

# Többsfalú szén nanocső kompozitok fotokémiai tulajdonságainak vizsgálata

Jelige: MWCNT2013

## Tartalom

|                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| <b>Bevezető</b> .....                | <b>3</b>  |
| <b>Szén nanocső</b> .....            | <b>3</b>  |
| <b>Kompozitok</b> .....              | <b>3</b>  |
| <b>Öntisztuló felületek</b> .....    | <b>4</b>  |
| <b>Kutatásom</b> .....               | <b>5</b>  |
| <b>Célkitűzés</b> .....              | <b>5</b>  |
| <b>Szárítás</b> .....                | <b>7</b>  |
| <b>Hőkezelés</b> .....               | <b>7</b>  |
| <b>Röntgen diffraktometria</b> ..... | <b>8</b>  |
| <b>Fotokatalízis</b> .....           | <b>9</b>  |
| <b>Fotoreaktor</b> .....             | <b>9</b>  |
| <b>UV-VIS spektrometria</b> .....    | <b>11</b> |
| <b>Eredmények értelmezése</b> .....  | <b>14</b> |
| <b>Konklúzió</b> .....               | <b>15</b> |
| <b>Köszönet nyilvánítás</b> .....    | <b>15</b> |

## Bevezető

### Szén nanocső

A szén nanocső a szén egy allotrop módosulata, melyet hexagonálisan elrendeződő szénatomok alkotnak. A szén nanocső a fullerének családjába tartozik, de ugyanakkor elképzelhető úgy is mint egyetlen felcsavarodott grafénsík. Tehát a szén nanocső átmenetet képez a fulleren és a grafén között.

A szén nanocső a királis („felcsavarodási”) vektor függvényében felvehet fémes vagy félvezető tulajdonságot is.

A szén nanocsővek legelemibb felosztása: léteznek egyfalú (Singlewalled Carbon Nanotube – továbbiakban: SWCNT) és többfalú (Multiwalled Carbon Nanotube – továbbiakban: MWCNT) szén nanocső. Az SWCNT egy picivel jobb tulajdonságokkal rendelkezik, mint az MWCNT, viszont a SWCNT kötegekbe rendeződik, mely megnehezíti a felhasználását, sokkal érzékenyebbek esetében a kvantumjelenségek, valamint előállításával jóval nehezebb és ezáltal költségesebb is, mint az MWCNT. Ezen indokból kifolyólag szélesebb körben használnak MWCNT-t, mivel olcsóbb és az említett különbség a tulajdonságaiban igen csekély. A következő táblázatban látható a szén nanocsővek néhány adata:

|  |                           |
|--|---------------------------|
| Vezetőképesség (SWCNT): $4 \cdot 10^9$ [S]       | rézé: $4 \cdot 10^6$ [S]  |
| Szakítószilárdság (SWCNT): 63 [GPa]              | jobb acélé: 250 [MPa]     |
| Szívóság (SWCNT): 570 [KJ/kg]                    | 20x keblár<br>3x pókfonál |
| Sűrűség (SWCNT): 1.33 – 1.4 [g/cm <sup>3</sup> ] |                           |
| Rugalmasak                                       |                           |
| Termikusan stabilak                              |                           |

Láthatóan jobb mechanikai és vezetési tulajdonságokkal rendelkeznek, mint a napjainkban használt anyagok (pl. réz, acél). Innen jön az ötlet, hogy szén nanocsővek felhasználásával kompozitokat készítsünk, így javítva az eddig használt anyagok tulajdonságait.

### Kompozitok

A kompozit definíciója a következő: Két vagy több eltérő összetételű és morfológiájú anyag kombinációja.

Természetesen a kompozit előállítás célja a hasznos tulajdonságok erősítése vagy új, eddig nem tapasztalt jellemzők előidézése (pl. vasbeton).

A kompozitok előállításánál az alkotókat (melyek lehetnek azonos vagy különböző halmazállapotúak) egy mátrix anyagban diszpergálják, úgy hogy a folytonos fázis teljesen magába foglalja a diszperz fázist.

A szén nanocső alapú kompozitokat két kategóriába szeretném sorolni a továbbiakban.

Első kategória alatt azt értem, hogy tiszta szén nanocsövet visznek a rendszerbe és a szén nanocső befolyásolja a kompozit tulajdonságait.

A második fajta szén nanocső kompozit alatt pedig azt értem, hogy először különböző anyagokkal (pl. munkámban fém oxidokkal) módosítom a szén nanocső tulajdonságait és ezzel a megváltoztatott tulajdonságú szén nanocsővel készítek kompozitot.

## **Öntisztuló felületek**

Egy lehetséges példa a második kategóriájú szén nanocső alkalmazására az öntisztuló felületek.

Belegondolva, hogy szén nanocső kompozitokkal elsősorban az anyagok mechanikai tulajdonságai (szakító szilárdság, merevség, stb.) befolyásolható, érezhető, hogy a téma igen nagy potenciált képez az építő- és autóiparban, hiszen egyértelmű, hogy ezen területeken előnyös lenne, hogy erősebb, rugalmasabb és könnyebb szerkezeti anyagokat használjanak fel. A szén nanocsövek ígéretes eredményeket mutatnak ilyen téren.

Tovább gondolkodva, az autók és épületek hosszú ideig vannak kitéve természetes napfény hatásának, tehát fotonok formájában folyamatosan fényenergia éri őket. Előnyös lenne ezt az energiát kihasználni, például felületek öntisztítására.

Bármilyen formában akarjuk kihasználni a fényenergiát, arra csak fotokémiai reakciókon keresztül nyílik lehetőség. Mivel sem a szerkezeti elemek alapanyagai, sem a szén nanocső nem aktív fotokémiaiilag, valahogy azzá kell őket tenni, melyre a legegyszerűbb mód a kompozit készítés. Erre egy lehetőség, hogy  $\text{TiO}_2$ -t kristályosítunk a MWCNT felületén, mely a fém oxid hatására fotokémiaiilag aktív lesz. Viszont ha szerkezeti elemként is szeretnénk ezeket használni, jogos cél, hogy esetleg más típusú fém oxidot is kristályosítsunk az MWCNT felületén, mellyel a mechanikai tulajdonságokat finomítjuk.

Munkám vizsgálódásának tárgya, hogy lehetséges-e több fém oxiddal MWCNT alapú kompozitot képezni, úgy hogy egyidejűleg kifejtsék saját módosító tulajdonságaikat és egymást ne korlátozzák túl nagy mértékben.

## Kutatásom

### Célkitűzés

Munkám fő célkitűzése fotokémiaailag aktív MWCNT – fém oxid kompozit előállítás. A célra tökéletesen megfelel a  $\text{TiO}_2$ , mivel ez az anyag elismert fotokatalizátor. Munkám következő lépése más, fotokémiaailag nem aktív fém oxid segítségével bevonni az elkészült kompozitot, mellyel arra igyekszem választ találni, hogy lehetséges-e több fém oxid egyidejű jelenléte és hatása a szén nanocső kompozit tulajdonságaira, illetve ezen fém-oxidok milyen mértékben befolyásolják egymást. Munkámban a második fém oxidként  $\text{WO}_3$ -t használok fel, mivel könnyű a MWCNT-re történő impregnálása.

MWCNT kompozitok előállítása

Összesen 5 különböző kompozitot készítettem.

| Jelölés | Fém-oxid(ok)                    | Folyékony fázis | Rétegződés                            |
|---------|---------------------------------|-----------------|---------------------------------------|
| „A”     | $\text{TiO}_2$                  | Aceton          | MWCNT- $\text{TiO}_2$                 |
| „B”     | $\text{TiO}_2$ és $\text{WO}_3$ | Aceton          | MWCNT- $\text{TiO}_2$ - $\text{WO}_3$ |
| „C”     | $\text{WO}_3$                   | Aceton          | MWCNT- $\text{WO}_3$                  |
| „D”     | $\text{WO}_3$                   | Víz             | MWCNT- $\text{WO}_3$                  |
| „E”     | $\text{TiO}_2$ és $\text{WO}_3$ | Víz             | MWCNT- $\text{TiO}_2$ - $\text{WO}_3$ |

Egy csak  $\text{TiO}_2$ -t, kettő  $\text{WO}_3$ -at és kettő  $\text{TiO}_2$ -t és  $\text{WO}_3$ -at is tartalmaz. A két-két megegyező minőségű fém-oxidot,  $\text{WO}_3$ -t tartalmazó kompozit egymástól a felhasznált oldószerben különbözik. A különböző oldószerek használatának fontossága abban rejlik, hogy a munka során végig koloid oldatok készítése a fő cél, melyek esetében kulcsfontosságú a szemcseeloszlás (ideális esetben ez a mérték nanométeres (20-200 nm) tartományba esik), mely több tényező összesített hatásának eredménye és ezen tényezők egyike az oldószer mibenléte is.

A kompozit készítés első része, mely az összes esetben megegyezik, a MWCNT koloid elkészítése. A MWCNT-t nem képes semmi sem oldani, ezért az egyedüli lehetőség koloid rendszerbe való foglalása. Ebben az esetben elsődleges, hogy minél finomabb, kisebb legyen a szemcseeloszlás, hogy a kis MWCNT szemcséken, az oldatba adott prekúrozor oldatból megkezdődhessen a fém oxid abszorpció. A koloid rendszer folyékony fázisának tökéletesen megfelel az etanol. Ez alapján a MWCNT koloid oldat elkészítése a következő: 40 [cm<sup>3</sup>] etanolba 66,6 [mg] MWCNT-t szórunk folyamatos mechanikai keverés mellett, majd egy 70[W] teljesítményű szonikáltató segítségével, finom eloszlású koloidot kapunk. A továbbiakban az eljárással kapott koloidot „MWCNT-koloid” néven említem. Itt előre megemlíteném, hogy a későbbiekben a leírtakkal teljesen analóg módon készíthető MWCNT- $\text{TiO}_2$  koloid, csak nem tiszta MWCNT szórunk etanolba, hanem önmagát az „A” kompozitot, és ezt a továbbiakban „MWCNT- $\text{TiO}_2$ -koloid” néven említem.

Következő lépésben a prekúrozor oldatot készítettem el. Ennek elkészítése mintaszpecifikus, az egyes minták részletes jellemzése és jelölése a fenti táblázatban látható.

Az „A” kompozit: A prekúrozor oldathoz 20 [cm<sup>3</sup>] acetona öntöttem 2,055 [cm<sup>3</sup>] Titán-izopropoxidot. Folyamatos keverés mellett a prekúrozort az „MWCNT-kolloidhoz” csepegtettem 1 [ml/perc] sebességgel. Ezután kevertetés és enyhe melegítés mellett megvártam míg a folyékony fázis elpárolog, és visszamarad a kompozit.

A „B” kompozit: A prekúrozor oldathoz 277 [mg] WCl<sub>6</sub>-t oldottam fel 10 [cm<sup>3</sup>] acetona, majd a prekúrozort szintén 1 [ml/perc] sebességgel folyamatos keverés mellett az „MWCNT-TiO<sub>2</sub>-kolloidba” csepegtettem, majd enyhe melegítéssel elpárologtattam a folyékony fázist.

A „C” és „D” kompozit: A két kompozit a szuszpendáláshoz használt oldószerben különböznek egymástól. A „C” kompozit esetében 456,2 [mg] Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O feloldunk 10 [cm<sup>3</sup>] acetona, a „D” kompozit esetében szintén 456,2 [mg] Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O feloldunk 10 [cm<sup>3</sup>] vízben. Mindkét esetben a prekúrozorokat az előzőkkel analóg módon összekevertem az „MWCNT-kolloiddal”, a „D” kompozit esetében még hozzáadtam 150 csepp koncentrált sósavat. Ezután a folyékony fázist elpárologtattam és visszamaradt a „C” illetve „D” kompozit.

„E” kompozit: 227,4 [mg] Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O feloldottam 10 [cm<sup>3</sup>] etanolban, ezt az előzőekkel teljesen analóg módon a „MWCNT-kolloidba” csepegtettem, hozzáadtam 150 csepp koncentrált sósavat. A folyékony fázis elpárologtatás visszamaradt a „E” kompozit.



*Képek a kompozitok előállításáról*

## Szárítás

A visszamaradt kompozitokat szárítószekrényben szárítottuk: az „A”, „B” és „C” mintát 70°C, még a „D”-t és „E”-t 110°C hőmérsékleten. A művelet elvégzését az esetlegesen a szemcsékre abszorbeált folyadék indokolja, az adott folyadék forráspontja feletti hőmérséklet mellett minden megmaradt folyadék távozik, és tiszta kompozitokat kapunk.



*Kompozitok szárítás előtt*

## Hőkezelés

A tiszta kompozitokat ezután 400°C-on hőkezeltük. Az MWCNT felszínén a fém oxid szabályos szerkezetet vett fel a hőkezelés hatására. A szabályos szerkezet elengedhetetlen a homogén kompozithoz, valamint a szerkezet függvénye a TiO<sub>2</sub> fotokémiai tulajdonsága is.



*Hőkezelés*

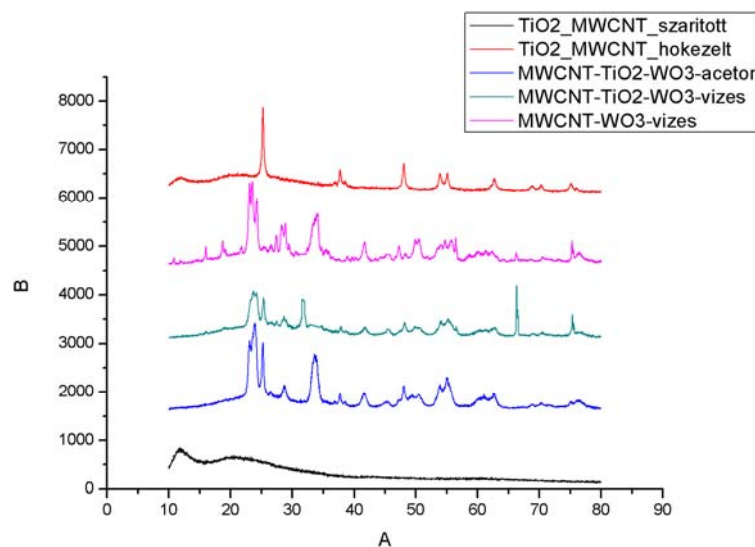
## Röntgen diffraktometria

Következő lépésben meg kellett győződni, hogy a hőkezelés sikeres volt-e, kialakultak-e a szabályos szerkezetű fém oxidok az MWCNT felületén. A kérdés megválaszolására a legalkalmasabb eszköz a röntgént diffraktométer (továbbiakban: XRD). Az XRD vizsgálat során röntgen fotonokkal bombázzuk a mintát. A fotonok kölcsönhatásba lépnek a minta elektronjaival, és ezen kölcsönhatás eredményeként diffrakciót (az eredeti iránytól való eltérést) tapasztalhatunk. A fotonforrás helyzetét folyamatosan változtatjuk, vagyis a mintához viszonyítva folyamatosan változó szög alatt sugározzuk be fotonokkal, mérjük az egyes szögekhez tartozó diffrakciót, és az adatok összesített, grafikus ábrázolását elvégezzük



*Röntgen diffraktométer*

A diffraktogram anyagspecifikus. Adott anyag, adott kristályszerkezettel előre meghatározott szög alatt ad jellegzetes diffrakciókat, így lehetőség nyílik a lemerő adatok összehasonlítására egy nemzetközi adatbázissal, így viszonylag egyszerűen és gyorsan információt kaphatunk a vizsgált minta minőségi összetételéről és szerkezetéről. A mért értékek a következő diffraktogramon láthatók:



*röntgen diffraktogram*



Az adatok kiértékelésével megkapjuk, hogy mind a két fém oxid (a  $\text{TiO}_2$  és a  $\text{WO}_3$  is) kristályos szerkezetben található meg az összes hőkezelt kompoziton, és nincs nyoma nagy mennyiségben más anyagnak, tehát a kompozit előállítása sikeresnek tekinthető.

## Fotokatalízis

Értelem szerűen munkám következő lépése a fotokatalitikus aktivitás mérése.

Fotokatalízis során fotonok érik a fotokatalizátort, melyek hatására az gerjesztődik. Az energiaközlés következményeként szabad elektronok lépnek ki a rendszerbe, melyek szabad gyököket hoznak létre, és a keletkező szabad gyökök további kémiai reakciókban vesznek részt.

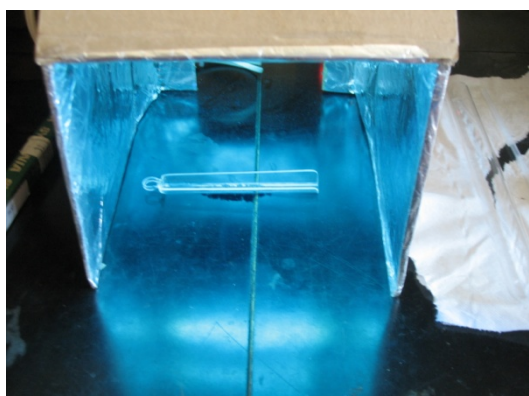
Munkámban UV fényel szalicilsavat bontottam.

## Fotoreaktor

A fotokatalízishez szükséges egy reaktor, melyben zajlik a folyamat. Esetünkben ez egy kétfalú cső. Az egész reaktor fotoreflexív anyaggal bevont. A külső és belső falak közti térben  $25^\circ\text{C}$  hűtővíz áramlik, mely konstans hőmérsékletet biztosít a rendszernek, így a bomlási folyamatot a hőmérséklet ingadozás nem befolyásolja. A belső hengerben található a bontandó szalicilsav oldat, melynek koncentrációja minden mérés esetében  $10^{-4}$   $[\text{mol}/\text{dm}^3]$ . Ebbe az oldatba szórtam bele a kompozitot, melyet megelőzően 5 percen keresztül UV lámpával aktivizáltam. Mindezek után ebbe az elegybe merült bele egy UV lámpa. A folyadékon 80% nitrogén gáz és 20% oxigén gáz keverékét áramoltattunk át, hogy a bomláshoz szükséges oxigén biztosítva legyen a rendszer számára.

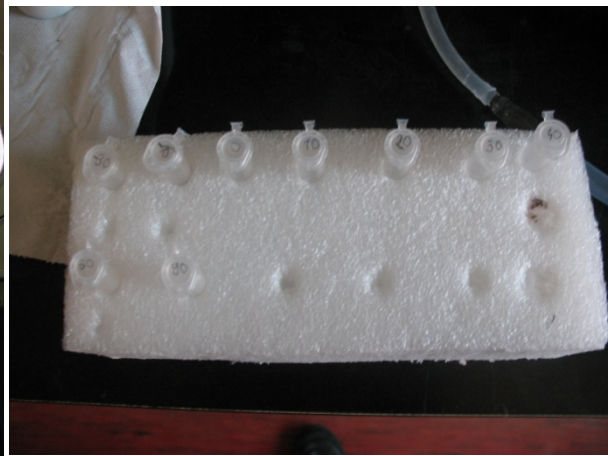


*Fotoreaktor*



*Katalizátor aktivizálása*

Ezután adott időközönként (-30,- 15 ,0 , 10 ,20 , 30 , 40 , 60 , 90) perc mintát vettem az elegyből. A látható, hogy miután beleszórtam a fotokatalizátort a szalicilsav oldatba 30 percig nem érte UV fény, tehát ez alatt a szalicilsav csak adszorbeálódott a fotokatalizátor felszínére. A 0 időpillanatban kapcsoltam be az UV fényforrást, tehát ezek után beszélhetünk tényleges bomlásról.



*Mintavétel és minták*

Az utolsó mintavétel után a reaktor kitisztítottam, majd megismételtem a mérést ugyanezen feltételek mellett, mindössze a fotokatalizátort változtattam. Összesen 5 mérést végeztem el, minden kompozitot külön-külön vizsgáltam meg.

## UV-VIS spektrometria

A fotokatalízis után rendelkeztem 5 mérésből összesen 5-9 mintával. Ezek két komponensből álltak, egyrészt a szalicilsav oldatból, másrészt a szilárd MWCNT alapú fotokatalizátorból. Első lépésben ezeket választottam el egymástól.

Egy centrifuga segítségével az összes elegyet lecentrifugáltam, melynek hatására a mintatartó aljára ülepedett a szilárd katalizátor.

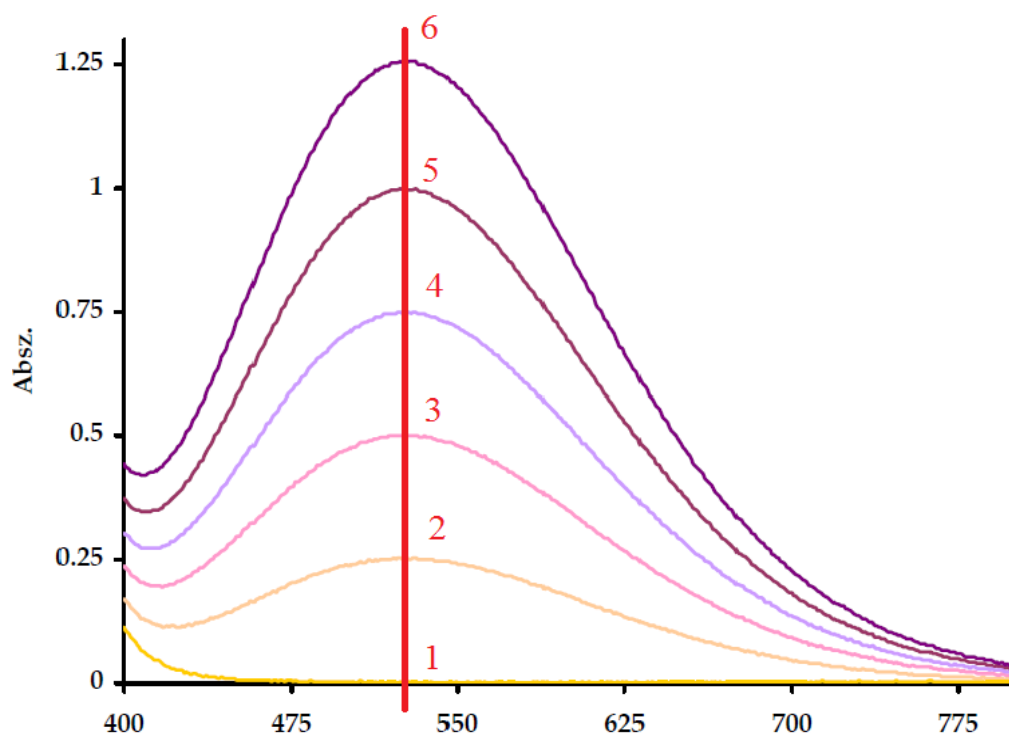


*centrifuga*

Az eljárás után egyszerűen injekciós fecskendővel felszívtam a tiszta szalicilsav oldatot és UV-VIS spektrométerrel egyesével megvizsgáltam őket.

Az UV-VIS spektrometria alapja, hogy adott hullámhosszú ( $I_0$ ) fényel besugározzuk a mintát. A fotonok az anyagon áthaladva kölcsönhatásba lépnek a molekulákkal, melynek hatására energiát vesztenek, így az áthaladó fény hullámhossza ( $I$ ) már valamennyivel kisebb lesz. Az UV-VIS spektroszkóp UV és látható fénytartományba eső fénysugárral világítja át a mintát. A spektroszkópia alatt az abszorbanciát mérjük, mely egyik definíció alapján a besugárzott és áthaladó fény hullámhosszhányadosának a logaritmus, tehát  $A = \log(I_0/I)$ . Másik definíció alapján az adott hullámhosszon mért abszorbancia egyenlő az anyag moláris abszorbációs koefficiensének, a minta koncentrációjának és a fény úthosszának szorzatával:  $A_\lambda = \epsilon_\lambda \cdot c \cdot l$

Adott anyag, adott hullámhosszon mutatja a legnagyobb abszorbancia értéket, tehát anyagspecifikus. Ez alapján megfigyelhető a következő spektrofotogram:



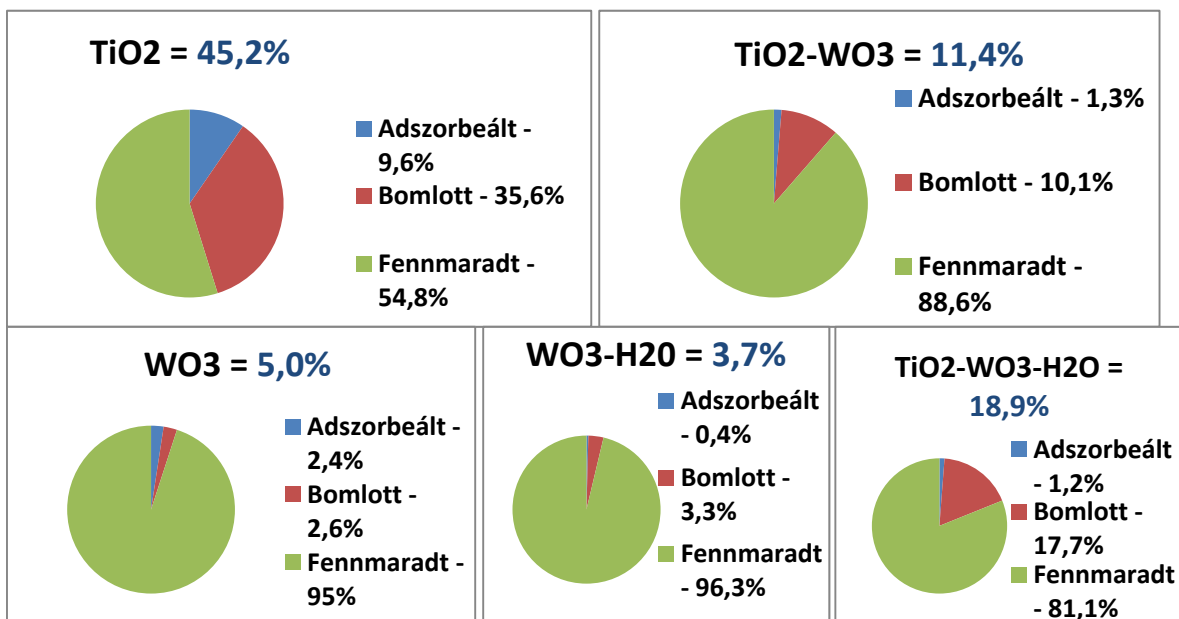
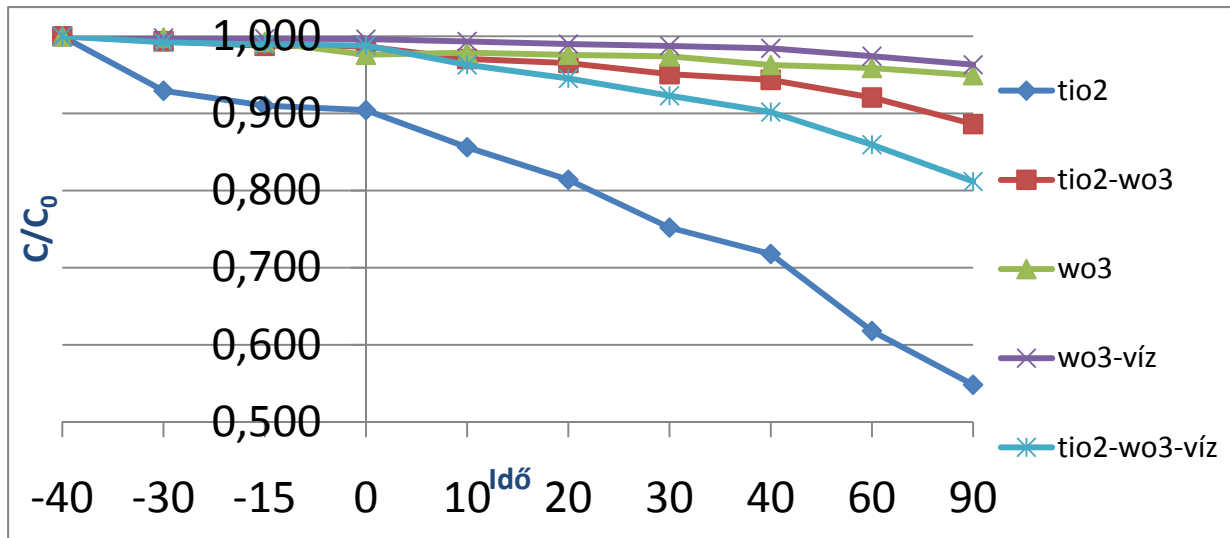
Látható, hogy egy adott hullámhosszon 6 egymástól különböző abszorbancia értéket mértünk le. A második képletet vizsgálva, látható, hogy az  $\epsilon_\lambda$  minden esetben ugyanaz, mivel a hullámhossz konstans. A mintatartó sem változik, ezáltal a fény úthossza is az összes abszorbancia érték esetében megegyező, tehát a 6 abszorbancia mindössze a koncentrációban térhet el egymástól.

Ezek mellett a Lambert-Beer törvény kimondja, hogy megfelelően híg oldatok esetében ( $c < 10^{-3}$  [mol/dm<sup>3</sup>]) az összefüggés az abszorbancia és a koncentráció közt lineáris.

Mivel esetemben a kiinduló szalicilsav oldat koncentrációja  $10^{-4}$  [mol/dm<sup>3</sup>], az UV-VIS spektrometriával nagyon egyszerűen kiszámolható a koncentráció változás százalékban, vagy lineáris extrapoláció segítségével a koncentráció tényleges értéke is meghatározható.

## UV-VIS mérések kiértékelése

A lemért UV-VIS adatok elemzésével a következő eredményeket kapjuk:



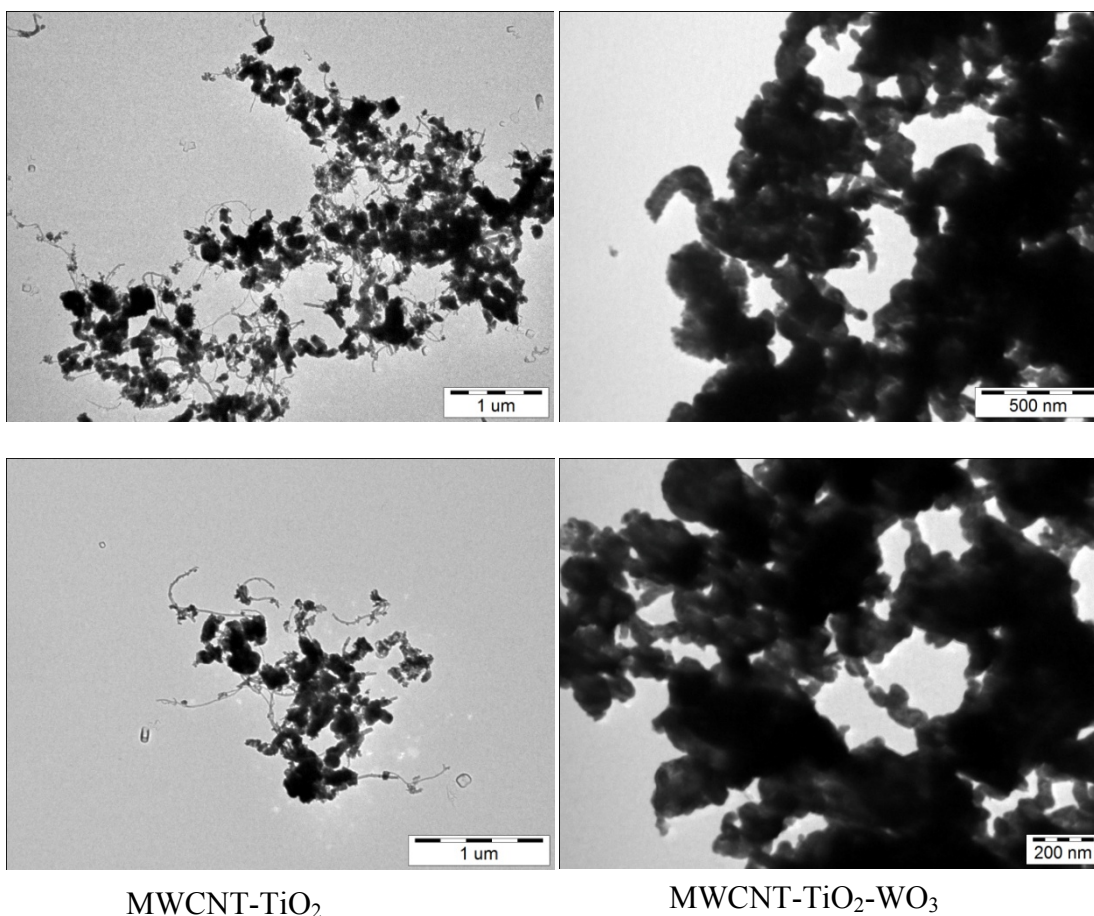
Látható, ahogy vártuk is, a TiO<sub>2</sub>, vagyis az „A” kompozit, teljesített a legjobban. A szalicilsav 9,6% abszorbeált, 35,6%-t lebontotta, tehát összesen 45,2%-kal csökkent a szalicilsav koncentrációja. Ezután jön a „E” jelű kompozit, tehát az két fém-oxidot tartalmazó, melyet vízben készítettünk, a szalicilsav koncentrációját csökkentette 18,9%. Következő a „B” kompozit, vagyis a két fém oxidot tartalmazó és acetonos, mely 11,4%-al csökkentette a szalicilsav koncentrációját. Őket követi a „C” kompozit, az acetonnal készített WO<sub>3</sub>, mely 5,0% koncentráció változást eredményezett, és végül a „D” kompozit zárja a sort, a maga 3,7% változásával.



## Eredmények értelmezése

Mint ahogyan vártuk, a MWCNT-TiO<sub>2</sub> kompozit bizonyult a leghatásosabbnak. A MWCNT-WO<sub>3</sub> kompozitok egymagukban nem mutatnak fotokatalikus aktivitást, a koncentráció változás magyarázható adszorpcióval és mérési hibával.

Azonban érdemes megfigyelni a MWCNT-TiO<sub>2</sub>-WO<sub>3</sub> rétegződésű komponensekben tapasztalható különbség. Egyértelműen látható, hogy a WO<sub>3</sub> jelenléte a rendszerben negatív hatást gyakorol a fotokatalízisre, ám az adatok áttanulmányozásával is látható, hogy ez a hatás kevésbé érvényesül, ha vizes közegben készítettük a kompozitot. A problémára felállítható egy hipotézis, melyet a transzmissziós elektron mikroszkóp (TEM) felvételei alátámaszthatnak.



Mivel ezek összetett kompozitok, első lépésben a MWCNT felületén alakulnak ki TiO<sub>2</sub> kristályok, majd mindkettőt, az MWCNT-t és a TiO<sub>2</sub>-t is befedí az utólagosan rávitt WO<sub>3</sub>. Ebből következően a WO<sub>3</sub> fizikai akadályt képez a TiO<sub>2</sub> szemcsék és a rendszer között, egyrészt nehezebben tudják fotonok érni a TiO<sub>2</sub>-t, másrészt a TiO<sub>2</sub> se tud kölcsönhatásba lépni a szalicilsavval. A két összetett minta közt tapasztalható eltérés azzal magyarázható, hogy ha vízzel készítjük a kompozitot, a WO<sub>3</sub> szemcsék eloszlása nem esik olyan tartományba, hogy összefüggő homogén réteg tudjon kialakulni a kompozit felszínén, hanem „rögökben” rakódik le és marad szabad hozzáférésű TiO<sub>2</sub> is.

## **Konklúzió**

Munkám sikeresen végződött. Levonható következtetés, hogy lehetséges több fém-oxidral MWCNT alapú kompozitot készíteni úgy, hogy az oxidok más-más tulajdonságokon változtassanak. Egyik legfontosabb tényező, hogy a fém-oxid prekúzorok szemcsemérete megfelelő tartományba essenek, és egyik se alakítson ki túlságosan homogén réteget, hanem kissé „tömbszerűen” jelenjen meg. A gyakorlati alkalmazás lehetőségei csak a precíz szintézisek kidolgozására szánt idővel arányos. Igen nagy lehetőségek rejlenek a szén-nanocső alapú kompozitokban, remélhetőleg mindennapjainkban is találkozhatunk majd ilyen anyagokkal.

## **További tervek**

Továbbiakban tervezek olyan MWCNT – fém oxid kompozitokat létrehozni, melyek esetében fotokémiai jellemzők mellett a mechanikai tulajdonságok is változzanak és ezek szintetizálására megfelelően precíz módszerek kidolgozásában szeretnék közreműködni.

## **Köszönet nyilvánítás**

- Szeretnék köszönetet mondani felkészítő tanáromnak, Szórád Endrének.
- Dr. Hernádi Klárának, a SZTE TTIK Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszéke egyetemi tanárnak, a SZTE TTIK dékánjának a lehetőségért, hogy részt vehettem a kutatócsoportja munkájában.
- A SZTE TTIK Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszékének, alkalmazott szén-nanocső technológiai kutató csoportjának, munkatársainak, külön kiemelve Berki Pétert, Kecsenovity Egont és Réti Balázst minden segítségért, melyet munkám során kaptam tőlük.

## **Felhasznált irodalom**

Vass Ádám: MWCNT/WO<sub>3</sub> kompozit anyagok előállítása és vizsgálata-  
Diplomamunka, SZTE TTIK Alkalmazott és Környezatkémiai Tanszék, 2013

Dr. Síposné Dr. Kedves Éva, Horváth Balázs, Péntek Lászlóné: Kémia 10., Mozaik  
Tankönyvkiadó