

**Закарпатський угорський інститут ім. Ференца Ракоці II**  
**Кафедра біології та хімії**

Реєстраційний № \_\_\_\_\_

**Кваліфікаційна робота**  
**АДСОРБЦІЯ ІОНІВ КОБАЛЬТУ ВУГЛЕЦЕВИМИМ**  
**НАНОТРУБКАМИ**

**ЮГАС ВІКТОРІЯ ІШТВАНІВНА**

Студентка IV-го курсу

Освітня програма: 014 Середня освіта (Хімія)

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Тема затверджена Вченою радою ЗУІ

Протокол № 7 /27 жовтня 2020 року

Науковий керівник:

**Чома Золтан Золтанович**  
**доктор філософії, доцент**

Завідувач кафедру:

**Когут Ержебет Імрїївна**  
**доктор філософії, доцент**

Робота захищена на оцінку \_\_\_\_\_, «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 року

Протокол № \_\_\_\_\_ / 2021

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

**Кафедра біології та хімії**

**Кваліфікаційна робота**

**АДСОРБЦІЯ ІОНІВ КОБАЛЬТУ ВУГЛЕЦЕВИМИ НАНОТРУБКАМИ**

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Виконала: студентка IV-го курсу

**Югас Вікторія Іштванівна**

Освітня програма: **014 Середня освіта (Хімія)**

Науковий керівник: **Чома Золтан Золтанович**

**доктор філософії, доцент**

Рецензент: **Семрад Еміл Омелянович**

**кандидат хімічних наук, доцент**

Берегове  
2021

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	9
<b>I. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД</b> .....	10
1.1 Структура вуглецевих нанотрубок.....	10
1.2 Властивості вуглецевих нанотрубок.....	12
1.3 Типи вуглецевих нанотрубок.....	13
1.4 Синтез вуглецевих нанотрубок.....	15
1.4.1 Синтез нанотрубок за так званим «класичним методом».....	15
1.4.2 Синтез нанотрубок за методом «зовнішньої форми».....	16
1.4.3 Спеціальні методи синтезу вуглецевих нанотрубок.....	17
1.5 Способи одержання вуглецевих нанотрубок.....	18
1.5.1 Синтез вуглецевих нанотрубок в електродуговому розряді.....	18
1.5.2 Синтез вуглецевих нанотрубок лазерною абляцією.....	19
1.5.3 Синтез вуглецевих нанотрубок каталітичним розкладанням вуглеводнів.....	20
1.6 Очищення вуглецевих нанотрубок.....	22
1.7 Можливі галузі застосування вуглецевих нанотрубок.....	23
1.8 Адсорбція – десорбція на вуглецевих нанотрубках.....	23
<b>II. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ</b> .....	28
2.1 Характеристика нанотрубок, що використовуються для досліджень.....	28
2.2 Реагенти та прилади, які використовуються для вимірювань.....	28
2.3 Приготування розчинів.....	30
2.4 Методика визначення кінетики адсорбції.....	31
2.5 Дослідження залежності адсорбції від рН.....	31
<b>III. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ</b> .....	32
3.1 Кінетика адсорбції іонів кобальту.....	32
3.1.1 Дослідження кінетики адсорбції іонів кобальту на нанотрубці BCNT.....	32
3.1.2 Дослідження кінетики адсорбції іонів кобальту на окисненій нанотрубці BCNT.....	33
3.2 Залежність адсорбції іонів кобальту від величини рН середовища.....	33
3.2.1 Вплив значення рН середовища на адсорбцію іонів кобальту на нанотрубці BCNT.....	34
3.2.2 Вплив рН на адсорбцію іонів кобальту на окислених нанотрубках BCNT.....	34

3.3	Ізотерми адсорбції іонів кобальту на нанотрубках типу BCNT та окислених BCNT .....	35
3.4	Визначення констант Ленгмюра .....	37
3.5	Побудова лінеаризованої ізотерми Фрейндліха .....	38
3.6	Порівняння ізотерм адсорбції на основі моделей Ленгмюра та Фрейндліха ..	40
	<b>ВИСНОВКИ</b> .....	42
	<b>РЕЗЮМЕ</b> .....	43
	<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ</b> .....	44
	<b>СПИСОК РИСУНКІВ</b> .....	47
	<b>СПИСОК ТАБЛИЦЬ</b> .....	49
	<b>ДОДАТКИ</b> .....	50

**II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola**

**Biológia és Kémia Tanszék**

**KOBALT-IONOK ADSZORPCIÓJA KARBON NANOCSSÖVEKEN**

Szakdolgozat

Képzési szint: alapképzés

**Készítette: Juhász Viktória**

IV. évfolyamoshallgató

Képzési program: **014 Középfokú oktatás (Kémia)**

**Témavezető: Dr. Csoma Zoltán**

**PhD, docens**

**Recenzens: Szemrád Emil**

**a kémiai tudományok kandidátusa, docens**

## TARTALOMJEGYZÉK

<b>BEVEZETŐ</b> .....	9
<b>I. IRODALMI ÁTTEKINTÉS</b> .....	10
1.1 A szén nanocsövek szerkezete .....	10
1.2 A szén nanocsövek tulajdonságai .....	12
1.3 A szén nanocsövek típusai .....	13
1.4 A szén nanocsövek szintézise .....	15
1.4.1 Nem templát-, ún. klasszikus-módszerek .....	15
1.4.2 Templát-módszer .....	16
1.4.3 Különleges szén nanocső szintézisek .....	17
1.5 A szén nanocsövek előállítása .....	18
1.5.1 Szén nanocsövek előállítása elektromos ívkisülésben .....	18
1.5.2 Szén nanocsövek előállítása lézerablációval .....	19
1.5.3 Szén nanocsövek előállítása szénhidrogének katalitikus bontásával .....	20
1.6 Szén nanocsövek tisztítása .....	22
1.7 A szén nanocsövek lehetséges felhasználási területei .....	23
1.8 Adszorpció – deszorpció a szén nanocsövekben .....	23
<b>II. ANYAG ÉS MÓDSZERTAN</b> .....	28
2.1 A vizsgálatainkhoz használt szén nanocsövek jellemzése .....	28
2.2 A méréseinkhez használt vegyszerek és eszközök .....	28
2.3 Oldatok készítése .....	30
2.4 Az adszorpciós kinetika megállapítására használt módszer .....	31
2.5 Az adszorpció pH-függésének vizsgálata .....	31
<b>III. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS</b> .....	32
3.1 A kobalt-ionok adszorpciójának kinetikája .....	32
3.1.1 A kobalt-ion adszorpció kinetikájának vizsgálata BCNT nanocsövön .....	32
3.1.2 A kobalt-ion adszorpció kinetikájának vizsgálata oxidált BCNT nanocsövön .....	33
3.2 A kobalt-ionok adszorpciójának függése a közeg pH értékétől .....	33
3.2.1 A közeg pH értékének hatása a kobalt-ionok adszorpciójára BCNT nanocsövön ..	34
3.2.2 A közeg pH értékének hatása a kobalt-ionok adszorpciójára oxidált BCNT nanocsövön .....	34
3.3 A kobalt-ionok adszorpciós izotermái BCNT és oxidált BCNT típusú nanocsöveken .....	35

3.4	A Langmuir állandók meghatározása.....	37
3.5	A linearizált Freundlich-izotermák megszerkesztése.....	38
3.6	Az adszorpciós izotermák összehasonlítása a Langmuir- és a Freundlich-modell alapján .....	40
	<b>ÖSSZEFOGLALÁS .....</b>	<b>42</b>
	<b>PE3IOME .....</b>	<b>43</b>
	<b>IRODALOMJEGYZÉK .....</b>	<b>44</b>
	<b>ÁBRÁK JEGYZÉKE .....</b>	<b>47</b>
	<b>TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE .....</b>	<b>49</b>
	<b>MELLÉKLET.....</b>	<b>50</b>

## RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

ASWCNT	Rendezett kötegekből álló szén nanocső
BCNT	Bambusz szerkezetű szén nanocső
CCVD	Katalitikus kémiai gőzleválasztás
CNT	Szén nanocső
CVD	Kémiai gőzleválasztás
DWCNT	Duplafalú szén nanocső
MWCNT	Többfalú szén nanocső
STM	Pásztázó alagútmikroszkóp
SWCNT	Egyfalú szén nanocső
TEM	Transzmissziós elektronmikroszkóp
TG	Termogravimetria
FTIR	Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópia



## BEVEZETŐ

Az elmúlt néhány év során a szén nanocsövek a nanotechnológia, az anyagtudomány és az elektronika fő kutatási tárgyává fejlődtek. Felfedezésük után azonnal nagy érdeklődés mutatkozott irántuk. Mind alapkutatási, mind pedig lehetséges alkalmazási célból egyre nagyobb mennyiségű nanocső iránt merült fel igény. Mechanikai stabilitásuk és elektromos vezetőképességük kiváló, emiatt az egyik legnépszerűbbekké váltak a tiszta szénből álló anyagok között.

A szénnek különböző allotróp módosulatai ismertek. A grafit és a gyémánt a két legrégebben ismert allotróp módosulat. Afullerének, mint a szén harmadik allotróp módosulata '80-as évek elején, valamint a szén 1991-ben bekövetkező felfedezése jelentős előrelépés volt a nanotechnológia fejlődésében (URBÁN, 2005).

Munkánk célja a kobalt-ionok adszorpciójának vizsgálata N-dópolt szén nanocsöveken. A nanocsöveket, amelyekkel a vizsgálatainkat végeztük a Miskolci Egyetem Kémiai Intézetében szintetizálták.

A kutatómunka fő feladatai a következők voltak:

- a kobalt-ionok maximális adszorpciójának eléréséhez szükséges időintervallum meghatározása;
- a kobalt-ion adszorpció pH függőségének a megállapítása;
- a vizsgálatba bevont szén nanocsövek adszorpciós izotermáinak a felvétele;
- az adszorpciót jellemző paraméterek meghatározása.

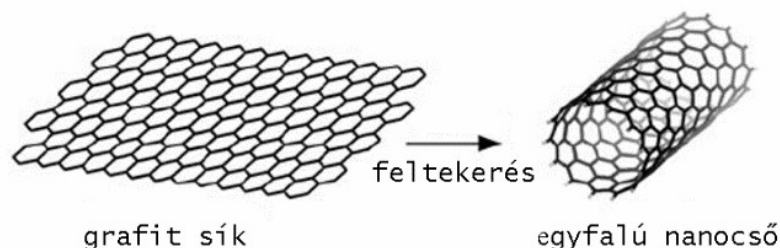
# I. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

## 1.1 A szén nanocsövek szerkezete

A különböző szén nanoszerkezeteknek a témaköre, az egyik legdinamikusabban fejlődő tudományágazatai közé tartozik, ezen belül is kiemelt jelentőséggel bírnak a szén nanocsövek (HERNÁDI, 2012).

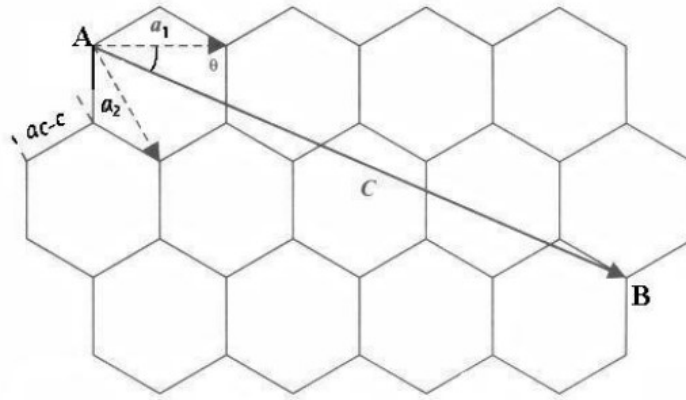
A szén nanocsövek a fullerének családjába tartoznak, melyek grafitos, csőszerű nanoszerkezetek. Jellemző átmérőjük az 1–50 nm tartományban van, hosszúságuk meghaladhatja a 10  $\mu\text{m}$ -t is. A szén nanocsöveket Iijima fedezte fel 1991-ben, miközben transzmissziós elektronmikroszkóppal vizsgált fullerén korom mintát, melyet ívkisüléssel állított elő (IJIMA, 1991).

A szén nanocső nem más, mint egy tökéletes hengerré csavart, egyetlen atom vastagságú grafitréteg (FEJES et al., 2014). A grafit sík egy hatszögös rácsot alkotó és  $sp^2$  hibridállapotú szénatomokból áll.



1. ábra Grafit sík feltekeréséből nyert egyfalú szén nanocső

Az 1. ábra szemlélteti a grafit sík feltekerésének módját: a  $C^{\rightarrow} = na_1^{\rightarrow} + ma_2^{\rightarrow}$  vektor kezdő és végpontját egymásra illesztjük, így a  $C^{\rightarrow}$  vektor hossza meghatározza a nanocső átmérőjét. A  $C^{\rightarrow}$ -re merőleges  $T^{\rightarrow}$  vektor a feltekerés során keletkező nanocső tengelye irányába mutat. Az  $a_1^{\rightarrow}$  és  $a_2^{\rightarrow}$  egymással  $60^\circ$ -ot bezáró egységvektorok  $n$ ,  $m$  szorzói egyértelműen azonosítják és leírják a kapott nanocsövet. Különböző feltekerésű nanocsöveknek feleltethető meg minden egyes  $(n, m)$  egész számpáros (OSVÁTH, 2006). A feltekert csövekben a translációs vektor kezdeti és végpontja egy pontba esik, így tehát tulajdonképpen a vektor megadja, hogy a nanocső tengelye mentén mekkora távolságot kell megtenni ahhoz, hogy a vektor kezdőpontjával választott A szénatomtól a vele a csőben elfoglalt pozícióját tekintve azonosnak tekintett B szénatomhoz jussunk.



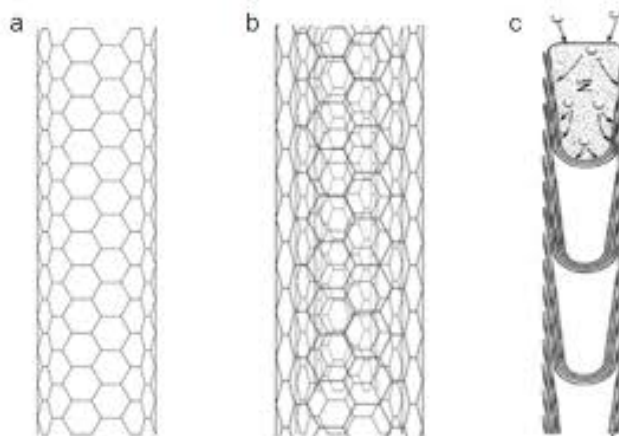
**2. ábra** Kétdimenziós grafén sík a translációs vektorral, az egységvektorokkal és a kiralitás szögével (ÖTVÖS, 2006)

A felcsavarás igen sokféleképpen lehetséges annak függvényében, hogy a grafitsíkot alkotó atomok közül mely párok kerülnek fedésbe (RUSNYÁK et al., 2008).

A szén nanocsöveknek két alapvető csoportja van: egyfalú (SWCNT) és a többfalú (MWCNT) nanocsövek (TANG et al., 2001).

Szerkezetük szempontjából az egyfalú nanocsöveket három fő csoportra oszthatók, "cikk-cakk", karosszék, illetve királis nanocsövek (SÁPI, 2012).

A szén nanocsövek szerkezete úgy szemléltethető, hogy egyetlen atomvastagságú grafittlapot, vagyis grafént tökéletes hengerré tekerünk ekkor egyfalú szén nanocsövet kapunk (3/a ábra). Ha több grafitsíkot tartalmazó szerkezetet tekerünk fel, akkor többfalú szén nanocsövet származtathatunk, a csövek falai közötti távolság 0,34 nm, amely a grafitsíkok közötti távolságnak felel meg (3/b ábra). A falak száma néhány darabtól több százig változhat. A szén nanocsövek különleges megjelenési formát is ölthetnek; ilyen például az úgy nevezett bambusz szerkezetű szén nanocső (bamboo like carbon nanotube – BCNT), ami különleges morfológiáját annak köszönheti, hogy a nanocsövet teljes hosszában görbült grafitsíkok által felosztott szakaszok alkotják, így a csövek belseje nem átjárható (3/c ábra).



**3. ábra** a) Egyfalú (SWCNT), b) több falú (MWCNT) és c) bambusz szerkezetű szén nanocsövek sematikus ábrázolása (VANYOREK, 2015)

Már 1992-ben olyan modelleket dolgoztak ki, amelyek az ötszög-hétszög párosoknak a hatszöges rácsba való periodikusan ismételt beillesztésével spirálisan feltekert nanocső alakzatok lehetséges voltát vetítették előre. Azonban, hogy hogyan épülnek be a hatszöges, grafitszerű szerkezetbe tökéletesen ismétlődve, elszigetelt, nem hatszöges gyűrűk erre nem sikerült megfelelő magyarázatot adni. Különböző vizsgálatok után rájöttek, hogy a szerkezet szabályossága azonnal megbomlik, ha csak egyetlen ötszög, vagy hétszög is helyet cserél egy hatszög szomszédjával. Mindennek ellenére, a transzmissziós elektronmikroszkópos (TEM) és a pásztázó alagútmikroszkópos (STM) felvételek igazolják, hogy léteznek szabályos, spirálisan feltekert nanocsövek, többfalúak és egyfalúak egyaránt (BIRÓ, 2003).

## 1.2 A szén nanocsövek tulajdonságai

A CNT-k kedvező tulajdonságaik egyrészt a grafének és CNT-k közötti közeli kapcsolatból, másrészt ezen anyagok egydimenziós szerkezetéből származnak (PELES, 2010).

A szén nanocsövek számos kiemelkedő tulajdonsággal rendelkeznek (HERNÁDI, 2012). A nanocsövek mérete, szerkezete és felépítése együttesen határozza meg a különleges tulajdonságait (SÁPI, 2012). A nanocsövek jellemző tulajdonságaihoz tartozik a jó vezetőképesség, mechanikai szilárdság, vagy a kémiai ellenálló képesség (KÓNYA, 2009). Az acélnál a szakítószilárdságuk  $75\times$  nagyobb, a szénszálaknál pedig  $10\text{--}15\times$  erősebbek, de már a sűrűségük csak  $1/6$ -a az acél sűrűségének. Az anyagok szívósságát szokás azzal a tömegegységre jutó energiával jellemezni, amelyet az anyag még szakadás vagy törés nélkül képes elnyelni. A szén nanocső fonalakra mért értéke  $570\text{ kJ/kg}$ . Ezáltal rendkívül kedvező lehetőségek nyílnak könnyű és nagyon erős anyagok előállítására (HERNÁDI, 2012).

A szén nanocsövek között vannak fémek és félvezető tulajdonságúak is (KÜRTI, 2007). A fém nanocsövek az abszolút nulla hőmérsékleten is vezetnek elektromos áramot, míg a félvezető csövek vezetőképessége abszolút nullán nulla, és a hőmérséklet növekedésével növekszik (INTERNET 1). A különböző szerkezetek a legváltozatosabb elektromos viselkedést mutatják. A változatos elektromos viselkedésnek az alapja az, hogy a szén nanocsövek feltekerésének orientációja egyértelműen befolyásolja az egyfalú nanocső elektromos tulajdonságait: minden karosszék konfigurációjú nanocső fémek viselkedésű, a cikk-cakk nanocsövek közül azonban csak minden harmadik ilyen, a többiek félvezető tulajdonsággal rendelkeznek (SAITO et al., 1992). A királis nanocsövek esetén a kiralitás mértéke határozza meg a viselkedést (XINGHUI et al., 2004).

A szén nanocsövek a legnagyobb hővezetőképességű anyagok közé tartoznak. A jó elektromos vezetőképesség együtt jár a jó hővezető képességgel is. Szobahőmérsékleten, 15-ször jobban vezetik a hőt a cső hossz tengelye irányában mint a réz. A jelenleg használatos hővezető pasztákkal ellentétben, sokkal jobb hőkontaktust biztosítanak például egy processzor és hűtőbordája között (KÜRTI, 2007).

A fémek nanocsövek szinte tökéletes egydimenziós vezetőként viselkednek. Kimutatták, hogy az elektronok mozgása a nanocsőben ballisztikusnak tekinthető, azaz az elektronok több mikrométert is megtehetnek a nanocsőben szóródás nélkül. Ezzel szemben a hagyományos fémekben az elektronok szabad úthossza ennél lényegesen kisebb. Rájöttek, hogy lépcsőszerűen változik egy nanocső vezetőképessége (OSVÁTH, 2006). Ezen tulajdonságaik miatt a nanocsövek potenciális építőelemek lehetnek a nanoelektronika kidolgozásában (WHITE és TODOROV, 2001). De akár parányi nyomelem-detektorok is lehetnek, mivel a felületükre adszorbeált idegen molekulák megváltoztatják vezetőképességüket (PECCHIA et al., 2003).

Az alkalmazási lehetőségek kutatása mellett számos tanulmány foglalkozik a szén nanocsövek toxikus hatásainak vizsgálataival. Ezen a területen egymásnak ellentmondó eredmények születtek, egyes tanulmányokban az eredmények élő szervezetben a sejtgyulladásról a sejthalálig terjednek (ZSOLDOS és HARGITAI, 2014).

### 1.3 A szén nanocsövek típusai

Az egyfalú szén nanocső a  $C_{60}$  és  $C_{70}$  fullerénekből származtatható (ÁDÁMNÉ MAJOR, 2011).

Az egyfalú szén nanocsövek (Single-Walled Carbon NanoTube – SWCNT) egyetlen grafénrétegből épülnek fel. Átlagos átmérőjük 1,2-1,4 nm között van, de ez lehet sokkal kisebb

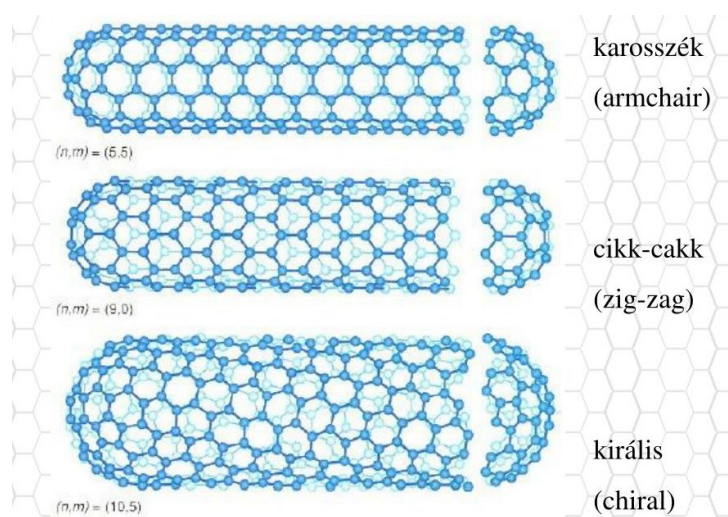
is, akár 0,7 nm. A szén nanocsövek nem keverendők össze az ún. szénszálakkal, mivel a CNT-k valóban csövek, ezért a belsejükbe kisebb ionok vagy akár kis molekulák is tölthetők (PELES, 2010).

Attól függően, hogy a feltekerés következtében a grafit sík hogyan helyezkedik el a nanocső palástján, háromféle típust különböztetünk meg:

**Karosszék típusú:** A cső hossz tengelye ilyenkor merőleges a szén-szén kötések egy részére. Fémként viselkedik (elektromosan vezető).

**Cikk-cakk típusú:** A nanocső hossz tengelye ilyenkor párhuzamos a szén-szén kötések egy részével. A cikk-cakk típusú csövek egyharmada fém, kétharmada félvezető tulajdonsággal rendelkezik.

**Királis típusú:** Az összes egyéb fajta cső. A királis csövek esetében a cső tengelye és a hozzá legközelebb eső szén-szén kötés  $0^\circ$  és  $30^\circ$  közötti szöget zár be. A kiralitás határozza meg a cső viselkedését (ZSOLDOS és HARGITAI, 2014).



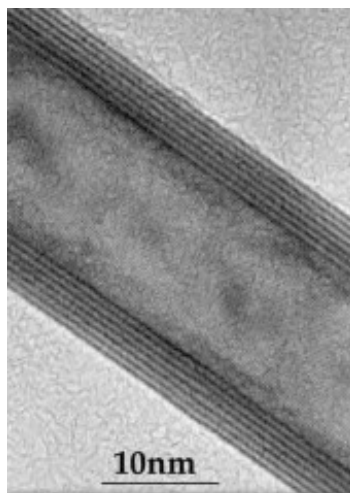
**4. ábra** Az egyfalú nanocsövek szerkezeti csoportosítása (KÜR TI, 2007)

Iijima 1991-ben számolt be elsőként a többfalú szén nanocsövek létezéséről. A többfalú szén nanocsövek (Multi-Walled Carbon NanoTube, rövidítve MWCNT) több koncentrikusan elhelyezkedő egyfalú szén nanocsőből tevődnek össze (FEJES et al., 2014).

A többfalú szén nanocsöveket úgy képzelhetjük el, mint több, koncentrikusan egymásba helyezett SWCNT-eket. Átlagos átmérőjük néhány száz nanométer. Az egyes rétegek közötti távolság 0,34 nm körül van, ami szinte megegyezik a grafit párhuzamos rétegei között mért távolsággal (SIMON, 2019).

A többfalú nanocsövek jellemző átmérője 10-20 nm, hosszuk 0,5-10  $\mu\text{m}$ , és a szomszédos csövek különböző kiralitásúak is lehetnek (ÁDÁMNÉ MAJOR, 2011).

Megkülönböztetnek még kétfalú vagy duplafalú szén nanocsöveket (Double-Walled Carbon NanoTube – DWCNT) és az ún. rendezett vagy összehangolt kötegekből álló szén nanocsöveket is (Aligned Single-Walled Carbon NanoTube – ASWCNT) (SIMON, 2019).



**5. ábra** Többfalú szén nanocső TEM felvétele (ÁDÁMNÉ MAJOR, 2011)

#### **1.4 A szén nanocsövek szintézise**

Az elmúlt majdnem 15 évben számos módszert dolgoztak ki az egy- és többfalú szén nanocsövek szintézisére, melyek célja a jól definiált, egységes szerkezetű nanocsövek előállítása nagy mennyiségben, a lehető legolcsóbban. Mindegyik eljárásnak megvan a maga előnye, de nanocső szintézisre eddig nem sikerült tökéletes módszert kifejleszteni. Jelenleg úgy tűnik, hogy az egyetlen ipari szinten ígéretes előállítási módszer a katalitikus szintézis, mellyel viszonylag nagy mennyiségben lehet olcsón előállítani többfalú szén nanocsövet (SÁPI, 2012).

Szén nanocsövek szintézise többféle módszerrel lehetséges. Ezeket a módszereket sokféle szempont szerint csoportosíthatjuk: katalitikus illetve nem katalitikus, templát- illetve nem templát, ún. klasszikus-módszerek (URBÁN, 2005).

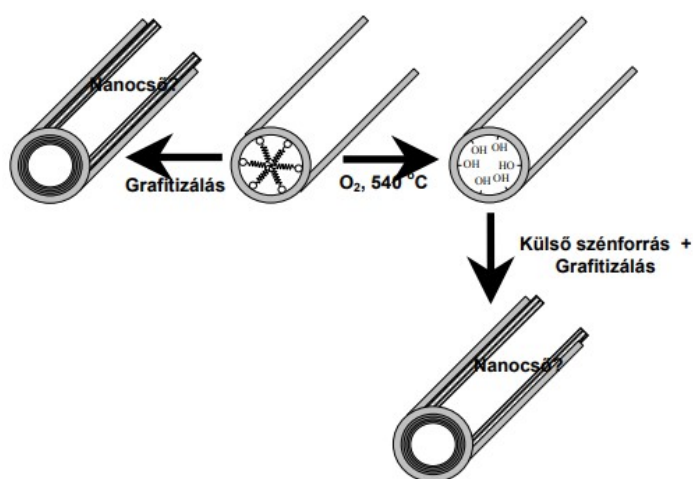
##### **1.4.1 Nem templát-, ún. klasszikus-módszerek**

Ebbe a kategóriába azokat a módszereket soroljuk, amelyeknél nem használnak semmilyen, ún. „külső formát”, pl. egy mezopórusos anyag csatornarendszerét, pórusos alumínium-oxid filmet, stb., amelynek a csatornarendszerében esetleg kialakítható lenne

valamilyen szénforrásból szén nanocső, átmenetifém centrumok jelenléte nélkül. Ez utóbbit azért kell hangsúlyozni, mert pórusos anyagokat (pórusos alumínium-oxid) használ a fémkatalizátor hordozójaként a CCVD-módszer is, de itt a szén nanocsövek képződésekor átmenetifém centrumok vannak a hordozón/ban. Ezzel szemben, az általunk templát-módszernek nevezett módszereknél nincs átmenetifém centrum jelen, a szén nanocsövek képződését csak a pórusos anyag (továbbiakban templát, vagy külső forma) irányítja valamilyen módon. A nem templát-módszerek közül talán a leggyakrabban alkalmazottak az elektromos ívkisülési technika, a lézerablációs technika, valamint a katalitikus ún. CCVD-módszer (Catalytic Chemical Vapour Deposition) (URBÁN, 2005).

### 1.4.2 Templát-módszer

Ennek során olyan anyagokat alkalmaznak ún. „külső formaként”, amelyek hosszú távon rendezett, egységes méretű csatorna, illetve üregrendszert tartalmaznak. Ezek belsejében vagy felületén lévő, vagy oda valamilyen módon juttatott szénforrás szolgál kiindulási anyagként a szén nanocsövek képződéséhez. Ezzel a módszerrel más szénformák, pl. mikro- és mezopórusos szén is képződhet. Ezek a külső formák lehetnek zeolitok, különböző szilícium-dioxid alapú mezopórusos molekulasziták, pórusos alumínium oxid filmek, stb. Szénforrás lehet belső, vagy külső. Külső szénforrás használata esetén a zeolitok, illetve mezopórusos anyagok szintéziséhez használt, felületaktív anyag, amelyet szintén templátnak neveznek. A kész zeolitot és mezopórusos anyagot egyszerűen inert atmoszférában hevítve, a körülményektől függően vagy szén nanocső képződik, vagy a „külső forma” szén alapú negatívját kapjuk vissza. Ezzel a módszerrel is számos eredményeket értek el mind szén nanocső, mind pedig egyéb nanopórusos szén előállítását tekintve.



6. ábra A templát-módszer sematikus rajza (URBÁN, 2005)

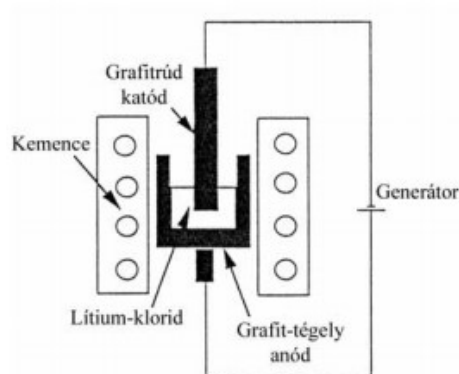


### 1.4.3 Különleges szén nanocső szintézisek

Különböző igen különleges nanocső szintézis módszer is ismeretes. Ezek közül néhány: szintézis cseppfolyós nitrogénben, szintézis acetilénből cseppfolyós ammóniában, szintézis repülőgép üzemanyagból, hidrotermális nanocsőszintézis amorf szénből, repülő katalizátor módszer, nanocsőszintézis gélben, szintézis szervesetlen egykristályban (ÁDÁMNÉ MAJOR, 2011).

#### *Elektrolízis*

Az elektrolízishez alkalmazott berendezés sematikus rajza a 7. ábrán látható.



**7. ábra** Elektrolizáló berendezés (JOURNET és BERNIER, 1998)

A módszer során grafit-elektrodok között elektrolizálnak valamilyen sóolvadékot. Nagytisztaságú grafitból készült tömböt használnak anódként, amelyben üreget alakítanak ki. A katód nagytisztaságú szénrúd. Lítium-kloriddal töltik meg az anódot, majd az olvadáspontjáig melegítik (604 °C). A katódot az olvadékba merítik és 1-30 A-es áramerősséggel elektrolizálnak legalább 1 órán keresztül. A reakció során a katód anyaga fogy és számos különböző méretű nanorészecske keletkezik. A képződött nanocsövek is különböző morfológiájúak (spirális, hajlott) és többfalúak. Átmérőjük 2-20 nm közötti, néhány hossza meghaladhatja az 5 $\mu$ m-t. A szintézis során alkalmazott áram erőssége erősen befolyásolja a termék minőségét: optimális a 3-5 A-es áramerősség, mert mind a túl nagy (10-30 A), mind pedig a túl kicsi (<1 A) áramerősség nanocsövek helyett amorf szén keletkezését eredményezi (URBÁN, 2005).

## *Nanocső szintézise gélben*

Többdimenziós, egymáshoz kapcsolódó szén nanocsövek szintéziséhez jelenthet előrelépést a módszer (Ji et al., 2000).

Katalizátort tartalmazó gélt készítenek szol-gél módszerrel, s a gélbe beépítik a szénforrást, ami egy komplexképző (acetyl-acetonát). Ez elbomlik 300°C-on, és belőle a katalizátor hatására nanocső képződik. A gélszatórnak optimális méretének és alakjának a szabályozásával, valamint a reakciókörülmények meghatározásával többdimenziós, egymáshoz kapcsolódó szén nanocsövek szintézise válhat lehetővé (URBÁN, 2005).

### **1.5 A szén nanocsövek előállítása**

A nanocsövek előállításakor először atomi állapotú C-t hozunk létre, majd azt csapatjuk le. Az előállításukhoz nagyon speciális körülmények szükségesek. Jelenleg a három széles körben elterjedt módszer:

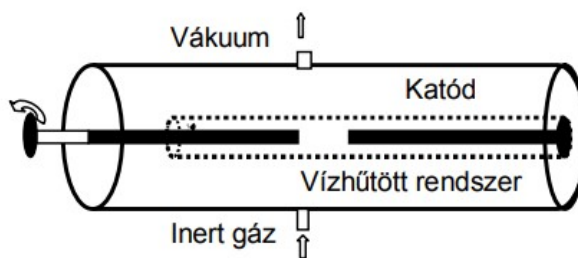
- Ívkisülési technika (Plazmatechnológia)
- Lézeres abláció (párologtatás)
- CVD: szénhidrogének gőzfázisú katalitikus (kémiai) bontása (ZSOLDOS és HARGITAI, 2014).

#### **1.5.1 Szén nanocsövek előállítása elektromos ívkisülésben**

A szén nanocsöveket eleinte az elektromos ívkisülési módszerrel állították elő. Ennek a módszernek a lényege, hogy inert atmoszférában grafit elektródok között ívkisülést hoznak létre. Ez akkora hőmérsékletet biztosít, amellyel a szén elpárologtatható és kialakulhat a szén nanocső-struktúra. A szén lézeres elpárologtatása esetén is inert közeget alkalmaznak (ÁDÁMNÉ MAJOR, 2011).

A szintézis egy vízhűtött rendszerben, ún. Krätschmer reaktorban történik, amelyben megtalálható a rögzített helyzetű katód, valamint egy állandó sebességgel mozgatható grafit anód (8. ábra). Amikor a két elektród elég közel kerül egymáshoz, (kevesebb, mint 1 mm), létrejön az elektromos ív, ennek hőmérséklete elegendő ahhoz, hogy az anód elpárologjon. A szénplazma a reaktorban, valamint a katód felületén lekondenzál. A reaktortérben található kis sűrűségű anyag főként amorf szenet tartalmaz. A katódon kialakult lerakódás belsejében találhatóak többfalú szén nanocsövek. A módszer úgy módosítható, hogy az anód belsejébe katalitikusan aktív fém

(Co, Fe, Cu, Pd, W, Pt, Ag, stb.) vagy fémkeveréket juttatnak (Co/Ni, Co/Fe, Ni/Y, Ni/Lu), ezáltal változtatható a katód végén lerakódott szén réteg összetétele.



**8. ábra** A CNT ívkisüléssel történő előállítására használatos Krätzschmer reaktor vázlatja (VANYOREK, 2015)

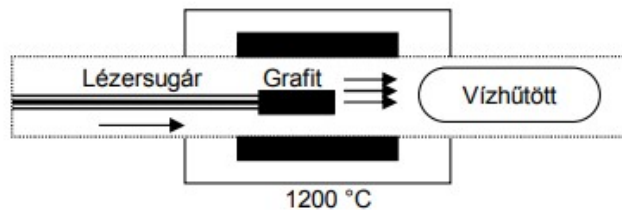
Hátránya, hogy a nanocsövek rövidek (50 mikronnál kisebbek), ill. méretüket és irányukat tekintve összekeveredve rakódnak le (ZSOLDOS és HARGITAI, 2014).

### 1.5.2 Szén nanocsövek előállítása lézerablációval

A szén lézeres elpárolgatásának módszere történetileg az első volt, amellyel fulleréneket állítottak elő (KROTO et al., 1985). A módszer lényege az, hogy a szénforrást inert atmoszférában – He, Ar – lézerimpulzussal elpárolgatják (KÓNYA et al., 2002).

A fulleréngyártás során alkalmazott módszer felhasználásával többfalú nanocsöveket állíthatunk elő, az eljárás módosításával lehetőség van egyfalú nanocsövek szintézisére is. A berendezés egy csökemencébe helyezett kvarccsőből és a benne található grafitömbből áll (9. ábra). A szintézis során a csökemencét felfűtik 1200 °C hőmérsékletre, és a grafit céltárgyat lézerimpulzussal elpárolgatják, a létrejövő szénplazmát az inert atmoszférát biztosító vivőgáz egy hőcserélő felületre szállítja. A vízzel hűtött felületen található a termék, amely a nanocsövek mellett egyéb nemkívánatos szénformákat is tartalmaz, az amorf szén mennyisége egy második lézerimpulzus segítségével csökkenthető (THESS et al., 1996).

A második lézerimpulzus elpárolgatja a nagyobb méretű szénrészecskéket. Tiszta grafitot használva többfalú szén nanocsövek állíthatóak elő. A szintézismódszer előnye az, hogy jól grafitizált falú nanocsövek nyerhetőek. Egyfalú nanocsövek szintézise úgy valósítható meg, hogy amennyiben katalitikusan aktív fémeket tartalmaz a grafit szénforrás (YUDASAKA et al., 1997). Katalitikusan aktív fémkeverékeket használva, (pl. Ni-Pt vagy Ni-Co katalizátorok), nagyobb kitermelés érhető el, mint abban az esetben, amikor külön-külön alkalmaznánk ezeket a fémeket.



**9. ábra** Grafit lézeres elpárolgatására alkalmas reaktor sémája (VANYOREK, 2015)

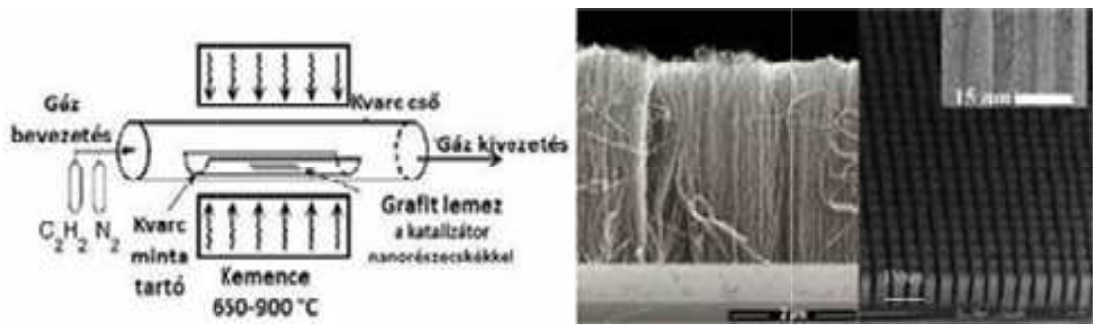
Mind az elektromos kisüléssel, mind a lézeres elpárolgatás legnagyobb hátránya a magas energiabevitel és költségigény, valamint az előállítható nanocsövek kis mennyisége. Előnyük azonban az, hogy tökéletesen grafitizált, közel egyforma vastagságú nanocsöveket tudunk előállítani (KÓNYA, 2009).

### 1.5.3 Szén nanocsövek előállítása szénhidrogének katalitikus bontásával

A kémiai gőzleválasztás (CVD: „Chemical Vapour Deposition”) vagy katalitikus kémiai gőzleválasztás (CCVD: „Catalytic Chemical Vapour Deposition”) a szénszálak gyártásánál már régóta sikeresen alkalmazott, a szén nanocsövek előállítására is alkalmazható, a szénvegyületek fémrészecskéken történő katalitikus bontásán alapuló technika (SÁPI, 2012).

A szénhidrogének katalitikus bontásán alapuló eljárás során jóval alacsonyabb hőmérsékleten előállíthatók egy- és többfalú szén nanocsövek. A módszer előnye gazdaságosságában, sokoldalúságában, valamint a reakcióparaméterek változtathatóságában keresendő. A reakciókörülmények finomításával lehetőség nyílik a termékek fizikai tulajdonságainak szabályozására, valamint megfelelő paraméterek mellett a nanocsövek geometriája is befolyásolható (KÓNYA, 2009).

A CCVD szintézis során, gáz halmazállapotú szénhidrogéneket bontunk el katalitikusan aktív fémek jelenlétében. A kísérleti berendezés egy kvarcreaktorból és egy kályhából áll (10. ábra). A kvarcreaktorban található a katalizátor, amelynek felületén elbomlik a szénforrás és keletkeznek a nanocsövek. A szénforrást, valamilyen inert gáz ( $N_2$ , Ar) szállítja a katalizátorhoz, amely a rendszer átöblítésére is alkalmas (VANYOREK, 2015).



**10. ábra** A CCVD eljárás elvi vázlatja és az így növesztett szén nanocsövek SEM mikroszkópos felvételei (ZSOLDOS és HARGITAI, 2014)

A CCVD szintézisben használt katalizátort, (aktív fém/fémek valamilyen hordozón) egy kvarccsónakba helyezik, majd a szintézist követően ebben a kvarccsónakban található a termék a katalizátorból visszamaradt szennyezőkkel együtt. A nemnyugvó ágyas (szálló) katalizátor módszerét is gyakran alkalmazzák, amikor is fémorganikus vegyületeket kevernek a szénforráshoz. A reaktortérben a nanocsövek az ott elhelyezett szubsztrát felületén (Si- vagy kvarclemesz) keletkeznek. A másik gyakran alkalmazott eljárás, amikor sablonokat készítenek, amelyek felületén megtalálható a katalitikusan aktív fémrészecske. Sui és kollégái nagy tisztaságú alumínium lemezen hoztak létre pórusos alumínium-oxid réteget, és ennek felületén alakítottak ki Co részecskéket, majd azon acetilént bontottak. A kísérletek többszörösen elágazó szén nanocsövet eredményeztek (VANYOREK, 2015). A szénforrásként alkalmazott szénhidrogének szilárd, folyadék és gáz halmazállapotúak egyaránt lehetnek, a halmazállapotnak megfelelően szükséges megválasztani azt a módszert, amellyel a szénforrást a reaktortérbe juttatják. A gáz halmazállapotú szénforrások, (paraffinok, olefinek) esetében ez könnyen kivitelezhető.

A folyékony halmazállapotú szénforrások mobilizálására, több módszer elterjedt, pl. aeroszolt készítenek egy piezoelektromos aeroszol generátor segítségével, és a vívőgáz szállítja azt a magas hőmérsékletű zónába (PINAULT et al., 2005).

Szívesen alkalmazott eljárás a thermospray módszer, amikor a folyékony szénhidrogéneket, magas hőmérsékletű zónába (~800°C) injektálják ahol pillanatok alatt gőzzé alakul, és a vívőgázzal halad tovább a katalizátorréteg felületére ahol kialakulnak a szén nanocsövek (DECK és VECCHIO, 2005). A szénforrás elpárologtatása kézenfekvő megoldás folyadék halmazállapotú anyagok esetén, de szilárd vegyületek gőzzé alakítása szintén gyakran alkalmazott eljárás a szén nanocső szintézis során. A nanocsövek katalitikus úton történő előállítása során a szintézis eredményességét (kitermelés, szénforrás konverziója), valamint a keletkezett termék jellemzőit (tisztaság, morfológia) jelentős mértékben befolyásolja az

alkalmazott katalizátor típusa és összetétele. Az előállított termék fizikai és kémiai tulajdonságainak módosítása, valamint az előállításukra felhasznált technológia optimalizálása céljából számos katalitikusan aktív fémet valamint katalizátorhordozót vizsgáltak, és különböző összetételű katalizátorokat fejlesztettek ki (VANYOREK, 2015).

A szén nanocsövek szintézise során a csöveken kívül más szénformák is képződnek, olykor elég nagy mennyiségben. A szintézist mindig tisztítási folyamat követi, a kezelések hatására felnyílnak a nanocsövek végei, amelyek a legtöbb esetben zártak. A megfelelő tisztítás eredményeként nagy fajlagos felülettel rendelkező tiszta, nyitott nanocsöveket nyerünk. A nanocsövek gyártásában bekövetkezett fejlődésnek köszönhetően napjainkban már „tonnaszámba” állítanak elő nanocsöveket (ZSOLDOS és HARGITAI, 2014).

## 1.6 Szén nanocsövek tisztítása

A szintézis után a szén nanocsöveket általában tisztítani is kell. Az előállítási módszertől függően, mindig keletkeznek kisebb-nagyobb mennyiségben más szén nanoszerkezetek is, valamint ahhoz, hogy tiszta végtermék keletkezhesen az előállításnál alkalmazott katalizátor fémszemcséket is el kell távolítani. Ennek következtében nem sokkal az előállítási módszerek kidolgozása után szükségessé vált a tisztítási eljárások kidolgozása is. Manapság már többféle tisztítási eljárás van. Léteznek komplex eljárások, amelyek egy lépésben célozzák meg a nem kívánt anyagok eltávolítását, más eljárások először a katalizátort, és utána második lépésben a szén szennyezőket próbálják eltávolítani (OSVÁTH, 2006).

A CCVD eljárás során leggyakrabban szilícium- vagy alumínium-oxidot, illetve zeolitot alkalmaznak hordozóként. Ennek eltávolítása a tisztítási folyamat első lépése. Ehhez, a hordozótól függően kémiai reagenseket használnak. Pórusos szerkezetű hordozóknál (szilícium-oxid, zeolitok) az elsődlegesen kapott terméket HF-dal (38-40 %) kezelik 48 órán át, majd szűrik, és vízzel mossák. Alumínium-oxid hordozó esetén HF helyett NaOH-ot használnak. A kezelések eredményeképpen általában a fémrészecske is oldódik. Ha mégsem, akkor további ásványi savas kezelés szükséges. Meg kell említeni, hogy a nanocsövek belsejébe záródott katalizátorrészecskék így nem távolíthatók el. Ezek eltávolításához először fel kell nyitni a zárt csővégeket. A tisztítási folyamat második lépése az amorf szén és egyéb szén struktúrák eltávolítása. Ehhez fizikai és kémiai módszerek állnak rendelkezésre. A kémiai módszerekkel általában nagyobb tisztasági fokot lehet elérni (URBÁN, 2005).

Kémiai módszerek közül oxidációt vagy redukciót alkalmaznak. Az oxidáció gáz vagy folyadékfázisban hajtható végre. A gázfázisú oxidáció során 500°C-on levegővel oxidálják el az

amorf szenet. Ezzel a módszerrel több, mint 95 %-os tisztaság érhető el. Levegő helyett oxigén vagy ózon is használható. Folyadékfázisban savas kálium-permanganátot használnak. 80°C-on 1 óras kezelés után 95 %-os tisztaság érhető el (URBÁN, 2005).

### **1.7 A szén nanocsövek lehetséges felhasználási területei**

Felhasználják őket például széles szögű téremissziós eszközök előállításában, töltőanyagként kompozitok gyártásában vagy nanoméretű csapágyakként (INTERNET 2). A szén nanocsöveknek számos potenciális felhasználási lehetőségük van a molekuláris és nanoelektronikában (nanoméretű tranzistorok, energiacellák stb. gyártása), a nanomechanikában (mesterséges izmok előállítása), biológiai felhasználásoknál (az ideghálózatok jelátvitelének szabályozása) és luxusalkalmazásokban (HERNÁDI, 2012).

A szén nanocsövek alkalmazhatóak szűrőmembránok előállítására, jól hasznosíthatók a felszíni vizek TOC mentesítésére és tengervíz sótalanítására (DUMÉE et al., 2010). Antibakteriális tulajdonsággal rendelkező CNT membránok lehetővé teszik a veszélyes mikrobák eltávolítását, az ezüst nanorészecskékkel ellátott membránok kitűnő antimikrobiális hatással rendelkeznek (KIM et al., 2012). A nanoelektronika területén számos lehetőség kínálkozik a jövőben a szén nanocsövek ipari léptékű alkalmazására. Egyfalú szén nanocsövekből készített ultravékony, hajlékony, átlátszó, ugyanakkor elektromosan vezető film elektrooptikai alkalmazásokban alkalmazható (érintőképernyőként, illetve napelemekben) (ZSOLDOS és HARGITAI, 2014).

### **1.8 Adszorpció – deszorpció a szén nanocsövekben**

Az adszorpció olyan művelet, melynek során szilárd anyagok felületén gőzöket, gázokat, folyadékokat, oldószerben oldott vagy diszpergált szilárd anyagokat valamint kolloidokat lehet megkötni elválasztásuk céljából. A művelet megvalósításához szükséges szilárd anyagot adszorbensnek nevezik, a felületen megkötött anyagokat pedig adszorptívumnak vagy adszorbátumnak. A felületi erők, amelyek az adszorbátumot az adszorbens felületén megkötik, lehetnek fizikai vagy kémiai jellegűek. Ilyen értelemben megkülönböztetünk fizikai és kémiai adszorpciót (GULYÁS, 2011).

A szén nanocsövek, bár faluk vagy falaik grafén síkokból állnak, cső mivoltukból adódóan az ugyancsak grafén síkokból felépülő planáris grafittól igen eltérő adszorpciós viselkedést mutatnak. Elméleti és kísérleti úton is igazolni tudták, hogy a cső geometria miatt

fellépő ún. „görbületi hatás” miatt a görbült szénfelületen az adszorptívum gáz molekulái más erősséggel és valószínűséggel kötődnek meg, mint a sík felületen. Amikor a cső görbült felületéről beszélünk, meg kell különböztetni a cső külső (konvex), illetve belső (konkáv) felületét, ugyanis a két felület tulajdonságai nagymértékben eltérnek egymástól (ÖTVÖS, 2006).

Az adszorpciós transzport hajtóereje az adszorptívum koncentrációjának (kémiai potenciáljának) különbsége a gázfázisban és az adszorbens belsejében. A koncentráció különbséget a gázmolekulák fiziszorpciója hozza létre és tartja fenn. A fiziszorpció során az adszorbens és az adszorptívum között nem alakul ki kémiai kötés; az adszorptívum megkötődése az adszorbens felületén a fellépő Van der Waals-típusú vonzó kölcsönhatások eredménye. A fiziszorpció során kialakuló adszorpciós potenciál nagyságát túlnyomó részben két, az adszorbens és az adszorptívum molekulák között fellépő kölcsönhatás határozza meg. A kölcsönhatás egyik formája a diszperziós kölcsönhatás, amely az atomok körül található elektronfelhő eloszlásának folytonos változásából ered. Az elektronsűrűség változása elektromos momentum megjelenését eredményezi, mely az atomok közvetlen közelében a két atom közötti vonzó kölcsönhatás kialakulását okozza. A diszperziós kölcsönhatás mellett kisebb súllyal jelentkeznek a polarizációs, és adott esetben jelentkezhetnek elektrosztatikus kölcsönhatásból eredő adszorpciós erők is. A kölcsönható atomok elektronfelhőjének átfedéséből taszító energia származik. A vonzó és taszító erők szabják meg az adszorpciós potenciál minimumának felülettől mért távolságát, azaz a felület-adszorbátum távolságot (ÖTVÖS, 2006).

A kémiai adszorpció vagy kemoszorpció a szilárd anyag és az abszorbeálódó anyag közötti kémiai kölcsönhatás eredménye. A kémiai kötés erőssége rendkívül különböző lehet, és nem képződnek a szokásos értelemben vett vegyületek, de az adhéziós erők lényegesen nagyobbak, mint a fizikai adszorpció esetén. A felszabaduló hőmennyiség rendkívül nagy, a kémiai reakcióhők nagyságrendjében van. Ugyanaz az anyag, amelyet egy adszorbens kis hőmérsékleten fizikai adszorpcióval köt meg, nagyobb hőmérsékleten kémiai adszorpciót szenvedhet, sőt az is előfordul, hogy mindkét folyamat egyidejűleg megy végbe (GULYÁS, 2011).

A folyadékból szilárd felületen megvalósuló adszorpció az adszorbátum és adszorbens természetétől függően lehet molekuláris, ionos vagy ioncserélős. Az oldatban verseny folyik az adszorpciós helyekért a folyadék komponensei között. Az adszorpció mértékét a szilárd anyag és az oldat komponensei poláris-apoláris jellege határozza meg (BÁRÁNY, 2014).

Az abszorpcióval ellentétes irányú és célú folyamat a deszorpció. Ha a komponens koncentrációja a gázfázisban kisebb egy megfelelő egyensúlyi koncentrációnál, az adott komponens a folyadékfázisból a gázfázisba megy át. A deszorpció célja az elnyeletett gáz tiszta



állapotban való előállítás, illetve az adszorbens regenerálása az ismételt felhasználás előtt (GULYÁS, 2011).

Az adszorpciós folyamat jellemzésére leggyakrabban az úgynevezett adszorpciós izoterma használatát használják. Az adszorpciós izoterma az adszorbeált mennyiség függése az adszorbátum egyensúlyi koncentrációjától állandó hőmérséklet mellett. Az egyensúlyi koncentráció nem, mint az adszorpció befejeződése után a tömbfázisban maradt anyag koncentrációja.

Henry-izoterma az adszorbátum kis koncentrációjára érvényes, amikor a felület borítottsága adszorbeált anyaggal kicsi. Az izoterma szerint, az adszorbeált mennyiség (A) egyenesen arányos az adszorbátum egyensúlyi koncentrációjával ( $C_{eq}$ ):

$$A = kC_{eq}$$

Szélesebb koncentrációtartomány leírására alkalmas a Freundlich-izoterma (BÁRÁNY, 2014).

A Freundlich-izoterma egyenlete egy empirikus összefüggés. A modell monomolekulás borítottság és heterogén adszorbens felszín leírására szolgál. Azt feltételezi, hogy az adszorpciós hő exponenciálisan csökken a borítottsággal. Freundlich egyenlete:

$$q_e = k_F \cdot c_e^{\frac{1}{n}}$$

$k_F$  és  $n$  – a Freundlich-állandók, amelyek az adszorpciós rendszert jellemzik, az adszorpciós kapacitás és intenzitás vonatkozásában a vizsgált adszorbens-adszorptívum párra, adott hőmérsékleten. A Freundlich adszorpciós izoterma egyenletéből következik, hogy a  $k_F$  értéke a  $c=1 \text{ mol/dm}^3$  egyensúlyi oldatból adszorbeálódott anyag mennyiségével egyenlő. Az  $\frac{1}{n}$  mutató értéke pedig azt mutatja meg, hogy az izoterma milyen mértékben közelít az egyeneshez. Oldatokra vonatkozóan az  $\frac{1}{n}$  értéke 0,1 – 0,5 között kell legyen.

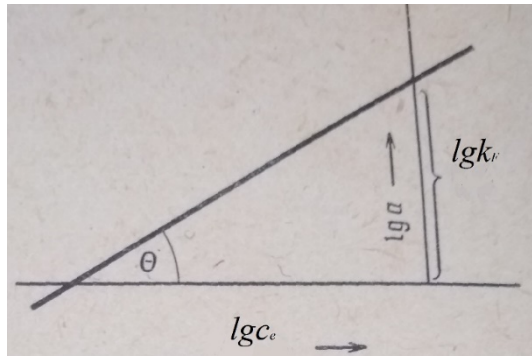
$\frac{1}{n}=1$  – az izoterma egyenes, illetve ez az érték az izoterma egyenes részére vonatkozhat;

$\frac{1}{n}=0$  – ez az érték az izoterma horizontális egyenes részére vonatkozik;

A Freundlich-állandók értéke grafikusán, logaritmikus koordináta rendszerben egyszerűen számítható.

$$\lg a_e = \lg k_F + \frac{1}{n} \lg c_e$$

A mérési adatok logaritmikus értékeit grafikonon ábrázolva egyenest kapunk. A számításokhoz az  $a_e$  értékét mmol/g egységben, a  $c_e$  értékét pedig  $\text{mol/dm}^3$  egységben adjuk meg.

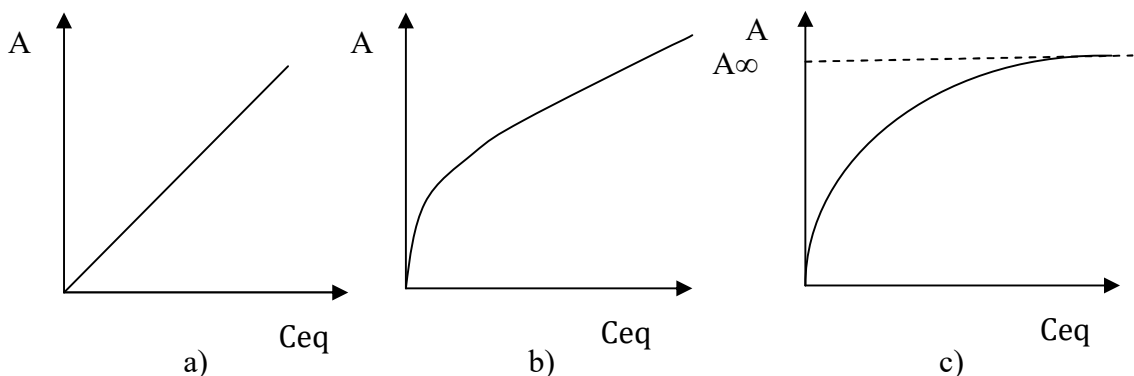


**11. ábra** A Freundlich-állandók logaritmikus értékei grafikonon ábrázolva

Az egyenes metszés pontja az ordinátával a  $lg k_F$  értékét adja (amiből értelemszerűen ki kell számítani a  $k_F$  értéket), a hajlásszög tangense pedig az  $\frac{1}{n}$  értékét (FEBRIANTO et al., 2009).

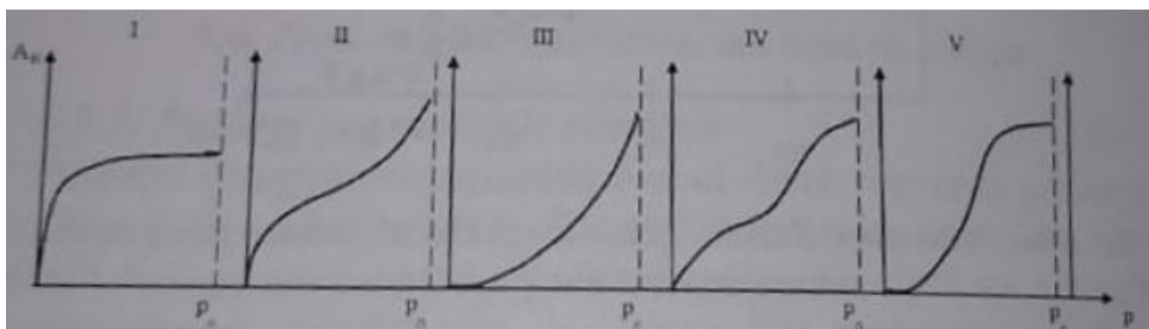
A Langmuir-izotermát elsősorban reverzibilis egyrétegű adszorpciónál alkalmazzák. Langmuir-izotermával írható le az adszorpció folyamat, ha az adszorbens felülete homogén, azonos erősségű adszorpció centrumokkal rendelkezik és az adszorbeált molekulák közötti kölcsönhatás elhanyagolható. A Langmuir-modell feltételezi, hogy az adszorpció sebessége arányos a szabad kötőhelyek számával, a deszorpció sebessége pedig a borítottsággal. Mivel a megkötő felület véges, így az adszorpcióra alkalmas pontok száma is adott, ezért a megkötődő anyag anyagmennyisége egy telítési értékhez közelít a folyamat előrehaladása során. Az adszorpció általában exoterm folyamat, így a görbe meredeksége és a telítési érték a hőmérséklet emelésével csökkenő tendenciát mutat. Nagy koncentrációnál az egyenlet alkalmazása nem jogos, mert az aktivitás ilyen esetben nem helyettesíthető a koncentráció értékével. A Langmuir-izoterma egyenlete (FEBRIANTO et al., 2009):

$$A = \frac{A_{\infty} k C_{eq}}{1 + k C_{eq}}$$



**12. ábra** Adszorpció izotermák típusai: a) Henry-izoterma, b) Freundlich-izoterma, c) Langmuir-izoterma (BÁRÁNY, 2014)

Kiderült, hogy a legtöbb esetben az izotermák eltérnek a klasszikus Langmuir egyenlettel leírt formától. A kísérleti izotermák az alábbi ábrán látható (13. ábra) 5 csoportba sorolhatók:



**13. ábra** Fizikai adszorpció izotermáinak fő típusai (BÁRÁNY, 2014)

- I—Langmuir típusú görbe,
- II—S formájú egy lineáris középső szakasszal,
- III—hajlások nélküli monoton növekedést mutató görbe,
- IV és V— kapilláris kondenzációval bonyolított második és harmadik típusú görbék.

A Langmuir-modell nem számol az adszorpció hő borítottságtól való függésével, míg a Temkin-modell feltételezése szerint a borítottsággal lineárisan csökken. A Temkin-izoterma egyenlete (VIJAYARAGHAVAN és YUN, 2008):

$$q_e = \frac{R \cdot T}{b_{TE}} \cdot \ln(\alpha_{TE} \cdot c_e)$$

$b_{TE}$  – Temkin-állandó (J/mol)

$\alpha_{TE}$  – Temkin izoterma állandó ( $\text{dm}^3/\text{g}$ )

A  $b_{TE}$  állandóból számítható B-érték az adszorpció hő:

$$q_e = \frac{R \cdot T}{b_{TE}} = -\Delta H$$

A Frumkin-modell számításba veszi a nagyobb hatótávolságú (vonzó vagy taszító) kölcsönhatásokat a molekulák/ionok között. A Frumkin-izoterma egyenlete:

$$\frac{\Theta}{1 - \Theta} \cdot e^{-2\alpha_{FR} \cdot \Theta} = k_{RF} \cdot C_e$$

$\alpha_{FR}$  – Frumkin-féle kölcsönhatási paraméter

$k_{RF}$  – Frumkin-állandó ( $\text{dm}^3/\text{mg}$ )

$\Theta$  – a borítottság mértéke ( $\Theta = q_e/q_{\text{max}}$ ,  $q_{\text{max}}$  a monomolekulás borítottságnak megfelelő fajlagos adszorbeált mennyiség, a Langmuir-izoterma alapján) (MALKOC és NUHOGLU, 2007).

## II. ANYAG ÉS MÓDSZERTAN

### 2.1 A vizsgálatainkhoz használt szén nanocsövek jellemzése

A vizsgálatainkhoz a Miskolci Egyetem Kémiai Intézetében előállított többfalú szén nanocsöveket használtuk. A nitrogéndópolt BCNT minták előállításához CCVD szintézist alkalmaztak. A szintézist inert atmoszféra alkalmazásával végezték egy kvarc-reaktorban, amelyet egy cső kemencébe helyeztek. A választott szénforrást elpárologtatták egy előszűrőn, majd a butilamint a fő kemencébe injektálták, ahol elpárologtatták és nitrogén hordozógázzal szállították a reaktortérbe. A reakcióhoz 5 tömeg %-os Ni / MgO-katalizátort használtak.

A CNT-szintézis után a katalizátort kémiai úton, a nanocsövek tömény sósav oldatban történő forralásával távolították el, folyamatos keverést és visszafolyást biztosítva 6 órán keresztül. Végül a CNT-t leszűrték, desztillált vízzel mosták és 105° C-on egy éjszakán át szárították. A BCNT tisztaságát termogravimetriás vizsgálattal (TG) ellenőrizték.

A nanocsövek felületi módosítását oxidatív kezeléssel végezték el. Ezért 1-1 g bambuszszerű CNT-mintát négy különböző oxidálószerrel kezelték (65%-os salétromsavval, 70%-os perklórsavval, 30%-os hidrogén-peroxiddal, illetve 65%-os salétromsav és 98%-os kénsav (1: 3 arány) keverékkel), 24 órán át szobahőmérsékleten, állandó keverés közben. A felületen az oxigén tartalmú funkciós csoportok jelenlétét XPS és FTIR mérések igazolták. A CNT-minták morfológiai tesztjeit transzmissziós elektronmikroszkópos-TEM (Philips CM 10, 100 kV) és nagyfelbontású elektronmikroszkóppal (FEI Tecnai G2, 200 kV) végezték. Ezt a szakdolgozatban oxidált BCNT néven fogjuk használni.

Az így előállított, és az általunk használt nanocsövek átmérője 10-20 nm, hossza pedig 5-10 µm, és átlagosan 7 rétegből áll. A szén-dioxid adszorpciójával meghatározott fajlagos felülete a Dubinin-Radushkevich egyenlet segítségével 197 m<sup>2</sup>/g volt (MANILO et. al., 2017).

### 2.2 A méréseinkhez felhasznált vegyszerek és eszközök

Az kísérletekhez használt kobalt só a kobalt(II)-klorid-hexahidrát. Képlete  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Pirosas-lilás kristályos anyag. Könnyen oldódik vízben. A hidratált só rózsaszínű, az anhidrát kék. Molekulatömege 237,93 g/mol. Szagtalan. Olvadáspont: 86 °C. Kezdeti forráspont és forrásponttartomány 1.049 °C a 1.013 hPa. Sűrűség 20 °C-on: 1,924 g / cm<sup>3</sup> (ЛЮРЬЕ, 1971).

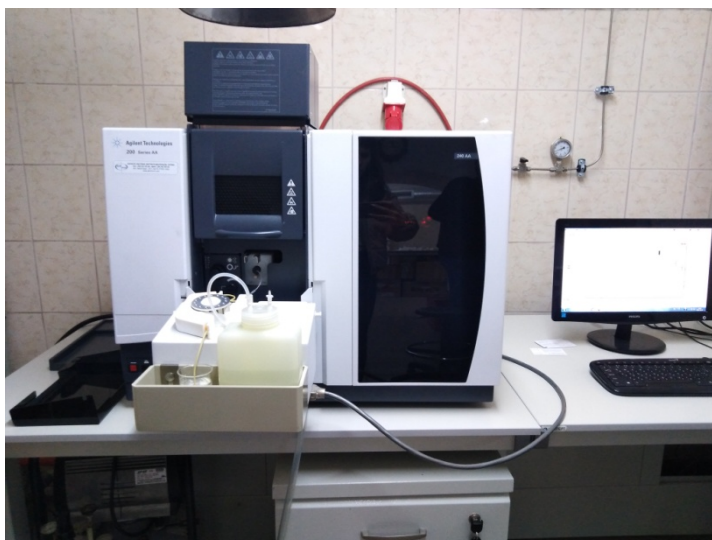
A termék nem gyúlékony. Allergiás bőrreakciót okozhat (INTERNET 3). Belélegezve allergiás vagy asztmás tüneteket vagy légzési nehézségeket okozhat. Károsíthatja a termékenységet vagy a születendő gyermeket. Nagyon mérgező a vízi élővilágra (INTERNET 4).



**14. ábra** Kobalt(II)-klorid-hexahidrát

#### Felhasznált eszközök

- analitikai mérleg,
- különböző típusú és méretű kémcsövek,
- Erlenmeyer lombikok,
- szűrőpapír és tölcser a szűréshez
- rázógép
- WTW Multi 9620 IDS típusú pH mérő
- atom adszorpciós spektrofotométert az adszorpció után visszamaradt  $\text{Co}^{2+}$  -ionok koncentrációjának a meghatározásához



**15. ábra** Agilent Technologies 240 típusú atomabszorpciós spektrofotométer

### 2.3 Oldatok készítése

Méréseinkhez  $4 \cdot 10^{-3}$  mol/dm<sup>3</sup> Co<sup>2+</sup> oldatot használtunk, amit CoCl<sub>2</sub> \* 6H<sub>2</sub>O sóból készítettük. Analitikai mérlegen bemértük a szükséges só mennyiségét, mely 1,1914 g CoCl<sub>2</sub> \* 6H<sub>2</sub>O sót jelentett. Kis mennyiségű desztillált vízben feloldottuk a sót, majd többszöri mosást követően az 1000 cm<sup>3</sup>-es mérőlombikot desztillált vízzel jelíg vittük. Az oldatunk koncentrációja 0,004 mol/dm<sup>3</sup> volt.



**16. ábra** CoCl<sub>2</sub> \* 6H<sub>2</sub>O oldat

## 2.4 Az adszorpciós kinetika megállapítására használt módszer

A kinetikai vizsgálathoz a nanocsövekhez, melyekből 25 mg-t mértünk be,  $20 \text{ cm}^3$   $0,0045 \text{ mol/dm}^3$  koncentrációjú  $\text{Co}^{2+}$  oldatot adtunk hozzá. Az oldat hozzáadása után rázógéppel rázattuk. A legelső mintánknál nem történt rázatás, tehát miután hozzáadtuk a nanocsövekhez a  $\text{Co}^{2+}$  oldatot utána rögtön szűrő segítségével le szűrtük. Ezután 2, 5, 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 240, 480, 1440, 1800 perces rázatást követően a mintáinkat leszűrtük.

A mintáinkban atomabszorpciós spektrofotométerrel mértük meg az adszorbeálódott  $\text{Co}^{2+}$  - ionok mennyiségét.

## 2.5 Az adszorpció pH-függésének vizsgálata

A kobalt(II)-ionok adszorpcióját jelentősen befolyásolja a közeg pH-ja. A közeg pH-ját NaOH és HCl oldat hozzáadásával szabályoztuk. Mindíg  $5 \text{ cm}^3$   $\text{Co}^{2+}$  oldathoz adtunk annyi vizet és NaOH-t vagy HCl-t, hogy  $25 \text{ cm}^3$  legyen az összemennyiség. Ez után meg mérjük az oldatok pH-t. Ezt követően hozzáadjuk a nanocsöveket, 25 mg-t, majd 30 perc rázatás után a mintákat leszűrjük és újból megmérjük az oldatok kémhatását.



17. ábra A  $\text{Co}^{2+}$  oldat és az oxidált BCNT nanocső NaOH hozzáadása után

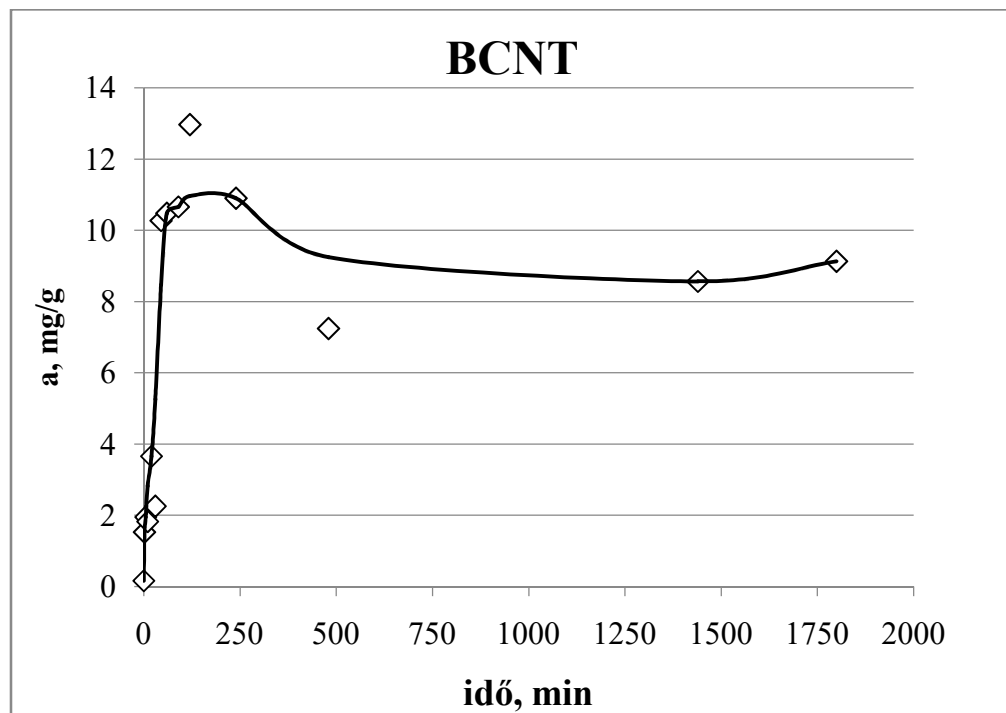
### III. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS

#### 3.1 A kobalt-ionok adszorpciójának kinetikája

A kinetikai vizsgálat során meghatároztuk az adszorpció egyensúly eléréséhez szükséges optimális időt. A méréseket mindkét nanocső típuson, a BCNT-n és az oxidált BCNT-n is elvégeztük. Vizsgálatunkhoz  $4,5 \cdot 10^{-3}$  mol/dm<sup>3</sup> CoCl<sub>2</sub> \* 6H<sub>2</sub>O oldatot használtunk. A nanocsövekből sorozatot mértünk be, egyenként 25 mg nanocsőhöz 20 cm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O-t és 5 cm<sup>3</sup> 0,0045 mol/dm<sup>3</sup> koncentrációjú Co<sup>2+</sup> oldatot adtunk. Az oldat hozzáadása után az elegyet rázógéppel ráztuk. A legelső mintánknál nem történt rázatás, tehát miután hozzáadtuk a nanocsövekhez a Co<sup>2+</sup> oldatot utána rögtön papírszűrő segítségével le is szűrtük azt. A szűrésre azért volt szükség, mert az oldatunk zavaros maradt a nanocsövektől.

##### 3.1.1 A kobalt-ion adszorpció kinetikájának vizsgálata BCNT nanocsövön

A 18. ábrán látható, hogy a Co<sup>2+</sup> -ionok adszorpciója 60 perc előtt nem állt egyensúlyi szakaszba. Majd 120 percnél az adszorpció egyensúly is beállt, majd 120 perc után hanyatló szakasz következett. Az alábbi ábrán látható görbéből kitűnik, hogy a 120 perc után már deszorpció megy végbe.

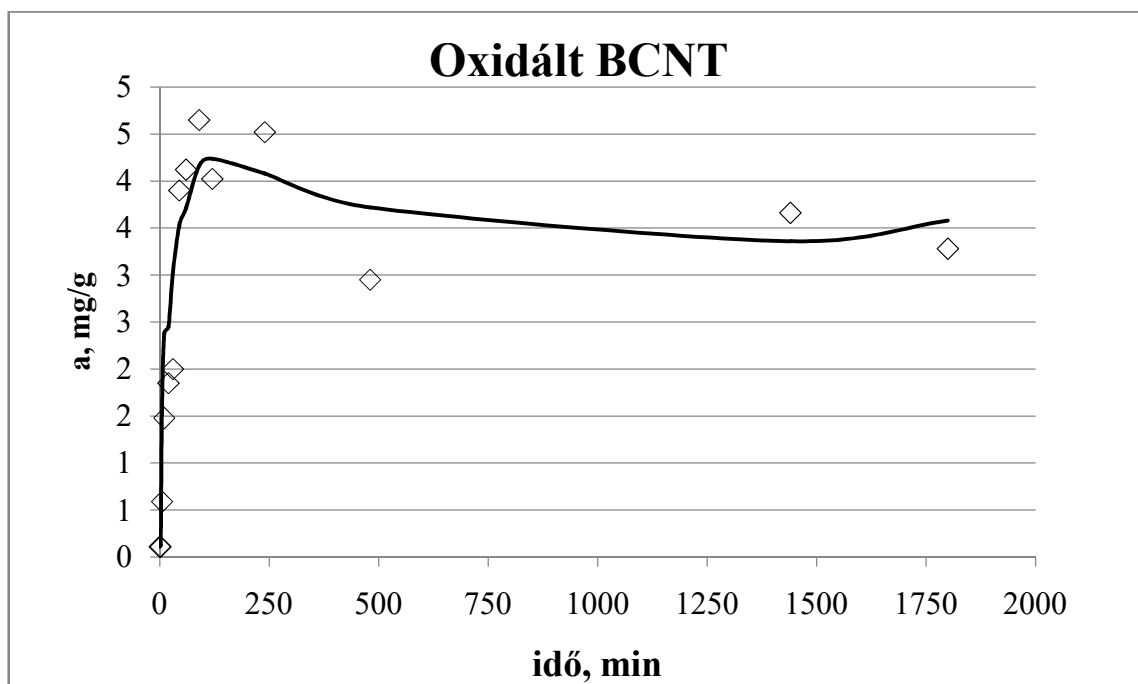


18. ábra A Co<sup>2+</sup> adszorpciója az idő függvényében BCNT nanocsövön



### 3.1.2 A kobalt-ion adszorpció kinetikájának vizsgálata oxidált BCNT nanocsövön

A kobalt-ionok adszorpcióját vizsgálva oxidált BCNT nanocsövön megfigyeltem, hogy az adszorpció 60 perctől folyamatosan növekszik. A vizsgálatban 60 perc elteltével állt be az egyensúly, tehát 60 perctől 240 percig ez az optimális idő, utána már deszorpció megy végbe.



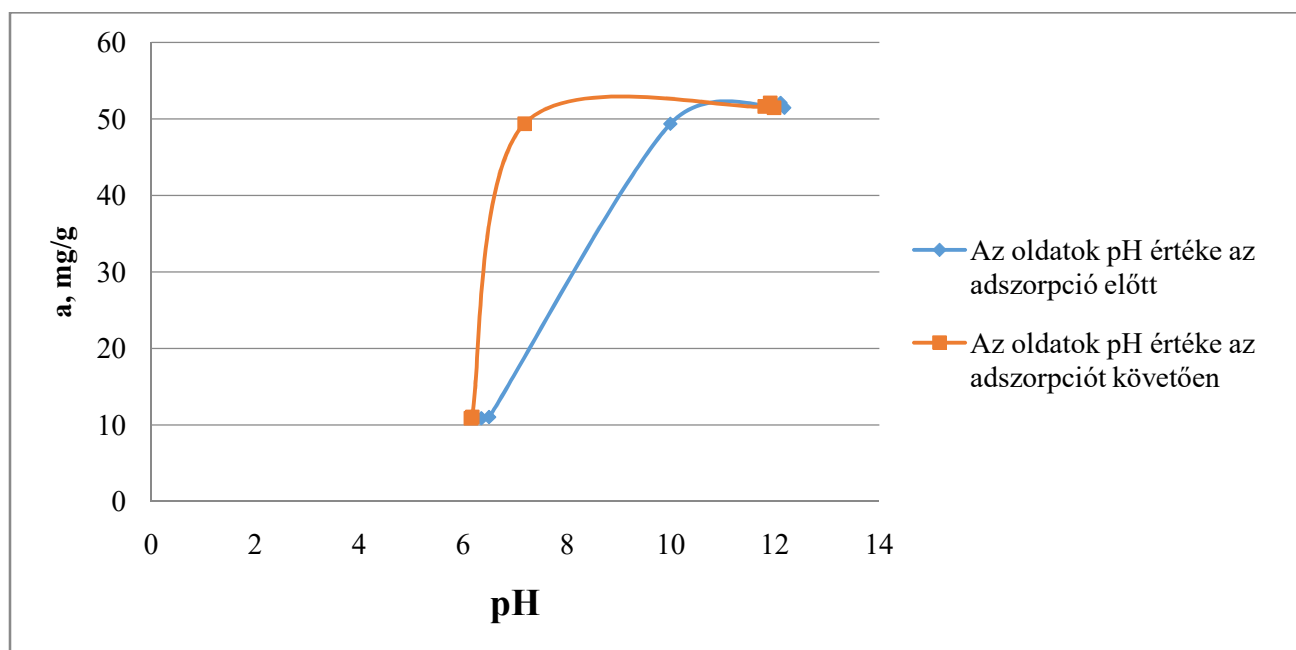
19. ábra A  $\text{Co}^{2+}$  adszorpciója az idő függvényében oxidált BCNT nanocsövön

### 3.2 A kobalt-ionok adszorpciójának függése a közeg pH értékétől

A pH az egyik legfontosabb tényező, ami a fémek adszorpciójára hatást gyakorol. Vizsgálatunk célja egyben az is volt, hogy megmérjük, van-e valamilyen összefüggés a kémhatás és az adszorpció között, ha az adszorbens szén nanocső. Vizsgálatunk során legelőször is HCl és NaOH segítségével felállítottunk egy 2-14 értékig terjedő pH skálát. A pH-t megmértük úgy, hogy a mintánk nem tartalmazta a nanocsöveket, csak a megfelelő mennyiségű HCl, illetve NaOH oldatunkat valamint megfelelő mennyiségű desztillált vizet. Ezután kiegészítettük azt  $0,0044 \text{ mol/dm}^3$  koncentrációjú  $5 \text{ cm}^3 \text{ Co}^{2+}$ -oldattal. Majd ezt követően, az előre kimért 25 mg BCNT, oxidált BCNT mintánkhöz adtuk ezt az oldatot. Rázógép segítségével 120 percig ráztuk, majd pedig leszűrtük, tehát az oldatot elválasztottuk a nanocsövektől. A pH-t az adszorpció után újra megmértük. Az oldatban visszamaradt  $\text{Co}^{2+}$  -ionokat, atomabszorpciós spektrofotométerrel mértük meg.

### 3.2.1 A közeg pH értékének hatása a kobalt-ionok adszorpciójára BCNT nanocsövön

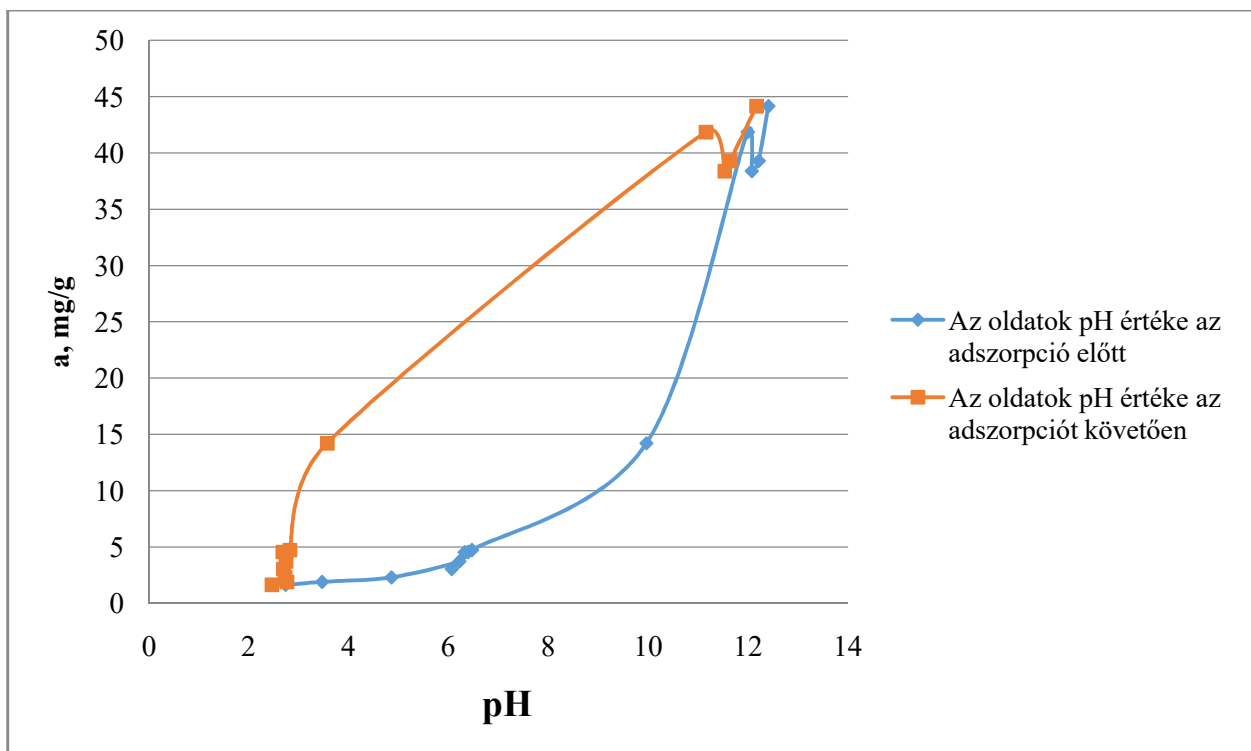
Jelentős mértékben befolyásolja az adszorpciót a közeg pH-értéke. A 6-os pH értékig nem látható jelentős eltérés az adszorpció előtti és az adszorpciót követő értékek között, azonban 6 feletti pH-értékeknél jelentős a különbség (20. ábra). A BCNT esetében az optimális pH tartomány pH 6 – 7 között van a közel semleges és semleges közegben.



20. ábra Az adszorpció és a pH közötti összefüggés az BCNT esetében

### 3.2.2 A közeg pH értékének hatása a kobalt-ionok adszorpciójára oxidált BCNT nanocsövön

A görbén nagyon jól kivehető, hogy jelentős mértékben térnek el a mért pH értékek adszorpció előtt és adszorpciót követően. Eleinte kevés az adszorpció, majd pH 6 körül maximalizálódik. A lúgos tartományban a görbe emelkedése nem az  $\text{Co}^{2+}$  adszorpciójának mennyiségi növekedést mutatja. A pH 6 érték felett ugyanis a kobalt-ionok hidroxid formájában kicsapódnak az oldatból, ami látszólag megnöveli az adszorpciót.

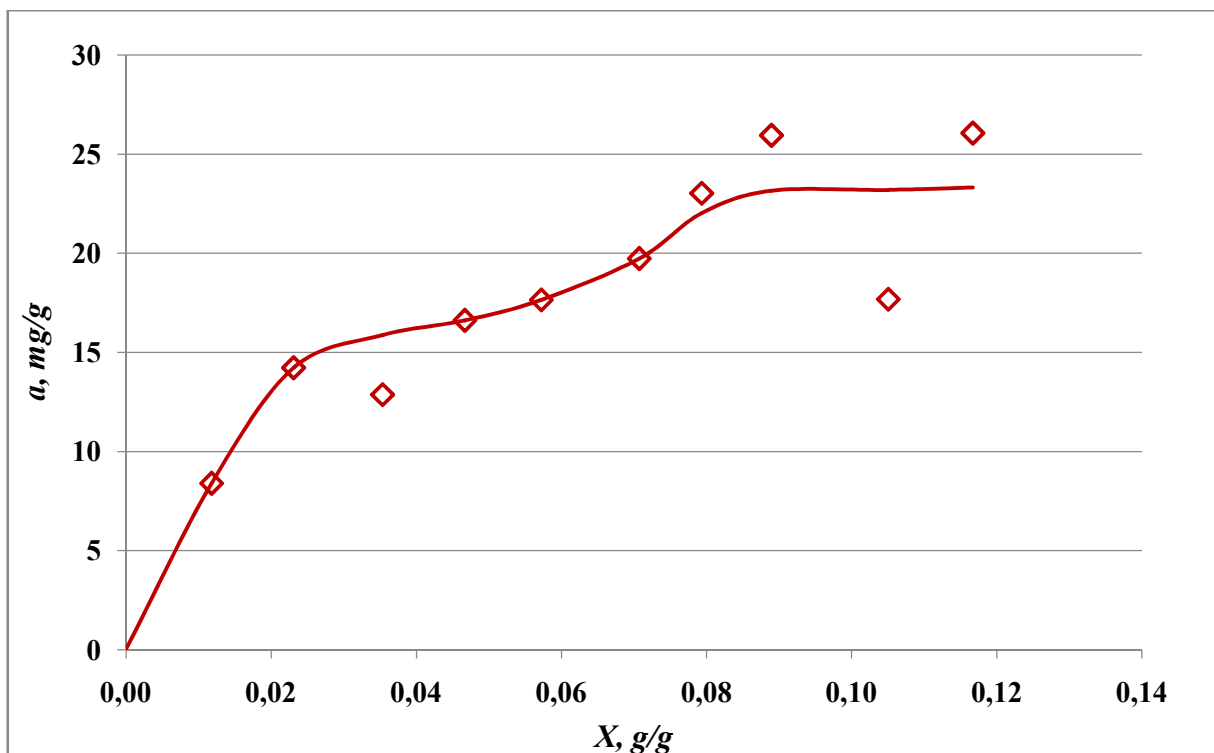


**21. ábra** Az adszorpció és a pH közötti összefüggés az oxidált BCNT esetében

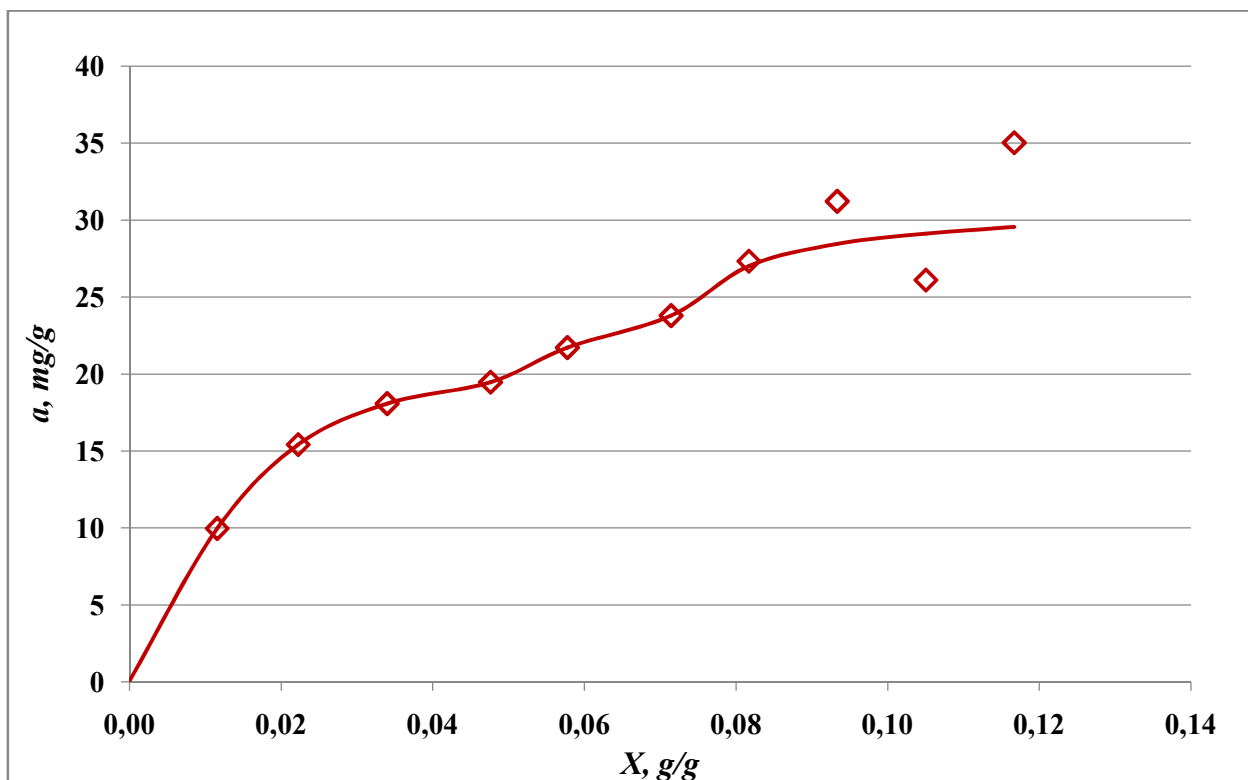
### 3.3 A kobalt-ionok adszorpciós izotermái BCNT és oxidált BCNT típusú nanocsöveken

Az adszorpciós izotermák felvételéhez két sorozatot készítettünk külön-külön a BCNT és oxidált BCNT típusú nanocsövekből, egyenként bemérve 10 mg-ot 50 cm<sup>3</sup>-es Erlenmeyer lombikokba. Hozzáadtuk a szükséges mennyiségű desztillált vizet. Ezt követően pedig növekvő mennyiségben  $4,5 \cdot 10^{-3}$  mol/dm<sup>3</sup> koncentrációjú CoCl<sub>2</sub> oldatot adagoltunk a sorozat tagjaihoz. Az első lombikba nem tettünk kobalt-klorid oldatot, abban csak nanocső és desztillált víz volt. Az elegyeket 20 percig rázógépen ráztattuk, majd kémcsövekbe leszűrtük őket. A szűrésre azért volt szükség, mivel a ráztatást követően az oldat zavaros maradt a nanocsőtől. Miután leszűrtük a mintánkat, atomabszorpciós spektrofotométerrel (AAS) megmértük az egyensúlyi oldatok kobalt koncentrációját, azaz a kobalt-ionok nem adszorbeálódott mennyiségét.

Az BCNT-nél (22. ábra) és az oxidált BCNT-nél (23. ábra) is tapasztalunk kisebb-nagyobb kiugrásokat az adszorpciót követően.



22. ábra A kobalt-ionok adszorpciós izotermája BCNT típusú nanocsövön



23. ábra A kobalt-ionok adszorpciós izotermája oxidált BCNT típusú nanocsövön

### 3.4 A Langmuir állandók meghatározása

A laboratóriumi mérések során felvett adszorpciós izotermák linearizálásához az alábbi egyenletet használtuk fel:

$$C_{eq}/a = 1/(a_{\infty}K) + C_{eq}/a_{\infty}$$

ahol:

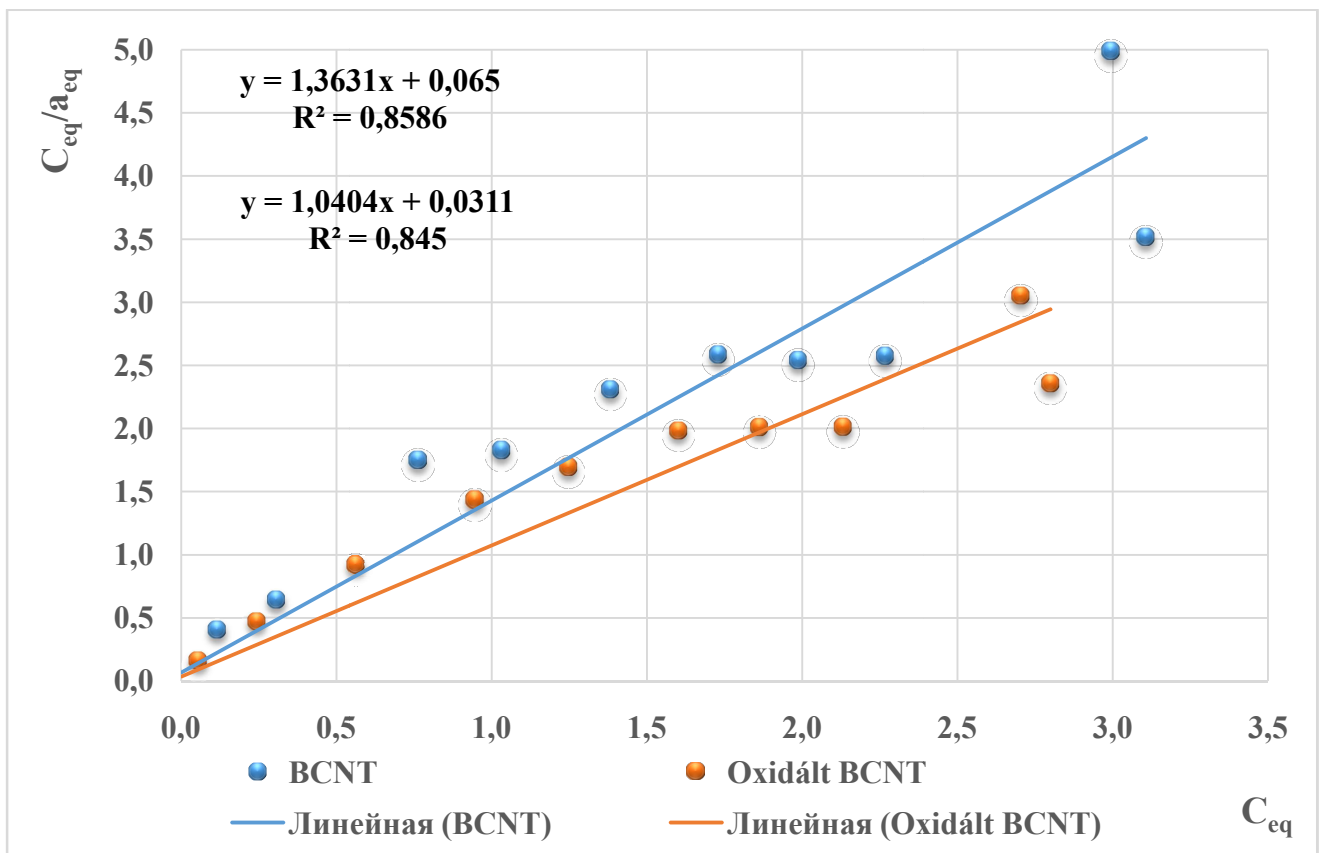
$C_{eq}$  – az oldatban lévő  $Co^{2+}$ -ionok egyensúlyi koncentrációja,  $meé/dm^3$ ,

$a$  –  $Co^{2+}$ -ionok adszorpciós együtthatója,  $meé/g$

$a_{\infty}$  –  $Co^{2+}$  maximális adszorpciójának értéke,  $meé/g$

$K$  – az adszorpció egyensúly állandója,  $dm^3/meé$

A  $K$  az adszorpcióra való hajlamot mutatja, az  $a_{\infty}$  pedig a kobalt maximálisan megköthető mennyiségét a nanocsöveken. Minél nagyobb a  $K$ -nak az értéke, annál inkább az adszorpció irányába megy a folyamat. Minél nagyobb az  $a_{\infty}$  értéke, annál több kobaltot tud megkötni az adott adszorbens. A Langmuir-izoterma lineáris alakját az egyenletben szereplő  $K$  értékének és az  $a_{\infty}$  meghatározására használtuk.



24. ábra A linearizált Langmuir-izoterma

A meghatározott K és  $a_{\infty}$  értékeket az 1. táblázat foglalja össze.

**1.táblázat**

**A K és  $a_{\infty}$  állandók értékei**

$\text{Co}^{2+}$	$1/a_{\infty}$	$1/a_{\infty}k$	$a_{\infty}$ , mg-é/g	$a_{\infty}$ mmol/g	$a_{\infty}$ mg/g	$K$ , $\text{dm}^3/\text{mg-é}$	$K$ , $\text{dm}^3/\text{mmol}$	$K$ , $\text{dm}^3/\text{mol}$	$K \cdot 10^3$ , $\text{dm}^3/\text{mol}$
BCNT	1,3631	0,065	0,73	0,37	21,62	20,971	41,942	41942	41,942
oxidált BCNT	1,0404	0,0311	0,96	0,48	28,32	33,453	66,907	66907	66,907

Az 1. táblázatban megadott adatok alapján látszik, hogy a BCNT esetében a K értéke, azaz a felülethez való affinitás kisebb értéket mutat, mint az oxidált BCNT esetében vagy is az adszorpció irányába megy a folyamat. Adszorpciójuk aránylag jelentős, mivel a fajlagos felületük nagy, vagyis az oxidált BCNT több kobalt-iont tud megkötni.

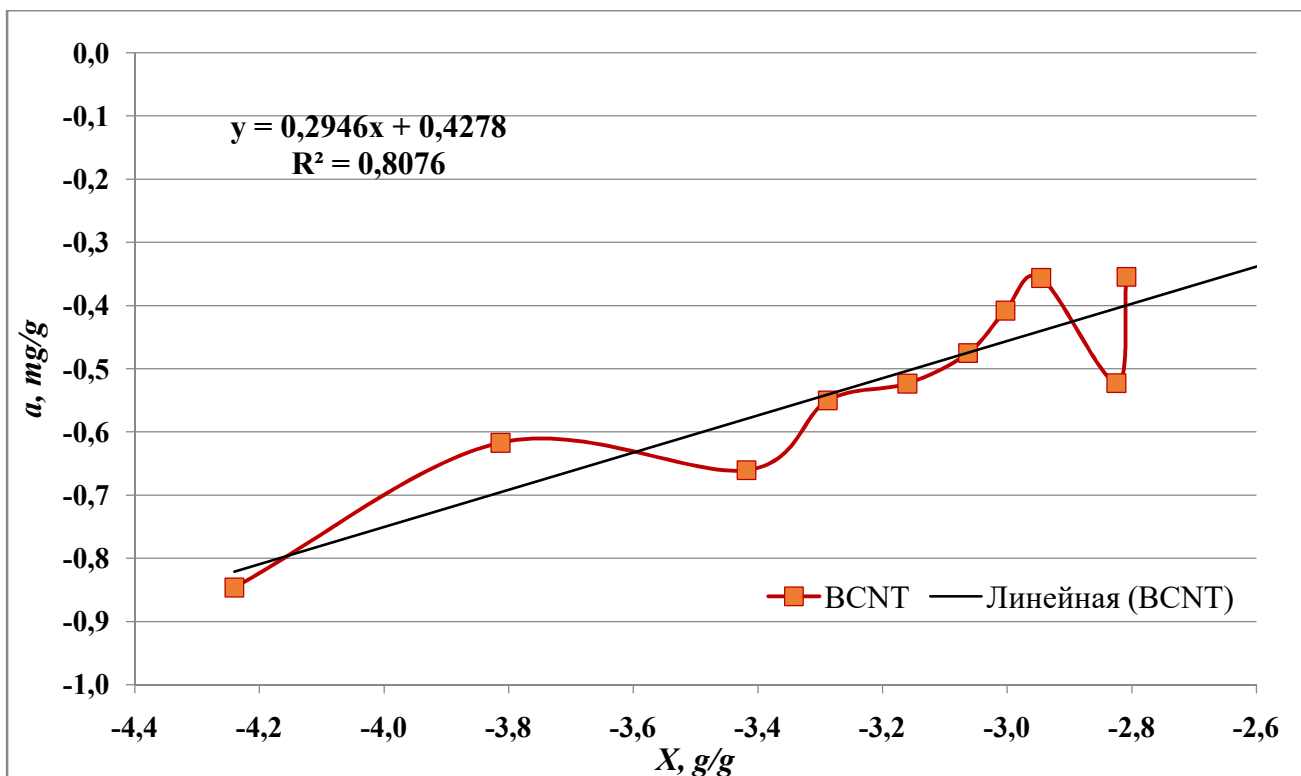
A BCNT maximális adszorpciójának értéke amit elméletileg számoltunk ki, vagyis amennyit meg tud kötni, az  $a_{\infty}=21,6$  mg/g, ezzel szemben nekünk 26,1 kötődött meg.

Vagyis 1 g nanocsövön a BCNT esetében 21,6 mg/g, az oxidált BCNT-n 28,3 mg/g,  $\text{Co}^{2+}$  tud megkötni.

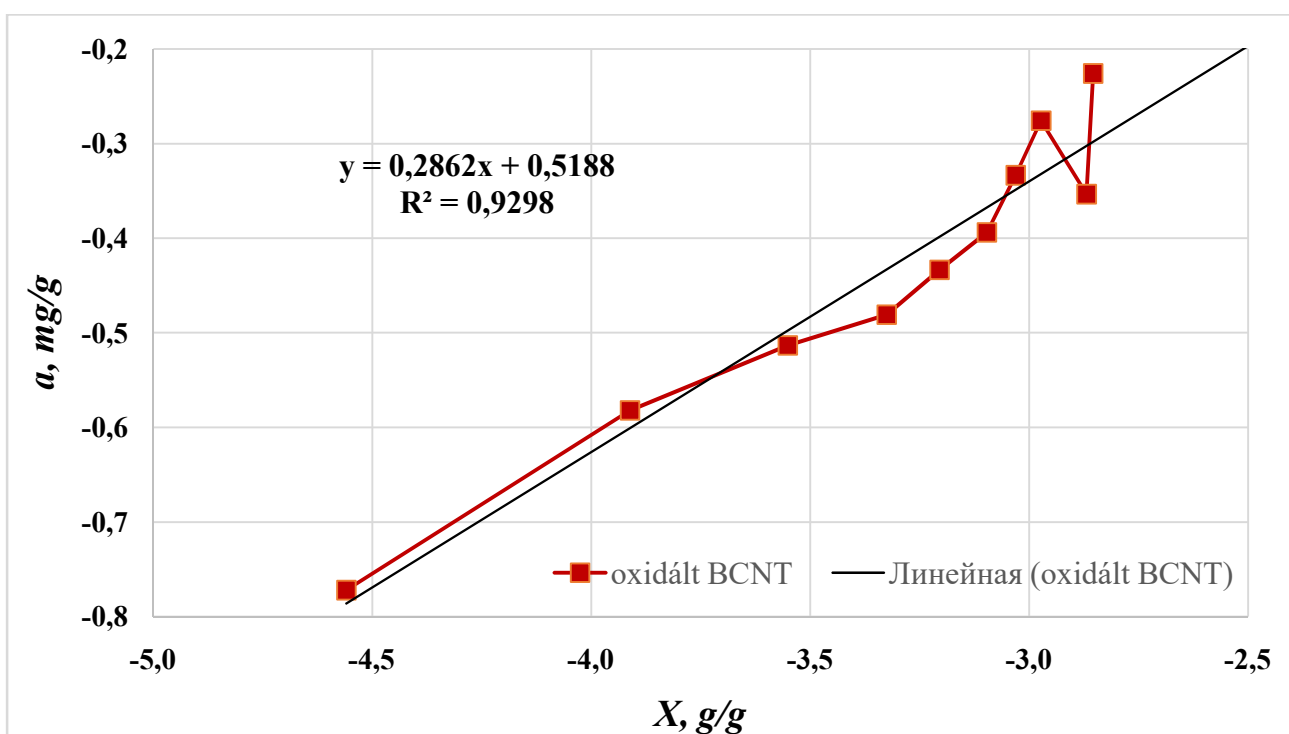
### 3.5 A linearizált Freundlich-izotemák megszerkesztése

A Freundlich adszorpciós izoterma egyenletéből következik, hogy a  $k_F$  értéke a  $c=1$  mol/dm<sup>3</sup> egyensúlyi oldatból adszorbeálódott anyag mennyiségével egyenlő. Az  $\frac{1}{n}$  mutató értéke pedig azt mutatja meg, hogy az izoterma milyen mértékben közelít az egyeneshez. Oldatokra vonatkozóan az  $\frac{1}{n}$  értéke 0,1 – 0,5 között kell legyen.

- $\frac{1}{n}=1$  – az izoterma egyenes, illetve ez az érték az izoterma egyenes részére vonatkozhat;
- $\frac{1}{n}=0$  – ez az érték az izoterma horizontális egyenes részére vonatkozik.



25. ábra A linearizált Freundlich-izoterma a BCNT nanocsőre vonatkozóan



26. ábra A linearizált Freundlich-izoterma az oxidált BCNT nanocsőre vonatkozóan

Mind a BCNT és az oxidált BCNT esetében is az  $\frac{1}{n}$  érték 0,1-0,5 között van (2, 3-táblázat).

## 2. táblázat

BCNT – a Freundlich-izoterma állandói

<b>Módosított grafikon szerint</b>	
1/n	0,2946
n	3,3944
lg k	0,4278
k, cm <sup>3</sup> /g	2,6779

## 3. táblázat

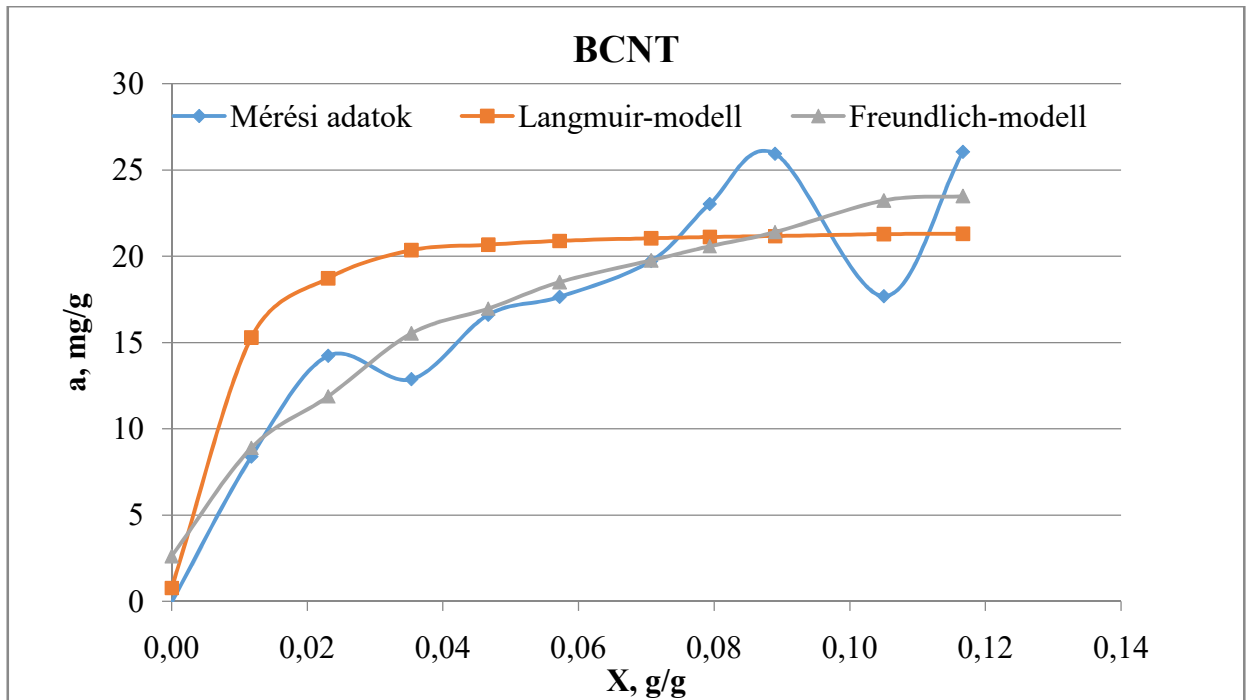
oxidált BCNT – a Freundlich-izoterma állandói

<b>Módosított grafikon szerint</b>	
1/n	0,2862
n	3,4941
lg k	0,5188
k, cm <sup>3</sup> /g	3,3022

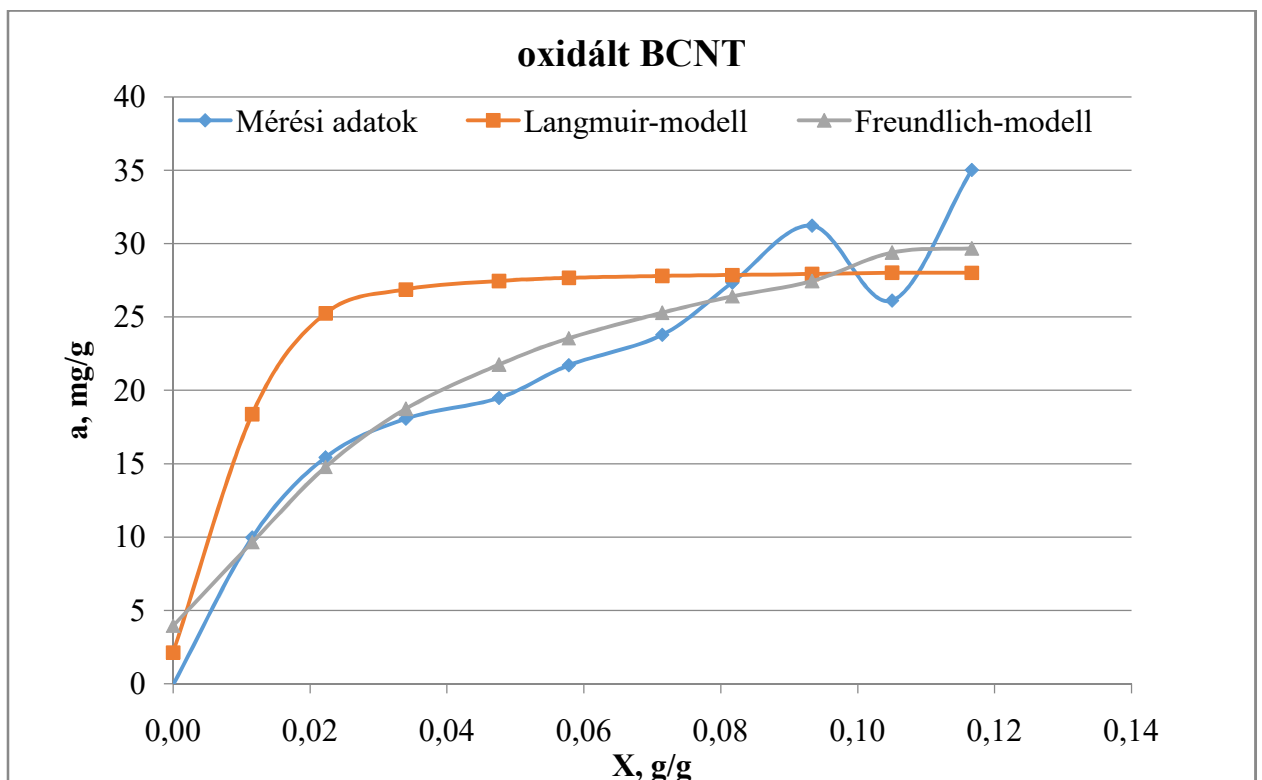
### 3.6 Az adszorpciós izotermák összehasonlítása a Langmuir- és a Freundlich-modell alapján

A BCNT (27. ábra), az oxidált BCNT (28. ábra) esetében is a Langmuir-modellnél jelentős kiugrás tapasztalható. Tehát a Langmuir és a Freundlich modell közül a mérési adatokat legjobban a Freundlich-model követi, jobban leírja az adszorpciót. A Langmuir-modellnél magasabb értékeket kapunk, vagyis nem jól írja le a kobalt adszorpciós folyamatát. Ennek az lehet az oka, hogy a kobalt esetében hamar elértük a telítettséget ezzel a koncentrációval, és gyakorlatilag a 11 mérési pontból 3 van amelyik a felfelé eső ágra esik, az utána lévő értékek közül nincs nagy eltérés. Ott már telített az érték.





27. ábra A  $\text{Co}^{2+}$  adszorpciós izotermáinak összehasonlítása a Langmuir- és a Freundlich-modell alapján BCNT típusú nanocsövön



28. ábra A  $\text{Co}^{2+}$  adszorpciós izotermáinak összehasonlítása a Langmuir- és a Freundlich-modell alapján oxidált BCNT típusú nanocsövön

## ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk során célunk a kobalt(II)-ionok adszorpciós tulajdonságainak vizsgálata volt szén nanocsöveken, mégpedig BCNT-n és oxidált BCNT-n. A nanocsöveket amelyekkel a vizsgálatainkat végeztük a Miskolci Egyetem Kémiai Intézetében szintetizálták. Feladataink közé tartozott a kobalt-ionok adszorpciós kinetikájának vizsgálata, a folyamat pH függőségének megállapítása, az izotermák megszerkesztése és azok alapján az adszorpciót jellemző paraméterek meghatározása.

A szakdolgozat első részében áttanulmányoztuk a témában írt szakirodalmakat, majd folytatásként adszorpciós kinetikával foglalkoztunk. A kinetikai vizsgálat során meghatároztuk azt az optimális ráztatási időt, amely elég volt ahhoz, hogy a kobalt-ionok adszorbeálódjanak a nanocsövek felületén. Ennek megállapítására bizonyos reakciók elteltével, atomabszorpciós spektrofotométer segítségével megmértük a  $\text{Co}^{2+}$  egyensúlyi koncentrációját. A BCNT típusú nanocső esetében az adszorpciós egyensúly 120 percnél állt be, majd 120 után hanyatló szakasz következett. Az oxidált BCNT adszorpciós kinetikáját vizsgálva megfigyeltem, hogy az adszorpció 60 percig folyamatosan növekszik. A vizsgálatban 60 perc elteltével állt be az egyensúly, tehát 60 perctől 240 percig ez az optimális idő, utána már deszorpció megy végbe.

Megállapítottuk, hogy az adszorpciót nagymértékben befolyásolja a közeg pH értéke. A BCNT esetében az optimális pH tartomány pH 6-7 között van, az oxidált BCNT számára is szintén a pH 6-7 érték a legmegfelelőbb a  $\text{Co}^{2+}$  - ionok adszorpciójához. Mindkét esetben az adszorpció pH 6 körül maximalizálódik. Ezután ugyan a pH görbe növekedést mutat, de ez már a kobalt-hidroxidnak lúgos közegben való kicsapódásával magyarázható. Az adszorpció és a közeg kémhatása közötti összefüggéseket ábrázoló görbén jól látható, hogy a mért pH értékek adszorpció előtt és az adszorpciót követően jelentős mértékben eltérnek.

Elvégeztük a Langmuir izotermáknak a linearizálását, megépítettük a grafikont és ezek alapján kiszámoltuk az  $a_{\infty}$ -nek, illetve a K-nak az értékét. Egy g BCNT nanocsövön 21,6 mg, míg ugyanennyi oxidált BCNT nanocsövön 28,3 mg  $\text{Co}^{2+}$  tud adszorbeálódni.

Összehasonlítottuk a Langmuir és a Freundlich adszorpciós izotermák modelljeit. A két modell közül a mérési adatokat a Freundlich-model követi jobban, vagyis jobban leírja az adszorpciót. A Langmuir-modellnél magasabb értékeket kapunk, vagyis nem jól írja le a kobalt adszorpciós folyamatát. Ennek az lehet az oka, hogy a kobalt esetében hamar elértük a telítettséget ezzel a koncentrációval, és gyakorlatilag a tizenegy mérési pontból három van amelyik a felfelé eső ágra esik, az utána lévő értékek között nincs nagy eltérés.

## РЕЗЮМЕ

Метою роботи було визначення адсорбційної здатності вуглецевих нанотрубок, а саме типу BCNT і окисленого BCNT відносно іонів кобальту(II). Нанотрубки, з якими проводили експерименти, були синтезовані в Інституті хімії університету Мішкольца. Наше завдання було вивчення кінетики адсорбції іонів кобальту, визначення рН-залежності процесу, побудова ізотерм та на їх основі визначення параметрів адсорбції.

У першій частині цієї роботи ми вивчали літературу з даної теми, а потім продовжували займатися кінетикою адсорбції. Під час дослідження кінетики встановили оптимальний час струшування, достатній для адсорбції іонів  $\text{Co}^{2+}$  на поверхні нанотрубок. Для цього ми визначали рівноважну концентрацію іонів  $\text{Co}^{2+}$  після їх взаємодії з нанотрубками за допомогою атомно-абсорбційного спектрофотометру. Для нанотрубки типу BCNT рівновага адсорбції була досягнута через 120 хв, після чого більш інтенсивним був процес десорбції. Вивчаючи кінетику адсорбції окисленого BCNT відмітили, що адсорбція безперервно зростала протягом 60 хв. У дослідженні рівновага була досягнута через 60 хвилин, тому оптимальний час струшування від 60 до 240 хвилин, після чого відбувається десорбція.

Нами було встановлено, що адсорбція нанотрубками сильно залежить від рН середовища. У разі BCNT оптимальний діапазон рН для адсорбції лежить в межах 6 – 7, а для окисленого BCNT найбільш придатним для адсорбції іонів  $\text{Co}^{2+}$  також є діапазон рН 6 – 7. В обох випадках адсорбція максимізується біля рН 6. Після цього хоча крива рН показує збільшення, проте це пояснюється осадженням гідроксиду кобальту з лужного середовища. З кривих залежності адсорбції від реакції середовища видно, що значення рН суттєво відрізняються до і після адсорбції.

Ми провели лінеаризацію ізотерм Ленгмюра, побудували графік по яким обчислили значення  $a_{\infty}$  та К. Один г нанотрубки типу BCNT може адсорбувати 21,6 мг, тоді як така ж кількість окисленої нанотрубки BCNT може адсорбувати 28,3 мг  $\text{Co}^{2+}$ .

Нами були порівняли моделі ізотерм адсорбції Ленгмюра та Фрейндліха. З двох моделей до експериментальних даних ближче модель Фрейндліха, тобто вона краще описує адсорбцію. За моделлю Ленгмюра отримуємо завищені значення адсорбції, тобто вона неправильно описує процес адсорбції кобальту. Це може бути пов'язано з тим, що при даній концентрації розчину кобальту ми досить швидко досягли насичення, і є практично три з одинадцяти точок вимірювання, які потрапляють на висхідну гілку, після цього великої різниці між значеннями немає.

## IRODALOMJEGYZÉK

1. ÁDÁMNÉ MAJOR, A. (2011): Többfalú szén nanocső tartalmú polimer nanokompozitok előállítása és tanulmányozása. Doktori (PhD) értekezés.
2. BÁRÁNY, S. (2014): A kolloidkémia alapjai. Ungvár-Beregszász.
3. BÍRÓ, L. P. (2003): Újszerű szén nanocső architektúrák. Magyar tudomány, 9. szám.
4. DECK, C. P. – VECCHIO, K. (2005): Growth mechanism of vapor phase CVD-grown multi-walled carbon nanotubes. Carbon, 43(12), 2608-2617.
5. DUMÉE, L. – SEARS, K. – SCHÜTZ, J. R. – FINN, N. – DUKE, M. – GRAY, S. (2010): Carbon nanotube based composite membranes for water desalination by membrane distillation. Desalination and Water treatment, 17(1-3), 72-79.
6. EBBESEN, T. W. (1994): Carbon nanotubes. Annual review of materials science, 24(1), 235-264.
7. FEBRIANTO, J. – KOSASIH, A. N. – SUNARSO, J. – JU, Y. H. – INDRASWATI, N. – ISMADJI, S. (2009): Equilibrium and kinetic studies in adsorption of heavy metals using biosorbent: a summary of recent studies. Journal of hazardous materials, 162(2-3), 616-645.
8. FEJES, D. – RÉTI, B. – NÉMETH, K. – BERKI, P. – NÉMETH, Z. – HERNÁDI, K. (2014): Többfalú szén nanocsövek előállítása és széleskörű felhasználása az Alkalmazott Nanocső Technológia kutatócsoportban. Magyar Kémiai Folyóirat – Közlemények, 120. évfolyam, 2- 3. szám, Szeged.
9. GULYÁS, L. (2011): Diffúziós műveletek. Debreceni Egyetem, Műszaki Kar. Debrecen.
10. HERNÁDI, K. (2012): Nanokompozitok. Szegedi Tudományegyetem, Szeged.
11. HORÁNYI, GY. – LÁNG, GY. – KÓNYA, Z. – BÍRÓ, L. P. – HERNÁDI, K. – KIRICSI, I. – B. NAGY, J. (2002): Zsákutcák, tévutak és csapdák a jelenkori elektrokémiai elméletében és kutatásában/Szén nanocsövek előállítása, tulajdonságai és alkalmazási lehetőségei – A Kémia Újabb Eredményei, 90. kötet. Akadémiai Kiadó, Budapest.
12. IJIMA, S. (1991): Helical microtubules of graphitic carbon Nature 354: 56–58. Find this article online.
13. JI, L. – LIN, J. – ZENG, H. C. (2000): Chem. Mater. 12 (11), 3466-3471.
14. JOURNET, C. – BERNIER, P. (1998): Production of carbon nanotubes. Applied physics A: Materials science & processing, 67(1).
15. KIM, E. S. – HWANG, G. – EL-DIN, M. G. – LIU, Y. (2012): Development of nanosilver and multi-walled carbon nanotubes thin-film nanocomposite membrane for enhanced water treatment. Journal of membrane science, 394, 37-48.

16. KÓNYA, Z. (2009): Összetett nanoszerkezetek készítése, jellemzése, és néhány felhasználási lehetősége. MTA doktori értekezés.
17. KROTO, H. W. – HEATH, J. R. – O'BRIEN, S. C. – CURL, R. F. – R. E. SMALLEY. (1985): Nature, 318, 162.
18. KÜRTI, J. (2007): Szén nanocsövek — Fizikai szemle, 57. évfolyam, 3. szám.
19. MALKOC, E. – NUHOGLU, Y. (2007): Determination of kinetic and equilibrium parameters of the batch adsorption of Cr (VI) onto waste acorn of Quercus ithaburensis. Chemical Engineering and Processing-Process Intensification, 46(10), 1020-1029.
20. MANILO, M. V. – CSOMA, Z. Z. – BARANY, S. (2017): Comparative study of Cr(III) adsorption by carbon nanotubes and active carbons Kolloidnyi zhurnal / Colloid Journal of the Russian Academy of Sciences 79 : 2 pp. 212-218. , 7 p.
21. OSVÁTH, Z. (2006): Szén nanocsövek vizsgálata és módosítása ionsugaras és pásztázószondás módszerekkel. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem. Ph.D. értekezés.
22. ÖTVÖS, Z. (2007): Szén nanocsövek adszorpciós tulajdonságainak sebesség-spektroszkópiai vizsgálata (Doctoral dissertation, szte).
23. PECCHIA, A. – GHEORGHE, M. – DI CARLO, A. – LUGLI, P. (2003): Modulation of the electronic transport properties of carbon nanotubes with adsorbed molecules. Synthetic metals, 138 (1-2).
24. PELES-LEMLI, B. (2010): Anilin származékok és egyfalú szén nanocsövek kölcsönhatásának fluoreszcenciás és elméleti kémiai vizsgálata. PhD értekezés.
25. PINAULT, M. – MAYNE-L'HERMITE, M. – REYNAUD, C. – PICHOT, V. – LAUNOIS, P. et al., (2005): Growth of multiwalled carbon nanotubes during the initial stages of aerosol-assisted CCVD. Carbon, 43(14), 2968-2976.
26. RUSNYÁK, Á. – KOLTAI, J. – ZÓLYOMI, V. – KÜRTI, J. (2008): Szén nanoszerkezetek elméleti vizsgálata. Fizikai Szemle, LVIII. évfolyam, 11. szám.
27. SAITO, R. – FUJITA, M. – DRESSELHAUS, G. – DRESSELHAUS, M. S. (1992): Electronic structure of chiral graphene tubules, Applied Physics Letters 60: 2204-2206.
28. SÁPI, A. (2012). Nanorészecske-szén nanocső nanokompozitok előállítás, jellemzése és katalitikus tulajdonságainak vizsgálata. PhD értekezés.
29. SIMON, V. (2019): A réz(II)-ionok adszorpciójának összehasonlító vizsgálata különböző nanocsöveken és aktív szénen, Biológia és Kémia Tanszék, Diplomamunka, Beregszász.
30. TANG, Z. K. – ZHANG, L. – WANG, N. – WEN, G. H. et al., (2001): Superconductivity in 4 angstrom single-walled carbon nanotubes. Science, 292 (5526), 2462-2465.

31. THESS, A. – LEE, R. – NIKOLAEV, P. – DAI, H. – PETIT, P. – COLBERT, D. T. et al., (1996): Crystalline ropes of metallic carbon nanotubes. *Science*, 273 (5274), 483-487.
32. URBÁN, M. (2005): Szén nanocsövek szintézise mezopórusos szilikátokban. Szegedi Tudományegyetem, Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszék, Szeged.
33. VANYOREK, L. (2015): Szén nanoszorbensek és katalizátorok előállítása és alkalmazási lehetőségei a kémiai és a környezetvédelmi technológiákban. PhD értekezés.
34. VIJAYARAGHAVAN, K. – YUN, Y. S. (2008): Bacterial biosorbents and biosorption. *Biotechnology advances*, 26(3), 266-291.
35. WHITE, C. T. – TODOROV, T. N. (2001): Nanotubes go ballistic. *Nature*, 411 (6838).
36. XINGHUI, L. – CHANGCHUN, Z. – YUKUI, L. (2004): Energy band structure effect of individual carbon nanotubes on field emission, *Physica B* 344:243.
37. YUDASAKA, M. – KOMATSU, T. – ICHIHASHI, T. – IJAMA, S. (1997): Single-wall carbon nanotube formation by laser ablation using double-targets of carbon and metal. *Chem. Phys. Lett.* 278.
38. ZSOLDOS, I. – HARGITAI, H. (2014): Korszerű anyagok és technológiák. Széchenyi István Egyetem.
39. ЛУРЬЕ, Ю. Ю. (1971): Справочник по аналитической химии. Москва: Химия. – 456 с.

#### **Internetes források:**

INTERNET 1: <http://www.nanonewsnet.ru/node/2437>

INTERNET 2: <https://www.carbolite-gero.hu/hu/alkalmazasok/hokezelesi-alkalmazasok/szen-nanocsoevok/>

INTERNET 3: <https://www.americanelements.com/cobalt-ii-chloride-hexahydrate-7791-13-1>

INTERNET 4: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Cobalt-chloride-hexahydrate#section=GHS-Classification>

## ÁBRÁK JEGYZÉKE

1. <b>ábra</b>	Grafitsík feltekeréséből nyert egyfalú szén nanocső .....	10
2. <b>ábra</b>	Kétdimenziós grafén sík a translációs vektorral, az egységvektorokkal és a kiralitás szögével .....	11
3. <b>ábra</b>	a) Egyfalú (SWCNT), b) több falú (MWCNT) és c) bambusz szerkezetű szén nanocsövek sematikus ábrázolása .....	12
4. <b>ábra</b>	Az egyfalú nanocsövek szerkezeti csoportosítása .....	14
5. <b>ábra</b>	Többfalú szén nanocső TEM felvétele .....	15
6. <b>ábra</b>	A templát-módszer sematikus rajza .....	16
7. <b>ábra</b>	Elektrolizáló berendezés .....	17
8. <b>ábra</b>	A CNT ívkisüléssel történő előállítására használatos Krätschmer reaktor vázlata ....	19
9. <b>ábra</b>	Grafit lézeres elpárologtatására alkalmas reaktor sémája .....	20
10. <b>ábra</b>	A CCVD eljárás elvi vázlata és az így növesztett szén nanocsövek SEM mikroszkópos felvételei .....	21
11. <b>ábra</b>	A Freundlich-állandók logaritmikus értékei grafikonon ábrázolva .....	26
12. <b>ábra</b>	Adszorpciós izotermák típusai: a) Henry-izoterma, b) Freundlich-izoterma, c) Langmuir-izoterma .....	26
13. <b>ábra</b>	Fizikai adszorpció izotermáinak fő típusai .....	27
14. <b>ábra</b>	Kobalt(II)-klorid-hexahidrát .....	29
15. <b>ábra</b>	Agilent Technologies 240 típusú atomabszorpciós spektrofotométer .....	30
16. <b>ábra</b>	CoCl <sub>2</sub> * 6H <sub>2</sub> O oldat .....	30
17. <b>ábra</b>	A Co <sup>2+</sup> oldat és az oxidált BCNT nanocső NaOH hozzáadása után .....	31
18. <b>ábra</b>	A Co <sup>2+</sup> adszorpciója az idő függvényében BCNT nanocsövön .....	32
19. <b>ábra</b>	A Co <sup>2+</sup> adszorpciója az idő függvényében oxidált BCNT nanocsövön .....	33
20. <b>ábra</b>	Az adszorpció és a pH közötti összefüggés az BCNT esetében .....	34
21. <b>ábra</b>	Az adszorpció és a pH közötti összefüggés az oxidált BCNT esetében .....	35
22. <b>ábra</b>	A kobalt-ionok adszorpciós izotermája BCNT típusú nanocsövön .....	36
23. <b>ábra</b>	A kobalt-ionok adszorpciós izotermája oxidált BCNT típusú nanocsövön .....	36
24. <b>ábra</b>	A linearizált Langmuir-izoterma .....	37
25. <b>ábra</b>	A linearizált Freundlich-izoterma a BCNT nanocsőre vonatkozóan .....	39
26. <b>ábra</b>	A linearizált Freundlich-izoterma az oxidált BCNT nanocsőre vonatkozóan .....	39
27. <b>ábra</b>	A Co <sup>2+</sup> adszorpciós izotermáinak összehasonlítása a Langmuir- és a Freundlich modell alapján BCNT típusú nanocsövön .....	41

**28. ábra** A  $\text{Co}^{2+}$  adszorpciós izotermáinak összehasonlítása a Langmuir- és a Freundlich modell alapján oxidált BCNT típusú nanocsövön..... 41



## TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. **táblázat** A meghatározott K és  $a_{\infty}$  értékei ..... 38
2. **táblázat** BCNT – a Freundlich-izoterma állandói..... 40
3. **táblázat** oxidált BCNT – a Freundlich-izoterma állandói ..... 40

## MELLÉKLET

### 1. sz. melléklet

A mérési adatok és a kobalt-ion adszorpció számítása BCNT típusú nanocsövön

BCNT											
A minta száma	A bemért nanocső tömege	A hozzáadott oldat $\text{Co}^{2+}$ koncentrációja	$M(\text{Co}^{2+})$	A hozzáadott oldat $\text{Co}^{2+}$ koncentrációja	A bemért $\text{Co}^{2+}$ oldat térfogata	$\text{Co}^{2+}$ mennyisége $10 \text{ cm}^3$ oldatban	Visszamaradt $\text{Co}^{2+}$ koncentrációja az oldatban ( <i>mért koncentráció</i> )	Visszamaradt $\text{Co}^{2+}$ mennyisége $10 \text{ cm}^3$ oldatban	Adszorbalódott $\text{Co}^{2+}$ mennyisége	Bemért $\text{Co}^{2+}$ mennyisége $1 \text{ g}$ nanocsőre számítva, $X$	Adszorbalódott $\text{Co}^{2+}$ mennyisége $1 \text{ g}$ nanocsőre számítva, $a$
	mg	mól/dm <sup>3</sup>	g/mol	mg/cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	mg	mg/dm <sup>3</sup>	mg	mg	g/g	mg/g
1	10,3	0,002	58,9332	0,11787	0	0,000	0,05	0,001	-0,001	0,000	-0,051
2	10,0	0,002	58,9332	0,11787	1	0,118	3,39	0,034	0,084	0,012	8,396
3	10,2	0,002	58,9332	0,11787	2	0,236	9,06	0,091	0,145	0,023	14,226
4	10,0	0,002	58,9332	0,11787	3	0,354	22,48	0,225	0,129	0,035	12,876
5	10,1	0,002	58,9332	0,11787	4	0,471	30,37	0,304	0,168	0,047	16,611
6	10,3	0,002	58,9332	0,11787	5	0,589	40,75	0,408	0,182	0,057	17,654
7	10,0	0,002	58,9332	0,11787	6	0,707	50,99	0,510	0,197	0,071	19,731
8	10,4	0,002	58,9332	0,11787	7	0,825	58,55	0,586	0,240	0,079	23,032
9	10,6	0,002	58,9332	0,11787	8	0,943	66,80	0,668	0,275	0,089	25,942
10	10,1	0,002	58,9332	0,11787	9	1,061	88,21	0,882	0,179	0,105	17,689
11	10,1	0,002	58,9332	0,11787	10	1,179	91,55	0,916	0,263	0,117	26,055

## 2. sz. melléklet

A mérési adatok és a kobalt-ion adszorpció számítása oxidált BCNT típusú nanocsövön

Oxidált BCNT											
A minta száma	A bemért nanocső tömege	A hozzáadott oldat $\text{Co}^{2+}$ koncentrációja	$M(\text{Co}^{2+})$	A hozzáadott oldat $\text{Co}^{2+}$ koncentrációja	A bemért $\text{Co}^{2+}$ oldat térfogata	$\text{Co}^{2+}$ mennyisége $10 \text{ cm}^3$ oldatban	Visszamaradt $\text{Co}^{2+}$ koncentrációja az oldatban ( <i>mért koncentráció</i> )	Visszamaradt $\text{Co}^{2+}$ mennyisége $10 \text{ cm}^3$ oldatban	Adszorbalódott $\text{Co}^{2+}$ mennyisége	Bemért $\text{Co}^{2+}$ mennyisége $1 \text{ g}$ nanocsőre számítva, $X$	Adszorbalódott $\text{Co}^{2+}$ mennyisége $1 \text{ g}$ nanocsőre számítva, $a$
	mg	mól/dm <sup>3</sup>	g/mol	mg/cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	mg	mg/dm <sup>3</sup>	mg	mg	g/g	mg/g
1	10,1	0,002	58,9332	0,11787	0	0,000	0,07	0,001	-0,001	0,000	-0,071
2	10,2	0,002	58,9332	0,11787	1	0,118	1,63	0,016	0,102	0,012	9,960
3	10,6	0,002	58,9332	0,11787	2	0,236	7,22	0,072	0,163	0,022	15,424
4	10,4	0,002	58,9332	0,11787	3	0,354	16,57	0,166	0,188	0,034	18,070
5	9,9	0,002	58,9332	0,11787	4	0,471	27,87	0,279	0,193	0,048	19,476
6	10,2	0,002	58,9332	0,11787	5	0,589	36,78	0,368	0,222	0,058	21,717
7	9,9	0,002	58,9332	0,11787	6	0,707	47,17	0,472	0,236	0,071	23,791
8	10,1	0,002	58,9332	0,11787	7	0,825	54,89	0,549	0,276	0,082	27,340
9	10,1	0,002	58,9332	0,11787	8	0,943	62,76	0,628	0,315	0,093	31,222
10	10,1	0,002	58,9332	0,11787	9	1,061	79,71	0,797	0,264	0,105	26,112
11	10,1	0,002	58,9332	0,11787	10	1,179	82,49	0,825	0,354	0,117	35,030

Az izoterma linearizálásához szükséges számítások BCNT típusú nanocső esetében a Langmuir modell alapján

Co	Adszorbalódott Co <sup>2+</sup> mennyisége 1 g nanocsőre számítva, $a_{eq}$	$C_{eq}$	$C_{eq}/a_{eq}$
g-eé	mg-eé/g		
29,4666	0,00	0,00	-1,03
29,4666	0,28	0,12	0,40
29,4666	0,48	0,31	0,64
29,4666	0,44	0,76	1,75
29,4666	0,56	1,03	1,83
29,4666	0,60	1,38	2,31
29,4666	0,67	1,73	2,58
29,4666	0,78	1,99	2,54
29,4666	0,88	2,27	2,57
29,4666	0,60	2,99	4,99
29,4666	0,88	3,11	3,51

#### 4. sz. melléklet

Az izoterma linearizálásához szükséges számítások oxidált BCNT típusú nanocső esetében a Langmuir modell alapján

Co	Adszorbalódott Co <sup>2+</sup> mennyisége 1 g nanocsőre számítva, <i>a</i> <sub>eq</sub>	C <sub>eq</sub>	C <sub>eq</sub> /a <sub>eq</sub>
g-éé	mg-éé/g		
29,467	0,00	0,00	-1,01
29,467	0,34	0,06	0,16
29,467	0,52	0,25	0,47
29,467	0,61	0,56	0,92
29,467	0,66	0,95	1,43
29,467	0,74	1,25	1,69
29,467	0,81	1,60	1,98
29,467	0,93	1,86	2,01
29,467	1,06	2,13	2,01
29,467	0,89	2,70	3,05
29,467	1,19	2,80	2,35



## 5. sz. melléklet

A K és  $a_{\infty}$  állandók értékei

$\text{Co}^{2+}$	$1/a_{\infty}$	$1/a_{\infty k}$	$a_{\infty}$ , mg-éé/g	$a_{\infty}$ mmol/g	$a_{\infty}$ mg/g	K, $\text{dm}^3/\text{mg-éé}$	K, $\text{dm}^3/\text{mmol}$	K, $\text{dm}^3/\text{mol}$	$K \cdot 10^3$ , $\text{dm}^3/\text{mol}$
BCNT	1,3631	0,065	0,73	0,37	21,62	20,971	41,942	41942	41,942
oxidált BCNT	1,0404	0,0311	0,96	0,48	28,32	33,453	66,907	66907	66,907

## 6. sz. melléklet

Az izoterma linearizálásához szükséges számítások BCNT típusú nanocső esetében a Freundlich modell alapján

BCNT	A minta száma	A bemért nanocső tömege	A hozzáadott oldat $\text{Co}^{2+}$ koncentrációja	$M(\text{Co}^{2+})$	A hozzáadott oldat $\text{Co}^{2+}$ koncentrációja	A bemért $\text{Co}^{2+}$ oldat térfogata	$\text{Co}^{2+}$ mennyisége $10 \text{ cm}^3$ oldatban	Visszamaradt $\text{Co}^{2+}$ koncentrációja az oldatban (mért koncentráció)			Visszamaradt $\text{Co}^{2+}$ mennyisége $10 \text{ cm}^3$ oldatban	Adszorbalódott $\text{Co}^{2+}$ mennyisége	Bemért $\text{Co}^{2+}$ mennyisége $1 \text{ g}$ nanocsőre számítva, X	Adszorbalódott $\text{Co}^{2+}$ mennyisége $1 \text{ g}$ nanocsőre számítva, a		
								mg/dm <sup>3</sup>	mol/dm <sup>3</sup>	lg mol/dm <sup>3</sup>				mg/g	mmol/g	lg mmol/g
	1	10,3	0,002	58,9332	0,11787	0	0,000	0,053	0,0000	-6,0461	0,001	-0,001	0,000	-0,051	-0,001	#ЧИСЛО!
	2	10,0	0,002	58,9332	0,11787	1	0,118	3,391	0,0001	-4,2400	0,034	0,084	0,012	8,396	0,142	-0,846
	3	10,2	0,002	58,9332	0,11787	2	0,236	9,063	0,0002	-3,8131	0,091	0,145	0,023	14,226	0,241	-0,617
	4	10,0	0,002	58,9332	0,11787	3	0,354	22,484	0,0004	-3,4185	0,225	0,129	0,035	12,876	0,218	-0,661
	5	10,1	0,002	58,9332	0,11787	4	0,471	30,369	0,0005	-3,2879	0,304	0,168	0,047	16,611	0,282	-0,550
	6	10,3	0,002	58,9332	0,11787	5	0,589	40,750	0,0007	-3,1602	0,408	0,182	0,057	17,654	0,300	-0,524
	7	10,0	0,002	58,9332	0,11787	6	0,707	50,989	0,0009	-3,0629	0,510	0,197	0,071	19,731	0,335	-0,475
	8	10,4	0,002	58,9332	0,11787	7	0,825	58,553	0,0010	-3,0028	0,586	0,240	0,079	23,032	0,391	-0,408
	9	10,6	0,002	58,9332	0,11787	8	0,943	66,795	0,0011	-2,9456	0,668	0,275	0,089	25,942	0,440	-0,356
	10	10,1	0,002	58,9332	0,11787	9	1,061	88,214	0,0015	-2,8248	0,882	0,179	0,105	17,689	0,300	-0,523
	11	10,1	0,002	58,9332	0,11787	10	1,179	91,551	0,0016	-2,8087	0,916	0,263	0,117	26,055	0,442	-0,354

## 7. sz. melléklet

Az izoterma linearizálásához szükséges számítások oxidált BCNT típusú nanocső esetében a Freundlich modell alapján

Oxidált BCNT															
A minta száma	A bemért nanocső tömege	A hozzáadott oldat $\text{Co}^{2+}$ koncentrációja	$M(\text{Co}^{2+})$	A hozzáadott oldat $\text{Co}^{2+}$ koncentrációja	A bemért $\text{Co}^{2+}$ oldat térfogata	$\text{Co}^{2+}$ mennyisége $10 \text{ cm}^3$ oldatban	Visszamaradt $\text{Co}^{2+}$ koncentrációja az oldatban (mért koncentráció)			Visszamaradt $\text{Co}^{2+}$ mennyisége $10 \text{ cm}^3$ oldatban	Adszorbalódott $\text{Co}^{2+}$ mennyisége	Bemért $\text{Co}^{2+}$ mennyisége $1 \text{ g}$ nanocsőre számítva, $X$	Adszorbalódott $\text{Co}^{2+}$ mennyisége $1 \text{ g}$ nanocsőre számítva, $a$		
							$\text{mg/dm}^3$	$\text{mol/dm}^3$	$\lg \text{ mol/dm}^3$				$\text{mg/g}$	$\text{mmol/g}$	$\lg \text{ mmol/g}$
1	10,1	0,002	58,9332	0,11787	0	0,000	0,072	0,0000	-5,913	0,001	-0,001	0,000	-0,071	-0,001	#ЧИСЛО!
2	10,2	0,002	58,9332	0,11787	1	0,118	1,627	0,0000	-4,559	0,016	0,102	0,012	9,960	0,169	-0,772
3	10,6	0,002	58,9332	0,11787	2	0,236	7,224	0,0001	-3,912	0,072	0,163	0,022	15,424	0,262	-0,582
4	10,4	0,002	58,9332	0,11787	3	0,354	16,567	0,0003	-3,551	0,166	0,188	0,034	18,070	0,307	-0,513
5	9,9	0,002	58,9332	0,11787	4	0,471	27,865	0,0005	-3,325	0,279	0,193	0,048	19,476	0,330	-0,481
6	10,2	0,002	58,9332	0,11787	5	0,589	36,782	0,0006	-3,205	0,368	0,222	0,058	21,717	0,368	-0,434
7	9,9	0,002	58,9332	0,11787	6	0,707	47,167	0,0008	-3,097	0,472	0,236	0,071	23,791	0,404	-0,394
8	10,1	0,002	58,9332	0,11787	7	0,825	54,893	0,0009	-3,031	0,549	0,276	0,082	27,340	0,464	-0,334
9	10,1	0,002	58,9332	0,11787	8	0,943	62,759	0,0011	-2,973	0,628	0,315	0,093	31,222	0,530	-0,276
10	10,1	0,002	58,9332	0,11787	9	1,061	79,707	0,0014	-2,869	0,797	0,264	0,105	26,112	0,443	-0,354
11	10,1	0,002	58,9332	0,11787	10	1,179	82,486	0,0014	-2,854	0,825	0,354	0,117	35,030	0,594	-0,226



## 8. sz. melléklet

Az adszorpciós izotermák összehasonlítása BCNT nanocső esetében a Langmuir- és a Freundlich-modellek alapján

BCNT														
A minta száma	M(Co <sup>2+</sup> )	Visszamaradt Co <sup>2+</sup> koncentrációja az oldatban				Mérési adatok		Langmuir-modell			Freundlich-modell			
		<i>mért koncentráció</i>				<i>X</i>	<i>a</i>	<i>a<sub>∞</sub></i>	<i>K</i>	<i>a</i>	<i>k<sub>F</sub></i>	<i>1/n</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
	g/mol	mg/dm <sup>3</sup>	mol/dm <sup>3</sup>	mmol/dm <sup>3</sup>	mg-eé/dm <sup>3</sup>	g/g	mg/g	mg/g	dm <sup>3</sup> /mmol	mg/g			mmol/g	mg/g
1	58,9332	0,1	0,00000	0,00090	0,00180	0,000	-0,05	21,62	41,94	0,79	2,6779	0,2946	0,04	2,61
2	58,9332	3,4	0,00006	0,05754	0,11508	0,012	8,40	21,62	41,94	15,29	2,6779	0,2946	0,15	8,89
3	58,9332	9,1	0,00015	0,15378	0,30757	0,023	14,23	21,62	41,94	18,72	2,6779	0,2946	0,20	11,88
4	58,9332	22,5	0,00038	0,38152	0,76303	0,035	12,88	21,62	41,94	20,35	2,6779	0,2946	0,26	15,53
5	58,9332	30,4	0,00052	0,51531	1,03062	0,047	16,61	21,62	41,94	20,66	2,6779	0,2946	0,29	16,96
6	58,9332	40,8	0,00069	0,69146	1,38292	0,057	17,65	21,62	41,94	20,90	2,6779	0,2946	0,31	18,50
7	58,9332	51,0	0,00087	0,86520	1,73040	0,071	19,73	21,62	41,94	21,04	2,6779	0,2946	0,34	19,76
8	58,9332	58,6	0,00099	0,99355	1,98710	0,079	23,03	21,62	41,94	21,11	2,6779	0,2946	0,35	20,58
9	58,9332	66,8	0,00113	1,13340	2,26680	0,089	25,94	21,62	41,94	21,17	2,6779	0,2946	0,36	21,40
10	58,9332	88,2	0,00150	1,49685	2,99369	0,105	17,69	21,62	41,94	21,28	2,6779	0,2946	0,39	23,23
11	58,9332	91,6	0,00155	1,55347	3,10694	0,117	26,05	21,62	41,94	21,29	2,6779	0,2946	0,40	23,48



9. sz. melléklet

Az adszorpciós izotermák összehasonlítása oxidált BCNT nanocső esetében a Langmuir- és a Freundlich-modellek alapján

Oxidált BCNT														
A minta száma	M(Co <sup>2+</sup> )	Visszamaradt Co <sup>2+</sup> koncentrációja az oldatban				Mérési adatok		Langmuir-modell			Freundlich-modell			
		<i>mért koncentráció</i>				<i>X</i>	<i>a</i>	<i>a<sub>∞</sub></i>	<i>K</i>	<i>a</i>	<i>k<sub>F</sub></i>	<i>1/n</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
		g/mol	mg/dm <sup>3</sup>	mol/dm <sup>3</sup>	mmol/dm <sup>3</sup>	mg-eé/dm <sup>3</sup>	g/g	mg/g	mg/g	dm <sup>3</sup> /mg-eé	mg/g			mmol/g
1	58,9332	0,1	0,000	0,001	0,00244	0,000	-0,07	28,32	66,91	2,14	3,3022	0,2862	0,07	3,95
2	58,9332	1,6	0,000	0,028	0,05522	0,012	9,96	28,32	66,91	18,37	3,3022	0,2862	0,16	9,65
3	58,9332	7,2	0,000	0,123	0,24516	0,022	15,42	28,32	66,91	25,24	3,3022	0,2862	0,25	14,78
4	58,9332	16,6	0,000	0,281	0,56223	0,034	18,07	28,32	66,91	26,89	3,3022	0,2862	0,32	18,74
5	58,9332	27,9	0,000	0,473	0,94565	0,048	19,48	28,32	66,91	27,45	3,3022	0,2862	0,37	21,75
6	58,9332	36,8	0,001	0,624	1,24826	0,058	21,72	28,32	66,91	27,66	3,3022	0,2862	0,40	23,55
7	58,9332	47,2	0,001	0,800	1,60069	0,071	23,79	28,32	66,91	27,80	3,3022	0,2862	0,43	25,29
8	58,9332	54,9	0,001	0,931	1,86289	0,082	27,34	28,32	66,91	27,87	3,3022	0,2862	0,45	26,41
9	58,9332	62,8	0,001	1,065	2,12984	0,093	31,22	28,32	66,91	27,93	3,3022	0,2862	0,47	27,44
10	58,9332	79,7	0,001	1,352	2,70500	0,105	26,11	28,32	66,91	28,01	3,3022	0,2862	0,50	29,38
11	58,9332	82,5	0,001	1,400	2,79931	0,117	35,03	28,32	66,91	28,02	3,3022	0,2862	0,50	29,67

A kinetikai vizsgálatok mérési eredményei és számításai BCNT nanocsőre vonatkozóan

BCNT													
A minta száma	A bemért nanocső tömege	A hozzáadott oldat $\text{Co}^{2+}$ koncentrációja	$M(\text{Co}^{2+})$	A hozzáadott oldat $\text{Co}^{2+}$ koncentrációja	A bemért $\text{Co}^{2+}$ oldat térfogata	$\text{Co}^{2+}$ mennyisége $5 \text{ cm}^3$ oldatban	Visszamaradt $\text{Co}^{2+}$ koncentrációja az oldatban ( <i>mért koncentráció</i> )	Visszamaradt $\text{Co}^{2+}$ mennyisége $25 \text{ cm}^3$ oldatban	Adszorbalódott $\text{Co}^{2+}$ mennyisége	Bemért $\text{Co}^{2+}$ mennyisége $1 \text{ g}$ nanocsőre számítva, <i>X</i>	Adszorbalódott $\text{Co}^{2+}$ mennyisége $1 \text{ g}$ nanocsőre számítva, <i>a</i>	Adszorbalódott $\text{Co}^{2+}$ mennyisége $1 \text{ g}$ nanocsőre számítva, <i>a</i>	Idő
	mg	$\text{mól/dm}^3$	$\text{g/mol}$	$\text{mg/cm}^3$	$\text{cm}^3$	mg	$\text{mg/dm}^3$	mg	mg	g/g	mg/g	mg/g	min
1	25,0	0,0045	58,9332	0,26437	5	1,322	52,709	1,318	0,004	0,053	0,164	0,164	0
2	25,1	0,0045	58,9332	0,26437	5	1,322	51,341	1,284	0,038	0,053	1,526	1,526	2
3	25,1	0,0045	58,9332	0,26437	5	1,322	54,831	1,371	-0,049	0,053	1,950	1,950	5
4	25,0	0,0045	58,9332	0,26437	5	1,322	54,695	1,367	-0,046	0,053	1,822	2,822	10
5	25,1	0,0045	58,9332	0,26437	5	1,322	56,548	1,414	-0,092	0,053	3,660	3,660	20
6	25,1	0,0045	58,9332	0,26437	5	1,322	55,137	1,378	-0,057	0,053	2,255	5,255	30
7	25,1	0,0045	58,9332	0,26437	5	1,322	42,557	1,064	0,258	0,053	10,275	8,476	45
8	25,3	0,0045	58,9332	0,26437	5	1,322	58,415	1,460	-0,139	0,052	10,476	10,476	60
9	25,1	0,0045	58,9332	0,26437	5	1,322	59,561	1,489	-0,167	0,053	10,661	10,661	90
10	25,4	0,0045	58,9332	0,26437	5	1,322	39,701	0,993	0,329	0,052	12,965	10,965	120
11	25,1	0,0045	58,9332	0,26437	5	1,322	41,927	1,048	0,274	0,053	10,903	10,903	240
12	25,2	0,0045	58,9332	0,26437	5	1,322	45,570	1,139	0,183	0,052	7,245	9,245	480
13	25,0	0,0045	58,9332	0,26437	5	1,322	61,441	1,536	-0,214	0,053	8,568	8,568	1440
14	25,1	0,0045	58,9332	0,26437	5	1,322	62,041	1,551	-0,229	0,053	9,131	9,131	1800



A kinetikai vizsgálatok mérési eredményei és számításai oxidált BCNT nanocsőre vonatkozóan

Oxidált BCNT													
A minta száma	A bemért nanocső tömege	A hozzáadott oldat $\text{Co}^{2+}$ koncentrációja	$M(\text{Co}^{2+})$	A hozzáadott oldat $\text{Co}^{2+}$ koncentrációja	A bemért $\text{Co}^{2+}$ oldat térfogata	$\text{Co}^{2+}$ mennyiség e $5 \text{ cm}^3$ oldatban	Visszamaradt $\text{Co}^{2+}$ koncentrációja az oldatban ( <i>mért koncentráció</i> )	Visszamaradt $\text{Co}^{2+}$ mennyisége $25 \text{ cm}^3$ oldatban	Adsorbálódott $\text{Co}^{2+}$ mennyisége	Bemért $\text{Co}^{2+}$ mennyisége $1 \text{ g}$ nanocsőre számítva, <i>X</i>	Adsorbálódott $\text{Co}^{2+}$ mennyisége $1 \text{ g}$ nanocsőre számítva, <i>a</i>	Adsorbálódott $\text{Co}^{2+}$ mennyisége $1 \text{ g}$ nanocsőre számítva, <i>a</i>	Idő
	mg	mól/dm <sup>3</sup>	g/mol	mg/cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	mg	mg/dm <sup>3</sup>	mg	mg	g/g	mg/g	mg/g	min
1	25,2	0,0045	58,9332	0,26437	5	1,322	65,077	1,627	-0,305	0,052	0,107	0,107	0
2	25,4	0,0045	58,9332	0,26437	5	1,322	52,746	1,319	0,003	0,052	0,110	0,125	2
3	25,3	0,0045	58,9332	0,26437	5	1,322	54,481	1,362	-0,040	0,052	0,589	1,589	5
4	25,3	0,0045	58,9332	0,26437	5	1,322	50,467	1,262	0,060	0,052	1,478	2,378	10
5	25,0	0,0045	58,9332	0,26437	5	1,322	54,323	1,358	-0,036	0,053	1,850	2,450	20
6	25,1	0,0045	58,9332	0,26437	5	1,322	51,840	1,296	0,026	0,053	2,000	3,029	30
7	25,1	0,0045	58,9332	0,26437	5	1,322	54,417	1,360	-0,039	0,053	3,900	3,528	45
8	25,2	0,0045	58,9332	0,26437	5	1,322	55,608	1,390	-0,068	0,052	4,120	3,713	60
9	25,1	0,0045	58,9332	0,26437	5	1,322	51,708	1,293	0,029	0,053	4,650	4,161	90
10	25,0	0,0045	58,9332	0,26437	5	1,322	50,237	1,256	0,066	0,053	4,023	4,236	120
11	25,5	0,0045	58,9332	0,26437	5	1,322	48,713	1,218	0,104	0,052	4,520	4,079	240
12	25,3	0,0045	58,9332	0,26437	5	1,322	50,628	1,266	0,056	0,052	2,950	3,719	480
13	25,1	0,0045	58,9332	0,26437	5	1,322	55,242	1,381	-0,059	0,053	3,660	3,359	1440
14	25,0	0,0045	58,9332	0,26437	5	1,322	57,452	1,436	-0,114	0,053	3,279	3,579	1800

## 12. sz. melléklet

Az adszorpció és a pH összefüggés vizsgálatára beállított kísérlet mérési eredményei és számításai BCNT esetében

BCNT													
A minta száma	A bemért nanocső tömege	A hozzáadott oldat $\text{Co}^{2+}$ koncentrációja	$M(\text{Co}^{2+})$	A hozzáadott oldat $\text{Co}^{2+}$ koncentrációja	A bemért $\text{Co}^{2+}$ oldat térfogata	$\text{Co}^{2+}$ mennyisége $5 \text{ cm}^3$ oldatban	Visszamaradt $\text{Co}^{2+}$ koncentrációja az oldatban (mért koncentráció)	Visszamaradt $\text{Co}^{2+}$ mennyisége $25 \text{ cm}^3$ oldatban	Adszorbalódott $\text{Co}^{2+}$ mennyisége	Bemért $\text{Co}^{2+}$ mennyisége $1 \text{ g}$ nanocsőre számítva, $X$	Adszorbalódott $\text{Co}^{2+}$ mennyisége $1 \text{ g}$ nanocsőre számítva, $a$	Az oldatok pH értéke az adszorpció előtt	Az oldatok pH értéke az adszorpciót követően
	mg	$\text{mól/dm}^3$	$\text{g/mol}$	$\text{mg/cm}^3$	$\text{cm}^3$	mg	$\text{mg/dm}^3$	mg	mg	g/g	mg/g		
1	24,9	0,0044	58,9332	0,26046	5	1,302	57,942	1,449	-0,146	0,052	10,873	6,347	6,143
2	24,9	0,0044	58,9332	0,26046	5	1,302	58,110	1,453	-0,150	0,052	11,042	6,495	6,171
3	24,9	0,0044	58,9332	0,26046	5	1,302	2,924	0,073	1,229	0,052	49,365	9,980	7,176
4	25,2	0,0044	58,9332	0,26046	5	1,302	0,046	0,001	1,301	0,052	51,633	12,029	11,799
5	24,9	0,0044	58,9332	0,26046	5	1,302	0,202	0,005	1,297	0,052	52,098	12,098	11,901
6	25,2	0,0044	58,9332	0,26046	5	1,302	0,217	0,005	1,297	0,052	51,463	12,172	11,977



## 13. sz. melléklet

Az adszorpció és a pH összefüggés vizsgálatára beállított kísérlet mérési eredményei és számításai oxidált BCNT esetében

Oxidált BCNT													
A minta száma	A bemért nanocső tömege	A hozzáadott oldat $\text{Co}^{2+}$ koncentrációja	$M(\text{Co}^{2+})$	A hozzáadott oldat $\text{Co}^{2+}$ koncentrációja	A bemért $\text{Co}^{2+}$ oldat térfogata	$\text{Co}^{2+}$ mennyisége $5 \text{ cm}^3$ oldatban	Visszamaradt $\text{Co}^{2+}$ koncentrációja az oldatban (mért koncentráció)	Visszamaradt $\text{Co}^{2+}$ mennyisége $25 \text{ cm}^3$ oldatban	Adszorbalódott $\text{Co}^{2+}$ mennyisége	Bemért $\text{Co}^{2+}$ mennyisége $1 \text{ g}$ nanocsőre számítva, $X$	Adszorbalódott $\text{Co}^{2+}$ mennyisége $1 \text{ g}$ nanocsőre számítva, $a$	Az oldatok pH értéke az adszorpció előtt	Az oldatok pH értéke az adszorpciót követően
	mg	$\text{mól/dm}^3$	$\text{g/mol}$	$\text{mg/cm}^3$	$\text{cm}^3$	mg	$\text{mg/dm}^3$	mg	mg	$\text{g/g}$	$\text{mg/g}$		
1	24,2	0,0044	58,9332	0,26046	5	1,302	69,186	1,730	-0,427	0,054	1,659	2,732	2,454
2	25,5	0,0044	58,9332	0,26046	5	1,302	67,923	1,698	-0,396	0,051	1,921	3,463	2,757
3	25,3	0,0044	58,9332	0,26046	5	1,302	51,770	1,294	0,008	0,051	2,318	4,852	2,719
4	25,0	0,0044	58,9332	0,26046	5	1,302	73,833	1,846	-0,544	0,052	3,741	6,213	2,736
5	25,1	0,0044	58,9332	0,26046	5	1,302	56,684	1,417	-0,115	0,052	4,574	6,386	2,670
6	25,0	0,0044	58,9332	0,26046	5	1,302	51,028	1,276	0,027	0,052	3,064	6,060	2,686
7	25,2	0,0044	58,9332	0,26046	5	1,302	56,680	1,417	-0,115	0,052	4,552	6,318	2,741
8	24,9	0,0044	58,9332	0,26046	5	1,302	56,818	1,420	-0,118	0,052	4,745	6,462	2,813
9	25,2	0,0044	58,9332	0,26046	5	1,302	37,749	0,944	0,359	0,052	14,229	9,959	3,564
10	25,1	0,0044	58,9332	0,26046	5	1,302	10,055	0,251	1,051	0,052	41,870	11,987	11,154
11	25,0	0,0044	58,9332	0,26046	5	1,302	13,691	0,342	0,960	0,052	38,401	12,070	11,530
12	25,1	0,0044	58,9332	0,26046	5	1,302	12,625	0,316	0,987	0,052	39,310	12,206	11,643
13	25,0	0,0044	58,9332	0,26046	5	1,302	7,923	0,198	1,104	0,052	44,169	12,403	12,170

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Először is szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Dr. Csoma Zoltánnak, aki teljes mértékben segítette munkámat, mind szakirodalom összegyűjtésében, mind az adatok feldolgozásában és kiértékelésében. Szakmailag és emberileg is támogatott, hasznos tanácsaival, türelmével és segítségével, melyek hozzájárultak ennek a szakdolgozatnak a létrejöttéhez, és tanulmányom ideje alatt kapott tanácsokért, folyamatos figyelmességért, melyek nélkül ez a szakdolgozat nem készült volna el.

Továbbá szeretném megköszönni a Biológia és Kémia Tanszék munkatársainak, hogy tanácsaikkal, munkájukkal hozzájárultak a szakdolgozat megvalósulásában.

**Завідувачу кафедри  
Когут Ержебет Імрїївна  
доктор філософії, доцент  
здобувача вищої освіти  
Югас Вікторія Іштванівна  
студентка IV-го курсу, хімія**

### **ЗАЯВА**

З правилами чинного Положення «Про академічну доброчесність в Закарпатському угорському інституті імені Ф. Ракоці II» від «30» серпня 2019 року, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску роботи до захисту і застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомена.

Про використання Системи виявлення текстових збігів/ідентичності/ схожості в роботах здобувачів вищої освіти повідомлена та надаю свою згоду на обробку та збереження моєї роботи в Базі даних Інституту. Також надаю ЗУІ право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в Системі виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які завантажувалися/завантажуються для перевірки Системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості та користувачами, які мають доступ до цієї Системи, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки Інституту надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

---

Дата

---

Підпис

**Dr. Kohut Erzsébet**

**tanszékvezetőnek**

**Juhász Viktória**

**IV. évfolyamos, kémia szakos hallgatótól**

## **NYILATKOZAT**

A II. Rákoczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola 2019. augusztus 30-án kelt tudományetikai szabályzatának pontjaival, amelyek szerint plágium felfedezése esetén diplomamunka nincs védéshez engedve, megismerkedtem.

Tájékoztatót kaptam a plágiumszűrő rendszer használatáról, hozzájárulok a munkám ellenőrzéséhez és tárolásához az intézményi adatbázisban. Felhatalmazom az intézményt, hogy a munkámat ellenőrzés után felhasználhassák a plágiumszűrő program működésénél a további munkák ellenőrzésének folyamatában.

A munkát ellenőrzés céljából elektronikusan és nyomtatott formában is benyújtottam az intézménynek. Munkám elektronikus változata azonos a nyomtatott példánnyal.

---

Dátum

---

Alírás



Ім'я користувача:  
Моца Андрій Андрійович

ID перевірки:  
1007855795

Дата перевірки:  
13.05.2021 23:31:42 EEST

Тип перевірки:  
Doc vs Internet

Дата звіту:  
14.05.2021 00:22:48 EEST

ID користувача:  
100006701

Назва документа: Juhász V Kémia IV

Кількість сторінок: 61 Кількість слів: 11056 Кількість символів: 92158 Розмір файлу: 3.27 MB ID файлу: 1007951082

## 22% Схожість

Найбільша схожість: 4.77% з Інтернет-джерелом (<https://docplayer.hu/10712435-Szen-nanocsovek-szintezise-mezoporuso>)

22% Джерела з Інтернету

250

Сторінка 63

Пошук збігів з Бібліотекою не проводився

## 1.67% Цитат

Цитати

9

Сторінка 64

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

## 0% Вилучень

Немає вилучених джерел

## Модифікації

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

Замінені символи

2052