

VAS ÉS EZÜST NANORÉSZECSKÉK
KÖRNYEZETBARÁT ELŐÁLLÍTÁSA ÉS
ALKALMAZÁSÁNAK VIZSGÁLATA

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

RÓNAVÁRI ANDREA

TÉMAVEZETŐK:
DR. KÓNYA ZOLTÁN
DR. KIRICSI MÓNIKA



KÖRNYEZETTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA
SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI ÉS INFORMATIKAI KAR
ALKALMAZOTT ÉS KÖRNYEZETI KÉMIAI TANSZÉK

SZEGED

2017

1. ELŐZMÉNYEK ÉS CÉLKITŰZÉSEK

Napjainkban a környezetvédelmi gyakorlat egyik leggyakoribb és legfontosabb megoldandó kihívása a felszín alatti vizek és a földtani közeg klórozott alifás szénhidrogén szennyezettségének felderítése és megszüntetése. Ehhez olyan innovatív, környezeti, gazdasági és társadalmi szempontból egyaránt előnyös technológiákra van szükség, melyek az utóbbi évek tapasztalatai alapján a nanotechnológiai kutatások segítségével megoldhatóak. A nanotechnológia megjelenése a kármentesítési programokban – csakúgy, mint az élet egyéb területein – hatalmas mértékben felgyorsította a technológiai fejlődést, sokszor a költségek jelentős csökkentése mellett. Számos publikációban számoltak már be fém vagy fém-oxid nanorészecskék sikeres felhasználásáról a remediációs folyamatokban.

A környezeti gyakorlatban legtöbbször nulla vegyértékű vas nanorészecskéket alkalmaznak halogénezett szénhidrogénekkal szennyezett talajvizek *in situ* kármentesítésére. A felhasználásnak leggyakrabban az előállítási költségek szabhatnak gátat, így napjaink elsődleges feladata egy olyan gazdaságilag és ipari méretben kivitelezhető előállítási módszer kidolgozása, ami a nanoméretű anyagokat még inkább alkalmassá teszi a környezet védelmének szolgálatára. Az alkalmazás további feltétele, hogy ismerjük a nanoméretű vasrészecske teljes ökoszisztémára gyakorolt hatását, esetleges toxicitását, alkalmazhatóságának határait. Ezért fontos annak felmérése, hogy a nulla vegyértékű vas nanorészecskék milyen hatással vannak a kármentesítés során kezelt közegben élő szervezetekre, hogyan és milyen mértékben változtatják meg az ott élő mikroba közösség diverzitását, fajösszetételét.

Az elmúlt években a Szegedi Tudományegyetem Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszékén sikeresen állítottak elő többféle fém és fém-oxid nanorészecskét. Ehhez kapcsolódva doktori munkám céljával nulla vegyértékű vas nanorészecskék környezetbarát, ipari méretben is hatékony előállítását, részletes jellemzését, és környezeti remediációban történő felhasználhatóságuk lehetőségeinek vizsgálatát, valamint kémiai és biológiai rendszerekben való viselkedésük átfogó tanulmányozását tűztük ki. Továbbá, a vizsgálatok során tett megfigyeléseink szélesebb körű kiterjesztéséhez egy jól ismert, az irodalomban konkrét referenciaértékekkel, meghatározott paraméterekkel rendelkező standard anyag, az ezüst nanorészecskék tanulmányozását választottuk. Az ezüst nanorészecskék jól definiált jellemzői lehetővé tették az általunk zöld szintézissel, növényi kivonatok segítségével előállított ezüst nanorészecskék teljes körű kémiai és biológiai összehasonlító elemzését, különös tekintettel a redukálószeres esetleges befolyásoló szerepére.

2. KÍSÉRLETI RÉSZ

A nanovas tartalmú szuszpenziók félig-zöld előállítása során vas(II)-klorid, vas(III)-klorid és vas(II)-szulfát vizes oldatát redukáltuk nátrium-borohidriddel vagy nátrium-ditionittal szobahőmérsékleten levegő jelenlétében, illetve inert atmoszférán. A reagensket 1:1 (nátrium-ditionittal előállított minták), 1:2 (Fe(II) ion tartalmú prekursorok és nátrium-borohidrid reakciója), illetve 1:3 (Fe(III) ion tartalmú prekursorok és nátrium-borohidrid reakciója) molarányban mértük össze. A nanovas szuszpenziókat 2500, 5000 és 10000 ppm koncentrációban is előállítottuk. Minden esetben vizet használtunk oldószerként (levegő jelenlétében csapvizet, inert atmoszférában – nitrogéngáz bevezetése mellett – deoxigenizált ioncserélt vizet), a reakciók végtérfogata 250 mL volt. A szintézis során intenzív keverés mellett az elkészített vas-só-oldatokhoz először megfelelő mennyiségű nátrium-hidroxid oldatot (lúgos közeg biztosítására), majd a megfelelő redukálószer oldatát adtuk. A nátrium-borohidrid oldatát 6 csepp/perc sebességgel adagoltuk a keletkező hidrogéngáz kontrollálása végett, a nátrium-ditionit oldatát egyben hozzáöntöttük a vas-oldatokhoz. Az összeöntés után a mintákat 5 (nátrium-borohidrid esetében) illetve 40 percig (nátrium-ditionit esetében) kevertettük, majd a végterméket vízzel és etanollal mostuk. A kapott mintákat frissen felhasználtuk vizsgálatainkhoz.

A polivinil-pirrolidon (PVP) adagolásának a termékmorfológiára és reaktivásra gyakorolt hatásának vizsgálatához a mintákat az előzőekhez hasonlóan készítettük el deoxigenizált ioncserélt vízzel, inert atmoszférán, a vas mennyiségére nézve 0,3%-nyi PVP adagolása mellett.

A vas nanorészecskéket növényi – kávé, zöld tea és vadszőlő (*Parthenocissus quinquefolia*, Virginia creeper) – kivonatok segítségével is előállítottuk. A vadszőlő kivonat elkészítéséhez a megszáradt, porított levelekből 5 g-ot 100 mL ioncserélt vízhez adtunk, majd az így előállított „oldatot” 80 °C-on 80 percig melegítettük, végül visszahűlés után 0,2 µm pórusátmérőjű szűrőn szűrtük, további felhasználásig pedig 4 °C-on tároltuk. Hasonlóan jártunk el a kávé és zöld tea kivonatok elkészítése során is, az extraktum előállításához a kávéból 2 g-ot, a zöld tea levelekből 5 g-ot mértünk 100 mL csapvízhez. A hőkezelés a kávé esetében 5, a zöld tea esetében 20 percig tartott 80 °C-on.

A vas nanorészecskék szintézise során 0,1 M vas(III)-klorid csapvizes oldatát a megfelelő kivonattal reagáltattuk 1:1 térfogatarányban 24 órán keresztül szobahőmérsékleten. A kapott részecskéket desztillált vízzel és etanollal mostuk, majd a mintákat frissen felhasználtuk vizsgálatainkhoz.

Az ezüst nanorészecskék előállításához az előzőekben ismertetett módon készült kávé és zöld tea kivonatát használtuk fel, azzal a kivétellel, hogy a kivonatok elkészítéséhez ioncserélt vizet alkalmaztunk. A szintézis során 0,1 M ezüst-nitrát vizes oldatát a megfelelő kivonattal reagáltattuk 1:1 térfogatarányban 24 órán keresztül szobahőmérsékleten. A kapott részecskéket ioncserélt vízzel mostuk, majd a felhasználásig 4 °C-on tároltuk.

Az előállított vas és ezüst nanorészecskék tulajdonságait számos módszerrel vizsgáltuk. A különböző szintézisek során előállított nanorészecskék anyagi minőségét röntgendiffrakciós (XRD) módszerrel azonosítottuk. A minták tisztaságát energiadiszperzív röntgenspektroszkópiával (EDS) ellenőriztük, a morfológia vizsgálatához transzmissziós elektronmikroszkópiát (TEM) alkalmaztunk. Meghatároztuk a minták redukálóképességének mértékét (ORP) és vastartalmát. Tanulmányoztuk az előállított nanovas szuszpenziók hatékonyságát szennyezett területről származó talajvíz mintában megtalálható illékony klórozott szénhidrogének bontásában. A kiválasztott minta ($nZVI_s^D$) terepi tesztelése 2014-2015-ben egy nagyméretű remediációs projekt keretén belül valósult meg az Alföld délkeleti részén. A különböző nanovas adagolás hatására bekövetkező illékony klórozott szénhidrogének összetétel változásának monitorozása mellett (gázkromatográfia-tömegspektrometria [GC-MS], gázkromatográfia lángionizációs detektorral [GC-FID]) mikrokozmosz rendszerekben, DNS alapú módszerekkel (genomi DNS izolálás, polimeráz láncreakció [PCR], denaturáló gradiens gélelektroforézis [DGGE], kvantitatív PCR) követtük nyomon a mikrobiális összetétel változását.

A kísérletek során a nanoezüst szuszpenziók minőségét infravörös spektroszkópia (FT-IR), induktív csatolású plazma-tömegspektrometriás (ICP-MS), dinamikus fényszórás (DLS) és ultraibolya-látható abszorpciós spektrometriás (UV-VIS) mérésekkel ellenőriztük. Az ezüst nanorészecskék biológiai aktivitását antimikrobiális (agar-diffúziós módszer, élőcsíraszám meghatározás) valamint citotoxicitás (sejtproliferációs esszé, kristályibolya festés) tesztekkel vizsgáltuk.

3. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

T1. A reakciókörülmények optimalizálásával sikeresen állítottunk elő környezetbarát módon (zöld és félig-zöld szintézisek során) nulla vegyértékű vas nanorészecskéket.

- 1.1 Röntgendiffrakciós és energiadiszerzív röntgenspektroszkópiás mérésekkel, valamint transzmissziós elektronmikroszkópiás felvételekkel igazoltuk, hogy szobahőmérsékleten, környezeti körülmények mellett, különböző kiindulási vas-sók (vas(II)-, vas(III)-klorid és vas(II)-szulfát) és redukálószeres (nátrium-borhidrid, nátrium-ditionit és növényi kivonatok) alkalmazásával sikeresen állítottunk elő nulla vegyértékű vas nanorészecskéket erőforrás-igényes deoxigenált oldószeres helyett csapvíz használatával.
- 1.2 Meghatároztuk az előállított vas nanorészecskék átlagos szemcseméretét, kristályszerkezetét és redukációs kapacitását. Bebizonyosodott, hogy a félig-zöld úton előállított vas nanorészecskék kisebb átlagos átmérővel és nagyobb redukációs potenciállal rendelkeztek, mint a teljesen zöld szintézissel készült minták, azonban az utóbbiak is elfogadható teljesítményt nyújtottak kísérleteink során.

T2. Elsőként állítottunk elő nulla vegyértékű vas nanorészecskéket vadszőlőlevél (*Parthenocissus quinquefolia*, Virginia creeper) kivonat felhasználásával.

- 2.1 A szintézis sikerességét röntgendiffrakciós, energiadiszerzív röntgenspektroszkópiás és redoxpotenciál mérésekkel, valamint transzmissziós elektronmikroszkópiás felvételekkel bizonyítottuk.
- 2.2 Kimutattuk, hogy bár a vadszőlő levéllel előállított nanovas részecskék jóval kisebb mérettel rendelkeztek, mint a kávéval és zöld teával előállított részecskék, reaktivitásuk nem múlta felül ezen utóbbiak teljesítményét.

T3. Bebizonyítottuk, hogy a vas nanorészecskék előállítási módja jelentősen befolyásolta a kapott nanorészecskék kémiai jellemzőit.

- 3.1 Meghatározva az előállított nanorészecskék átlagos szemcseméretét és redukációs kapacitását kimutattuk, hogy a félig-zöld úton előállított vas nanorészecskék kisebb átlagos átmérővel és nagyobb redukációs potenciállal rendelkeztek, mint a zöld szintézissel készült minták.

3.2 A félig-zöld szintézismódszerrel előállított vas nanorészecskék degradációs hatékonyságát tesztelve igazoltuk azt is, hogy a nátrium-borohidriddel redukált vas nanorészecskék mind a mért redoxpotenciál értékekben, mind az illékony klórozott szénhidrogének bontási kísérletei során felülmúlták a nátrium-ditionit segítségével előállított részecskék teljesítményét.

T4. Eredményeinkkel igazoltuk, hogy a környezeti remediációban egy fenntartható, hatékony, gazdaságos alternatív megoldás lehet a vas(II)-szulfátból nátrium-ditionittal redukált vas nanorészecskék alkalmazása.

4.1 Vizsgálatainkkal igazoltuk, hogy a vas(II)-szulfátból nátrium-ditionittal redukált vas nanorészecskék (nZVI_S^D minta) az illékony klórozott alifás szénhidrogének bontásának tesztelése során hasonlóan jól teljesítettek, mint a nátrium-borohidriddel redukált vas nanorészecskék.

4.2 A megvalósult terepi teszt alapján a félig-zöld szintézis során előállított nZVI_S^D minta alkalmasnak bizonyult illékony klórozott szénhidrogének lebontására.

T5. Bizonyítottuk, hogy a nanovas szintézis során felhasznált kiindulási vas-sók és redukálószeres nemcsak a kialakult nanorészecske reaktivitását és morfológiáját határozzák meg, hanem befolyásolják a vas részecskék anaerob baktériumokra gyakorolt hatását, azaz a biológiai aktivitását is.

5.1 Megállapítottuk, hogy 0,1 g/L-es koncentrációban mindegyik nanovas adagolása hatással volt a mikrokozmosz rendszerek mikrobiális összetételére és a deklorináló folyamatokra. A kezdeti gátló hatás után mindegyik nanovas csökkentette a *Dehalococcoides* populáció méretét. A 16S rDNS és a dehalogenáz géneket tartalmazó baktériumok relatív mennyisége is lecsökkent mindegyik nanovas adagolása esetén, ugyanakkor a mikrokozmosz rendszerek összes mikrobaszáma nőtt. A nátrium-ditionittal redukált nanovas minták mellett a szulfátredukáló baktériumok mennyisége megnőtt, a metanogén baktériumok mennyisége pedig lecsökkent. Metanogenezis csak a nátrium-borohidriddel redukált vas minták esetén történt.

5.2 Kimutattuk — a szakirodalmi adatokkal egybehangzóan –, hogy a kezdeti gátló hatás után, a mikrokozmosz rendszerekben az életben maradt anaerob baktérium populációk képesek voltak visszarendeződni a kiindulási mikroflóra összetételéhez hasonlóan, amely bizonyítottan redukatív dehalogenációs aktivitással rendelkezett.

T6. Bizonyítottuk, hogy a nanorészecskék szintézise során használt zöld kivonatok jelentősen befolyásolják a részecskék fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságait, ezért a zöld kivonatok körültekintő kiválasztása, továbbá a felhasználásukat megelőzően az előállított részecskék átfogó kémiai és biológiai vizsgálata javasolt.

- 6.1 Kávé és zöld tea kivonattal sikeresen állítottunk elő nanoezüst részecskéket, amit röntgendiffrakciós, dinamikus fényszórás (DLS) és ultraibolya-látható abszorpciós spektrometriás (UV-VIS) mérésekkel igazoltunk. A kapott részecskék komplex kémiai és biológiai vizsgálatát elvégeztük. Mindkét ezüst nanorészecske hatékonynak bizonyult a tesztelt mikrobák ellen, habár a zöld teával előállított ezüst nanorészecskék (GT-AgNP) minden esetben jelentősen nagyobb toxikus hatást fejtettek ki a vizsgált baktérium és gomba törzsekre, mint a kávéval előállított ezüst nanorészecskék (C-AgNP). Ugyanakkor csak a C-AgNP részecskék bizonyultak biokompatibilisnek az emlős sejtekre nézve, így további ígéretes felhasználásukat elősegítő vizsgálatok elvégzése mellett számos érv szól.
- 6.2 A szakirodalomban elfogadott ténnyel szemben, meglepő módon minden vizsgálatunk során azt tapasztaltuk, hogy a nagyobb részecskemérettel rendelkező GT-AgNP részecskék toxikusabbnak mutatkoztak a C-AgNP részecskékhez képest. ICP-MS méréseink alapján valószínűsítettük, hogy ez a jelenség annak köszönhető, hogy a C-AgNP részecskéket körülvevő stabilizáló mátrix miatt 3,5-ször kevesebb ezüstion tudott felszabadulni a C-AgNP részecskék felszínéről, és emiatt kisebb a C-AgNP nanorészecskék toxicitása.
- 6.3 A vas nanorészecskéknél tett érdekes megfigyeléseinket sikerült egy a szakirodalomban jól ismert, meghatározott jellemzőkkel rendelkező referencia anyagra, az ezüst nanorészecskékre kiterjeszteni. Megállapítottuk, hogy mind a vas, mind pedig az ezüst nanorészecske esetében a felhasznált redukálószer nemcsak a nanorészecskék méretét, alakját, hanem biológiai rendszerekben való viselkedését is meghatározza. Ezáltal a részecskék biológiai aktivitása befolyásolható, szabályozható.

4. A DOKTORI ÉRTEKEZÉS ALAPJÁT KÉPEZŐ KÖZLEMÉNYEK

- 1. Impact of the morphology and reactivity of nanoscale zero-valent iron (NZVI) on dechlorinating bacteria.**

Rónavári A., Balázs M., Tolmacsov P., Molnár Cs., Kiss I, Kukovecz Á., Kónya Z.

Water Research, 2016, 95:165-173

DOI: 10.1016/j.watres.2016.03.019

IF_{2015/2016} = 5,991

Független hivatkozás: 4

- 2. Environmentally benign synthesis methods of zero valent iron nanoparticles.**

Kozma G., **Rónavári A.**, Kónya Z., Kukovecz Á.

ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2016, 4(1):291–297

DOI: 10.1021/acssuschemeng.5b01185

IF_{2015/2016} = 5,267

Független hivatkozás: 4

- 3. Biological activity of green-synthesized silver nanoparticles depends on the applied natural extracts: a comprehensive study.**

Rónavári A., Kovács D., Igaz N., Vágvölgyi C., Boros IM., Kónya Z., Pfeiffer I.,

Kiricsi M.

International Journal of Nanomedicine, 2017, 12:871-883

DOI: 10.2147/IJN.S122842

IF_{2015/2016} = 4,320

Független hivatkozás: -

5. A DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ KONFERENCIA MEGJELENÉSEK

- 1. Vas nanorészecskék alkalmazása talajremediációban.**

Rónavári A., Kozma G., Kónya Z., Kukovecz Á.

PhD Hallgatók Környezettudományi Konferenciája, Budapest, 2013 (előadás)

- 2. Comparison of the reactivity and the effect of different nanoscale zero-valent iron on microbial populations in trichloroethylene contaminated groundwater.**

Rónavári A., Balázs M., Németh A., Rutkai E., Urbán G., Tolmacsov P., Kiss I.,

Kukovecz Á., Kónya Z.

Workshop on Functionalized Surfaces and Nanocomposites, Joint Meeting of WG2-

WG3-WG4 of COST Action CM1101, Szeged, 2013 (poszter)

- 3. Különböző nulla vegyértékű vas nanorészecskék reaktivitásának és a mikrobiológiai összetétel változására gyakorolt hatásának összehasonlítása klórozott szénhidrogénnel szennyezett talajvíz vizsgálatában.**

Rónavári A., Balázs M., Németh A., Rutkai E., Urbán G., Tolmacsov P., Kiss I., Kukovecz Á., Kónya Z.

XI. Környezetvédelmi analitikai és technológiai konferencia - innovatív környezetdiagnosztikai módszerekkel és technológiákkal az egészségesebb emberi környezetért, Hajdúszoboszló, 2013 (előadás)
- 4. The effect of different nanoscale zero-valent iron on microbial populations in cis-1,2-dichloroethylene contaminated groundwater.**

Rónavári A., Balázs M., Németh A., Rutkai E., Urbán G., Tolmacsov P., Kiss I., Kukovecz Á., Kónya Z.

Power of microbes in Industry and Environment, Primosten, Horvátország, 2013 (poszter)
- 5. Assessing the application and impact of different nanoscale zero-valent irons on microbial populations.**

Rónavári A., Balázs M., Németh A., Rutkai E., Urbán G., Tolmacsov P., Kiss I., Kukovecz Á., Kónya Z.

I. Innováció a Természettudományban 2014 - Doktorandusz Konferencia, Szeged, 2014 (poszter)
- 6. Investigation of the reactivity and the effect of different nanoscale zero valent iron on microbial populations in cis-, dichloroethylene (cDCE) contaminated groundwater.**

Rónavári A., Balázs M., Homa M., Németh A., Rutkai E., Urbán G., Tolmacsov P., Kiss I., Kukovecz Á., Kónya Z.

16th Danube-Kris-Mures-Tisza (DKMT) Conference Environment and Health, Arad, Románia, 2014 (poszter)
- 7. Remediation by nZVI: impact on the soil microbial community.**

Rónavári A., Balázs M., Rutkai E., Tolmacsov P., Kiss I., Kukovecz Á., Kónya Z.

XVIII. International Symposium on Gnotobiology, Szentpétervár, Oroszország, 2014 (poszter)

8. Groundwater remediation using environmentally benign zero valent iron nanoparticles.

Kozma G., Rónavári A., Kukovecz Á., Kónya Z.

The International Bioscience Conference and the 6th International PSU – UNS Bioscience Conference (IBSC), Újvidék, Szerbia, 2016 (poszter)

9. Impact of nanoscale zero valent iron on the soil microbial community: the role of morphology and reactivity.

Rónavári A., Balázs M., Tolmacsov P., Molnár Cs., Kiss I, Kukovecz Á., Kónya Z.

The International Bioscience Conference and the 6th International PSU – UNS Bioscience Conference (IBSC), Újvidék, Szerbia, 2016 (poszter)

10. Biological activity of silver nanoparticles prepared by coffee and green tea extracts.

Rónavári A., Igaz N., Kovács D., Kónya Z., Pfeiffer I., Kiricsi M.

A Magyar Mikrobiológiai Társaság 2016. évi Nagygyűlése és a XI. Fermentációs Kollokvium, Keszthely, 2016 (poszter)

6. EGYÉB KÖZLEMÉNYEK

1. Effect of DNA polymerases on PCR-DGGE patterns.

Balázs M., Rónavári A., Németh A., Bihari Z., Rutkai E., Bartos P., Kiss I., Szvetnik A.

International Biodeterioration & Biodegradation, 2013, 84:244-249

DOI: 10.1016/j.ibiod.2012.05.011

IF₂₀₁₃ = 2,235

Független hivatkozás: 11

2. Structure and stability of pristine and Bi and/or Sb decorated titanate nanotubes.

Rónavári A., Buchholcz B., Kukovecz Á., Kónya Z.

Journal of Molecular Structure, 2013, 1044:104-108

DOI: 10.1016/j.molstruc.2012.12.008

IF₂₀₁₃ = 1,599

Független hivatkozás: 3

3. Ion exchange defines the biological activity of titanate nanotubes.

Rónavári A., Kovács D., Vágvölgyi Cs., Kónya Z., Kiricsi M., Pfeiffer I.

Journal of Basic Microbiology, 2016, 56(5):557-565

DOI: 10.1002/jobm.201500742

IF_{2015/2016} = 1,585

Független hivatkozás: 1

4. Hydrodynamic chronoamperometric determination of hydrogen peroxide using carbon paste electrodes coated by multiwalled carbon nanotubes decorated with MnO₂ or Pt particles.

Anojčić J., Guzsvány V., Vajdle O., Madarász D., **Rónavári A.**, Kónya Z., Kalcher K.

Sensors and Actuators B: Chemical, 2016, 233:83-92

DOI: 10.1016/j.snb.2016.04.005

IF_{2015/2016} = 4,758

Független hivatkozás: 5

7. EGYÉB KONFERENCIA MEGJELENÉSEK

1. Performance of DNA polymerases.

Balázs M., Szvetnik A., Németh A., **Rónavári A.**, Kiss I.

Power of Microbes in Industry and Environment, Malinska, Horvátország, 2010

(poszter)

2. Effect of DNA polymerases on DGGE patterns.

Balázs M., Németh A., **Rónavári A.**, Bihari Z., Kiss I., Szvetnik A.

BioMicroWorld 2011 - IV International Conference on Environmental, Industrial and

Applied Microbiology, Torremolinos, Malaga, Spanyolország, 2011 (poszter)

3. Performance of DNA polymerases.

Balázs M., Szvetnik A., Németh A., **Rónavári A.**, Kiss I.

15th International Biodeterioration and Biodegradation Symposium, Bécs, Ausztria,

2011 (poszter)

- 4. Investigation of effects of different DNA Polymerases on DGGE patterns in an artificial microbial consortium.**
Németh A., Balázs M., Rónavári A., Rutkai E., Urbán G., Kiss I., Szvetnik A.
5th International Symposium on Biosorption and Bioremediation, Prága, Csehország, 2012 (poszter)
- 5. Synthesis, characterization and spectroscopic properties of pristine, Bi- and Sb-decorated titanate nanotubes.**
Rónavári A., Buchholcz B., Kukovecz Á., Kónya Z.
31st European Congress on Molecular Spectroscopy, Kolozsvár, Románia, 2012 (előadás)
- 6. Structure and stability of pristine, Bi and/or Sb decorated titanate nanotubes / Bi és/ vagy Sb-nal dekorált titanát nanocsövek szerkezete és stabilitása.**
Rónavári A., Buchholcz B., Kukovecz Á., Kónya Z.
A Magyar Mikroszkópos Társaság éves konferenciája, Siófok, 2013 (előadás)
- 7. Hydrodynamic chronoamperometric determination of hydrogen-peroxide by carbon paste electrodes modified with different nanomaterials.**
Zbiljić J., Guzsvány V., Rónavári A., Kukovecz Á., Kónya Z., Kalcher K.
20th Young investigators seminar on analytical chemistry, Maribor, Szlovénia, 2013 (absztrakt)
- 8. Synthesis, structure and stability of pristine, Bi and/or Sb decorated titanate nanotubes.**
Rónavári A., Buchholcz B., Kukovecz Á., Kónya Z.
International research and practice conference nanotechnology and nanomaterials, Bukovel, Ukrajna, 2013 (poszter)
- 9. Synthesis, structure and stability of pristine, Bi and/or Sb decorated titanate nanotubes.**
Rónavári A., Buchholcz B., Kukovecz Á., Kónya Z.
2nd International Summer School for young scientists "NANOTECHNOLOGY: from fundamental research to innovations", Bukovel, Ukrajna, 2013 (előadás)

10. Antimicrobial activity of ion-exchanged titanate nanotubes.

Rónavári A., Kovács D., Vágvölgyi Cs., Kónya Z., Kiricsi M., Pfeiffer I.

18th Danube-Kris-Mures-Tisza (DKMT) Euroregional Conference on Environment and Health, Újvidék, Szerbia, 2016 (poszter)

8. TUDOMÁNYMETRIAI ADATOK

Összes referált közlemény: 7	ebből az értekezéshez kapcsolódik: 3
Összesített impakt faktor: 25,755	ebből az értekezéshez kapcsolódik: 15,578
Összes független hivatkozás: 28	ebből az értekezéshez kapcsolódik: 8