



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

Oláh György Doktori Iskola

**Membrane Operations in the Green Technology:  
Solvent Recovery and Process Water Treatment**

azaz,

**Membránok alkalmazása a zöld technológiákban: oldószer  
visszanyerés és technológiai hulladékvizek kezelése**

Című

*Ph.D. értekezés tézisei*

*Készítette:*

**Cséfalvay Edit**  
Okl. környezetmérnök

*Témavezető:*

Dr. Mizsey Péter  
MTA doktora  
Tanszékvezető egyetemi tanárt

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem**

**Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék**

**Budapest, 2009**



## 1 BEVEZETÉS

Az elmúlt évtizedekben a környezettudatosság és a fenntarthatóság fogalmának elterjedése új követelményeket támasztott a vegyészmérnöki gyakorlatban is, és új irányelv lett. Azonban a vegyipar „kizöldítése” hosszantartó folyamat, és a termelő technológiák rövid idő alatt gyökeresen nem változtathatók meg. Így a figyelem középpontjába a hulladékkezelés kerül egészen addig, amíg az integrált szennyezés megelőzését az ipar egészére ki nem terjesztik.

Ezért a hulladékkezelésben nagy szerepet játszik a zöld és tiszta technológiák alkalmazása. Napjainkban a vegyiparban is egy növekvő területet jelentenek membránok, mint a zöld és tiszta technológiák alkalmazása. Ez sok esetben megköveteli a membránok kivételes stabilitását. A membránok fontos szerepet játszanak a kémiai technológiákban, és széles körben alkalmazzák őket.

Az utóbbi években a membránok szennyvíztisztításban történő alkalmazása jelentősen megnőtt. A nanoszűrőssel és a fordított ozmózissal megvalósított fejlesztések és eredmények egyaránt újdonságnak számítanak a szennyvízkezelés területén. A hulladékvizek kezelése, például víztartalmú oldószerek abszolútizálása esetén, viszont a pervaporáció megfelelő megoldást jelenthet.

Környezettudatos eljárások tervezéséhez az anyagtranszport és elválasztási hatékonyság ismerete egyaránt szükséges. A mérnöki számításokban viszont leginkább egyszerű és tapasztalati összefüggéseken alapuló modelleket használnak. Az egyes tervezési alternatívák értékelésekor megvizsgálják, hogy a környezetvédelmi előírásokat be tudják-e tartani, amelyekhez viszont a transzportmodellek ismerete is szükséges. Ahhoz, hogy egy ilyen környezettudatos tervezést megvalósítsunk, kísérleteket kell végezni, mivel a kísérletek a semi-empirikus modellek alapját képezik.

## 2 CÉLKITŰZÉSEK

Munkám során választott célkitűzések három csoportba sorolhatók:

I. Membrán pervaporáció mint a zöld technológia alkalmazásának vizsgálata, oldószerek kezelésére történő alkalmazása. Vizsgálom a pervaporáció izopropanol-víz elegyek víztelenítésére történő alkalmazását. A vizsgált elegyek koncentrációját létező ipari szükségleteknek megfelelően választottam. A kísérleti rész után tanulmányoztam a módosított oldódás-diffúzió alapuló Rautenbach modellt, amelynek alkalmazhatóságát etanol-víz elegyre már igazolták. Megvizsgálom, hogy ez a modell megfelelő-e az izopropanol-víz elegyek pervaporációjának modellezésére. A kísérleti eredményeket felhasználom a modell paramétereinek becsléséhez. A mért és modellezett értékeket összehasonlítottam. Az illesztés során kapott paramétereket végül egy ipari rendszer modellezésénél teszteltem.

II. Munkám második célkitűzése az volt, hogy megvizsgáljam a nanoszűrés és fordított ozmózis fémion tartalmú technológiai hulladék vizek kezelésére történő alkalmazhatóságát. A vizsgálatokhoz teszt oldatokat alkalmaztam. A kísérleteket két különböző modellel modelleztem. Megvizsgáltam a kísérlettervezést gyakorlatba történő beiktatását. Célkitűzésem volt továbbá az is, hogy meghatározzak azoknak a paramétereknek a körét, amelyek befolyásolják az ún. eltömődési ellenállást, amelyet az egyszerűsített ellenállásmodellbe vezettem be. Célul tűztem ki, hogy meghatározzam ezen paraméterek és az eltömődési ellenállás közti összefüggést.

III. Az ipari eljárások sokfélesége miatt a keletkező szennyvizek és technológiai hulladékvizek is sokfélék. A membránszeparációs eljárások környezetbarát kezelési lehetőséget nyújtnak a keletkező szennyvizek és technológiai hulladékvizek számára, de a kérdés az, hogy vajon a membránok alkalmazhatóak-e az összes típusú hulladékvíz kezelésére. Ezért célul tűztem ki, hogy megvizsgáljam a membránok

alkalmazhatóságát nagymértékben különböző körülmények között labor méretű folyamatos betáplálású membrán teszt berendezésben. Emellett egy ipari esettanulmányt is vizsgáltam, amely egy általam tervezett újszerű hibrid eljárás alkalmazását mutatja be egy adott gyógyszergyári szennyvízre, ezzel igazolva azt, hogy a membránszeparáció hibrid eljárások részeként is jól alkalmazható.

### 3 FELHASZNÁLT ESZKÖZÖK ÉS MÓDSZEREK

Pervaporáció (PV), nanoszűrés (NF), fordított ozmózis (RO) membránszeparációs kísérleteket egy univerzális membrán teszt berendezésen végeztem el. (CM-CELFA Membrantechnik AG P-28). A membránok alkalmazhatósági vizsgálatát egy folyamatos betáplálású teszt membrán berendezésen végeztem (3 DTA, Uwatech Ltd.). A valós szennyvizek hibrid eljárással történő kezelésékor a P-28 teszt berendezés mellett egy 14 elméleti tányérból álló rektifikáló oszlopot, és hagyományos szűrést is alkalmaztam.

A következő analitikai módszereket használtam a kísérletek során: gázkromatográfia (Shimadzu GC-14B), Karl-Fischer titrálás, atomabszorpció (Perkin Elmer 3100), KOI mérés a  $K_2Cr_2O_7$  standard módszer szerint, pH, vezetőképesség (WTW 340i pH/conductivity meter) és viszkozitás (Höppler viszkoziméter).

A PV kísérletek modellezéséhez a módosított<sup>1</sup> Rautenbach<sup>2</sup> modellt alkalmaztam, amely az oldódás-diffúziós (OD) elvére épül. A modellparamétereket GAMS szoftver segítségével illesztettem a kísérleti adatokhoz. MS Excel szoftvert is alkalmaztam a paraméterillesztésre, de a GAMS

---

<sup>1</sup> Mizsey, P., K. Koczka, A. Deák, and Z. Fonyó, *Simulation of Pervaporation with the "Solution-Diffusion" model*. Hungarian Chemical Journal, 2005. 7: p. 239-242.

<sup>2</sup> Rautenbach, R., C. Herion, and U. Meyer-Blumenroth, *Chapter 3. Pervaporation Membrane Separation Processes*. Membrane Science and Technology Series, ed. **R.Y.M. Huang**. Vol. 1. 1991, Amsterdam: Elsevier.

szolgáltatta paraméterekkel dolgoztam. Ezek után a modell paramétereit beírtam a ChemCAD professzionális szimulációs szoftver pervaporációs moduljába, így a kísérleti adatok és ipari pervaporációs alkalmazás modellezését is el tudtam végezni.

NF és RO kísérleteket két különböző modell: az oldódás-diffúziós (OD) modell<sup>3</sup> és az ellenállás (EM) modell<sup>4</sup> segítségével modelleztem. Az OD modell olyan szűrési paramétereket is tartalmaz, amelyek szakaszos szűrés esetén a kitermelés függvényében változnak. A paraméter kitermelés függvényében történő változására felállított egyenletek konstansait a kísérleti adatokhoz illesztettem a STATISCTICA szoftver segítségével.

Elvégeztem az EM modell egyszerűsítését. Az EM modellben szereplő ún. eltömődési ellenállás tag levezetését dimenzióanalízissel végeztem. Az EM modell többi paraméterét STATISTICA szoftver segítségével illesztettem a kísérleti eredményekhez. Az NF és RO mérések modellezését MS Excel szoftver segítségével végeztem el.

#### **4 A KUTATÓMUNKA SORÁN ELVÉGZETT VIZSGÁLATOK ÉS ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEIM**

##### **1.1 Izopropanol-víz elegyek pervaporációja; szerves oldószerek víztelenítésének megvalósítása**

Izopropanol-víz elegyek víztelenítését vizsgáltam pervaporációval, majd a kísérleti eredményeket felhasználtam az OD modell paramétereinek illesztéséhez. A paraméterillesztést GAMS szoftverrel, és MS Excel szoftverrel is elvégeztem. Mindkét illesztés által kapott paramétereket felhasználtam a kísérleti eredmények modellezésére. A mért és a modellezett értékeket összevetve megállapítottam, hogy a GAMS segítségével illesztett paraméterek jobb egyezést mutattak a

---

<sup>3</sup> Baker, W.R., *Membrane Technology and Applications*. 2004, Menlo Park, California: Wiley.

<sup>4</sup> Schäfer, A.L., A.G. Fane, and T.D. Waite, *Principles and Applications*. 2005, Amsterdam.

kísérleti eredményekkel, mint az MS Excel-lel illesztett paraméterek alkalmazásával kapott modell értékek. Ezért a GAMS által kapott paramétereket alkalmaztam a ChemCAD szoftverrel történő szimulációra, majd a kapott eredményekkel igazoltam a modell alkalmazhatóságát. Mivel a szimulált permeátum fluxusok jó egyezést mutattak a mért értékekkel, egy ipari hibrid eljárás (desztillációt követő pervaporáció) szimulációját is elvégeztem.

**1. Tézis** Meghatároztam a módosított Rautenbach1 egyenlet paramétereit izopropanol-víz elegyre. Megállapítottam, hogy a permeabilitási koefficiens értéke nagyon hasonló az etanol-víz elegyre illesztett permeabilitási koefficienssel.

Mérnöki megfontolások alapján megállapítottam, hogy az illesztett paraméterek csak kis víztartalmú (<20m%) elegyek esetén érvényesek.

Igazoltam, hogy az illesztett paraméterek alkalmazhatóak professzionális szimulációs környezetben, és ipari adatokkal összevetve jó egyezést kaptam. [3]

## **1.2 Nanoszűrő és fordított ozmózis membránokon keresztüli komponens transzport vizsgálata: technológiai hulladékvizeket jellemző tesztoldatok transzportjának modellezése, membránszűrés tervezéséhez felhasznált modellezés alapjai**

Fém ion (réz, vas és nikkel) tartalmú teszt oldatok szűrését (NF és RO) végeztem el laboratóriumi méretű membrán tesztberendezésen, szakaszos üzemmódban. A kísérleteket 2<sup>p</sup>-típusú kísérletterv alapján végeztem. A permeátum fluxusokat két különböző modell segítségével modelleztem. A modellezést mindkét esetben a kitermelés függvényében valósítottam meg.

Az OD modell esetében a kitermelésfüggő tényezőket egyenlettel közelítettem, és az egyenletet STATISTICA szoftver segítségével határoztam meg.

Ezeket felhasználásra kerültek az OD modellben. Az OD modell szerint, mivel a membrán visszatartása nem 100%, ezért a permeátum fluxusában figyelembe kell venni a víz és az oldott anyag (ionok) fluxusát is. A víz fluxusának számításához szükséges a víz diffúziós és szorpciós koeficiensei szorzatának ( $D_w \cdot K_w$ ) ismeretére, amelyet desztillált vizes mérésel határoztam meg. Vizsgáltam a Baker3 által javasolt feltételezést, mely szerint a só és a víz diffúziós és szorpciós koeficienseinek szorzatának hányadosa 1 a 10-hez ( $D_s \cdot K_s / D_w \cdot K_w = 1/10$ ). Levezettem egy másik egyenletet a só fluxusának számítására. Meghatároztam  $D_s \cdot K_s / D_w \cdot K_w$  arány értékét a saját kísérleteimben. Végül a mért és a modellezett fluxusokat összevettem.

Ugyanazon NF és RO kísérletek modellezését az EM modellel is elvégeztem. Az EM modell egyszerűsítése gyanánt bevezettem az ún. eltömődési ellenállás tényezőt, amely a membránszűrés közben fellépő ellenállásokat tartalmazza. Az eltömődési ellenállás egyenletét dimenzióanalízissel vezettem le. Bebizonyítottam, hogy a többek között a hidratált ionátmérő befolyásolja az eltömődési ellenállást. Az EM modell kitermelésfüggő komponenseinek leírását, illetve az abban szereplő konstansok illesztését a STATISTICA szoftver segítségével végeztem el. Végül a mért és a modellezett fluxusokat összehasonlítottam. A két modellt egymással is összehasonlítottam, és azt tapasztaltam, hogy az EM modell jobban leírja a kísérleti eredményeket, mint az OD modell.

**2. Tézis** Kiterjesztettem az oldódás-diffúziós modell alkalmazását fém sók szakaszos üzemmódú membránszűrésére (NF, RO). Kísérletek alapján meghatároztam a szükséges konstansokat. A kísérleteket 2<sup>p</sup>-típusú kísérletterv alapján végeztem.



Levezettem a víz és a só diffúziós tényezői és szorpciós koefficiensei szorzatának arányát. Híg oldatokra (2 kg/m<sup>3</sup>, ill. kisebb) ennek értéke 45-50. (Lásd 1. egyenlet.)

$$\frac{D_w K_w}{D_s K_s} = \frac{\rho_p - c_{s,0} \cdot (1 - R)}{c_{w,0} \cdot (1 - R)} \cdot \frac{1 - \exp\left(\frac{-v_s \cdot \Delta p}{\Re T}\right)}{1 - \exp\left(\frac{-v_w \cdot (\Delta p - \Delta \pi)}{\Re T}\right)} \cong 45 - 50 \quad (1.)$$

ahol  $D$  a diffúziós koeficiens a membránban [m<sup>2</sup>/s],  $K$  a szorpciós koeficiens [-],  $\rho$  s sűrűség [kg/m<sup>3</sup>],  $c$  a koncentráció [kg/m<sup>3</sup>],  $R$  a visszatartás [-],  $v$  a moláris térfogat [m<sup>3</sup>/mol],  $\Delta p$  a transzmembrán nyomáskülönbség [Pa],  $\Re$  az univerzális gáz állandó [=8,314 J/(K·mol)],  $T$  a hőmérséklet [K],  $\Delta \pi$  az ozmotikus nyomáskülönbség a membrán betáplálási és permeátum oldala között [Pa], indexe:  $w$  jelenti a vizet,  $s$  a sót,  $p$  a permeátumot és  $0$  a kezdeti állapotot.

Mivel ez az arány a só koncentrációjától is függ, a Baker által javasolt 10-es arány egy széles tartományban jól alkalmazható átlagérték. Ezt az állítást méréseim és számításaim is igazolták [1, 2], de az általam levezetett egyenlet ennél pontosabb értéket ad.

**3. Tézis** Egyszerűsítettem és sikeresen alkalmaztam az ellenállás modellt nehézfém tartalmú oldatok szűrésére. Bevezettem az eltömődési ellenállás fogalmát, amelynek egyenletét dimenzióanalízissel levezettem. Megállapítottam, hogy az egyszerűsített ellenállás modell jobban leírja a kísérleti eredményeket, mint szakaszos szűrésre kiterjesztett oldódás-diffúziós modell. [1, 2]

Az egyszerűsített ellenállás modell leírását a 2. egyenlet mutatja.

$$J_p = \frac{\Delta p - \Delta \pi}{\eta \cdot (R_m + R_f)} \quad (2.)$$

ahol  $J_p$  térfogati permeátum fluxus [ $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ],  $\Delta p$  a transzmembrán nyomáskülönbség [Pa],  $\Delta \pi$  is az ozmotikus nyomáskülönbség a membrán betáplálási és permeátum oldala között,  $\eta$  a permeátum dinamikai viszkozitása [ $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ],  $R_m$  a membránellenállás [ $1/\text{m}$ ],  $R_f$  az eltömődési ellenállás [ $1/\text{m}$ ].

$R_f$ -re dimenzióanalízissel levezett egyenletet a 3. egyenlet mutatja.

$$R_f = \left( \frac{V_P}{V_F} \right)^a \left( \frac{c_0 \cdot \mathfrak{R} \cdot T}{p} \right)^e \cdot \frac{1}{d_h} \cdot \left( \frac{v \cdot d_h}{v_f} \right)^i \cdot \left( \frac{g \cdot d_h^3}{v_f^2} \right)^j \quad (3.)$$

ahol  $V_P$  a permeátum térfogata [ $\text{m}^3$ ],  $V_F$  a betáplálás térfogata [ $\text{m}^3$ ],  $c_0$  a kezdeti koncentráció [ $\text{mol}/\text{m}^3$ ],  $\mathfrak{R}$  az univerzális gáz állandó [ $=8,314 \text{ J}/(\text{K} \cdot \text{mol})$ ],  $T$  a hőmérséklet [K],  $p$  a transzmembrán nyomáskülönbség [Pa],  $d_h$  is hidratált ionátmérő [m],  $v$  áramlási sebesség a membrán felszínén [m/s],  $v_f$  kinematikai viszkozitás [ $\text{m}^2/\text{s}$ ],  $g$  gravitációs állandó [ $\text{m}/\text{s}^2$ ],  $a$ ,  $e$ ,  $i$  és  $j$  kitevők tapasztalati konstansok.

Figyelembevéve azt, hogy a hidratált ionátmérő SI-ben  $10^{-12}$  nagyságrendbe esik, annak harmadik hatványa nagyon kicsi számot eredményez. Annak ellenére, hogy ezt elosztjuk a kinetikai viszkozitással, még ez is  $10^{-6}$ -os nagyságrendet eredményez, így a 3. egyenlet utolsó tényezője  $10^{-15}$  nagyságrendű lesz. Ezáltal nyilvánvalóan össze lehet vonni a 3. egyenlet negyedik és ötödik tényezőjét egy konstansba.  $R_f$  egyenletét így az alábbiak szerint lehet egyszerűsíteni:

$$R_f = B \cdot \left( \frac{V_P}{V_F} \right)^a \left( \frac{c_0 \cdot \mathfrak{R} \cdot T}{\Delta p} \right)^e \cdot \frac{1}{d_h} \quad (4.)$$

ahol  $B$  [-] konstans.  $a$  és  $e$ , kitevőket, illetve a  $B$  konstans értékét kísérletekkel kell meghatározni.

### **1.3 Membránok alkalmazhatósága nagymértékben különböző technológiai hulladékvizek kezelésében, illetve hibrid eljárások részeként**

Mivel a tesztoldatok kezelését sikeresen elvégeztem, felvetődött a kérdés, hogy vajon a membránok ténylegesen alkalmazhatók-e valódi szennyvizek és technológiai hulladékvizek kezelésére. Ezért egy alkalmazhatósági tanulmányt végeztem különböző helyről származó, egyben különböző összetételű vizek szűrésére. A vizek pontos összetétele nem volt ismert, ezért a kémiai oxigénigényt (KOI) alkalmaztam a szűrések eredményességének megállapítására. Először egylépcsős szűrést (NF illetve RO) végeztem, amellyel sajnos a KOI-re előírt kibocsátási határértéket nem lehetett elérni, ezért kétlépcsős (NF-et követő RO) szűrést is végeztem. A hulladéklerakóból származó csurgalékvíz esetén a kétlépcsős membránszűrés megfelelő volt, de a vizsgált gyógyszergyári szennyvíz esetén nem volt elegendő.

Továbbá azt is vizsgáltam, hogy lehet a membránszűrést más műveletekkel kombinálni. Egy adott gyógyszergyári szennyvíz kezelésére egy membránszűrést tartalmazó hibrid eljárást terveztem és sikeresen alkalmaztam.

**4. Tézis** Megállapítottam, hogy a membránok széles körben alkalmazhatóak valódi szennyvizek (nem tesztoldatok!) KOI csökkentésre. Megállapítottam, hogy a csurgalékvíz KOI értékének csökkentése egy kétlépcsős (NF, majd RO) művelettel megoldható. Megállapítottam, hogy a vizsgált gyógyszergyári szennyvíz KOI értéke a kiindulási érték 6%-ra csökkenthető, de ez még mindig a kibocsátási határérték felett van. Ezen szennyvízre egy háromlépcsős membránszűrést javasolok. [6]

Egy harmadik típusú gyógyszergyári szennyvízre hibrid tisztító eljárást fejlesztettem ki, mely szűrésen, rektifikáláson és membránszűrésen alapul. [6, 14]

## 5 EREDMÉNYEK GYAKORLATI ALKALMAZHATÓSÁGA

A disszertációmban található alapkutatási eredményeim utat mutatnak és segítséget nyújtanak a vegyészmérnökök számára a környezettudatos folyamattervezésben.

Az ipari méretű üzentervezés döntő részét képezik a laboratóriumi kísérletek és a modellezések. A vegyészmérnöki tudományban a transzportmodellek általában tapasztalati összefüggéseken alapulnak, amelyhez elengedhetetlen a transzportmodell paramétereinek kísérleti eredményekhez történő illesztése. A későbbiekben ezek a paraméterek alkalmazhatóak szeparációs eljárások leírására.

Az izopropanol-víz elegyekkel végzett pervaporációs kísérleteimet, és modellezéseimet felhasználták izopropanolt tartalmazó terner elegyek pervaporációjának leírására. Az ebből készült tudományos folyóiratcikk jelenleg elbírálás alatt áll. Ezen felül az eredményeim azt igazolták, hogy az általam meghatározott paraméterek alkalmazhatóak izopropanol-víz elegyek ipari méretű pervaporációs elválasztásának modellezésére. Másrészt a ChemCAD folyamat szimulátorban alkalmazott pervaporációs modul lehetővé teszi a mérnökök számára, hogy ilyen elegyek rigorózus elválasztását megtervezzék.

A transzport modellek egyszerűsítése megkönnyíti a modellezést. Nagyon fontos azonban, hogy az ilyen egyszerű modellek jól definiált tényezőket tartalmazzanak. A dimenzió analízis, amelyet az eltömődési ellenállás egyenletének levezetésére alkalmaztam, igazolja azt, hogy az egyszerűsített ellenállás modell megfelelő eredményeket ad. Az egyszerűsített modell segítséget nyújt a mérnökök számára a membránszűrésen alapuló szeparációs eljárások tervezésében.

Az alkalmazhatósági tanulmánnyal bebizonyítottam, hogy a membránok széles körben alkalmazhatóak a szennyvíztisztítás területén. Ezen kutatási eredmények segítenek a döntéshozóknak abban, hogy a szennyvíz és technológiai

hulladékvizek kezelésére membrán szeparációs eljárásokat, mint tiszta technológiát válasszanak, esetlegesen egy hibrid eljárás részeként.

## 6 PUBLIKÁCIÓK LISTÁJA

### Tudományos folyóiratokban megjelent cikkek:

- [1] **Edit Cséfalvay**, Viktor Pauer, Peter Mizsey, Recovery of Copper from Process Waters by Nanofiltration and Reverse Osmosis, *Desalination* 240 (2009) pp. 132-142 (**IF 0.875 (2007)**)
- [2] **Cséfalvay Edit**, Mizsey Péter, Membránműveletek modellezése 2: membránszűrés, *Membrántechnika*, 2008, XII./4, pp. 58-69
- [3] **E. Cséfalvay**, Z. Szitkai, P. Mizsey, Z. Fonyó, Experimental Data Based Modelling and Simulation of Isopropanol Dehydration by Pervaporation, *Desalination* 229 (2008) pp. 94-108, (**IF 0.875 (2007)**)
- [4] **Edit Cséfalvay**, Péter M. Imre, Péter Mizsey Applicability of nanofiltration and reverse osmosis for the treatment of wastewater from different origin, *Central European Journal of Chemistry* Vol. 6/No.2 (2008) pp.277-283, (**IF 0.754 (2007)**)
- [5] **Edit Cséfalvay**, Tobias Nöthe, Peter Mizsey, Modelling of wastewater ozonation - Determination of reaction kinetic constants and effect of temperature, *Periodica Polytechnica Chemical Engineering* 51/2 (2007) pp. 13-17

## Konferencia kiadványok

- [6] **E. Cséfalvay**, K. Angyal-Koczka, Zs. Major, P. Mizsey, Application of Hybrid Separation Processes to Treat Pharmaceutical Waste Water, *SSCHE 2008*, Tatranska Matliare, Slovakia, 2008, ISBN:978-80-227-2903-1, p.199.
- [7] **Edit Cséfalvay**, Dr. Zsolt Szitkai, Dr. Péter Mizsey, Experimental Data Based Modelling and Simulation of Dehydration of Isopropanol, Conference of PhD Students 2006, Periodica Polytechnica Chemical Engineering, 51/2 (2007) pp.79-80
- [8] **E. Cséfalvay**, K. Koczka, P. Mizsey, Treatment of pharmaceutical waste water by hybrid separation processes, *ECCE-6*, European Congress of Chemical Engineering, Copenhagen, Denmark, 2007, ISBN: 978-87-91435-56-0, vol.2, pp. 465-466
- [9] **Edit Csefalvay**, Viktor Pauer, Zsolt Szitkai, Peter Mizsey, Recovery of copper from process waters by nanofiltration and reverse osmosis *PERMEA 2007*, Siófok, Hungary, 2007 ISBN: 978-963-9319-69-1, p.34
- [10] Pauer Viktor, **Cséfalvay Edit**, Dr. Mizsey Péter, Hulladékvizek rézmentesítése fordított ozmózis segítségével, *Műszaki Kémiai Napok'07* Veszprém, 2007, ISBN: 978-963-9696-15-0, pp. 203-206 (magyar nyelven).
- [11] **E. Cséfalvay**, P. M. Imre, P. Mizsey, Reduction of the Chemical Oxygen Demand of Pharmaceutical Waste Water by Nanofiltration and Reverse Osmosis, *CHISA 17th* Prague, Czech Republic, 2006, ISBN: 80-8659-45-6, p.382.
- [12] **Cséfalvay Edit**, Dr. Szitkai Zsolt, Dr. Mizsey Péter, Izopropanol vízmentesítése pervaporációval, *Műszaki Kémiai Napok'06*, Veszprém, Hungary, 2006, ISBN: 963-9495-86-7, pp.14-17 (magyar nyelven)
- [13] **Cséfalvay Edit**, Dr. Mizsey Péter, Több komponensű elegyek pervaporációjának vizsgálata, *Műszaki Kémiai Napok'05* Veszprém, Hungary, 2005, ISBN: 963-9495-71-9 pp.134-135 (magyar nyelven)

## Poszter bemutatók

- [14] **E. Cséfalvay**, K. Angyal-Koczka, Zs. Major, P. Mizsey, Application of Hybrid Separation Processes to Treat Pharmaceutical Waste Water, *SSCHE 2008*, Tatranska Matliare, Slovakia, 2008, ISBN:978-80-227-2903-1, p.199.
- [15] **E. Cséfalvay**, K. Koczka, P. Mizsey, Treatment of pharmaceutical waste water by hybrid separation processes, *ECCE-6*, European Congress of

Chemical Engineering, Copenhagen, Denmark, 2007, ISBN: 978-87-91435-56-0, vol.2, pp. 465-466

## Előadások

- [16] Pauer Viktor, **Cséfalvay Edit**, Dr. Mizsey Péter, Hulladékvizek rézmentesítése fordított ozmózis segítségével, *Tudományos Diákköri Konferencia* BME Budapest, 2008 (magyar nyelven)
- [17] **Cséfalvay Edit**, Treatment of waste- and process waters by membrane technology, *Magyar Tudományos Akadémia, Vegyipari Műveteli Munkabizottsági Ülése*, Veszprém, 2008 (magyar nyelven)
- [18] Siklósi Tamás, **Cséfalvay Edit**, Dr. Mizsey Péter, Szennyvizek réz(II)- és vas(II)-ion tartalmának csökkentése nanoszűrő membrán segítségével, *Tudományos Diákköri Konferencia* BME Budapest, 2007 (magyar nyelven)
- [19] **Edit Csefalvay**, Viktor Pauer, Zsolt Szitkai, Peter Mizsey, Recovery of copper from process waters by nanofiltration and reverse osmosis *PERMEA 2007*, Siófok, Hungary, 2007
- [20] Pauer Viktor, **Cséfalvay Edit**, Dr. Mizsey Péter, Hulladékvizek rézmentesítése fordított ozmózis segítségével, *Műszaki Kémiai Napok'07* Veszprém, 2007 (magyar nyelven)
- [21] **Cséfalvay Edit**, Imre Miklós Péter, Dr. Mizsey Péter, Gyógyszergyári szennyvíz kémiai oxigén igényének csökkentése NF és RO membránokkal, *Kisfaludy Lajos Alapítvány Tudományos Ülése*, Budapest, 2007 (magyar nyelven)
- [22] **Cséfalvay Edit**, Imre Miklós Péter, Dr. Mizsey Péter, Gyógyszergyári szennyvíz kémiai oxigén igényének csökkentése NF és RO membránokkal, *Doktoráns Konferencia 2007*, Budapest, 2007 (magyar nyelven)
- [23] **E. Cséfalvay**, P. M. Imre, P. Mizsey, Reduction of the Chemical Oxygen Demand of Pharmaceutical Waste Water by Nanofiltration and Reverse Osmosis, *CHISA 17th* Prague, Czech Republic, 2006
- [24] **Cséfalvay Edit**, Dr. Szitkai Zsolt, Dr. Mizsey Péter, Izopropanol vízmentesítése pervaporációval, *Műszaki Kémiai Napok'06*, Veszprém, (magyar nyelven), 2006,
- [25] **Cséfalvay Edit**, Dr. Szitkai Zsolt, Dr. Mizsey Péter,, Izopropanol pervaporációval történő víztelenítésének kísérleten alapuló modellezése és szimulációja, *Doktoráns Konferencia 2006*, Budapest, 2006 (magyar nyelven)



- [26] **Cséfalvay Edit**, Dr. Mizsey Péter, Több komponensű elegyek pervaporációjának vizsgálata, *Műszaki Kémiai Napok'05* Veszprém, 2005 (magyar nyelven)