

UNIVERSITATEA POLITEHNICA TIMIȘOARA  
FACULTATEA DE CONSTRUCȚII  
DEPARTAMENTUL HIDROTEHNIC

**Biol. Iulian Zoltan BOBOESCU**

REZUMAT  
TEZĂ DE DOCTORAT

**TEHNOLOGII BIOENERGETICE PENTRU EPURAREA APELOR  
REZIDUALE**

Conducător științific:  
prof.univ.dr.ing Ion MIREL

## CUPRINS

1. Introducere .....	15
2. Caracteristicile apelor reziduale .....	25
3. Tehnologii bioenergetice pentru epurarea apelor reziduale .....	30
4. Procese biologice implicate în epurarea apelor reziduale .....	42
5. Etape și metode experimentale abordate .....	59
6. Studii și cercetări experimentale .....	75
7. Concluzii generale, contribuții și elemente de originalitate .....	114
Bibliografie .....	133

## 1. INTRODUCERE

Principalele probleme cu care se confruntă omenirea la nivel global în ultimele decenii sunt reprezentate de creșterea demografică accelerată [12]. Odată cu această creștere, apar o serie de probleme ce variază de la creșterea cantității de deșeuri organice rezultate în urma activității umane, cu repercursiuni grave asupra mediului, până la epuizarea resurselor energetice ale planetei [7]. În ceea ce privește deșeurile organice, apele reziduale reprezintă o sursă majoră de infecții. Astfel rezultă necesitatea dezvoltării unor tehnologii de epurare a acestor ape uzate menajere și industriale. Primele tehnologii de epurare a apelor reziduale erau compuse dintr-o treaptă mecanică de epurare și o treaptă de producere a biogazului. Aceste stații de epurare a apelor reziduale s-au dovedit a fi însă insuficiente pentru a asigura eliminarea unui efluent la standardele actuale de calitate. În continuare, aceste stații de epurare au fost completate cu o treaptă biologică secundară, în care erau dezvoltate procesele de nitrificare prin aerarea bazinelor biologice. În ultimii ani însă, aceste tehnologii de epurare a apelor reziduale au fost completate cu o treaptă biologică avansată, în cadrul căreia se dezvoltă procesele anaerobe de denitrificare. Astfel, compușii de azot (N) și fosfor (P) sunt complet eliminați din efluent, atingându-se condițiile actuale stricte de calitate. În plus, aceste stații de epurare a apelor reziduale sunt prevăzute cu o treaptă separată de tratare a nămolului provenit din decantoarele primare. Datorită creșterilor consumului specific, înregistrate în ultimii ani, s-a făcut simțită necesitatea îmbunătățirii liniei tehnologice a proceselor de epurare a apelor reziduale, astfel încât materialul organic prezent în aceste ape să fie suficient pentru dezvoltarea microorganismelor aerobe și anaerobe ce stau la baza proceselor de nitrificare și denitrificare. Astfel s-a realizat o scădere a timpilor de retenție a apei în decantorul primar de la 1,5 ore la 0,5 ore, sau chiar în unele cazuri o eliminare completă a acestora. În aceste condiții s-a încercat realizarea neutralizării nămolului prin intermediul bioreactoarelor (digestoare sau bazine de contact), dispuse în serie sau în paralel, în vederea eliminării materiilor organice și a compușilor pe bază de N și P. În acest context, teza de doctorat încearcă să aducă o contribuție în sensul de a răspunde cerințelor impuse de legislația de mediu referitoare la poluanții din efluent și nămolul reținut.

Există microorganisme prezente în natură, inclusiv cele aflate în deșeurile organice, capabile să genereze compuși cu conținut energetic deosebit de mare, ce pot fi folosiți ca și vectori alternativi de energie [35]. Biomasa poate fi convertită astfel în bioetanol, biogaz cu un mare conținut de metan sau în biohidrogen, prin intermediul diverselor procese biologice [19]. Biogazul bogat în  $\text{CH}_4$ , prin caracteristica sa, se manifestă ca un element poluator pentru mediu. În plus, biogazul în exces nu se transportă datorită costurilor mari necesare pentru lichefierea acestuia. Datorită acestor neajunsuri, analizându-se procesul de producere al biogazului, s-a observat o etapă preliminară, etapa acidogenă, în cadrul căreia rezultă hidrogenul ( $\text{H}_2$ ), numit și biohidrogen. Acest biohidrogen, prin natura sa, reprezintă un vector energetic valoros, cu caracteristici superioare biogazului bogat în  $\text{CH}_4$ . Descompunerea hidrogenului nu generează poluanți spre deosebire de etanol sau metan, a cărui folosință duce la eliberarea unor cantități mari de gaze cu efect de seră [13]. În plus, hidrogenul deține cel mai mare conținut de energie pe unitate de masă dintre toți combustibilii cunoscuți (142 kJ/g sau 61,000 Btu/lb) și poate fi transportat în scopul consumului domestic sau industrial prin intermediul mijloacelor convenționale [16]. De asemenea, hidrogenul reprezintă o sursă regenerabilă de energie și o alternativă ideală la combustibilii fosili, necontribuind la efectul accelerat de seră [22]. Astfel, hidrogenul satisface toate condițiile unui combustibil alternativ regenerabil și cu impact redus asupra mediului. Folosirea lui în pilele de combustie este considerabil mai eficientă în

comparație cu combustia necesară la ora actuală pentru conversia combustibililor clasici în energie mecanică [5]. Recent, subiectul abordat privind tehnologii bioenergetice din cadrul epurării apelor uzate menajere, face obiectul unei derii de publicații ce v-a fi elaborată în 12 volume, cu titlul "Compendiumul științelor energetice și a tehnologiilor". Acesta v-a include un volum dedicat cercetărilor din domeniul producerii hidrogenului, cu o serie de capitole ce fac referire la tehnologiile bioenergetice de obținere a biohidrogenului în urma degradării apelor reziduale. Astfel, rezultatele obținute în cadrul cercetării doctorale, completează și pun în evidență condițiile de producere a biohidrogenului în urma degradării anaerobe a apelor reziduale.

În contextul global al epuizării resurselor de petrol, sustenabilitatea resurselor de energie reprezintă o importantă problemă actuală. La nivel mondial, cererea de energie va crește constant în următorii ani, rezervele de combustibili fosili nefiind suficiente pentru alimentarea acestor nevoi crescânde [15]. Un bun management al deșeurilor, în special a celor sub forma apelor reziduale ar putea oferi o soluție la această problemă, diminuând energia necesară depozitării și epurării acestora. Cantitatea de ape reziduale produsă la ora actuală în urma activității societății umane este foarte mare, însă o cantitate considerabilă din aceste deșeuri înmagazinează cantități foarte mari de energie care ar putea fi recuperată odată cu degradarea acestora [1]. Un astfel de exemplu îl reprezintă deșeurile organice sub formă de ape uzate și nămoluri rezultate din Industria Alimentară: fabrici de bere, lapte, mezeluri, dar și din stațiile de epurare municipale, ca de exemplu nămolul în exces rezultat în cantități foarte mari în urma proceselor de epurarea biologică avansată a apelor uzate [18]. În prezent, aceste ape reziduale sunt puțin valorificate din punct de vedere al recuperării energiei prin degradarea lor. Tehnologiile existente și utilizate în prezent, recuperează o parte din această energie sub forma metanului, utilizat mai apoi fie direct prin combustie fie indirect pentru obținerea electricității [8]. Fermentarea anaerobă în metantancuri (digestoare) a nămolului cu un raport de apă/materii organice de 0,4 - 0,5, duce la producerea biogazului cu un conținut de metan de aproximativ 65-70%, în cazul apelor bogate în materii organice. Acest procedeu a fost observat și descris pentru prima dată de către contele Alessandro Volta, care asociază biogazul produs pe fundul anumitor lacuri cu cantitatea de materie organică degradată anaerob de către microorganismele metanogene. Aceste procese biologice sunt de o mare complexitate, fiind determinate de o serie de factori fizici, chimici și biologici. Astfel, biogazul obținut poate fi, din punct de vedere al conținutului de metan ( $\text{CH}_4$ ), combustibil sau inert.

Obiectivele principale al cercetării doctorale se încadrează în direcțiile generale Europene și internaționale de cercetare. Prin realizarea acestor obiective se va putea realiza un transfer tehnologic și de know-how către mediul economic global și național. De asemenea, se urmărește coordonarea direcțiilor de cercetare naționale cu tendințele cercetării științifice europene și internaționale, pentru un prestigiu și o mai bună vizibilitate la nivel internațional a rezultatelor cercetării științifice românești.

În urma cercetării doctorale se urmărește epurarea avansată a apelor de scurgere, concomitent cu neutralizarea nămolului, într-o tehnică unitară, coerentă, ce necesită investiții și cheltuieli de exploatare reduse. În acest context, scopul general al cercetării doctorale este acela de a propune un sistem tehnologic de producere a biohidrogenului, cu posibilă aplicație în stațiile de epurare precum și în industria alimentară, aducând astfel producerea hidrogenului prin intermediul proceselor fermentative mai aproape de comercializare. Prin eliminarea de pe linia tehnologică a apei a decantoarelor primare și înlocuirea lor cu digestoare (operate în serie sau în paralel), se pot obține reduceri importante asupra investițiilor în stațiile de epurare. În cazurile în

care digestoarele incluse pe linia apei neutralizează și efectele nămolului, se obțin, prin eliminarea decantoarelor primare, reduceri importante asupra costurilor de investiție. În cadrul acestui concept, digestoarele introduse pe linia apei, au o dublă funcționalitate. În primul rând asigură, în urma proceselor de degradare anaerobă, producerea de biohidrogen. Deasemenea, acestea dezvoltă semnificativ treapta biologică de denitrificare (Tabel 1.3). În plus, nămolul rezultat în urma acestor procese biotehnologice, reprezintă un bun fertilizator pentru culturile agricole ecologice, sau pentru cele agricole cu modificări genetice (în cazul în care există prezente metale grele). Aceste aspecte motivează necesitatea implementării tehnologiilor bioenergetice pentru epurarea apelor de scurgere, în paralel cu valorificarea potențialului energetic din masele organice conținute în apele reziduale (menajere și industriale).

## 2. CARACTERISTICILE APELOR REZIDUALE

Concentrația indicatorilor de calitate, este determinată de proveniența apelor reziduale, dar și de mărimea debitelor de scurgere [33]. Procesele biochimice de fermentare anaerobă necesare pentru producerea biogazului și pentru eliminarea nutrienților din apele de scurgere, sunt determinate, în principal, de masa organică din apele de scurgere, exprimată prin conținutul de  $CBO_5$ , de substanțele volatile, cât și de temperaturile la care se produc procesele biochimice aerobe și anaerobe.

Apele reziduale din industria alimentară constau din ape de transport și spălare a materiei prime, ape tehnologice, ape de condens sau de răcire, ape de la spălarea și dezinfectia sălilor de fabricație, a utilajelor și ambalajelor, ape de la instalațiile sanitare [29]. Acestea conțin cantități importante de reziduuri solide compuse din resturi de materie primă, produse finite rebutate, materiale neutilizabile în proces [17]. De asemenea, datorită varietății provenienței și compoziției acestora, apele reziduale se caracterizează printr-o mare fluctuație a proprietăților fizico-chimice și microbiologice [28].

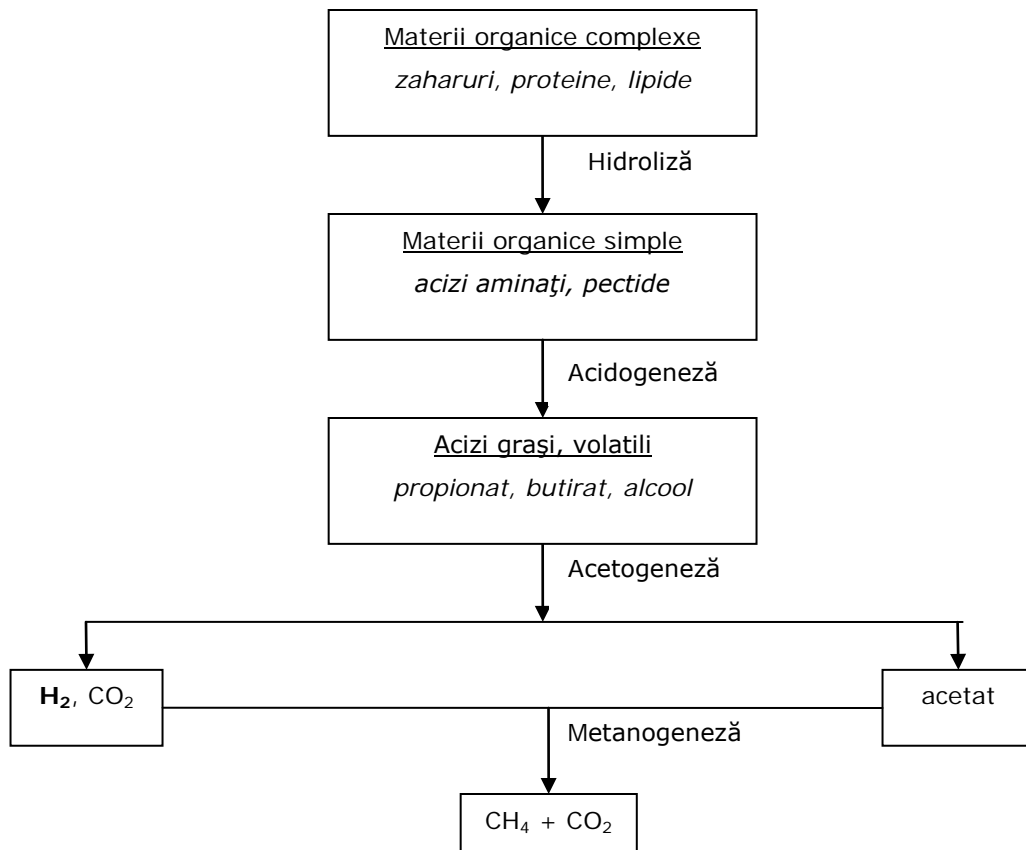
Caracteristicile apelor uzate industriale variază în funcție de ramurile industriale și chiar și în cadrul aceleiași industrii, în funcție de fazele procesului de producție. Compoziția apelor uzate stabilește într-o mare măsură tipul de tehnologie de epurare adoptată, tipul și dimensiunea construcțiilor și instalațiilor care o formează. Acestea sunt determinate pe baza unor analize de laborator care pun în evidență caracteristicile fizice, chimice și biologice ale apelor.

În general, atât apele reziduale menajere cât și cele provenite în urma proceselor tehnologice realizate în industria alimentară, prezintă un potențial energetic sub forma maselor organice [14]. Acest potențial poate fi exploatat sub diferite forme, în special sub forma biogazului cu conținut mare de metan sau hidrogen. Procesele microbiologice în urma cărora sunt generați acești vectori energetici sunt direct influențate de concentrația maselor organice disponibile. Astfel, pentru desfășurarea optimă a acestor procese, este necesară menținerea debitelor apelor reziduale la nivele optime. Pentru un debit mediu situat în jurul unei valori de 150 l/om·zi rezultă o proporție de aproximativ 58% materii organice și 42% materii anorganice [imhoff]. Astfel, un consum excesiv al resurselor de apă (peste 200 l/om·zi) atrage după sine atât risipa acestora cât și diluarea apelor reziduale, acest lucru ducând la reducerea maselor organice și implicit a potențialului energetic stocat în acestea. Pe de altă parte, un consum specific redus al surselor de apă (50-60 l/om·zi) poate duce la sedimentarea materiilor organice și anorganice prezente în apele reziduale, colmatând astfel rețeaua de canalizare a centrelor populate. În același timp, acest consum redus de apă denotă lipsa igienei elementare necesară menținerii în limite normale a sănătății populației.

Deasemenea, atât din punctul de vedere al potențialului energetic al maselor organice din apele reziduale cât și al sistemelor și tehnologiilor de epurare avansată a acestora, sistemul de colectare unitar este considerat perimat, deoarece apa meteorică diluează apele reziduale colectate, reducând astfel parametrii de calitate ai acestora (Tabelul 2.6) [11]. Acest sistem unitar a fost promovat în primul rând din considerente tehnice și economice și mai puțin ecologice. Cu toate acestea, apele reziduale se supun reglementărilor specificate în NTPA 002 înainte de a fi deversate în emisari.

### 3. TEHNOLOGII BIOENERGETICE PENTRU EPURAREA APELOR REZIDUALE

Tehnologiile utilizate pentru epurarea apelor uzate menajere provenite de pe vatra centrelor populate, au cunoscut, în ultimii 20-25 de ani, evoluții considerabile, determinate fiind de cerințele impuse de legislația pentru protecția mediului înconjurător, dar și de Directiva Parlamentului European privind promovarea utilizării energiei din surse regenerabile. În contextul acestor cerințe, se evidențiază tehnologiile bioenergetice specifice, pentru epurarea avansată a apelor uzate menajere provenite de pe vatra centrelor populate, în paralel cu producerea de biogaz prin fermentare anaerobă a maselor organice din conținutul acestor ape (Fig. 3.1).



**Figura 3.1.** Stadiile bioconversiei anaerobe a substanțelor organice; este de remarcă faptul că hidrogenul rezultat în urma acetogenezei este consumat în timpul metanogenezei.

Tehnologiile propuse, dezvoltă treapta de epurare mecanică (**TM**) a influentului (**I**), pentru reținerea suspensiilor grosiere, a nisipurilor și a grăsimilor, înlocuiesc decantoarele primare, cu bazine de fermentare anaerobă/digestoare (**DG**) pentru producerea și captarea biogazului (**GZ**), urmând ca pe filiera apei, să se asigure eliminarea compușilor de azot și de fosfor, printr-o succesiune de obiecte și procese tehnologice [9; 36]. Epurarea avansată a apelor de scurgere, se poate asigura prin: bazine de activare; bazine de aerare; decantoare secundare (**DS**); biofiltre; membrane filtrante; filtre rapide ascendente sau descendente, echipate cu diferite tipuri de mase granulare; sisteme pentru dezinfecția apelor epurate [10].

Producția de biogaz și eficiența epurării, evidențiată prin mărirea concentrațiilor de azot și de fosfor în efluentul epurat, este determinată de caracteristicile apelor de scurgere (fizice, chimice și biologice), de succesiunea proceselor și a obiectelor componente, dar și de modul în care sunt exploatate și întreținute obiectele procesului tehnologic [2; 6]. Procesele microbiologice necesare atât pentru producerea de biogaz, cât și pentru eliminarea nutrienților pe bază de azot și fosfor, sunt posibile datorită încărcării organice și a temperaturii apelor uzate de scurgere (20-25°C) [20; 24]. Biogazul produs în digestoarele anaerobe, poate fi utilizat pentru încălzitul biomasei din reactoare (30-37°C) și a spațiilor tehnologice, dar și pentru producerea de energie electrică, prin cogenerare [23; 27; 31; 34]. Nămolul rezultat din fermentarea anaerobă mezofilă, se poate utiliza ca îngrășământ pentru terenurile cu culturi ecologice [26; 30; 32].

#### **4. PROCESE BIOLOGICE IMPLICATE IN EPURAREA APELOR REZIDUALE**

Producerea microorganismelor producătoare de biogaz din apele uzate menajere, este rezultatul metabiozei dintre trei comunități de microorganisme: nemetanogene, dar lichefiante și acidogene; nemetanogene, dar acetogene și a celor metanogene [21]. Astfel, procesele fermentării anaerobe cuprinde trei etape: lichefierea acidogenă; acetogeneza cu formarea acizilor; metanogeneza cu formarea metanului [20]. Reacțiile biochimice ce au loc pentru producerea de biogaz, sunt descrise în cele ce urmează. În partea a doua a primei etape, microorganismele transformă compușii organici micromoleculari, rezultați în urma procesului de lichefiere, în acizi organici. Acest stadiu de acidogeneză, este numit stadiul conținutului biochimic de oxigen, constant, care se continuă cu o descompunere realizată de către bacteriile metanogene, formându-se acizi organici reduși (acidul formic și acidul acetic), dioxid de carbon, hidrogen și apă. Bacteriile metanogene pot reduce dioxidul de carbon și oxida hidrogenul molecular, producând metan și apă. În acest caz, dioxidul de carbon servește drept acceptor de electroni, iar hidrogenul molecular drept donator de electroni

Dezvoltarea cu succes a unei tehnologii de degradare a apelor uzate în paralel cu producerea biohidrogenului prin dezvoltarea etapei acetogene, ar atrage după sine avantaje tehnologice și financiare enorme. În unele cazuri, ar fi posibilă eliminarea atât a decantoarelor primare din treapta mecanică de epurare cât și a etapei anaerobe din treapta biologică de epurare, acestea fiind înlocuite cu o serie de bioreactoare anaerobe legate în serie sau în paralel, în funcție de specificitatea apei uzate, în care apa uzată brută ar trece printr-un proces de degradare anaerobă în urma căruia rezultă biohidrogen în paralel cu realizarea treptei de denitrificare a acesteia [25; 28]. Acest proces este guvernat de un inocul microbial îmbogățit selectiv, capabil de a degrada aceste substraturi organice complexe, în paralel cu producerea biohidrogenului. Eliminarea acestor decantoare primare și instalarea bioreactoarelor pentru producerea biohidrogenului ar putea reduce considerabil linia nămolului în cadrul acestor stații de epurare. Nămolul rezultat în urma treptei biologice de epurare a apelor reziduale este supus unor

pretratamente și recirculat în aceste bioreactoare pentru producerea biohidrogenului. Astfel, aceasta tehnologie are potențialul de a înlocui și astfel elimina anumite etape prezente în linia tehnologică de epurare a apelor reziduale, scăzând dramatic costurile de proiectare, construcție și operare a stațiilor de epurare a apelor uzate, în paralel cu obținerea unui vector energetic versatil, cu impact redus asupra mediului [4].

## 5. ETAPE ȘI METODE EXPERIMENTALE ABORDATE

Cercetările doctorale au fost realizate atât în laboratoarele de "Alimentări cu apă și canalizări", "Producere a Biogazului" și "Microbiologia și Chimia Apei" din cadrul Departamentului de Hidrotehnică al Universității "Politehnica" din Timișoara, cât și în laboratoarele de Biologie moleculară și Biotehnologii din cadrul Institutului de Cercetări Biologice al Academiei Maghiare, Szeged, Ungaria.

## 6. STUDII ȘI CERCETĂRI EXPERIMENTALE

Pentru a obține și controla un inocul microbial capabil de a degrada atât ape uzate comunale cât și ape uzate provenite din industria alimentară, au fost prelevate probe din diferite ecosisteme bogate în substanțe organice [3]. Din aceste probe au fost mai apoi izolate și îmbogățite populații microbiene utilizate ca inocul în bioreactoarele de mici dimensiuni, pentru producerea biohidrogenului în urma degradării apei uzate sintetice. Mediile de prelevare a acestor consorții microbiene sunt: nămol activ rezultat din treapta de preepurare a apelor uzate provenite din industria berii, Fabrica de Bere Timișoreana (**Inocul 1**); nămol prelevat din un canal închis al râului Bârzava, supus unei accentuate poluări organice provenite din supraplinul foselor septice a unui cartier al orașului Bocșa (**Inocul 2**); nămol activ provenit dintr-un bioreactor utilizat în producția metanului în urma digestii anaerobe a dejecțiilor animaliere (**Inocul 3**); nămol activ provenit din treapta de denitrificare a apelor uzate din cadrul stației de epurare a orașului Timișoara (**Inocul 4**). Aceste ecosisteme prezintă o biodiversitate ridicată de microorganisme capabile de degradarea diversilor compuși organici. Înainte de inocularea bioreactoarelor de mici dimensiuni în vederea fermentării apei uzate sintetice, aceste consorții microbiene au fost supuse proceselor de pretratament și cultivare pe mediu lichid de îmbogățire DMI. Aceste pretratamente au constat în supunerea inoculilor la căldură ridicată (**C**), acid (**A**), ultrasonicare (**U**) și o combinație a tuturor acestor pretratamente (**CAU**). Deasemenea, pentru fiecare tip de inocul utilizat, au existat experimente martor în care inoculii microbieni nu au fost supuși pretratamentelor (**M**).

Având la bază cunoștințele obținute în etapele experimentale precedente, referitoare la **structura populațională** a microorganismele utilizate ca inoculi în procesele de producere al biohidrogenului în urma degradării apei uzate sintetice, **efectul diferitelor** strategii de **pretratament** și îmbogățire asupra reorganizării acestora și **căile metabolice** adoptate de aceste consorții microbiene, a fost elaborată următoarea etapă experimentală. Aceasta reprezintă o strategie complexă de proiectare experimentală în urma căreia să rezulte gradul de implicare a diferiților factori considerați importanți pentru procesul de producere al biohidrogenului în urma degradării apei uzate sintetice, cât și eventualele interacțiuni ce pot apărea între aceștia. Acesta este un pas experimental intermediar ce ne va aduce mai aproape de proiectarea și optimizarea unei tehnologii de producere al biohidrogenului în urma degradării apelor uzate comunale și industriale prin procese fermentative anaerobe guvernate de consorții microbiene atent selectate



și îmbogățite în prealabil. În vederea identificării implicării acestor factori, s-a stabilit o reprezentare cibernetică a procesului fermentativ anaerob de producere a biohidrogenului, sub forma unei structuri de tip "intrări-ieșiri". Intrările sistemului sunt numite "factori de influență (FI)" iar ieșirile sistemului se numesc "funcții obiectiv (FO)". Obiectivul principal al proiectării experimentale este acela de a identifica o relație de conexiune, adesea având o formă predefinită, polinomială, între FO și FO, pentru un domeniu experimental definit în prealabil ca fiind de interes pentru cercetarea abordată. Informațiile obținute în urma desfășurării acestor experimente pot fi utilizate pentru a genera utilizând metode statistice avansate, predicții și informații referitoare la gradul de influență a FI investigați asupra FO, cât și regiunea de optim pentru maximizarea răspunsurilor urmărite.

În vederea investigării încorporării tehnologiei dezvoltate de degradare a apelor reziduale în paralel cu producerea biohidrogenului în procesul tehnologic clasic de epurare a apelor reziduale, s-au realizat o serie de modelări matematice și simulări, utilizat programul BioWin. Acesta este un pachet software dedicat modelării și simulării proceselor fizice, chimice și biologice prezente în stațiile de epurare a apelor reziduale. Programul încorporează 50 de variabile și 60 de procese unitare aerobe și anaerobe. Utilizarea acestui program în vederea simulării proceselor tehnologice prezente în cadrul unei stații de epurare a apelor reziduale, presupune o serie de etape succesive interconectate.

## **7. CONCLUZII GENERALE, CONTRIBUȚII ȘI ELEMENTE DE ORIGINALITATE**

În cadrul acestei lucrări s-au realizat o serie de contribuții personale corelate la obiectivele propuse. Astfel s-a demonstrat potențialul valorificării unei resurse moderne de energie sub forma biohidrogenului prin procesul de fermentare anaerobă acidogenă a apelor uzate reziduale. Deasemenea s-a dezvoltat o tehnologie avansată de epurare a apelor reziduale, caracterizată printr-un flux tehnologic simplificat, stabil, ce necesită investiții reduse de aplicare și funcționare. Contribuțiile cercetării doctorale sunt descrise pe scurt în cele ce urmează:

- Identificarea grupelor principale de microorganisme implicate în procesul de producere a biohidrogenului;
- Evidențierea efectelor diferitelor strategii de pretratament asupra consorțiilor microbiene utilizate în procesul de producere a biohidrogenului;
- Obținerea unui inocul microbial potrivit pentru degradarea apelor reziduale cu producerea concomitentă a biohidrogenului;
- Identificarea rutelor metabolice adoptate de microorganismele implicate în procesul de producere a biohidrogenului;
- Ierarhizarea efectelor factorilor de influență cât și a interacțiunilor dintre aceștia asupra procesului de producere a biohidrogenului;
- Dezvoltarea și optimizarea procesului de producție a biohidrogenului în urma degradării anaerobe a apei uzate provenite din procesele industriale ale fermentării berii;
- Modelarea matematică și simularea proceselor de producție a biohidrogenului în urma degradării apelor reziduale;
- Stabilirea tehnologiilor bioenergetice;
- Înlocuirea decantoarelor primare;
- Identificarea mecanismelor microbiologice.

## Bibliografie

- [1] Argun, H., Kargi, F., Kapdan, I. K. (2009). "*Microbial culture selection for bio-hydrogen production from waste ground wheat by dark fermentation.*" International Journal of Hydrogen Energy 34(5): 2195-2200.
- [2] Barker, D. J., Stuckey, D. C. (1999). "*A review of soluble microbial products (SMP) in wastewater treatment systems.*" Water Research 33(14): 3063-3082.
- [3] **Boboescu, I. Z.**, Gherman, V. D., Mirel, I., Pap, B., Tengölics, R., Rákhely, G., Kovács, K. L., Kondorosi, É., Maróti, G. (2013). "*Simultaneous biohydrogen production and wastewater treatment based on the selective enrichment of the fermentation ecosystem.*" International Journal of Hydrogen Energy.
- [4] **Boboescu, I. Z.**, Mirel, I., Gherman, V. (2011). "*Status of fermentative biohydrogen production. A review.*" Buletinul Științific al Universității "POLITEHNICA" din Timișoara 56(70): 117-122.
- [5] Chou, C.-H., Wang, C.-W., Huang, C.-C., Lay, J.-J. (2008). "*Pilot study of the influence of stirring and pH on anaerobes converting high-solid organic wastes to hydrogen.*" International Journal of Hydrogen Energy 33(5): 1550-1558.
- [6] Daniela-Cornelia, P. A. (2005). *Contributii la studiul proceselor de fermentare anaeroba in vederea obtinerii de biogaz.* Inginerie civila. Timisoara, "Politehnica" din Timisoara. Teza doctorat: 167.
- [7] Das, D., Veziroglu, T. N. (2008). "*Advances in biological hydrogen production processes.*" International Journal of Hydrogen Energy 33(21): 6046-6057.
- [8] Das, D., Veziroğlu, T. N. (2001). "*Hydrogen production by biological processes: a survey of literature.*" International Journal of Hydrogen Energy 26(1): 13-28.
- [9] Dima, M. (1998 ). *Epurarea apelor uzate urbane.* Iași.
- [10] Gallert, C., Winter, J. (2008). Bacterial Metabolism in Wastewater Treatment Systems. Biotechnology Set, Wiley-VCH Verlag GmbH: 17-53.
- [11] Giurconiu, M., Mirel, I., Carabet, A., Chivoreanu, D., Florescu, C., Staniloiu, C. (2002). *Constructii si instalatii hidroedilitare.* Timisoara, Editura de Vest.
- [12] Hallenbeck, P. C., Abo-Hashesh, M., Ghosh, D. (2012). "*Strategies for improving biological hydrogen production.*" Bioresour Technol 110: 1-9.
- [13] Hawkes, F. R., Hussy, I., Kyazze, G., Dinsdale, R., Hawkes, D. L. (2007). "*Continuous dark fermentative hydrogen production by mesophilic microflora: Principles and progress.*" International Journal of Hydrogen Energy 32(2): 172-184.
- [14] Jurcoane, S., Sasarman, E., Rosu, A., Banu, A., Lupescu, I., Tamba, B. R., Radoi, F. *Tratat de biotehnologie.* Timisoara.
- [15] Kapdan, I. K., Kargi, F. (2006). "*Bio-hydrogen production from waste materials.*" Enzyme and Microbial Technology 38(5): 569-582.
- [16] Kraemer, J., Bagley, D. (2007). "*Improving the yield from fermentative hydrogen production.*" Biotechnology Letters 29(5): 685-695.
- [17] Legea 265/2006 privind protecția mediului înconjurător.
- [18] Li, C., Fang, H. H. P. (2007). "*Fermentative Hydrogen Production From Wastewater and Solid Wastes by Mixed Cultures.*" Critical Reviews in Environmental Science and Technology 37(1): 1-39.
- [19] Liu, X., Ren, N., Song, F., Yang, C., Wang, A. (2008). "*Recent advances in fermentative biohydrogen production.*" Progress in Natural Science 18(3): 253-258.

- [20] Mata-Alvarez, J., Macé, S., Llabrés, P. (2000). "Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives." *Bioresource Technology* 74(1): 3-16.
- [21] Mathews, J., Wang, G. (2009). "Metabolic pathway engineering for enhanced biohydrogen production." *International Journal of Hydrogen Energy* 34(17): 7404-7416.
- [22] Meher Kotay, S., Das, D. (2008). "Biohydrogen as a renewable energy resource—Prospects and potentials." *International Journal of Hydrogen Energy* 33(1): 258-263.
- [23] Mirel, I. (1997). *Biogazul sursa de energie pentru consumatorii din mediul rural*. Instalatii pentru constructii si confort ambiental, Timisoara.
- [24] Mirel, I. (1997). *Biogazul sursa de energie pentru gospodariile individuale din mediul rural*. Instalatii pentru constructii si confort ambiental, Timisoara.
- [25] Mirel, I., Damian, C., Bone, S. T., **Boboescu, I. Z.** (2010). "Tehnologii bioenergetice pentru epurarea avansată a apelor uzate menajere provenite de pe vatra centrelor populate." *Provocările noilor tehnologii în managementul apei* 1(1): 26-40.
- [26] Mirel, I., Ghergheleş, C., Barabas, K., Ghergheleş, V. (2004). *Urban wastewater sludge neutralization and exploitation*. MicroCAD International Scientific Conference Miskolc.
- [27] Mirel, I., Ghergheleş, V., Popescu, D., Ghergheleş, C., Pantea, E. (2004). *Installation to produce and utilize biogas in countryside*. MICROCAD 2004 International Scientific Conference, Miskolc
- [28] Mirel, I., Pantea, E., Pop, A., Gherman, V. (2007). "Consideratii privind obtinerea biohidrogenului din ape uzate cu incarcare organica mare." *Revista AGIR* 3(4): 12-16
- [29] Mirel, I., Pantea, E., Romocea, T., Mitraşcă, M. (2007). *Westwater treatment technologies of beer industries of Romania* Joint international conference on long-term experiments, agricultural research and natural resources, Debrecen-Nyirlugos.
- [30] Mirel, I., Popescu, D. (1998). *Valorificarea energetica a reziduurilor organice pentru ridicarea gradului de confort si de protectie a mediului inconjurator in mediul rural*. Instalatii pentru constructii si confort ambiental, Timisoara.
- [31] Mirel, I., Popescu, D., Klein, L. (1997). "Consideratii privind productia si utilizarea biogazului in instalatii de tip gospodaresc." *Mediul si industria* 1(1).
- [32] Mirel, I., Staniloiu, C., Florescu, C. (2001). *Consideratii privind tratarea si valorificarea namolurilor rezultate de la statiile de epurare orasenesti*. Imbunatatirile funciare intre prezent si viitor, Timisoara.
- [33] NTPA 001/2005 - *Normativ privind stabilirea limitelor de încărcare cu poluanți a apelor uzate evacuate în resursele de apă*, Monitorul Oficial al României.
- [34] Rogoveanu-Radosavlevici (2013). *Cercetari teoretice si experimentale asupra epurarii in regim anaerob a apelor uzate*. Inginerie civila. Bucuresti, Universitatea politehnica din Bucuresti. Teza doctorat.
- [35] Rupprecht, J., Hankamer, B., Mussnug, J. H., Ananyev, G., Dismukes, C., Kruse, O. (2006). "Perspectives and advances of biological H<sub>2</sub> production in microorganisms." *Applied Microbiology and Biotechnology* 72(3): 442-449.
- [36] Segneanu, E. (2006). *Modernizarea statiilor de epurare*. Inginerie civila. Timisoara, "Politehnica" din Timisoara. Teza doctorat: 195.