

Tehnologii inovatoare pentru epurarea sustenabilă a apelor uzate, la ICPE-CA

Dezvoltarea sectorului agro-industrial, alături de adoptarea și implementarea tehnologiilor avansate, a determinat o creștere semnificativă a consumului de apă, ceea ce a dus la generarea și evacuarea unei cantități mai mari de ape reziduale în mediu. Procesul de epurare a acestor ape implică adesea metode complexe și costisitoare, iar adoptarea unor tehnologii nepoluante și cu un consum redus de energie pentru tratarea apelor reziduale municipale reprezintă un avans major în diminuarea poluării apelor de suprafață și subterane. Prin urmare, stabilirea și implementarea unor tehnici eficiente de epurare a apelor reziduale reprezintă o măsură esențială pentru conservarea ecosistemelor naturale și protejarea sănătății populației.

 **Dr. biolog Nicoleta-Oana Nicula,**
responsabil proiect component Nucleu

În acest context, **Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Inginerie Electrică ICPE-CA București** participă activ la dezvoltarea unor soluții durabile pentru tratarea apelor uzate, prin implementarea unor proiecte ce integrează tehnologii inovatoare.

Astfel, în cadrul contractului 73PTE/2022 a fost dezvoltată o soluție inteligentă pentru obținerea celui mai bun echilibru între potențialul ecologic al apei și randamentul turbinei. Sistemul i-TURB, care are la baza un brevet de invenție (Eurasian Patent 036765 /17.12.2020 B1), nu prejudiciază performanțele energetice ale centralei hidroelectrice, iar apa uzată prin el corespunde cerințelor de calitate ecologică impuse de normele europene în vigoare.

Totodată, în cadrul contractului POC 126-D12/2023 au fost realizate cercetări la nivel de laborator pentru evaluarea eficienței de eliminare a unor microorganisme bacteriene din apă (*Pseudomonas aeruginosa* și *Escherichia coli*), utilizând radiații UV generate de diode LED cu diferite puteri (12 și 100 mW).

Aportul ICPE-CA pentru sustenabilitatea apelor uzate

Recent, au fost abordate noi direcții de cercetare ce includ **bioepurarea**, un proces ecologic care se bazează pe utilizarea microorganismelor pentru eliminarea poluanților, dezvoltarea de **materiale avansate** obținute prin metode eco-friendly (sinteză radiochimică), precum și **recuperarea de energie** pentru performanțe superioare, reducerea costurilor de implementare și mentenanță a proceselor de epurare. Aceste tehnologii nu doar că reduc impactul negativ asupra mediului, dar contribuie și la optimizarea utilizării resurselor și energiei în tratarea apelor reziduale. Prin această inițiativă, INCIE ICPE-CA sprijină tranziția către un sistem sustenabil de gestionare a apei, oferind soluții aplicabile atât în mediul urban, cât și în zonele rurale, unde accesul la infrastructură modernă este limitat.

Începând cu anul 2023, **INCIE ICPE-CA** implementează, în cadrul programului **Nucleu** (42N/2023, 2023-2026), un proiect component (PN23140201) intitulat „*Tehnologii selective pentru bio-epurarea apelor uzate cu impact în protecția mediului*”. Proiectul are la bază cercetările experimentale desfășurate în cadrul unei teze de doctorat realizată la Școala Doctorală de Biologie a Universității din București, cu titlul „*Cercetări privind dezvoltarea unui sistem integrat de bioepurare a apelor uzate municipale*”, susținută public în septembrie 2024 de către autoarea acestui articol.

Proiectul urmărește dezvoltarea unor **tehnologii inovatoare de epurare selectivă și ecologică a apelor uzate**, caracterizate printr-un **consum energetic redus** și bazate pe integrarea în cascadă a unor soluții tehnologice complementare. Strategia propusă combină mai multe metode avansate de tratare a apei, fiecare având un rol specific în îndepărtarea



poluanților: **(i) un sistem de epurare bazat pe suport solid și biofilm bacterian**, destinat eliminării excesului de nutrienți și a compușilor organici din apă; **(ii) un sistem de epurare bazat pe utilizarea tulpinilor de drojdii**, capabil să reducă ioni de metale grele și anumiți compuși organici din apă; **(iii) un sistem bazat pe pile cu combustibil microbian (MFC – Microbial Fuel Cells)**, care contribuie la degradarea poluanților organici, simultan cu generarea de energie electrică; **(iv) un sistem bazat pe materiale funcționale avansate**, precum **MOF (Metal-Organic Framework)** și **materiale 3D funcționale inteligente** (hidrogeluri polimerice), utilizate pentru eliminarea selectivă a ionilor de metale grele și a altor compuși organici din apă.

Rezultate concrete

După doi ani de implementare, proiectul a înregistrat progrese semnificative, demonstrând rezultate experimentale remarcabile, sistemele fiind testate în laborator, la nivel individual. Analiza datelor colectate până în prezent conduce la o serie de concluzii relevante pentru aplicația propusă, printre care se numără:

– sisteme de biofilm bacterian/biofiltru (**Fig. 1**) cu tulpini bacteriene (*Pseudomonas aeruginosa*), culturi individuale, au prezentat

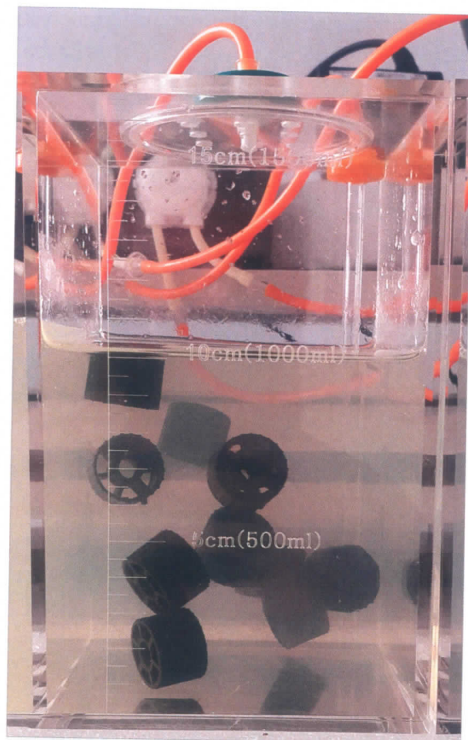


Fig. 1 – Sistem de epurare biofilm bacterian/biofiltru

o reducere din apa uzată municipală de până la 91% pentru NO_3^- (ioni nitrat), 98% pentru NO_2^- (ioni nitrit), 55% pentru NH_4^+ (ioni amoniu), 70% la sută pentru ionii PO_4^{3-} (ioni fosfat) și până la 78% a concentrației de compuși organici;

– în cazul sistemelor de epurare cu drojdii (de exemplu: *Saccharomyces cerevisiae*), eficiența eliminării contaminanților a fost in-

fluențată de tulpina de drojdie inoculată și de metalul greu utilizat, fiind corelată cu cantitatea de biomasă formată. Rezultatele au indicat rate de eliminare de până la 70% pentru CCO-Cr (consum chimic de oxigen), 97% pentru nitrați, 80% pentru nitriți, 93% pentru fosfați și 70% pentru sulfați din ape uzate contaminate cu Pb (Plumb) și Cd (Cadmium). De asemenea, drojdiile au demonstrat o capacitate ridicată de reducere a ionilor de Pb de până la 96%, confirmând potențialul lor de bioremediere;

– hidrogeluri polimerice avansate, utilizate ca materiale funcționale inteligente 3D, pot fi obținute prin intermediul radiațiilor ionizante gama, permițând ajustarea proprietăților lor în funcție de aplicația specifică. Aceste hidrogeluri pot fi concepute fie ca materiale amprentate ionic, capabile să elimine selectiv ionii metalelor grele din apele contaminate, fie sub formă de nanostructuri cu nanoparticule metalice, precum argint (Ag), platină (Pt) sau aliaje bimetalice (PtNi, PtAg). Studiile experimentale au demonstrat o eficiență ridicată a hidrogelurilor amprentate ionic în captarea metalelor grele, înregistrând capacități de absorbție de până la 157 mg Pb^{2+} /g hidrogel, 199 mg Cd^{2+} /g hidrogel și 132 mg Ni^{2+} /g hidrogel. În plus, hidrogelurile funcționalizate cu nanoparticule de aliaj bimetalic Pt-Ni au arătat o capacitate superioară în eliminarea rapidă a coloranților organici, cum ar fi albastrul de metilen, Metiloranj și 4-nitrofenol, atingând rate de decontaminare complete în mai puțin de 15 minute (Concentrație colorant: 50 mg/L). Sistemele catalitice dezvoltate au demonstrat

o performanță superioară cu 25% față de hidrogelurile convenționale cu nanoparticule de platină. Acest rezultat deschide noi orizonturi în cercetarea materialelor catalitice de înaltă performanță, cu aplicații importante și în alte domenii ca cele ale energiei regenerabile și stocării de energie. În plus, această tehnologie are potențialul de a reduce dependența de materiale critice precum platină, contribuind la sustenabilitatea resurselor;

– sistemele cu bioreactoare MFC (Fig. 2), într-un studiu preliminar, au prezentat o capacitate de eliminare a substanțelor organice de până la 96%, cu bună performanță electrică, generând o putere maximă de 13 mW la un potențial de 0,3 V și un curent electric de 44,4 mA. Aceasta s-a realizat utilizând un anod cu dimensiunile de 5 x 57,5 cm și un raport anod-catod de 5:1, într-un volum anodic de 50 cm³.

Vizibilitatea rezultatelor obținute

Diseminarea rezultatelor a reprezentat o componentă esențială a activității de cercetare, contribuind semnificativ la vizibilitatea și impactul studiilor realizate. Aceasta s-a concretizat prin publicarea a **18 articole în reviste ISI** de prestigiu, cu factor de impact ridicat, asigurând astfel o diseminare eficientă a rezultatelor în comunitatea științifică internațională. În plus, rezultatele cercetării au fost prezentate în cadrul a **25 conferințe internaționale**, facilitând schimbul de idei și colaborarea cu alți specialiști din domeniu. Activitatea de inovare s-a materializat și prin depunerea a **5 cereri de brevet național**, subliniind aplicabilitatea și caracterul inovativ al cercetării realizate.

Impactul asupra societății

Proiectul se va finaliza în 2026 cu realizarea unui model funcțional de sistem integrat de epurare a apelor uzate, care va fi testat și validat la scară de laborator, având ca obiectiv demonstrarea eficienței soluțiilor tehnologice dezvoltate și conformitatea cu standardele de siguranță și calitate a apei. Sistemul integrat de epurare va servi ca bază pentru dezvoltarea unor aplicații practice în tratarea apelor uzate, atât la nivel municipal, cât și în zonele izolate, dar și pentru diverse sectoare industriale, de la cel agroalimentar la cel chimic și farmaceutic, reducând astfel impactul deversărilor industriale asupra mediului.

Prin aceste demersuri, ICPE-CA răspunde nevoilor actuale ale societății, prin implementarea unor tehnici eficiente de epurare a apelor reziduale, cu impact asupra protejării mediului și sănătății populației.

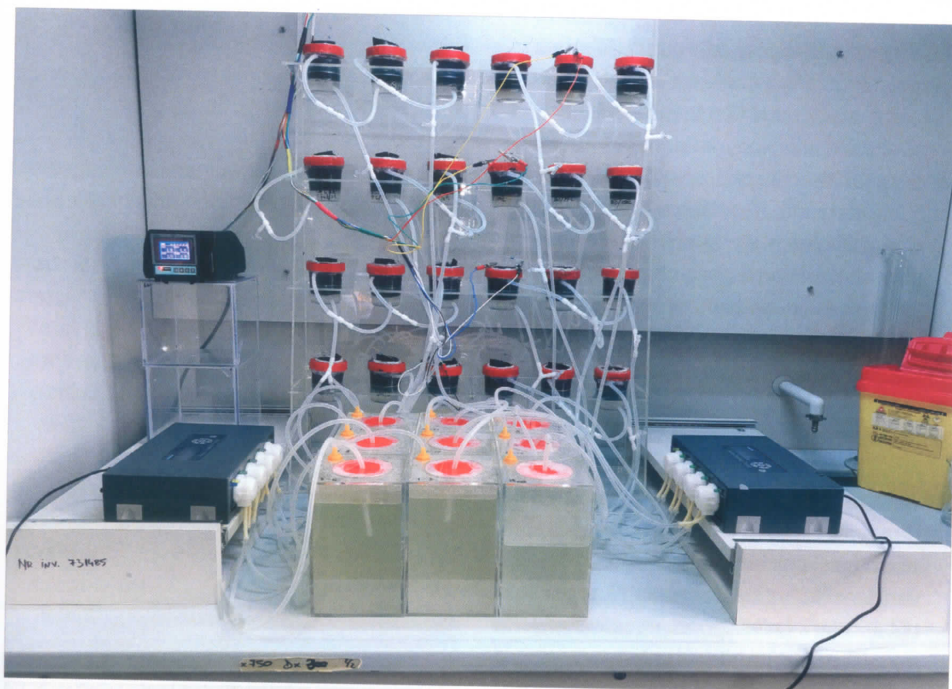


Fig. 2 – Stand experimental pentru testarea bioreactoarelor MFC