

MEMBRÁN-

TECHNIKA

IPARI

BIOTECHNOLÓGIA



IX. évfolyam 2. szám

2018. június

TARTALOM

oldal

Rózsenberszki T. et al.: Kombinált bioelektrokémiai és anaerob fermentációs technikák alkalmazási lehetősége a települési szilárd hulladék kezelésében.....	22
Műszaki Kémiai Napok 2018 – Beszámoló	38
Pályázat eredményhirdetése.....	40
Konferencia felhívás.....	41
Közelgő membrános konferenciák, kurzusok.....	43

Kombinált bioelektrokémiai és anaerob fermentációs technikák alkalmazási lehetősége a települési szilárd hulladék kezelésében

**Rózsenszki Tamás, Bakonyi Péter, Koók László, Nemestóthy Nándor,
Hülberné Beyer Éva, Bélafiné Bakó Katalin**
Pannon Egyetem, Biomérnöki, Membrántechnológiai és Energetikai Kutatóintézet
Veszprém, Egyetem u. 10., rozsen88@gmail.com

Bevezetés

Hazai viszonylatban a szelektív hulladékgyűjtés terjedése lassú és még mindig nem kellő mértékű (KSH adatbázis). Pedig sokkal nagyobb hatása van, jóval nagyobb figyelmet kellene érdemelnie, mint amit az utóbbi időszakban kapott. A nem szelektíven gyűjtött hulladékfrakció további kezelése, ugyanis nagymértékben megnehezíti a hulladékkezelők tevékenységét. Ebből következik, hogy hazánk például a települési szilárd hulladék igen jelentős részét (több mint felét) a legolcsóbbnak tűnő egyszerű lerakással „ártalmatlanítja” (Eurostat adatbázis; KSH, 2017; KSH adatbázis). A hulladék lerakása a hulladékkezelési hierarchia legalsóbb, legkevésbé ajánlott szintjei között szerepel. A nem megfelelő kezelése pedig számos további egészségügyi, környezeti és gazdasági problémákhoz vezethet (Hoornweg, 2012).

A hulladékgazdálkodás mellett egy másik fontos kérdés az energiagazdálkodás. Magyarország energia szektorának jellemzésére a Központi Statisztikai Hivatal által közölt dokumentumot szolgált (KSH, 2017). Ez alapján a Magyar gazdaságról elmondható, hogy nagymértékben energiaigényes. Uniós összehasonlításban hazánk a közepesen energiaimportfüggő országok közé tartozik. Energiaigényünk fedezésére szolgáló források 64%-a importból, 36%-a pedig a hazai termelésből származott 2015-ben. Ugyanebben az évben a felhasználás 14,5 %-át sikerült megújuló alapú energiából fedezni. Hazánknak a 2020-ig kitűzött teljesítendő célértéket (13 %) sikerült meghaladni, ezáltal azonban ez az érték még mindig az EU-28 átlagánál (16,7 %) alacsonyabb volt.

Így elmondható, hogy célszerű olyan alternatívák kutatása és fejlesztése melyek alkalmasak lehetnek a megújuló alapú energiatermelésünk szintjének emelésére és az energetikai kiszolgáltatottságunk (64 % import) mérséklésére. A globális növekvő hulladékképződési tendenciák (Hoornweg, 2012), valamint az ország jelenlegi hulladékgazdálkodási szintjének növelése érdekében indokoltak tehát a hulladékkezeléssel és energiatermeléssel foglalkozó kutatások és fejlesztések.

Kutatásaink során olyan anaerob biodegradációs technikákat alkalmaztunk, melyek képesek lehetnek a települési szilárd hulladékban rejlő kötött energia kinyerésére. Az egyes eljárások alkalmazásával az extra energia mellett egyúttal a hulladék kezelése is megtörténik a szerves anyag tartalmának csökkentésével. A három eljárás egyike a más országokban (pl.: Németország) már széles körben alkalmazott metanogén fermentáció (biogáz képződés), a második eljárás a jövő szempontjából ígéretes biohidrogén képződés sötét fermentációval, végül pedig a még újkeletűnek mondható bioelektrokémiai rendszer a mikrobiális üzemanyagcella volt.

Mikrobiális üzemanyagcella

Az egyik biodegradációs eljárás a már említett és még kutatási fázisban lévő bioelektrokémiai rendszerrel a mikrobiális üzemanyagcellával történt. A három eljárás közül talán ez a legkevésbé ismert ezért a következőkben erről írok részletesebben. Gyökerei igen régre nyúlnak vissza (Potter, 1911) de a tudományágak fejlődésével és membránok fejlesztésének köszönhetően az utóbbi években került ismét a kutatók figyelmébe. Az egyre fejlettebb és mérséklődő membrán előállítási költségek révén a bioelektrokémiai és üzemanyag cella rendszerek is új erőre kaptak. Az általam is használt mikrobiális üzemanyagcella kétkamrás változatánál a membrán az egyik legfőbb alkotórésze a rendszernek. A membrán ugyan továbbra is jelentős költséget képvisel a rendszer teljes költségéhez képest, de a jövő szempontjából igen ígéretes működési lehetőséget rejt.

A hagyományos kémiai üzemanyagcellákkal szemben itt nem pusztán kémiai reakció az elektron generálás eszköze, hanem az anódtérben lévő speciális mikroorganizmusok által katalizált biokémiai reakciók. Az anódtérbe táplált szerves anyagok (cukrok, szénhidrátok, szennyvíz, stb.) oxidációja történik az úgynevezett exoelektrogén mikroorganizmusok által. A folyamatok során anaerob körülmények mellett elektronok és protonok képződnek a cella anód terében. Ezek a baktériumok képesek ugyanis az elektronok anód elektródára történő sejten kívüli átadására. A leadott elektronok útja egy vezetőn keresztül történik a katód kamra irányába. Az elektron transzfer mellett egyéb iontranszfer is kialakul a két kamra között. A keletkezett protonok (H^+) vándorlása is megtörténik a két kamra közé elhelyezett általában proton csere membránon keresztül. A membrán fontos szerepkört tölt be a kétkamrás rendszerek esetén. Egyrészt biztosítja az iontranszfert a két kamra között, másfelől viszont el is választja azokat. Míg az anód kamrában a mikroorganizmusok megfelelő működése miatt anaerob körülményt kell biztosítani, addig a katódkamrában szükséges az oxigén jelenléte. A katódkamrába lévő elektródára érkező elektronok és jelenlévő oxigén és protonok

reakciójából egyszerű víz képződik. A lejátszódó reakciók glükóz betáplálás esetén az alábbi, 1, 2 egyenletek segítségével írhatók le (Chaudhuri, 2003):



Anyagok és módszerek

A munka során arra törekedtünk, hogy az egyes eljárásokkal a lehető legtöbb kötött energiát kinyerjük, valamint minél nagyobb mértékben csökkentsük az adott minta szerves anyag tartalmát. Mindezek mellett próbáltuk a környezetvédelem és gazdaságosság szempontjait is figyelembe venni, ezért a lehető legkevesebb egyéb vegyszer, adalékanyag felhasználásával dolgoztunk. A felhasznált anyagok közül lényegében csak a hulladékkezelő telepről származó préselt folyadék mintát és az eljárásokhoz szükséges beoltókultúra (inokulum) keverékét használtuk.

Vizsgált minta

A vegyesen gyűjtött hulladék kezelésére a modern hulladékkezelő telepeken különféle szeparálási folyamatokkal próbálják elkülöníteni a még hasznosítható frakciókat. A Királyszentistvánon működött korszerű létesítményben a szeparálási technológia során egy szerves anyagokban gazdagabb úgynevezett biofrakciót különítettek el. Ezt komposztálásnak vetették alá (aerob kezelés), majd az így kapott komposztot takaró anyagként használták. A komposztálás során azonban nem jutunk extra hulladékból kinyerhető energiához. Másrészt, ha nem megfelelő a komposztálás, a hulladék további bomlásából szaghatásra lehet számítani. A szaghatás pedig zavaró tényező lehet a környező lakosság számára és akár a telep bezárásához is vezethet.

Kutatásaink során a biofrakcióból még a komposztálás előtt kinyerhető folyadékfázist vizsgáltuk, különféle anaerob biodegradációs módszerekkel. Az így kinyert folyadék egy tömény, magas szerves anyag tartalmú szennyvíznek tekinthető, melynek homogenizálása és esetleges mozgatása lényegesen könnyebb, mint a kiindulási hulladékfrakcióé.

Inokulum

A különféle eljárásoknál a szubsztrát (préselt biofrakció, rövidítve PBF) mellett a másik szükséges tényező a lebontást végző mikroorganizmusok jelenléte. Mivel más és más mikroorganizmus törzsre van szükség az eltérő kezelési módoknál, ezért a korábbi

kutatásoknál is alkalmazott mikroorganizmus konzorciumot, az Agrospeciál kft. pálfalmai mezofil biogáz üzeméből származó anaerob iszapot használtam inokulumként. Az biogáz üzembe feldolgozott anyagok jellegét tekintve trágya (sertés, szarvasmarha), növényi, vágóhídi és éttermi hulladék a jellemző.

KOI meghatározása

A kémiai oxigén igény meghatározása a munkám során a kálium-dikromátos módszerrel történt az MSZ 260/16-82 szabványnak megfelelően.

Metanogén és biohidrogén fermentációs vizsgálatok

A biogáz és biohidrogén képződés intenzitásának nyomon követéséhez WTW OxiTop® Control OC 110 mérőszettet használtam, mivel nemcsak a gáztér nyomáscsökkenését (BOI5), hanem nyomás növekedését is képes mérni. Kísérleteim során a gázképződés következtében bekövetkező gáztér nyomásemelkedést detektáltam. A mérőedényekben 450 cm³ gáztérfogat mellett 50 cm³ különböző PBF-beoltóiszap keveréket tettem. A biohidrogén képződési kísérleteknél a fő feladat a mintakeverékekben (konzorciummal beoltott minta) lévő metanogén mikroorganizmusok tevékenységének a minimalizálása volt. Ehhez előkezelést alkalmaztam (Rózsenberszki, 2015). Az anaerob körülmények kialakításához a gázmérő gázterében és folyadékfázisban lévő oldott oxigén kihajtásához a mérőedényeket nagy tisztaságú 99,9 térf. % nitrogén gázzal (Messer Hungarogáz Kft., Budapest) 15 percen keresztül át keringettem. Ezt követően az edényekre szilikonzsírral kent gumikosarakat helyeztem, végül az edényeket egy 37 °C-os biotermosztátba tettem, így biztosítva a mezofil körülményt.

A gáztermelést a nyomásnövekedésből számítottam: a keletkező gázt tökéletes gáznak tekintve a kezdeti paraméterek ismeretében és a változások nyomon követésével kiszámolható a keletkezett gáz térfogata (1. egyenlet).

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (1)$$

A jelölések a következők:

P – nyomás [Pa]

V – adott gáztérfogat [m³]

n – a gáz kémiai anyagmennyisége [mol]

R – egyetemes gázállandó [8,314 J / mol.K]

T – abszolút hőmérséklet [K]

A grafikonok esetén az STP jelölés 0°C –ra és 1 bar nyomásra vonatkozó gáztérfogatot jelent.

Gázösszetétel meghatározása

A képződött gázok összetételének meghatározására hővezetőképességi detektorral (TCD) ellátott HP 5890 Series II gázkromatográfot használtunk, nitrogén vivőgázzal. A gáz mintavétel Hamilton fecskendővel történt. A beinjektált mintamennyiség 300 µl volt minden esetben. Egyéb paraméterek: Oszlop: Carboplot® (Agilent Technologies, Hossza: 60 m, ID: 0,32 mm, filmvastagság: 1,5 mm), sebesség: 30 mL perc⁻¹, injektor hőmérséklet: 130 °C, kolonna hőmérséklet: 90 °C, detektor hőmérséklet: 115 °C. A mért eredményekből meghatároztam a keletkező gázok összetételének gáztérben való eloszlását.

A kísérleti mikrobiális üzemanyagcella rendszer paraméterei

A kétkamrás mikrobiális üzemanyagcella 60-60 cm³ térfogatú kamráiba grafit szövetrel átszőtt grafit elektródokat használtunk. Egy külső réz vezetékre 100 Ω ellenállás került a mérés stabilizálása érdekében. A potenciálváltozást egy többcsatornás adatgyűjtő rendszerrel (National Instruments) és egy számítógépes LABView 8.5 szoftver segítségével követtem nyomon. A kamrák közé egy 7 cm² hasznos felületű és 127 µm vastagságú NafionTM 115 proton szelektív membránt (Sigma-Aldrich) helyeztünk.

Coulombikus hatások

A nemzetközi szakirodalomban széles körben használt paraméter az adott mikrobiális üzemanyagcella jellemzésére a coulombikus hatások (angolul: coulombic efficiency), melyre CE jelöléssel fogunk hivatkozni a továbbiakban. A CE lényegében azt mutatja meg, hogy a cellába táplált szerves anyagokból kinyerhető maximális töltésmennyiség hány százalékát sikerült a rendszernek bioelektromosság generálására fordítania (Liu, 2004).

Eredmények és értékelésük

Nem kombinált, egyfokozatú PBF feldolgozás (HF, BF, MÜC)

Biohidrogén termelő potenciál

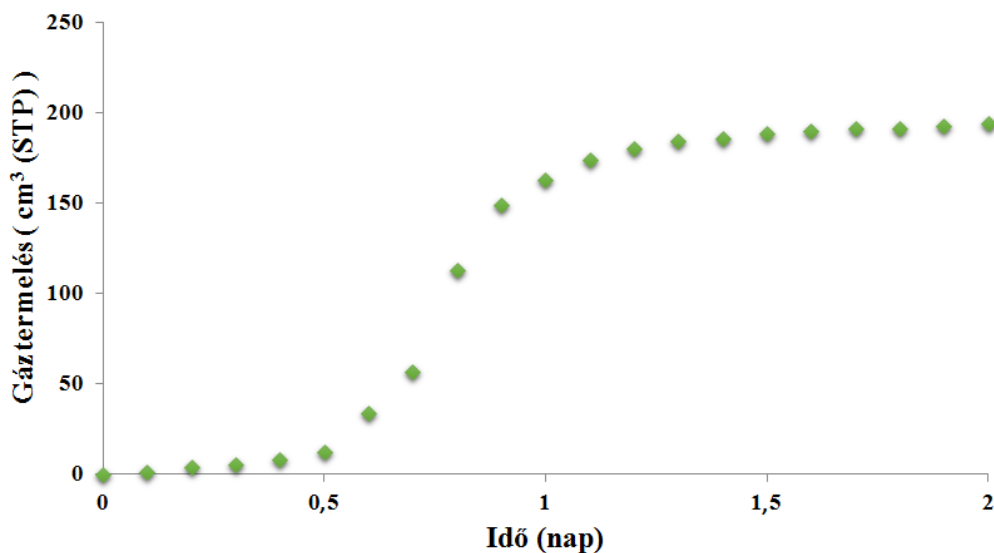
A vizsgált minta (1. táblázat), valamint az inokulum főbb paraméterei (pH 7,7 $\pm$ 1; KOI: 24 $\pm$ 5 g L⁻¹.) és a gázfermentációs kísérletekhez használt kedvező kiindulási pH érték (HF: pH 5; BF: pH 5,5) és minta-inokulum keverési arány (1:1) korábbi vizsgálatok alapján már meghatározásra került (Rózsenberszki, 2015)..

1. táblázat: A vizsgált folyadék frakció főbb paraméterei

Paraméter	Vizsgált minta
pH	4,7
KOI	111,0 g L ⁻¹
BOI ₅	61,0 g L ⁻¹
BOI / KOI	~ 0,6
Száranyag-tartalom	8,3 %
Összes szerves széntartalom	35,9 g L ⁻¹
Lebegőanyag-tartalom	85,7 g L ⁻¹
Fehérje tartalom	42,5 g L ⁻¹

Az előkísérleteket követően először az egyfokozatú (nem kombinált) biohidrogén (HF), biogáz fermentációt (BF) illetve a mikrobiális üzemanyagcella rendszert (MÜC) tanulmányoztuk. Az 1. ábrán látható egy tipikus hidrogénképződési görbe. A 12 órás lag fázis során a baktériumok vízfelvétele és enzim szintetizációja történik, amit az új feltételekhez történő adaptálódást követően egy intenzív gázképződési exponenciális szakasz követ (itt feltételezhető a maximális reprodukciós ráta). Egy nap elteltével a stacionárius szakaszban a tápanyagok és elektron akceptorok mennyisége lecsökken, a gázképződés lelassul. Ekkor a

sejtek energia tartalékainak kimerülésével a sejtosztódási ráta csökkenése figyelhető meg, valamint szén-dioxid és mérgeanyagok felhalmozódása is megjelenik. A gázképződés egyértelmű lassulásánál, még a regressziós fázis előtt 2 nap működési idő után tértem rá a gázkromatográfiás vizsgálatokra.



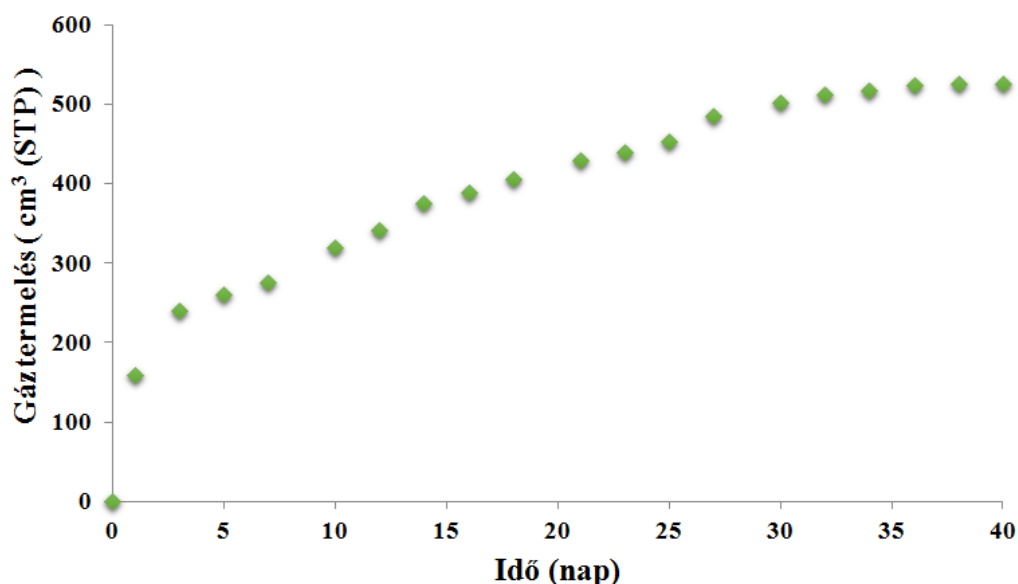
1. ábra: 25 cm³ mintát és 25 cm³ inokulumot tartalmazó keverék gáztermelési görbéje (egyfokozatú hidrogén előállítás sötét fermentációval)

A működési idő során a gáztérben nem keletkezett detektálható mennyiségű metán, ami arra utal, hogy megfelelő volt az alkalmazott termikus előkezelés és metanogén tevékenység nem történt ez idő alatt. A képződött összes gázmennyiség 194 STP cm³ (hidrogén és szén-dioxid keverék) volt. A gázanalízis eredményeként kiderült, hogy 47,1 % H₂ keletkezett, ami 91 STP cm³-nek felel meg. Figyelembe véve a gravimetrikus energiasűrűséget a hidrogénre (142 kJ/g) nézve, a 25 cm³ PBF felhasználásával hidrogénként 1,14 kJ elméleti energia kihozatal volt megvalósítható (tisztá termékre vonatkozóan). Az HF fokozott gázfejlődéssel járt, de korlátozott KOI csökkentés (8,8 %) jellemezte. Utóbbi arra utal, hogy a PBF-ben lévő azon komponensek, melyekből H₂ és CO₂ keletkezik, viszonylag gyorsan felhasználásra kerülnek és kimerülnek (~1, 2 nap).

Biogáztermelő potenciál

A 2. ábrán látható a biogáz fermentációs (BF) kísérlet gázképződés görbéje. A biogáz fermentációnál a HF folyamatához hasonlóan gyorsan tapasztalható az exponenciális szakasz megjelenése, amit az intenzív gázfejlődés mutat. A stacionárius fázis során a 40. nap végére 527 STP cm³ biogáz képződött. A 40 nap után a gázképződés mértéke annyira lelassult, hogy

vélhetően már a regressziós fázisba került a rendszer. A metántartalom 56,7 % volt, ami 299 STP cm³ metánnak felel meg. Figyelembe véve a gravimetrikus energiasűrűséget a metánra (55.5 kJ/g) nézve, a 25 cm³ PBF felhasználásával metán formájában 11,7 kJ elméleti energia értékű metán kihozatal volt megvalósítható (tisztá termékre vonatkozóan).

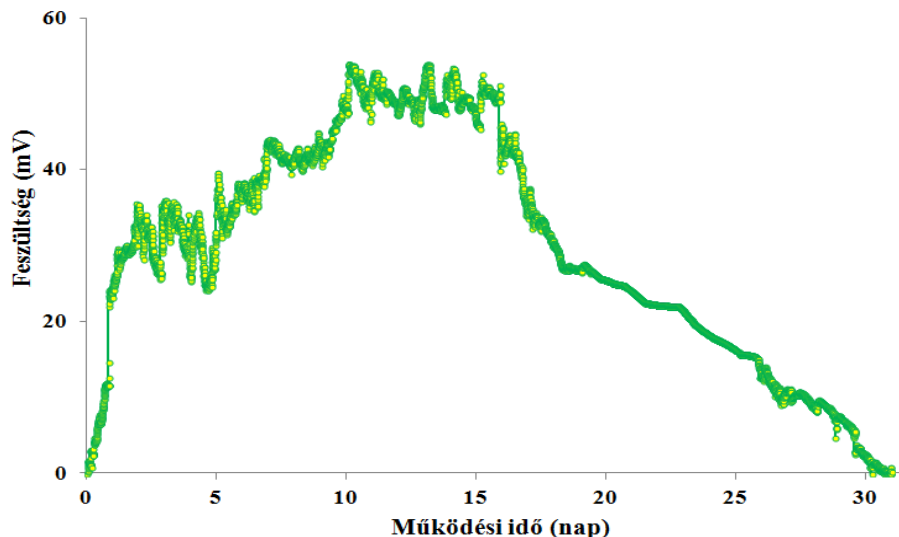


2. ábra: 25 cm³ mintát és 25 cm³ inokulumot tartalmazó keverék gáztermelési görbéje (egyfokozatú biogáz előállítás metanogén fermentációval)

A BF esetén a hosszabb működési idő következtében a KOI csökkenés is magasabb (50,2 %). Mind a HF és BF esetén gyors kezdeti hidrolízis lépett fel, mely miatt a könnyebben hozzáférhető szerves anyagok átalakulása következett be. A PBF BOI5/KOI arányából arra lehetne következtetni, hogy a szerves anyagok nagyobb része könnyen degradálható. Az eddigi KOI csökkentési tapasztalatokat figyelembe véve (HF: 8,8 %; BF: 50,2 %) viszont úgy tűnik, hogy döntő része nehezebben degradálható összetett anyag a jelenlevő anaerob baktériumok számára. Ez különösen feltűnő volt a rövid ideig tartó HF esetében. Elképzelhető továbbá a növények vázában megtalálható és papírgyártásban is felhasznált cellulóz jelenléte is, mely egy igen nehezen bontható biopolimer (Kárpáti, 2014).

Mikrobiális üzemanyagcella bioelektromos potenciálja

A MÜC rendszereknél 25 cm^3 PBF betáplálása történt (megegyező mennyiségben, mint a HF és BF esetén). Ennek eredménye a 3. ábrán látható.



3. ábra: 25 cm^3 minta betáplálását követő feszültség emelkedés a MÜC rendszerben

A maximális potenciálkülönbség 100 ohm ellenállás mellett 50 mV körül mozgott körülbelül 6-7 napon keresztül (10. és 16. nap között) a fokozatos potenciálcsökkenést megelőzően. A 25 cm^3 minta lebontásához 30 napra volt szüksége a rendszernek. Ez idő alatt vélhetően az exoelektrogén törzsek adaptálódásával és szaporodásával a cella hatékonysága is emelkedett a 10. nap környékén ($\sim 50\text{ mV}$). Az összegyűjtött adatokból meghatározásra került, hogy ezzel a rendszerkialakítással a 30 napos működés során 31 J kumulált energia (elektromos energia) nyerhető ki 25 cm^3 PBF-ből. Ez jelentősen alacsonyabb (annak ellenére, hogy ez közvetlen elektromos energia) az HF, vagy BF által kinyert mennyiségnél, másrészt azonban a KOI csökkentés a MÜC rendszer esetén volt a legnagyobb mértékű ($> 80\%$). Figyelembe véve a kialakuló feszültséget a 10-16. nap között, a külső ellenállást és az anód felületét, meghatározásra került a maximális áramsűrűség, ami 216 mA m^{-2} volt (Koók, 2016). Ez közelít ahhoz az értékhez (253 mA m^{-2}), amit Cercado-Quezada és társai (2010 a,b) publikáltak kerti komposzt hulladék csurgalékvizével és élelmiszeripari hulladék keverékkel végzett MÜC méréseiknél. A MÜC rendszer teljesítményének igen sok befolyásoló tényezője van. Ide sorolható például az adott cella kialakítás mellett (pl.: egycellás, kétcellás) az elektródák és vezetékek anyagi tulajdonságai és elektromos vezetőképessége (pl.: grafit, réz, platina, belső és külső ellenállás), az alkalmazott membrán típusa és hasznos felülete

(legelterjedtebbek a proton „szelektív” membránok), valamint a biológiai tényezők (pl.: exoelektrogén mikroorganizmusok jelenléte és stabilitása).

Az egy lépéses eljárások összevetése a PBF kezelésében

Az egyfokozatú eredmények alapján látható, hogy a BF eljárással a keletkező biogáz metántartalma révén jelentős elméleti energiát hordoz magában a vizsgált folyadékminta. Ennek kinyerése azonban viszonylag időigényes (~ 40 nap) és a szerves anyag csökkentése is 50 % körüli. A MÜC rendszer energetikai szempontból még elmarad a fermentációs folyamatokhoz képest, azonban meg kell említeni, hogy míg ebben az esetben közvetlen elektromos energia indukálódik, addig a gázok esetén tisztítás és átalakítási veszteségekkel is számolni kell. A MÜC rendszerek esetén a szerves anyag eltávolítás viszonylag magas értékeket mutatott, ami ígéretesnek mondható. A HF alkalmazással kevésbé csökkentjük a szerves anyagok nagy részét. Más szóval csak a HF eljárással nem értünk el megfelelő KOI konverziós hatékonyságot. Ez alapján az HF elfolyójának környezetterhelési kockázata még jelentős és a szerves tápanyagok nagy része, tehát a maradék kémiai energia kihasználatlanul benne marad. Ezen szempontok alapján összességében a HF első lépésként alkalmazva egy többlépcsős folyamatba integrálva jó iránynak tűnik.

Kombinált eljárások

Más kutatások már kimutatták, hogy hidrogén fermentációból származó maradékok további anaerob lebontásával extra mennyiségű metán nyerhető ki, mellyel fokozható az energia konverzió (Buitrón, 2014; Intanoo, 2016; Nualsri, 2016). Ezért kétlépéses vizsgálatokat folytattam a maradék HF elfolyójából. Az egyik vizsgálati ág az HF elfolyó kezelésére az anaerob metanogén gázfermentációs kísérletben valósult meg (HF-BF), a másik irány pedig a MÜC rendszer általi újrafelhasználás (HF-MÜC) volt. A kétlépcsős lebontási eljárások PBF-inokulum maradék energia kihozatal és KOI csökkentési hatékonyságát a következő fejezetekben foglalom össze.

Kétfokozatú eljárások: HF-BF, HF-MÜC

Az HF folyamán képződő elfolyóban levő még jelentős mennyiségű nem hasznosuló szerves anyagok lebontása és a maradék energia kinyerése érdekében, további metanogén fermentációs (biogáz képzés), illetve bioelektrokémiai úton történő lebonthatóságát (MÜC) vizsgáltam. A mérési körülmények hasonlóak voltak az előző mérésekhez képest.

A biogáz képződés első szakasza során is képződik hidrogén, melyből a metanogének CH_4 -t képesek alakítani, vagy akár a gáztérben kialakuló hidrogén elválasztása is megtörténhet. Ha azonban ezt az egymást követő folyamatot két külön szakaszra osztjuk, egyrészt a HF maradékban lévő, egyszerűbbé alakult tápanyagok könnyebb hozzáférést biztosítanak az új inokulumban lévő mikroorganizmusok számára, melyben másrészt már nagyobb mennyiségben jelen vannak a metanogenezishez szükséges organizmusok. A metán tekintetében a keletkező biogáz összetétele is kedvezőbb lehet. Így nemcsak a gázképződés összetételére, hanem annak működési idejére is pozitív hatást gyakorolhatunk, mivel nem kell a metanogén organizmusok lassabb reprodukálódási folyamatát megvárni, mint ahogy az beavatkozás nélkül történne.

A fenti gondolatmenetet a kísérletek eredményei is alátámasztják, melyek a 2. táblázatban láthatóak. A szimpla BF esetében a gázképződés 40 napig tartott (2. ábra), míg a kétlépcsős esetben ez 26 nap alatt megvalósult amellet, hogy a KOI csökkentés némileg kedvezőbb volt a kapcsolt rendszernél. Az is megfigyelhető, hogy a HF-BF révén a második lebontási lépéssel 57 %-kal, vagyis 35 g O_2/L kiindulási értékről 15 g O_2/L -re csökkent a KOI. A fermentáció alatt a szerves anyag lebontás következtében 157 STP cm^3 CH_4 generálódott, aminek a teljes energia tartalma 6130 J. A második lépcsős 57 % KOI csökkentés hasonló a BF 50 %-os értékéhez képest.

2. táblázat: Az egyfokozatú és kombinált eljárások összesített eredményei a vizsgált minta lebontására vonatkozóan (A piros betűszín jelzi, hogy a kombinált folyamaton belül éppen melyik eljárásra vonatkozó eredmények vannak feltüntetve.)

		kezdeti	maradék			
1 fokozatú	HF	57	52	~ 9	1140	2
	BF	57	28	~ 50	11700	40
	MÜC	42	3,2	~ 92	31	30
2 fokozatú	HF- BF	35	15	~ 57	6130	26
	HF- MÜC	23	1,4	~ 94	25	25
3 fokozatú	HF-BF- MÜC	8	0,9	~ 89	24	15

Megállapítható tehát, hogy a PBF szubsztrát HF maradéka alkalmas folytatólagos anaerob biogáz fermentációra és további KOI csökkentésre.

A HF-MÜC folyamat értékelése során kiderült, hogy a KOI csökkentése 90 % feletti hatékonyságot ért el, ami hasonlóképpen megfigyelhető volt a nem kombinált MÜC esetén. Ezek alapján kijelenthető és korábbi vizsgálataink is azt tükrözik, hogy környezetvédelmi szempontból a KOI csökkentés meghatározó iránya lehet a MÜC alkalmazásának. Másfelől azonban nem tudott hatékonyan részt venni az energiatermelésben a többi (bár közvetett energiának számító hidrogén és biogáz) eljáráshoz képest. Gázképző eljárásoknál a képződött légnemű bioüzemanyagok (H_2 , biogáz) egy megfelelő tisztítási technológia után potenciálisan hasznosíthatók a fenntartható energiatermelésben. Megoldásként a membrános gázszeparáció alkalmazása is szóba jöhet ezekben az esetekben (Bakonyi, 2013; Basu, 2010).

Háromfokozatú eljárás: HF-BF-MÜC

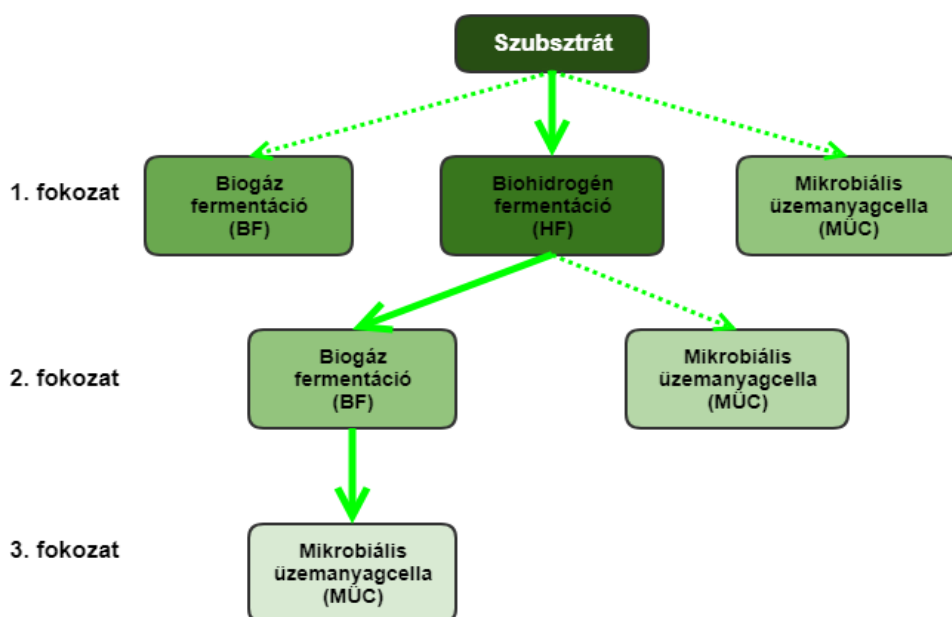
Bár a kapcsolt HF-BF tűnik hatékonyabbnak a HF-al szemben, mivel több energia és nagyobb KOI eltávolítás volt megvalósítható, a maradék ferment iszapban még 15,3 g/L KOI így is visszamaradt. A sötét fermentációs hidrogén előállítás és biogáz képződés mikroorganizmusai számára már tovább nem hasznosítható maradék tápanyagok eltávolításának vizsgálatára ezért a továbbiakban ezek maradék frakcióit tápláltam be a MÜC rendszerekbe. Ezáltal egyfajta záró technológiai lépésként iktattam be a MÜC-át, kialakítva ezzel a végső sorrendet HF-BF-MÜC. A MÜC hozzákapcsolásával az eddigi tapasztalatok alapján nem az energia nyereség nagymértékű növekedése várható, hanem inkább a KOI eltávolítás javulása. Tekintve, hogy az eddigi méréseinknél a MÜC magas KOI csökkentést ért el, ezért is tűnik jelenleg egyfajta utókezelési szakasznak.

A háromfokozatú kísérletsorozat a tervezett eredményt mutatta. Mint ahogy az a 2. táblázatban is látható, az utolsó MÜC-be betáplált HF-BF maradék KOI szintje a 24 napos működési idő során további 89 % -kal csökkent, egészen 0,9 g /L KOI-ig.

A Coulombikus hatások javulása

A kombinált eljárások során a MÜC rendszereknél a lebontás mellett némi áram is indukálódott, azonban a nagyobb előrelépés a coulombikus hatások 9,7 %-ra történő hatékonyság javulása volt. Ez többek között azt jelentette, hogy az anód cellában lévő egyéb baktérium törzsek már nehezebben tudták felhasználni a gázfermentációs eljárások maradékában lévő szerves anyagokat, így az exoelektrogén organizmusok hatékonyabban tudtak működni. Ez a jelenség szintén megfigyelhető volt a szimpla MÜC (2,9 %) és HF-MÜC (4,2 %) –nél megjelenő CE javulásnál (Rózsenszki, 2017). Ez megerősíti azt a felvetést, miszerint jelenleg az általam alkalmazott MÜC rendszerek ilyen jellegű

tápanyagforrások lebontásánál más eljárások összekapcsolásával egyfajta utókezelésként alkalmazhatóak (4. ábra).



4. ábra A kombinált folyamatok egyszerűsített folyamatábrája (A zöld nyíl szemlélteti a KOI csökkentés és energetikai hatékonyság terén hatékonyabbnak bizonyult kombinált eljárás sorrendjét a vizsgált minta tekintetében)

Összefoglalás

Munkánk négy fő részre osztható. Előkísérletek során különféle analitikai vizsgálatokkal meghatároztuk az eddig nem igazán vizsgált királyszentistváni hulladékkezelő telepről származó minta főbb paramétereit. Az adatok alapján nem tapasztaltunk olyan komponens jelenlétét, mely egyértelműen negatívan befolyásolhatta volna az egyes eljárások kimenetelét. A második mérési fázisnál különféle minta és inokulum keverékeket vizsgáltunk, törekedteünk a minél hatékonyabb feltételek (keverési arány, kezdeti pH) megállapítására. Ebben a cikkben mérősorozataink harmadik és negyedik részét mutattuk be részletesebben, melyekben már az egyes eljárások gyenge és erős pontjairól is kaptunk információkat. Végül az egyfokozatú vizsgálatok végeztével a visszamaradó (az adott technikával már tovább nem bontható) anyagot (elfolyó) vetettük alá egy másik kezelési típusnak. Hatékonyságának növelése érdekében két- és háromfokozatú kombinált alkalmazási lehetőségeiket vizsgáltuk.

Az eljárások külön-külön is pozitívan reagáltak a minta jelenlétére. A kombinált technikákkal fokozható volt a szervesanyag-lebontás és energiakinyerés mértéke, bizonyos esetekben a működési idő is csökkenthetővé vált a szimpla eljárásokhoz viszonyítva.

Mindazonáltal további kutatások és fejlesztések szükségesek az eljárások hatékonyságának növelése érdekében, azonban ahogy az a MÜC esetén történő CE javulása is mutatja, ígéretes alternatíva lehet a bioelektrokémiai rendszerek alkalmazása és bevonása a jövő megújuló energiatermelésében.

Az eredmények alapján összességében elmondható, hogy a hulladékkezelő telepek következő generációjában érdemes lehet az anaerob biológiai lebontás kérdéskörével is foglalkozni. Belátható, hogy potenciális energiaforrások kerülnek kihasználatlanul a lerakókba hulladék formájában, melyek tápanyagforrásként szolgálnak a különféle baktériumok számára. Szelektív hulladékgyűjtéssel a hulladékkezelőkbe kerülő biológiailag lebontható frakció, döntő része ígéretes lehet az ilyen jellegű eljárások számára. Továbbá a fenntarthatóság jegyében a megfelelő hulladékkezelés és energiaimport függőségünk csökkentése közös érdekünk.

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 a támogatta. A szerzők köszönettel tartoznak a NKFIH PD 115640 (OTKA) nyilvántartási számú pályázatnak, valamint az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíjnak.

Irodalom

Angenent, L. T., Karim, K., Al-Dahhan, M. H., Wrenn, B. A., Domínguez-Espinosa, R. (2004). Production of bioenergy and biochemicals from industrial and agricultural wastewater. *TRENDS in Biotechnology*, 22(9) 477-485

Bakonyi, P., Nemestothy, N., Belafi-Bako, K., (2013). Biohydrogen purification by membranes: an overview on the operational conditions affecting the performance of non-porous, polymeric and ionic liquid based gas separation membranes. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38 9673-9687

Basu, S., Khan, A.L., Cano-Odena, A., Liu, C., Vankelecom, I.F.J., (2010). Membranebased technologies for biogas separations. *Chemical Society Reviews*, 39 750-768

Bélafi-Bako, K., Vajda, B., Bakonyi, P., Nemestothy, N. (2014). Removal of COD by two-chamber microbial fuel cells. In *Technology and Application of Microbial Fuel Cells*. InTech. 77-87

Bélafi-Bako, K., Vajda, B., Nemestothy, N. (2011). Study on operation of a microbial fuel cell using mesophilic anaerobic sludge. *Desalination and Water Treatment*, 35(1-3), 222-226

Bond, D. R., Lovley, D. R. (2005). Evidence for involvement of an electron shuttle in electricity generation by *Geothrix fermentans*. *Applied and Environmental Microbiology*, 71 2186– 2189

Buitron, G., Kumar, G., Martinez-Arce, A., Moreno, G. (2014). Hydrogen and methane production via a two-stage processes (H₂-SBR + CH₄-UASB) using tequila vinasses. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(33) 19249-19255

Cercado-Quezada, B., Delia, M. L., Bergel, A. (2010a). Testing various food-industry wastes for electricity production in microbial fuel cell. *Bioresource Technology*, 101(8) 2748-2754

Cercado-Quezada, B., Delia, M. L., Bergel, A. (2010b). Treatment of dairy wastes with a microbial anode formed from garden compost. *Journal of Applied Electrochemistry*, 40(2) 225-232

Chaudhuri, S. K., Lovley, D. R. (2003). Electricity generation by direct oxidation of glucose in mediatorless microbial fuel cells. *Nature Biotechnology*, 21(10) 1229-1232

Hoornweg, D., Bhada-Tata, P. (2012.) What a waste: a global review of solid waste management. *Urban Development Series, World Bank Group*. 15

Eurostat adatbázis:

<http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=tsdpc240&language=en> (2016.09.10.)

Intanoo, P., Chaimongkol, P., Chavadej, S. (2016). Hydrogen and methane production from cassava wastewater using two-stage upflow anaerobic sludge blanket reactors (UASB) with an emphasis on maximum hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(14) 6107-6114

Kim, J. R., Jung, S. H., Regan, J. M., Logan, B. E. (2007) Electricity generation and microbial community analysis of alcohol powered microbial fuel cells. *Bioresource Technology*, 98 2568-2577

Kim, N., Choi, Y., Jung, S., Kim, S. (2000). Effect of initial carbon sources on the performance of microbial fuel cells containing *Proteus vulgaris*. *Biotechnology and Bioengineering*, 70(1) 109-114

Koók, L., Rózsenszki, T., Nemestóthy, N., Bélafi-Bakó, K., Bakonyi, P. (2016). Bioelectrochemical treatment of municipal waste liquor in microbial fuel cells for energy valorization. *Journal of Cleaner Production*, 112 4406-4412

KSH (2017), Magyarország 2016

<http://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/mo/mo2016.pdf> (2017.12.06.)

KSH adatbázis

http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_ur009b.html (2016.11.24.)

- Leaño, E. P., Babel, S. (2012). The influence of enzyme and surfactant on biohydrogen production and electricity generation using palm oil mill effluent. *Journal of Cleaner Production*, 31 91-99
- Liu, H., Cheng, S., Logan, B. E., (2005). Power generation in fed-batch microbial fuel cells as a function on ionic strength, temperature, and reactor configuration. *Environmental Science & Technology*, 39 5488-5493
- Liu, H., Logan, B. E. (2004). Electricity generation using an air-cathode single chamber microbial fuel cell in the presence and absence of a proton exchange membrane. *Environmental Science & Technology*, 38(14) 4040-4046
- Mercuri, E. G. F., Kumata, A. Y. J., Amaral, E. B., Vitule, J. R. S. (2016). Energy by Microbial Fuel Cells: Scientometric global synthesis and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65 832-840
- Min, B., Logan, B. E. (2004). Continuous electricity generation from domestic wastewater and organic substrates in a flat plate microbial fuel cell. *Environmental Science & Technology*, 38(21) 5809-5814
- Nualsri, C., Kongjan, P., Reungsang, A., (2016). Direct integration of CSTR-UASB reactors for two-stage hydrogen and methane production from sugarcane syrup. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41 17884-17895
- Pant, D., Van Bogaert, G., Diels, L., Vanbroekhoven, K. (2010). A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production. *Bioresource Technology*, 101(6) 1533-1543
- Potter, M. C. (1911). Electrical effects accompanying the decomposition of organic compounds. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character*, 84(571) 260-276
- Reimers, C. E., Tender, L. M., Fertig, S., Wang, W. (2001). Harvesting energy from the marine sediment– water interface. *Environmental Science & Technology*, 35(1) 192-195
- Rózsenszki, T., Koók, L., Bakonyi, P., Nemestóthy, N., Logroño, W., Pérez, M., Urquiza, G., Recalde, C., Kurdi, R., Sarkady, A. (2017). Municipal waste liquor treatment via bioelectrochemical and fermentation (H_2+CH_4) processes: Assessment of various technological sequences. *Chemosphere*, 171 692-701
- Rózsenszki, T., Koók, L., Hutvágner, D., Nemestóthy, N., Bélafi-Bakó, K., Bakonyi, P., Kurdi, R., Sarkady, A. (2015). Comparison of anaerobic degradation processes for bioenergy generation from liquid fraction of pressed solid waste. *Waste and Biomass Valorization*, 6 (4) 465-473
- Ryckebosch, E., Drouillon, M., Vervaeren, H. (2011). Techniques for transformation of biogas to biomethane. *Biomass and Bioenergy*, 35 1633-1645

Műszaki Kémiai Napok 2018

Idén április 24. és 26. között rendezték meg Veszprémben az egyetem konferencia központjában a hagyományos kongresszust. Az ünnepélyes megnyitót két plenáris előadás követte, ahol először a MOL NyRT képviselőjében Törő Mária számolt be egy érdekes kutatás lépéseiről „A laboratóriumból az üzemig” címmel (képünkön), majd Szépvölgyi János, professzor emeritus (MTA TTK AKI) „Fenntarthatóság és innováció” címmel osztotta meg gondolatait a közönséggel.



Törő Mária

A későbbiekben az alábbi szekciókban zajlottak a tudományos ülések:

- Polimerkémia és műanyag hulladékok

- Folyamatmérnökség
- Bionanotechnológia
- Biomérnöki műveletek
- Membrán és egyéb elválasztási technikák
- Élelmiszer- és anyagtudomány

A szekcióüléseken kívül az MTA Műszaki Kémiai Tudományos Bizottság és az MTA Folyamatmérnöki Bizottság együttes ülését tartották meg kedden délután, valamint a MKE Membrántechnikai szakosztálya is ülésezett szerdán.

A résztvevők száma némiképp visszaesett a tavalyi rendezvényhez képest, de a konferencia színvonalát, családi karakterét, a szekcióülések élénk szakmai vitáit, s a kávészünetek kapcsolatépítő jellegét sikerült megőrizni.



Az idei membrános Nyári Egyetemen való részvételre meghirdetett pályázat

EREDMÉNYHIRDETÉSE

A *Membrántechnika és Ipari Biotechnológia* idei 1. számában (2018. február), a MKE Membrántechnikai Szakosztálya által meghirdetett felhívásra a megadott határidőn belül (2018. április 15.) egyetlen pályázat érkezett, amelyet támogatásra méltónak talált a Szakosztály vezetése. A nyertes:

Takács Piroska, Pannon Egyetem

A sikeres pályázó megkapja a pályázatra elkülönített összeget, így a Membrános Nyári Egyetemen (University of Twente, Hollandia, 2018. június 24. és 29. között) való részvételére 50 ezer Ft áll rendelkezésére. A pályázat nyertese a Nyári Egyetemről beszámolót készít, amelyet lapunk megjelentet. A támogatás felhasználásáról a rendezvényt követően költségelszámolást kell készíteni a szakosztály felé.



IV. Soós Ernő Nemzetközi Tudományos Konferencia

VÍZ- ÉS SZENNYVÍZKEZELÉS AZ IPARBAN 2018

II. FELHÍVÁS

VSZI'18

A Soós Ernő Víztechnológiai Kutató-Fejlesztő Központ V. nemzetközi tudományos konferenciáját szervezi

VÍZ- ÉS SZENNYVÍZKEZELÉS AZ IPARBAN 2018 címmel.

Időpont: 2018. október 18.

Helyszín: HOTEL KAROS SPA**superior; (8749 Zalakaros, Alma utca 1.)**

Tisztelettel meghívjuk a felsőoktatási intézmények, a kormányzati és az ipari szektor képviselőit, a téma iránt érdeklődő valamennyi kollégát, szakértőt immár IV. alkalommal megrendezésre kerülő konferenciánkra.

A konferencia tervezett programja:

A plenáris előadásokat követően szekció előadásokra kerül sor az alábbi témakörök szerint:

ivóvízkezelés	ipari víz előkészítés
termálvizek komplex hasznosítási lehetőségei	víz mikrobiológia
ipari hulladékvíz kezelés/visszaforgatási lehetőségek	szennyvizek és szennyvíziszapok kezelése, hasznosítása
újítások a vízanalitikában	szabályozás ill. pályázati lehetőségek a tudományos és ipari szektor részére

A konferencia előzetes regisztrációhoz kötött. Regisztrálni az <http://www.sooswrc.hu/hu/> honlapon lehet:

- konferencia előadóként az előadások rövid magyar és angol nyelvű összefoglalójának feltöltésével **2018. szeptember 15-ig** (maximum 800-1000 karakter szöközzel, a honlapon található minta alapján).
Teljes anyag megjelentetése esetén a beküldési határidő: **2018. szeptember 15.** (a honlapon található minta alapján).
- konferencia látogatóként **2018. október 15-ig.**
- kiállítóként **2018. október 15-ig.**
- támogatóként a conference@sooswrc.hu e-mail címen.

Soós Ernő Víztechnológiai Kutató-Fejlesztő Központ Nagykanizsa
Pannon Egyetem Mémóriái Kar
800 Nagykanizsa, Zrínyi u. 18.
Tel: +36 93 502 927 | info@sooswrc.hu | sooswrc.hu





IV. Soós Ernő Nemzetközi Tudományos Konferencia

VÍZ- ÉS SZENNYVÍZKEZELÉS AZ IPARBAN 2018

Konferencia regisztrációs díjak:

	Regisztrációs díj
Előadó	28 000 Ft+ÁFA
PhD hallgató, látogató	18 000 Ft+ÁFA
Ipari stand + rollup	90 000 Ft+ÁFA

A konferencián átadásra kerülnek a Soós Ernő Ifjú Kutatói Díjak MSc és PhD kategóriákban, melyekre nemzetközi szinten lehet pályázni. Bővebb információért keressen bennünket!

A részletes programmal hamarosan jelentkezünk, de addig is kérjük, jegyezze fel a rendezvény október 18-i dátumát.

Szálláslehetőség: <http://www.sooswrc.hu/hu/konferencia/vszi-18/szallaslehetosegek>

További információ a konferenciával kapcsolatban:

Nemzetközi szekciók

Berkesné Rodek Nóra
titkár
Soós Ernő Víztechnológiai Kutató-Fejlesztő
Központ
+36 30 378 7058

Magyar nyelvű szekciók

Barabás Enikő
tudományos segédmunkatárs
Soós Ernő Víztechnológiai Kutató-Fejlesztő
Központ
+36 70 616 2447

KÖZELGŐ KONFERENCIÁK, KURZUSOK

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/>

35. EMS Nyári Egyetem

2018. június 24-29, University of Twente (Hollandia)

<https://www.utwente.nl/en/events/!/2018/6/265578/35th-ems-summer-school-2018>

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>

Nordic Filtration Symposium, NOF18

2018. augusztus 30-31., Aalborg, (Dánia)

<http://www.nofs17.aau.dk/>

17th Aachener Membran Kolloquium, AMK2018

2018. november 13-15., Aachen (Németország)

<http://www.amk.rwth-aachen.de>

**International Congress for Membrane and Electromembrane Processes,
MELPRO2020**

2020. április 19-22., Prága (Csehország)

<https://www.melpro.cz/>

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: 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.