


**MEMBRÁN-**

---

---



**TECHNIKA**

**IPARI**



**BIOTECHNOLÓGIA**

**XV. évfolyam 2. szám**

**2024. április**



## TARTALOM

	oldal
Hajgató A., Koók L.: Mikrobiális elektrolitikus sótelenítő cellák alkalmazástechnikai vizsgálata.....	18
Beszámoló az 52. Műszaki Kémiai Napokról.....	28
Eredményhirdetés.....	30
Közelgő membrános konferenciák, kurzusok.....	31

# MIKROBIÁLIS ELEKTROLITIKUS SÓTALANÍTÓ CELLÁK ALKALMAZÁSTECHNIKAI VIZSGÁLATA

Hajgató Anna, Koók László\*

Pannon Egyetem, Bio-, Környezet- és Vegyészmérnöki Kutató-Fejlesztő Központ,  
Biomérnöki, Membrántechnológiai és Energetikai Kutató Csoport

8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

\*[kook.laszlo@mk.uni-pannon.hu](mailto:kook.laszlo@mk.uni-pannon.hu)

## BEVEZETÉS

A világ energia és vízfogyasztásának növekedésével az elmúlt fél évszázadban jelentősen megnőtt az érdeklődés a környezetbarát technológiák és a fenntartható fejlődés iránt [1]. Ennek következtében előtérbe került a megújuló energiaforrások megfelelő kihasználhatósága illetve a sós- és félsós forrásokból történő ivóvíz előállítás. Annak érdekében, hogy csökkentsük a korlátozottan rendelkezésre álló fosszilis energiaforrások és a szintén kis mennyiségben rendelkezésre álló édesvíz felhasználását.

Mivel jelenleg a sóatlanítást jelentős mértékben termikus módszerekkel, fordított ozmózissal és elektrodialízissel végzik, amelyek rendkívül energiaigényes technológiák, annak ellenére, hogy az elmúlt évtizedek fejlesztései a költség- és energiahatékonyság irányába mutattak [2]. Ezért kiemelten fontos ezen technológiák fejlesztése mellett különböző alternatív technológiák kutatása. Erre jelenthet ígéretes technológiai alternatívát a mikrobiális elektrolitikus sóatlanító cella (MEDC) [3]. Ezen rendszerek speciális mikrobák bioelektrokémiai aktivitását és az elektromos rátáplálást kihasználva elektromos potenciálgadienst hoznak létre, ami hajtóerőként szolgál a kezelendő anyagokban található ionos komponensek leválasztásához. Így ezek az ionok elválaszthatók vagy adott esetben visszanyerhetők a célnak megfelelően. Az MEDC-k használata egy új irányt jelent a sóatlanításban, mindemellett felhasználásuk kiterjed az energiatermeléssel kapcsolt sóatlanításra, komponens-visszanyerésre és szennyvíztisztításra is.

## ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

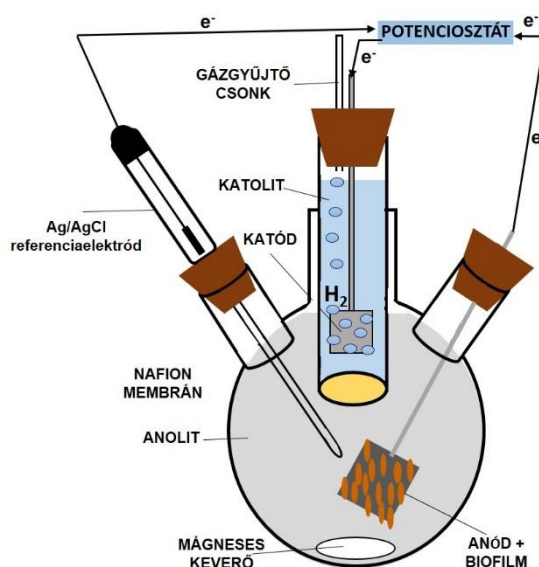
### Inokulum és szubsztrátok

A reaktorok inokulálására a Bakonykarszt Víz- és Csatornamű Zrt. veszprémi szennyvíztisztító telep lakossági kommunális szennyvízzel táplált biogáz fermentorának

mezofil anaerob elfolyó exoelektrogén mikrobákban dús iszapját alkalmaztuk. Az inokulum kezdeti pH értéke 7,6 volt. Szubsztrátként 5 mmol/l-es koncentrációban Na-acetátot adagoltunk. Az inokulum minták riboszomális 16S rRNS szekvenálás alapú konzorcium analízisét az anódfelületről vett biofilm minták elemzésével a Novogene cég végezte.

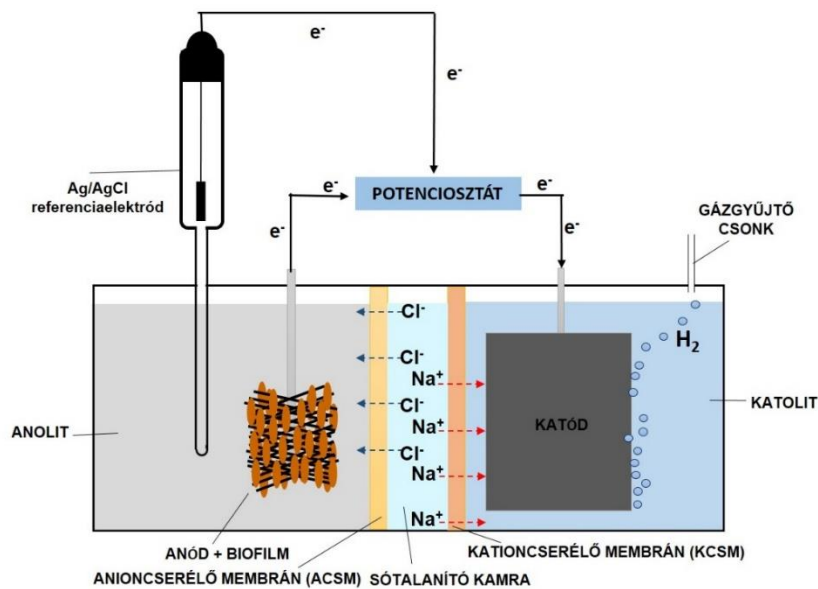
### Adaptációs és sótolanító cellák felépítése és működtetése

A kísérlet során adaptálócellaként egy speciális kialakítású 250 ml térfogatú kétkamrás mikrobiális elektrolízis cella (MEC) került kialakításra (1. ábra). Az anód és katódter közötti összeköttetést egy 17 mm átmérőjű Nafion membrán biztosította. A membrán használat előtt 1-1 napig felváltva 1 M NaOH és HCl oldatokban lett aktiválva, közte 1 nap desztillált vizes mosással. Katódként egy 1 x 1 x 0,1 cm-es platina elektródot, míg anódként egy titánszátra rögzített 2 x 2 x 0,5 cm-es szénfilm elektródot alkalmaztunk. Anolitnak egy az inokulummal 10 V/V %-ban beoltott speciális tápanyagokat és vitaminokat tartalmazó foszfát puffert, katolitnak pedig standard 50 mmol/l-es foszfát puffert használtunk. Az anolit homogenizálás céljából mágneses keverővel volt kevertetve. Az anódpotenciál szabályozását (0,2 V-os feszültségértéken tartva vs. Ag/AgCl, 3 mol/l KCl) és az adatok rögzítését a potenciostát saját programjával a PStTrace 5.7 nevű programmal végeztük, a mintavételezés a mérésekhez percenként történt.



1. ábra: A mérések során alkalmazott MEC felépítése

A sótalánító cella (2. ábra) a tervezési folyamatot követően 3D nyomtatott technológiával készült PLA-ból (Anycubic Vyper, Anycubic, Kína). A kinyomtatott cella anódterébe elektródként a már előzetesen MEC-ben felnevesztett és stacioner állapotúnak tekintett biofilmet tartalmazó anód került. A katódterben titánszárlra felfűzött Pt-tartalmú szénpapírt használtunk elektródként, melynek mérete  $5 \times 5 \text{ cm}^2$  volt. Az anódtér  $165 \text{ cm}^3$ , a katódtér  $100 \text{ cm}^3$ , a sótalánító kamra pedig  $40 \text{ cm}^3$  térfogatú volt. Az MEDC esetén nem csak az anódtérnek, hanem a katódtérnek is anaerobnak kell lennie. A hidrogén gyűjtését egy katódtérben elhelyezett cső biztosította, aminek másik vége egy vízzel teli főzőpohárba fejjel lefelé helyezett szintén vízzel teli mérőhengerbe került.



**2. ábra:** A mérések során alkalmazott MEDC felépítése

A termosztálás mindkét esetben  $37 \text{ }^\circ\text{C}$ -on történt. Egy adott működési ciklus az acetát beadagolásakor fellépő feszültségugrástól indult és akkor ért véget, amikor a feszültségjel a kezdeti érték közelébe visszatért. Ez alól kivételt képeznek a sótalánító cellák rátáplálásos üzemmódjai, illetve a 24 órás párhuzamos mérései, mivel ebben az esetben a mérés kezdetét és végét a mérési idő szabta meg. Mindegyik mérés esetében a feszültség-idő adatoknak elkészítettük az óraátlagát, majd a további számításokhoz ezeket használtuk fel. Az átlagolás előtt az adatsorból minden esetben, ahol szükséges volt eltávolítottuk a feszültséget befolyásoló mérések (pl. polarizáció) okozta kiugró vagy eltűnő jeleket.

### Elektrokémiai vizsgálati módszerek

Az anódon lejátszódó potenciálfüggő redox folyamatok jellemzésére ciklikus voltammetriás méréseket végeztük. A mérések során az anód szolgált munkaelektrodként, illetve mellé az anódtérbe került egy Ag/AgCl (telített KCl) referenciaelektrod, a segédelektrod pedig a katód volt [4]. A mérés elvégzéséhez az elektrodok a PalmSens3 (Palmsens, Hollandia) potenciosztát/galvanosztát megfelelő bemeneteihez lettek csatlakoztatva. A  $v$  pásztázási sebesség minden esetben 1 mV/s-os sebesség volt, az anódpotenciál ( $\varphi_{an}$ ) pedig a (+) 0,25 – (-) 0,65 V (vs. Ag/AgCl) tartományt fedte le. A mérést minden esetben ún. *non-turnover* módban lettek megvalósítva, a szubsztrát lebontása utáni fázisban. A mérések szoftveres háttérét ebben az esetben is a PSTrace 5.7 program biztosította.

### Hatékonysági mutatók

A beadagolt szubsztrát szervesanyag-tartalmából kinyert töltésmennyiség ( $Q_v$ ) és az elméletileg kinyerhető maximális töltésmennyiség ( $Q_e$ ) arányát a töltéskinyerési hatásfok ( $CE$ ) jellemzi, az (1) képlet szerint:

$$CE = 100 \cdot \frac{Q_v}{Q_e} = 100 \cdot \frac{M_{O_2} \int_{t_0}^{t_v} I dt}{F \cdot b \cdot m_{KOI}} \quad (1)$$

ahol  $M_{O_2}$  az oxigén moláris tömege,  $F$  a Faraday-állandó,  $b$  (= 4) a kicserélődött elektronok száma. Az egyenletben szereplő integrált téglalap módszer segítségével közelítettük. A sóeltávolítás mennyisége jelen esetben a (2) képlettel számítható:

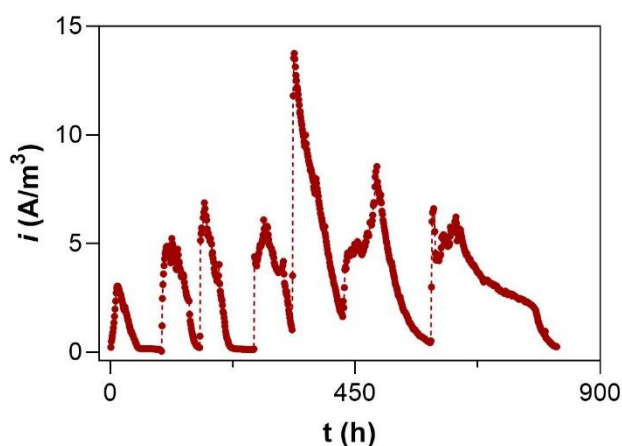
$$R_s = 100 \cdot \frac{c_0 - c_t}{c_0} \quad (2)$$

ahol  $R_s$  a sóeltávolítás mértéke %-ban,  $c_t$  a  $t$  időpillanatban mért sókoncentráció (g/l),  $c_0$  pedig a kiindulási sóoldat sókoncentrációja (g/l).

## EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

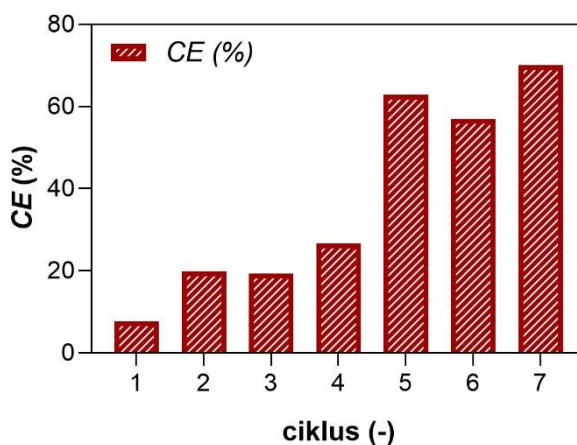
### Adaptáció és anódfelületi biofilmnövesztés MEC üzemmódban

A cellaindítás után megkezdjük a szakaszos acetát adagolási üzemmódot. Az áramsűrűség csúcsok fokozatos növekedése volt megfigyelhető, viszont hosszabb műveleti ideig fennmaradó csúcsokat kb. 400 h után kaptunk (3. ábra). Az időbeli lefutás jól mutatja, hogy az állandósult állapotban kapott áramsűrűség ( $i$ ) értékek a steady-state állapotban átlagosan  $9,62 \pm 3,69 \text{ A/m}^3$  körül alakultak, mely irodalmi adatokkal összevetve is hatékony működésre utal.



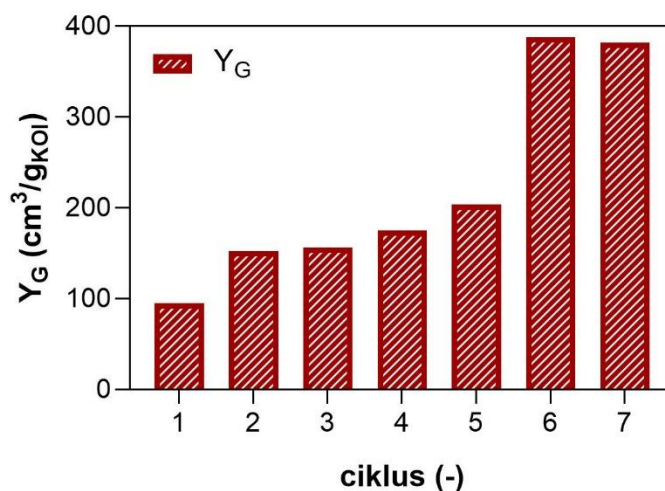
3. ábra: MEC áramsűrűség görbék az idő függvényében

A MEC tényleges hatékonyságának jellemzésére praktikus módszer a CE értékek származtatása (4. ábra). Az egyes betáplálások során kapott áramcsúcsok görbe alatti területével arányos CE átlagosan  $63,26 \pm 6,54 \%$  volt.



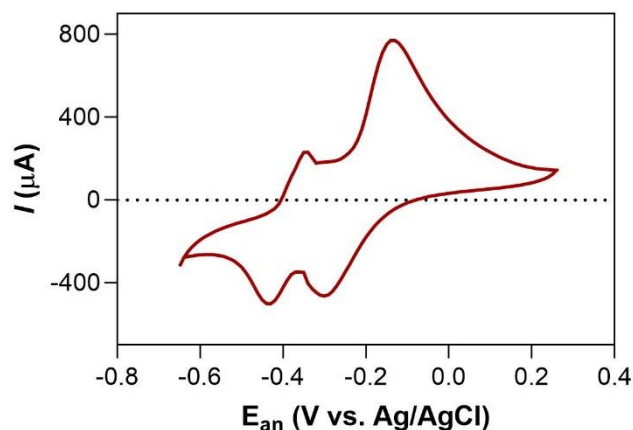
4. ábra: Az egyes betáplálási ciklusok alapján kapott Coulombikus hatásfok értékek

köszönhetően a külsőleg a MEC anódpotenciál-rögzítésére használt külső segédenergiának, az elért CE értékek kifejezetten jónak ítélték meg. Ugyanakkor azt is meg kell említeni, hogy a MEC rendszer mellett, hogy segédenergiát igényel, a katódreakcióban szelektíven állít elő hidrogén gázt, ami a befektetett energia ellenére javítja a rendszer energiamérlegét. Az 5. ábra jól mutatja, hogy méréseinkben az elért áramsűrűség növekedésével fokozatosan nőtt a katódon leváló gáz mennyisége is, amelyet a szubsztrátból származó egységnyi szervesanyag (KOI) tömegre vonatkoztatva adtunk meg. A reakció szelektivitása alapján a keletkezett gáz feltehetően  $H_2$ .



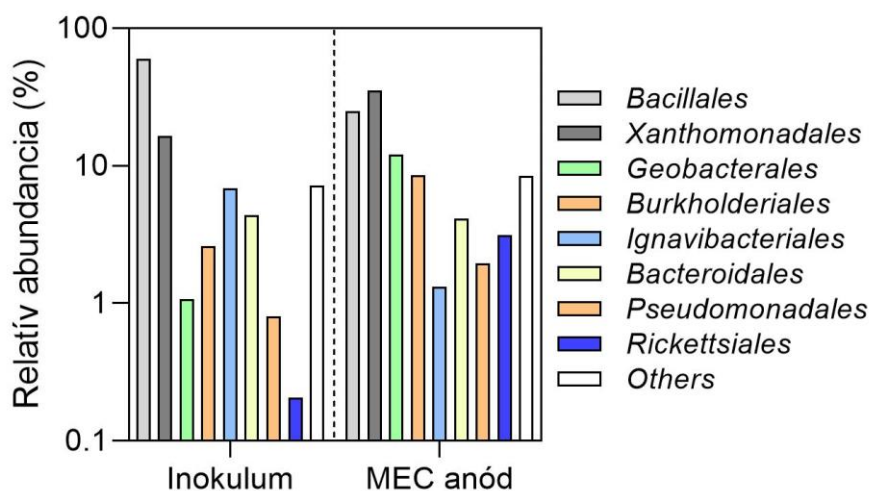
**5. ábra:** Az egyes MEC ciklusok katódos gáztermelése

A hatékony rendszerműködés háttérében MEC esetében kulcsfontosságú a bioelektrokémiai aktív anódfelületi biofilm kialakítása. Ennek vizsgálatára a CV mérések kivitelezése hatékony módszernek bizonyult. A ciklikus voltammogramot (6. ábra) tekintve egyértelműen látható, hogy ebben az esetben két elkülöníthető redox csúcspár jelenik meg. Ez arra utal, hogy a rendszerben két eltérő, az elektróddal kapcsolatban álló elektrokémiai aktív redox-rendszer található a biofilmben. Ezek képződési potenciálja rendre  $-0,385$  V és  $-0,215$  V (vs. Ag/AgCl), amelyek beleesnek a főbb exoelektrogének citokróm képződési potenciáljait is lefedő tartományba [5].



**6. ábra:** MEC non-turnover ciklikus voltammogram

A konzorcium analízis eredményei további támogatást nyújtottak a CV alapján levont következtetésekhez. Rend taxonómiai szinten vizsgálva a nagyobb relatív abundanciával jelen lévő törzseket az inokulumban és a kialakult biofilmben azt tapasztalhattuk, hogy az exoelektrogén *Geobacterales* rend jelentős, több, mint egy nagyságrendnyi abundancia-növekményt mutatott az adaptációs folyamatok végére az anódfelületi biofilmben (7. ábra).

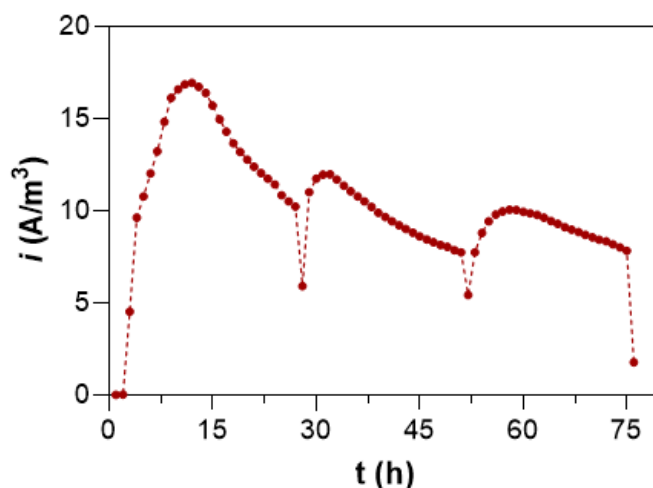


**7. ábra:** Az inokulum és a felnövesztett anódfelületi biofilm mikrobakonzorcium analízise

A relatív abundancia növekvő trendje feltehetően – és korábbi, egyéb bioelektrokémiai rendszerekben végzett munkákban is tapasztaltan – hosszabb adaptációs üzemelés folyamán is fenntartható, és akár a 70 – 98 %-os relatív abundancia tartomány is elérhető [6,7].

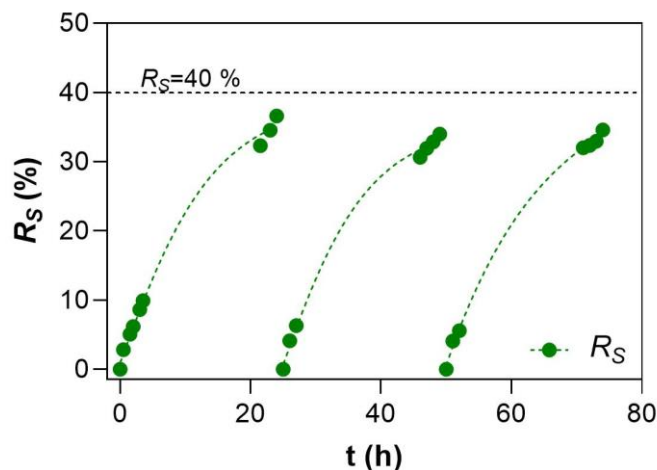
### Sótalanítási kísérletek MEDC üzemmódban

A kísérletekben meg kívántuk vizsgálni, hogy a feszültség rátáplálásnak van-e befolyása a sótelenítés hatékonyságára, így méréseket végeztünk MEDC üzemmódban. Az adaptáció után megkezdtük a 24 h-s reprodukálhatósági vizsgálatokat és elemeztük a kapott áramsűrűség értékeket (8. ábra), illetve a sóeltávolítási százalékot (9. ábra). A mérések során kapott átlagos áramsűrűség  $10,4 \pm 3,2 \text{ A/m}^3$ -nek adódott, ami hatékony üzemelésre utal.



**8. ábra:** MEDC 24 h-s párhuzamos mérések áramsűrűség görbéi az időben

A 24 órás reprodukálhatósági mérések során a rendszer stabilan tudta tartani a sóeltávolítási százalékot, mely átlagosan  $35,1 \pm 1,4 \%$ -nak adódott, ezt a jól mutatja a 9. ábra. A sótelenítő kamrában maradó NaCl koncentrációt tekintve 24 h alatt  $22,6 \pm 0,6 \text{ g/l}$  koncentrációig volt csökkenthető a kezdeti  $35 \text{ g/l}$ -es érték. A mért adatok illeszkednek az irodalomban található adatokhoz, például Mehanna és munkatársai [8]  $60 \text{ A/m}^3$  mellett érték el  $37 \pm 4\%$ -os sóeltávolítást kétkamrás elektrolitikus sótelenítő kamrában 24 óra lefolyása alatt.



**9. ábra:** Az MEDC 24 órás párhuzamos mérései során a sóeltávolítási százalék alakulása az időben

## ÖSSZEFOGLALÁS

A kísérletek alapján összességében elmondható, hogy az MEDC rendszerek ígéretesek lehetnek sótalánítási technológiák támogatására, mely jelen állás szerint elsősorban a jelenleg is alkalmazott magas energiaigényű sótalánító rendszerek kiegészítő műveleti egységeként illeszthetők a technológiába. A kísérleti eredmények azt mutatják, hogy a MEC konstrukció alkalmas a sótalánító cellák számára biofilmadaptációs platformnak. Ezt egyértelműen megmutatták a ciklikus voltammetriás és mikrobakonzorcium analízises mérések is, amelyekből kiderült, hogy a MEC esetén két detektálható redoxaktív rendszert is ki tudunk mutatni a *Geobacterales*-t is tartalmazó biofilmben. A 24 órás MEDC mérések során elért, közel 40%-os sóeltávolítás 35g/l-es NaCl-oldat esetén ígéretes kezdeti eredménynek tekinthető. Továbbá az MEDC-k esetében a keletkező katódos hidrogén energetikai szempontból tovább növelheti a rendszer gazdaságosságát. Mindezek alapján elmondható, hogy a mérések sikeresnek bizonyultak az irodalom alapján is, ezért érdemes a jövőben további méréseket és fejlesztéseket végrehajtani a témában.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatómunka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával az „Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium létrehozása” című RRF-2.3.1-21-2022-00014 számú projekt keretében valósult meg. Koók László köszönetét fejezi ki a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásáért (2022-2025). A munka

a Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-23-5 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.



## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Kober, T., Schiffer, H.W., Densing, M. and Panos, E., 2020. Global energy perspectives to 2060–WEC's World Energy Scenarios 2019. *Energy Strategy Reviews*, 31, p.100523.
- [2] Cao, X., Huang, X., Liang, P., Xiao, K., Zhou, Y., Zhang, X. and Logan, B.E., 2009. A new method for water desalination using microbial desalination cells. *Environmental science & technology*, 43(18), pp.7148-7152.
- [3] Kim, Y. and Logan, B.E., 2013. Microbial desalination cells for energy production and desalination. *Desalination*, 308, pp.122-130.
- [4] Harnisch, F. and Freguia, S., 2012. A basic tutorial on cyclic voltammetry for the investigation of electroactive microbial biofilms. *Chemistry–An Asian Journal*, 7(3), pp.466-475.
- [5] Santos, T.C., Silva, M.A., Morgado, L., Dantas, J.M. and Salgueiro, C.A., 2015. Diving into the redox properties of *Geobacter sulfurreducens* cytochromes: a model for extracellular electron transfer. *Dalton Transactions*, 44(20), pp.9335-9344.
- [6] Cardeña, R., Žitka, J., Koók, L., Bakonyi, P., Pavlovec, L., Otmar, M., Nemestóthy, N. and Buitrón, G., 2020. Feasibility of quaternary ammonium and 1, 4-diazabicyclo [2.2. 2] octane-functionalized anion-exchange membranes for biohydrogen production in microbial electrolysis cells. *Bioelectrochemistry*, 133, p.107479.
- [7] Koók, L., Desmond-Le Quéméner, E., Bakonyi, P., Žitka, J., Trably, E., Tóth, G., Pavlovec, L., Pientka, Z., Bernet, N., Bélafi-Bakó, K. and Nemestóthy, N., 2019. Behavior of two-chamber microbial electrochemical systems started-up with different ion-exchange membrane separators. *Bioresour. Technol.*, 278, pp.279-286.
- [8] Mehanna, M., Kiely, P.D., Call, D.F. and Logan, B.E., 2010. Microbial electrodesalination cell for simultaneous water desalination and hydrogen gas production. *Environmental science & technology*, 44(24), pp.9578-9583.

## Beszámoló az 52. Műszaki Kémiai Napokról

A Pannon Egyetem Mérnöki Kara 2024. április 16-17-én (kedd-szerda) rendezte meg Veszprémben az 52. MŰSZAKI KÉMIAI NAPOK'24 konferenciát. A B épület II. emeleti Konferenciaközpontban tartott megnyitón Németh Sándor dékán, Abonyi János rektorhelyettes, továbbá Hegedű Barbara, Veszprém Megyei Jogú Város alpolgármestere köszöntötte a résztvevőket. Ezután Ruppert Tamás (egyetemi docens, Pannon Egyetem) „Intelligens kollaboratív gyártási tér – Ember a középpontban” címmel tartott érdekes és jól követhető plenáris előadást igen időszerű kutatási területéről, majd Hodúr Cecília professzor asszony (Szegedi Tudományegyetem) beszélt a Mezőgazdasági hulladékok kihasználási lehetőségeiről (képünkön).



Ezt követően szekció ülések keretében folytatódott a konferencia. Kedd délután egyrészt a Műveletek és Szeparációs Eljárások Szekció ülésezett Bocsi Róbert elnöklétével, másrészt párhuzamosan zajlott a Folyamatmérnöki szekció Ruppert Tamás

vezetésével. Késő délután zajlott le a MTA Műszaki Kémiai Tudományos Bizottság és MTA Folyamatmérnöki Bizottság együttes ülése Székely Edit levezetésével.

A második napon, szerdán délelőtt került sor az MTA Anyagtudományi és Szilikátkémiai Munkabizottság ülésére, amelyet Kristófné Makó Éva vezényelt le, s a hasonló nevű szekció is eltartott délig. Párhuzamosan folyt a Biomérnöki Szekció – a MTA Biomérnöki Munkabizottság ülésének keretében – amelynek levezetője Németh Áron (BME) volt –, és a Bio-nano szekció Járvas Gábor vezetésével. Délután pedig a Fizikai-Kémia és Analitika szekcióban (levezetője Horváth Krisztián), a Folyamatmérnöki II. szekcióban (elnök: Egedy Attila) és a Környezetmérnök/Kémiai technológia szekcióban hallgathattunk előadásokat.

Az idei konferenciára kevesebben regisztráltak, mint tavaly (ezért is alakult át kétnaposra a rendezvény). A keddi esti fogadás a szokásos kellemes hangulatban telt, s összességében szakmailag – a résztvevők nagy részének visszajelzései alapján – sikeresnek ítélnéljük a rendezvényt.



## **EREDMÉNYHIRDETÉS**

A Magyar Kémikusok Egyesülete Membrántechnikai Szakosztálya korábbi számunkban megjelent pályázatára – amely a Louvain-la-Neuve-ben (Belgium) 2024. június 10-14. között megrendezésre kerülő XXXIX. Membrános Nyári Egyetemen való részvétel támogatására lett meghirdetve – egyetlen pályázat érkezett. A pályázat nyertese:

**Szakács Szabolcs**

PhD hallgató

Pannon Egyetem

Veszprém

Gratulálunk!

A pályázat nyertese vállalja, hogy a Nyári Egyetemről beszámolót készít, melyet lapunk megjelentet.

## KÖZELGŐ KONFERENCIÁK, KURZUSOK

### ***NAMS 2024: Membranes as an opportunity for decarbonization***

2024. május 11-15., Santa Fe, Új Mexikó, Egyesült Államok

<https://membranes.org/nams2024/>

### ***39th EMS Summer School***

2024. június 10-14., Louvain-la-Neuve, Belgium

<https://www.emsoc.eu/eventer/39th-ems-summer-school-10-14th-june-2024-louvain-la-neuve-belgium/>

### ***18th Edition of International Conference on Catalysis, Chemical Engineering and Technology***

2024. június 17-19., Párizs, Franciaország

<https://catalysis-conferences.com/>

### ***17th Conference on Inorganic Membranes***

2024. július 1 -5., Florianopolis, Brazília

<https://icim2024.org/>

### ***14th International Conference on Ceramic Materials and Components for Energy and Environmental Systems***

2024. augusztus 18–22., Budapest

<https://akcongress.com/cmcee14/>

### ***11th International Congress on Biocatalysis***

2024. augusztus 25-29., Hamburg, Németország

<https://biocat-congress.de/>

### ***MELPRO and EuroMembrane'24***

2024. szeptember 8-12., Prága (Csehország)

<https://euromembrane2024.cz/>

***4th African Membrane Society International Congress (AMSIC-4)***

2024. november 5-8., Addis Ababa, Etiópia

<https://www.amsic-africa.com/>

***FILTECH 2024***

2024. november 12–14., Köln, Németország

<https://filtech.de/>

***Aachen Membrane Colloquium (AMK)***

2024. december 3-5., Aachen (Németország)

<https://conferences.avt.rwth-aachen.de/AMK/Home.html>

***IDA 2024 World Congress– Addressing Water Scarcity***

2024. december 8-12., Abu Dhabi, Egyesült Arab Emírátsok

<https://wc.idadesal.org/>

***12th International Membrane Science and Technology Conference (IMSTEC'25)***

2025. december 8-10., Brisbane, Ausztrália

**MEMBRÁNTECHNIKA ÉS IPARI BIOTECHNOLÓGIA**

**A MKE Membrántechnikai Szakosztályának kiadványa ISSN 2061-6392**

**Felelős szerkesztő:**

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

E-mail: [belafine.bako.katalin@mk.uni-pannon.hu](mailto:belafine.bako.katalin@mk.uni-pannon.hu)

**A szerkesztőbizottság tagjai:**

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

**Megjelenik:** negyedévente, 300 példányban

**Előfizetési díja:** évi 1 500 Ft

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