



**BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI
EGYETEM**

**Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar
Oláh György Doktori Iskola**

Szervesanyag-tartalmú hulladékvizek nedves oxidációja

Tézisfüzet

Szerző: Szabados Erika
okleveles vegyész

Témavezető: Dr. Tungler Antal
professor emeritus



MTA Energiatudományi Kutatóközpont
Energia- és Környezetbiztonsági Intézet
Felületkémi és Katalízis Laboratórium

2016

Bevezetés és irodalmi háttér

A Föld édesvízkészlete véges, az egy főre jutó mennyisége gyorsan csökken. Emiatt, és a vízminőség megóvása érdekében fontos kutatási terület mind a kommunális, mind az iparban keletkező szennyvizek tisztítása, a természetes körforgásba történő visszaforgatásuk. A lakossági fogyasztás mellett jelentős mennyiségű vizet hasznosít az energia-, élelmiszer- és a vegyipar, valamint a mezőgazdaság. A felhasznált, nem kommunális víz nagy része kissé szennyezett, többnyire változatlanul visszakerül a környezetbe, mivel hűtővízként, öntözővízként szolgál (pl. energiatermelésnél ~95-98%, mezőgazdasági felhasználás esetén ~30-40%). Kisebb, de még mindig jelentős mennyiség vesz részt az ipari folyamatokban (oldószerként, reagensként, stb.), ennek során szennyeződik, így a természetbe történő kibocsátása előtt szükséges a tisztítása¹.

Számos vegyipari, élelmiszeripari, illetve mezőgazdasági termelésből származó folyékony, víztartalmú hulladék ártalmatlanítása összetett feladat. Ezek olyan vizet is tartalmazó, ismeretlen vagy csupán részben ismert összetételű keverékek, melyek részletes analízise túl nagy költséggel járna. Tipikus példák a gyógyszeripari technológiák hulladékviizei². Ezek a folyékony, víztartalmú hulladékok nem kezelhetők azonos módon a kommunális szennyvízzel, mivel környezetre ártalmas, esetenként bioaktív vegyületeket tartalmaznak, nagyrészt veszélyes hulladék besorolásúak.

A nagy szerves anyag tartalmú hulladékviizek ártalmatlanítására jól ismert módszer a nedves levegős oxidáció (WAO). Az első szabadalmaztatott eljárásban 1960-ban papíripari alkalmazását írták le 1960-ban³. A WAO viszonylag nagy

¹Shannon MA, Bohn PW, Elimelech M, Georgiadis JG, Mariñas BJ, Mayes AM. *Nature*. 452 (2008) 301–310.

²Gadipelly C, Pérez-González A, Yadav GD, Ortiz I, Ibáñez R, Rathod VK, et al. *Ind Eng Chem Res*. 53(29) (2014) 11571–11592.

³Zimmermann FJ, Diddams DG. *TAPPI*; 43 (1960) 710-715.

energiaigényű technológia, hiszen nagy hőmérséklet, nagy nyomás és sokszor hosszú reakcióidő szükséges a szennyezőanyagok lebontásához, adott esetben a teljes mineralizációjához. Ezért intenzíven kutatnak, fejlesztenek olyan, elsősorban katalitikus nedves (levegős) oxidációt (CW(A)O), amely a reakciósebesség jelentős növelését célozza meg, aminek következménye lehet a hőmérséklet és a nyomás csökkentése. A homogén katalitikus rendszerek nagy hátránya, hogy sokszor körülményes a katalizátor maradéktalan visszanyerése a rendszerből. Ez nemcsak az újra felhasználhatóság miatt fontos, a katalizátor eltávolítása a reakciótermékből azért is lényeges, mert a további feldolgozás során a fémionok mérgezőek lehetnek a mikrobiológiai rendszerekre. Emiatt számos kutatóhelyen foglalkoznak heterogén katalizátorok fejlesztésével nedves oxidációs (WO) reakciókhoz.

Aktív és stabil heterogén katalizátor fejlesztése bonyolult összetételű, a szennyezőket széles koncentrációtartományban tartalmazó finomkémiai, gyógyszeripari szennyvizek nedves oxidációjához nagyon nehéz és komplex feladat. Az alkalmazott reakciókörülmények között, nagy nyomáson és emelt hőmérsékleten még bázikus pH-n is előfordulhat, hogy a katalizátor aktív komponensei a reakció elegybe oldódnak. A nemesfém katalizátorok kémiai tulajdonságai nagyobb stabilitást ígértek. Nemesfém alkalmazása katalizátorként megnöveli a költségeket, azonban ha regenerálható, és kellőképpen aktív, akkor a hosszabb élettartam kiegyenlítheti az olcsóbb katalizátorokkal szembeni hátrányt. Heteroatom jelenléte, különösen a *N*-tartalom a szubsztrátumokban, jelentős mértékű kioldódást eredményezett nemesfém katalizátorok esetében is. Bizonyos nemesfém katalizátorok, platina, ruténium (Pt, Ru) kiváló stabilitásúak karbonsavak oxidációjában⁴, ám *N*-tartalmú vegyület nedves oxidációja során (pl. *N,N*-dimetil-formamid (DMF),

⁴ Yang S, Besson M, Descorme C. Catalytic wet air oxidation of succinic acid over Ru and Pt catalysts supported on CexZr1 - xO2 mixed oxides. Appl Catal B Environ. 165 (2015) 165 1-9.

metil-amin) jelentős mennyiséget vesztenek az aktív komponensükből^{5,6,7}. Az irodalomban található olyan általános megállapítás, amely szerint a nemesfém-oxidok hajlamosabbak a reakcióelegybe mosódni, mint az ellenállóbbnak vélt nemesfémek⁸. Intézetünkben korábban tesztelték ruténium-irídium (Ru-Ir) borítású, titánháló (Ti) monolit katalizátort, melynek stabilitása és aktivitása biztatónak tűnt, valódi ipari szennyvizekkel végzett kísérletekben, annak ellenére, hogy a felületvizsgálati módszerek eredményei szerint a nemesfém réteg nagyrészt oxid állapotú⁹. Sőt, közvetlen összehasonlításban aktívabbnak bizonyult por alakú katalizátoroknál¹⁰.

A gyógyszeripari szennyvizekben lévő vegyületek közül számos tartalmaz nitro-, amino-, amid- csoportot, esetleg heterociklusos gyűrűt. A nitrogéntartalom konverziója elemi N₂ gázzá, és/vagy ammóniává fontos lépése az oxidációnak. Ezért választottam a DMF mellett modellvegyületként az oxidációhoz a paracetamolt (PAR), aminek katalitikus nedves oxidációjára kevés adatot találtam az irodalomban¹¹, pedig gyakori szennyezője talaj és élővizeknek¹².

A bonyolult összetételű vizek változó oxidálhatósága miatt a biodegradálhatóság növelése nem mindig teljesíthető kizárólag részleges (C)WAO-val, sokszor szükségesek kiegészítő kezelések, azaz kombinálják a WO-t egyéb eljárásokkal. Az egyes országokra érvényes különböző szabályozások, valamint a tisztításra kerülő

⁵ Grosjean N, Descorme C, Besson M. *Appl Catal B Environ.* 97(1–2) (2010) 276–283.

⁶ Lousteau C, Besson M, Descorme C. *Catal Today.* 241 (2015)80–85.

⁷ Sun G, Xu A, He Y, Yang M, Du H, Sun C. 156(1–3) (2008) 335–341.

⁸ Yu C, Zhao P, Chen G, Hu B. *Appl Surf Sci.* 257(17) (2011) 7727–31.

⁹ Hosseini AM, Bakos V, Jobbágy A, Tardy G, Mizsey P, Makó M, et al. *Period Polytech Chem Eng.* 55(1) (2007) 3–10.

¹⁰ Hosseini AM, Tungler A, Schay Z, Szabó S, Kristóf J, Széles É, et al. *Appl Catal B Environ.* 127 (2012) 99–104.

¹¹ Quesada-Peñate I, Julcour-Lebigue C, Jáuregui-Haza UJ, Wilhelm AM, Delmas H. *J Hazard Mater.* 221–222 (2012) 131–138.

¹² Kolpin DW, Furlong ET, Meyer MT, Thurman EM, Zaugg SD, Barber LB, et al. *Environ Sci Technol.* 36(6) (2002)1202–11

technológiai vizek sokfélesége miatt a kezelés módjának, az optimális eljárásláncnak a megállapítására előkísérletek szükségesek.

Kísérlettervezést hosszú ideje és hatékonyan alkalmaznak kísérleti paraméterek, körülmények optimalizálására^{13,14}. Doktori munkám során olyan eszközként használtam a kísérlettervezést a WO-ban, amely nemcsak az optimális paraméterek meghatározására alkalmas, hanem a katalizátorok pontosabb összehasonlítását is lehetővé teszi a reakciósebesség paraméterfüggéseinek pontos leírásával.

Intézetünk olyan kombinált technológia fejlesztésében vesz részt, amely egy készülékben egyesít kétféle oxidációs módszert, melyek az oxigénen kívül nem igényelnek folyamatos vegyszeradagolást. Elektronsugárral az oxigénnyomás alatt lévő, saválló acélból készült autoklávban már szobahőmérsékleten kimutatható a fenol oxidációja¹⁵. A módszer további tökéletesítésre szorul ahhoz, hogy valódi WO körülmények között használható legyen.

Célkitűzés

Jelen értekezésben leírt kutatás egy sokrétű projekt (Swiss-Hungarian Cooperation, SH/7/2/14) részfeladata, így támaszkodhatok a projekt korábbi eredményeire, főbb következtetéseire. Ezek közül az egyik legfontosabb megállapítás, hogy komplex gyógyszeripari technológiai hulladékvizek nagy része kommunális szennyvízzel keverve biodegradálhatóvá válik. A kommunális szennyvizek jelentős része szénforrás-hiányos, így a denitrifikációs folyamat nem lesz teljes. A kiegészítő szénforrást lehetne kiváltani olyan gyógyszeripari technológiai vizek

¹³ Lundstedt T, Seifert E, Abramo L, Thelin B, Nyström Å, Pettersen J, et al. *Chemom Intell Lab Syst.* 42(1–2) (1998) 3–40.

¹⁴ Bezerra MA, Santelli RE, Oliveira EP, Villar LS, Escalera LA. *Talanta.* 76(5) (2008) 965–977.

¹⁵ Chamam M, Földváry CM, Hosseini AM, Tungler A, Takács E, Wojnárovi L. *Radiat Phys Chem.* 81(9) (2012) 1484–1488.

betáplálásával, amelyek már nem toxikusak, kémiai előkezelést követően biodegradálhatóak¹⁶.

A W(A)O alkalmas technológia az említett hulladékvizek részleges oxidálására, hatékonyságának növelése fontos feladat, mivel a technológia nagy nyomáson és hőmérsékleten üzemel, így a berendezés kivitelezése, a folyamat működtetése viszonylag költséges.

Az egyik, általam alkalmazott módszer a hatékonyság növelésére a WO elektronsugárással történő kombinálása volt. A nagy energiájú sugárzás vizes oldatokban, oxigén jelenlétében bizonyítottan gyökkeltő hatású. Ezért olyan kísérleti berendezést építettünk, amelyben a kombinált technológia tesztelhető és reprodukálható eredményeket szolgáltat, nagyobb hőmérsékleten és nyomáson is. Nátrium-fenolát oldattal, mint modellszennyvízzel, vizsgáltam a kombinált módszer hatását.

További feladatként olyan katalizátorokat vizsgáltam a CWO-ban, amelyek várhatóan stabilak, aktívak, könnyen alkalmazhatóak és a technológia méret-növelhető. Erre a célra kereskedelmi forgalomban kapható, nemesfémekkel (és oxidjaikkal) borított Ti-hálókát választottunk, melyeket elektrokémiai célokra gyártanak. A Ru-Ir/Ti katalitikusan aktív volt valódi és modell szennyvizek (fenol, DMF) nedves oxidációjában, így célul tűztem ki ennek az aktivitásnak az értelmezését, a kapcsolatot a fémek, valamint oxidációs állapotuk és katalitikus aktivitásuk között. A kereskedelmi forgalomban kapható Pt-, Ir- és Ru-tartalmú Ti-hálók katalitikus aktivitását a PAR CWO reakciójában vizsgáltam és hasonlítottam össze.

Kísérleti módszerek

Az eredmények alapját képező kísérleti munka két részre tagolható: anyagvizsgálati módszerek az alkalmazott katalizátorok jellemzésére, fizikai-kémiai tulajdonságaik

¹⁶ Tardy GM, Bakos V, Jobbágy A. Water Sci Technol. 65(9) (2012) 1676–1683.

meghatározására, valamint a jellemzőik megismerése után aktivitásuk vizsgálata WO tesztreakciókban.

A használt anyagvizsgálati módszerek prompt gamma aktivációs analízis (PGAA), röntgen fotoelektron spektroszkópia (XPS), pásztázó elektronmikroszkópia, energiadiszipatív röntgenspektroszkópia (SEM-EDX), valamint hőmérséklet-programozott redukció (TPR) voltak. Ezeket a katalizátorok eredeti állapotában, használat előtt, valamint használat után is elvégeztem, hogy összefüggéseket találjak a szerkezet és az aktivitás között, valamint vizsgáljam a stabilitásukat.

A WO és CWO reakciókat saválló acélból készült autoklávokban végeztem, nagy nyomáson és hőmérsékleten. A reakciók konverzióját kémiai oxigén igény (KOI), teljes szerves széntartalom (TOC), és teljes nitrogén tartalom (TN) meghatározásával követtem. A nemesfém/Ti hálóból az autokláv méretének megfelelő darabokat vágtam, majd ezeket hajlítottam meg hengerpalástként. A katalitikus aktivitás vizsgálatokat DMF modell szubsztrátum esetében kísérlettervek szerint hajtottam végre, a kereskedelmi forgalomban kapható Ru-Ir-oxid borítású Ti-hálón, valamint annak redukált változatán. PAR oxidációjában öt különböző nemesfém borítású (Pt, Pt-Ir, Ir, Ru, Ru-Ir) Ti monolit katalizátor aktivitását hasonlítottam össze.

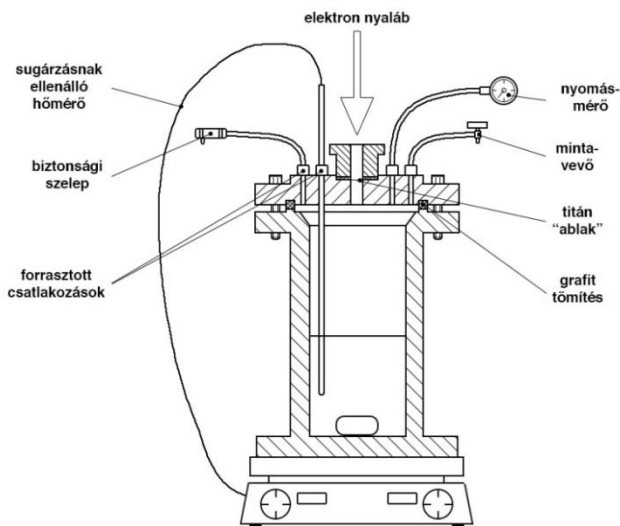
A nagy energiájú elektronsugárással kombinált nedves oxidációhoz (EB-WO) különleges reaktort készítettünk, (*I. ábra*) a sugárzás hatásának ellenálló tömítő és szigetelő anyagok felhasználásával. Ezzel vizsgáltam a nagy_energiájú sugárzás által keltett gyökök hatását a WO reakciósebességére nátrium-fenolát oldat oxidációjában, és hasonlítottam össze hasonló körülmények között a nem-katalitikus és a katalitikus reakciók sebességével.

Eredmények

Kombinált módszer (EB-WO) alkalmazása

A nagy_energiájú elektronsugárzás és a nedves oxidáció együttes alkalmazásához fejlesztett speciális reaktorban a

szobahőmérsékletű mérések mellett nyomás alatt és emelt hőmérsékleten lehetett a csak termikus, a katalitikus és az EB-WO módszerek eredményeit összehasonlítani. Fenol WO reakciójában, 150 °C-on, 25 bar nyomáson 2 óra után a TOC és KOI konverzió is 20% alatt maradt.



1. ábra: Speciális reaktor az elektronsugárzás kombinálásához nedves oxidációval

Monolit katalizátor használatával ugyanilyen körülmények között a KOI konverzió 60%-os, míg EB-WO kombinált módszerrel a TOC és a KOI konverzió is >80%-os volt 30 perc (~18 kGy) alatt. Ez azt jelenti, hogy 125 °C felett a katalitikus reakció háromszorosára, míg a nagyenergiájú elektronsugárzás 15-szörösére növelte a reakció sebességét.

DMF katalitikus nedves oxidációja (kísérlettervek használatával, különböző oxidációs állapotú katalizátorokon)

A Ru-Ir/Ti katalizátort eredeti és redukált változatban is teszteltem, hogy a fém oxidációs állapotának az aktivitásra, a

stabilitásra való hatását kiderítsem. Az oxidációs reakciókat kísérlettervek szerint hajtottam végre, a kiértékelésük szerint a kétféle állapotú katalizátor aktivitásában nincs szignifikáns különbség. Ezt az anyagvizsgálati módszerek eredményeivel magyaráztam, ugyanis akár fém, akár oxid volt a kiindulási Ru-Ir felületi réteg, a kb. 55 órányi használat után hasonló, vegyes réteg alakult ki mindkét katalizátor felületén. Az XPS mérésekkel kimutatható volt a M^0 , valamint M^{IV} oxidációs állapotú fém is a felületen. Ez nemcsak azt jelenti, hogy a fém katalizátor részlegesen oxidálódik a reakció körülményei között (és így sem veszít aktivitásából), hanem azt is, hogy az oxid katalizátor részlegesen redukálódik ugyanazon körülmények között. A PGAA eredményei azt mutatják, hogy a fémek reakcióelegybe oldódása csak a mérési hibán belüli mértékben történt, tehát a katalizátor stabilnak mondható.

PAR nedves oxidációs reakciója

Ebben a reakcióban további nemesfém-tartalmú Ti hálókat vizsgáltunk. Mivel kereskedelmi forgalomban a Pt, Pt-Ir, Ir, valamint egyfémes Ru/Ti hálók is kaphatók a Ru-Ir-on kívül, így öt katalizátor aktivitását vetettük össze. A katalizátorokat az anyagvizsgálati módszerekkel jellemeztem, a katalitikus aktivitás vizsgálatok előtt, valamint két kiválasztott katalizátort közel 100 h használatot követően is. Az egyfémes Ru oxid formájában van a Ti-háló felületén, Ru tartalma lényegesen kisebb, mint az egyfémes Pt-tartalma, mégis ez a legnagyobb fajlagos aktivitású. Ez a minta bizonyult a stabilabbnak is, PGAA mérés szerint Ru-tartalma nem változott, koncentrációja a reakcióelegyben 75 órát követően az induktív csatolású plazma tömegspektroszkópia (ICP-MS) mérés szerint csak 0,02 $\mu\text{g/l}$ volt. A 75 órás reakcióelegy BOI mérésével kimutattam, hogy a hulladékvizekben lévő PAR nedves oxidációjában keletkező közti termékek jól biodegradálhatók, így részleges katalitikus nedves oxidációs előkezeléssel jelentős mértékben növelhető a PAR tartalmú hulladékvizek biológiai bonthatósága.

Az általam tanulmányozott Ru-tartalmú monolit hálók sokoldalú jellemzésével bizonyítottam, hogy a nagy diszperzitású, nagy aktivitású, de kioldódásra hajlamos porkatalizátorokkal szemben a mérsékelt aktivitású, ám stabil monolit katalizátorok előnyösebbek technológiai alkalmazásra. Könnyebben kezelhetők, a reaktorok konstrukciója, méretezése egyszerűbb, előkezelést nem igényelnek, előállításuk nagyipari méretben már megvalósított, előállítási eljárásukat érdemes tovább fejleszteni, hogy élettartamuk minél hosszabb legyen.

Tézisek

1. Nagy energiájú elektronsugárzással lényegesen növelhető a nedves oxidáció sebessége. Nátrium-fenolát oldat oxidációjában 150 °C-on, Ru-Ir/Ti monolit katalizátorral a reakciósebesség a termikus reakcióéhoz képest háromszorosára, míg elektronsugárzás hatására azonos körülmények között a tizenötszörösére nőtt. A nedves oxidáció kombinálása nagy energiájú sugárzással hatékony új AOP módszernek bizonyult, melyhez alkalmas, speciális készüléket is fejlesztettünk. [3]
2. A DMF nedves oxidációjában a Ru-Ir/Ti monolit katalizátor aktívnak bizonyult, a termikus reakcióhoz képest jelentősen, mintegy duplájára nőtt a kezdeti reakciósebesség. A nemesfém-tartalom közel 55 óra alatt nem csökkent, ellentétben a diszperz, hordozós katalizátorokéval. [2]
3. A DMF nedves oxidációjában a kísérletterv szerint végzett mérések alapján számolt eredményfelületek, illetve ezek adott paraméterekhez rendelhető metszetei alapján a katalizátorok aktivitásainak összehasonlítása megbízhatóbb lett, az egyes, mérési pontok alapján végezhető összehasonlításhoz képest. Az eredményfelületeket leíró összefüggések, a mérési tartományokon belül, kiindulási modellként is szolgáltak méretnövelési kísérletek tervezésében. [2]
4. A DMF katalitikus nedves oxidációjában használt katalizátorokon felületvizsgáló módszerekkel bizonyítottam, hogy a Ru-Ir/Ti monolit

katalizátor felületén a nemesfémek használat után fém és oxid állapotban is jelen vannak, függetlenül attól, hogy a kiindulási katalizátor oxid, vagy redukált, fémes állapotú volt. Ezzel összhangban van, hogy a különböző kiindulási oxidációs állapotú katalizátorokkal, kísérleti tervek alapján végzett nedves oxidációs reakciókban nem volt szignifikáns aktivitásbeli különbség. [2]

5. A PAR katalitikus nedves oxidációja enyhébb körülmények között valósítható meg, Pt-, illetve Ru-tartalmú Ti monolit katalizátorokkal, mint termikus oxidációval. A fémes állapotú Pt-t tartalmazó Tiháló bizonyult a legaktívabbnak, viszont jelentős volt a kioldódás miatti Pt veszteség. Az oxid formában lévő Ru nagyobb fajlagos aktivitású, és a Ru kioldódása még 100 órás használatot követően is elhanyagolható volt a PGAA és az ICP-MS eredményei alapján. A PAR részleges oxidációjával kapott köztitermékek jól biodegradálhatók. [1]

6. A Ru a felületvizsgáló módszerek eredményei alapján a Ti háló felületén $\text{RuO}_x/\text{TiO}_2$ kompozit és/vagy TiO_2 hordozós RuO_x formában van, ehhez rendelhető a vizsgált egy-, illetve kétfémes bevonatok között mért legjobb fajlagos aktivitás és a stabilitás. [1, 2]

Alkalmazási lehetőségek

A kombinált, EB-WO módszer alkalmazhatósága olyan szennyvíztisztító telephelyeken tesztelhető, ahol elektronsugárással már rutinszerűen kezelnek szennyvizet (Dél-Korea, Kína), így a reaktor kialakítását kell megoldani az elektronsugárzást előállító készülék elrendezéséhez igazítva.

A monolit háló katalizátorok stabilitásának bizonyítására az eddigieknél is hosszabb távú kísérletek elvégzése szükséges, valamint további tesztek valódi ipari szennyvizekkel. A gyakorlati megvalósítás akár gyógyszeripari technológiák közvetlen közelében tesztelhető, mivel korábban hidrogénezésre használt, nagy nyomású reaktorok könnyedén átalakíthatók nedves oxidációs reaktorokká.

A kísérlettervezés WO és CWO folyamatokban való alkalmazásának tapasztalatait felhasználtuk a svájci-magyar projekt keretében végzett fülüzemi WO kísérletek tervezésekor.

KÖZLEMÉNYEK

Az értekezés alapját képező közlemények

- [1] E. Szabados, Gy. Sági, F. Somodi, B. Maróti, D. F. Srankó, A. Tungler, Wet air oxidation of paracetamol over precious metal/Ti mesh monolith catalysts, J. Ind. Eng. Chem., DOI:10.1016/j.jiec.2016.11.005 (2015-ös IF: 4,179)
- [2] E. Szabados, D. F. Srankó, F. Somodi, B. Maróti, S. Kemény, A. Tungler, Wet oxidation of dimethylformamide via designed experiments approach studied with Ru and Ir containing Ti mesh monolith catalysts, J. Ind. Eng. Chem. 34 (2016) 405-414 (2015-ös IF: 4,179, hivatkozások száma: 1)
- [3] E. Szabados, Gy. Sági, A. Kovács, E. Takács, L. Wojnárovits, A. Tungler, Comparison of catalysis and high energy irradiation for the intensification of wet oxidation as process wastewater pretreatment, React. Kinet. Mech. Cat. 116 (2015) 95-103 (2015-ös IF: 1,265, hivatkozások száma: 1)

Az értekezés alapját képező könyvfejezet

- [4] A. Tungler, E. Szabados and A. M. Hosseini (2015). Wet Air Oxidation of Aqueous Wastes, Wastewater Treatment Engineering, Associate Prof. Mohamed Samer (Ed.), ISBN: 978-953-51-2179-4, InTech, DOI: 10.5772/60935 (letöltések száma: 312)

Az értekezés témájában tartott előadások, poszter prezentációk

1. „Testing of catalytic wet air oxidation with design of experiments”, Antal Tungler, Erika Szabados, Emese Vágó, **Proceedings of „The 19th international symposium on analytical and environmental problems”**, 245-248, ISBN 978-963-315-141-9, 2013. szeptember 23., Szeged (*poszter prezentáció*)
2. „Modell szennyvíz nedves oxidációs reakcióinak vizsgálata kísérlettervek segítségével”, Szabados Erika, Tungler Antal, Pinke Balázs, Vágó Emese, **XXXVI. Kémiai Előadói Napok**, Katalízis I. Szekció, 2013. október 29., Szeged, ISBN: 978-963-9970-53-3 (*magyar nyelvű előadás*)

3. „Intensification the chemical treatment of pharmaceutical wastewater: catalytic wet air oxidation and irradiation combined with wet air oxidation”, Erika Szabados, Antal Tungler, Sándor Kemény, **5th EUChemS Chemistry Congress**, 2014. szeptember 2., Isztambul, Törökország (*angol nyelvű előadás*)

4. „Hulladékvizek nedves oxidációjának intenzifikálása”, Szabados Erika, Tungler Antal, Kemény Sándor, Takács Erzsébet, Wojnárovits László, **XII. Oláh György Doktoráns Konferencia**, 2015. február 5., Budapest (*magyar nyelvű előadás*)

5. „Szerves anyag tartalmú hulladékvizek nedves oxidációja”, Szabados Erika, Tungler Antal, **MTA Katalízis Munkabizottság**, Szeged, 2015. december 10. (*magyar nyelvű előadás*)

Egyéb közlemények

1. A. Tungler, E. Szabados, Overcoming Problems at Elaboration and Scale-up of Liquid-Phase Pd/C Mediated Catalytic Hydrogenations in Pharmaceutical Production, Org. Process Res. Dev. 20 (2016) 1246-1251 (2015-ös IF: 2,922, hivatkozások száma: 0)

2. E. Szabados, N. Győrffy, A. Tungler, J. Balla, L. Könczöl, Asymmetric hydrogenation of prochiral and kinetic resolution of chiral cyclohexanone derivatives with Pd Catalysts, React. Kinet. Mech. Kat. 111 (2014) 107-114 (IF: 1,170), hivatkozások száma: 3

3. Gy. Szöllősi, B. Hermán, E. Szabados, F. Fülöp, M. Bartók, Reactions of chlorine substituted (E)-2,3-diphenylpropenoic acids over cinchonidine-modified Pd: Enantioselective hydrogenation versus hydrodechlorination, J. Mol. Cat. A: Chem, 333 (2010) 28-36 (IF: 2,872, hivatkozások száma: 2)

Egyéb témában tartott előadások

1. “(E)-2,3-difenilpropénsav származékok enantioszelektív hidrogénezése cinkona alkaloidokkal módosított palládium katalizátoron” Szabados Erika, **XXXV. Kémiai Előadói Napok**, Nívódíjas Szekció, 2012. október 29., Szeged, ISBN: 978-963-315-099-3 (*magyar nyelvű előadás*)