

TITLU PROIECT: *BioHyMEC* - Tehnologie de electroliză microbiană pentru producția durabilă de biohidrogen din apele uzate

Descrierea temei

Tema proiectului vizează dezvoltarea și validarea la nivel de laborator a unui bioreactor de electroliză microbiană (Microbial Electrolysis Cell, MEC) pentru producția durabilă de biohidrogen din ape uzate, cu obiectivul creșterii gradului de maturitate tehnologică către aplicații energetice și de tratare sustenabilă a resurselor reziduale. Proiectul se înscrie în direcția dezvoltării tehnologiilor bioelectrochimice pentru tranziția energetică și valorificarea energetică a deșeurilor lichide, prin integrarea tratării apelor uzate cu recuperarea de energie sub formă de hidrogen regenerabil.

Tehnologia MEC este considerată una dintre cele mai promițătoare soluții pentru producția de biohidrogen din surse reziduale, deoarece permite simultan degradarea materiei organice și recuperarea energetică, cu un consum energetic extern mult mai redus comparativ cu electroliza convențională a apei (Logan et al., 2008; Cheng și Logan, 2007). Rutele convenționale de producție biologică a hidrogenului, în special fermentația întunecată (dark fermentation) și fotofermentația, rămân limitate de randamentele scăzute și de degradarea incompletă a substraturilor organice. Din acest motiv, tehnologia MEC a atras atenția ca tehnologie complementară, capabilă să oxideze suplimentar compușii organici reziduali și să îmbunătățească recuperarea globală a hidrogenului din fluxurile de deșeuri (Lee et al., 2010; Guwy et al., 2011). Mecanismul este bine cunoscut: microorganismele electroactive oxidează substraturile biodegradabile la anod, eliberează electroni și protoni, iar, sub acțiunea unei tensiuni externe reduse, hidrogenul este generat la catod. Comparativ cu electroliza clasică a apei, MEC necesită o tensiune electrică externă mult mai mică, acesta fiind unul dintre principalele motive pentru interesul științific și tehnologic tot mai mare acordat acestei tehnologii (Logan et al., 2008; Cheng și Logan, 2007). În ultimii ani, cercetarea internațională s-a concentrat pe optimizarea arhitecturii reactoarelor, reducerea rezistenței interne, dezvoltarea de electrozi cu cost redus și controlul biofilmelor electroactive (Pandit et al., 2019; You et al., 2019).

Obiectivul principal al proiectului este proiectarea și validarea experimentală a unui bioreactor MEC cu rezistență internă redusă și eficiență crescută de transfer de masă, capabil să producă biohidrogen din ape uzate industriale, agricole și municipale. Proiectul urmărește integrarea unor soluții inovatoare bazate pe separatori bipolari de tip poliester și SiO₂, materiale structurale ceramice cu cost redus și geometrii optimizate ale reactorului pentru reducerea pierderilor ohmice și creșterea randamentului de producție a hidrogenului.

Metodologia de cercetare este structurată pe mai multe direcții complementare. Prima etapă urmărește optimizarea configurației reactorului MEC prin evaluarea geometriilor cilindrice și prismatice, reducerea distanței dintre electrozi și analiza configurațiilor mono- și bicamerale. În paralel, vor fi dezvoltați și caracterizați electrozi anodici și catodici pe bază de materiale carbonice și catalizatori neprețioși, utilizând metode electrochimice avansate precum voltametria ciclică, spectroscopia de impedanță electrochimică și cronoamperometria (Scott et al., 2007; Jeremiasse et al., 2010). O componentă esențială a proiectului o reprezintă controlul biofilmului electroactiv și optimizarea parametrilor de proces, inclusiv pH, temperatură, timp de retenție hidraulică și compoziția inoculului microbian. Literatura recentă arată că biofilmele mixte oferă o stabilitate operațională superioară și o reziliență crescută în matrice complexe de ape uzate (Kumar et al., 2017; Gao et al., 2014). În acest context, proiectul urmărește limitarea metanogenezei și maximizarea producției de biohidrogen prin condiționare electrochimică și optimizarea regimurilor operaționale. Etapa finală vizează scalarea reactorului către configurații multicelulare și validarea experimentală cu ape uzate reale, în regim batch și continuu. Performanțele vor fi evaluate prin indicatori precum: rata de producție a biohidrogenului, consumul energetic specific și stabilitatea funcționării pe termen lung.

Rezultatele așteptate include: ► dezvoltarea unui model experimental MEC validat la nivel TRL4, ► elaborarea unor soluții brevetabile privind separatoarele și arhitectura reactorului, ► publicarea de articole științifice și ► crearea premiselor pentru integrarea tehnologiei în infrastructuri energetice și de tratare sustenabilă a apelor uzate.

Impact. Proiectul contribuie la dezvoltarea unor tehnologii de producție a hidrogenului regenerabil bazate pe economie circulară, recuperare energetică și reducerea amprentei de carbon.

Justificarea încadrării în ANSCSI 2022-2027

Tema proiectului se încadrează direct în domeniul strategic „Climă, energie și mobilitate” din cadrul Agendei Naționale Strategice de Cercetare, Inovare și Specializare Inteligentă 2022-2027, prin dezvoltarea unei tehnologii inovatoare pentru producția de hidrogen regenerabil și valorificarea energetică a apelor uzate. Proiectul contribuie la obiectivele privind tranziția energetică, reducerea dependenței de combustibili fosili și dezvoltarea tehnologiilor bazate pe economie circulară și decarbonizare.

Tehnologia MEC propusă permite conversia materiei organice reziduale în biohidrogen utilizând procese bioelectrochimice cu consum energetic redus, contribuind simultan la tratarea apelor uzate și recuperarea resurselor energetice. Această abordare răspunde priorităților ANSCSI privind dezvoltarea surselor regenerabile de energie, producția de hidrogen verde și integrarea soluțiilor tehnologice pentru reducerea amprentei de carbon în infrastructurile industriale și urbane.

Proiectul are relevanță directă pentru zonele de impact asociate tranziției energetice sustenabile, eficienței energetice și tehnologiilor curate, prin dezvoltarea unor reactoare bioelectrochimice cu cost redus, bazate pe materiale ceramice și separatori inovatori. În același timp, proiectul susține direcțiile ANSCSI privind valorificarea deșeurilor și integrarea tehnologiilor avansate pentru gestionarea sustenabilă a resurselor de apă și energie.

Prin validarea unei soluții MEC la nivel TRL4, proiectul creează premise pentru transfer tehnologic și dezvoltarea unor aplicații industriale capabile să susțină infrastructuri energetice cu emisii reduse de carbon, în concordanță cu obiectivele europene privind neutralitatea climatică și dezvoltarea economiei bazate pe hidrogen.

Referințe bibliografice

- Armstrong, R., **Rimbu, G.**, et al. (2017). *Living Architecture (LIAR): Metabolically Engineered Building Units*. In Heisel, F., Hebel, D. (eds.), *Cultivated Building Materials: Industrialized Natural Resources for Architecture and Construction*. Zurich: Birkhäuser.
- Cheng, S., Logan, B.E. (2007). Sustainable and efficient biohydrogen production via electrohydrogenesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 104, 18871-18873.
- Gao, Y., Ryu, H., Santo Domingo, J.W., Lee, H.-S. (2014). Syntrophic interactions between H₂-scavenging and anode-respiring bacteria can improve current density in microbial electrochemical cells. *Bioresource Technology*, 153, 245-253.
- Guwy, A.J., Dinsdale, R.M., Kim, J.R., Massanet-Nicolau, J., Premier, G.C. (2011). Fermentative biohydrogen production systems integration. *Bioresource Technology*, 102, 8534-8542.
- Jeremiasse, A.W., Hamelers, H.V.M., Saakes, M., Buisman, C.J.N. (2010). Ni foam cathode enables high volumetric H₂ production in a microbial electrolysis cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(23), 12716-12723.
- Kumar, G., Bakonyi, P., Zhen, G., et al. (2017). Microbial electrochemical systems for sustainable biohydrogen production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 589-597.
- Lee, H.S., Vermaas, W.F.J., Rittmann, B.E. (2010). Biological hydrogen production: prospects and challenges. *Trends in Biotechnology*, 28(5), 262-271.
- Logan, B.E., Call, D., Cheng, S., et al. (2008). Microbial electrolysis cells for high yield hydrogen gas production from organic matter. *Environmental Science and Technology*, 42, 8630-8640.
- Pandit, S., Das, D. (2019). Biohydrogen Production Using Microbial Electrolysis Cell: Recent Advances and Future Prospects. In *Microbial Electrochemical Technology - Sustainable Platform for Fuels, Chemicals and Remediation*. Elsevier.
- Scott, K., Murano, C., **Rimbu, G.** (2007). A tubular microbial fuel cell. *Journal of Applied Electrochemistry*, 37(9), 1063-1068.
- You, J., **Rimbu, G.A.**, et al. (2019). Living Architecture: Toward Energy Generating Buildings Powered by Microbial Fuel Cells. *Frontiers in Energy Research*, 7, Article 94.

NOTĂ. Tema propusă poate fi dezvoltată în cotelă internațională cu Prof. Yannis Ieropoulos - Universitatea Southampton, UK (<https://www.southampton.ac.uk/people/5z9k7x/professor-yannis-ieropoulos>).

CSI.dr.habil.ing. Gimi A. RIMBU
Școala Doctorală, Universitatea Tehnică de
Construcții București