

DOKTORI (Ph.D.) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

**Vizek szerves szennyezőinek eltávolítására alkalmas adszorpciós
és kombinált módszerek kidolgozása és jellemzése**

Szabó Emese

**Témavezetők: Dr. Pap Zsolt tudományos munkatárs
Dr. Schrantz Krisztina adjunktus**

Környezettudományi Doktori Iskola



**Szegedi Tudományegyetem, Természettudományi és
Informatikai Kar, Környezetkémiai kutatócsoport**

**2015
Szeged**

Környezetünk védelme szempontjából nagyon fontos, hogy egyre növekvő energiaigényünk kielégítése a lehető legkisebb környezetszennyezéssel járjon együtt. Előtérbe kerül a megújuló és a geotermikus energia felhasználása. Magyarország termálvízbázisa európai viszonylatban is jelentős. Ez a termálvíz – ésszerű gazdálkodás és körültekintő kezelés mellett – energiaforrásként használható fel. A hazai termálvíz kutak kifolyó hőmérséklete 30-105 °C között változik. A hazánkban kitermelt termálvizek kis koncentrációban tartalmaznak szénhidrogéneket amelyek előfordulása és koncentrációja a víz hőmérsékletével és a kitermelés helyével is kapcsolatban van. A 80 °C-nál magasabb hőmérsékletű termáلكutak mintegy 80 %-a az Alföld déli részén található. Ezek a szerves anyagok – bár az eredeti kiindulási közegben nem szennyezők – a kiindulási közegtől eltérő befogadóba történő kibocsátás esetén környezeti problémákat válthatnak ki.

Kis koncentrációban jelen levő szerves vegyületek eltávolítására alkalmas a szennyezők adszorpciós megkötése (pl. agyagásványokkal, polialumínium-kloriddal vagy aktív szénnel), megfelelő hatékonyság elérése esetén ez az eljárás rendkívül gazdaságos. Alapvetően a már víztisztításban bevált adszorbensek, illetve a természetben előforduló, olcsó adszorbensek használata a cél. A természetben előforduló agyagásványok egy része adszorbensként jól használható, felületaktív anyaggal kezelve (organofilizált felületet kialakítva) többféle szerves szennyező jól köthető hozzá. Azonban a természetben előforduló, többkomponensű rendszerekben az egyes komponensek befolyásolhatják egymás eltávolíthatóságát.

Munkám célja, a termálvizekben is előforduló szerves vízszennyezők eltávolíthatóságának vizsgálata (különös tekintettel a fenol jellegű vegyületekre) adszorpciós, nagyhatékonyságú oxidációs módszerek és ezek kombinációja segítségével. Ennek

során célom volt olcsó, szervesetlen adszorbensek alkalmazása, amelyekkel kevésbé poláros szerves szennyezők eltávolítása is kivitelezhető. Ezt organofilizált adszorbensekkel van esély elérni. Célom volt az előzetesen organofilizált adszorbensnél sokkal olcsóbb *in situ* módszert kidolgozni. Adszorpciós vizsgálatokkal következtetéseket vontam le arra vonatkozóan, hogy:

i.) a kezelendő szennyezett vízben mely anyagok versengenek az adszorbens felületéért

ii.) több szerves szennyező együttes jelenléte hogyan befolyásolja (javítja/rontja) a másik eltávolíthatóságát így a gyakorlati alkalmazás szempontjából szolgáltatathat információkat. Tekintettel arra, hogy bizonyos vegyületek adszorpcióval nehezen távolíthatók el, szükséges megvizsgálni egy kombinált eljárás (adszorpció + nagyhatékonyságú oxidációs eljárás) alkalmazásának lehetőségét is. Adszorpciós kísérleteim egy részét ionmentes, más részét modell-, illetve valós termálvízben végeztem.

A kísérletek során az alábbi modellvegyületek eltávolíthatóságát vizsgáltam: metil narancs, indigó kármin, mint anionos karakterű festékek, timol, fenol valamint humát, mint a termálvízben gyakran előforduló vegyület.

A vizsgálatok során adszorbensként négy típusú bentonitot használtam. Kationcserélő kapacitásukat kihasználva a nátrium-ion formára hozott ásvány felületét különböző mértékben befedtem hexadecil-trimetil-ammónium ionnal. Ezt az organofilizálást elvégeztem szeparáltan az agyagásvánnyal, illetve a kezelés során, *in situ* módszerrel, amikor az előre, vízben duzzasztott Na-bentonit szuszpenziót adtam a kezelendő vízhez, majd rögtön ez után a szükséges mennyiségű hexadecil-trimetilammónium-bromidot (HTAB).

Az adszorpciós vizsgálatok egy részét elvégeztem, nagy bázicitású polialuminium kloriddal (Bopac) is, amelyhez anionos

polielektrolitot, illetve HTAB-t is adtam a koaguláció segítésére. Az adszorpciós kísérleteimet egy hat-keverőlapátos “jar test” (*Velp JLT6*) készülékben végeztem, amiben lehetőség van az adszorbens bekeverési idejének és a bekeverés fordulatszámának szabályozására. A nagyhatékonyságú oxidációs eljárások vizsgálatára egy, a kutatócsoportban tervezett, épített, ultraibolya/vákuum-ultraibolya fényforrással ellátott recirkulációs reaktort használtam, amelyben lehetőség volt a vizsgálatoknak megfelelően ózon előállítására, reagensek adagolására.

A modellszennyezők koncentrációját részben spektrofotometriásan, részben nagyhatékonyságú folyadékkromatográffal (HPLC) határoztam meg. Megvizsgáltam a kiszáritott adszorbensek szerkezetét és a HTAB beépülését röntgendiffrakcióval (XRD) illetve infravörös spektroszkópiával (IR).

A munkám során egy *in situ* egy lépésben készült agyagásvány alapú adszorbenst állítottam elő, amely hatékonyságát tekintve megelőzi az általánosan elterjedt előre organofilizált agyagásványok által elérhető eltávolítási hatékonyságot. Ezen a jobb eltávolítási hatékonyságon túl az *in situ* módszer mellett szól még az, hogy nem szükséges külön eljárás és energia befektetés az organofil felület kialakítására, hanem az adszorpcióval egy lépésben kialakítható.

Megállapítottam, hogy a nagyobb kationcsere kapacitású (Kunipia-F 1,15 mmol/g) agyagásvány használatával a vizsgált vegyület nagyobb hatékonysággal távolítható el az oldatból, mint a kisebb kationcsere kapacitással rendelkező (SPV-200 0,82 mmol/g) agyagásvány segítségével – a kationcsere kapacitás bármely vizsgált lefedettsége mellett.

A kísérletek másik részében az agyagásvány felületi töltéshelyeit 4 különböző polielektrolittal módosítottam. Az eredmények alapján egyértelműen megállapítható, hogy olcsó és könnyen kezelhető

agyagásvány alapú adszorbens segítségével az anionos karakterű vegyületek eltávolítása is lehetséges vizes oldatokból.

Egyedi szennyezőként vizsgálva a timol, a fenol és a nátrium-humát eltávolíthatóságát elmondható, hogy termálvizből az egyedi szennyezők eltávolíthatósága (58-21-98 %) egyértelműen magasabb, mint kicsiny sótartalmú vizekből.

Több szennyező jelenléte esetén az egyes vegyületek egymásra hatása is szerepet játszik az adszorpció alakulásában. Ezen kísérleteimben nátrium-humátot, mint általánosan előforduló, nem ártalmas szennyezőt használtam.

Megvizsgáltam a fenol lebonthatóságát különböző nagyhatékonyságú oxidációs eljárásokkal: UV sugárzás, UV/H₂O₂ kombináció, ózonos kezelés, valamint az UV/O₃kombináció. Megállapítottam, hogy a szennyező anyag lebontása ionmentes vízben az UV/H₂O₂ módszerrel, termálvízben pedig a két ózonos eljárással hatékonyabb. A határérték alá csökkentésig (90 %-os bomlásig, 10 mg/L fenol koncentrációból kiindulva) csak fele akkora energiát kell befektetni, mint a teljes lebontásig. A befektetett energia az UV/H₂O₂ módszer alkalmazásával 1,55 kJ, amíg az UV/O₃ módszer alkalmazásával 2,65 kJ az ionmentes vízben végzett bontás esetén. A termálvízben végzett bontások esetében a befektetett energia 3,06 kJ volt egyaránt a két leghatékonyabb módszerben (O₃ és UV/O₃)

Megállapítottam, hogy nagyhatékonyságú oxidációs eljárással való részleges bontás után a maradék fenol hatékonyan eltávolítható adszorpciós eljárással.

Új tudományos eredmények:

1, Egy lépéses (*in situ*) adszorpciós eljárást dolgoztam ki, amely hatékonyságban egyenértékű az előre elkészített adszorbenssel.

Az új módszer nagy előnye, hogy nem kell külön eljárással (munkaidőt és költséget ráfordítva) az adszorbent előre elkészíteni és a felhasználásig azt tárolni.

Kezelési mód	Kezelés után visszamaradt timol (TOC _T [#] , mg/L) HPLC	Szerves széntartalom változás ΔTOC _T (%) HPLC
timol oldat	10	0
M1-Kunipia-F-40	8,6	14,3
M1-Kunipia-F-60	7,7	22,7
M1-Kunipia-F-100	7,5	25,2
M2-Kunipia-F-40	8,7	13,4
M2-Kunipia-F-60	7,6	24,4
M2-Kunipia-F-100	6,4	36,1

[#] TOC_T: timol teljes szerves széntartalma

Előre organofilizált agyagásvány adszorbens (M1) és *in situ* készített organofil agyagásvány (M2) hatékonyságának

összehasonlításával megállapítható, hogy az azonos koncentrációjú, azonos mértékben organofilizált adszorbensek közül az *in situ*-val a kationcsere kapacitás 60 és 100 %-ának lefedésével jobb eltávolítási hatékonyság érhető el a vizsgált modellvegyületre (timol) nézve. *In situ* adszorbens esetén ez 24, illetve 36 %, míg az előre elkészített adszorbenssel 22 illetve 25 %.

2, Megállapítottam, hogy fenol típusú vegyületek is eltávolíthatók agyagásvány alapú adszorbens alkalmazásával. Az adszorbens hatékonysága befolyásolható, ha organofil kationnal fedjük le részlegesen vagy teljesen a kationcsere kapacitást.

A kis koncentrációban jelen levő (~ 10 mg/L), fenolindexszel mérhető vegyületeket timollal modellezve, a módszerek közötti különbségek könnyen kimutathatóak. A munkám során megállapítottam, hogy a nagyobb kationcsere kapacitású (Kunipia-F 1,15 mmol/g) agyagásvány használatával a vizsgált vegyület nagyobb százalékban távolítható el az oldatból, mint a kisebb kationcsere kapacitással rendelkező (SPV-200 0,82 mmol/g) agyagásvány segítségével – a kationcsere kapacitás bármely vizsgált lefedettsége mellett.

3, Kimutattam, hogy a termálvízben jelen levő ionok és a huminsav szerkezetű vegyületek a fenol típusú szerves szennyezőanyagok adszorpciójának hatékonyságát pozitív irányba befolyásolják.

Több szennyező együttes jelenléte esetén az egyes vegyületek különböző egymásra illetve egymás ellen hatása is szerepet játszik az adszorpció alakulásában. Nátrium–humát jelenlétében, ionmentes közegben mind a fenol (10 %), mind a timol (46 %) adszorpciója jobb, mint az egyedi szennyező esetén (ahol a

fenol 0, a timol 17 %-ban volt eltávolítható). Azonban ezzel együtt a nátrium-humát kevésbé eltávolítható lett (95 %-ról 82 %-ra esett vissza az értéke). Modell termálvízben vizsgálva a több szennyező együttes adszorpcióját, látható, hogy a fenol 5 %-ban, a timol 49 %-ban, a nátrium humát pedig 100 %-ban távolítható el.

Az eredmények tükrözik a humin anyagok jelenlétének a szerepét a fenol jellegű vegyületek eltávolíthatóságában:

- Ionmentes vízben a jelenlévő nátrium-humát funkciós csoportjai szabadon maradnak – így ezekkel az agyagásvány töltéssel rendelkező (a tenzid által nem, vagy egyenetlenül kitöltött) felületi helyeihez kapcsolódik. Arányosan nagyobb részben maradnak a nátrium-humátnak – az oldatban levő más vegyületek számára elérhető – szabad, kevésbé poláros részei, amelyekhez további kevésbé poláros vegyületek (pl. fenol jellegű vegyületek) tudnak kapcsolódni.
- Nagyobb ionerősséggel rendelkező (oldott sókat tartalmazó) vízben a nátrium-humát funkciós csoportjait az oldatban levő ionok, egyéb poláros, vagy polarizálható molekulák körülveszik – ezzel viszonylagos töltésemlegesítés jön létre ezeken a helyeken. Így a nátrium-humát csak a poláros részeivel tud az agyagásványhoz kapcsolódni – amely azonban csak az organofil felületen történhet – ezzel mintegy leszorítva onnan a kisebb affinitással rendelkező molekulákat (pl. fenol). A poláros, vagy könnyebben polarizálható molekulák is kötődhetnek a nátrium-humát víz felé forduló funkciós csoportjaihoz, ezáltal ezek eltávolítási hatékonyságában nem várható lényeges visszaesés. Ezeket az interakciókat az ipari módszerek alkalmazásakor mindenképpen érdemes figyelembe venni.

4.A polielektrolitok jelentős szerepet játszanak az adszorpció töltésviszonyainak kialakításában, ez által hatással vannak a szerves molekulák adszorpciójára polialumínium-klorid (PAC) alapú adszorbensen.

Bopac nagy bázicitású polialumínium klorid ($c_{\text{Bopac}} = 80$ mg/L) és nagy molekulatömegű anionos polielektrolit ($c_{\text{PE}} = 0\text{-}3\text{-}5\text{-}10\text{-}50\text{-}100$ mg/L) segítségével készült adszorbens. A kísérletsorozat alapján megállapítható, hogy a polielektrolit koncentráció emelésével mindkét vizsgált vegyület (timol, nátrium-humát) eltávolíthatósága növekszik (átlagosan az 50 mg/L polielektrolit koncentrációig). Ezt az értéket meghaladva, a polielektrolit többlet jelenlétével az adszorbensen kialakuló felületi töltések száma csökken, a polielektrolit pozitív töltései által a felület körüli diffúziós réteg telítésével.

Egyedi szennyezőként a timol mintegy 25 %-ban, a Na-humát 28 %-ban távolítható el ionmentes vízből, amikor az adszorbensként 80 mg/L Bopac-ot és 50 mg/L polielektrolitot használtam. Modell termálvízben az eredmény mindkét szennyezőre nézve jobb (timol 47 % és Na-humát 95 %-os eltávolíthatóság).

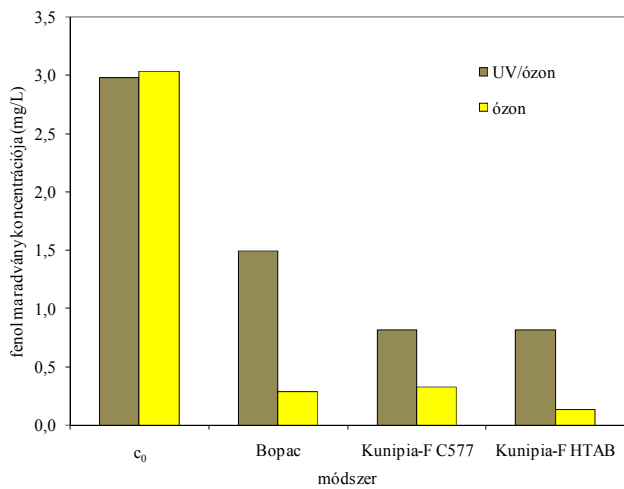
Több szennyező együttes jelenléte esetén érdekes inverzió figyelhető meg ionmentes vízben. Amíg 0-3-5-10 és 100 mg/L polielektrolit adagolása mellett mindkét vegyület eltávolíthatósága nagyon csekély (timol 0-21 %; nátrium-humát 7-27 %), addig 50 mg/L polielektrolit koncentráció alkalmazása esetén határozottan kedvező eredményt kapunk (timol 70 %; Na-humát 89 %). Ennek oka az lehet, hogy - mivel a víz egyéb ionokat nem tartalmaz - az alacsonyabb polielektrolit koncentráció nem elégséges a részecskék (PAC + a rajta megkötődött modellszennyező) közötti taszítóerő megszüntetéséhez. Az adott körülményeknek megfelelő optimális polielektrolit koncentráció megtalálásával a PAC és a rajta megkötődött szennyezők rövid idő alatt pelyhekké tudnak

tömörülni, így az oldatból nagy hatékonysággal eltávolíthatók. Az optimális polielektrolit koncentráció felett – az oldatban kialakuló töltésviszonyok miatt - azonban már ismét csak nagyon apró flokkok alakulnak ki, amelyek nem ülepednek. Ezt alátámasztja a modell termálvízben végzett kísérlet is. Az oldatban jelen levő ionok miatt a töltésviszonyok kis mértékben megváltoznak. A vizsgált tartományban továbbra is az 50 mg / L polielektrolit adagolása vezet a legjobb eredményre, ami timol tekintetében kis mértékben elmarad az ionmentes vízben – ugyanezen adszorbens paraméterek mellett – kapott eredménytől. A timol modell termálvízből 55 %-ban, a nátrium-humát pedig 95 %-ban volt eltávolítható – a már említett 50 mg / L polielektrolit koncentráció mellett.

5, Nagyhatékonyságú oxidációs eljárások (O_3 , UV/ O_3) és organofilizált agyagásványokkal való adszorpció szekvenciálisan szinergikus alkalmazásával a fenol típusú szennyezők hatékonyan eltávolíthatók termálvizekből.

A kombinált módszert alkalmazó kísérletek második csoportjában a nagyhatékonyságú oxidációval kezelt oldatok deríthetőségét és a maradvány adszorpció eltávolíthatóságát vizsgáltam. A már említett két módszer (O_3 ; UV/ O_3) segítségével az oldatok kiindulási (10 mg/L) fenol tartalmát részlegesen elbontottam, majd a visszamaradt fenol derítését végeztem három adszorbenssel.

Amint az alábbi ábrán látható, a maradvány fenol adszorpció eltávolítása megfelelő hatékonysággal elvégezhető, a határértéknek megfelelően ~1 mg/L-re csökkenthető a maradvány fenol koncentrációja.



Publikációs tevékenység (MTMT 10014733)

A disszertáció témájához, a fokozat megszerzéséhez közvetlenül kapcsolódó cikkek:

1, Emese Szabó, Krisztina Vajda, Gábor Veréb, András Dombi, Károly Mogyorósi, Imre Ábrahám and Marcell Májer: Removal of organic pollutants in model water and thermal wastewater using clay minerals *Journal of Environmental Science and Health, Part A* 46, (2011) 1346–1356 IF: 1,19 hivatkozás 3(2)

2, Šojić, D., Despotović, V., Orčić, D., **Szabó, E.,** Arany, E., Armaković, S., Illés, E., Gajda-Schranz, K., Dombi, A., Alapi, T., Sajben-Nagy, E., Palágyi, A., Vágvölgyi, C., Manczinger, L., Bjelica, L., Abramović, B.: Degradation of thiamethoxam and metoprolol by UV, O₃ and UV/O₃ hybrid processes Kinetics, degradation intermediates and toxicity: *Journal of Hydrology* volume 472-473, issue, year 2012, pp. 314 – 327 IF: 2,964 hivatkozás 10 (9)

3, E. Szabó, Zs. Pap, A. Dombi, K. Hernádi, L. Baia, G. Simon: Important aspects on the removal of humic acid and phenolic compounds with clay minerals. “Synergism provided by the pollutants, efficiency given by the media” *Water Air Soil Pollution* 225 2014: 1888 IF: 1,685 hivatkozás 1 (1)

4, Emese Szabó, Zsolt Pap, Gergő Simon, András Dombi, Lucian Baia, Klára Hernádi: New insights on the simultaneous removal by adsorption on organoclays of humic acid and phenol from thermal waters, *Water* Manuscript ID: water-98595 submitted 2015 augusztus

Könyvfejezetek:

1, Szabó Emese, Veréb Gábor, Kmetykó Ákos, Mogyorósi Károly
Dombi András: Szerves szennyezők eltávolítása ipari és
termálvizekből adszorpciós módszerekkel *Dunaiújvárosi Főiskola
Kiadása*2009.ISSN 1586-8567

2, Szabó Emese, Veréb Gábor, Kmetykó Ákos, Mogyorósi Károly,
Dombi András,
Vizek szerves szennyezőinek eltávolítása nagyhatékonyságú
oxidációs módszerekkel Removal of organic contaminants of
Waters by advanced oxidation Processes, 103-116
InnoGeo Kft. Szeged, 2010. ISBN 978-963-06-9621-0

3, Szabó Emese, Dombi András, Gajdáné Schrantz Krisztina,
Mogyorósi Károly
Fenol bontása különböző nagyhatékonyságú oxidációs
módszerekkel kezeletlen és adszorpciós módszerekkel előkezelt
termálvízben
InnoGeo Kft. Szeged, 2012 ISBN 978-963-89689-0-6

4, E. Szabó, K. Vajda, G. Veréb, A. Dombi, K. Mogyorósi, I.
Ábrahám, M. Májer
Removal of organic pollutants in model water and thermal
wastewater using clay minerals
InnoGeo Kft. Szeged, 2012 ISBN 978-963-89689-0-6

Konferencia részvétel:

Szabó Emese, Veréb Gábor, Kmetykó Ákos, Mogyorósi Károly
Dombi András: Szerves szennyezők eltávolítása ipari és

termálvizekből adszorpciós módszerekkel *A Magyar Tudomány Hete*
Dunaújváros 2009 (előadás).

I. Ábrahám, A. Dombi, M. Májer, K. Mogyorósi, **E. Szabó**, K. Vajda, G. Veréb Removal and analysis of organic pollutants in industrial waste water and thermal water
ISEAC 36 Rome 2010. (poszter)

I. Ábrahám, A. Dombi, M. Májer, K. Mogyorósi, K. Gajda-Schranz, **E. Szabó**, K. Vajda, G. Veréb Removal of organic pollutants from thermal water by adsorption-coagulation methods and advanced oxidation processes *ISEAC 36 Rome 2010.* (poszter)

Emese Szabó, András Dombi, Krisztina Gajda-Schranz, Károly Mogyorósi, Gergő Simon Removal of phenol from pre-treated and raw thermal water via different AOP methods
Photocatalytic and Advanced Oxidation Technologies for Treatment of Water, Air, Soil and Surfaces Gdańsk, Poland, July 4-8. 2011.
(poszter)

Szabó Emese, Dombi András, Mogyorósi Károly, Schranz Krisztina Szerves vízszennyezők eltávolítása adszorpciós módszerekkel és nagyhatékonyságú oxidációs eljárásokkal *KAT*
2011. Október 5-7. Sümeg (előadás)

Emese Szabó, András Dombi, Krisztina Gajda-Schranz, Károly Mogyorósi Removal of phenol from thermal water via different Advanced Oxidation Processes
IPA Workshop Szeged, 2011. december 01. (előadás)

A disszertáció témájához közvetlenül nem kapcsolódó

Cikk és könyvfejezet:

Illés, E., **Szabó, E.**, Takács, E., Wojnárovits, L., Dombi, A., Gajda-Schranz, K., 2014. Ketoprofen removal by O3 and O3/UV processes: Kinetics, transformation products and ecotoxicity. *Sci. Total Environ.*, 472, 178-184 IF = 3,26 Hivatkozás: 0

Krisztina Gajda-Schranz, Eszter Arany, Erzsébet Illés, **Emese Szabó**, Zsolt Pap, Erzsébet Takács, László Wojnárovits, Advanced Oxidation Processes for Ibuprofen Removal and Ecotoxicological Risk Assessment of Degradation Intermediates Ibuprofen: *Clinical Pharmacology*, Medical Uses and Adverse Effectspp. 159-232, 2013, ISBN: 978-1-62618-659-0

Konferencia részvétel:

E. Illés, R. Szabó, **E. Szabó**, K. Gajda-Schranz, A. Dombi
Influence of methanol as hydroxyl radical scavenger on the photolytic degradation of ibuprofen and ketoprofen *XXIII. IUPAC Symposium on Photochemistry*, Ferrara, Italy, July 11th-16th, 2010.

Rita Szabó, Zsófia Lénárt, **Szabó Emese**, Dr. András Dombi,
Dr. Krisztina Gajda-Schranz The role of radicals in the degradation of ketoprofen
A Magyar Tudomány Hete Dunaujváros 2010,

A. Dombi, K. Gajda-Schranz, E. Illés, **E. Szabó** Ecotoxicity of ketoprofen degradation products *ISEAC 36* Rome 2010. Oral presentation (előadás)

Dombi András, Gajdáné Schrantz Krisztina, Illés Erzsébet, **Szabó Emese**, A ketoprofen bomlástermékeinek toxicitása, *MKE I. Nemzeti Konferencia, Sopron, 2011. máj. 22-25.* (előadás)

András Dombi, Krisztina Gajda-Schrantz, Erzsébet Illés, **Emese Szabó**, Ecotoxicity of ketoprofen degradation products formed during ozonization and O₃/UV combined method, *IPA-HU-SRB Workshop, Hungary, Szeged, 1-2. december 2011.*(előadás)

Abramović B. Alapi T. Arany E. Beszédes S. Bjelica L. Dalmacija M. Despotović V. Dombi A. Farkas J. Gajda-Schrantz K. Guzsvany V. Illés E. Kertész Sz. Kler S. Kmetykó Á. Kredics L. László Zs. Manczinger L. Mazellier P. Mogyorósi K. Orčić D. Pap Zs. Rajjić L. **Szabó E.** Szabó R. Sojić D. Vágvolgyi Cs. Vajda K. Veréb G. Optimization of cost effective and environmentally friendly procedures for treatment of regional water resources *IPA-HU-SRB Workshop, Hungary, Szeged, 1-2. december 2011.*(előadás)

Arany Eszter, Illés Erzsébet, Farkas János, **Szabó Emese**, Alapi Tünde, Gajdáné Schrantz Krisztina, Dombi András, Takács Erzsébet, Wojnárovits László, Szerves mikroszennyezők bontása fotolízissal és radiolízissal, *Környezetkémiai Szimpózium, Mátraháza, 2012. okt. 11-12.* (előadás)

Dombi András, Arany Eszter, Illés Erzsébet, Farkas János, Karácsonyi Éva, Kmetykó Ákos, Pap Zsolt, **Szabó Emese**, Vajda Krisztina, Veréb Gábor, Alapi Tünde, Schrantz Krisztina, Hernádi Klára, Takács Erzsébet, Wojnárovits László: Nagyhatékonyságú oxidációs eljárások biológiai és kémiai szennyezők eltávolítására *Környezetkémiai Szimpózium, Mátraháza, 2012. okt. 11-12.* (előadás)