

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

# **TiO<sub>2</sub>-dal módosított polimer membránok tulajdonságainak és alkalmazhatóságának vizsgálata**

**Kovács Ildikó**

Témavezető:

**Dr. László Zsuzsanna**

egyetemi docens

Környezettudományi Doktori Iskola

Szegedi Tudományegyetem

**Szeged**

**2020**

## 1. ELŐZMÉNYEK

A rohamos népességnövekedés, a közlekedés és az ipar nagy ütemű fejlődésének eredményeként jelentősen megnövekedett a környezetszennyezés. Kiemelten fontos problémakör a vizek minőségének megőrzése, az ivóvíz ellátás biztosítása világszerte, az élővizek tisztítása és tisztántartása. A szennyvízkibocsátásra, az élővizek és az ivóvíz minőségére vonatkozó egyre szigorodó jogszabályok betarthatósága a víztisztítási technológiák folyamatos fejlesztését teszi szükségessé.

A világszerte keletkező szennyvizek egy jelentős részét az olajtartalmú szennyvizek teszik ki, amelyek keletkezéséhez hozzájárul az olaj- és gázipar, a petrolkémia, a gyógyszeripar, a kohászat és az élelmiszeripar. Az így keletkező szennyvizek hatékony kezelése elkerülhetetlen feladat. A probléma megoldásának egyik lehetősége a víz újrafelhasználása, amely fejlett technológiák alkalmazását igényli. Erre számos módszer létezik, beleértve a hagyományos fizikai és kémiai módszereket. Ezen módszerek közé tartozó fizikai kezelések: az adszorpció (aktív szén, kopolimerek, zeolitok és gyanták), homokszűrő, hidro-ciklonok és bepárlás; a kémiai kezelések közé tartozik az oxidáció, elektrokémiai folyamatok, fotokatalitikus kezelés, Fenton-reakció, ózonkezelés, ionfolyadékok és demulgeálók alkalmazása. A hagyományos módszereknek azonban megvannak a saját hátrányaik, mint például a magas költség, vegyszerigény, nagy helyigény és a másodlagos szennyezők keletkezése. Így teret kap a membránszűrés, mint modern, folyamatosan fejlődő eljárás, ami megoldást jelenthet az olajjal szennyezett vizek kezelésére. A nyomáskülönbségen alapuló membránszűrési eljárások, mint például a mikroszűrés, ultraszűrés, nanoszűrés és fordított ozmózis különböző méretű részecskék elválasztására alkalmasak. Membrán-technológiától függően a szuszpendált szilárd részecskéktől egészen az egyértékű ionok visszatartásáig alkalmazhatók. A membránszűrés előnyei a hagyományos eljárásokkal szemben: a hatékonyabb elválasztás, egyszerű kapcsolhatóság meglévő technológiákhoz és viszonylag egyszerű üzemeltethetőség. A membrán-technológia piaca gyors növekedési fázisban van, a folyamatos kutatásnak és fejlesztésnek köszönhetően. Azonban még számos probléma vár megoldásra, hogy a jelenleg forgalomban lévő membránoknál jobb visszatartással és nagyobb stabilitással rendelkező, ugyanakkor kisebb eltömődési hajlamú membránok kerüljenek forgalomba. A membráneltömődés csökkentésére irányuló kutatások elsősorban a membránok anyagának és kialakításának fejlesztésével és üzemeltetési paramétereik optimalizálásával foglalkoznak.

## 2. CÉLOK

Doktori értekezésem célja volt a mikro- és ultraszűrő polimer membránok  $\text{TiO}_2$  fizikai depozícióval történő módosításának vizsgálata a membráneltömődés csökkentése érdekében, illetve a membrán vegyszermentes tisztítási lehetőségének vizsgálata ultraibolya-fény hatására.

A membránszeparációs eljárások alkalmazása során rendkívül fontos a membráneltömődés csökkentése és a membránok regenerálhatósága, ezért olyan fotokatalizátor nanorészecskékkel történő membránmódosítási eljárás hatásait vizsgáltam, amely lehetővé teheti mind két szempont megvalósulását. A vizsgálatokhoz olajtartalmú szennyvizet modelleztem, annak érdekében, hogy a fotokatalizátor nanorészecskékkel módosított membránok olaj a vízben emulziók szűréséhez történő alkalmazhatóságát és a tisztítást követő ismételt felhasználhatóságát bebizonyítsam.

Kutatási munkám során, ezért a következő célokat tűztem ki:

- Alkalmazott fotokatalizátor nanorészecskék jellemzését
- Az alkalmazott polimer membránok fotostabilitásának vizsgálatát
- Fotokatalizátor nanorészecskék fizikai depozíciójával módosított membránok elkészítését, felületi jellemzését, fotokatalitikus aktivitásának visszaigazolását
- Polimer membrán felületén különböző geometriájú nanorészecskékkel létrehozott rétegek alkalmazhatóságának vizsgálatát
- Módosított membránok összehasonlítását az eredeti membránok membránszűrési jellemzőivel – fluxus, ellenállási értékek, eltömődési mechanizmusok – olaj a vízben emulzió szűrése esetén,
- Különböző sókoncentrációjú olaj a vízben emulziók jellemzését
- Az olaj a vízben emulziók szűrése során eltömődött membránok UV megvilágítással történő tisztíthatóságának vizsgálatát
- Különböző sókoncentrációjú olaj a vízben emulziók vizsgálatát a módosított membránok eltömődésére és tisztíthatóságára

### 3. KÍSÉRLETI RÉSZ

Kísérleteim során jellemeztem a membrán módosításhoz használt nanorészecskéket, a kereskedelmi forgalomba kapható Aeroxide P25 titán-dioxidot ( $\text{TiO}_2$  P25) és szintetizált  $\text{TiO}_2$  nano-rudakat ( $\text{TiO}_2$  NR). Elektronmikroszkópiával (Hitachi gyártmányú S-4700 Type-II hideg téremissziós pásztázó elektronmikroszkóp, Philips CM10-es típusú TEM) a részecskék geometriáját, Rigaku Miniflex II röntgendiffraktométerrel a  $\text{TiO}_2$  részecskék kristályszerkezetét, fajlagos felületüket pedig BET módszerrel a Micromeritics gázadszorpciós mérőműszerrel (Gemini Type 2375) segítségével vizsgáltam.

A polimer membránok fizikai depozícióval történő módosítását  $\text{TiO}_2$  nanorészecskékkel, a részecskék desztillált vízben történő felszuszpendálását követő szűréssel végeztem a egy kevertetett membránszűrő berendezéssel (XFUF07601, Solvent-resistant Stirred Ultrafiltration Cell, Millipore, USA). Ugyanezt a membránszűrő berendezést használtam a szűrési kísérletek során és módosított tetővel a membrán fotokatalitikus tisztításához is UV megvilágítással.

Kísérleteim során különböző sótartalmú (0, 250, 2500 és  $25000 \text{ mg dm}^{-3}$ ) 100 ppm-es olaj a vízben emulziók segítségével vizsgáltam a gyári és  $\text{TiO}_2$ -dal módosított polimer (PES ( $0,2 \mu\text{m}$ ), PAN (50 kDa), PVDF (250 kDa)) membránok eltömődési hajlamát és az eltömődést követő tisztíthatóságát. A membráneltömődést a fluxuscsökkenés mérésével és a szűrési ellenállások változásának, illetve a mérési eredményekre illesztett eltömődési modellel vizsgálatával végeztem. A tiszta és a módosított membránok nedvesíthetőségét és felületi szabadenergiáját sessile drop módszerrel (Dataphysics Contact Angle System OCA15Pro, Németország) határoztam meg. Az olaj a vízben emulziók cseppméret és zéta-potenciáljának meghatározására ZetaSizer 4 (Malvern, UK) típusú berendezést használtam.

A tiszta,  $\text{TiO}_2$ -dal módosított, eltömődött és UV tisztított membránok felületét az ATR-IR (gyengített teljes reflexiós) spektrometriásan jellemeztem. A spektrumokat egy BIO-RAD Digilab Division FTS-65A/896 FT-IR (Fourier-transzformációs infravörös) spektrofotométerrel vettük fel  $4 \text{ cm}^{-1}$  felbontással,  $4000\text{-}1000 \text{ cm}^{-1}$  hullámszám-tartományban.

#### 4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

##### 1. Polimer membránok TiO<sub>2</sub>-dal történő módosítása során kapott új tudományos eredmények:

**(III) Igazoltam, hogy a TiO<sub>2</sub> réteg kevertetett, állandó nyomású szakaszos üzemű szűrés közben a kísérleti elrendezésből adódó körülmények között stabilan a membrán felületén marad. Megállapítottam, hogy a TiO<sub>2</sub> P25 vagy TiO<sub>2</sub> NR katalizátor segítségével polimer lapmembránok fizikai depozícióval történő stabil, teljes lefedettségét 1,2 mg cm<sup>-2</sup> katalizátor mennyiséggel el lehet elérni.**

A TiO<sub>2</sub> P25 és TiO<sub>2</sub> NR katalizátorok hidrofil réteget képeznek a PES, PAN és PVDF polimer membránok felületén, a réteg hidrofilitása nő a katalizátor mennyiségével a teljes lefedettség eléréséig. Kisebb mennyiségek esetén a katalizátor nem biztosít egyenletes lefedettséget, és a nedvesíthetőséget az eredeti membrán anyagának jellege határozza meg. A TiO<sub>2</sub> rétegek a megnövekedett hidrofilitás mellett megnövekedett felületi szabadenergia értékeket eredményeztek. Ezen vizsgálatok azt is bizonyították, hogy a kontaktszög mérés alkalmas módszer lehet a katalizátorréteg minőségének vizsgálatára. Vizsgálataim alapján kijelenthető, hogy a megadott mennyiségnél 50%-kal kevesebb (0,6 mg cm<sup>-2</sup>) katalizátor mennyiség nem biztosít teljes befedettséget, míg az 50%-kal több (1,8 mg cm<sup>-2</sup>) nem biztosít stabil réteget a felületen.

Az Acid red 1 festékkoldattal történő vizsgálatok azt mutatták, hogy a módosított membránok rendelkeznek fotokatalitikus aktivitással.

##### 2. Olaj a vízben emulziók TiO<sub>2</sub>-dal módosított membránon való szűrése során kapott új tudományos eredmények:

**(I, II) Megállapítottam mind a PAN mind a PVDF membránok esetében, hogy a TiO<sub>2</sub> réteggel módosított membránoknál az olaj a vízben emulziók szűrése során nem tapasztalható az eredeti polimer membránok esetében megfigyelhető drasztikus fluxuscsökkenés; a módosítás hatására legalább egy nagyságrenddel csökken a teljes szűrési ellenállás. A szűrési mechanizmusok részletes vizsgálatával bizonyítottam, hogy a TiO<sub>2</sub> réteg megakadályozza a nagy szűrési ellenállást eredményező, iszaplepenyként viselkedő olajréteg kialakulását a membrán felületén.**

Az eredeti PAN és PVDF membránok esetében olaj a vízben emulzió szűrése során a szűrés kezdeti szakaszában részleges pórusos eltömődés játszódik le, amelyet a szűrés előrehaladtával az iszaplepeny-szűrés követ. A PAN membrán TiO<sub>2</sub> P25-tel történő módosításának hatására az

olaj a vízben emulzió szűrése során kialakuló reverzibilis és irreverzibilis ellenállások alacsonyabbak a membránellenállásnál, illetve jelentősen alacsonyabba a nem-módosított membrán esetében kialakuló reverzibilis és irreverzibilis ellenálláshoz képest, azaz nem játszódik le jelentős membráneltömődés. A PVDF membrán  $\text{TiO}_2$  P25-tel történő módosításának hatására a membrán jelentősen lassabban tömődik el, a modellszámítások alapján nem alakul ki egységes olajréteg, a felületre tapadó olajcseppek reverzibilis ellenállást képeznek.

### **3. Olajjal eltömődött $\text{TiO}_2$ -dal módosított membránok tisztítása során kapott új tudományos eredmények:**

**(I, II) Bebizonyítottam, hogy az olaj a vízben emulzió szűrése során eltömődött  $\text{TiO}_2$  P25 katalizátor réteggel módosított polimer membrán felülte ultraibolya fénnel történő megvilágítással tisztítható, a membrán kezdeti fluxusa visszaállítható.**

Az UV megvilágítás idejének növelésével az eltömődött membránok kezdeti kontaktszög-értéke jó közelítéssel elérhető. Ugyanakkor a felület infravörös spektroszkópiai vizsgálata azt mutatta, hogy ez nem jelenti a szennyezőanyagok teljes lebomlását és eltávolítását, bomlástermékek, illetve olajmaradványok maradhatnak a felületen a tisztítást követően is, de annak mértéke nem akadályozza meg a membrán ismételt alkalmazást. Több, egymást követő szűrési és tisztítási ciklus ismétlésével igazoltam, hogy a fotokatalitikus tisztítási lépéssel jelentősen meghosszabbítható a módosított membrán élettartama.

### **4. Különböző só koncentrációjú olaj a vízben emulziók $\text{TiO}_2$ -dal módosított membránokon történő szűrés során kapott új tudományos eredmények:**

**(I) Bizonyítottam, hogy magas sótartalmú emulziók esetén is csökken a membrán eltömődési hajlama a  $\text{TiO}_2$  P25-tel történő módosítás hatására. A sótartalom a membrán fotokatalitikus tisztathatóságára sincs jelentős negatív hatással.**

A módosítatlan PVDF membrán felületi töltése megnő a nagy sókoncentráció következtében, ezáltal megnő a cseppek és a felület közötti elektrosztatikus taszítás, lecsökken a reverzibilis ellenállás. A sótartalom növekedésével párhuzamosan növekszik az olajcseppek átlagos cseppmérete, amely csökkenti a membrán irreverzibilis eltömődését.

A  $\text{TiO}_2$  réteg a felület megnövekedett hidrofilitásának köszönhetően csökkenti mind a reverzibilis, mind az irreverzibilis ellenállást a nem-módosított membrán ellenálláshoz képest, a vizsgált (0, 250, 2500, 25000  $\text{mg dm}^{-3}$ ) sókoncentrációjú emulziók szűrése során.

## 5. A DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉMÁJÁHOZ KAPCSOLÓDÓ KÖZLEMÉNYEK

### I. Fouling mitigation and cleanability of TiO<sub>2</sub> photocatalyst-modified PVDF membranes during ultrafiltration of model oily wastewater with different salt contents

Ildikó Kovács, Gábor Veréb, Szabolcs Kertész, Cecilia Hodúr, Zsuzsanna László

ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLLUTION RESEARCH 25:(35) p. 34912-34921 (2018) IF<sub>2018</sub>: 2,914

### II. Investigation of surface and filtration properties of TiO<sub>2</sub> coated ultrafiltration polyacrylonitrile membranes

I Kovács, G Veréb, Sz Kertész, S Beszédes, C Hodúr, Zs László

WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY 77:(4) p. 931-938. (2018) IF<sub>2018</sub>: 1,624

### III. Investigation of titanium-dioxide coatings on membrane filtration properties

Kovács I, Beszédes S, Kertész S, Veréb G, Hodúr C, Papp I Z, Kukovecz Á, László Z

STUDIA UNIVERSITATIS BABES-BOLYAI CHEMIA 62:(1) p. 249-259. (2017) IF<sub>2017</sub>: 0,305

## EGYÉB KÖZLEMÉNYEK

### 1. Membrane fouling control by means of TiO<sub>2</sub> coating during model dairy wastewater filtration

Ildikó Kovács, Szabolcs Kertész, Gábor Veréb, Ibolya Zita Papp, Ákos Kukovecz, Cecilia Hodúr, Zsuzsanna László

DESALINATION AND WATER TREATMENT 73: p. 415-421. (2017) IF<sub>2017</sub>:1.383

### 2. Effects of shear rate on membrane filtration

Szabolcs Kertész, Péter Bor, Cecilia Hodúr, József Csanádi, Gábor Veréb, Ildikó Kovács, Gábor KeszthelyiSzabó, Zsuzsanna László

DESALINATION AND WATER TREATMENT 69: p. 4349. (2017) IF<sub>2017</sub>:1.383

### 3. Ultrasound membrane hybrid processes for dairy wastewater treatment: pilotscale analysis

Szabolcs Kertész, Ildikó Kovács, Cecilia Hodúr, Gábor KeszthelyiSzabó, Gábor Veréb, Zsuzsanna László

DESALINATION AND WATER TREATMENT 57: p. 23335-23342. (2016) IF<sub>2016</sub>:1.631

### 4. Treatment of model oily produced water by combined preozonation– microfiltration process

Zsolt László Kiss, Ildikó Kovács, Gábor Veréb, Cecilia Hodúr, Zsuzsanna László

*DESALINATION AND WATER TREATMENT* 57:(48/49) p. 23225-23231. (2016)  
IF<sub>2016</sub>:1.631

**5. Surface analysis of a modern silver coin: SEM/EDS measurements**

Papp Z, Kovács I

*REVUE ROUMAINE DE CHIMIE* 58:(1) p. 6567. (2013) IF<sub>2013</sub>: 0.37

**ELŐADÁSOK, POSZTEREK, KONFERENCIA RÉSZVÉTELEK**

**1. Dielectric Constant Measurements in Wastewater Treatment Processes**

S Beszédes, Sz Kertész, B Lemmer, I Kovács, G KeszthelyiSzabó, C Hodúr

9th Eastern European Young Water Professionals Conference

Budapest, Magyarország, 2017. p. 382389. (ISBN:9789633132562)

**2. Investigation of Surface and Filtration Properties of TiO<sub>2</sub> Coated Ultrafiltration Polyacrilonitrile Membranes**

I Kovács, G Veréb, Sz Kertész, S Beszédes, C Hodúr, Zs László

9th Eastern European Young Water Professionals Conference

Budapest, Magyarország, 2017. p.375376. (ISBN:9789633132562)

**3. Effects of preozonation in case of microfiltration of oil contaminated waters using polyethersulfone membrane at various filtration conditions**

Gábor Veréb, Mihály Zakar, Ildikó Kovács, Katalin Pappné Sziládi, Szabolcs Kertész, Cecilia Hodúr, Zsuzsanna László

Desalination for the Environment Clean Water and Energy

Róma, Olaszország, 2016. p. 181.

**4. Purification of oil contaminated water by different advanced oxidation processes combined with membrane filtration**

Gábor Veréb, Renáta Bozóki, Mihály Zakar, Ildikó Kovács, Cecília Hodúr, Zsuzsanna László

International Conference on Science and Technique Based on Applied and Fundamental Research (ICoSTAF'16)

Szeged, Magyarország, 2016. Szeged: University of Szeged Faculty of Engineering, 2016. p. 44. (ISBN:9789633064825)

**5. Purification of mdel dairy wastewater by advanced oxidation processes combined with membrane filtration**

Ildikó Kovács, Sándor Beszédes, Szabolcs Kertész, Gábor Veréb, Cecilia Hodúr, Zsuzsanna László



International Conference on Science and Technique Based on Applied and Fundamental Research (ICoSTAF'16)

Szeged, Magyarország, 2016. p. 27. (ISBN:9789633064825)

**6. Effects of heterogeneous photocatalysis on membrane filtration properties using TiO<sub>2</sub> coated membranes**

Ildikó Kovács, Szabolcs Kertész, Gábor Veréb, Cecilia Hodúr, Zsuzsanna László

Desalination for the Environment Clean Water and Energy

Róma, Olaszország, 2016. p. 136137.

**7. TiO<sub>2</sub> coated membrane surface characterisation with contact angle measurements**

Ildikó Kovács, Szabolcs Kertész, Gábor Veréb, Cecilia Hodúr, Zsuzsanna László

22nd International Symposium on Analytical and Environmental Problems. 438 p.

Szeged, Magyarország, 2016. p. 4548. (ISBN:9789633065075)

**8. Surface characteristics of TiO<sub>2</sub> coated ultrafiltration membranes**

Ildikó Kovács, Gábor Veréb, Szabolcs Kertész, Cecilia Hodúr, Zsuzsanna László

III. Soós Ernő Tudományos Konferencia – Víz és szennyvízkezelés az iparban

Nagykanizsa, Magyarország, 2016. p. 15. (ISBN:9789631263701)

**9. TiO<sub>2</sub> coated polyacrylonitrile membranes application to treat oily wastewater**

I Kovács, G Veréb, S Beszédes, Sz Kertész, C Hodúr, Zs László

PERMEA Internatinal Conference on Membrane Processes

Prága, Csehország, 2016. p. 61. (ISBN:9788090451766)

**10. TiO<sub>2</sub> réteg vastagságának optimalizálása, és hatása a membránszűrés paramétereire**

Kovács Ildikó, Dr Beszédes Sándor, Dr Kertész Szabolcs, Dr Veréb Gábor, Prof Dr Hodúr Cecilia, Dr László Zsuzsanna

XXII. Nemzetközi Vegyészkonferencia

Temesvár, Románia, 2016. p. 97.

**11. Applying ozonization as pretreatment combined with membrane filtration for the purification of oil contaminated waters**

Mihály Zakar, Gábor Veréb, Ildikó Kovács, Cecília Hodúr, Zsuzsanna László

International Conference on Science and Technique Based on Applied and Fundamental Research (ICoSTAF'16)

Szeged, Magyarország, 2016. p. 54b. (ISBN:9789633064825)

**12. Ultrafiltration of dairy wastewater using vibration module**

Péter Bor, Cecilia Hodúr, József Csanádi, Gábor Veréb, Ildikó Kovács, Gábor KeszthelyiSzabó, Zsuzsanna László, Szabolcs Kertész

International Conference on Science and Technique Based on Applied and Fundamental Research (ICoSTAF'16)

Szeged, Magyarország, 2016. p. 18. (ISBN:[9789633064825](#))

### **13. Effects of shear rate on membrane filtration**

Szabolcs Kertész, Péter Bor, Cecilia Hodúr, József Csanádi, Gábor Veréb, Ildikó Kovács, Gábor KeszthelyiSzabó, Zsuzsanna László

Desalination for the Environment Clean Water and Energy.

Róma, Olaszország, 2016. p. 57.

### **14. Treatment of oil contaminated waters by (photo) fenton reaction and their effects on membrane filtration**

Veréb Gábor, Bozóki Renáta, Kovács Ildikó, Kertész Szabolcs, Hodúr Cecilia, László Zsuzsanna

22nd International Symposium on Analytical and Environmental Problems

Szeged, Magyarország, 2016. p. 5760. (ISBN:[9789633065075](#))

### **15. Purification of oil contaminated waters by coagulation/flocculation, membrane filtration and combined methods**

Veréb Gábor, Nagy Lilla, Kovács Ildikó, Kertész Szabolcs, Hodúr Cecilia, László Zsuzsanna

XXII. Nemzetközi Vegyészkonferencia

Temesvár, Románia, 2016. p. 114.

### **16. Removal of Acid red 1 by TiO<sub>2</sub> nanoparticles coated polyethersulfone membrane under UV irradiation**

Ildikó Kovács, Szabolcs Kertész, Sándor Beszédes, Cecilia Hodúr, Ibolya Zita Papp, Ákos Kukovecz, Zsuzsanna László

Ozone and Advanced Oxidation Leadingedge science and technologies Proseedings: 22nd World Congress & Exhibition.

Barcelona, Spanyolország, 2015. p. 10.2110.26. (ISBN:[9791092607024](#))

### **17. Combination of ultrasonication and ultrafiltration for dairy wastewater treatment**

Sz Kertész, I Kovács, C Hodúr, G KeszthelyiSzabó, Zs László

IV. International Conference of CIGR Hungarian National Committee and the Szent István University Faculty of Mechanical Engineering and the XXXVII R&D Conference of Hungarian Academy of Sciences Committee of Agricultural and Biosystems Engineering

Gödöllő, Magyarország, 2015. p. 82. (ISBN:[9789632695051](#))

**18. Effect of Fentonreaction pretreatment on membrane filtration parameters of dairy wastewater**

I Kovács, K Szabó, C Hodúr, Sz Kertész, S Beszédes, G Veréb, Zs László

IV. International Conference of CIGR Hungarian National Committee and the Szent István University Faculty of Mechanical Engineering and the XXXVII R&D Conference of Hungarian Academy of Sciences Committee of Agricultural and Biosystems Engineering

Gödöllő, Magyarország, 2015. p. 68. (ISBN:9789632695051)

**19. TiO<sub>2</sub> Nanorészecskékkel Bevont Membránok Jellemzőinek és Fotokatalitikus Aktivitásának Vizsgálata**

Kovács Ildikó, Kertész Szabolcs, Beszédes Sándor, Veréb Gábor, Hodúr Cecília, László Zsuzsanna

21st International Symposium on Analytical and Environmental Problems, Szeged, Magyarország, 2015. p. 4347. (ISBN:9789633064115)

**20. Olajszennyezések ózonos előkezeléssel kombinált membránszűrése desztillált vízben és modell termálvízben**

Veréb Gábor, Filus Erik Sándor, Kovács Ildikó, Kertész Szabolcs, Beszédes Sándor, Hodúr Cecília, László Zsuzsanna

XXI. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Csíksomlyó, Románia, 2015. p. 83.

**21. Olajszennyezett Vizek Tisztítása Ózonos Előkezeléssel Kombinált Membránszűréssel**

Veréb Gábor, Sulumán Ádám, Kovács Ildikó, Kertész Szabolcs, Beszédes Sándor, Hodúr Cecília, László Zsuzsanna

21st International Symposium on Analytical and Environmental Problems

Szeged, Magyarország, 2015. p. 1822. (ISBN:9789633064115)

**22. Treatment of model oily produced water by combined preozonationmicrofiltration process**

Zsolt László Kiss, Ildikó Kovács, Gábor Veréb, Cecília Hodúr, Zsuzsanna László

EUROMED Desalination for Clean Water and Energy: Cooperation among Mediterranean Countries of Europe and the MENA Region

Palermo, Olaszország, 2015. p. 67.

**23. Effect of advanced oxidation pretreatment on membrane filtration parameters of dairy waste water**

Zsuzsanna László, Szabolcs Kertész, Kristóf Szabó, Nándor Csorba, Ildikó Kovács, Cecília Hodúr

EMR2015 The Energy & Materials Research Conference

Madrid, Spanyolország, 2015. p. 281.