Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

Kisnyomású higanygőzlámpák alkalmazása szerves víz- és légszennyezők lebontásában

Alapi Tünde

Szegedi Tudományegyetem

Környezettudományi Doktori Iskola

Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék

Szeged

2007

1. Bevezetés

Az elmúlt évtizedekben az emberi tevékenység következtében jelentős mennyiségű, gyakran erősen toxikus és biológiailag nehezen lebontható szennyezőanyag jutott környezetünkbe, melynek következményei ma már globálisan érezhetők. Ezen anyagok egy része az atmoszférát veszélyezteti, egy része a talajban és a vizekben halmozódik fel.

A környezeti problémák eredményes megoldásához a törvényi szabályozás és a környezetvédelmi oktatás hatékonyságának növelése mellett az új kihívásoknak megfelelő kémiai víztisztítási technológiák kifejlesztése is szükségessé vált. Ezen technológiákkal szemben a kis energiafelhasználás mellett követelmény, hogy viszonylag egyszerűek és a szennyezők igen széles skálájával szemben eredményesen alkalmazhatók legyenek. Az új ötletek kidolgozása a kémiai úton végrehajtott víztisztítás területének ugrásszerű fejlődését indította el, kialakítva a tudományterület egy igen dinamikusan fejlődő ágát, amely már a gyakorlati életben is jól hasznosítható eredményeket szolgáltat.

Az új kémiai módszerek ezen csoportját összefoglaló néven *nagyhatékonyságú oxidációs eljárásoknak* nevezzük. Az alkalmazás egyes esetekben már több évtizedes múltra tekint vissza, azonban a lejátszódó kémiai folyamatokról és a reakciók kinetikájáról még hiányosak az ismeretek. Az irodalom elsősorban az egyes módszerek hatékonyságáról számol be, a további fejlesztésekhez azonban szükséges a lejátszódó elemi kémiai lépésekre vonatkozó ismereteink bővítése. Figyelembe kell vennünk emellett, hogy a gyakorlati életben történő alkalmazás során ezeket a technológiákat többkomponensű rendszerek kezelésére használják, ahol az egyes komponensek, valamint a lebontásuk során keletkező átmeneti termékek és reaktív részecskék jelentős mértékben befolyásolhatják a lebontás hatékonyságát.

2. Célkitűzés

A különböző víz- és levegőtisztítási módszerek összehasonlítását megnehezíti, hogy az egyes kutatócsoportok igen eltérő reakciókörülményeket alkalmaznak, így az kizárólag a szakirodalomban publikált eredmények alapján nehézkes és bizonyos mértékben megbízhatatlan. Mindezt jól tükrözi, hogy az utóbbi években elindult a standardizálásra való törekvés, melynek célja olyan reakciók és reakciókörülmények rögzítése, amelyek segítségével az egyes módszerek eredményessége kellő biztonsággal összevethető.

Az egyes nagyhatékonyságú oxidációs eljárások vizsgálata során - érthető okokból - általában egy adott modellvegyület mineralizációjának tanulmányozása a cél. A gyakorlatban használt víz- és levegőtisztítási eljárások alkalmazása során minden esetben többkomponensű rendszerek kezelése valósul meg. Ennek megfelelően gyakorlati szempontból nem

elhanyagolható kérdés, hogy bizonyos komponensek jelenléte milyen mértékben befolyásolja a többi szennyezőanyag lebontásának hatékonyságát.

Dolgozatom témája szerves vegyületek gáz- és folyadékfázisú ultraibolya (UV), valamint vákuum-ultraibolya (VUV) fotolízissel kombinált UV fotolízisének és heterogén fotokatalitikus átalakulásának tanulmányozása és összehasonlítása.

Gázfázban klórozott metánok, és azok kétkomponensű elegyeinek fotolízisét vizsgáltam. Célom egyrészt a választott modellvegyületek bomlási sebességének és látszólagos kvantumhasznosítási tényezőjének meghatározása, másrészt a képződő köztitermékek koncentrációjának mérése alapján a rendszerben lezajló fotolitikus és gyökös folyamatok tanulmányozása volt. Kétkomponensű rendszerek fotolízisének vizsgálata során tanulmányoztam az egyes komponensek hatását egy kiválasztott klórozott metán bomlásának sebességére és az átalakulások kémiai mechanizmusára.

A kísérleti munka második szakaszában a fenol, mint modellvegyület UV, valamint VUV fotolízissel kombinált UV fotolízisét és heterogén fotokatalízisét tanulmányoztam behatóan és hasonlítottam össze a fenol bomlása, az átalakulásra vonatkozó látszólagos kvantumhasznosítási tényezője, valamint a képződött köztitermékek minősége és mennyisége alapján. A különböző módszerek összehasonlíthatása során azonos kísérleti berendezést és azonos geometriai és elektromos paraméterekkel rendelkező kisnyomású higanygőzlámpákat használtam fényforrásként.

3. Kísérleti körülmények és alkalmazott módszerek

3.1. Klórozott metánok gázfázisú fotolízise

A gázfázisú kísérletek során fényforrásként a LightTech (Dunakeszi, Magyarország) által gyártott, G10T5VH típusú, 17 W teljesítményű kisnyomású higanygőzlámpát használtam. A lámpa által kibocsátott 254 nm hullámhosszúságú sugárzás fényárama $6{,}15\times10^{-6}$ einstein s^{-1}, a 185 nm hullámhosszúságú sugárzás fényárama $3{,}55\times10^{-7}$ einstein s^{-1}. A mérésekhez áramlásos reaktort alkalmaztam, a klórozott metánokat folyadék mintaadagolóval mozgatott gázfecskendő segítségével közvetlenül juttattam a gázáramba.

A klórozott metánok oxigénáramban történő fotolízise során a kiindulási anyagok, valamint a bomlástermékek analízisét FTIR spektrométerrel végeztem. Nitrogén vivőgáz alkalmazása esetén a kiindulási anyagok, valamint a képződött termékek koncentrációját gázkromatográfiásan mértem. A termékek minőségi azonosítása GC-MS segítségével történt.

3.2. Vizes oldatok UV és UV/VUV fotolízise, valamint heterogén fotokatalitikus átalakulása

A fenol és bomlástermékei vizes oldatainak UV és UV/VUV fotolízisének, valamint heterogén fotokatalitikus átalakulásának vizsgálatához a LightTech által készített és forgalmazott higanygőzlámpákat használtam. Az UV/VUV fotolízisnél alkalmazott kisnyomású higanygőzlámpa (GCL307T5VH/CELL) búrája a 254 és 185 nm hullámhosszúságú UV és VUV sugárzást egyaránt átbocsátó nagytisztaságú kvarcból készült. Az UV fotolízis tanulmányozásánál használt kisnyomású higanygőzlámpa (GCL307T5/CELL) búrája közönséges kvarcból készült, mely kizárólag a 254 nm hullámhosszúságú sugárzást engedi át. A fenol heterogén fotokatalitikus átalakulásának vizsgálata során a 254 nm-en sugárzó UV lámpát, valamint egy speciális higanygőzlámpát használtam, amely kizárólag abban különbözik az UV lámpától, hogy búrájának belső felét fénypor borítja. A lámpa a 300-400 nm hullámhosszúság tartományban sugároz, a kibocsátott fény intenzitásának maximuma 365 nm-nél van.

Mindhárom lámpa elektromos és geometriai paraméterei azonosak voltak. Az UV és UV/VUV lámpák által kibocsátott 254 nm hullámhosszúságú fényáram vas-oxalát aktinometriával mérve $5{,}97(\pm 0{,}09)\times 10^{-6}$ einstein s^{-1}. Az UV/VUV lámpa által kibocsátott 185 nm hullámhosszúságú fényáram $3{,}6\times 10^{-7}$ einstein s^{-1}. A speciális higanygőzlámpa által kibocsátott 300-400 nm hullámhosszúságú fényáram $7{,}23(\pm 0{,}06)\times 10^{-6}$ einstein s^{-1}.

A fényforrás minden esetben közvetlenül a besugárzott oldatba/szuszpenzióba merült. Minden alkalommal ugyanolyan térfogatú, az áramlásos rendszerben folyamatosan keringetett oldatot/szuszpenziót sugároztam be. A reakcióedény dupla falú, 25±0,5 °C-ra termosztált edény volt.

A fenol kezdeti bomlási sebességét a kinetikai görbék kezdeti szakaszára (átlagosan 20% konverzióig) a legkisebb négyzetek módszerével illesztett egyenesek ($0{,}988<R^2<0{,}997$) meredekségéből számoltam.

A reakcióelegyből meghatározott időnként vett mintákat többféle módon analizáltam. A fenol és bomlástermékei koncentrációját folyadékkromatográfiásan mértem. Az átalakulások során képződött szerves hidroperoxidok koncentrációját a leukokristályibolya torma-peroxidáz enzimmel katalizált oxidációján alapuló módszerrel határoztam meg. A fenol teljes mineralizációjának követése céljából mértem az egyes minták teljes szerves széntartalmát.

4. Eredmények

4.1. Klórozott metánok és kétkomponensű elegyeik UV/VUV fotolízise nitrogénáramban

1. A VUV fotolízissel képződött •Cl és a klórozott szénhidrogén közti hidrogén-absztrakció következtében a $CHCl_3$ és CH_2Cl_2 bomlási sebessége szignifikánsan nagyobb volt, mint a CCl_4–é. Ezt alátámasztotta a gyökrekombinációs termékek koncentrációjának eloszlása. A CCl_4 fotolitikus bomlására vonatkozó látszólagos kvantumhasznosítási tényező értéke egységnyi alatt volt, míg a CH_2Cl_2 és $CHCl_3$ bomlására vonatkozó értékek a •Cl által iniciált folyamatok miatt meghaladták az egységnyit.
2. Kétkomponensű elegyek fotolízise esetén CCl_4 hatására a CH_2Cl_2 és a $CHCl_3$ bomlási sebessége számottevően megnőtt. Ezekben az elegyekben a CCl_4 •Cl-forrásként viselkedett, jelenléte megnövelte a hidrogén-absztrakciós reakciók relatív hozzájárulását a CH_2Cl_2 és $CHCl_3$ bomlásához. Mindezt alátámasztotta a CCl_4-nak a termékeloszlásra gyakorolt hatása. CH_2Cl_2 jelenlétében a $CHCl_3$ bomlási sebessége jelentős mértékben csökkent, mivel •Cl-fogóként viselkedett a CH_2Cl_2. Ezt egyértelműen bizonyította, hogy a CH_2Cl_2 koncentráció növelésének hatására a $CHCl_3$-ból képződött CCl_4 koncentrációja csökkent.

4.2. Klórozott metánok és kétkomponensű elegyeik UV/VUV fotolízise oxigénáramban

1. A klórozott metánok bontásának hatékonysága szempontjából az oxigén VUV fotolízise következtében képződött ózon, valamint a 254 nm hullámhosszúságú besugárzás kombinációja elhanyagolható a 185 és 254 nm hullámhosszúságú fény együttes hatásához képest.
2. A CH_2Cl_2 és a $CHCl_3$ bomlási sebessége egy adott kiindulási koncentráció felett ugrásszerűen megnőtt, mivel a VUV fotolízis mellett a •Cl által iniciált láncbomlás vált dominánssá. Oxigén jelenlétében a képződött peroxilgyökök, valamint a foszgén további átalakulása is •Cl képződésével jár, jelentősen megnövelve ezáltal a reakcióelegyben a •Cl koncentrációját.
3. A vízgőz jelenlétében képződött HO• reakciói következtében a $CHCl_3$ és a CH_2Cl_2 bomlási sebessége megnőtt, a CCl_4-é azonban nem változott. A bomlási sebesség növekedésével a képződött HCl koncentrációja a •Cl és HO• hidrogén-absztrakciós reakciói közt kialakuló kompetíció miatt csökkent.

4. Kétkomponensű elegyek fotolízise során - a nitrogénáramban tapasztaltakkal ellentétben - a $CHCl_3$ számottevően megnövelte a CH_2Cl_2 bomlási sebességét, illetve a CH_2Cl_2 nem csökkentette a $CHCl_3$ bomlási sebességét, mivel az egyes gyökök és köztitermékek további átalakulása újabb •Cl képződését eredményezi.

4.3. A fenol UV, UV/VUV fotolízisének és heterogén fotokatalitikus átalakulásának tanulmányozása

1. 254 nm hullámhosszúságú fénnyel megvilágított TiO_2 szuszpenziókban a fenol közvetlen fotolízise elhanyagolható a TiO_2 és a fenol kompetitív fényabszorpciója miatt. A fotofizikai és -kémiai folyamatok a lámpa fala melletti vékony szuszpenzió rétegben játszódnak le.
2. UV fotolízis során az oxigén nagymértékben megnövelte a fenol átalakulásának sebességét, valamint az átalakulásra vonatkozó látszólagos kvantumhasznosítási tényezőt. Szerepe az elsődleges fotofizikai folyamatokban elhanyagolható. Hatása egyrészt elektronbefogó szerepével, másrészt a képződött oxigéntartalmú reaktív részecskék ($HO_2^{\bullet}$,$O_2^{\bullet-}$) reakcióinak hozzájárulásával értelmezhető.
3. UV/VUV fotolízis során a fenol bomlási sebessége a víz VUV fotolízise következtében képződött gyökök miatt számottevően nagyobb volt, mint UV fotolízis esetén. Az oxigén sebességnövelő hatása ebben az esetben a képződött HO• koncentrációjára gyakorolt hatáson keresztül is érvényesül.
4. UV/VUV fénnyel besugárzott oldatokban a fenol bomlási sebességét a metanol, mint HO•-fogó a fenol kiindulási koncentrációjától függő mértékben csökkentette. UV fénnyel besugárzott oldatokban a metanolnak nem volt hatása. Az inhibíciós hatás heterogén fotokatalízis alkalmazásakor nyilvánult meg legerőteljesebben. Eredményeim alátámasztják, hogy UV/VUV fotolízis esetén a fenol átalakulása részben, heterogén fotokatalízis során pedig elsősorban HO•-ös folyamatokon keresztül történik.
5. Hatékonyabb gyökfogó (NaN_3) alkalmazásakor a fenol átalakulási sebessége UV és UV/VUV fénnyel besugárzott oldatokban közel azonos értékre csökkent, bizonyítva a $HO_2^{\bullet}$ és/vagy $O_2^{\bullet-}$ szerepét a fenol fotolitikus átalakulásában.

4.4. A fenol átalakulása során képződött aromás köztitermékek UV, UV/VUV fotolízise és heterogén fotokatalitikus átalakulása

1. Oxigénmentes oldatok fotolízise során a fenolból képződött gyökök elsősorban rekombinációs reakciókban (dimerizáció, oligomerizáció) reagálnak el. A rekombinációt az oxigén visszaszorítja, jelenlétében hidroxilált aromás és alifás köztitermékek képződnek. Mindhárom módszer alkalmazásakor oxigénnel telített oldatokban 1,2- és 1,4-dihidroxibenzol képződik, keletkezésük és bomlásuk a fenol átalakulásával egyidejűleg történik.
2. UV fotolízis során az 1,2-dihidroxibenzol koncentrációja szignifikánsan meghaladta az 1,4-dihidroxibenzolét. Ezen aromás köztitermékek képződése valószínűleg a fenoxigyök és $HO_2^{\bullet}$ rekombinációján keresztül, vízkilépéssel történik, mely során az 1,4-dihidroxibenzol képződése sztérikusan gátolt.
3. A fenol OH-csoportjának irányító hatása ellenére az 1,4-dihidroxibenzol koncentrációja meghaladta az 1,2-dihidroxibenzolét heterogén fotokatalitikus átalakulás során. A hidroxiláció a TiO_2 felületén, sztérikusan gátolt körülmények között történik.
4. Oxigénmentes, 254 nm hullámhosszúságú fénnyel besugárzott oldatokban a fenol és a dihidroxibenzolok átalakulásának sebessége azok moláris abszorbanciájának növekedésével nőtt. Oldott oxigén jelenlétében a kisebb moláris abszorbanciájú 1,4-dihidroxibenzol bomlásának sebessége meghaladta az 1,2-dihidroxibenzolét, megerősítve ezzel a $HO_2^{\bullet}$ és $O_2^{\bullet-}$ aromás vegyületek UV fotolízisében betöltött szerepének jelentőségét. UV/VUV fénnyel besugárzott oldatokban és TiO_2-ot tartalmazó, UV fénnyel besugárzott szuszpenziókban az aromás vegyületek bomlási sebességét a HO•-kel való reakciók határozzák meg.

4.5. Fenol átalakulása során képződött alifás köztitermékek UV, UV/VUV fotolízise és heterogén fotokatalitikus átalakulása

1. Mindhárom módszer alkalmazása esetén a fenol bomlásával és a dihdidroxibenzolok képződésével egyidejűleg alifás köztitermékek is keletkeznek, ami az aromás gyűrű felnyílására és a képződött termékek további fragmentációjára utal.
2. A fenolból képződött alifás köztitermékek közül a borkősav, maleinsav és oxálsav átalakulását vizsgáltam. A maleinsav UV fotolízise során fotoizomerizáció játszódik le. A maleinsav és borkősav oxidációja szempontjából az UV fotolízis hatékonysága csekély.

Az oxálsav UV fotolitikus bomlása oxigénnel telített oldatban indukciós periódussal indul. A kiindulási koncentráció növelésével az indukciós periódus időtartama csökken, az ezt követő bomlás sebessége pedig növekszik. Mindhárom karbonsav átalakulási sebességét a kis intenzitású VUV fény és a TiO_2 jelenléte erőteljesen megnövelte.

3. A fenol oxigénnel telített oldatainak UV és UV/VUV fotolízise során a teljes szerves széntartalom csökkenése és az alifás kabonsavak fragmentálódása következtében képződött oxálsav felhalmozódása kizárólag az aromás vegyületek teljes elbomlása után válik jelentőssé. Heterogén fotokatalízis esetén elhanyagolható mennyiségű oxálsav keletkezett, az alifás vegyületek fragmentálódása, valamint az oldat teljes szerves széntartalmának csökkenése az aromás vegyületek bomlásával egyidejűleg megy végbe. A vizsgált módszerek közül azonos energiafelhasználás mellett a fenol teljes mineralizációja szempontjából egyértelműen a heterogén fotokatalízis a leghatékonyabb.

Publikációs lista

A dolgozat témájához kapcsolódó publikáció

Folyóiratcikk

1. Alapi, T., Van Craeynest, K., Van Langenhoeve, H., Dombi, A.
   UV photolysis of the binary mixtures of VOCs in dry nitrogen stream
   React. Kinet. Catal. Lett. 87, 2006, 255-267 IF (2004): 0,618

2. Alapi, T., Van Craeynest, K., Van Langenhoeve, H., Dewulf, J., Dombi, A.
   Direct VUV photolysis of chlorinated methanes and their mixtures in nitrogen stream
   Chemosphere, 66, 2007, 139-144 IF(2005): 2,297

3. Alapi, T., Dombi, A.
   Direct VUV photolysis of chlorinated methanes and their mixtures in oxygen stream using an ozone producing lamp
   Chemosphere, 67, 2007, 693-701 IF(2005): 2,297

4. Alapi, T., Dombi, A.
   Comparative study of the UV and UV/VUV photolysis of phenol in aqueous solution
   J. Photocehem. Photobiol. A: Chemistry
   (közlésre elfogadva:10.1016/j.photochem.2007.01.002) IF(2005): 2,286
   elektronikusan elérhető: www.sciencedirect.com

Teljes terjedelmű konferencia kiadvány

5. Alapi, T., Dombi, A., Van Craeynest, K., Van Langenhove, H.
   UV photolysis of binary mixtures of VOCs in nitrogen stream
   The 11th Symposium on Analytical and Environmental Problems
   Szeged, 2004. 09. 27. pp.
   poszter

6. Alapi, T., Dombi, A., Van Craeynest, K., Van Langenhove, H., Dewulf, J.
   UV photolysis of binary mixtures of VOCs in dry nitrogen stream
   Advanced Oxidation Processes as Abatement Technologies for Organic Micropollutants, Belgium, Gent, 2004. 03. 12. (5/ p. 1-7.)
   előadás

7. Alapi, T., Dombi, A., Van Craeynest, K., Dewulf, J., Van Langenhove, H.
   UV photolysis of binary mixtures of VOCs in nitrogen and oxygen stream using ozone producing lamp
   17th International Ozone Assosiation World Congress
   Franciaország, Strasbourg, 2005. 08. 22-25. CD Ed.
   előadás

8. Alapi, T., Dombi, A.
Comparative Study of the UV and UV/VUV Photolysis of Phenol in Aqueous Solution by Using Different Types of Low-pressure Mercury Lamps
International Conference Ozone and UV Sustainable Solutions for Industry and the Environment
Németország, Berlin, 2006. 03. 04. CD Ed.
előadás

9. Alapi, T., Beretka, N., Dombi, A.
Fenol vizes oldatának UV és UV/VUV fotolízise valamint heterogén fotokatalitikus bontása
II. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia
Pécs, 2006 06. 1-2. Pécs CD Ed.
előadás

10. Ilisz, I., Alapi, T., Gajdáné, Schrantz K., Ambrus, Z., Balázs, N., Sipos, P., Dombi, A.
Nagyhatékonyságú oxidációs eljárások a környezeti kémiában
II. Kárpát-Medencei Környezettudományi Konferencia
Pécs, 2006 06. 1-2. Pécs CD Ed.
Előadás

11. Dombi, A., Alapi, T.
Comparision of direct photolysis and heterogeneous photocatalysis of phenol in aqueous solution
1st European Conference of Environmental Applications of AOPs
Görögország, Chaina, 2006. 09. 07-09. CD ed.
poszter

A dolgozat témájához kapcsolódó konferencián való részvétel

1. Alapi, T.
Szerves gyökök reakciói metanol és fenol vizes oldatának vákuum-ultraibolya fotolízise során
XXV. Kémiai Előadói Napok
Szeged, 2002. 10. 28-30.
előadás

2. Alapi, T., Dombi, A., Van Craeynest, K., Van Langenhove, H.
Decomposition of chlorinated methanes by UV-light in gas stream
Perspectives of Photochemistry in the New Millenium
Austria, Badgastein, 2004. 03. 7-11.
poszter

3. Alapi,T., Dombi, A.
Effect of methanol as hydroxil radical scavenger on the VUV photolysis of phenol in aqueous solutions
The 2nd European Conference on Oxidation and Reduction Technologies for Ex-situ and In-situ Treatment of Water, Air and Soil
Németország, Göttingen, 2005. 06. 12-15.
előadás

4. Alapi, T., Dombi, A., Van Craeynest, K., Van Langenhove, H., Dewulf, J.
   UV photolysis of bynary mixtures of chlorinated methanes in oxygen and nitrogen stream
   The 2nd European Conference on Oxidation and Reduction Technologies for Ex-situ and In-situ Treatment of Water, Air and Soil
   Németország, Göttingen, 2005. 06. 12-15.
   poszter

5. Alapi, T., Dombi, A.
   Comparison of the direct photolysis and heterogeneous photocatalysis of phenol
   Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Application
   Spanyolország, Las Palmas, 2006. 11. 8-10. pp. 30.
   előadás

6. Alapi, T., Pallagi, A., Szabó, R., Dombi, A.
   Comparison of the UV-induced photolysis of phenol in water and acetonitrile
   ICP2007 –XIII. International Conference on Photochemistry
   Németország, Köln, 2007. 07. 29- 08. 03.
   poszter, bemutatásra elfogadva

7. Alapi, T., Sipos, P., Berecz, L., Dombi, A.
   Comparison of the UV-induced photolysis, ozonation and their combination in the decomposition of phenol
   ICP2007 –XIII. International Conference on Photochemistry
   Németország, Köln, 2007. 07. 29- 08. 03.
   poszter, bemutatásra elfogadva

8. Alapi, T., Dombi, A.
   Comparative study of the UV and UV/VUV-induced photolysis and heterogeneous photocatalysis of phenol focused on the intermediates
   International Ozone Association – International Ultraviolet Association Proceedings, 2007 IOA-IUVA Joint World Congress
   Amerikai Egyesült Államok, Kalifornia, Los Angeles, 2007. 08. 27-29.
   előadás, bemutatásra elfogadva

9. Alapi, T., Dombi, A.
   Comparison of the efficiency of UV-induced photolysis, ozonation and their combination in the decomposition of phenol
   International Ozone Association – International Ultraviolet Association Proceedings, 2007 IOA-IUVA Joint World Congress
   Amerikai Egyesült Államok, Kalifornia, Los Angeles, 2007. 08. 27-29.
   előadás, bemutatásra elfogadva

A dolgozat témájához szorosan nem kapcsolódó publikáció

Folyóiratcikk

1. Alapi, T., Sipos, P., Ilisz, I., Wittmann, Gy., Ambrus, Z., Kiricsi, I., Mogyorósi, K., Dombi, A.
   Synthesis and characterization of titania photocatalysts: The influence of pretreatment on the activity
   Appl. Catal. A: General, 303, 2006, 1-8 IF(2005): 2,728

Teljes terjedelmű konferencia kiadvány

2. Alapi, T., Ilisz, I., Dombi, A., Méhn, D., Kiricsi, I.
   Enviromental Decontamination and Solar Energy Utilization Using Heterogeneus Photocatalysis as a Promising Alternative
   Young People and Multidisciplinary Research, The IVth International Symposium
   Románia, Temesvár 2002. 11. 14-15. CD Ed.
   poszter

3. Alapi, T., Ilisz, I., Dombi, A., Mogyorósi, K., Kiricsi, I.
   Block Copolymer Templating Synthesis of mesoporous Titania Photocatalyst
   The 4th International Conference on Carpatian Euroregion Ecology
   Miskolc-Tapolca, 2003. 04. 28-30. CD Ed
   poszter

4. Alapi, T., Sipos, P., Ilisz, I., Dombi, A., Kiricsi, I., Mogyorósi, K.
   Synthesis and characterization of mesoporous titania photocatalysts
   Advanced Oxidation Processes as Abatement Technologies for Organic Micropollutants.
   Belgium, Gent, 2004. 03. 12. (7/p. 1-9.)
   előadás

5. Alapi, T., Sipos, P., Ilisz, I., Wittmann, Gy., Dombi, A., Kiricsi, I.
   Synthesis and characterizatiopn of mesoporous titania photocatalysts. Application of ozone for the removal of the structure forming template
   17th International Ozone Assosiation World Congress
   Franciaország, Strasbourg, 2005. 08. 22-25. Cd Ed
   poszter

Egyéb, a dolgozat témájához szorosan nem kapcsolódó konferencián való részvétel

1. Alapi, T., Dombi, A.
   Synthesis and characterizatiopn of mesoporous titania photocatalysts the influence of pretreatment on the activity
   Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Application
   Spanyolország, Las Palmas, 2006. 11. 8-10 pp. 232.
   poszter

2. Wittmann, Gy., Alapi, T., Dombi, A.
   Synthesis and characterization of mesoporous titania-silica photocatalysts
   Perspectives of Photochemistry in the New Millenium
   Ausztria, Badgastein 2004. 03. 07-11.
   poszter