

MEMBRÁN-

TECHNIKA

IPARI

BIOTECHNOLÓGIA



VII. évfolyam 3-4. szám

2016. december

TARTALOM

oldal

Nemestóthy N., Megyeri G., Bakonyi P., Lakatos P., Koók L., M. Polakovic, Tóth G., Gubicza L., Bélafiné Bakó K.: A [bmim][Cl] ionos folyadék hatása a Cellic® Htec2 celluláz enzimkészítményre	46
Konferencia beszámoló: 'Desalination for the Environment'	56
Konferencia Nagykanizsán.....	61
Közelgő membrános konferenciák, kurzusok.....	63

A [bmim][Cl] ionos folyadék hatása a Cellic® Htec2 celluláz enzimkészítményre

Nemestóthy N.¹, Megyeri G.¹, Bakonyi P.¹, Lakatos P.¹, Koók L.¹, M. Polakovic², Tóth G.¹, Gubicza L.¹, Bélafiné Bakó K.¹

¹Pannon Egyetem, Biomérnöki, Membrántechnológiai és Energetikai Kutató Intézet
Veszprém, Egyetem u. 10.

²Department of Chemical and Biochemical Engineering, Institute of Chemical and Environmental Engineering, Faculty of Chemical and Food Technology, Slovak University of Technology, Radlinského 9, Bratislava 81237, Slovakia

BEVEZETÉS

A lignocellulóz mint a biotechnológia olcsó, elterjedt alapanyaga, elsősorban az alkohol típusú üzemanyagok előállításában játszik kulcsszerepet (Liu et al., 2012.). Összetevőit tekintve a leginkább számításba vehető komponense a cellulóz, amely glükóz monomerekből épül fel (fermentálható cukor). Ugyanakkor a lignocellulóz ipari felhasználása korlátozott, mivel a biokatalizátorok nehezen férnek hozzá a lignocellulóz aktív helyeihez (Kumar et al. 2015.). Éppen ezért az alapanyagot előkezelésnek kell alávetni, ami elősegíti a nehezen hozzáférhető egységek felnyitását és oldódását (Vancov et al., 2012.). Erre a célra széles körben elterjedtek az ionos folyadékok („*zöld oldószer*”). Az ionos folyadékok hatékonyan változtatják meg a kristályos cellulóz szerkezetét, elősegítve ezzel a konszekutív enzimatikus lépések hatékonysága és az elérhető hozam a növelését (Brandt et al., 2013.; Maki-Arvela et al. 2010.).

A fenti megoldást alkalmazó, enzimkatalizált cellulóz hidrolízisnek két lehetséges útja van. Az egyik a regenerált cellulóz előállítása, azaz a cellulóz szeparálása az ionos folyadéktól, ami azt jelenti, hogy a cellulóz előkezelése és enzimes hidrolízise két egymástól időben elkülönült folyamat, és az enzim közvetlenül nem érintkezik az ionos folyadékkal (Tan et al. 2011.). A másik az ún. „one pot reaction” (egy edényben történő reakció), ami gyakorlatilag azt jelenti, hogy a celluláz enzimet közvetlenül az ionos folyadékos előkezelést követően adagolják a reakcióközegbe, így az enzim és az ionos folyadék közvetlenül kapcsolatba kerül (Gunny et al., 2014.).

A minél nagyobb hozam elérése érdekében számos publikáció született a legmegfelelőbb ionos folyadék kiválasztására, figyelembe véve a „*zöld oldószer*” fizikai-kémiai tulajdonságait (Raj et al., 2016.). Mindezen paraméterek mellett az egyik legfontosabb tulajdonság a biokompatibilitás az elcukrosítást végző celluláz enzimmel (Li et al., 2010.). Az előbbi feltételnek (számos publikáció alapján) a [bmim][Cl] bizonyult ígéretesnek, ugyanakkor számos szerző számolt be a celluláz enzim aktivitását és stabilitását negatívan befolyásoló hatásokról (ide értve a [bmim][Cl]-ot is) (Engel et al., 2012.; Li et al., 2013.; Lozano et al., 2011.; Ouellet et al., 2011.; Park et al., 2012.; Salvador et al., 2010.).

Az említett példákon keresztül az enzim gátlás és dezaktiválódás ismert jelenség, azonban jelen tudásunk szerint egyetlen mélyreható tanulmány sem készült az inhibícióra és/vagy a dezaktiválásra vezető mechanizmusok megismerésére. Éppen ezért ebben a munkában egy átfogó enzimkinetikai megközelítést alkalmaztunk, hogy mélyebb betekintést nyerhessünk a celluláz enzimatikus hidrolízisének folyamatában. Ennek érdekében modell cellulóz szubsztrátot (karboxil-metil cellulóz, CMC) és kereskedelmi forgalomban kapható (Cellic® Htec2) enzimoldatot használtunk, valamint a szakirodalomban előforduló leggyakrabban használt, cellulóz előkezelésre alkalmazott ionos folyadékot [bmim][Cl], ami

nélkül és jelenlétében végeztük a kísérleteket. Jelen tanulmány újdonsága az enzimkinetikai megközelítéssel bemutatásra kerülő eredményekben rejlik, ami ily módon hozzájárulhat a kutatási terület kibővüléséhez, valamint az ionos folyadékok cellulóz alapú bioüzemanyag előállítása során betöltött szerepének megváltozásához.

ANYAGOK, ESZKÖZÖK

Enzimkinetika

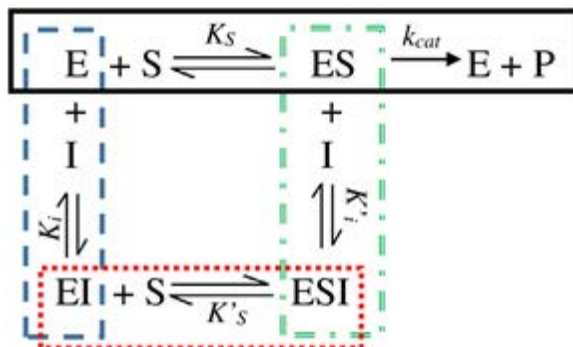
Az enzimműködés kinetikája többféle leírással jellemezhető. Ezek közül a legegyszerűbb az egy szubsztrátos, egy enzim modelle, melyet Michaelis-Menten modellként ismerhetünk. Ennek alapján a szabad celluláz enzim (E) reverzibilis reakcióban (E+S) megköti a szubsztrátot (S), majd a keletkezett (ES) komplex az átalakulást követően egy irreverzibilis lépésben elereszti a szabad enzimet (E) és a keletkezett terméket (P) (Zhang et al., 2010., Johnson and Goody, 2011.). A folyamatot jól szemlélteti az (1) egyenlet és az 1. ábra. A modell alkalmazásához az alábbi kikötéseket kell tennünk:

- pillanatszerű az egyensúly
- az enzim csak katalitikus mennyiségben van jelen
- a pH, a hőmérséklet és az ionerősség állandó
- egy kötőhellyel rendelkező enzimről beszélünk, mely egyszerre csak egy szubsztrátot tud megkötni
- a k_2 -vel jellemezhető reakció irreverzibilis, vagyis a termék nem alakul vissza
- a reakció lefutásakor kvázi stacioner állapot áll fenn, vagyis az enzim-szubsztrát komplex időben állandó

A reakciósebesség akkor lesz maximális, ha ez utóbbi kitétel szerint az összes enzim szubsztráttal kötött állapotban van jelen. A Michaelis-Menten kinetika alapján a reakciósebesség a következő:

$$v = \frac{v_{\max} [S]}{K_s + [S]} \quad (1)$$

Ahol v és $v_{\max}$ az aktuális és a maximális reakciósebesség, $[S]$ az aktuális szubsztrát koncentráció (g/L), K_s Michaelis-állandó, ami a maximális sebesség feléhez tartozó szubsztrát koncentrációval egyenlő.



1. ábra: A reverzibilis enzim inhibíció mechanizmusának bemutatása (fekete doboz: Michaelis-Menten kinetika, fekete+kék doboz: kompetitív inhibíciós kinetika, fekete+zöld doboz: unkompetitív kinetika; fekete+kék+zöld+piros doboz: kevert típusú inhibíciós kinetika)

Inhibíció

Inhibíció esetén valamely, az enzim működését gátló vagy megváltoztató hatás lép fel. Az inhibitor molekula enzimhez való kötődése alapján beszélhetünk kompetitív (2. egyenlet), unkompetitív (3. egyenlet), kevert (4. egyenlet) és nem-kompetitív (a 4. egyenlet speciális esete ahol $K_i = K'_i$) inhibícióról (Marangoni, 2003.).

$$v = \frac{V_{max}[S]}{K_s \left(1 + \frac{[I]}{K_i}\right) + [S]} \quad (2)$$

$$v = \frac{V_{max}[S]}{K_s + \left(1 + \frac{[I]}{K'_i}\right)[S]} \quad (3)$$

$$v = \frac{V_{max}[S]}{K_s \left(1 + \frac{[I]}{K_i}\right) + \left(1 + \frac{[I]}{K'_i}\right)[S]} \quad (4)$$

Ahol K_i és K'_i az enzim-inhibitor és az (enzim-szubsztrát)-inhibitor disszociációs konstansa (g/L), és ahol az $[I]$ az inhibitor koncentrációja (g/L). Annak megállapítására, hogy a fentiek közül melyik játszódik le az adott inhibíciós reakcióban, részletes kísérletsorozat végrajtása szükséges, különböző inhibitor és szubsztrát koncentrációk esetében (jelen esetben a [bmim][Cl]) (Marangoni, 2003.).

Dezaktiválódás

Annak érdekében, hogy az ionos folyadék [bmim][Cl] celluláz enzimre gyakorolt dezaktiváló hatását vizsgáljuk, elsőrendű kinetikát alkalmaztunk (5. egyenlet), ami erre a célra széleskörben elterjedt eljárás a szakirodalom szerint (Lencki et al., 1992.; Sadana, 1988.), különös tekintettel a cellulázra (Zhang et al., 2010.).

$$A = \frac{a_t}{a_0} = e^{-k_{de1}t} \quad (5)$$

Ahol az A az enzim relatív aktivitása, a_t az ionos folyadék jelenlétében (50 mg/L) mért enzimaktivitás, az enzim hígítatlan ionos folyadékban különböző (t) ideig történő kezelését követően, a_0 az ionos folyadék jelenlétében (50 mg/L) mért enzimaktivitás, előkezelés nélkül, és k_{de1} a celluláz enzim elsőrendű kinetikai konstansa (min^{-1}). Logaritmizálást és a grafikus ábrázolást követően, az egyenes meredekségéből t , k_{de1} meghatározhatóak (Lencki et al., 1992.).

A cellulóz hidrolízis vizsgálata

A kísérletek minden esetben 250 ml-es zárt lombikban, 100 ml hasznos térfogatban, 60 °C-on, 400 rpm állandó keverés mellett történtek. Oldószerként 0,1M-os és 4,5 pH-jú citrát puffer szolgált, amibe a modell szubsztrát (karboxi-metil-cellulóz, CMC) majd mellé a

szakirodalom ajánlásával a Cellic® Htec2 (Novozymes®, Dánia) enzim került (Benjamin et al., 2014.; Joe et al., 2015.; Song et al., 2014.). A gyártói termék leírás alapján a Cellic® Htec2 optimális pH-ja 4,5-5,5, hőmérséklete 60-75 °C, amit minden esetben 600 (± 48) mg/L enzim koncentrációban alkalmaztunk. Az inhibíciómentes (Michaelis- Menten) kinetika esetében ionos folyadék nélkül, 0,5; 2; 5 és 25 g/L koncentrációban alkalmaztuk a modell szubsztrátot.

Az inhibíciós vizsgálatok esetében meghatározott mennyiségű (50, 100, 150, 200 és 250 mg/L) ionos folyadék [bmim][Cl] (99 % tisztaságú, IoLiTec, Németország) került a citrát pufferbe az 1; 2,5; és 5 g/L koncentrációjú szubsztrát mellé.

Az enzim dezaktiválódás tanulmányozása során minden esetben 60 (± 4.8) mg enzimet először 5 mg hígítatlan ionos folyadékkal homogenizáltuk, majd meghatározott (1, 2, 3 és 10 perc) ideig végeztük az előkezelést. Ezt követően az egész oldatot az említett citrát pufferbe keverve 600 (± 48) mg/L enzim és 50 mg/L ionos folyadék koncentrációt kaptunk, ami mellett a szubsztrát 2,5 g/L koncentrációjának adódott.

A cellulóz enzimkatalizált reakciójának végterméke a glükóz (mennyisége arányos a rendszerben lebontott szubsztrát mennyiségével), aminek nyomonkövetése a refraktív index mérésén alapult. A kiindulási oldat, állandó keverés mellett, 10 ml/perc térfogatárammal egy Merck-Hitachi (RI-71) differenciál refraktométerrel, 37°C-ra temperált, zárt rendszert alkotott, miközben a mért jelet egy adatgyűjtő egység rögzítette. A mérést megelőzően szükséges kalibrálást ismert koncentrációjú glükóz (Sigma-Aldrich, USA) oldatokból végeztük.

A kinetikai paraméterek meghatározása lineáris regresszióval történt Matlab szoftver segítségével a legkisebb négyzetek módszerével.

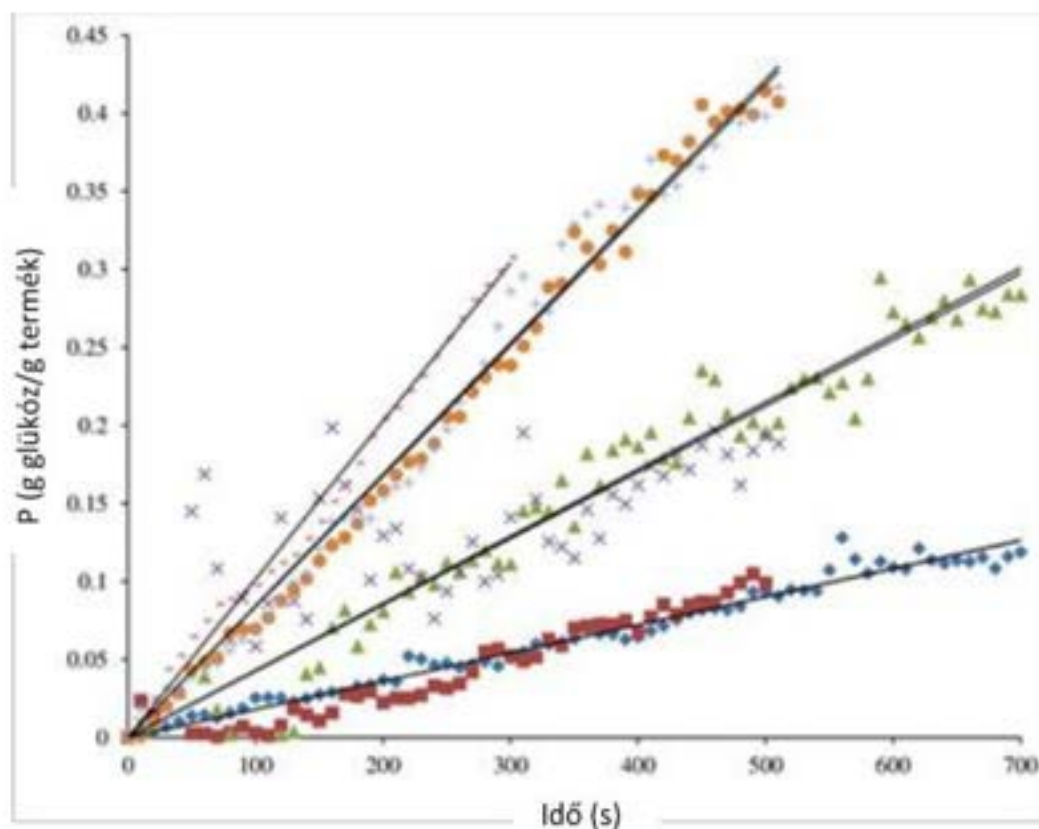
EREDMÉNYEK

Cellulóz hidrolízis kinetikája ionos folyadék nélkül

A cellulóz enzimatis lebonatása során (2. ábra) megállapítható, hogy a rendszerben keletkező glükóz mennyisége az adott tartományban egyenesen arányos az idővel, aminek a megbízhatóságát érzékelhetően jól tükrözik a kellően magas R^2 értékek (1. táblázat).

1. táblázat: A mért adatokból számított kezdeti reakciósebességek és szórás négyzetek meghatározása

A felvett trendvonal tulajdonságai					
	Ismétlés (1.)		Ismétlés (2.)		
[S] (g/L)	Meredekség (g glukóz/g enzim-s)	R ²	Meredekség (g glukóz/g enzim-s)	R ²	V (g glükóz/g enzim- min)
0.5	0.000180	0.98	0.000181	0.91	0.011
2	0.000430	0.99	0.000425	0.95	0.026
5	0.000837	0.99	0.000843	0.99	0.051
25	0.001013	0.99			0.060

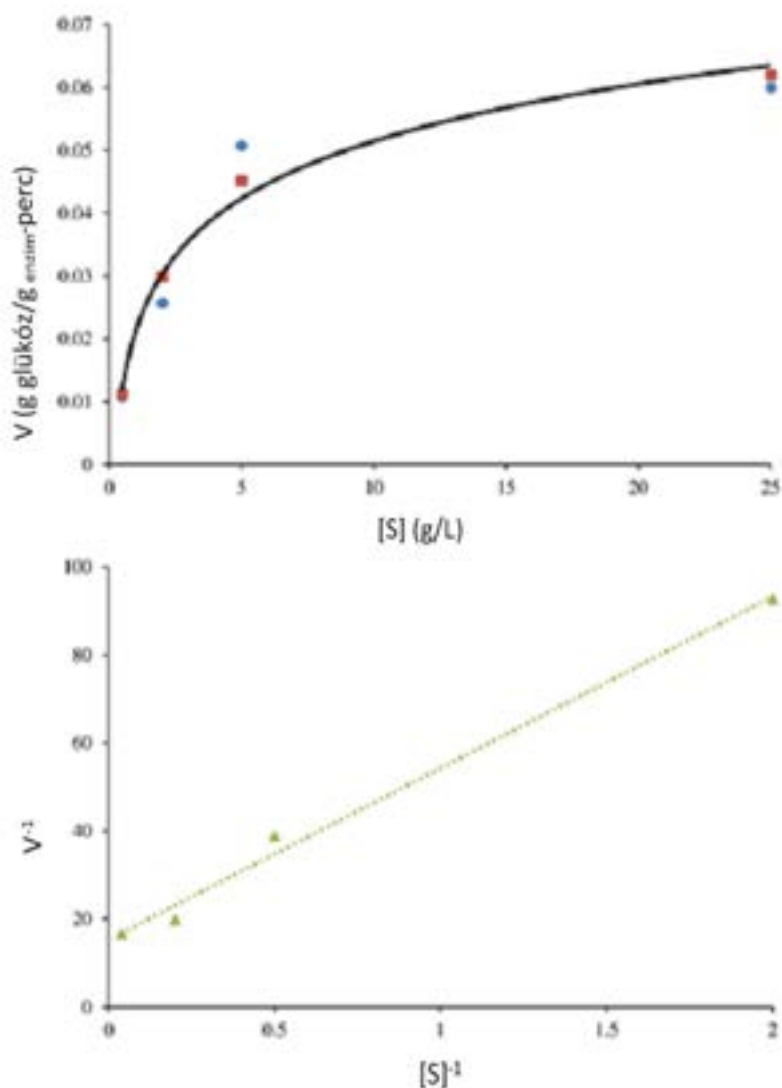


2. ábra: A cellulóz hidrolízis lefutása különböző kiindulási szubsztrát koncentrációk mellett (Kék rombusz és piros négyzet: $[S]=0,5$ g/L; zöld háromszög és lila kereszt $[S]=2$ g/L; kék kereszt és narancs kör: $[S]=5$ g/L; rózsaszín téglalap: $[S]=25$ g/L)

A különböző mérési hibák és kezdeti nehézségek ellenére a megismételt párhuzamosok (2. ábra) jól mutatják a mérések megbízhatóságát és a további kiértékelésre való alkalmasságukat. A reakciósebesség meghatározásánál fontos paraméter, hogy megfelelően nagy mennyiségű adat álljon rendelkezésre, valamint azok egy jól meghatározott, kb. 10-15 perces (Yeh et al., 2010.) idő intervallumba kerüljenek, ugyanis ezen túl az egyenes meredeksége félrevezető lehet (Carrillo et al., 2005.). Ezért ezen paraméter meghatározás közben az enzimatisz hidrolízis első 10-15 percét vettük figyelembe, amit egyébként más szerzők is javasolnak (Yeh et al., 2010.).

Az adatok kiértékelésénél megállapíthatjuk, hogy a szubsztrát növekedésével egyre magasabb v (reakciósebesség) értékeket kaptunk. Az adatokat a jól ismert Lineweaver-Burk ábrázolási módszerrel kiértékelve (Lineweaver) K_s és v_{max} meghatározhatóak. Ezek alapján K_s 2,57 g/L-nek, míg v_{max} 0,068 g glükóz/g_{enzim}-min-nek adódott (3. ábra).

A Michaelis-Menten modell egyik alkalmazhatóságának feltétele az alkalmazott enzim tömegének és a szubsztrát tömegének az aránya. Ennek megfelelően, 0,15-nél kisebb hányados (Bezerra and Dias, 2004., 2005.) biztosítja a modell alkalmazhatóságát, és kiküszöböli, hogy a szubsztrát a teljes reakcióban limitáló komponensé ne váljon. Jelen esetben ez az érték az állandó (600 mg/L) enzimmennyiség mellett a következőképpen változott: 0,024; 0,12; 0,3; 1,2.



3. ábra: A cellulóz hidrolízis kinetikája (Michaelis - Menten modell)

Mint látható, ezek az értékek bizonyos esetekben ellentmondanak a modell alkalmazhatósági kritériumának, de mégis elfogadhatók, ha figyelembe vesszük azt a tényt, hogy az alkalmazott enzim oldat aktív cellulóz tartalma töredéke a bemért mennyiségnek. Ugyanis az enzim oldat tényleges összetétele ismeretlen (Barr et al., 2012.), számos járulékos enzimet pl. hemicellulázt (Samayam and Schall, 2010.), tartalmazó “koktél”, aminek nagy része víz (Benjamin et al., 2014.; Joe et al., 2015.; Song et al., 2014.). Ezek alapján a modell a jelen esetben is alkalmazhatóvá válik a cellulóz hidrolízis kinetikájának meghatározására.

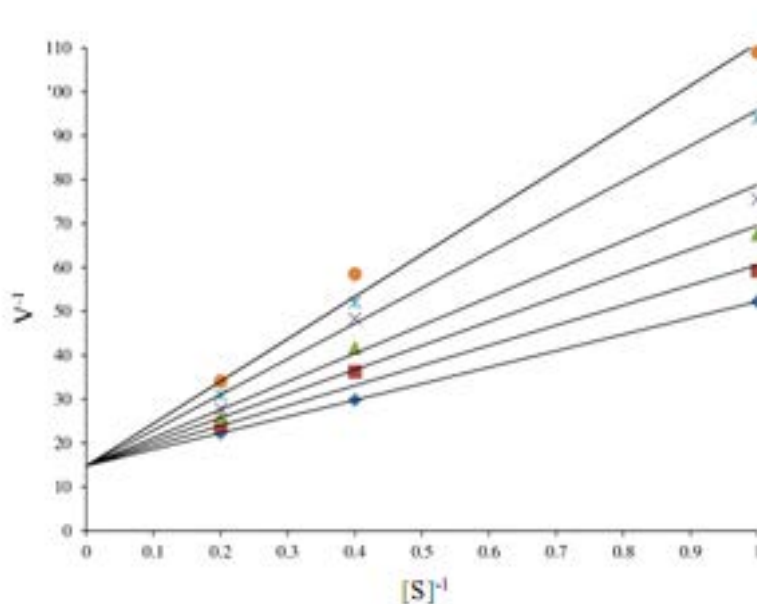
Cellulóz hidrolízisének inhibíciója [bmim][Cl] ionos folyadékkal

A korábbi szakirodalmi munkákból kiderült, hogy a vizes fázisban zajló cellulóz hidrolízise során alkalmazott ionos folyadékok negatívan befolyásolják a folyamatot. Kamiya és mtsi (Kamiya et al., 2008.) a citrát pufferben végrehajtott cellulóz hidrolízis teljes leállítását

tapasztalta, 40 vol.%-nál magasabb [emim][dep] ionos folyadék alkalmazása mellett, bebizonyítva ezzel, hogy az ionos folyadék meghatározó komponense a folyamatnak.

A szakirodalom szerint világos, hogy a cellulóz hidrolízist érzékenyen befolyásolhatja a jelenlévő ionos folyadék mennyisége, de ezen túlmenően jogosan merül fel a kérdés, hogy melyik inhibíciós mechanizmus játszódik le a tapasztalt jelenség mögött.

A lefutási görbék analízisé, valamint a Lineweaver-Burk ábrázolási módot alkalmazva a kapott eredményeket a 4. ábra szemlélteti. Ezek alapján a megállapítható, hogy a folyamat mögött kompetitív inhibíciós mechanizmus zajlik (Marangoni, 2003.).



4. ábra: A különböző ionos folyadék (mint inhibitor) és szubsztrát koncentrációk mellett felvett reakciósebességi adatok reciprocai (kék rombusz: inhibitor nélküli; piros négyzet: 50 mg/L [bmim][Cl]; zöld háromszög: 100 mg/L; lila kereszt: 150 mg/L; kék csillag: 200 mg/L; narancs pont: 250 mg/L)

Ha a kinetikai paraméterek meghatározásánál a kompetitív mechanizmus egyenletét alkalmazzuk (2. egyenlet), megállapíthatjuk, hogy a $v_{\max}$ állandó marad (a kompetitív inhibíciónak megfelelően), miközben a K_s -t befolyásolja az inhibitor [I] koncentrációja és az inhibíciós állandó (K_i). Mivel az inhibitor verseng az enzim aktív helyeinek betöltéséért, és abban az esetben, ha az enzim-inhibitor komplex kialakulásának folyamata gyorsabb, mint az enzim-szubsztrát komplex kialakulása, akkor az enzim nem tudja kifejteni a megfelelő katalitikus aktivitást. A jelenség kiküszöbölésére bevett gyakorlat az enzim mennyiségének megemlése, elősegítve ezzel az enzim-szubsztrát interakció kialakulását.

A 4. ábra és a 2. táblázat alapján numerikusan meghatározott K_i értéke 0,163 g/L-nek adódott. Általánosságban elmondható, hogy a 2. egyenletben szereplő $[I]/K_i$ hányados növekedésével csökken az enzim szubsztrát affinitás, ami a K_s növekedését idézi elő.

2. táblázat: Adatok a kompetitív inhibíciós modell alkalmazásához

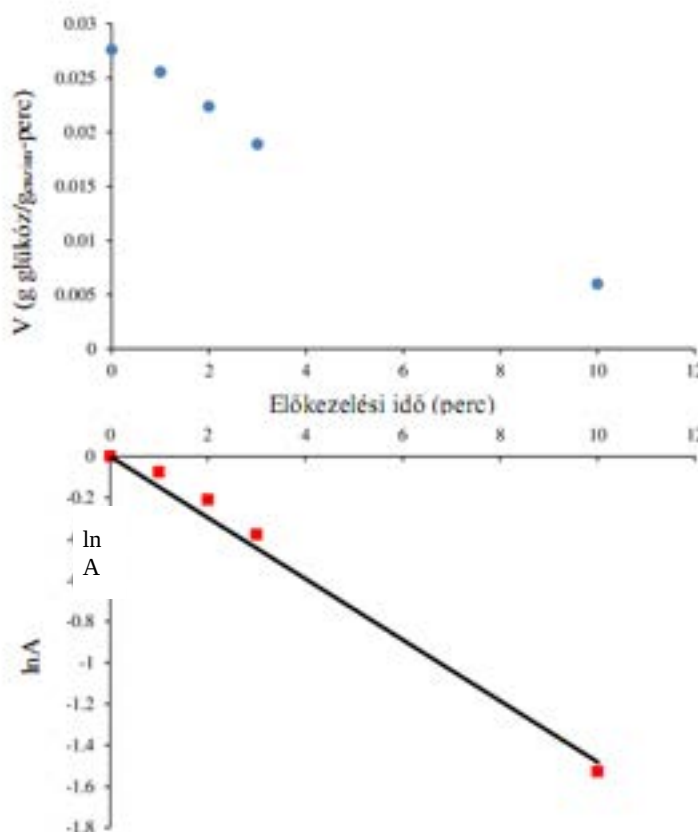
	[bmim][Cl] koncentráció (mg/L)				
	50	100	150	200	250
Meredekség	45.71	54.71	63.99	81.04	96.27
Tengelymetszet	14.82	14.82	14.82	14.82	14.82
R^2	0.98	0.97	0.94	0.99	0.99

Celluláz enzim dezaktiválása [bmim][Cl] ionos folyadékkal

Turner megállapítása alapján (Turner et al. 2003.) az enzim ionos folyadékkal történő interakciója során nem csupán az inhibíció az egyetlen olyan jelenség, mely végbemegy a reakció során. Többek között az enzim dezaktiválódása, azaz irreverzibilis inhibíció is kialakul, ami szintén befolyásolja, gátolja az enzim teljesítményét. Annak érdekében, hogy meghatározható legyen az enzim reverzibilis vagy irreverzibilis inaktiválódása „A cellulóz hidrolízis vizsgálata” című fejezetben részletezett módon végeztünk kísérletet. Ez alapján az ionos folyadékban különböző ideig inkubált enzim maradék aktivitását követtük nyomon.

Ennek megfelelően a kapott reakciósebességeket szemlélteti az 5. ábra az enzim ionos folyadékban történő előkezelési idejének függvényében. A diagram felső része jól mutatja, hogy az ionos folyadékban eltöltött, növekvő előkezelési idő jelentősen csökkentette a celluláz enzim aktivitását.

Az 5. egyenlet alapján meghatározható a celluláz enzim dezaktiválódási mechanizmusa, amire egyértelműen egy elsőrendű kinetikának megfelelő egyenes (Lencki et al., 1992.) illeszthető. Ezt szemlélteti az 5. ábra alsó diagramja. Az 5. egyenlet alapján kifejezhető a dezaktiválódási konstans (k_{del}), ami a jelen esetben 0,132 1/percnek adódott. Salvador és mtsi (Salvador et al., 2010.) tapasztalatai alapján az enzim inhibícióját inkább tapasztalták reverzibilisnek, mint irreverzibilisnek, mivel 40 perces kontakt időnél csupán 13-14%-os enzimaktivitás csökkenést tapasztaltak. Ezt követően állapították meg, hogy az ionos folyadék koncentrációja jelentősen befolyásolja az enzimaktivitást.



5. ábra: Az enzim kinetikai paramétereinek változása a dezaktiválódási kísérlet során

A dezaktiválási kísérletek során a kontroll a mintához képest már 1 perc hígítatlan ionos folyadékban történő inkubálás után is 25% aktivitás csökkenést tapasztaltunk. Figyelembe véve a szakirodalomban található eredményeket (Salvador et al., 2010., Xiao et al., 2012.; Engel et al. 2010.), az általunk tapasztalt aktivitáscsökkenés is a tömény ionos folyadékos előkezelés következményének tulajdonítható.

Ez a jelenség különösen érdekes abban az esetben, amikor az enzimes reakciót és az előkezelést a „one pot reaction” (egy edényben történő reakció) típusú megoldással hajtjuk végre. Ekkor első lépésben a tömény ionos folyadékban történő cellulóz előkezelés elősegíti a celluláz enzim hozzáférését a szubsztát nehezen hozzáférhető aktív helyeihez. Majd ezt követően a vízbázisú pufferben oldott celluláz enzim az ionos folyadékban előkezelt cellulóz rendszerbe kerül. Ekkor az ionos folyadék koncentrációja kellően alacsony szintre hígul, amikor már csak minimálisan dezaktiválja az enzimet. Ezt a küszöbértéket rendszerint nehéz véletlenszerűen „eltalálni”, ezért szükségszerűen érdemes egy megfelelő hígítási faktort alkalmazni, ugyanis túl alacsony koncentrációnál a kompetitív inhibíció miatt jelentősen csökken az enzim aktivitása. A cellulóz elcukrosításra, valamint a regenerált cellulózra épülő technológiák esetében az oldatban visszamaradó ionos folyadékot a lehető legnagyobb mennyiségben szükségszerű eltávolítani, megakadályozva a ráépülő folyamatokban résztvevő enzimek további inhibícióját (Li et al., 2013.; Ouellet et al., 2011.).

Összefoglalás

Ebben a munkában a cellulóz elcukrosítás kinetikai tanulmányozását végeztük kereskedelmi forgalomban kapható celluláz (Cellic® Htec2) enzimmel [bmim][Cl] ionos folyadék jelenlétében. Megállapítható, hogy az ionos folyadék hiányában a folyamat jól leírható a Michaelis-Menten kinetikával. Ugyanakkor az alacsony koncentráció tartományban jelen lévő ionos folyadék a kompetitív inhibíció miatt jelentősen gátolja a termékképződést. Ezenkívül megállapítottuk, hogy már igen rövid ideig tartó, tömény ionos folyadékban előkezelt enzimből olyan irreverzibilis folyamatok mennek végbe (dezaktiválódás), melyek jelentősen befolyásolhatják a technológia további lépéseit.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást a TÉT_12_SK-1-2013-0022 azonosító számon regisztrált, „Celluláz enzim stabilitásának vizsgálata nemkonvencionális alkalmazásoknál” című Szlovák-Magyar TÉT projekt és az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-2016-4-04 kódszámú (Nemestóthy Nándor) Új Nemzeti Kiválóság Programja támogatta.



IRODALOMJEGYZÉK

- Brandt, A., Grasvik, J., Hallett, J.P., Welton, T., 2013. Deconstruction of lignocellulosic biomass with ionic liquids. *Green Chem.* 15, 550-583.
- Engel, P., Krull, S., Seiferheld, B. 2012. Rational approach to optimize cellulase mixtures for hydrolysis of regenerated cellulose containing residual ionic liquid. *Bioresour. Technol.* 115, 27-34.
- Gunny, A.A.N., Arbain, D., Gumba, R.E., 2014. Potential halophilic cellulases for in situ enzymatic saccharification of ionic liquids pretreated lignocelluloses. *Bioresour. Technol.* 155, 177-181.
- Johnson, K.A., Goody, R.S., 2011. The original Michaelis constant: translation of the 1913 Michaelis-Menten paper. *Biochemistry* 50, 8264-8269.

- Kumar, G., Bakonyi, P., Periyasamy, S., Kim, S.H., Nemestóthy, N., Bélafi-Bakó, K.. 2015. Lignocellulose biohydrogen: Practical challenges and recent progress. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 44, 728-737.
- Li, C., Tanjore, D., He, W., Wong, J., Gardner, J.L., Sale, K.L., et al., 2013. Scale-up and evaluation of high solid ionic liquid pretreatment and enzymatic hydrolysis of switchgrass. *Biotechnol. Biofuels* 26, 154. <http://dx.doi.org/10.1186/1754-6834-6-154>.
- Li, Q., Jiang, X., He, Y., Li, L., Xian, M., Yang, J., 2010. Evaluation of the biocompatible ionic liquid 1-methyl-3-methylimidazolium dimethylphosphite pretreatment of corn cob for improved saccharification. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 87, 117-126.
- Lineweaver, H., Burk, D., 1934. The determination of enzyme dissociation constants. *J. Am. Chem. Soc.* 56, 658-666.
- Liu, C.Z., Wang, F., Stitles, A.R., Guo, C., 2012. Ionic liquids for biofuel production: Opportunities and challenges. *Appl. Energy* 92, 406-414.
- Lozano, P., Bernal, B., Bernal, J.M., Pucheault, M., Vaultier, M., 2011. Stabilizing immobilized cellulase by ionic liquids for saccharification of cellulose solutions in 1-butyl-3-methylimidazolium chloride. *Green Chem.* 13, 1406-1410.
- Maki-Arvela, P., Anugwom, I., Virtanen, P., Sjöholm, R., Mikkola, J.P., 2010. Dissolution of lignocellulosic materials and its constituents using ionic liquids – A review. *Ind. Crops Prod.* 32, 175-201.
- Ouellet, M., Datta, S., Dibble, D.C., Tamrakar, P.R., Benke, P.I., Li, C., et al., 2011. Impact of ionic liquid pretreated plant biomass on *Saccharomyces cerevisiae* growth and biofuel production. *Green Chem.* 13, 2743-2749.
- Ouellet, M., Datta, S., Dibble, D.C., Tamrakar, P.R., Benke, P.I., Li, C., et al., 2011. Impact of ionic liquid pretreated plant biomass on *Saccharomyces cerevisiae* growth and biofuel production. *Green Chem.* 13, 2743-2749.
- Park, J.I., Steen, E.J., Burd, H., Evans, S.S., Redding-Johnson, A.M., Batth, T., et al., 2012. A thermophilic ionic liquid-tolerant cellulase cocktail for the production of cellulosic biofuels. *PLoS ONE* 7, e37010. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0037010>.
- Raj, T., Kapoor, M., Semwal, S., Sadula, S., Pandey, V., Gupta, R.P., et al., 2016. The cellulose structural transformation for higher enzymatic hydrolysis by ionic liquids and predicting their solvating capabilities. *J. Clean. Prod.* 113, 1005-1014.
- Salvador, A.C., Santos, M.D.A., Saraiva, J.A., 2010. Effect of ionic liquid [bmim][Cl] and high pressure on the activity of cellulase. *Green Chem.* 12, 632-635.
- Tan, H.T., Lee, K.T., Mohamed, A.R., 2011. Pretreatment of lignocellulosic palm biomass using a solvent-ionic liquid [BMIM]Cl for glucose recovery: An optimisation study using response surface methodology. *Carbohydr. Polym.* 83, 1862-1868.
- Turner, M.B., Spear, S.K., Huddleston, J.G., Holbrey, J.D., Rogers, R.D., 2003. Ionic liquid salt-induced inactivation and unfolding of cellulase from *Trichoderma reesei*. *Green Chem.* 5, 443-447.
- Vancov, T., Alston, A.S., Brown, T., McIntosh, S., 2012. Use of ionic liquids in converting lignocellulosic material to biofuels. *Renew. Energy* 45, 1-6.
- Zhang, Y., Xu, J.L., Xu, H.J., Yuan, Z.H., Guo, Y., 2010. Cellulase deactivation based kinetic modeling of enzymatic hydrolysis of steam-exploded wheat straw. *Bioresour. Technol.* 101, 8261-8266.

Konferencia beszámoló

'Desalination for the Environment: Clean Water and Energy'

22-26 May 2016 | Marriott Park Hotel, Rome, Italy

A „European Desalination Society” (EDS) idei, 2016-os konferenciájának Olaszország fővárosa, Róma adott otthont. Az egykori Római Birodalom központjába ékelve helyezkedik el a Vatikán, a római katolikus egyház központja, a pápa székhelye. Város a városban. Pontosabban, állam a városban, hiszen a Vatikánváros (területét és a lakosságát tekintve egyaránt) a világ legkisebb nemzetközileg is elismert független országa. Sőt saját vasútállomása, rádió- (Radio Vaticana) és televízióadója (Vatican Television Center), valamint újságja (L'Osservatore Romano) is van. Érthető az is, hogy a legjelentősebb jövedelemforrása a turizmusból adódik. Róma köztudottan Olaszország legnépszerűbb turisztikai célpontja, melynek központját UNESCO Világörökségnek is nyilvánították. Műemlékei, a Vatikán múzeumai és a Colosseum is a világ 50 leglátogatottabb turisztikai célpontjai között vannak nyilvántartva. Kevésbé ismert, de a Colosseum eredeti neve Amphiteatrum Flavium, ami egy gigantikus méretű szórakoztató komplexum volt és csak Kr. u. 82-ben nyerte el végső formáját.



A nemzetközi konferenciát a Róma központjától mintegy 16 km-re fekvő ötcsillagos Marriott Park Hotelban rendezték meg. Több konferenciaterme hat párhuzamos szekció megrendezésére adott lehetőséget, amire szükség is volt a nagyszámú (kb. 500) regisztrált résztvevő miatt. Ebből 7 fő plenáris előadást, 235 jelentkező 15 perces előadást és 153 fő poszter előadást tartott. A többi résztvevő a kiállításra érkezett, vagy konferencia-látogató volt. Az ipari kapcsolatokat is jelentősen hangsúlyozó, igen színvonalas eseményen, olyan neves cégek képviselték magukat, mint az Avista Technologies, Danfoss, Saline Water Conversion Corporation, Genesys International, Taylor & Francis Group, FIP, Grundfos, Basf, Pentair, Fedco vagy a Flowserve (a támogatók részletes listája a konferencia honlapján olvasható: <http://www.desline.com/congress/Rome2016/GWI.shtml>). További igen beszédes adat, hogy a résztvevők 56 országból érkeztek, ami jól mutatja a membrántechnikai módszerek világszinten széleskörű elterjedését. A teljesség igénye nélkül a résztvevő országok: Hollandia, Németország, Spanyolország, Izrael, USA, Görögország, Ciprus, Algéria, Egyesült Arab Emírségek, Franciaország, Tunézia, Korea, Kuvait, Katar, Belgium, Anglia, Kína, Malajzia, és természetesen Magyarország.

A konferencia témakörei igen széles területet fedtek le: Részecske eltömődés és csökkentés: MFI és SDI; Membrán desztilláció; Költség megtérülés és gazdaságosság; Fordított elektrodialízis; Fordított ozmózis; Hibrid módszerek és eljárások; Tengervíz sótalanítási technológiák; RO alapú hibrid technikák; Szennyvíztisztítás; Biológiai eltömődés;

Szennyezők eltávolítása; Membránok eltömődése; Ultraszűrés; Membrán reaktorok; Ipari alkalmazások; Modellezés és szimuláció; Koncentrátum hasznosítás, stb.

A konferencia nyitóbeszédét Ferenc pápa levelének felolvasásával kezdték, aki üdvözölte a konferenciát és elismerését fejezte ki a víz elérhetőségét és minőségét javító, valamint a biztonságos ivóvíz ellátását célzó tudományos és nemzetközi együttműködések iránt. Üzenetében hangsúlyozta, hogy a tiszta ivóvízhez való hozzáférés alapvető emberi jog, aminek biztosítása mindenki számára a létfenntartáshoz, így az emberiség túléléséhez nélkülözhetetlenül szükséges.



A konferencia megnyitásakor Ursula Annunziata az EDS elnöke, Gian Luca Galletti az olasz környezetvédelmi miniszter, Prof. Diego Barba a Római Egyetem professzora, Emilio Gabbriellini az IDA (International Desalination Association) elnöke és Dr. Abdul Rahman Al-Ibrahim az SWCC (Saline Water Conversion Corporation) elnöke szólaltak fel. Ezt követően 60 perces plenáris előadásokat hallgathattunk olyan neves professzoroktól, mint például Steven J. Duranceau a Közép-floridai Egyetemről (előadásának címe: Expanding the potable applications of membranes in the USA) és Hans Vrouwenvelder Hollandiából a Delfti Műszaki Egyetemről (előadásának címe: Advances in biofouling of spiral wound membrane research).

A szervező bizottság tagjai között olyan neves és híres membrántechnikai témakörökben jártas szakértőkkel, számos folyóirat bírálói bizottságában aktívan tevékenykedő professzorral találkozhattunk, mint például Miriam Balaban (az EDS főtítkára és a DWT - Desalination and Water Treatment – főszerkesztője), Lute Broens, Borja Blanco, Sophie Bertrand, Maria D. Kennedy vagy Maxime Pontié. A több mint 230 szóbeli előadásra három napon át (hétfőtől szerdáig) reggel 9-től 18-ig került sor. A poszterek igen nagy száma miatt (153 db) a poszter szekciót a konferencia teljes időtartama alatt meg lehetett tekinteni és a szerzőkkel értékes tapasztalatokat cserélni, kapcsolatokat építeni. A párhuzamosan megrendezett szekcióüléseken 15 perces előadásokat hallhattunk, melyeket 5 perces vita követett, ami bizony sokszor nagyon rövidnek bizonyult, így a tudományos diszkusszió gyakran a kávészünetekben is folytatódott. Az előadások jelentős része a tengervíz sótalánításával és a membránok eltömődésének csökkentési lehetőségeivel foglalkozott. A hollandiai UNESCO-IHE Intézetből érkező Jan Cornelis Schippers-től megtudhattuk, hogy tengervizek membránszűrésénél a membrán felületen inkább gél-réteg (gel layer) kialakulásról beszélhetünk, miközben a biológiai eredetű membrán eltömődések esetén másodlagos membrán réteg (cake layer) kialakulásáról. Ez az elnevezésbeli különbség a

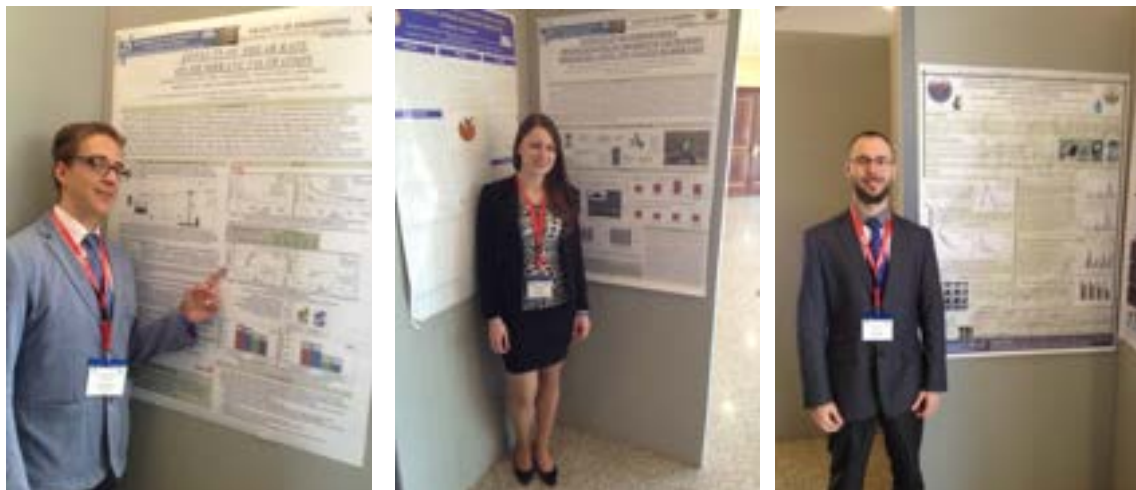
szakmán belül már korábbiakban is vitára adott okot, ami a mai napig nem tisztázott. Érdekes volt továbbá, hogy a korábban egységesen használt SDI (Silt Density Index) sűrűségi mutató helyett az MFI (Modified Fouling Index), módosított eltömődési index használatát javasolják. Hangsúlyozták azonban, hogy ezen indexek használata csak indikátorként szolgálhat, de nem használhatóak egyértelmű becslésre, azaz membrán eltömődés kialakulásának kizárólagos előrejelzésére. A tengervíz sóatlanításáról szóló előadásokból az tükröződött, hogy a már korábban kialakult tendencia folytatódik és előkezelésként döntően egyre inkább ultraszűrést használnak (mikroszűrés helyett) a fordított ozmózis előtt, annak ellenére, hogy ez korábban elképzelhetetlennek tűnt. Eleinte főként homokszűrőket használtak erre a célra, de az UF membránok árának csökkenésével alkalmazásuk az iparban is gyorsan terjed. További ismert kutatócsoport vezetői és kutatási témájuk a teljesség igénye nélkül:

- Abdelhakim Hassabou (Környezet- és Energia Kutatóintézet, Katar): Ivóvíz előállítás tengervíz sóatlanításával SWRO rendszerekkel;
- Teresa de la Torre (Cádizi Egyetem, Spanyolország): Hibrid fordított ozmózis rendszer használata mezőgazdasági magas sótartalmú vizek kezelésében;
- Joon Ha Kim (Gwangju Egyetem, Korea): Előkezelési eljárások alkalmazhatóságának vizsgálata az RO-MD-PRO rendszerekkel;
- TorOve Leiknes (*Abdullah király Természettudományi és Műszaki Egyetem, Szaúd-Arábia*) Biológiai aktivitást mutató szerves minták részletes vizsgálata a membrán eltömődés csökkentése érdekében;
- Skule Strand (Stavangeri Egyetem, Norvégia): Membrános eljárásokkal megvalósított olaj visszanyerés és a használt vizek újrafelhasználása;
- Alessandro Tamburini (Palermói Egyetem, Olaszország): Fordított elektrodialízis alkalmazhatóságának vizsgálata és modellezése.



Magyarország három poszter előadással képviseltette magát: szennyvizek vibrációs membránszűrése, TiO_2 fotokatalizátorral bevont membránok alkalmazása és ózonnal kombinált mikroszűrés alkalmazása olajos vizek tisztítására témakörökkel:

1. Effects of shear rate on membrane filtration (Szabolcs Kertész, Péter Bor, Cecilia Hodúr, József Csanádi, Gábor Veréb, Ildikó Kovács, Gábor Keszthelyi-Szabó, Zsuzsanna László)
2. Effects of heterogeneous photocatalysis on membrane filtration properties using TiO_2 coated membranes (Ildikó Kovács, Szabolcs Kertész, Gábor Veréb, Cecilia Hodúr, Zsuzsanna László)
3. Effects of pre-ozonation 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)



Összességében elmondható, hogy a konferencia kiváló lehetőséget nyújtott a fiatal kutatóknak, hogy a hasonló tudományterülettel, döntően membrántechnikai eljárásokkal foglalkozó neves kutatócsoportokkal megismerkedjenek, kapcsolatokat építsenek ki. Sokszor éppen az okozott gondot, hogy a 6 párhuzamos szekcióban több előadás is érdekesnek bizonyult, így nehéz volt választani, hogy melyiket hallgassuk meg. A konferencia során igen sokat tanulhattunk, és mindemellett érdekes dolgokat is hallhattunk. Továbbá az utolsó napon lehetőségünk nyílt egy kutatóközpont (ENEA Research Center) és egy római vízvezeték rendszer (Roman aqueducts) meglátogatására is, amely felejthetetlen élménynek bizonyult.



És persze, ha már Olaszországban járunk, akkor az eredeti vékony olasz pizza, a tiramisú, valamint a helyi borok megkóstolása kötelező!



A konferencia előadásai (várhatóan) az impakt faktorral is rendelkező „Desalination and Water Treatment” című folyóiratban kerülnek publikálásra (a szükséges bírálatok után). A konferenciával kapcsolatos további részletek és információk elérhetőek a „<http://www.desline.com/congress/Rome2016/home.shtml>” honlapon.

Előreláthatólag jövőre az Elsevier szervezésében a 3. nemzetközi membrános konferencia (3rd International Conference On Desalination Using Membrane Technology) 2017. április 2-5-ig a Kanári-szigeteken, Las Palmasban kerül megrendezésre (<http://www.desalinationusingmembrane.com/>).

Köszönetnyilvánítás:

„A konferencia részvétel OTKA projektek (OTKA K112096 & K 115691) keretein belül, valamint Bolyai János posztdoktori ösztöndíj támogatásával valósulhatott meg.”

Dr. Kertész Szabolcs,
Kovács Ildikó és Dr. Veréb Gábor
Szegedi Tudományegyetem
Mérnöki Kar
Folyamatmérnöki Intézet

VÍZ- ÉS SZENNYVÍZKEZELÉS AZ IPARBAN '16 NEMZETKÖZI TUDOMÁNYOS KONFERENCIA NAGYKANIZSÁN

A Soós Ernő Víztechnológiai Kutató-Fejlesztő Központ (SoósKFK) szakmai támogatásával a Pannon Egyetem Nagykanizsai Kampuszán került megrendezésre harmadik alkalommal a Víz- és szennyvízkezelés az iparban c. nemzetközi tudományos konferencia. A konferencia fő célja, hogy kapcsolódási pontot adjon az ipar és a tudományos élet számára. A konferencia lehetőséget biztosított, hogy a víz- ill. szennyvízkezelés területén dolgozók bemutassák ipari tapasztalataikat, legújabb kutatási eredményeiket, teret nyújtson a szakemberek, kutatók, ipari partnerek tapasztalatcseréjéhez és kapcsolatépítéshez. Átadásra kerültek az Ifjú Kutatói Díjak MSc és PhD kategóriában.

A 2016. novemberében megrendezésre került konferenciát Birkner Zoltán, a Pannon Egyetem Nagykanizsai Kampuszának, ill. a Soós KFK igazgatója nyitotta meg, majd Kocsis László, a Pannon Egyetem rektorhelyettese, Bene Csaba, a Zala Megyei Közgyűlés alelnöke és Dénes Sándor Nagykanizsa MJV polgármestere mondott köszöntőbeszédet.

A konferencián elhangzott: a kanizsai központ létrehozói néhány éve dinamikus fejlődésről álmodtak, az eredmények pedig ma már önmagukért beszélnek. A mostani konferencián több, mint 40 előadást hallhattak az iparból és a tudomány területéről érkezett szakemberek, melyek minden esetben aktuális kérdéseket feszegettek.

A plenáris ülés során elsőként a politikai színtérről Jelinek Gabriella (Belügyminisztérium Vízügyi-gazdálkodási és Vízügyi Főosztály főosztályvezető - helyettese) a felszíni vizek vízminőségi állapotáról beszélt hazai viszonylatban, majd Román Pál (Magyar Hidrológiai Társaság Csatornázási és Szennyvíztisztítási Szakosztály elnöke) elemezte a szennyvíziszap kezelés és hasznosítás helyzetét Magyarországon.

A következő előadó M. Csizmadia Béla professzor úr volt, a Magyar Mérnöki Kamara Gépészeti Tagozatának elnöke, aki a Mérnöki Kamara Gépészeti tagozatának tevékenységét mutatta be. Az előadás végén bejelentette a Gépészeti Tagozat Területi Szakcsoport megalapításának szándékát.

A következő előadásban Galambos Ildikó, a SoósKFK szakmai vezetője foglalta össze a magyarországi vízipari képzési lehetőségeket.

Ezután a 2014-ben, Borsos Ferenc bejelentésével megalakult Soós Ernő Ifjú Kutatói Díj átadása következett. A díjra a víz- és szennyvízkezelési problémákat feldolgozó MSc ill. PhD dolgozatokkal lehetett pályázni. Nagy számban érkeztek pályamunkák az elmúlt év során, akik közül a szakmai zsűri MSc kategóriában Fikó Dezső Róbert (Bukaresti Műszaki Egyetem PhD hallgatója) jutalmazta, előadásában a szennyezett élőhelyekről izolált baktériumok szennyvíztisztítás célú fenol-bontó képességének vizsgálatával foglalkozott. PhD kategóriában Dr. Tóth András Józsefet (BME, Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék) díjazták, aki „Liquid waste treatment with psychochemical tools for environmental protection” c. témában prezentálta dolgozatát. A díjakat Borsos Krisztina, a Hidrofilt Kft. ügyvezető igazgatója ill. a kutatóközpont vezetői adták át (1. kép).

A plenáris ülést egy bejelentés zárta: a Hanna Instrument Kft. a Soós Ernő Víztechnológiai Kutató-Fejlesztő Központot választotta ki, hogy a dunántúli régióban bemutatólaborként működhessen. Ezzel kapcsolatban a Hanna Instrument Kft. képviselőjében Atesán Erika

(vezérigazgató) és Aladics Csaba (kereskedelmi képviselő) köszöntötte a jelenlevőket, és adta át az adományozási oklevelet.



Az ebédet követően a délután folyamán négy párhuzamos szekcióban hallgathatták meg az érdeklődők a különböző ipari és tudományos előadásokat. A konferencián nemzetközi szekció is helyet kapott, ahol angol nyelven zajlottak az előadások, mind ipari, mind tudományos témában. A konferenciára szép számban érkeztek határon túlról is érdeklődők. Birkner Zoltán beszédében kiemelte, hogy a következő évek feladata az lesz, hogy a VSZI egy igazi nemzetközi konferenciává nője ki magát, ahol javarészt idegen nyelvű előadásokat hallgathatnak meg a résztvevők.

A szekciókban egyrészt cégek vezető szakemberi tartottak előadást, mutatták be újításaikat, fejlesztéseiket és az így szerzett tapasztalataikat. Másrészt a tudomány területéről is érkeztek előadók, mind hazai, mind külföldi egyetemekről.

Az előadások mellett a szünetekben tudományos poszterek bemutatására, ill. az ipari résztvevők számára kiállítási és roll-up bemutatásra biztosítottak lehetőséget a szervezők. Az ipari szakemberek kilenc standdal képviseltették magukat. A konferencia keretei között az MKE Membrántechnikai Szakosztály soron következő ülését is megtartották.

A konferencia a szekcióelnökök (Szakácsné Földényi Rita, Gerencsérné Berta Renáta, Bíró Ildikó és Lakner Gábor) összefoglalásával és a résztvevők pozitív, építő jellegű hozzászólásaival, javaslataival zárult, ahol kihirdetésre kerültek a hallgatóság által legjobbnak ítélt előadók is.

A jó hangulatú konferencia nagy sikert aratott szakmai körökben, a több mint 160 fő résztvevő egyrészt tudásban, tapasztalatban, másrészt új szakmai kapcsolatokkal gazdagodva hagyta el a konferencia helyszínét. Folytatva immáron a hagyományt, 2017-ben is megrendezésre kerül a VSZI'17 konferencia, előreláthatóan októberben, melyről részletes információk a www.sooswrc.hu honlapon olvashatók hamarosan.

KÖZELGŐ KONFERENCIÁK, KURZUSOK

3rd International Conference on Ionic Liquids in Separation and Purification Technology, ILSEPT

2017. január 8-11., Kuala Lumpur (Malájzia)

<http://www.ilsept.com>

Novel Theoretical Approaches For Membrane Transport Processes In Drinking Water Production - Membranes In Drinking And Industrial Water Production, MDIW2017

2017. február 6-8., Leeuwarden (Hollandia)

<https://www.desline.com/congress/Leeuwarden2017/home.html>

Third European Workshop on Membrane reactors: Membrane Reactors for Process Intensification, MR4PI2017

2017. március 9-10., Verona (Olaszország)

<http://www.fluidcell.eu/content/workshops>

3rd International Conference on Desalination using Membrane Technology

2017. április 2-5., Gran Canaria (Spanyolország)

<http://www.desalinationusingmembrane.com>

Engineering with Membranes, EWM2017

2017. április 26-28., Singapore (Singapore)

<http://www.ewm2017.com/>

44th International Conference of the Slovak Society of Chemical Engineering

2017. május 22-26., Demónovská Dolina (Szlovákia)

(<http://sschi.chtf.stuba.sk/>)

9th Eastern European Young Water Professionals Conference

2017. május 24-27., Budapest

<http://iwa-ywp.eu/>

6th International Conference on Organic Solvent Nanofiltration, OSN 2017

2017. június 4., Szentpétervár (Oroszország)

<http://www.osn2017.org>

2nd Workshop on ABE Fermentation and Recovery, ABE Workshop, Torun
2017. június 19-20., Torun (Lengyelország)
<http://www.pv.chem.umk.pl>

5th International Scientific Conference on Pervaporation, Vapor Permeation and Membrane Distillation, 5th PV VP MD Co,
2017. június 20-23., Torun (Lengyelország)
<http://www.pv.chem.umk.pl>

XXXIV. Membrános Nyári Egyetem (Membranes in Biorefineries)
2017. június 26-30, Lund, Svédország
<https://www.lth.se/membranportalen/english/ems-summer-school-2017/>

The 11th International Congress on Membranes and Membrane Processes (ICOM 2017)
2017. július 29 – augusztus 4., San Francisco (USA)
<http://www.icom2017.org/>

MEMBRÁNTECHNIKA ÉS IPARI BIOTECHNOLÓGIA

A MKE Membrántechnikai Szakosztályának kiadványa ISSN 2061-6392

Felelős szerkesztő:

Bélafiné Dr. Bakó Katalin, Pannon Egyetem, Biomérnöki, Membrántechnológiai és Energetikai Kutató Intézet, 8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

E-mail: bako@almos.uni-pannon.hu

A szerkesztőbizottság tagjai:

a MKE Membrántechnikai Szakosztály vezetősége: Békássyné Dr. Molnár Erika, Dr. Mizsey Péter, Dr. Hodúr Cecília, Dr. Vatai Gyula; valamint Dr. Gubicza László (lektor)

Megjelenik: negyedévente, 300 példányban

Előfizetési díja: évi 1 500 Ft

Megrendelhető: MKE Membrántechnikai Szakosztály, 1015 Budapest, Hattyú u. 16.