

*DOKTORI (Ph.D.) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI*

# **Környezeti szennyezők ártalmatlanítása UV- és látható fényre aktív titán-dioxid alapú fotokatalizátorokkal**

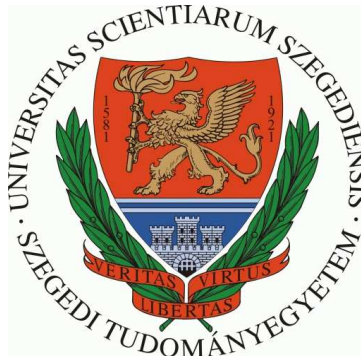
**Veréb Gábor**

Témavezetők:

**Dr. Dombi András** (egyetemi tanár, SZTE, Környezetkémiai Kutatócsoport)

**Dr. Mogyorósi Károly** (tudományos munkatárs, SZTE, Környezetkémiai Kutatócsoport)

**Környezettudományi Doktori Iskola**



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

*Szeged  
2014.*

## 1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK:

A heterogén fotokatalízis napjaink intenzíven vizsgált kutatási területe. Sokan foglalkoznak látható fénnel is hatékonyan gerjeszthető titán-dioxid alapú fotokatalizátorok előállításával, melyek egyrészt napfényt hasznosító, gazdaságos víztisztító technológiák fejlesztése, másrészt beltéri öntisztuló/levegőtisztító felületek kialakítása szempontjából is érdekesek. Ezen alkalmazásoknál kritikus kérdés a fotokatalizátorok rögzítése is. Kutatómunkámban célul tűztem ki két olyan kérdéskör részletes vizsgálatát, melyek fontosak a heterogén fotokatalízis gyakorlati alkalmazhatóságánál. Nevezetesen, látható fénnel gerjeszthető fotokatalizátorok vizsgálatát, valamint lehetséges rögzítési módszerek kidolgozását.

Célom volt különböző anyagokkal módosított, látható fényre is aktív titán-dioxid alapú fotokatalizátorok előállítása, részletes jellemzése és összehasonlítása a kereskedelmi forgalomban kapható fotokatalizátorokkal.

A részecskeméret és a fázisösszetétel meghatározására röntgendiffraktometriát (XRD), az adalékolt fotokatalizátorok elemtartalmának meghatározására röntgenfluoreszcens spektroszkópiát (XRF) és röntgen-fotoelektron spektroszkópiát (XPS), a fajlagos felület meghatározására nitrogén adszorpciós mérést, a fotokatalizátorok fényelnyelésének jellemzésére pedig diffúz reflexiós spektrometriát (DRS) alkalmaztam. Képeket készítettem transzmissziós elektronmikroszkóppal (TEM) a fotokatalizátor részecskék méreteloszlásának, illetve alakjának jellemzésére. A fotokatalizátorok fotoaktivitásának jellemzésére többféle hullámhosszúságú megvilágítást (UV, VIS, napfény), és többféle modellszennyezőt (fenol illetve *E. coli* baktérium) alkalmaztam.

Célkitűzéseim között szerepelt kapcsolat keresése a fotokatalizátorok hatékonysága, illetve a keletkező reaktív gyökök között elektron spin rezonancia (ESR) mérésekkel.

Szabadtéri kísérletekkel jellemeztem az egyes fotokatalizátorok hatékonyságát napfénnel történő gerjesztés esetén és részletesen vizsgáltam az ígéretes fotokatalizátorok aktivitásának hullámhossz szerinti függését.

Többféle módszert kipróbáltam a fotokatalizátorok rögzítésére, és a megfelelő tulajdonságokkal bíró (fotokatalitikusan aktív, tartós) felületeket a célnak megfelelő (esetenként saját tervezésű és építésű), áramlásos fotoreaktorokban alkalmaztam. További célom volt egy olyan nagylaboratóriumi méretű fotokatalitikusan aktív felülettel ellátott áramlásos fotoreaktor megépítése, mely alapjául szolgálhat egy olyan mobil víztisztító berendezésnek, melynek üzemeltetéséhez kizárólag napfényre van szükség.

## 2. MÓDSZEREK

### 2.1. Fotokatalitikus aktivitások jellemzése

A fotokatalizátorok aktivitásának jellemzéséhez saját készítésű UV (6 db *Vilber-Lourmat T-6L UV-A* típusú, 6W-os fénycső), illetve látható fényt sugárzó fényforrásokkal (4 db *Düwi 25920/R7S* típusú, 24W-os, energiatakarékos, kompakt fénycső) felszerelt fotoreaktorokat használtam. Egyes esetekben különböző színű *5050 SMD* típusú LED szalagokat (14,4 W) is alkalmaztam a fotokatalizátorok gerjesztéséhez.

### 2.2. Fertőtlenítő hatás vizsgálata

A fotokatalizátorok aktivitását egyes esetekben *Escherichia coli* K12 baktérium inaktiválásával is jellemeztem. A kísérleteket látható fényt sugárzó fénycsövekkel felszerelt fotoreaktorban végeztem. A kezelt vizekben lévő élő baktériumsejtek számát az egyes mintákból agar-agar gélen kifejlődő telepek számlálásával jellemeztem.

### 2.3. Immobilizált fotokatalizátort alkalmazó fotoreaktor

Az előállított fotokatalitikusan aktív felületeket egy saját tervezésű, rögzített ágyas, recirkulációs, áramlásos fotoreaktorban alkalmaztam. Az immobilizált fotokatalizátor gerjesztéséhez UV fénycsöveket (*Ligtech UVA*; 4×40W), vagy látható fényt sugárzó reflektorokat (*Jen CE-82*; 2×500W) használtam.

### 2.4. Folyadékkromatográfia

A különböző modellvegyületek fotokatalitikus bontása során vett minták szennyezőanyag tartalmát *nagyhatékonyságú folyadékkromatográfiával* (HPLC) határoztam meg, egy *Agilent 1100 series* típusú berendezéssel.

### 2.5. ESR mérések

A megvilágított fotokatalizátorokon keletkező reaktív gyökök vizsgálatához *elektron spin rezonancia* (ESR) méréseket végeztem egy *Bruker Biospin ESP300E* típusú spektrométerrel. Az alkalmazott gyökfogók a 2,2,6,6-tetrametil-4-piperidinol (TMP-OH), illetve az 5,5-dimetil-1-pirrolin N-oxid (DMPO) voltak. Egyes esetekben nehézvizet és Na-azidot is használtunk a méréseink során.

### 2.6. Fényintenzitás meghatározása

Az egyes fotoreaktorokra jellemző foton fluxus meghatározásához vas-oxalát aktinometriát használtam, mely az egyik leggyakrabban használt fényintenzitást mérő módszer a fotokémiában.

Az 550 nm-nél nagyobb hullámhosszúságú fotonokat kibocsátó fényforrások esetében egy

Apogee MQ-200 típusú VIS intenzitásmérő ("PPF meter – photosynthetic photon flux") segítségével határoztam meg a fényintenzitást.

## 2.7. A minták anyagszerkezeti jellemzése

A nanorészecskék alakjának, méreteloszlásának (egyes esetekben méretének) jellemzéséhez egy Philips CM 10 típusú (100kV) *transzmissziós elektronmikroszkópon* készült felvételeket (TEM) használtam.

A Röntgendiffraktogramokat (XRD) egy Rigaku Miniflex II típusú diffraktométeren mértem a következő mérési paraméterek mellett:  $\lambda_{\text{Cu K}\alpha} = 0,15406 \text{ nm}$ , 40 kV, és 30 mA.

A fotokatalizátorok *diffúz reflexiós spektrumainak* felvételét (DRS) egy ILV-724 típusú diffúz reflexiós modullal ellátott Jasco-V650 típusú diódasoros spektrofotométerrel végeztem (220 és 800 nm között, 0,5 nm-es felbontással és 100 nm/perc pásztázási sebességgel).

A fotokatalizátorok *fajlagos felületét* nitrogén adszorpcióval határoztam meg 77 K-en egy Micromeritics gázadszorpciós mérőműszerrel (Gemini Type 2375). A fajlagos felület számításánál a BET módszert alkalmaztam.

A fotokatalizátorok elemtartalmának, illetve felületének vizsgálatához *röntgen fotoelektron spektroszkópiát* (XPS) alkalmaztam. A méréseknél egy Phoibos 150 MCD 9-es elektronanalizátorral ellátott Specs spektrométert használtam. A röntgen fotoelektron forrás egy Mg anód  $K_{\alpha}$  sugárzása volt ( $h\nu = 1253,6 \text{ eV}$ ).

Az *infravörös spektrumok* (IR) felvételére egy FRA 106 Raman modullal kiegészített Bruker Equinox 55 típusú spektrométert használtam. A mintákat KBr-dal keverve pasztilláztam ( $h \approx 0,3 \text{ mm}$ ). A spektrumokat  $2 \text{ cm}^{-1}$  -es felbontással rögzítettem a  $400\text{-}4000 \text{ cm}^{-1}$  -es tartományban.

Egyes fotokatalizátorok elemösszetételét egy Horiba Jobin Yvon XGT-5000 típusú készülék segítségével *röntgen fluoreszcens spektroszkópiával* (XRF) is jellemeztem (Rh röntgenforrás, 30 kV-os gerjesztési feszültség,  $I = 0,5 \text{ mA}$ ,  $t = 1000 \text{ s}$ ).

### 3. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

#### 1. Aranyat illetve ezüstöt tartalmazó TiO<sub>2</sub>/nemesfém nanokompozitok fenol, illetve *E. coli* modellszennyezők esetén nem mutatnak nagyobb fotokatalitikus aktivitást, mint az alap fotokatalizátor [1, 2].

Az XRF mérések eredményei alapján sikerült előállítani 0,96 m/m% aranytartalmú TiO<sub>2</sub>/Au, illetve 0,94 m/m% ezüsttartalmú TiO<sub>2</sub>/Ag nanokompozitokat. Fenol modellszennyező, illetve UV megvilágítás esetén a nemesfémet tartalmazó TiO<sub>2</sub> nanokompozitok fotokatalitikus aktivitása csekély mértékben kisebb, mint az alap fotokatalizátor aktivitása [1]. Látható fénnel való gerjesztés esetén a TiO<sub>2</sub>/Ag nanokompozit hasonló aktivitású, mint az alapfotokatalizátor, míg a TiO<sub>2</sub>/Au nanokompozit aktivitása elhanyagolhatóan csekély [2]. *E. coli* modell szennyező esetén (csak látható fénnel való gerjesztés esetén vizsgáltam) a TiO<sub>2</sub>/Ag nanokompozit hasonló aktivitású, mint az alapfotokatalizátor, míg a TiO<sub>2</sub>/Au nanokompozitnak nincs fertőtlenítő hatása [2]. Mindezen eredmények alapján megállapítható, hogy az általam vizsgált modellszennyezők ártalmatlanítása esetén nem célszerű sem arannyal, sem ezüsttel adalékolni a TiO<sub>2</sub>-ot. Megjegyzendő, hogy oxálsav modellszennyező, illetve UV megvilágítás esetében a TiO<sub>2</sub>/nemesfém nanokompozitok kiemelkedő hatékonyságúak [1], ahogy azt már 2003-ban Szabó-Bárdos és munkatársai [3] is publikálták.

#### 2. Azok a fotokatalizátorok fertőtlenítő hatásúak, amelyek látható fénnel történő megvilágítás hatására hidroxil-gyököt termelnek [2]. Az előállított, jóddal adalékolt titán-dioxid fertőtlenítő hatása nem csak fotokatalitikus hatás miatt érvényesül [4].

A fenol, valamint az *E. coli* modellszennyezőkkel végzett fotokatalitikus víztisztítási kísérletek eredményeit, illetve az ESR mérések eredményeit foglalja össze a **1. táblázat**. A táblázatban bemutatottak szerint azon fotokatalizátorok fertőtlenítő hatásúak, melyek látható fénnel történő megvilágítás hatására termelnek hidroxil-gyököt. Azon fotokatalizátorok, melyeken nem képződik hidroxil-gyök, nem rendelkeznek fertőtlenítő hatással, ennek ellenére fenolbontó képességük akár kimagasló is lehet.

Fotokatalizátor	$r_{0, \text{fenol}}$ ( $\times 10^{-8}$ M/s)	$t_{\text{Fertőtlenítés}}$ (perc)	ESR Mérések		
			TMP-OH gyökfogóval	DMPO gyökfogóval	DMPO gyökfogóval
			$^1\text{O}_2$	$\text{O}_2^{\bullet-}$	$\text{OH}^{\bullet}$
TiO <sub>2</sub> -VLP7000	29,9	-	Sok keletkezik	-	-
TiO <sub>2</sub> -I	5,0	20	-	-	Keletkezik
TiO <sub>2</sub> -AR	4,2	20	-	-	Sok keletkezik
TiO <sub>2</sub> -P25-NS	3,7	-	Nincs adat		
TiO <sub>2</sub> -N	2,4	-	-	-	-
TiO <sub>2</sub> -Fe	1,7	-	Nincs adat		
TiO <sub>2</sub> -TP-S201	1,5	60	Nincs adat		
TiO <sub>2</sub> -P25	1,4	60	-	-	Keletkezik
TiO <sub>2</sub> -P25-Ag	1,3	60	Nincs adat		
TiO <sub>2</sub> -P25-Au	0,4	-	Nincs adat		
TiO <sub>2</sub> -AA	0,4	-	Nincs adat		

1. táblázat

*Fenol és E. coli fotokatalitikus ártalmatlanításának hatékonysága, és az ESR mérések eredményei*

Hong és munkatársai [5] jódtartalmú TiO<sub>2</sub> előállításánál titán-tetrabutoxidot csepegtettek 0,15 M-os jódsav-oldatba. Ennek alapján készítettem egy fotokatalizátor sorozatot, különböző  $n_{\text{I}}/n_{\text{Ti}}$  arányokat (0,0; 0,1; 0,5; 1,3; 2,6) alkalmazva [4]. A legnagyobb fotokatalitikus aktivitású (UV- és látható fényvel való gerjesztéskor is) az a fotokatalizátor, melynek előállításánál  $n_{\text{I}}/n_{\text{Ti}}=0,5$  arányt alkalmaztam. Az így előállított titán-dioxid XPS mérése alapján 0,67 at% jódot tartalmaz a fotokatalizátor felületén, melynek 61 %-a I, illetve 39 %-a I<sup>7</sup> formában van jelen. Spektrofotometriás méréssel igazoltam, hogy ezen fotokatalizátor megvilágítása során elemi jód képződik a szuszpenzióban, ami hozzájárulhat a fotokatalizátor nagy hatékonyságához [4].

**3. Titán-tetrabutoxid sósavas hidrolízisével, illetve alacsony hőmérsékletű (40°C) kristályosítással előállítottam nem adalékolt, kis részecskeméretű rutil fázisú titán-dioxidot. Ennek növekvő (400-1000°C) hőmérsékletű kalcinálásával nő az átlagos részecskeméret és a látható fény elnyelésének mértéke is, míg a fajlagos felület csökken [6]. Az így készített, 900 °C-on hőkezelt TiO<sub>2</sub> fotokatalitikus aktivitása jelentősen eltér az Aldrich gyártmányú rutil aktivitásától, nagyon hasonló anyagszerkezeti tulajdonságaik ellenére [6].**

A kutatásaimhoz használt kis részecskeméretű rutil fázisú TiO<sub>2</sub> előállításához a Tang és munkatársainak [7] közleményében leírt szintézist módosítottam. Vizsgálataim szerint a titán-tetrabutoxid sósavas hidrolízise esetén a  $\text{Ti}(\text{OC}_4\text{H}_9)_4 \cdot \text{H}^+ : \text{H}_2\text{O} = 1:3:50$  arány tiszta rutil előállítását teszi lehetővé [6]. A sósav alkalmazásával elkerülhető a nitrogén esetleges beépülése.

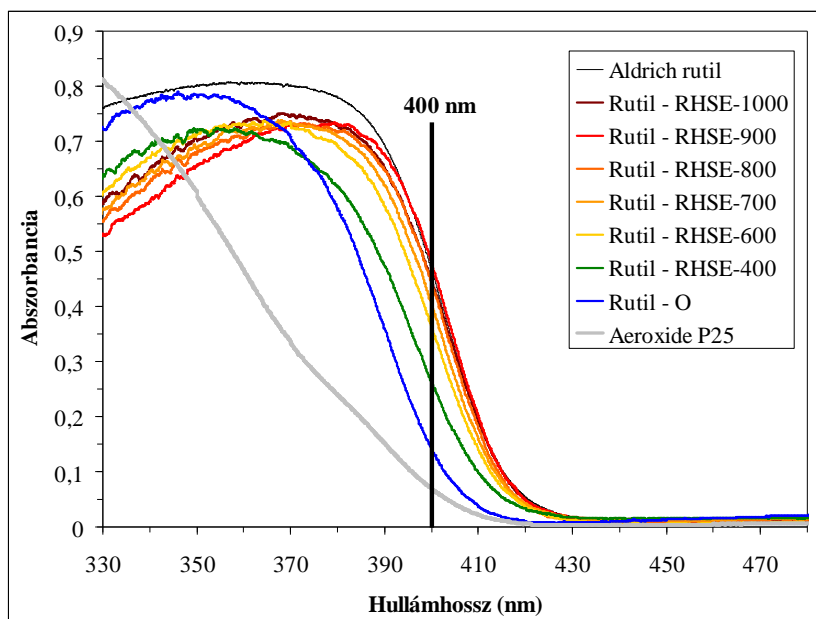
A röntgendiffraktogramok, illetve a TEM képek alapján megállapítható, hogy a saját készítésű 5,2 nm-es átlagos részecskeméretű, nagy fajlagos felületű (197 m<sup>2</sup>/g) rutil 400-1000 °C hőmérsékletű hőkezelésével előállíthatóak csaknem kizárólag rutil kristályfázist tartalmazó TiO<sub>2</sub> minták, melyeknek az átlagos részecskemérete a hőmérséklet emelésével egyre növekszik (2. táblázat).

	Fázisösszetétel				Fajlagos felület m <sup>2</sup> /g	R <sub>0, fenol</sub> (10 <sup>-10</sup> M/s)	R <sub>0, fenol</sub> (10 <sup>-12</sup> mol/m <sup>2</sup> /s) (felületre normalizált)
	Anatáz		Rutil				
	Tartalom (m/m%)	Részecske méret (nm)	Tartalom (m/m%)	Részecske méret (nm)			
Rutil - O	-	-	100	5,2	197	8,7	4,4
Rutil - RHSE-400	-	-	100	12,9	62	3,2	5,2
Rutil - RHSE-600	<1	-	>99	39,1	34	3,1	9,1
Rutil - RHSE-700	<1	-	>99	69,3	12	3,1	25,8
Rutil - RHSE-800	<1	-	>99	135 <sup>TEM</sup>	7	2,0	28,6
Rutil - RHSE-900	<1	-	>99	245 <sup>TEM</sup>	3	1,9	63,3
Rutil - RHSE-1000	<1	-	>99	290 <sup>TEM</sup>	1	1,8	175,0
Aldrich rutil	4	315 <sup>TEM</sup>	96	315 <sup>TEM</sup>	3	41,6	1386,7

2. táblázat

*Kristályfázis eloszlás, részecskeméret, fajlagos felület, fotokatalitikus aktivitás*

A fotokatalizátorok fényelnyelései (DRS) alapján (1. ábra) a kalcinálási hőmérséklet emelésével az előállított fotokatalizátorok fényelnyelése fokozatosan a látható fény hullámhossztartományába tolódik el.



1. ábra

*A vizsgált fotokatalizátorok fényelnyelése*

A fajlagos felület csökkenésének, illetve a fényelnyelés eltolódásának együttes eredménye, hogy a hőkezelés hőmérsékletének növelésével enyhén csökken az előállított titán-dioxidok fotokatalitikus aktivitása, az egységnyi felületre vonatkoztatott fotokatalitikus aktivitás azonban jelentősen növekszik.

A gyári (Aldrich) rutil, nagyon hasonló anyagszerkezeti tulajdonságokkal rendelkezik, mint a saját készítésű Rutil-RHSE-900 fotokatalizátor, ennek ellenére lényegesen nagyobb a fotokatalitikus aktivitása. Az infravörös spektroszkópiás mérések eredményei alapján a vizsgált két minta közötti egyetlen jelentős különbség az Aldrich rutil esetében  $667\text{ cm}^{-1}$ -nél megjelenő elnyelési sáv, mely Ti-O-O-Ti csoportok jelenlétére utalhat a titán-dioxid felületén [8, 9], ami egy elektrofil, oxigén-gazdag felületet jelent. Ez azt eredményezheti, hogy az adszorbeálódott oxigén könnyebben befoghat egy elektront, elindítva ezzel a gyökös folyamatokat.

**4. A rutil kristályfázis esetében, látható fényt alkalmazva a fotokatalizátor gerjesztéséhez nincs kiemelkedő jelentősége a fotokatalitikus aktivitás szempontjából a felületen jelen lévő, hibahelyeket jelölő, alacsony kötési energiájú oxigénnek, illetve  $\text{Ti}^{3+}$ -nak [6] (ellentétben azzal, amit anatóz részecskék esetében, UV megvilágítás mellett tapasztaltak [10]).**

Ezzel összhangban, az XPS eredmények [6] alapján az Aldrich rutil Ti2p spektrumán csak  $\text{Ti}^{4+}$  látható, míg az O1s spektrumon általánosnak mondható komponensek látszódnak: a  $\text{TiO}_2$  kristályrácsában található oxigén (530.3 eV), a felületi OH csoportok oxigénje (532 eV), valamint az adszorbeált víz oxigénje (532.8 eV). Az általam előállított rutil fázisú titán-dioxid Ti2p spektrumában a  $\text{Ti}^{4+}$  csúcsokon kívül (87 at%; 459.1 eV; 464.8 eV) a  $\text{Ti}^{3+}$ -ra jellemző csúcsok (13 at%: 457.3 eV; 461.9 eV) is megjelentek. Az O1s spektrumban pedig a szokásos oxigénformák mellett “alacsony kötési energiájú” oxigén is megjelenik (528.8 eV; 12 at%), mely hibahelyeket, illetve  $\text{Ti}^{3+}$  atomokhoz kapcsolódó oxigén atomokat jelöl [10, 11]. Anatóz részecskék esetében az ilyen hibahelyek jelenléte nagy fotokatalitikus aktivitással társult [10], ennek ellenére az említett hibahelyekkel rendelkező, saját készítésű rutil jelentősen kisebb fotokatalitikus aktivitással rendelkezik, mint az Aldrich rutil [6].

**5. Öntisztuló/levegőtisztító hatású beltéri falfelületek kialakítása során a hatékonyság szempontjából kritikus kérdés az adott helyiségben alkalmazott megvilágítás 400-420 nm közötti fényintenzitása [2].**

Az *E. coli* baktériummal végzett fotokatalitikus kísérleteket 5 fertőtlenítő hatást mutató fotokatalizátorral elvégeztem egy olyan fényszűrő oldat (5mM-os  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) alkalmazása mellett is, amikor is a 420 nm alatti fényintenzitást 4 %-ra csökkentettem a  $\text{NaNO}_2$ -es fényszűréshez

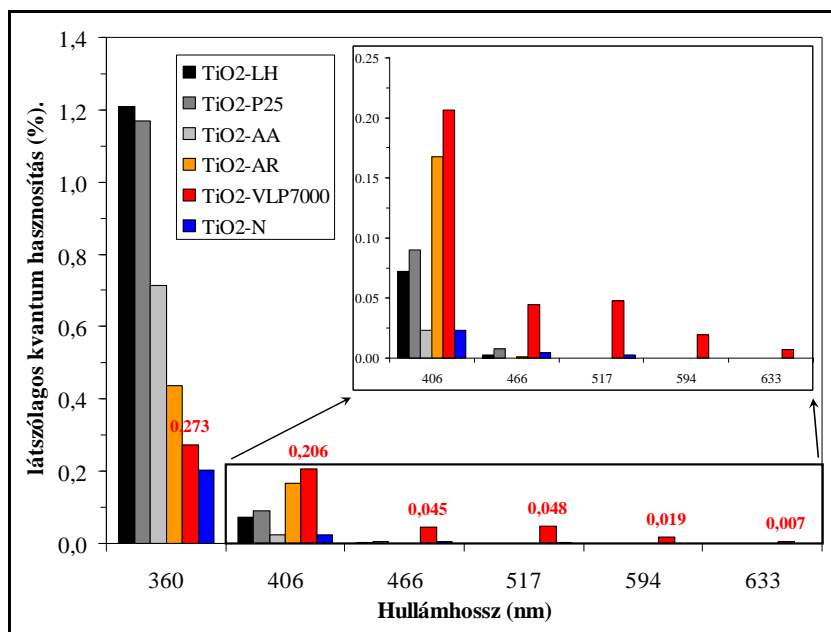


viszonyítva. Kijelenthető, hogy a 400-420 nm közötti fényintenzitás visszaszorításával 3 fotokatalizátor (mely a korábbi megvilágítás esetén 1 óra alatt fertőtlenítette a kezelt vizet) elveszítette fertőtlenítő hatását, illetve a másik két fotokatalizátor (melyek a korábbi megvilágítás esetén 20 perc alatt fertőtlenítették a kezelt vizet) hatékonysága is jelentősen csökkent [2]. Ezen kísérleti eredmények alapján megállapítható, hogy a beltéren alkalmazott megvilágítások 400-420 nm közötti fényintenzitása kritikus öntisztuló/levegőtisztító hatású falfelületek kialakítása során.

## 6. Napfényrel gerjesztett fotokatalizátorokat alkalmazó vízkezelési módszerekben nem adalékolt anatáz fázisú titán-dioxidokat célszerű alkalmazni [12].

Vizsgáltam fenol fotokatalitikus oxidációjának sebességét az egyes fotokatalizátorokon, napfényrel történő gerjesztés esetén is. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a 3 nem adalékolt, nagyrészt anatáz fázist tartalmazó és látható fényrel nem (vagy alig) gerjeszthető titán-dioxid lényegesen nagyobb hatékonysággal bontja a fenolt, mint a látható fényre is aktív, adalékolt fotokatalizátorok.

Az eredmény magyarázatára vizsgáltam a fotokatalizátorokra jellemző aktivitások hullámhossz szerinti függését (2. ábra).



2. ábra

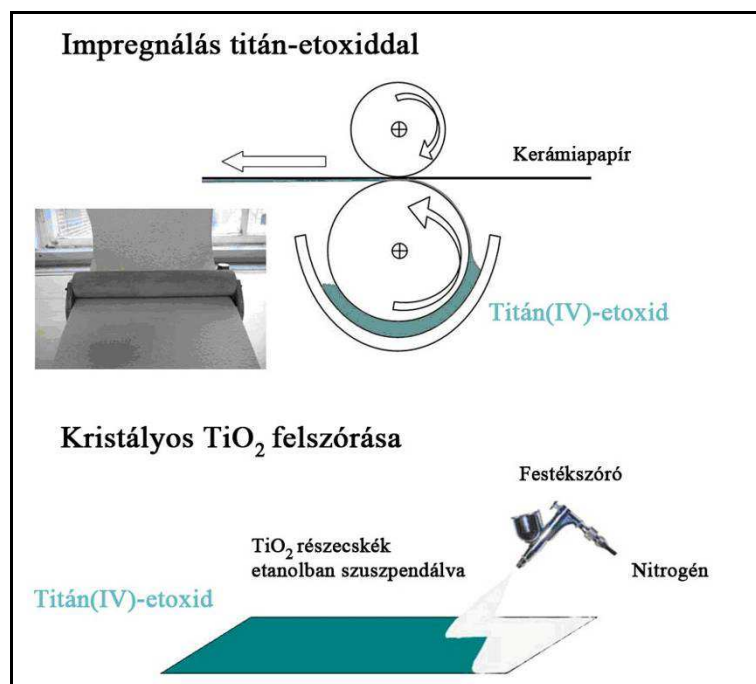
*Fotokatalizátorok aktivitásának hullámhossz szerinti függése*

A nem adalékolt, nagyrészt anatáz fázist tartalmazó titán-dioxidok (TiO<sub>2</sub>-LH, Aeroxide P25, Aldrich anatáz) UV megvilágítás esetén jelentősen nagyobb hatékonyságot mutatnak, mint az adalékolt és/vagy rutil fázisú titán-dioxidok. Látható fényrel való gerjesztéskor nagyobb hatékonysággal alkalmazhatóak az adalékolt, illetve rutil fázist tartalmazó titán-dioxidok, ami már

lila megvilágítás esetén is egyértelműen látszik, de a nagyobb hullámhosszak felé haladva már csak a KRONOS cég által gyártott TiO<sub>2</sub>-VLP7000-es fotokatalizátor mutat jelentősebb aktivitást. Bár ez utóbbi fotokatalizátor gerjeszthető a látható fény teljes hullámhossztartományában, azonban a hasznosuló fotonok aránya a látható fény hullámhossztartományának jelentős részében két nagyságrenddel kisebb, mint a nem adalékolt, anatóz fázisú titán-dioxidoknál UV megvilágítás esetén.

**7. Amorf titán-oxid-hidroxiid rétegbe ágyazva immobilizálhatók a kristályos TiO<sub>2</sub> nanorészecskék úgy, hogy a fotokatalizátorok megőrzik aktivitásukat. A kialakított felület ellenáll az UV fénynek, és a gerjesztett fotokatalizátor részecskék okozta oxidatív hatásnak [13].**

A kezelendő kerámiapapír egyik oldalát először átitattam etil-alkohollal, ezt követően titán(IV)-etoxiddal impregnáltam, majd a felületre egy festékszóró segítségével vittem fel az etil-alkoholban szuszpendált kristályos TiO<sub>2</sub> nanorészecskéket (**3. ábra**).



**3. ábra**

*TiO<sub>2</sub> nanorészecskék immobilizálásának sematikus ábrája*

A 24 órás száradás során az alkoxid elhidrolizál a levegő nedvességtartalmával és az ekkor keletkező amorf titán(IV)-oxid-hidroxiid réteg rögzíti a fotokatalitikusan aktív TiO<sub>2</sub> részecskéket. A szárítást követően desztillált vízzel lemostam a nem rögzült részecskéket, majd a felületen esetlegesen jelen lévő szerves szennyezők lebontása érdekében a nedves kerámiapapírokat további 24 órára UV fénycsövek alá helyeztem.

A módszerrel előállítható fotokatalitikusan aktív felület hatékonysága kiválóan reprodukálható. Három különböző alkalommal készített, immobilizált titán-dioxiddal bevont kerámiapapír fotokatalitikus aktivitása között < 1% eltérést mértem. A kialakított fotokatalitikusan aktív felület megőrizte az aktivitását az 5×2 órás fotokatalitikus kísérletek során. Szabadtéri kísérletekkel igazoltam, hogy a kialakított felület alkalmas vízben jelen lévő szennyezések fotokatalitikus ártalmatlanítására napfényrel történő gerjesztéskor is, valamint készítettem egy olyan víztisztító-berendezést, melynek üzemeltetése teljesen a napfényre bízható.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] G. Veréb, Z. Ambrus, Z. Pap, Á. Kmetykó, A. Dombi, V. Danciu, A. Cheesman, K. Mogyorósi, *Applied Catalysis A: General* 417-418 (2012) 26-36.
- [2] G. Veréb, L. Manczinger, G. Bozsó, A. Sienkiewicz, L. Forró, K. Mogyorósi, K. Hernádi, A. Dombi, *Appl. Catal.*, B 129 (2013) 566-574.
- [3] E. Szabo-Bardos, H. Czili, A. Horvath, *J Photoch Photobio A* 154 (2003) 195-201.
- [4] G. Veréb, L. Manczinger, A. Oszkó, A. Sienkiewicz, L. Forró, K. Mogyorósi, A. Dombi, K. Hernádi, *Appl. Catal.*, B 129 (2013) 194-201.
- [5] X. Hong, Z. Wang, W. Cai, F. Lu, J. Zhang, Y. Yang, N. Ma, Y. Liu, *Chem Mater* 17 (2005) 1548-1552.
- [6] G. Veréb, T. Gyulavári, Z. Pap, L. Baia, T. Radu, K. Mogyorósi, A. Dombi, K. Hernádi, Under preparation.
- [7] Z. Tang, J. Zhang, Z. Cheng, Z. Zhang, *Mater. Chem. Phys.* 77 (2002) 314-317.
- [8] V. Etacheri, M. K. Seery, S. J. Hinder, S. C. Pillai, *Adv. Funct. Mater.* 21 (2011) 3744-3752.
- [9] M. R. Ayers, A. J. Hunt, *Mater. Lett.* 34 (1998) 290-293.
- [10] Z. Pap, E. Karacsonyi, Z. Cegléd, A. Dombi, V. Danciu, I. C. Popescu, L. Baia, A. Oszko, K. Mogyorosi, *Appl. Catal.*, B 111 (2012) 595-604.
- [11] Z. Pap, V. Danciu, Z. Cegléd, Á. Kukovecz, A. Oszkó, A. Dombi, K. Mogyorósi, *Appl. Catal.*, B 101 (2011) 461-470.
- [12] G. Veréb, O. Virág, T. Alapi, K. Mogyorósi, A. Dombi, K. Hernádi, Under preparation.
- [13] G. Veréb, Z. Ambrus, Z. Pap, K. Mogyorósi, A. Dombi, K. Hernádi, Reaction kinetics, mechanisms and catalysis, Published online: 10 June 2014, DOI 10.1007/s11144-014-0734-y.

## TUDOMÁNYOS TEVÉKENYSÉG (MTMT azonosító: 10034558)

<b>Megjelent publikációk száma:</b>	7 (Össz. Imp. Faktor: 19,315)
Ebből a doktori disszertáció témájához kötődik:	4 (Össz. Imp. Faktor: 16,164)
<b>Hivatkozások száma:</b>	45 (Független: 39)
<b>Konferenciaelőadások száma:</b>	35
Előadóként:	21
Társszerzőként:	14
<b>Könyvfejezetek száma:</b>	7

---

### A doktori disszertáció témájához kapcsolódó, megjelent közlemények:

**G. Veréb, Z. Ambrus, Zs. Pap, Á. Kmetykó, A. Dombi, V. Danciu, A. Cheesman, K. Mogyorósi**  
*Comparative study on UV and visible light sensitive bare and doped titanium dioxide photocatalysts for the decomposition of environmental pollutants in water*  
Applied Catalysis A: General, Volumes 417–418, 29 February 2012, Pages 26-36  
**Hivatkozások: 10 (9)    Impakt faktor: 3,410**

**G. Veréb, L. Manczinger, A. Oszkó, A. Sienkiewicz, L. Forró, A. Dombi, K. Hernádi, K. Mogyorósi**  
*Highly efficient bacteria inactivation and phenol degradation by visible light irradiated iodine doped TiO<sub>2</sub>*  
Applied Catalysis B: Environmental, Volume 129, 17 January 2013, Pages 194-201  
**Hivatkozások: 6 (6)    Impakt faktor: 5,825**

**G. Veréb, L. Manczinger, G. Bozsó, A. Sienkiewicz, L. Forró, A. Dombi, K. Mogyorósi, K. Hernádi**  
*Comparison of the photocatalytic efficiencies of bare and doped rutile and anatase TiO<sub>2</sub> photocatalysts under visible light for phenol degradation and E.coli inactivation*  
Applied Catalysis B: Environmental, Volume 129, 17 January 2013, Pages 566-574  
**Hivatkozások: 8 (8)    Impakt faktor: 5,825**

**G. Veréb, Z. Ambrus, Zs. Pap, K. Mogyorósi, A. Dombi, K. Hernádi**  
*Immobilization of crystallized photocatalysts on ceramic paper by titanium(IV) ethoxide and photocatalytic decomposition of phenol*  
Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis, Published online: 10 June 2014  
**Hivatkozások: 0    Impakt faktor: 1,104**

### A doktori disszertáció témájához kapcsolódó, publikálás alatti közlemények:

**G. Veréb, T. Gyulavári, Zs. Pap, L. Baia, T. Radu, K. Mogyorósi, A. Dombi, K. Hernádi**  
*Photocatalytic water treatment under visible light irradiation with particle size-tuned rutile titanium dioxides*  
Under preparation

**G. Veréb, O. Virág, T. Alapi, K. Mogyorósi, A. Dombi, K. Hernádi**  
*Wavelength dependent photocatalytic performance of UV and visible light active TiO<sub>2</sub> photocatalysts*  
Under preparation

### Egyéb, a disszertáció témájához szorosan nem kapcsolódó közlemények:

**K. Mogyorósi, A. Kmetyko, N. Czirbus, G. Vereb, A. Dombi, P. Sipos**  
*Comparison of the substrate dependent performance of Pt-, Au- and Ag-doped TiO<sub>2</sub> photocatalysts in H<sub>2</sub>-production and in decomposition of various organics*  
Reaction Kinetics and Catalysis Letters, Volume 98, 03 September 2009, Pages 215-225  
**Hivatkozások: 16 (12)    Impakt faktor: 0,557**

**E. Szabó, K. Vajda, G. Veréb, A. Dombi, K. Mogyorósi, I. Ábrahám, M. Májer**  
*Removal of organic pollutants in model water and thermal wastewater using clay minerals*  
Journal of Environmental Science and Health: Part A, Volume 46, 2011, Pages 1346-1356

**Hivatkozások: 5 (4)      Impakt faktor: 1,190**

**Zs. Pap, K. Mogyorósi, G. Veréb, A. Dombi, K. Hernádi, V. Danciu, L. Baia**  
*Commercial and home-made nitrogen modified titanias. A short reflection about the advantageous/disadvantageous properties of nitrogen doping in the frame of their applicability*  
Journal of Molecular Structure, Volume 1073, September 2014, Pages 157-163

**Hivatkozások: 0      Impakt faktor: 1,404**

### **Konferencia előadások (mint előadó):**

#### **SZTE-TTIK-Környezettudományi Diákköri Konferencia**

Szeged, 2008. február 4.

**Veréb Gábor**, Mogyorósi Károly, Dombi András

*Kerámiapapír hordozón rögzített titán-dioxid fotokatalizátorok alkalmazása víztisztítási eljárásokban*

#### **XI. Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákkonferencia**

Nyíregyháza, 2008. 03. 25-26.

**Veréb Gábor**, Dr. Dombi András, Dr. Mogyorósi Károly

*Kerámiapapír hordozón rögzített titán-dioxid fotokatalizátorok alkalmazása víztisztítási eljárásokban*

#### **SZTE-TTIK-Tudományos Diákköri Konferencia**

Szeged, 2008. november 28.

**Veréb Gábor**, Dr. Dombi András, Dr. Mogyorósi Károly

*Kerámiapapíron rögzített titán-dioxid fotokatalizátor alkalmazása víztisztításra*

#### **XXIX. Országos Tudományos Diákköri Konferencia**

Debrecen, 2009. 04. 6-8.

**Veréb Gábor**, Dr. Dombi András, Dr. Mogyorósi Károly

*Kerámiapapíron rögzített titán-dioxid fotokatalizátor alkalmazása víztisztításra*

**1. helyezést értem el**

#### **16<sup>th</sup> Symposium on Analytical and Environmental Problems**

Szeged, 2009. 09. 28.

**Veréb Gábor**, Ambrus Zoltán, Dombi András, Mogyorósi Károly

*Különböző titán-dioxid alapú fotokatalizátorok összehasonlítása áramlásos reaktorokban*

**Konferenciakiadvány: ISBN 978-963-482-975-1**

#### **IX. Környezetvédelmi és Analitikai Technológiai Konferencia**

Sopron, 2009. 10. 7-9

**Veréb Gábor**, Ambrus Zoltán, Pap Zsolt, Kmetykó Ákos, Dombi András, Mogyorósi Károly

*Vízkezelés kerámiapapíron rögzített titán-dioxid fotokatalizátorokkal*

**Konferencia kiadvány: ISBN 978-963-9970-00-7**

#### **A Magyar Tudomány Hete konferenciasorozat**

Dunaújváros, 2009. november 9-13.

**Veréb Gábor**, Ambrus Zoltán, Gácsi Attila, Dombi András, Mogyorósi Károly

*Szerves szennyező anyagok fotokatalitikus ártalmatlanítása áramlásos reaktorban*

**Konferencia kiadvány: ISSN 1586-8567**

#### **XII. Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákkonferencia**

Sopron, 2010. 04. 6-7.

**Veréb Gábor**, Dr. Dombi András, Dr. Mogyorósi Károly

*Kerámiapapíron rögzített titán-dioxid fotokatalizátor alkalmazása víztisztításra*

**2. helyezést értem el**

### **SP3 - Third International Conference on Semiconductor Photochemistry**

Glasgow, Scotland, 2010. 04. 12-16.

**G. Veréb**, L. Manczinger, A. Gácsi, Zs. Pap, Á. Kmetykó, A. Dombi and K. Mogyorósi

*Water purification and disinfection on UV and visible light irradiated doped titanium dioxide photocatalysts immobilized on ceramic papers (POSTER PRESENTATION)*

### **XXXIII. Kémiai Előadói Napok**

Szeged, 2010. 10. 25-27.

**Veréb Gábor**, Dr. Dombi András, Dr. Mogyorósi Károly

*Uv- és látható fényre aktív fotokatalizátorok alkalmazása víztisztításra szuszpenzióban és felületen rögzítve*

**Konferencia kiadvány: ISBN 978-963-315-020-7**

### **Természettudományi Doktori Iskolák Tudományos Fóruma**

Szeged, 2010. 11. 10.

**Veréb Gábor**, Dr. Dombi András, Dr. Mogyorósi Károly

*Szennyezők bontása napsugárzással gerjesztett fotokatalizátorral*

### **CEST 2011 - 12th International Conference on Environmental Science and Technology**

Rhodes, Greece; 2011. 09. 08.

**Gábor Veréb**, László Manczinger, András Dombi, Károly Mogyorósi

*Comparative study of disinfection and phenol degradation on different bare and doped titanium dioxide photocatalysts using visible light irradiation*

**Konferencia kiadvány: ISSN: 1106-5516; ISBN 978-960-7475-49-7**

### **X. Környezetvédelmi Analitikai és Technológiai Konferencia**

Sümege, 2011. 10. 5-7.

**Veréb Gábor**, Manczinger László, Dombi András, Mogyorósi Károly

*Fertőtlenítés és szennyezőanyag lebontás látható fényvel gerjesztett fotokatalizátorokkal*

**Konferencia kiadvány: ISBN 978-963-9970-17-5**

### **IPA-HU-SRB Workshop**

Szeged, 2011. december 1-2.

**Gábor Veréb**, László Manczinger, Andrzej Sienkiewicz, László Forró, András Dombi, Károly Mogyorósi, Monica Ilios, Dimitrie Botau, Florica Manea

*Decomposition of organic compounds and disinfection processes by heterogeneous photocatalysis*

### **I. Környezetkémiai Szimpózium**

Mátraháza, 2012. október 11-12.

**Veréb Gábor**, Pap Zsolt, Réti Balázs Vajda Krisztina, Mogyorósi Károly, Hernádi Klára, Dombi András

*Fotokatalizátorok hatékonyságának növelése, gyakorlati alkalmazások*

### **SIWAN5 - 5th Szeged International Workshop on Advances in Nanoscience**

Szeged, Hungary, 2012. október 24-27.

**G. Veréb**, L. Manczinger, A. Sienkiewicz, L. Forró, A. Dombi, K. Hernádi, K. Mogyorósi

*Purification of phenol and E.coli contaminated water by visible light activated titanias (POSTER PRESENTATION)*

**Konferencia kiadvány: ISBN 978-963-05-9305-2**

### **SP4 - 4th International Conference on Semiconductor Photochemistry**

Prága, Csehország, 2013. június 23-27.

**Gábor Veréb**, László Manczinger, Tamás Gyulavári, Károly Mogyorósi, András Dombi, Klára Hernádi

*Photocatalytic water treatment by various rutile phase TiO<sub>2</sub> photocatalysts under visible light irradiation (POSTER PRESENTATION)*

**Konferencia kiadvány: ISBN 978-80-7080-854-2**

**PAOT-2 - The 2nd International Conference on Photocatalytic and Advanced Oxidation Technologies**  
for Treatment of Water, Air, Soil and Surfaces  
Gdansk, Lengyelország, 2013. szeptember 9-12.

**Gábor Veréb**, Orsolya Virág, Károly Mogyorósi, András Dombi, Klára Hernádi  
*Wavelength dependence of phenol degradation on different titanium dioxide based photocatalysts (POSTER PRESENTATION)*

**TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0047 Workshop**

Szeged, 2013. október 03.

**Veréb Gábor**, Alapi Tünde, Simon Gergő

*Reaktortervezés és reaktorépítés*

**KEN-2013 – XXXVI. Kémiai Előadói Napok**

Szeged, 2013. október 28-30.

**Veréb Gábor**, Virág Orsolya, Mogyorósi Károly, Dombi András, Hernádi Klára

*Napfény hasznosítása a víztisztításban UV és látható fényre aktív fotokatalizátorokkal*

**Konferencia kiadvány: ISBN 978-963-315-145-7**

**TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0047 Workshop**

Szeged, 2014. május 15.

**Gábor Veréb**, Alapi Tünde, Simon Gergő

*Reaktortervezés és reaktorépítés*

**Egyéb konferenciaelőadások (mint társszerző):**

**REUSE09 - 7th IWA World Congress on Water Reclamation and Reuse**

Brisbane, Australia, 21-25 September, 2009.

J. Szanyi, T. Medgyes, B. Kóbor, **G. Veréb**, Zs. Pap, K. Mogyorósi, A. Dombi, B. Kovács

*Maintaining Sustainability and Minimizing Impact: Developing the Know-how of Injecting Thermal Water into Porous Reservoirs and Removing Phenol from Aqueous Solution by Photocatalytic Processes Using Artificial UV-visible Light Sources and Solar Irradiation (POSTER PRESENTATION)*

**IX. Környezetvédelmi és Analitikai Technológiai Konferencia**

Sopron, 2009. 10. 7-9

Mogyorósi Károly, Kmetykó Ákos, **Veréb Gábor**, Sipos Pál, Dombi András

*Hidrogénfejlesztés és szerves vegyületek lebontása nemesfémekkel módosított TiO<sub>2</sub> fotokatalizátorokon*

Konferencia kiadvány: ISBN 978-963-9970-00-7

**A Magyar Tudomány Hete konferenciasorozat**

Dunaújváros, 2009. november 9-13.

Szabó Emese, **Veréb Gábor**, Kmetykó Ákos, Mogyorósi Károly, Dombi András

*Szerves szennyezők eltávolítása ipari és termálvizetből adszorpciós módszerekkel*

**Konferencia kiadvány: ISSN 1586-8567**

**SP3 - Third International Conference on Semiconductor Photochemistry**

12-16. April, Glasgow, Scotland, 2010

K. Mogyorósi, **G. Veréb**, Z. Ambrus, Zs. Pap, Á. Kmetykó, A. Dombi

*Comparative study on different synthesis pathways for obtaining UV and visible light active bare and doped titanium dioxide photocatalysts*

**ISEAC 36**

Rome, Italy, 5-9. October 2010

I. Ábrahám, A. Dombi, M. Májer, K. Mogyorósi, E. Szabó, K. Vajda, **G. Veréb**

*Removal and analysis of organic pollutants in industrial wastewater and thermal water (POSTER PRESENTATION)*

## **ISEAC 36**

Rome, Italy, 5-9. October 2010

I. Ábrahám, A. Dombi, M. Májer, K. Mogyorósi, K. Gajda-Schranz, E. Szabó, K. Vajda, **G. Veréb**

*Removal of organic pollutants from thermal water by adsorption-coagulation methods and advanced oxidation processes (POSTER PRESENTATION)*

## **Tudomány Hete a Dunaújvárosi Főiskolán,**

Dunaújváros, 2010. november 6-12.

Gácsi Attila, **Veréb Gábor**, Pap Zsolt, Dombi András, Mogyorósi Károly

*Titán-dioxid alapú fotokatalizátorokkal kezelt kerámiapapír alkalmazása gázfázisú acetaldehid ártalmatlanítására*

## **XXX. Országos Tudományos Diákköri Konferencia**

Pécs, 2011. 04. 27-29.

Gácsi Attila, **Veréb Gábor**, Mogyorósi Károly

*Gázfázisú illékony szerves vegyületek lebontása UV és látható fényvel megvilágított, rögzített titán-dioxid alapú fotokatalizátorokon*

## **International Conference on Photocatalytic and Advanced Oxidation Technologies for the Treatment of Water, Air, Solid and Surfaces**

Gdansk, Poland, 4-8. July 2011

**Gábor Veréb**, László Manczinger, András Dombi, Károly Mogyorósi

*Photocatalytic performance of different bare, metal and non-metal doped and noble metal deposited photocatalysts for phenol degradation and bacteria deactivation under visible light irradiation*

## **X. Környezetvédelmi Analitikai és Technológiai Konferencia**

Sümege, 2011. 10. 5-7.

Dombi András, Kmetykó Ákos, Mogyorósi Károly, Pap Zsolt, Vajda Krisztina, **Veréb Gábor**

*Titán-dioxid nanorészecskék fotokatalitikus alkalmazása vízkezelési eljárásokban*

**Konferencia kiadvány: ISBN 978-963-9970-17-5**

## **IPA-HU-SRB Workshop**

Szeged, 2011. december 1-2.

**Gábor Veréb**, Zsolt Pap, Ákos Kmetykó, Krisztina Vajda, Klára Hernádi, András Dombi, Károly Mogyorósi, Monica Ilios, Dimitrie Botau, Florica Manea

*Different photocatalytic approaches for water purification with suspended and fixed titanium dioxide particles*

## **IPA-HU-SRB Workshop**

Szeged, 2011. december 1-2.

Biljana Abramović, Tünde Alapi, Eszter Arany, Sándor Beszédes, Luka Bjelica, Milena Dalmacija, Vesna Despotović, András Dombi, János Farkas, Krisztina Gajda-Schranz, Valéria Guzsány, Erzsébet Illés, Szabolcs Kertész, Sonja Kler, Ákos Kmetykó, László Kredics, Zsuzsanna László, László Manczinger, Patrick Mazellier, Károly Mogyorósi, Dejan Orčić, Zsolt Pap, Ljiljana Rajić, Emese Szabó, Rita Szabó, Daniela Šojić, Csaba Vágvölgyi, Krisztina Vajda, **Gábor Veréb**

*Optimization of Cost Effective and Environmentally Friendly Procedures for Treatment of Regional Water Resources - HU-SRB IPA Cross-border Co-operation Programme*

## **I. Környezetkémiai Szimpózium**

Mátraháza, 2012. október 11-12.

Dombi András, Arany Eszter, Illés Erzsébet, Farkas János, Karácsonyi Éva, Kmetykó Ákos, Pap Zsolt, Szabó Emese, Vajda Krisztina, **Veréb Gábor**, Alapi Tünde, Schranz Krisztina, Hernádi Klára, Takács Erzsébet, Wojnárovits László

*Nagyhatékonyságú oxidációs eljárások biológiai és kémiai szennyezők eltávolítására*



## **SIWAN5 - 5th Szeged International Workshop on Advances in Nanoscience**

Szeged, Hungary, 2012. october 24-27.

Zs. Pap, Z. Ambrus, **G. Veréb**, Á. Kmetykó, A. Dombi, K. Hernádi, K. Mogyorósi

*Different synthesis approaches improving the photocatalytic performance of titanium dioxide photocatalyst nanoparticles for water purification and hydrogen production*

**Konferencia kiadvány: ISBN 978-963-05-9305-2**

### **Könyvfejezetek:**

#### **1. Veréb Gábor**

***Kerámiapapíron rögzített titan-dioxid fotokatalizátor alkalmazása víztisztításra***

Vizek szerves szennyezőinek eltávolítása nagyhatékonyságú oxidációs módszerekkel, Removal of Organic Contaminants of Waters by Advanced Oxidation Processes

InnoGeo Kft., Szeged, 2010. Pages: 55-102. ISBN 978-963-06-9621-0

#### **2. Szabó Emese, Veréb Gábor, Kmetykó Ákos, Mogyorósi Károly, Dombi András:**

***Szerves szennyezők eltávolítása ipari és termálvizekből adszorpciós módszerekkel***

Vizek szerves szennyezőinek eltávolítása nagyhatékonyságú oxidációs módszerekkel, Removal of Organic Contaminants of Waters by Advanced Oxidation Processes

InnoGeo Kft., Szeged, 2010. Pages: 103-115. ISBN 978-963-06-9621-0

#### **3. Gábor Veréb, Zoltán Ambrus, Attila Gácsi, András Dombi, Károly Mogyorósi:**

***Removal of organic pollutants in water by photocatalysis in flow reactor***

Vizek szerves szennyezőinek eltávolítása nagyhatékonyságú oxidációs módszerekkel Removal of Organic Contaminants of Waters by Advanced Oxidation Processes

InnoGeo Kft., Szeged, 2010. Pages: 161-171. ISBN 978-963-06-9621-0

#### **4. Klara Hernadi, Andras Dombi, Gabor Vereb, Zsolt Pap, Akos Kmetyko,**

Hossam El Nazer, Károly Mogyorósi

***Photocatalytic Water Treatment with TiO<sub>2</sub> Nanoparticle***

NANOTECHNOLOGY FOR WATER PURIFICATION

BrownWalker Press, Boca Raton, Florida, USA, 2012. Pages: 125-178 ISBN-01: 1-33216-916-1

ISBN-31: 879-1-33216-916-0

#### **5. Emese Szabó, Krisztina Vajda, Gábor Veréb, András Dombi, Károly Mogyorósi, Imre Ábrahám, Marcell Májér**

***Removal of organic pollutants in model water and thermal wastewater using clay minerals***

Sustainable Use of Geothermal Energy: Research into Injection and Water Treatment

InnoGeo Kft., Szeged, 2012. Pages: 123-148. ISBN 978-963-89689-0-6

#### **6. G. Veréb, Z. Ambrus, Zs. Pap, Á. Kmetykó, A. Dombi, V. Danciu, A. Cheesman, K. Mogyorósi**

***Comparative study on UV and visible light sensitive bare and doped titanium dioxide photocatalysts for the decomposition of environmental pollutants in water***

Sustainable Use of Geothermal Energy: Research into Injection and Water Treatment

InnoGeo Kft., Szeged, 2012. Pages: 149-178. ISBN 978-963-89689-0-6

#### **7. Gábor Veréb, László Manczinger, Károly Mogyorósi, András Dombi, Klára Hernádi**

***Comparative study of disinfection and phenol degradation on different bare and doped titanium dioxide photocatalysts using visible light irradiation***

Sustainable Use of Geothermal Energy: Research into Injection and Water Treatment

InnoGeo Kft., Szeged, 2012. Pages: 191-220. ISBN 978-963-89689-0-6