

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

**RADIOLÍZIS ÉS EGYÉB NAGYHATÉKONYSÁGÚ OXIDÁCIÓS  
ELJÁRÁSOK ALKALMAZÁSA NEM-SZTEROID  
GYULLADÁSCSÖKKENTŐK BONTÁSÁRA VIZES OLDATOKBAN**

**Illés Erzsébet**

Témavezető: Dr. Takács Erzsébet, MTA doktora

Dr. Schrantz Krisztina, PhD, egyetemi adjunktus

Környezettudományi Doktori Iskola

Szegedi Tudományegyetem, Természettudományi és Informatikai Kar, Kémiai  
Tanszékcsoport, Környezetkémiai Kutatócsoport



Magyar Tudományos Akadémia, Energiatudományi Kutatóközpont, Sugárkémiai  
Laboratórium



Szeged

2014

## Bevezetés és célkitűzések

A szennyezők, főleg a szerves szennyezők eltávolításában az esetek döntő részében, a biológiai módszerek kielégítő hatékonyságúak és nagyon gazdaságosak. Ezekben olyan oxidációs eljárásról beszélhetünk, ahol a mikroorganizmusok környezeti hőmérsékleten végzik a szennyezők elégetését. Vannak azonban olyan ellenálló szennyező anyagok, melyek a mikroorganizmusok által nem lebonthatóak, s esetenként még azok elpusztulását is okozhatják. Ezért a hagyományos szennyvíztisztítási eljárásokkal ezen komponensek nem távolíthatók el teljes mértékben, így alternatív megoldást kell találni elbontásukra, hogy a természetes befogadókba (folyókba, tavakba) minél kisebb mennyiségben kerüljenek ki. A gyógyszerhatóanyagok közül a nem-szteroid gyulladáscsökkentők a nagymértékű felhasználásuk és/vagy a nagy ellenálló képességük miatt egyre nagyobb mennyiségben kerülnek a szennyvizeinkbe. A szennyvizekből a nem 100%-os lebontási hatásfok miatt ezek a nyomnyi mennyiségű szennyező anyagok bekerülnek a természetes vizeinkbe, ahol ugyan nagyon kis koncentrációban vannak jelen, azonban hosszú távú hatásuk az ökoszisztémára eddig még ismeretlen. Ígéretesnek bizonyult a hagyományos tisztítási módszerek kombinálása különböző nagyhatékonyságú oxidációs eljárásokkal (angolul: Advanced Oxidation Processes, AOPs). Ezen módszerek nagy reakciókészségű gyökök, főleg hidroxilgyökök képződésén alapulnak, melyek reaktív részecskéként vesznek részt a lebontási folyamatokban.

Napjainkban nagyon elterjedtek az ózonon alapuló eljárások, melyeket a hatékonyság növelése érdekében gyakran hidrogén-peroxiddal és/vagy ultraibolya fénnel kombinálnak. Egyre ismertebbek a heterogén fotokatalitikus eljárások, melyek félvezető oxidok fotoaktivitásán alapulnak. Az elektromágneses sugárzás felhasználásával reaktív gyököket állíthatunk elő közvetlenül ultraibolya és vákuum-ultraibolya fotolízissel vagy radiolízissel.

A nagyhatékonyságú oxidációs eljárásokat széles körben alkalmazzák a vízkezelési technológiákban, míg a lejátszódó kémiai folyamatokról és reakciókinetikai jellemzőikről még hiányosak az ismeretek. Az eljárások tervezéséhez és megfelelő üzemeltetéséhez azonban ezek az ismeretek szükségesek, így felderítésükre intenzív kutatások folynak.

Vizsgálataink célja mechanizmus feltárás és a különböző nagyhatékonyságú oxidációs eljárások hatékonyságának összehasonlítása a szennyvizeinkben nyomnyi mennyiségben megtalálható gyulladáscsökkentők bontásában. A vizsgált vegyületeim a közismert ibuprofen (IBP) és ketoprofen (KET) nem-szteroid típusú gyulladáscsökkentők, melyek ellenállóak a

hagyományos szennyvíztisztítással szemben. Ennek során összehasonlítjuk az ózonozás, UV fotolízissel kombinált ózonozás és a nagyenergiájú ionizáló sugárzás (radiolízis) hatását a két molekula példáján. Meghatározzuk a kezelések hatékonyságát, és javaslatot teszünk ennek feltételezett okára. Vizsgálataink során mérjük az ózonozás és az O<sub>3</sub>/UV kezelés során a bomlási sebességi együtthatókat, összehasonlítjuk a bomlási mechanizmusokat, figyelembe véve a két molekula szerkezete közötti hasonlóságot, illetve különbséget.

Impulzusradiolízis és a hozzá csatolt kinetikus spektrofotometriás detektáló rendszer segítségével meghatározzuk az IBP, illetve a KET és a reaktív gyökök ( $\bullet\text{OH}$ ,  $\text{H}\bullet$  és  $e_{\text{aq}}^-$ ) reakciói során képződő elsődleges közttermékeket.

Különböző reakciókörülmények (N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, levegő, N<sub>2</sub> + *terc*-butanol) alkalmazásával a vízből keletkező reaktív részecskék reakcióit külön-külön vizsgáljuk, mellyel a bontásban játszott szerepük meghatározása válhat lehetővé.

Kinetikai mérésekkel meghatározzuk a  $\bullet\text{OH}$ ,  $\text{H}\bullet$  és a  $e_{\text{aq}}^-$  reakciójának sebességi együtthatóját IBP-nel és KET-nel, ezzel pótolva az irodalmi adatok hiányosságait és megcáfolva vagy megerősítve az irodalomban megtalálható sokféle eredményt.

Vizsgálataink célja volt  $\bullet\text{OH}$  és a  $e_{\text{aq}}^-$  támadási helyeinek meghatározása az IBP és a KET molekulán, mellyel következtetni lehet hasonló szerves szennyező vegyületek reakcióira is.

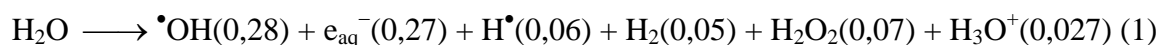
Céljaink között szerepelt a különböző kezelések során keletkező bomlástermékek detektálása és azonosítása, szerkezetük meghatározásához HPLC-MS alkalmazásával.

A vizsgált vegyületeink toxikusak, ezért vizsgáljuk a híg vizes oldataik akkut toxicitásának változását a kezelések során különböző tesztorganizmusok, *Pseudokirchneriella subcapitata* algatenyészet, *Daphnia magna* zooplankton és *Vibrio fischeri* lumineszcens baktériumok toxicitási tesztjeivel ISO standardok alapján.

## Alkalmazott anyagok és módszerek

A ketoprofen, ibuprofen, illetve a toxicitás vizsgálatoknál alkalmazott tesztorganizmusainknak megfelelő pH beállításához felhasznált HCl-oldatot és a NaOH-oldatot a Sigma-Aldrich Zrt. és a VWR Kft. forgalmazta. Az oldatok elkészítéséhez ultratiszta vizet alkalmaztunk (18 M $\Omega$  cm, Millipore Synergy185 készülék). A kísérleteket szobahőmérsékleten hajtottuk végre. A kezelt mintákat UV-látható spektrofotométerrel, nagyhatékonyságú folyadékkromatográfiás (HPLC) elválasztás után UV vagy tömegspektrometriás detektálással, teljes szerves széntartalom vagy kémiai oxigénigény mérésekkel vizsgáltuk. Az elválasztáshoz híg ecetsav-oldat és acetonitril különböző arányú eluenselegyt használtuk. A degradáció mértékét diódasoros detektorral követtük a ketoprofen esetében 260 nm-en, az ibuprofen esetében pedig 220 és 260 nm-en, és tömegspektrométerrel ESI ionizációval. A kémiai oxigénigény méréseket ISO Standard 6060:1989 alapján végeztük HACH LANGE KOI készüléken. A teljes szerves széntartalmat Analytik Jena berendezéssel mértük. A célmolekulánk és a képződött bomlástermékek toxikus hatásának változását három tesztorganizmus, *Pseudokirchneriella subcapitata* (egykori nevén *Selenastrum capricornutum*) mikroalgatenyészet, *Daphnia magna* zooplankton és *Vibrio fischeri* lumineszcens baktérium standard toxicitási tesztjeivel vizsgáltuk.

A víz radiolízise során a következő (1) egyenlet alapján megoszló tranziens és stabil termékek keletkeznek.



Ahhoz, hogy ezeknek a reaktív köztitermékeknek ( $\bullet\text{OH}$ ,  $e_{\text{aq}}^-$  és  $\text{H}\bullet$ ) a reakcióit külön-külön vizsgálhassuk, különböző adalékokat és technikákat kell alkalmaznunk.  $\text{N}_2\text{O}$  gázzal telített oldatokban, a hidratált elektron  $e$  gázzal történő reakciója miatt, a bontási folyamatokban résztvevő gyökök a  $\bullet\text{OH}$  és a  $\text{H}\bullet$ . A ketoprofen hidratált elektronnal való reakcióját  $\text{N}_2$  gázzal telített, *tert*-butanol tartalmazó oldatokban vizsgálhatjuk. A hidrogén atom pH 4 felett csak kis mértékben járul hozzá a célmolekulánk bontásához, ezért hatását pH 3,5-nél tanulmányoztuk.

### Ózonozás és $\text{O}_3/\text{UV}$ kombinált kezelés

Ózonos kezelést alkalmaztam már a diplomamunkámban is a KET lebontására, és ezeket a kísérleteket folytattam tovább és egészítettem ki a doktori munkámban. A ózonos mérések során az ózonizáló reaktort, melyet a kutatócsoportunk tervezett, minden alkalommal foszfát

pufferben (pH 8) készített azonos térfogatú ( $300 \text{ cm}^3$ ) oldattal töltöttük fel, amelyet perisztaltikus pumpa segítségével folyamatosan keringettünk. A kisnyomású higanygőzlámpa nagy tisztaságú kvarc búrájának köszönhetően a  $254 \text{ nm}$  hullámhosszúságú fény mellett átengedi a  $185 \text{ nm}$ -es fényt is. A lámpa a kettősfalú, vízűtéses kísérleti berendezés közepén helyezkedett el egy belső burában. Oxigén gázt vezettünk a lámpa és a lámpát körülvevő belső búra közti térbe. Az ózont, melyet fotokémiai úton állítottuk elő oxigén gázból ( $c_{\text{O}_3, \text{gázfázis}} = 3,50 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$ ), az oldatunkon keresztül buborékolattuk ( $c_{\text{O}_3, \text{folyadékfázis}} = 4,94 \times 10^{-6} \text{ mol dm}^{-3}$ ). Attól függően, hogy milyen belső búra van a kísérleti berendezésben, vizsgálhatjuk a vegyületeink ózonozását (perforált üveg búra) vagy ózon és UV fotolízis kettős hatását (perforált kvarc búra). Ily módon (azonos geometriai paraméterek mellett), ugyanazt a fényforrást használva összehasonlíthatóvá válik a kétféle módszer hatékonysága.

### ***Impulzusradiolízis***

A sugárzásos technika jellemzője, hogy a végbemenő folyamatok mechanizmusának vizsgálatára, a közttermékek megfigyelésére saját módszerrel rendelkezik, az impulzusradiolízissel.

Mivel azonos, vagy hasonló közttermékek jönnek létre több nagyhatékonyságú oxidációs eljárásnál is, a radiolízises vizsgálatok kinetikai adatokat, mechanizmus elképzeléseket szolgáltathatnak más nagyhatékonyságú oxidációs eljárások számára is.

Az impulzusradiolízis kísérletekhez sugárforrásként az MTA Energiatudományi Kutatóközpont Sugárkémiai Laboratóriumának  $4 \text{ MeV}$ -os TESLA LINAC LPR-4 típusú elektrongyorsítóját alkalmaztuk. Ehhez kinetikus spektrofotometriás detektáló rendszer csatlakozik, mely lehetővé teszi a közttermékek (gyökök) koncentrációjának követését, nagy időfelbontással. Az elektrongyorsító  $800$  és  $2500 \text{ ns}$ -os időtartamú impulzusok kibocsátására képes. Berendezésünk a közttermékek vizsgálatát a mikroszekundumos-milliszekundumos időskálán teszi lehetővé. A dózis/impulzus érték a  $10$ - $300 \text{ Gy}$  tartományban változtatható, a pontos értéket a mérések előtt tiocianát dozimetriával állapítottuk meg.

Az analizáló fény és a gyorsított elektronok pályája a mintatartóban keresztezi egymást. Az oldat folyamatosan áramlik a cellán keresztül egy perisztaltikus pumpa segítségével. A kinetikus spektrofotometriás mérésekkel a közttermékek abszorbanciájának időfüggését követjük nyomon. Meghatározott időpillanathoz rendelhető fényelnyelés és a közttermékek koncentrációja között a Lambert-Beer törvény szerinti összefüggés áll fenn. A megfigyelés hullámhossza az UV-látható tartományban változtatható ( $280$ – $600 \text{ nm}$ ). Különböző

hullámhosszon (általában 5 nm-ként) felvett kinetikai görbékből előállítható a köztitermék tranziens abszorpciós spektruma.

### ***Gammaradiolízis***

A végtermékek vizsgálatához  $^{60}\text{Co}$  berendezés felhasználásával,  $5 \text{ kGy h}^{-1}$  dózisteljesítményű folyamatos  $\gamma$ -sugárzást alkalmaztunk. A gammaradiolízis kísérletek esetén az elnyelt dózis meghatározását alkoholos klórbenzol dozimetriával végeztük.

## Új tudományos eredmények

- 1. Ózonos kezelés során az ibuprofen és a ketoprofen lebontásában is kis szerepe van a közvetlen ózonos reakcióknak.**

Egyik molekula sem rendelkezik erős elektronküldő csoportokkal, így a közvetlen ózonos reakcióknak kis szerepe van a lebontásukban. A bomlás főképp közvetett úton, az ózon bomlástermékein keresztül játszódik le. A kezelés során keletkező  $\cdot\text{OH}$  meghatározó szerepet tölt be mindkét anyag bontásában. Az ibuprofen kisebb sebességgel bomlik ózonos kezelés során, mint a ketoprofen. (1. közlemény)

- 2.  $\text{O}_3/\text{UV}$  kombinált kezeléssel a ketoprofen nagyobb sebességgel bontható, mint az ibuprofen.**

Az IBP és a KET kombinált  $\text{O}_3/\text{UV}$  kezelése során meghatározott bomlási sebességek között egy nagyságrend különbség van. A KET bontásának hatékonysága a kombinált kezeléssel az ózonozáshoz képest többszöröződött. Az IBP bontásának sebessége az UV fényel csak kisebb mértékben növekedett. A növekedés elsősorban a KET jelentősebb fajlagos fényelnyelésével értelmezhető. A KET  $\text{O}_3/\text{UV}$  bontásához a molekula szerkezetéből adódóan legnagyobb mértékben a fotoionizáció járul hozzá, kisebb mértékben a  $\cdot\text{OH}$  és legkisebb mértékben a molekuláris ózon. Az IBP molekula fotoionizációja nem számottevő, így a molekula lebontása hidroxilgyökön keresztül érhető el a leghatékonyabban. (1. közlemény)

- 3. A vizes oldatok radiolízisekor az ibuprofen bontása jóval hatékonyabb oxidáló, mint redukáló körülmények közt.**

Az IBP és a KET folyamatos radiolízissel történő kezelése során  $\text{N}_2\text{O}$ -dal, levegővel (oxidáló körülmények) vagy  $\text{N}_2$ -nel telített oldatok esetén (oxidáló/redukáló) csak csekély hatékonyságbeli különbséget tapasztaltunk.  $\text{N}_2$ -nel telített *terc*-butanolt tartalmazó oldatok esetén (redukáló) azonban, amikor a  $e_{\text{aq}}^-$  reakcióját vizsgáltuk, a KET lebontása jóval gyorsabbnak bizonyult, mint az IBP-é. Ennek oka, hogy a  $e_{\text{aq}}^-$  a KET-t és az IBP-t más-más funkciós csoportnál támadja, a KET-t a karbonil oxigéne, az IBP-t a karboxil oxigéne. (2. közlemény)

- 4. Az ibuprofen és a ketoprofen oldatok toxikus hatása radiolízis során hasonló mértékben csökken.**

Ezt a *Daphnia magna* és *Vibrio fischeri* tesztorganizmusokon végzett kísérletekkel bizonyítottuk. A toxicitás az aromás bomlástermékek koncentrációjának növekedésével nőtt, majd azok bomlásával csökkent. A *Daphnia magna* kevésbé volt érzékeny az aromás bomlástermékekre. Ezen élőlényekre kisebb toxikus hatást fejtett ki az IBP, mint a KET. (2. közlemény)

**5. A radiolízis kezdeti szakaszában, a  $\bullet\text{OH}$  reakciójában az ibuprofenből és a ketoprofenből is főként gyűrűn hidroxilált bomlástermékek keletkeznek.**

Megfigyelésünk ellentétben áll a legtöbb, a témával kapcsolatos közlemény állításával, melyekben a szerzők a hidrogén elvonással járó reakciót valószínűsítik. Az egyszeresen és kétszeresen hidroxilált termékek mellett találtunk az irodalomban nem említett háromszorosan és négyszeresen hidroxilált bomlástermékeket is.

Impulzusradiolízis méréseink is azt igazolják, hogy a  $\bullet\text{OH}$  mindkét molekula esetében elsősorban az aromás gyűrűt támadja. Ezt a köztitermékek moláris fényelnyelési együtthatóival megfelelően alá lehet támasztani. Az IBP és a KET  $\bullet\text{OH}$  reakcióinak sebességi együtthatói viszonylag messze vannak a diffúzió kontrollált értéktől ( $1,1 \times 10^{10}$ ), mert egyik molekula sem rendelkezik olyan elektrondonor csoporttal, ami igazán kedvezne a  $\bullet\text{OH}$  reakciójának. A KET karbonilcsoportot is tartalmaz, melyben a szénatom erősen elektrofil. Ez a KET és a  $\bullet\text{OH}$  sebességi együtthatóját még csökkenti. (2. és 3. közlemény)

*A KET és az IBP impulzusradiolízissel meghatározott sebességi együtthatói a  $\bullet\text{OH}$ -kel,  $e_{\text{aq}}^-$ -nal és a  $\text{H}^\bullet$ -mal (\*-gal jelölt irodalmi érték benzofenon esetében)*

Reaktáns	Sebességi együttható ( $\text{mol}^{-1} \text{dm}^3 \text{s}^{-1}$ )	
	KET	IBP
$\bullet\text{OH}$	$5,5 \times 10^9$	$7,0 \times 10^9$
$e_{\text{aq}}^-$	$2,2 \times 10^{10}$	$8,5 \times 10^9$
$\text{H}^\bullet$	$\sim 6,0 \times 10^9^*$	$4,0 \times 10^9$

**6. A  $e_{\text{aq}}^-$  reakciójában sem a ketoprofen, sem az ibuprofen esetében nem találtunk aromás végtermékeket.**

A  $e_{\text{aq}}^-$  reakciójában keletkező köztitermékek könnyen rekombinálódnak. Ez látható az IBP és a KET folyamatos radiolízise során felvett fényelnyelési spektrumain is, melyeken visszamaradó abszorbancia nélkül csökken ugyan a fényelnyelés a célmolekuláinkra jellemző fényelnyelési sávban, de jóval lassabban, mint a többi reakciókörülmény



esetében. A  $e_{aq}^-$  a KET-nel a karbonilcsoport szénatomjánál, az IBP-nel pedig a karboxilcsoport szénatomjánál reagál. A karbonilcsoport nagy elektronszívó ereje miatt a  $e_{aq}^-$  KET-t ott támadja és nem a karboxilcsoportot, és ezzel egy ketil-gyök-aniont képez. Az anion protonálódással ketil gyökké alakul át. A köztitermékek tranziens spektrumának intenzitásán és a reakciósebességi együtthatókon is látszott, hogy a  $e_{aq}^-$  az IBP-t jóval kisebb hatékonysággal tudja megtámadni, mint a KET-t. (2. és 3. közlemény)

#### **7. A ketoprofen ismert fényérzékenyítő hatása a fotoionizációnak köszönhető.**

A KET és az IBP közös oldatban történő radiolízise során nem tapasztaltunk a KET részéről bontás sebességét fokozó folyamatot. Ez bizonyíték arra, hogy a KET fényérzékenyítő hatása, az irodalomban is leírt fotoionizációjának köszönhető, a molekula könnyen gerjeszthető karbonilcsoportja miatt, nem pedig egyéb gyökös (pl.:  $\bullet$ OH-ös) reakciónak.

### **Az eredmények gyakorlati hasznosítása**

A hagyományos eleveniszapos szennyvíztisztítást érdemes radiolízissel kiegészíteni. Az ózonozás, az  $O_3$ /UV kezelés és a radiolízis eredményeit összevetve a szennyvíztisztítás során a nagyenergiájú ionizáló sugárzás alkalmazása ajánlható a hagyományos eleveniszapos módszer mellett. A radiolízis mindkét vegyületnél ugyanolyan jó hatékonysággal alkalmazható. A könnyebb gyakorlati megvalósítás és a nagyobb hatékonyság miatt az elektrongyorsítóval működő technika javasolható.

## Tudományos közlemények jegyzéke és tudományometriai mutatók

### a) A doktori értekezés alapjául szolgáló közlemények

1. Illés, E., Szabó, E., Takács, E., Wojnárovits, L., Dombi, A., Gajda-Schranz, K., 2014. Ketoprofen removal by O<sub>3</sub> and O<sub>3</sub>/UV processes: Kinetics, transformation products and ecotoxicity. *Sci. Total Environ.*, 472, 178-184  
(If = 3,26) Hivatkozás: 0
2. Illés, E., Takács, E., Dombi, A., Gajda-Schranz, K., Rácz, G., Gonter, K., Wojnárovits, L., 2013. Hydroxyl radical induced degradation of ibuprofen. *Sci. Total Environ.*, 447, 286-292  
(If = 3,26) Hivatkozás: 6 (4)
3. Illés, E., Takács, E., Dombi, A., Gajda-Schranz, K., Gonter, K., Wojnárovits, L., 2012. Radiation induced degradation of ketoprofen in dilute aqueous solution. *Radiat. Phys. Chem.*, 81, 9, 1479-1483  
(If = 1,38) Hivatkozás: 9 (4)

### b) Egyéb közlemények

4. Csay, T., Homlok, R., Illés, E., Takács, E., Wojnárovits, L., 2014. The chemical background of Advanced Oxidation Processes. *Isr. J. Chem.*, 53, 3, 233-241  
(If = 3,03) Hivatkozás: 0
5. Gajda-Schranz, K., Arany, E., Illés, E., Szabó, E., Pap, Z., Takács, E., Wojnárovits, L., 2013. Advanced Oxidation Processes for Ibuprofen Removal and Ecotoxicological Risk Assessment of Degradation Intermediates. *in* W. C. Carter and B. R. Brown, editors. *Ibuprofen: Clinical Pharmacology, Medical Uses and Adverse Effects*. Nova Science Publishers, Hauppauge, New York, United States.  
Hivatkozás: 0
6. D. Šojić, D., Despotović, V., Orčić, D., Szabó, E., Arany, E., Armaković, S., Illés, E., Gajda-Schranz, K., Alapi, T., Sajben-Nagy, E., Palágyi, A., Vágvolgyi, Cs., Manczinger, L., Bjelica, L., Abramović, B., 2012. Degradation of thiamethoxam and metoprolol by UV, O<sub>3</sub> and UV/O<sub>3</sub> hybrid processes: Kinetics, reaction mechanism and toxicity. *J. Hydrol.*, 472-473, 314-327  
(If = 2,96) Hivatkozás: 10 (9)
7. Szabó, R.K., Megyeri, C., Illés, E., Gajda-Schranz, K., Mazellier, P., Dombi, A., 2011. Phototransformation of ibuprofen and ketoprofen in aqueous solutions. *Chemosphere* 84, 1658-1663.  
If = 3,206 Hivatkozás: 22 (19)
8. Illés, E., Gajda-Schranz, K., Dombi, A. 2009. Ozonization and UV photolysis of ketoprofen. Pages 464-467 *in* The 16th International Symposium on Analytical and Environmental Problems, Szeged, Hungary.
9. Illés, E. 2010. A ketoprofen ózonos bontása. Pages 9-54 *in* A. Dombi, editor. *Vizek szerves szennyezőinek eltávolítása nagyhatékonyságú oxidációs*

módszerekkel/Removal of Organic Contaminants of Waters by Advanced Oxidation Processes. InnoGeo Kft., Szeged.

10. Illés, E., Gajda-Schranz, K., Dombi, A. 2010. Ozonization and UV Photolysis of Ketoprofen. Pages 155-160 in A. Dombi, editor. Vizek szerves szennyezőinek eltávolítása nagyhatékonyságú oxidációs módszerekkel/Removal of Organic Contaminants of waters by advanced Oxidation Processes. InnoGeo Kft., Szeged.
11. Illés, E., Szabó, R.K., Dombi, A., Oppenländer, T., Gajda-Schranz, K., 2009. Ketoprofen bontása ózonozással (Degradation of Ketoprofen by ozonization). Dunaújvárosi Főiskola Kiadó, 8.

**Összesített impakt faktor: 17,10**

**Hivatkozások száma: 47 (független: 36)**

### **Az értekezés témaköréhez közvetlenül kapcsolódó konferenciamegjelenések**

1. András Dombi, Krisztina Gajda-Schranz, **Erzsébet Illés**, Emese Szabó: Ecotoxicity of ketoprofen degradation products, ISEAC36, Rome, Italy, 5-9. October 2010
2. Dombi András, Gajdáné Schranz Krisztina, **Illés Erzsébet**, Szabó Emese, A ketoprofen bomlástermékeinek toxicitása, MKE 1. Nemzeti Konferencia, Sopron, 2011. máj. 22-25.
3. **Erzsébet Illés**, Erzsébet Takács, András Dombi, Krisztina Gajda-Schranz, Katalin Gonter, László Wojnárovits, Radiation induced degradation of ketoprofen in dilute aqueous solution, 12th Tihany Symposium on Radiation Chemistry, Zalakaros, Hungary, 27. Augustus – 1. September 2011 (oral presentation, member of organizer team and co-chair in the Fundamental Processes in Radiation Chemistry I. session)
4. **Illés Erzsébet**, Takács Erzsébet, Dombi András, Gajdáné Schranz Krisztina, Gonter Katalin, Wojnárovits László, A ketoprofen vizes oldatának bontása nagyenergiájú ionizáló sugárzással, MKE X. Környezetvédelmi Analitikai és Technológiai Konferencia, Sümeg, 2011. okt. 5-7.
5. **Illés Erzsébet**, Takács Erzsébet, Dombi András, Gajdáné Schranz Krisztina, Gonter Katalin, Wojnárovits László, Nagyenergiájú ionizáló sugárzás alkalmazása ketoprofen vizes oldatának bontására, MKE Őszi Radiokémiai Napok, Sopron, 2011. okt. 26-28.
6. András Dombi, Krisztina Gajda-Schranz, **Erzsébet Illés**, Emese Szabó, Ecotoxicity of ketoprofen degradation products formed during ozonization and O<sub>3</sub>/UV combined method, Workshop on “Optimization of Cost Effective and Environmentally Friendly Procedures for Treatment of Regional Water Resources”, Hungary, Szeged, 1-2. December 2011
7. **Erzsébet Illés**, Erzsébet Takács, András Dombi, Krisztina Gajda-Schranz, Katalin Gonter, László Wojnárovits, Efficient degradation of ketoprofen in dilute aqueous solution using high-energy ionizing radiation, Workshop on “Optimization of Cost Effective and Environmentally Friendly Procedures for Treatment of Regional Water Resources”, Hungary, Szeged, 1-2. December 2011
8. **Illés Erzsébet**, Takács Erzsébet, Wojnárovits László, Dombi András, Gajdáné Schranz Krisztina, A toxicitás változása ibuprofen és ketoprofen vizes oldatának radiolízise során, Környezettudományi Doktori Iskolák Konferenciája, Budapest, 2012. aug. 30-31.

9. **Illés Erzsébet**, Takács Erzsébet, Dombi András, Gajdáné Schrantz Krisztina, Rác Gergely, Gonter Katalin, Wojnárovits László, Ibuprofen vizes oldatának radiolízise során keletkező közti-termékek és végtermékek vizsgálata, MKE Őszi Radiokémiai Napok, Siófok, 2012. okt. 08-10.
10. **Arany Eszter**, **Illés Erzsébet**, Farkas János, Szabó Emese, Alapi Tünde, Gajdáné Schrantz Krisztina, Dombi András, Takács Erzsébet, Wojnárovits László, Szerves mikroszennyezők bontása fotolízissel és radiolízissel, Első Környezetkémiai Szimpózium, Mátraháza, 2012. okt. 11-12.
11. **Erzsébet Illés**, Erzsébet Takács, András Dombi, Krisztina Gajda-Schantz, Gergely Rác, László Wojnárovits High energy ionizing radiation initiated degradation of ketoprofen and ibuprofen in dilute aqueous solution, The 28th Miller Conference on Radiation Chemistry, Israel, Dead Sea, 14-19. March 2013
12. **Illés Erzsébet**, Takács Erzsébet, Dombi András, Schrantz Krisztina, Rác Gergely, Wojnárovits László, Nagyenergiájú ionizáló sugárzás alkalmazása ketoprofen és ibuprofen lebontására híg vizes oldatból, MKE XI. Környezetvédelmi Analitikai és Technológiai Konferencia, Hajdúszoboszló, 2013. okt. 2-4.
13. **Erzsébet Illés**, High energy ionizing radiation initiated degradation of ketoprofen and ibuprofen in dilute aqueous solution, Third Research Coordination Meeting of the Coordinated Research Project on "Radiation Treatment of Wastewater for Reuse with Particular Focus on Wastewaters Containing Organic Pollutants", Budapest, 18-23. May 2014

