

## TITLUL TEZEI

### Teză de doctorat – Rezumat

pentru obținerea titlului științific de doctor la

Universitatea Politehnică Timișoara

în domeniul de doctorat Inginerie Mecanică

**autor ing. VARGA Lucia Ana**

conducător științific Prof.univ.dr.ing. habil Ioana Ionel

luna oct., anul 2018

### **Contribuții privind valorificarea energetică a biomasei pentru obținerea de biogaz**

Cercetările realizate în cadrul tezei de doctorat, aduc o contribuție la identificarea de noi metode și materiale pentru valorificarea energetică a biomasei spre biogaz. Cercetările au fost direcționate spre analiza posibilităților de valorificare a deșeurilor organice, în combinație cu diverse ape uzate pentru obținerea de biogaz. Au fost studiate un număr reprezentativ de referințe bibliografice din fluxul actual al cunoașterii din România și la nivel mondial și au fost identificate unele elemente valoroase legate de posibilitatea valorificării deșeurilor în economia circulară.

De asemenea, au fost realizate scenariile pe baza cărora s-a demonstrat faptul că, valorificarea deșeurilor organice spre biogaz, reprezintă o soluție pentru reducerea poluării factorilor de mediu, în special prin reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră.

Cercetarea cadrului legislativ existent a subliniat eforturile ce trebuie depuse la nivel european, dar și mondial pentru dezvoltare durabilă, reducerea efectelor schimbărilor climatice, promovarea energiei din surse regenerabile, susținerea unei economii circulare și gestionarea deșeurilor. Pentru punerea în practică a obiectivelor stabilite prin legislație, au fost identificate direcții de acțiune pentru stimularea valorificării energetice a biomasei pentru obținerea de biogaz.

#### **A. Studiarea unui număr reprezentativ de referințe bibliografice în fluxul actual al cunoașterii în România și în întreaga lume**

Au fost studiate lucrări din literatura de specialitate din România și de la nivel mondial referitoare la procesul de digestie anaerobă a deșeurilor organice, a nămolurilor și a dejecțiilor animaliere ca substrat principal.

Cercetările studiate au demonstrat faptul că, deșeurile organice se pretează pentru valorificarea prin digestia anaerobă a acestora și obținerea de biogaz.

De asemenea s-a constatat faptul că, deșeurile alimentare reprezintă o materie primă foarte bună pentru producerea de biogaz având un randament ridicat de producere a biogazului.

Referitor la digestia anaerobă a nămolului s-au obținut randamente scăzute însă co-digestia acestuia cu alte materiale organice a dus la îmbunătățirea producției de metan.

Instalațiile de biogaz în care are loc digestia anaerobă a dejecțiilor animaliere ca substrat principal pot funcționa și cu adaos simultan de deșeuri organice, nămoluri, ape uzate cu încărcătură organică mare provenite din industria alimentară precum și cu deșeuri alimentare. S-a constatat că, realizarea preamestecului acestora duce la creșterea producției de biogaz.

Totodată, pretratarea materialelor a intensificat procesul de digestie anaerobă. De asemenea, prin adăugarea de oligoelemente, producția de biogaz poate fi îmbunătățită pentru toate substratele folosite.

## **B. Stabilirea unei metode de lucru, atât în plan teoretic, cât și experimental pentru atingerea scopului**

Au fost testate diferite tipuri de rețete, cu scopul de a identifica materialele cu potențial ridicat de producere a biogazului, calitativ și cantitativ. Testele au fost realizate pe instalația pilot utilizată pentru partea experimentală, instalație care este una brevetată-brevet de invenție numărul 122047, „Procedeu și Instalație pentru obținerea biogazului din biomasă” [Brevet de invenție numărul 122047], precum și pe instalația de mici dimensiuni în cadrul Laboratorului Multifuncțional din cadrul Facultății de Mecanică Timișoara.

### **B.1. Prezentarea instalațiilor în care au fost testate diferite tipuri de rețete**

#### **B.1.1. Instalația de mici dimensiuni**

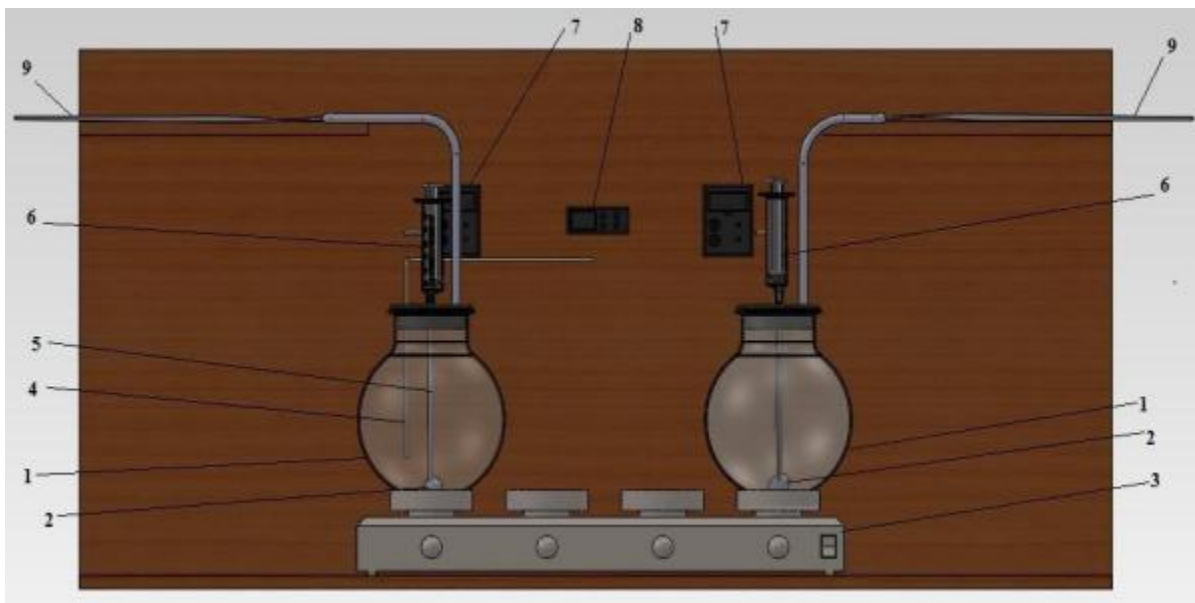


Figura B.1.1.1. Schema instalației de mici dimensiuni [Varga și alții-a]

Componentele acestei instalații sunt:

- 1 - vas de sticlă cu un volum de 6l, acoperit cu un strat de vopsea, pentru fermentare
- 2 - magneți poziționați în partea inferioară a vaselor de sticlă, folosiți pentru a agita moleculele materialelor uzate folosite
- 3 - dispozitiv utilizat pentru încălzirea materiei din vase
- 4 - termocuplul folosit pentru măsurarea temperaturii din vasele de fermentație
- 5 - sistem de prelevare a probelor și de corectare a pH-ului materiei în interiorul vaselor
- 6 - seringă utilizată pentru prelevarea probelor din vase
- 7 - controlere de pH, conectate la senzorii de pH din interiorul vaselor
- 8 - controler de temperatură, conectat cu termocuplul din interiorul vaselor, pentru determinarea temperaturii la un interval determinat
- 9 - pungi de gaz cu volumul de 2 l pentru colectarea biogazului din procesul de fermentație

Pentru a pregăti această instalație la scară mică, s-au urmărit mai multe etape:

- Montarea capacelor metalice pentru vasele de sticlă a fost făcută pentru a introduce toate sistemele și a asigura o etanșare optimă în timpul procesului.
- Vasele de sticlă au fost vopsite pentru a obține cel mai bun proces de fermentare și toate

conexiunile au fost etanșate pentru a reduce pierderile de gaz în timpul procesului.

- Ansamblul final va permite utilizarea a două materiale sau un singur material combinat și substratul utilizat pentru fermentare pentru a compara parametrii parametrilor procesului (pH, cantitatea de biogaz produsă).

După efectuarea acestor operațiuni la scară mică, s-au efectuat teste pentru a verifica funcționarea corectă a tuturor componentelor. Partea de comandă și senzorii de pH, senzorii de temperatură și partea electrică a instalației au fost testate.

După un control dublu, instalația este pregătită în continuare pentru a produce biogaz în cantități mici sau în scopuri experimentale.



Figura B.1.1.2. Verificarea senzorilor pe instalație [Varga și alții-a]

### B.1.2. Testarea diferitelor tipuri de rețete în instalația pilot

Determinarea potențialului real de producere a biogazului în cantități potrivite și cu cel mai mare conținut de metan în compoziția sa s-a efectuat în Instalația pilot.

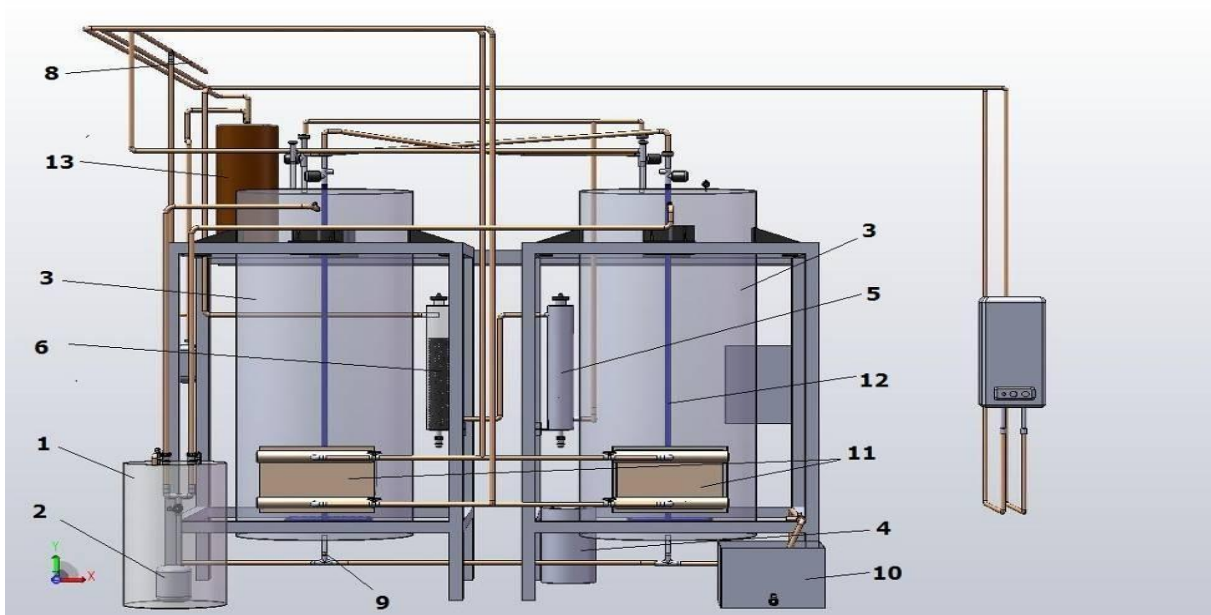


Figura B1.2.1. Schema de principiu a instalației pilot [Brevet de invenție numărul 122047], [Cioabla și alții]

De la rezervorul unde este depusă biomasa, aceasta trece printr-o moară, iar apoi este trimisă la rezervorul unde se omogenizează cu apă (1). Materia omogenizată este transportată cu pompa submersibilă (2) și trimisă la fermentatoarele (3). Această instalație este prevăzută și cu un rezervor care conține un agent de corecție (4) care asigură pH-ul. Biogazul rezultat este trecut printr-un filtru (5) pentru reținerea  $H_2S$  (hidrogen sulfurat) și apoi printr-un sistem (6) care reține parțial  $CO_2$  (dioxid de carbon), după care se poate realiza comprimarea acestuia în sistemul adiacent (7) iar biogazul rezultat este colectat prin conducte (8) spre a fi folosit. Materialul utilizat este descărcat printr-un sistem gravimetric (9), iar o parte din lichidul rezultat este separat (solid de lichid prin decantare) prin sistemul (10) și trimis la canalizare. Reactoarele sunt încălzite prin sistemul de încălzire (11), iar omogenizarea se realizează printr-un sistem de barbotare (12). Pentru a păstra cantități mici de biogaz în scopul analizelor, instalația este echipată și cu un rezervor de alimentare de dimensiuni mai mici (13).

Principalele componente ale instalației sunt:

- Sistemul preliminar de preparare a biomasei constă dintr-un reactor de hidroliză din oțel inoxidabil. În vasul de preparare există o pompă submersibilă utilizată pentru apele reziduale pentru a efectua omogenizarea materialului introdus apoi în reactoarele de fermentație anaerobă. Este necesar să se țină seama de faptul că în timpul pregătirii suspensiei este important să se monitorizeze variația pH-ului în rezervorul de preparare, iar acest lucru poate fi realizat cu ajutorul unui dispozitiv de măsurare a pH-ului portabil
- Rezervoare anaerobe de fermentare. Acestea sunt prevăzute cu un sistem de încălzire a rezervorului prin intermediul unor schimbătoare de căldură montate în partea inferioară, alcătuite din 6 bobine / schimbător de căldură și alimentate cu apă caldă de la un cazan situat în apropierea centralei. Pentru a evita pierderile de căldură, calea de conectare dintre cazan și instalație este izolată. De asemenea, rezervoarele sunt izolate termic cu folie de aluminiu termoizolantă pentru a diminua pierderile de căldură cu exteriorul.

### **B.2.Sistemul de evacuare a gazului** [Brevet de invenție numărul 122047],

Biogazul rezultat din fermentarea anaerobă în instalația pilot este evacuat printr-un sistem de evacuare a gazului format dintr-un sistem de conducte alcătuit din patru electroventile, montate câte două pe fiecare rezervor și comandate electric de la un panou de comandă atunci când presiunea a ajuns la o anumită valoare prestabilită. Sistemul mai este prevăzut cu un rezervor pentru stocarea de cantități mici de biogaz destinat analizei, respectiv un sistem cu contoare de gaz pentru fiecare rezervor pentru monitorizarea cantității evacuate de biogaz și a producției obținut.

**B.2.1.Sistemul de epurare a biogazului** este alcătuit din 2 filtre, unul cu rol de a reține urmele de hidrogen sulfurat ( $H_2S$ ), iar celălalt cu rol de a reține  $CO_2$ . Acestea sunt poziționate între cele două rezervoare de fermentație anaerobe.

**B.2.2.Sistemul de reținere a dioxidului de carbon** este alcătuit dintr-un rezervor din oțel inoxidabil, un separator de lichid, un vas tampon din care gazul evacuat este aspirat de un compresor model Haug răcit cu aer, la o presiune între 1–6 bar și apoi este introdus într-o butelie la o presiune între 10 – 26 bar. Rezervorul din oțel inoxidabil este amplasat pe un dispozitiv de încălzire, temperatura din sistem ajungând la valori între 50- 60°C, iar lichidul evacuat din filtrul de  $CO_2$  este preluat dintr-un recipient cu ajutorul unei pompe dozatoare de același tip cu cea folosită la spălarea biogazului.



Figura B.2.2.1. Ansamblu sistem reținere CO<sub>2</sub>, [Brevet de invenție numărul 122047],

### **B.3. Echipamente de măsură, control și dispozitive**

Principalele echipamente folosite pentru controlul procesului sunt senzorii de pH, temperatură și presiune, precum și elementele conexe de monitorizare ale acestora (pompe dozatoare, electroventile).

Pentru măsurarea parametrilor caracteristici ai biogazului (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S) se folosesc analizoare de gaz .

### **B.4. Echipamente de monitorizare a procesului**

Echipamentele de monitorizare a procesului de fermentație anaerobă din instalația pilot sunt dispuse în tabloul de comandă al instalației.

Acest tablou are posibilități de automatizare a procesului din punct de vedere al evacuării biogazului la o presiune prestabilită cu ajutorul electroventilelor poziționate pe capacul instalației, respectiv de acționare a pompelor dozatoare pentru realizarea corecției de pH. Pentru a putea studia procesul de fermentație în detaliu, respectiv de a determina cantitățile evacuate din fiecare rezervor, comanda electroventilelor s-a făcut automatizat. De asemenea, nu s-a impus folosirea în mod continuu a pompelor dozatoare, motiv pentru care, pentru cercetări, acestea au fost comandate manual.

### **B.5. Măsurarea concentrației de CH<sub>4</sub> și CO<sub>2</sub> [Brevet de invenție numărul 122047],**

Pentru a determina calitățile biogazului obținut este necesară măsurarea concentrației acestor două componente – metan și bioxid de carbon. Aceasta s-a realizat cu Gazo – analizorul DELTA 1600 S IV [Manual de utilizare]. Analizorul poate măsura metan și bioxid de carbon în procente de până la 100 % părți volumice. Opțional, analizorul poate determina conținutul de CO până la un procent de 10 %, O<sub>2</sub> în procent de până la 25 % și NO până la 5000 ppm.

### **B.6. Sinteza operațiilor necesare punerii în funcțiune a instalației experimentale de producere a biogazului:**

**B.6.1. pregătirea instalației pentru experimente prin asigurarea utilităților corespunzătoare desfășurării diferitelor procese necesare de realizat [Varga și alții]:** -

-energia electrică pentru panoul de comandă și elementele acționate electric din diversele sisteme ale instalației;

- gazul metan pentru cazanul de alimentare cu apă caldă pentru schimbătoarele de căldură;

-apa caldă pentru prepararea suspensiei;

- biocombustibili solizi;

-CaCO<sub>3</sub> pentru realizarea corecției de pH;

-reactivii chimici (acid acetic) pentru cazul folosirii unei hidrolize acide;

-substanțele chimice de etalonare pentru calibrarea senzorilor de pH;

-sistemele de măsură și control pentru parametrii funcționali ( contor gaz evacuat; contor gaz cazan încălzire; termocupluri, termometre, manometre; robinete, electroventile, senzori).

### **B.6.2. pornirea / oprirea instalației experimentale de producere a biogazului** [Cioablă și alții]

La pornirea instalației sunt important de parcurs următoarele etape:

- > verificarea integrității structurale a instalației;
- > verificarea etanșeității rezervoarelor și sistemului de evacuare;
- > etalonarea senzorilor de pH;
- > verificarea tuturor echipamentelor de măsură și control;
- > citirea contoarelor de gaz pentru instalație și cazanul de încălzire;
- > pregătirea suspensiei în vasul de preparare;
- > introducerea suspensiei în interiorul rezervoarelor de fermentație anaerobă cu ajutorul pompei submersibile și sistemului de conducte de alimentare;
- > citirea presiunilor inițiale în sistem după terminarea procesului de alimentare;
- > executarea a 2 – 3 recirculări de suspensie pentru fiecare rezervor în parte în scopul asigurării unei bune omogenizări a materialului din interiorul acestora;
- > realizarea corecției inițiale de pH pentru ca șarja să aibă de la început un pH cât mai apropiat de cel neutru.

Pe întreaga durată a procesului de fermentație se vor monitoriza parametrii caracteristici, respectiv buna funcționare a tuturor echipamentelor, se vor nota cantitățile de gaz evacuat, se va realiza analiza gazului corelat cu valorile înregistrate de echipamentele de măsură și control, respectiv determinarea pe cale experimentală a puterii calorifice superioare și inferioare pentru biogazul obținut.

În scopul realizării opririi instalației se vor parcurge următoarele etape:

- > golirea întregii cantități de gaz rămase în sistem;
- > citirea valorii finale la sfârșitul șarjei a contoarelor de gaz pentru instalație și cazanul de alimentare cu apă caldă;
- > spălarea pompelor dozatoare;
- > golirea suspensiei din interiorul rezervoarelor de fermentație anaerobă;
- > depozitarea deșeurilor solide pentru uscare;
- > îndepărtarea senzorilor de pH din sistem și introducerea acestora în apă distilată în scopul conservării pe durata staționării proceselor din instalație;
- > verificarea opririi alimentării cu energie electrică a tuturor echipamentelor din sistem.

### **C. Rezultate experimentale. Interpretări rezultate.**

Determinările de laborator au constat în două părți conexe cu partea de obținere a biogazului: analiza proprietăților fizico– chimice pentru diferite materiale în vederea utilizării ulterioare a acestora în procese de fermentație anaerobă și determinări de laborator la scară de 5 l și în cadrul instalației pilot cu trasarea concluziilor aferente legat de potențialul de utilizare a acestor materiale reziduale. Au fost testate ape uzate provenite de la fabrica de bere și de la uzina de epurare din Timișoara, în combinație cu diferite materiale, cu scopul de a identifica potențialul de valorificare a apelor uzate prin digestie anaerobă.

#### **C.1. Determinarea comparativă a cofermentării utilizând reziduuri și apa uzată de la fabrica de bere pentru producția de biogaz la scara mică.**

Au fost analizate proprietățile fizico–chimice și au fost realizate determinări de laborator la scară de 5 l pentru apa uzată de la fabrica de bere din Timișoara, și în combinație cu zer de vacă și melasă de la fabrica de zahar, cu scopul de a identifica potențialul de utilizare a acestor materiale reziduale pentru digestie anaerobă[Varga și alții-a].



Au fost testate experimental doar la scară de laborator următoarele materiale:  
 -apă uzată de la o fabrică de bere localizată în Timișoara,  
 -apă uzată de la o fabrică de bere, în amestec cu 10% părți volumice zer vacă,  
 -apă uzată de la o fabrică de bere localizată în Timișoara, în amestec cu 10% părți volumice melasă provenind de la procesarea sfecei de zahăr.

#### **Analiza proprietăților fizico–chimica a sarjei 1 de materiale testate**

Au fost realizate determinări pentru materialele testate privind conținutul de cenușă (bază uscată) [%], conținutul de umiditate [%], valoarea medie puterea calorică (bază uscată) [J/kg], conținutul de carbon [%], conținutul de sulf [%], conținutul de volatili (bază uscată) [%], conform standardelor [Standard].

Aceste determinări sunt relevante pentru luarea deciziei privind utilizarea materialelor pentru digestia anaerobă:

- conținutul ridicat de cenușă este un indicator referitor la faptul că materialele testate nu sunt potrivite pentru procese de combustie în scopul valorificării lor energetice.
- puterea calorică medie indică un potențial din punct energetic, urmând a se determina dacă procesele de fermentație anaerobă sunt potrivite pentru valorificarea acestor materiale.
- conținutul ridicat de sulf din materialele alese, certifică nepotrivirea acestor substraturi pentru procese de combustie
- valoarea materialelor volatili reflectă indicii privind caracterul olfactiv al amestecurilor.
- conținutul de carbon indică potențialul de valorificare prin digestie anaerobă a materialelor testate.

#### **Identificarea potențialului de utilizare a materialor reziduale din prima sarja prin digestie anaeroba**

Reprezentarea grafica a concentrației de CH<sub>4</sub> pentru materialele analizate evidentiază faptul că, pentru proba ce conține apa uzată de la fabrica de bere în combinație cu zer de vacă s-a obținut valoare ridicată ale conținutului de metan, (procent maximal de circa 70 %), valoare ce indică potențial de valorificare în procese de biodegradare.

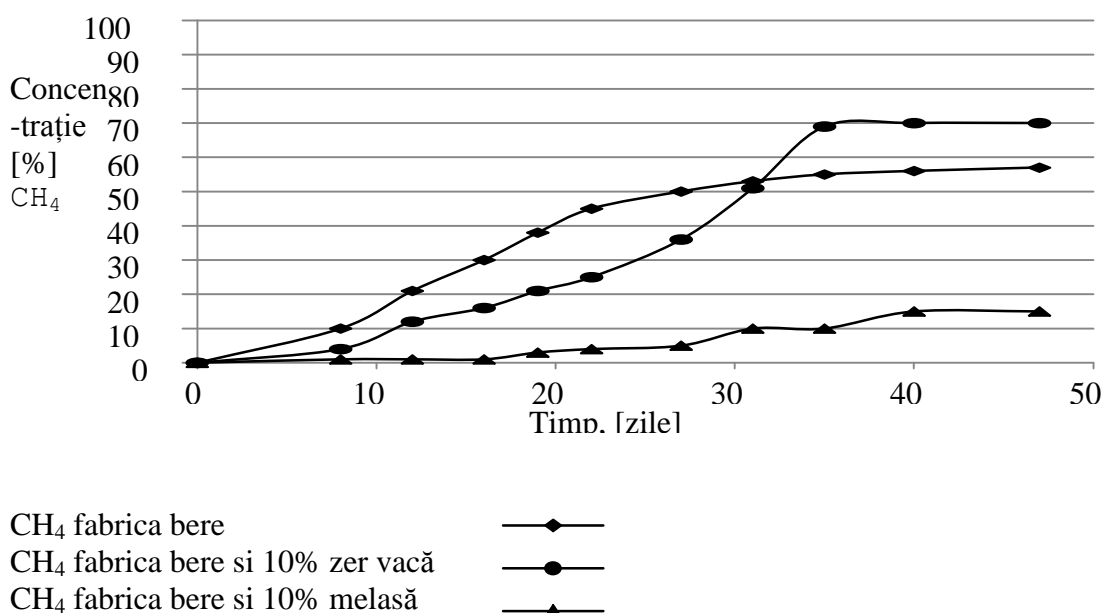


Figura C.1.1. Reprezentarea grafică a concentrației de CH<sub>4</sub>[Varga și alții-b]

Pentru șarja ce conține melasă, procentul de metan este redus, sub 20% părți volumice, acest material nefiind indicat a fi folosit în procese de biodegradare. Pentru șarja care conține

doar apă uzată de la fabrica de bere, se poate identifica necesitatea cofermentării în vederea obținerii unei producții unor valori mai ridicate în ceea ce privește biogazul produs.

În ceea ce privește valorile inițiale de pH, acestea au fost relativ ridicate pentru două din cele trei șarje de material. Pentru corecția pH-ului s-a folosit o soluție pe bază de amoniac ( $\text{NH}_3$ ), concentrație 20% în primele zile de proces. Șarja ce a conținut amestecul cu melasă a necesitat un regim prelungit de corecție de pH. Datorită conținutului ridicat de zaharuri, prima jumătate a perioadei de fermentație a fost caracterizată de valori reduse de pH, fapt care a impus o fază inițială de stabilizare a acestuia mult mai mare decât normal, având impact negativ asupra producției de biogaz și a conținutului de metan acesta.

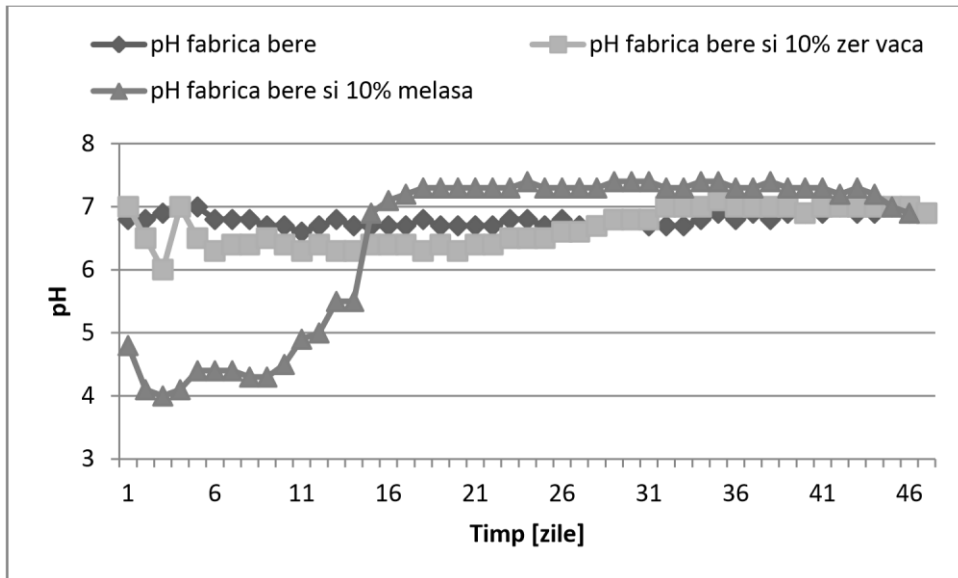


Figura C.1.2. Variatia pH ului [Varga și alții-b]

Referitor la concentrația de  $\text{CO}_2$ , raportată la procentul de metan obținut în urma determinărilor, se poate observa descreșterea conținutului de bioxid de carbon, în mod proporțional, cu excepția evidentă a șarjei ce conține melasă.

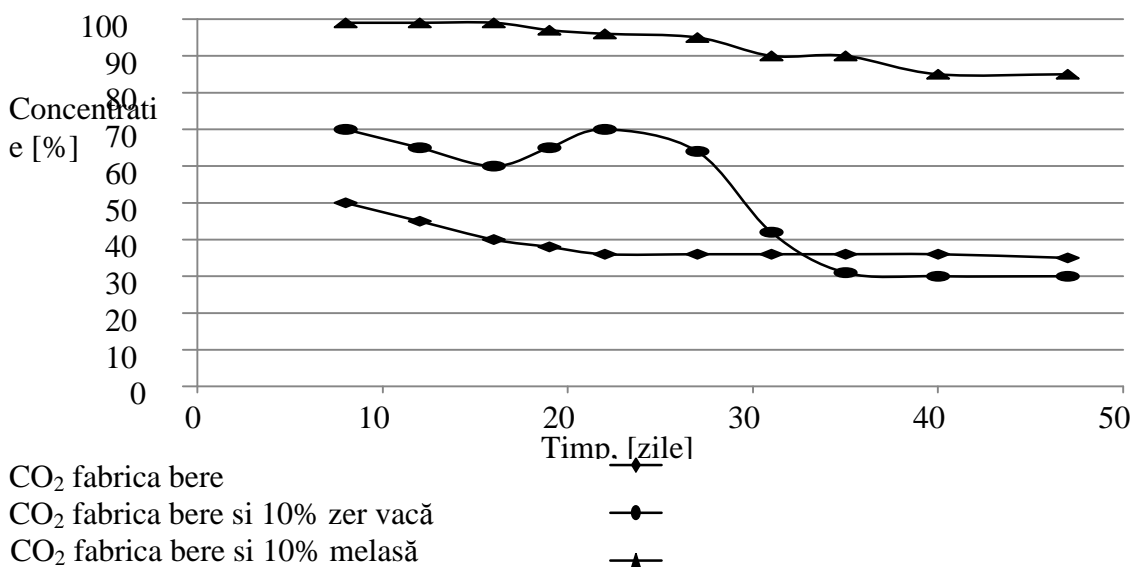


Figura C.1.3. Reprezentarea grafică a concentrației de  $\text{CO}_2$ [Varga și alții -b]



Valorile concentrației de bioxid de carbon ating un minim de circa 30 % pentru șarja ce conține zer de vacă – acest aspect implică găsirea unor soluții pentru optimizarea procesului pentru a aduce o reducere și mai importantă a procentului existent pentru acest gaz.

Șarjele de material au produs circa 10 l de biogaz pentru apa uzată, circa 30 l de biogaz pentru amestecul cu 10 % zer vacă și doar 7 l biogaz pentru amestecul cu 10 % melasă.

### C.2. Determinarea comparativă a cofermentării utilizând reziduuri și diverse ape uzate pentru producția de biogaz la scară mică

Au fost realizate determinari comparative a confermentarii substratelor în două reactoare ce conțin următoarele amestecuri:

reactor 1 - apă uzată de la uzina de epurare a apei, 4% nămol deshidratat de la uzina de epurare și 5% zer de vacă;

reactor 2 - apă uzată de la fabrica de bere, 4% nămol deshidratat de la uzina de epurare și 5% zer de vacă

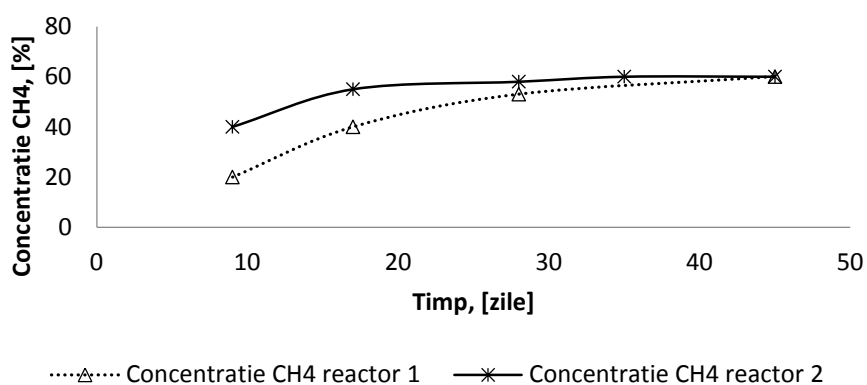


Figura C.2.1. Reprezentarea grafică a concentrației de CH<sub>4</sub> [Varga și alții-a]

Analizorul de gaz utilizat pentru această sarcină a fost un tip DELTA 1600 SIV, care permite determinarea compoziției metanului și dioxidului de carbon până la 100% în volum. Se menționează că, cele patru valori pentru primul reactor și cele cinci valori conservate pentru al doilea reactor, sunt corespunzătoare valorii medii citite pe parcursul a 10 zile de proces, și din acest motiv măsurarea a fost împărțită în patru perioade de câte 10 zile fiecare. Pentru al doilea reactor s-au efectuat două măsurători în ultima perioadă de măsurare.

Se observă că, valoare maximală este de circa 60% pentru conținutul de metan. Acest lucru identifică un potențial proces de ardere relativ constant, dar pentru o valorificare la un nivel optim se recomandă o valoare mai ridicată a procentului de metan din compoziția biogazului produs.

De menționat că cele valori indicate pentru reactoare corespund la valori medii citite de-a lungul a câte 10 zile de proces, din acest motiv existând circa patru perioade a câte 10 zile.

De asemenea, se observă că în timpul procesului șarjele de material prezintă o valoare relativ ridicată a pH-ului, fapt care a făcut ca utilizarea soluției de NH<sub>3</sub> să se facă doar în prima perioadă de fermentare anaerobă, atunci când pH-ul nu a fost integrat în domeniul neutru.

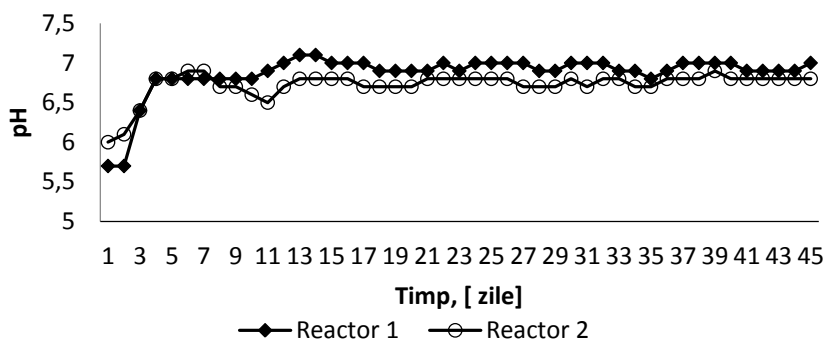


Figura C.2.2. Variația pH-ului [Varga și alții-a]

Variația dioxidului de carbon pentru cele două probe:

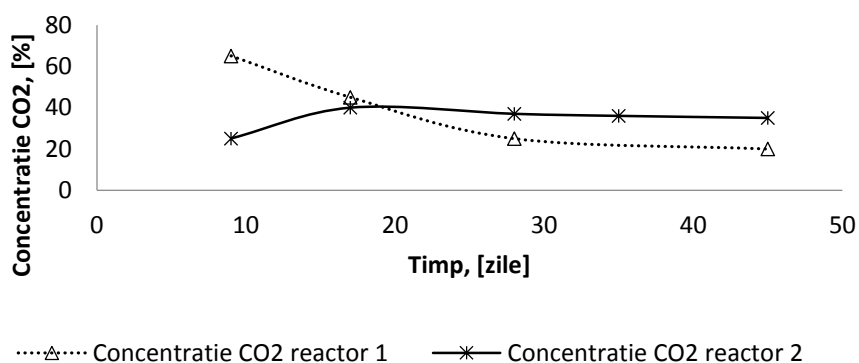


Figura C.2.3. Reprezentarea grafică a concentrației de CH<sub>4</sub> [Varga și alții-a]

Cantitățile de CH<sub>4</sub> produse au reprezentat aproximativ 4 litri de gaz pentru amestec cu 91% apă reziduală din uzina de epurare, 4% nămol deshidratat din uzina de epurare și 5% zer de vaci și aproximativ 5 l pentru lotul compus din 91% apă reziduală din bere fabrică, 4% nămol deshidratat din instalație și zer de vacă de 5%, mai mare decât cea din primul reactor.

Calitatea și cantitatea de biogaz depind de concentrația organică din materialul folosit, acesta fiind un bun indiciu că apa reziduală din fabrica de bere are o concentrație mai mare în material biodegradabil.

### C.3. Determinarea comparativă a cofermentării utilizând reziduuri și ape uzate în instalația pilot .

Au fost testate experimental substrat considerate în procese de fermentație anaerobă a amestecului având ca bază apă uzată de la uzina de epurare și ca material cerealier porumb degradat și orz degradat și având ca bază apa uzată de la fabrica de bere iar ca material cerealier, porumb degradat și orz degradat. Acest lucru s-a făcut pentru o perioadă de circa 45 de zile, la un regim de temperatură mezofil, de circa 33 – 36 °C.

Primele teste au avut în vedere utilizarea unui amestec având ca bază apă uzată de la uzina de epurare și ca material cerealier porumb degradat și orz degradat.

În timpul testelor, s-a avut în vedere monitorizarea pH-ului, presiunile obținute pe instalație, respectiv calitatea și cantitatea biogazului produs. Cantitatea a fost monitorizată cu ajutorul unor contoare de gaz iar compoziția parțială a biogazului obținut a fost cuantificată în ceea ce privește conținutul de metan și bioxid de carbon. Variația pH-ului

pentru materialele studiate:

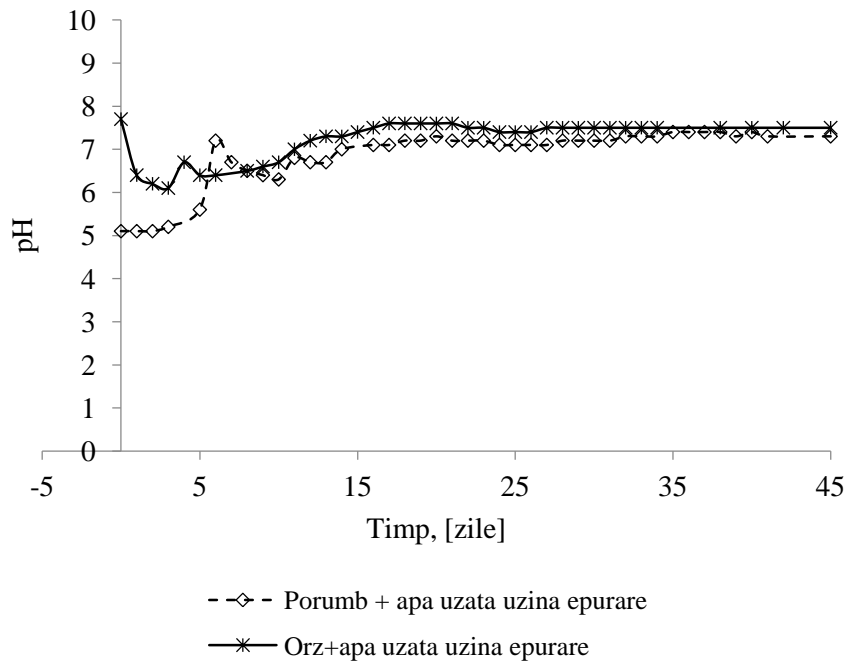


Figura C.3.1. – Variația pH-ului pentru materialele testate

Din figura C.3.1. se poate observa că pH-ul inițial pentru porumb a fost în domeniul acid, în timp ce pentru orz, valorile inițiale au fost relativ atipice, în domeniul alcalin. Acest lucru se poate explica prin faptul că la încărcarea instalației s-a făcut și o corecție inițială de pH, utilizând o suspensie pe bază de sodă caustică. Valorile inițiale au fost în domeniul 5 – 5.2, respectiv 8, pentru cele două șarje. Ulterior, după circa 5 - 8 zile de proces a avut loc stabilizarea pH-ului pe domeniul neutru, acest lucru rămânând neschimbat până la finele procesului de fermentație anaerobă.

Referitor la variația concentrației de  $CH_4$ , se poate observa că, pentru cele două materiale studiate, variația concentrației de metan are un comportament asemănător, șarja conținând porumb degradat având o viteză mai mare de creștere a valorii concentrației de metan din biogaz. La finele procesului, șarja cu orz degradat prezintă o valoare de circa 80 % procent volumic de metan în biogaz, în timp ce șarja cu porumb degradat are o valoare de circa 78 % procente volumice.

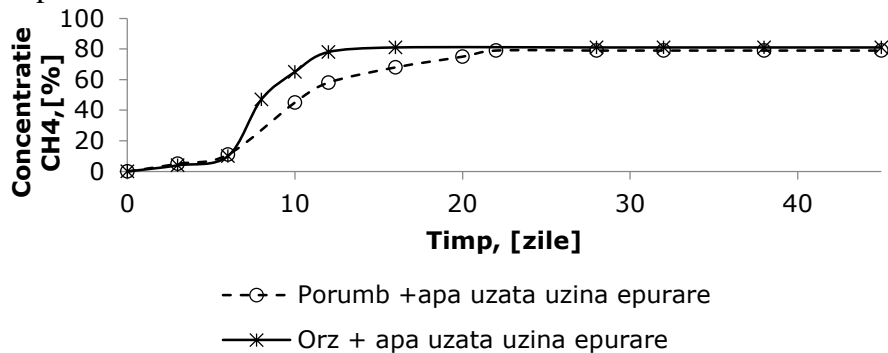


Figura C.3.2 – Variația concentrației de  $CH_4$

În mod similar, odată cu creșterea procentului de metan are loc

descreșterea proporțională a procentului de dioxid de carbon la valori atingând un minim de 19 – 20% pentru șarja cu orz degradat, respectiv 21 – 22% pentru șarja cu porumb degradat.

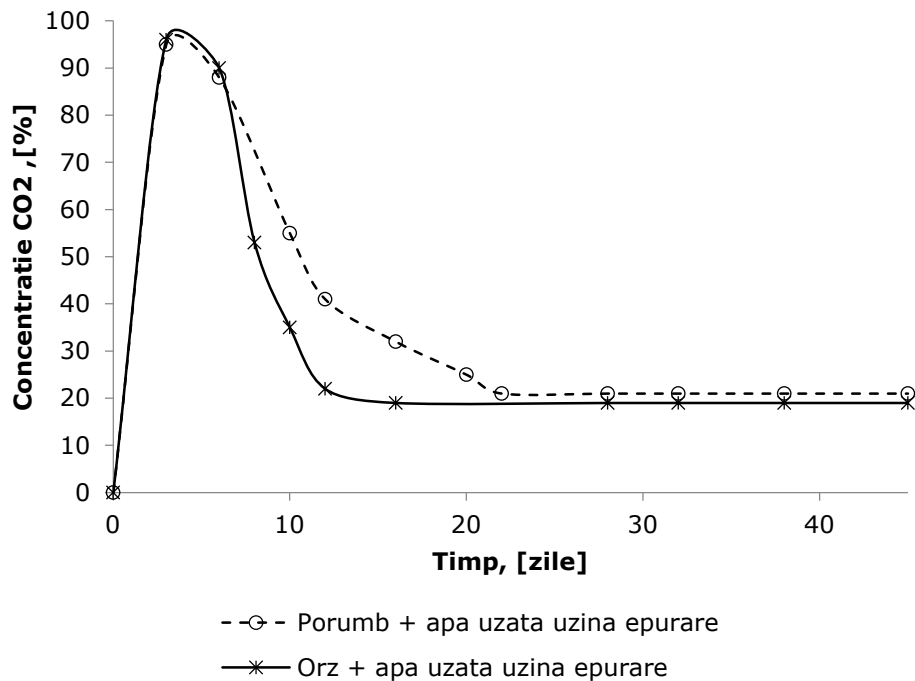


Figura C.3.3. - Variația concentrației de CO<sub>2</sub>

Cantitățile de biogaz produse pentru cele două materiale în acest prim scenariu sunt de circa 8,2 m<sup>3</sup> pentru șarja ce conține porumb degradat, respectiv aproximativ 11 m<sup>3</sup> pentru șarja cu orz degradat.

După finalizarea părții de testare a materialelor, a avut loc analiza substratului după proces.

Din punct de vedere al producției de metan se poate menționa că, pentru șarja ce conține porumb degradat s-au produs circa 14.1 m<sup>3</sup>, în timp ce pentru șarja ce conține orz degradat s-au produs circa 18.1 m<sup>3</sup>.

Următorul experiment a implicat folosirea aceluiași materiale cerealiere în combinație cu apă uzată de la fabrica de bere.

Condițiile de proces au fost asemănătoare în ceea ce privește timpul de monitorizare și parametrii observați în cursul fermentației anaerobe (pH, temperatură, presiuni, compoziție parțială biogaz în ceea ce privește conținutul de metan și bioxid de carbon).

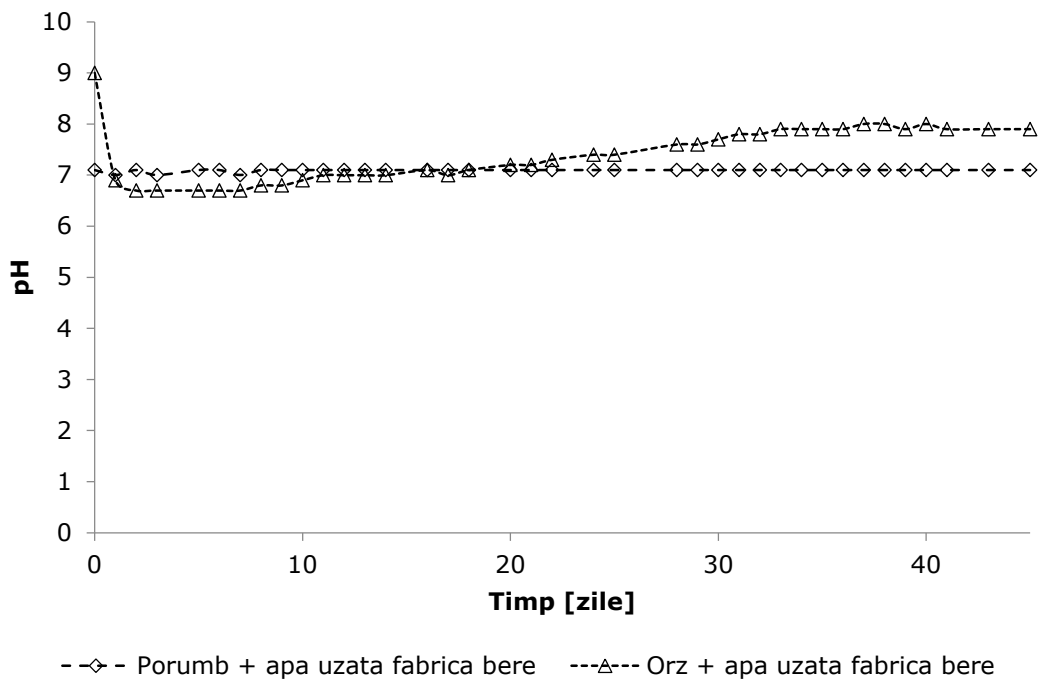


Figura C.3.4 – Variația de pH pentru șarjele studiate

Din figura C.3.4. se poate observa că pH-ul pentru ambele șarje de material este stabil pe întreaga perioadă de desfășurare a procesului, prezentând mici variații la începutul procesului datorită corecțiilor inițiale de pH pentru stabilirea unui element tampon pentru menținerea cât mai stabilă a procesului de fermentație anaerobă.

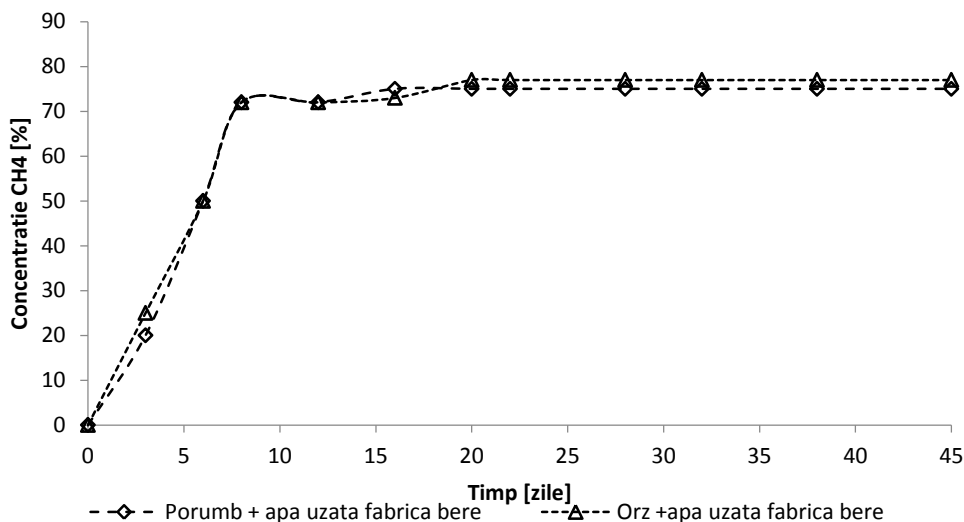


Figura C.3.5 – Variația concentrației de CH<sub>4</sub>

Din figura C.3.5 se poate observa că procentul de metan variază pentru ambele șarje până la valori de circa 75 %, ușor mai ridicate pentru șarja ce conține orz degradat și apă de la fabrica de bere. Din această perspectivă, ambele materiale alese prezintă un comportament adecvat procesului de fermentație anaerobă.

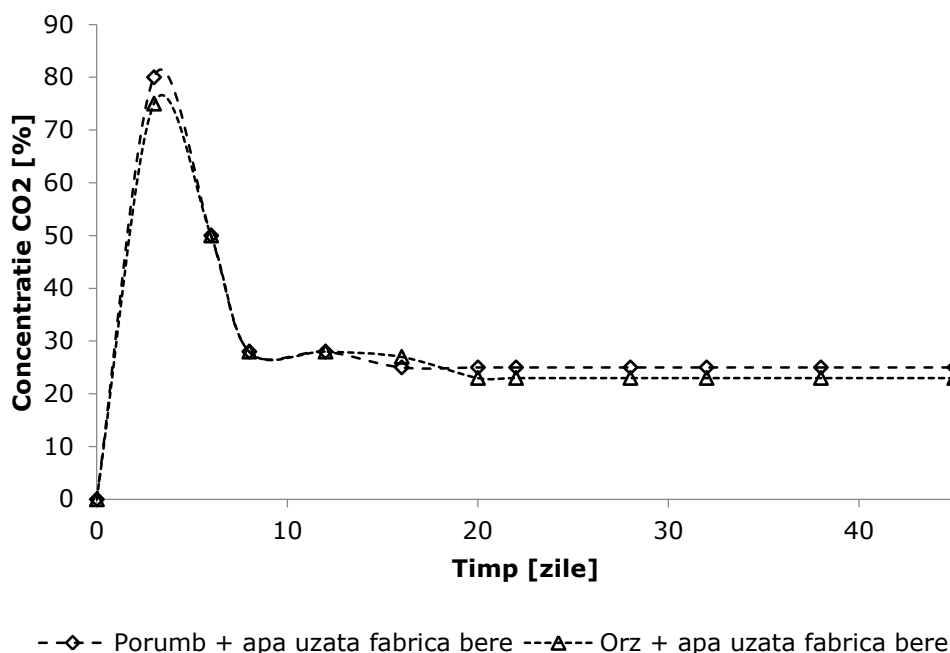


Figura C.3.6. – Variația concentrației de CO<sub>2</sub>

Din figura C.3.6 se poate observa variația invers proporțională a concentrației de dioxid de carbon cu cea de metan, valorile minime atinse fiind pentru șarja ce conține orz degradat, cu concentrații de circa 23 – 24%.

Conținutul ridicat de bioxid de carbon este specific acestui tip de biocombustibil, dar are impact asupra proprietăților de ardere ulterioare a biogazului în diferite instalații de ardere.

În cele ce urmează se vor prezenta pe scurt valorile obținute pentru determinările de laborator realizate asupra materialelor studiate după procesul de fermentație anaerobă.

În cele ce urmează se va realiza o comparație între materialele utilizate în ceea ce privește cantitatea de biogaz produsă în timpul procesului de fermentație anaerobă.

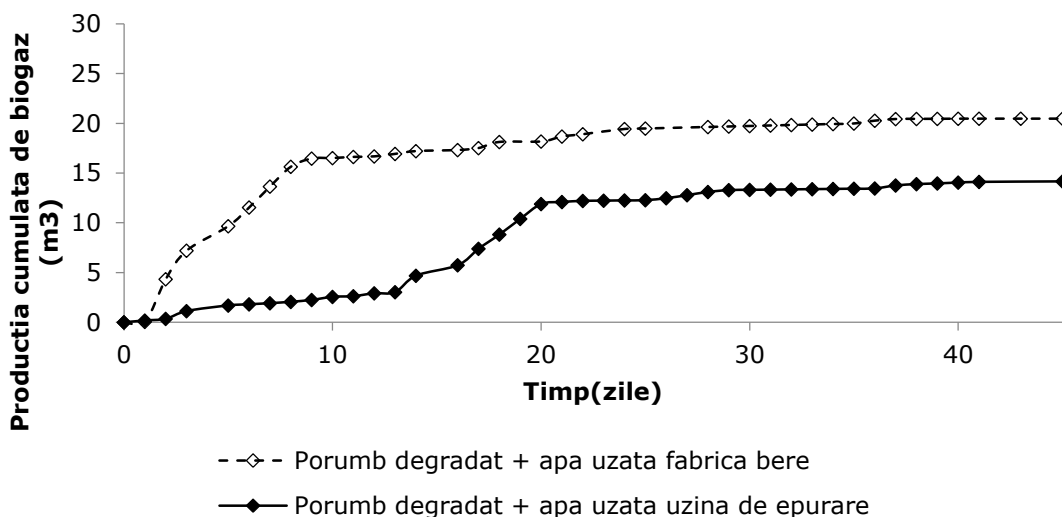


Figura C.3.7 – Producția de biogaz pentru șarjele cu porumb degradat

Din figura C.3.7 se poate observa faptul că pentru utilizarea porumbului degradat ca masă cerealiară în procese de digestie anaerobă, șarja specifică cu apă uzată de la fabrica de bere are rezultate net superioare, făcând din aceasta un substrat potrivit pentru acest tip

de procese.

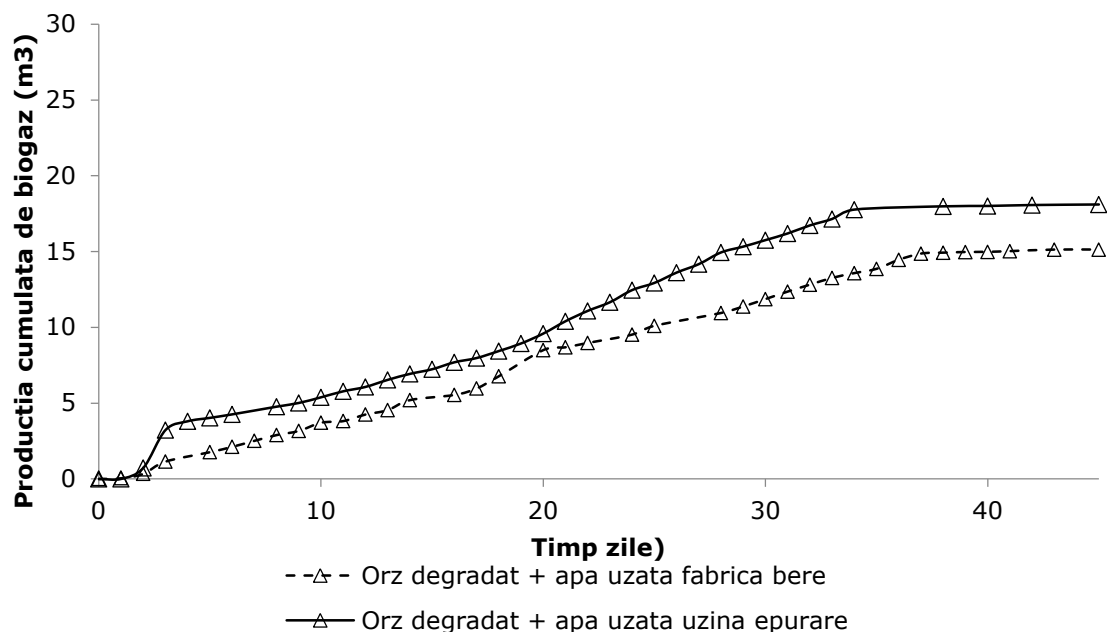


Figura C.3.8 - Producția de biogaz pentru șarjele cu orz degradat

Se observă că, pentru șarjele ce au utilizat orz degradat, cea mai bună combinație a fost cu apă de la uzina de epurare. Cu toate că nu este o diferență foarte mare în ceea ce privește cantitatea de biogaz produsă, sunt suficiente dovezi care să ateste faptul că pentru acest tip de material cerealier, combinația cu apă uzată de la uzina de epurare este mai propice producerii biogazului de bună calitate.

#### D. Valorificarea energetică a deșeurilor, soluție pentru reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră

-În cadrul tezei de doctorat a fost analizat impactul asupra mediului înconjurător a emisiilor de gaze, rezultate ca urmare a eliminării deșeurilor spre depozitare. Au fost calculate emisiile de metan și de dioxid de carbon pentru diferite scenarii. A fost comparat scenariul în care nu au fost respectate angajamentele asumate privind depozitarea deșeurilor municipale în perioada preaderare și aderare a României la Uniunea Europeană, cu scenariului în care depozitarea deșeurilor s-ar fi făcut în conformitate cu țintele stabilite în legislație.

De asemenea, pentru următorii ani, până în anul 2035, au fost calculate cantitățile de emisii de gaze cu efect de seră rezultate ca urmare a eliminării deșeurilor prin depozitare în situația conformării și în cea a neconformării față de țintele stabilite de UE privind depozitare.

❖ Analiza pornește de la compararea cantităților de  $CH_4$  și  $CO_2$  calculate cu ajutorul modelului LandGEM [LandGEM], conform tabelului D.1.

Tabelul D.1. Centralizarea datelor privind cantitățile de emisii de  $CH_4$  și  $CO_2$  pentru scenariul I și II

	$CH_4$ /tone	$CO_2$ / tone
Scenariul I	147705	331589
Scenariul II	302558	676950

Graficul D.1. reprezintă cantitățile de  $CH_4$  și  $CO_2$  estimate cu ajutorul modelului LandGEM, în cazul celor două scenarii, I și II. Se observă că, cantitățile de emisii s-au dublat în cazul



scenariului neconformării față de scenariul conformării totale.

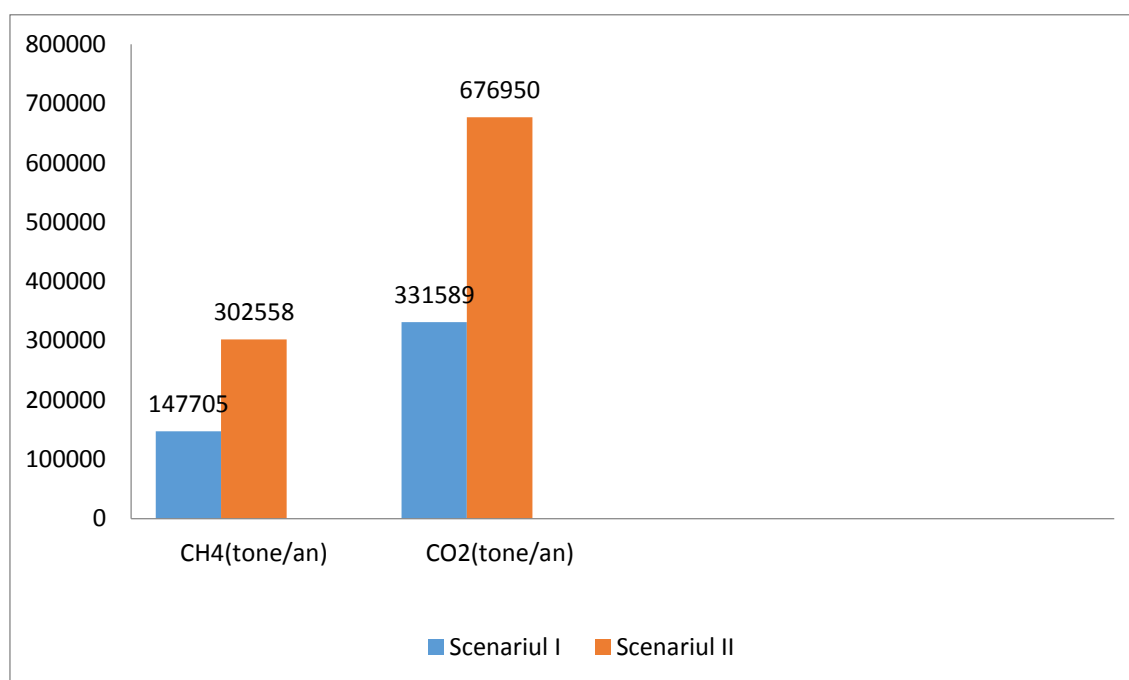


Figura D.1. Reprezentarea grafică a cantităților de CH<sub>4</sub> și CO<sub>2</sub> calculate în cele două scenarii(I și II),

❖ Analiza comparativă a cantităților de emisii de CH<sub>4</sub> și CO<sub>2</sub> rezultate din depozitarea deșeurilor în România în următorii ani, calculate cu ajutorul modelului LandGEM, sunt centralizate în tabelul D.2.

Tabelul D.2. Centralizarea datelor privind cantitățile de emisii de CH<sub>4</sub> și CO<sub>2</sub> pentru scenariul III și IV

	CH <sub>4</sub> /tone	CO <sub>2</sub> /tone
Scenariul III	620000	1391800
Scenariul IV	1502690	3373400

Scenariul III a fost considerat scenariul în care se va reduce cantitatea de deșeuri eliminată spre depozitare până la atingerea țintelor fixate pentru 2035, iar scenariul IV a fost considerat scenariul în care se menține și în 2035 cantitatea de deșeuri eliminată spre depozitare la nivelul celei din prezent.

Se observă că, cantitatea de emisii de CH<sub>4</sub> care se emite în atmosferă prin depozitarea deșeurilor fără respectarea angajamentelor europene în domeniu, este de 2,423 ori mai mare decât în cazul respectării acestor obligații asumate. Prin urmare, prin conformare s-ar putea evita emiterea în atmosferă a 882690 tone emisii de CH<sub>4</sub>. Cantitatea de emisii de CO<sub>2</sub> care s-ar elibera în atmosferă în cazul neconformării, este de 2,423 ori mai mare decât în cazul conformării cu legislația europeană. Prin urmare s-ar putea evita eliberarea în atmosferă a 1981600 tone emisii de CO<sub>2</sub>. Dacă reprezentăm grafic cantitățile de emisii de CH<sub>4</sub> și CO<sub>2</sub> pentru cele două scenarii, putem observa diferența semnificativă între acestea. Prin urmare este impetuos necesar luarea de măsuri pentru reducerea cantităților de deșeuri eliminate spre depozitare și trecerea la eliminarea acestora prin alte metode prin care se reduc emisiile de GES. În acest sens, valorificarea energetică a deșeurilor spre biogaz poate reprezenta o soluție sustenabilă de eliminare a deșeurilor.

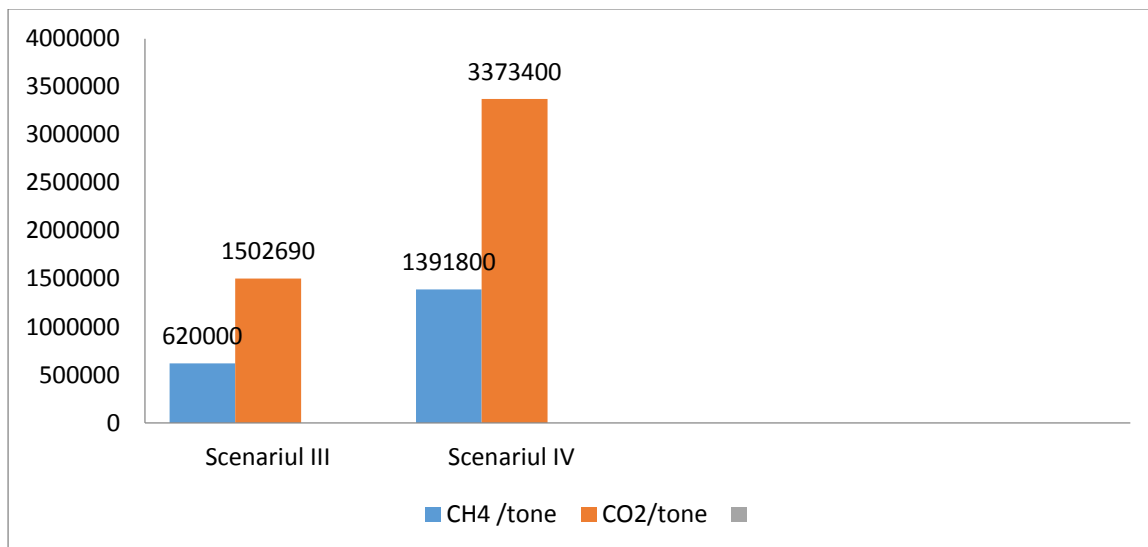


Figura D.2.Reprezentarea grafică a cantităților de emisii de CH<sub>4</sub> și CO<sub>2</sub> , scenariile III și IV

-A fost de asemenea analizată situația în care, până în 2035, se reduc cantitățile de deșuri eliminate spre depozitare prin eliminarea acestora spre valorificare pentru obținerea de biogaz. În acest caz s-a estimat că, prin digestia anaerobă a acestor deșuri în diferite co-substraturi, ar putea fi obținuți 161MW energie electrică. De asemenea, au fost calculate emisiile de gaze cu efect de seră care s-ar evacua în atmosferă pentru producerea a 161 MW prin arderea combustibililor convenționali.

Astfel s-a demonstrat că, valorificarea energetică a deșeurilor pentru obținerea de biogaz, reprezintă o soluție sustenabilă de gestionare a deșeurilor prin care se reduc considerabil emisiile de gaze cu efect de seră.

### E. Concluzii și contribuții personale

Studiile și cercetările efectuate în cadrul tezei de doctorat au constatat în :

- ❖ Inventarierea legislației cu privire la dezvoltarea durabilă, schimbări climatice, energii regenerabile, economia circulară, valorificarea deșeurilor municipale. Au fost analizate și obligațiile ce revin României privind promovarea producerii energiilor regenerabile [23], a reducerii emisiilor de gaze cu efect de seră [137], a gestionării corespunzătoare a deșeurilor municipale [29].

- ❖ Evaluarea stadiului actual al cunoașterii cu privire la digestia anaerobă a biomasei, în special a deșeurilor organice, a dejecțiilor animaliere și a nămolurilor, evidențindu-se exemplele de bună practică existente la nivel mondial dar și în România

- ❖ Realizarea studiului experimental cu privire la identificarea de rețete pentru substraturi din apele uzate în combinație cu diverse alte deșuri organice și digestia anaerobă a acestora, concretizat cu stabilirea unei metode de lucru atât în plan teoretic, cât și experimental pentru atingerea scopului

- ❖ Evaluarea emisiilor de gaze cu efect de seră pentru diverse scenarii, raportat la respectarea angajamentelor asumate de România privind gestionarea deșeurilor și promovarea producerii de energie din surse regenerabile. Au fost aduse argumente referitoare la faptul că, valorificarea energetică a deșeurilor spre biogaz este o soluție a cărei aplicare contribuie la reducerea poluării mediului înconjurător.

- ❖ Identificare direcțiilor de acțiune pentru stimularea valorificării energetice a

biomasei pentru obținerea de biogaz.

Aceste direcții se referă la necesitatea promovării producerii de energie electrică și termică din deșeuri organice. O soluție sustenabilă, aplicată în țările europene, este acordarea de ajutoare de stat sub forma unui tarif fix pentru energia produsă din biogazul provenit din valorificarea deșeurilor municipale, a dejecțiilor animaliere, a nămolurilor, a deșeurile alimentare, a altor deșeuri provenite din agricultură.

De asemenea, încurajarea transformării biogazului în biometan și folosirea acestuia pentru alimentarea mijloacelor auto, poate reprezenta o soluție pentru reducerea poluării aerului în marile orașe. Totodată ar fi create condițiile pentru conformarea cu directivele europene privind utilizarea biocombustibili în procent de 10% până în 2020.

Valorificarea energetică a deșeurilor pentru obținerea de biogaz, în urma digestiei anaerobe a deșeurilor organice, reprezintă o valorificare superioară a acestora și este considerată o reciclare, dacă digestatul rezultat este utilizat ca fertilizant natural. Prin urmare, este necesară reglementarea utilizării digestatului și standardizarea calității acestuia.

Stimularea utilizării digestatului ca fertilizant natural, prin acordarea de stimulente producătorilor agricoli ce produc produse, ar duce la îmbunătățirea calității mediului înconjurător.

Totodată, este important promovarea și dezvoltarea de proiecte de cercetare și transfer de tehnologii dinspre țările care au dezvoltat proiecte de valorificare energetică a deșeurilor pentru producerea de biogaz și valorificarea acestuia în vederea producerii de energie regenerabilă precum și pentru transformarea biogazului în biometan.

Prin cercetările efectuate și prin contribuția personală adusă în cadrul tezei de doctorat, s-a demonstrat faptul că reducerea poluării mediului înconjurător se poate realiza sustenabil și prin valorificarea energetică a deșeurilor organice pentru obținerea de biogaz.

## **Bibliografie**

[Varga, și alții-a], Comparative Determination of Cofermentation Using Residual Waters for Biogas Production at Small Scale, Varga, Lucia; Cioabla, Adrian Eugen; Ionel, Ioana, REVISTA DE CHIMIE, Volum: 67 Nr: 1 Pp: 174-176, 2016

[Brevet de invenție numărul 122047], "Procedeu și Instalație pentru obținerea biogazului din biomasă"

[Cioablă și alții], Contribuții teoretice și experimentale privind producerea de biogaz din deșeuri de biomasă, Adrian Eugen Cioablă, Teză de doctorat, Ed. Politehnica, ISBN 978-973-625-968-5, 2009

[Manual de utilizare], www.mru.de, Delta 1600S-IV, Manual de utilizare.

[Varga și alții-b], Biogas production from waste waters through anaerobic co-fermentation processes at laboratory scale, Papers of the 24 th European Biomass Conference, 2016, pp 290 – 293, Varga, Adrian Eugen CIOABLĂ, Ioana IONEL

[Standard],

Standard CEN/TS 14780 – Metode de pregătire a mostrelor de biomasă;

Standard European EN 14774– Determinarea conținutului de umiditate - metoda de uscare în

cuptor;

Standard European EN 14775– Determinarea conținutului de cenușă;

Standard European EN 14918- Determinarea puterii calorifice;

Standard European EN 15104 – Determinarea conținutului total de Carbon, Hidrogen și Azot;

Standard European EN 15104 – Determinarea conținutului de materii volatile;

Standard European EN 16994 – Determinarea conținutului total de Sulf și Clor

[LandGEM], LandGEM - Waste Gas Emission Model, version 3.02 US Environmental Protection Agency, EPA-600/R-05/047 May 2005,

