



**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. Tardy Gábor, egyetemi docens (Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem)

---

Köszönöm szépen Dr. Tardy Gábornak a hasznos és építő jellegű bírálatot. A tanácsait megfogadom és beépítem a jövőbeli munkáimba. A szakmai megjegyzésekre és kérdésekre az adott válaszaim a következők:

**Kérdés:** A mikrobiális üzemanyagcellák katódjainak előállításához (pl. az ún. légkatódok) gyártásához szoktak Nafiont alkalmazni, amivel pl. katalizátor és/ vagy reakció felület növelő anyagokat kötnek a katódra. Mi a véleménye a kifejlesztett ionogél membrán alkalmas lehet légkatódok előállítására?

**Válasz:** Az ionogél tapasztalataim szerint alkalmas lehet, mint rögzítő vagy membrán réteg a légkatód alapra (pl.: szénfilc). Rögzítő réteggént akár tartalmazhatja az ORR aktiválási energiáját csökkentő katalizátort (Pt, Cu, Ni stb.) [Ganpurev Adilbish, Jun-Woo Lee, Yong-Seok jang, Hong-Gi Lee, Yeon-Tae Yu; Preparation of Pt/C electrode with double catalyst layers by electrophoresis deposition method for PEMFC; International Journal of Hydrogen Energy; 2014 7 39]. Membránként való hasznosíthatóságát pedig a dolgozat eredményei bizonyítják.

A cellulóz szol még meleg (kb. 40-60 °C) formázható állapotban felvihető célszerszámmal (spatula, penge, ecset stb.) légkatód alapra, majd ezt követően antiszolvens (szoba hőmérsékletű desztillált víz) áztatóban a gélesedés megtörténik a hordozó felszínén.

**A katalizátort, mely az esetek többségében platinázott szén (Pt/C) kereskedelemben kapható és már fel van applikálva szénfilc felszínére, de ha szükséges külön beszerezhető a platinázott szénpor és a cellulóz-IF szuszpenzióhoz keverhető, de meglehetősen költséges komponens, ezért is vannak kutatások olyan katalizátor alkalmazására, amely kiválthatja a Pt-t.**

Kérdés: A szerző az ionogél membrán esetében felételezi, 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 ionogél 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?

**Válasz: A membránok anód oldali felületén kialakult biofouling rétegben számos oxigént fogyasztó pl. fakultatív anaerob mikroorganizmus is megtalálható. Ezen mikrobák képesek a katód oldal irányából, a membránon keresztül átjutó oldott oxigént feldolgozni. Tehát az anód membránon kialakult biofilm következtében az várható, hogy az anód térben, és így az anód felületének környezetében minimális koncentrációban lesz jelen oldott oxigén.**

Kérdés: 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?

**Válasz: Szerkezeti vizsgálatokra, mint pl. Infravörös (IR) vagy Mágneses magrezonancia (NMR) spektroszkópia vizsgálatokat tervezünk, melyekre eddig azonban nem került sor.**

A membrán anyagának változtatására, új szintézis recept kidolgozására vonatkozóan, szakirodalmi adatokra alapozva [Improving Application Performance of *in situ* Polymerization and Crosslinking System of Maleic Acid/Itaconic Acid for Cotton Fabric; Zhangmi Huang, Xiang Zhou, Zhiqi Xing, Bijia Wang, Fibers and Polymers, 2018] végeztem előkísérleteket. Különbféle szerves savakat (maleinsav,

itakonsav) 1-13 (m/m)% arányban adagolva a cellulóz-ionos folyadék keverékbe. Az ezekből kinyert információk birtokában azt a hipotézist tudom felállítani, hogy a keverékhez olyan, a cellulóz és az ionos folyadék melletti harmadik ágenst célszerű adagolni, amely kémiai szempontól inert az ionos folyadékra nézve, különben a gélesedés folyamata nem történik meg. Eddigi próba méréseimre alapozva az aktív szén, mint kiegészítő komponens (adalékanyag) tűnik ígéretesnek, amelyet az eddigi tapasztalatok szerint akár a cellulózzal megegyező arányban lehet a keverékhez adagolni. Az eddigi érzékszervi (tapintás, látás) tapasztalatok szerint a mechanikai tulajdonságai az ily módon elkészített gélnek drasztikusan javultak.

Továbbá, teszteltem 20 V/V% glicerin vizes oldatát, mint alternatív antizsolvenst szakirodalomra alapozva [Cellulose processing in ionic liquids from a materials science perspective: turning a versatile biopolymer into the cornerstone of our sustainable future; László Szabó; Romain Milotskyi; gyanendra Sharma; Kenji Takahashi; Green Chem; 2023 25] és arra a következtetésre jutottam, hogy ez az irány rejt még lehetséges kutatási potenciált, mivel az ionogél képződés lezajlott, a kapott anyag jelét mutatta a szakirodalom által megemlített rugalmasság javulásnak, de mivel ezek egyelőre inkább előkísérleti fázisban vannak, további mérésekre lesz még szükség tudományos megalapozottságú következtetések levonásához.

Veszprém, 2025.02.12

PhD hallgató, PE-VMADI Szakács Szabolcs



Végezetül még egyszer szeretném megköszönni Dr. Tardy Gábor részletes bírálói munkáját.