

MEMBRÁN-

TECHNIKA

IPARI

BIOTECHNOLÓGIA



VIII. évfolyam 4. szám

2017. december

TARTALOM

oldal

Takács P., Koók L., Bakonyi P., Nemestóthy N.: Mikrobiális elektrohidrogenezis cella vizsgálata.....	54
MASZESZ Membrántechnológiai Szakmai Nap.....	62
Közelgő membrános konferenciák, kurzusok.....	67

Mikrobiális elektrohidrogenesis cella vizsgálata

Takács Piroska*, Koók László, Bakonyi Péter, Nemestóthy Nándor

Pannon, Egyetem, Biomérnöki, Membrántechnológiai és Energetikai Kutatóintézet,
Veszprém, Egyetem u. 10.

tpiroska94@gmail.com

BEVEZETÉS

Az utóbbi évtizedekben zajló intenzív kutatásoknak köszönhetően számos típusa létezik a bio-elektrokémiai rendszereknek, melyek felhasználási körüket tekintve igen sokfélék lehetnek. A mikroorganizmusok által leadott töltések közvetlenül elektromos energiaként is hasznosíthatók, megvalósítható velük bio-elektroszintézis vagy elektrofermentáció, illetve különböző szennyező komponensek lebontása remediációs cellákban [1]. Jelen publikáció témája a mikrobiális elektrohidrogenesis cella, mely rendszer biohidrogén előállítására alkalmas.

A hidrogén számos előnyös tulajdonsággal rendelkezik, éppen ezért régóta használják különböző élelmiszeripari és vegyipari műveletek - pl. kőolaj-finomítás, ammóniagyártás - során, továbbá energetikai célú felhasználása is egyre elterjedtebb. Előállítása azonban jelenleg elsősorban fosszilis tüzelőanyagokból hagyományos katalitikus eljárással történik, ami jelentős károsanyag-kibocsátással jár. A széles körű elterjedéshez éppen ezért - az infrastruktúra fejlesztése mellett - szükséges a környezetbarát előállítási módok előtérbe helyezése.

A mikrobiális üzemanyagcellák (MÜC) olyan elektrokémiai rendszerek, melyek az exoelektrogén mikroorganizmusok által lebontott szubsztrátból származó elektronokat közvetlenül elektromos áram termelésére fordítják. Ennek egy speciális típusa a mikrobiális elektrohidrogenesis cella vagy más néven mikrobiális elektrolízis cella (MEC), melyet szennyvíz alapú biohidrogén-termelés céljából fejlesztettek ki [2].

A rendszer működésének alapja, hogy az anódon anaerob körülmények között biofilm alakul ki az exoelektrogén mikroorganizmusokból, melyek a szubsztrát lebontását végzik. Az általuk leadott elektronok az anódról a két elektródot összekötő külső elektromos vezetón áthaladva a katódra kerülnek. Az anaerob katódtérben az elektronok a membránon áthaladt hidrogénionokkal hidrogéngázzá alakulnak. A külső áramkör egy segéd energiaforrást tartalmaz, mivel az anód és a katód között kialakuló elektromos potenciálkülönbség nem

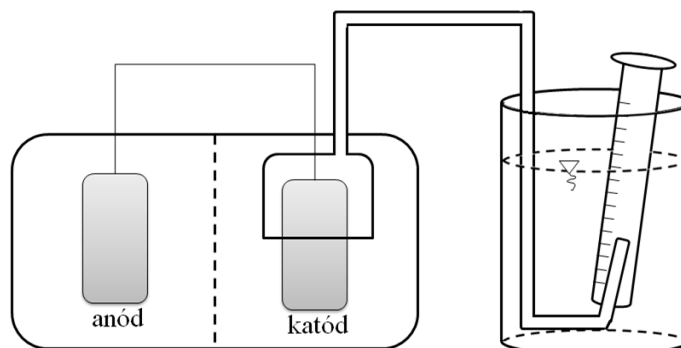
elegendő az elektronok spontán áramlásához és a hidrogénleválás megindulásához. A külső áramforrás megnöveli a potenciálkülönbséget és lehetővé teszi a gázképződést. Bár a folyamat energiabefektetést igényel, a szükséges feszültség jóval alacsonyabb, mint a víz elektrolízisével történő hidrogéntermelésnél [3].

ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

A kísérletek során alkalmazott kétkamrás elektrohidrogenézis cella polipropilénből készült, mindkét félcella térfogata 160 cm^3 volt. A csavarokkal rögzített fedlapokon az anódtér és a katódtér felett három-három kör alakú nyílás található, ez a kialakítás lehetővé tette az elektródok és a gázgyűjtő viszonylag egyszerű behelyezését, illetve a szubsztrát-betáplálást.

A kamrákat 5 cm átmérőjű protonszelektív Nafion N115 membrán választotta el. Anódként 65 cm^2 látszólagos területű szénfilcet, katódként pedig 20 cm^2 területű nikkelhabot alkalmaztunk; az elektromos kivezetést az elektródhoz erősített titánszál biztosította. A szakirodalom szerint nagy fajlagos felületének köszönhetően nikkelhab katód alkalmazásával magas áramsűrűség-értékek, ezzel összefüggésben pedig megfelelő mértékű gázképződés érhető el [4].

A katódtérben egyedileg tervezett, politejsavból 3D nyomtatóval készített gázgyűjtő helyezkedett el, melybe alulról helyeztük be a katódot, a felső részén található, cső alakú kivezetéséhez pedig tygon csövet erősítettünk - ezen keresztül távozott a katódon képződő hidrogén. A tygon cső másik végét szájával lefelé fordított mérőhengerbe vezettük, ami vízzel feltöltött főzőpohárban állt. A keletkezett hidrogén kiszorította a vizet a mérőhengerből, így a gázképződés mértéke könnyen megállapítható volt a meniszkusz leolvasásával, a vízzár pedig megakadályozta a hidrogén távozását, illetve az oxigén bejutását a katódtérbe. A gázgyűjtő rendszer felépítése az 1. ábrán látható.



1. ábra: Hidrogéngyűjtő rendszer

A BAKONYKARSZT Víz- és Csatornamű Zrt. veszprémi szennyvíztisztító telepéről származó mezofil, anaerob iszap mikrobakonzorciuma szolgált inokulumként. Szubsztrátként 5 mM koncentrációjú nátrium-acetát-oldatot alkalmaztunk, a szakaszos betáplálások során 2 ml oldatot fecskendeztünk az anódtérbe, mely 0,1 M koncentrációjú kálium-klorid oldattal volt feltöltve. A rendszert a mezofil baktériumoknak optimális hőmérsékleten, 37°C-on termosztáltuk.

A bio-elektrokémiai folyamatok nyomon követéséhez és jellemzéséhez potenciosztátot, illetve egy adatgyűjtő rendszert használtunk. A kronoamperometriás mérések során a potenciosztát az anódtérben elhelyezett Ag/AgCl referenciaelektród és az anód (munkaelektród) között állandó, 0,5 V nagyságú potenciálkülönbséget tartott fenn, ahol a katód szolgált segédelektrodként. A potenciosztáttal nyomon követhető az anód és a katód között kialakuló áramerősség. Az adatgyűjtő pedig az anód és a katód, illetve a referenciaelektród és a katód közötti feszültségértékeket mérte, percenként egy átlagértéket számítva.

A mért adatokból különböző energetikai mutatók számolhatók, melyekkel a vizsgált rendszerek jellemezhetőek. A számításokat a vonatkozó szakirodalomban [5] leírtak szerint végeztük el.

EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

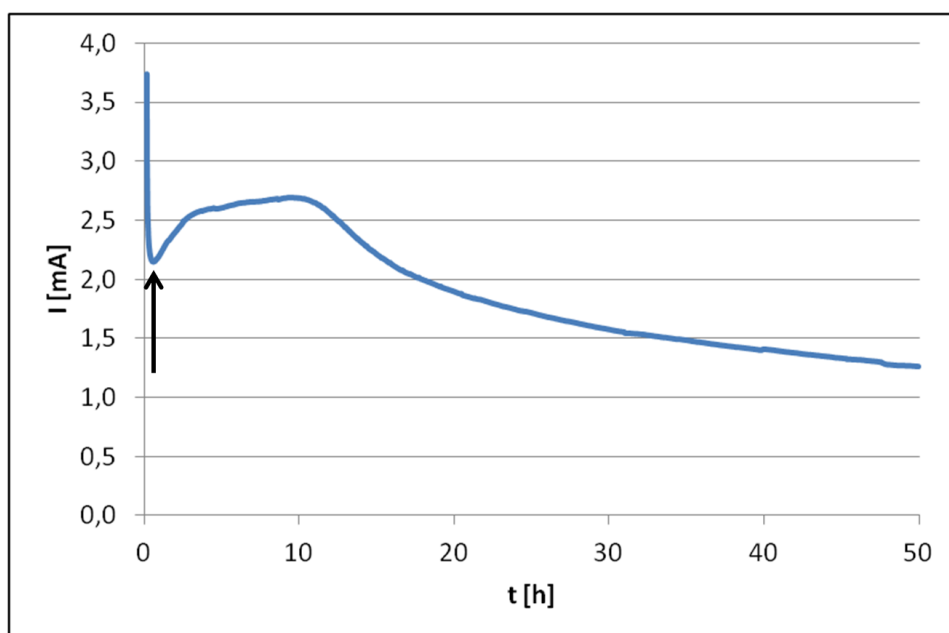
A feszültség alakulása a rendszer üzemeltetése során

Az adatgyűjtő által rögzített adatok alapján megállapítható, hogy a kiindulási feszültség a referencia-elektród és a katód között 130 mV, az anód és a katód között pedig -360 mV nagyságú volt. Az indítást követő három nap során jelentősen csökkentek a feszültségértékek, összesen közel 1V-tal a kiindulási értékhez viszonyítva. Az elkövetkező négy-öt nap alatt összesen mintegy 200 mV további csökkenés tapasztalható. A rendszerben az indítástól számított kilencedik napra kialakult egy stabilnak mondható feszültségérték mind az anód és a katód, mind pedig a referenciaelektród és a katód vonatkozásában - ezek értéke rendre -1,5 V és -1,0 V. Ezt követően számottevő változást nem történt.

Egy méréssorozat áram- illetve hidrogéntermelési eredménye

A kronoamperometriás mérések során a potenciosztát mérte az anód és a katód között kialakuló áramerősséget. A 2. ábrán látható az egyik méréssorozat eredménye, amelynek folyamata a feszültséggörbék stabil szakaszán belüli négy napra terjedt ki. (A készüléken maximálisan 27 órás mérést lehet beállítani, így a mérést naponta újraindítottuk, a kapott

adatokat pedig egy folyamatos mérésenként kezeltük.) A továbbiakban az ehhez a kísérlethez tartozó áramerősség-adatok, illetve a hidrogénképződés eredménye kerül bemutatásra.



2. ábra: Áramtermelési profil

A mérés indításakor az anód és a referenciaelektród közötti feszültséget ugrásszerűen 0,5V-ra állítja a potenciosztát, ami az elektródfolyamatok elindulását, ezzel egyidejűleg pedig az áramerősség-profilban csúcserőértéket eredményez, ezzel magyarázható az ábrán látható magas kiindulási érték. Az áramerősség - amennyiben a rendszerbe beavatkozás nem történik - a kezdeti csúcst követően folyamatosan csökken, a $t^{1/2}$ függvény szerint [6]. Az ábrán nyíllal jelölt pontban azonban szubsztrát-betáplálás történt, ami megnövekedett exoelektrogén aktivitást eredményezett, így az áramerősség közel három órán keresztül jelentősen növekedett, mintegy 0,16 mA óránkénti sebességgel. Ezt hét órán át tartó plató szakasz követte, ahol csak minimális – összesen 0,1 mA/h mértékű – növekedés tapasztalható. A tizenegyedik órától a szubsztrát lebontásából származó elektronok mennyisége jelentősen lecsökkent; a továbbiakban az áramerősség alakulása hozzávetőlegesen az irodalom alapján várható $t^{1/2}$ függvény szerinti csökkenéssel jellemezhető.

A bemutatott áramerősség-függvényt az idő szerint integrálva megkapjuk az áramkörön a mérés időtartama alatt összesen áthaladt töltés mennyiségét. A számításnál a szubsztrát-betáplálás időpontját választva kezdőpontként, a kapott töltésmennyiség megfeleltethető a nátrium-acetát lebontásából származó töltésmennyiségnek (lásd 3.2. táblázat). Ezt az értéket a keletkezett hidrogén mennyiségével, a felhasznált nátrium-acetát kémiai-oxigénigényével, illetve a két anyag energiatartalmával (égéshőjével) összevetve számíthatók ki a továbbiakban ismertetett mutatók.

3.1. táblázat: *Égéshő és KOI-értékek*

$\Delta H(H_2)$ [kJ/mol]	$\Delta H(\text{acetát})$ [kJ/mol]	KOI [g O ₂ / g nátrium-acetát]	ΔKOI
-285,8	-874,3	1,3659	0,0874

A 3.1. táblázat tartalmazza a számításokhoz szükséges alapadatokat: a hidrogén és az acetát égéshőjét [7], valamint a nátrium-acetát kémiai oxigénigényét. A szubsztrát-betáplálás során 0,064 g nátrium-acetátot tartalmazó oldat került az anódtérbe, így a lebontott szubsztrátnak megfelelő kémiai oxigénigény-változás (ΔKOI) kiszámítható a bevitt nátrium-acetát tömegének és fajlagos KOI-értékének szorzataként.

3.2. táblázat: *A keletkező töltések és hidrogén mennyisége*

Q [C]	$n(H_2, \text{ek.})$ [mmol]	$n(H_2, \text{elm.})$ [mmol]	$n(H_2, \text{mért})$ [mmol]
521,9	2,704	2,732	0,534

Az áramkörön áthaladt töltésmennyiség ismeretében az $n(H_2, \text{ek.})$, a ΔKOI alapján pedig az $n(H_2, \text{elm.})$ értéke kiszámítható. A kapott értékeket a mért hidrogéngáz mennyiségével összevetve kapjuk meg az 3.3. táblázatban látható paramétereket százalékos formában.

3.3. táblázat: *A hidrogéntermelés hatékonyságát jellemző paraméterek*

C_E [%]	$r(H_2)$ [%]	Y [%]
98,99	19,75	19,55

Amint az a 3.2. táblázat adataiból is látható, az áramkörön áthaladt töltések számából, illetve a lebontott szubsztrát mennyiségéből számított maximálisan előállítható hidrogén mennyisége közel azonos. Ebből kifolyólag a coulombikus hatásfok értéke alig marad el a 100%-tól, ami egy vonatkozó szakirodalmi példával összevetve (30%) kiemelkedő értéknek számít [8], bár láthatunk példát az itt elérthez hasonló - 92%-os - eredményre is [9]. A gázgyűjtő rendszerrel mért hidrogén mennyisége azonban a számított értékeknek körülbelül az ötöde, így a hidrogénkinyerési arány és a hozam is mindössze 20% közeli érték. Jóllehet ezek az eredmények egyes irodalmi adatoktól nem sokban térnek el (pl. Wenzong és mtsai. [8] 20%-os hozamot értek el hasonló rendszerben), ugyanakkor számos publikációban találkozhatunk ennél magasabb, 50-93 % közötti értékekkel (a berendezés konstrukciójától, kísérleti körülményektől függően változnak az eredmények) [5]. A viszonylag alacsony hidrogénkinyerési arány és hozam elsődlegesen a gázgyűjtő rendszer hiányosságaira vezethető vissza; a hidrogén szivárgása miatt a mért és a ténylegesen keletkező gázmennyiség eltérhet egymástól. Emellett veszteségek léphetnek fel a hidrogén keletkezésekor is, mivel az

áramkörbe kerülő elektronok egy része gázképződés helyett egyéb folyamatokban is részt vehet.

A kísérlet teljes időtartamára vonatkozó átlagos hidrogénképződési sebesség:

$$Q = \frac{12 \text{ cm}^3 \text{ H}_2}{160 \text{ cm}^3 \cdot 4 \text{ nap}} = 0,019 \frac{\text{m}^3 \text{ H}_2}{\text{m}^3 \text{ nap}}$$

Rozendal és mtsai. [9] az itt bemutatotthoz hasonló rendszerben, 0,5 V feszültséget alkalmazva nátrium-acetát szubsztrát esetén $0,02 \text{ m}^3 \text{ H}_2 / (\text{m}^3 \times \text{nap})$ gázképződési sebességről számoltak be. A mérés során általunk elért eredmény tehát a szakirodalommal összevetve kielégítőnek mondható, mindazonáltal a mért és az elméletileg kinyerhető hidrogén mennyiségének aránya arra enged következtetni, hogy a hidrogén termelésének sebessége is növelhető a konstrukció, illetve az üzemeltetés terén végzett fejlesztések révén.

A 3.4 táblázat adatai információval szolgálnak arról, hogy a különböző forrásokból származó energia-befektetéshez képest mekkora energiatartalommal rendelkező terméket sikerült előállítani.

3.4. táblázat: *Energiahatékonysági mutatók*

W(H₂) [J]	W(acetát) [J]	W_E [J]	η_E [%]	η_S [%]	η_{E+S} [%]
-152,6	-682,4	261,0	58,49	22,37	16,18

Mind az elektromos energiához, mind pedig a betáplált szubsztráthoz viszonyított hatásfok elmarad a publikációkban általánosan megfigyelhető értékektől: η_E a gyakorlatban jellemzően 100% és 400% közötti (elméletben akár 900% is lehet), míg η_S és η_{E+S} esetében az elméleti maximum rendre 131% és 117% a hidrogéngáznak az acetátnál magasabb égéshőjét alapul véve [5]. (Fontos megjegyezni azonban, hogy a gyakorlatban még nem sikerült 100% feletti η_S és η_{E+S} értéket elérni.) Ugyanakkor érdemes megvizsgálni, hogy az energia-befektetés hány százalékát jelenti a potenciosztát által biztosított többletfeszültség, és hány százalékát a szubsztrát oxidációjával nyert energia.

$$e_E = 27,66 \% \quad e_S = 72,34 \%$$

A fenti két mutatóból kiderül, hogy a hidrogén előállításához szükséges energia-befektetésnek kevesebb, mint egyharmadát teszi ki a többletfeszültség biztosítása, a fennmaradó 72%-ot pedig a szubsztrát oxidációja biztosítja. (Ez az arány megfelel a szakirodalomban foglaltaknak [5]). Energiahatékonysági és környezetvédelmi szempontokat is figyelembe véve ez az eredmény a jövőbeli alkalmazásokat tekintve biztató, hiszen a cél az, hogy minél kevesebb energia-befektetéssel állítsunk elő környezetbarát üzemanyagot. A szubsztrát az általunk végzett kísérletek során nátrium-acetát volt, számos példát láthatunk

azonban fermentációs melléktermékek, illetve különböző ipari és kommunális szennyvizek szubsztrátként való alkalmazására. Ez esetben nem kell a mikroorganizmusok számára megfelelő tápanyagot előállítani, valamint a szennyvíz kémiai oxigénigénye is csökken a hidrogén-előállítással egyidejűleg.

ÖSSZEFOGLALÁS

A mikrobiális elektrohidrogenezis cellával kapcsolatosan végzett kutatás a hidrogéntermelés hatékonyabbá tételére irányult. Az elmúlt évtized publikációival összevetve elmondható, hogy a vizsgált paraméterek egy része - hidrogénképződési sebesség, energiaforrások aránya - az irodalmi adatokhoz hasonló, illetve a coulombikus hatásfok esetében kiemelkedőnek mondható, ugyanakkor több tekintetben elmarad a korábbi tudományos kutatások eredményeihez képest. Ennek oka elsődlegesen a hidrogéngyűjtő rendszer hiányosságaira vezethető vissza, valamint egyéb veszteségek is felléphettek az elektrokémiai folyamatok során.

Köszönetnyilvánítás

A kutatómunkát a GINOP-2.3.2-15-2016-00016 nyilvántartási számú, „Vízbázis-védelem, moduláris, mobil vízkezelő rendszerek és szennyvízkezelő technológiák fejlesztése a Pannon Egyetem bázisán hazánk dinamikus export növekedésének elősegítése érdekében” című projekt és az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-1 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programja támogatta. A szerzők köszönettel tartoznak a NKFIH PD 115640 (OTKA) nyilvántartási számú pályázatnak, valamint az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíjnak.



Irodalomjegyzék

- [1] Heming Wang, Zhiyong Jason Ren: A comprehensiv review of microbial electrochemical systems as a platform technology, *Biotechnology Advances* 31, 1796-1807, 2013
- [2] Borza Beáta: *Mikrobiális elektrohidrogenezis cellák vizsgálata*, Diplomadolgozat, Pannon Egyetem, Biomérnöki, Membrántechnológiai és Energetikai Kutató Intézet, 2015

- [3] Kalauz-Simon Veronika, Bakonyi Péter: *Membrános elektrolízis cellák*; Mikrobiális üzemanyagcellák, (szerk: Bélafiné Bakó K.) Pannon Egyetemi Kiadó, Veszprém, 2016, (ISBN:978-963-396-091-2)
- [4] Adriaan W. Jeremiasse, Hubertus V.M. Hamelers, Michel Saakes, Cees J.N. Buisman: *Ni foam cathode enables high volumetric H₂ production in a microbial electrolysis cell*, International Journal of Hydrogen Energy 35, 12716-12723, 2010
- [5] Bruce E. Logan, Douglas Call, Shaoan Cheng, Hubertus V.M. Hamelers, Tom H.J.A. Sleutels, Adriaan W. Jeremiasse, René A. Rozendal: *Microbial Electrolysis Cells for High Yield Hydrogen Gas Production from Organic Matter*, Environmental Science & Technology (23), 2008
- [6] Inzelt György: *Az elektrokémia korszerű elmélete és módszerei*, Nemzeti Tankönyvkiadó Rt., Budapest, 1999
- [7] David R. Lide: *Handbook of Chemistry and Physics*, CRC Press, 1995 (ISBN: 9780849304767)
- [8] Wenzong Liu, Aijie Wang, Dan Sun, Nanqi Ren, Yunqing Zhang, Jizhong Zhou: Characterization of microbial communities during anode biofilm reformation in a two-chambered microbial electrolysis cell (MEC), Journal of Biotechnology 157, 628-632, 2012
- [9] René A. Rozendal, Hubertus V.M. Hamelers, Gerrit J.W. Euverink, Sybrand J. Metz, Cees J.N. Buisman: *Principle and perspectives of hydrogen production through biocatalyzed electrolysis*, International Journal of Hydrogen Energy 31, 1632-1640, 2006

Beszámoló a MEMBRÁNTECHNOLÓGIAI SZAKMAI NAPról

2017. november 9., Budapest, Lurdy Ház

A MASZESZ Főtitkára, Sinkó Attila köszöntőjét követően Dr. Meilcz Zoltán levezető elnök, elnökségi tag köszöntötte a publikumot.



1. ábra: A Membrántechnológiai Szakmai Nap hallgatósága

Az első előadó, a VTK Innosystem Kft.-től „A 21. század technológiai kihívásai a szennyvíztisztításban” címmel tartott prezentációt. Véleménye szerint nem javul, hanem romlik az ökológiai állapot, pedig sok EU-s pénzt költünk el. A pontszerű források kibocsátásait folyamatosan szigorítják, ugyanakkor a korszerű technológiai kialakítást is elvárják a szennyezések csökkentése érdekében. „Bár mindenki jófiú, mégis romlik az állapot.” Hangsúlyozta továbbá az EDS (EDC-nek is nevezett) hormonháztartást megzavaró anyagok problematikáit, melyek a szennyvíztisztító telepeknek is komoly gondot jelentenek. Kitért ugyanakkor arra is, hogy a szennyvíztisztítás melléktermékéből, a szennyvíziszapból fémeket lehet kinyerni (pl.: BHM oldatba vitellel), így ezt kellene jobban fejleszteni. A második előadó a GE Water Kft.-től érkezett, ami régen Zenon Europe Kft. volt, ma pedig, mint megtudtuk (2017. okt. 01-től) Suez Water & Process and Technologies Hungary Kft (továbbiakban Suez Kft.). Előadásának címe: „Egy új út az energia-semleges szennyvíztisztításhoz.” Véleménye szerint az új szennyvíztisztítási irányok mellett energiát kell kinyerni a szennyvízből. A biológiai tisztítás optimalizálása szükséges, hiszen „2% a világ összes energia fogyasztásának az eleveniszapos biológiai szennyvíztisztítási fokozatoknál megy el”, amiből jól látható, hogy a biológiai tisztítás a legnagyobb energia felhasználó a

szennyvíztisztításon belül is. A legújabb MABR (Membrane Aerated Biofilm Reactor) technológia, levegőztetés nélkül, korábban csak laborban működött! A szennyvízbe lótatott membránokon keresztül levegőt fújnak bele. A levegőből csak az oxigén jut át a membránon és a külső részén biofilm képződik. Kiderült, hogy a Suez Kft. legújabb fejlesztése a ZeeLung nevű termék, ami az MBR-hez (Membrane Bioreactor) nagyon hasonló megjelenésű. Fő előnye, hogy a nitrifikáció hőmérséklet-független lesz, bár ebben az előadást követően a kérdéseknél többen is erősen kételkedtek. Előadó válasza: tény, hogy +5°C-ig kimérték Chicagóban, s 2 éven/télen keresztül üzemeltetve jól működött. További előnye az MABR technikának, hogy a rövidebb tartózkodási idő miatt kisebb rendszerek is elegendőek. Rendkívül kompaktnak, és a kiegészítő eljárásaként a már meglévő technológiába illeszthetőek. A mechanikai stabilitás biztosítása érdekében a membránokat kívülről rögzítő fonalakkal veszik körbe. A membránokon keresztüli oxigén transzfer négyszerese is lehet a MBR rendszerekhez képest. 15%-kal kisebb beruházási költség (CAPEX) és 25%-kal kisebb üzemeltetési költség (OPEX) mellett a berendezés lábnyoma (footprint) is 25%-kal kisebb. Minél nagyobb a technológia, annál olcsóbb fajlagosan az egész rendszer! A következő előadó ugyancsak a Suez Kft.-től érkezett: „Az ultraszűrés jelenlegi szerepe a víztisztításban” címmel. Előadásából megtudtuk, hogy az ultraszűrésre (UF) vonatkoztatva kb. 60 éves a membrán ipar, de az első UF telep alig 20 éve működik. Eleinte a membránok ára magas volt (kb. 20 millió dollár/év forgalommal), de 60 év alatt ez 90%-kal csökkent. Élettartamuk átlagosan 10 év, de az a tapasztalat, hogy ha jól van működtetve, akkor akár 20 év is lehet. Jelenleg van egy 17 éve működő UF víztisztító telep. A membrán élettartamát minimumra 3-5 évvel szoktak tervezni. UF előnyök: kihozatal magasabb (92-97%), mint a hagyományos eljárásoknál (85-90%); stabilan tartja a vízminőséget még eltömődéskor is, amikor max. a nyomás ugrik fel. Férgemet/baktériumokat/Pseudomonast is igen nagy százalékban eltávolítja, sőt a vírusokat is, amit sokszor nem is tudnak 100%-osan a hagyományos technológiáknál; a meglévő rendszerek könnyen bővíthetők vele; a hagyományos vízkezelésnél szükséges koagulációra és/vagy flokkulációra, itt az UF-nél nincs szükség, mert mikroflokkulumokat hozunk csak létre, azaz nincs szükség előzetes ülepitésre; kisebb helyigény, ami akár harmada is lehet a hagyományosnak. Az előadás említette azonban az ultraszűrés hátrányait is: kvalifikáltabb személyzet szükségessége, mivel a működtetés speciális tudást igényel; kb. 500 mikronos előkezelés szükséges; tisztításhoz vegyszerek kellenek, ami leggyakrabban hipó (NaOCl) és citromsav (C₆H₈O₇); beruházási költség magasabb lehet a hagyományos eljárásokhoz képest. Ipari ultraszűrő membránokat használó üzemekre példák: 1. Monori Vízmű, ahol a flokkulálás után egyből UF, azaz ülepitő nem kell, de opcionális; 2.

Balatonöszödi Vízmű, ahol csak nyáron működtetik a membrános UF részt, BOPAC használata mellett. Itt van egy másik technológia is, a DEVIG, ami aktív szénnel van működtetve, de 30%-kal rosszabb KOI visszatartásra, mint a membrános technológiáé.

3. Tuzlai Vízmű, Bosznia-Hercegovina, ahol az EU-s 5 mg/L helyett 2 mg/L a KOI határérték;

4. Lázberci Vízmű, ahol aktív szén használják a korábban használt homokszűrő helyett. Lecserélték, így a TMC eltávolítás hatékonyabb lett. További előnye az ultraszűrésnek, hogy egyre gyakrabban használják reverz ozmózis előtt. Az ioncserés eljárások helyett is ezek kezdenek terjedni. Az SDI (Silt Density Index) ~ 3 , vagy annál kisebb, ami nagy technológiáknál máshol elérhetetlen, de itt az UF-nél akár 1,5-2 is lehet, így a tisztítást csak negyed- és félévente kell alkalmazni. Vagy a fluxust nagyobbra lehet venni ugyanakkora nyomással. Ma már minden új víztisztító telep UF technológiával épül!

Az Envirosys Kft. ügyvezető igazgatója előadásának címe: „Az MBR technológia alkalmazása a szennyvíztisztításban”. A Leap Primary technológia működése és jellemzői, ami gyakorlatilag az előülepítést és a finomszűrést együttesen váltja ki! A sok kicsi buborékok helyett kevesebb, de nagy buborékokat használ, amivel 30%-kal csökkenthető az összes energiafelhasználás. Folyamatos levegőztetés van, és nem ciklikus, mint a MBR-oknál! Általában az MBR-nél 1-2 mm-es előszűrés kell. Míg korábban forgó dobszűrőt használtak, ma már e helyett van a Leap Primary technológia. Az MBR membránjai 0,04-0,08 mikronosak, és kb. 50% a berendezés levegőztetésre, 20% pedig a membránok levegőztetésére megy el az összes energiának. Kialakításuk: Membrán fiber, modul, majd kazetta és membrán tank.

MBR példa működő telepekre Budakeszi és Nove Medo (SLO) városokban van.

Az Észak-Dunántúli Vízmű (ÉDV) Zrt. műszaki vezetőjének előadascíme: „Az oroszországi MBR technológiával üzemelő szennyvíztelep bemutatása” és az eltelt 12 év üzemi tapasztalatai. Ő a telepen 2003 óta dolgozik, amióta üzembe helyezték az első MBR technológiát Magyarországon. Addigra a telep elég rossz minőségű vizet bocsátott ki. A telep ma 2500 m³/nap kapacitással működik, de 1988-ban ez 8000 m³/nap volt. „Nem tudjuk, hogy mi jön be, csak hogy mi megy ki! – ez az átká ennek a munkának!”, jegyezte meg humorosan. Ezt követően három előadás következett az Egyetemi szférából, döntően az alapkutatásokról és az azokból kifejlődő ipari alkalmazások lehetőségeiről és azok alkalmazásairól.

Dr. Kertész Szabolcs, a Szegedi Tudományegyetem tudományos munkatársa „Membrántechnika a víz- és szennyvíztisztításban az SZTE Mérnöki Karán” címmel tartott előadást. Az Intézetükben folyó kutatómunkákat mutatta be a teljesség igénye nélkül, kifejezetten a víz- és szennyvíztisztításra és a membránszűrési eljárásokra fókuszálva. Az

előadásból kiderült, hogy membrán modul vibrációs eltömődés csökkentéssel, és különböző kombinált eljárások alkalmazásával is foglalkoznak. Utóbbinál döntően nagyhatékonyságú oxidációs eljárásokat, és heterogén fotokatalízist kombinálnak membránszűrési eljárásokkal a hatékonyság növelése érdekében. A keletkező szennyvíziszapokat pedig mikrohullámú berendezésekkel is kezelik, további energetikai célú felhasználás érdekében, például biogáz előállítására.



2. ábra: Kertész Szabolcs előadása az SZTE MK FMI kutatási területeiről

Salamon Endrétől, aki a korábbi bajai főiskoláról érkezett, ami ma már Nemzeti Közszolgálati Egyetem (NKE), mint a Vízellátás-csatornázási szakcsoportjának mérnökstanárától megtudtuk, hogy egy H2020-as projekt keretén belül vizsgálják a lassú szűrést követő fordított ozmózist, mint ivóvíz-tisztítási technológiai sort. Lassú szűrésként parti szűrést modelleznek, amit RO membránszűrési lépcső követ. Az előadó hangsúlyozta, hogy a 201/2001. kormányrendelet szerint partiszűrésűnek akkor lehet nevezni egy vízbázist, ha nagyobb részben, azaz több mint 50%-ban felszíni vízből származik. RO rendszerek hátránya a vegyszeres tisztítás szükségessége, ami folyékony hulladékot eredményez, valamint a magas visszatartási értékek miatt visszasózás szükséges az ivóvíznek való megfelelése miatt. A projekt keretében megvalósítandó RO rendszer keresztáramú kialakítású, a transzmembrán nyomás értéke pedig 6-12 bar közötti 4 cm/nap nyomásveszteség növekedés mellett. Az előzetes lassú szűrés átszűrődési sebessége 1-5 cm/h, így összességében 50%-os kihozattal számolva a permeátum fajlagos vezetőképessége 10-80 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Az összes energia fogyasztása a rendszernek kb. 11 kWh/m³, ami kb. 250 Ft/m³-nek felel meg, ami a jelenlegi

ivóvíz tisztítási árakhoz képest ($700-1000 \text{ Ft/m}^3$) nem is olyan rossz érték. Az előadás konklúziója, hogy a kialakított rendszer magyarországi viszonyok között túl korai, de nem életszerűtlen!

Dr. Nemestóthy Nándor a Pannon Egyetem egyetemi docense „Membrános bioelektrokémiai rendszerek alkalmazása a szennyvíztisztításban” címmel tartotta meg előadását. Hangsúlyozta, hogy a szennyvíz energiaforrásként történő felhasználása, és a szennyvízben található anyagok még hatékonyabb kinyerése nagyon fontos lenne. A nettó kinyerhető energia értéke növelhető BES eljárások alkalmazásával. Ennek alapgondolata nem is olyan újszerű, hiszen már Potter 1911-ben leírta, hogy szennyvízből hidrogénionok/protonok kinyerése lehetséges lenne. Ezzel pedig üzemanyagcellák hatékonyan működtethetők. Az anód és a katód teret létrehozni és egy membránnal elválasztani! MFC-n alapuló szennyvíztisztítási eljárásokkal korábbi kutatók 0-100 Watt-ot nyertek ki a szennyvízből. Az említett példák szerint ipari szennyvizek tisztítására és eltérő anaerob kultúrák használata esetén is jól működhet ez a technika.

Végezetül a Fővárosi Vízművek Zrt. Települési Szennyvízágazat Üzemeltetési Osztályának Budai Üzemmérnökség vezetője „Az MBR technológia üzemeltetési tapasztalatai a Budakeszi szennyvíztisztító telepen” címmel tartott előadást. Megtudtuk, hogy a Fővárosi Vízművek, Nemzetközi Arany Minősítésű Szolgáltató! Budakeszin 4 db MRB membrán medence található, 36 membránmodullal, 0,04 mikronos pórusmérettel, és $330 \text{ m}^3/\text{h}$ maximális permeátum elvétellel! Egy 500 m^3 -es puffer tartály segítségével az extrém terhelések kiegyensúlyozhatók. Működtetési ciklusok: 10 perc ultraszűrést 30 másodperces visszamosás követ, majd ugyancsak fél perces relaxáció és levegőztetés után következik a karbantartó tisztítás hetente kétszer hipó + citromsav használatával. A telep teljes fajlagos energia felhasználása $1,01 \text{ kWh/m}^3$. (telep üzemelése $2800 \text{ m}^3/\text{nap}$, így persze a nagyobb rendszerek relatíve olcsóbbak!) Iszapja jól szűrhető!

Összességében Magyarországon jelenleg 12 db ipari méretű membrán bioreaktor rendszer található, melyből 4 db felszíni vízi alkalmazás. Előadók voltak ipari részről: Dr. Fleit Ernő; Hideg Miklós; Dr. Pólik András; Dr. Serény József; Stang Elemér, Pintér Szabolcs. Az előadás anyagok egy része letölthető: <http://www.maszesz.hu/tudastar>

Köszönetnyilvánítás: A beszámoló az Emberi Erőforrások Minisztériuma UNKP-17-4 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült. A szerzők továbbá köszönetet mondanak az EFOP-3.6.2-16-20017-00010 anyagi támogatásáért.



Kertész Szabolcs, Nemestóthy Nándor

KÖZELGŐ KONFERENCIÁK, KURZUSOK

2nd World Biotechnology Congress, „Profound Innovations and Futuristic Challenges in Biotechnology for Making Better Life”

2017. december 4-5, Sao Paulo, (Brazília)

<http://world.biotechnologycongress.com/>

Filtech

2018. március 13-15, Köln (Németország)

<http://www.filtech.de/>

4th Multistep Enzyme Catalysed Processes Congress (MECP 18)

2018. március 19-22, Trondheim (Norvégia)

<https://www.ntu.edu/mecp18>

Fouling and cleaning in food processing (FCFP 2018)

2018. április 17-20, Lund (Svédország)

<http://www.lth.se/membranportalen/english/fcfp2018/>

10th IWA Eastern European YWPs Conference

2018. május 7-12, Zágráb (Horvátország)

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

Membrane and electromembrane processes (MELPRO 2017)

2018. május 13-16, Prága (Csehország)

www.melpro.cz

Euro-Green Chemistry Conference, "Sustainable Technologies and Modern Approaches in Green Chemistry"

2018. június 18-20, Dublin (Írország)

<http://greenchemistry.alliedacademies.com/>

International Conference on Inorganic Membranes, ICIM,

2018. június 18-22, Drezda (Németország)

<http://www.icim2018.com/>

European Congress on Biotechnology

2018. július 1-4., Genf (Svájc)

www.ecb2018.com

11th Conference of the Aseanian Membrane Society, AMS 11,

2018. július 3-6, Brisbane (Ausztrália)

<http://www.ams11.com.au/>

Euromembrane 2018

2018. július 9-13, Valencia (Spanyolország)

<http://www.euromembrane2018.org/>

African Membrane Society: 2nd International Congress (AMSIC-2)

2018. július 29 – augusztus 1, Johannesburg (Dél-Afrika)

<http://www.sam-ptf.com/index.html>

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.