

MEMBRÁN-

TECHNIKA

IPARI

BIOTECHNOLÓGIA



VI. évfolyam 4. szám

2015. december

TARTALOM

oldal

Tóth G.: In-vitro multi-enzimatisz szintézisek.....	62
Tisztújító közgyűlés.....	72
Pályázati felhívás.....	73
Zsigmondy Richárd.....	74
Közelgő membrános konferenciák, kurzusok.....	75

IN VITRO MULTI-ENZIMATIKUS SZINTÉZISEK

Tóth Gábor

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

Bevezetés

Az elmúlt években az enzimfelhasználás jelentősen megnövekedett a nagyobb hatékonyságú és tisztább, környezetbarátabb kémiai átalakítások elérése érdekében. Ezek a biotranszformációs folyamatok kivitelezhetőek egy adott enzimmel, ami egy időben csak egy specifikus reakcióért felelős, vagy több enzimmel („multi-enzymatic”), amik több konszekutív konverziós lépést végeznek a kívánt termék elérése érdekében. Tekintettel az enzimek érzékenységre stabilitására, környezeti paraméterigényeikre, már a néhány enzimmel végzett biokatalitikus reakciók kivitelezése is sokkal bonyolultabb rendszer kialakítását, üzemeltetést és analitikai nyomon követést igényel [Lopez-Gallego F. 2010].

Az in vitro multi-enzimkatalitikus reakciók nagy előnye az élő sejtekkel történő kísérletekkel szemben, hogy ezzel a technikával nagyban csökkenthető a rendszer komplexitása és bizonyos esetekben egyszerűsödhet a rendszer optimalizálása (pl. változó enzim és szubsztrát koncentráció, ko-szubsztrát és oldószer adagolása/változtatása, pH és hőmérséklet változtatása). Ellentétben az élő sejtes rendszerekkel, a szubsztrát bizonyos esetekben változtatható, valamint a szubsztrát és a reakció közti- és végtermékeinek az egész reaktorra gyakorolt hatását/toxicitását nem szükséges figyelembe venni. Másik előnye az élősejtes rendszerekkel szemben, hogy az enzimes reakció végterméke nagyobb tisztasággal rendelkezik, ugyanis a mikroorganizmusok mellék és végtermékei valamint a sejt metabolitok nincsenek jelen a szuszpenzióban, így a termék elválasztás is nagyban egyszerűsödhet [Lopez-Gallego F. 2010]. A számos előny ellenére különböző hátrányokkal is számolni kell. Ezek a reakciók csak néhány enzimes lépést tartalmazhatnak, és a szakirodalomban is kevés olyan tanulmány található, amely egyetlen prekursor vegyületből kiindulva komplex szekvenciális szintézis vizsgálatára fókuszál. Az enzimek nemmegfelelő mennyiségű elérhetősége, valamint azok labor körülmények között mutatott stabilitása és funkcionalitása a legnagyobb korlátozó tényezője az in vitro több lépéses enzimkatalitikus reakciók tanulmányozásának. Azok az enzimek, amelyek komplex kofaktort igényelnek (pl. koenzim-

A által aktivált szubsztrátot) vagy hajlamosok az oxidatív károsodásra, egyáltalán nem alkalmasak az in vitro típusú vizsgálatokra [Lopez-Gallego F. 2010].

A multi-enzimkatalitikus reakciók lejátszódhatnak szimultán, azaz az enzimek egyidőben történő adagolásával vagy szekvenciálisan, azaz az egyes reakciók végbemenetelét követően, az enzimek külön-külön történő hozzáadásával [Lopez-Gallego F. 2010].

Számos olyan multi-enzimkatalitikus biotranszformációs reakcióról számolnak be szerzők a szakirodalomban, amikben az enzimek oldott, szabad formában vannak jelen. Ezen reakciók jelentős része a költséges kofaktor jelenlététől függ, és a technológia költséghatékony és versenyképességére való tekintettel, egy különálló regeneráló egység közbeiktatását teszi szükségessé. A reakciósorozatokban elhasználandó (oxidálódott/redukálódott) kofaktor regenerálására (redukálódik/oxidálódik) jellemzően valamilyen nagy mennyiségben, olcsón, könnyen hozzáférhető anyagot alkalmaznak erre a célra, mint pl. a glükóz vagy formiát. A regenerálás lehetőséget biztosít, a kofaktor katalitikus mennyiségű felhasználására [Liu W. 2007; Resnick SM, 2000].

A kofaktor regenerálását jól szemlélteti Betancor munkája [Betancor L, 2006], aki ketonok aszimmetrikus redukciója során enantioszelektív szekunder alkoholt állított elő, miközben a jelen lévő NADH kofaktor NAD^+ -dá oxidálódott. A reakcióhoz szükséges katalitikus mennyiségű kofaktor regenerálásához egy kapcsolt reakcióban oxidáz enzimet használtak. Itt az enzim a glükóz oxidációja során az oxidált állapotú nikotinamidot (NAD^+) redukált állapotúvá (NADH) alakította.

Számos publikáció számol be egy, a nem konvencionális multi-enzimkatalitikus NADP^+ regenerálására alkalmas kapcsolt egységről, amiben molekuláris oxigént, mint szubsztrátot alkalmaztak az alkohol oxidációjára [Aksu S, 2009.; Pival SL, 2008.].

Multi-enzimkatalitikus szintézis immobilizált enzimekkel

Az egy edényben történő („one-pot reactions”) szekvenciális reakciók kinetikai paraméterei jelentősen fokozhatók, a funkcionalitásban egymástól eltérő enzimek egymáshoz történő kapcsolásával, az élő sejtekben található multienzimes komplexek mintájára. A témában áttörő eredményt hozott a 80-as években Mosbach és mtsi által kidolgozott ko-immobilizálás, amit a különböző típusú enzimek kémiai térhálósításával valósítottak meg és ennek köszönhetően értek el szignifikáns eredményt [Mosbach K, 1983].

Számos tanulmány számol be rutinszerűen alkalmazható enzimrögzítési technikákról, amiknek köszönhetően megnövekedett a biokatalizátorok stabilitása, újrahasznosítása és ezzel

párhuzamosan jelentősen javult a végtermékben található komponensek szeparációja [Sheldon R. A. 2009]. A kezdeti rögzítésre irányuló kísérleteket jellemzően egy fajta enzimmel hajtották végre, ugyanakkor a ko-immobilizált, multi-enzimkatalitikus reakciók vizsgálata egyre nagyobb teret biztosított a kutatók számára.

A multi-enzimkatalitikus rendszerek teljesítményének növelése érdekében a rögzítési eljárások hatékonyabb kidolgozása vált szükségessé, ami számos paraméter optimalizálását foglalta magában.

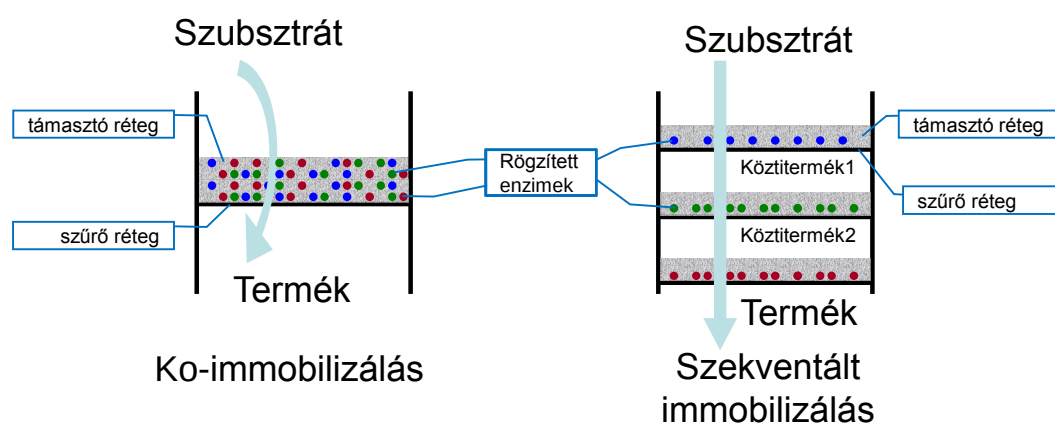
- Az első ilyen tényező az, hogy az immobilizálás során a biokatalizátor denaturálódásának minimálisnak, továbbá az eljárásának egyszerűnek könnyen kivitelezhetőnek kell lennie • [Obert R. 1999; Wang, X.; 2014; Cazelles, R.; 2013; Zhao, F.; 2014].
- Másodsorban a biotranszformációs reakciók során biztosítani kell az enzim magas koncentrációját, és meg kell előzni az egymást követő immobilizálási lépések és reakciók során fellépő, a hordozó felületén tapasztalható enzim leszakadást („enzyme leakage”).
- Harmadsorban, a célenzimhez történő anyagtranszport ellenállásnak alacsonynak kell lenni, biztosítva a szubsztrát/ intermedier könnyed diffúzióját a célenzim felé
- És végül, biztosítani kell a keletkezett termék az enzim aktív centrumából történő azonnali eltávolítását, megakadályozva ezzel a termék inhibíció kialakulását.

A számos multi-enzimkatalitikus immobilizálási megoldás kidolgozása ellenére úgy tűnik, hogy g érdemes további egyszerűbb és olcsóbb eljárásokat kutatni [Liu F. 2013]. Az egyik ilyen a közelmúltban elért eljárás, a biokatalitikus membránok. Jelentőségük a felületükön immobilizált enzimekben rejlik, amik, mind bioreaktorként mind bioszenzorként történő alkalmazásuknak köszönhetően egyre érdekesebb, vonzóbb területet biztosít a kutatók részére [Sassolas A., 2012; Jochems P, 2011].

A biokatalitikus membránok esetében a pórusos membrán egyrészt használható szelektív gátként, másrészt enzim immobilizálására szolgáló hordozóként. A membrán biztosítja az enzim stabilitását, újrahasznosítását, a reaktor folyamatos üzemeltetést és megakadályozza a termék inhibícióját is [Giorno L, 2000]. Az enzimkatalitikus membránok jellemzése, karakterizálása során, számos olyan előnyös tulajdonságra derült fény, amik összeegyeztethetőek a jelenlegi enzim immobilizálási célkitűzésekkel, stratégiákkal. Az elért eredményeknek köszönhetően az eltömődésen alapuló („Fouling-induced”) enzimrögzítési eljárás további számos jövőbeni kutatási témát alapját adhatja. Az eltömődésen alapuló enzimrögzítést egyszerűen, az enzimoldat nyomás segítségével történő szűrésével valósítható

meg. Ennek köszönhetően az enzimek a membrán támasztórétegébe, pórusaiba szorulnak, „préselődnek”. A rögzítés folyamán többfajta enzim immobilizálása történhet meg egyidőben, s ezek számos nem kovalens kötést (hidrogén híd, elektrosztatikus kötés, fizikai szűrés (visszatartás)) alakíthatnak ki a membrán felületével [Luo J, 2013; Luo J, 2014; Giorno L, 2001; Hadidi M, 2014].

A multi-enzimkatalitikus membrán rendszert kétféleképpen lehet előállítani. Egyrészt a különböző típusú enzimek egy azonos membránon történő rétegződésével kialakítható a ko-immobilizáció. Másrészt a különböző típusú enzimek több membránon (szekvenciális immobilizáció) történő rögzítésével, ami az egyes enzim típusok szeparált immobilizálását jelenti (1. ábra).



1. ábra: A ko-, és szekvenciális immobilizálás

Metanol biokatalitikus szintézise szén-dioxidból

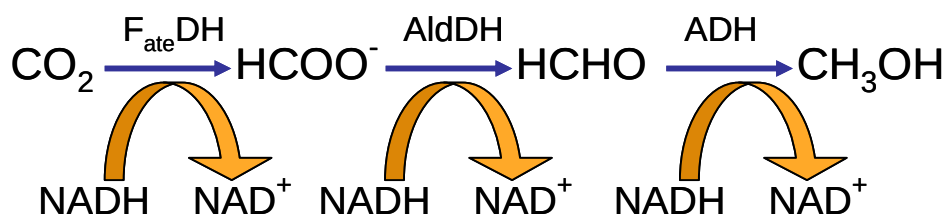
A széndioxid hatékony felhasználása az elmúlt években került a figyelem középpontjába mind az alapkutatás mind az ipari alkalmazás területén. Ez nem csak az üvegházhatású gáz csökkentését eredményezheti, hanem termékként egy értéknövelt anyag, energiahordozó előállítását is jelentheti [Kavita L. 2011]. Jelenleg a heterogén katalízis a fotokatalízis és az elektrokatalízis a három domináns eljárás a szén-dioxid metanollá, formaldehiddé, formiáttá történő konvertálásában. Ezek a megoldások mindegyike rendelkezik negatív tulajdonságokkal, mint pl. a magas nyomás, hőmérsékletbiztosítása, továbbá fény vagy elektromos energia biztosítása, mindemellett alacsony előállítási hozammal rendelkeznek [S. W. Park 2001; M. Azuma 1990; Subrahmanyam M., 1999; Kuwabata S., 1994].

Ezzel szemben az enzimes szén-dioxid átalakításnak számos előnye van, kedvezőbb előállítási paraméterekkel rendelkezik, magas szelektivitás és hozam értékekkel valamint enyhébb reakciókörülményekkel jellemezhető. Továbbá az előállítás során semmilyen jelentős környezeti hatással nem kell számolni [Aresta M. 1998; Obert R. 1999].

A kémiai szintézis magas anyag és energia befektetésével szemben a biokatalitikus rendszerek bizonyos esetekben előnyösebb (alacsony nyomás és hőmérséklet) környezeti paraméterek mellett érhető el hasonló vagy magasabb szelektivitás.

Obert és Dave 1999-ben javasolt egy új és ígéretes eljárást a szén-dioxid metanollá történő konverziójára [Obert R. 1999], mely szerint a teljes enzimes folyamat három lépésben zajlik (2. ábra)

- A szén-dioxid redukciója formiáttá a formiát dehidrogenáz (FateDH) enzim közreműködésével.
- Ezt követően a formiát redukciója aldehiddé az aldehid dehidrogenáz (AldDH) által
- Majd az aldehid redukciója metanollá az alkohol dehidrogenázzal (ADH)



2. ábra: A metanol szén-dioxidból történő enzímatalitikus konverziójának részlépései, kofaktor felhasználásával

A három reakcióval párhuzamosan 1-1-1 redukált állapotú nikotinamid adenin dinukleotid (NADH), mint terminális elektron donor vesz részt a láncreakcióban. Az említett konszekutív reakcióval Obert és Dave 91,2% metanol hozamot értek el pH 7 értéken és 37 °C fokon [Obert R. 1999]. Obert és Dave ígéretes eredményei jól mutatják az enzímatalitikus reakcióban rejlő lehetőségeket.

Ezt követően a szakirodalomban számos szerző dolgozott ki különböző, a biokatalitikus folyamat teljesítményének fokozására irányuló, elsősorban rögzítési eljárásokat.

Wang és mtsi egy multi-enzímatalitikus kaszkád rendszert alkalmaztak a szén-dioxid metanollá történő konvertálása során. A mikrokapszulákat úgy alakították ki, hogy az egyes enzimeket a kapszulák különböző, héjszerűen kialakított ultra vékony rétegeibe kovalens

kötésekkel rögzítették. Ezek alapján a kapszula legbelső részébe került az formát dehidrogenáz, ezt követte az aldehid dehidrogenáz, majd legkívül az alkohol dehidrogenáz. Az így kialakított rendszerrel kilenc recirkulációs lépést követően is 52,6% metanol hozamot értek el [Wang, X.; 2014]. A biokatalízis előnyeit itt is nyomon lehet követni, de a többrétegű hibrid mikrokapszulák kialakítása a módszert bonyolulttá, és nehezen kivitelezhetővé teszi.

Jiang Z. és mtsi. több lépésben vizsgálták a szén-dioxidból metanol előállítására irányuló, multi enzimkatalitikus immobilizált reakciókat. Az első vizsgálatokat [Jiang Z. 2002] szol-gél rendszerbe rögzített enzimes kísérletek eredményei biztatóak voltak, de a szubsztrát és termék diffúziós korlátai miatt az immobilizált rendszer teljesítménye kevesebbnek bizonyult a szabad enzimmal szemben.

Következő kísérletük során, az előző vizsgálatot tovább fejlesztve, alginát-szilika hibrid gélbe zárt enzimeket tanulmányozták. Ennek köszönhetően a metanol hozam a szabad enzimes rendszerben 98,8%-nak, tiszta alginátba zárt rendszerben 71,3%-nak míg az alginát-szilika hibrid gélbe zárt enzim rendszerben 98,1%-nak adódott. Ezt a jelentős növekedést az immobilizálás során létrehozott, az enzimek részére megfelelő mikrokörnyezet kialakulásával (azaz, a megfelelő hidrofobicitással, ideális diffúzitási jellemzőkkel) magyarázták [Jiang Z. 2006]. Az elvégzett mérések igazolják, az immobilizálás enzimek működésére gyakorolt kedvező hatásait, ugyanakkor az annak hatékonyabbá tételére további kísérletek szükségesek.

Az immobilizálást fejlesztették tovább El-Zahab és mtsi, akik előbb a ko-faktort kovalens kötéssel rögzítették mikroméretű polisztrén részecskékhez, majd a ko-faktor hordozóval megegyező anyagra, de attól különálló részecskékhez rögzítettek a négy dehidrogenáz enzimet (formiát dehidrogenáz, formaldehid dehidrogenáz, alkohol dehidrogenáz és glutamát dehidrogenáz).

Ez a megoldás lehetővé tette a metanol 11 cikluson keresztüli folyamatos termelését további NADH hozzáadása nélkül, s ezzel 127% kumulatív metanol hozamot értek el. Összevetve Obert és Dave [Obert R. 1999] által vizsgált, szabad enzimmal és kofaktorról üzemeltetett rendszerrel, akik így 91,2%-os metanol hozamot értek el ígéretes javulásnak bizonyul [El-Zahab, B.; 2008].

Luo J. és mtsi először rögzítették sikeresen a három dehidrogenáz enzimet (formiát dehidrogenáz, formaldehid dehidrogenáz és alkohol dehidrogenáz) ko- vagy szekventált immobilizálással, egyszerű, az eltömődés elvén működő rögzítéssel („fouling induced”), bármilyen szerves oldószer hozzáadása nélkül. A két kialakítás esetében a vizsgálat időtartama alatt az enzimek megtartották eredeti aktivitásukat. A reakciósorozatban a szűk keresztmetszetnek a második lépés bizonyult (hangyasavból formaldehid lépés, formaldehid

dehidrogenáz enzim). A szekventált immobilizálás a ko-immobilizálttal szemben kedvezőbb feltételek mellett alkalmazható a multi-enzimkatalitikus reakcióknál, ugyanis a szeparált enzimrögzítés lehetővé teszi az egyes részlépések üzemeltetési feltételeinek optimalizálását mind a biokatalitikus reakciók mind az enzimrögzítés folyamata közben [Luo J 2015]. Ezt követően [Luo J, 2013] összehasonlító méréseket végeztek a támasztó réteggel rendelkező membránok, enzim hordozókénti alkalmazására. Megállapították, hogy a „normál módban” (szűrőréteg és támasztóréteg) alkalmazott membránon nagyobb termék fluxust érhető el ugyanakkor, a „fordított módban” (támasztóréteg és szűrőréteg) üzemeltetett rendszer esetében a rögzített enzim mennyisége nagyobbak és stabilabbnak bizonyult. Az irreverzibilis, eltömődésen alapuló rögzítés egyszerűbben, gyorsabban kialakítható a támasztó rétegben, mint a szűrő rétegben, s így, szemben a szabad enzimes reaktorokkal, megnövelhető az alkalmazott alkohol dehidrogenáz enzim újrahasznosítása. Végül megvizsgálták [Luo J, 2014] az enzimrögzítés során alkalmazott pH, nyomás és enzim koncentráció hatását az stabilitására aktivitására. Megállapították, hogy rögzítés során a semleges pH, a magas nyomás és az alacsony enzim koncentráció a legkedvezőbb a megfelelő enzim terhelés és a biokatalitikus stabilitás kialakítására.

Az 1. táblázat összefoglalja a szakirodalomban található elért eredményeket.

1. táblázat: A szén-dioxidból történő metanol előállításának szakirodalmi áttekintése

<i>Forrás</i>	Metanol hozam [%]	Környezeti paraméterigények		Immobilizálás
		pH	Hőmérséklet [°C]	
[Obert R. 1999]	91,2	7	37	N.A.
[Wang, X.; 2014]	52,6 (kilenc recirk. lépéssel követően)	7	37	hibrid mikrokapszulák
[JIANG Z. 2002]	100	7	37	szabad enzimmel
	91,9			szol-gél mátrix
[Jiang Z. 2006]	98,8	7	37	szabad enzimmel
	71,3			alginátba zárt
	98,1			alginát szilika hibrid gél
[El-Zahab, B.; 2008]	127 (kumulatív)	7	szoba hőm.	polisztirol

Számos szerző foglalkozott a metanol enzimkatalitikus előállításával szén-dioxidból különböző környezeti paraméterek változtatásával, és hordozó anyag alkalmazásával. A szakirodalomban található összefoglalók a folyadék fázisban végbemenő reakciók

tanulmányozását publikálják. Azonban nem található olyan tudományos tanulmány, ami a háromlépéses folyamat egészét, vagy részreakcióit külön-külön szemlélteti gáz fázisban. Ezért a jelen kutatási munka egyik célja, egy olyan enzimkatalitikus rendszer kialakítása, amiben a teljes reakciófolyamat vagy részlépései gázfázisba vihetők és tanulmányozhatók.

Irodalomjegyzék

Aksu S, Arends I.W.C.E., Hollmann F. (2009): A new regeneration system for oxidized nicotinamide cofactors, *Adv Synth Catal*, 351:1211-1216. 49.

Aresta M, Quaranta E, Liberio R, Dileo C and Tommasi I (1998): Enzymatic synthesis of 4-OH-benzoic acid from phenol and CO₂: the first example of a biotechnological application of a Carboxylase enzyme, *Tetrahedron*, 54, issue 30, 8841-8846.

Bélafi-Bakó, K., Gubicza, L.: Biocatalysts and Membranes, in Integration of Membrane Processes into Bioconversions, ed. by Bélafi-Bakó, K. et al., Kluwer Academic, London, 2000 pp. 131-140

Bélafiné Bakó K.: Membrános műveletek, Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, 2002

Bélafi-Bakó, K.: Effect of operation conditions on the efficiency of membrane bioreactors, *Desalination* 200 (2006) 511-513

Betancor L, Berne C, Luckarift HR, Spain JC. (2006) : Coimmobilization of a redox enzyme and a cofactor regeneration system, *Chem Commun*, 3640-3642.

Cazelles R, Drone J, Fajula F, Ersen O, Moldovan S, Galarneau A. (2013): Reduction of CO₂ to methanol by a polyenzymatic system encapsulated in phospholipids silica nanocapsules, *New J Chem.*, 37, 3721-3730.

El-Zahab B, Donnelly D, Wang P. (2008): Particle-tethered NADH for production of methanol from CO₂ catalyzed by coimmobilized enzymes, *Biotechnol Bioeng.*, 99(3), 508-14.

Giorno L, Drioli E. (2000): Biocatalytic membrane reactors: applications and perspectives, *Trends Biotechnol.*, 8(8), 339-49.

Giorno L, Drioli E, Carvoli G, Cassano A, Donato L. (2001): Study of an enzyme membrane reactor with immobilized fumarase for production of L-malic acid, *Biotechnol Bioeng.*, 72(1), 77-84.

Hadidi M, Zydney AL, (2014). Fouling behavior of zwitterionic membranes: impact of electrostatic and hydrophobic interactions, *Journal of Membrane Science*, 452, 97–103.

Jiang Z.Y., Wu H., Xu W. S., Huang S. F. (2003): A New Biochemical Way for Conversion of CO₂ to Methanol via Dehydrogenases Encapsulated in SiO₂ Matrix, *Chin. Chem. L.* 14(4), 423 – 425, 2003.

Jiang Z.Y., Xu S.W., Lu Y., Li J., Wu H. (2006): Efficient Conversion of CO₂ to Methanol Catalyzed by Three Dehydrogenases Co-encapsulated in an Alginate-Silica (ALG-SiO₂) Hybrid Gel, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 45, 4567–4573.

Wang X, Li Z, Shi J, Wu H, Jiang Z, Zhang W (2014): Bioinspired approach to multienzyme cascade system construction for efficient carbon dioxide reduction, *ACS Catal.*, 4 (3), 962–

972.

Jochems P., Satyawali Y., Diels L., Dejonghe W.. (2011): Enzyme immobilization on/in polymeric membranes: status, challenges and perspectives in biocatalytic membrane reactors (BMRs). *Green Chem.*,13:1609–23.

Kuwabata S., Nishida K., Tsuda R., Inoue H., Yoneyama H., (1994): Photochemical Reduction of Carbon Dioxide to Methanol Using ZnS Microcrystallite as a Photocatalyst in the Presence of Methanol Dehydrogenase, *J. Electrochem. Soc.* 141(6), 1498-1503.

Lanjekar K., Gharat N., Thakare D. (2011): Green Conversion Technology for Carbon Dioxide Utilization, A Short Review, *Nuicone*, 08-10.

Liu F., Banta S., Chen W. (2013) Functional assembly of a multi-enzyme methanol oxidation cascade on a surface-displayed trifunctional scaffold for enhanced NADH production, *Chem. Commun.*,49, 3766-3768.

Liu W, Wang P. (2007): Cofactor regeneration for sustainable enzymatic biosynthesis, *Biotechnol Adv*, 25:369-384.

Lopez-Gallego F., Betancor L., Sio C.F., Reis C.R., Jimenez P.N., Guisan J.M., Quax W.J., Fernandez-Lafuente R, (2008): Evaluation of different glutaryl hydrolase mutants to improve the cephalosporin C in the absence of hydrogen peroxide, *Adv Synth Catal*, 350:343-348.

Lopez-Gallego F., Schmidt-Dannert C. (2010): Multi-enzymatic synthesis *Current Opinion in Chemical Biology*, 14 :174–183.

Luo J., Meyer A. S., Mateiu R.V., Pinelo M. (2015): Cascade catalysis in membranes with enzyme immobilization for multi-enzymatic conversion of CO₂ to methanol, *New Biotechnology* 32(3):319-27.

Luo J., Meyer A.S., Jonsson G., Pinelo M. (2013): Fouling-induced enzyme immobilization for membrane reactors, *Bioresour Technol*, 147:260-8.

Luo J., Marpani F., Brites R., Frederiksen L., Meyer A.S., Jonsson G. (2014): Directing filtration to optimize enzyme immobilization in reactive membranes, *J. Membr. Sci.*, 459:1–11.

Azuma M., Hashimoto K., Hiromoto M. (1990): Electrochemical Reduction of Carbon Dioxide on Various Metal Electrodes in Low-Temperature Aqueous KHCO₃ Media, *J. Electrochem. Soc.* 137: 1772.

Mansson M.O., Siegbahn N., Mosbach K. (1983): Site-to-site directed immobilization of enzymes with bis-NAD analogues, *Proc Natl Acad Sci USA*, 80:1487-1491.

Bakul C.D., Obert R. (1999): Enzymatic Conversion of Carbon Dioxide to Methanol: Enhanced Methanol Production in Silica Sol-Gel Matrices, *J. Am. Chem. Soc.*, 121:12192.

Pival S.L., Klimacek M., Nidetzky B. (2008): Novel chemo-enzymatic mimic of hydrogen peroxide-forming NAD(P)H oxidase for efficient regeneration of NAD⁽⁺⁾ and NADP⁽⁺⁾, *Adv. Synth. Catal.* 350:2305-2312.

Resnick S.M., Zehnder A.J.B. (2000): In vitro ATP regeneration from polyphosphate and AMP by polyphosphate:AMP phosphotransferase and adenylate kinase from *Acinetobacter johnsonii* 210A, *Appl Environ Microbiol*, 66:2045-2051.

Park S.W., Joo O.S., Jung K.D., Kim H., Han S.H. (2001): Development of ZnO/Al₂O₃ catalyst for reverse-water-gas-shift reaction of CAMERE (carbon dioxide hydrogenation to

form methanol via a reverse-water-gas-shift reaction) process, *Appl. Catal. A: Gen.*, 211(1): 81-90.

Sassolas A., Blum L.J., Leca-Bouvier B.D. (2012): Immobilization strategies to develop enzymatic biosensors, *Biotechnol Adv*, 30:489–511.

Scouten, W. H. (1987) A Survey of Enzyme Coupling Techniques. In: Methods in Enzymology, volume 135, (Mosbach, K., ed.), *Academic Press*, London, pp. 30–65.

Sheldon R.A. (2007): Enzyme immobilization: the quest for optimum performance, *Adv Synth Catal.*, 349:1289-1307.

Subrahmanyam M., Kaneco S., Alonso-Vante N. (1999): A screening for the photo reduction of carbon dioxide supported on metal oxide catalysts for C1–C3 selectivity, *Appl. Catal. B: Environ.* 23, Issue 2-3, 169–174.

Trivedi A., Heinemann M., Spieß A.C., Daußmann T., Büchs J. (2005): Optimization of adsorptive immobilization of alcohol dehydrogenase, *J Biosci Bioeng.*, 99:340– 347.

Wu H., Jiang Z., Xu S., Huang S. (2002): Enzymatic Conversion of Carbon dioxide to Methanol by Dehydrogenases encapsulated in Sol-gel Matrix, *Fuel Chemistry Division Preprints*, 47(1), 306.

Zhao F., Li H., Jiang Y., Wang X., Mu X. (2014): Co-immobilization of multi-enzyme on control-reduced graphene oxide by non-covalent bonds: an artificial biocatalytic system for the one-pot production of gluconic acid from starch, *Green Chem.*, 16, 2558-2565.

Rövidített jegyzőkönyv

Magyar Kémikusok Egyesülete Membrántechnikai Szakosztály tisztújító közgyűléséről

A BCE Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszékén 2015. április 30-án megtartott közgyűlésen az első napirendi pontként Dr. Vatai Gyula, a MKE Membrántechnikai Szakosztályának elnöke röviden összefoglalta az elmúlt négy év működésének eredményeit: az éves szakosztályi üléseket, a szakosztály részvételét a Műszaki Kémiai Napok membrános szekciójának szervezésében, a fiatalok részvételének támogatását a Membrános Nyári Egyetemen, illetve a tagság aktív tevékenységét a Varsóban 2013-ban megrendezett PERMEA nemzetközi konferencia szervezésében.

A 2. napirendi pontnak megfelelően az előző, 2011-2015 ciklus tisztségviselői, az elnök és elnökség tagjai írásban mondtak le tisztségükről. Így a szabályos jelölést illetve szavazást követően a jelenlevők megválasztották az új elnökséget:

Dr. Vatai Gyula, elnök; Bélafiné Dr. Bakó Katalin, Békássyné Dr. Molnár Erika,
Dr. Hodúr Cecília és Dr. Mizsey Péter, elnökségi tagok.

Dr. Vatai Gyula elnök a Szakosztály titkári teendőnek ellátására Rácz Gábort a Soós WRC tudományos munkatársát kérte fel, valamint kommunikációs referens tisztségre javasolta Dr. Cséfalvay Editet.

Végül a 3. napirendi pont szerint az MKE Membrántechnikai Szakosztály küldöttjének Dr. Vatai Gyulát választotta meg az MKE 2015. május 15-i tisztújító közgyűlésére.

Budapest, 2015. április 30.

Albert Krisztina
Jegyzőkönyvvezető

PÁLYÁZATI FELHÍVÁS

A Magyar Kémikusok Egyesülete Membrántechnikai Szakosztálya pályázatot hirdet a **2016. május 15–19. között, Prágában** megrendezésre kerülő „**PERMEA 2016 – Membrane Science and Technology Conference**” konferencián való részvétel támogatására. Pályázatot nyújthat be minden, az angol nyelvet legalább középfokon beszélő fiatal szakember (egyetemi vagy Ph.D. hallgató, fiatal kutató), akinek további tanulmányaihoz elengedhetetlenül fontos a membrántechnológia mélyebb ismerete.

A pályázat tartalmazza:

- a pályázó adatait (név, lakcím, szül. hely, idő, végzettség, nyelvismeret, munkahelyi cím, telefon, fax, e-mail cím)
- rövid (max. 10 sor) indoklást, hogy miért szeretne részt venni a rendezvényen
- reális költségvetést a várható kiadásokról s egyéb forrásokról
- szakmai önéletrajzot, különös tekintettel a "membrános" kapcsolatokra
- publikációs listát

A pályázatokat elektronikus úton kérjük benyújtani Dr. Vatai Gyula Szakosztályi elnök, és Rácz Gábor Ph.D. Szakosztályi titkár részére a következő e-mail címekre: vatai.gyula@etk.szie.hu; racz.g@sooswrc.hu.

Benyújtási határidő: 2016. február 20.

A jelentkezők vagy 450 Euro, vagy 100.000 Ft értékig kérhetnek támogatást utazásra, szállásra, és részvételi díjra. A rendelkezésre álló keretből 8-10 fő támogatására biztosít lehetőséget a Szakosztály. A támogatást a nyertesek munkahelyére fogjuk átutalni. A szakosztály fenntartja magának a jogot, hogy nem megfelelő szintű pályázatok esetén a támogatást visszatartsa. A pályázat eredményét az újság következő számában tesszük közzé.

A nyerteseket 2016. február 29-ig értesítjük. A pályázat nyertesei vállalják, hogy nevüket nyilvánosságra hozzuk, s a Nyári Egyetemről beszámolót készítenek, melyet lapunk megjelentet. A támogatás felhasználásáról a rendezvényt követően költségelszámolást (számlákat) kérünk.

150 éve született Zsigmondy Richárd Adolf (1865-1929)

Zsigmondy Richárd 150 éve, 1865. április 1-jén született. A magyar származású Nobel-díjas kémikus a kolloidkémia egyik megalapítója, de a nevéhez fűződik az ultramikroszkóp, a membrán- és az ultraszűrők feltalálása és kifejlesztése. Bécsben, Münchenben, Berlinben tanult, majd Grazban habilitált. 1908-ban lett a göttingeni egyetem tanára, ahol aztán haláláig volt a szerves kémia professzora és a kémiai intézet igazgatója.

1898-ban dolgozta ki a kolloidoldatok előállításának és szűrésének technológiáját. 1903-ban Henri Siedentopf német fizikussal megalkotta, majd 1911-ben továbbfejlesztette az ultramikroszkópot, mely a kolloidok vizsgálatához nyújtott nagy segítséget. 1918-ban feltalálta a membránszűrőt, majd 1922-ben az ultraszűrőt, melyen baktérium nagyságú részecskéket lehetett elválasztani egymástól. Tudományos eredményeinek elismeréseként 1924-ben a bécsi Akadémia tagjai sorába választotta, 1925-ben pedig megkapta a kémiai Nobel-díjat „a kolloidoldatok heterogén természetének magyarázatáért és a kutatásai során alkalmazott módszerekért, amelyek alapvetőkké váltak a modern kolloidkémiaiban”. Zsigmondy Richárd nevét az utókor számára a tudomány egy Holdon lévő kráter (É 59° K 116°) elnevezésével örökítette meg.

KÖZELGŐ KONFERENCIÁK, KURZUSOK

International Conference On Nanotechnology Based Innovative Applications For The Environment, NINE

2016. március 20-23., Róma, Olaszország

<http://www.aidic.it/nine/>

12th World Filtration Congress, WFC 12

2016. április 11-15., Taipei, Taiwan

www.wfc12.tw

Membranes in Bioprocessing, MemBio

2016. május 8-10., Bologna, Olaszország

<https://eventi.unibo.it/membranes-in-bioprocessing>

Membrane Science and Technology Conference of Visegrad Countries, PERMEA 2016

2016. május 18-21., Prága, Csehország

<http://www.melpro.cz>

Hochschulkurs Membranprozesse, HSK

2016. május 30 – június 1., Aachen, Németország

<http://www.avt.rwth-aachen.de/HSK/>

ICHEME - Emerging and Hybrid Membrane Technology

2016. június 10., London, Egyesült Királyság

<http://www.icheme.org/communities/special-interest-groups/fluid%20separations/events/2016.aspx>

11th Scientific Conference on Membranes and Membrane Processes in Environmental Protection, MEMPEP 2016

2016. június 15-18., Zakopane, Lengyelország

http://rie4.ise.polsl.pl/konfer/konfer16/index_en.php

Advanced Membrane Technology VII

2016. szeptember 11-16, Cork, Írország

<http://www.engconf.org/conferences/chemical-engineering/advanced-membrane-technology-vii/>

16th Aachener Membran Kolloquium

2016. november 2-3, Aachen, Németország

<https://conferences.avt.rwth-aachen.de/AMK2016/>

9th International Membrane Science and Technology Conference, IMSTEC

2016. december 5-8., Adelaide, Ausztrália

<http://www.imstec.com.au/>

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.