BIODEGRADÁLHATÓ SZERVESANYAG-TARTALOM MEGHATÁROZÁSA MIKROBIÁLIS ÜZEMANYAGCELLA ALAPÚ BIOSZENZOROK SEGÍTSÉGÉVEL

DR. TARDY GÁBOR MÁRK, LÓRÁNT BÁLINT,
BME ALKALMAZOTT BIOTECHNOLÓGIA ÉS ÉLELMISZERTUDOMÁNYI TANSZÉK
DR. GYALAI-KORPOS MIKLÓS,
BES EUROPE LTD

1. BEVEZETÉS

Vízbázisaink állapotmegóvásában központi szerepet játszik a biológiai szennyvíztisztítás, mely lehetővé teszi a szennyezőanyagok biotranszformációját és elválasztását, ezzel megakadályozva a befogadó természetes öntisztító képességének túlterhelését és a vízi ökoszisztéma veszélyeztetését. A technológia– mely jellemzően az eleveniszapos szennyvíztisztítás–üzemeltetése nagy körültekintést és szakértelmet, továbbá a telepre befolyó szennyvíz és az onnan távozó elfolyó minőségét leíró számos paraméter pontos ismeretét igényli annak érdekében, hogy a hatályos jogszabályok által megállapított határértékek mindegyike tartható legyen.

Az egyik legfontosabb szennyvízminőségi paraméter a Biokémiai Oxigénigény (BOI, mg O^2/l), mely a mintában levő szervesanyagok baktériumok okozta aerob oxidációjához szükséges oxigén mennyiségét adja meg, jellemzően 20°C-on végzett 5 napos mérés (~BOI5) alapján. A szakemberek a kapott BOI5 értékek alapján következtetnek a mintában található biodegradálható szervesanyag mennyiségére, mely számos folyamatra gyakorol nagy hatást (pl.: a denitrifikációra és ezen keresztül a biológiai nitrogéneltávolításra), így ennek ismerete kiemelten fontos. A meghatározására széles körben alkalmazott respirometria alapú mérési

módszerről elmondható, hogy időigényes, szakképzett munkaerő szükséges hozzá, nehezen automatizálható, illetve még akkreditált laboratóriumok esetén is viszonylag nagy mérési hibával (~20% (Jouanneau et al. 2014)) kell számolni. Ezen problémákra megoldást jelenthetnek az új generációs bioszenzorok.

A bioszenzorok olyan eszközök, amik biológiai folyamatok detektálását és feldolgozható jellé alakítását teszik lehetővé.Jellemzően költségesek, ezért elsősorban olyan iparágakban kifizetődő az alkalmazásuk, ahol a termékek nagy hozzáadott értéket képviselnek (gyógyszeripar, orvos diagnosztikai eszközök). Kedvező tulajdonságaiknak köszönhetően mégis egyre elterjedtebbek, a világon pedig számos kutatócsoport célja meglévő bioszenzorok olcsóbb alternatíváinak kifejlesztése, vagy új technológiák bioszenzorikus felhasználhatóságának vizsgálata.

A BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszékén működő Szennyvíztisztítási Biotechnológiák Kutatócsoportban immár 8 éve tanulmányozzuk a mikrobiális üzemanyagcellák (MicrobialFuelCell – MFC) alkalmazhatóságát szennyvizek monitorozására és kezelésére. Legújabb eredményeink alapján lehetséges egy olyan MFC alapú BOI szenzor kifejlesztése, mely alkalmas szennyvizek biodegradálható szervesanyag tartalmának mennyiségi, sőt, akár minőségi meghatározásra is, így információ nyerhető az oldott könnyen biodegradálható és lebegőanyag formájában jelen lévő nehezen biodegradálható szervesanyag frakciók arányáról is. A konvencionális respirometriás módszerrel összevetve tapasztalataink alapján a mérési időrövidebb, a mérési bizonytalanság kisebb, a módszer pedig jól automatizálható, így akár laborkörülményeket nem igénylő on-site mérőegységek is létrehozhatók. Munkánk során arra is nagy figyelmet fordítunk, hogy elérhető és megfizethető szenzort fejlesszünk, ezért törekszünk az olcsóbb alternatív szerkezeti anyagok és nemesfém mentes katalizátorok (Tardy et al. 2017) fejlesztésére és alkalmazására.

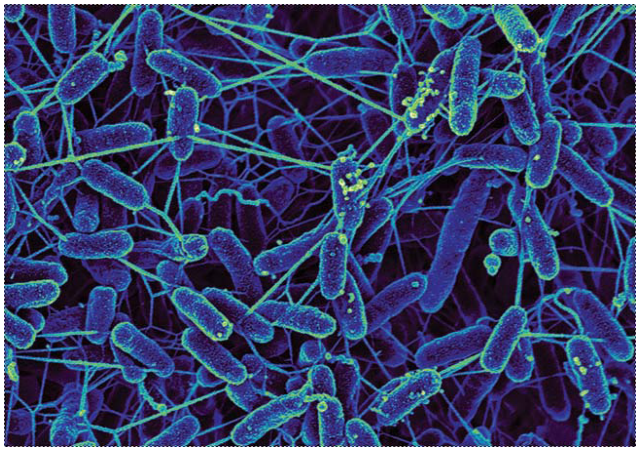
2. AZ EXOELEKTROGÉN MIKROORGANIZMUSOK

Az oxidatív anyagcserét folytató heterotrófmikrobák a terminális oxidációhoz kapcsolt oxidatív foszforilálcón keresztül állítják elő a szükséges energiát adenozin-trifoszfát (ATP) formájában, mely az élővilágbanaz energiaátvitel alapegysége. A szerves anyagok oxidációja során CO_2 és redukált koenzimek képződnek, úgymint NADH és $FADH_2$. Az anyagcserefolyamatok zavartalan működéséhez ezen koenzimek oxidált formája is szükséges, ezért a NADH és $FADH_2$ regenerációja – azaz visszaoxidálása – elengedhetetlen, mely a terminális oxidáció során zajlik le. A membránkapcsolt folyamatban az elektronok végül a terminális elektronakceptorra (TEA) kerülnek, az eközben felszabaduló energiát pedig közvetetten felhasználva a mikroba ATP-t szintetizál, melyet oxidatív foszforilálcionak nevezünk. A legáltalánosabb terminális elektronakceptor az oxigén, de egyes mikrobák a nitrát, a nitrit és a szulfát molekulákat is képesek TEA-ként hasznosítani.

Összevetve az oxidatív foszforiláció energiatermelő képességét a fermentatív anyagcserével elmondható, hogy csaknem egy nagyságrenddel

több ATP-t képes előállítani egységnyi szerves szubsztrátból. Ez a nagymértékű metabolikus előny lehetőséget ad a szubsztrátokhatékonyabb hasznosítására és a gyorsabb szaporodásra, nem véletlen tehát, hogy olyan elterjedt az élővilágban. Ha azonban nem áll rendelkezésre oxigén, vagy egyéb konvencionális terminális elektronakceptor (pl. nitrát vagy szulfát), akkor a kemotrófmikrobákidővel vagy elpusztulnak, vagy kénytelenek fermentatív anyagcserét folytatni. Ez alól kivételt képez a kemoheterotrófok egy speciális csoportja, az úgynevezett exoelektrogének.

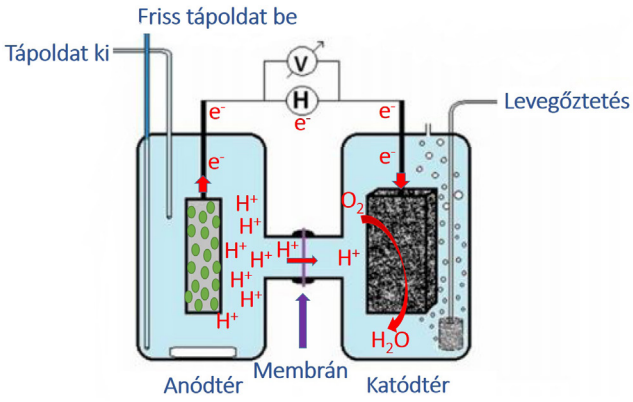
Az exoelektrogének, avagy elektrokémiailag aktív baktériumok képesek oldott terminális elektronakceptor hiányában a koenzimek regenerálásából származó elektronokat egy szilárd elektronakceptor felületére transzportálni, és így anaerob körülmények között is oxidatív anyagcserét folytatni, ami nagy előnnyel jár. A természetben leggyakrabban Fe^{3+} és $Mn^{3+/4+}$ oxid szemcsék felületére történik ez az extracelluláris elektrontranszport, melynek több módja is ismeretes. Egyes baktériumok képesek olyan kémiai mediátormolekulák szintézisére és kiválasztására, amik több redoxállapottal rendelkeznek, így a fém-oxid szemcsék és a sejtek között ingázva szállítani tudják az elektronokat. Ilyen molekula például aPseudomonasaeruginosa által termelt piocianin is(Voggu et al. 2006). Más baktériumok esetén, például a Geobacter és Shewanella nemzetségbe tartozó fajoknál elektromos vezetőként funkcionáló nanopílusok kialakulását figyelték meg(Reguera et al. 2005). Ezeknek a konduktív bakteriális függelékeknek (1. ábra) a segítségével képesek kapcsolódni a szilárd elektronakceptorhoz és átadni elektronjaikat, sőt, akár exoelektrogénbiofilm is kialakulhat, melynek minden egyes tagja közvetlenül kapcsolódik nanopílussal a felülethez.



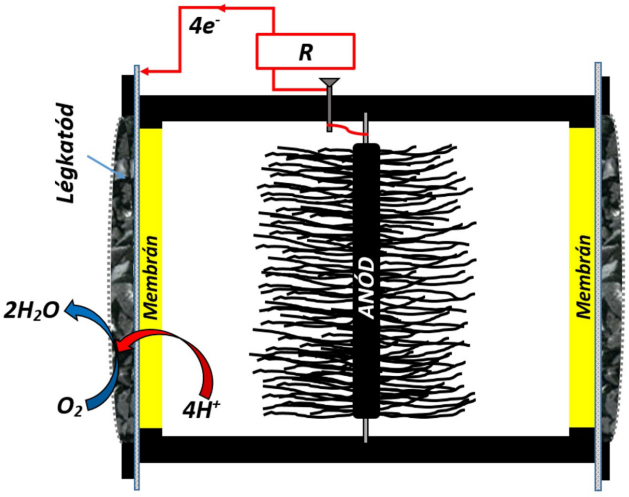
3. A MIKROBIÁLIS ÜZEMANYAGCELLÁK

A mikrobiális üzemanyagcellák olyan speciális bioreaktorok, melyekben az exoelektrogén mikroorganizmusok a szerves anyagok oxidációjából nyert elektronokat a vezető anód felületére adják le, így a biodegradációból közvetlenül elektromos energia nyerhető. Az alapkutatásban elterjedten alkalmazott H-típusú MFC (2. ábra) szerkezetileg két térre osztható. Egyrészt a szigorúan anaerob anódtérre, ahol a szerves szénforrást tartalmazó tápoldatba merül az anód, melynek felületén az exoelektrogénekbiofilmet képeznek és az oxidatív anyagcseréjükből származó elektronokat a felületre transzportálják konduktív nanopílusaik segítségével. Az anódról egy külső áramkörön keresztül jutnak el az elektronok a katódra, mely az intenzíven levegőztetett, szénforrást nem tartalmazó katódoldatba merül. Tehát a második

nagy szerkezeti egység a katódtér, mely aerob. A katód felületén játszódik le az oxigén redukciós reakció (ORR), azaz az ide érkező elektronok az oldott oxigénnel és protonokkal elreagálva vizet képeznek. A két szerkezeti alegységet egy protonokra szelektív ioncserélő membrán (pl.: Nafion© 117) választja el, mely egyrészt lehetővé teszi a protonfluxust az anódtérből a katódtérbe, azonban meggátolja az oxigén diffúzióját az aerob katódtérből az anaerob anódtérbe.
Az ioncserélő membránon keresztüli protonáramlás hajtóereje a kialakuló koncentrációgradiens, hiszen a katódoldatban a H+ ionok az ORR-nek köszönhetően fogynak, míg az anódoldatban a mikrobiális tevékenység következtében többlet keletkezik. Az elektrondonor redukált koenzimek és az elektronakceptor oxigén redoxpotenciáljának különbsége pedig az elektronfluxus hajtóereje.



Az úgynevezett légkatódos mikrobiális üzemanyagcellák (3. ábra) esetén nincs külön katódtér és katódoldat, az ORR a több rétegből álló légkatód felületén játszódik le. Az első réteg egy nedvesítő szénszövet, mely közvetlenül érintkezik a membránnal és egy víztároló egységből kapilláris effektussal szívja fel a szükséges vizet. Ez egyrészt biztosítja az ORR-hoz szükséges nedvességet, másrészt pedig az elektronok jellemzően erre a vezető anyagra érkezneka külső áramkörön keresztül. Ezt követi egy vastagabb, nagy fajlagos felületű porózus vezető réteg, melyet gyakran valamilyen katalitikus hatású anyaggal vonnak be. Az egyik legelterjedtebb katalizátor a platinázott szénpor, ami mellett szól nagy katalitikus aktivitása, ám magas piaci ára jelentősen hátráltatja az MFCk széleskörű elterjedését. Éppen ezért számos kutatás fókuszál nem nemesfém alapú, alacsonyabb előállítási költségű alternatív katalizátorok kifejlesztésére. Kifejezetten ígéretes jelöltek a különböző heteroatommal (N, S) dópolt szén-aerogélek(Tardy et al. 2017). A légkatódos üzemanyagcellák aktív levegőztetést nem igényelnek, az oxigén a légkörből diffúzióval jut el a porózus réteg belsejébe. Alkalmazás szempontjából ezért ez a konstrukció a legígéretesebb(Logan 2008), hiszen üzemeltetési energiaigénye alacsony, melyet a rendszer által termelt bioelektromosság részben fedezhet is.



4. AZ MFCK FELHASZNÁLÁSI TERÜLETEI

A biomassza a legrégebb óta hasznosított megújuló energiaforrásunk, azonban elektromos energiává alakítani csak több lépésben lehetséges, a folyamat (pl.: biomassza tüzelésű hőerőművek) hatékonysága pedig alacsony. Hasonló a helyzet az anaerob rothasztásból származó metántartalmú biogáznál is. Gázmotorokban elégetve nyerhetünk mechanikai energiát, amit ezután alakíthatunk át elektromos energiává, melynek hatékonysága szintén alacsony (Li et al. 2011). Ezzel szemben a mikrobiális üzemanyagcellák képesek a biodegradálható szerves anyagokban raktározott kémiai energiát közvetlenül elektromos energiává alakítani. Hátrányuk, hogy alacsony feszültség- és teljesítményértékeket képesek produkálni, ezért csak kis teljesítményigényű fogyasztók áramellátásra alkalmasak.Tengeri jelzőbóják működését például úgynevezett üledék-MFCk segítségével oldották meg (Reimers et al. 2006).

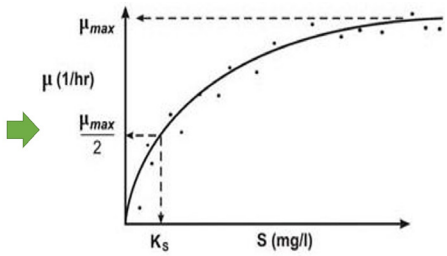
Az üzemanyagcelláknak számos olyan tulajdonsága van, amik kifejezetten alkalmassá teszik őket szennyvíztisztításra és szennyezés eliminálásra. Biomassza hozamuk jelentősen alacsonyabb (Holzman 2005), légkatódos rendszer esetén pedig aktív levegőztetés nem szükséges, így a technológia energiaigénye és járulékos költségei kisebbek az eleveniszapos eljárással összevetve. Mindehhez hatékony szervesanyag eltávolítás párosul kommunális és különböző élelmiszeripari (pl.: tejipar, söripar, boripar, stb. (Cecconet et al. 2018; Lóránt et al. 2020)) szennyvizek esetén is.Szennyvízkezelés terén a széleskörű elterjedést elsősorban a katalizátorok és membránok magas piaci ára, továbbá a léptéknövelés során jelentkező problémák gátolják (Do et al. 2018).

A legígéretesebb felhasználási terület a bioszenzorként történő alkalmazás. Ennek alapja, hogy a cella külső áramkörén mérhető elektromos paraméterek kapcsolatban állnak a cellában zajló exoelektrogén anyagcserével.

5. MFC BIOSZENZORKÉNT TÖRTÉNŐ ALKALMAZÁSA

A mikroorganizmusok fajlagos növekedési sebességét (μ) nem toxikus biodegradálható-szubsztrátok esetén (S) a Monod-kinetikával lehet leírni. Jellemzően ebbe a szubsztrátcsoportba tartoznak a kommunális szennyvízben általánosan megtalálható szervesanyagok is. A telítési görbe jellegéből következik, hogy a növekvő szubsztrátkoncentráció egy bizonyos szint felett nincs további pozitív hatással a mikrobák anyagcseresebességére, mely az enzimrendszerek szubsztrát általi telítődésével magyarázható.

$$\mu = \mu_{max} * \frac{S}{K_s + S}$$

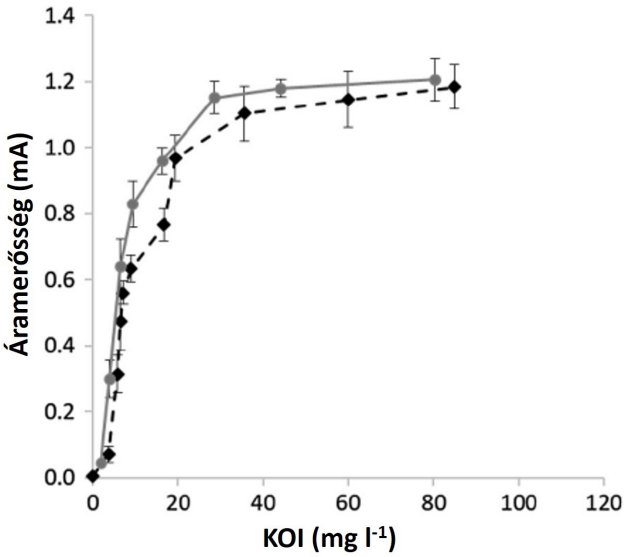


Az üzemanyagcella anódjának benépesítését követően a kialakult exoelektrogénmikrobaréteg állandó vastagságúnak tekinthető, a konvencionális biofilmes rendszerekre jellemző vastagodás és biofilm leromlás nem megy végbe. Ennek oka, hogy a mikrobáknak nanopílussal kapcsolódniuk kell az elektródfelülethez. Mivel a nanopílusok hossza korlátozott, ezért a biofilm vastagsága sem lehet nagyobb, mint amilyen hosszúra a pílusok nőni képesek. Ez az oka a csökkent biomassza hozamnak is, a biofilmstabilizálódását követően új mikrobák csak kis számban képződnek. Mivel az elektród felületén megtelepedett exoelektrogének száma kvázi stacionárius, ezért a cella külső áramkörén mérhető áramerősségvagyfeszültség csak az exoelektrogének anyagcsere-sebességétől függ. Gyorsabb anyagcsere esetén a biofilm adott idő alatt több elektront ad le az elektródra, így a mérhetőfeszültség és áramerősség is magasabb lesz. E megfontolás alapján felírhatunk egy a Monod-kinetikával analóg egyenletet az áramerősségre (I) és a feszültségre is(Lorant et al. 2015).

$$\mu = \mu_{max} * \frac{S}{K_s + S} \quad \rightarrow \quad I = I_{max} * \frac{S}{K_s + S}$$

Kísérleteink kezdeti szakaszában az általunk összeállított légkatódos üzemanyagcellákon adott acetátkoncentrációjú tápoldatot áramoltattunk át folytonosan, majd mértük az adott külső ellenállásra eső egyensúlyi feszültség értéket. A kísérletet több különböző szubsztrátkoncentráción elvégeztük, az eredmények az 5. ábrán láthatóak, melyen már a külső ellenállás ismeretében számított áramerősség értékek vannak ábrázolva.A kísérletet peptonszubsztrátot alkalmazva is elvégeztük.A pontokra illesztve a Monod-típusú áramerősség függvényt egy kalibrációs görbéhez jutottunk, melyből a függvény paraméterei (maximális áramerősség Imax és féltelítési állandó Ks) is meghatározhatóak.

Az eredmények alapján az általunk vizsgált cellák Ks értéke acetátra és peptonra nézve is igen alacsonynak adódott (<10 mg KOI/l), tehát a Monod-görbe nem telített tartománya szűk. Ebből következik, hogy a bemutatott folytonos mérési módszerrel csak alacsony szubsztrátkoncentrációk(<40 mg KOI/l)mérhetők, hiszen magasabb S értékek esetén az áramerősség már gyakorlatilag független a koncentrációtól(Lóránt et al. 2019).Ennek a módszernek a segítségével kimutatható kis koncentrációjú jól biodegradálható szennyezőanyag megjelenése élővízben, vagy szennyvíztelepi elfolyóban. Jelenleg világszerte fontos kutatási cél a módszer mérési tartományának kibővítése.

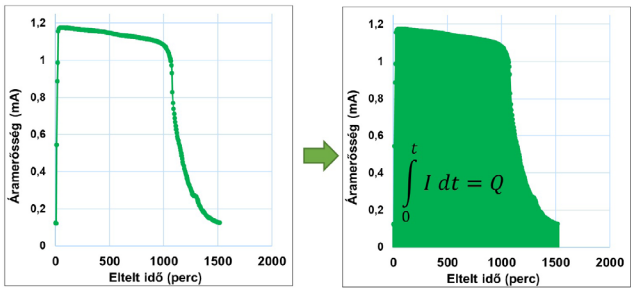


Az elvégzett kísérletek során nyert tapasztalatok, valamint elméleti megfontolások alapján kutatócsoportunk arra jutott – szemben a szakirodalom alapján általánosan elfogadott állásponttal-, hogy a folytonos mérési módszerrel valós szennyvízminták biodegradálhatószervesanyag tartalma nem mérhető kellő pontossággal, hiszen azoknem csupánkönnyen/gyorsan biodegradálható oldott szubsztrátokat tartalmaznak.A lebegőanyag jellegű lassan/nehezen biodegradálható szervesanyag frakció biológiai lebontásakomplex és viszonylag lassú folyamat (pl. első lépésben hidrolizálni kell ezeket a komponenseket). Ehhez a folytonos mérési módszer pár órás, vagy még rövidebb átlagos hidraulikai tartózkodási ideje nem elegendő, így a mérési eredmények BOI5 paraméterrel történő összevetése jelentős hibával terhelt lehet. Éppen ezért egy új, szakaszos mérési metódus kidolgozásába kezdtünk(Tardy et al. 2020).

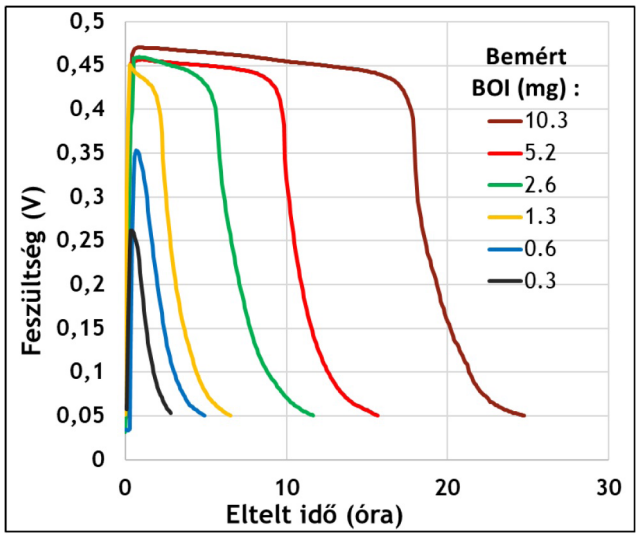
6. MFC ALAPÚ BOI SZENZOR

A kifejlesztett szakaszos módszer szerint a légkatódos üzemanyagcellákat a mérés előtt szénforrásmentes, csak szervetlen sókat tartalmazó oldattal mostuk át. Ennek hatására a biodegradálható szervesanyag koncentráció gyakorlatilag nullára csökkenta cellában. Szubsztrát hiányában rövid időn belül az exoelektrogén anyagcsere is drasztikusan lelassult, így az MFC külső ellenállásán mérhető feszültség is alacsony értékre zuhant. Az ekkor tapasztalható feszültséget tekintettük a mérés alapvonalának, mely a biofilm endogén metabolizmusának eredménye. Ekkor a mikrobák saját sejtanyagaik bontásából nyerik az életben maradáshoz szükséges minimális energiát.

Ezt követően adott térfogatú mintát pipettáztunk az üzemanyagcellákba, az így megjelenő biodegradálható szervesanyag hatására pedig az exoelektrogén metabolizmus beindult, a feszültség pedig felfutott. Értelemszerűen mikor a mintából származó hasznosítható szénforrás elkezdett kifogyni, akkor afeszültség csökkenésnek indult. A mérés végének azt az időpontot tekintettük, mikor a feszültség elérte a 0,05 V-os értéket. Ekkor a Monod-kinetikából és az alacsony féltelítési állandóból fakadóan a cellában maradt szubsztrát mennyisége elhanyagolhatónak tekinthető. A feszültségértékeket 5 percenként rögzítettük, így egy jellegzetes „feszültséglefutási-görbét" kaptuk.A külső ellenállás ismeretében az Ohm-törvényt felhasználva a feszültségeket átszámítottuk áramerősségre, így a 6. ábrán láthatóhoz hasonló áramerősség görbékhez jutottunk. Az értékeket numerikusan integrálva megkaptuk, hogy a mérés során mennyi töltés (Q) áramlott át az MFC külső áramkörén.



A beadagolt minta szervesanyag tartalmának növekedésével a feszültséglefutási-görbe alatti terület és így az átáramlott töltés, valamint a mérési idő is növekszik, ahogy azt a 7. ábrán is megfigyelhetjük. Kísérleteink során modellszubsztrátok, továbbá kommunális és söripari szennyvíz esetén vizsgáltuk az MFC külső áramkörén átáramló töltés értékeket a beadagolt minta BOI tartalmának függvényében.

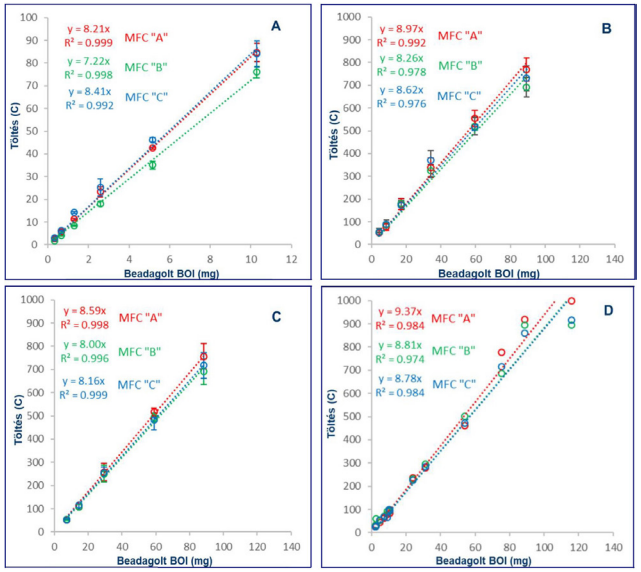


6.1. Eredmények modellszubsztrátokkal

A kidolgozott mérési módszert először különböző tulajdonságú modellszubsztrátok segítségével teszteltük, melyek a következők voltak:

- Acetát: Oldott, könnyen biodegradálható, kémiailag definiált szubsztrát. Exoelektrogének számára kiválóan hasznosítható szervesanyag, mely MFC-vel végzett kísérletek soránáltalánosan alkalmazott.
- Pepton: Oldott, könnyen biodegradálhatószubsztrát, összetételét tekintve azonban komplex szervesanyag.
- Keményítő: Az elkészített keményítő szuszpenzióban a szervesanyag részben oldott (20 %), részben lebegőanyag (80 %) formájában volt jelen.
- Tej: Komplex tápanyag, mivel laktózformájában tartalmaz szénhidrát, tejfehérjék formájában fehérje, továbbá a zsírtartalom révén lipid jellegű biodegradálható szerves komponenseket is. A tej szervesanyagai részben oldott, részben kolloid formában vannak jelen, biodegradációjuk pedig sokrétű folyamat.

Az eltérő koncentrációjú minták BOI5 értékét a konvencionálisan alkalmazott respirometriás módszerrel 20°C-on határoztuk meg, valamint három párhuzamosan üzemeltetett MFC-ben is lemértük. Amint az a 8. ábrán megfigyelhető, mind a 4 vizsgált szubsztrát esetén a cellákon átáramlott töltés a beadagolt BOI5 mennyiséggel nagy korrelációjú (R>0,95) lineáris összefüggést mutatott, a szervesanyag tartalom minőségétől függetlenül. Az eredmények alapján a kidolgozott mérési módszer segítségével megfelelő kalibrációt követően az oldott, lebegőanyag jellegű vagy kolloid formában jelenlévő biodegradálható szervesanyagokat tartalmazó minták BOI értéke nagy pontossággal meghatározható(Tardy et al. 2020).

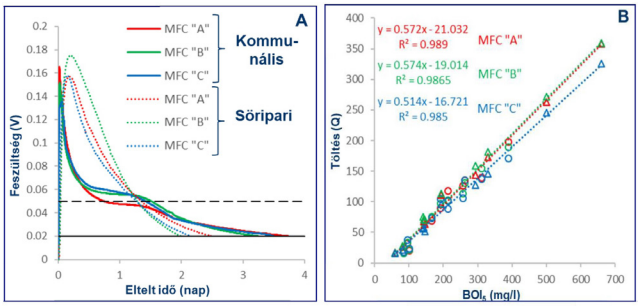


6.2. Eredmények valós szennyvízzel

A szennyvíz komplex, könnyen és nehezen biodegradálható anyagokat, valamint lebegőanyagot is tartalmazó szuszpenzió. Előülepített kommunális szennyvízzel végzett első méréseink során megfigyeltük, hogy a feszültséglefutási-görbe alakja jellegzetes formát vesz fel: egy keskeny, magas feszültségcsúccsal indul, ezt követően pedig egy kisebb feszültségértékű, hosszabb időtartamig fennálló „váll" következik (lsd. 9/A ábra). Mivel a „váll" szakasz jelentős része a mérés végét jelentő 0,05 V közelébe vagy az alá esett, ezért a küszöbfeszültséget 0,02 V-ra módosítottuk, mely még így is az endogén metabolizmusból fakadó alapvonal értékének több mint ötszöröse. A változtatással biztosítottuk a nehezebben biodegradálható anyagok megfelelő mérését.

A mérések előrehaladtával kommunális szennyvíz mellett söripari szennyvizet is bevontunk a kísérletbe, melynek tulajdonságai jelentősen eltérőek voltak. A különbséget legjobban az oldott kémiai oxigénigény (KOI) aránya mutatja a teljes KOI-ra vonatkoztatva. Kommunális szennyvíz esetén ez az érték átlagosan 32 % volt, míg söripari minták esetén átlagosan 63 %. Ennek következtében a kapott feszültséglefutási-görbék alakja is eltérő volt: söripari szennyvíz esetén a kezdeti feszültségcsúcs jóval szélesebb volt, mint a kommunális szennyvíz esetében, amifeltehetően a nagyobb mennyiségű könnyen biodegradálható (jellemzően oldott) szervesanyagnak volt köszönhető. Az ezt követő „váll" szakasz pedig gyakorlatilag nem volt látható, ami pedig a kevesebb lassan biodegradálható (jellemzően lebegőanyag formában jelenlévő) szervesanyagnak tulajdonítható. A jellemző alakokat és az eltérést a 9/A ábra mutatja be szemléletesen.

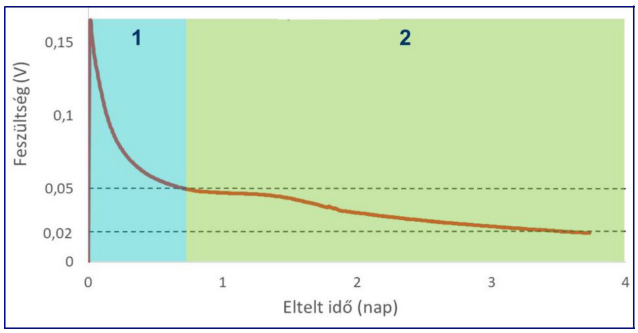
A két különböző szennyvízzel kapott eredményeket végül egy diagramon ábrázoltuk és illesztettünk rájuk kalibrációs egyenest mindhárom mikrobiális üzemanyagcella esetén. Ahogy az a 9/B ábrán megfigyelhető, a kapott kalibrációs egyenesek minden esetben rendkívül jó illeszkedést mutatnak (determinációs koefficiensük >0,985) annak ellenére, hogy szervesanyag tartalmukat tekintve igen különböző minták eredményeire lettek illesztve. Ez alátámasztotta a modellszubsztrátokkal kapott eredményeinket, miszerint a kidolgozott mérési módszer a minta szervesanyag tartalmának minőségétől függetlenül képes lehet annak BOI5 értékét mérni megfelelő kalibrációt követően(Tardy et al. 2020).



Összehasonlítva a respirometriás mérést az MFC alapú BOI szenzorral több előnyös tulajdonságot is megfigyeltünk. Egyrészt elmondható, hogy az üzemanyagcellákkal végzett mérés bizonytalansága jellemzően kisebb (relatív szórás < 10 %). A mérési idő nem rögzített, a mérés végét a szubsztrátok kimerülésének hatására visszaeső feszültség jelzi, így az eredményeket 1-4 napon belül (a minta szervesanyag tartalmától függően) megkaphatjuk. További előny, hogy a módszer jól automatizálható, laborkörülményeket pedig nem igényel, így on-site mérőegységek telepítése is lehetővé válhat, melyek a kalibrációt követően csak minimális karbantartást igényelnek.

6.3. Minőségi analízis MFC alapú bioszenzorral

A kommunális és söripari szennyvíz esetén kapott eltérő alakú feszültséglefutás szolgáltatta az ötletet, hogy a mérési módszert nem csupán mennyiségi, hanem akár minőségi elemzésre is fel lehetne használni. Feltételezésünk szerint a kezdeti feszültségcsúcs az oldott, könnyen biodegradálható-szubsztrátfrakciónak, az ezt követő váll szakasz pedig a lebegőanyag jellegű, nehezen biodegradálhatószubsztrátfrakciónakfeleltethető meg, ahogy az a 10. ábrán is látható. A teória bizonyításához további kísérletek szükségesek, melyek a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Szennyvíztisztítási Biotechnológiák Kutatócsoportjában jelenleg is zajlanak.



KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönjük a kutatócsoport minden tagjának a szakmai segítséget, továbbá a kísérletben résztvevő hallgatóknak, Sipos Rebekának, Petrovai Noéminek és Kovács Gábornak a munkájukat.

Az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-19-3 kódszámú ÚJ Nemzeti Kiválóság Programjának szakmai támogatásával készült.

IRODALOMJEGYZÉK

Cecconet D, Molognoni D, Callegari A, Capodaglio AG (2018) "Agro-food industry wastewater treatment with microbial fuel cells: Energetic recovery issues", Int J Hydrogen Energy, 43:500–511. doi: 10.1016/j.ijhydene.2017.07.231

Cole D, Katz A (2009) "New Frontiers in Characterizing Biological Systems: Report from the May 2009 Workshop", U. S. Department of Energy, Office of Biological and Environmental Research

Do MH, Ngo HH, Guo WS, et al (2018) "Challenges in the application of microbial fuel cells to wastewater treatment and energy production: A mini review", Sci Total Environ, 639:910–920. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.05.136

Holzman DC (2005) "Microbe power!", Environ Health Perspect, 113:A754–A757. doi: 10.1289/ehp.113-a754

Jouanneau S, Recoules L, Durand MJ, et al (2014) "Methods for assessing biochemical oxygen demand (BOD): A review", Water Res, 49:62–82. doi: 10.1016/j.watres.2013.10.066

Li Y, Qiu Q, He X, Li J (2011) "Energy Use Project and Conversion Efficiency Analysis on Biogas Produced in Breweries", In: Proceedings of the World Renewable Energy Congress – Sweden, 8–13 May, 2011, Linköping, Sweden. pp 1489–1496.

Logan BE (2008) "Microbial Fuel Cells", John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey

Lóránt B, Gyalai-Korpos M, Goryanin I, Tardy GM (2020) "Application of air cathode microbial fuel cells for energy efficient treatment of dairy wastewater", Period Polytech Chem Eng, under review

Lóránt B, Gyalai-Korpos M, Goryanin I, Tardy GM (2019) "Single chamber air–cathode microbial fuel cells as biosensors for determination of biodegradable organics", Biotechnol Lett, 41:555–563. doi: 10.1007/s10529-019-02668-4

További felhasznált irodalom >>

SZERZŐ:

Lóránt Bálint: 1992. szeptember 17-én született Budapesten. Felsőfokú tanulmányait 2011-ben kezdte meg a BME Vegyészmérnöki és Biomérnöki Karán, ahol már másodéves korában becsatlakozott a Szennyvíztisztítási Biotechnológiák Kutatócsoport munkájába. BiomérnökMSc diplomáját 2017-ben kapta meg kitüntetéses minősítéssel, a PhD képzést pedig még ez évben az Oláh György Doktori Iskola keretein belül kezdte meg. Kutatása a mikrobiális üzemanyagcella alapú technológiai megoldásokra fókuszál a szennyvízkezelés és szennyvízminősítés területén, mellyel immár 8 éve foglalkozik.