



PhD DISSZERTÁCIÓ BÍRÁLAT

A doktori munka címe: Polimer és ionos folyadék-tartalmú membránok biológiai eltömődésének vizsgálata mikrobiális üzemanyagcellában

Szerző: Szakács Szabolcs, okleveles anyagmérnök

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

A Szerző PhD munkája során ún. mikrobiális üzemanyagcellákban (MÜC) alkalmazható membránok részletes összehasonlító vizsgálatát végezte. A kutatásba bevont membránok között kereskedelmi forgalomban kapható kation és anion cserélő membránok, saját fejlesztésű cellulóz és ionogél alapú membrán, valamint egy kutatási partner által kifejlesztett polisztirén/polibutilén/polietilén membrán (PSEBS-SU22) is helyet kaptak, referenciaként pedig a szakirodalomban is legtöbbször alkalmazott és hivatkozott Nafion-115 protoncserélő membrán került felhasználásra. A kutatásban a Szerző kitért a különböző membránokkal üzemelő MÜC-k energetikai és hatékonysági mutatóinak összehasonlítására, valamint részletesen foglalkozott a biológiai eltömődés kérdésével (biofouling). A téma időszerűsége és fontossága megkérdőjelezhetetlen: a fenntarthatóság megteremtése érdekében a bioelektrokémiai rendszerek a jövőben több fontos területen is meghatározó szerepet kaphatnak (pl. megújuló energia termelése, szennyezés elimináció, toxikológiai vizsgálatok). Ezeknek a technológiáknak a kutatása/fejlesztése az utóbbi években a biotechnológia egyik meghatározó területévé vált. A közel 100 oldalas doktori dolgozat szerkesztése arányos és jól átgondolt, felépítése logikus. A dolgozat jól érthető, fogalmazása gördülékeny, a szakmai bonyolultság ellenére legtöbbször könnyen olvasható. A házivédésre adott bírálókat során talált elírások javításra kerültek és a stilisztikai javaslatok is gyakorlatilag kivétel nélkül bekerültek a dolgozatba.

A Szerző a szakirodalom áttekintésében (1. fejezet) részletesen bemutatja a mikrobiális üzemanyagcellák felépítését, valamint működésük mikrobiológiai és bioelektrokémiai alapjait. A kutatási munka fókuszában álló membránok, azon belül az ionos folyadékok alkalmazásával készülő ún.



ionogél membránok előállítását és tulajdonságait részletesen tárgyalja, a forrásokat összeveti és elemzi. A dolgozat több mint 90 forrást idéz, ezek jelentős része friss, a legutóbbi 5 évben megjelent tudományos publikáció. A Szerző a kutatási munka alapvető céljait külön fejezetben (2. fejezet) ismerteti, ezt a részt a házivédéshez adott bírálatomhoz hasonlóan továbbra is rövidnek és túlzottan általánosnak ítélem. Hasznos lett volna, ha a dolgozat későbbi tagolása (4.1., 4.2., 4.3. fejezet) és ezek tartalmára történő hivatkozás, már itt is megjelenik, segítő a munka átlátását. A kitűzött célok mindazonáltal a kutatócsoport korábbi eredményeire támaszkodva illeszkednek a legújabb nemzetközi kutatási trendekhez. A 3. fejezet részletesen és reprodukálhatóan írja le a kísérleti módszereket, az ionogél membrán esetében annak előállítását. Az alkalmazott módszerek megfelelőek és korszerűek. Kiemelném, hogy a munkában fontos szerepet kap az eredmények statisztikai értékelése, valamint főkomponens analízissel történő elemzése, ami validálja a levont következtetéseket.

A kísérletek eredményeinek 4. fejezetben való ismertetése szabatos, a kutatás egyes lépései jól követhetők. A Szerző a kutatási tevékenysége alatt összesen hat különböző membrántípust vizsgált három munkaszakaszban (1. PSEBS-SU22 membrán vizsgálata; 2. Ralex® membránok vizsgálata és összehasonlítása; 3. Ionogél membrán vizsgálata), amelyek a 4. Eredmények és értékelésük főfejezet alfejezeteiként jelennek meg. A kutatásban és annak leírásában is a lépések logikusan követik egymást: membránkészítés és karakterizálás (ahol releváns), tesztelés mikrobiális üzemanyagcellában, referencia membránnal (ill. a Ralex® membránok egymással) történő részletes összevetése és statisztikai értékelése. Az eredményekből levont következtetések helytállóak és jól indokoltak, mind a membrántulajdonságok, mind a mikrobiális üzemanyagcellák működési paraméterek vonatkozásában előre mutatóak, a saját fejlesztésű ionogél membrán, valamint a kutatási partner által kifejlesztett PSEBS-SU22 ioncserélő membránok potenciális alkalmazhatóságát igazolják mikrobiális üzemanyag cellákban.

Formai megjegyzések:

- Hiányzik a 4.1.1 alfejezet. A 4.1 szint után közvetlenül 4.1.2 következik.
- A tézisfüzet formátuma (legalábbis az én számítógépen) nem egységes (sorköz, behúzás stb.).
- 2.1 Tézispont első mondata: „Kimutattam, hogy Coulombikus-hatásfok tekintetében 2.15 mM acetát szubsztrát koncentráció jelenlétében Ralex® membránokkal felszerelt MÜC ese-



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

tén az anion- és kation cserélő membrán csoportok között szignifikáns különbség jelent meg az anion cserélő membránnal felszerelt MÜC rendszerek irányába.” Nem teljesen világos, mi az „irány”? Sejthetően – és a dolgozatban megjelenően – az anionos membránok vezettek a nagyobb CE-hez, de ez ebből a fogalmazásból nem derül ki világosan, javaslom az át-fogalmazását.

Szakmai megjegyzések, kérdések:

A szerző a dolgozattal kapcsolatos szakmai kérdéseimre a házivédés során maradéktalanul választott, egyúttal ami a válaszokból arra érdemes volt, be is építette a dolgozatba. További felmerült kérdések:

1. A mikrobiális üzemanyagcellák katódjainak előállításához (pl. az ún. légkatódok) gyártásához szoktak Nafiont alkalmazni, amivel pl. katalizátor és/vagy reakció felület növelő anyagot kötnek a katódra. Mi a véleménye a Szerzőnek: a kifejlesztett ionogél membrán alkalmas lehet légkatódok előállítására?
2. A szerző az ionogél membrán esetében feltételezi, hogy a készítés/működés során kialakulhatott pórusos szerkezet, ami a szubsztrát katódtérbe történő átadása mellett az oxigén diffúzióját is jelentősen megkönnyítheti a katódtérből az anódtérbe. Ugyanakkor az anódfelületi biofilmben nem talált jelentős különbséget a Nafionnal és az ionogéllal üzemeltetett cellák között, sőt, az ionodél membrán anód oldali felületén kialakuló biofilmjében obligát anaerob *Clostridium termitidis* baktériumfajt mutatott ki (amely egyébként cellulózbontó képessége miatt maga is hozzájárulhat a membránszerkezet leromlásához). Hogy lehet, hogy a feltételezhető oxigén diffúzió ellenére annak mikroba összetételre gyakorolt hatása nem volt kimutatható?
3. A Szerző a házivédésre beadott dolgozatban több pontban kitekintést tett az ionogél membrán jövőbeli továbbfejlesztésére, részletesebb vizsgálatára (pl. nagyműszeres analitika és anyagszerkezet vizsgálatok, antibakteriális komponensek hozzáadása a biofouling megakadályozására). A házivédés óta eltelt időben történt esetleg előrelépés ezekben a kérdésekben?



A dolgozat végén ismertetett 4 tézispontot a javasolt változtatásokat követően elfogadom, azok újdonságtartalma megfelelő. A Szerző tudományos publikációi közül kettő az igen magas (11.4) impakt faktossal rendelkező Bioresource Technology folyóiratban jelent meg (egyikben első szerző), két további első szerzőként jegyzett cikke angol nyelvű, impakt faktossal nem rendelkező folyóiratokban (Hungarian Journal of Industry and Chemistry, valamint Bioresource Technology Reports). Ezen felül a Szerző 5 konferencia részvétel során angol és magyar nyelvű konferenciaelőadás tartott, mindezzel egyértelműen eleget tesz a PhD megszerzéséhez szükséges publikációs követelményeknek. Ennek megfelelően, **a doktori értekezést elfogadásra javaslom, sikeres nyilvános védés esetén a PhD fokozat megítélését messzemenően támogatom.**

Budapest, 2025. január 20.

Dr. Tardy Gábor Márk
egyetemi docens, BME - ABÉT