

TARTALOM

	oldal
Fehér E., Kelemenné Horváth I., Forgó K., Bélafiné Bakó K., Gubicza L.: Új membrántechnikai eljárások alkalmazása i-amil-acetát enzimatisz előállítására és szeparálására ionos folyadékban	22
MKE pályázat eredményhirdetése	31
Műszaki Kémiai Napok, beszámoló	32
Beszámoló a Desalination and the Environment konferenciáról	34
Közelgő membrános konferenciák, kurzusok	38

Új membrántechnikai eljárások alkalmazása i-amil-acetát enzimatis előállítására és szeparálására ionos folyadékban

**FEHÉR ERIKA, KELEMENNÉ HORVÁTH ILONA, FORGÓ KITTI,
BÉLAFINÉ BAKÓ KATALIN, GUBICZA LÁSZLÓ**

Pannon Egyetem, Műszaki Kémiai Kutató Intézet
8200 Veszprém, Egyetem u. 10

Bevezetés

Az ionos folyadékok különleges jellemzői, hogy szobahőmérsékleten folyékony halmazállapotúak, igen alacsony a gőznyomásuk, ezért nem illékonyak, nem tűzveszélyesek és kiváló a termikus és kémiai stabilitásuk. Ezeknek a tulajdonságoknak köszönhetően környezetbarát alternatívát jelentenek a hagyományos szerves oldószerek alkalmazásával szemben. Előnyösen alkalmazhatóak enzimes reakciókban, mert növelik az enzim aktivitását, stabilitását és (enantio)szelektivitását. Az ionos folyadékok többszöri alkalommal újra felhasználhatóak az enzimmel együtt, mert az enzim sok esetben az ionos folyadékos fázisban marad. A termékek kinyerése a hagyományos extrakciós, desztillációs technikák mellett szuperkritikus folyadékok ill. membránok (főképp pervaporációs technikák) alkalmazásával is lehetséges [1-2].

A pervaporáció hatékony és szelektív membrános eljárás, amely még azeotróp elegyek megtörésére is alkalmas [3]. Alacsony energia felhasználása és hulladék kibocsátása, valamint biztonságos volta miatt ígéretes „tisztá” technológiának tartják [4]. A pervaporációhoz hidrofíl vagy hidrofób pórusmentes permszelektív membrán alkalmazható, ahol a membránon át történő anyagtranszport hajtóereje a két oldal közötti nyomáskülönbség. A retentát oldalon atmoszférikus nyomás van, míg a permeát oldalon lehet vákuum (vákuum pervaporáció) vagy alacsony nyomás (vivőgázos pervaporáció) [5]. Ezen eljárás legfőbb előnyei a következők: (a) a termék folyamatos eltávolításával a reakció konverziója növelhető, (b) a mellékreakciók száma csökkenthető, (c) a reakcióhő felhasználható a szeparációhoz [6]. Az elválasztás hatékonyságát befolyásolja a beadagolt elegy összetétele és koncentrációja, a hőmérséklet, a nyomás és a koncentrációs polarizáció [3].

A már megkezdett munka folytatásaként, ahol optimalizáltuk az ecetsav és i-amil-alkohol reakcióját *Candida antarctica* lipáz B enzimmel ionos folyadékban [7], vizsgáltuk az enzim

stabilitását, az ionos folyadék és az enzim visszaforgathatóságát, az egyensúly teljes eltolásának és a reakcióelegy elválasztásának lehetőségeit új típusú membrántechnikai eljárások alkalmazásával.

Anyagok és módszerek

Enzim: triacilglicerol hidroláz, E.C. 3.1.1.3., Novozym 435, Novo Nordisk (Basvaerd, Dánia). 1U=7000 μ mol PLU/g, 15 min, 1 atm (PLU: propil-laurát), víztartalom: 1-2%.

Ionos folyadékok: 1-etil-3-metil-imidazolium-toluolszulfonát ([emim]tosy), 1-butil-3-metil-imidazolium-hexafluoro-foszfát ([bmim]PF₆), 1-butil-3-metil-imidazolium-klorid ([bmim]Cl), 1-butil-3-metil-imidazolium-tetrafluoro-borát ([bmim]BF₄), 1-hexil-3-metil-imidazolium-hexafluoro-foszfát ([hmim]PF₆), 1,3-dimetil-imidazolium-dimetil-foszfát ([m₂im]PO₄(CH₃)₂) (IoLiTec GmbH, Németország)

Vegyszerek: nátrium-hidroxid, n-hexán (Reanal), metanol, toluol (Scharlau GmbH), Karl-Fischer oldat (Carlo-Erba), i-amil-alkohol, etil-alkohol, ecetsav, i-amil-acetát, kálium-hidroxid (Spektrum 3D).

GC elemzések: HP 5890 A gázkromatográf, HP-FFAP kolonna (Macherey-Nagel), fejnnyomás: 70 kPa, N₂ áramlási sebesség: 19 cm³/min, FID detektor. A kétfázisú rendszer felső fázisából vett 50 μ l mintát 450 μ l hexánnal hígítottuk és három párhuzamos mérést végeztünk belőle. Belső standard anyagként toluolt alkalmaztunk.

Víztartalom mérése: automata Mettler DL 35 Karl-Fisher titrátorral.

Savtartalom mérése: A savtartalmat hagyományos sav-bázis titrálással határoztuk meg 0,1 M-os etanolos kálium-hidroxid oldatot használva. Ehhez a következőképpen előkezelt etanolt alkalmaztunk: 500 cm³ 96%-os etanolt refluxáltattunk 3 g kálium-hidroxidon, hogy a lúgot fogyasztó anyagokat eltávolítsuk, majd az alkoholt ledesztilláltuk.

Rázatás, inkubálás: New Brunswick G24 rázógéppel.

Szakaszos, laboratóriumi i-amil-acetát előállítás, reakcióelegy összetétele: 54,23 mmol i-amil-alkohol, 7,34 mmol ecetsav, 3,72 mmol víz, 2,83 mmol toluol és 1 cm³ [bmim]PF₆ ionos folyadék és 40 mg Novozym 435 lipáz enzim. A reakcióelegyet 100 rpm intenzitással inkubátorban rázatva 60 °C-on 24 órán át a várható hozam 90-95%.

Méretnövelt, szakaszos laboratóriumi i-amil-acetát előállítás körülményei: 352,5 mmol i-amil-alkohol, 48,1 mmol ecetsav, 24,2 mmol víz, 18,4 mmol toluol és 6,5 cm³ [bmim]PF₆

ionos folyadék és 1235 mg Novozym 435 lipáz enzim. A reakcióelegyet 800 min^{-1} fordulatszámmal kevertetve bioreaktorban 50°C -on 24 órán át a várható hozam 90-100%.

Membránok: Hidrofób – Sulzer Chemtech „Pervap 2255-50”, „Pervap 2256”, „Pervap 1060”, Membrane Extraction Technology „Starmem 120”, Metcell „Starmem 228”, Hidrofil – Sulzer Chemtech „Pervap 2205”, „Pervap 2201”, POMS $20 \mu\text{m}$ PEI hordozón, Seewen Membrantrenntechnik „CMC-CF-23”

Eredmények és értékelésük

1. Az i-amil-acetát előállítás optimalizálása

Ebben a kísérletsorozatban ecetsav és i-amil-alkohol reakciójával i-amil-acetátot állítottunk elő *Candida antarctica* lipáz B enzim segítségével laboratóriumi léptékben.

A reakció optimalizálásának első lépéseként a megfelelő oldószer kiválasztásához előzetes reakciókban hatféle imidazolium típusú ionos folyadékot vizsgáltunk és az eredmények alapján kiválasztottuk a legjobbnak minősülő [bmim]PF₆-ot a további reakciókhoz.

A megoszlások vizsgálatakor azt tapasztaltuk, hogy a hőmérséklettől függetlenül az alkoholnak kevesebb mint 1%-a, a savnak 30%-a van az ionos folyadék fázisban. Az észter megoszlása az alkohol és az ionos folyadék között függ a hőmérséklettől; 30°C -on 45%, 40°C -on 14%, 50°C -on 3%, 60°C -on 40% észtert tartalmazott az ionos folyadék. Az eredmények alapján a termék kinyerése szempontjából 50°C az optimális hőmérséklet.

Méréseink során megállapítottuk, hogy az i-amil-acetát előállításának optimális körülményei a következők: hőmérséklet a reakció alatt 60°C , a termék kinyerése szempontjából 50°C ; víztartalom 1,0 (m/m)%; ionos folyadék és alkohol térfogat aránya 1:1; sav és alkohol molaránya 1:7; az enzim mennyisége a kívánt reakció időtől függően ($38 \text{ mg/ml}_{[\text{bmim}]\text{PF}_6} \rightarrow 24 \text{ h}$, $380 \text{ mg/ml}_{[\text{bmim}]\text{PF}_6} \rightarrow 5 \text{ h}$).

Az 1. táblázatban azon kontroll reakció eredményeit tüntettük fel, amelyek nem tartalmaztak ionos folyadékot vagy enzimet. Látható, hogy az enzimet nem tartalmazó (vak) reakciókban nem volt észter képződés, tehát az autokatalízis elhanyagolható mértékű. Ionos folyadék nélkül 40°C -on alig volt tapasztalható i-amil-acetát képződés. 60°C -on a reakció végbement mindkét esetben, de a [bmim]PF₆ alkalmazásával a reakció sebessége megnőtt, a reakcióidő lecsökkent.

1. Táblázat: Az észter hozam összehasonlítása különböző körülmények között

reakció körülmény		[bmim]PF ₆	[bmim]PF ₆ nélkül	enzim nélkül
40 °C	24 h	74%	3%	< 1%
60 °C	3,5 h	100%	66%	< 1%

2. A *Candida antarctica* lipáz B enzim stabilitásának vizsgálata

Vizsgáltuk a reakció elegy komponenseinek egyedi és együttes hatását az enzim stabilitására. Ennek során 60 és 75 °C-on 250 rpm rázatás mellett inkubáltuk az enzimet [bmim]PF₆ ionos folyadékban, i-amil-alkoholban, ecetsavban, reakció elegyben és ionos folyadékot nem tartalmazó reakció elegyben. Adott időközönként mintát vettünk az enzimből és mértük az aktivitását. Az inaktiválódás időbeli lefolyásából képet kaptunk arról, hogy a fenti közegek milyen mértékben dezaktiválják a *Candida antarctica* lipáz B enzimet.

Azt tapasztaltuk, hogy az ecetsav nagyon erősen inaktiválja az enzimet, hiszen már 1 órás 60 °C-on történő inkubálás után megszűnt az enzim aktivitása. Mindez összhangban van az irodalomban leírtakkal [8]. Legkevésbé az ionos folyadékban csökkent az aktivitás (75 °C-on, 48 óra után 96%-os volt az aktivitás) és az alkoholnak is csak kismértékű dezaktiváló hatása volt (75 °C, 48 óra, 81%). Ennek megfelelően az a reakció elegy, ami ionos folyadékot is tartalmazott, kevésbé dezaktivált, mint az a reakció elegy, amely nem tartalmazott [bmim]PF₆-ot. Tehát az ionos folyadéknak igen kedvező, „védelmező” hatása van az enzimre. A vizsgált komponensekre inaktiváló hatásuk alapján a következő sorrend állítható fel:



3. A [bmim]PF₆ ionos folyadék újrahasznosításának vizsgálata

Az ionos folyadékok egyik legfontosabb tulajdonsága az újrahasznosíthatóságuk, hiszen ezen karakterüktől nagymértékben függ környezetbarát megítélésük és jövőbeli ipari alkalmazhatóságuk. Ezt a kulcskérdést kétféleképpen tanulmányozhatjuk kétfázisú

rendszerben: vizsgáljuk az ionos folyadék visszaforgathatóságát önmagában, ill. az enzimmel együtt, ha az az ionos folyadékos fázisban található meg.

3.a. Az ionos folyadék újrahasznosításának vizsgálata

Az általunk alkalmazott [bmim]PF₆ újrahasznosítását 7 körön át vizsgáltuk az alábbiaknak megfelelő módon. A reakció lejátszódása után elválasztottuk egymástól a két fázist, majd az ionos folyadékos fázisból szűrővel eltávolítottuk az enzimet. Az így kapott „nyers” ionos folyadékot 60 °C-on vákuumban bepároltuk, hogy az oldószernyomokat kidesztilláljuk belőle. A kapott tiszta [bmim]PF₆-ot egy újabb reakció lejátszatásához használtuk fel. Minden egyes kör után vizsgáltuk az enzim aktivitását és meghatároztuk az ionos folyadékban fellépő tömegvesztést. Az eredményeket a 2. táblázat tartalmazza.

2. Táblázat: Az ionos folyadék visszaforgathatóságának vizsgálata

körök száma	1	2	3	4	5	6	7
maradék aktivitás 24 h után	1	1	1	9	9	9	9
(%)	00	00	00	9	9	8	9
[bmim]PF ₆ tömegvesztés	0	1	1	1	1	1	2
(%)		1	1	4	9	9	1

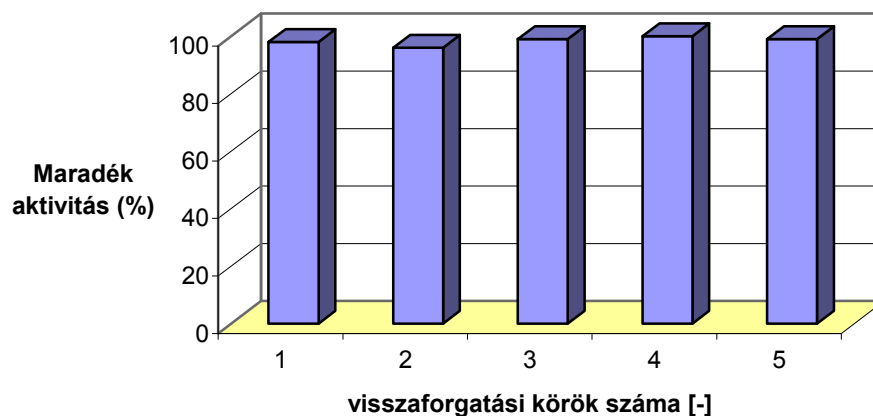
Az eredmények alapján látható, hogy 7 kör után is kiemelkedő hozammal ment végbe a reakció, tehát a [bmim]PF₆ minősége 7 körön keresztül megfelelő volt. A tömegvesztés pontos méréséhez nagyobb mennyiségű ionos folyadékból indultunk ki, ezért az ionos folyadék mennyiségének csökkenése nem volt hatással a reakcióra. Ez a veszteség a feldolgozási eljárásból adódott, ezért nagyobb mennyiség visszaforgatásánál ugyanazon eszközök, berendezések alkalmazásával lényegesen visszaszorítható.

3.b. Az enzim és ionos folyadék együttes újrahasznosításának vizsgálata méretnövelés után és az egyensúly eltolása vízelvonással

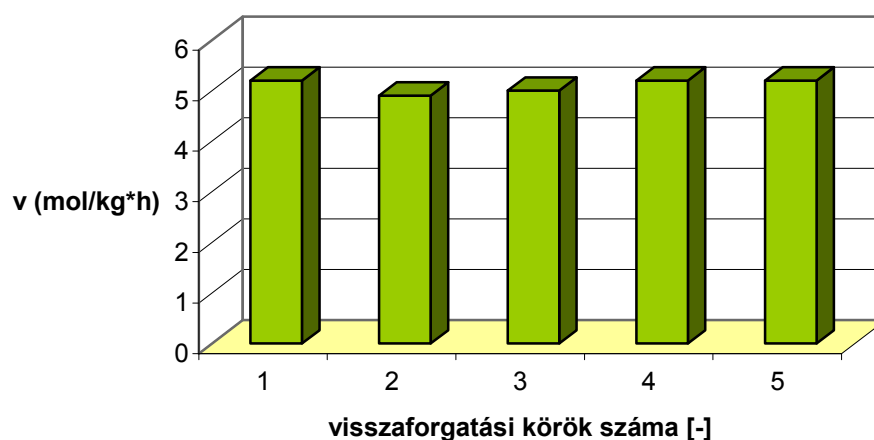
Egy kisméretű bioreaktorban 6,5-szeres méretnövelés után vizsgáltuk az enzim és az ionos folyadék visszaforgathatóságát 50 °C-on, erős kevertetés mellett, 5 körön át. Ennek során a reakció lejátszódása után a felső, savat-alkoholt-acetátot-vizet tartalmazó fázist

eltávolítottuk feldolgozásra, az alsó, [bmim]PF₆-ot-enzimet tartalmazó fázist pedig újabb adag kiindulási reakció elegy rátöltésével ismét felhasználtuk.

Az ötszöri felhasználás során nem tapasztaltunk változást, mind a kezdeti reakció sebesség, mind a hozam állandó volt (1.a. és 1.b. ábrák), valamint az enzim és az ionos folyadék kedvező elhelyezkedésének köszönhetően semmilyen anyagvesztés sem lépett fel.



1.a. ábra: Az enzim és az ionos folyadék együttes újrahasznosítása során a maradék aktivitás változása a visszaforgatások alatt



1.b. ábra: Az enzim és az ionos folyadék együttes újrahasznosítása során a kezdeti reakció sebesség változása a visszaforgatások alatt

4. Az egyensúly eltolása a termékképződés felé vízelvonással

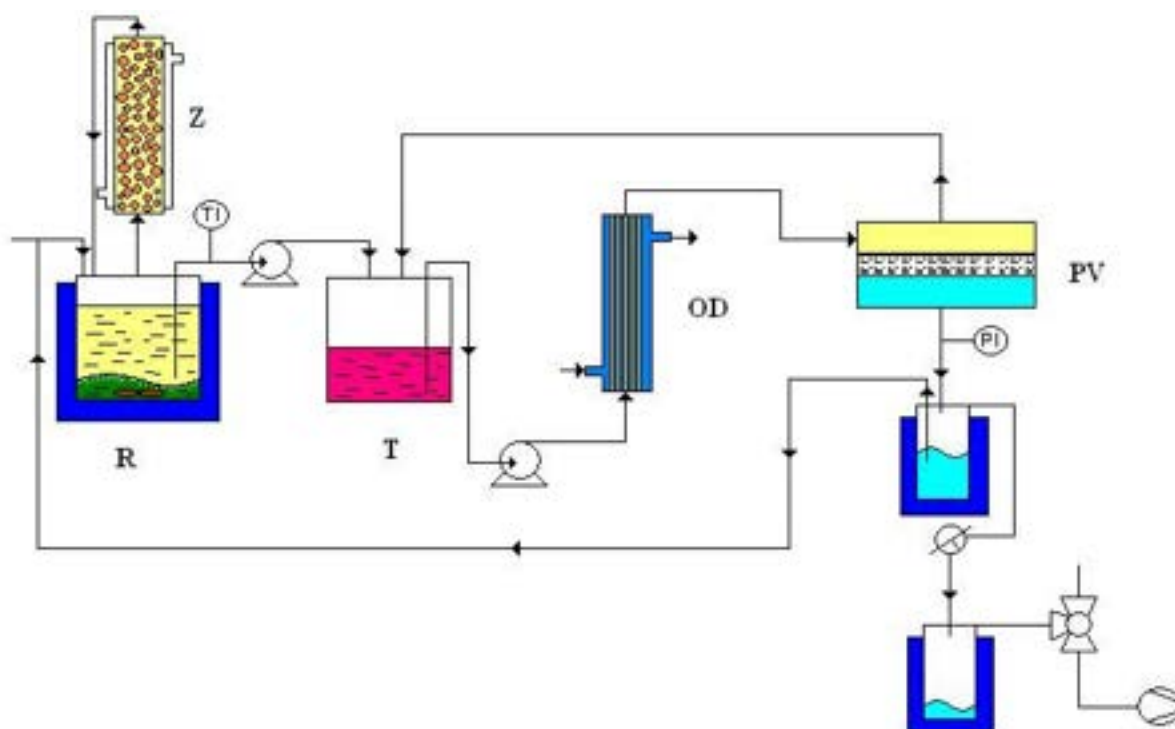
A fenti 5 ciklusban előállított reakcióelegyekben beállt egyensúlyt (kb. 90%-os észter hozam) vízelvonás segítségével próbáltuk eltolni a termékképződés felé. Első lépésben egy

kíméletes, hulladékszegény membrános eljárást, a pervaporációt vizsgáltuk, amit már sikerrel alkalmaztak etil-acetát szintézise során [9]. Négyféle hidrofil membránt teszteltünk, melyek közül két esetben nem találtunk szelektivitást (Sulzer „Pervap 2205”, POMS 20 μm PEI hordozón), két esetben pedig a membrán nem volt ellenálló a reakció eleggyel szemben („Pervap 2201”, „CMC-CF-23”).

Végül 40 g zeoliton 12 órán át áramoltattuk a reakcióelegyet, eltávolítva így a vizet, melynek hatására a teljes ecetsav mennyisége átalakult a kívánt i-amil-acetáttá, a víztartalom pedig 3,2%-ról 0,7%-ra csökkent le.

5. Kísérletek a reakció elegy elválasztására pervaporációval és ozmotikus desztillációval

A fenti, gyakorlatilag 100%-osan átalakult elegyet a 2. ábrán bemutatott rendszerben próbáltuk szétválasztani.



1. ábra: Zeolitos adszorpciót, ozmotikus desztillációt és pervaporációt kombináló rendszer a reakció végrehajtására és a reakcióelegy elválasztására

Az R jelű bioreaktorban 50 °C-on előállítottuk a 90%-os reakcióelegyet 5 óra alatt. Ezt a hozamot gyakorlatilag 100%-ra növeltük vízelvonással, amit a reakció elegyének a Z jelű zeolitot tartalmazó töltetes oszlopon való cirkuláltatásával értünk el. Ezután a felső, i-amil-alkoholt, vizet és termék i-amil-acetátot tartalmazó fázist a T jelű tartályba vezettük feldolgozásra, míg a bioreaktorban az alsó, ionos folyadékot és enzimet tartalmazó fázist sikeresen használtuk fel további reakciókban. A tartályból a reakció elegyet az OD-vel jelölt ozmotikus desztillációs készülékre vezettük, ahol az elegy teljes víztelenítése történt meg 6 M-os kalcium-klorid oldat ellenoldali áramoltatásával. A következő lépésben a PV-vel jelölt hidrofób membránt tartalmazó pervaporációs berendezésben sikerült megtörni az azeotrópot az alkohol eltávolításával, így végezetül a tartályból visszavezetett retentátum folyamatosan dúsult a termék acetátban. A permeátumként átfolyó alkohol szárazjeges csapdában gyűjtöttük össze elemzés és visszavezetés céljából. Az elválasztás minden lépését szobahőmérsékleten végeztük. A megfelelő hidrofób membrán kiválasztásához öt membránt teszteltünk, amelyek közül a „Pervap 2256” 100%-osan szelektív volt az i-amil-alkoholra, míg a többi nem mutatott szelektivitást.

A kiválasztott membránokkal további kísérleteket tervezünk, amelyek során teszteljük a membránok stabilitását a reakcióeleggyel szemben, valamint vizsgáljuk az acetátban dúsuló elegy összetételét.

Összefoglalás

Vizsgálataink során egy természetes aromakomponens, az i-amil-acetát enzimátikus előállításával foglalkoztunk ionos folyadék oldószerben. Előző munkáinkban megállapítottuk a reakció optimális paramétereit és összehasonlítottuk a szerves oldószerben kapott irodalmi adatokkal.

Mostani munkánk során vizsgáltuk az alkalmazott *Candida antarctica* enzim stabilitását és azt találtuk, hogy míg az ecetsav nagymértékben dezaktiválja az enzimet, addig a [bmim]PF₆ ionos folyadék gyakorlatilag nincs káros hatással rá. Teszteltük az ionos folyadék önálló és enzimes újrahasznosíthatóságát és megállapítottuk, hogy legkevesebb 5 cikluson keresztül visszaforgathatóak a hozam, a kezdeti reakció sebesség vagy az enzim aktivitás csökkenése nélkül. Zeolitos vízelvonással sikeresen eltoltuk az egyensúlyt és teljes átalakulást értünk el. Kísérleteket végeztünk a reakcióelegy feldolgozására ozmotikus desztillációval és

pervaporációval, de a reakcióelegy agresszív volta miatt a kiválasztott membránok stabilitásának vizsgálatára és további membránok tesztelésére van szükség.

Jövőbeli törekvésünk további pervaporációs membránok tesztelése ill. egy alternatív út, az extraktív desztilláció vizsgálata, ahol az ionos folyadék, mint azeotróp megtörő, extraktív anyag játszik szerepet [12, 13].

Köszönetnyilvánítás

A kutatómunkát részben az SLO-03/2006 számú szlovén-magyar TÉT alapítvány támogatásával végeztük.

Irodalomjegyzék

- [1] Garcia, S., Lourenco, N.M.T., Lousa, D., Sequeira, A.F., Mimoso, P., Cabral, J.M.S., Afonso, C.A.M., Barrerios, S., *Green Chem.*, 6, 466-470 (2004)
- [2] Berendsen, W.R., Radmer, P., Reuss, M., *J. Membrane Sci.*, 280, 684-692 (2004)
- [3] Smitha, B., Suhanya, D., Sridhar, S. and Ramakrishna, M., *J. Membrane Sci.* 241, 1-21 (2004)
- [4] Gorri, D., Ibañez, R. and Ortiz, I., *J. Membrane Sci.* 280, 582-593. (2006)
- [5] Börjesson, J., Karlsson, H.O.E. and Trägårdh, G., *J. Membrane Sci.* 119, 229-239 (1996)
- [6] Assabumrungrat, S., Phongpatthanapanich, J., Praserttham, P., Tagawa, T. and Goto, S., *Chem. Eng. J.* 95, 57-65 (2003)
- [7] Fehér, E., Illeová, V., Kelemen-Horváth, I., Bélafi-Bakó, K., Polakovic, M., Gubicza, L., *J. Mol. Cat. B Enzymatic*, (megjelenés alatt) (2007)
- [8] Bélafi-Bakó, K., Kabiri Badr, A., Nemestóthy, N., Ehrenstein, U., Gubicza, L., *Chem. Pap.* 57 (4) 278-281 (2003)
- [9] Fráter, T., Bélafi-Bakó, K., Gubicza, L., *Green Chem.* Közlésre benyújtva (2007)
- [10] Atrá R., Vatai Gy., Bekassy-Molnar E., *Chem. Eng. Proc.* 38, 149-155 (1999)
- [11] Mora Molina J., Vatai Gy., Bekassy-Molnar E., *Desalination* 149, 89-94 (2002)
- [12] Lei, Z., Arlt, W., Wasserscheid, P., *Fluid Phase Equilibr.*, 241, 290-299 (2006)
- [13] Jork, C., Seiler, M., Beste, Y-A., Arlt, W., *J. Chem. Eng. Data*, 49, (4) 852-857 (2004)

**Az idei membrános Nyári Egyetemen
való részvételre meghirdetett pályázat**

EREDMÉNYHIRDETÉSE

A *Membrántechnika* idei 1. számában (2007. február), a MKE Membrántechnikai Szakosztálya által meghirdetett felhívásra a megadott határidőn belül (2007. április 15.) két pályázat érkezett, így az elbírálás nem okozott nagy nehézséget a Szakosztály vezetésének. A nyertesek:

MOLNÁR ESZTER

a Pannon Egyetem Vegyészmérnöki Doktori Iskolájának PhD hallgatója és

VINCZE IVETTA

a Budapesti Corvinus Egyetem Élelmiszertudományi Doktori Iskolájának PhD hallgatója.

A két sikeres pályázó megkapja a pályázatra elkülönített összeget, így a Membrános Nyári Egyetemen (Genova, 2007. szeptember) való részvételükre 50-50 ezer Ft áll rendelkezésükre. A pályázat nyertesei a Nyári Egyetemről beszámolót készítenek, amelyet lapunk megjelentet. A támogatás felhasználásáról a rendezvényt követően költségelszámolást kell készíteni a szakosztály felé.

MŰSZAKI KÉMIAI NAPOK Veszprém, 2007. április 25-27.

A hagyományokhoz híven a veszprémi Várban található VEAB székház adott otthont a Műszaki Kémiai Napok 2007. évi rendezvényeinek. A három napos konferencián az első napi plenáris előadásokat (ahol Kiricsi Imre, Darvas Ferenc, Hermecz István, Bársony Isván és Hancsók Jenő volt a felkért előadó) követően több szekcióban folyt a szakmai munka. A csütörtök délelőtti membrános szekcióban (elnök Nagy Endre) veszprémi fiatalok számoltak be eredményeikről a galakturonsav elektrodialízissel történő kinyeréséről (Molnár Eszter), a cink membrános szeparációjáról (Borbély Gábor) illetve a biohidrogén dúsításánál alkalmazott membrános gáz szeparáció (Búcsú Dénes) területén. Pauer Viktor a BME-ről a fordított ozmózissal való rézmentesítésről beszélt, míg Fogarassy Eszter (BCE) biológiai ecet membrános töményítését vizsgálta.



Zbynek Pientka (Prága) előadást tart a VEAB kistermében

Rendhagyó módon idén határon túli magyarokat is meghívtak a szervezők előadásokat tartani, akik közül az egyik szintén membrános tárgyú vizsgálatairól számolt be: Zbynek Pientka (képünkön) Prágából a biohidrogén kinyerésével és tárolásával kapcsolatos kutatási eredményeit ismertette.

A csütörtök délutánra szervezett MTA Vegyipari Műveleti Munkabizottság és Műszaki Kémiai Komplex Bizottság ülésén két előadó is membrános témát mutatott be: Bélafiné Bakó Katalin (PE) a membrán bioreaktorokról szólt, míg Koczka Katalin (BME) a pervaporáción alapuló hibrid rendszerek optimalizációs részleteit taglalta.

A szerda esti, VEAB pincében megtartott hagyományos fogadás ismételten remek lehetőséget nyújtott a résztvevő ipari szakemberek illetve egyetemi/kutatóintézeti kollégák számára a legújabb tudományos eredmények megvitatására és (nemcsak) szakmai csevegésre – terített asztalok mellett, kellemes, oldott hangulatban.



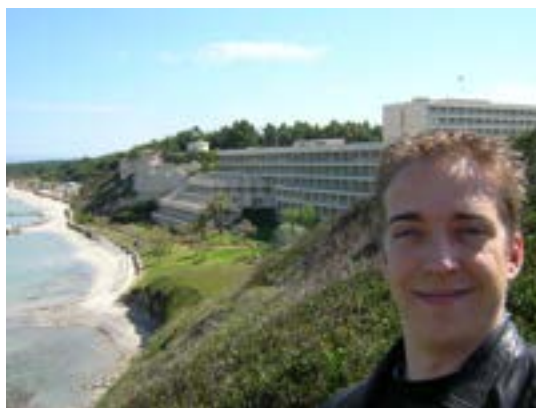
Beszámoló a *Desalination and the Environment* konferenciáról

Sani Resort, Halkidiki, Görögország, 2007. április 22-25.

Az EDS (*European Desalination Society*) minden évben rendez konferenciát és szakkiallítást három témakörben:

1. Sótalanítás és Környezetvédelem
2. EuroMed – Sótalanítási lehetőségek a Dél-Mediterrán országokban
3. Ipari és tiszta ivóvíz előállítása membránokkal.

Az EDS és a CERTH (*Centre for Research and Technology Hellas*) közösen szervezte a 2007-es Sótalanítás és Környezetvédelem konferenciát és szakkiallítást a Halkidiki Kassandra félszigeten fekvő, sok turistát vonzó Sani Resort üdülőparadicsomban.



A szerző a helyszínről szolgáló Sani Beach Hotel előtt

Nyugodtan kijelenthetjük, hogy kevés olyan ember van, aki ne hallott volna már a Halkidiki-félszigetről. Egyedülálló ősi tája, amely az emberiség rendkívüli kulturális, mítikus és történelmi öröksége mellett páratlanul gazdag és változatos tengeröblökben, kiterjedt hegyláncokban, bércekben. A Halkidiki félsziget három részből áll, nyugatról kelet felé haladva: Kassandra, Szithonia és Athosz. Halkidikin az ég mindig tiszta, a tenger pedig a kék számtalan árnyalatában pompázó, a nap csodásan süt le a legenda szerint Istenek lakta vidékre.

Az idei konferencia célja a tiszta víz előállítása minél alacsonyabb, elérhető áron. A csökkenő és korlátozott természeti erőforrások és a fenntartható fejlődés megköveteli a tengervíz sótalanítási technológiák és a víz/szennyvíztisztítás gyors fejlődését. A konferencia rendkívül gyakorlatias volt az iparral szorosan együttműködve. A konferenciát kísérő szakkiallításon a nagyobb ipari üzemek kínáltak termékeket és szolgáltatásokat a felhasználóknak és gyártóknak egyaránt. Sok membrángyártó cég mutatkozott be, többek között: Toray, Eri, Nalco, Dow, General Electrics (Osmonics), Sidmas, Hydronautics, Neodren, Koch és nem utolsósorban az Inge.



Az Inge és a Dow cég legújabb ipari membránjai

A konferenciát megelőző napsütötte vasárnapi napon több egynapos szeminárium közül választhatott a nagyérdemű. A szemináriumok közül a *'One Day Ultrafiltration/Microfiltration Seminar: The Application of UF/MF Technology for RO Pre-treatment in Desalination and Wastewater Reclamation'* címmel Dr. Graeme Pearce és a *'DME Seminar: Introduction to Seawater Desalination Technology – Markets – Environment'* néven Dr. Heike Glade tartott egynapos intenzív kurzust. Én végül a holland Jan C. Schippers által tartott *'One Day Intensive Course on Membrane Fouling and Pre-treatment in RO Technology'* kurzust választottam, így a sokak által ismert és rendkívül népszerű Miriam Balaban-nal (a konferencia elnökével) is kezdet foghattam a kurzusért járó oklevél átvételekor.



Miriam Balaban az EDS elnöke adja át a szemináriumi oklevelet a szerzőnek

A konferenciára bejelentett 5 plenáris és 200 szekció előadás, valamint közeé 120 poszter az alábbi témakörök között oszlott meg: eltömődés, megújuló energiaforrások, SWRO, MBR, betáplálás és elvétel, környezetvédelem, napenergia hasznosítás, előkezelés, szennyvíztisztítás, modellezés, hibrid módszerek, ivóvíztisztítás, nanoszűrés és fordított ozmózis, elektrodialízis, bór eltávolítása, desztilláció, textilipari szennyvizek tisztítása és tengervíz sótalánítás. A sok, címéből ígéretesnek tűnő előadást 9-18 óráig négy párhuzamos szekcióba sorolták a szervezők a témaköröknek megfelelően.

Egyetlen magyar résztvevőként egy poszterrel szerepeltünk Sz. Kertész, Zs. László, Zs. Hovorka-Horváth, C. Hodúr: *Analysis of nanofiltration of an anionic detergent removal* címmel, ami a konferencia időtartalma alatt végig megtekinthető volt. Sajnos külön poszter szekciót nem szerveztek, de az előadások és a poszterek többsége meg fog jelenni a *Desalination* folyóirat külön számában teljes terjedelmében.

Az előadások 15 percesek voltak, amit 5 perces vita követett; ez sokszor kevésnek bizonyult a rendkívül sok, különféle nemzetiségű hallgatóságnak (60 országból érkeztek a résztvevők).

Egynapos 'fouling' szeminárium (Április 22):

A szeminárium előadója, Jan C. Schippers által leggyakrabban említett membrángyártó cégek a Dupont és a Toyobo. Az előbbi pár éve specializálódott néhány membránmodul gyártására, így már nem gyárt olyan sokféle membránt, bár 20-30-éve szinte egyeduralkodónak számított a piacon, mára ez már megváltozott. Rengeteg új cég jelent meg, melyek közül a Toyobo az egyik legjelentősebbé nőtte ki magát világviszonylatban.



A holland Jan Schippers
magabiztosan várja a kérdéseket

Mivel az egész szeminárium az eltömődésről szólt, az előadó hangsúlyozta az ellenállások típusait, hogy szerinte úgy helyes, ha a teljes (R_{total}) ellenállást magának a membránnak az ellenállására (R_M), pórus eltömődésre (R_P) és 'cake' kialakulására (R_C) osztjuk be. A kérdésére, hogy mi a rosszabb az utóbbi kettő közül, a póruseltömődéssel válaszolt, mivel akkor az adott membrán többé nem használható. Az előadását az eltömődés öt fő fajtájára hegyezte ki: a szerves (Organic), a szervetlen (Inorganic), a biológiai (biofouling), a csapadékképződés (Scaling) és a makrorészecskék által okozott (Particulate fouling) eltömődésre.

A konferencia (Április 23-25) nyitóünnepségén az elnökök (Anastasios J. Karabelas, Miriam Balaban, Antoine Riolo és Lute Broens) beszéde és köszöntője után öt érdekes plenáris előadást hallgathattunk meg, melyek közül *S. Lattemann*, *T. Höpner*: '*Environmental impact assessment of seawater desalination*' előadása a konferencia céljával összhangban néhány konkrét adatot osztott meg velünk. Megtudhattuk, hogy mára a tengervíz sótalanítási kapacitása 24,5 millió m³/nap-ot elérte, amelyből 33% fordított ozmózissal valósul meg. Ebből 45%-ot az Arab régió (pl.: Szaud-Arábia, Kuwait), 14%-ot a 'Red Sea' országok (pl: Egyiptom, Yemen) és 17%-ot a Mediterrán térség (7%-ot Spanyolország, 6%-ot Algéria) állít elő. Az utóbbinak 95%-a RO-val (4,2 M m³/nap) történik. A német előadó hangsúlyozta hogy erőteljes és gyors fejlődés várható a piacon, mivel Kalifornia, Kína és Ausztrália is hatalmas sótalanítási projektekbe, beruházásokba kezdett. Egy másik érdekes előadás volt a finn *M. Nyström*: '*Challenges of nanofiltration in water treatment*', aki a nanoszűrés jelentőségét hangsúlyozta valamint a gyakorlati alkalmazások közül kitért az amerikai hadsereg által használt miniatűr tiszta ivóvizet előállító modulokra. Továbbá hangsúlyozta a sokak szemében népszerű, eltömődést csökkentő rotációs membránszűrők előnyeit, és kitért a VSEP (*Vibratory Shear Enhanced Process*) nyíró erőt felhasználó technológia alapelveire.

A membrán bioreaktorok (MBR) témakörben az egyik legérdekesebb előadás volt *S. C. Low*, *H. H. Juan*: '*Parametric studies of a vibration membrane for MBR*' előadása, amiben a membránmodul vibrációjának amplitúdóját (4-8 mm) és frekvenciáját (0-20 Hz) változtatva keresték az ideális szűrés paramétereit. 6 órás méréseket végeztek és így figyelték a fluxust. Az leggyorsabb anyagátadást 2 Hz frekvencia és 8mm-es amplitúdó mellett mérték. Vizsgálták továbbá az egyszeri óránkénti vibráció (ütés-sokk) hatását is. Ezeket a méréseket hasonlították össze és érdekes eredményeket kaptak. Ugyancsak vibrációs alapelvet alkalmaztak a görög *A. I. Zouboulis*, *M. Petala*: '*Performance of VSEP – vibratory membrane*

filtration system during the treatment of municipal landfill leachates’ kutatómunkájukban, amiről, reméljük, a *Desalination* későbbi kiadásában olvashatunk részletesebben.

A témakörök közül számomra legígéretesebbnek az eltömődés és a víz- és szennyvíztisztítás tűnt. Az utóbbi témakörben érdekes előadás volt egy iráni születésű finn PhD-s M. Hesampour előadása a *‘Treatment of waste water from metal working by ultrafiltration considering the effects of operating conditions’* címmel. Regenerált cellulóz membránnal ultraszűrték az olajos szennyvizet és Qualitec-4 és ANOVA szoftverrel vizsgálták az optimális pH, koncentráció, hőmérséklet és a nyomás értékeit.

Háromnapos poszterkiállítás:

Összességében elmondható, hogy a poszter szekcióban domináltak a membrános előkezelés (főleg UF és NF) utáni víz- és szennyvíztisztítást, és tengervíz sótalánítást megvalósító kutatások és gyakorlati alkalmazások. Az utóbbihoz használt RO membránok kémelése érdekében gyakran előkezelésként NF membránt használtak (pl.: J. M. Arnal, M. C. León: *‘Ultrafiltration as a pre-treatment of other membrane technologies in the reuse of textile wastewaters’*). Több poszter is foglalkozott a bór-eltávolítással is, aminek saját szekciója is volt az előadásoknál, hogy hangsúlyozzák jelentőségét. Számomra legérdekesebb olvasmányoknak a lengyel I. Kowalska: *‘Surfactant removal from water solutions by means of ultrafiltration and ion-exchange’* című poszter tűnt. Kutatásuk lényege, hogy a vizsgált felületaktív anyag CMC (kritikus micellaképző koncentráció) értéke fölötti és alatti tartományban is vizsgálták a visszatartást PS és PES membránokkal. A CMC értékig a koncentráció növelésével csökkent a visszatartás, majd fölötté enyhén növekedett.

Biztos vagyok benne, hogy mindenki, aki egy kicsit is érdeklődik a membrános elválasztási műveletek iránt, talált volna magának rengeteg olvasnivalót és meghallgatandó előadást, ahogy én is próbáltam minél több információt szerezni, hátha ötletként szolgálhat saját kutatásainkhoz is.

Köszönet a KNRET projektnek (*Környezet és Nanotechnológiai Regionális Egyetemi Tudásközpont*) a konferencián való részvétel támogatásáért.

Végezetül néhány hasznos görög kifejezés, amit elsajátítottam, ezek ismeretében bárki bátran utazhat:

Elharisto	Köszönöm
Ti karis	Hogy vagy?
Ime kala	Köszönöm jól vagyok!
Sagapo	?

Kertész Szabolcs
PhD-hallgató
SZTE
Környezettudományi Doktori Iskola
kertesz@mk.u-szeged.hu

KÖZELGŐ MEMBRÁNOS KONFERENCIÁK, KURZUSOK

NAMS 2007

2007. május 12-16., Toledo, USA (Texas)

További információ: Isabel Escobar
E-mail: isabel.escobar@utoledo.edu
University of Toledo
Tel.: 1-419-530-8267
<http://www.che.utexas.edu/nams/NAMSHP.htm>

Membrane Technologies for Wastewater Treatment

2007. június 4-5., Berlin, Németország

További információ: B. Lesjean
E-mail: iwa@kompetenz-wasser.de
www.kompetenz-wasser.de/iwa

Polymer Batteries for Fuel Cells

2007. június 11-15., Róma, Olaszország

További információ: Sonia Cirinna
University of Roma
E-mail: sonia.cirinna@uniroma1.it

CITEM 2007

2007. július 8-11., Campina Grande, Brazília

További információ: Prof. Kepler Borges Franca
E-mail: kepler@labdes.ufcg.edu.br
www.citem2007.com.br

IWA 9th International Conference on Particle Separation

2007. július 9-12., Toulouse, Franciaország

További információ: Martine Meireles
E-mail: meireles@chimie.ups-tlse.fr
particle-separation.inp-toulouse.fr

Thermal desalination processes and economics

4-napos intenzív kurzus

2007. július 23-26, L'Aquila, Olaszország

További információ: Prof. Miriam Balaban
European Desalination Society
Science and Technology Park of Abruzzo
Via Antica Arischia 1
67100 L'Aquila
Olaszország
miriam.balaban@pstabruzzo.it

4th Conference of the Asean Membrane Society

2007. augusztus 16-18., Taipei, Taiwan

További információ: Juin-Yih Lai
<http://www.ams4.org>

PERMEA07

2007. szeptember 2-6., Siófok

További információ: Menyhárt Andrea
Magyar Kémikusok Egyesülete
1027 Budapest
Fő u. 68.
Tel.: 1/201 6883
Fax: 1/201 8056
E-mail: permea07@mke.org.hu
www.permea07.mke.org.hu

XXIV. EMS Nyári Egyetem

2007. szeptember 11-14., Genova, Olaszország

További információ: Antonio Comite
University of Genoa
E-mail: infoemss@chimica.unige.it
www.chimica.unige.it/membrane/school/index.htm

6th European Congress on Chemical Engineering (ECCE-6)

2007. szeptember 16-21., Koppenhága, Dánia

További információ: Eva Mikkelsen
E-mail: eva@kt.dtu.dk
www.ecce6.kt.dtu.dk

7th Aachen Conference: Water and Membranes

2007. október 30-31., Aachen, Németország

További információ: C. Niewersch
E-mail: awm@ivt.rwth-aachen.de
www.awm.rwth-aachen.de

IMSTEC'07

2007. november 5-9., Sydney, Ausztrália

További információ: Vicky Chen
E-mail: imstec07@unsw.edu.au
www.membrane.unsw.edu.au

International Conference on Catalysis in Membrane Reactors (ICCMR8)

2007. december 18-21., Kalkutta, India

További információ: Dr. S. Bandyopadhyay
E-mail: iccmr8@cgcri.res.in
www.iccmr8.ind

10th World Filtration Congress

2008. április 14-18, Lipcse, Németország

További információ: Suzanne Abetz
E-mail: info@wfc10.com
www.wfc10.com