

# **SZERVETLEN FÉM-OXID ALAPÚ SZÉN NANOCSSÓ NANOKOMPOZITOK ELŐÁLLÍTÁSA ÉS VIZSGÁLATA**

Ph.D. értekezés tézisei

**BERKI PÉTER**

Témavezető: Dr. Hernádi Klára egyetemi tanár

Kémia Doktori Iskola



Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kar  
Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszék

**Szeged  
2017**

## 1. Bevezetés

Története során az emberiséget mindig is az újítás iránti vágya ösztönözte a fejlődésre. Mindez ugyanúgy megfigyelhető volt a természettudományokban (pl. a kémiában és az anyagtudományban is), mint az élet más területein. E fejlődési folyamat részeként jött és múlt el a bronzkor, virágzott fel a vas- és acélgyártás, majd kerültek fokozatosan előtérbe a különböző természetes és szintetikus úton előállított anyagok (pl. polimerek), melyek mára már a további technológiai fejlődésünk alappilléreivé váltak.

A különböző kompozit anyagok már századok óta jelen vannak a hétköznapi emberek életében is (pl. vályogházak), de a tudatos tervezésnek köszönhetően a 20. és 21. század tudományos és technológiai fejlődésében még nagyobb szerephez jutottak. Gondolhatunk például a hatalmas metropoliszok óriási felhőkarcolóira, melyek nem épülhettek volna meg a vasbeton kifejlesztése nélkül, de akár a modern anyagtudomány olyan vívmányira is, mint a szénszálakkal erősített sporteszközök vagy védőfelszerelések. Az efféle keverékanyagok előállításának mindig is az volt a célja, hogy valamely alkotóelem hasznos tulajdonságát felerősítsék, vagy bizonyos esetekben új, az eredeti alkotókra nem jellemző tulajdonságokkal rendelkező anyagot állítsanak elő. Ezt a célt viszi tovább a nanotechnológia azon ága is, mely különböző nanokompozitok létrehozásával és tulajdonságainak meghatározásával foglalkozik.

A kompozitokhoz hasonlóan a szénkémia területén is ugrásszerű volt a fejlődés a 20. század végén. Noha a doktori értekezésem alapját is képző többfalú szén nanocsöveket (MWCNT – **M**ulti-**w**alled **C**arbon **N**anotube) csak a század végén kezdték széleskörűen kutatni, mára már a tudomány számos területén (pl. anyagkutatás, elektronika, szenzorika) elterjedtté váltak. Köszönhető ez annak, hogy ezen nanoméretű anyagok fizikai és kémiai tulajdonságai merőben eltérnek azoktól, mint amiket már eddig a szén korábban ismert formáitól (pl. grafit, gyémánt) megszokhattunk. Vitathatatlan, hogy a szén nanocsövek a jövőben is meghatározó szerepet fognak játszani a nanotechnológia, ezáltal pedig az emberiség fejlődése szempontjából.

Kutatómunkám során a Szegedi Tudományegyetem Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszékén a Prof. Dr. Hernádi Klára által vezetett Alkalmazott Nanocső Technológia (ANT - **A**ppplied **N**anotube **T**echnology) nevű kutatócsoport munkájába kapcsolódtam be. A csoport – hazai és külföldi partnerekkel kiegészülve – már több mint 20 éve foglalkozik különböző formájú szén nanocsövek és szénszálak szintézisével, valamint különböző fém-oxid alapú szén nanocső kompozit anyagok előállításával, és azoknak a tudomány számos területén (pl. fotokatalízis, gázérzékelés, implantátumok, stb.) való felhasználhatósági

lehetőségeivel. A korábbi eredmények alapján kijelenthető, hogy a szervesetlen fém-oxid alapú szén nanocső nanokompozitok előállítása hasonló séma alapján történhet, ám az előállítani kívánt fém-oxidok eltérő kémiája miatt minden kompozit esetén önálló eljárás kidolgozása szükséges. Az alkalmazott fém-oxidtól függően a különböző előállítási paramétereknek jelentős hatása van a keletkezett kompozit szerkezetére, így doktori munkám célja volt, hogy – a teljesség igénye nélkül – rávilágítsak számos ilyen, kiemelten fontos szintézis-paraméterre.

## 2. Célkitűzés

PhD munkám céljai közt szerepelt, hogy  $\text{TiO}_2/\text{MWCNT}$  nanokompozitokat állítsak elő, miközben tanulmányozni kívántam a különböző méretű oldalláncokkal rendelkező szerves prekursorok alkoxi-csoportjainak mérete és a szintézis során lejátszódó hidrolízis sebessége közötti összefüggést, továbbá annak hatását az előállított nanokompozitok fotokatalitikus aktivitására.

Célul tűztem ki annak tanulmányozását is, hogy miként állíthatók elő  $\text{WO}_3/\text{MWCNT}$  kompozit anyagok különböző impregnálási módszerek segítségével és eltérő oldószeres körülmények között, valamint hogy milyen hatással lehet a hőkezelés hőmérsékletének kismértékű változtatása az előállított nanokompozitok szerkezetére.

Doktori munkám során kiemelt feladat volt az is, hogy a különböző kalcinálási hőmérsékletek és idők alkalmazásával miként állíthatók elő különböző szerkezettel és kristályformával rendelkező indium-tartalmú nanokompozitok, valamint hogy a szintézis során kialakul-e kémiai kapcsolat is a kompozit anyagok alkotóelemei között.

Mindezek mellett több különböző szintézis módszer kipróbálásával vizsgálni kívántam, hogy mely technika a legalkalmasabb  $\text{ZrO}_2/\text{MWCNT}$  nanokompozitok előállításához fogorvosi implantátumok erősítőanyagaként történő felhasználása céljából.

### 3. Kísérleti módszerek és eljárások

A kompozit minták előállítása során felhasznált többfalú szén nanocsöveket az École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) bocsátotta rendelkezésemre. A nanokompozitok előállításához az impregnálás és a szolvotermális szintézis módszereit, illetve ezek alkalmasan módosított változatait használtam az alábbiak szerint:

- $\text{TiO}_2/\text{MWCNT}$ : lassú hidrolízissel kombinált impregnálás
- $\text{WO}_3/\text{MWCNT}$ : egyszerű és kicsapatással kombinált impregnálás
- $\text{In}_2\text{O}_3/\text{MWCNT}$ : egyszerű impregnálás
- $\text{ZrO}_2/\text{MWCNT}$ : gyors hidrolízissel kombinált impregnálás (csepegtetéssel és összeöntéssel), lassú hidrolízis kombinált impregnálás és szolvotermális eljárás

Az előállítások során kapott kompozit termékeket több műszer és módszer segítségével is vizsgáltuk:

- Transzmissziós elektronmikroszkóp (TEM) [Philips CM 10, valamint FEI Tecnai  $\text{G}^2$  20 X-TWIN]
- Pásztázó elektronmikroszkóp (SEM) [Hitachi S-4700 Type II FE-SEM, valamint Zeiss SUPRA 35VP]
- Elemanalízis (EDX) [Hitachi S-4700 Type II FE-SEM kiegészítve egy Röntec XFlash Detector 3001 SDD típusú detektorral]
- Röntgendiffraktometria (XRD) [Rigaku Miniflex-II Diffractometer]
- Raman-mikroszkópia [Thermo Scientific DXR]
- Termogravimetria (TG) [NETZSCH STA 409 PC]
- Infravörös spektroszkópia (FT-IR) [Bio-Rad Digilab FTS65A/896 FT-IR]
- Fajlagos felület meghatározás [Micromeritics Gemini BET, valamint BELCAT-A]

## 4. Új tudományos eredmények

### *T1. A prekursor hatása TiO<sub>2</sub>/MWCNT nanokompozitok előállításánál*

T1.1. Sikeresen igazoltam, hogy a lassú hidrolízissel kombinált impregnálással előállított TiO<sub>2</sub>/MWCNT nanokompozitok esetében a szén nanocsövek felülete a szintézis során mindhárom szerves prekursor alkalmazása esetén nagymértékben megváltozott, egy viszonylag egységes szerves fedőréteg alakult ki a felszínükön, mely nem borítja be tökéletesen a MWCNT-eket. A 400°C-on végrehajtott hőkezelés hatására a kezdetben amorf felületi rétegek kristályos, tisztán anatáz-fázisú TiO<sub>2</sub>-nanorészecskékből álló borítássá alakultak, miközben az is bizonyítható, hogy a kompozit-szintézisek során kémiai kölcsönhatás alakult ki a többfalú szén nanocsövek és a titán-tartalmú felületi rétegek között. Ezek alapján kijelenthető, hogy a lassú hidrolízissel kombinált impregnálás megfelelő módszernek bizonyult TiO<sub>2</sub>/MWCNT nanokompozitok előállításához.

T1.2. Különböző méretű oldalláncokkal rendelkező titán-tartalmú szerves prekursorokat alkalmazva a fajlagos felület meghatározásának eredményeként megállapítottam, hogy a Ti(OEt)<sub>4</sub>-dal készült kompozit rendelkezett a legnagyobb, míg a Ti(OBu)<sub>4</sub>-dal készült a legkisebb fajlagos felülettel, és ezek alapján igazoltam, hogy a szintézis során alkalmazott prekursor szerves oldalláncának mérete a hidrolízis sebességén keresztül nagymértékben befolyásolja a kapott kompozit anyag fajlagos felületének nagyságát: minél kisebb az alkoxi-csoport, annál gyorsabban hidrolizál el a prekursor, melynek eredményeként kisebb nanorészecskék jönnek létre, így növelve a kompozit fajlagos felületét.

T1.3. A titán-dioxid alapú kompozit anyagok fotokatalízisben történő felhasználását szalicilsav (C<sub>7</sub>H<sub>6</sub>O<sub>3</sub>) vizes közegben történő lebontásával teszteltem egy vertikális megvilágítású habreaktorban, melynek eredményeként megállapítottam, hogy a nanokompozitok által lebontott szalicilsav mennyisége nem érte el ugyan a referenciaként alkalmazott gyári P25-ét, ám jelentősen megközelítették azt, így ezek az anyagok nagy lehetőséget hordoznak magukban, mint jövőbeli fotokatalizátorok az őket alkotó komponensek fizikai és kémiai tulajdonságainak szinergizmusa miatt.

***T2. Az oldószer hatása WO<sub>3</sub>/MWCNT nanokompozitok előállításán***

T2.1. A volfrám-tartalmú nanokompozitok tanulmányozása során megállapítottam, hogy az alkalmazott oldószerek (etanol, izopropil-alkohol, aceton) és előállítási módszerek („egyszerű” és kicsapatással kombinált impregnálás) közül az aceton és az egyszerű impregnálás kombinált használata bizonyult a leghatékonyabbnak WO<sub>3</sub>/MWCNT nanokompozitok előállításához.

T2.2. A spektroszkópiai vizsgálatok eredménye alapján – sáveltolódás és új abszorpciós sáv megjelenése révén – igazoltam, hogy kémiai kötés is kialakult a kompozitot alkotó WO<sub>3</sub> és a MWCNT-k oxigén tartalmú felületi funkciós csoportjai között.

T2.3. Mind röntgendiffrakcióval, mind Raman-spektroszkópiával igazoltam, hogy az aceton és az egyszerű impregnálás kombinált használatával készült WO<sub>3</sub>/MWCNT nanokompozitok előállításán olyan nanorészecskékből álló összefüggő (átlagosan 40-70 nm vastagságú) felületi réteg alakult ki a szén nanocsövek felszínén, melyet monoklin-fázisú volfrám-trioxid kristályok alkotnak. E fázis kialakulásához kapcsolódó irodalmi adatokból kiindulva a kalcinálás hőmérsékletének változtatását is tanulmányoztam, amely során megállapítottam, hogy a 450°C ± 50°C-os változtatás nem befolyásolja számottevően a kapott kompozit anyagok morfológiáját és szerkezetét.

### ***T3. A hőkezelés hatása $In_2O_3$ /MWCNT nanokompozitok előállításán***

T3.1.  $InCl_3$  prekursorból desztillált vizes közegű impregnálással előállított, különböző hőmérsékleteken kezelt nanokompozitok révén bizonyítottam, hogy a  $300^\circ C$ -on hőkezelt minta esetében a MWCNT-k felszínén egy átlagosan 10-12 nm-es vastagságú homogén fedőréteg alakult ki, míg a  $350^\circ C$ -on hőkezelt minta esetében egy átkristályosodási folyamat eredményeként – átlagosan 10-20 nm-es nagyságú – szabálytalan alakú szervesetlen nanorészecskék, illetve nagyméretű (kb. 300-400 nm-es) kristályok jöttek létre a szén nanocsövek között, és azok felületéhez tapadva. A  $400^\circ C$ -on hőkezelt minta elemzésével igazoltam, hogy a  $350^\circ C$ -on észlelt átkristályosodási folyamat ezen a kalcinálási hőmérsékleten már teljessé vált, ugyanis a termékként kapott kompozit nagymennyiségben tartalmaz szabályos oktaéder alakú, és különböző méretű (átlagosan 200-500 nm közötti) kristályokat, melyek magukba zárták a többfalú szén nanocsöveket. Sikerült bizonyítanom, hogy a  $300^\circ C$ -on a szén nanocsövek felületén kialakult homogén réteget indium-oxiklorid, a  $400^\circ C$ -on megfigyelt oktaéder kristályokat pedig tisztán indium-oxid alkotja, míg  $350^\circ C$ -on még folyamatban van az  $InOCl \rightarrow In_2O_3$  átalakulás.

T3.2. Megállapítottam, hogy az alkalmazott hőmérsékletek közül a  $400^\circ C$ -os kalcinálási hőmérséklet alkalmas az  $In_2O_3$ /MWCNT nanokompozit előállításához, és minimum 1,5 órás expozíciós időre van szükség a megfelelő kristályossági fok eléréséhez.

T3.3. Fourier-transzformált infravörös spektroszkóp segítségével rávilágítottam, hogy a nanokompozitok spektrumában megjelenő és a referenciaanyagok spektrumára nem jellemző új abszorpciós sáv alátámasztja az alkotóelemek közötti kémiai kapcsolatot már az indium-oxiklorid esetében is. Bizonyítást nyert, hogy az új abszorpciós sáv megjelenése az indium-tartalmú szervesetlen komponensek fématomjai és a szén nanocsövek oxigén tartalmú felületi funkciós csoportjainak oxigénjei között kialakult kémiai kötésről tanúskodik.

***T4. A szintézis módszer hatása ZrO<sub>2</sub>/MWCNT nanokompozitok előállításán***

T4.1. Sikeresen igazoltam, hogy ZrO<sub>2</sub>/MWCNT nanokompozitok előállítása során minden általam vizsgált szintézis módszer használatával nanométeres nagyságú részecskék tapadnak meg a szén nanocsövek felületén, ám a legsűrűbb cirkónia réteg szolvotermális eljárással alakítható ki sőt, ezzel a technikával szinte tökéletes borítottságot sikerült elérni a részecskék kisfokú aggregációja mellett, így összességében kijelenthető, hogy az ismertetett előállítási módszerek közül a szolvotermális szintézis a legalkalmasabb ZrO<sub>2</sub>/MWCNT nanokompozitok előállításához.

T4.2. Megállapítottam, hogy minden cirkónium-tartalmú nanokompozit kristályszerkezetében hőkezelés hatására a ZrO<sub>2</sub> tetragonális-fázisa dominált, azonban minden minta esetében – bár eltérő mértékben – a monoklin-fázis feltűnése is megfigyelhető volt.

T4.3. A cirkónium-tartalmú kompozitokat spektroszkópai módszerekkel vizsgálva bizonyítottam, hogy az eredmények – sáveltolódás és intenzitáscsökkenése – alapján helytálló az a feltételezés, miszerint a cirkónium-tartalmú nanokompozitok szintézise során kémiai kapcsolat alakult ki az alkotóelemek között.



## 5. Tudományos közlemények

Magyar Tudományos Művek Tára (MTMT) azonosító: 10037630

### A doktori értekezés témájához tartozó tudományos közlemények:

[1] **Berki P.**, Nemeth Z., Reti B., Berkesi O., Magrez A., Aroutiounian V., Forró L., Hernadi K., *Preparation and characterization of multiwalled carbon nanotube/ $\text{In}_2\text{O}_3$  composites*; Carbon 60 (2013) p: 266-272.

**IF = 6,160**

[2] Vass A., **Berki P.**, Nemeth Z., Reti B., Hernadi K., *Preparation and characterization of multiwalled carbon nanotube/ $\text{WO}_3$  composite materials*; Physica Status Solidi (b) 250 (2013) p: 2554-2558.

**IF = 1,605**

[3] **Berki P.**, Reti B., Terzi K., Bountas I., Horvath E., Fejes D., Magrez A., Tsakiroglou C., Forró L., Hernadi K., *The effect of titania precursor on the morphology of prepared  $\text{TiO}_2/\text{MWCNT}$  nanocomposite materials*; Physica Status Solidi (b) 251 (2014) p: 2384-2388.

**IF = 1,489**

[4] Bárdos E., Kovács G., Gyulavári T., Németh K., Kecsenovity E., **Berki P.**, Baia L., Pap Zs., Hernadi K., *Novel synthesis approaches for  $\text{WO}_3\text{-TiO}_2/\text{MWCNT}$  composite photocatalysts-problematic issues of photoactivity enhancement factors*; Catalysis Today 288 (2017) p: in Press.

**IF = 4,312**

**$\Sigma\text{IF} = 13,566$**

**$\Sigma\text{Független idézők száma} = 8$**

**$\Sigma\text{Függő idézők száma} = 11$**

### A doktori értekezés témájához szorosan nem kapcsolódó tudományos közlemények:

[5] Nemeth Z., Reti B., Pallai Z., **Berki P.**, Major J., Horvath E., Magrez A., Forró L., Hernadi K., *Chemical challenges during the synthesis of MWCNT-based inorganic nanocomposite materials*; Physica Status Solidi (b) 251 (2014) p: 2360-2365.

**IF = 1,489**

[6] Fejes D., Réti B., Németh K., **Berki P.**, Németh Z., Hernadi K., *Többfalú szén nanocsövek előállítása és széleskörű felhasználása az Alkalmazott Nanocső Technológia kutatócsoportban*; Magyar Kémiai Folyóirat 120 (2014) p: 83-88.

**IF = -**

[7] Aroutiounian V., Adamyan Z., Sayunts A., Khachatryan E., Adamyan A., Hernadi K., Nemeth Z., **Berki P.**, *Comparative Study of VOC Sensors Based on Ruthenated MWCNT/SnO<sub>2</sub> Nanocomposites*; International Journal of Emerging Trends in Science and Technology 1 (2014) p: 1309-1319.

**IF = 2,838**

[8] Aroutiounian V., Arakelyan V., Shahnazaryan G., Aleksanyan M., Hernadi K., Nemeth Z., **Berki P.**, Papa Zs., Toth Zs., Forro L., *The ethanol sensors made from alpha-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> decorated with multiwall carbon nanotubes*; Advances in Nano Research 3 (2015) p: 1-11.

**IF = -**

[9] Nemeth Z., Horvath E., Magrez A., Reti B., **Berki P.**, Forro L., Hernadi K., *Preparation of titania covered multi-walled carbon nanotube thin films*; Materials & Design 86 (2015) p: 198-203.

**IF = 3,997**

[10] Magyar M., Rinyu L., Janovics R., **Berki P.**, Hernadi K., Hajdu K., Szabo T., Nagy L., *Real-Time Sensing of Hydrogen Peroxide by ITO/MWCNT/Horseradish Peroxidase Enzyme Electrode*; Journal of Nanomaterials (2016) Paper 2437873., 11 p.

**IF = 1,758**

[11] Baia L., Orban E., Fodor Sz., Hampel B., Kedves E., Saszet K., Szekely I., Karacsonyi E., Reti B., **Berki P.**, Vulpoi A., Magyar K., Csavdari A., Bolla Cs., Coşoveanu V., Hernadi K., Baia M., Dombi A., Danciu V., Kovacs G., Pap Zs., *Preparation of TiO<sub>2</sub>/WO<sub>3</sub> composite photocatalysts by the adjustment of the semiconductors' surface charge*; Materials Science in Semiconductor Processing 42 (2016) p: 66-71.

**IF = 2,264**

**ΣΣIF = 25,912**

**ΣΣFüggetlen idézők száma = 15**

**ΣΣFüggő idézők száma = 16**

**Nemzetközi és hazai konferencia részvételek (előadások és poszterek):**

[1] **Berki P.**, *Szervetlen fém-oxid alapú szén nanocső nanokompozitok előállítása és vizsgálata*; MTA SZAB Anyagtudományi Munkabizottsági ülés, 2017. Szeged [**előadás**]

[2] A. Kinka, E. Kecsenovity, D. Fejes, **P. Berki**, K. Hernadi, *CCVD preparation of highly uniform carbon microand nanocoil fibers*; 15<sup>th</sup> International Conference on Nanotechnology (IEEE-NANO), 2015. Rome [**poszter**]

[3] **P. Berki**, *Preparation of inorganic metal oxide composite materials based on carbon nanotubes*; Closing Conference of Swiss Contribution SH 7/2/20, 2015. Lausanne [előadás]

[4] **Berki P.**, *Szervetlen fém-oxid alapú szén nanocső nanokompozitok előállítása*; Nanokompozitok: alapkutatástól az ipari alkalmazásokig, 2014. Szeged [előadás]

[5] M. Magyar, V. Gombos, T. Szabó, **P. Berki**, K. Hernádi, E. Horváth, A. Magrez, L. Forró, L. Nagy, *Limit of detection of hydrogen peroxide determined by carbon nanotube/horseradish peroxidase/ITO enzyme electrode*; From Solid State to Biophysics – 7th International Conference, 2014. Dubrovnik [poszter]

[6] M. Magyar, V. Gombos, T. Szabó, **P. Berki**, K. Hernádi, E. Horváth, A. Magrez, L. Forró, L. Nagy, *Real-time sensing of hydrogen peroxide by carbon nanotube/horseradish peroxidase/ITO enzyme electrode*; Regional Biophysics Conference, 2014. Smolenice [poszter]

[7] **P. Berki**, B. Reti, K. Terzi, I. Bountas, E. Horvath, D. Fejes, A. Magrez, C. Tsakiroglou, K. Hernádi, *The effect of titania precursor on the morphology of the prepared TiO<sub>2</sub>/MWCNT nanocomposite materials*; XXVIII<sup>th</sup> International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, 2014. Kirchberg [poszter]

[8] Z. Nemeth, B. Reti, Z. Pallai, **P. Berki**, J. Major, E. Horvath, A. Magrez, L. Forró, K. Hernádi, *Chemical challenges during the synthesis of MWNT based inorganic nanocomposite materials*; XXVIII<sup>th</sup> International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, 2014. Kirchberg [poszter]

[9] **P. Berki**, *The effect of heat treatment during the production of In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MWCNT nanocomposites*; 21<sup>th</sup> Annual International Conference on Composites/Nano Engineering (ICCE-21), 2013. Tenerife [előadás]

[10] **P. Berki**, *Progress in SNSF project in the field of composite materials based on carbon nanotubes*; SNSF Swiss National Science Foundation Valorization Meeting, 2013. Szeged [előadás]

[11] **P. Berki**, Z. Nemeth B. Reti, K. Hernádi, *The effect of the synthesis method on the morphology of indium-oxide/MWCNT composites*; XXVII<sup>th</sup> International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, 2013. Kirchberg [poszter]

[12] A. Vass, **P. Berki**, Z. Nemeth B. Reti, K. Hernádi, *Comparative study of tungsten-trioxide/MWCNT composite materials fabricated by various methods*; XXVII<sup>th</sup> International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, 2013. Kirchberg [poszter]

- [13] Z. Nemeth, **P. Berki**, A. Magrez, L. Forró, V. Aroutiounian, K. Hernádi, *Preparation and comparative characterization of MWNT/ $In_2O_3$  nanocomposite materials*; XI International Conference of Nanostructured Materials, 2012. Rhodes [**poszter**]
- [14] K. Hernadi, A. Magrez, Z. Nemeth, Z. Pallai, **P. Berki**, L. Forro, *Preparation and characterization of MWNT based inorganic nanocomposite materials*; E-MRS Spring Meeting, 2012. Strasbourg [**poszter**]
- [15] **Berki P.**, Németh Z., Hernádi K.,  *$In_2O_3$ /MWCNT nanokompozitok előállítása és vizsgálata*; XXXV. Kémiai Előadói Napok, 2012. Szeged [**előadás**]

## 6. Társszerzői lemondó nyilatkozat

Alulírott Prof. Dr. Hernádi Klára a lentebb megjelölt publikációk felelős szerzőjeként, valamint **Berki Péter** témavezetőjeként nyilatkozom, hogy a *T2-es* pontban szereplő tézisekbe foglalt tudományos eredményekhez tartozó lentebb megjelölt publikációkat más doktorjelölt tudományos fokozat megszerzéséhez nem használta fel és nem is fogja felhasználni a jövőben sem. Kijelentem továbbá, hogy az értekezés említett téziseiben szereplő közösen publikált eredményekben **Berki Péter** szerepe meghatározó fontosságú volt a kompozit anyagok előállítási módszereinek kidolgozása és az előállított anyagok vizsgálatával kapcsolatban.

Vass A., **Berki P.**, Nemeth Z., Reti B., Hernadi K., *Preparation and characterization of multiwalled carbon nanotube/WO<sub>3</sub> composite materials*; Physica Status Solidi (b) 250 (2013) p: 2554-2558.

**IF = 1,605**

Bárdos E., Kovács G., Gyulavári T., Németh K., Kecsenovity E., **Berki P.**, Baia L., Pap Zs., Hernadi K., *Novel synthesis approaches for WO<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>/MWCNT composite photocatalysts-problematic issues of photoactivity enhancement factors*; Catalysis Today 288 (2017) p: in Press.

**IF = 4,312**

-----  
Prof. Dr. Hernádi Klára