



Pannon Egyetem

Mérnöki Kar

Dolgozat címe: Polimer és ionos folyadék-tartalmú membránok biológiai eltömődésének vizsgálata mikrobiális üzemanyagcellában

Szerző: Szakács Szabolcs, Pannon Egyetem, Vegyészmérnöki- és Anyagtudományi Doktori Iskola

Témavezető: Dr. Bakonyi Péter, tudományos főmunkatárs, Pannon Egyetem, Biomérnöki, Membrántechnológiai és- Energetikai Kutatócsoport

Opponens: Dr. Nguyen Duc Quang, egyetemi tanár (Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem)

Köszönöm szépen Dr. Nguyen Duc Quangnak a hasznos és építő jellegű bírálatot. A tanácsait feltétel nélkül megfogadom a jövőbeli munkáim során. A szakmai megjegyzésekre és kérdésekre az adott válaszaim a következők:

Kérdés: Az ionogél stabilitásánál csak a kioldódó [BMIM]⁺ ion mennyiségét vizsgálta desztillált vizes közegben szobahőmérsékleten. Kérdésem az lenne, hogy ez az eredmény mennyire alkalmas az ionogél valós stabilitásának kimutatására tekintettel a mikrobiális üzemanyagcellában uralkodó körülményekre pl. szubsztrátum, mikrobák és egyéb anyagok jelenléte, pH, hőmérséklet, áramlást stb.

Válasz: A membrán stabilnak tekinthető, ha fizikailag képes elválasztani a két elektród teret üzemeltetés során és mechanikailag, valamint kémiailag is ellenálló marad a rendszerben uralkodó hatásokkal szemben.

Mikrobák abban az esetben lehetnek hatással az ionogél membrán stabilitására, ha pl. termelnek celluláz enzimet, mint pl. a *Clostridium termitidis*, melyet 23.2% relatív abundanciával mutatott ki a metagenomikai vizsgálat az ionogél membrán felületén. Az ionogél membrán katód felé néző oldalán és a katódon megjelent mikrobiológiai telepek azt jelenthetik, hogy az anód oldali membrán biofouling rétegben megtalálható cellulóz bontó baktérium hatással lehetett a membrán integritására. Egyéb mechanikai behatások közül elektrolit cserék esetén fellépő félcella

hidrosztatikai nyomást kell a membránnak elviselnie. Ennek előzetes tesztelésére az ionogél membrán MÜC alkalmazását megelőzi e (egy éjszakán át tartó) félcella nyomás teszt, melyet, ha az adott membrán nem teljesít akkor nem kerül alkalmazásra.

Kémiai szempontból a rendszerben fellelhető kémiai ágensekkel szemben kell a membránnak ellenállónak lennie. A szennyvíz alapú inokulum miatt nagyon sokféle komponens jöhet számításba ezért érdemes azon anyagokra tesztelni az alkalmazandó membránt, amelyek jellemzően számottevő koncentrációban jelen lesznek MÜC-ban (pl.: víz/puffer oldat, a kísérleteimben Na-acetát, NaCl, esetleg ionos folyadék „szennyezés” az ionogélből). Az ionos folyadék esetleges folyamatos kioldódása az ionogél membránból okozhatja a membrán fizikai integritásának csökkenését és inhibíciós hatást fejthet ki a mikrobiológiára nézve egyaránt. A Cl⁻ koncentráció pontos meghatározása kromatográfiai módszerrel nem történt még meg, mert az ionos folyadék irreverzibilisen képes kötődni egyes kromatográfiai oszlopokhoz. Ezt a rizikót nem vállaltuk fel. A szabad klorid meghatározására alkalmas titrálási eljárás pedig nem adott alkalmazható eredményeket (pl.: nagy volt a szórás, esetenként több kloridot mértem, mint amennyi jelen lehetett a rendszerben stb.), ezért még folynak kísérletek e téren. A korábban leírtak fényében a [BMIM]⁺ kationt előtérbe helyező stabilitás vizsgálat a membrán valós stabilitására nézve részben ad választ.

Az áramlási viszonyokat a folytonos 120 rpm-es keverési sebesség, valamint a 37 °C-ra beállított termosztát a hőmérsékletet időben állandó értéken tartotta. Ezek hatására vonatkozó adat nem áll rendelkezésre. A MÜC-ban uralkodó pH változások okozta membrán hatást nem vizsgáltam. Szélsőséges pH értékeket üzemeltetés során tudatosan elkerültem, ugyanis, ha anolit 5 katolit 9 pH értéket vett fel, akkor elektrolit cserét eszközöltem. Na-acetát szubsztrát esetén pedig éltem azzal a feltételezéssel, hogy a jelenlevő anód- és membrán felületi mikrobiológia a szubsztrát oldat nagy hányadát feldolgozza, ezért a dolgozat megírásakor közvetlen szubsztrát-ionogél stabilitás vizsgálat nem történt meg.

Kérdés: A dolgozatban megemlítette, hogy ionos folyadékok antimikrobiális/ in hibíciós hatással rendelkeznek a mikrobákkal szemben. Ezek mennyire befolyásolják az alkalmazott mikroba konzorcium működését, biofilm képződését és ezáltal a MÜC teljesítményét? Vizsgálták-e ezt a tényezőt?

Válasz: A szakirodalom szerint az ionos folyadékok általánosságban mutatnak antibakteriális hatást, de az egyes ionos folyadékok antibakteriális hatása viszont élesen eltérhet egymástól [Antibacterial and antiadhesive properties of butyl-methylimidazolium ionic liquids toward pathogenic bacteria; Hamidreza Hajfarajollah, Babak Mokhtarani, Kambiz Akbari Noghabi, Ali Sharifia and Mojtaba Mirzaei; RSC Advances; 2014 4 42751]. Cellulóz oldására alkalmas ionos folyadékok többsége imidazólium kationból és klorid vagy acetát anionból állnak, az antibakteriális/inhibíciós hatás jelentősen köthető az aktuális anionhoz. Ezt a kutatócsoport korábbi mérési eredményei is alátámasztják (Assessment via the modified gompertz-model reveals new insights concerning the effects of ionic liquids on biohydrogen production; Nándor Nemestóthy, Péter Bakonyi, Tamás Rózsenszerszki, Gopalakrishnan Kumar, László Koók, Gábor Kelemen, Sang-Hyoun Kim, Katalin Béla fi-Bakó; International Journal of Hydrogen Energy; 2018 43 41). Fluorid aniont (pl.: PF_6^- , BF_4^-) tartalmazó ionos folyadékok szakirodalmi adatok alapján erős antibakteriális hatással bírnak (természetesen ennek mértéke az aktuális tesztorganizmus toleranciájának függvénye is). Viszont az ilyen jellegű, pl. fluorid aniont tartalmazó ionos folyadékok nem, vagy csak limitáltan alkalmasak cellulóz oldására. Az elektródon megtalálható EAM-ok működését az anolitban jelen levő ionos folyadék függvényében reményeink szerint egy Nemzeti Kutatási, Kiválósági Program (NKKP) pályázat keretein belül tudjuk vizsgálni, a pályázat beadása az idei évben (2025. március) várható.

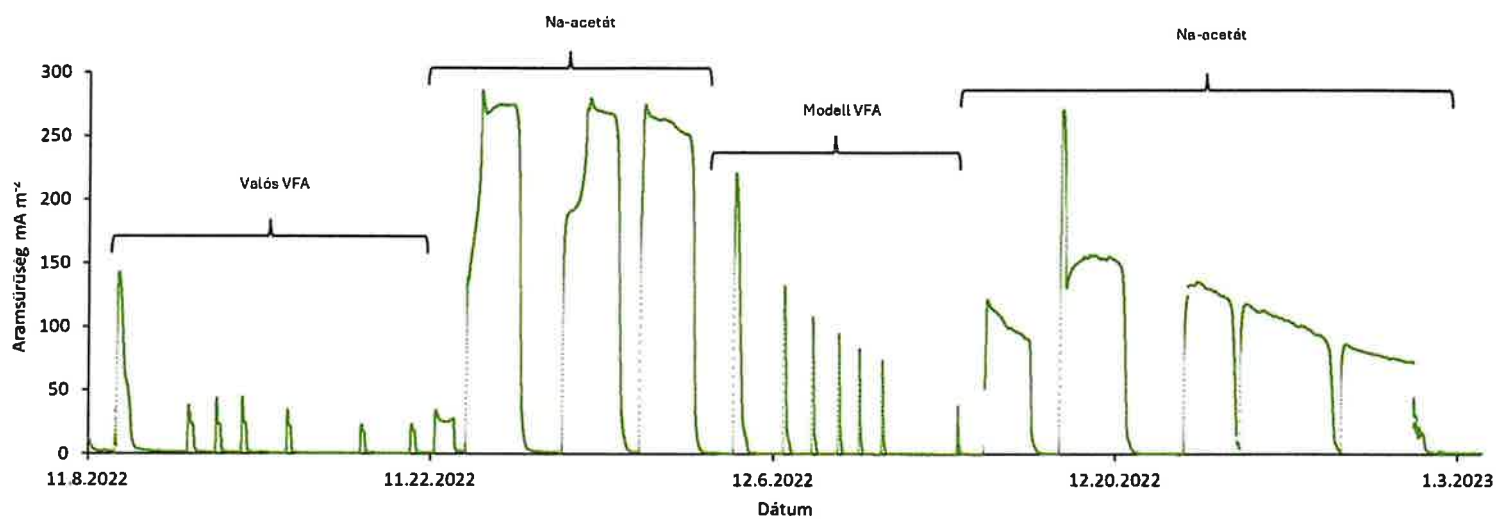
Kérdés: Az ionogél membrán szerkezetének és a gél kialakulás folyamatának megismerését jelölte egyik kutatási irányként. Milyen jellegű eredményt vagy hozzájárulást várna el a területen?

Válasz: Az ionogél pontos szerkezete a szakirodalomban még nincs feltárva csak feltételezések állnak rendelkezésre [Takada, A., & Kadokawa, J. (2015). Fabrication and Characterization of Polysaccharide Ion Gels with Ionic Liquids and Their Further Conversion into Value-Added Sustainable Materials. Biomolecules, 5(1), 244–262]. Ezért szeretném majd a jövőben tisztázni a cellulóz és ionos folyadék egyes ionjainak a helyzetét pontosan behatárolni a cellulóz vázban különböző műszeres megoldásokkal (pl. spektroszkópai vizsgálatok: mágneses magrezonancia-NMR, amely alkalmas molekula struktúra meghatározására; infravörös spektroszkópia-IR, amely a kialakult kötésekkel képes azonosítani).

Kérdés: Kipróbálná az ön által kifejlesztett ionogél membránnal ellátott mikrobiális üzemanyagcellát más szubsztrátummal pl. glükóz, laktóz, anyalúg? Mit gondol, hogyan fog viselkedni?

Válasz: A dolgozat megírása óta az ionogél membrán stabilitását vizsgáltam, 1 M-os NaCl- és glükóz oldatban szobahőmérsékleten 1 hetes periódusokban és egyik esetben sem tapasztaltam folyamatos ionos folyadék kimosódást, tehát a glükóz oldat, mint szubsztrátum alkalmazható. Egyéb vegyületek, mint anyalúg vagy laktóz nem kerültek előtérbe így nem is próbálkoztam ezen anyagok vizsgálatával.

Viszont konyhai hulladék fermentációjából nyert illékony szerves savakat, mint pl.: ecetsav, vajsav, kapronsav szeretnék majd szubsztrátként alkalmazni MÜC-ban. Tájékoztató jellegű mérések már rendelkezésre állnak (lásd ide vonatkozó ábra), mely rendszer így kettős (hármassal, ha a membrán is cellulóz hulladék alapú) hulladék felhasználású lenne. E prezentált tájékoztató eredményeket a dolgozatban leírt H-cellát felhasználó MÜC rendszerből nyertem melyek azonos körülmények alatt voltak alkalmazva, mint a dolgozatban használt H-cellás MÜC rendszerek. Ellenben az alkalmazott membrán polianilin (PANI) bevonatos NADIR ultra szűrő membrán volt, melyet nemzetközi együttműködés keretein belül teszteltem a Cseh Tudományos Akadémia – Makromolekuláris Kémiai Kutatóintézet kollégáinak.



Veszprém, 2025.02.12

PhD hallgató, PE-VMADI Szakács Szabolcs

Szakács Szabolcs

Végezetül még egyszer szeretném megköszönni Dr. Nguyen Duc Quang hasznos és alapos bírálói munkáját.