

**VIZEKBEN ÉS LEVEGŐBEN ELŐFORDULÓ SZERVES  
SZENNYEZŐK LEBONTÁSA NAGYHATÉKONYSÁGÚ  
OXIDÁCIÓS ELJÁRÁSOKKAL**

**MTA DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI**

**DOMBI ANDRÁS**

**SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM, SZERVETLEN- ÉS ANALITIKAI  
KÉMIA TANSZÉK**

**SZEGED  
2006**

## 1. Bevezetés, előzmények

A levegő, a vizek és a talaj minőségének megóvása nagyon sokrétű és nagyon összetett feladat, amelyben – sok minden mellett - a nemkívánatos anyagok kibocsátásának minimalizálása meghatározó jelentőségű. Nem kerülhető el azonban az, hogy a környezetbe visszajutó anyagokból (vizek, levegő) eltávolítsuk a szennyezőket. Az esetek jelentős hányadában, főleg a szerves szennyezők eltávolítása során kielégítő hatékonyságúak a nagyon gazdaságos biológiai módszerek, amelyekben sokszor a természettől elcsúszott öntisztulási folyamatokat alkalmazzák eredményesen. Ezen eljárásokat kémiai szempontból olyan oxidációs folyamatoknak tekinthetjük, ahol a gyakran nagyon kicsiny koncentrációban jelenlévő szennyezőket a mikroorganizmusok környezeti hőmérsékleten, és sokszor a víz alatt „elégetik” oxigén aktiválásával.

Vannak azonban anyagok, amelyeket a mikroorganizmusok alig, vagy egyáltalán nem bontanak le, sőt bizonyos esetekben mérgezik azokat és így veszélyeztetik a biotechnológia hatásosságát. Bizonyos esetekben (például nagytisztaságú vizek előállításánál (mikroelektronika-, gyógyszeripar, gyógyászat, stb.) a biotechnológiai módszerek nem alkalmazhatók az óhatatlanul visszamaradó szerves nyomszennyezők miatt. Mindezek szükségessé tették hatékonyabb tisztítási technológiák kifejlesztését. Kémiai szempontból ezekben az esetekben is hasonló a feladat, mint a biotechnológiai módszereknél, azaz a szennyezők „elégetése”. A kifejlesztett módszerek egyik csoportjának gyűjtőneve az ún. *nagyhatékonyságú oxidációs eljárások* (angol nevén *Advanced Oxidation Processes*), amelyek során valamilyen módszerrel oxigént aktiválnak és reagáltatják a lebontandó szennyezővel, vagy a szennyezőt aktiválják és reagáltatják molekuláris oxigénnel, illetve valamilyen kombinációban alkalmazzák ezeket. Jellemző vonása az eljárásoknak a reaktív szabadgyökök képződése, képzése, amik reagálnak a lebontandó szennyezővel szintén szabad gyökök keletkezése közben. A szennyezőkből így képződő gyökök oxigénbefogással az átalakulást elősegítő átmeneti peroxigyökökön és peroxidokon keresztül a szennyezők teljes mineralizációját (széndioxid, víz, szervetlen anionok, stb.) eredményezhetik.

A reaktív szabad gyökök generálására többféle módszert ismerünk és jelen munka is részletesen foglalkozik az ismert és használt módszerek többségével.

A környezetvédelemmel kapcsolatos kutatásaim indításakor, a 90-es évek elején zömében eszközök és készülékek építésére koncentráltam a munkám, majd a kutatócsoport fokozatos kialakulásával ***a módszerek megismerése és fejlesztése mellett alkalmazásokkal*** is foglalkoztunk. Az alkalmazások során – a szokásos mérnöki gyakorlattól eltérően, amikor a folyamatok kimenő paramétereit optimalizáljuk a bemenő paraméterek változtatásával – arra voltunk/vagyunk kíváncsiak, hogy mi történik a „fekete dobozban”. Ennek értelmében tanulmányozzuk a végbemenő átalakulási folyamatok kémiai jellegzetességeit és időbeli lefolyását (reakciókinetikai viselkedését). A módszerfejlesztéseknél is hasonló szempontok vezérlik bennünket: célunk, hogy a lehetőségeinkhez képest minél behatóbban megismerjük a módszerek jellegzetességeit, és ennek ismeretében fejlesszük a módszerek bizonyos elemeit. Ebbe a fejlesztésbe beletartozik bizonyos anyagok (pl. fotokatalizátorok) előállítása, a vizsgáló és minősítő eljárások javítása és természetesen az egész folyamat optimalizálása.

A disszertációban bemutatott munka hét doktori (PhD) fokozatot szerzett munkatársamnak és a közel ötven, a kutatócsoportban diploma-, szak-, projekt- és tudományos diákköri munkát készítő hallgatónak az eredménye is. Szerepem esetenként a feladatok kitűzésére, a kísérletek megtervezésére, a kísérletek során a folyamatos konzultációra, az eredmények értékelésére, kiértékelésére, prezentációjára és természetesen a szükséges technikai és finanszírozási feltételek megteremtésére, döntően a kutatóműhely munkájának szervezésére terjedt ki, „kétkezi munkámon” túlmenően.

## **2. Előállított vagy felhasznált anyagok, tanulmányozott reakciók és vizsgálati módszerek**

***A módszerfejlesztések és vizsgálatok*** sorában a disszertációban részletesen kitérek az alkalmazott

- a csendes elektromos kisülésen,
- az ultraibolya (UV) és vákuum-ultraibolya (VUV) sugárzáson,
- az ózonon alapuló és
- a heterogén fotokatalízist alkalmazó

gyökgenerálási eljárásokra. Néhány esetben ismertetem a vizsgálatokhoz általunk tervezett és épített készülékeket is.

A felsorolt **módszerek alkalmazásánál** külön tárgyalom

- a levegő és
- a vizek

szerves szennyezőinek eltávolítására vonatkozó vizsgálataink fontosabb eredményeit.

A gázfázisú vizsgálatok során döntően halogéntartalmú klór- és fluorszármazékok (freonok is), valamint kloroetének voltak a modellanyagok, míg a vizek szennyezőinek lebontására alkalmas módszerek esetében döntően fenol (esetleg klórszármazékai) volt a modellvegyület, noha esetenként oxigéntartalmú alifásokat (aldehidek, savak) is vizsgáltunk, de előfordultak más anyagok is (pl. hexaciano-ferrátok).

Az alkalmazott kísérleti eszközök és módszerek egy része természetesen a zömében általunk szerkesztett és épített kémiai és fotokémiai reaktorok köre volt. A reakciókinetikai vizsgálatok során az átalakulási termékek analízisét a menet közben pályázatok révén beszerzett analitikai műszerekre (pl. gázkromatográf, nagyhatékonyságú folyadék-kromatográf, kapilláris elektroforézis berendezés és ezek kombinációja tömeg-spektrometriával, spektrofotométer, TOC analizátor társtanszékkal) adaptált analitikai eljárásokkal végeztük el. Esetenként ez (publikált) módszerfejlesztést is jelentett. A kísérleti módszerek harmadik nagy csoportját a fotokatalizátorok preparálásánál és minősítésénél alkalmazott technikák jelentették. Ezek során szinte rendszeresen használtuk a röntgendiffrakciót, a N<sub>2</sub> adszorpcióján alapuló fajlagos felületmérést, a transzmissziós elektronmikroszkópot (TEM), nagyon gyakran termoanalitikai módszereket (TG, DTG, DTA), FT-IR-spektrometriát, diffúziós reflektanciát (UV-Vis) és esetenként a letapogató elektronmikroszkóppal (SEM) kombinált energiadiszperzív röntgenanalízist. Ezen méréseket társtanszékeken, vagy külföldi együttműködő partnereinknél végeztük el.

### 3. Új tudományos eredmények, megállapítások

3.1. A nagyhatékonyságú oxidációs eljárások fejlesztése kapcsán végzett tevékenységünket az alábbiakban foglalom össze, amelyek közül néhány **új tudományos eredménynek** is tekinthető:

3.1.1. Csendes elektromos kisülésben lejátszódó folyamatok kémiai és reakciókinetikai leírására a kisülés mért elektromos jellegzetességein alapuló módszert dolgoztunk ki. Megállapítottuk:

- Egy elektronütközéses reakció sebességi együtthatója csak a reaktor egységnyi térfogatán időegység alatt áthaladó, adott utat megtevő töltésmennyiség ismeretében függetleníthető a készülék (jól mérhető) paramétereitől.
- Az elektronütközéses reakciók sebességi együtthatói elméletileg is jól becsülhetők az elektron és a célmolekulák közötti kellő energiájú ütközések számából, ha ismerjük a célra vezető ütközések hatékonyságát (hatáskeresztmetszetét).
- Az ütközési térben jelenlévő inaktív molekulák (pl.  $N_2$ ) is lehetnek energiaközvetítő partnerek a célreakció (pl. dioxidigénből való ózonképződés) szempontjából.

3.1.2. Az általunk tervezett és épített Xe-excimer VUV lámpa által kiváltott kémiai átalakulások jellemzésére kinetikai modellt dolgoztunk ki gáz- és folyadékfázisban. Tudományos eredményeink:

- A lámpa ózontermelése az általunk kidolgozott kinetikai modell alkalmazásával kémiai aktinométerként használható (a lámpa 172 nm-es emisszióján).
- Vízben a nagyon rövid úthosszúságon elnyelődő fény hatására képződő  $\bullet H$ - és  $\bullet OH$ - gyökök „kalitkából” való kiszabadulásukhoz gyökfogók szükségesek.
- Igazoltuk, hogy a VUV sugárzás hatására a víz homolízisével keletkező gyökök egyidejűleg oxidálnak és redukálnak is, azonban a redukáló tulajdonságú  $\bullet H$  atom molekuláris oxigénnel való reakciójával képződő  $\bullet HO_2$  gyök már oxidációra is hajlandó.

3.1.3. UV és UV/VUV sugárzással működő fotoreaktorokat terveztünk és építettünk levegő

és vizek szerves szennyezőinek lebontására.

3.1.4. Hidrogénperoxiddal és/vagy UV sugárzással iniciált ózonbomlás tanulmányozása során bizonyítottuk, hogy az ózon vízben való oldása során mindig képződik hidrogénperoxid, ami a bomlás sebességét növeli. **Az ózon bomlására vonatkozóan olyan konzisztens kémiai és kinetikai mechanizmust javasoltunk és mérési eredményeinkre alapozva sebességi paramétereket pontosítottunk, ami jól leírja az ózon hidrogén peroxiddal és/vagy UV sugárzással iniciált bomlását.**

3.1.5. Heterogén fotokatalitikus vizsgálatokhoz mérési elvet dolgoztunk ki, reaktort terveztünk és szerkesztettünk, amiben az átalakulások *in situ* FT-IR spektrometriával nyomon követhetők. **Új tudományos eredményeink:**

- **Mezopórusos szerkezetű titándioxid előállítására alkalmas módszert dolgoztunk ki.**
- **Nagy fajlagos felületű, kompozit fotokatalizátort állítottunk elő az e célra kifejlesztett módszerünkkel, aminek lényege, hogy együttes csapadékleválasztással (koprecipitációval) a  $\text{TiO}_2$  katalizátort mezopórusos szilikát felületére választottuk le.**
- **Szennyezők leválasztására alkalmas organofilizált rétegszilikát adszorbens regenerálására módszert fejlesztettünk ki és a módszert minősítettük.**

3.2. Gázfázisú (lég-) szennyezők nagyhatékonyságú oxidációs eljárásokkal való lebontása terén végzett és bemutatott tevékenységünket és az ebből született **új tudományos eredményeinket** az alábbiakban foglalom össze.

3.2.1. *Csendes elektromos kisülésben* halogéntartalmú metánszármazékok bontásával az alábbi **tudományos eredményeket** értük el:

- **Az átalakulások elektronütközéses reakciókkal indulnak, ezekre reakciókinetikai modellezéssel sebességi együtthatókat állapítottunk meg.**
- **Argon-atmoszférában végrehajtott átalakítások során fluoratomot nem tartalmazó metánszármazékoknál oligomerizációs termékek képződnek, míg a klór-fluor-metánok esetében a domináló átalakulási irány a molekula szétesését követő, néhány láncciklusban végbemenő halogénatom átrendeződés.**

Hidrogénatomot tartalmazó vegyületek csendes elektromos kisülésben jelentős (száz ciklust elérő) láncbomlásban alakulnak át, gazdag termékspektrumot eredményezve.

- **Oxigén-atmoszférában a kisülésben képződő oxigénatomok keletkezése révén a hidrogén-tartalmú metánszármazékok bomlássebessége megnő, ami az oxigénatom általi hidrogénelvonást követő molekuláris oxigén addíciójával és a képződő peroxogyökök további átalakulásaival értelmezhetők. A klórfluor-metánok átalakulásában az elektronütközési reakciói hatására keletkező gyökökre való oxigénmolekula addíciója és az azt követő reakciók a felelősek az átalakulási sebességek mérsékeltebb növekedéséért.**

3.2.2. Klórtartalmú metánszármazékok UV/VUV fotolízisét vizsgáltuk meg olyan kisnyomású Hg-gőz lámpával, ami a 254 nm-es sugárzása mellett 185 nm-en is sugároz. **Új tudományos eredmények:**

- **Az átalakulások a 185 nm-es besugárzás hatására Cl-atom leszakadásával indulnak, amit H-atom elvonása követ. A széntartalmú gyökök oligomerizációs termékekben realizálódnak, hasonlóan a csendes elektromos kisülésben való átalakítások során tapasztaltakhoz. A széntetraklorid lassúbb átalakulása a visszaképződése miatti gyökrekombinációval értelmezhető. A diklórmétán és a kloroform fotolízisének sebességét a hozzáadott széntetraklorid meggyorsítja a H-absztrakcióra képes Cl-atom koncentrációjának növelése révén.**
- **Az oxigéntartalmú besugárzott gázelegyekben a H-tartalmú metánszármazékok bomlási sebessége lényegesen megnövekszik a széntartalmú gyökök oxigén-addícióját követő átalakulások révén visszatermelődő Cl-gyök H-elvonása révén. Széntetraklorid esetében ez a hatás nem érvényesül, mert a Cl-gyök általi Cl-atom elvonás sebessége jelentéktelen.**

3.2.3. Triklóretilén és tetraklóretilén *heterogén fotokatalitikus* átalakulását tanulmányoztuk titándioxid fotokatalizátoron az általunk szerkesztett és épített fotoreaktorban. Kiemelendő tudományos **eredményeknek** tekintjük az alábbiakat:

- Megerősítettük többek azon korábbi megállapítását, hogy a kiindulási anyagra és a bontáshoz feltétlenül szükséges oxigénre nézve érvényesül a Langmuir-Hinshelwood

adszorpciós kinetika. Az adszorpciós bomlási kinetika következtében az anyagok bomlásebbessége atmoszférikus nyomáson egy határon túl nem fokozható az oxigén koncentrációjának növelésével. **Ezen anyagok levegőben is kellő hatékonysággal lebonthatók heterogén fotokatalízissel.**

- **A klóretének bomlásában – sokak állításával ellentétben – bizonyítottan nincs szerepük a hidroxilgyököknek és a klóratomok szerepe is alárendelt jelentőségű.**
- **Bizonyítottuk, hogy a klóretének bomlásában a vízgőznek kimondottan bomlástgátló hatása van.**
- **Az átalakulásokat indító folyamat a megvilágított félvezető felületén szeparálódó töltések átmenete a katalizátor felületén adszorbeálódó lebontandó célvegyületekre és a molekuláris oxigénre. A keletkező molekulaionok egymással való kölcsönhatásában keletkező átmeneti anyagfészeségek révén keletkező szabad gyökök többlépéses reakciói vezetnek az anyagok átalakulásához.**
- **A klóretének bomlása és a köztitermékek felhalmozódása indukciós periódussal indul, ami jól értelmezhető a di- vagy triklórecetsav-klorid köztitermék és a kiindulási anyag töltésátviteli reakciója révén keletkező, labilis felületi képződmények folyamatgyorsítást eredményező gyökös átalakulásával.**

3.3. Vizek nyomszennyezőinek nagyhatékonyságú oxidációs eljárásokkal való lebontása terén végzett és itt bemutatott tevékenységünk és **új tudományos eredményeink** összefoglalása

3.3.1. VUV sugárzás hatását vizsgáltuk maleinsav, fenol, hexaciano-ferrátok átalakításánál, illetve oxigénnel telített vízben hidrogénperoxid felhalmozódásának mérésével valószínűsítettük:

- **A folyamat első lépésében egy primer gyökpár keletkezik az oldószerkalitkában, amely vagy azonnal visszaalakul a kiindulási molekulává, vagy komponensei az oldószerkalitkából szét diffundálhatnak, illetve reagálhatnak az oldatban lévő gyökfogó vegyületekkel; a „kalitka-effektus” magyarázhatja a kísérletek során tapasztalt kvantumhasznosítási tényező egynél jóval kisebb értékét.**

### 3.3.2. Fenol UV és UV/VUV fotolízisével megállapítottuk

- **A víz nagyon vékony rétege által elnyelt 185 nm-es sugárzás hatására képződő •OH- és •H-gyökök indítják egyrészt a dihidroxibenzolok képződéséhez, másrészt a gyűrűnyíláshoz vezető bomlási folyamatokat, ha a víz oldott oxigént tartalmaz.**
- **A 254 nm-es sugárzás hatására gerjesztett fenolmolekula révén képződő fenoxigyök oxigén jelenlétében kinonná oxidálódik, ami gyors fotokémiai reakcióban részben dihidroxibenzolokká részben gyűrűnyílási termékekkel alakul át.**
- **Az oldott oxigén hiányában a lényegesen kisebb bomlásebesség az átalakulási láncok rövidüléséhez és zömében gyökletörési termékek felhalmozódásához vezet.**

### 3.3.3. Fenol és klórfenolok heterogén fotokatalitikus átalakításának vizsgálatánál az alábbi következtetésekre és új tudományos eredményekre jutottunk:

- A csak megvilágított félvezető felületén és elektronbefogót is tartalmazó oldatokban végbemenő átalakulások döntően adszorpciós kinetikával jellemezhetők. Elektronbefogónak a gyakorlati alkalmazás szempontjából egyedül szóba jöhető oxigén mellett használhatók más anyagok (pl. ezüstion, hidrogénperoxid) is.
- A csak hidrogénperoxid tartalmú vízben annak egyidejű oxidációja és redukciója megy végbe.
- Ezüst elektronbefogó, valamint metanol gyökfogó alkalmazásával igazoltuk, hogy a heterogén fotokatalitikus átalakulások ebben az esetben is az elektronbefogóra és az átalakítandó szennyezőre (fenolra) való közvetlen töltésátmenettel indulnak, és a keletkező gyökionok közötti felületi reakciók viszik tovább a bomlást.
- Ezüst elektronbefogó alkalmazásával a valószínűsíthetően keletkező fenoxigyök katalizátoron adszorbeálódó rekombinációs termékei gyorsan elbomlanak a felületen és ezáltal a mineralizáció rövidebb idő alatt válik teljessé.
- A klórfenol fotolízissel és heterogén fotokatalízissel való lebontásával igazoltuk, hogy az a fenolhoz hasonló kémiai mechanizmus szerint bomlik el.
- A fenol ózonnal való reakciójában részben molekuláris, részben gyökös úton bomlik és elérhető vele a fenol teljes mineralizációja.

#### **4. Az eredmények gyakorlati alkalmazhatósága**

Ebben a pontban talán eredményeink tudományos célú felhasználásával és alkalmazhatóságával lenne célszerűbb foglalkozni. Az ugyanis nem kétséges, hogy a nagyhatékonyságú oxidációs eljárások az elmúlt másfél évtizedben kiterjedt gyakorlati alkalmazásra tettek szert. Az is igaz, hogy széleskörű alkalmazáshoz képest meglehetősen kevés tudás halmozódott fel például a szennyezőlebontási folyamatok kémiaiáját és időbeli lefolyását (kinetikáját) illetően. Ezek az ismeretek azonban elengedhetetlenek a mainál sokkal hatékonyabb szennyezőtisztítási eljárások, technológiák és berendezések tervezéséhez és hasznosan hozzájárulnak a technológiák gazdaságos üzemeltetéséhez.

Ezen a téren a leginkább perspektivikusnak a heterogén fotokatalizátorok ígérkeznek. Környezetvédelmi alkalmazásuk mellett számos más technikai alkalmazásuk van az öntisztuló felületek létesítésétől kezdve különleges (*super* az angol terminológiában) hidrofilítással rendelkező felületek (pl. üvegek) létesítéséig. Kiterjedt vizsgálatok folynak orvosi (onkológiai) alkalmazásukra. Az igazi kihívás azonban az energiatermelésre való alkalmazásukban van, napelemektől kezdve a napsugárzással való hidrogén-előállításig. A gyakorlati alkalmazhatósághoz való szerény hozzájárulásunk mellett remélhetőleg bővítettük a tudományos ismeretek hatalmas piramisát néhány építőkővel.

## 5. Az értekezés alapjául szolgáló saját közlemények jegyzéke\*

### Folyóiratcikkek

- [P1] Gál,G\*, Kiss,É., Földes,J. **Dombi, A.**:Disinfection of regenerated dialyzers with ozone  
*Int.J.Artific.Organ.* 15,405 (1992)  
 Impact factor: 0,868 Független hivatkozások: 3
- [P2] Sipos-Nagy,G., **Dombi,A.\***:Gas reactions in silent electric discharges. Part I.: Exact calculations of the charge passed through the discharge chamber and the electric field using the electrical parameters of circuit  
*Ozone Sci.Eng.* 18, 127(1996)  
 Impact factor: 0,722 Független hivatkozások: 8
- [P3] Sipos-Nagy,G., **Dombi,A.\***:Gas reactions in silent electric discharges.Part II.: Chemical reactions involving electron-molecule collisions on oxygen  
*Ozone Sci.Eng.* 18, 141 (1996)  
 Impact factor: 0,722 Független hivatkozások: 9
- [P4] Sipos-Nagy,G., Horváth,D., **Dombi,A.\***:Gas reactions in silent electric discharges. Part III.: Investigations of chemical reactions involving electron-molecule collisions in various gaseous mixtures of O<sub>2</sub> with Ar, N<sub>2</sub> or CO  
*Ozone Sci.Eng.* 18, 159 (1996)  
 Impact factor: 0,722 Független hivatkozások: 2
- [P5] **Dombi,A.\***, Ilisz, I., Wittmann, Gy.: Gyökgenerálási eljárások a vízkezelésben alkalmazott nagyhatékonyságú oxidációs eljárásokhoz  
*Erdélyi Múzeumi Füzetek*, 6, 59-67 (1997)  
 Impact factor: nincs Független hivatkozások: nincs
- [P6] **Dombi, A.**: Calculation and Evaluation of Electron-molecile Collision Reactions in a Silent Electric Discharge  
*ACH- Models in Chemistry* 135, 663-675 (1998)  
 Impact factor: 0,534 Független hivatkozások: nincs
- [P7] Ilisz, I., Foglein, K., **Dombi, A.\***:The Photochemical Behavior of Hydrogen Peroxide in Near UV-irradiated Aqueous TiO<sub>2</sub> Suspensions  
*J. Molecular Catalysis A: Chemical*, 135(1) 55-61(1998)  
 Impact factor: 1,657 Független hivatkozások: 14
- [P8] László Zs., Ilisz,I., Peintler,G., **Dombi, A.\***:VUV Intensity Measurement for a 172 nm by means of Oxygen Actinometry  
*Ozone Sci. Eng.* 20. 421-432 (1998)  
 Impact factor: 1,028 Független hivatkozások: 5
- [P9] Ilisz,I. László,Zs. **Dombi, A.\*** :Investigationof the Photochemical Decomposition of Phenol in near-UV Irradiated Aqueosu TiO<sub>2</sub> Suspension. I. Effect on Charge Trapping Species on the Degradation Kinetics  
*Applied Catalysis A: General* 180, 25-33 (1999)  
 Impact factor: 1,557 Független hivatkozások: 53
- [P10] Ilisz,I. , **Dombi, A.\***:Investigationof the Photochemical Decomposition of Phenol in near-UV Irradiated Aqueosu TiO<sub>2</sub> Suspension. II.Effect of Charge Trapping Species on the Product Distribution  
*Applied Catalysis A: General* 180, 34-45 (1999)  
 Impact factor:1,557 Független hivatkozások: 33
- [P11] **Dombi, A.\***, Fekete, Z. A., Kiricsi I.: In situ photocatalytic reactor with FT-IR analysis for

---

\* levelező szerző

heterogeneous catalytic studies

*Applied Catalysis A: General* 193, L5 (2000)

Impact factor: 1,576

Független hivatkozások: 2

[P12] **Dombi, A.** Disinfection and disinfection byproducts formation in water treatment

*Centr. Eur. J. Occup. Environ. Med.* 6, 109-114 (2000)

Impact factor: nincs

Független hivatkozások: nincs

[P13] Hegedűs, M., **Dombi, A.\***, Kiricsi, I.: Photocatalytic decomposition of tetrachloroethylene in gas phase with titanium dioxide as catalyst

*React. Kinet. Catal. Lett.* 74, 209-215, (2001)

Impact factor: 0,475

Független hivatkozások: 3

[P14] **Dombi, A.\***, Ilisz, I., László, Zs., Wittmann, Gy.: Comparison of ozone based and other (VUV and TiO<sub>2</sub>/UV) radical generation methods in phenol decomposition

*Ozone Sci. Eng.* 24, 49-54 (2002)

Impact factor: 0,683

Független hivatkozások: 6

[P15] Ilisz, I. **Dombi, A.\***, Mogyorósi, K., Farkas, A., Dékány, I.: Removal of 2-chlorophenol from water by adsorption combined with TiO<sub>2</sub> photocatalysis

*Applied Catal. B. Environ.* 39, 247-256 (2002)

Impact factor: 2,866

Független hivatkozások: 25

[P16] Mogyorósi, K., Farkas, A., Dékány, I.\*, Ilisz, I., **Dombi, A.**: TiO<sub>2</sub> based photocatalytic degradation of 2-chlorophenol adsorbed on hydrophobic clay

*Environ. Sci. Technol.* 36, 3618-3624 (2002)

Impact factor: 3,123

Független hivatkozások: 24

[P17] László, Zs., **Dombi, A.\***: Oxidation of [Fe(CN)<sub>6</sub>]<sup>4-</sup> and reduction of [Fe(CN)<sub>6</sub>]<sup>3-</sup> in VUV-irradiated aqueous solution

*Chemosphere* 46, 491-494, (2002)

Impact factor: 1,461

Független hivatkozások: 10

[P18] **Dombi, A.**: VUV sugárforrás fénytéljesítményének meghatározása kémiai aktinometriával

*Magy. Kém. Foly.*, 108, 67-71, (2002)

Impact factor: 0,207

Független hivatkozások: nincs

[P19] Wittmann, Gy., Horváth, I. **Dombi, A.\***: UV-induced decomposition of ozone and hydrogen peroxide in the aqueous phase at pH 2-7

*Ozone Sci. Eng.* 24, 281-290. (2002)

Impact factor: 0,683

Független hivatkozások: 3

[P20] Föglein, K.A., Szépvölgyi, J., **Dombi, A.\***: Decomposition of halogenated methanes in oxygen-free gas mixtures by the use of a silent electric discharge

*Chemosphere*, 50, 9-13. (2003)

Impact factor: 1,904

Független hivatkozások: 1

[P21] Farkas, A., Mogyorósi, K., Dékány, I.\*, Ilisz, I., **Dombi, A.**: Hidrofób montmorilloniton adszorbeált 2-klórfehol heterogén fotokatalitikus lebontása TiO<sub>2</sub> szuszpenzióban

*Magy. Kém. Foly.*, 108, 501-507, (2002)

Impact factor: 0,207

Független hivatkozások: nincs

[P22] Gere, E.P., Berczi, B., Simandi, P., Wittmann, G., **Dombi, A.\***: Simultaneous determination of hydrogen peroxide and organic hydroperoxides in water

*Int. J. Environ. Anal. Chem.* 82, 443-450 (2002)

Impact factor: 0,797

Független hivatkozások: 1

- [P23] Ilisz, I., **Dombi, A.**, Mogyorósi, K., Dékány I.\*: Photocatalytic water treatment with different TiO<sub>2</sub> nanoparticles and hydrophilic/hydrophobic layer silicate adsorbents  
*Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 230 (2003) 89-97  
 Impact factor: 1,586 Független hivatkozások: 17
- [P24]. Föglein, K.A., Szabó, P.T., **Dombi, A.**, Szépvölgyi, J\*: Comparative study of the decomposition of CCl<sub>4</sub> in cold and thermal plasma  
*Plasma Chem. Plasma P.* 23 (2003) 651-664  
 Impact factor:1,611 Független hivatkozások:5
- [P25] Ilisz, I., Bokros, A., **Dombi, A.\***: TiO<sub>2</sub> based heterogeneous photocatalytic water treatment combined with ozonation  
*Ozone Sci. Eng.* 26 (6): 585-594 (2004)  
 Impact factor: 0,826 Független hivatkozások: 3
- [P26] Hegedüs, M., **Dombi A.\***: Comparative study of heterogeneous photocatalytic decomposition of tetrachloroethene and dichloroethene in the gas phase  
*Appl. Catal. A.General*, 271 (2004) 177-184  
 Impact factor:2,378 Független hivatkozások: 5
- [P27] Hegedüs, M., **Dombi, A\***: Gas-phase heterogeneous photocatalytic oxidation of chlorinated ethenes over titanium-dioxide: perchloroethene  
*Appl. Catal. B.Environmental*, 53 (2004) 141-151  
 Impact factor: 4,042 Független hivatkozások: 3
- [P28] Wittmann, Gy., Demeestere, K., **Dombi, A.**, Dewulf J\*, Van Langenhove H.: Preparation, structural characterization and photocatalytic activity of mesoporous Ti-silicates  
*Appl. Catal. B. Environmental* 61,47-57, 2005  
 Impact factor: 4,042 Független hivatkozások: 4
- [P29] 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, 1-8, 2006,  
 Impact factor: 2,378 Független hivatkozások: 5
- [P30] Alapi, T. , Van Craeynest, K. , Van Langenhoeve, H. , **Dombi, A.\***: UV photolysis of the binary mixtures of VOCs in dry nitrogen stream  
*Reac.Kinet. Catal. Lett.* 87, 255-267, 2006  
 Impact factor: 0,618 Független hivatkozások: nincs
- [P31] 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, 139-144 ,2006  
 Impact factor: 2,359 Független hivatkozások: nincs
- [P32] Alapi, T., **Dombi, A.\***:Direct VUV photolysis of chlorinated methanes and their mixtures in oxygen stream  
*Chemosphere*, 67, 693-701,2007  
 Impact factor: 2,359 Független hivatkozások: nincs
- [P33 ] Alapi, T. , **Dombi A\***. Comparative study of the UV and UV/VUV photolysis of phenol in aqueous solution  
*Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 188, 409-418, 2007  
 Impact factor: 2,098 Független hivatkozások: nincs

## Nemzetközi konferenciák kiadványaiban megjelent teljes terjedelmű dolgozatok

- [C1] Beck, M.T., Dinya, Z., **Dombi, A.**, Fetzer, J.C., Kéki, S., Papp, L., Szabó, P., Szépvölgyi, J., Zsuga, M.: Comparative study of carbonization of toluene upon heating, electric discharge, silent electric discharge and radiofrequency plasma.  
*Recent Advances in the Chemistry and Physics of Fullerenes and Related Materials*, Proc. Electrochem. Soc. 94-24, 1994 Független hivatkozások: 2
- [C2] Ilisz, I., Wittmann, Gy., **Dombi, A.**: Photodegradation of Phenol as Model Compound in Excited  $\text{TiO}_2$  Suspensions  
*Regional Conference on Ozone, Ultraviolet Light, Advanced Oxidation Processes in Water Treatment*, Amsterdam, Netherlands, 1996, p. 515-525
- [C3] Wittmann, Gy., Ilisz, I., **Dombi, A.**: Mechanism of Catalysed Ozone Decomposition in Aqueous Solutions.  
*Regional Conference on Ozone, Ultraviolet Light, Advanced Oxidation Processes in Water Treatment*, Amsterdam, Netherlands, 1996, p. 411-421 Független hivatkozások: 4
- [C5] Ilisz, I., **Dombi, A.**: Heterogeneous Photocatalysis. A Promising Alternative in Water Treatment  
*Ozonation and AOPs in Water Treatment: Application and Research*, Poitiers, France, 1998, pp 57/1-4
- [C6] László, Zs. **Dombi, A.**: Radical Generation by Xenon Excimer Light Source  
*Water Treatment: Application and Research*, Poitiers, France, 1998, pp 56/1-4
- [C7] László, Zs., Alapi, T., Ilisz, I., **Dombi, A.**: Comparison of the inhibition effect of methanol in different radical generation techniques,  
*International Conference on Applications of Ozone and also on UV and Related Ozone Technologies*, Wasser Berlin, 2000. október 23-26, (Proc. of International Conference on Applications of Ozone and also on UV and Related Ozone Technologies, Ed. Maschelein, Published Wasser Berlin, pp. 509-520
- [C8] **Dombi, A.**, Ilisz, I., László, Zs., Wittmann Gy.: Comparison of ozone-based and other (VUV and  $\text{TiO}_2/\text{UV}$ ) radical generation methods in phenol decomposition  
*International Conference on Applications of Ozone and also on UV and Related Ozone Technologies*, Wasser Berlin, 2000. október 23-26, (Proc. of International Conference on Applications of Ozone and also on UV and Related Ozone Technologies, Ed. Maschelein, Published Wasser Berlin, pp. 509-520)
- [C9] Ónody, R., Wittmann, Gy. Kiss, É., Gál, Gy., **Dombi, A.**: Regeneration of hemo dialisers with ozone  
*15th Ozone Word Congress and Medical Therapy Conference*, London, United Kingdom, 2001,
- [C10] Ilisz, I., Bokros, A., **Dombi, A.**:  $\text{TiO}_2$ -based heterogeneous photocatalytic water treatment combined with ozonation  
*International Conference on Ozone in Global Water Sanitation*, 2002., Amszterdam, pp. III-2-1-21
- [C11] 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  
*IOA Conference at Wasser-Berlin 2006*, Berlin, Germany, pp 49-55
- [C12] Alapi, T., Sipos, P., Ilisz, I., Wittmann, Gy., **Dombi, A.**, Kiricsi, I.: Synthesis and characterization of mesoporous titania photocatalysts. Application of ozone for the removal of the structure forming template,  
*17th Word Congress; Ozone and Related Oxidants, Innovative and Current Technologies*, Strasbourg, France, pp IV.4. -15/1-10 (2005)
- [C13] Demesestere, K., Wittmann, Gy., **Dombi, A.**, Dewulf, J., Van Lengenrove H.: Photocatalytic degradation of gaseous trichloroethylene over near-UV irradiated mesoporous Ti-silicates,  
*17th Word Congress; Ozone and Related Oxidants, Innovative and Current Technologies*, Strasbourg, France, pp. VIII.6-1-9 (2005) CD edition

- [C14] Alapi, T., **Dombi, A.**, Van Craeynest, K., Van Lengenove, H., Dewulf J.: UV photolysis of binary mixtures of VOCs on nitrogen and oxygen stream using ozone producing lamp  
*17th World Congress; Ozone and Related Oxidants, Innovative and Current Technologies*, Strasbourg, France, pp.VIII.7-1-9 (2005) CD edition
- [C15] 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  
*IOA Conference at Wasser-Berlin 2006*, Berlin, Germany, CD edition
- [C16] **Dombi, A.**, Alapi, T.: Comparison of direct photolysis and heterogeneous photocatalysis of phenol in aqueous solution  
*1<sup>st</sup> European Conference of Environmental Applications of AOPs*, Chania, Greece. 2006 CD edition
- [C17] Ambrus, Z., Wittmann, Gy., Sipos, P., **Dombi, A.**: Preparation and characterization of doped titanium dioxide catalysts  
*1<sup>st</sup> European Conference of Environmental Applications of AOPs*, Chania, Greece. 2006 CD edition

### **Munkabizottsági üléseken, szakmai fórumokon elhangzott előadás**

- [MB1] **Dombi, A.**: Illékony szerves vegyületek felszín alatti vizekben  
*MTA SzAB Analitikai és Környezetvédelmi Munkabizottsági ülés*, Szeged, 1993
- [MB2] **Dombi, A.**, Sipos-Nagy, G.: Elektron-molekula ütközéses reakciók sebességi együtthatóinak számítása  
*MTA Reakciókinetikai és Fotokémiai Munkabizottságának ülése* Budapest, 1994
- [MB3] **Dombi, A.**, Sipos-Nagy, G.: Kémiai reakciók csendes elektromos kisülésben  
*MTA Környezetkémia Bizottságának ülése*, Szeged, 1994
- [MB4] **Dombi A.**: Környezeti szennyezők lebontása nagyhatékonyságú oxidációs eljárásokkal  
*Veszprémi Egyetem, Környezettudományi Doktori Iskola ülése*, 2002. február
- [MB5] **Dombi A.**: Heterogén fotokatalizátorok környezeti és környezetvédelmi alkalmazásai  
*MTA Tudományok Napja rendezvényei*, Szeged, 2003. november
- [MB6] Hegedűs M., **Dombi A.**: Klórozott etilének heterogén fotokatalitikus lebontása  
*MTA Katalízis Munkabizottságának ülése*, Veszprém, 2004
- [MB7] **Dombi A.**: Oxigén aktiválása környezetszennyezők kémiai lebontásánál  
*MTA Fizikai Kémia és Szervetlenkémia Bizottságának ülése*, Szeged. 2006. május

### **Könyv, könyvfejezet**

- [B1] **Dombi A.** Ilisz I.: Nagyhatékonyságú oxidációs eljárások a környezeti kémiában  
A kémia újabb eredményei, sorozat, 86 kötet  
Akadémiai Kiadó, Budapest, 2000

### **Szabadalmak**

- [Pat1] **Dombi, A.**, Otolitics, V.: Eljárás és berendezés felszíni vizek tisztítására  
*Magyar Köztársaság 9010.019 számú szabadalom PCT Int.Appl.WO9010.019*
- [Pat2] **Dombi, A.**, Otolitics, V., Mohácsi, L., Racs, T.: Mobil víztisztító berendezés  
*Magyar Köztársaság 202.164/90 számú szabadalom. (Hung. Pat.No.202.164/90)*
- [Pat3] Dékány I., **Dombi A.**, Farkas A., Ilisz I., Mogorósi K.: Eljárás vizek szerves szennyezőinek fotooksidációs lebontására organofil bentonit alkalmazásával  
*Találmányi bejelentés, Magyar Szabadalmi Hivatal, Lajstromszám: P 01 04289*

### **A tématerületen született doktori (PhD) disszertációk**

[D1] Siposné Nagy Gabriella: „Gázreakciók csendes elektromos kisülésben”  
Egyetemi doktori értekezés, JATE, Szeged, 1995

[D2] Ilisz István: „Vizek szerves szennyezőinek katalitikus fotooxidációja”  
Egyetemi doktori (PhD) értekezés, JATE, Szeged, 1998

[D3] Wittmann Gyula: „Nagyhatékonyságú oxidációs eljárások vizsgálata”  
Egyetemi doktori (PhD) értekezés, JATE, Szeged, 1999

[D4] László Zsuzsanna: „Vákuum-ultraibolya fotolízis alkalmazhatóságának vizsgálata környezeti szennyezők lebontására”  
Egyetemi doktori (PhD) értekezés, SZTE, Szeged, 2001

[D5] Főglein Katalin: „Halogéntartalmú metánszármazékok bontása csendes elektromos kisülésben”  
Egyetemi doktori (PhD) értekezés, SZTE, Szeged, 2002

[D6] Hegedűs Márta: „Klórozott etilének heterogén fotokatalitikus lebontása”  
Egyetemi doktori (PhD) értekezés, SZTE, Szeged, 2004

[D7] Alapi Tünde: „Levegő és vizek szerves nyomszennyezőinek lebontása UV/VUV fotolízissel”  
Egyetemi doktori (PhD) értekezés, SZTE, Szeged, 2006

### Összesítő adatok (2007. június 30.):

A disszertációból készült dolgozatok összes hatástényezője: 50,59

Frakcionált hatástényező: 15,83

A disszertáció anyagára való független hivatkozások száma: 248

Frakcionált hivatkozásszám: 81,68

A tudományometriai adatok részletei elérhetők: <http://www.staff.u-szeged.hu/~dombia/indexh.htm>