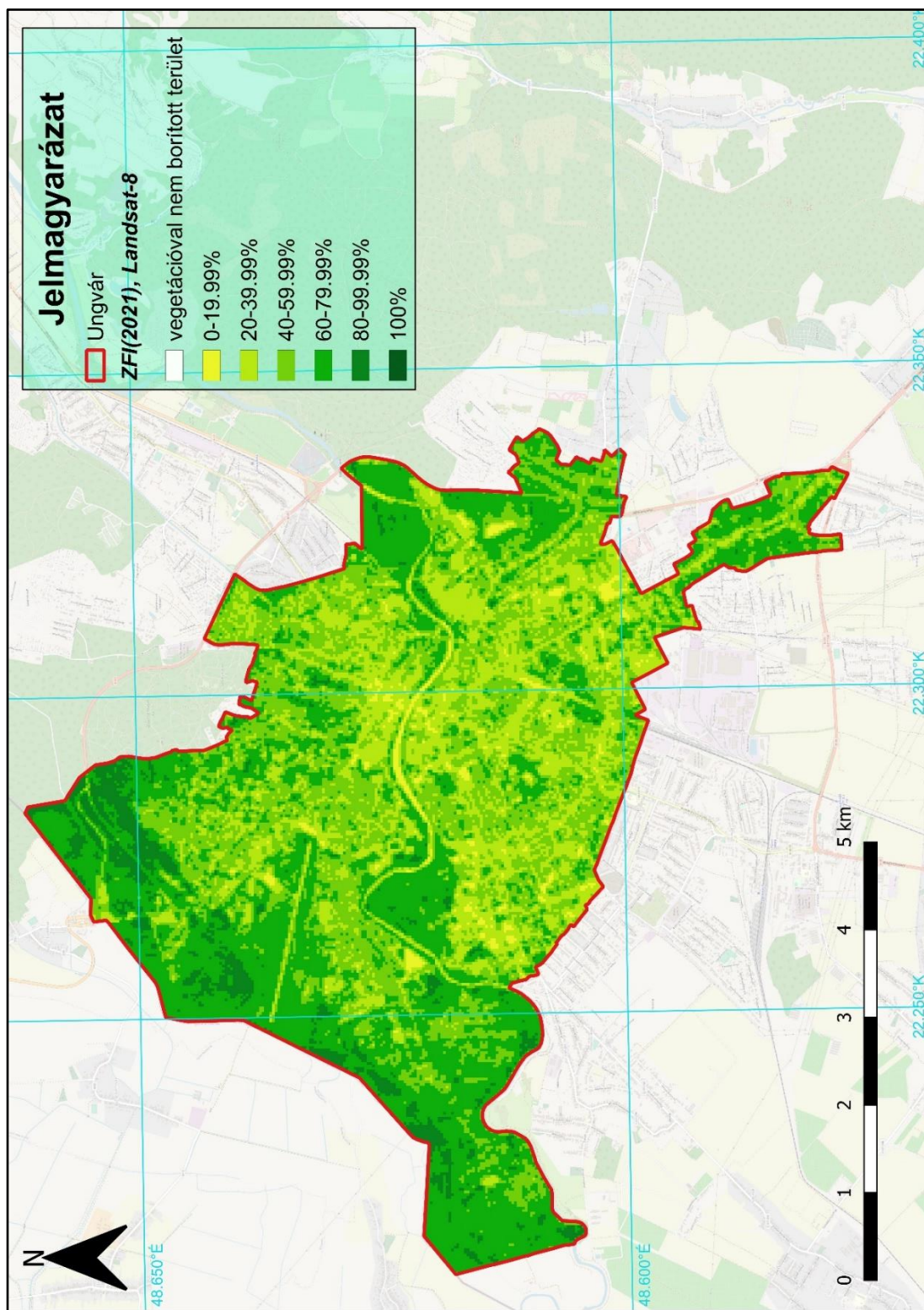
A ZFI értékeinek eloszlása a Landsat-8 felvételei alapján (2019)



A ZFI értékeinek eloszlása a Landsat-8 felvételei alapján (2020)

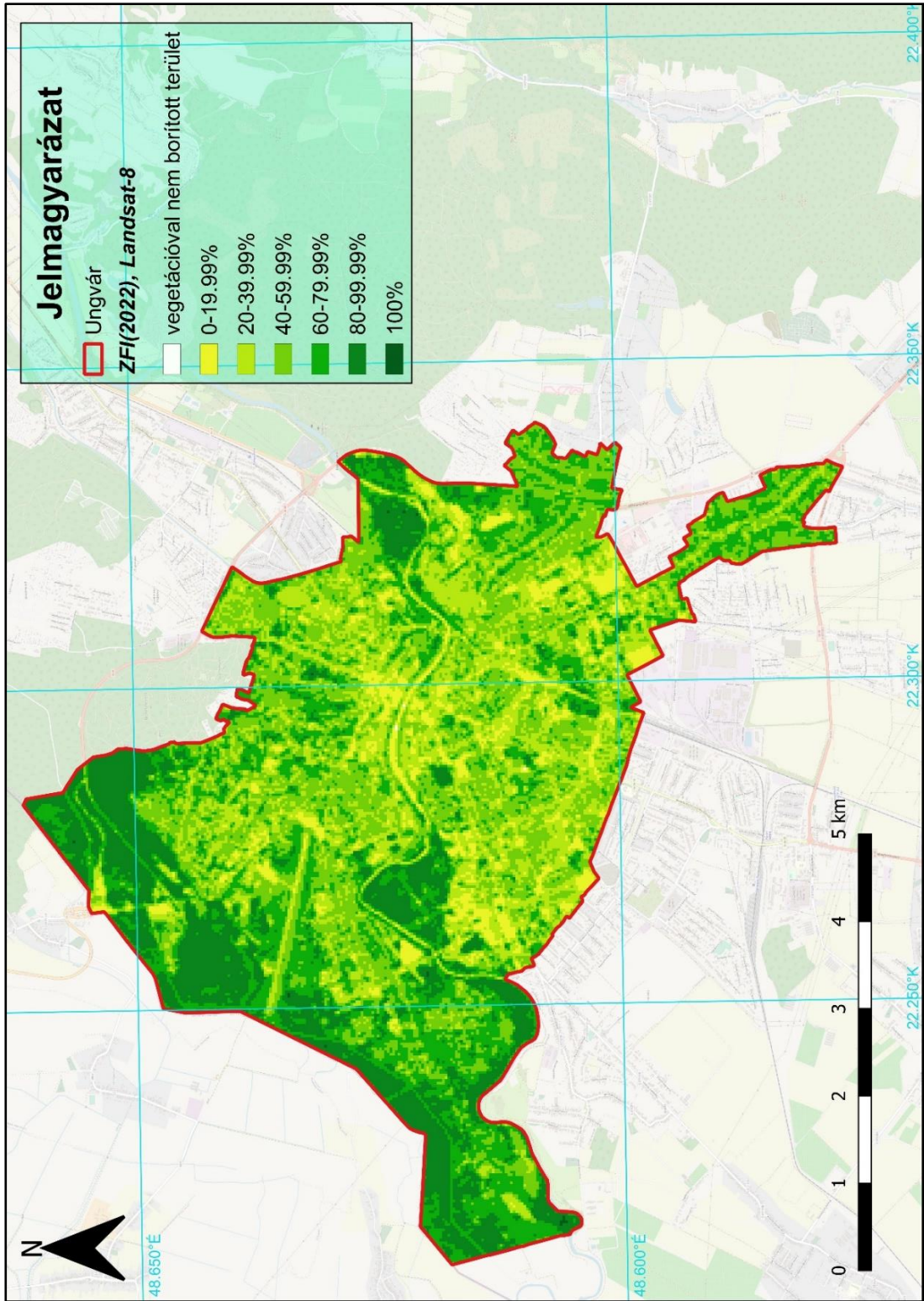


A ZFI értékeinek eloszlása a Landsat-8 felvételei alapján (2021)

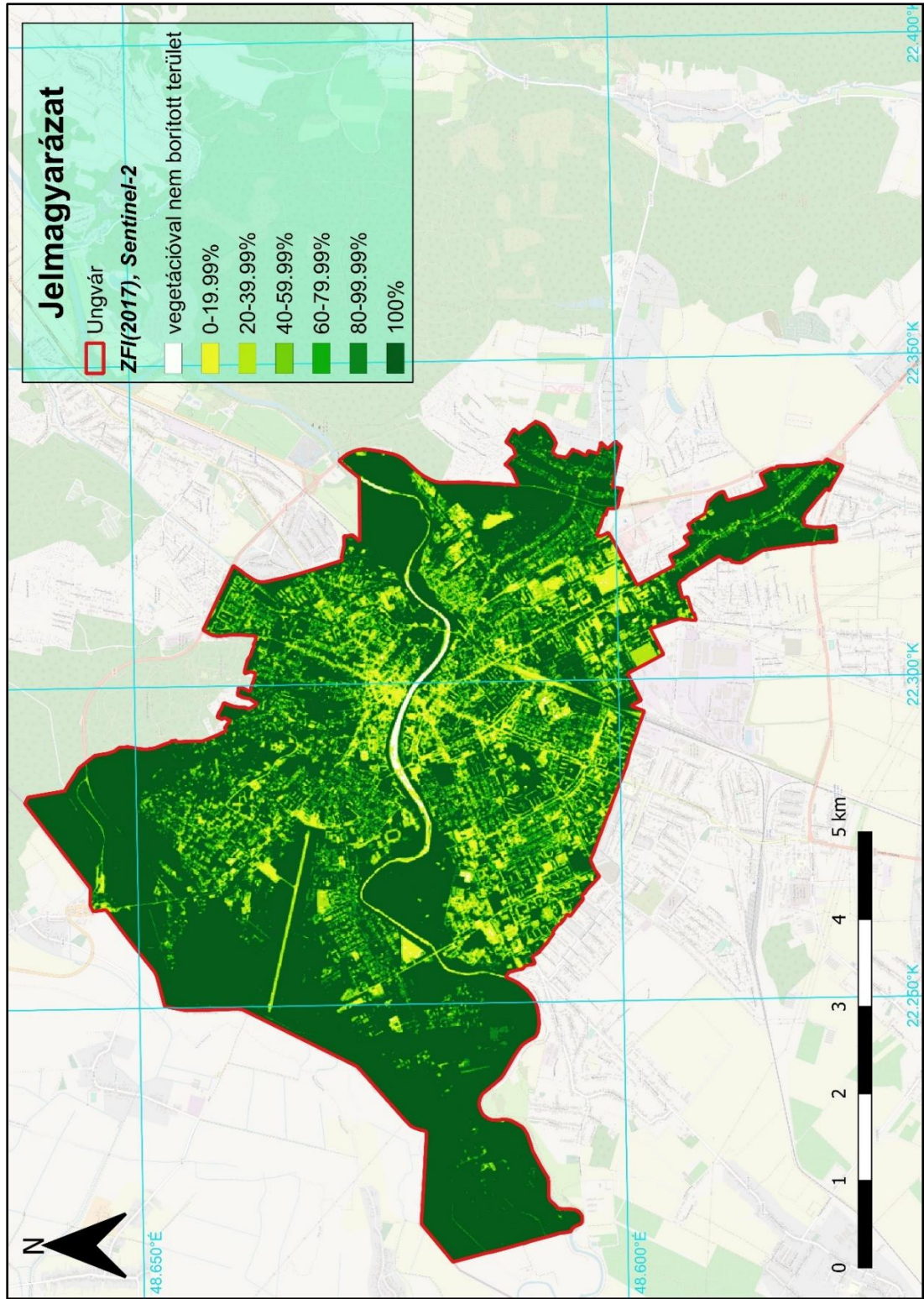




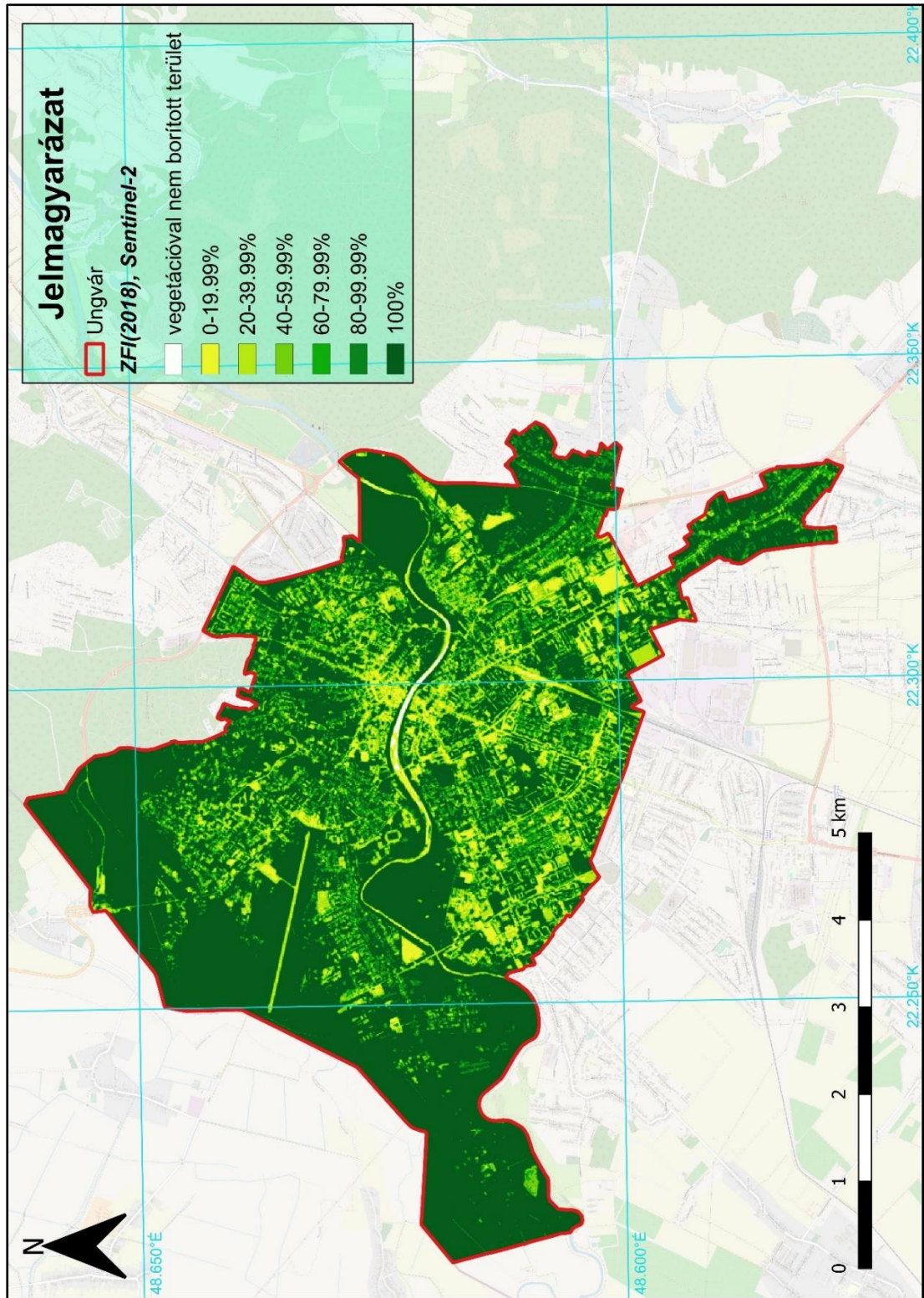
A ZFI értékeinek eloszlása a Landsat-8 felvételei alapján (2022)



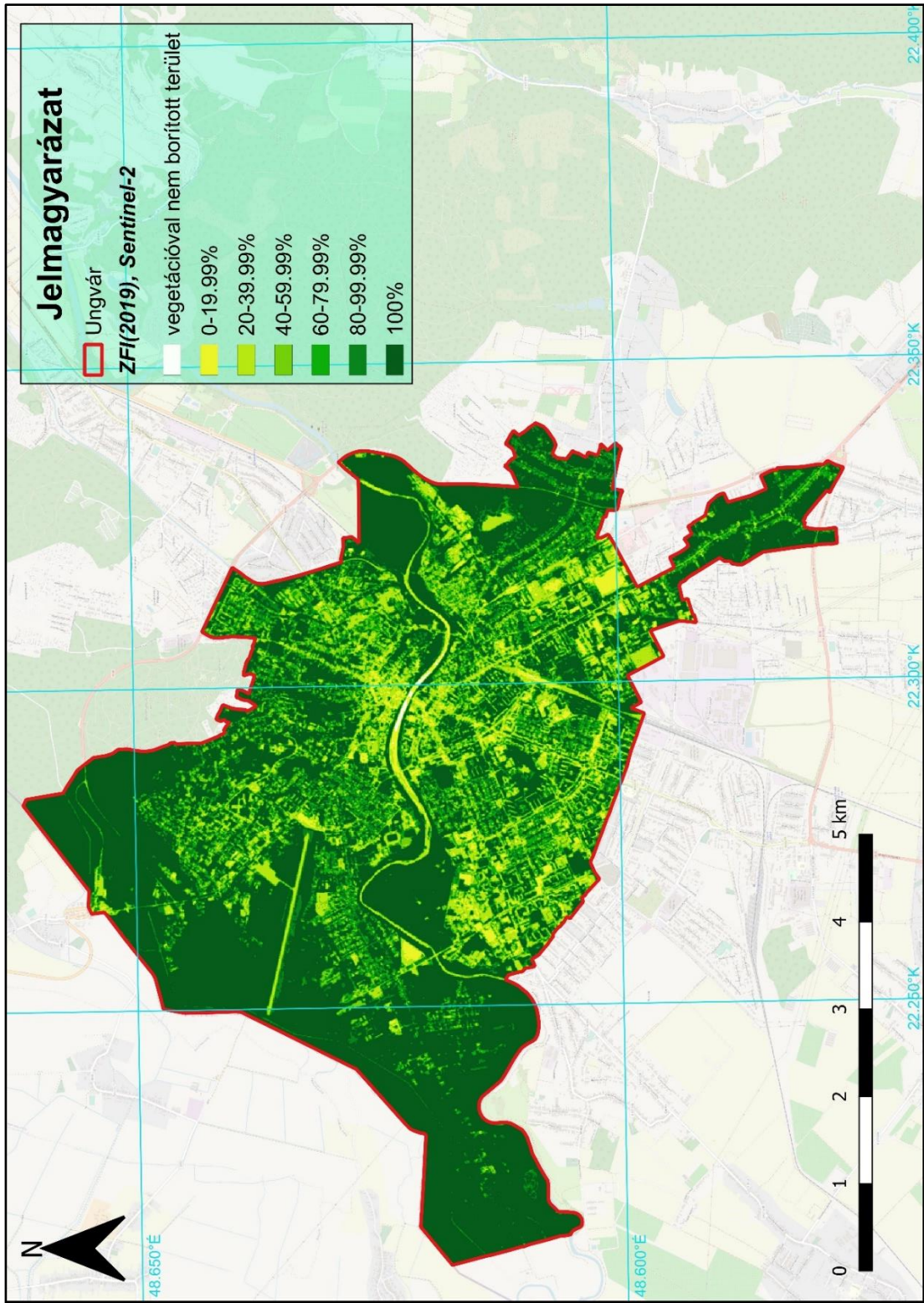
A ZFI értékeinek eloszlása a Sentinel-2 felvételei alapján (2017)



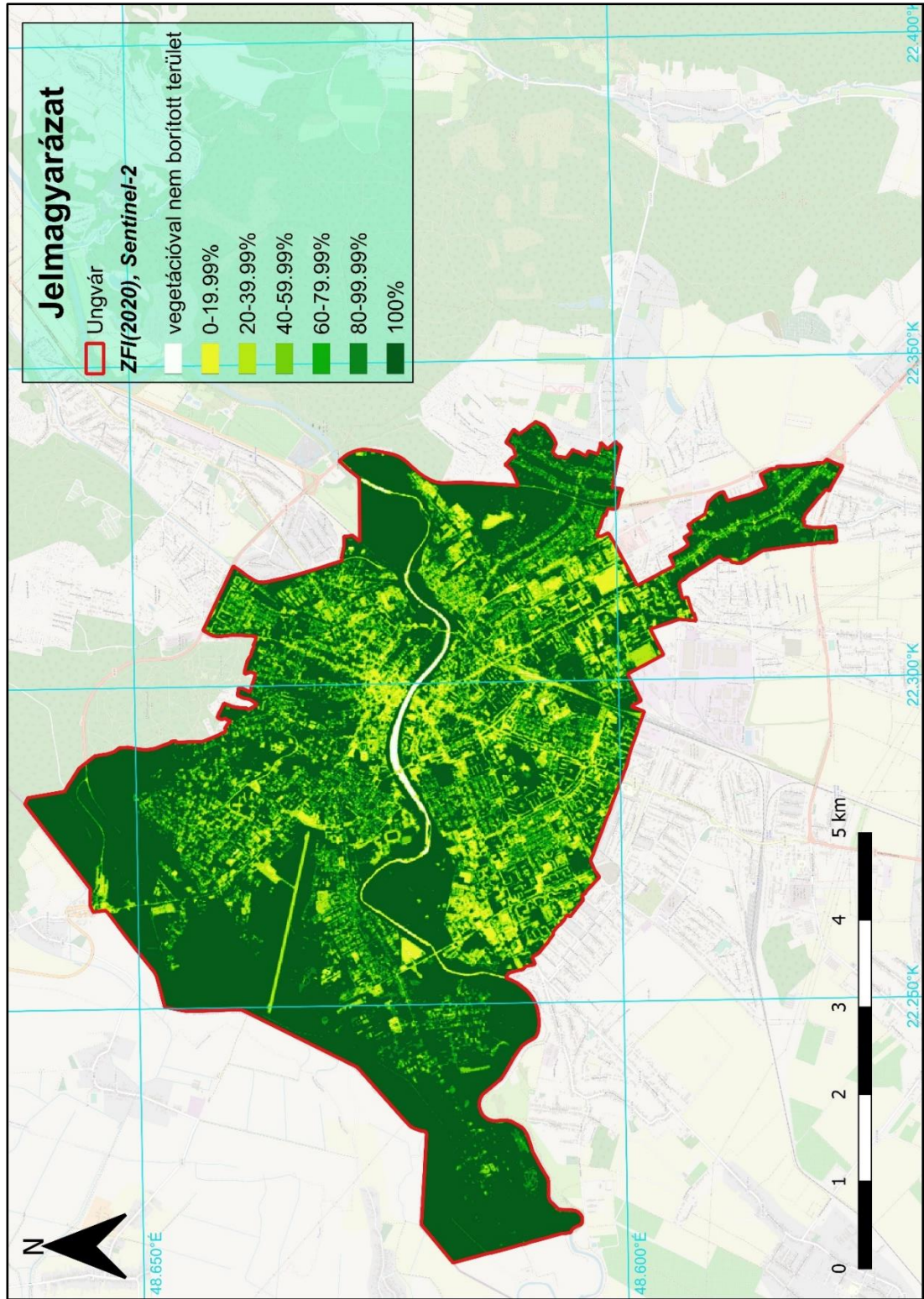
A ZFI értékeinek eloszlása a Sentinel-2 felvételei alapján (2018)



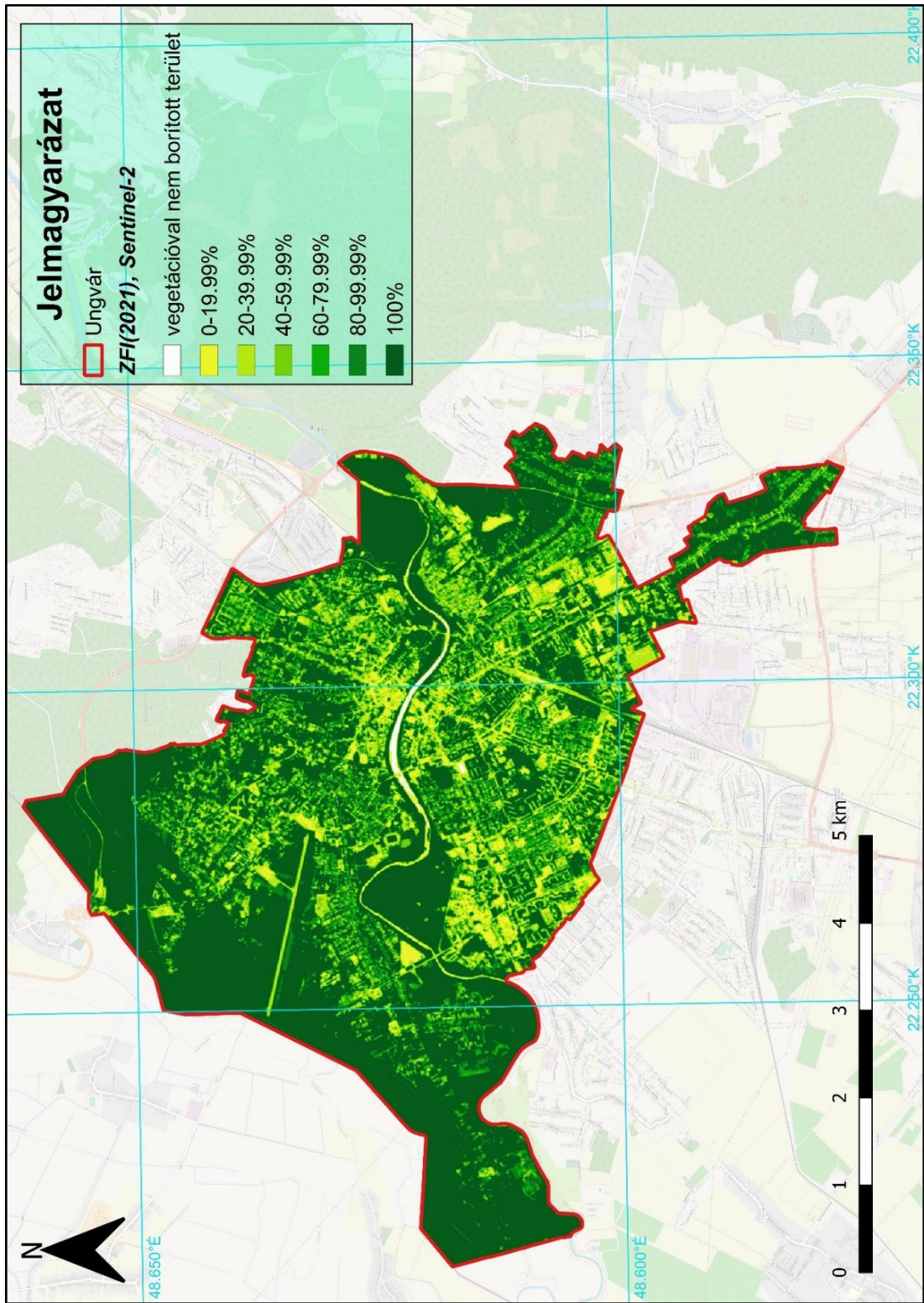
A ZFI értékeinek eloszlása a Sentinel-2 felvételei alapján (2019)



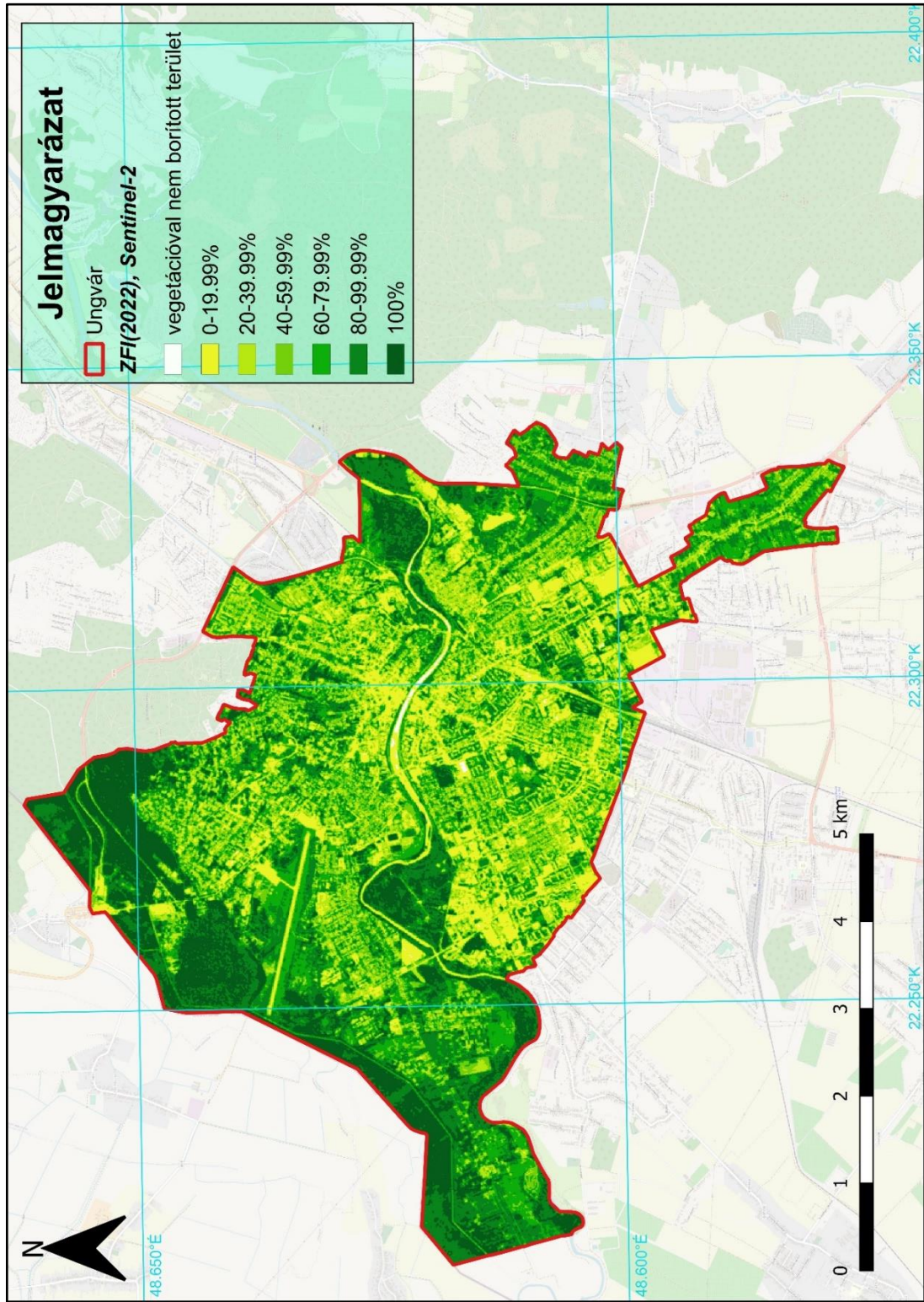
A ZFI értékeinek eloszlása a Sentinel-2 felvételei alapján (2020)



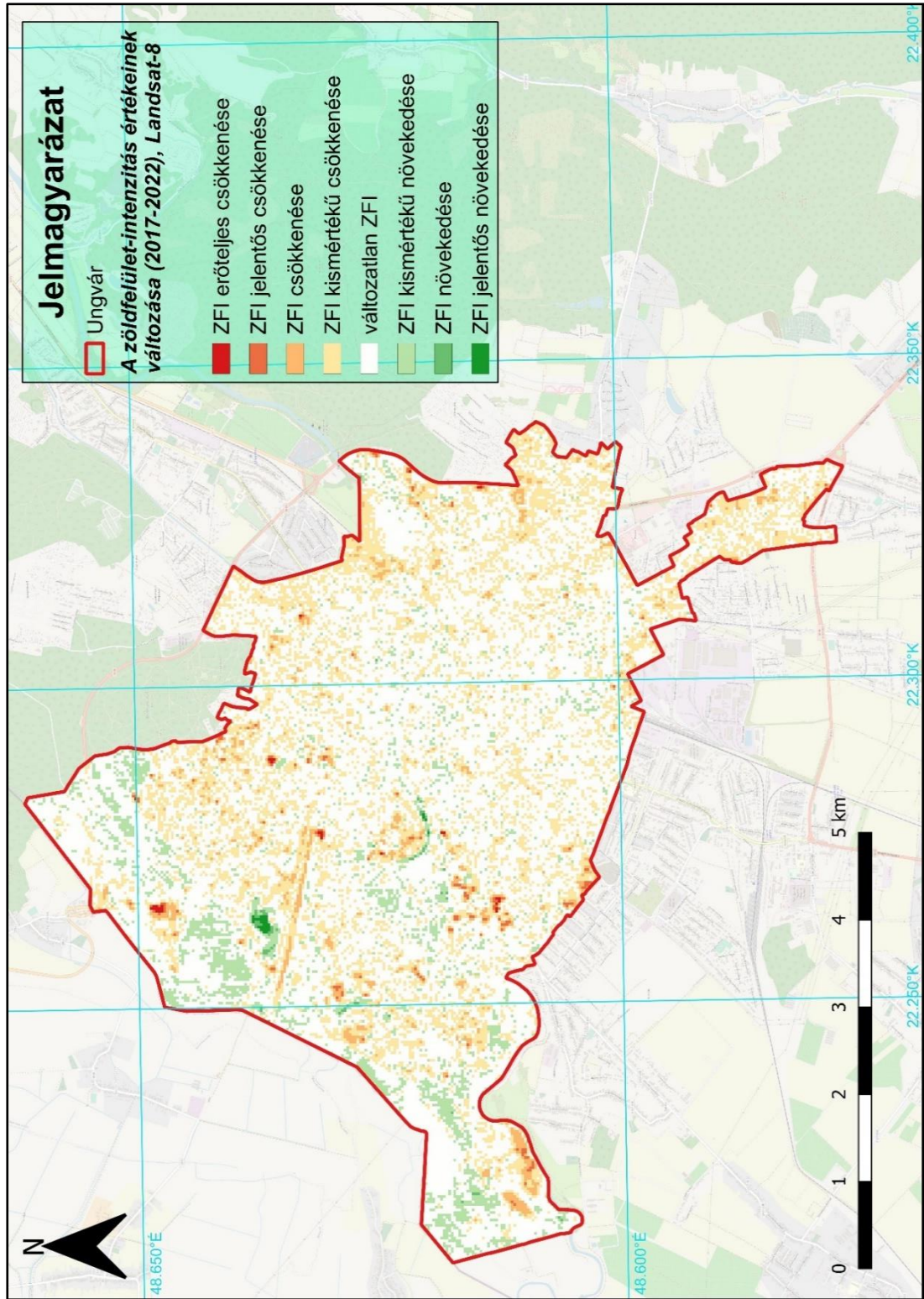
A ZFI értékeinek eloszlása a Sentinel-2 felvételei alapján (2021)



A ZFI értékeinek eloszlása a Sentinel-2 felvételei alapján (2022)

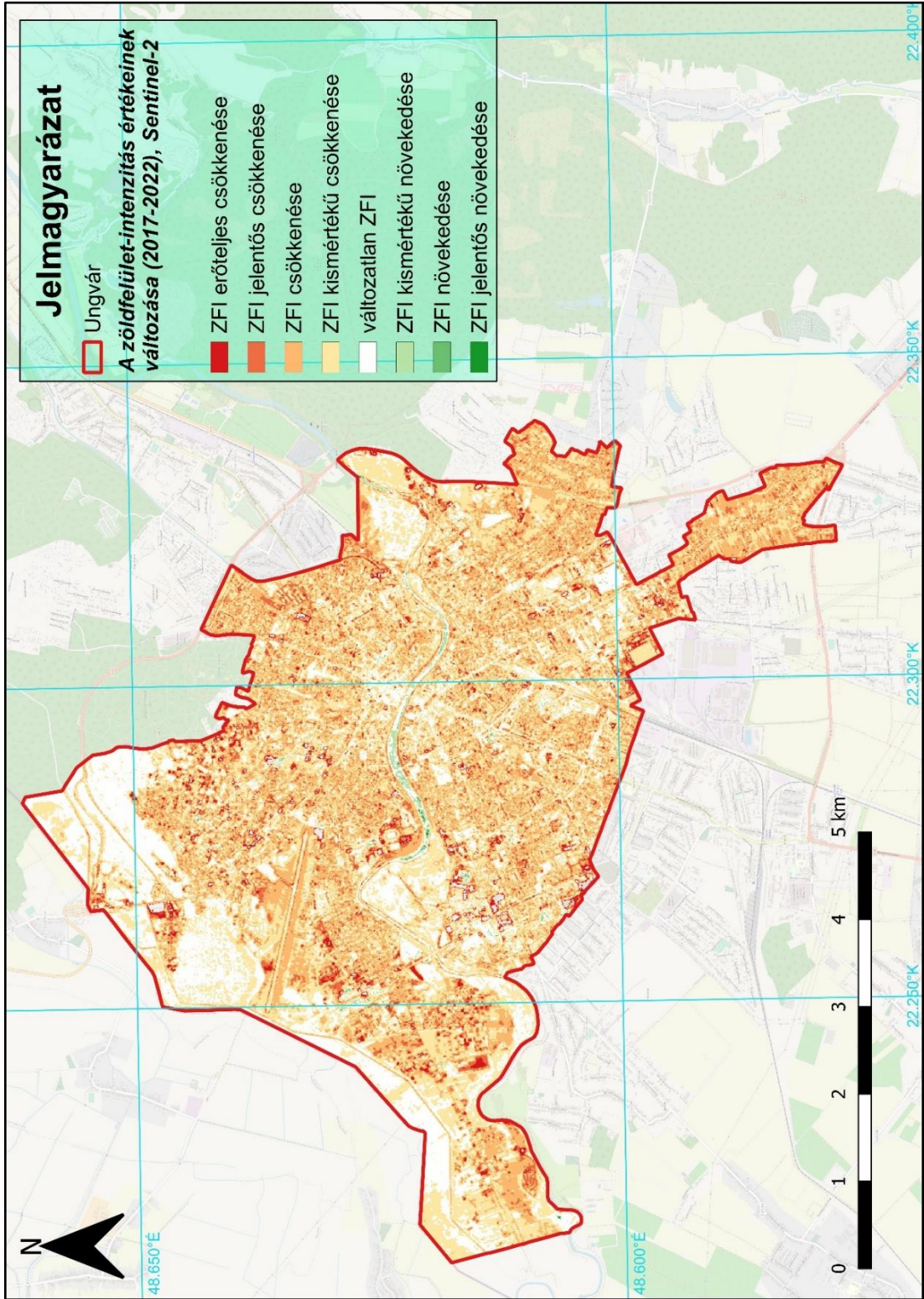


A ZFI értékeinek változása a Landsat-8 felvételei alapján (2017-2022)

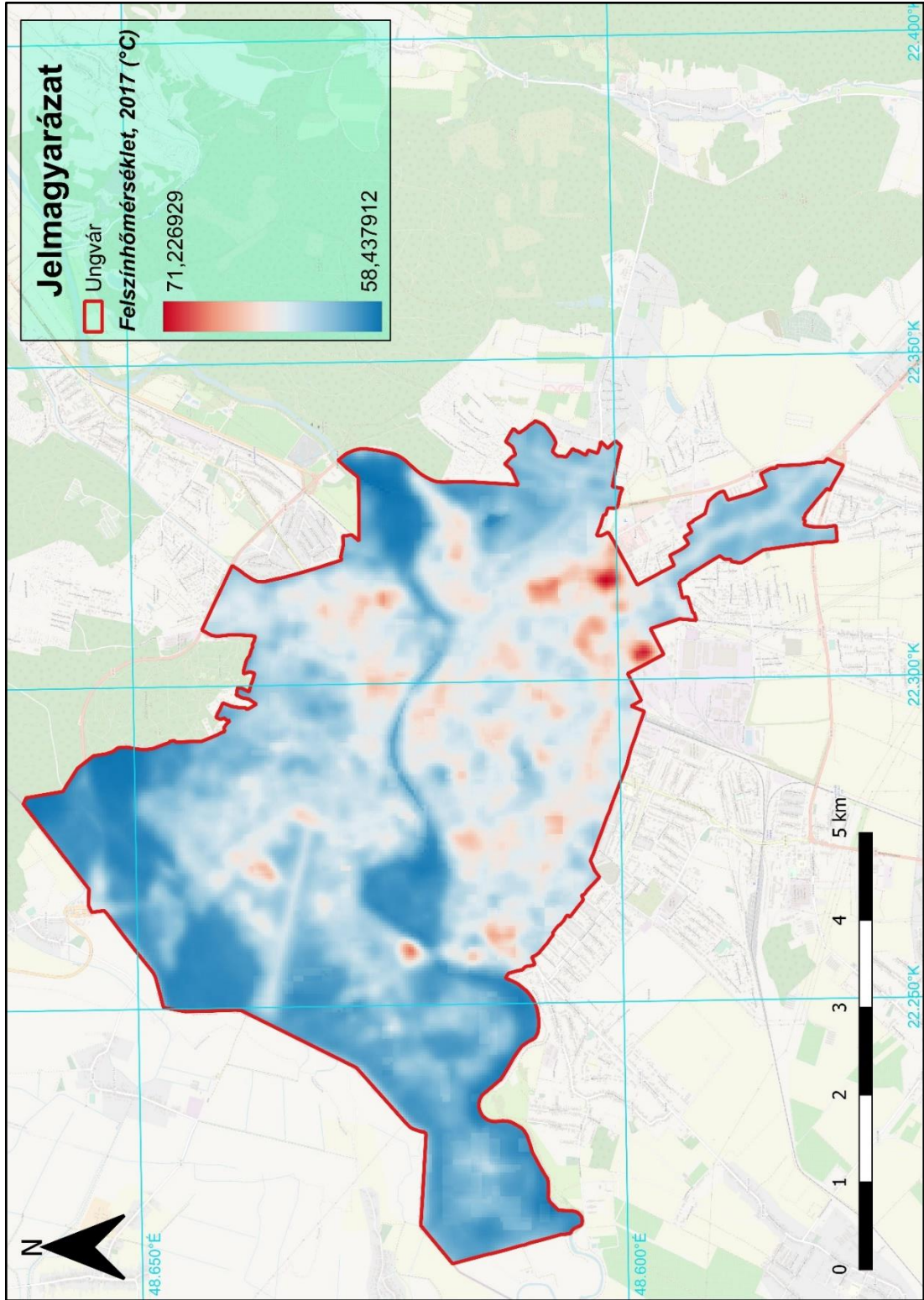




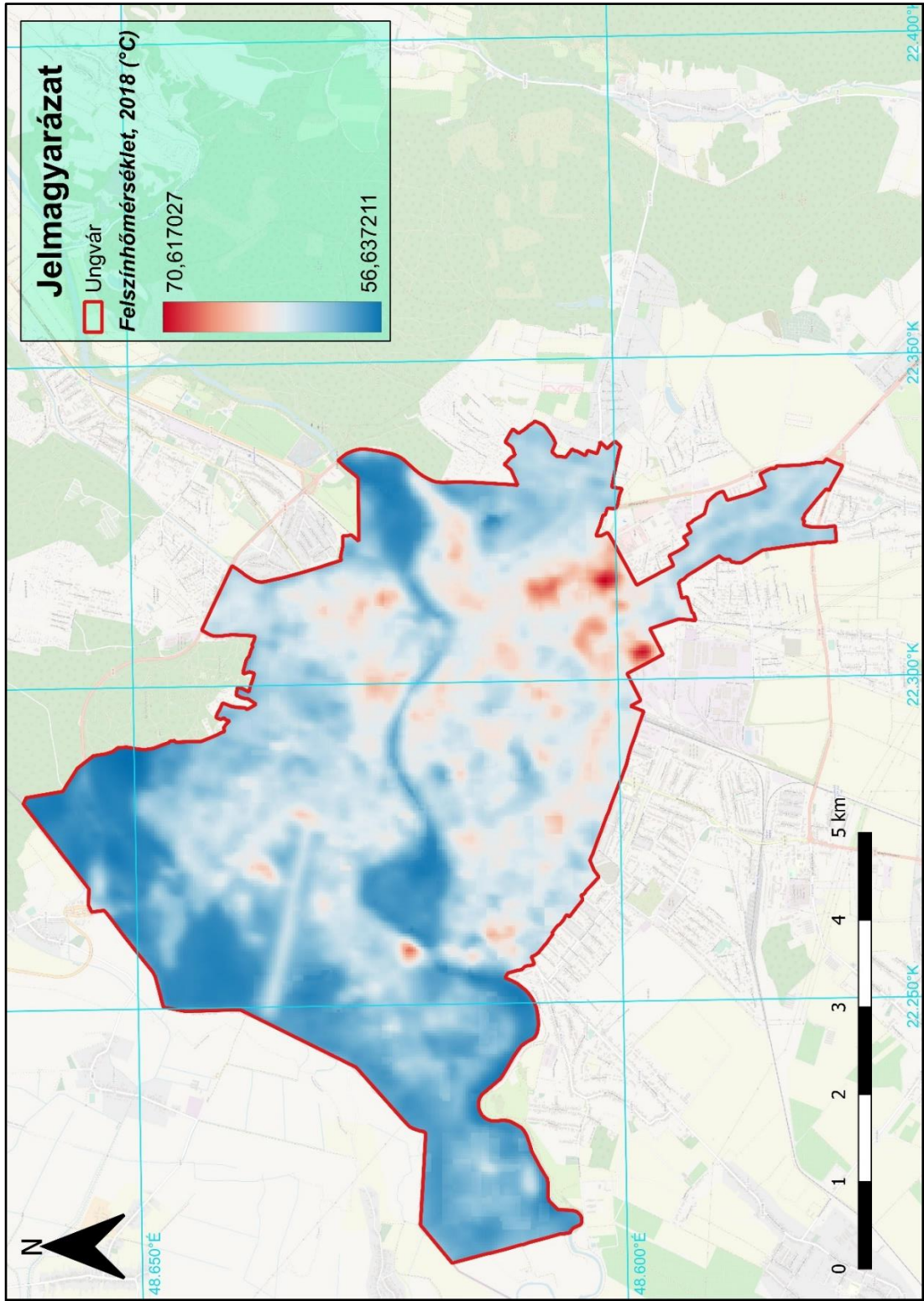
A ZFI értékeinek változása a Sentinel-2 felvételei alapján (2017-2022)



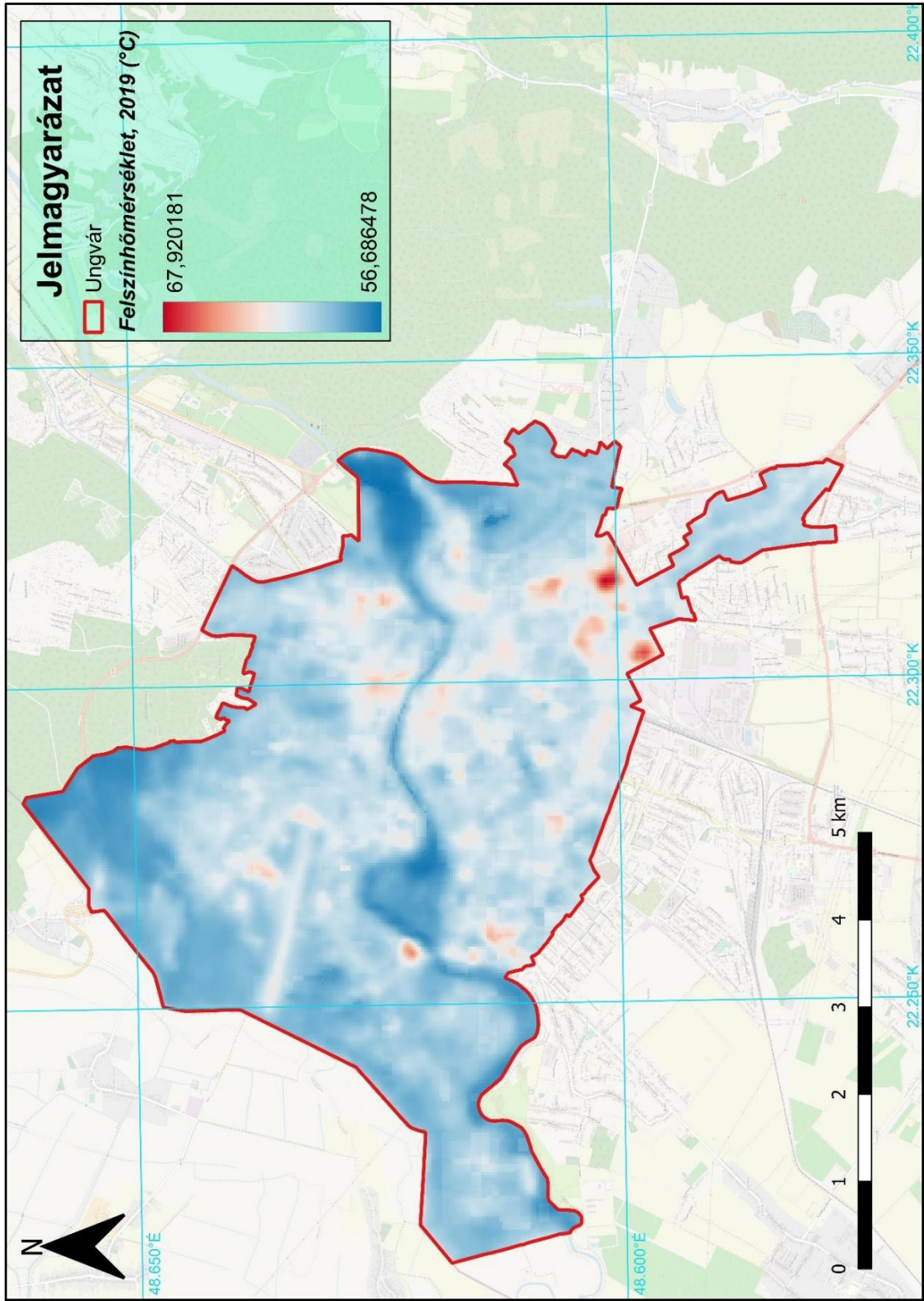
A felszínhőmérséklet értékeinek eloszlása (2017)



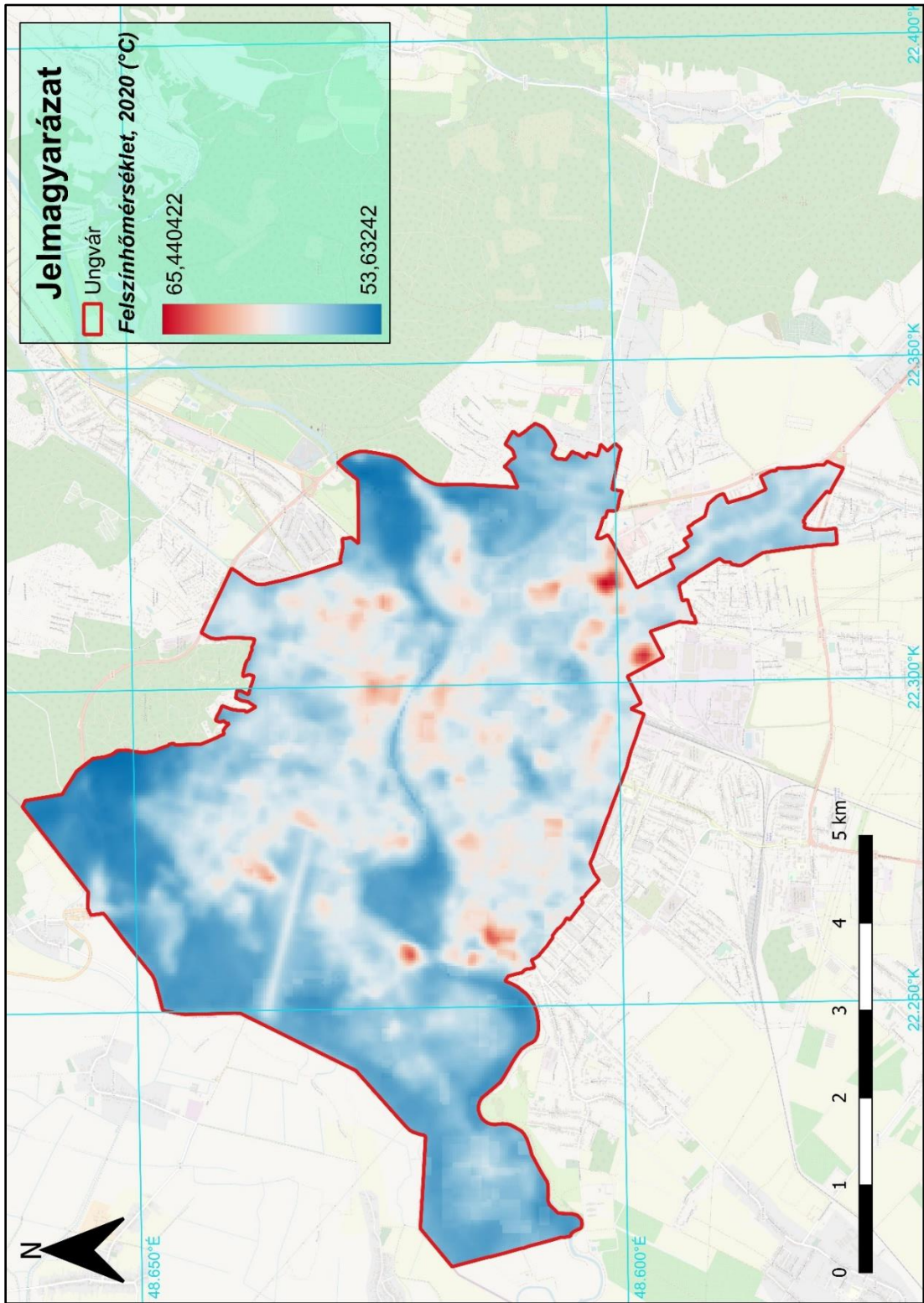
A felszínhőmérséklet értékeinek eloszlása (2018)



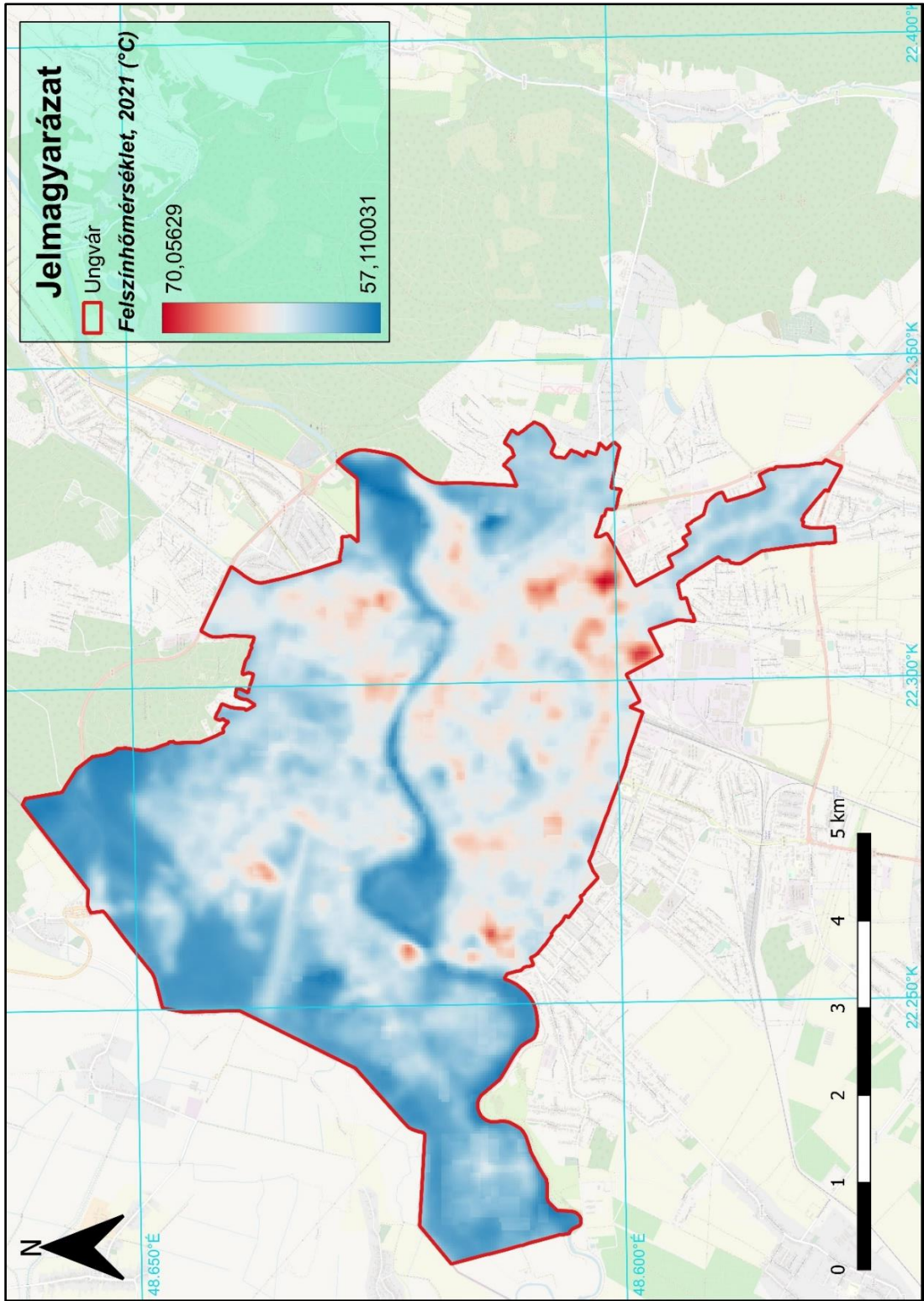
A felszínhőmérséklet értékeinek eloszlása (2019)



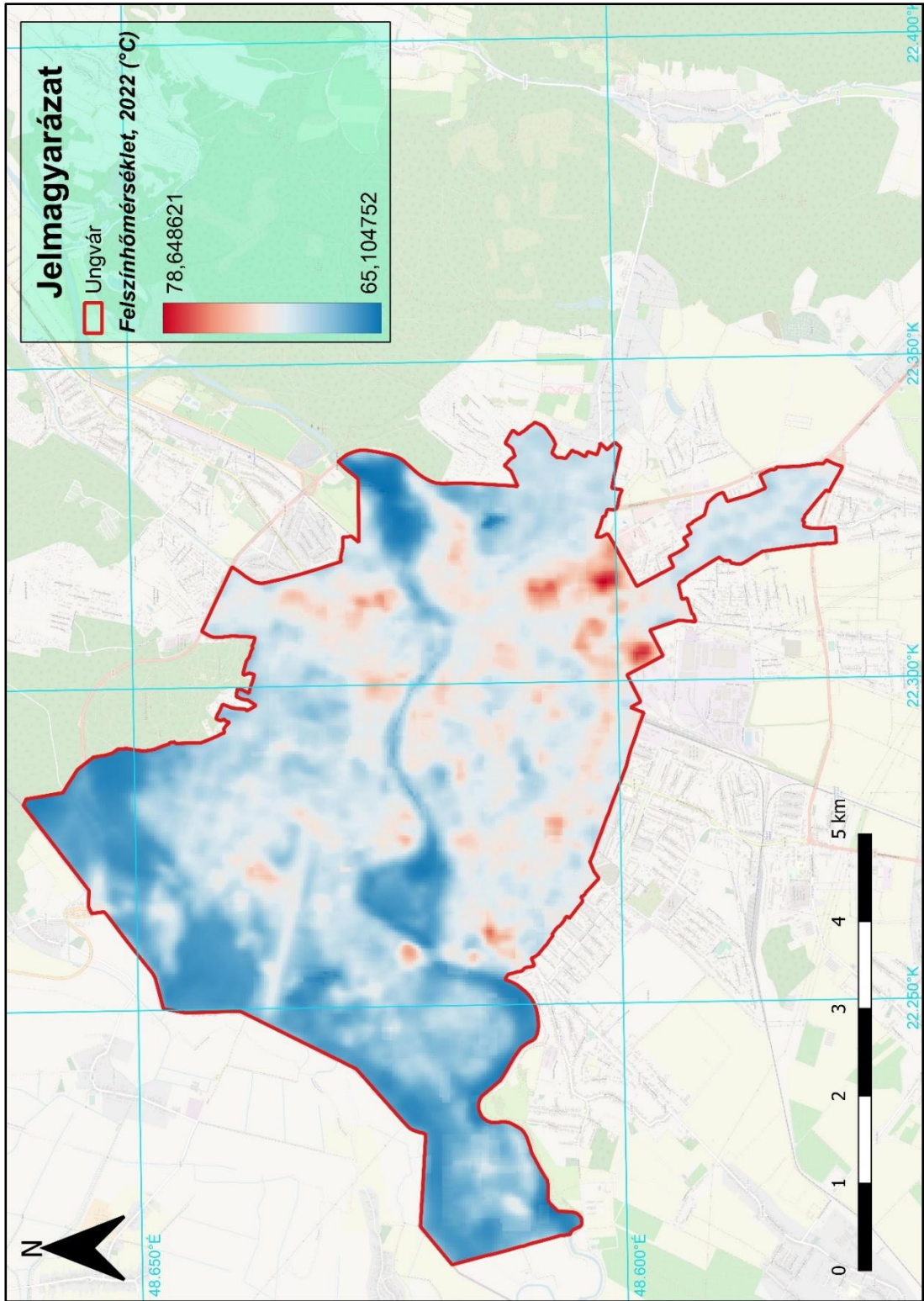
A felszínhőmérséklet értékeinek eloszlása (2020)



A felszínhőmérséklet értékeinek eloszlása (2021)



A felszínhőmérséklet értékeinek eloszlása (2022)



## **KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS**

Szeretnék köszönetet mondani Molnár Ferencnek, a Miskolci Egyetem tanszéki mérnökének, aki ötletadó gondolataival, értékes javaslataival és észrevételeivel segítette jelen diplomamunka elkészülését.



Ім'я користувача:  
приховано налаштуваннями конфіденційності

ID перевірки:  
1015137458

Дата перевірки:  
18.05.2023 08:38:44 CEST

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:  
18.05.2023 14:27:24 CEST

ID користувача:  
100011757

Назва документа: Orosz Nikolett\_Diplomamunka

Кількість сторінок: 96 Кількість слів: 12560 Кількість символів: 109973 Розмір файлу: 12.77 MB ID файлу: 1014818534

## 8.5% Схожість

Найбільша схожість: 1.28% з Інтернет-джерелом ([https://dspace.kmf.uz.ua/jspui/bitstream/123456789/1814/1/Molnar\\_I\\_..](https://dspace.kmf.uz.ua/jspui/bitstream/123456789/1814/1/Molnar_I_..))

8.34% Джерела з Інтернету 819 ..... Сторінка 98

2.13% Джерела з Бібліотеки 96 ..... Сторінка 102

## 0% Цитат

Не знайдено жодних цитат

Не знайдено жодних посилань

## 0% Вилучень

Немає вилучених джерел

## Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 1