

Magyar–német (TKA–DAAD) kutatócsere projekt

Záró beszámoló

A projekt adatai:

Nyilvántartási szám: 151955

Projektcím: Endokrin rendszert befolyásoló vegyületek eltávolítása vizekből elektrokémiai és nagyhatékonyságú oxidációs eljárásokkal

Magyar projektvezető neve: Dr. Alapi Tünde

Magyar intézmény neve: Szegedi Tudományegyetem

Német projektvezető neve: Prof. Andreas Fath

Német intézmény neve: Furtwangen University

Támogatási időszak: 2017–2018

A. A projektidőszakban elvégzett munka összefoglalása (max. 2 oldal)

A Pályázat célja egyes kiválasztott, biológiailag nehezen lebomló vegyület oxidatív átalakulásának vizsgálata volt, néhány kiválasztott, a vízkezelésben is használható nagyhatékonyságú oxidációs eljárással [1,2]. A kiválasztott célvegyületek az atrazin, imidacloprid, tiakloprid és monuron peszticidek voltak. Ezek vizes oldatának oxidatív átalakítását ultraibolya (UV), vákuum ultraibolya (VUV), vákuum–ultraibolya fotolízissel kombinált ultraibolya fotolízissel (UV/VUV), valamint heterogén fotokatalízissel és részben ózonos kezeléssel valósítottuk meg.

Az atrazin a triazinok körébe tartozó herbicid hatású hatóanyag. A biológiailag rendkívül nehezen lebomló, bizonyítottan az endokrin rendszert befolyásoló vegyületek közé tartozik. Használatát ma már erősen korlátozzák, azonban a környezetbe kijuttatott atrazin még ma is az egyik leggyakoribb szennyezője a természetes vizeknek. [3] Az imidakloprid és tiakloprid széles körben, nagy mennyiségben használt neonikotinoidok családjába tartozik. Ezen vegyületcsoport tagjai feltehetően felelősek a méhek főleg Nyugat-Európában tapasztalt, tömeges pusztulásáért. Utóbbi okból kifolyólag, használatukat az EU-ban ma már jelentős mértékben korlátozzák, illetve tiltják [4] A monuron a fenilurea peszticidek családjába tartozó, szintén igen elterjedt, általános gyomirtó hatóanyag, mely feltételezetten endokrin rendszert befolyásoló hatású. [5]

A pályázatban vállaltaknak megfelelően vizsgáltuk a felsorolt vegyületek UV (254 nm) és UV/VUV (254/185 nm) fotolízisét, melyhez az ivóvíz fertőtlenítésére is használt kisnyomású higanygőzlámpákat használtuk fényforrásként. A VUV fotolízis hatékonyságát 172 nm-en sugárzó Xenon–excimer lámpát alkalmazva vizsgáltuk. E

mellett a heterogén fotokatalízist is alkalmaztuk a kereskedelmi forgalomban kapható, egyik leghatékonyabb fotokatalizátort, az Aeroxid P25-öt használva fotokatalizátorként. Az ózonos kezelés hatékonyságát részben UV, részben heterogén fotokatalízis kombinációjával vizsgáltuk, elsősorban a monuron, átalakulására vonatkozóan. Méréseinket laboratóriumi méretben, 250, illetve 500 cm³ térfogatú reaktorokban valósítottuk meg. Az egyes módszereket az alábbi szempontok alapján hasonlítottuk össze:

- hatékonyság az egyes vegyületek átalakulási sebessége alapján (analitikai eszköz: spektrofotométer és HPLC-DAD)
- oldott oxigén szerepe és hatása a hatékonyságra
- köztitermékek képződése (minőségi analízis HPLC-DAD és HPLC-MS, valamint HPLC-MS/MS segítségével)
- mineralizáció sebessége (TOC mérések)
- dehalogenizáció hatékonysága (AOX mérések)
- elektromos energiaigény (Electric Energy per Order számolás a Bolton és mtsi által kifejlesztett modell [6] alapján)
- mátrix egyes összetevőinek hatása az átalakulás sebességére (elsősorban monuron és atrazin esetén)
- gyökfogók hatásának tanulmányozása (elsősorban a tiaklopid és imidaklopid esetén)
- kísérletet tettünk a hidroxilgyök képződési sebesség alapján is összehasonlítani a heterogén fotokatalízist és a VUV fotolízist, melyre vonatkozóan a kumarinból, képződő umbelliferon képződési sebességének meghatározása szolgáltatta az alapot.

Kísérleti eredményeink alapján az UV fotolízis igen hatásos mindegyik vegyület átalakulása szempontjából, mivel moláris abszorbanciájuk meglehetősen nagy értéket mutat a fényforrás által kisugárzott 254 nm-re vonatkozóan. Amennyiben UV/VUV fotolízist alkalmaztunk, a kis intenzitású, de nagy energiájú 185 nm-es fotonok hatására a vízből képződő hidroxilgyökök új lehetőséget teremtettek az célvegyületek és a belőlük képződő köztitermékek átalakulására vonatkozóan egyaránt. Ez különösen kis kiindulási koncentrációk (<10⁻⁴ M) esetén jelentősen megnöveli a nem csak az átalakulás, hanem a mineralizáció sebességét is. A 172 nm-en sugárzó Xenon-excimer lámpával összehasonlítva eredményeinket azt tapasztaltuk, hogy bár ez esetben igen nagy a hidroxilgyök képződés sebessége, de a fajlagos energiafelhasználás meghaladja az UV/VUV fotolízisét. [7,8] Az imidaklopid és tiaklopid átalakulását a fent említett módszerek mellett heterogén fotokatalízis esetén is vizsgáltuk.

Gyakorlati szempontból igen fontos, hogy a mátrix milyen hatással bír az egyes módszerek esetén, és hogyan befolyásolja az átalakulás sebességét és az eljárás hatékonyságát. Ennek megfelelően a közeg egyes komponenseinek a hatását is megvizsgáltuk a különböző nagyhatékonyságú oxidációs eljárásokat alkalmazva a monuron és az atrazin esetében. Monuron esetén elsősorban a huminsavak hatását

vizsgáltuk az UV fotolízis, ózonos kezelés és annak UV fotolízissel való kombinációja, valamint heterogén fotokatalízise során [9]. Atrazin UV, UV/VUV és VUV fotolízise esetén összehasonlítottuk az egyes mérések hatékonyságát desztillált víz, valamint egy realisabb közeg, tisztított, $KOI = 50 \text{ mg dm}^{-3}$ értékkel bíró víz esetén [7].

B. A közös projekt eredményei (max. 2 oldal)

A közös projekt egyik célja volt, hogy az általunk alkalmazott, elsősorban fotokémiai alapokon nyugvó nagyhatékonyságú oxidációs eljárásokat összehasonlítsuk egymással és az elektrokémiai víztisztítási eljárással azonos modellvegyületek esetén, mely utóbbi módszernek a német partner a szakértője. Ennek megfelelően a projekten belül a tudástranszfer igen hangsúlyos szerepet kapott. Közös pontot jelentett már a projekt beadása előtt a magyar kutatócsoport és a német fél részéről prof Thomas Oppenländerrel való, a VUV fotolízisre, mint vízkezelési módszerre fókuszáló több éves igen jó kapcsolat, melyet most prof. Andreas Fath-al, mint az elektrokémiai módszerek szakértőjével való kapcsolattal egészítettünk ki. Jelen projekt keretén belül lehetőségünk volt a személyes kapcsolattartásra, mely nem csak a tudományos eredmények megosztása és értelmezése szempontjából fontos, hanem új, közös érdeklődési pontok kialakítását is lehetővé tette. E mellett az analitikai eszközök szempontjából is végeztünk egymást kiegészítő méréseket, használva a partnernél lévő műszerparkot és vizont.

A projekt keretén belül megvizsgáltuk és összehasonlítottuk az általunk használt fotokémiai módszerek hatékonyságát a kiválasztott modellvegyületekre vonatkozóan. Atrazin UV fotolízise során bár a 254 nm hullámhosszúságú fény hatására az meglehetősen gyorsan és hatékonyan átalakul, ugyanakkor dehalogéneződése következtében olyan köztitermék képződik belőle (HAT), mely a fotolízis során felhalmozódik és toxicitása megközelíti az atrazinét. A HAT mellett az etil- vagy izopropil csoport lehasadásával DEA és DIA köztitermékek is képződnek. A német partner az együttműködés keretén belül vizsgálta az atrazin elektrokémiai úton történő átalakulását. Ebben az esetben is tapasztalták a HAT, valamint DEA és DIA képződését, azonban HAT sokkal kisebb koncentrációban képződött. [7]

A másik modellvegyület az imidakloprid volt, melynek átalakulását szintén mindkét fél vizsgálta a saját módszereivel. A németországi elektrokémiai módszerekkel készített bontások jellemzése a mineralizáció szempontjából a szegedi kutatócsoportnál történtek, itt végeztük el a minták TOC értékének meghatározását. A munkából közös német-magyar (Andreas Fath és Schrantz Krisztina) témavezetéssel készült diplomamunka, melyet Anne Stranghöner, a Furtwangen University hallgatója 2018-ban mutatott be. A közös témavezetéssel készült diplomamunka témája az atrazin és az imidakloprid elektrokémiai átalakítása volt. Ezek az eredmények arra is rávilágítottak, hogy azonos kiindulási koncentrációk esetén az elektrokémiai módszer fajlagos energiaszükséglete többnyire meghaladja az UV, UV/VUV és VUV fotolízisét. Ugyanakkor az atrazin és az imidakloprid, valamint a tiakloprid fotolitikus átalakulására vonatkozóan a Szegedi Tudományegyetemen Schrantz Krisztina és Alapi Tünde témavezetése mellett készültek szakdolgozatok és diplomamunkák.

A célvegyületek közül a tiaklopid és imidaklopid [10,11] heterogén fotokatalízisét is vizsgáltuk. Mindkét vegyület esetében nem csak oldott oxigént tartalmazó szuszpenzió megvilágítása során, hanem meglepő módon oxigénmentes szuszpenzióban is megtörténik a célvegyületek átalakulása. A különböző adalékanyagok (gyökfogó, lyukfogó) hatását vizsgálva feltételezhető, hogy a hidroxilgyök mellett a két vegyület átalakulásában jelentős szerepet tölt be a közvetlen töltésátmenet is. A köztiterméke analízise és impulzus radiolízis alkalmazása során nyert információk megerősítették, hogy ezen két vegyület átalakulásában fontos szerepe lehet a közvetlen töltésátmenetnek. [10,11]

A VUV fotolízis során lejátszódó folyamatok pontosabb megismerése érdekében, a Thomas Oppenländerrel szegedi látogatása során folytatott beszélgetés alapján a Szegedi Tudományegyetem keretén belül megindultak a 172 nm hullámhosszúságú fényvel besugárzott, szerves szennyezőt tartalmazó oldatokra vonatkozó modellkinetikai számítások is. [12]

Mivel ezen módszereket (UV és UV/VUV fotolízis, elektrokémiai módszerek) napjainkban is alkalmazzák a víztisztításban, célszerűnek láttuk azokat összehasonlítani a mátrixnak a kiindulási vegyület (monuron) átalakulási sebességére gyakorolt hatásának a szempontjából is. Ennek megfelelően méréseink egy részében a desztillált vízhez különböző sókat adtunk (HCO_3^- , CO_3^{2-} , NO_3^- , NO_2^-) melyek a nitrogéntartalmú szerves vegyületek oxidatív átalakulása során is képződhetnek, illetve a természetes vizekben és a szennyvizekben is jelen vannak. Valamint vizsgáltuk a huminsavak, mint lehetséges mátrix összetevő hatását. Eredményeink szerint UV fotolízis során a huminsavak elsősorban szűrőként, az UV fotonokért versengve képesek az átalakulási sebesség csökkentésére. UV/VUV fotolízisnél a negatív hatás mértékét fokozza, hogy a huminsavak igen jó gyökfogók. Legnagyobb mértékben heterogén fotokatalízis esetén csökkentették a célvegyület (monuron) átalakulási sebességét a fotokatalizátor felületén történő kedvezményezett adszorpciójuk és gyökfogó hatásuk miatt. Ugyanakkor ózonos kezelés során negatív hatásuk csak mérsékelten mutatkozott meg. Mindez alátámasztotta, hogy az egyes módszerek kombinációjával a kezelendő víz paraméterei szempontjából nem csak hatékonyabb, de robosztusabb módszer is nyerhető. [9]

A másik mátrix amit használtunk, tisztított, $\text{KOI} = 50 \text{ mg dm}^{-3}$ értékkel bíró víz volt. Ebben az esetben az atrazin UV, UV/VUV és VUV fotolízisére való hatását vizsgáltuk a mátrixnak. Míg az UV fotolízis esetén az atrazin (0,1 ppm) átalakulási sebessége a desztillált vízben mért értékhez képest nem változott, addig UV/VUV és VUV fotolízis során a mátrix hatása egyértelmű volt, közel felére csökkentette az átalakulási sebesség értékét [7]. Ezen méréseket a Szegedi Tudományegyetemen végeztük, azonban a minták analízise részben a Furtwangen-i Egyetemen történt, az ottani HPLC-MS/MS használatával. Emellett a német partnernél az atrazin és imidaklopid esetében kommunális és ipari szennyvíz keverékének, mint mátrix hatását vizsgálta. A méréseket a német partner irányítása alatt a projekt keretén belül kiutazó két SZTE hallgató végezte a Furtwangen-i Egyetemen.

Az eredményeket két nemzetközi, Szegeden megrendezésre került konferencia keretén belül mutattuk be, összesen 3 poszter [11,12,14] és 2 előadás formájában [8,13]. Ezen kívül két benyújtott nemzetközi publikáció [7,10], valamint egy megjelent nemzetközi publikáció [9] született részben, vagy teljes egészében a projekt eredményeihez kapcsolódóan. Egy közös német–magyar témavezetésű diplomamunka mellett, a Szegedi Tudományegyetemen a projekt első évében 3 BSc hallgató készítette el szakdolgozatát a témához kapcsolódóan, a második évben pedig 1 projektmunka, 1 BSc hallgató szakdolgozati és 2 MSc hallgató diplomamunkája kapcsolódik a pályázathoz.

C. Az együttműködés további szempontjai: (max. 3 oldal)

1. Mennyiben alapulnak a projekt elért eredményei a német–magyar együttműködésen?

A projekt célkitűzéseinek sikeres megvalósítását nagymértékben segítette magyar részről Dr. Schrantz Krisztina és Dr. Alapi Tünde 5 napos németországi látogatása, valamint Prof. Thomas Oppenländer 5 napos szegedi látogatásai, mely során megvitathattuk az eredményeket és összevethettük nézőpontjainkat. A projekt eredményeinek megvalósításához nagymértékben hozzájárult Anne Stranghöner 1 hónapos tartózkodása (első évben) a Szegedi Tudományegyetemen, valamint Náfrádi Máté 1–1 hónapos látogatása (az első és második évben) és Hlogyik Tamás BSc szakos hallgató 1 hónapos látogatása (a második évben) a Furtwangeni Egyetemen. A hallgatóknak a partnernél végzett kutatómunkája ezen látogatások alatt, valamint egymás analitikai módszereinek kiegészítő használata (HPLC–MS/MS használata a magyar fél részéről a Furtwangeni Egyetemen és TOC készülék használata a német fél részéről az SZTE-n) jelentősen hozzájárult a kitűzött célok megvalósításához.

2. Hogyan befolyásolta a támogatás a projekt előmenetelét?

A projekt által nyújtott támogatás keretén belül valósultak meg a C/1 pontban felsorolt látogatások, melyek nem csupán az eszmecsere és a tudástranszfer, hanem a kitűzött mérések elvégzése céljából és a fiatal kutatók szakmai fejlődése miatt is igen fontosak voltak.

3. Hogyan csatlakozott a második évi munka az első év eredményeihez?

Az első évi munka során az imidakloprid és atrazin, valamint monuron vizes közegű UV, UV/VUV, VUV fotolízisét és heterogén fotokatalízisét vizsgáltuk. A második évben a tiaklopridra vonatkozóan is végeztünk méréseket, illetve az első év eredményire alapozva a valósághoz közelítve különböző mátrixok hatását vizsgáltuk és hasonlítottuk össze az egyes módszerek hatékonyságára vonatkozóan. A második évben értek be eredményeink és tudtuk azokat publikációra előkészíteni.

4. Milyen szempontból volt jelentős a projekt a fiatal kutatók tapasztalatszerzése, szakmai fejlődése szempontjából?

A fiatal kutatók tapasztalatszerzése és fejlődése szempontjából nagyon fontosnak tartom, hogy külföldi kutatóintézetekben is „kipróbálhassák“ magukat. A magyar részről két hallgatónk (egy PhD hallgató és egy BSc hallgató) összesen 3 hónapot töltött a német partnernél. Ez alatt az idő alatt olyan nagyhatékonyságú oxidációs eljárással (elektrokémiai oxidáció) ismerkedhettek meg, melyet eddig kutatócsoportunk nem használt. A Németországban elvégzett méréseik eredményeit nemzetközi konferencián mutatták be, illetve publikáció is kapcsolódik hozzájuk. Emellett ismeretséget köthettek a saját korosztályukba tartozó azonos érdeklődési körű és végzettségű hallgatókkal és fiatal kutatókkal és olyan szaktekintélyekkel dolgozhattak együtt, mint Thomas Oppenländer, aki a VUV fotolízis elismert kutatója és Andreas Fath, aki az elektrokémiai vízkezelés területén az iparban is dolgozott.

5. Sorolja fel azokat a hazai vagy külföldi tudományos közleményeket és publikációkat, amelyek az együttműködés eredményeként jelentek meg!

Teljes terjedelmű összefoglalók, konferencia kiadványban megjelentetve:

- G. Rózsa, Á. Fazekas, T. Alapi, K. Schrantz, T. Oppenländer, E. Takács, L. Wojnárovits Transformation Of Atrazin By Different Advanced Oxidation Processes *23rd International Symposium on Analytical and Environmental Problems, Hungary, Szeged, October 9-10, 2017, ISBN: 978-963-306-563-1, oldal: 51-55. (konferencia kiadvány)*
- M. Náfrádi, M. Molnár, K. Schrantz, K. Hernádi, T. Alapi Photocatalytic Ozonation Of Monuron – Effect Of Reaction Parameters On The Hydroxyl Radical Formation And Monuron Transformation *23rd International Symposium on Analytical and Environmental Problems, Hungary, Szeged, October 9-10, 2017, ISBN: 978-963-306-563-1, oldal: 75-79. (konferencia kiadvány)*
- D. Kis, M. Náfrádi, K. Schrantz, T. Alapi Kumarin, Mint Potenciális Aktinométer 185 Nm Hullámhosszúságú Vuv Fotolízisének Vizsgálata *23rd International Symposium on Analytical and Environmental Problems, Hungary, Szeged, October 9-10, 2017, ISBN: 978-963-306-563-1, oldal: 75-79. (konferencia kiadvány)*
- L. Farkas, G. Peintler, T. Oppenländer, T. Alapi Inhomogeneity Of The 172 Nm Vuv Light Irradiated Aqueous Solutions *24rd International Symposium on Analytical and Environmental Problems, Hungary, Szeged, October 8-9, 2017, ISBN: 978-963-306-623-2, oldal: 416-420. (konferencia kiadvány)*
- T. Hlogyik, M. Náfrádi, A. Rampal, S. Garg, K. Hernádi, I. Ábrahám, T. Alapi Heterogeneous Photocatalysis Of Imidacloprid – The Effect Of Reaction Parameters *24rd International Symposium on Analytical and Environmental Problems, Hungary, Szeged, October 8-9, 2017, ISBN: 978-963-306-623-2, oldal: 290-294. (konferencia kiadvány)*

Nemzetközi folyóiratban megjelent publikáció:

- J. Farkas, M. Náfrádi, T. Hlogyik, B.s C. Pravda, K. Schrantz, K. Hernádi, T. Alapi Comparison Of Advanced Oxidation Processes In The Decomposition Of Diuron And Monuron – Efficiency, Intermediates, Electrical Energy Per Order And The Effect Of Various Matrices *Env. Sci.-Water Res. & Techn. 2018, (4)9 Pages: 1345-1360.*

Nemzetközi folyóiratba, közlésre benyújtott publikációk:

G. Rózsa, Á. Fazekas, M. Náfrádi, T. Alapi, K. Schrantz, L. Wojnárovits, T. Oppenländer, E. Takács Transformation Of Atrazine By Photolysis And Radiolysis: Kinetic Parameters, Intermediates And Economic Consideration Env. Sci. And Poll. Res.

G. Rózsa, M. Náfrádi, T. Alapi, K. Schrantz, L. Szabó, L. Wojnárovits, E. Takács, A. Tungler Photocatalytic Elimination Of Imidacloprid From Aqueous Solution: A Comparison With Photolysis And Radiolysis Appl. Catal. B: Environ.

6. Milyen akadályokat vagy problémákat érzékelt a projekt végrehajtása során?

A pályázat két éves időtartama alatt kétszer fogadtuk a német fél részéről Thomas Oppenländer 5-5 napra, és két alkalommal látogatott ki a magyar fél részéről a projektvezető (első évben Dr. Schrantz Krisztina, a második évben Dr. Alapi Tünde) a németországi partnerhez. Ugyanez vonatkozik a hallgatók utazási támogatására is. Az utazási támogatás azonban az útiköltségnek csupán a felét tette ki. A hallgatók számára tervezett 1-1 hónapos látogatások során mind Szegeden, mind Villingen-Scweningenben igen nehéz volt szállást biztosítani úgy, hogy annak költségét a megélhetés költségeivel együtt a hallgatók számára a pályázatban biztosított összeg fedezze.

A végrehajtás során a betervezett utazásokat nem tudtuk teljes mértékben teljesíteni, az első évben Rózsa Georgina terhesség miatt, Alapi Tünde műtét miatt nem tudta igénybe venni a támogatás nyújtotta lehetőséget. Rózsa Georgina PhD hallgató helyett így Náfrádi Máté PhD hallgató utazott. A második év elején Schrantz Krisztina munkahelyváltása miatt a projektvezető személye megváltozott. Mindez végül nem jelentett problémát a vállalt célok megvalósítása szempontjából. Mindkét esetben a személyi változást rugalmasan kezelte a német partner és a Tempus alapítvány is.

A szakmai célok megvalósítása szempontjából fennakadást jelentett, hogy a Xenon excimer lámpánk meghibásodott, nem tudtuk használni az első év után. A német partnerrel kialakított igen jó szakmai kapcsolatot jelzi, hogy Thomas Oppenländer ebben az esetben rendelkezésünkre bocsátotta a tulajdonában lévő Xenon excimer lámpát, hogy a vállaltakat teljesíteni tudjuk.

7. Mi a legjelentősebb szakmai eredmény, amit kiemelne a projekt együttműködés kapcsán?

Legjelentősebb szakmai eredményként az megjelent és a beküldésre előkészített két kéziratot tartom (C/5). E mellett szép számú prezentációval képviseltette magát a projekt a 2017-es és 2018-as ISAEP konferencián. A kapcsolat folytatásának biztosítása érdekében a két felsőoktatási intézmény között Erasmus szerződés kötött, ami lehetőséget teremt a további kapcsolattartásra. Véleményem szerint ez utóbbi is igen fontos eredmény a tudástranszfer további biztosítása szempontjából.

8. Van-e olyan javaslat, amivel módosítaná a pályázati felhívás és végrehajtás szempontjait a jövőre nézve?

A pályázati felhívás egyértelmű, a pályázat végrehajtása során a kapcsolattartó (Tempus) elérhető volt és kielégítően válaszolt a felmerülő kérdésekre.

Amennyiben lehetőség van erre, érdemes lenne a kiutazási költségeket megemelni, mivel a jelenlegi támogatás az utazási költségnek csupán egy részét fedezi.

- [1] Advanced Oxidation Processes for Water Treatment: Fundamentals and Applications, Ed.: Mihaela Stefan, 2017, IWA publishing
- [2] Photochemical Purification of Water and Air: Advanced Oxidation Processes (AOPs): Principles, Reaction Mechanisms, Reactor Concepts, Author: T. Oppenländer (2007), Wiley-VCH
- [3] M. Graymore, F. Stagnitti, G. Allinson, Impacts of atrazine in aquatic ecosystems. Environ. Int. 26 (2001) 483–495.
- [4] C.A. Morrissey, P. Mineau, J.H. Devries, F. Sanchez-Bayo, M. Liess, M.C. Cavallaro, K. Liber, Neonicotinoid contamination of global surface waters and associated risk to aquatic invertebrates: a review, Environ. Int., 74 (2015) 291–303.
- [5] M. Arias-Estévez, E. López-Periago, E. Martínez-Carballo, J. Simal-Gándara, J.-C. Mejuto, L. García-Río, The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources, Agriculture, Ecosystems and Environment, 123 (2008) 247–260.
- [6] J.R. Bolton, K.G. Bircher, W. Tumas, C.A. Tolman, Figure-of-merit for the technical development and application of advanced oxidation technologies for both electric- and solar-driven systems. Pure Appl. Chem. 73 (2001) 627–637.
- [7] G. Rózsa, Á. Fazekas, M. Náfrádi, T. Alapi, K. Schrantz, L. Wojnárovits, T. Oppenländer, E. Takács: Transformation of atrazine by photolysis and radiolysis: kinetic parameters, intermediates and economic consideration, Environmental Science and Pollution Research (közlésre benyújtva)
- [8] G. Rózsa, Á. Fazekas, T. Alapi, K. Schrantz, T. Oppenländer, E. Takács, L. Wojnárovits: Transformation of atrazin by different advanced oxidation processes, 23rd International Symposium on Analytical and Environmental Problems, Hungary, Szeged, October 9–10, 2017, ISBN: 978-963-306-563-1, oldal: 51–55. (konferencia kiadvány)
- [9] J Farkas, M.Náfrádi, T. Hlogyik, B. C. Pravda, K. Schrantz, K. Hernádi, T. Alapi: Comparison of advanced oxidation processes in the decomposition of diuron and monuron – efficiency, intermediates, electrical energy per order and the effect of various matrices, Env. Sci.-Wat Research & Techn. 2018, (4)9 Pages: 1345–1360.
- [10] G. Rózsa, M. Náfrádi, T. Alapi, K. Schrantz, L. Szabó, W. László, E. Takács, A. Tungler: Photocatalytic elimination of imidacloprid from aqueous solution: a comparison with photolysis and radiolysis, Appl. Cat. B (közlésre benyújtva)
- [11] L. Farkas, G. Peintler, T. Oppenländer, T. Alapi: Inhomogeneity of the 172 nm vuv light irradiated aqueous solutions, 24rd International Symposium on Analytical and Environmental Problems, Hungary, Szeged, October 8–9, 2017, ISBN: 978-963-306-623-2, oldal: 416–420. (konferencia kiadvány)
- [12] T. Hlogyik, M. Náfrádi, A. Rampal, S. Garg, K. Hernádi, I. Ábrahám, T. Alapi Heterogeneous photocatalysis of imidacloprid – the effect of reaction parameters 24rd International Symposium on Analytical and Environmental Problems, Hungary, Szeged, October 8–9, 2017, ISBN: 978-963-306-623-2, oldal: 290–294. (konferencia kiadvány)
- [13] M. Náfrádi, M. Molnár, K. Schrantz, K. Hernádi, T. Alapi Photocatalytic ozonation of monuron – effect of reaction parameters on the hydroxyl radical formation and monuron transformation 23rd International Symposium on Analytical and Environmental Problems, Hungary, Szeged, October 9–10, 2017, ISBN: 978-963-306-563-1, oldal: 75–79. (konferencia kiadvány)
- [14] D. Kiss, M. Náfrádi, K. Schrantz, T. Alapi Kumarin, mint potenciális aktinométer 185 nm hullámhosszúságú vuv fotolízisének vizsgálata 23rd International Symposium on Analytical and Environmental Problems, Hungary, Szeged, October 9–10, 2017, ISBN: 978-963-306-563-1, oldal: 75–79. (konferencia kiadvány)

Alapi Tünde
Dr. Alapi Tünde
Aláírás

Kelt: Szeged, 2018. 12. 07.