

# CONSIDERAȚII PRIVIND OBTINEREA BIOHIDROGENULUI DIN APE UZATE CU ÎNCĂRCĂRI ORGANICE MARI

**Prof. dr. ing. Ion MIREL**  
Universitatea „Politehnica” din Timișoara



A absolvit Facultatea de Construcții, Secția de construcții hidrotehnice a Institutului Politehnic din Timișoara, în anul 1961, fiind încadrat prin repartiție guvernamentală la Catedra de construcții hidrotehnice, astăzi Facultatea de Hidrotehnică, unde parcurge toate treptele ierarhiei universitare. Din 1995, conducător de doctorat în domeniul ingineriei civile. Predă disciplinele de hidraulică, alimentări cu apă, canalizări și epurarea apelor uzate. În prezent, șeful Catedrei de hidraulică și ingineria mediului. A publicat peste 250 de lucrări științifice în reviste din țară și din străinătate. A elaborat 18 manuale și lucrări didactice și peste 140 de contracte de cercetare-proiectare, 50 de studii de impact și bilanțuri de mediu. Este verficator MTCT, evaluator CNCIS și MMGA pentru studii de impact și bilanțuri de mediu. Este membru al unor societăți științifice și asociații profesionale din țară și din străinătate: Academia Oamenilor de Știință (AOȘ), Asociația Română a Apei (ARA), Asociația Generală a Inginerilor din România (AGIR), International Association of Hydraulic Engineering and Research (AIRH), Balkan Environmental Association (BNA). Deține șapte brevete de invenție și două certificate de inovator. Profesor asociat la Universitățile din Viena, Graz, Oradea și Banatul, din Timișoara. Domenii de competență: alimentări cu apă, canalizări, tratarea apelor geotermale, producerea și utilizarea biogazului, protecția mediului etc.



**Șef lucr. ing. Emilia PANTEA**  
Universitatea din Oradea

A absolvit Universitatea Babeș-Bolyai, Facultatea de Chimie și Tehnologie Chimică, Cluj-Napoca, Secția tehnologia substanțelor anorganice, în 1996. În prezent este asistent universitar la Universitatea din Oradea, Facultatea de Protecția Mediului, și doctorand la Universitatea „Politehnica” Timișoara, Facultatea de Hidrotehnică. A publicat 9 lucrări științifice în reviste de specialitate din țară și din străinătate.

**Ing. Ana POP**  
Combinatul Petrochimic „Solventul”, Timișoara



A absolvit Facultatea de Inginerie Chimică, Secția tehnologia compușilor organici, din cadrul Institutului Politehnic „Traian Vuia” din Timișoara, fiind încadrată prin repartiție guvernamentală la Combinatul Petrochimic „Solventul”, Timișoara unde urmează o carieră în creștere. A participat cu lucrări de promovare uleiuri sintetice electroizolante la simpozioane naționale. Are contribuții importante la îmbunătățirea sistemului de livrare azot, aer comprimat tehnic și instrumental, la optimizarea fluxurilor tehnologice pe separare criogenă aer și gaz cracat, la modernizarea operării pe coloanele de distilare de pe platforma petrochimică „Solventul” – Secția oxoalcooli, inovări tehnologice pe fluxuri de sinteze chimice, organizare activitate de marketing, planuri de marketing dedicate. Este membră AGIR, deține certificare ca expert tehnic extrajudiciar, iar ca responsabil programe în Comitetul Filialei Timiș s-a implicat în programe comunitare de interes local/regional. Este membră în Consiliul director al Centrului Regional de Inovare și Transfer Tehnologic „Tehimpuls”.



**As.biol. Vasile Daniel GHERMAN**

Absolvent al Facultății de Chimie-Biologie-Geografie din Timișoara, specializarea biologie, în 1998. Este doctorand în domeniul geomicrobiologie, la Tours, Franța. Domeniul de competență: microbiologie și medii extreme de viață. A publicat un număr de șapte lucrări în reviste de specialitate.

**REZUMAT**

În cadrul lucrării sunt evidențiate metodele utilizate pentru producerea biohidrogenului din apele uzate, cu încărcare organică mare, ca alternativă pentru înlocuirea resurselor convenționale de energie.

Hidrogenul este considerat ca fiind combustibilul viitorului, deoarece este o sursă de energie curată, cu un conținut energetic comparabil cu cel al combustibililor convenționali. Spre deosebire de combustibilii fosili, petrol, gaze naturale etc., hidrogenul nu este ușor de găsit în natură, motiv pentru care sunt necesare tehnologiile noi care să permită obținerea acestuia cu costuri cât mai mici. Metodele chimice, și anume: reformare cu aburi a hidrocarburilor și oxidarea parțială a combustibililor fosili, operează la temperaturi înalte, pentru care sunt necesare consumuri energetice importante. Metodele biologice oferă unele avantaje pentru producerea hidrogenului, o operare sub condiții blânde și conversii specifice. Reziduurile solide și apele uzate de la industriile cu conținut bogat în carbohidrați, amidon și celuloză reprezintă alternativele viitorului pentru producerea biohidrogenului, utilizând pentru acest scop: scindarea apei cu alge fotosintetice; fermentația la întuneric a reziduurilor bogate în carbohidrați și fotofermentația apelor uzate bogate în acizi organici.

**ABSTRACT**

The methods employed to produce biohydrogen from highly organic loaded waste waters, as an alternative to conventional energy resources, are emphasized in the paper.

Hydrogen is considered the fuel of the future as it is a source of clean energy with an energetic content compared to that of conventional fuels. Unlike fossil fuels: oil, natural gas, etc., hydrogen is not so easily found in nature, that is why it is necessary to develop new processes that allow obtaining hydrogen with minimal costs. Chemical methods like the transformation of hydro-carbide steam and partial oxidation of fossil fuels work at high temperatures, meaning with a high energetic consumption. Biological methods offer different advantages for producing hydrogen, a process taking place in mild conditions and specific conversions. The use of some solid residues and/or wastewater from some industries rich in carbohydrates, starch, and cellulose is an alternative for producing bio-hydrogen, for this purpose employing the followings: bio-photolysis of water with photosynthetic algae; dark fermentation of carbohydrate-rich residues; photo-fermentation of wastewater rich in organic acids.

**1. INTRODUCERE**

În toată lumea, necesarul de energie este în creștere exponențială, rezervele de combustibili fosili sunt în descreștere, iar arderea combustibililor fosili determină, din cauza emisiilor de CO<sub>2</sub>, efecte negative asupra mediului. Din aceste motive, se fac cercetări pentru exploatarea noilor surse de energie ce pot înlocui combustibilii fosili, iar hidrogenul este considerat ca fiind mesagerul energiei viitorului [1].

Hidrogenul gazos este un combustibil curat, fără emisii de CO<sub>2</sub> și care poate fi utilizat în pilele de combustie pentru generarea energiei electrice. De asemenea, hidrogenul are o capacitate mare de energie, estimată la cca. 122 kJ/g. Problema care se ridică în utilizarea hidrogenului gazos drept combustibil este legată de necesitatea găsirii unor metode de producere ieftine, deoarece el nu se poate găsi liber în natură.

Cererea de hidrogen nu este limitată doar de utilizarea lui ca sursă de energie. Hidrogenul este în mare măsură utilizat la hidrogenarea grăsimilor și a uleiurilor din industria alimentară, la procesarea oțelului, la desulfurarea și la reformarea gazolinei în rafinării.

Metodele convenționale de producere a hidrogenului sunt cele din sistemul de reformare a metanului și a altor hidrocarburi, oxidarea necatalitică a combustibililor fosili etc. Aceste metode sunt procese care necesită temperaturi înalte, de peste 850°C [1, 4].

Electroliza apei poate fi o tehnologie curată pentru producerea hidrogenului. De asemenea, electroliza poate fi

utilizată în zonele în care electricitatea este ieftină. În cazul proceselor de electroliză, apa trebuie demineralizată pentru a scăpa de depozitele de pe electrozi și de procesele de coroziune.

Producerea pe cale biologică a hidrogenului este o alternativă viabilă pentru obținerea hidrogenului. În acord cu susținerea dezvoltării și minimizarea reziduurilor, producerea biohidrogenului folosind aceste surse a atras, în ultimii ani, o considerabilă atenție din partea specialiștilor. Obținerea biohidrogenului poate fi realizată cu microorganisme anaerobe și fotosintetice, utilizând fie reziduurile solide din agricultură, fie apele uzate provenite de la complexele agrozootehnice sau de la industriile alimentare cu o încărcare organică ridicată [2].

În cadrul proceselor anaerobe, hidrogenul este produs în timpul conversiei reziduurilor organice în acizi organici, care sunt folosiți pentru generarea metanului. Faza acidogenă a digestiei anaerobe a reziduurilor organice poate fi dirijată pentru obținerea de hidrogen.

Procesele fotosintetice includ specii de alge care utilizează CO<sub>2</sub> și apa pentru producerea hidrogenului gazos. Câteva bacterii foto-heterotrofe utilizează, pentru producerea de H<sub>2</sub> și CO<sub>2</sub>, acizii acetic, lactic și butiric.

Producerea biohidrogenului prin fermentarea anaerobă a reziduurilor organice, reprezintă o sursă alternativă de energie a viitorului care poate conduce la înlocuirea parțială sau totală a combustibililor fosili [5, 6, 7].

În tabelul 1 sunt evidențiate valorile energetice ale hidrogenului în comparație cu combustibilii convenționali. [1, 4, 8, 9].

Tabelul 1. Valoarea energetică a hidrogenului, comparativ cu alți combustibili

Tipul de combustibili	Valoarea energetică, în kJ/g
Hidrogen (H <sub>2</sub> )	143
Metan (CH <sub>4</sub> )	56
Petrol	48
Cărbune	33
Etanol(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	30
Metanol(CH <sub>3</sub> OH)	23

## 2.TIPURI DE REZIDUURI

Criteriile majore pentru selecția reziduurilor utilizate în producția biohidrogenului sunt prețul de cost, conținutul de carbohidrați și biodegradabilitatea. Glucidele, cum ar fi glucoza, lactoza sunt mai ușor biodegradabile, preferate pentru producția de hidrogen. Materialele utilizate pentru producția hidrogenului pot fi: amidonul și celuloza din reziduurile agricole și alimentare; apele uzate industriale, bogate în carbohidrați; nămolurile de la epurarea apelor uzate menajere.

### 2.1. Amidonul și celuloza din reziduurile agricole și alimentare

Reziduurile agricole și cele din industria alimentară conțin amidon și /sau celuloză. Amidonul poate fi hidrolizat la glucoză și maltoză prin hidroliză acidă sau enzimatică, urmată de conversia carbohidraților la acizi organici și apoi la hidrogen gazos. Celuloza conținută în

reziduurile agricole necesită o pretratare suplimentară. Celuloza și hemiceluloza din reziduurile organice pot fi hidrolizate în carbohidrați care sunt procesați apoi în acizi organici și în hidrogen gazos.

### 2.2. Apele uzate industriale, bogate în carbohidrați

Efluenții industriali din industria laptelui, de la fabricile de pâine și din industria berii pot fi utilizați ca material pentru producerea hidrogenului. Aceste ape uzate pot necesita un tratament preliminar pentru îndepărtarea componentelor recalcitranti și pentru echilibru nutrițional. Efluenții industriilor alimentare, bogați în carbohidrați, pot fi apoi procesați prin conversia carbohidraților, în acizi organici și în hidrogen gazos, prin utilizarea unor tehnologiilor de bioprocésare corespunzătoare.

Schema redată în figura 1 evidențiază modul de obținere a hidrogenului prin fermentație la întuneric și în prezența luminii a reziduurilor agricole și a apelor uzate.

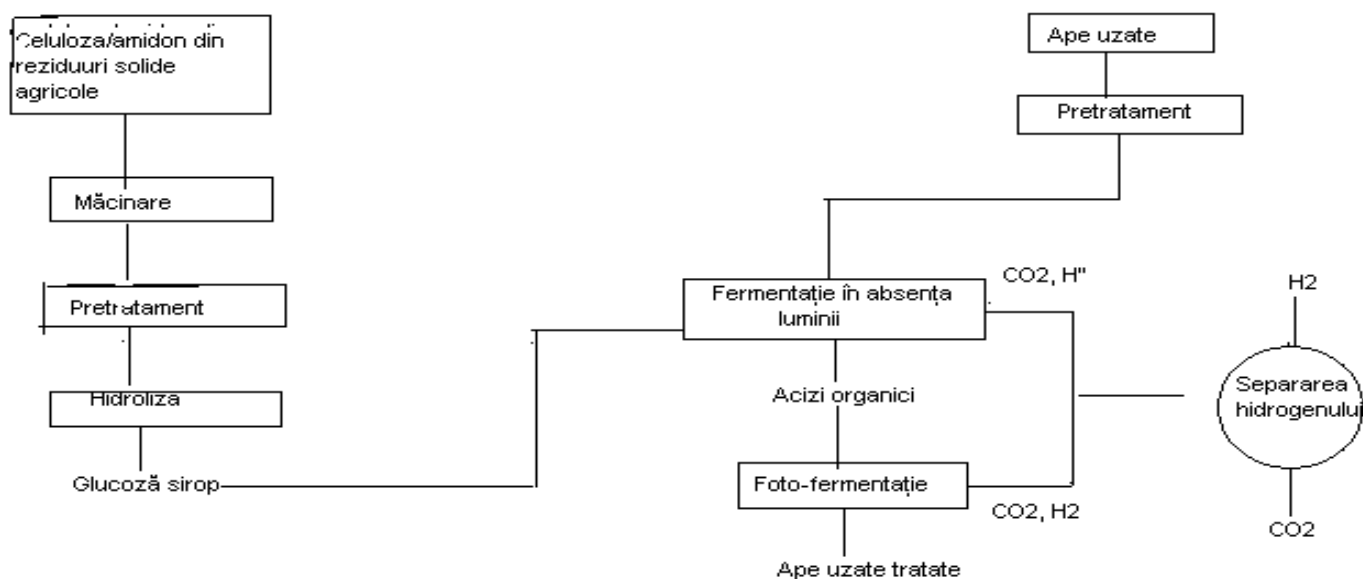


Fig. 1. Schema de obținere a hidrogenului din reziduurile agricole și din apele uzate.

## 2.3. Nămolurile de la instalațiile de epurare a apelor uzate menajere

Nămolul generat în instalațiile de epurare a apelor uzate menajere conține cantități importante de carbohidrați și proteine, care pot fi utilizate pentru producerea metanului și a hidrogenului.

Fermentarea anaerobă a nămolului în exces poate fi realizată în două etape.

În prima etapă, cu specific acidogen, materia organică va fi convertită în acizi organici, care pot fi utilizați, în cea de a doua etapă, la obținerea hidrogenului cu ajutorul bacteriilor foto-heterotrofe.

## 3. PRODUCEREA HIDROGENULUI PRIN PROCESE BIOLOGICE

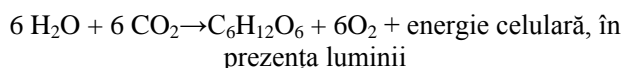
Procesele biologice specifice utilizate pentru producerea hidrogenului sunt redată în tabelul 2 [2; 5–9].

Tabelul 2. Procese biologice specifice pentru producerea hidrogenului

Procese specifice	Reacții generale	Microorganismele uzuale
Biofotoliza directă	$2 \text{H}_2\text{O} + \text{lumină} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$	Microalge
Fotofermentația	$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} + \text{lumină} \rightarrow 4 \text{H}_2 + \text{CO}_2$	Microalge, bacterii roșii
Biofotoliza indirectă	$6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} + \text{lumină} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2$ $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 \text{H}_2 + 2 \text{CH}_3\text{COOH} + 2 \text{CO}_2$ $\text{CH}_3\text{COOH} + 4 \text{H}_2\text{O} + \text{lumină} \rightarrow 8 \text{H}_2 + 4 \text{CO}_2$	Microalge, cianobacterii
Fazele de fermentație	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 \text{H}_2 + 2 \text{CH}_3\text{COOH} + 2 \text{CO}_2$ $2 \text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow 2 \text{CH}_4 + 2 \text{CO}_2$	Bacteriile fermentative + bacteriile metanogene
Fermentație în absența luminii	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 12 \text{H}_2 + 6 \text{CO}_2$	Bacteriile fermentative
Reacția de transfer al gazului de baltă	$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$	Bacteriile fermentative și bacteriile fotosintetice

### 3.1. Producerea hidrogenului cu ajutorul algelor

Algele scindează moleculele de apă la ioni de hidrogen și oxigen, prin fotosinteză. Ionii de hidrogen generați sunt convertiți în hidrogen gazos de către enzimele hidrogenatoare. Hidrogenul poate fi produs cu ajutorul algelor verzi și albastre-verzi, conform reacției:



Fotosinteza bacteriană presupune reducerea compușilor organici în material celular și în energie celulară.

*Clamydomonas reinhardtii* este una dintre algele răspunzătoare de obținerea hidrogenului. Activitatea hidrogenformatoare a fost detectată în algele verzi, *Scenedesmus obliquus*, în alge marine verzi, *Chlorococcum littorale*, *Playtmonas subcordiformisși*, *Chlorella fusca*.

Producția de hidrogen cu ajutorul algelor poate fi considerată o metodă economică, în limitele utilizării apei ca resursă regenerabilă și din consumul  $\text{CO}_2$  ca unul dintre poluanții aerului. Limitarea majoră a procesului o reprezintă

efectul inhibitor al oxigenului generat pentru enzimele implicate în generatoarea de hidrogen.

### 3.2. Producerea hidrogenului gazos prin fermentație anaerobă, în absența luminii

Organismele aparținând genului *Clostridium*, cum ar fi *C. butyricum*, *C. therolacticum*, *C.pasteurianum*, *C.paraputrificum M-21* și *C. bifermentans*, sunt obligat anaerobe. Speciile genului *Clostridium* produc hidrogen gazos după o lege de tip exponențial. Cultură dominantă a *Clostridiei*, poate fi ușor obținută prin tratamentul la căldură al nămolului biologic. Sporii formați la temperaturi înalte pot fi activați când condițiile de mediu cerute furnizează hidrogen gazos.

Alte microorganisme care pot furniza hidrogen pot fi: *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter cloacaeITT-BY*, *E. coli*, *Hafnia alvei*. Cântătea de hidrogen variază de la 1 la 1,2 mmol/mol glucoză, când culturile au fost cultivate sub condiții anaerobe. De asemenea, hidrogenul produs cu

speciile *Thermotogales* și *Bacillus sp.* au fost detectate în culturi mezofile acidogene.

Cercetările de laborator au pus în evidență capacitatea de a produce hidrogen gazos cu ajutorul unor microorganisme termofile anaerobe aparținând genului *Thermoanaerobacterium*, *Clostridium thermolacticum* ce pot produce hidrogen din lactoză la o temperatură de 58°C [14].

Condițiile de mediu sunt parametri esențiali în cadrul proceselor de producere a hidrogenului. *pH*-ul afectează producția de hidrogen, conținutul de biogaz, tipurile de acizi organici conținuți și rata specifică de producere a hidrogenului. Limita *pH*-ului pentru o cantitate max. de hidrogen sau rata specifică de producere a hidrogenului este între 5 și 6 iar pentru culturile termofile, de 4,5. Descreșterea graduală a *pH*-ului inhibă producerea hidrogenului, deoarece acesta afectează activitatea fierului conținut în enzimele hidrogenatoare. De aceea, este important un control al *pH*-ului. Compoziția substratului, temperatura și tipul culturii microbiale sunt cei mai importanți parametri care afectează procesul de obținere a hidrogenului [8, 9].

Producții majori în producerea hidrogenului prin fermentarea anaerobă la întuneric a carbohidraților sunt acizii acetic, butiric și propionic. Formarea acizilor este determinată de mărirea *pH*-ului. Cantități mari de acid butiric se pot obține la un *pH* = 4,0–6,0. Concentrațiile acetatului și butiratului pot fi aproape egale, la un *pH* = 6,5–7,0.

Hidrogenul gazos este produs de organisme strict anaerobe. De aceea, agenții reducători ca: argon, azot, hidrogen gazos și L-cisteina, HCl, sunt utilizați la îndepărtarea urmelor de oxigen prezent în mediu. Utilizarea agenților reducători pentru producerea hidrogenului industrial gazos conduce la soluții scumpe și, prin urmare, neeconomice. *Enterobacter aerogenes* este facultativ anaerob și cantitatea de hidrogen produsă cu această cultură este comparabilă cu *Clostridium sp.*

Industria alimentară constituie principalul furnizor de ape uzate cu încărcări organice medii și mari. Conținutul ridicat de carbohidrați conținuți sub formă de glucoză, amidon și celuloză face ca reziduurile solide alimentare să reprezinte un potențial substrat pentru producerea hidrogenului biologic.

În urma cercetărilor experimentale, s-a putut constata potențialul mare de producere a hidrogenului din reziduurile alimentare, în condiții termofile comparativ cu cele mezofile. Nămolul de la instalațiile de epurare a apelor uzate conține cantități mari de polizaharide și proteine. Cantitățile de hidrogen de 1,2 mg H<sub>2</sub>/g COD și 0,6 mol/kg COD au fost constatate când nămolul a fost utilizat ca substrat [12, 13]. Totuși, cantitățile mari de hidrogen (15 mg H<sub>2</sub>/g COD) au fost obținute din materialul filtrat [12, 13]. În cazul în care nămolul este pretrat, crește intensitatea de conversie a COD solubil în hidrogen (0,9 mmol/g nămol).

### 3.3. Producerea hidrogenului prin fotofermentație

Anumite bacterii fotoheterotrofe sunt capabile să convertească acizii organici (acetic, lactic și butiric) la hidrogen (H<sub>2</sub>) și CO<sub>2</sub>, în condiții anaerobe, în prezența luminii. Prin urmare, acizii organici produși în timpul fazei acidogene, a digestiei anaerobe a reziduurilor organice, pot fi convertiți la H<sub>2</sub> și CO<sub>2</sub>, cu aceste tipuri de bacterii fotosintetice anaerobe. Acizii organici preferați, ca sursă de carbon, sunt: acidul acetic, butiric, propionic, lactic și malic. Bacterii fotosintetice roșii, ca *Rhodobacter spheroides*, *Rhodobacter capsulatus*, *Rhodovulum sulfidophilum W-1S* și *Rhodopseudomonas palustris* au fost investigate la diferite proporții la producerea hidrogenului. În urma cercetărilor experimentale s-a constatat că temperatura și *pH*-ul optim pentru bacteriile implicate în proces sunt: pentru temperatură, în limite de 30...35°C, iar pentru *pH*, *pH*<sub>opt.</sub>=7,0 [3]. Rata producției de hidrogen variază în raport cu intensitatea luminii, cu sursa de carbon și cu tipurile de culturi microbiene.

Unul dintre parametri care afectează performanța fotofermentației este intensitatea luminii. Creșterea intensității luminii are un efect stimulator în producția de hidrogen, dar are un efect invers în eficiența conversiei luminii. S-a constatat că butiratul necesită intensitate luminoasă mare (4000 luxi), comparativ cu acetatul și propionatul [10], iar producția de hidrogen în condiții de întuneric este mai mică decât cea în condiții de iluminare.

S-a demonstrat că fiind mult mai eficientă alternarea de cicluri 14 h lumină/10 h întuneric, deoarece ratele producției de hidrogen sunt înalte și concentrația celulară este comparabilă cu iluminarea continuă [10]. Similar, Wakayama [11] relatează faptul că rata de obținere a hidrogenului în timpul unui ciclu de 30 min întuneric/lumină este de 22 l/m<sup>2</sup>·zi, fiind de două ori mai mare decât cea obținută la iluminarea unui ciclu de 12 h, sub aceleași condiții [11].

Utilizarea efluenților industriali pentru producerea hidrogenului cu bacterii fotosintetice este posibilă, deși aceste culturi preferă acizii organici ca sursă de carbon. Una dintre problemele majore în producerea hidrogenului este culoarea apelor uzate, care poate reduce penetrarea luminii. Concentrația mare a amoniului inhibă enzima nitrogenază, reducând productivitatea hidrogenului. Conținutul mare de materie organică (COD) și prezența unor compuși toxici (metale grele, fenoli și PAH) în efluenții industriali impun un tratament preliminar, înainte de obținerea hidrogenului.

## 4. CONCLUZII

Reziduurile de la instalațiile de procesare din industria alimentară și din agricultură pun probleme majore

mediului înconjurător. Tratatamentul aerob al apei uzate, utilizat de obicei la epurarea acesteia, necesită un consum ridicat de energie. Pe de altă parte, tratamentul anaerob necesită un consum energetic foarte redus pentru formarea metanului și a biohidrogenului. Din considerente de mediu, producerea microbială a hidrogenului prin reacții biochimice din reziduuri cu încărcare organică mare prezintă o importanță deosebită pentru resurse neconvenționale de energie. Obținerea hidrogenului prin fermentare anaerobă este mult mai simplă din punct de vedere tehnic, proces care generează biohidrogenul dintr-un număr mare de carbohidrați.

Producțiile mici de hidrogen pot fi evitate prin: selectarea și utilizarea eficientă a organismelor sau a amestecurilor de culturi; dezvoltarea mai eficientă a schemelor de procesare; optimizarea condițiilor de mediu; îmbunătățirea eficienței de utilizare a luminii și dezvoltarea mai eficientă a bioreactoarelor.

Prin această lucrare se dorește evidențierea modalităților de obținere a biohidrogenului prin procese anaerobe, mezofile și termofile, prin prelungirea etapei acidogene premergătoare obținerii biogazului.

## BIBLIOGRAFIE

1. Benemann JR. Report to the US Department of Energy Hydrogen Program. Biohydrogen Production. Hawai Natural Energy Institute, University of Hawai, 2000, p.7.
2. Eroglu I, and al. – Substrate consumption rate for hydrogen production by *Rhodobacter sphaeroides* in a column photobioreactor. *J. Biotechnol.* 1999; 70.
3. Federov AS, Tsygankov AA, Rao KK, Hall DO. – Hydrogen photo-production by *Rhodobacter sphaeroides* immobilized on polyurethane foam, *Biotechnol Lett* 1998.
4. Fikert Kargi, Ilgi Krapinar Kapdan – Biohydrogen production from waste materials. *Proceedings International Hydrogen Energy Congress and Exhibition IHEC, Istanbul, 2005.*
5. Ilgi Krapinar Kapdan, Fikert Kargi - Biohydrogen production from waste materials, *Enzyme and Microbial Technology* 38(2006), 569-582.
6. Kim HY., - A low cost production of hydrogen from carbonaceous wastes. *Int J Hydrogen Energy* 2003; 28; 1179-86.
7. Kim SH, Han SK, Shin HS – Feasibility of biohydrogen production by anaerobic co-digestion of food waste and sewage sludge, *Int J Hydrogen Energy* 2004, 29; 1607-16.
8. Mirel, I., Man, E., Popescu Daniela, Barabaș Katalin, Biomass sources of Energy for Rural Housekeeping. *Scientific Bulletin of the Politehnica University of Timișoara. Transactions mechanics, Tom. 51(65), Fasc. 2, 2006, p. 345-352.*
9. Popescu Daniele, Contribuții la studiul proceselor de fermentare anaerobă în vederea obținerii de biogaz. Teză de doctorat. U. P. Timișoara, 2005.
10. Shin HS, Zoun JH, Kim SH – Hydrogen production from food waste in anaerobic mesophilic and thermophilic acidogenesis, *Int J Hydrogen Energy* 2004.
11. Wakayama T., Nakadana E., Asada Y., Miyake J., - Effect of light/dark cycle on bacterial hydrogen production by *Rhodobacter sphaeroides* RV. *Appl. Biochem Biotechnol.* 2000; 84-86.
12. Wang CC., Chang CW, Chu CP., Lee DJ., Chang BV., Liao CS et al., – Using filtrate of waste biosolids to effectively produce bio-hydrogen by anaerobic fermentation, *Water Res.*, 2003.
13. Wang CC., Chang CW, Chu CP., Lee DJ., Chang BV., Liao CS - Efficient production of hydrogen from wastewater sludge *J Chem. Technol Biotechnol*, 2004.
14. Zang T., Liu H., Fang HHP – Biohydrogen production from starch in wastewater under thermophilic conditions *J Environ Manag* 2003.