

CONTRIBUȚII TEORTICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND PRODUCEREA DE BIOGAZ DIN DEȘEURI DE BIOMASĂ

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea "Politehnica" din Timișoara
în domeniul INGINERIE INDUSTRIALĂ
de către

Ing. Adrian EUGEN - CIOABLĂ

Conducători științifici: Prof.dr.ing. Mihai Jădăneanț
Prof. dr. ing. habil Ioana Ionel

Referenți științifici: PD Dr. Ing. Winfried Russ
Prof. dr. Georgeta Pop
Prof. Dr. Ing. Ion Mirel

Ziua susținerii tezei: 30.10.2009

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|------------------------|---|
| 1. Automatică | 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații |
| 2. Chimie | 8. Inginerie Industrială |
| 3. Energetică | 9. Inginerie Mecanică |
| 4. Ingineria Chimică | 10. Știința Calculatoarelor |
| 5. Inginerie Civilă | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 6. Inginerie Electrică | |

Universitatea „Politehnica” din Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2009

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității „Politehnica” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221
e-mail: editura@edipol.upt.ro

Cuvânt înainte

Teza de doctorat a fost elaborată pe parcursul activității mele în cadrul Catedrei de Termotehnică, Mașini Termice și Autovehicule Rutiere (TMTAR) a Universității „Politehnica” din Timișoara, Departamentul de Mașini Mecanice, Utilaje și Transporturi, pe perioada octombrie 2006 – septembrie 2009. Activitatea s-a desfășurat în cadrul Laboratorului de Analize de Combustibili și Investigații Ecologice și Laboratorului Multifuncțional de Mașini Termice și Energii Neconvenționale.

Lucrarea reprezintă în sine o încercare de a soluționa una dintre cele mai importante aspecte prezente în perioada contemporană și anume valorificarea resurselor energetice regenerabile, respectiv a deșeurilor neutilizate în contextul acutizării problematicei conexe scăderii cantităților de combustibili fosili existenți la nivel global.

Concluzia principală a lucrării o reprezintă faptul că valorificarea energetică a deșeurilor de biomasă vegetală este posibilă și prin intermediul proceselor de fermentație anaerobă, având ca scop principal producerea de biogaz pentru a fi folosit în procesele de ardere. Cercetările au fost realizate atât teoretic cât și experimental, subliniindu-se parametrii principali ce influențează procesul de obținere a biogazului, precum și posibilitățile de optimizare a procesului astfel încât să se atingă un nivel superior din punct de vedere al cantității și calității biogazului obținut.

Rezultatele obținute concretizează o activitate intensă pe întreaga durată de desfășurare a programului de cercetare științifică atât în țară cât și în străinătate, motiv pentru care consider că acest efort va fi apreciat la nivelul distinsei comunități academice și își va putea găsi utilitate în practica cotidiană.

Doresc să mulțumesc în mod special conducătorilor de doctorat, Prof.dr.ing. Mihai JĂDĂNEANJ și Prof. dr. ing. habil Ioana IONEL care mi-au oferit ajutorul în toate circumstanțele aferente finalizării tezei de doctorat, precum și pentru coordonarea competentă și profesionalismul deosebit care mi-au fost model atât pe plan personal cât și științific.

Amintesc cu recunoștință numele celor trei referenți științifici, domnul PD Dr. Ing. Winfried RUSS de la Universitatea Tehnică München, doamna Prof. dr. Georgeta POP de la Universitatea de Științe Agricole a Banatului Timișoara, și domnul Prof. Dr. Ing. Ion MIREL de la Universitatea "Politehnica" din Timișoara și doresc să le mulțumesc în mod special pentru efortul depus în revizuirea tezei de doctorat și pentru sfaturile oferite în scopul perfecționării acesteia.

De-alungul activității de cercetare, un deosebit rol l-au avut colegii din cadrul Catedrei de Termotehnică, Mașini Termice și Autovehicule Rutiere care m-au îndrumat spre atingerea unui nivel competent din punct de vedere profesional. Pe această cale doresc să le mulțumesc și să îi asigur de sprijinul meu în toate activitățile viitoare.

Nu în ultimul rând, recunoștința mea se îndreaptă spre familia mea care mi-a dăruit de-alungul acestei perioade întregul suport, înțelegere și dragoste de care am avut nevoie. Le sunt profund recunoscător.

Timișoara, 30 octombrie 2009

Ing. Adrian Eugen Cioabă

Dedic această lucrare

Familiei și tuturor prietenilor mei;
Tuturor colaboratorilor pentru sprijinul acordat.

Adrian Eugen Cioablă

Contribuții teoretice și experimentale privind producerea de biogaz din deșeuri de biomasă

Teze de doctorat ale UPT, Seria 8, Nr. 20, Editura Politehnica, 2009, 280 pagini, 190 figuri, 58 tabele.
ISSN:1842 - 8967

ISBN: 978-973-625-968-5

Cuvinte cheie:

Biomasă, Biogaz, Instalație de producere a biogazului prin fermentație anaerobă, Posibilități de utilizare a biogazului în motoare cu ardere internă, Energie din surse regenerabile.

Rezumat,

Teza de doctorat abordează interdisciplinar și comparativ un domeniu de actualitate pentru România, anume acela al producerii, utilizării și valorificării surselor regenerabile de energie, în cazul particular a bioenergiei generate din biomasă. Tehnologia propusă nu prezintă impact negativ asupra mediului înconjurător, biocombustibilul rezultat fiind caracterizat CO₂ neutru ca emisii pentru toate aplicațiile conexe de valorificare în instalații termice de ardere. Scopul cercetării cuprinde și analiza diferitelor sorturi de biomasă folosite ca materie primă pentru producerea de biogaz, precum și potențialul de utilizare a rezidului rezultat în urma procesului de fermentație anaerobă. S-a realizat și sistematizarea stadiului actual al cunoașterii precum și a tehnologiilor utilizate pentru producerea de biogaz, în scopul identificării soluțiilor optime de obținere a biogazului, raportat la factorii de influență, respectiv tipul de material primar utilizat. Concluziile desprinse sunt valorificate pe un stand experimental conceput ca un pilot funcțional, respectiv pe o instalație de mici dimensiuni. Sunt sintetizate și analizate detaliile etapelor caracteristice procesului de obținere a biogazului. S-au experimentat comparativ mai multe sorturi de biomasă, respectiv amestec de biomasă. Pentru fiecare set de măsurători sunt întocmite tabele și grafice realizând monitorizarea procesului și variația concentrației de CH₄, CO₂ și H₂S în biogazul obținut. Se identifică și sortul primar pentru care s-au obținut cele mai bune rezultate atât sub forma puterii calorifice a biogazului obținut, cât și a bilanțului material. Pentru a demonstra aplicabilitatea biocombustibilului ca sursă nepoluantă de energie, teza cuprinde un studiu asupra posibilităților de utilizare a biogazului în motoarele cu ardere internă, în comparație cu utilizarea combustibililor fosili. Se scot în evidență avantajele unei economii substanțiale de emisii anuale de CO₂ în funcție de tipul de motor folosit.

În concluzie, teza cuprinde o parte teoretică și experimente cu concluzii practice originale, legate de o rețetă de producere de biogaz folosind sorturi de deșeuri de proveniență vegetală.

CUPRINS

Lista de tabele	8
Lista de figuri	10
Lista de notații	15
Cap. 1. Aspecte generale privind necesitatea folosirii energiilor regenerabile	16
1.1. Generalități despre resursele regenerabile de energie	16
1.1.1. Hidroenergia	16
1.1.2. Energia eoliană	17
1.1.3. Energia solară	17
1.1.4. Energia geotermală	18
1.1.5. Biomasa	18
1.2. Necesitatea studiului	19
1.3. Potențialul biomasei ca sursă regenerabilă de energie	19
1.4. Obiectivele folosirii biogazului ca și combustibil fosil	25
1.4.1. Scurt istoric	25
1.4.2. Obiectivele folosirii biogazului ca și combustibilii fosili	27
Cap. 2. Efectele pozitive ale folosirii biomasei pentru obținerea biogazului	31
2.1. Generalități privind biomasa ca materie primă pentru obținerea de biogaz	31
2.1.1. Biomasa agricolă	35
2.1.2. Biomasa forestieră	37
2.2. Pregătirea biomasei în vederea valorificării prin producerea de biogaz	39
2.2.1. Tehnologii de reducere a dimensiunilor biomasei	39
2.2.2. Transportul biomasei	40
2.2.3. Depozitarea pe termen lung a biomasei	42
2.3. Uscarea biomasei	44
Cap. 3. Obținerea biogazului din biomasă	45
3.1. Concepte privind organizarea procesului de obținere a biogazului	45
3.1.1. Tipuri de plante folosite la producerea de biogaz	46
3.1.2. Caracteristicile biogazului și producția la nivel european	48
3.1.3. Elemente prezente în compoziția biogazului	51
3.1.3.1. Metanul și dioxidul de carbon	51
3.1.3.2. Amoniacul	52
3.1.3.3. Hidrogenul sulfurat	52
3.1.3.4. Grăsimile	53
3.1.3.5. Proteinele	53
3.2. Instalații pentru obținerea biogazului	54
3.2.1. Criterii de clasificare	55
3.2.2. Modele de procese pentru obținerea biogazului prin fermentație anaerobă	57
3.2.2.1. Caracteristici ale procesului de fermentație anaerobă	59
3.2.2.2. Parametri de influență asupra procesului de fermentație anaerobă	65

3.2.3. Schema unei instalații pentru obținerea biogazului din biomasă	72
3.2.4. Exemple de instalații ce folosesc biomasă în scopul obținerii de biogaz	73
Cap. 4. Descrierea instalațiilor experimentale și a echipamentelor conexe	79
4.1. Descrierea instalației experimentale de laborator pentru testarea mostrelor de biomasă	79
4.1.1. Recipientele de fermentație anaerobă	80
4.1.2. Controlul procesului și sistemul de evacuare a biogazului	82
4.2. Descrierea instalației experimentale pilot	83
4.2.1. Sistemul de pregătire preliminară a biomasei	85
4.2.2. Rezervoarele de fermentație anaerobă	86
4.2.3. Sistemul de evacuare a biogazului	87
4.2.4. Sistemul de epurare a biogazului	88
4.2.5. Sistemul de reținere a dioxidului de carbon	89
4.3. Echipamente de măsură, control și dispozitive anexe	90
4.3.1. Echipamentele de monitorizare a procesului	91
4.3.2. Măsurarea concentrației de metan și CO ₂	93
4.4. Sinteza operațiilor necesare punerii în funcțiune a instalației experimentale de producere a biogazului	96
4.4.1. Pregătirea instalației pentru experimente	96
4.4.2. Pornirea/oprirea instalației experimentale de producere a biogazului	97
Cap. 5. Măsurători și rezultate experimentale	98
5.1. Analize efectuate asupra biomasei înainte de desfășurarea procesului de fermentație anaerobă	98
5.2. Rezultate experimentale obținute din instalația de laborator	101
5.3. Măsurători realizate pe instalația pilot	103
5.3.1. Monitorizarea procesului de producere a biogazului în instalația pilot.	106
5.3.2. Calculul parametrilor procesului de ardere a biogazului obținut	194
5.3.3. Determinarea puterii calorifice a deșeurilor rezultat în urma procesului de fermentație anaerobă	196
5.4. Posibilități de utilizare a biogazului în motoarele cu ardere internă	200
Cap. 6. Concluzii generale	207
6.1. Conținutul tezei	207
6.2. Concluzii privind cercetările teoretice	208
6.3. Concluzii privind investigațiile experimentale	209
6.4. Contribuții teoretice și experimentale	214
Bibliografie	216

Abstract in English	224
Summary	225
Introduction to the thematic of the research	228
General presentation for the two installations existing at the Unconventional Energy Laboratory at the Mechanical Engineering Faculty from the Politehnica University Timisoara	228
Preliminary analysis of the used biomass before the process of anaerobic fermentation	231
Experimental results obtained from the small installation	232
Experimental results obtained from the pilot installation	234
Determination of the calorific value for the biogas	265
Determination of the calorific values for the resulted residue after the anaerobic fermentation process	266
Possibilities of using the biogas in internal combustion engines	267
General conclusions	272
Conclusions regarding theoretical research	273
Conclusions regarding experimental investigations	273
Theoretical and experimental contributions	276
Main conclusion	277

LISTA DE TABELE

Tab. 1.1 - Ponderea surselor de energie în balanța energetică a Comunității Europene la nivelul anului 2000	20
Tab. 1.2 - Distribuția resurselor neconvenționale în Comunitatea Europeană la nivelul anului 2000	20
Tab. 1.3. - Distribuția resurselor de biomasă în România, în TJ/an	24
Tab. 1.4. Număr de instalații și cantitate totală de material digerat de instalații mari de fermentare și co-fermentare pentru obținerea de biogaz din deșeuri regenerabile (T/an) în Europa în 1997	28
Tab. 1.5. Aprovizionarea cu energie electrică din biomasă în Germania în anul 2000	29
Tab. 2.1. - Date caracteristice pentru combustibili creați din cereale	35
Tab. 2.2. - Compoziția chimică a sorturilor de cereale	36
Tab. 2.3. - Date caracteristice referitoare la compoziția diferitelor tipuri de biomasă Agricolă	36
Tab. 2.4. - Date caracteristice pentru combustibili creați din masă lemnoasă	37
Tab. 2.5. - Compoziția chimică a sorturilor de masă lemnoasă	37
Tab. 2.6. - Date caracteristice referitoare la compoziția diferitelor tipuri de biomasă lemnoasă	38
Tab. 3.1. Componentele principale ale plantei fără azot și sulf	45
Tab. 3.2. Potențialul de energie din biogaz din diferite surse	49
Tab. 3.3 - Caracteristicile generale ale biogazului	49
Tab. 3.4. - Caracteristicile metanului	50
Tab. 3.5. - Componente tipice și impurități în biogaz	50
Tab. 3.6. - Degradarea acetogenă	62
Tab. 3.7. - Degradare metanogenă	64
Tab. 3.8. - Cerințe de mediu	65
Tab. 3.9. - Timpul de regenerare pentru diferite microorganisme anaerobe în comparație cu cele aerobe	66
Tab. 3.10. - Raportul C/N al reziduurilor organice	70
Tab. 5.1. - Caracteristici ale sorturilor de biomasă folosite	99
Tab. 5.2. - Elemente chimice majore din mostrele analizate	99
Tab. 5.3. - Metale grele din mostrele analizate	100
Tab. 5.4. - Monitorizarea procesului desfășurat în instalația demonstrativă	102
Tab. 5.5. - Monitorizarea procesului în rezervorul numărul 1	106
Tab. 5.6. - Monitorizarea procesului în rezervorul numărul 2	108
Tab. 5.7. - Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 1, măsurătoarea numărul 1	113
Tab. 5.8. - Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 1, măsurătoarea numărul 2	116
Tab. 5.9. - Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 1, măsurătoarea numărul 3	118
Tab. 5.10. - Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 2, măsurătoarea numărul 1	121
Tab. 5.11. - Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 2, măsurătoarea numărul 2	123
Tab. 5.12. - Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 2, măsurătoarea numărul 3	126
Tab. 5.13. - Monitorizarea procesului în rezervorul numărul 1	129
Tab. 5.14. - Monitorizarea procesului în rezervorul numărul 2	130
Tab. 5.15. - Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 1, măsurătoarea numărul 1	134
Tab. 5.16. - Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 1, măsurătoarea numărul 2	137

9 Lista de Tabele

Tab. 5.17. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 1, măsurătoarea numărul 3	139
Tab. 5.18. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 2, măsurătoarea numărul 1	142
Tab. 5.19. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 2, măsurătoarea numărul 2	144
Tab. 5.20. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 2, măsurătoarea numărul 3	147
Tab. 5.21. – Monitorizarea procesului în rezervorul numărul 1	150
Tab. 5.22. – Monitorizarea procesului în rezervorul numărul 2	152
Tab. 5.23. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 1, măsurătoarea numărul 1	156
Tab. 5.24. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 1, măsurătoarea numărul 2	158
Tab. 5.25. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 1, măsurătoarea numărul 3	161
Tab. 5.26. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 2, măsurătoarea numărul 1	163
Tab. 5.27. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 2, măsurătoarea numărul 2	165
Tab. 5.28. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 2, măsurătoarea numărul 3	168
Tab. 5.29. – Monitorizarea procesului în rezervorul numărul 1	171
Tab. 5.30. – Monitorizarea procesului în rezervorul numărul 2	174
Tab. 5.31. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 1, măsurătoarea numărul 1	179
Tab. 5.32. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 1, măsurătoarea numărul 2	182
Tab. 5.33. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 1, măsurătoarea numărul 3	184
Tab. 5.34. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 2, măsurătoarea numărul 1	187
Tab. 5.35. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 2, măsurătoarea numărul 2	189
Tab. 5.36. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 2, măsurătoarea numărul 3	192
Tab. 5.37. – Valori putere calorifică superioară și inferioară pentru reziduurile de biomasă obținute	200

LISTA DE FIGURI

Fig. 1.1. – Cicluri de viață pentru sursele de energie	20
Fig. 1.2. - Previzuniile asupra consumului mondial de energie	21
Fig. 1.3. – Tehnologii aplicate pentru transformarea biomasei în surse de energie	22
Secundare	22
Fig. 1.4 – Potențialul biomasei din deșeuri de lemn	23
Fig. 1.5 – Potențialul biomasei din deșeuri agricole	23
Fig. 1.6 - Alocarea potențialului energetic în România	25
Fig. 1.7. – Producția de biogaz în țările europene	27
Fig. 1.8. - Expansiunea producției de biogaz în Germania	29
Fig. 1.9. - Expansiunea biogazului în China	29
Fig. 2.1. – Paie din cereale	32
Fig. 2.2. – Reziduuri din material lemnos	33
Fig. 2.3. – Plantă de floarea soarelui	34
Fig. 2.4. – Instalație de producere a biogazului	34
Fig. 2.5. – Așchii de lemn	39
Fig. 2.6. – Peleți din lemn	39
Fig. 2.7. – Rumeguș fag măcinat 500μm	40
Fig. 2.8.- Boabe porumb deteriorat	40
Fig. 2.9. – Tărâțe de grâu 1- 2 mm	40
Fig. 2.10. – Comparație între tărâțe de grâu 1- 2 mm și 0,5 mm	40
Fig. 2.11 – Exploatarea masei lemnoase	41
Fig. 2.12. – Depozit cherestea	41
Fig. 2.13. – Depozitarea masei lemnoase	41
Fig. 2.14. - Exemplu de siloz metalic	43
Fig. 2.15. – Uscător de tip "Baschild"	44
Fig. 2.16. – Uscător în vacuum	44
Fig. 3.1. – Ciclul Calvin	46
Fig 3.2. – Anatomia frunzelor unei plante C4	48
Fig. 3.3. – Porumb energetic de aproximativ 5 m înălțime (în partea stângă), Sorg (dreapta) și microalgă chlorella (în partea de jos)	48
Fig 3.4. – Producția de biogaz din diferite surse în Mil m ³ / an	49
Fig. 3.5. – Corelarea dintre conținutul de metan din biogaz și lungimea lanțului de carbon	51
Fig. 3.6. – Producția de biogaz în corelație cu procentul de co-fermenți din plantele agricole	53
Fig. 3.7. – Instalații ce funcționează după procesul WABIO-Vaasa : (Finlanda) (stânga) și Bottrop (Germania) (dreapta)	57
Fig. 3.8. – Procesul DUT	58
Fig. 3.9. – Procesul Bigadan	58
Fig. 3.10. – Instalația de biogaz Valorga	59
Fig. 3.11. – Biochimia producerii gazului metan	60
Fig. 3.12. – Formarea monomerilor	60
Fig. 3.13. – Degradarea piruvatului	61
Fig. 3.14. – Degradarea acidului acetic prin intermediul căii de acid butiric	61
Fig. 3.15. – Transferul de hidrogen interspecii, ca și exemplu în cultura de Metanobacterium amelanskii	63
Fig. 3.16. – Formarea metanului din acetat (stânga) și din dioxid de carbon (dreapta) (CoA – coenzimă A, CoM – coenzimă M)	64
Fig. 3.17. – Influența temperaturii asupra timpului de fermentare	67
Fig. 3.18. – Sistemul de amortizare amoniac – amoniu	69
Fig. 3.19. – Progresia unei inhibiții	71
Fig. 3.20. - Instalație europeană de producere a biogazului pentru a fi folosită în așezările umane	72

Fig. 3.21. – Instalație de mari dimensiuni în Danemarca	73
Fig. 3.22. – Ferma Vir-Clar, Winsconsin, 2 x 2600 m ³ substrat, 70 m ³ /zi urină de vită, centrală termică de bloc de 330 kW de la SEVA-Caterpillar. (Firma Biogas Nord GmbH)	73
Fig. 3.23. – Instalatie de biogaz cu compostare cu tambur in Altishofen	74
Fig. 3.24. – Instalație de biogaz de 6 m ³ , concepută de IP Iași	75
Fig. 3.25. – Instalație de biogaz de mică capacitate, concepută de ICA București	76
Fig. 3.26. – Vedere din față a instalației realizată de compania Armfield	77
Fig. 3.27. – Controlul temperaturii în cadrul instalației	78
Fig. 4.1. – Imagine de ansamblu a instalației de testare a mostrelor de biomasă	79
Fig. 4.2. – Schema de principiu a instalației pentru testarea mostrelor	80
Fig. 4.3. – Evidențierea acoperirii recipientelor de fermentație anaerobă	81
Fig. 4.4. – Magnet situat la partea inferioară a recipientului	81
Fig. 4.5. – Agitator magnetic	81
Fig. 4.6. – Controler de proces	82
Fig. 4.7. – Termocuplu tip J	82
Fig. 4.8. – Recipiente pentru colectarea de biogaz	82
Fig. 4.9. – Manometru	82
Fig. 4.10a. – Schema de principiu a instalației pilot	83
Fig. 4.10b. – Schema de principiu a instalației de reținere a CO ₂	84
Fig. 4.11. – Sistemul de pregătire preliminară a biomasei	85
Fig. 4.12. – Rezervoarele de fermentație anaerobă	86
Fig. 4.13. – Schimbătoare de căldură folosite pentru instalație	87
Fig. 4.14. – Cazanul folosit pentru încălzirea instalației	87
Fig. 4.15. – Panoul de comandă și monitorizare al instalației	87
Fig. 4.16. – Sistemul de conducte și electroventile montat pe capacul instalației	87
Fig. 4.17. – Rezervor stocare biogaz	88
Fig. 4.18. – Contor gaz	88
Fig. 4.19. – Filtrul de H ₂ S (în partea din spate) și filtrul de CO ₂ (în partea din față) a instalației	88
Fig. 4.20. – Inele Raschig pentru filtru spălător	89
Fig. 4.21. – Pompă dozatoare folosită pentru spălarea biogazului	89
Fig. 4.22. – Umplutură de span de oțel pentru filtrul de H ₂ S	89
Fig. 4.23. – Ansamblu sistem reținere CO ₂	90
Fig. 4.24. – Compresor răcit cu aer	90
Fig. 4.25. – Schema panoului de comandă a procesului de monitorizare	91
Fig. 4.26. – Controler de presiune ATR 121	92
Fig. 4.27. – Senzor de presiune Trafag 48170	92
Fig. 4.28. – Controler de temperatură model AD-025V2DS-C	92
Fig. 4.29. – Termocuplu tip J	92
Fig. 4.30. – Controler pH tip BL 981411	93
Fig. 4.31. – Senzor pH model HI 1210	93
Fig. 4.32. – Electroventil Brahma, Clasa A	93
Fig. 4.33. – Unitatea de control	94
Fig. 4.34. – Unitatea de analiză	94
Fig. 4.35. –Unitatea de analiză (vedere de sus)	95
Fig. 4.36. – Sonda de prelevare a gazelor	95
Fig. 4.37. – Componenta analizorului Delta 1600 S IV	96
Fig. 5.1. – Boabe porumb măcinat	98
Fig. 5.2. – Rumeguș fag măcinat	98
Fig. 5.3. – Rumeguș tei măcinat	98
Fig. 5.4. – Amestec boabe de grâu și porumb deteriorat	98
Fig. 5.5. – Tărâțe de grâu măcinate	99
Fig. 5.6. – Rețetă grâu, porumb, floare, măcinate	99
Fig. 5.7. – Echipament de determinare a elementelor majore și metalelor grele din mostrele de biomasă	100
Fig. 5.8. – Moară Retsch Sm 2000	101
Fig. 5.9. – Site cu ochiuri pătrate (2mm; 4mm)	101
Fig. 5.10. – Monitorizarea variației temperaturii în instalație	104

12 Lista de figuri

Fig. 5.11. – Apariția primelor bule de gaz în instalație	105
Fig. 5.12. – Detaliu țărâțe	105
Fig. 5.13. – Structură țărâțe	105
Fig. 5.14. – Detaliu amestec	105
Fig. 5.15. – Impurități	105
Fig. 5.16. – Variația temperaturii pentru cele două rezervoare	110
Fig. 5.17. – Variația pH-ului în cele două rezervoare	111
Fig. 5.18. – Diferența de presiune în rezervoare	111
Fig. 5.19. – Producția de biogaz realizată în cele două rezervoare	112
Fig. 5.20. – Variația în % a concentrației de CH ₄ și CO ₂ , rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 1	115
Fig. 5.21. – Variația în ppm a concentrației de H ₂ S, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 1	115
Fig. 5.22. – Variația în % a concentrației de CH ₄ și CO ₂ , rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 2	117
Fig. 5.23. – Variația în ppm a concentrației de H ₂ S, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 2	118
Fig. 5.24. – Variația în % a concentrației de CH ₄ și CO ₂ , rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 3	120
Fig. 5.25. – Variația în ppm a concentrației de H ₂ S, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 3	120
Fig. 5.26. – Variația în % a concentrației de CH ₄ și CO ₂ , rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 1	122
Fig. 5.27. – Variația în ppm a concentrației de H ₂ S, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 1	123
Fig. 5.28. – Variația în % a concentrației de CH ₄ și CO ₂ , rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 2	125
Fig. 5.29. – Variația în ppm a concentrației de H ₂ S, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 2	125
Fig. 5.30. – Variația în % a concentrației de CH ₄ și CO ₂ , rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 3	127
Fig. 5.31. – Variația în ppm a concentrației de H ₂ S, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 3	128
Fig. 5.32. – Variația temperaturii în rezervoare	132
Fig. 5.33. – Variația pH-ului în rezervoare	132
Fig. 5.34. – Diferența de presiune în rezervoare	133
Fig. 5.35. – Producția de biogaz obținută din rezervoare	133
Fig. 5.36. – Variația în % a concentrației de CH ₄ și CO ₂ , rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 1	136
Fig. 5.37. – Variația în ppm a concentrației de H ₂ S, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 1	136
Fig. 5.38. – Variația în % a concentrației de CH ₄ și CO ₂ , rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 2	138
Fig. 5.39. – Variația în ppm a concentrației de H ₂ S, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 2	139
Fig. 5.40. – Variația în % a concentrației de CH ₄ și CO ₂ , rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 3	141
Fig. 5.41. – Variația în ppm a concentrației de H ₂ S, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 3	141
Fig. 5.42. – Variația în % a concentrației de CH ₄ și CO ₂ , rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 1	143
Fig. 5.43. – Variația în ppm a concentrației de H ₂ S, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 1	144
Fig. 5.44. – Variația în % a concentrației de CH ₄ și CO ₂ , rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 2	146
Fig. 5.45. – Variația în ppm a concentrației de H ₂ S, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 2	146

Fig. 5.46. – Variația în % a concentrației de CH ₄ și CO ₂ , rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 3	148
Fig. 5.47. – Variația în ppm a concentrației de H ₂ S, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 3	149
Fig. 5.48. – Variația temperaturii în rezervoare	154
Fig. 5.49. – Variația pH-ului în rezervoare	154
Fig. 5.50. – Diferența de presiune în rezervoare	155
Fig. 5.51. – Producția de biogaz din instalație	155
Fig. 5.52. – Variația în % a concentrației de CH ₄ și CO ₂ , rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 1	157
Fig. 5.53. – Variația în ppm a concentrației de H ₂ S, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 1	159
Fig. 5.54. – Variația în % a concentrației de CH ₄ și CO ₂ , rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 2	160
Fig. 5.55. – Variația în ppm a concentrației de H ₂ S, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 2	160
Fig. 5.56. – Variația în % a concentrației de CH ₄ și CO ₂ , rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 3	162
Fig. 5.57. – Variația în ppm a concentrației de H ₂ S, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 3	163
Fig. 5.58. – Variația în % a concentrației de CH ₄ și CO ₂ , rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 1	165
Fig. 5.59. – Variația în ppm a concentrației de H ₂ S, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 1	165
Fig. 5.60. – Variația în % a concentrației de CH ₄ și CO ₂ , rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 2	167
Fig. 5.61. – Variația în ppm a concentrației de H ₂ S, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 2	168
Fig. 5.62. – Variația în % a concentrației de CH ₄ și CO ₂ , rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 3	170
Fig. 5.63. – Variația în ppm a concentrației de H ₂ S, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 3	170
Fig. 5.64. – Variația temperaturii în rezervoare	177
Fig. 5.65. – Variația pH-ului în rezervoare	178
Fig. 5.66. – Diferența de presiune în rezervoare	179
Fig. 5.67. – producția de biogaz din rezervoare	179
Fig. 5.68. – Variația în % a concentrației de CH ₄ și CO ₂ , rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 1	181
Fig. 5.69. – Variația în ppm a concentrației de H ₂ S, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 1	181
Fig. 5.70. – Variația în % a concentrației de CH ₄ și CO ₂ , rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 2	183
Fig. 5.71. – Variația în ppm a concentrației de H ₂ S, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 2	184
Fig. 5.72. – Variația în % a concentrației de CH ₄ și CO ₂ , rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 3	186
Fig. 5.73. – Variația în ppm a concentrației de H ₂ S, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 3	186
Fig. 5.74. – Variația în % a concentrației de CH ₄ și CO ₂ , rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 1	188
Fig. 5.75. – Variația în ppm a concentrației de H ₂ S, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 1	189
Fig. 5.76. – Variația în % a concentrației de CH ₄ și CO ₂ , rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 2	191
Fig. 5.77. – Variația în ppm a concentrației de H ₂ S, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 2	191
Fig. 5.78. – Variația în % a concentrației de CH ₄ și CO ₂ , rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 3	193

14 Lista de figuri

Fig. 5.79. – Variația în ppm a concentrației de H ₂ S, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 3	194
Fig. 5.80. – Schema instalației pentru determinarea puterii calorifice	195
Fig. 5.81. – Vedere din față echipament determinare putere calorifică	197
Fig. 5.82. – Detaliu echipament determinare putere calorifică	197
Fig. 5.83. – Mostră reziduu rumeguș fag pregătită pentru introducerea în bomba calorimetrică	197
Fig. 5.84. – Spălarea bombei calorimetrice cu apă distilată	197
Fig. 5.85. – Aspectul unei diagrame rezultate din analiza folosind cromatografia ionică	198
Fig. 5.86. – Protocol de calcul pentru determinarea puterii calorifice	199
Fig. 5.87. – Presiunea simulată corelată cu rotația arborelui cotit pentru metan și biogaz cu 50% conținut de metan în timpul cursei de comprimare și destindere	202
Fig. 5.88. – Valorile simulate de temperatură corelate cu rotația arborelui cotit pentru metan și biogaz cu 50% conținut de metan în timpul cursei de comprimare și destindere	203
Fig. 5.89. – Emisiile calculate de NO _x pentru diferite calități ale biogazului, viteza motorului de 3000 rot / min	203
Fig. 5.90. – Emisiile calculate de CO pentru diferite calități ale biogazului, viteza motorului de 3000 rot / min	204
Fig. 5.91. – Emisiile calculate de CO ₂ pentru diferite calități ale biogazului, viteza motorului de 3000 rot / min	204
Fig. 6.1. – Corelarea presiune - cantitate gaz, Reactor 1 – șarja cu rumeguș de fag	209
Fig. 6.2. – Corelarea presiune - cantitate gaz, Reactor 2 – șarja cu rumeguș de fag	209
Fig. 6.3. – Corelarea presiune - cantitate gaz, Reactor 1 – șarja cu rumeguș de tei	210
Fig. 6.4. – Corelarea presiune - cantitate gaz, Reactor 2 – șarja cu rumeguș de tei	210
Fig. 6.5. – Corelarea presiune - cantitate gaz, Reactor 1 – șarja cu amestec de boabe de porumb și grâu deteriorat	211
Fig. 6.6. – Corelarea presiune - cantitate gaz, Reactor 2 – șarja cu amestec de boabe de porumb și grâu deteriorat	211
Fig. 6.7. – Corelarea presiune - cantitate gaz, Reactor 1 – șarja cu boabe de porumb deteriorat	212
Fig. 6.8. – Corelarea presiune - cantitate gaz, Reactor 2 – șarja cu boabe de porumb deteriorat	212
Fig. 6.9. – Valorile comparative pentru producția de biogaz în cazul celor patru șarje	213

LISTA DE NOTAȚII

CO_2	[-]	- dioxid de carbon;
CH_4	[-]	- metan
H_2O	[-]	- apă
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	[-]	- carbohidrați
$\text{C}_6\text{H}_{32}\text{O}_2$	[-]	- grăsimi
$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_2$	[-]	- proteine
H_2S	[-]	- hidrogen sulfurat
NH_3	[-]	- amoniac
H_s	$[\text{J}/\text{m}^3_N]$	- puterea calorică superioară
H_i	$[\text{J}/\text{m}^3_N]$	- puterea calorică inferioară
m	[kg]	- capacitatea de apă măsurată în calorimetru
c	$[\text{J} / \text{kg}^*\text{K}]$	- capacitatea termică masică a apei
t_1, t_2	$[\text{°C}]$	- temperaturile apei la intrare și ieșire din calorimetru
V_0	$[\text{m}^3_N]$	- volumul de gaz ars raportat la starea normală
r	$[\text{kJ} / \text{kg}]$	- căldura de vaporizare a apei la presiunea atmosferică
w	[kg]	- cantitatea de condensat din gazele de ardere
$d[\text{NO}]$	$[\text{mol}/\text{cm}^3\text{s}]$	- variația concentrației molare de monoxid de azot
$d\tau$	[s]	- variația timpului
T	[K]	- temperatura locală
$[\text{O}_2]_e$	$[\text{mol}/\text{cm}^3]$	- concentrația de oxigen la echilibru chimic
$[\text{N}_2]_e$	$[\text{mol}/\text{cm}^3]$	- concentrația de azot la echilibru chimic
k_1, k_2	$[\text{m}^3/\text{kmol s}]$	- coeficienți de reacție
T_b	[K]	- temperatura gazului ars
P_e	[W]	- puterea electrică
η_g	[-]	- randamentul generatorului electric
η_e	[-]	- randamentul efectiv al motorului
\dot{m}_{comb}	[kg/s]	- debitul de combustibil
Q_i	[J/kg]	- puterea calorică a combustibilului

1. ASPECTE GENERALE PRIVIND NECESITATEA FOLOSIRII ENERGIILOR REGENERABILE

1.1. Generalități despre resursele regenerabile de energie

Surse naturale de energie regenerabilă există pretutindeni în jurul nostru și omul le-a folosit încă din vechime. Astfel, creșterea interesului în ceea ce privește reducerea impactului asupra mediului prin utilizarea combustibililor fosili ca și sursa de energie, determină și dezvoltarea simultană a unor mijloace eficiente pentru producerea ei [52].

Energiile regenerabile s-au regăsit în economia mai multor țări mai ales după anul 1970, când a avut loc declanșarea crizei energetice pe plan mondial. În țările europene ca de exemplu Germania, Franța sau Danemarca s-au utilizat forme separate sau combinate ale acestor tipuri de energii regenerabile.

Principala calitate a energiilor regenerabile constă în faptul că sunt inepuizabile [56]. Folosirea lor contribuie la reducerea emisiilor de CO₂ pentru că unele dintre acestea, cum ar fi energia hidro sau eoliană, nu produc CO₂ în procesul de conversie [53]. De asemenea acest tip de energii sunt deosebit de benefice prin creșterea diversității naționale a surselor de energie, reduc dependența de importul de energie, respectiv întăresc sistemul periferic de distribuție națională a electricității.

Printre dezavantajele existente, se pot enumera fluctuații în timp ale puterii centralelor sau microcentralelor, costuri de producere a energiei necompetitive, uneori poluare vizuală sau olfactivă precum și un potențial impact ecologic negativ [43].

Legat de atitudinea prezentă la nivel național, Guvernul României a emis o serie de directive și hotărâri privind promovarea producției de energie electrică din surse de energie regenerabile [77][81][82] [85].

Punerea în aplicare a acestora se desfășoară destul de lent mai ales din cauza costurilor ridicate de investiție pentru valorificarea acestora la scară industrială

În cele ce urmează se va realiza o trecere în revistă a principalelor surse de energie regenerabile.

1.1.1. Hidroenergia

Sursele naturale, care sunt cuprinse în această categorie, se datorează căderilor de apă determinate de relieful terestru și de activitatea mareelor sau a valurilor. Ele asigură circa 3% din energia mondială.

Hidroenergia căderilor de apă este direct proporțională cu debitul și înălțimea geodezică. Conversia acesteia în energie electrică se face în hidrocentrale înzestrate după caz cu turbine Kaplan, Francis sau Pelton. [75]

În lungul cursurilor de apă puterea și energia hidraulică variază în spațiu și timp, mărimi care se stabilesc prin măsurători sistematice efectuate pe principalele cursuri de apă, de-a lungul mai multor ani.

În România potențialul hidroenergetic este în bună parte amenajat. Astfel, împreună cu Serbia deținem părți egale ale hidrocentralei Porțile de Fier I, cu puterea instalată de 2200 MWe, cea mai mare din Europa. La aceasta se adaugă salba de hidrocentrale de pe râul Bistrița, Argeș, Olt, Lotru, Someș, etc. Potențialul hidroenergetic al principalelor râuri din România este de circa 40000 GWh/an, care se poate obține în amenajările hidroenergetice de mare putere (> 10 MW/unitate) în proporție de 85%, respectiv 15% de mică putere (<10 MW/unitate). [75]

1.1.2. Energia eoliană

Energia eoliană este o „energie curată” pentru că are un impact minim asupra mediului înconjurător în comparație cu alte forme de energie. Instalațiile eoliene folosesc energia cinetică a maselor de aer aflate în mișcare.

Energia eoliană aduce deja o contribuție semnificativă la producția de electricitate într-o serie de țări, care dispun de capacități instalate însemnate: Germania – 2500 MWe, Danemarca – 1400 MWe, Anglia – 330 MWe, etc.

Energia eoliană s-a dovedit a fi relativ ieftină ajungând în cazul amplasamentelor pe țărmul mării să poată suplimenta energia combustibililor fosili fără a avea nevoie de subvenții. Totuși, nu se poate spera la o dezvoltare fără limite în Europa din cauză că reclamă mari suprafețe de teren pentru amplasarea agregatelor, turmele de animale și turbinele eoliene pot cu greu coexista, iar funcționarea morilor de vânt nu este lipsită de o oarecare poluare sonoră și vizuală. Se explorează în prezent posibilitatea amplasării morilor de vânt în largul mărilor, unde ar beneficia de viteze medii ale vântului mai mari decât pe teren plat sau pe țărm, iar mecanismele nu trebuie proiectate pentru reducerea zgomotului.

În România s-au identificat cinci zone eoliene distincte (I – V), în funcție de potențialul energetic existent, de condițiile de mediu și de cele topo-geografice.

Din rezultatele înregistrate reiese că România se află într-un climat temperat continental, cu potențial energetic ridicat în zona litoralului Mării Negre, podișurile din Moldova și Dobrogea (climat blând) sau în zonele montane (climat sever). Pe baza evaluării și interpretării datelor înregistrate rezultă că în România se pot amplasa instalații eoliene cu o putere totală de până la 14000 MW, ceea ce înseamnă un aport de energie electrică de aproape 23000 GWh/an. [31]

1.1.3. Energia solară

O parte din energia radiată de soare asupra pământului poate fi folosită direct pentru încălzirea clădirilor comerciale și de locuit, respectiv poate fi convertită în energie electrică.

Convertirea energiei solare în energie termică este o practică obișnuită în țările cu climat potrivit folosirii acestui tip de energie [54].

Încălzirea solară activă este legată de folosirea unor suprafețe absorbante de căldură cuplate cu sisteme de încălzire și preparare a apei calde [31], [54], [58], [73].

În zonele mai calde ale globului încălzirea solară activă este eficientă economic. În ultimul timp această tehnică a încălzirii solare active este tot mai des folosită și în țări situate în zona temperată, așa cum este România.

Energia solară fotovoltaică reprezintă o altă formă de utilizare a energiei solare, aceasta fiind transformată direct în energie electrică [31], [58], [73]. Celulele individuale de cristale de siliciu pot atinge randamente de peste 20% în lumina intensă a soarelui. Totuși performanțele cristalelor în rețea sunt diminuate la circa 15%. O problemă foarte incomodă este cerința de suprafață pentru panourile captatoare. Informativ, pentru 1000 MWe este nevoie de o suprafață de cel puțin 20 km², care nu mai poate fi folosită în alt scop – de exemplu în agricultură – ci cel mult pentru plantarea unor mori de vânt.

Costul energiei electrice generate pe această cale este estimat ca fiind cu cel puțin un ordin de mărime mai mare decât cel al energiei obținute din combustibilii fosili.

Ca și avantaje, se pot enumera următoarele :

- > Energia solară este o sursă gratuită de energie după recuperarea cheltuielilor aferente investiției;
- > reprezintă o rezervă nelimitată de energie;
- > este o sursă total nepoluantă de energie; [63].

1.1.4. Energia geotermală

Pe lângă energia solară și energia rezultată din acțiunea reciprocă a gravitației și mișcării planetelor, căldura conservată în interiorul Terrei reprezintă de asemenea o sursă de energie.

Localizarea resurselor geotermale se face prin explorări geologice, geochemice și geofizice [23], [88].

În cazul țării noastre cele mai importante resurse de ape geotermale cu temperaturi cuprinse între 40-130°C, se află în Câmpia de Vest, resurse care au fost și sunt utilizate pentru diferite scopuri, asigurându-se astfel economii importante de combustibil convențional [49], [50].

Exploatarea intensă a apelor geotermale impune o cunoaștere cât mai exactă a zăcămintelor din punct de vedere cantitativ, calitativ și hidrodinamic, iar gradul de eficiență fiind determinat de mărimea debitului, a temperaturii precum și de compoziția chimică a apei.

Energia geotermală reprezintă în ansamblu o sursă neconvențională de energie care contribuie la economisirea unor cantități importante de combustibili convenționali, fiind necesară o studiere detaliată a întregului ansamblu de factori calitativi, cantitativi, sociali, ecologici și economici în vederea găsirii soluțiilor optime.

În momentul de față există la nivel global centrale electrice geotermale cu o putere electrică totală de circa 8000 MWe, putere obținută prin exploatarea unor zăcăminte de apă geotermală fierbinte și abur cu temperatura de peste 150 °C, randamentele obținute ajungând la peste 12%. [75].

1.1.5. Biomasa

Biomasa reprezintă un combustibil regenerabil prin arderea căruia se degajă simultan energie termică și se emite o cantitate de CO₂ egală cu cea consumată în procesul de geneză al acesteia. Datorită acestui fapt biomasa se încadrează în categoria așa numitului „combustibil verde”, care prin ardere nu contribuie la producerea efectului de seră. Se anticipează că biomasa va avea un rol major în

înlocuirea combustibililor fosili contribuind într-o mare măsură la utilizarea resurselor regenerabile până la nivelul anului 2010 [19].

Datorită faptului că biomasa este constituită într-o mare măsură din reziduuri organice, este necesară o prelucrare adecvată a acestora pentru a putea fi utilizate și în procese, altele decât cel de incinerare sau co-incinerare a acestora, unul din produsele obținute fiind biogazul ce poate înlocui o parte din combustibilii convenționali, în timp ce materialul fermentat reprezintă un valoros îngrășământ pentru culturile agricole [82] [25].

Mai multe detalii despre rolul biomasei și aplicațiile acesteia sunt oferite în capitolele următoare.

1.2. Necesitatea studiului

Din toate sursele de energie regenerabile, biomasa este una dintre cele mai bine reprezentate pe teritoriul țării noastre. În condițiile în care folosirea combustibililor fosili devine din ce în ce mai problematică, se impune găsirea de soluții pentru rezolvarea parțială sau totală a problemelor legate de disponibilitatea surselor de energie. Astfel, studiul realizat este conex cu folosirea diverselor tipuri de deșeuri de biomasă într-o instalație pilot brevetată, existentă în cadrul Laboratorului de Energii Neconvenționale al Facultății de Mecanică din Universitatea Politehnica Timișoara.

Studiul s-a axat pe verificarea câtorva tipuri de deșeuri de biomasă, realizarea analizei de laborator pentru determinarea elementelor componente ale acestora, consultarea literaturii de specialitate în vederea comparării rezultatelor obținute cu cele existente, observarea comportamentului materialului folosit în cadrul procesului de fermentație anaerobă, analizarea calității biogazului obținut, respectiv a puterii calorifice a deșeurilor rezultat în vederea folosirii acestuia pentru procese de co-incinerare, în paralel cu utilizarea ca și material fertilizator în agricultură.

Concluziile trasate privesc atât posibilitățile de optimizare a procesului, cât și posibilități de utilizare în procese de ardere în motoare cu aprindere prin scânteie a biogazului obținut.

1.3. Potențialul biomasei ca sursă regenerabilă de energie

În general, sursele primare de energie sunt clasificate astfel:

Surse de energie fosilă:

- > cărbune
- > țiței
- > gaz natural
- > ulei din șisturi bituminoase
- > praf de smoală
- > gaz hidratat

Surse de energie regenerabile:

- > apa
- > soarele

20 Aspecte generale privind necesitatea folosirii energiilor regenerabile - 1

- > vântul
- > căldura geotermală
- > mările
- > biomasa

Combustibili nucleari [20]

În figura 1.1. se evidențiază ciclurile de viață pentru sursele de energie la nivel global.

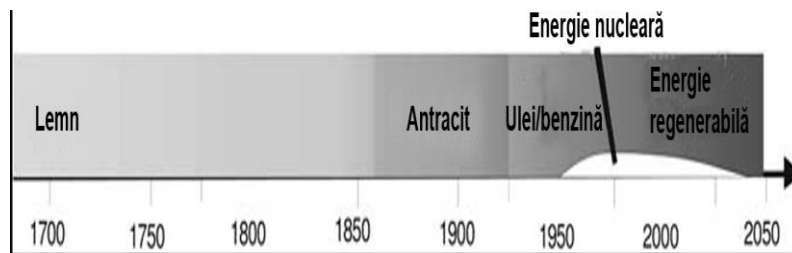


Figura 1.1. – Cicluri de viață pentru sursele de energie [20]

În tabelele 1.1. și 1.2. se prezintă ponderea surselor de energie în balanța energetică a Comunității Europene respectiv distribuția resurselor neconvenționale în Comunitatea Europeană la nivelul anului 2000.

Tabel 1.1 Ponderea surselor de energie în balanța energetică a Comunității Europene la nivelul anului 2000 [44] [83].

Sursa de energie	Ponderea energetică [%]
Cărbune	15
Țiței	41
Gaze naturale	23
Nuclear	15
Regenerabile	6

Tabel 1.2 Distribuția resurselor neconvenționale în Comunitatea Europeană la nivelul anului 2000. [83]

Sursa de energie	Ponderea energetică [%]
Biomasă	61,4
Hidro	31,9
Eoliană	2,6
Geotermală	3,8
Solară	0,3

În cazul Comunității Europene (CE) la nivelul anului 2000, sursele de energie neregenerabile – provenite din arderea combustibililor fosili (cărbune, țiței, gaze naturale) și din fisiunea nucleară – totalizează 94% în timp ce doar 6% provin din surse regenerabile (tabelul 1.2.).

Preocupările de a cuantifica cererea viitoare de energie a omenirii au devenit un domeniu major al cercetării științifice. Previțiunile asupra consumului mondial de energie pe perioada 2000 – 2100 sunt ilustrate prin curbele de variație ale consumului relativ de energie, considerat egal cu unitatea (CRE = 1) pentru anul 2000.

În figura 1.2. sunt prezentate previziunile asupra consumului mondial de energie.

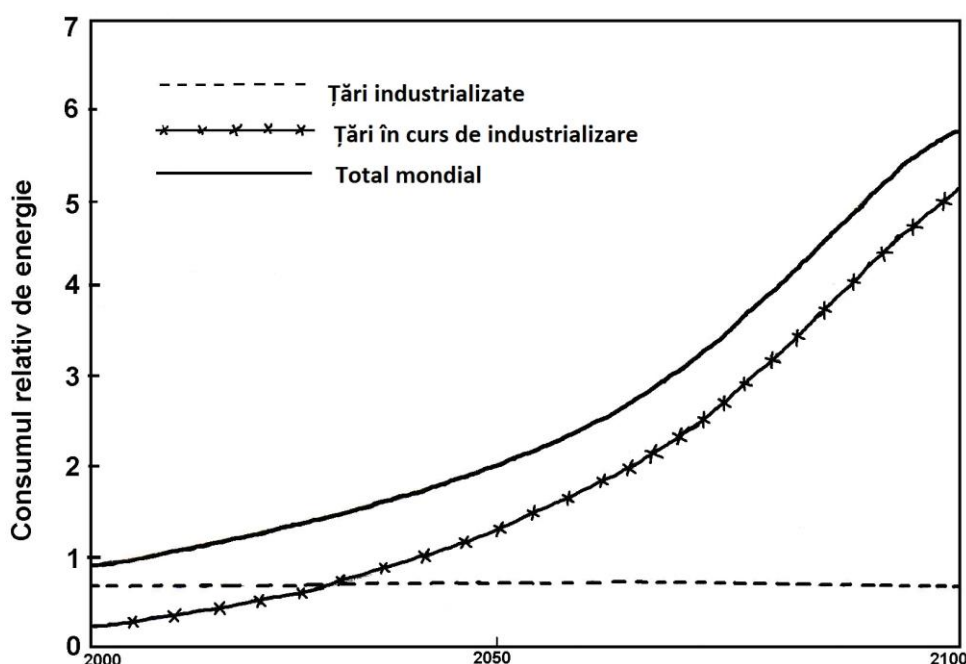


Figura 1.2. - Previțiunile asupra consumului mondial de energie [75]

Din figura 1.2. se observă că pentru țările industrializate s-a considerat că indicele CRE își menține o valoare constantă pentru perioada menționată, în schimb pentru țările în curs de dezvoltare valoarea acestui indice crește extrem de mult – explicația rezidă în tendința creșterii rapide a consumului/persoană în țările asiatice (China, India și nu numai) spre valorile celui din Europa și America.

Cu folosirea susținută în domeniul economic, calculele sugerează că aproape 30% din consumul global de energie primară în 2050 va fi acoperit de surse de energie regenerabile. În 2075 procentul va fi până la 50% și se așteaptă să crească continuu până în 2100. Potrivit raportului IPCC (International Panel on Climate Change) biomasa va avea cel mai important rol, generând 50 PWh în 2050, 75 PWh în 2075 și 89 PWh în 2100, echivalent cu valoarea calorică livrată prin arderea a mai mult de 16 miliarde tone de masă lemnoasă. [87]

Prin biomasă se înțeleg reziduurile de la creșterea animalelor, deșeurile industriei alimentare, resturile vegetale provenite din agricultură și silvicultură,

deșeurile menajere. De asemenea, se mai poate utiliza pentru biomasă definiția conformă cu Hotărârea de Guvern 54/2003 drept un produs compus parțial sau în totalitate dintr-o materie vegetală agricolă sau forestieră, ce poate fi utilizat drept combustibil cu scopul recuperării conținutului energetic. [63][75]

Biomasa solidă este constituită din plante uscate, tufărișuri, frunze, crengi de copaci și din deșeurile solide rezultate în urma activităților urbane (textile, hârtie, cartoane, etc). Materiile organice prezente în deșeurile solide menajere pot fi de două categorii: materii organice cu descompunere rapidă (3 luni - 1 an) sau materii organice cu descompunere lentă (>50 ani). [63]

Biomasa este bogată în carbon dar nu este un combustibil fosil.

În figura 1.3. se prezintă câteva din tehnologiile aplicate pentru transformarea biomasei în surse de energie secundare.

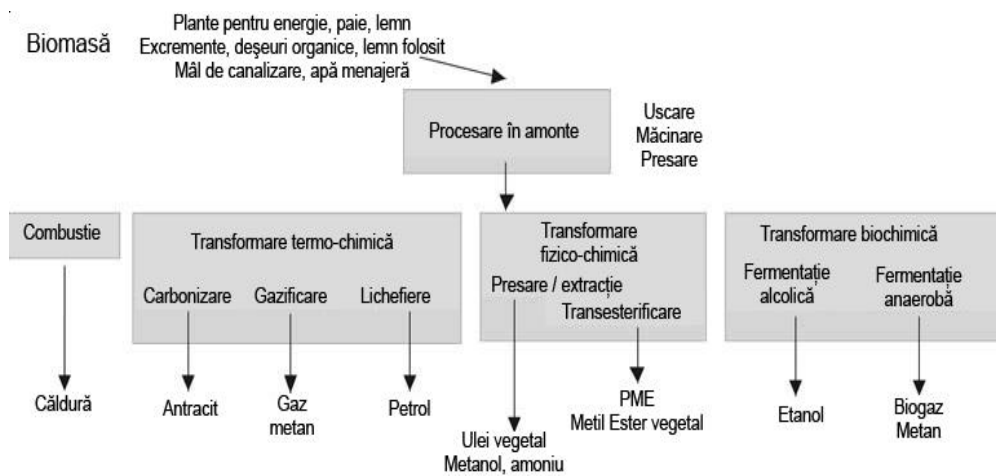


Figura 1.3. – Tehnologiile aplicate pentru transformarea biomasei în surse de energie secundare [20]

La nivel mondial biomasa reprezintă 14,7 % din resursele primare de energie. Conform Legislației Uniunii Europene – Planul de acțiune privind biomasa COM (2005) 628 – Bruxelles (07.12.2005) în prezent în Uniunea Europeană circa 4 % din necesarul de energie este asigurat din biomasă. Utilizarea completă a potențialului existent la nivelul UE este estimată a se realiza în jurul anului 2010, respectiv prin creșterea producției de la 69 mil. tep (tone echivalent petrol) în 2003 la 185 mil. tep în 2010.

La nivel european, biomasa se prezintă ca o sursă deosebit de importantă, având ponderea cea mai mare (61,4%), urmată de energia hidro cu 31,9%. Celelalte resurse energetice și anume eoliană, geotermală și solară, luate împreună, abia totalizează 6,7%. [75]

România are un potențial energetic de biomasă ridicat, evaluat la circa 7594 mii tep/an ($318 \text{ PJ/an} = 318 \cdot 10^5 \text{ J/an}$), ceea ce reprezintă aproape 19% din consumul total de resurse primare la nivelul anului 2000. Rezervele potențiale sunt deșeurile de lemn, deșeurile agricole (animale și vegetale), deșeurile menajere și culturile energetice. Acest potențial este împărțit pe următoarele categorii:

- a) reziduuri din exploatarea forestieră și lemn de foc: 1175 mii tep;
- b) deșeurile de lemn (rumeguș, talaș și alte resturi): 487 mii tep;

- c) deșeuri agricole rezultate din cereale, tulpini de porumb, resturi vegetale de viță de vie: 4799 mii tep;
- d) biogaz: 588 mii tep;
- e) deșeuri și reziduuri menajere urbane: 545 mii tep.

Din datele extrase din Anuarul statistic al României pe anul 2001 rezultă că ponderea biomasei în balanța energetică a scăzut de la 8,76% în anul 1996 la 6,87% în anul 2000, fapt datorat în principal extinderii rețelei de distribuție și a consumului de gaze naturale sau de produse petroliere lichefiate. Această tendință s-a menținut și după anul 2000, ba chiar s-a amplificat, datorită multiplelor avantaje pe care le oferă folosirea combustibililor gazoși în comparație cu biomasa. [78]

Conform cu Anuarul Statistic al României pe anul 2007, suprafața agricolă existentă a scăzut raportat la anul 2001 de la 14852,3 ha la 14731 ha în anul 2006, în timp ce suprafața împădurită a crescut de la 6605,7 ha la 6754,7 ha în anul 2006. [79]

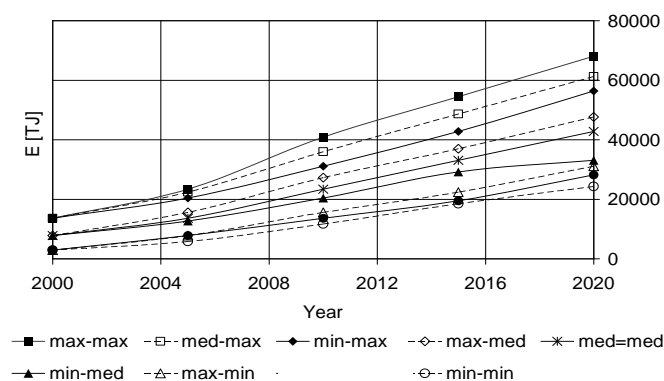


Figura 1.4 – Potențialul biomasei din deșeuri de lemn [15]

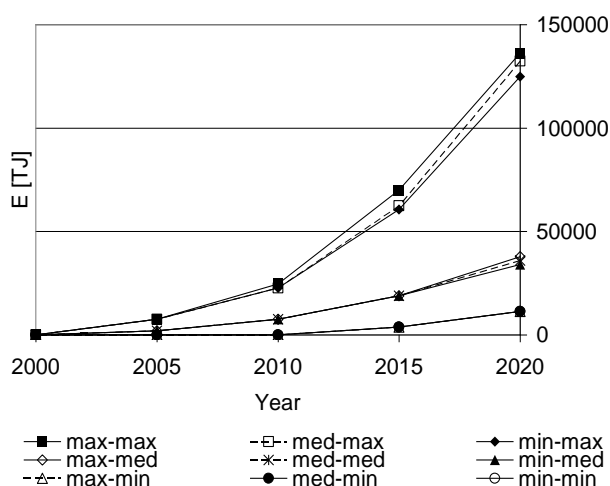


Figura 1.5 – Potențialul biomasei din deșeuri agricole [15]

24 Aspecte generale privind necesitatea folosirii energiilor regenerabile - 1

Ca urmare, îndeplinirea angajamentului României de a crește producția de energie pe bază de biomasă de la 2772 mii tep în anul 2000 la 3347,3 mii tep în 2010, respectiv la 3802 mii tep în 2015 reprezintă o sarcină dificilă care vizează aspecte economice și sociale, dar în același timp impune îmbunătățirea tehnologiei conversiei energetice a biomasei.

În figurile 1.4. și 1.5. se prezintă potențialul biomasei provenite din lemn și deșeuri agricole.

Nu se utilizează în România la ora actuală instalații de producere a biogazului din deșeuri vegetale (celulozice) din lipsa tehnologiilor, nu a materiei prime care este disponibilă în cantități apreciabile.

În tabelul 1.3. se prezintă distribuția resurselor de biomasă în România în TJ/an.

Tabelul 1.3. - Distribuția resurselor de biomasă în Romania, în TJ/an [15]

Zona	Lemn de foc		Deșeuri de lemn		Deșeuri agricole		Biogaz		Total	
	1998	2000	1998	2000	1998	2000	1988	2000	1998	2000
Delta Dunării										
Dobrogea	-	-	440	531	68	2.80	14	361	522	3.69
Moldova	394	400	880	1.06	127	5.25	24	602	1.425	7.31
M-ții Carpați	23.64	24.02	2.64	3.18	43	1.75	12	301	26.33	29.25
Transilvania	985	1.00	1.32	1.59	68	2.80	29	722	2.40	6.11
Câmpia de Vest	591	600	440	531	110	4.55	43	1.083	1.18	6.76
Subcarpați	11.82	12.01	2.20	2.65	102	4.20	36	903	14.15	19.77
Câmpia de Sud	1.97	2.00	880	1.06	332	13.65	82	2.046	3.26	18.76
TOTAL	39.40	40.03	8.80	10.62	850	35.00	240	6.018	49.29	91.67

Sectorul corespunzător biomasei în România este caracterizat din punct de vedere al distribuției pe regiuni astfel : 90% combustibil lemnos și 55% deșeu de lemn se regăsește în Carpați și Subcarpați, în timp ce aproximativ 54% din deșeurile agricole se regăsesc în Câmpia de Sud și Moldova.

Suprafața posibil de cultivat în România este de aproximativ 148.000 km², din care 94.200 km² reprezintă suprafața cu teren arabil. Deșeurile provenite din recoltele agricole pot fi utilizate în întregime ca și combustibil. În figura 1.6 se prezintă alocarea potențialului energetic în România.

Cantitatea de căldură rezultată din valorificarea energetică a biomasei în România deține ponderi diferite în balanța resurselor primare, în funcție de tipul de deșeuri utilizat sau după destinația consumului final. Astfel, 54 % din căldura generată pe bază de biomasă se obține din arderea de reziduuri forestiere. De asemenea 89 % din căldura necesară încălzirii locuințelor și preparării hranei este considerată a fi rezultatul consumului de reziduuri și deșeuri vegetale în mediul rural.



Figura 1.6 - Alocarea potențialului energetic în România [15]

În consumul curent de biomasă din România, în regim de exploatare energetică, se folosesc diferite tipuri de combustibili, cu următoarea destinație:

- > circa 550 cazane industriale de abur și apă fierbinte pentru încălzire industrială (combustibil pe bază de lemn);
- > circa 10 cazane de apă fierbinte (CAF-uri) cu puteri instalate între 0,7 MW și 7,0 MW, pentru încălzire urbană (combustibil pe bază de deșeuri din lemn);
- > aproximativ 14 milioane sobe sau cuptoare pe lemne și/sau deșeuri agricole destinate încălzirii locuințelor individuale sau preparării hranei, ș.a. [74]

Astfel, din cele prezentate mai sus, aplicațiile specifice biomasei pot fi grupate în următoarele zone de influență:

- > înlocuirea parțială a combustibililor fosili folosiți în schemele de încălzire zonală
- > creșterea gradului de folosire a biomasei ca și combustibil industrial
- > folosirea biomasei pentru încălzirea orașelor mici sau satelor aflate în zone în care nu este posibil accesul la surse convenționale de energie (rețele de gaz metan)
- > folosirea diverselor tipuri de deșeuri agricole pentru încălzirea fermelor sau satelor mici.

1.4. Obiectivele folosirii biogazului ca și combustibil fosil

1.4.1. Scurt istoric

Biogazul ia naștere la descompunerea substanței organice de către bacterii prin procese de fermentație aerobă sau anaerobă [2][26]. Substanța organică constă preponderent din apă, albumină, grăsimi, hidrați de carbon și substanțe

minerale iar cu ajutorul bacteriilor, acestea se descompun în componentele originale, dioxid de carbon, minerale și apă. Astfel ia naștere, ca produs metabolic, un amestec de gaz, așa-numitul biogaz. Metanul inflamabil (CH_4) reprezintă componenta principală a biogazului, cu un procentaj de 50-85% și astfel sursa principală de energie.

Acest proces natural de descompunere are loc doar în mediul anaerob, adică doar atunci când lipsește oxigenul. Procesul de descompunere se numește și putrefacție și se regăsește în mlaștini, lacuri, ape stătătoare, etc. În cazul apariției oxigenului, descompunerea se realizează prin alte bacterii; în acest caz, se poate vorbi de putregai sau compost. Microorganismele care produc producerea metanului sunt : microorganisme nemetanogene, dar lichefiate și acidogene tip A; microorganisme nemetanogene dar acetogene de tip B și mecanisme metanogene de tip C, care apar și se dezvoltă de-a lungul etapelor caracteristice.[3][4] Alte procese naturale de descompunere sunt, de exemplu, arderea, digerarea sau fermentația. Energia eliberată la procesul anaerob de descompunere nu se pierde ca și la compostare sub formă de căldură, ci este utilizată prin bacteriile metanogene la formarea moleculelor de metan inflamabile. Energia colectată și înmagazinată în biogaz este regenerabilă, deoarece provine din substanță organică regeneratoare. Faptul că energia fosilă nu mai este folosită, iar alternativele devin din ce în ce mai necesare, utilizarea biogazului devine din ce în ce mai importantă. Suplimentar, utilizarea energetică a biogazului este în opoziție cu arderea gazului natural, a gazului lichid, a țițeiului și a carbonului CO_2 - neutru, deoarece CO_2 -ul rezultat se deplasează în circuitul carbonului și este refolosit de plante pe perioada creșterii acestora. Astfel se previne creșterea concentrației de CO_2 din atmosferă, principalul element dăunător rămânând CO_2 - ul provenit din materii prime fosile. [28]

Surse foarte vechi indică faptul că folosirea apei reziduale și așa numitelor resurse regenerabile pentru furnizarea energiei nu reprezintă un element de noutate, existând dovezi ale acestor practici încă înainte de nașterea lui Hristos. Chiar și în jurul anului 3000 î.H. sumerienii au practicat curățarea anaerobă a deșeurilor.

Învățatul roman Plinius cel Bătrîn a descris în jurul anilor 50 î.H niște lumini ce licăreau sub suprafețele bălților.

În 1776 Alessandro Volta personal a colectat gaz din lacul Como pentru a-l examina. Cercetările lui au arătat că formarea gazului depinde de un proces de fermentare și poate forma un amestec exploziv împreună cu aerul.

Fizicianul englez Faraday de asemenea a făcut experimente cu gazul de mlaștină și a identificat în componența acestora un tip de hidrocarbură. Puțin mai târziu, în jurul anilor 1800, Dalton, Henry și Davy au descris pentru prima dată structura chimică a metanului, a cărui formă chimică finală a fost elucidată de Avogadro în 1821.

În a doua jumătate a secolului 19, s-a pornit în Franța o cercetare sistematică și științifică pentru a înțelege mai bine procesul fermentării anaerobe. Obiectivul a fost de a suprima mirosul urât emanat de apa reziduală. În timpul investigațiilor, cercetătorii au detectat unele microorganisme care astăzi sunt cunoscute ca fiind esențiale pentru procesul de fermentare. Bechamp a identificat în 1868 că o populație mixtă de microorganisme este necesară pentru a converti etanolul în metan, din moment ce mai multe produse finale au fost formate prin procesul de fermentare, întregul proces depinzând de substratul folosit.

În 1876, Herter a raportat că acetatul găsit în apa reziduală, stoichiometric formează metanul și dioxidul de carbon în cantități egale. Luis Pasteur a încercat în 1884 să producă biogaz din dejecțiile de cal colectate de pe străzile Parisului.

Împreună cu studentul sau Gavon a reușit să producă 100 l metan din 1 m³ de dejecție fermentată la 35° C. Pasteur a susținut că această rată de producție este suficientă pentru a acoperi necesarul de energie pentru iluminarea stradală în Paris. Aplicarea energiei din resurse regenerabile a început din acel moment.

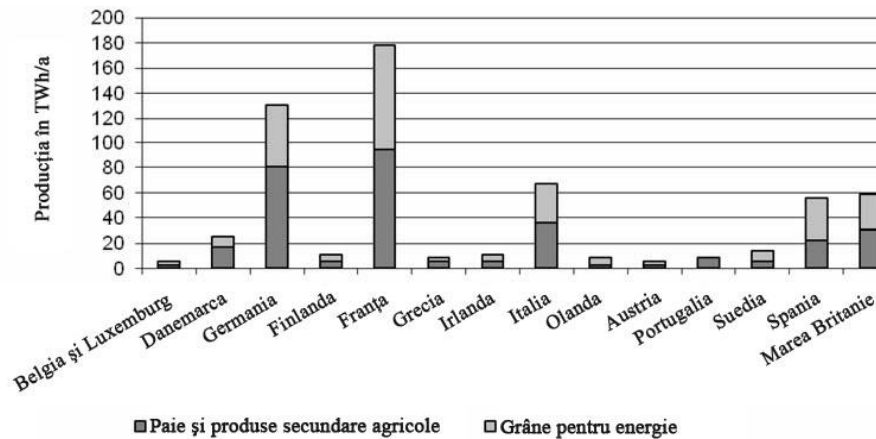


Figura 1.7. – Producția de biogaz în țările europene [20]

În figura 1.7. este prezentată producția de biogaz în Europa, observându-se că cele mai dezvoltate țări din acest punct de vedere sunt Franța, Germania, Italia, Marea Britanie și Spania, în timp ce Danemarca sau Suedia nu pun la fel de mult accent pe folosirea biogazului, în aceste țări folosindu-se alte tipuri de energii regenerabile (eoliană, solară).

1.4.2. Obiectivele folosirii biogazului ca și combustibilii fosili

În 1970 necesarul de biogaz a crescut datorită crizei țuțeiului. Numărul facilităților a crescut la 15 în landul Bavaria și la 10 în landul Baden-Württemberg.

Mai târziu, în 1990, tehnologia biogazului a fost stimulată din două motive:

- profitabilitatea folosirii energiei derivate din biogaz
- managementul reciclării și actul de evitare și management al deșeurilor din 1994 și costurile ridicate de deșertare a deșeurilor solide.

În sectorul agricol a fost observată această tendință și a fost acceptată condiționat din moment ce instalațiile de producere a biogazului nu funcționau în manieră profitabilă în mare parte din cauza costurilor ridicate pentru construirea acestora. Doar după ce fermierii au învățat etapele aferente procesului de obținere a biogazului precum și modul optim de exploatare, instalațiile de producere a biogazului au început să funcționeze economic.

În 1954, Ross, în Richmond, USA, a raportat un proces de digestie a deșeurilor comunale cu sedimente. Aparent, o instalație închisă funcționa în Chicago, USA, pentru digestia deșeurilor.

La finele anilor 1990, numeroase uzine au fost construite și implementate pentru tratamentul mecanic-biologic al gunoiului. Tehnologia a fost bazată pe descompunerea în două etape : o etapă anaerobă și una aerobă. Procesul aerob s-a demonstrat a fi avantajos pentru că furniza destulă energie pentru a funcționa

uzina. În tabelul 1.4. sunt prezentate instalațiile existente, respectiv cantitatea de deșeuri pe care acestea le pot utiliza la nivelul unui an în diverse țări europene la nivelul anului 1997.

Tabel 1.4. Număr de instalații și cantitate totală de material digerat de instalații mari de fermentare și co-fermentare pentru obținerea de biogaz din deșeuri regenerabile (T/an) în Europa în 1997. [20]

Țara	Număr de instalații de biogaz	Tone de deșeu digerat pe an
Austria	10	90000
Belgia	2	47000
Danemarca	22	1396000
Finlanda	1	15000
Franța	1	85000
Germania	39	1081700
Italia	6	772000
Olanda	4	122000
Polonia	1	50000
Spania	1	113500
Suedia	9	341000
Elveția	10	76500
Anglia	1	40000
Ucraina	1	12000
Total	108	4241700

Corelat cu valorile prezentate mai sus, în ultimul deceniu a crescut implicarea țărilor europene în exploatarea biogazului pentru obținerea de energie curată [27].

Nu doar în Germania, dar și în alte țări europene, s-a aplicat aceeași tehnologie a distrugerii deșeurilor. De exemplu în Danemarca multe fabrici de gaz biologic au fost construite pentru a procesa dejecțiile lichide cu reziduurile din industria alimentară.

Aproximativ 44 de uzine de fermentație anaerobă cu o capacitate de 1.2 milioane tone de deșeu biodegradabil existau în total în Germania la nivelul anului 1999, corelat cu o medie de 34,8 milioane tone / an deșeu, cu raportare la perioada 1993 - 1998 [65]. Dintre acestea, 31 lucrau cu proceduri de fermentare umedă iar celelalte pe procesul de fermentare uscată. Din anul 2006 până la finele anului 2008 s-au mai construit încă 13 instalații a căror capacitate anuală însuma 510 milioane kWh, reprezentând circa 60 milioane m³ [30].

În Africa, 64 milioane de ha au fost tăiate între 1990 și 2005 pentru combustibil. O uzină ce produce biogaz cu un bioreactor de 10 m³ ar putea duce la reîmpădurirea a 0.26 - 4 ha de teren.

În anul 2000 legea "Energiilor regenerabile" care preciza reguli pentru subvenționarea energiei oferite de instalațiile de producere a biogazului a intrat în vigoare în Germania. În ultimii ani a crescut numărul instalațiilor ce produc biogaz, mai ales după implementarea unor subvenții mai mari. Aproximativ 1500 de instalații de producere a biogazului erau în stare de funcționare în Germania, cele mai multe în landul Bavaria.

Energia electrică produsă de generatoare antrenate cu biogaz a fost distribuită în rețeaua comună folosind sursele prezentate în tabelul 1.5. [20]

Tabel 1.5. Aprovizionarea cu energie electrică din biomasă în Germania în anul 2000[20]

Tip de gaz	Număr	Putere electrică instalată (MW)	1000 MWh / an
Gaz de deșeu	217	85	61
Gaz de deponeu	268	227	612
Biogaz	1040	407	127
Total	1525	407	800

Amendamentele legii energiei regenerabile apărute în Germania în 2004 au dus la dezvoltarea utilizării biogazului. Pe lângă alte bonusuri, administratorii instalațiilor au obținut pentru fermentația din plantele energetice cultivate în mod special pentru instalația de biogaz, un bonus suplimentar de 6 eurocenți pentru fiecare kW acumulat. Acest bonus face pentru prima dată posibil ca nu numai întreprinderile întreținătoare de animale să câștige, ci și întreprinderile mici, chiar nedeținătoare de animale, singure, pe baza materiilor prime, să poată produce biogaz. [28]

În figurile 1.8 și 1.9. este prezentată evoluția în ceea ce privește producția de biogaz în țări cum ar fi Germania sau China.

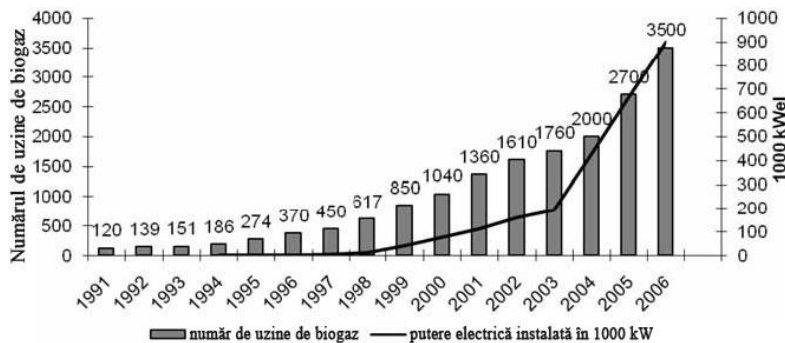


Figura 1.8. - Expansiunea producției de biogaz în Germania [20]

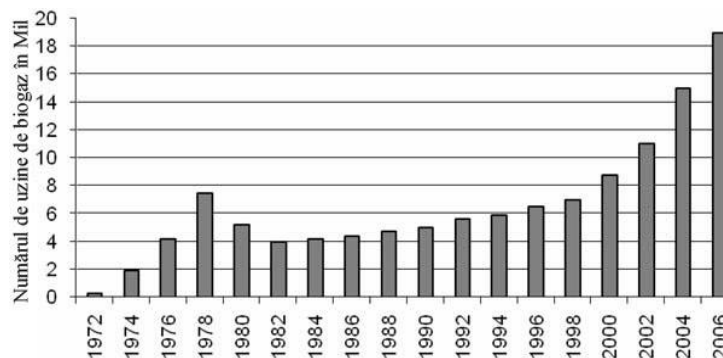


Figura 1.9. - Expansiunea biogazului în China [20]

Datorită orientării la nivel mondial asupra exploatării în mare măsură a energiilor regenerabile, este foarte important ca și România, atât în calitate de stat membru al Uniunii Europene cât și ca sursă de potențial neutilizat de resurse regenerabile, să se alieze curentului prezent existent.

Prin cele prezentate mai sus, este evidentă existența unui potențial neutilizat de resurse regenerabile, din care un procent mare este ocupat de biomasă, atât lemnoasă cât și agricolă, fapt pentru care se impun tehnologii moderne de valorificare a acesteia.

Una dintre aceste tehnologii o reprezintă producerea de biogaz, un domeniu cu tradiție în Europa (exemplu : Germania), iar tehnologiile existente, atât în domeniul producerii cât și al exploatării biogazului realizat se justifică prin realizarea necesarului energetic echivalent într-o măsură mai mică sau mai mare cu cel realizat cu ajutorul combustibililor fosili.

Raționamentul economic și necesitățile prezente obligă la găsirea de noi soluții astfel că utilizarea biogazului ca și combustibil fosil, alături de celelalte tehnologii aferente exploatării resurselor regenerabile se impune atât la nivel local cât și statal respectiv regional.

2. EFECTE POZITIVE ALE FOLOSIRII BIOMASEI ÎN PRODUCEREA BIOGAZULUI

2.1. Generalități privind biomasa ca materie primă pentru obținerea de biogaz

Biomasa este singura sursă de energie regenerabilă ce poate fi convertită în gaz, lichid sau combustibil solid prin tehnologii de conversie foarte bine cunoscute. Astfel, acest purtător de energie universală regenerabilă poate fi folosit într-o gamă largă de aplicații din sectorul energiei. Deja în prezent este posibilă furnizarea de energie regenerabilă pentru întreaga gamă de aplicații ce necesită energie, de la stații de încălzire și de asigurare a curentului electric până la aplicațiile mobile pentru transport și trafic. În medie, în țările industrializate, biomasa contribuie la totalul surselor de energie folosite în proporție de 9 – 13%, în timp ce în țările în curs de dezvoltare ea contribuie într-un procent ce variază de la 5% la 30% [29].

În mod obișnuit, după ce biomasa a fost tratată, ea este transformată într-una din formele majore de energie de mai jos:

- > electricitate
- > căldură

Gama de aplicații și de dispunere de biomasă sunt doar două dintre importanțele avantaje ale biomasei. Un alt argument major pentru folosirea acestei resurse de energie își are originile în posibilitatea de protejare a mediului înconjurător și a climei. Când se folosește energia stocată în biomasă, gazele de seră precum dioxidul de carbon, sunt emise, dar cantitatea este asemenea ca cea produsă de procesele de descompunere naturală. Astfel transportorii de bioenergie pot fi considerați neutri din punctul de vedere al daunelor climatice.

Ca o privire de ansamblu, biomasa poate fi divizată în 4 categorii din punct de vedere al originii ei:

- > culturi de plante energetice. Plantele energetice, așa cum se implică din denumirea lor, sunt cultivate în principal pentru generarea de energie. Funcția lor, analoagă unei celule solare, este să capteze radiația solară și să o stocheze în biomasă pentru utilizare ulterioară. Exemplu de plante energetice sunt: trestie energetică, iarbă energetică, floarea soarelui, rapița și porumbul.
- > reziduuri post-recoltare. Reziduurile care rămân după recoltarea cerealelor și a copacilor tăiați sunt deșeuri naturale. Acest grup de produse din natură este potrivit pentru reciclarea energiei pentru că ajută la reducerea costurilor de producție pentru principalele produse sau poate crește producerea lanțului cultivării.
- > produse secundare organice. Procesarea biomasei de către oameni pentru a crea produse formează un grup de produse secundare. Acestea includ îngrășămintele naturale rezultate de la creșterea animalelor precum și reziduuri de la procesarea industrială a lemnului și a fibrelor vegetale. Și aici reciclarea energiei poate duce la creșterea profitabilității în paralel cu protecția mediului de către producători.

- > deșeuri organice. Deșeurile organice sunt compuse din produse care includ deșeul biologic, excrementele și reziduurile de la producția de alimente (de exemplu de la abatoare), etc. Deșeul organic este subiectul general al legislației deșeurilor. În consecință, o gamă largă de cereri legislative trebuie să fie îndeplinite, de la legislația de proveniență până la cea a controlului epidemic.

Biomasa vegetală este în general găsită sub formă de agregate solide, având conținut de apă, și în majoritatea cazurilor, din motive tehnice, sunt eliminate din utilizarea în scopuri de producere a energiei. Este posibil să se creeze un produs bioenergetic util cu proprietățile corecte prin procesarea biomasei. Astfel este posibilă schimbarea stării de agregare pentru a permite aplicații precum folosirea ca și combustibil în procesul convențional. Pentru folosirea lor ca și combustibil, sursele de bioenergie sunt tot timpul clasificate în funcție de starea de agregare: solidă, lichidă sau gazoasă. Starea de agregare existentă determină în esență posibilitatea folosirii ulterioare a sursei de bioenergie în facilitățile de conversie a energiei precum motoare sau instalații de ardere. Deși motoarele cu combustie și celulele de combustibil - care în mod curent sunt în stadiul de cercetare - sunt incapabile să folosească surse solide de bioenergie, radiatoarele sau sistemele combinate pentru producerea de căldură și curent electric pot folosi combustibili solizi.

Forma și starea de agregare a produselor bioenergetice procesate sunt determinate de tehnologiile de conversie existente. Fiecare echipament de utilizare, precum un motor, are o metodă de operare care e optimizată pentru stări și calități particulare ale surselor de bioenergie. Pentru operări permanente cu succes, aceste stări și calități trebuie să fie menținute între anumite limite.

Sursele solide de bioenergie

Cel mai mare grup de surse solide de bioenergie cuprinde produsele realizate din lemn. Acestea sunt obținute în urma procesării industriale a lemnului, în urma căreia deșeurile rezultate sunt utilizate. În multe zone produsele secundare din agricultură, cum ar fi paie, sunt de asemenea utilizate pentru generarea energiei din biomasă.



Figura 2.1. – Paie din cereale [87]

Paiele de pe un hectar de cereale (figura 2.1.) au un conținut de energie de 73 GJ. Aceasta este aproximativ echivalentul a 200 litri de petrol. Totuși, paiele și alte produse din această categorie au caracteristici de combustie diferite de cele ale combustibililor lemnoși. Punctul de transformare în cenușă și comportamentul de emisie a biomasei de tip paie înseamnă că sunt necesare abordări tehnice diferite.



Figura 2.2. – Reziduuri din material lemnos [87]

O altă categorie importantă de reziduuri care nu e neapărat parte a sectorului lemnului vechi reprezintă reziduurile lemnoase rezultate din administrarea mediului. În figura 2.2. sunt evidențiate diverse reziduuri din material lemnos. Acestea apar în timpul lucrărilor de întreținere la drumuri și canale, și la îngrijirea parcurilor. Reziduurile lemnoase rezultate din administrarea mediului sunt de obicei un amestec de lemn, frunze și produse de tip paie. Doar foarte rar se ia în considerare utilizarea acestui amestec într-un nou produs.

Surse lichide de bioenergie

Mobilitatea este esențială în societatea atât de industrializată. Cu câteva excepții, transportul de persoane și al mărfurilor este bazat pe combustibilul lichid. Astăzi, există câteva alternative de biocombustibili pentru îndeplinirea acestor sarcini. Etanolul, din fermentațiile alcoolice și metanolul rezultat din celuloză pot fi considerate ca și mase biologice. De departe, cele mai cunoscute sunt rapița și floarea-soarelui (figura 2.3.). Uleiurile rezultate din acestea două sunt folosite fie în mod natural, fie ca și biocombustibili.



Figura 2.3. – Plantă de floarea soarelui [87]

De asemenea, fiind CO₂ neutri, carburanții proveniți din surse de bioenergie lichidă au proprietăți mai bune de emisie, iar potențialul de poluare este mai scăzut. Faptul că ei sunt situați mai jos față de combustibilii fosili ca și performanță a fost demonstrat în nenumărate rânduri în sporturile cu motoare.

Surse gazoase de bioenergie

Sursele de bioenergie de tip gazos sunt rezultatul conversiei biomasei naturale. Acestea pot fi produse cu ajutorul proceselor microbiologice, precum fermentarea anaerobă a metanului dar și cu ajutorul conversiei termochimice de biomasă solidă din timpul procesului de gazificare.

Biogazul este creat fără acțiunea oxigenului în timpul fermentației materialului biologic de tip animal și vegetal. În acest caz, simbioza unor bacterii va duce la ruperea legăturilor de carbon și va rezulta metanul gazos și dioxid de carbon. În practică, acest fapt are loc la instalațiile de biogaz agricole. În figura 2.4. este prezentat un mode de instalație folosită pentru producerea de biogaz.



Figura 2.4. – Instalație de producere a biogazului [87]

2.1 - Generalități privind biomasa ca materie primă pentru obținerea de biogaz 35

Conversia termochimică în combustibili gazeși a surselor solide de bioenergie are loc în timpul gazificării. Din lanțurile de carbon, se vor crea gaze combustibile de monoxid de carbon, hidrogen și în cantități mici, metan.

2.1.1. Biomasa agricolă

Principalele cereale cultivate pe glob sunt: grâul, porumbul, secara, orzul, orezul, ovăzul, meiul și sorgul.

Grâul este o plantă din familia *Gramineae*, genul *Triticum*. Boabele diferitelor soiuri de grâu se deosebesc prin formă, culoare și aspectul suprafeței lor. Forma poate fi alungită, eliptică, ovală sau rotunjită.

Porumbul face parte din familia *Gramineae*, genul *Zea*, cu trei specii (*Zea Mays*, *Zea Mexicana*, *Zea Perennis*). După aspect, bobul de porumb se deosebește de cel al celorlalte cereale, și poate avea formă: prismatică, rotund – comprimată, alungit – comprimată, etc.

Secara (*Secale cereale L.*) este a doua cereală panificabilă după grâu, boabele având valoare nutritivă asemănătoare celor de grâu. Din cauza că proteinele din secară nu conțin gluten, deși gustoasă, este inferioară celei de grâu.

Orzul (*Hordeum L.*) se cultivă pentru boabele sale, care se utilizează în principal ca furaj și pentru fabricarea berii. În anumite zone ale globului, cum ar fi regiunile înalte din Asia și nordul Africii, boabele se utilizează pentru alimentația oamenilor.

Ovăzul (*Avena L.*), prezintă importanță foarte mare pentru furajarea animalelor. În alimentația oamenilor, se utilizează sub formă de grisuri, făină, fulgi, mai ales în alimentația copiilor și adulților cu regim dietetic.

Orezul (*Oryza sativa ssp. communis*), este una dintre cele mai importante plante în alimentația omului, constituind hrana de bază pentru circa 2,5 miliarde de locuitori ai planetei. Pentru restul locuitorilor globului este un aliment de completare, cu o valoare nutritivă ridicată.

În cele ce urmează (tabelul 2.1.) se vor prezenta câteva date caracteristice pentru combustibili creați din aceste plante.

Tabel 2.1. – Date caracteristice pentru combustibili creați din cereale [75]

Produce din plante cerealiere		Masă (kg)	Conținut de apă (%)	Valoare calorică (MJ/kg)	Conținut energetic (kWh)	Echivalent în combustibil pentru încălzit (l)	Conținut de cenușă (kg)
Cantitate măsurată: 1t							
Fir de grâu	Uscate natural	1000	15	14,4	4032	403	57,0
Fir de orz	Uscate natural	1000	15	14,7	4116	412	48,0
Fir de secară	Uscate natural	1000	15	14,7	4116	412	48,0
Fir de porumb	Uscate natural	1000	15	14,8	4144	414	67,0
Boabe de grâu	Uscate natural	1000	15	14,2	3976	398	39,0

Măsurători la stivă cubică: 1 Stcm (baloturi)

36 Efecte pozitive ale folosirii biomasei în producerea biogazului biogazului - 2

Fir de grâu	Uscate natural	135	15	14,4	544	54	7,7
Fir de orz	Uscate natural	133	15	14,3	533	53	7,6
Fir de secară	Uscate natural	140	15	14,9	584	58	8,0
Fir de porumb	Uscate natural	139	15	14,8	576	58	7,9
Măsurători aproximative: 1 m ³							
Boabe de grâu	Uscate natural	760	15	14,2	3022	302	43,3

În Tabelul 2.2. se evidențiază compoziția chimică a sorturilor de cereale prezentate mai sus.

Tabel 2.2. – Compoziția chimică a sorturilor de cereale [38] [75]

Denumirea combustibilului	C [%]	H [%]	O [%]	N [%]	K [%]	Ca [%]	Mg [%]	P [%]	S [%]	Cl [%]
Paie de secară	46,6	6,0	42,1	0,55	1,68	0,36	0,06	0,15	0,085	0,40
Paie de grâu	45,6	5,8	42,4	0,48	1,01	0,31	0,10	0,10	0,082	0,19
Paie de orz	47,5	5,8	41,4	0,46	1,38	0,49	0,07	0,21	0,089	0,40
Tuleie de porumb	45,7	5,3	41,7	0,65	-	-	-	-	0,12	0,35
Planta întregă de secară	48,0	5,8	40,9	1,14	1,11	-	0,07	0,28	0,11	0,34
Planta întregă de grâu	45,2	6,4	42,9	1,41	0,71	0,21	0,12	0,24	0,12	0,09
Boabe de secară	45,7	6,4	44,0	1,91	0,66	-	0,17	0,49	0,11	0,16
Boabe de grâu	43,6	6,5	44,9	2,28	0,46	0,05	0,13	0,39	0,12	0,04

Câteva date caracteristice referitoare la compoziția diferitelor sorturi de biomasă agricolă sunt prezentate în tabelul 2.3.

Tabel 2.3. – Date caracteristice referitoare la compoziția diferitelor tipuri de biomasă agricolă [74]

Denumirea combustibilului	Puterea calorifică		Cenușă A ^{anh} [%]	Volatile V [%]	Temperaturi caracteristice ale cenușii			
	H _i	H _s			t _{agl.} [°C]	t _{inm.} [°C]	t _{top.} [°C]	t _{curg.} [°C]
	[MJ/kg]							
Paie de secară	17,4	18,5	4,8	76,4	935	1002	1147	1188
Paie de grâu	17,2	18,5	5,7	77,0	998	1008	1246	1302
Paie de triticales	17,1	18,3	5,9	75,2	891	911	1125	1167
Paie de orz	17,5	18,5	4,8	77,3	720	980	1113	1173
Paie de rapiță	17,1	18,1	6,2	75,8	1120	1273	1460	1403

2.1 - Generalități privind biomasa ca materie primă pentru obținerea de biogaz 37

Tuleie (tulpini) de porumb	17,7	18,9	6,7	76,8	930	1050	1120	1140
Planta întreagă de secară	17,7	19,0	4,2	79,1	-	-	-	-
Planta întreagă de grâu	17,1	18,7	4,1	77,6	949	977	1155	1207
Boabe de secară	17,1	18,4	2,0	80,9	-	710	-	810
Boabe de grâu	17,0	18,4	2,7	80,0	662	687	887	933

2.1.2. Biomasa forestieră

Când pădurile sunt defrișate, pe lângă tulpina copacilor, care este folosită pentru diverse aplicații conexe (construcții, mobilier, etc), reziduurile de calitate scăzută sunt de asemenea colectate. Pentru fiecare hectar de pădure, între 0.4 și 0.8 tone de lemn uscat pot fi obținute din aceste rămășițe [66] [84]. Alături de alte rămășițe de lemn produse în timpul lucrărilor de îngrijire a pădurilor, acestea produc anual combustibil dintr-o zonă de pădure utilizată permanent de aproximativ 1.5 t/ha.

În Tabelul 2.4. se prezintă câteva date caracteristice pentru combustibili creați din masă lemnoasă.

Tabel 2.4. - Date caracteristice pentru combustibili creați din masă lemnoasă [75]

Produse de lemn		Masă (kg)	Conținut de apă (%)	Valoare calorică (MJ/kg)	Conținut energetic (kWh)	Echivalent în combustibil pentru Producerea energiei termice (l)	Conținut de cenușă (kg)
Cantitate măsurată: 1t (lemn solid)							
Lemn tare (fag)	Uscat cu aer	1000	18	14,6	4069	407	4,1
	Uscat natural	1000	35	11,1	3085	308	3,3
	Verde	1000	50	7,9	2212	219	2,5
Lemn slab (molid)	Uscat cu aer	1000	18	14,9	4137	414	4,9
	Uscat natural	1000	35	11,3	3139	314	3,9
	Verde	1000	50	8,1	2315	225	3,0
Cantitate măsurată: 1t (produse lemnoase)							
Tableta de lemn	Uscat la cuptor	1000	10	17,0	4725	471	5,3
Rumeguș	Uscat la cuptor	1000	10	17,0	4536	453	5,4
Surcele	Uscat la cuptor	1000	10	17,0	4425	442	5,8
Măsurători aproximative: 1 m3 (așchii de lemn)							
Lemn tare (fag)	Uscat cu aer	283	18	14,6	1161	115	1,2
	Uscat natural	375	35	11,1	1050	108	1,2
	Verde	464	50	7,9	1028	103	1,2

38 Efecte pozitive ale folosirii biomasei în producerea biogazului biogazului - 2

Lemn slab (molid)	Uscat cu aer	202	18	14,9	838	84	1,0
	Uscat natural	265	35	11,3	792	81	1,0
	Verde	332	50	8,1	750	75	1,0
Măsurători aproximative: 1 m ³ (produse lemnoase)							
Tableta de lemn	Uscat la cuptor	600	10	17,0	2835	283	3,2
Rumeguș	Uscat la cuptor	202	10	17,0	823	82	1,1
Surcele	Uscat la cuptor	120	10	17,0	580	58	0,9
Măsurători la stivă cubică: 1 Stcm (bușteni despicăți)							
Lemn tare (fag)	Uscat cu aer	482	18	14,6	1961	196	2,0
	Uscat natural	608	35	11,1	1875	188	2,0
	Verde	669	50	7,9	1796	181	1,9
Tableta de lemn	Uscat la cuptor	345	18	14,9	1429	143	1,7
Rumeguș	Uscat la cuptor	436	35	11,3	1368	137	1,7
Surcele	Uscat la cuptor	517	50	8,1	1305	131	1,6

În Tabelul 2.5. este prezentată compoziția chimică pentru câteva din sorturile de masă lemnoasă.

Tabel 2.5. - Compoziția chimică a sorturilor de masă lemnoasă [38] [74]

Denumirea Combustibilului	C [%]	H [%]	O [%]	N [%]	K [%]	Ca [%]	Mg [%]	P [%]	S [%]	Cl [%]
Lemn de molid (cu coajă)	49,8	6,3	43,2	0,13	0,13	0,70	0,08	0,03	0,015	0,005
Lemn de fag (cu coajă)	47,9	6,2	45,2	0,22	0,15	0,29	0,04	0,04	0,015	0,006
Lemn de plop	47,5	6,2	44,1	0,42	0,35	0,51	0,05	0,10	0,031	0,004
Coajă (rășinoase)	51,4	5,7	38,7	0,48	0,24	1,27	0,14	0,05	0,085	0,019

Tabelul 2.6. evidențiază date caracteristice referitoare la compoziția diferitelor sorturi de biomasă forestieră.

Tabel 2.6. - Date caracteristice referitoare la compoziția diferitelor tipuri de biomasă lemnoasă [75]

Denumirea combustibilului	Puterea calorică		Cenușă A ^{anh} [%]	Vola-tile V [%]	Temperaturi caracteristice ale cenușii			
	H _i	H _s			t _{agl.} [°C]	t _{nm.} [°C]	t _{top.} [°C]	t _{curg.} [°C]
	[MJ/kg]							
Lemn de molid(cu	18,8	20,2	0,6	82,9	1188	1426	1500	1583

coajă)								
Lemn de fag (cu coajă)	18,4	19,7	0,5	84,0	-	-	-	-
Lemn de plop	18,5	19,8	1,8	81,2	1277	1335	-	1475
Coajă (rășinoase)	19,2	20,4	3,8	77,2	1292	1440	1460	1490

2.2. Pregătirea biomasei în vederea valorificării prin producerea de biogaz

În vederea valorificării biomasei se impune aplicarea mai multor etape pentru a conferi materialului vegetal condiții optime pentru a fi folosit.

Printre aceste etape se pot enumera tehnologii de reducere a dimensiunilor, transportul, depozitarea, respectiv uscarea biomasei.

2.2.1. Tehnologii de reducere a dimensiunilor biomasei

Atât pentru biomasa lemnoasă cât și pentru cea agricolă este foarte importantă reducerea dimensiunilor la valori potrivite pentru a fi folosite în procesele de fermentație anaerobă.

Granulația maximă pe care o necesită procesul de fermentație anaerobă este de 3 – 4 mm, astfel că se impun diverse operații în scopul atingerii granulației dorite.

Printre produsele obținute, se pot enumera așchiile de lemn cu lungime de 4 – 5 mm (figura 2.5.), sau granulele de lemn, cu lungimi de 3 – 4 mm [84]. În figura 2.6. sunt evidențiați peleții din lemn ce pot fi folosiți în procese de ardere. Ca și procedeu pentru modificarea granulației se folosește măcinarea materialului în echipamente dotate cu site de dimensiune prestabilită, respectiv tocarea acestuia în incinte dedicate, pentru a da materialului final granulația dorită.



Figura 2.5. – Așchii de lemn [87]



Figura 2.6. – Peleți din lemn [87]

De asemenea se mai folosesc resturile de material lemnos provenite în urma proceselor de tăiere respectiv rumegușul nefolosit.

Micșorarea dimensiunilor este necesară și pentru reducerea diametrului biomasei de proveniență agricolă, așa cum se poate observa în Figura 2.7.

În figura 2.8. sunt prezentate mostre de boabe de porumb deteriorat nemăcinat, iar în figurile 2.9. și 2.10. se evidențiază diferențele dintre granulații pentru același material (tărâțe de grâu : 1-2 mm și 0.5 mm).

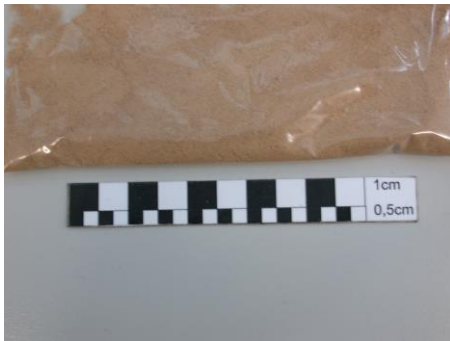


Figura 2.7. - Rumeșug fag măcinat 500μm



Figura 2.8.- Boabe porumb deteriorat



Figura 2.9. - Tărâțe de grâu 1- 2 mm



Figura 2.10. - Comparație între tărâțe de grâu 1- 2 mm și 0,5 mm

De menționat este și faptul că cerealele cu bob întreg (grâu, porumb) necesită o micșorare a diametrului inițial astfel încât să nu creeze probleme în timpul procesului de alimentare și de asemenea pentru a se descompune mai ușor pe durata procesului de fermentație anaerobă.

2.2.2. Transportul biomasei

Biomasa de natură lemnoasă

Pentru transportul biomasei lemnoase și agricole transportul se poate efectua folosind următoarele mijloace :

- > auto;
- > naval (maritim);

> căile ferate.

În figura 2.11. se evidențiază o etapă din cadrul procesului de exploatare a masei lemnoase.



Figura 2.11 – Exploatarea masei lemnoase [87]

Datorită conținutului caloric scăzut, volumul de depozitare cerut pentru combustibilii din masă lemnoasă este mai mare decât pentru petrol. O familie normală, de exemplu din Europa Centrală poate avea nevoie de 125 GJ, ceea ce corespund cu o cantitate de 3,5 m³ de petrol pe an. Echivalentul în surcele de lemn este de 30 – 40 m³.

O problemă legată de stocarea biomasei este aceea că biomasa trebuie uscată înainte de a fi depozitată într-un siloz. Lemnul ud, mai ales surcelele ude se pot înmuia, ceea ce poate crea probleme. În figura 2.12. este prezentat un depozit caracteristic de chereștea, iar în figura 2.13. este prezentat procesul de depozitare a masei lemnoase.



Figura 2.12. – Depozit chereștea [105]



Figura 2.13. – Depozitarea masei lemnoase [87]

La transportul și depozitarea biomasei sunt necesare echipamente speciale de protecție împotriva producerii incendiilor sau exploziilor.

Este important de menționat faptul că există puține șanse ca în cazul transportului de deșeu de lemn, sub formă de rumeguș, prezența acestui să ducă la blocaje în echipamentele de transport. În cazul transportării surselelor de lemn, șansele de apariție a blocajelor în echipamentele de transport cresc considerabil.

Biomasa de natură agricolă

Pentru transportul biomasei agricole, la fel ca și în cazul celei lemnoase, transportul se poate efectua folosind următoarele mijloace :

- > auto;
- > naval (maritim);
- > căile ferate.

La stabilirea mijlocului de transport se ține cont de condițiile de relief existente, rețeaua de transport prezentă în regiune, cantitatea de biomasă transportată și existența mijloacelor de transport.

Pentru depozitarea biomasei este necesară asigurarea spațiilor de depozitare care să permită păstrarea pe termen lung a caracteristicilor tehnologice.

2.2.3. Depozitarea pe termen lung a biomasei

Biomasa agricolă

Pentru păstrarea cerealelor, în locuri și spații special amenajate, se găsesc o serie de echipamente și instalații care să permită desfășurarea activităților de pregătire și depozitare pe termen lung a biomasei.

Depozitarea cerealelor în bune condiții necesită asigurarea cu spații corespunzătoare, special destinate acestui scop, care să îndeplinească următoarele condiții:

- > să fie ușor accesibile,
- > să ofere un spațiu de depozitare uscat,
- > să permită aerarea mecanică a produselor depozitate,
- > să permită controlul produselor pe timpul depozitării.

Silozurile de cereale, asigură cele mai bune condiții de conservare a cerealelor și asigură mecanizarea și automatizarea procesului tehnologic. [6] [7] Silozurile folosesc principiul de depozitare pe verticală, iar construcția lor este compartimentată celular și extinsă pe înălțime (până la 25 - 30 m). În figura 2.14. se prezintă un model de siloz metalic.



Figura 2.14. - Exemplu de siloz metalic [5]

Biomasa lemnoasă

Depozitarea pe termen lung a biomasei umede este problematică, deoarece la un conținut de umiditate mai mare de 20 % în stare umedă, nivelul crescut al activității biologice în timpul procesului de uscare a lemnului duce la încălzirea spațiului de depozitare, pierderea de material uscat și deteriorarea calității combustibilului. Concentrațiile ridicate de praf și spori produc ulterior probleme de sănătate.

Pentru scăderea activității biologice apărute în urma depozitării pe termen lung se aleg următoarele alternative:

- > depozitarea biomasei sub formă de bucăți mai mari pentru a reduce suprafața tăiată disponibilă activității biologice;
- > utilizarea substanțelor fungicide sau a altor agenți chimici pentru a suprima activitatea biologică;
- > reducerea umidității combustibililor până la un nivel la care activitatea biologică este redusă;
- > răcirea combustibilului depozitat la o temperatură la care activitatea biologică este redusă, prin ventilare forțată.

Proprietățile variabile ale combustibililor mai pot duce și la probleme de control. Cererea de aer de ardere pentru lemnul ud de exemplu, este mai mare decât pentru lemnul uscat. Sistemele de control avansate sunt capabile de a se adapta la rata fluxului de aer într-un mod adecvat, dar ele nu sunt disponibile în toate cuptoarele și trebuie realizate eforturi pentru a se asigura o calitate omogenă a combustibilului.

Și în cazul biomasei lemnoase, pentru depozitare se folosesc depozite special amenajate, respectiv spații care să asigure un anumit grad de izolare față de intemperii, și de asemenea un grad ridicat de ventilare pentru a preveni apariția mucegaiurilor, creșterea temperaturii în produs, toate acestea conducând la deprecierea caracteristicilor tehnologice ale biomasei.

2.3. Uscarea biomasei

În timpul desfășurării operațiilor de uscare, în structura produsului au loc modificări de bază fizice și biochimice, care îi conferă acestuia proprietăți superioare pentru depozitare în scopul conservării sau pentru prelucrare.

Printre modificările de bază de natură fizică, cele mai importante sunt reducerea umidității și modificarea distribuției acesteia. Importanța modificărilor de bază biochimice se regăsește în îmbunătățirea caracteristicilor de utilizare și în îmbunătățirea calității unor componente chimice. [9]

Se poate afirma că uscarea este o operație de îmbunătățire a calității produsului fără prelucrarea acestuia.

Apa este legată de produsele vegetale prin următoarele forme:

- > legarea chimică, se datorează forțelor moleculare, nu poate fi eliminată decât prin calcinare;
- > legarea fizico - chimică, se datorează forțelor ce se dezvoltă în microcapilarele produsului precum și în spațiile intramoleculare ale acestuia;
- > legarea fizică, se referă la apa reținută mecanic în macrocapilarele produsului. [8]

La stabilirea regimului de uscare se are în vedere obiectivul esențial al conservării biomasei, și anume menținerea însușirilor calitative ale acesteia.

Optim, se poate considera acel regim care permite realizarea procesului de uscare într-un timp scurt, cu un consum energetic minim și cu menținerea intactă a proprietăților biomasei, cu respectarea normelor de bune practici și în deplin consens cu legislația existentă.

În figurile 2.15. și 2.16. sunt prezentate două tipuri distincte de uscătoare folosite în cadrul procesului de uscare a biomasei.



Figura 2.15. - Uscător de tip "Baschild" [105]



Figura 2.16. - Uscător în vacuum [105]

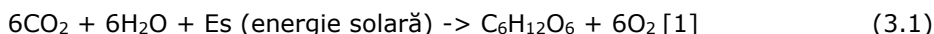
Regimul de uscare se stabilește în funcție de:

- > umiditatea inițială a biomasei,
- > tipul culturii,
- > destinația biomasei supusă uscării,
- > tipul uscătorului.

3. OBȚINEREA BIOGAZULUI DIN BIOMASĂ

3.1. Concepte privind organizarea procesului de obținere a biogazului

Biogazul rezultă din degradarea microbiană a biomasei formată prin fotosinteză din energia solară.



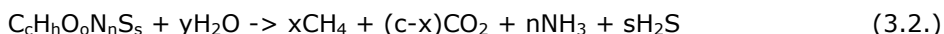
Dioxid de carbon + Apă + Energie Solară \rightarrow Zahăr(Glucoză) + Oxigen

Procesul metabolic din plante transformă următorii compuși în produse secundare:

Carbohidrați - amidon, insulină, celuloză, zahăr, pectină
Grăsimi - grăsimi, acizi grași, ulei, fosfați, caroten, ceară
Proteine - proteine, nucleoproteine, fosfoproteine
Altele - Vitamine, enzime, rășini, toxine, uleiuri esențiale.

În timpul metabolismului zahărului, planta degajă energie, când este necesar, mediului înconjurător, astfel că producția de energie din plante poate să varieze mult.

Cu ajutorul unei ecuații de aproximare a lui Buswell (1930), producția maximă teoretică de metan poate fi estimată luând ca bază compoziția elementară.:



unde $x=0.125(4c+h-2o-3n+2s)$

$y=0.250(4c-h-2o+3n+2s)$

sau simplificat: $\text{C}_c\text{H}_h\text{O}_o \rightarrow (c/2+h/8-o/4)\text{CH}_4$

În tabelul 3.1. sunt prezentate componentele principale ale plantei cu excepția azotului și sulfului.

Tabelul 3.1. Componentele principale ale plantei fără azot și sulf [20]

Carbohidrați	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$
Grăsimi	$\text{C}_6\text{H}_{32}\text{O}_2$
Proteine	$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_2$

Producția de metan per hectar poate fi calculată din producția per hectar a materiei uscate. Acest lucru depinde de plantare, care ar trebui să fie cât se poate de productivă.

Astfel, energia colectată și înmagazinată în biogaz este regenerabilă, deoarece provine din substanță organică regenerabilă. Faptul că energia fosilă nu mai este folosită, iar alternativele devin din ce în ce mai necesare, utilizarea biogazului devine din ce în ce mai importantă. Suplimentar, utilizarea energetică a biogazului

RuBisCo catalizează fotosinteza și fotorespirația. Leagă oxigenul precum și dioxidul de carbon și se comporta ca hidroxid. Pentru a se realiza fotorespirația, cloroplastele, mitocondriile și glioxizomii, celule componente în zona mitocondriilor, trebuie implicate în proces.

În figura 3.1. este prezentat ciclul Calvin, în care sunt puse în evidență toate procesele caracteristice care au loc în interiorul structurii platelor energetice de tipul C3.

Raportul fotosinteză – fotorespirație este definit de raportul CO₂ și O₂ din atmosferă.

În zonele moderate, ca de exemplu în Europa Centrală, fotorespirația plantelor joacă un rol secundar. Predominant plantele C3, care folosesc o reacție independentă de intensitatea luminoasă, există pentru a lega CO₂.

Denumirea de plante C3 este conexă cu faptul că pentru primul produs stabil în ciclul Calvin, după ce CO₂ fixează 3PGS (fosfoglicerina) acesta prezintă 3 atomi de carbon.

Structura frunzei plantelor C3 este stratificată. În timpul verilor călduroase transpirația și evaporarea la suprafață crește. Pentru a se minimiza pierderile de apă, plantele își închid porii. Astfel CO₂ nu mai poate fi absorbit prin pori, astfel fotosinteza este oprită și producția de biomasă e limitată.

În plus, producția de biomasă depinde de sol precum și de toate condițiile climatice: în unele regiuni ale pământului producția poate fi chiar și de 5 ori mai mare ca în Germania.

Printre plantele C3 reprezentative se pot enumera: iarba energetică, ceapa, fasolea, tutunul.

Majoritatea plantelor C3 sunt bine adaptate la zonele climatice moderate dar nu aride, sărate cu aer fierbinte sau uscat. În aceste condiții climatice raportul fotosinteză – fotorespirație crește de la 2:1 și are un impact negativ asupra producției.

Plantele C4

Există un larg grup de 1700 de variante de plante C4 care sunt de asemenea adaptate la climatele fierbinți și uscate și cresc în zone aride sau sărate. Acest lucru este posibil din moment ce fixarea CO₂-ului se întâmplă în plantele C4 spațial separat de locul unde există ciclul Calvin.

Comarate cu plantele C3, frunzele plantelor C4 sunt anatomic diferite. Separarea spațială a CO₂ are loc în celule distanțate una față de cealaltă, ambele conținând cloroplaste dar de diferite tipuri. Căile vasculare prin care se transportă lichidul celular sunt acoperite de un strat de celule compacte care sunt înconjurate de celulele mezofile.

Plantele C4 au unele avantaje față de plantele C3:

- > pot genera biomasă de două ori mai repede în condiții favorabile;
- > frunzele superioare sunt direct perpendiculare spre soare astfel încât cele mai de jos să aibă suficientă lumină chiar și în condiții de lumină nefavorabilă;
- > au nevoie doar de jumătate din cantitatea de apă necesară plantelor C3;
- > se adaptează în locații calde și uscate;
- > nu au nevoie de pesticide ci doar de unii fertilizatori în primul an;
- > sunt plante perene.

În figura 3.2. este prezentată anatomia frunzelor unei plante C4.

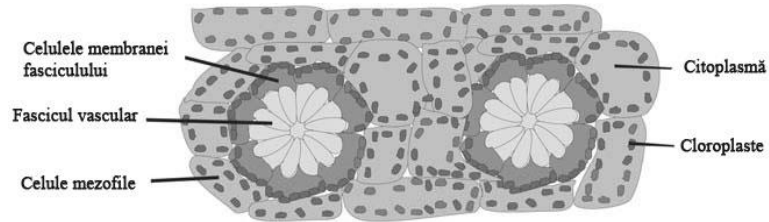


Figura 3.2. – Anatomia frunzelor unei plante C4 [20]

În figura 3.3. se evidențiază câteva din tipurile de culturi energetice : porumb energetic de aproximativ 5 m înălțime, sorg, și microalgă chlorella.



Figura 3.3. – Porumb energetic de aproximativ 5 m înălțime (în partea stângă), Sorg (dreapta) și microalgă chlorella (în partea de jos). [20]

- Dintre principalele avantaje conexe cu plantele de tip C4 se pot enumera :
- > Plantele C4 necesită doar jumătate din cantitatea de apă necesară pentru plantele de tip C3;
 - > Plantele C4 se adaptează locațiilor calde și uscate;
 - > Plantele C4 nu necesită folosirea de pesticide ci doar a unor fertilizatori în primul an.

3.1.2. Caracteristicile biogazului și producția la nivel european

Una din cele mai reprezentative țări la nivel european în ceea ce privește producția de biogaz din biomasă este Germania.

Astfel, în figura 3.4. se prezintă producția de biogaz din diferite surse în Germania.

3.1 - Concepte privind organizarea procesului de obținere a biogazului 49

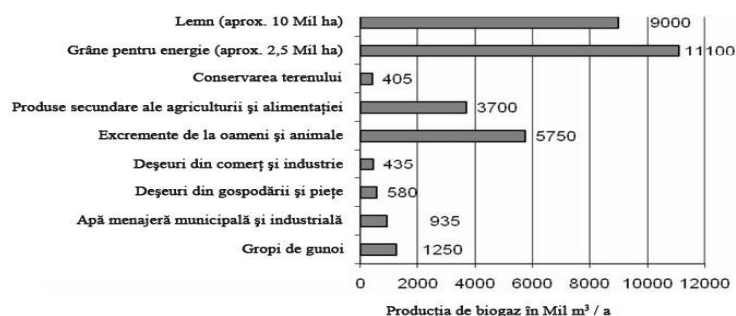


Figura 3.4. – Producția de biogaz din diferite surse în Mil m³ / an [28]

În tabelul 3.2. se prezintă potențialul de energie din biogaz din diferite surse în Germania.

Tabelul 3.2. Potențialul de energie din biogaz din diferite surse [28]

Surse de producere a biogazului	Potențialul energetic [TWh/an]
Groapă de gunoi	6
Ape reziduale comunale si industriale	
Deșeu organic din gospodării si piețe	18
Deșeu organic din industrie	
Excremente	
Produse secundare din agricultură și industria alimentară	47
Material de la conservarea peisajului	
Plantarea de plante energetice	141
Lemn	187
Urină	4
Nutrienți din ape reziduale	5
Total	408

Tabelul 3.3 - Caracteristicile generale ale biogazului [20]

Compoziție	55-70% metan (CH ₄) 30-45% dioxid de carbon Urme de alte gaze
Conținut energetic	6.0-6.5 kWh/m ³
Combustibil echivalent	0.60-0.65 L ulei/m ³ biogaz
Limitele exploziei	6-12% biogaz în aer
Temperatura de aprindere	650-750 ° C (cu conținutul de metan menționat mai sus)
Presiunea critică	75-89 bar
Temperatura critică	-82.5 ° C
Densitatea normală	1.2 kg / m ³
Mirosul	Ouă clocite (mirosul biogazului desulfurat abia se simte)
Masa molară	16.043 kg / kmol

În tabelul 3.3. se evidențiază caracteristicile generale ale biogazului.
Tabelul 3.4. prezintă caracteristicile generale ale metanului.

Tabelul 3.4. - Caracteristicile metanului [20]

	Temperatura	Presiunea [bar]	Densitatea [kg /L]
Punct critic	-82.59° C (190.56 K)	45.98	0.162
Punctul de fierbere la 1.013 bar	-161.52° C (111.63 K)	-	0.4226
Punct triplu	-182.47° C (90.68 K)	0.117	-

În tabelul 3.5. sunt evidențiate componentele tipice și impuritățile din biogaz.

Tabel 3.5. - Componente tipice și impurități în biogaz [20]

Componentă	Conținut	Efect
CH ₄	<50% din volum > 50% din volum	- proprietăți de ardere reduse (nu susține arderea) - corelat cu procentul de metan din volum are loc creșterea calității biogazului - susține arderea dar necesită o purificare ulterioară pentru înlăturarea impurităților
CO ₂	25-50% din volum	- scade valoarea calorică - crește proprietățile antișoc ale motorului - cauzează coroziunea (concentrații scăzute de acid carbonic), dacă gazul e ud - distruge celulele alcaline de combustibil
H ₂ S	0-0.5 % din volum	- efect coroziv în echipament și sistemul de alimentare (corodare la stres); de aceea, mulți producători impun o limită superioară de 0.05 % din volum - emisii de SO ₂ în urma arderilor de H ₂ S cu combustie imperfectă – limită superioară de 0.1 % din volum - deteriorează catalizatorii
NH ₃	0-0.05% din volum	- emisiile de NO _x ca urmare a arderilor dăunează camerelor cu combustibil - crește proprietățile antișoc ale motorului
Vapori de apă	1-5% din volum	- cauzează corodarea echipamentului și sistemului de alimentare - condensarea distruge instrumentele și uzinele de gaz - risc de îngheț al sistemului de alimentare și ale orificiilor
Praf	> 5μm	- blochează orificiile și camerele cu combustibil
N ₂	0-5% din volum	- scade valoarea calorică - crește proprietățile antișoc ale motorului
Siloxani	0-50 mg m ⁻³	- acționează ca un abraziv și distruge motorul

3.1.3. Elemente prezente în compoziția biogazului

3.1.3.1. Metanul și dioxidul de carbon

Compoziția biogazului (referitor în principal la raportul CO_2 / metan) poate fi controlată doar parțial. Ea depinde de următorii factori:

Adăugarea de compuși hidrocarbonați cu lanț lung, de exemplu, materiale bogate în grăsimi, cu condiția ca acestea să fie în cantități rezonabile și nu prea mari, pentru a evita aciditatea.

După cum se poate observa din figura 3.5., conținutul de metan crește odată cu numărul de atomi de C din substrat.

În general, descompunerea anaerobă a biomasei se îmbunătățește cu creșterea timpului de expunere. Spre sfârșitul perioadei de staționare conținutul de metan crește disproportional față de conținutul de CO_2 în special de îndată ce procesul de hidroliză ce eliberează CO_2 începe să dispară.

Procesul de fermentație are loc mult mai repede și mai bine distribuit dacă materialul din bioreactor este activat bine și omogen. Timpul de expunere poate fi mai scurt

Dacă substratul este bine încastrat în structuri de lignină, tipul de dezintegrare a substratului devine important. Structura trebuie să fie spartă și defibrată, mai degrabă decât tăiată.

Un conținut mai bogat de lichid în bioreactor duce la o concentrație mai mare de CO_2 dizolvat în apă, reducând nivelul de CO_2 în fază gazoasă

Cu cât este mai mare temperatura din timpul fermentației, cu atât este mai mică concentrația de CO_2 dizolvat în apă

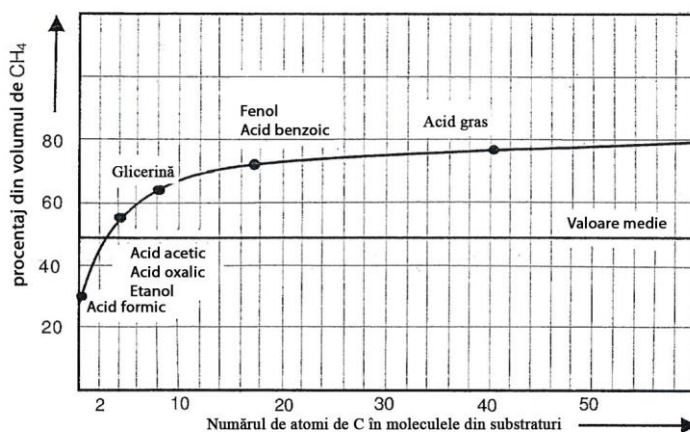


Figura 3.5. – Corelarea dintre conținutul de metan din biogaz și lungimea lanțului de carbon [20]

O presiune mai mare duce la o concentrație mai mare de CO_2 dizolvat în apă. Aceasta poate influența pozitiv calitatea gazului dacă materialul de la fundul reactorului este eliminat deoarece se elimină astfel CO_2 .

Trebuie evitată o cădere în alimentarea cu electricitate pentru o hidroliză completă și suficientă a materialului. Este important ca materialul ce urmează a fi aruncat să fie descompus complet

Substratul trebuie să fie pregătit corespunzător pentru a grăbi și intensifica descompunerea

3.1.3.2. Amoniacul

Concentrația de amoniac este în general foarte scăzută (sub $0.1 \text{ mg} / \text{m}^3$ biogaz). Poate depăși $1 \text{ mg} / \text{m}^3$ până la $1.5 \text{ mg} / \text{m}^3$ doar când o cantitate mare de co-substrat e utilizată în instalația de producere a biogazului (62.5%).

Acest lucru se întâmplă mai ales când fermentează excremente de pui sau tipuri speciale de deșeuri. S-au raportat concentrații de până la $150 \text{ mg} / \text{m}^3$, care pot degrada arderea și reduce viața motorului.

3.1.3.3. Hidrogenul sulfurat

Conținutul de hidrogen sulfurat din gazul de evacuare depinde de proces și de tipul deșeurii. Fără o etapă de desulfurare, concentrația de H_2S deseori depășește 0.2 % din volum. Dacă fermentează un substrat vâscos, conținutul de H_2S este mai scăzut decât dacă se folosește substrat lichid. De asemenea, este mai mic în cazul gunoiului biologic decât în cazul rămășițelor, gunoiului lichid și co-substratului agricol.

Un obiectiv important este păstrarea conținutului de H_2S cât mai scăzut posibil, deoarece componentele de după instalație sunt degradate de H_2S . Prin urmare biogazul este de obicei desulfurat cât timp se află încă în reactor.

H_2S poate fi redus prin aplicarea unui desulfurator grosier în reactor. Acest pas intermediar poate ajuta la reducerea conținutului cu până la $70 \text{ mg}/\text{m}^3$ când se folosesc co-substraturi sau până sub $310 \text{ mg}/\text{m}^3$ în uzinele ce utilizează gunoi lichid pur pentru fermentare. Dar chiar și cu desulfurare, conținutul de H_2S al biogazului este relativ ridicat.

În general, toate tipurile de biomasă pot fi utilizate ca substrat atâta timp cât conțin hidrocarburi, proteine, grăsimi, celuloză și hemiceluloză ca și componente principale. Este important ca următoarele puncte să fie luate în considerare când se selectează biomasa:

- > Conținutul de substanțe organice trebuie să fie potrivit pentru tipul de fermentație ales
- > Valoarea nutritivă a substanței organice, deci potențialul formării gazului, trebuie să fie cât mai mare.
- > Substratul nu trebuie să conțină patogeni sau alte organisme care trebuie făcute inofensive înainte de fermentație
- > Conținutul de substanțe dăunătoare și gunoi menajer trebuie să fie cât mai mic pentru a permite ca procesul de fermentație să fie lin
- > Compoziția biogazului trebuie să fie potrivită pentru utilizările ulterioare
- > Compoziția reziduurilor fermentației trebuie să permită utilizarea acestora ca fertilizatori, de exemplu
- > Lignina, constituentul principal al lemnului, și majoritatea polimerilor organici sintetici (materialele plastice) se descompun greu.

În figura 3.6. este prezentată producția de biogaz corelată cu procentul de co-fermenți din plantele agricole.[20]

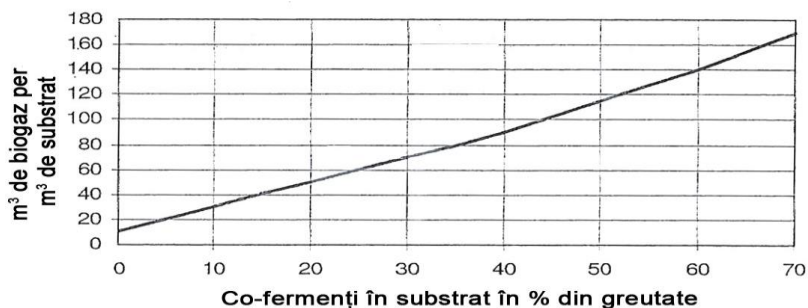


Figura 3.6. – Producția de biogaz în corelație cu procentul de co-fermenți din plantele agricole [20].

Referitor la aptitudinea substratului, trebuie avut în vedere faptul că biogazul poate lua naștere numai din masa uscată respectiv numai din partea organică a masei uscate. Din această cauză, contribuția masei uscate organice referitoare la întreaga masă, reprezintă un prim criteriu în alegerea „ingredientelor” substratului. Nu este deci de mirare că randamentul gazului pe tonă (ca unitate de măsură) este mai mare la boabele de cereale decât la însilozările de plante sau chiar la îngrășăminte care au un conținut apos evident mai ridicat.

Contribuția anorganică, numită în chimia analitică cenușă brută, constă din nisip, pământ, pietre, abraziuni ale metalelor componentelor mașinilor prelucrătoare și substanțe asemănătoare care ajung în recolte, în urină sau în resturile organice. Această contribuție nu este agreată în procesul de formare a biogazului, deoarece nu ajută la formarea gazului, și în afara de aceasta, poate provoca probleme tehnice precum formarea sedimentelor.

Substanța organică se compune din proteine, grăsimi, precum și din hidrați de carbon greu solubili.

3.1.3.4. Grăsimile

Grăsimile reprezintă esterul alcoolului trivalent, glicerina, de care sunt atașați unul până la trei acizi grași (acizi de carbon) egali sau diferiți. Se numesc corespunzător mono-, di- sau trigliceride. Grăsimile sunt amestecuri de trigliceride diferite și sunt descompuse în acizi grași și glicerină. Prea multă grăsime produce acumularea acizilor organici, prin care valoarea pH-ului scade și acizii acetici, iar formarea metanului este oprită.

3.1.3.5. Proteinele

Proteinele (albușul de ou) reprezintă legături cu greutate moleculară mare formate din aminoacizi. Constau, ca și hidrații de carbon și grăsimile, din carbon C, hidrogen H și oxigen O, dar pot acumula azot, sulf și chiar fosfor. Proteinele devin peptide, apoi aminoacizi și în final sunt descompuse în acizi organici. Descompunerea albușului de ou și a grăsimilor nu este influențată, ca și la hidrații de carbon, de formarea rațiilor.

În grupa hidraților de carbon există legături ușor solubile până la hidrați de carbon îmbinați cu structuri ramificate și complexe, greu decompozabile:

- > *Monozaharide* : monozaharul - de exemplu glucoza, fructoza;
- > *Oligozaharide* (până la 10 monozaharide): zaharoza (zahăr din trestie), lactoza (lactoza), maltoza (maltoza)
- > *Polizaharide* (echilibre moleculare ridicate): amidon, clucogen, celuloza, inulina
- > *Heteropolizaharide* (hidrați de carbon îmbinați cu structuri complexe): hemiceluloza, pectina. Lignina nu este de fapt un hidrat de carbon, dar în chimia analitică este cuprinsă în grupa hidraților de carbon. Reprezintă substanța de lemnificare a plantelor și are capacitatea de a opune rezistență acizilor și descompunerii bacteriale. Lignina se poate descompune foarte greu.

3.2. Instalații pentru obținerea biogazului

Tehnologia biogazului este introdusă în industrie în special pentru producția de energie electrică. O altă utilizare a tehnologiei este curățarea apei reziduale comunale și orășenești a agenților patogeni și a mirosurilor. În multe dintre țările care folosesc o astfel de tehnologie există programe de finanțare națională pentru cursuri, care includ specializarea în domeniul construcției, montajului și exploatarea corespunzătoare a instalațiilor de acest tip.

Chiar dacă Germania ocupă o poziție de vârf în Europa în ceea ce privește utilizarea tehnicii biogazului, în special în domeniul instalațiilor agricole, la co-fermentarea și fermentarea deșeurilor, totuși, în câteva țări asiatice tehnologia agricolă a biogazului, în special pentru micile întreprinderi agricole, este larg răspândită.

În India, China și Nepal deja la începutul anilor '70 s-au inițiat cercetări la instalațiile de biogaz și utilizarea lor. S-a stabilit că femeile și copiii s-au îmbolnăvit de boli grave la ochi, care au dus chiar la orbire datorită activităților de preparare a mâncării realizate cu ajutorul biogazului de slabă calitate provenit din diverse procedee.

În cele mai multe dintre aceste țări, instalațiile mici și foarte mici de biogaz lucrează cu un volum de depozit de fermentare între 1 și 4 m³. Pe lângă acestea există și instalații medii cu volume între 10 și 100 m³ pentru un sat și instalații mai mari pentru cooperative.

În China există în prezent circa 5 milioane de instalații mici de biogaz. Potențialul tehnic de energie prin biogaz este apreciat în China până la 145 miliarde m³ gaz pe an. Această cantitate ar fi suficientă pentru a alimenta întreaga populație chineză cu energie pentru gătit și iluminat. Pregătirea acestei cantități ar necesita circa 200 milioane de instalații de biogaz, ceea ce încă nu produce potențialul necesar de 97,5%.

Cele mai multe instalații sunt sisteme cu calotă fixă cu o dimensiune între 6 și 10 m³ volum. Doar puține instalații sunt construite la o dimensiune mai mare și ating 20 până la 50 m³.

În India, prima instalație de biogaz a fost construită în 1887 în Bombay, în spitalul de leproși. În 1939 au fost demarate lucrări de cercetare la Institutul agricol de Cercetare New Delhi cu dejecții bovine. În 1952 renumitul pionier al biogazului din India J.J. Patel a dezvoltat primul model al unei instalații mici de biogaz cu clopot plutitor de gaz, din care în 1955 au fost construite aproximativ 500. Acest tip a fost cunoscut sub denumirea de „Instalație de gaz Gobar” și pe lângă instalația chinezească cu sisteme cu calotă fixă, sunt cele mai răspândite în lume. [28]

India ocupă unul dintre primele locuri cu 3 milioane de instalații de biogaz.

Trendul marilor instalații a continuat și la începutul anilor '90. Megaferme în Asia, Africa și America Latină cu 10.000 de vite și peste 100.000 locuri pentru porci pentru îngrășat, la distanță de marii poluatori de ape în zonele respective, sunt interesate de această tehnologie. Fără alternative la rezervele de petrol fosile, țările industriale cum sunt India și China, apelează la tehnica Kraft - Wärme - Kopplung (cuplare lucru mecanic - căldură) pe bază de biogaz de origine agricolă.

Și în țări ca Japonia, Australia, Noua Zeelanda, Chile și Argentina se disting din ce în ce mai mult activități cu biogaz. În proiectul „Anaerobtehnologie” („Tehnologia anaerobă”) (1998) a Societății pentru Colaborare Tehnică din Eschenborn Germania, a fost dezbătută situația prezentă la nivel mondial.

Chiar și în SUA crește interesul pentru această tehnologie. Și deși au existat multe cercetări și dezbateri pe tema tehnicii producerii biogazului, țara dispune de un mare potențial de biomasă, iar premisele pentru structura marilor întreprinderi este favorabilă, numărul de instalații nu s-a modificat până astăzi (30-50 de instalații).

În prezent, datorită specializării în domeniul zootehniei, se oferă condiții bune pentru utilizarea de biogaz țărilor est europene precum Ungaria, Slovenia, Slovacia, Cehia, Polonia, și România. În toate țările s-au construit instalații de biogaz, dar un număr redus mai funcționează în prezent.

Până în anul 2000, cele mai multe impulsuri au venit din partea Germaniei și a Danemarcei. În Germania, cea mai mare răspândire au avut-o instalațiile de la ferme, în timp ce în Danemarca s-au impus mai întâi instalațiile mari. În prezent, pe lângă cele 22 de instalații colective, există alte 60 de instalații individuale după modelul german. Și în ciuda stagnării între anii 2001 și 2004, în Danemarca apar din nou instalații mari cu separări conectate ulterior, în care trebuie fermentate deșeuri menajere, urină și plante energetice. Și în Germania există tot mai multe concepte de soluționare ce se află în desfășurare sau în fază de proiect.

3.2.1. Criterii de clasificare [48][57][63]

După dimensiunea instalațiilor se regăsesc :

Instalații mici, de tip gospodăresc.

Instalațiile de tip gospodăresc statice sau dinamice se utilizează în zonele rurale folosind ca sursă de alimentare, apele uzate menajere provenite din gospodăria, dejecțiile animaliere și deșeurile organice vegetale (iarbă, frunze, paie, coceni, etc). Aceste instalații asigură:

- > o parte din energia necesară pentru prepararea alimentelor, încălzitul apei și a locuinței și în anumite situații chiar și energia electrică necesară pentru iluminat și pentru funcționarea aparatului electro-casnice (boiler, frigider, etc);
- > nutrienții necesari pentru culturile agricole (îngrășământ);
- > protecția mediului înconjurător.

Instalații de capacitate medie

Instalațiile de biogaz de capacitate medie se recomandă pentru valorificarea energetică a maselor organice colectate de la grupurile de gospodăria din mediul rural, de la cvartalele de locuințe din zonele urbane, de la fermele de animale, de la

fabricile industriei alimentare precum și a nămolurilor din stațiile de epurare ale localităților cu până la 25000-50000 locuitori echivalenți. Gazul produs se poate utiliza pentru consumul propriu, la încălzitul digestoarelor, pentru preparatul hranei, producerea de apă caldă, încălzitul spațiilor de locuit și pentru producerea apei calde menajere și a celei necesare proceselor tehnologice.

Instalații de mare capacitate

Instalațiile de tip industrial se recomandă pentru valorificarea dejectiilor animaliere provenite din fermele agrozootehnice precum și a nămolurilor din stațiile de epurare ce deservește localități cu peste 100000 locuitori echivalenți. Gazul produs se poate utiliza pentru încălzitul reactoarelor, a clădirilor anexe, producerea de energie electrică necesară pentru iluminat sau pentru alimentarea motoarelor cu ardere internă.

În funcție de regimul de funcționare se regăsesc :

Instalații statice

Digestoarele de tip static sau cu alimentare discontinuă, sunt utilizate în unitățile gospodărești și sunt încărcate de 2-3 ori/an. Sunt prevăzute cu instalații de amestec manuale. Aceste instalații sunt specifice gospodăriilor individuale izolate sau caselor de vacanță cu activitate permanentă sau sezonieră. Încărcarea acestor instalații cu materialul organic se face de regulă primăvara, fiind utilizate de regulă pe parcursul anotimpului cald. Funcționarea instalațiilor statice este ciclică și reflectă modul de creștere și dezvoltare a microorganismelor din fermentator. Acest proces este caracterizat, la început, printr-o fază lentă, urmat apoi de o fază rapidă de creștere până la atingerea unui plafon maxim, după care se trece în faza de descreștere care se continuă în final cu o fază de moarte a microorganismelor. Similar, după introducerea materiei organice în fermentator, producerea de biogaz începe să crească până la atingerea unei valori maxime, după care producția începe să scadă lent până aproape de zero, moment în care materialul organic epuizat, este evacuat din fermentator și urmează un nou ciclu.

Instalații semidinamice

Digestoarele semidinamice sunt o combinație între digestoarele statice și cele dinamice. Alimentarea se face de regulă primăvara cu o șarjă de bază urmând ca aceasta să se completeze ori de câte ori este posibil cu material organic proaspăt, astfel încât producția de biogaz să se mențină constantă pe parcursul întregului sezon.

Instalații dinamice

La instalațiile de biogaz dinamice sau cu alimentare continuă, cantitatea de material fermentat îndepărtată zilnic din fermentator este înlocuită cu o cantitate egală de material proaspăt.

După tipul de fermentație folosit se întâlnesc :

Instalații cu producere de biogaz prin fermentație aerobă – în acest caz procesul de fermentație se realizează în prezența aerului.

Instalații cu producere de biogaz prin fermentație anaerobă – în acest caz procesul de fermentație se realizează în absența aerului.

3.2.2. Modele de procese pentru obținerea a biogazului prin fermentație anaerobă

Procesul WABIO-Vaasa a fost inventat de Ecotechnology JVV OY din Finlanda. Procesul se desfășoară într-un singur ciclu (figura 3.7.). Prima instalație pentru 10000 tone reziduuri / an a fost construită în 1991 în Vaasa în Finlanda. A doua instalație pentru reziduuri casnice cu o capacitate de 6500 tone reziduuri / an a fost ridicată în 1993 în Bottrop, Germania.

O caracteristică a procesului este faptul că amestecarea se realizează prin injectarea de biogaz rezultat în urma hidrolizei sau de biogaz reciclat.

Reziduu de fermentare este deshidratat până la 40% material uscat cu ajutorul unei prese sau a unui decantor și apoi este trecut printr-un proces de aerare prin rotire.

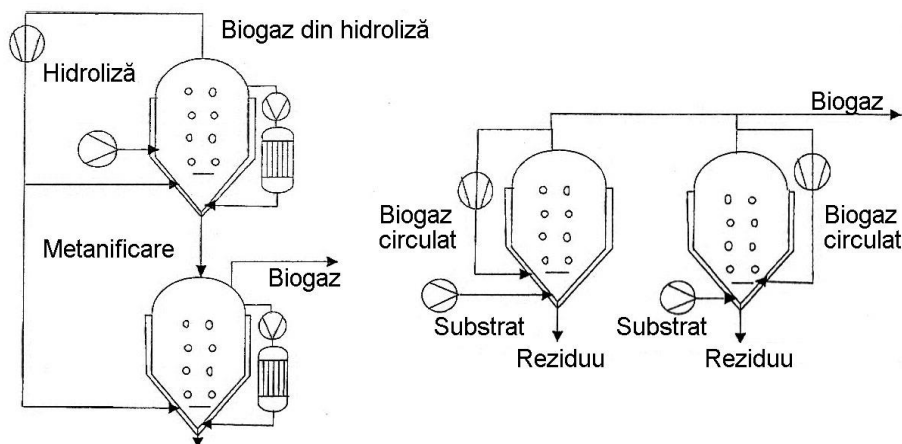


Figura 3.7. – Instalații ce funcționează după procesul WABIO-Vaasa : (Finlanda) (stânga) și Bottrop (Germania) (dreapta) [20]

Pentru acest tip de instalație s-a observat repede că gazul rezultat produce atâtea impurități încât compresorul se umple relativ repede cu acestea, astfel, în ultimii ani acest proces nu a mai fost implementat.

Procesul DUT își trage numele de la compania care l-a dezvoltat. Procesul se desfășoară cu un de materie uscată de 20% și o perioadă de proces anaerob (hidroliză + formare metan) asupra solidelor de 25 de zile (figura 3.8.).

O caracteristică a procesului este faptul că hidroliza se desfășoară la 25 - 28°C pentru a minimiza producerea de metan. Gazul de hidroliză, care la temperaturi scăzute de hidroliză este alcătuit în mare parte din CO₂, este injectat în reactorul de metan pentru a ajuta la amestecare.

Suspensia din reactorul de hidroliză este circulată în mod continuu printr-un schimbător de căldură extern.

În acest proces, gazul de hidroliză trebuie filtrat pentru a preîntâmpina murdărirea compresorului. Până în prezent nu s-a realizat implementarea acestui proces într-o instalație de mari dimensiuni.

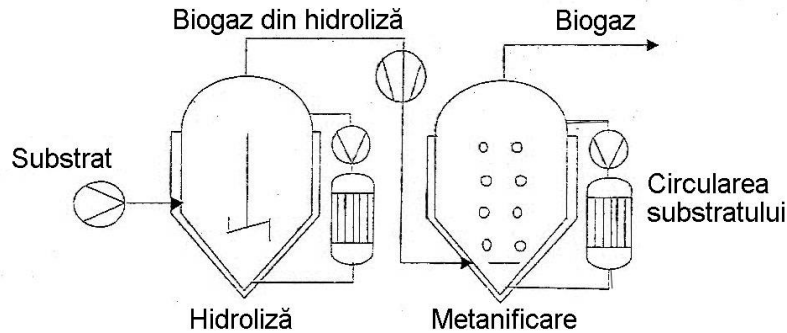


Figura 3.8. – Procesul DUT [20]

Procesul Bigadan este un proces cu un ciclu mezofilic cu salubritate. Include un interesant sistem complex de recuperare a căldurii (figura 3.9.).

Instalațiile au fost produse la mijlocul anilor 1990 în Germania, cu capacitate de convertire a îngrășământului lichid de 40000-128000 tone/an cu amestecare aditivă a reziduurilor biologice.

Sistemul de recuperare a căldurii este într-adevăr interesant dintr-un punct de vedere tehnic, dar în instalațiile de biogaz este oricum disponibilă destulă căldură; ca urmare schimbătorul de căldură, care este complicat și dificil de curățat, se poate să nu fie necesar.

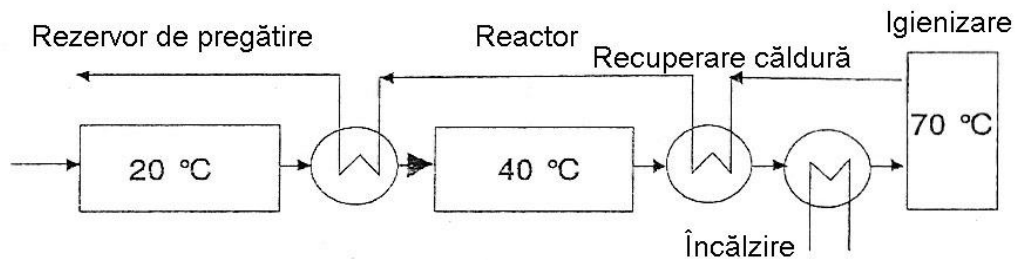


Figura. 3.9. – Procesul Bigadan [20]

Procesul Valorga a fost creat special pentru tratarea reziduurilor biologice comunale, a reziduurilor alimentare și a sedimentelor din canalizare. Procesul este bazat pe fermentarea anaerobă cu un conținut de masă uscată de 25-35%. [20]

Procesul de fermentare – începând de la hidroliză și până la formarea metanului – are loc în condiții anaerobe într-un singur bioreactor cilindric vertical.

Datorită aranjamentului vertical al bioreactorului reziduurile de la fermentare pot fi golite gravitațional, fără utilizarea unor dispozitive mecanice. Consumul de energie al procesului ajunge la 25 – 50 kWh/tonă ca electricitate și 20 – 30 kWh/tonă ca și echivalent termic.

Un perete despărțitor împarte bioreactorul pentru a asigura un circuit de circulație verticală. Deschiderile pentru alimentare și pentru descărcarea substratului sunt localizate la mijlocul pereților în părți diametral opuse. Prin urmare, amestecarea biomasei în întregul volum al bioreactorului este susținută. Procesul Valorga nu necesită nici un dispozitiv mecanic în interiorul bioreactorului. Geometria specială pe care o are reactorul împreună cu sistemul de amestecare verticală garantează un timp de depunere stabil (2 - 4 săptămâni) și o salubritate completă a substratului fără o curgere ocolitoare și o producție de gaz de 80 -180 Nm³/tonă.

În figura 3.10. este prezentată o instalație de biogaz care funcționează după procesul Valorga.

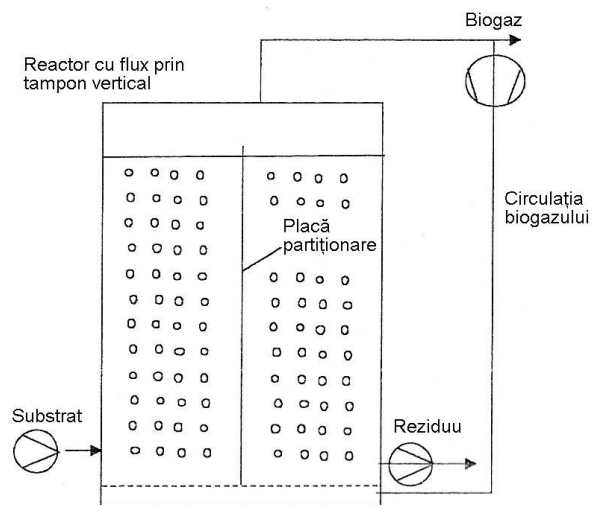


Figura 3.10. – Instalația de biogaz Valorga [20]

Chiar și această instalație utilizează biogaz pentru amestecare, și prin urmare necesită o curățare minuțioasă a gazului pentru a se evita poluarea compresorului.

3.2.2.1. Caracteristici ale procesului de fermentație anaerobă

Există 4 faze principale în procesul de fermentație anaerobă : hidroliza, acidogeneza, acetogeneza și metanogeneza (figura 3.11.).

Cele patru faze sunt legate între ele, astfel că fiecare dintre ele poate influența procesul de formare a biogazului în ansamblu. Dacă prima fază se desfășoară prea repede, CO₂-ul crește în biogaz, concentrația de acid se mărește și valoarea pH-ului scade sub 7,0. Fermentația de acid este apoi prezentă și în a doua fază. Dacă a doua fază se desfășoară prea rapid, producția de metan este redusă.

Cu produsele greu degradabile biologic, stagiul hidrolitic limitează rata de degradare. În stagiul al doilea, este posibil ca acetogeneza să limiteze gradul de degradare.

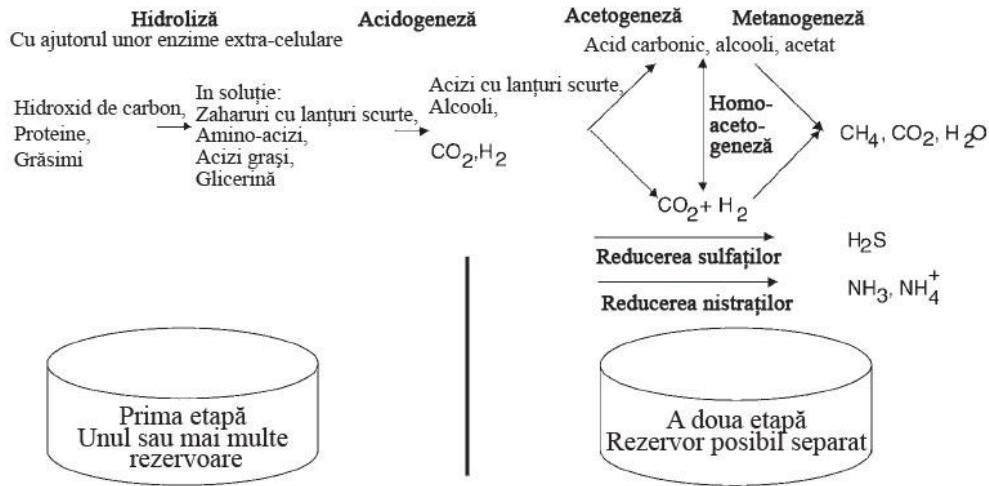


Figura 3.11. – Biochimia producerii gazului metan [20]

Hidroliza

În prima fază, componentele nedizolvate, ca celuloza, proteinele, și grăsimile sunt sparte în monomeri (fragmente solubile în apă) de exo-enzime ale bacteriilor anaerobe opționale sau obligatorii. De fapt, legăturile covalente sunt rupte în reacția chimică cu apă (figura 3.12).

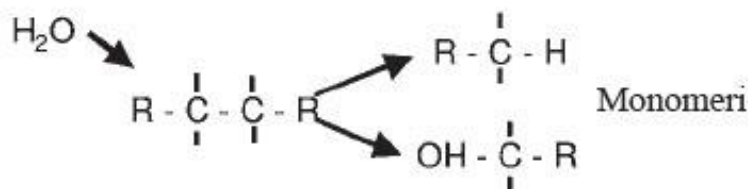


Figura 3.12. – Formarea monomerilor [20]

Hidroliza carbohidraților are loc în câteva ore, hidroliza proteinelor și lipidelor în câteva zile. Lignoceluloza și lignina sunt degradate lent și incomplet. Microorganismele anaerobe facultative iau oxigenul dizolvat în apă și astfel cauzează potențialul de reducere scăzut necesar pentru microorganismele anaerobe.

Faza acidogenă

Monomerii formați în faza hidrolizei sunt preluați de diferite bacterii anaerobe obligatorii și facultative și sunt degradate în a doua fază, în acizi organici saturați (acid butiric, acid propionic, acetat, acid acetic), alcooli, hidrogen și bioxid de carbon. Concentrația ionilor de hidrogen intermediari afectează produsul fermentației. Cu cât presiunea hidrogenului este mai mare, numărul de compuși formați scade.

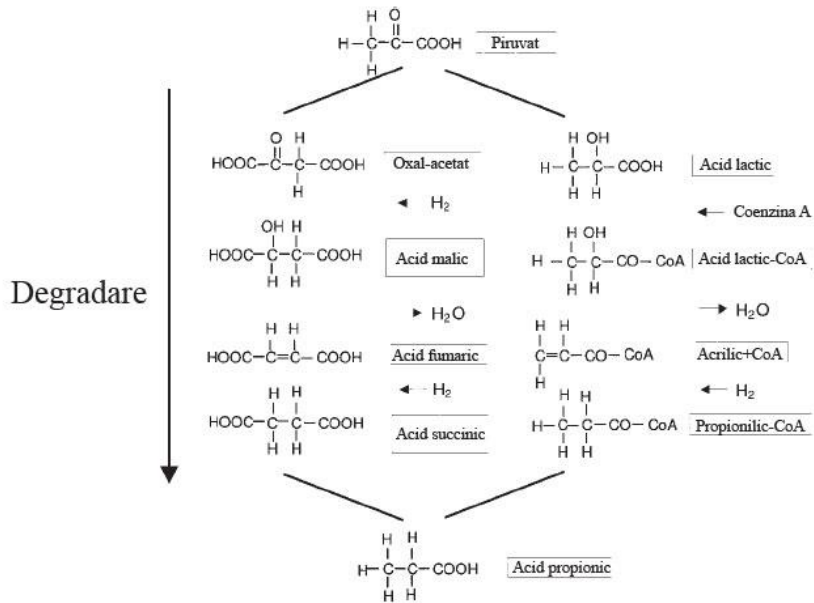


Figura 3.13. – Degradarea piruvatului [20]

Căile de degradare sunt următoarele :

Carbohidrați:

Formarea acidului propionic de bacteriile propionice prin calea succinată și calea acrilică (figura 3.13).

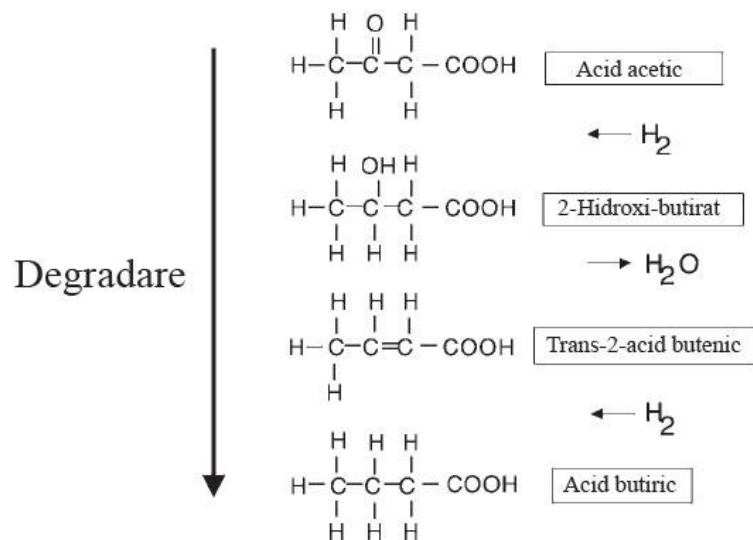


Figura 3.14. – Degradarea acidului acetic prin intermediul căii de acid butiric. [20]

Acizi grași:

Sunt degradați de exemplu din acetobacter de β oxidare

De aceea, acidul gras atașat coenzimei A și apoi oxidat pas cu pas, la fiecare pas doi atomi de carbon sunt separați, care sunt eliberați ca acetati.

Aminoacizi:

Sunt degradați de reacția Stickland clostridium botulinum luând 2 aminoacizi în același timp - unul ca donor de hidrogen, celălalt ca acceptor - în cuplarea în acetat, amoniac și CO_2 . În timpul divizării cisteinei, este eliberat hidrogen sulfurat.

În figura 3.14. este evidențiată degradarea acidului acetic prin intermediul căii de acid butiric.

În tabelul 3.6. se prezintă reacțiile specifice degradării acetogene pentru diverse tipuri de acizi.

Tabel 3.6. - Degradarea acetogenă [28]

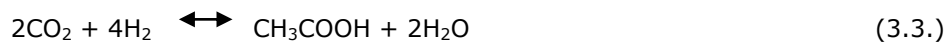
Substrat	Reacția
Acid propionic	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + \text{CO}_2 + 3\text{H}_2$
Acid butiric	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{COO}^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COO}^- + 2\text{H}_2 + \text{H}^+$
Acid valeric	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH} + 2\text{H}_2 + \text{H}^+$
Acid isovaleric	$(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{COO}^- + \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2 + \text{H}^+$
Acid capronic	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH} + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CH}_3\text{COO}^- + 5\text{H}_2 + \text{H}^+$
Dioxid de carbon/hidrogen	$2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$
Glicerină	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + 3\text{H}_2 + \text{CO}_2$
Acid lactic	$\text{CH}_3\text{CHOHCOO}^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{HCO}_3^- + 2\text{H}_2 + \text{H}^+$
Etanol	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{H}_2$

Faza acetogenă

Produșii fazei acetogene sunt folosiți ca substrat pentru alte bacterii, acelea din clasa acetogenă.

Reacțiile acetogene sunt endoenergetice. Pentru degradarea acidului propionic este nevoie $\Delta G_r' = +76.11\text{kJ/mol}$, și pentru degradarea etanolului $\Delta G_r' = +9.6\text{kJ/mol}$.

În faza acetogenă, microorganismele homoacetogene transformă constant CO_2 și H_2 în acid acetic, producând energie.



Bacteriile acetogene produc obligatoriu H_2 . Formarea acetatului prin oxidarea acizilor grași cu catene lungi (acid propionic sau butiric) merge de la sine și este termodinamic posibilă doar cu presiune parțial de hidrogen scăzută. Bacteriile acetogene pot primi energia necesară pentru supraviețuire și dezvoltare doar la o concentrație mică de H_2 .

Organismele metanogene pot supraviețui doar cu presiune parțială de hidrogen ridicată. Acestea elimină constant produsul metabolismului bacteriilor acetogene din substrat și așa păstrează presiunea parțială de hidrogen, p_{H_2} , la un nivel potrivit pentru bacteriile acetogene.

În figura 3.15. este prezentat transferul de hidrogen interspecii pentru cultura de *Methanobacterium amelanskii*.

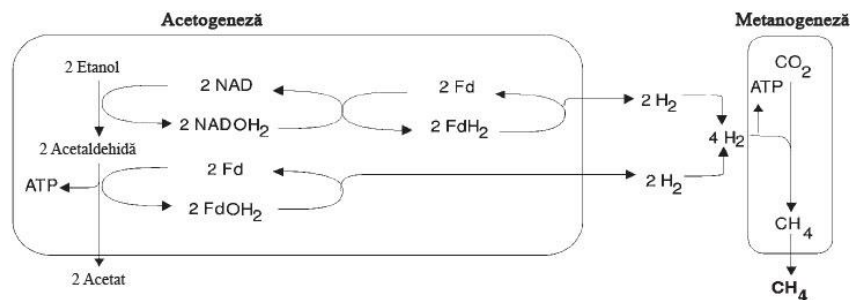


Figura 3.15. – Transferul de hidrogen interspecii, ca și exemplu în cultura de *Methanobacterium amelanskii*. [20]

Când presiunea parțială de hidrogen este scăzută, H₂, CO₂ și acetatele sunt predominant formate de bacteriile acetogene. Când presiunea parțială de hidrogen este ridicată sunt formați predominant acizii butiric, capronic, propionic, valerice și etanol. Pentru aceste produse, microorganismele metanogene pot procesa doar acetat, H₂ și CO₂.

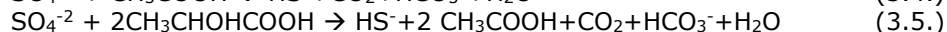
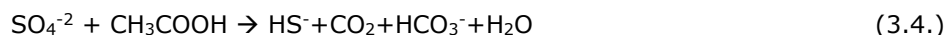
Cam 30% din întreaga producție de CH₄ în compostul anaerobic poate fi atribuită reacției dintre H₂ și CO₂, dar doar 5-6% din întreaga producție de metan. Aceasta este exprimată prin "transferul de hidrogen interspecii", prin care hidrogenul se mută direct de la microorganismele acetogene la cele metanogene, fără a fi dizolvate în substrat.

Conversia anaerobă a acizilor grași și a alcoolilor merge energetic pe cheltuiala bacteriilor metanogene, care, în schimb, primesc substraturile (H₂, CO₂, acid acetic) necesare pentru dezvoltare de la bacteriile acetogene.

Faza acetogenă limitează rata de degradare în stagiul final. De la cantitatea și compoziția biogazului, poate fi trasă o concluzie în legătură cu activitatea bacteriilor acetogene.

În același timp, azotatul organic împreună cu compușii de sulf pot fi mineralizați transformându-se în sulfură de hidrogen și producând amoniac.

Reacția de reducere a sulfatului se realizează conform ecuațiilor stoichiometrice de mai jos. Bacterii de reducere a sulfatului cum sunt *Desulfovibrio*, *Desulfuromonas*, *Desulfobulus*, *Desulfobacter*, *Desulfococ*, *Desulfosarcina*, *Desulfomena* și *Desulfotomaculum* participă în proces, proces care folosește energia eliberată de reacția exoenergetică.



Faza metanogenă

În a-IV-a fază, în condiții strict anaerobe are loc formarea metanului. Această reacție este absolut exoenergetică. Cum rezultă din descrierea microorganismelor metanogene, speciile metanogene nu descompun toate substraturile. Substraturile acceptate pentru metanogeneză se pot împărți în 3 grupe:

Tipul CO_2 : $\text{CO}_2, \text{HCOO}^-, \text{CO}$
 Tipul metil: $\text{CH}_3\text{OH}, \text{CH}_3\text{NH}_3, (\text{CH}_3)_2\text{NH}_2^+, (\text{CH}_3)_3\text{NH}^+, \text{CH}_3\text{SH}, (\text{CH}_3)_2\text{S}$
 Tipul acetat: CH_3COO^-

Reacțiile sunt prezentate în tabelul 3.8.

Modalitatea de formare a metanului din acetat și/sau CO_2 în microorganisme se poate observa în figura 3.16. Hidrocarburile care au catene lungi gen metanofuran (ex. $\text{R-C}_{24}\text{H}_{26}\text{N}_4\text{O}_8$) și H_4TMP (tetrahidrometanopterin) acționează ca și co-factori.

În tabelul 3.7. este evidențiată degradarea metanogenă pentru diferite tipuri de substrat și specii metanogene.

Tabel 3.7. – Degradare metanogenă [20]

Tipul substratului	Reacția chimică	$\Delta G_r'$ (kJ/mol)	Specii metanogene
Tipul - CO_2	$4\text{H}_2 + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$	-135.4	Toate speciile
	$\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	-131.0	
Tipul - CO_2	$4\text{HCOO}^- + 4\text{H}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_4 + \text{HCO}_3^-$	-130.4	Multe specii
Acetat	$\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{HCO}_3^-$	-30.9	Câteva specii
Tipul Metil	$4\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow 3\text{CH}_4 + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$	-314.3	O specie
Tipul Metil	$\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$	-113.0	
Ex: Tipul metil: etanol	$2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{CH}_3\text{COOH}$	-116.3	

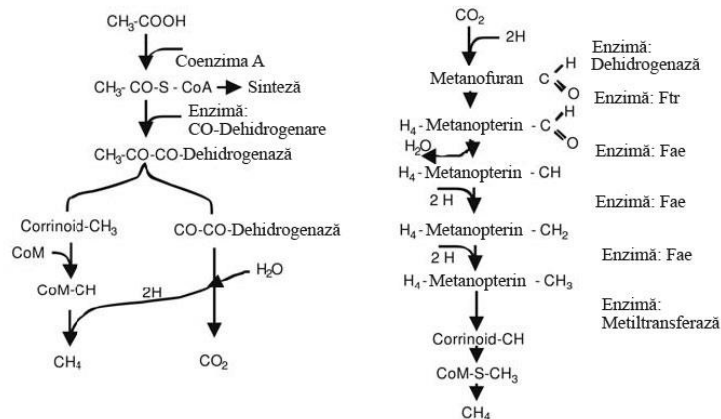


Figura 3.16. – Formarea metanului din acetat (stânga) și din dioxid de carbon (dreapta) (CoA – coenzimă A, CoM – coenzimă M) [28]

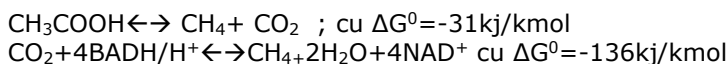
În figura 3.16. este prezentată formarea metanului din acetat (stânga) și din dioxid de carbon (dreapta) (CoA – coenzimă A, CoM – coenzimă M).

Corinoidele sunt molecule care au 4 inele mici într-unul mare și poate fi reprezentat prin formula brută $C_{19}H_{22}N_4$.

Când se formează metan, faza acetogenă se desfășoară fără probleme. Când formarea metanului e deranjată, are loc apariția supraacidifierii. Problemele pot apărea atunci când bacteria acetogenă trăiește în simbioză cu alt organism din specia metanogenă, folosind H_2 . În tehnologia apei murdare, simbioza poate avea loc folosind microorganismele, reducând astfel sulfatul la hidrogen sulfurat. Așadar au nevoie de hidrogen și concurează cu metanogenele. Metanogenele consumă mai puțin hidrogen și formează mai puțin metan. Hidrogenul sulfurat în plus afectează toxic metanogeneza.

Toate reacțiile de formare a metanului au câmpuri energetice diferite.

Oxidarea acidului acetic în comparație cu reacția de reducere $CO_2 + H_2$ este cu degajare mai mică de energie :



Cu toate acestea, doar 27-30% din metan rezultă din reducere. În timp ce 70% rezultă din acetat în timpul de formare a metanului. Aceeași situație este și în cazul sedimentelor de mare.

Cerințele de mediu ce se impun pentru formarea metanului, respectiv pentru fazele de hidroliză și acidogeneză sunt prezentate în tabelul 3.8.

Tabel 3.8. – Cerințe de mediu [20]

Parametri	Hidroliză/acidogeneză	Formarea metanului
Temperatura	25-35°C	Mezofilic: 32-42 °C Termofilic : 50-58 °C
Valoarea pH	5.2-6.3	6.7-7.5
Raport C:N	10-45	20-30
Conținut masă uscată	<40% masă uscată	<30% masă uscată
Potențial Redox	+400 la -300 mV	<-250 mV
Raport C:N:P:S cerut	500:15:5:3	600:15:5:3
Elemente finale	Nu sunt cerințe	Esențiale: Ni, Co, Mo, Se

3.2.2.2. Parametri de influență asupra procesului de fermentație anaerobă

Procesele metabolismului microbial depind de mai mulți parametri, așadar pentru un proces de fermentație optim, trebuie luați în considerare și controlați mai mulți parametri. Mai mult, bacteria fermentației are cerințe ambientale, în care hidroliza și acidifierea au loc, diferite față de cerințele microorganismelor formatoare de metan.

Condițiile optime ale ambientului pentru toate microorganismele implicate în degradare se pot seta doar în 2 etape: o etapa pentru hidroliză / acidifiere și o a doua etapă, cea de acetogeneză / metanogeneză.

Concentrația de microorganisme

Microorganismele metanogene în general au un timp lung de regenerare (tabel 3.9.).

Pentru a evita eliminarea din reactor, timpul de staționare trebuie să fie de cel puțin 10-15 zile în sistemul reactorului care facilitează oprirea și reîntoarcerea biomasei.

În comparație cu aceasta, timpul de regenerare al hidrolizilor și cel al bacteriei formatoare de acid sunt semnificativ mai mici, așadar cu ele există un risc mic de eliminare.

Rata mică de creștere a metanogenelor înseamnă că faza de începere a biogazului se face într-o etapă de până la 3 luni deoarece cantitatea de compost necesar începerii plantației este la capacitate maximă și trebuie construit în etapa de început [60].

Tabel 3.9. - Timpul de regenerare pentru diferite microorganisme anaerobe în comparație cu cele aerobe [28]

Microorganism anaerob	Timp de regenerare
Bacterie acidogenă	
Bacterioide	< 24 h
Clostridia	24 - 36 h
Bacterie acetogenă	80 -90 h
Bacterie metanogenă	
Metanosarcina barkeri	5 - 16 zile
Metanococcus	Cca. 12 zile
Microorganisme aerobe	
Escherichia coli	20 minute
Bacterii din mâlul activ	2 h
Bacterii ce trăiesc pe pământ	1 - 5 h

Tipul substratului

Substratul determină rata de degradare anaerobă și trebuie luat în considerare în procesul tehnologic și procesul operațional. Dacă una dintre componentele vitale se termină, microorganismele își opresc metabolismul. De aceea este necesar periodic reumplerea substanțelor lipsă, la fel și cu substraturile.

Zahărul hidrolizează și acidifică într-un timp foarte scurt. Degradarea celulozei se execută considerabil mai încet, depinzând de fracțiunea în formă de acid ligno - sulfonic. După 20 de zile sau mai multe de stat, chiar și cele mai greu degradabile materiale hidrolizează și sunt metabolizate în metan.

Conform compoziției substratului, produsele secundare pot limita sau periclita degradarea. Astfel, de exemplu, degradarea grăsimii poate degenera acizi grași, care limitează alte degradări suplimentare.

Cu descompunerea particulelor, fermentația metanului poate fi restrânsă la o formație de amoniac și hidrogen sulfurat.

Lumina

Lumina nu este letală pentru bacteriile metanogene, dar cu siguranță inhibă procesul de formarea metanului. Formarea metanului ar trebui deci să aibă loc în întuneric absolut.

Temperatura

Temperatura arată 2 domenii de optim pentru bacteriile acidulare; o temperatură ușoară de 32 – 42 °C pentru microorganismele mezofile și una mai ridicată, de 48 – 55 °C pentru microorganismele termofile.

Majoritatea microorganismelor metanogene aparțin mezofilelor. Doar o parte sunt termofile.. Alte câteva sunt capabile să producă metan chiar la temperaturi scăzute (0.6 – 1.2 °C), de exemplu, pe suprafețe de sol permanent înghețat. În figura 3.17. este prezentată corelarea dintre durata în zile a procesului de fermentație cu temperatura pentru diverse tipuri de organisme. La testele de laborator, formarea metanului poate fi demonstrată de asemenea prin temperaturi aparținând înghețării, de exemplu mai mici de -3 °C. În general cea mai mică temperatură la care microorganismele cresc este de -11 °C.

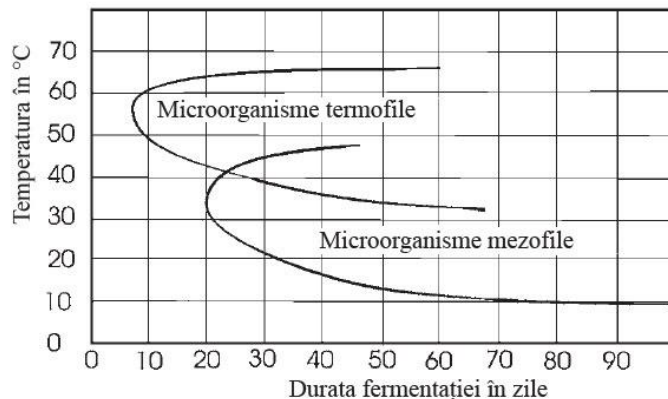


Figura 3.17. - Influența temperaturii asupra timpului de fermentare [20]

Mai jos de -25 °C, chiar și activitatea enzimelor încetează. Bacteriile metanogene sunt sensibile la schimbările bruște de temperatură. Organismele termofile sunt mai sensibile la temperatură decât mezofilele. Chiar și variațiile mici de temperatură pot cauza o scădere substanțială în activitate. Așadar, temperatura trebuie ținută exact în intervalul +/- 2 °C. Altfel, trebuie luate în considerare pierderi de gaz de peste 30%. Îndeosebi decisiv pentru organismele mezofile sunt temperaturile din intervalul 40 -50 °C, pentru că în acel interval acestea își pierd activitatea ireversibil.

Sub condițiile de operare ale organismelor mezofile, reținerea amoniului este redusă din cauza conținutului scăzut de amoniu liber inhibitor.

În general, trebuie să fie menționat că echilibrul de energie este mai bun în intervalul mezofil decât în cel termofil.

Din modul de operare termofil rezultă o rată de aproximativ 50% mai mare de degradare, și, în particular cu materialele care conțin grăsimi, o mai bună disponibilitate microbiană a suprafețelor și astfel o producție mai mare de biogaz.

Germeii epidemici și fitopatogenici sunt inactivați de procese de temperaturi ridicate, astfel că proceduri speciale de igienă nu sunt necesare când este utilizată o temperatură $>55\text{ }^{\circ}\text{C}$ și un timp de retenție materială $>23\text{ h}$.

Oxigenul este mai puțin solubil în intervalul de temperatură termofil, și astfel, condițiile optime de operare anaerobă sunt atinse mult mai ușor.

Multe instalații sunt deci realizate pentru desfășurarea procesului de formare a metanului în două etape, fiecare operând după un regim diferit de temperatură. Sunt motive bune pentru a realiza un proces de formare a metanului în regim termofil, combinat cu o hidroliză mezofilă. Dar, în funcție de suprafață, poate fi de asemenea favorabilă hidroliza la temperaturi mai ridicate decât cele folosite pentru procesul de obținere a metanului.

pH -ul

Odată cu degradarea carbohidraților presiunea parțială de hidrogen crește mai ușor. Aceasta se întâmplă în combinație cu formarea produselor intermediare reduse în acid.

Chiar și atunci când hidroliza și acidularea se produc în diferite dispozitive și sunt separate de formarea metanului, suprimarea completă a acestui proces este aproape imposibilă.

Optimul de pH din microorganismul formator de metan este $\text{pH} = 6.7 - 7.5$.

Astfel, este important ca valoarea pH-ului să fie ajustată mai bine în al doilea stadiu decât în primul stadiu al biogazului din instalația în două etape. Dacă valoarea pH-ului coboară mai jos de $\text{pH} = 6.5$, atunci producția de acizi organici conduce la o descreștere ulterioară a valorii pH-ului și este posibilă încetarea fermentației. În realitate, valoarea pH-ului este ținută în intervalul neutru în cadrul procesului de fermentare. O acidulare prea puternică poate fi ocolită prin sistemul de amortizare dioxid/hidrogen carbonat/carbonat. În timpul fermentației, CO_2 este în mod continuu dezvoltat și se degajă în aer. Odată cu scăderea valorii pH-ului, mai mult CO_2 este dizolvat în suprafața ca și molecule neîncărcate. Odată cu ridicarea valorii pH-ului, CO_2 dizolvat formează acid carbonic, care ionizează. Astfel, sunt eliberați ioni de hidrogen.

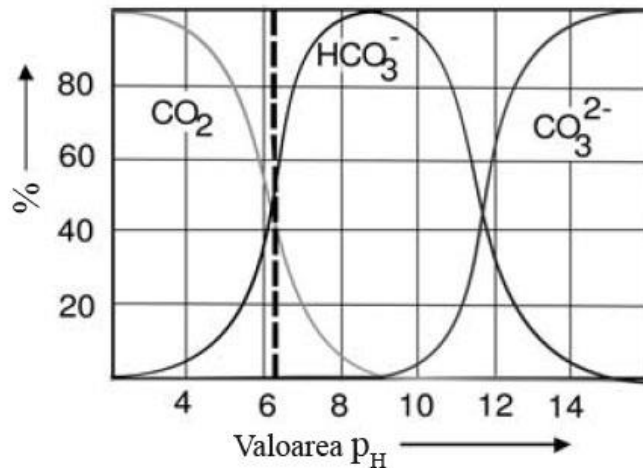
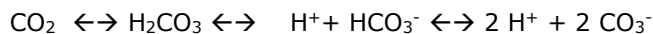


Figura 3.18. – Sistemul de amortizare amoniac – amoniu [20]



La pH = 4 tot CO₂ este sub forma moleculelor libere; la pH = 13 tot CO₂ este dizolvat sub formă de carbonat în suprafață. Centrul, în jurul căruia valoarea pH-ului oscilează în acest sistem este la un pH = 6.5. La o concentrație de 2.5 – 5 g/l hidrogenul carbonat oferă, în particular, o amortizare puternică.

O acidulare prea slabă este ocolită prin sistemul de amortizare amoniac – amoniu (figura 3.18.). Odată cu scăderea valorii pH-ului, ionii de amoniu sunt formați prin eliberare de ioni de hidroxil. Odată cu creșterea valorii pH-ului, mai multe molecule de amoniu liber sunt formate.



Centrul, în jurul căruia valoarea pH-ului oscilează în acest sistem este la pH= 10.

Ambele sisteme de amortizare pot fi supraîncărcate de o alimentare prin acidularea rapidă a apei pierdute sau a materialului organic, de substanțe toxice, de o descreștere a temperaturii, sau de un prea mare volum de încărcare în bioreactor ; de exemplu, prin alimentarea reziduurilor apoase în afara unei fabrici de procesare a amidonului, care prezintă posibilitatea de intoxicare cu acid acetic. Consecințele sunt :

Creștere în cantitatea de molecule neîncărcate de acid gras – aceasta conduce câteodată la creșterea conținutului de hidrogen în substanța și producția de CH₄, câteodată în detrimentul procesului de producere a biogazului.

Inhibiția procesului de obținere a metanului prin creșterea în proporție a inhibitorilor nehidrolizați, de exemplu : sulfide

Creșterea valorii pH-ului datorită degradării din sulfați în H₂S

Inhibarea reacțiilor prin creșterea în proporție a amoniului liber.

În Tabelul 3.11. este descris raportul C / N pentru diverse tipuri de reziduuri organice, cu evidențierea conținutului de masă uscată și a procentului de substanțe organice din aceasta.

Tabelul 3.10. - Raportul C/N al reziduurilor organice. [20]

Reziduuri	Conținutul de masă uscată	Substanțe organice % din masa uscată	Raportul C/N
Paie	ca. 70	90	90
Reziduuri din procesul de măcinare	20-80	95	511
Hârtie	85-95	75	173
Resturi din gospodării	40-60	40	18
Nămol de epurare	0.5-5	60	6

Nutrienții (raportul C/N/P – carbon / azot / fosfor)

Raportul C/N/P al substanței trebuie să fie situat în intervalul 16 :1 – 25 :1. Dar aceasta este doar o indicație, deoarece azotul poate fi de asemenea limitat la structurile lignine.

Nevoia de nutrienți este foarte scăzută datorită faptului că odată cu procesul anaerob nu este dezvoltată prea multă biomasă, așa încât pentru formațiunile de metan chiar și un raport de nutrient C : N : P : S de 500-1000 :15-20 :5 :3 și /sau un raport de materie organică de COD :N : P : S= 800 :5 :1 :0.5 este suficient.

Substanțele cu un raport prea scăzut C/N conduc la o creștere în producerea de amoniu și inhibarea producerii de metan. Un raport prea mare C/N înseamnă lipsa de azot, de unde rezultă consecințe negative pentru formarea proteinelor și astfel și pentru energie și metabolismul structural material al microorganismelor.

Microelemente

Pentru supraviețuire, microorganismele au nevoie de o concentrație minimă asigurată de microelemente Fe, Co, Ni, Se, W și Mg.

Îndepărtarea biogazului

Îndepărtarea gazelor produse (metan, dioxid de carbon, hidrogen sulfurat) din biogaz are o influență considerabilă în reacțiile biologice. În particular, comportamentul de îndepărtare a gazului substanței joacă un rol colosal oricând gazele produse împiedică metabolismul.

Transferul de material din faza lichidă în faza gazoasă poate fi efectuat prin intermediul tehnic. Adăugând înapoi biogazul produs în sistemul reacției, valoarea caracteristică transferului material între faza lichidă și cea gazoasă, poate fi crescută cu 50% și împiedicarea microorganismelor cu H₂S poate fi redusă.

Inhibitorii

Când se planifică și se întocmește o instalație de biogaz, trebuie să se aibă în vedere că sunt câteva componente care sunt formate, chiar și într-o măsură limitată,

ca produse ale metabolismului degradării anaerobe, care inhibă biocenoza și pot fi chiar toxice în concentrații mari.

În figura 3.19. este evidențiată progresia unei inhibiții corelată cu temperatura de desfășurare a procesului și concentrația diverselor elemente ce se regăsesc în cadrul fazelor caracteristice de obținere a biogazului.

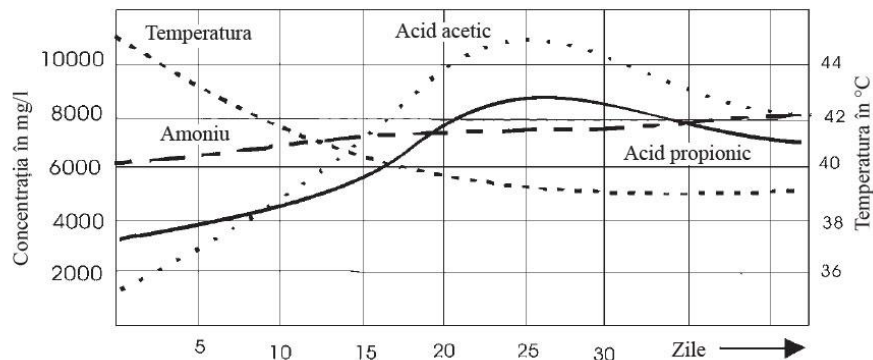


Figura 3.19. - Progresia unei inhibiții [20]

Inhibarea depinde de concentrația inhibitorilor, compoziția substanței și de adaptarea bacteriilor la inhibitor. Bacteriile anaerobe au nevoie de o concentrație mai mică de inhibitori ca și microelemente. Acestea degradează un procentaj mare de inhibitor.

Inhibitorii au diferite efecte, în funcție de cursul lor intermitent sau continuu. În cazul unei singure adăugări scurte, o deteriorare ireversibilă se produce doar dacă timpul de expunere este prea lung și concentrațiile sunt prea mari.

Inhibitorii nu sunt capabili să penetreze foarte repede în biofilm dacă linurile de fermentare cu biomasă reținută sunt folosite în detrimentul linurilor de fermentare convenționale cu o concentrație mică de biomasă sau biomasa imobilizată.

Efectul diferiților inhibitori este afectat de alte componente; astfel, de exemplu, efectul reținut al metalelor grele este afectat de orice anioni prezenți în același timp, întrucât metalele pot precipita, de exemplu, prin sulfurat de hidrogen sau pot fi legate în complexe. Pe de altă parte, o prea mare concentrație de ioni de sulfurat poate avea chiar un efect toxic – în funcție de temperatură și de valoarea pH-ului. Reducerea poluantului prin adăugarea de material care lucrează împotriva sa poate fi de aceea problematică datorită diferitelor interacțiuni.

De obicei, cu toate acestea, procesul anaerob pare a fi relativ insensibil la inhibitori și în special adaptabil, chiar și la concentrații care sunt toxice în alte circumstanțe.

Oxigenul

Majoritatea bacteriilor acidulare sunt facultativ anaerobe, astfel că excluderea oxigenului nu este obligatorie pentru acidulare. Dar bacteriile metanogene sunt obligatoriu anaerobe – inhibarea începe la 0.1 mg /l O₂. Acestea folosesc nitrat, sulfat sau carbonat ca înlocuitor de oxigen, ca un acceptor de hidrogen.

temperaturii din bioreactor. Surplusul de căldură poate fi utilizat și în afara instalației de biogaz.

Desulfurarea are loc în mod natural prin injectarea de aer pentru microorganismele care realizează acest proces.

3.2.4. Exemple de instalații ce folosesc biomasă în scopul obținerii de biogaz

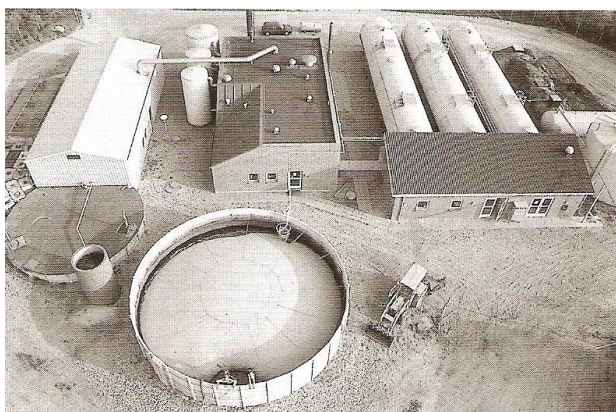


Figura 3.21. – Instalație de mari dimensiuni în Danemarca [20]

În figura 3.21. se prezintă modelul folosit în marea majoritate a instalațiilor de producere a biogazului din Danemarca – modelul este folosit pentru o capacitate a centralei termice de bloc de 500 kW [20]



Figura 3.22. - Ferma Vir-Clar, Winsconsin, 2 x 2600 m³ substrat, 70 m³/zi urina de vita, centrala termica de bloc de 330 kW de la SEVA-Caterpillar. (Firma Biogas Nord GmbH) [20]

În figura 3.22. este prezentată o fermă din SUA, Wisconsin ce folosește circa 2 rezervoare a câte 2600 m³ ferment, și care este conectată la o centrală termică de bloc de 330 kW. [20]

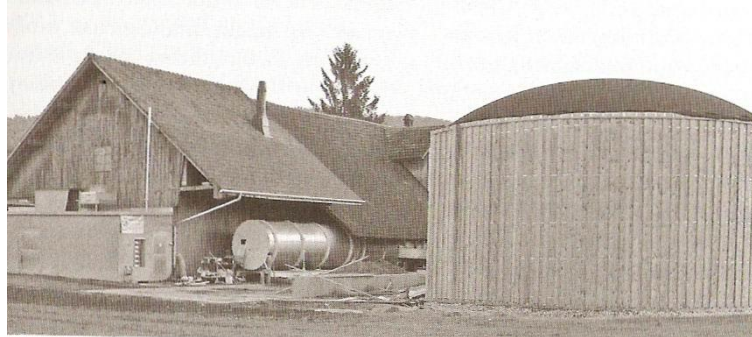


Figura 3.23. - Instalatie de biogaz cu compostare cu tambur in Altishofen [20]

În anul 2002, în Altishofen, cantonul Luzern, s-au reunit mai multi fermieri pentru construcția comună a unei instalații de biogaz. Suprafața se găsește în apropierea uneia dintre primele instalații de biogaz din Elveția (Wauwiler Moos), care mai funcționează și astăzi (figura 3.23.). [20]

În dreapta se află rezervorul de ferment, în centrul imaginii sub acoperisul șurii sunt poziționate cele două tambururi, iar în partea stângă se află compartimentul tehnic cu centrala termică de bloc și comanda.

De asemenea, și în România s-au construit de-alungul timpului câteva modele de instalații pentru producerea biogazului.

În cele ce urmează se vor prezenta câteva dintre instalațiile realizate.

În figura 3.24. se prezintă o instalație realizată de Institutul Politehnic din Iași.

Instalația se compune dintr-un digester de fermentare sub forma unui bazin cilindric, cu diametrul de 2 m, un volum total de 6 m³ și care se termină la partea

inferioară cu un trunchi de con, al cărui volum total reprezintă circa 10% din volumul total de fermentare. Această instalație asigură o cantitate zilnică de biogaz de circa 3 Nmc. Gazul este înmagazinat în clopotul gazometru care se lestează pentru asigurarea unei presiuni de circa 200 - 300 mm coloană de apă.

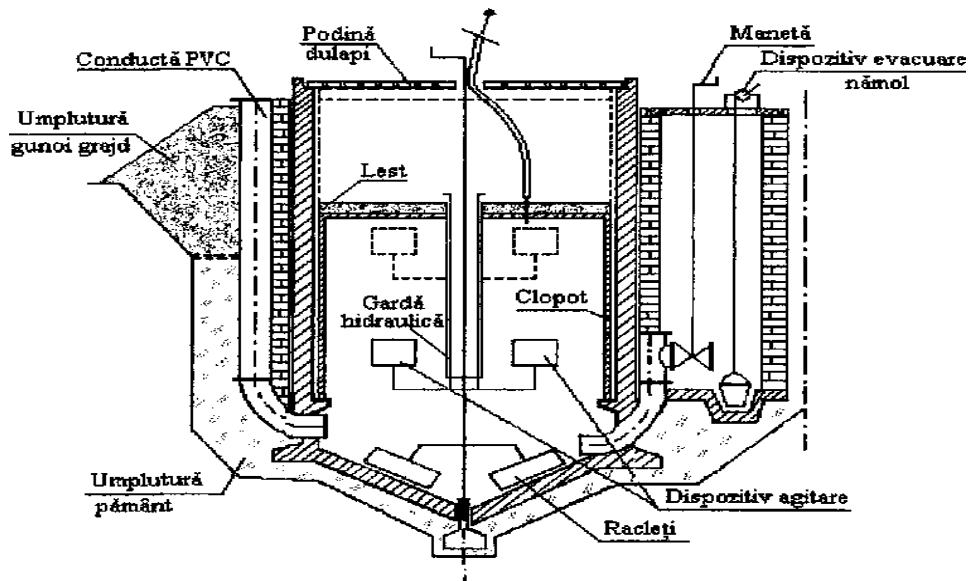


Figura 3.24. - Instalație de biogaz de 6 m³, concepută de IP Iași [51] [63]

Alimentarea instalației se face printr-o conductă de PVC, iar evacuarea materialului fermentat se face prin căminul de evacuare în care se montează vana de evacuare și recipientul de ridicare la suprafață a cantității de humus zilnic (sau la câteva zile).

În figura 3.25. este prezentată instalația de biogaz concepută în anul 1979 la Institutul de Chimie Alimentară din București, pentru capacități de 5 și 10 m³ [21]. Această instalație este de formă cilindrică, fiind alcătuită din elemente (inele) prefabricate din beton armat și dintr-un clopot metalic pentru acumularea biogazului.

Instalația are în componență două părți principale:

- > cuva de fermentare de formă cilindrică, cu ax vertical, izolată termic și prevăzută cu o decupare la partea de sus a ultimului inel;
- > clopot multifuncțional confecționat din tablă ce poate culisa pe verticală în cuva de fermentare.

Cu toate că au fost realizate de-a lungul timpului instalații de biogaz și în țara noastră, în general exploatarea s-a făcut pentru dejecții animaliere, nepunându-se un accent deosebit asupra folosirii potențialului de biomasă.

Odată cu evoluția în domeniul realizării instalațiilor de mari și mici dimensiuni, un accent important s-a pus asupra studierii în detaliu a etapelor caracteristice formării biogazului, motiv pentru care diverse companii cu experiență în domeniu au introdus pe piață diverse modele de instalații de mici dimensiuni pentru evidențierea tuturor detaliilor caracteristice procesului de formare a biogazului atât prin fermentație aerobă cât și anaerobă.

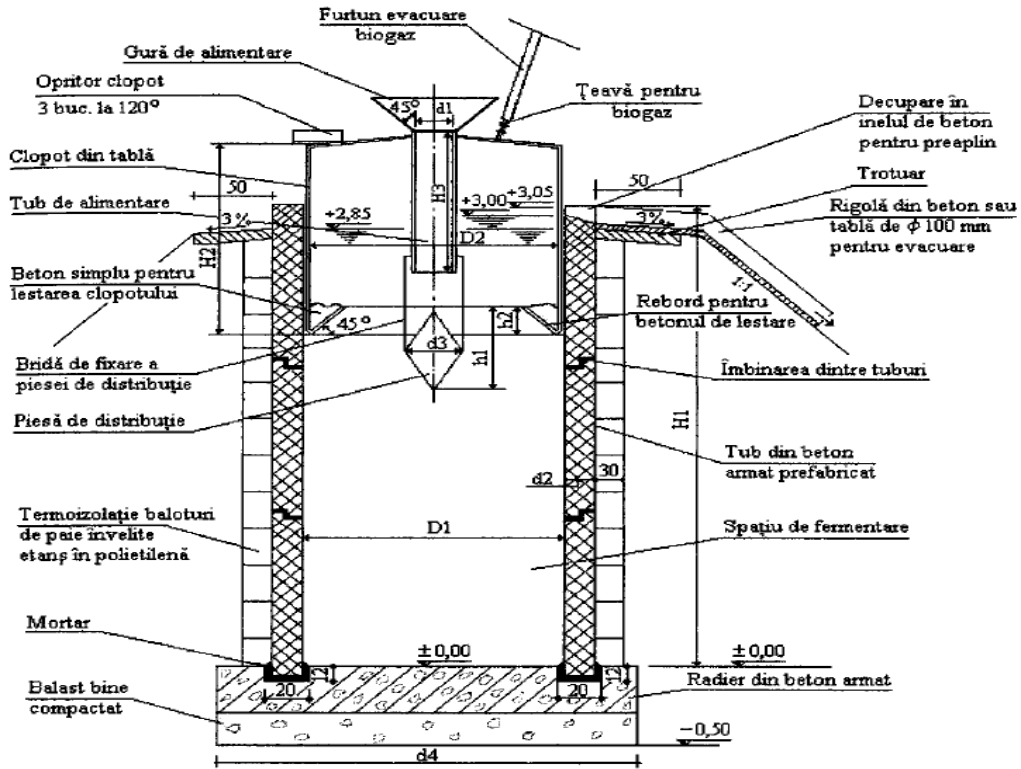


Figura 3.25. - Instalație de biogaz de mică capacitate, concepută de ICA București [21] [51]

Un exemplu în acest sens, în România, poate fi reprezentat de prezența unei instalații de mici dimensiuni produsă de compania Armfield pentru determinarea potențialului energetic al suspensiei pentru diferite tipuri de biomasă.

Instalația se găsește în cadrul Laboratorului de Tratare a Apei de la Universitatea Politehnică din Timișoara, Facultatea de Hidrotehnică.

În figura 3.26. este prezentată vederea din față a instalației.

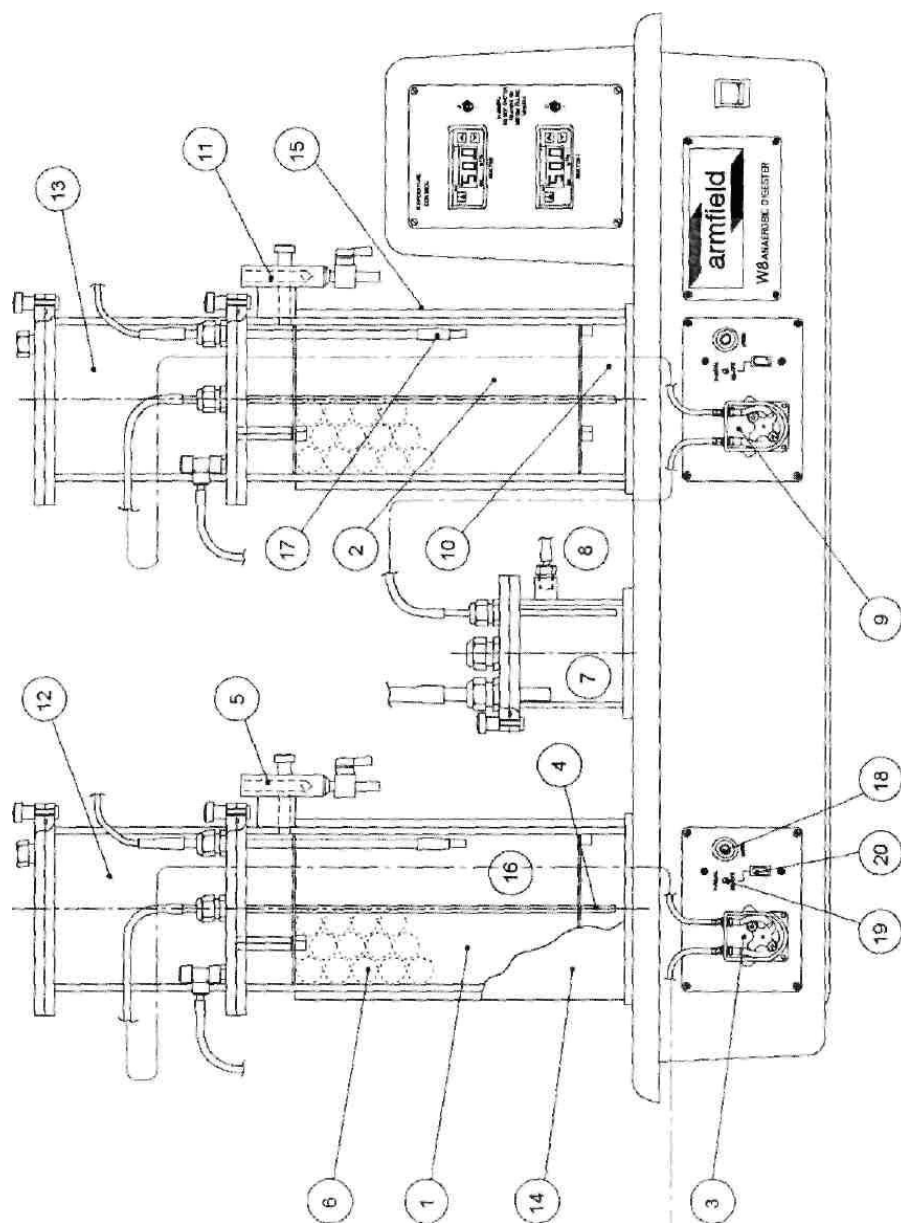


Figura 3.26. – Vedere din față a instalației realizată de compania Armfield [92]
 1,2 – reactoare de fermentație având volumul util de 5 l; 3,9 – pompă cu debit reglabil; 4, 10 – conductă principală; 5, 11 – element de etansare; 6 – umplutură situată în interiorul reactoarelor; 7 – vas tampon; 8 – supraalimentare; 12, 13 – recipiente calibrate pentru determinarea volumului de gaz produs; 14, 15 – "pături" electrice ce acoperă reactoarele 1 și 2; 16, 17 – senzori de temperatură; 18 – potențiomtru; 19 – comutator; 20 – port pentru conexiune comandă de la o unitate de comandă electronică.

În figura 3.27. este prezentată în detaliu partea de control a temperaturii conexe instalației.

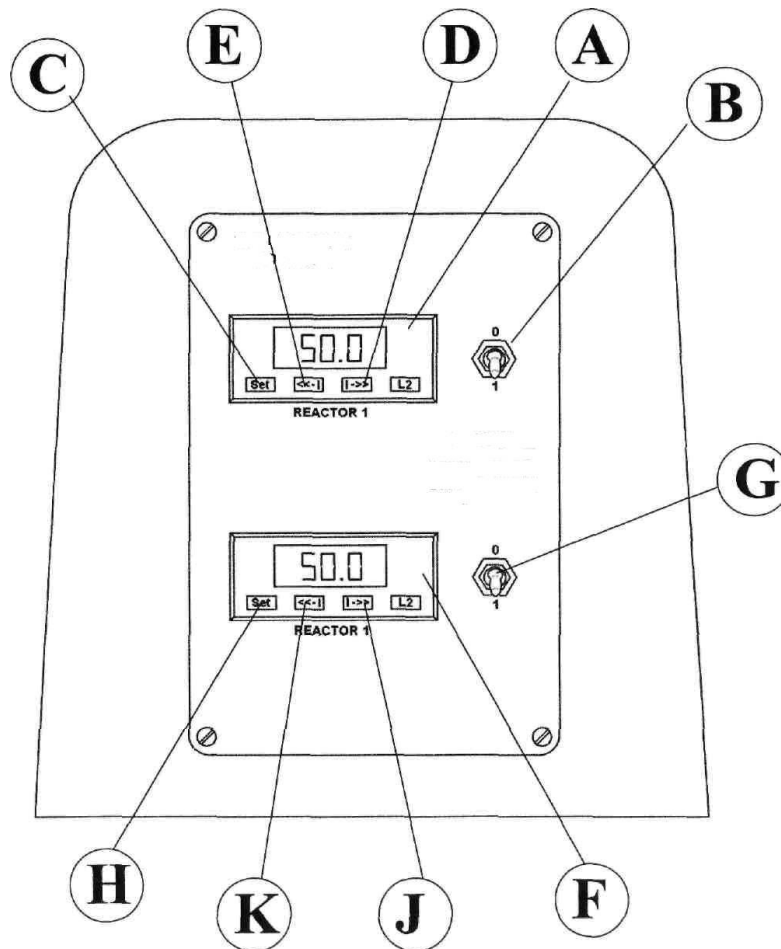


Figura 3.27. - Controlul temperaturii în cadrul instalației [92]

A, F – controlere digitale; B, G – comutatoare; C, H – taste de setare a temperaturii; D, E, J, K – taste aferente pentru mărirea respectiv micșorarea valorii temperaturii de încălzire a suspensiei din rezervoare.

Din cele menționate mai sus se poate observa evoluția în timp a echipamentelor și instalațiilor folosite pentru realizarea proceselor de fermentație anaerobă.

Conex cu problematica realizării unei instalații pilot pentru producerea de biogaz din deșeuri de biomasă, prezenta lucrare propune spre discuție un model de instalație care folosește biomasă și reziduu de biomasă folosită în scopul precizat anterior, încercându-se astfel evidențierea posibilităților curente existente la nivel local și național în acest domeniu.

4. DESCRIEREA INSTALAȚIILOR EXPERIMENTALE ȘI A ECHIPAMENTELOR CONEXE

4.1. Descrierea instalației experimentale de laborator pentru testarea mostrelor de biomasă

În paralel cu studiul asupra obținerii biogazului din biomasă și deșeuri de biomasă realizat pe instalația pilot realizată la Facultatea de Mecanică din cadrul Universității Politehnica din Timișoara, la Laboratorul de Tehnologii Neconvenționale s-a realizat o instalație de mici dimensiuni pentru studiul procesului de fermentație anaerobă.

Din cele trei regimuri posibil de studiat pentru procesul de fermentație anaerobă și anume regimul criofilic (temperaturi de 20 - 25°C), mezofilic (30 - 38°C) și termofilic (45 - 45 °C), s-a ales regimul mezofilic. Principalul motiv pentru care s-a ales acest regim este în legătură cu observarea desfășurării procesului în condiții asemănătoare cu cele existente în instalația pilot pentru obținerea de biogaz și anume : o perioadă de amorsare de circa 10 - 14 zile la o temperatură de aproximativ 35 - 37°C, astfel încât să poată fi reliefate caracteristicile procesului în detaliu.

În figura 4.1. este prezentată imaginea de ansamblu a instalației.



Figura 4.1. – Imagine de ansamblu a instalației de testare a mostrelor de biomasă

Instalația este formată din două recipiente de sticlă termorezistentă care au rol de reactoare de fermentație anaerobă cu un volum de 2 l în care este introdusă suspensia de biomasă și apă, două recipiente de sticlă cu un volum de 0,5 l pentru spălarea bulelor de gaz obținute, un sistem de încălzire compus dintr-un element de încălzire dispus la baza recipientelor de sticlă, respectiv un controler de temperatură și un termocuplu pentru monitorizarea în timp real a temperaturii, un sistem de tuburi flexibile pentru transferul respectiv evacuarea gazului, racorduri pentru realizarea conexiunilor între elemente, precum și două recipiente de reținere a gazului obținut. Pentru a se asigura omogenizarea continuă a materialului din interiorul recipientelor de sticlă se folosește un sistem compus dintr-un magnet plasat în interiorul fiecărui recipient ce conține material, respectiv un agitator magnetic ce se poziționează la partea inferioară a recipientelor.

Principiul de funcționare este relativ simplu.

Biomasa este lăsată un interval de timp de circa 1 – 2 luni pentru a fermenta în condiții anaerobe, interval în care se monitorizează variația temperaturii, modul de comportare al materialului, respectiv apariția bulelor de gaz și perioada cât durează acest fenomen.

4.1.1. Recipientele de fermentație anaerobă

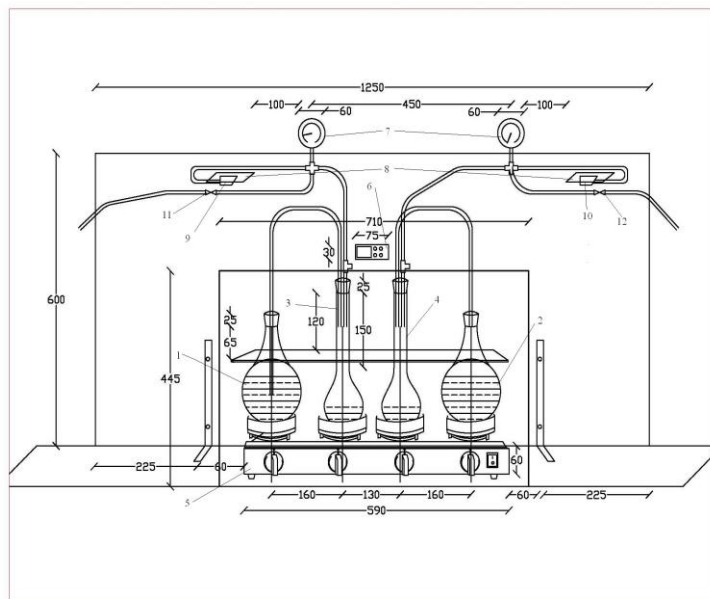


Figura 4.2. – Schema de principiu a instalației pentru testarea mostrelor

Așa cum poate fi observat din figura 4.2., reactoarele de fermentație anaerobă sunt baloane de sticlă termorezistente (1, 2), rezistente până la presiuni de 0.5 – 0.6 bar, având un volum util de circa 2l.

Pentru a garanta spălarea gazului ce se formează în interiorul acestora, ele sunt legate prin intermediul unor tuburi flexibile de alte două recipiente de sticlă termorezistentă (3, 4), cu un volum util de 0,5 l ce conțin circa 200 ml apă.

4.1 - Descrierea instalației experimentale de laborator pentru testarea mostrelor 81

Gazul format în reactoarele de fermentație anaerobă va trece astfel prin intermediul tuburilor flexibile pe la partea inferioară a vaselor mici spălându-se de impurități.

Pentru a se evita inhibarea procesului de fermentație anaerobă, reactoarele cu capacitate de 2 l se vor acoperi cu folie de material opac, așa cum se poate observa din figura 4.3.



Figura 4.3. – Evidențierea acoperirii recipientelor de fermentație anaerobă

Datorită faptului că lipsa omogenizării prin amestecare poate duce la apariția inhibării procesului prin dezvoltarea unei pelicule la suprafața suspensiei, fiecare din cele două reactoare are incorporat la partea inferioară un magnet iar agitația se face cu ajutorul unui agitator magnetic cu viteză reglabilă (figurile 4.4 și 4.5).



Figura 4.4. – Magnet situat la partea inferioară a recipientului



Figura 4.5. – Agitator magnetic

Procesul de agitare se face zilnic pentru a asigura omogenizarea corespunzătoare a materialului din interiorul recipientelor de sticlă.

4.1.2. Controlul procesului și sistemul de evacuare a biogazului

Controlul procesului din punct de vedere al temperaturii.

Pentru a se asigura controlabilitatea procesului din punct de vedere al temperaturii de funcționare, aceasta este comandată cu ajutorul unui sistem electric ce conține un controller de tip TLK 39, respectiv cu ajutorul unui termocuplu de tip J, așa cum se poate observa din figurile 4.6 și 4.7.



Figura 4.6. – Controler de proces [108]



Figura 4.7. – Termocuplu tip J

Temperatura a fost setată la o valoare de 35 °C iar variația în timp a acesteia, ținând cont de faptul că producerea de biogaz reprezintă un fenomen exoterm, a reprezentat unul dintre parametrii de bază studiați în timpul procesului.

Sistemul de evacuare a biogazului



Figura 4.8. – Recipiente pentru colectarea de biogaz



Figura 4.9. – Manometru

4.1 - Descrierea instalației experimentale de laborator pentru testarea mostrelor 83

Sistemul de evacuare este compus din tuburi flexibile care fac legătura între vasele de sticlă cu volum util de 0,5 l și recipientele pentru colectarea biogazului (figura 4.8).

Datorită volumelor mici posibil de colectat, recipientele sunt etalonate la circa 3 l de gaz.

Suplimentar, sistemul mai este asigurat cu un sistem secundar de evacuare pentru cazuri de urgență.

Pentru monitorizarea presiunii ce poate apărea în sistem, acesta este prevăzut cu manometre etalonate până la valoarea de 1 bar (figura 4.9).

Sistemul poate fi folosit în egală măsură pentru testarea biomasei vegetale și a dejecțiilor animaliere, dar în cazul prezent s-a folosit pentru studiu doar biomasă de natură vegetală.

4.2. Descrierea instalației experimentale pilot

În cadrul Laboratorului de Tehnologii Neconvenționale din Facultatea de Mecanică, Universitatea Politehnică din Timișoara s-a realizat în cadrul unui proiect de promovare a energiilor curate în instalațiile românești o instalație pilot pentru producerea de biogaz din deșeurii de biomasă. Instalația a fost realizată în baza brevetului de invenție numărul 122047, "Procedeu și Instalație pentru obținerea biogazului din biomasă", și, așa cum a fost prezentat în primul capitol, rolul principal este acela de a verifica potențialul de utilizare a diverselor tipuri de deșeurii de biomasă în procese de fermentație anaerobă pentru obținerea de biogaz de bună calitate pentru utilizarea ulterioară a acestuia în procesele de ardere. [80] [86]

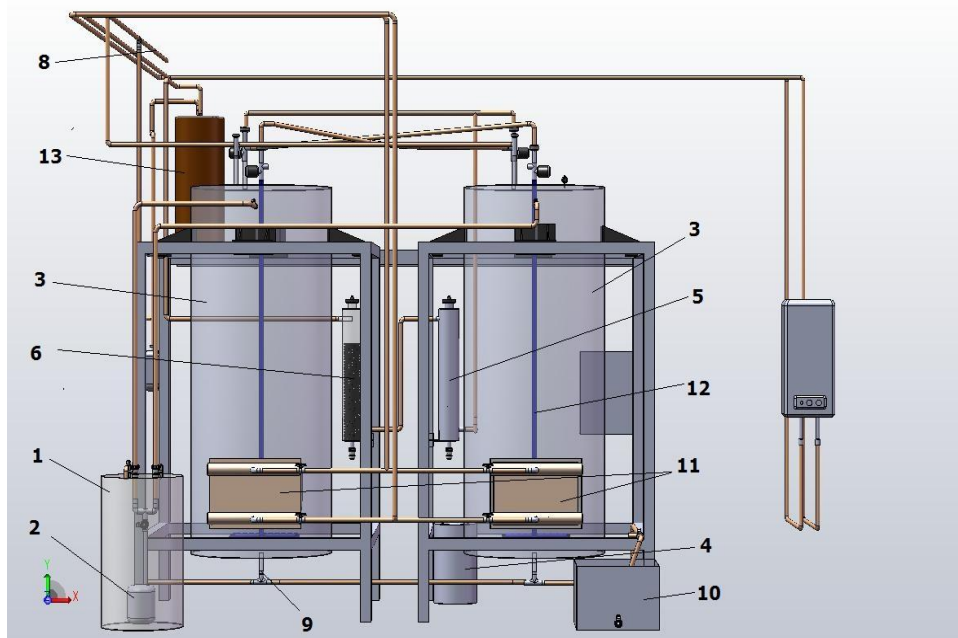


Figura 4.10a. – Schema de principiu a instalației pilot [11] [12] [13] [14] [15]

În figurile 4.10a, respectiv 4.10b se prezintă schemele principale ale instalației de fermentație anaerobă, respectiv sistemului de reținere a CO₂ rezultat din biogazul obținut (7).

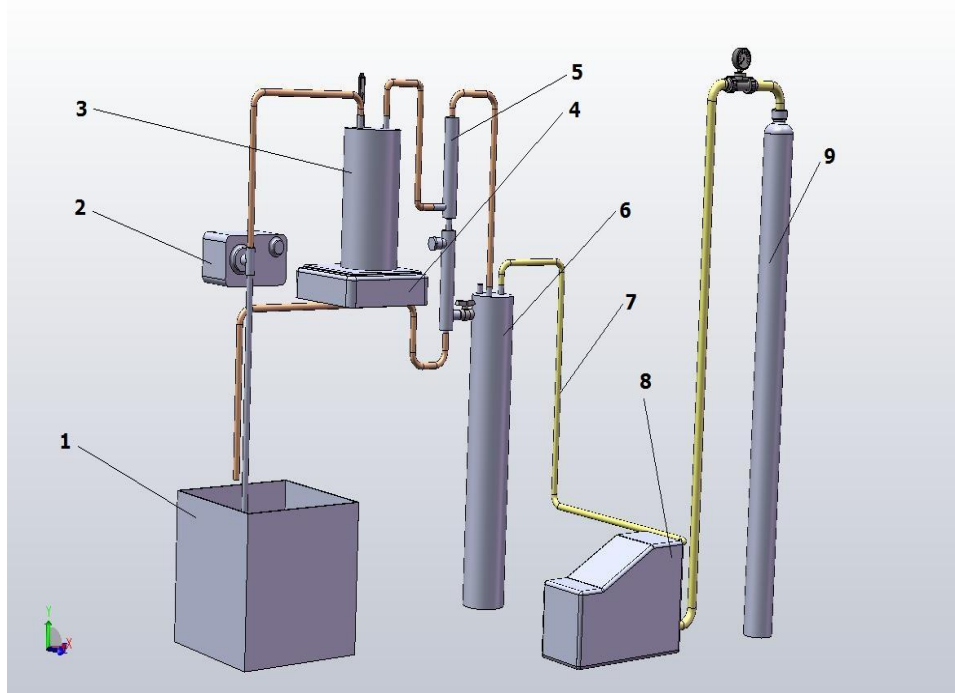


Figura 4.10b. - Schema de principiu a instalației de reținere a CO₂

1 - rezervor lichid, 2 - pompă dozatoare, 3 - rezervor încălzit, 4 - sistem de încălzire, 5 - separator de lichid, 6 - rezervor tampon, 7 - sistem de conducte, 8 - compresor, 9 - butelie

Principiul general de funcționare a instalației se prezintă în cele ce urmează.

Din depozitul de deșuri de biomasă se trece prin moară / tocător, materialul utilizat este apoi trimis în rezervorul de preparare suspensie biomasă (1). Suspensia de biomasă este preluată de pompa (2) și introdusă în reactoarele de fermentație anaerobă (3). Rezervorul de agent de corecție pH (4) asigură, prin sistemul de control, condițiile de desfășurare a procesului de fermentație metanică. Biogazul rezultat este trecut printr-un filtru (5) de reținere a hidrogenului sulfurat rezultat din proces apoi printr-un sistem de reținere a dioxidului de carbon (6), după care are loc desorbția CO₂ și comprimarea lui în sistemul adiacent (7), iar biogazul purificat și îmbogățit în metan este trimis la utilizare (8). Materialul uzat din reactoarele de fermentație metanică este evacuat periodic în sistem gravimetric (9) și este reținut materialul solid într-o incintă specifică iar uscarea acestuia este realizată separat, folosindu-se uscarea naturală, neforțată iar apoi este trimis într-un depozit de compost în vederea utilizării ca fertilizant pentru sol. O parte din lichidul rezultat este neutralizat, când este cazul, în sistemul (10) și trimis în rețeaua de canalizare sau este preluat de pompa de reutilizare / recirculare lichid (2) din rezervorul de

preparare suspensie de biomasă (1). Reactoarele de fermentație metanică sunt încălzite termostatat cu sistemul (11). Pentru realizarea omogenizării suspensiei din rezervoarele de fermentație anaerobă se folosește un sistem de barbotare (12) realizat din conducte de polipropilenă pentru a se evita posibila corodare a acestora. De asemenea, pentru a depozita cantități reduse de biogaz în scopul analizării acestuia, instalația este echipată cu un rezervor de mici dimensiuni (13) dispus la partea superioară [37].

În figura 4.10b. se prezintă schema de principiu a sistemului de reținere a CO₂ conținut în biogaz.

Modul în care se realizează reținerea CO₂ este prezentat mai jos (subcapitolul 4.2.5.).

În cele ce urmează se prezintă componentele principale ale instalației.

4.2.1. Sistemul de pregătire preliminară a biomasei [86]

Reactorul de hidroliză ce alcătuiește sistemul de pregătire preliminară a biomasei este confecționat din oțel inoxidabil, grosime 3 mm, cu următoarele caracteristici (figura 4.11):

- > diametru : 600 mm ;
- > înălțime : 1000 mm ;
- > volum util : 250 l.



Figura 4.11. – Sistemul de pregătire preliminară a biomasei [11]

În vasul de preparare se află o pompă submersibilă folosită pentru ape reziduale cu rol de a realiza omogenizarea materialului introdus mai apoi în reactoarele de fermentație metanică.

În cazul în care se folosește pentru procesul de fermentație reziduu de natură lemnoasă, datorită faptului că descompunerea lignocelulozei care formează acest material se face lent și incomplet, în această fază de preparare este necesară introducerea de acid acetic în amestecul de apă, biomasă și CaCO₃, pentru a se realiza ruperea parțială a catenelor de lignină.

Important de menționat este faptul că în timpul preparării suspensiei este important de monitorizat variația pH-ului în rezervorul de preparare, iar acest lucru se poate face cu un pH-metru portabil. S-a folosit un pH-metru model 330 i. [109]

4.2.2. Rezervoarele de fermentație anaerobă



Figura 4.12. – Rezervoarele de fermentație anaerobă [11] [13] [37]

În figura 4.12. se prezintă rezervoarele de fermentație anaerobă.

Reactoarele de fermentație sunt de formă cilindrică verticală, fiind confecționate din oțel inoxidabil gros de 3mm având următoarele caracteristici :

- > diametrul : 1200 mm
- > înălțime : 3000 mm
- > volum total: 6,8 m³ (3,4 m³/reactor)
- > volum util ~ 4,5 m³ (suspensie fermentație) [86]

Cu ajutorul pompei submersibile aflată în sistemul de preparare preliminară a biomasei se introduce materialul în rezervoarele de fermentație anaerobă cu ajutorul unui sistem de conducte.

Caracteristic acestei instalații este sistemul de încălzire a rezervoarelor cu ajutorul unor schimbătoare de căldură montate la partea inferioară, alcătuite din 6 serpentine / schimbător de căldură și alimentate cu apă caldă de la un cazan situat în apropierea instalației (figura 4.14).

Pentru a se evita pierderile de căldură traseul de legătură dintre cazan și instalație este izolat.

De asemenea, așa cum se poate observa și din figura 4.12., rezervoarele sunt izolate termic cu folie de aluminiu termoizolantă pentru a diminua pierderile de căldură cu exteriorul.



Figura 4.13. – Schimbătoarele de căldură folosite pentru instalație [11]



Figura 4.14. – Cazanul folosit pentru încălzirea instalației [11]

Date tehnice pentru schimbătoarele de căldură (figura 4.13):

Lungime serpentine: circa 1000mm

Diametru serpentine: 25,5 mm

Număr serpentine / schimbător: 6 [86]

4.2.3. Sistemul de evacuare a biogazului

Sistemul de evacuare a biogazului este alcătuit dintr-un sistem de conducte realizate din polipropilenă situate la partea superioară a rezervoarelor, un sistem 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. În figura 4.15 este prezentat panoul pentru comanda și monitorizarea parametrilor caracteristici ai procesului de formare a biogazului. În figura 4.16. este prezentat sistemul de conducte și electroventile dispus la partea superioară a rezervoarelor de fermentație anaerobă, folosit la evacuarea biogazului produs.



Figura 4.15. – Panoul de comandă și monitorizare al instalației



Figura 4.16. – Sistemul de conducte și electroventile montat pe capacul instalației

De asemenea, sistemul mai este prevăzut cu un rezervor pentru stocarea de cantități mici de biogaz destinat analizei, rezervor prezentat în figura 4.17, respectiv un contor de gaz pentru monitorizarea cantității evacuate de biogaz și a producției obținute (figura 4.18).



Figura 4.17. – Rezervor stocare biogaz [11]



Figura 4.18. – Contor gaz

Date tehnice rezervor stocare biogaz
Înălțime : 1000 mm
Diametru : 400 mm
Volum util : aproximativ 125 l
Presiune maximă : 4 bar [86]

4.2.4. Sistemul de epurare a biogazului

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 . Cele două filtre sunt poziționate, așa cum se poate observa în figura 4.19. între cele două rezervoare de fermentație anaerobă.



Figura 4.19. - Filtrul de H_2S (în partea din spate) și filtrul de CO_2 (în partea din față) a instalației. [11]

Filtrul spălător (pentru reținere CO_2) [86]

Filtrul spălător (pentru reținere CO_2) este de formă cilindrică, verticală, confecționat din oțel inoxidabil de $\varnothing 160 \times 2$ mm cu înălțimea de 1000 mm. Până la o

Înălțime de 600 mm este umplut cu inele Raschig (figura 4.20.) pentru a realiza o suprafață de contact cât mai mare cu biogazul evacuat. La partea superioară, filtrul este prevăzut cu un ștuț conectat prin intermediul unui tub flexibil la o pompă dozatoare (figura 4.21.) cu rol de a pulveriza apa ce spală biogazul ce trece prin el.



Figura 4.20. – Inele Raschig pentru filtrul spălător



Figura 4.21. – Pompă dozatoare folosită pentru spălarea biogazului [99]



Figura 4.22. – Umplutură de șpan de oțel pentru filtrul de H₂S

Filtrul de hidrogen sulfurat (H₂S) [86]

Filtrul de H₂S are rolul de a reține urmele de H₂S (cu efect foarte toxic) din biogazul produs. Filtrul va fi de formă cilindrică verticală confecționat din țevă de oțel inoxidabil de Ø 160x 2mm cu înălțimea de 1000 mm este umplut cu șpan de oțel pe o înălțime de 700 mm (figura 4.22.).

4.2.5. Sistemul de reținere a dioxidului de carbon [86]

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. Sistemul de reținere a CO₂ este prezentat în figura 4.23., iar compresorul răcit cu aer este prezentat în figura 4.24. S-a folosit un astfel de model de compresor deoarece prin comparație cu modelele clasice, acesta prezintă avantajul unei economii de energie pentru rapoarte de comprimare de nivel mediu. [45]

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 CO₂ este preluat dintr-un recipient cu ajutorul unei pompe dozatoare de același tip cu cea folosită la spălarea biogazului.



Figura 4.23. – Ansamblu sistem reținere CO₂



Figura 4.24. – Compresor răcit cu aer [100]

Date tehnice rezervor încălzit :

Înălțime – 420 mm

Diametru – 200 mm

Date tehnice rezervor tampon :

Înălțime – 1000 mm

Diametru – 155 mm

Temperatura din interiorul rezervorului se determină cu ajutorul unui termometru cu mercur.

Debitul de lichid ce trece pe traseul de legătură dintre pompa dozatoare și rezervor poate fi reglat.

4.3. Echipamente de măsură, control și dispozitive anexe

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 (CH₄, CO₂, H₂S) se folosesc analizoare de gaz.

4.3.1. 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 cu suspensie de CaCO_3 .

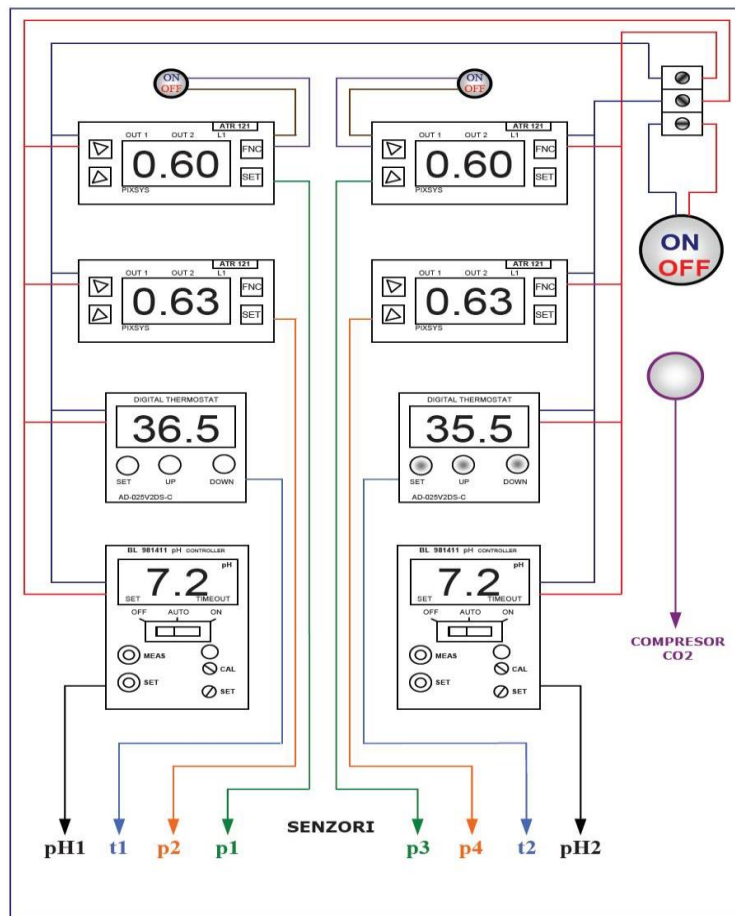


Figura 4.25. – Schema panoului de comandă a procesului de monitorizare

În figura 4.25. se prezintă schema de principiu a panoului de comandă a instalației.

Cu ajutorul acestuia s-a putut desfășura activitatea de monitorizare a procesului prin studierea parametrilor principali și anume presiune, temperatură și pH.

Pentru a putea studia procesul de fermentație în detaliu, respectiv de a determina cantitățile evacuate din fiecare rezervor, comanda electroventilelor s-a

făcut manual. De asemenea, nu s-a impus folosirea în mod continuu a pompelor dozatoare, motiv pentru care, pentru cercetări, acestea au fost comandate manual.

Coloana din stânga a panoului monitorizează parametrii rezervorului R1 de fermentație, iar cea din dreapta, parametrii rezervorului R2.

Presiunea din interiorul rezervoarelor este monitorizat prin intermediul senzorilor de presiune montați câte unul pe capacul fiecărui rezervor, iar celălalt la nivelul lichidului.

Afișajul este realizat prin cele două controlere de presiune model ATR 121, primul (cel de la partea superioară) fiind conectat la senzorul de pe capac, iar cel de sub el fiind conectat la senzorul de la nivelul lichidului. Presiunea este afișată în bar. Temperatura este monitorizată prin intermediul unor termocupluri de tip J poziționate la jumătatea rezervoarelor iar afișarea temperaturii se face cu ajutorul controlerelor de tip AD-025V2DS-C poziționate sub controlerile de presiune. Valoarea temperaturii este exprimată în °C.

Controlerile de la partea inferioară, model BL 981411 monitorizează valoarea pH – ului, valori determinate cu ajutorul senzorilor de pH model HI 1210 poziționați în partea din față a rezervoarelor de fermentație anaerobă.

De asemenea, pe panoul de comandă mai este montat un sistem de pornire – oprire pentru compresorul folosit la sistemul de reținere de CO₂.



Figura 4.26. – Controler de presiune ATR 121 [103]



Figura 4.27. – Senzor de presiune Trafag 48170



Figura 4.28. – Controler de temperatură model AD-025V2DS-C [89]



Figura 4.29. – Termocuplu tip J



Figura 4.30. – Controler pH tip BL 981411 [98] Figura 4.31. – Senzor pH model HI 1210 [97]



Figura 4.32. – Electroventil Brahma, Clasa A

În figurile 4.26 – 4.32 se evidențiază echipamentele folosite pentru întregul proces de monitorizare și control al parametrilor.

Electroventilele Brahma sunt acționate în perechi, una permițând gazului să curgă spre traseu de evacuare iar cealaltă permițând curgerea unei mici cantități de gaz din rezervorul barbotat în cel ce se barbotează și astfel creându-se agitația internă necesară pentru a evita apariția potențialului strat superficial cu rol inhibitor pentru procesul de fermentație anaerobă.

4.3.2. Măsurarea concentrației de CH₄ și CO₂

Biogazul are, după cum s-a menționat în capitolele anterioare, în compoziția sa un procent major de metan și bioxid de carbon.

Din această cauză, pentru a determina calitățile biogazului obținut este necesară măsurarea concentrației acestor două componente, precum și a urmelor de hidrogen sulfurat (H₂S), un gaz considerat foarte toxic, care apar în biogazul obținut.

Pentru măsurarea acestor valori este necesară folosirea unor analizoare de gaz, iar în cele ce urmează se vor prezenta pe scurt echipamentele folosite.

Gazo- analizorul TESTO 300 XXL



Figura 4.33. - Unitatea de control [106]
 1 - imprimantă, 2 - creion electronic,
 3 - bară pentru informații de sistem, 4 -
 afișare valori măsurate, 5 - bară pentru informații legate de
 funcționare, 6 - taste operare funcții,
 7 - tastatură, 8 - conectare sondă presiune,
 9 - conectare probă,
 10 - conectare unitate de analiză, 11 -
 interfață tip serial.

Gazo - analizorul TESTO 300 XXL este un echipament performant de determinare a emisiilor gazoase din gazele de ardere, determinarea acestora realizându-se în celule speciale, în urma unor reacții chimice tip Peltier. Gazele analizate sunt SO₂, CO, O₂, NO NO_x H₂ și H₂S.

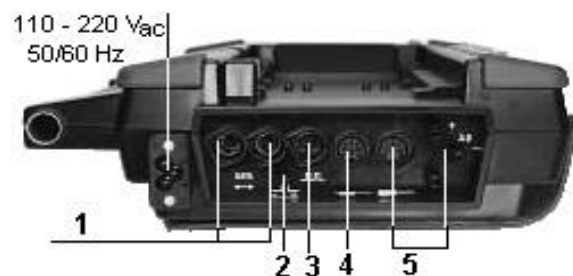


Figura 4.34. - Unitatea de analiză [106]
 1 - conexiuni transfer de date; 2 - diluție; 3 - semnal de alarmă;
 4 - senzor opțional de temperatură; 5 - conectare sondă.

Aparatul este format din trei subansambluri principale: unitatea de control (figura 4.33.), unitatea de analiză (figurile 4.34. și 4.35.) precum și sonda de prelevare a gazelor (figura 4.36.). Opțional se pot atașa diferiți senzori (temperatură, umiditate, debit) precum și o sondă Pitot-Prandtl. Principiul de analiză se bazează pe modificarea intensității curentului galvanic generat de o pilă galvanică al cărei electrolit își modifică proprietățile în urma reacției sale cu componenta gazoasă ce trebuie detectată și a cărei concentrație trebuie măsurată.



Figura 4.35. - Unitatea de analiză (vedere de sus) [106]

1 - contacte electrice; 2 - leduri de control; 3 - filtru particule solide; 4 - filtre reținere particule din aerul aspirat; 5 - colectare condens; 6 - celule de analiză; 7 - sistem integrat de determinare a vitezei și presiunii gazelor; 8 - conexiuni



Figura 4.36. - Sonda de prelevare a gazelor [106]

Gazul aspirat prin sondă este introdus în celulele de reacție când pompa de gaz este pornită manual sau automat. Înainte, însă, gazul de analizat este răcit brusc la $4 \div 8$ °C, având loc precipitarea condensatului. Gazul uscat trece apoi printr-un filtru special, în vederea reținerii particulelor solide. Acest filtru funcționează și ca o capcană pentru apă, protejând astfel senzorii și pompa.

Unitatea este echipată cu memorie proprie, în care se pot stoca până la 250.000 de date, precum și cu o imprimantă încorporată pentru tipărirea acestora. Datele măsurate pot fi transferate și către un PC printr-o interfață tip serială.

Prin conectarea la PC gazo-analizorul TESTO 300 XXL poate fi folosit la măsurători de lungă durată (săptămâni), fiind controlat de un program special, ComSoft 3.

Acest echipament a fost folosit în cadrul măsurătorilor pentru determinarea urmelor de hidrogen sulfurat rezultate în urma procesului de fermentație anaerobă.

Gazo - analizorul DELTA 1600 S IV (Figura 4.37.)

Acest gazo - analizor folosește pentru măsurare principiul NDIR (Non Dispersive Infrared Absorbtion), nefiind necesare pentru analiza CO₂ și CH₄ celule galvanice.

Echipamentul permite imprimarea datelor putând fi dotat cu o interfață pentru imprimantă externă, precum și conectarea la PC pentru transferul datelor pe orice suport electronic informațional. În figura 4.37. este prezentată componența gazo - analizorului Delta 1600 IV.



Figura 4.37. – Componenta analizorului Delta 1600 S IV [101]
1 – port conectare imprimantă externă, 2 – acumulator, 3 – afișaj,
4 – sistem de operare prin deplasare cu săgeți în meniul de control,
5 – comutator on – off, 6 – filtru captare picături apă,
7 – conexiune la sonda de prelevare gaz, 8 – conexiune la PC
9 – buton iluminare afișaj

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 %, O₂ în procent de până la 25 % și NO până la 5000 ppm.

4.4. Sinteza operațiilor necesare punerii în funcțiune a instalației experimentale de producere a biogazului.

4.4.1. Pregătirea instalației pentru experimente

În scopul punerii în funcțiune a instalației experimentale de producere a biogazului este necesară asigurarea utilităților corespunzătoare desfășurării diferitelor procese necesare de realizat, precum și existența tuturor echipamentelor de măsură și control a parametrilor necesari de monitorizat.

Utilitățile necesare de a fi asigurate sunt :

- > 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;
- > biocombustibilii solizi;
- > CaCO₃ pentru realizarea corecției de pH;

- > reactivi chimici (acid acetic) pentru cazul folosirii unei hidrolize acide;
- > substanțe 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.

4.4.2. Pornirea / oprirea instalației experimentale de producere a biogazului

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.

5. MĂSURĂTORI ȘI REZULTATE EXPERIMENTALE

5.1. Analize efectuate asupra biomasei înainte de desfășurarea procesului de fermentație anaerobă

Măsurătorile realizate în instalația pilot s-au făcut pentru patru tipuri diferite de biomasă, și anume două tipuri de rumeguș din două specii diferite de material lemnos (fag și tei), respectiv două tipuri de biomasă agricolă și anume boabe de porumb cu o vechime de circa 1 an, menținute în condiții de umiditate ridicată și u amestec de boabe de porumb și boabe de grâu deteriorate, neexistând posibilitatea de a le putea folosi în alte scopuri.

Pentru instalația de mici dimensiuni din laborator, studiul s-a făcut asupra a două sorturi de biomasă și anume tărâțe de grâu, respectiv un amestec de 40% boabe grâu, 40% boabe porumb și 20% semințe floarea soarelui.

Analize de laborator asupra acestor tipuri de biomasă s-au realizat în cadrul participării la un program de specializare în domeniul realizării analizelor pentru biocombustibilii solizi, în laboratoarele Ofi din Viena, program ce face parte din Proiectul European Phydades, ce are ca scop principal însușirea cunoștințelor aferente diverselor metode și standarde folosite la nivel european în această direcție.

În figurile 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 sunt evidențiate sorturile analizate în vederea determinării caracteristicilor acestora.



Figura 5.1. – Boabe porumb măcinat



Figura 5.2. – Rumeguș fag măcinat



Figura 5.3. – Rumeguș tei măcinat

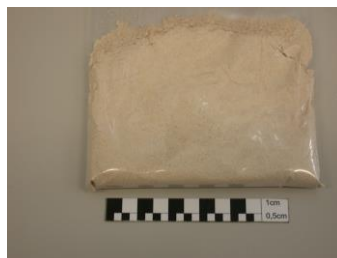


Figura 5.4. – Amestec boabe de grâu și porumb deteriorat



Figura 5.5. – Tărâțe de grâu măcinate



Figura 5.6. – Rețetă grâu, porumb, floare, măcinate

În urma analizelor de laborator s-au determinat următoarele proprietăți pentru biomasa prezentată mai sus:

În Tabelul 5.1. sunt prezentate caracteristicile sorturilor de biomasă folosite.

Tabel 5.1. – Caracteristici ale sorturilor de biomasă folosite [67] [68] [69] [70]

Nr Crt	Mostră	Umiditate [%]	Umiditate higroscopică [%]	Conținut cenușă [%]	Putere calorif. superioară [kJ/kg]	Putere calorif. inferioară [kJ/kg]
1	Tărâțe măcinate	10.23	0.16	4,63	17098	15535
2	Rețetă cereale (grâu, porumb, floare)	11.76	1.04	1,81	16744	15192
3	Porumb măcinat	13.91	1.50	1,88	15933	14488
4	Rumeguș fag măcinat	6.43	0.51	0,92	17751	16322
5	Rumeguș tei măcinat	8.01	0.23	0,54	17705	16263
6	Amestec boabe grâu și porumb	10.98	0.88	1,64	16591	15245

În Tabelele 5.2. și 5.3. sunt prezentate elementele chimice majore și minore din mostrele analizate.

Tabel 5.2. – Elemente chimice majore din mostrele analizate [71]

Nr Crt	Elem.	Tărâțe măcinate Conc. [mg / kg]	Rețetă cereale Conc. [mg / kg]	Porumb măcinat Conc. [mg / kg]	Rumeguș fag măcinat Conc. [mg / kg]	Rumeguș tei măcinat Conc. [mg / kg]	Amestec boabe grâu și porumb Conc. [mg / kg]
1	Mg	1331	764	733	496	289	797
2	Al	71	61	62	143	85	55

100 Măsurători și rezultate experimentale - 5

3	Si	174	34	26	321	183	-
4	P	5855	2419	1725	267	82	2332
5	S	1165	925	736	109	82	1181
6	Cl	370	388	375	47	44	680
7	K	9697	4359	2955	2035	936	4491
8	Ca	1209	901	382	3605	2808	716
9	Mn	108	14	3	74	34	31
10	Fe	177	117	84	122	77	81
11	Zn	69	25	16	9	7	23

Tabel 5.3. – Metale grele din mostrele analizate [72]

Nr Crt	Elem.	Tărățe măcinate Conc. [mg / kg]	Rețetă cereale Conc. [mg / kg]	Porumb măcinat Conc. [mg / kg]	Rumeguș fag măcinat Cd [mg / kg]	Rumeguș tei măcinat Conc. [mg / kg]	Amestec boabe grâu și porumb Conc. [mg/kg]
1	Cr	0.919	8.034	2.225	1.868	3315	0.705
2	Mn	184.127	27.236	10.562	116.715	56.62	59.158
3	Co	1.385	0.866	1.763	1231	1.172	0.6
4	Ni	1.494	4.789	0.776	157	2.138	-
5	Cu	6.053	-	-	-	-	-
6	As	0.366	-	-	2.081	-	-
7	Se	0.833	-	0.18	1.004	0.002	0.289
8	Br	5.472	10.836	11.5	2366	1.632	10.114
9	Sr	7.256	2.819	0.662	12.579	11.824	2.098
10	Cd	4.102	3.905	3.52	3.604	2.457	3.58
11	Sn	-	0.387	0.653	-	-	0.584
12	Hg	-	-	-	-	-	-
13	Pb	6318	8.02	7.737	15.704	7.899	8.291



Figura 5.7. – Echipament de determinare a elementelor majore și metalelor grele din mostrele de biomasă.

5.1 - Analize efectuate asupra biomasei înainte de desfășurarea procesului 101

Analizele pentru determinarea elementelor majore și metalelor grele s-au realizat prin intermediul spectroscopiei cu fluorescență de raze X, folosind un echipament de analiză model Philips – Magix Pro.

Durata analizelor este între 15 – 20 minute pentru determinarea elementelor majore, respectiv 2 ore pentru determinarea metalelor grele pentru fiecare mostră în parte.

Înainte de introducerea biomasei în instalația pilot, este necesară reducerea dimensiunilor inițiale ale acesteia (acolo unde este cazul) la o valoare de 1 – 2 mm.

Acest lucru se impune pentru prevenirea blocării traseului de alimentare, respectiv pentru ușurarea procesului de degradare din interiorul rezervoarelor de fermentație anaerobă.

Pentru reducerea dimensiunilor se folosește moara de tip retsch Sm 2000, prezentată în figura 5.7.



Figura 5.8. – Moară Retsch Sm 2000 [104]

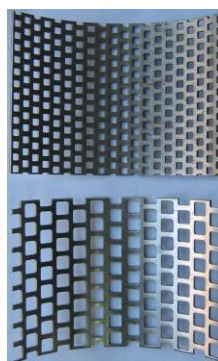


Figura 5.9. – Site cu ochiuri pătrate (2mm; 4mm) [104]

De asemenea, în cazul rumegușului din material lemnos se impune o hidroliză acidă înainte ca suspensia să fie introdusă în rezervoarele de fermentație anaerobă, hidroliză realizată folosind acid acetic concentrație 99%, într-un raport de 2 : 100 l suspensie, iar durata agitării pentru omogenizare și inițierea procesului de rupere a catenelor de ligno-celuloză este de aproximativ 2 ore pentru fiecare șarjă introdusă în rezervoare.

De asemenea, raportul de masă solidă / volum lichid se situează pentru fiecare șarjă în jurul valorii de 3 – 4% masă solidă față de volum lichid.

5.2. Rezultate experimentale obținute din instalația de laborator

Instalația de laborator a fost realizată cu scopul principal de a monitoriza fazele procesului de fermentație anaerobă pentru un anumit regim de funcționare.

De asemenea, prin controlul temperaturii s-a observat comportarea în timp a materialului introdus, de la faza de amorsare până la încetarea procesului.

Datorită volumelor reduse de gaz obținut nu s-a putut determina cu exactitate conținutul în procente de metan și bioxid de carbon.

În cele două șarje ce au funcționat în paralel au fost introduse ca și materiale tărate de grâu (pe ramura din partea stângă), respectiv un amestec 40% porumb boabe, 40% boabe de grâu, 20% coji semințe floarea soarelui (pe ramura din partea dreaptă), în proporție de 40% material solid și 60% parte lichidă.

În cele ce urmează se vor prezenta elementele monitorizării procesului de fermentație anaerobă în regim mezofilic (34 - 38°C).

Tabel 5.4. – Monitorizarea procesului desfășurat în instalația demonstrativă

Data	Temp. [°C]	Observații
02.05.2009	35	Material încărcat. Degajare bule de oxigen din vasele mari în cele mici.
03.05.2009	36	Apariție picături condens pe partea superioară a gâtului recipientelor.
04.05.2009	35	Prezență condens în recipiente.
05.05.2009	34	Ușoară descreștere a nivelului de lichid în vasele cu apă.
06.05.2009	34	Prezență condens în recipiente. Aspect omogen al materialului.
07.05.2009	35	Nivel lichid neschimbat în recipiente. La suprafața de contact suspensie - aer se observă mici bule de gaz.
08.05.2009	36	Nivel redus de condens. Se observă o creștere relativă a numărului de bule de gaz de la suprafața de contact suspensie - aer.
09.05.2009	36	Se observă o scădere a nivelului de lichid în recipientele de sticlă. În ramura din dreapta se observă un număr mai mare de bule de gaz decât în cea din ramura din partea stângă.
10.05.2009	35	Nivel relativ constant de lichid. Culoarea materialului începe să se modifice stratificat - culoare ușor mai închisă la partea superioară.
11.05.2009	36	Crește cantitatea de bule din ambele ramuri. Nivel relativ constant de condens. Scădere a nivelului de lichid în recipientele cu apă.
12.05.2009	35	Completare nivel lichid din rezervoarele cu apă. Apar primele bule de gaz transferate din rezervorul din partea dreaptă în recipientul cu apă.
13.05.2009	36	Apa din rezervoare începe să se tulbure. Nivel lichid relativ constant.
14.05.2009	35	Aspect tulbure al apei din rezervoare. Pe ambele ramuri se observă apariția bulelor de gaz.
15.05.2009	37	Se observă o ușoară scădere a nivelului de lichid.
16.05.2009	36	Aspectul materialului continuă să prezinte semne de degradare. La suprafața de contact cu aerul din interior se observă creșterea numărului de bule de gaz.
17.05.2009	37	Circa 1/2 din suprafața de contact prezintă bule provenite de la fenomenul de fermentație al materialului. Se observă scăderea nivelului de lichid în vasele cu apă.
18.05.2009	35	Completare nivel lichid din rezervoarele cu apă.

5.2 - Rezultate experimentale obținute din instalația de laborator 103

19.05.2009	34	Se observă apariția bulelor (cu o rată de trecere foarte scăzută) în rezervoare - circa 1 bulă de gaz la 10 - 15 min.
20.05.2009	35	Aspectul apei din rezervoare continuă să se tulbure. Prezență condens. Debit scăzut de bule de gaz.
21.05.2009	34	Se observă scăderea nivelului de lichid. Materialul din rezervoarele de fermentație continuă să se degradeze.
22.05.2009	35	2/3 din suprafața materialului prezintă bule de gaz provenite de la procesul de fermentație.
23.05.2009	36	Se deschid robinetii de evacuare - miros neplăcut - fermentat.
24.05.2009	36	Se observă creșterea ratei de curgere a bulelor de gaz în recipiente - 1 bulă la 5 - 10 minute.
25.05.2009	37	Prezență condens. Scădere nivel lichid.
26.05.2009	35	Aceleași date de trecere pentru bulele de gaz. Apa din rezervoare continuă să se tulbure. Se observă urme de impurități.
27.05.2009	34	Scădere nivel lichid. Completare. Se observă o ușoară intensificare a gradului de trecere a bulelor de gaz după agitarea materialului pentru omogenizare.
28.05.2009	35	Prezență condens. Nivel lichid aproximativ constant.
29.05.2009	35	Crește rata de curgere a bulelor - circa 1 bulă a 1-2 minute. Miros de material fermentat (conținut de urme de hidrogen sulfurat)
30.05.2009	36	Ușoară scădere a nivelului de lichid.
31.05.2009	35	Nu s-a făcut agitație - observarea comportării materialului neomogenizat.
01.06.2009	36	Nu s-a făcut agitație - se observă o ușoară delimitare între zone : materialul s-a decantat iar procesul este încetinit. Se observă scăderea ratei de transfer a bulelor.
02.06.2009	37	Proces inert din lipsă de omogenizare - scăderea nivelului de lichid.
03.06.2009	36	S-a realizat agitarea. Completare nivel lichid. Miros neplăcut.
04.06.2009	36	Se observă creșterea din nou a ratei de transfer a bulelor. Aspect foarte tulbure al apei din rezervoare.
05.06.2009	35	Nivel constant al ratei de transfer a bulelor : circa 1 bulă / minut.
06.06.2009	37	Parametri relativ neschimbați. Scade nivelul de lichid.
07.06.2009	34	Se observă o ușoară creștere a ratei de curgere a bulelor.
08.06.2009	35	Se menține o rată de curgere de circa 1 bulă / 30 - 40 secunde. Prezență condens.
09.06.2009	34	Rata de transfer se menține ca și în ziua precedentă.
10.06.2009	36	Aceleași date cu specificarea observării creșterii gradului de impurități din recipientele cu apă.
11.06.2009	37	Miros neplăcut. Aspect deteriorat al materialului din rezervoare.
12.06.2009	38	Se menține rata de curgere a bulelor cu o ușoară intensificare după procesul de agitare.

13.06.2009	37	Se observă modificări în aspectul recipientelor de prelevare de gaz.
14.06.2009	36	Proces continuu la aceiași parametri. Rată de curgere constantă.
15.06.2009	37	Se completează cu apă scăderea de volum în recipientele de lichid.
16.06.2009	35	Intensitatea procesului începe să scadă. Rată de curgere a gazelor redusă.
17.06.2009	34	Rată de curgere la aceiași nivel cu cea din ziua anterioară.
18.06.2009	36	Rată de curgere a gazelor în scădere. Prezență condens.
19.06.2009	34	Proces în aceleași condiții ca în ziua precedentă.
20.06.2009	37	Oprire funcționare instalație. Prelevare de mostre pentru studierea aspectului materialului.

Variatia temperaturii

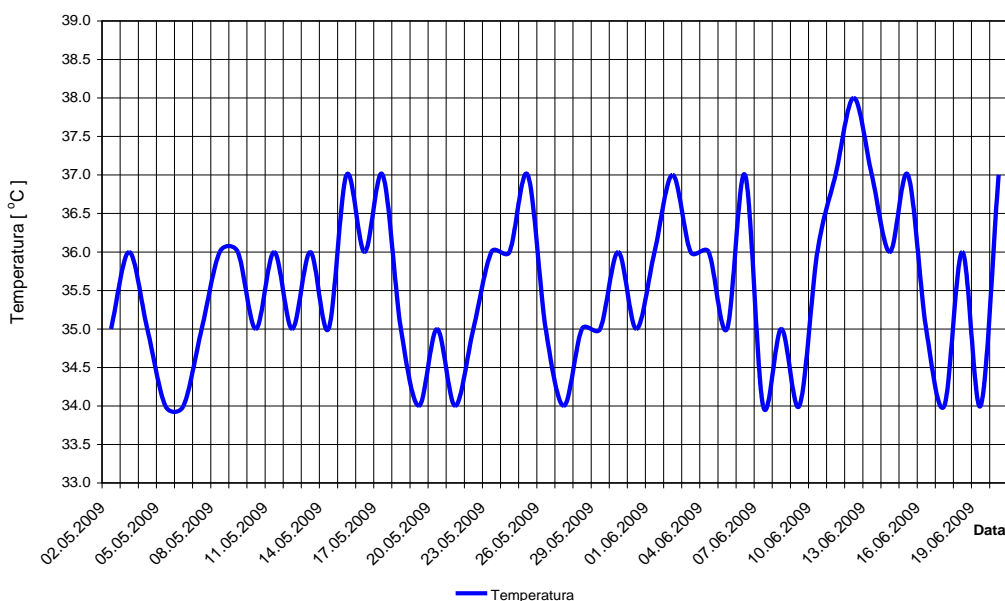


Figura 5.10. – Monitorizarea variației temperaturii în instalație

În figura 5.10. este prezentată variația temperaturii de-a lungul desfășurării procesului.

În figura 5.11. este prezentat un detaliu conex cu apariția primelor bule de gaz în instalație.

După câte se poate observa din datele prezentate tabelar, după circa 20 de zile s-a inițiat procesul de producere a biogazului în acest regim. Procesul a fost influențat atât de temperatură, ca factor principal asupra potențialului de producere a biogazului [17] cât și de gradul de omogenizare prin agitația realizată, lipsa ei putând duce la apariția unei cruste la suprafața superioară, respectiv a

mucegaiurilor cu rol inhibitor pentru proces. Valoarea medie a temperaturii este de circa 36°C.

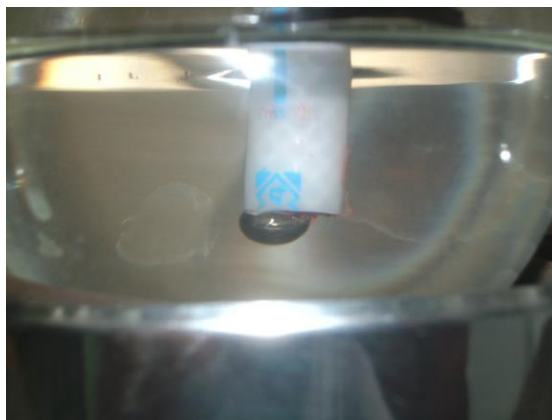


Figura 5.11. – Apariția primelor bule de gaz în instalație

Creșterea și descreșterea debitului de bule s-a făcut raportat la gradul de consumare a materiei organice din interiorul recipientelor

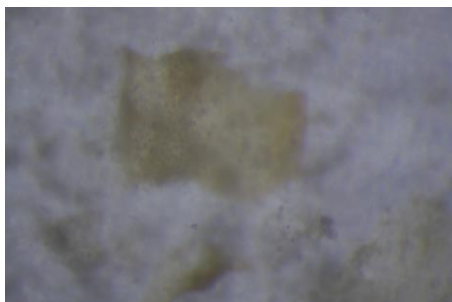


Figura 5.12. – Detaliu tărațe

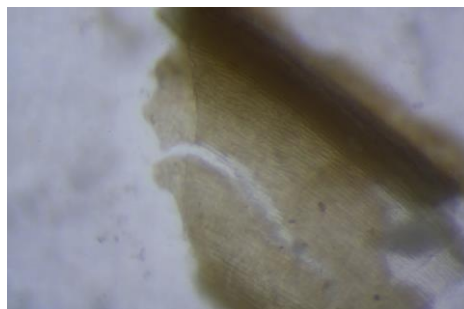


Figura 5.13. – Structură tărațe



Figura 5.14. – Detaliu amestec



Figura 5.15. - Impurități

Pentru a evidenția aspectul detaliat al materialului prezent în recipiente s-au realizat fotografii cu ajutorul unei lupe binoculare pentru a se putea observa detaliile influenței procesului asupra materialului.

Așa cum se poate observa din figurile 5.12. și 5.13., tărâțele prezintă o structură fibroasă, destul de greu de degradat prin fermentație anaerobă, cu toate că în figura 5.13. se poate observa haloul bacterian ce acoperă parțial un fragment din acest material.

De asemenea în figura 5.14. se observă detaliat componentele amestecului de cereale, în timp ce figura 5.15. evidențiază prezența haloului bacterian în jurul unui fragment de material, alături de impuritățile prezente în amestec.

Pentru a confirma faptul că procesul de fermentație a avut loc, mirosul caracteristic în acest caz a putut fi determinat atât de - alungul perioadei de monitorizare cât și la golirea recipientelor. Conform literaturii de specialitate, mirosul este una din problemele specifice procesului de fermentație anaerobă încă nerezolvată în totalitate[59]. Mirosul caracteristic este dovada existenței hidrogenului sulfurat în componența gazului obținut, precum și dovada procesului de degradare a materialului.

5.3. Măsurători realizate pe instalația pilot

În cele ce urmează se vor prezenta măsurătorile realizate pe instalația pilot de producere a biogazului prin fermentație anaerobă.

Măsurătorile sunt împărțite pe trei categorii:

- > măsurători conexe cu monitorizarea procesului de producere a biogazului;
- > determinarea parametrilor procesului de ardere a biogazului obținut;
- > determinarea puterii calorifice pentru deșeurile solide rezultate în urma procesului.

5.3.1. Monitorizarea procesului de producere a biogazului în instalația pilot.

Rezultatele experimentale obținute pe instalația pilot se concretizează în două categorii:

- > rezultatele monitorizării procesului;
- > rezultatele analizei biogazului obținut.

Șarja numărul 1 – rumeguș de fag

Șarja numărul 1 a fost reprezentată de introducerea în sistem a rumegușului de fag, având caracteristicile prezentate în capitolele anterioare, într-un raport parte solidă – parte lichidă de 0.037%.

În tabelele 5.5. și 5.6. se evidențiază parametrii monitorizați pe durata unei șarje 83 de zile pentru cele două rezervoare.

$$\text{Raport C/N} = \frac{47.9}{0.22} = 217 \text{ [24] [93]}$$

Cantitate material solid introdus în fiecare rezervor = 75 kg

Tabel 5.5. – Monitorizarea procesului în rezervorul numărul 1

Data	Presiune inițială [bar]	Presiune finală [bar]	Ph I	Temperatura I [°C]	Producție I [m ³]	ΔP1 [bar]
14/12/2007	0.30	0.30	6.9	30.2	0.000	0.00
15/12/2007	0.32	0.32	6.9	30.0	0.000	0.00
16/12/2007	0.33	0.33	6.9	29.7	0.000	0.00
17/12/2007	0.34	0.34	6.8	29.3	0.000	0.00
18/12/2007	0.38	0.38	6.9	30.6	0.000	0.00
19/12/2007	0.64	0.35	6.9	33.3	0.037	0.29
20/12/2007	0.38	0.38	6.8	31.5	0.000	0.00
21/12/2007	0.55	0.37	7.0	34.5	0.024	0.18
22/12/2007	0.54	0.07	6.8	33.0	0.064	0.47
23/12/2007	0.24	0.12	7.0	31.4	0.026	0.12
26/12/2007	0.67	0.30	6.9	31.0	0.050	0.37
27/12/2007	0.57	0.32	7.1	33.1	0.028	0.25
28/12/2007	0.60	0.33	7.1	33.5	0.047	0.27
30/12/2007	0.72	0.24	7.0	31.1	0.062	0.48
31/12/2007	0.43	0.12	7.4	31.7	0.121	0.31
03/01/2008	0.54	0.37	7.2	29.0	0.029	0.17
04/01/2008	0.60	0.60	7.0	28.7	0.000	0.00
05/01/2008	0.67	0.67	7.0	28.3	0.000	0.00
06/01/2008	0.75	0.51	7.0	28.0	0.030	0.24
07/01/2008	0.68	0.68	7.0	31.5	0.000	0.00
08/01/2008	1.03	0.76	7.0	38.3	0.032	0.27
09/01/2008	0.94	0.71	7.0	35.9	0.028	0.23
10/01/2008	0.93	0.69	7.0	33.4	0.030	0.24
11/01/2008	1.26	0.66	7.0	39.0	0.122	0.60
12/01/2008	1.06	0.50	7.0	35.5	0.127	0.56
14.01.2008	1.09	0.70	7.0	33.2	0.173	0.39
15.01.2008	1.21	0.58	7.0	31.6	0.188	0.63
16/01/2008	1.13	0.52	7.0	31.2	0.155	0.61
17/01/2008	1.07	0.64	7.0	35.8	0.087	0.43
18/01/2008	1.07	0.05	7.0	36.3	0.308	1.02
20/01/2008	0.89	0.46	7.1	31.8	0.060	0.43
21/01/2008	0.93	0.10	7.0	34.1	0.210	0.83
22/01/2008	0.63	0.63	7.2	36.1	0.000	0.00
23/01/2008	0.71	0.46	7.2	35.0	0.030	0.25
24/01/2008	0.61	0.61	7.2	36.6	0.000	0.00
25/01/2008	0.78	0.49	7.1	38.3	0.035	0.29
26/01/2008	0.58	0.41	7.1	34.8	0.021	0.17
28/01/2008	0.64	0.64	7.0	34.7	0.000	0.00
28/01/2008	0.75	0.75	7.0	34.3	0.000	0.00
30/01/2008	0.88	0.57	7.1	34.0	0.040	0.31
31/01/2008	0.75	0.55	7.0	33.6	0.027	0.20
01/02/2008	0.77	0.45	7.0	34.5	0.048	0.32

02/02/2008	0.76	0.36	7.0	33.5	0.122	0.40
04/02/2008	0.83	0.10	7.0	32.3	0.167	0.73
05/02/2008	0.20	0.20	7.0	33.0	0.000	0.00
06/02/2008	0.35	0.35	7.0	33.3	0.000	0.00
07/02/2008	0.43	0.43	7.0	34.5	0.000	0.00
08/02/2008	0.47	0.36	7.0	35.7	0.020	0.11
10/02/2008	0.40	0.40	7.0	32.3	0.000	0.00
11/02/2008	0.44	0.44	7.1	34.5	0.000	0.00
12/02/2008	0.50	0.50	7.0	36.9	0.000	0.00
13/02/2008	0.53	0.37	7.0	35.1	0.020	0.16
14/02/2008	0.40	0.40	7.0	33.0	0.000	0.00
15/02/2008	0.47	0.38	7.0	37.1	0.016	0.09
17/02/2008	0.38	0.38	7.0	33.5	0.000	0.00
18/02/2008	0.39	0.39	7.0	30.8	0.000	0.00
19/02/2008	0.56	0.37	7.0	35.6	0.028	0.19
20/02/2008	0.60	0.42	7.0	36.1	0.024	0.18
22/02/2008	0.72	0.39	7.1	33.7	0.076	0.33
24/02/2008	0.68	0.31	7.0	31.1	0.080	0.37
25/02/2008	0.55	0.55	7.0	30.6	0.000	0.00
26/02/2008	0.70	0.41	7.0	31.8	0.036	0.29
27/02/2008	0.84	0.48	7.0	36.3	0.055	0.36
28/02/2008	0.72	0.38	7.0	36.0	0.043	0.34
29/02/2008	0.86	0.27	7.0	38.1	0.078	0.59
01/03/2008	0.71	0.10	7.1	36.1	0.083	0.61
03/03/2008	0.70	0.32	7.0	35.6	0.051	0.38
04/03/2008	0.71	0.35	7.0	37.1	0.044	0.36
05/03/2008	0.63	0.03	7.0	35.0	0.115	0.60

Tabel 5.6. – Monitorizarea procesului în rezervorul numărul 2

Data	Presiune inițială [bar]	Presiune finală [bar]	Ph II	Temperatura II [°C]	Producție II [m ³]	ΔP2 [bar]
14/12/2007	0.20	0.20	7.1	30.1	0.000	0.00
15/12/2007	0.30	0.30	7.1	29.9	0.000	0.00
16/12/2007	0.42	0.42	7.1	29.4	0.000	0.00
17/12/2007	0.50	0.50	7.1	29.1	0.000	0.00
18/12/2007	0.60	0.60	7.1	30.1	0.000	0.00
19/12/2007	0.70	0.30	7.1	33.0	0.156	0.40
20/12/2007	0.40	0.40	7.2	30.8	0.000	0.00
21/12/2007	0.80	0.35	7.2	33.8	0.321	0.45
22/12/2007	0.80	0.05	7.0	31.7	0.388	0.75
23/12/2007	0.35	0.05	7.0	30.6	0.147	0.30
26/12/2007	0.90	0.30	6.8	29.9	0.239	0.60
27/12/2007	0.70	0.10	6.8	32.0	0.212	0.60
28/12/2007	0.40	0.10	6.9	31.9	0.105	0.30
30/12/2007	0.40	0.20	7.0	29.6	0.069	0.20
31/12/2007	0.30	0.30	7.2	30.1	0.000	0.00
03/01/2008	0.30	0.30	7.1	27.5	0.000	0.00

5.3 - Măsurători realizate pe instalația pilot 109

04/01/2008	0.35	0.35	7.1	27.2	0.000	0.00
05/01/2008	0.40	0.40	7.1	26.9	0.000	0.00
06/01/2008	0.45	0.45	7.1	26.7	0.000	0.00
07/01/2008	0.50	0.50	7.0	30.0	0.000	0.00
08/01/2008	0.80	0.50	7.0	36.7	0.049	0.30
09/01/2008	0.60	0.60	7.0	34.2	0.000	0.00
10/01/2008	0.65	0.65	7.0	31.8	0.000	0.00
11/01/2008	0.85	0.60	7.0	37.5	0.058	0.25
12/01/2008	0.80	0.50	7.0	35.4	0.061	0.30
14.01.2008	0.70	0.70	7.0	30.9	0.000	0.00
15.01.2008	0.80	0.60	7.0	30.1	0.072	0.20
16/01/2008	0.80	0.50	7.0	30.0	0.050	0.30
17/01/2008	0.80	0.60	7.0	33.5	0.059	0.20
18/01/2008	0.70	0.05	7.0	33.8	0.252	0.65
20/01/2008	0.35	0.35	7.0	29.7	0.000	0.00
21/01/2008	0.50	0.05	7.0	32.1	0.150	0.45
22/01/2008	0.40	0.40	7.1	34.1	0.000	0.00
23/01/2008	0.40	0.40	7.1	33.0	0.000	0.00
24/01/2008	0.45	0.45	7.1	33.5	0.000	0.00
25/01/2008	0.50	0.50	7.0	35.8	0.000	0.00
26/01/2008	0.50	0.50	7.1	32.7	0.000	0.00
28/01/2008	0.55	0.55	7.1	32.9	0.000	0.00
28/01/2008	0.55	0.55	7.1	32.2	0.000	0.00
30/01/2008	0.65	0.65	7.1	32.0	0.000	0.00
31/01/2008	0.65	0.65	7.1	31.6	0.000	0.00
01/02/2008	0.70	0.50	7.1	32.3	0.051	0.20
02/02/2008	0.55	0.40	7.1	31.8	0.031	0.15
04/02/2008	0.50	0.20	7.1	31.0	0.053	0.30
05/02/2008	0.30	0.30	7.1	31.8	0.000	0.00
06/02/2008	0.35	0.35	7.1	32.0	0.000	0.00
07/02/2008	0.40	0.40	7.1	32.8	0.000	0.00
08/02/2008	0.40	0.40	7.0	33.4	0.000	0.00
10/02/2008	0.50	0.50	7.0	30.8	0.000	0.00
11/02/2008	0.60	0.60	7.0	32.6	0.000	0.00
12/02/2008	0.65	0.65	7.0	34.3	0.000	0.00
13/02/2008	0.65	0.40	7.0	32.8	0.059	0.25
14/02/2008	0.40	0.40	7.1	30.8	0.000	0.00
15/02/2008	0.50	0.30	7.0	35.0	0.035	0.20
17/02/2008	0.35	0.35	7.0	31.4	0.000	0.00
18/02/2008	0.40	0.40	7.1	28.8	0.000	0.00
19/02/2008	0.60	0.40	7.0	33.4	0.040	0.20
20/02/2008	0.50	0.30	7.0	34.2	0.037	0.20
22/02/2008	0.40	0.30	7.0	32.4	0.030	0.10
24/02/2008	0.30	0.30	7.0	29.8	0.000	0.00
25/02/2008	0.35	0.35	7.1	29.1	0.000	0.00
26/02/2008	0.45	0.45	7.1	30.3	0.000	0.00
27/02/2008	0.60	0.30	7.0	34.9	0.062	0.30
28/02/2008	0.40	0.40	7.0	34.3	0.000	0.00
29/02/2008	0.50	0.25	7.0	37.3	0.056	0.25

01/03/2008	0.35	0.15	7.0	35.2	0.040	0.20
03/03/2008	0.20	0.20	7.1	36.0	0.000	0.00
04/03/2008	0.40	0.40	7.0	38.0	0.000	0.00
05/03/2008	0.40	0.05	7.0	35.3	0.064	0.35

După cum se poate observa, în tabelele de mai sus s-au prezentat parametrii caracteristici ai procesului de fermentație anaerobă și anume temperatura, pH-ul și presiunile create în sistem, precum și variațiile de producție a biogazului corelate cu perioadele specifice de amorsare, amplificare de proces, respectiv consumare a masei organice.

În figurile următoare se vor reprezenta grafic variațiile parametrilor procesului de fermentație anaerobă pentru ambele rezervoare.

Variația temperaturii

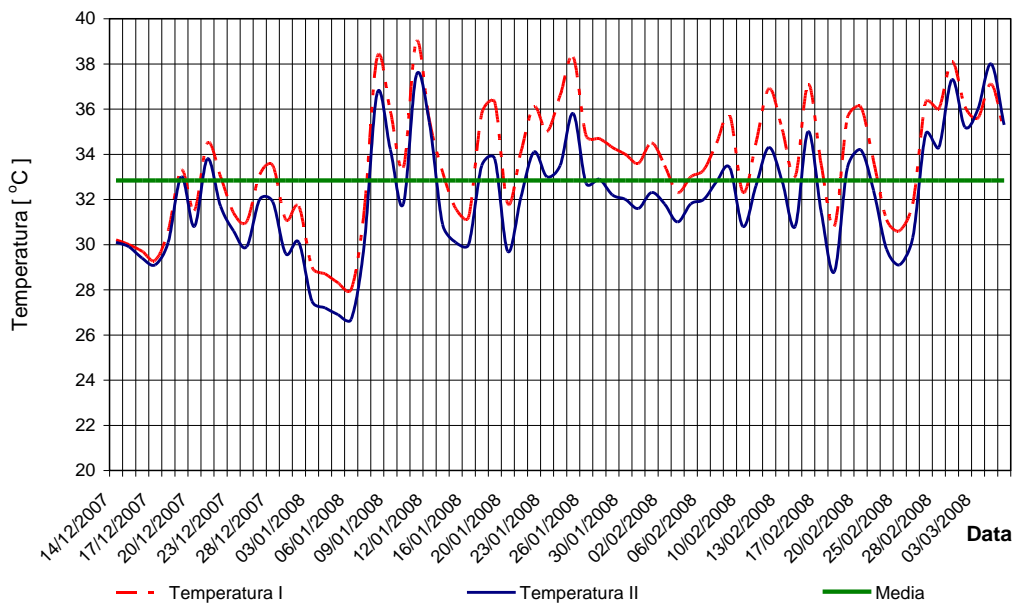


Figura 5.16. - Variația temperaturii pentru cele două rezervoare

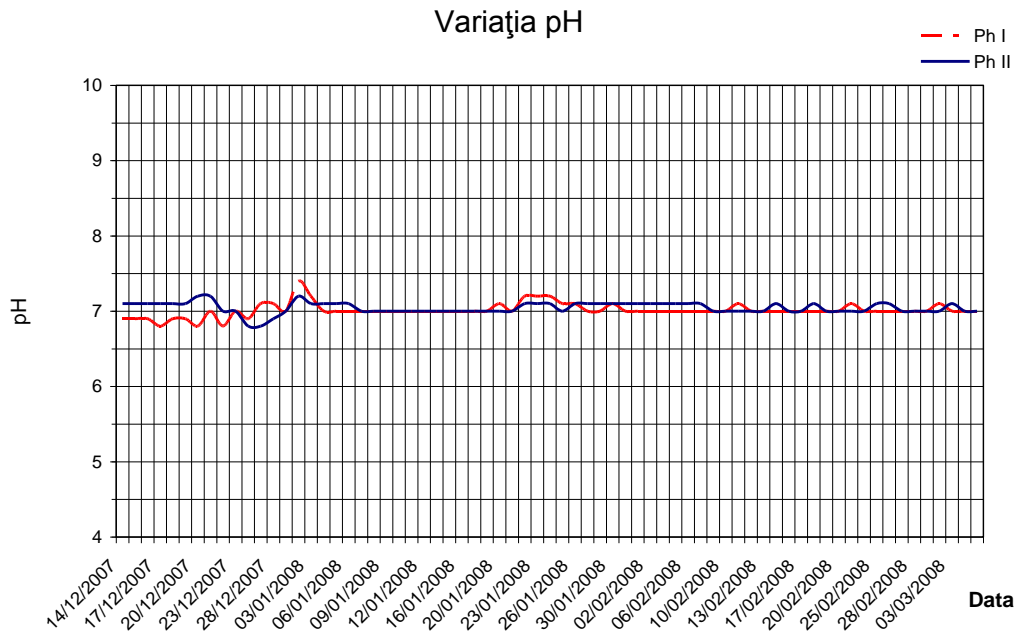


Figura 5.17. - Variația pH-ului în cele două rezervoare

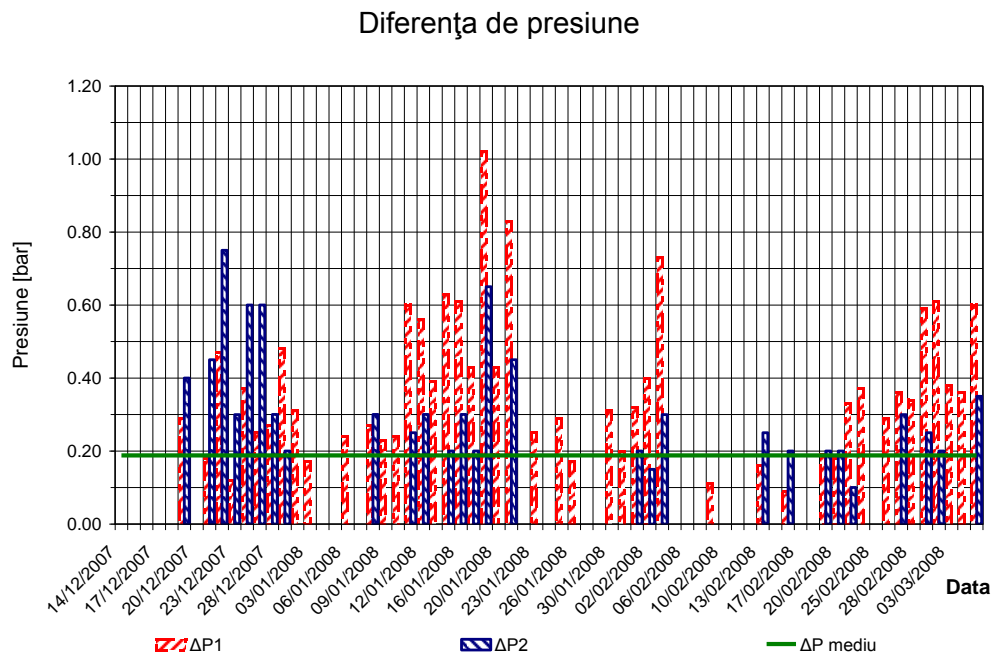


Figura 5.18. - Diferența de presiune în rezervoare

Producția de biogaz

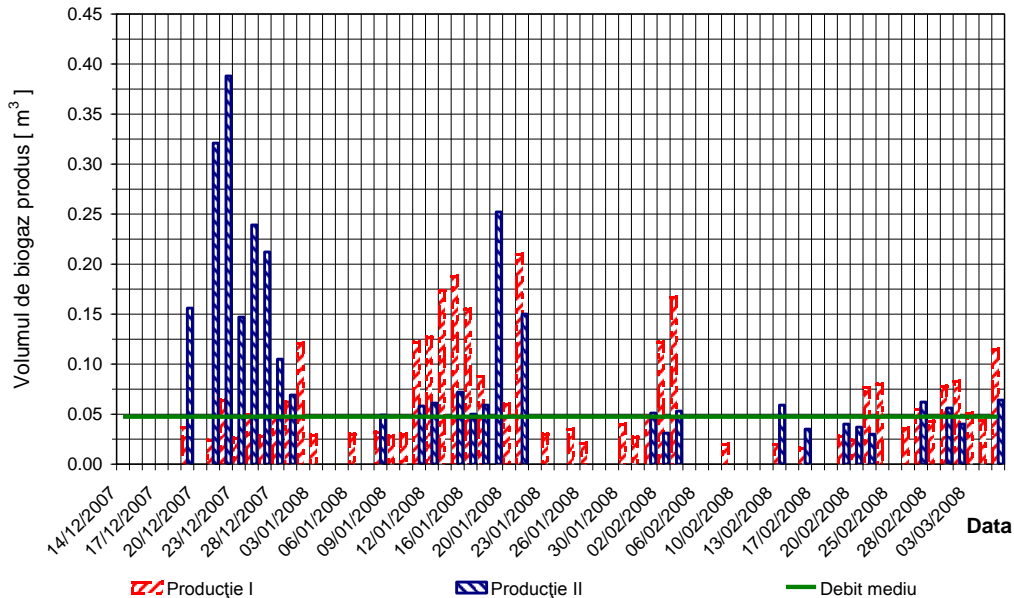


Figura 5.19. – Producția de biogaz realizată în cele două rezervoare

Din figura 5.16. se observă că cele două rezervoare au un comportament diferit în timp din punct de vedere al temperaturii, chiar dacă sunt încărcate identic și cu același material, cantitățile obținute sunt relativ egale, producția de biogaz fiind redusă.

Explicația cea mai probabilă a comportării diferite a celor două rezervoare este legată de eficiența diferită pentru cele două schimbătoare de căldură, fapt care duce la încălzirea diferită în fiecare dintre rezervoare.

Cu toate că temperaturile sunt diferite, variația lor una față de cealaltă se menține constantă la 2 – 3 °C în domeniul de temperatură între 30 - 37° C, diminuându-se la sub 1 °C pentru valori sub 30 °C. Prezența vârfurilor în sistem se datorează procesului de încălzire realizat cu ajutorul cazanului de mică putere, încercându-se o observare a comportamentului procesului atât la valori către limita impusă (37 - 38°C) cât și la valori sub 30 °C, astfel observându-se dependența directă dintre temperatura suspensiei și producția de biogaz.

Variația pH-ului se menține în domeniul 6,5 – 7,5, așa cum se poate observa din figura 5.17., diferențele mici de la zi la alta fiind corectate cu ajutorul pompelor dozatoare. Menținând o valoare relativ neutră a pH-ului se asigură astfel continuitatea procesului de producere a biogazului.

În figura 5.18. se prezintă diferența de presiune în rezervoare, luându-se în considerare golirea de la o zi la alta atunci când este cazul. Valoarea medie pentru diferența de presiune existentă este de circa 0.2 bar, reprezentând o valoare redusă raportat la cantitatea de material introdusă în instalație.

În figura 5.19. este prezentată producția de biogaz raportată la presiunea existentă în instalație. De asemenea se poate observa că valoarea medie corespunzătoare biogazului produs este de circa 0.05 m³ pe zi

Pe durata desfășurării procesului de fermentație anaerobă s-au făcut determinări în ceea ce privește analiza componentelor biogazului obținut.

Măsurătorile au fost realizate folosind analizoarele TESTO 300 XXL, respectiv DELTA 1600 S – IV, în două puncte de măsurare : înainte de intrarea în filtrul de reținere H₂S (ÎS), respectiv la nivelul rezervorului de depozitare biogaz, după filtrul spălător de CO₂ (DS).

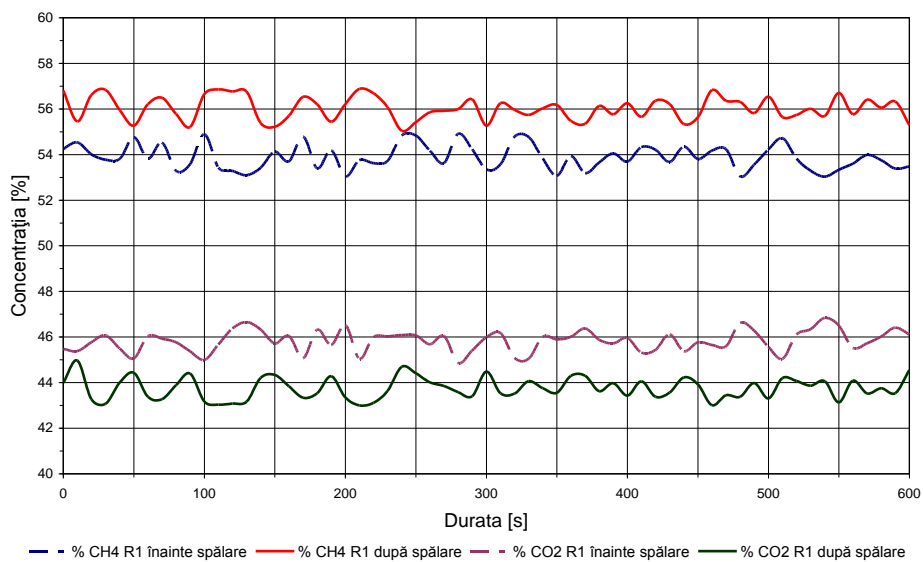
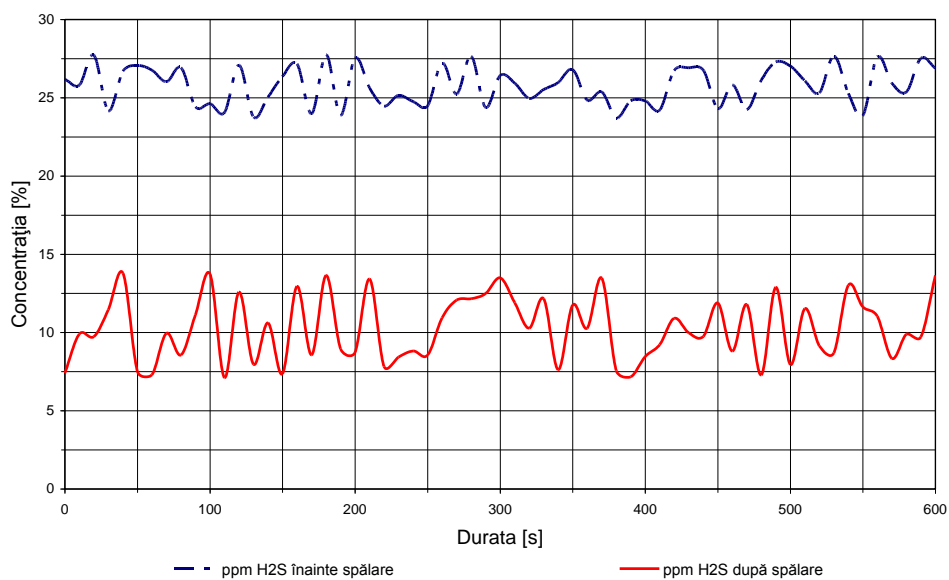
S-au realizat determinări în prima, a doua și a treia lună de funcționare, rezultatele fiind reprezentate tabelar și grafic mai jos. În tabelele 5.7. – 5.12. se prezintă variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat în cele două rezervoare pentru cele trei măsurători, iar în figurile 3.20. – 5.31. sunt prezentate grafic valorile măsurate.

Tabel 5.7. - Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 1, măsurătoarea numărul 1

Durata [sec]	H₂S ÎS [ppm]	CH₄ ÎS [%]	CO₂ ÎS [%]	CH₄ DS [%]	CO₂ DS [%]	H₂S DS [ppm]
0	26.18	54.25	45.48	56.81	43.98	7.40
10	25.80	54.53	45.37	55.46	44.97	9.91
20	27.71	54.01	45.76	56.61	43.27	9.73
30	24.15	53.77	46.07	56.84	43.07	11.46
40	26.70	53.81	45.49	55.94	44.00	13.79
50	27.07	54.76	45.05	55.27	44.43	7.50
60	26.76	53.81	46.03	56.21	43.38	7.30
70	26.02	54.53	45.92	56.49	43.27	9.95
80	26.93	53.28	45.76	55.78	43.89	8.56
90	24.41	53.58	45.36	55.21	44.39	11.12
100	24.62	54.89	44.99	56.65	43.17	13.74
110	24.05	53.43	45.67	56.86	43.03	7.11
120	27.09	53.28	46.37	56.76	43.08	12.58
130	23.76	53.09	46.65	56.76	43.16	7.97
140	25.03	53.42	46.32	55.38	44.21	10.61
150	26.34	54.12	45.71	55.22	44.33	7.36
160	27.16	53.70	46.05	55.70	43.84	12.95
170	23.97	54.79	45.06	56.53	43.33	8.57
180	27.76	53.39	46.32	56.20	43.53	13.65
190	23.86	54.18	45.65	55.44	44.28	8.96
200	27.53	53.03	46.52	56.21	43.35	8.74
210	25.63	53.75	45.04	56.87	43.00	13.42
220	24.47	53.62	45.99	56.69	43.11	7.83
230	25.15	53.72	46.02	56.08	43.64	8.42
240	24.74	54.83	46.08	55.04	44.69	8.82
250	24.48	54.83	46.07	55.42	44.40	8.56
260	27.22	54.16	45.68	55.85	44.01	10.94
270	25.23	53.62	46.04	55.92	43.85	12.07
280	27.65	54.91	44.86	55.99	43.58	12.16
290	24.37	54.23	45.40	56.42	43.40	12.48

114 Măsurători și rezultate experimentale - 5

300	26.42	53.34	45.98	55.26	44.48	13.49
310	25.93	53.56	46.17	56.25	43.53	11.91
320	24.96	54.78	45.08	55.95	43.51	10.28
330	25.52	54.77	45.04	55.74	44.06	12.16
340	25.96	53.82	46.01	56.03	43.76	7.62
350	26.80	53.06	45.90	56.17	43.55	11.76
360	24.84	53.93	46.00	55.48	44.29	10.27
370	25.37	53.19	46.37	55.35	44.30	13.47
380	23.70	53.65	45.87	56.13	43.63	7.57
390	24.80	54.05	45.72	55.77	43.97	7.16
400	24.79	53.68	45.95	56.25	43.43	8.45
410	24.21	54.32	45.31	55.66	44.05	9.22
420	26.74	54.21	45.43	56.36	43.38	10.91
430	26.91	53.67	46.11	56.22	43.56	9.98
440	26.76	54.35	45.37	55.34	44.23	9.75
450	24.29	53.80	45.76	55.63	43.92	11.88
460	25.82	54.17	45.65	56.82	43.01	8.81
470	24.24	54.23	45.59	56.36	43.44	11.78
480	26.12	53.04	46.62	56.31	43.38	7.29
490	27.28	53.55	46.27	55.82	43.98	12.89
500	27.02	54.23	45.56	56.54	43.30	7.95
510	26.08	54.71	45.04	55.65	44.20	11.52
520	25.31	53.82	46.10	55.74	44.07	9.15
530	27.66	53.29	46.34	56.01	43.87	8.70
540	25.28	53.03	46.83	55.69	44.06	13.02
550	23.84	53.33	46.49	56.70	43.13	11.64
560	27.62	53.60	45.52	55.77	44.08	11.03
570	25.92	53.98	45.72	56.40	43.52	8.34
580	25.37	53.75	46.01	56.05	43.75	9.90
590	27.53	53.38	46.41	56.33	43.53	9.72
600	26.88	53.47	46.10	55.28	44.55	13.66

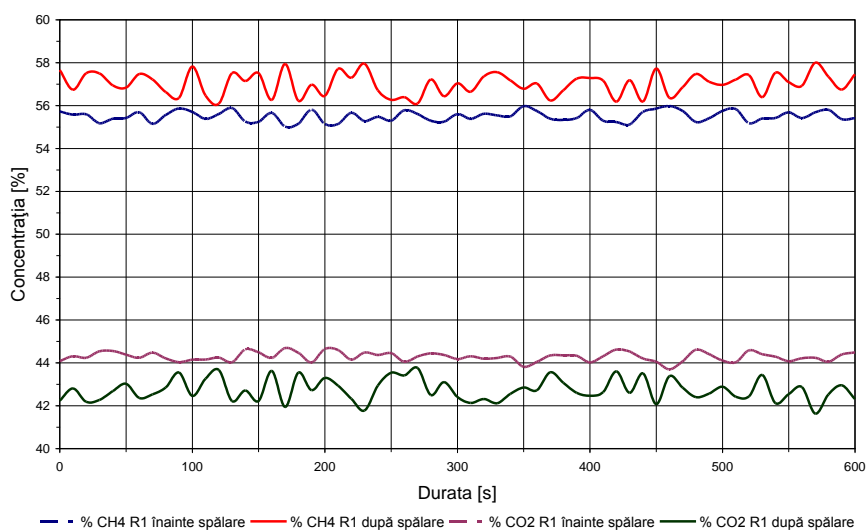
Variația concentrației de CH₄ și CO₂Figura 5.20. - Variația în % a concentrației de CH₄ și CO₂, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 1Variația concentrației de H₂SFigura 5.21. - Variația în ppm a concentrației de H₂S, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 1

Din figurile 5.20. și 5.21. se poate observa pe de-o parte creșterea conținutului de metan după filtrul spălător de CO₂ raportat la conținutul inițial produs înainte de filtrul de reținere H₂S corelată cu scăderea conținutului de CO₂ din biogazul produs, fapt care arată importanța spălării gazului într-un filtru special, iar pe de altă parte se observă scăderea conținutului de H₂S după filtrul de spălare CO₂ față de valoare inițială existentă înainte de filtrul de reținere H₂S, valorile finale tinzând spre valoarea de zero.

Tabel 5.8. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 1, măsurătoarea numărul 2

Durata Secunde	H₂S ÎS [ppm]	CH₄ ÎS [%]	CO₂ ÎS [%]	CH₄ DS [%]	CO₂ DS [%]	H₂S DS [ppm]
0	24.14	55.72	44.07	57.66	42.23	13.76
10	25.28	55.57	44.30	56.74	42.80	12.39
20	25.38	55.59	44.24	57.51	42.18	11.78
30	25.06	55.17	44.53	57.50	42.27	12.16
40	25.75	55.38	44.55	56.94	42.68	12.74
50	26.64	55.42	44.38	56.84	43.02	7.15
60	25.65	55.69	44.23	57.47	42.36	7.28
70	24.12	55.14	44.47	57.22	42.53	9.16
80	25.46	55.56	44.20	56.63	42.85	11.49
90	24.83	55.86	44.03	56.35	43.55	10.97
100	23.66	55.70	44.15	57.82	42.46	11.64
110	27.75	55.38	44.15	56.46	43.26	12.30
120	26.05	55.60	44.24	56.08	43.67	7.05
130	23.94	55.89	44.02	57.51	42.22	8.12
140	27.71	55.25	44.62	57.14	42.71	11.38
150	25.79	55.24	44.48	57.52	42.21	8.84
160	27.63	55.66	44.22	56.26	43.62	10.14
170	24.16	55.01	44.69	57.94	41.94	7.50
180	24.96	55.15	44.46	56.22	43.54	8.45
190	27.22	55.81	44.01	56.97	42.73	7.98
200	25.25	55.14	44.65	56.45	43.30	13.09
210	24.36	55.14	44.60	57.71	42.94	13.09
220	25.31	55.66	44.15	57.29	42.32	11.56
230	27.36	55.28	44.48	57.95	41.78	7.13
240	24.70	55.47	44.36	56.71	42.94	11.71
250	24.87	55.29	44.45	56.26	43.54	10.29
260	26.67	55.78	44.05	56.39	43.41	12.79
270	24.50	55.60	44.29	56.09	43.76	9.34
280	26.72	55.28	44.44	57.22	42.50	8.34
290	24.92	55.24	44.36	56.43	43.11	9.99
300	24.53	55.60	44.17	57.04	42.41	9.82
310	25.43	55.38	44.31	56.64	42.13	7.70
320	26.21	55.61	44.19	57.36	42.31	11.40
330	24.51	55.54	44.23	57.55	42.12	8.19
340	24.71	55.49	44.29	57.17	42.55	8.46

350	25.30	55.97	43.81	56.78	42.85	10.46
360	26.77	55.74	44.04	57.03	42.72	9.33
370	25.19	55.39	44.34	56.24	43.56	8.85
380	24.79	55.33	44.35	56.72	43.07	8.10
390	26.78	55.41	44.33	57.25	42.60	12.74
400	27.34	55.80	44.02	57.28	42.46	9.73
410	27.35	55.29	44.30	57.16	42.63	13.19
420	24.00	55.23	44.62	56.18	43.61	11.58
430	26.54	55.11	44.52	57.18	42.61	10.32
440	27.71	55.70	44.20	56.19	43.51	10.35
450	26.26	55.85	44.05	57.72	42.07	10.12
460	27.29	55.98	43.70	56.36	43.38	7.93
470	23.86	55.74	44.07	56.86	42.84	8.11
480	23.79	55.23	44.61	57.47	42.40	8.30
490	26.19	55.40	44.40	57.10	42.57	8.69
500	27.81	55.74	44.10	56.96	42.88	8.47
510	25.05	55.83	44.02	57.21	42.42	12.04
520	24.18	55.17	44.58	57.42	42.43	9.73
530	27.53	55.39	44.40	56.39	43.44	7.88
540	26.18	55.42	44.29	57.53	42.12	10.91
550	25.56	55.68	44.07	57.10	42.54	8.66
560	25.07	55.41	44.21	56.92	42.87	9.24
570	24.61	55.68	44.23	58.00	41.63	13.74
580	25.27	55.80	44.05	57.34	42.53	9.03
590	25.46	55.36	44.39	56.75	42.95	11.33
600	27.77	55.41	44.48	57.46	42.31	8.55

Variația concentrației de CH₄ și CO₂Figura 5.22. - Variația în % a concentrației de CH₄ și CO₂, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 2

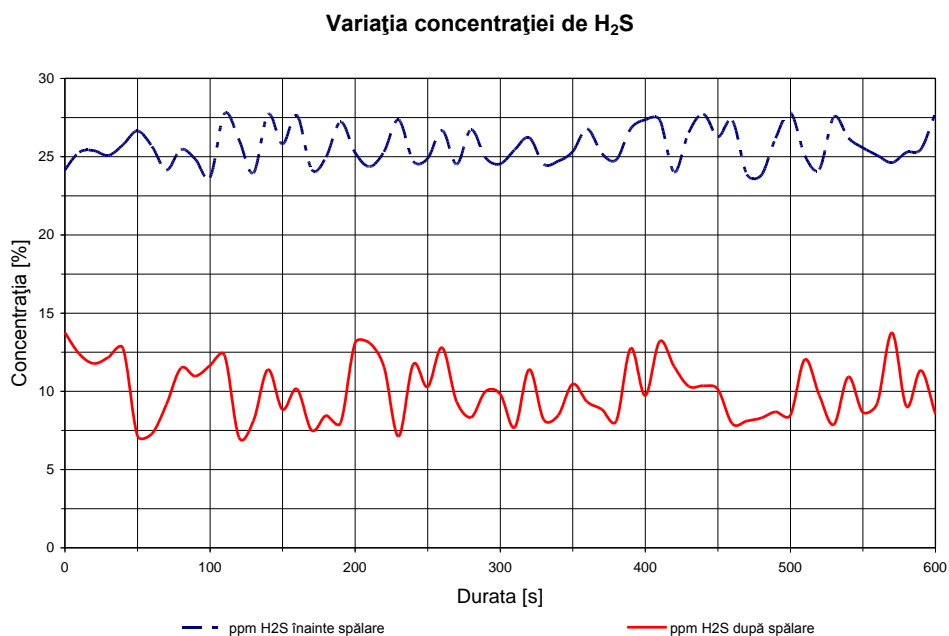


Figura 5.23. – Variația în ppm a concentrației de H₂S, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 2

Din figurile 5.22. și 5.23. se poate observa, asemănător cu prima măsurătoare realizată, creșterea conținutului de metan, corelată cu scăderea conținutului de CO₂, după filtrul spălător de CO₂, precum și scăderea concentrației de H₂S. Totuși, valorile înregistrate sunt mai mari pentru a doua măsurătoare, din punct de vedere al concentrației de metan cu două procente, raportat la prima măsurătoare.

Tabel 5.9. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 1, măsurătoarea numărul 3

Durata secunde	H ₂ S ÎS [ppm]	CH ₄ ÎS [%]	CO ₂ ÎS [%]	CH ₄ DS [%]	CO ₂ DS [%]	H ₂ S DS [ppm]
0	25.70	53.69	46.22	54.17	45.46	7.10
10	23.95	53.06	46.65	53.55	46.30	11.51
20	24.85	52.37	47.33	54.10	45.74	11.11
30	27.46	53.93	45.82	54.90	44.81	7.04
40	24.50	52.82	47.04	53.86	46.02	7.33
50	23.69	52.39	47.40	53.58	46.33	8.97
60	25.46	52.45	47.42	54.28	45.66	11.11
70	26.81	52.35	47.34	53.57	46.29	10.81
80	27.08	53.75	46.02	54.68	45.12	12.34
90	26.96	53.05	46.78	54.98	44.99	11.55
100	27.24	52.15	47.60	53.43	46.35	12.17
110	27.17	53.52	46.35	53.35	46.51	8.48

5.3 - Măsurători realizate pe instalația pilot 119

120	24.61	53.69	46.14	53.72	45.93	12.56
130	24.31	53.79	46.02	53.47	46.40	9.13
140	24.70	53.30	46.58	54.15	45.60	10.71
150	26.47	52.67	46.94	54.13	45.56	8.17
160	24.49	52.05	47.69	54.45	45.24	8.78
170	23.92	53.99	45.96	53.80	46.05	12.41
180	27.54	54.00	45.77	53.72	46.01	8.93
190	24.93	52.30	47.45	53.39	46.52	11.80
200	27.58	53.14	46.70	54.28	45.52	7.85
210	24.99	53.62	46.04	54.64	45.20	13.64
220	23.71	52.37	47.49	54.39	45.45	13.79
230	23.86	52.81	46.92	53.56	46.29	7.26
240	25.74	53.66	46.29	53.47	46.43	9.28
250	25.67	52.52	47.17	54.91	44.71	9.74
260	23.96	53.52	46.29	53.32	46.42	8.97
270	27.74	52.64	47.25	53.90	46.02	11.86
280	25.72	52.52	47.22	53.28	46.52	9.63
290	25.29	53.72	46.08	53.18	46.55	7.76
300	24.71	52.84	47.03	54.59	45.34	11.69
310	27.54	53.75	46.12	54.39	45.44	11.53
320	24.39	52.81	47.03	53.68	46.11	10.53
330	24.88	52.18	47.65	54.79	45.04	6.97
340	23.66	52.73	47.05	53.57	46.27	10.98
350	27.57	52.31	47.45	54.14	45.61	8.63
360	26.80	53.87	46.03	54.25	46.39	7.03
370	27.22	52.04	47.82	53.28	46.31	11.20
380	23.77	53.60	46.26	54.69	45.12	7.73
390	24.63	53.17	46.45	53.84	46.02	7.72
400	27.67	53.21	46.69	53.31	46.43	10.10
410	27.17	52.91	46.94	54.56	45.29	12.44
420	24.47	52.67	47.23	54.39	45.45	10.16
430	25.84	53.28	46.55	53.28	46.48	7.29
440	24.16	52.32	47.52	54.69	45.22	8.05
450	25.86	52.46	47.40	54.38	45.43	12.25
460	25.22	53.40	46.43	53.39	46.41	9.81
470	24.37	53.13	47.71	53.17	46.74	9.14
480	27.04	52.43	47.39	54.29	45.60	9.59
490	23.90	53.05	46.79	54.80	45.10	12.95
500	23.64	53.85	45.98	53.44	46.45	9.18
510	25.88	52.15	47.17	54.64	45.35	8.67
520	26.98	52.68	47.20	53.47	46.42	9.56
530	27.32	52.77	47.12	54.25	45.61	7.39
540	23.97	52.26	47.49	53.80	46.05	9.78
550	23.86	52.43	47.46	54.87	45.04	12.97
560	23.71	52.34	47.50	54.71	45.10	10.30
570	26.56	52.95	46.87	54.97	44.95	12.92
580	26.84	52.97	46.82	53.72	46.16	11.71
590	25.37	52.13	47.67	54.69	45.18	7.09
600	27.23	52.05	47.85	54.43	45.40	13.29

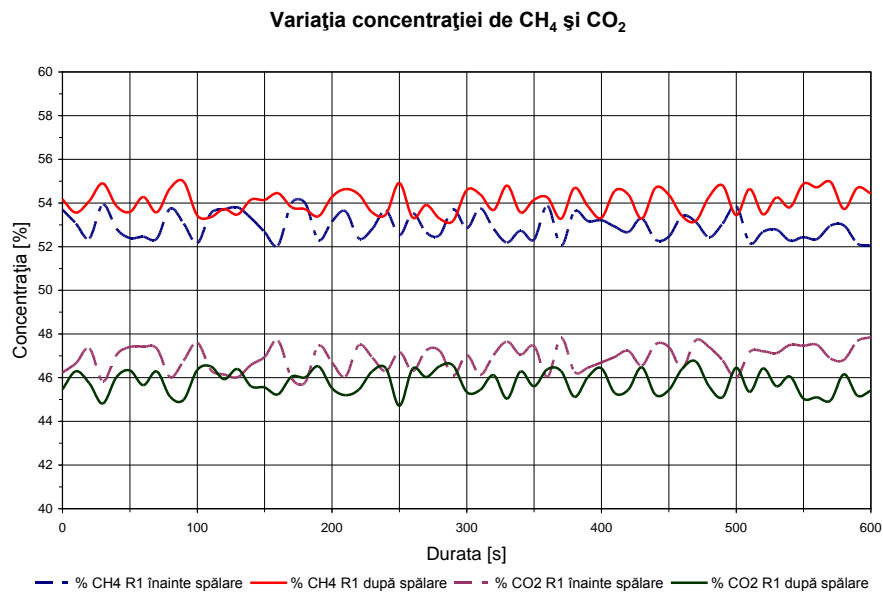


Figura 5.24. – Variația în % a concentrației de CH₄ și CO₂, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 3

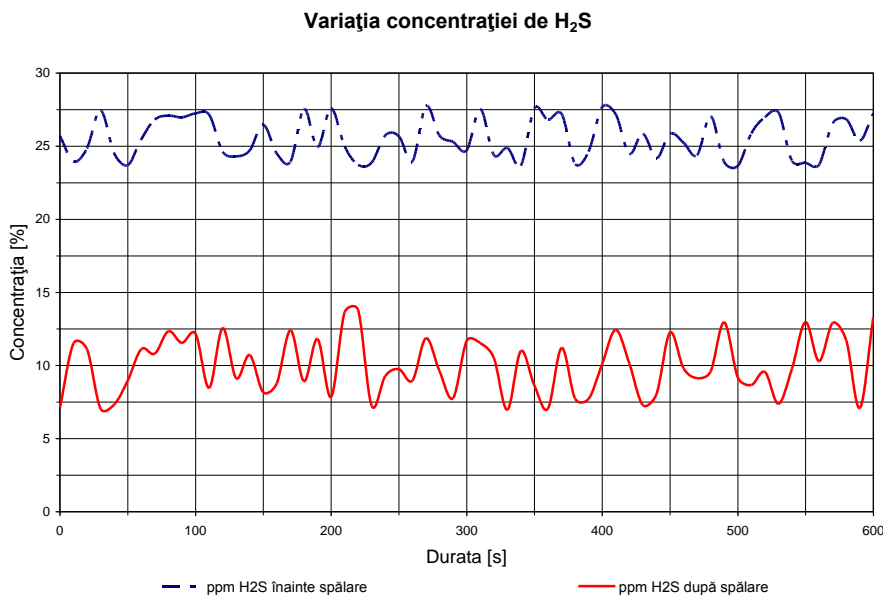


Figura 5.25. – Variația în ppm a concentrației de H₂S, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 3

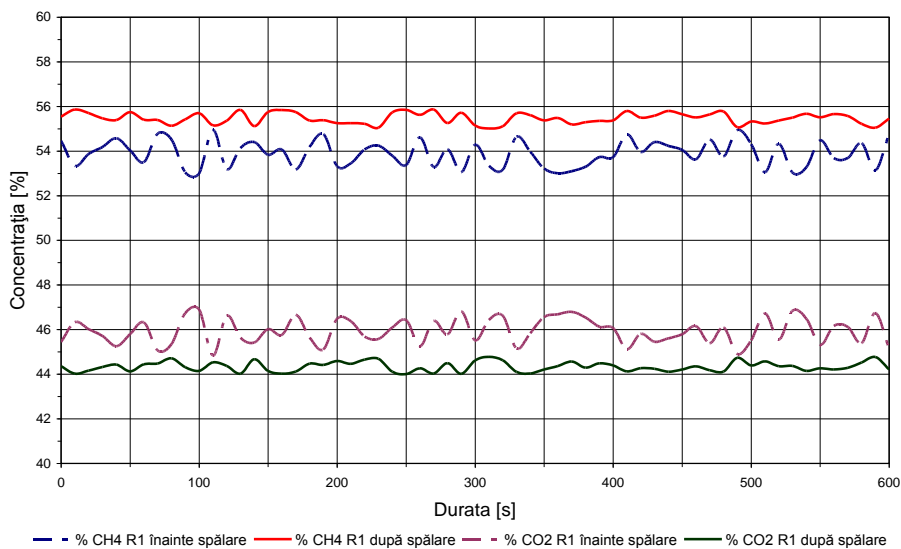
5.3 - Măsurători realizate pe instalația pilot 121

Din figurile 5.24. și 5.25. se observă descreșterea conținutului de metan din biogazul obținut, corelat cu creșterea procentului de CO₂ către sfârșitul perioadei de desfășurare a procesului, în paralel cu menținerea conținutului de hidrogen sulfurat la o valoare relativ constantă față de măsurătoarea anterioară.

Tabel 5.10. - Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 2, măsurătoarea numărul 1

Durata secunde	H ₂ S ÎS [ppm]	CH ₄ ÎS [%]	CO ₂ ÎS [%]	CH ₄ DS [%]	CO ₂ DS [%]	H ₂ S DS [ppm]
0	27.72	54.46	45.43	55.54	44.36	10.94
10	24.15	53.34	46.33	55.86	44.03	10.42
20	26.96	53.87	46.01	55.70	44.16	7.99
30	25.69	54.18	45.71	55.47	44.32	12.06
40	25.45	54.58	45.25	55.39	44.43	8.11
50	25.06	54.03	45.79	55.75	44.12	8.66
60	26.78	53.49	46.32	55.40	44.45	9.55
70	26.00	54.78	45.06	55.39	44.48	10.94
80	24.09	54.52	45.34	55.13	44.71	9.90
90	24.90	53.04	46.73	55.42	44.31	10.44
100	25.02	53.00	46.89	55.69	44.15	13.25
110	27.37	54.95	44.83	55.16	44.53	11.74
120	26.58	53.19	46.62	55.36	44.37	10.01
130	26.15	54.14	45.63	55.85	44.02	8.29
140	23.76	54.41	45.41	55.12	44.67	7.05
150	24.75	53.83	46.01	55.75	44.15	12.24
160	23.65	54.07	45.75	55.84	44.02	10.50
170	25.42	53.17	46.66	55.74	44.11	13.23
180	27.74	54.18	45.64	55.37	44.47	8.85
190	27.09	54.76	45.11	55.38	44.41	11.21
200	27.14	53.32	46.48	55.26	44.59	11.30
210	23.76	53.45	46.37	55.25	44.47	9.79
220	27.49	54.07	45.69	55.22	44.65	10.16
230	25.86	54.24	45.57	55.05	44.69	8.35
240	23.93	53.79	46.09	55.73	44.11	12.75
250	27.23	53.36	46.42	55.85	44.00	10.26
260	26.92	54.61	45.25	55.62	44.26	7.25
270	24.28	53.28	46.39	55.86	44.03	11.92
280	27.68	54.08	45.78	55.26	44.49	13.66
290	24.79	53.05	46.82	55.72	44.01	9.86
300	26.39	54.29	45.51	55.14	44.62	8.55
310	25.57	53.34	46.43	55.02	44.78	6.98
320	24.79	53.16	46.62	55.11	44.62	8.73
330	23.91	54.64	45.15	55.69	44.11	12.26
340	26.93	53.97	45.83	55.61	44.03	13.87
350	27.48	53.21	46.56	55.37	44.21	13.89
360	27.24	53.01	46.68	55.49	44.37	7.73
370	24.64	53.10	46.79	55.19	44.57	10.44
380	27.37	53.30	46.54	55.30	44.29	8.36

390	25.42	53.73	46.12	55.35	44.49	8.37
400	24.03	53.72	46.07	55.38	44.39	8.50
410	23.99	54.75	45.12	55.80	44.12	7.66
420	25.50	53.96	45.81	55.50	44.27	12.41
430	25.28	54.40	45.45	55.58	44.24	9.40
440	27.61	54.23	45.60	55.80	44.11	10.89
450	27.32	54.05	45.79	55.65	44.21	8.35
460	26.42	53.63	46.16	55.50	44.35	11.02
470	24.86	54.51	45.39	55.64	44.17	9.65
480	27.49	53.75	46.10	55.77	44.12	13.09
490	26.91	54.94	44.90	55.07	44.73	9.52
500	26.73	54.31	45.52	55.32	44.39	13.85
510	26.01	53.04	46.72	55.23	44.58	10.17
520	25.02	54.33	45.54	55.37	44.36	8.19
530	26.63	53.03	46.84	55.50	44.37	12.13
540	27.67	53.26	46.49	55.68	44.15	12.85
550	24.28	54.48	45.31	55.51	44.26	12.90
560	24.06	53.68	46.16	55.66	44.21	11.78
570	23.65	53.69	46.12	55.57	44.28	8.71
580	24.14	54.35	45.39	55.22	44.52	7.51
590	25.40	53.13	46.74	55.05	44.77	7.34
600	25.76	54.76	45.14	55.46	44.21	13.46

Variația concentrației de CH₄ și CO₂Figura 5.26. – Variația în % a concentrației de CH₄ și CO₂, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 1

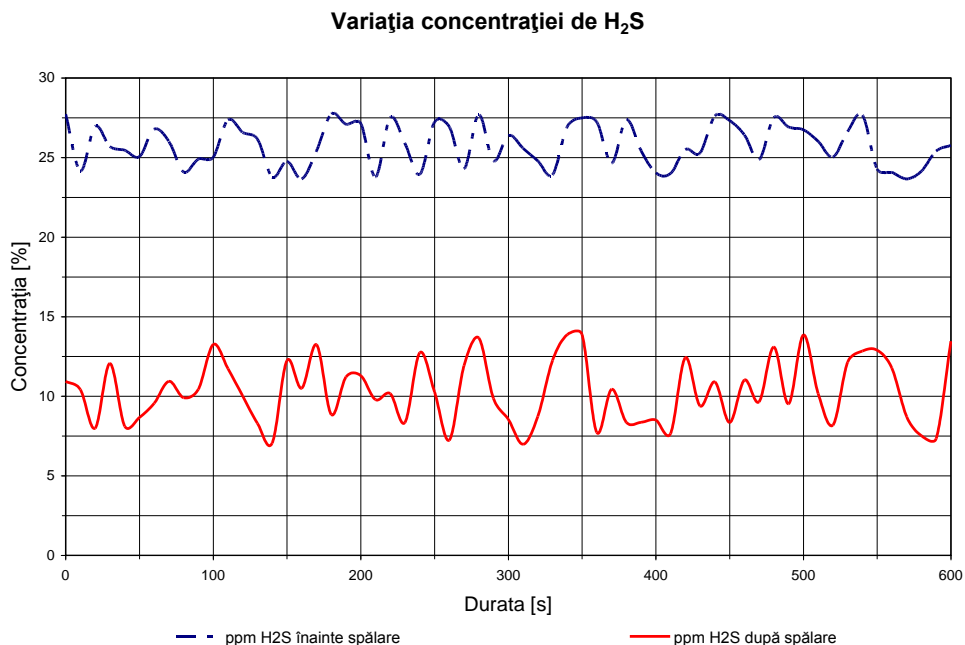


Figura 5.27. – Variația în ppm a concentrației de H₂S, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 1

Din figurile 5.26. și 5.27. se observă că valorile în cel de-al doilea rezervor sunt aproximativ la fel cu cele din primul rezervor, relativ la concentrația de metan și CO₂. Concentrația de H₂S se menține în jurul valorii de 25 – 28 ppm, reducându-se după cele două filtre (reținere H₂S și spălare CO₂) la o valoare de 10 – 12 ppm, valoare ce tinde spre 0.

Tabel 5.11. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 2, măsurătoarea numărul 2

Durata	H ₂ S	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	H ₂ S
secunde	îS	îS	îS	DS	DS	DS
	[ppm]	[%]	[%]	[%]	[%]	[ppm]
0	26.23	55.45	44.37	57.80	42.05	10.91
10	24.03	55.19	44.64	57.63	42.24	9.00
20	24.07	55.43	44.41	56.11	43.63	11.46
30	25.62	55.40	44.42	56.10	43.71	7.93
40	27.69	55.43	44.37	57.74	42.08	11.30
50	26.69	55.50	44.24	56.57	43.20	9.13
60	24.13	55.26	44.54	56.36	43.80	10.24
70	26.59	55.70	44.14	57.14	42.63	10.64
80	26.05	55.35	44.39	56.25	43.61	7.63
90	26.51	55.28	44.46	57.19	42.62	11.57
100	25.06	55.17	44.64	57.81	41.95	11.00
110	25.97	55.20	44.67	56.98	42.85	8.82

124 Măsurători și rezultate experimentale - 5

120	25.04	55.36	44.53	57.59	42.27	13.35
130	25.07	55.35	44.54	57.68	42.10	10.83
140	26.98	55.37	44.50	57.03	42.75	8.56
150	26.58	55.51	44.33	56.40	43.48	9.27
160	23.83	55.68	44.19	56.31	43.49	8.34
170	26.57	55.21	44.62	56.86	43.00	11.54
180	25.60	55.39	44.37	56.39	43.50	7.71
190	25.69	55.69	44.12	57.21	42.61	8.17
200	27.58	55.76	44.08	56.36	43.49	8.10
210	27.00	55.62	44.18	56.05	43.83	7.71
220	24.62	55.02	44.84	57.05	42.87	12.48
230	27.10	55.33	44.46	57.37	42.42	11.15
240	24.37	55.32	44.45	57.45	42.32	9.73
250	24.80	55.16	44.59	56.27	43.60	11.41
260	27.21	55.62	44.25	56.35	43.43	8.31
270	26.29	55.82	44.03	56.74	43.07	7.66
280	27.34	55.30	44.43	56.10	43.70	8.99
290	24.29	55.13	44.71	57.29	42.51	12.09
300	27.08	55.64	44.21	57.25	42.57	10.08
310	26.09	55.30	44.48	57.13	42.61	8.76
320	26.79	55.19	44.60	56.77	43.04	13.46
330	26.64	55.30	44.53	56.46	43.41	12.29
340	24.55	55.45	44.36	56.77	43.07	8.72
350	23.83	55.69	44.12	56.27	43.54	9.79
360	24.92	55.77	44.08	57.00	42.72	11.64
370	25.38	55.76	44.12	56.95	42.92	13.27
380	26.93	55.90	43.99	57.70	42.16	8.76
390	25.93	55.44	44.31	57.63	42.22	10.55
400	27.61	55.04	44.66	57.52	42.23	8.09
410	27.12	55.11	44.69	57.81	42.06	8.25
420	24.12	55.74	44.13	57.86	42.03	11.94
430	24.45	55.74	44.15	56.77	43.01	7.34
440	25.84	55.44	44.38	56.22	43.55	7.37
450	26.04	55.56	44.24	57.78	42.03	8.18
460	23.76	55.32	44.52	57.09	42.75	9.81
470	25.54	55.92	43.95	56.72	43.10	11.77
480	25.72	55.15	44.68	57.42	42.39	7.02
490	24.17	55.77	44.13	57.43	42.45	11.66
500	27.57	55.13	44.71	56.93	42.88	9.69
510	25.48	55.35	44.49	56.69	43.01	9.53
520	25.85	55.73	44.12	57.22	42.55	10.92
530	25.91	55.18	44.69	56.22	43.53	12.20
540	25.88	55.44	44.40	57.23	42.62	7.99
550	24.17	56.00	43.85	57.09	42.67	9.75
560	25.68	55.96	43.87	57.81	42.01	9.12
570	25.36	55.26	44.62	56.68	43.12	7.83
580	26.68	55.17	44.66	57.05	42.86	11.55
590	27.06	55.12	44.71	56.57	43.84	9.28
600	26.40	55.33	44.47	57.15	42.71	11.37

Variația concentrației de CH₄ și CO₂

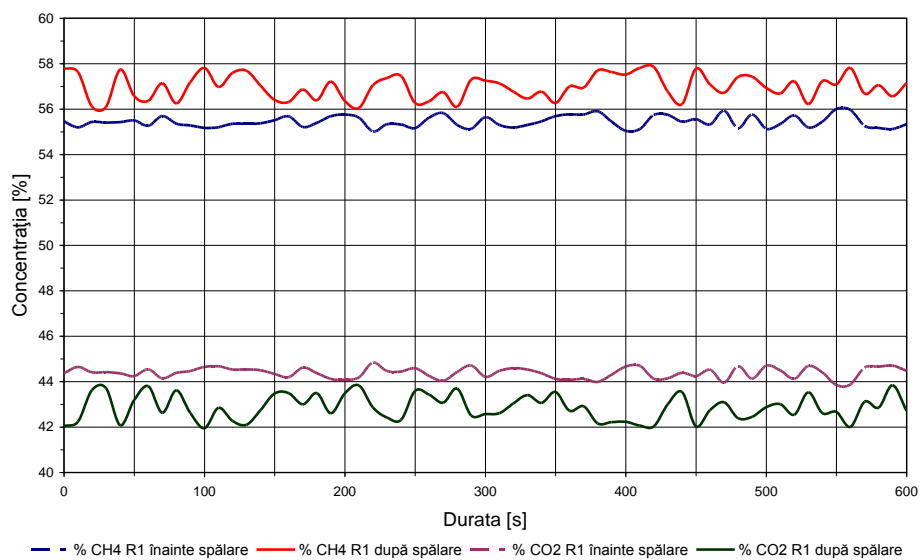


Figura 5.28. – Variația în % a concentrației de CH₄ și CO₂, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 2

Variația concentrației de H₂S

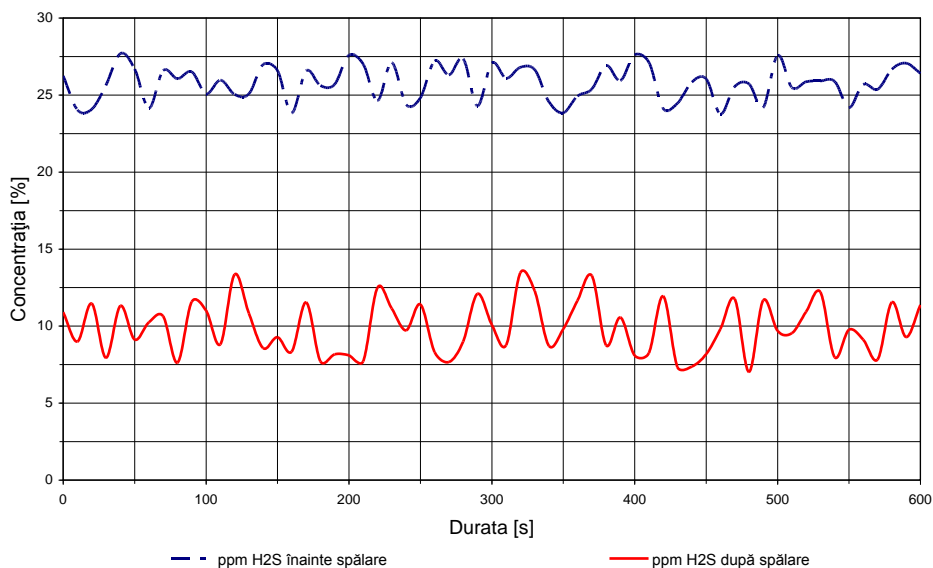


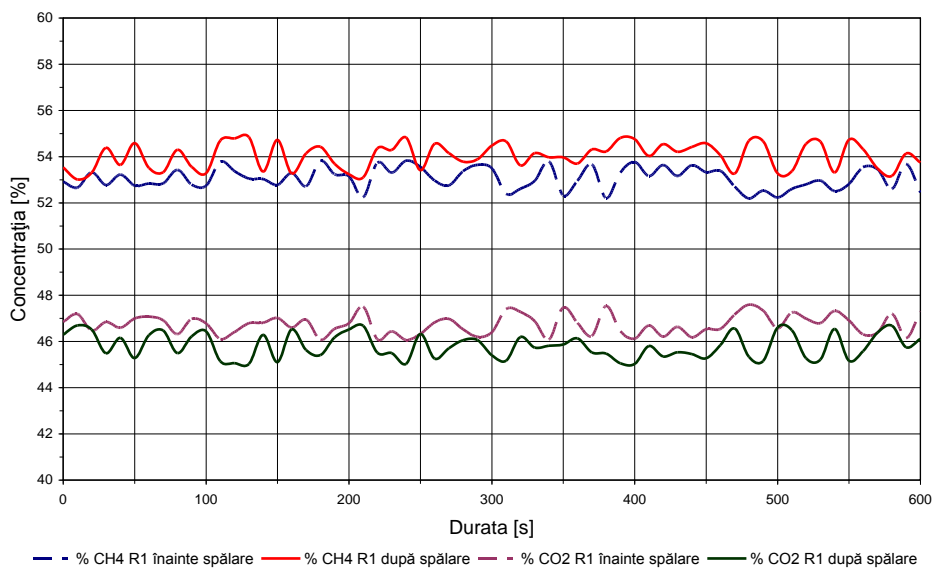
Figura 5.29. – Variația în ppm a concentrației de H₂S, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 2

Din figurile 5.28. și 5.29. se observă creșterea concentrației de metan, corelat cu scăderea concentrației de CO₂ cu 2 - 3 %, după sistemul de filtrare a gazului, precum și reducerea concentrației de H₂S la o valoare de 10- 13 ppm.

Tabel 5.12. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 2, măsurătoarea numărul 3

Durata secunde	H₂S îS [ppm]	CH₄ îS [%]	CO₂ îS [%]	CH₄ DS [%]	CO₂ DS [%]	H₂S DS [ppm]
0	25.50	52.91	46.84	53.53	46.30	11.86
10	24.95	52.66	47.18	53.01	46.69	7.78
20	27.19	53.31	46.46	53.30	46.52	11.47
30	26.53	52.77	46.85	54.39	45.49	13.27
40	25.91	53.22	46.59	53.64	46.15	8.11
50	25.89	52.74	46.99	54.58	45.28	11.08
60	25.15	52.83	47.07	53.51	46.27	11.60
70	27.65	52.84	46.91	53.32	46.48	7.50
80	23.95	53.42	46.31	54.30	45.50	13.44
90	27.40	52.79	46.97	53.56	46.22	11.66
100	24.32	52.73	46.78	53.28	46.44	11.67
110	23.90	53.78	46.10	54.70	45.14	10.41
120	26.84	53.37	46.41	54.79	45.06	9.00
130	26.64	53.05	46.78	54.84	45.02	13.34
140	25.49	53.03	46.81	53.36	46.29	12.09
150	23.93	52.78	47.02	54.72	45.10	8.72
160	24.39	53.29	46.60	53.28	46.53	12.08
170	26.59	52.71	46.94	54.14	45.62	8.27
180	26.02	53.82	46.06	54.42	45.41	13.86
190	26.37	53.23	46.55	53.68	46.18	8.92
200	25.72	53.15	46.78	53.23	46.52	12.38
210	26.32	52.24	47.50	53.10	46.68	10.18
220	25.24	53.73	46.08	54.36	45.51	8.15
230	25.48	53.30	46.44	54.29	45.50	9.56
240	23.99	53.83	46.06	54.82	45.03	7.55
250	25.59	53.55	46.32	53.41	46.32	12.84
260	24.83	52.96	46.82	54.56	45.25	7.37
270	26.81	52.75	46.97	54.15	45.70	9.68
280	26.48	53.37	46.52	53.78	46.05	11.33
290	25.30	53.64	46.20	53.88	46.06	8.74
300	27.14	53.49	46.39	54.48	45.40	8.34
310	27.49	52.39	47.40	54.66	45.17	11.92
320	24.55	52.61	47.28	53.62	46.19	12.45
330	24.12	52.95	46.88	54.15	45.73	8.30
340	27.00	53.79	46.07	53.97	45.81	12.59
350	25.03	52.32	47.47	53.97	45.87	11.21
360	26.02	52.95	46.80	53.70	46.13	13.35
370	24.88	53.66	46.23	54.31	45.52	11.41
380	26.84	52.20	47.54	54.23	45.48	7.29

390	25.54	53.31	46.43	54.81	45.05	7.16
400	23.98	53.77	46.12	54.76	45.02	12.62
410	24.78	53.16	46.69	54.03	45.80	11.36
420	25.00	53.63	46.21	54.54	45.35	10.66
430	24.38	53.15	46.63	54.21	45.53	8.14
440	25.98	53.63	46.18	54.42	45.45	11.85
450	25.67	53.32	46.53	54.58	45.27	7.74
460	25.30	53.38	46.54	54.05	45.84	9.17
470	25.88	52.70	47.17	53.27	46.56	10.06
480	23.72	52.18	47.59	54.68	45.34	11.36
490	27.24	52.53	47.33	54.67	45.16	7.07
500	27.51	52.23	46.56	53.27	46.60	9.59
510	24.14	52.60	47.25	53.37	46.49	13.62
520	25.18	52.79	46.98	54.56	45.27	12.71
530	24.61	52.96	46.79	54.65	45.21	8.14
540	25.45	52.50	47.32	53.32	46.54	12.88
550	27.35	52.81	46.91	54.73	45.17	12.89
560	24.30	53.54	46.30	54.31	45.58	7.43
570	26.77	53.45	46.38	53.48	46.39	10.12
580	27.62	52.60	47.20	53.16	46.69	8.46
590	23.65	53.68	46.14	54.14	45.75	12.66
600	24.63	52.45	47.29	53.74	46.11	11.60

Variația concentrației de CH₄ și CO₂Figura 5.30. - Variația în % a concentrației de CH₄ și CO₂, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 3

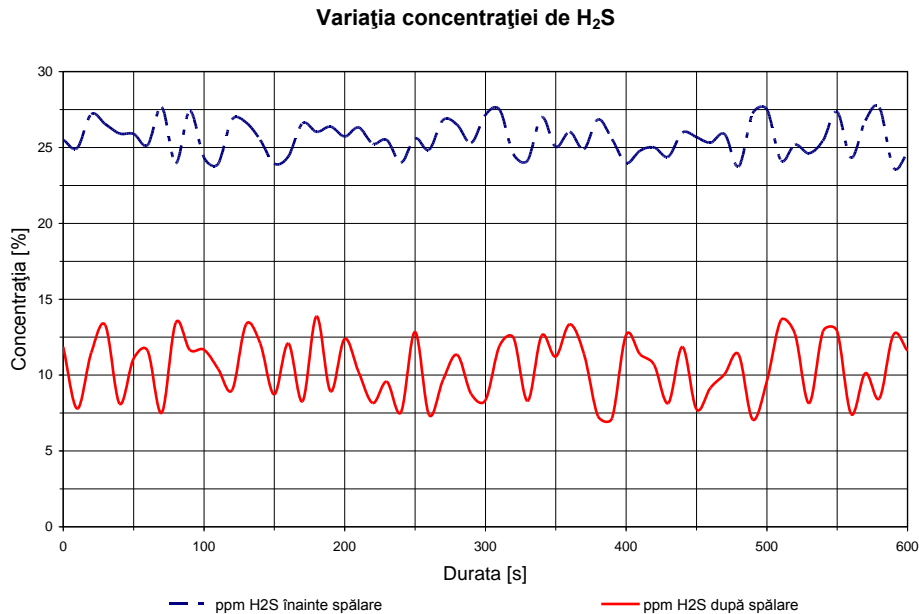


Figura 5.31. – Variația în ppm a concentrației de H₂S, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 3

Din figurile 5.30. și 5.31. se observă, asemănător cu rezervorul numărul 1, o scădere în concentrația de metan din sistem, precum și o valoare relativ constantă a concentrației de H₂S (10 – 12 ppm).

Din variația parametrilor caracteristici biogazului obținut se poate observa faptul că există o foarte mică cantitate de urme de H₂S în biogazul evacuat, cantitate care se diminuează aproape de 0 după trecerea prin filtrul de reținere de H₂S.

De asemenea, are loc creșterea procentului de CH₄ după filtrul de spălare CO₂, cu un procent de 3 – 4%, ceea ce demonstrează potențialul de spălare al biogazului posibil de realizat cu această instalație.

Șarja a 2 – a – rumeguș de tei

După terminarea șarjei, și după operațiunile aferente întreținerii și monitorizării bunei funcționări a instalației a avut loc desfășurarea celei de-a doua șarje, folosind de această dată rumeguș din tei.

Monitorizarea procesului s-a făcut pe durata a 84 de zile.

Conținutul de materie solidă introdus în fiecare rezervor a fost de 75 kg.

Raportul materie solidă / volum de lichid = 0.037

$$\text{Raportul C / N} = \frac{47.5}{0.42} = 113 [24] [93]$$

În tabelele 5.13. și 5.14. sunt prezentate, la fel ca și pentru prima șarjă valorile parametrilor monitorizați pe durata procesului de fermentație anaerobă în cele două rezervoare.

Tabel 5.13. – Monitorizarea procesului în rezervorul numărul 1

Data	Presiune inițială [bar]	Presiune finală [bar]	Ph I	Temperatura I [°C]	Producție I [m ³]	ΔP1 [bar]
10/05/2008	0.23	0.23	6.3	30.6	0.000	0.00
11/05/2008	0.31	0.31	6.1	34.5	0.000	0.00
12/05/2008	0.36	0.36	6.1	37.8	0.000	0.00
13/05/2008	0.37	0.37	7.2	37.1	0.000	0.00
14/05/2008	0.39	0.39	7.0	35.6	0.000	0.00
15/05/2008	0.40	0.40	7.0	33.2	0.000	0.00
17/05/2008	0.42	0.42	7.0	37.8	0.000	0.00
18/05/2008	0.43	0.43	7.0	36.9	0.000	0.00
19/05/2008	0.43	0.30	7.0	34.3	0.028	0.13
20/05/2008	0.35	0.35	7.0	35.8	0.000	0.00
21/05/2008	0.40	0.30	7.0	37.1	0.020	0.10
22/05/2008	0.47	0.47	7.0	39.0	0.000	0.00
24/05/2008	0.50	0.35	6.9	36.5	0.037	0.15
25/05/2008	0.42	0.42	7.0	34.0	0.000	0.00
26/05/2008	0.53	0.32	7.0	37.5	0.067	0.21
27/05/2008	0.35	0.35	7.0	35.6	0.000	0.00
28/05/2008	0.44	0.44	7.1	32.1	0.000	0.00
29/05/2008	0.63	0.32	7.0	37.3	0.145	0.31
30/05/2008	0.46	0.46	7.1	34.8	0.000	0.00
01/06/2008	0.62	0.34	7.0	36.4	0.123	0.28
02/06/2008	0.56	0.33	7.0	36.5	0.087	0.23
03/06/2008	0.57	0.16	7.2	37.5	0.133	0.41
04/06/2008	0.79	0.40	7.1	39.0	0.096	0.39
05/06/2008	0.63	0.15	7.0	36.8	0.146	0.48
07/06/2008	0.46	0.20	7.1	31.4	0.112	0.26
09/06/2008	0.65	0.34	7.0	35.8	0.116	0.31
10/06/2008	0.48	0.27	7.1	34.6	0.067	0.21
11/06/2008	0.48	0.48	7.0	37.1	0.000	0.00
12/06/2008	0.60	0.31	7.0	38.3	0.112	0.29
14/06/2008	0.51	0.15	7.1	37.8	0.135	0.36
15/06/2008	0.49	0.49	7.0	33.5	0.000	0.00
16/06/2008	0.66	0.38	7.0	31.9	0.104	0.28
17/06/2008	0.49	0.25	7.1	33.7	0.086	0.24
18/06/2008	0.67	0.41	7.0	35.0	0.093	0.26
20/06/2008	0.62	0.40	7.1	37.2	0.078	0.22
21/06/2008	0.60	0.60	7.0	33.1	0.000	0.00
22/06/2008	0.65	0.65	7.0	35.1	0.000	0.00
23/06/2008	0.69	0.10	7.0	36.8	0.212	0.59
24/06/2008	0.50	0.50	7.0	33.7	0.000	0.00
25/06/2008	0.62	0.35	7.2	34.1	0.095	0.27
28/06/2008	0.62	0.30	7.1	37.1	0.112	0.32
29/06/2008	0.32	0.32	7.0	34.6	0.000	0.00
01/07/2008	0.44	0.44	7.0	35.3	0.000	0.00

130 Măsurători și rezultate experimentale - 5

02/07/2008	0.59	0.30	7.1	35.9	0.102	0.29
03/07/2008	0.59	0.30	7.0	34.8	0.099	0.29
05/07/2008	0.51	0.21	7.1	38.3	0.107	0.30
06/07/2008	0.41	0.41	7.0	37.5	0.000	0.00
07/07/2008	0.51	0.27	7.0	34.8	0.073	0.24
08/07/2008	0.49	0.21	7.1	33.3	0.085	0.28
09/07/2008	0.36	0.36	7.0	36.1	0.000	0.00
11/07/2008	0.45	0.45	7.0	34.5	0.000	0.00
12/07/2008	0.50	0.12	7.1	32.7	0.112	0.38
14/07/2008	0.28	0.28	7.0	30.5	0.000	0.00
16/07/2008	0.50	0.31	7.1	34.1	0.055	0.19
17/07/2008	0.36	0.36	7.1	32.2	0.000	0.00
18/07/2008	0.49	0.35	7.0	35.0	0.043	0.14
21/07/2008	0.56	0.56	7.0	33.2	0.000	0.00
23/07/2008	0.65	0.40	7.0	32.5	0.086	0.25
25/07/2008	0.60	0.40	7.0	28.9	0.070	0.20
27/07/2008	0.58	0.40	7.1	27.3	0.065	0.18
29/07/2008	0.57	0.57	7.0	26.5	0.000	0.00
31/07/2008	0.57	0.40	7.1	26.3	0.060	0.17
02/08/2008	0.45	0.10	7.0	26.0	0.121	0.35

Tabel 5.14. – Monitorizarea procesului în rezervorul numărul 2

Data	Presiune inițială [bar]	Presiune finală [bar]	Ph II	Temperatura II [°C]	Producție II [m ³]	ΔP2 [bar]
10/05/2008	0.10	0.10	6.1	30.0	0.000	0.00
11/05/2008	0.15	0.15	6.0	33.7	0.000	0.00
12/05/2008	0.15	0.15	6.0	36.6	0.000	0.00
13/05/2008	0.25	0.25	7.3	36.4	0.000	0.00
14/05/2008	0.35	0.35	7.1	34.8	0.000	0.00
15/05/2008	0.38	0.38	7.1	32.6	0.000	0.00
17/05/2008	0.40	0.40	7.0	36.3	0.000	0.00
18/05/2008	0.45	0.45	6.9	33.8	0.000	0.00
19/05/2008	0.45	0.33	7.0	31.6	0.025	0.12
20/05/2008	0.39	0.39	7.0	32.8	0.000	0.00
21/05/2008	0.45	0.35	7.0	33.5	0.018	0.10
22/05/2008	0.40	0.40	7.1	34.9	0.000	0.00
24/05/2008	0.45	0.36	7.0	32.8	0.016	0.09
25/05/2008	0.50	0.50	7.0	30.6	0.000	0.00
26/05/2008	0.57	0.35	7.0	35.3	0.059	0.22
27/05/2008	0.42	0.42	7.0	33.4	0.000	0.00
28/05/2008	0.45	0.45	7.0	31.8	0.000	0.00
29/05/2008	0.50	0.29	7.0	33.5	0.060	0.21
30/05/2008	0.33	0.33	6.9	31.9	0.000	0.00
01/06/2008	0.44	0.31	7.0	32.8	0.035	0.13
02/04/2008	0.37	0.37	7.0	33.1	0.000	0.00
03/04/2008	0.44	0.19	7.1	33.6	0.063	0.25

5.3 - Măsurători realizate pe instalația pilot 131

04/04/2008	0.40	0.40	7.1	37.0	0.000	0.00
05/04/2008	0.41	0.20	7.1	33.2	0.064	0.21
07/04/2008	0.24	0.24	7.0	29.6	0.000	0.00
08/04/2008	0.39	0.39	7.0	32.6	0.000	0.00
09/04/2008	0.44	0.26	7.1	31.5	0.052	0.18
10/04/2008	0.43	0.43	7.0	33.5	0.000	0.00
11/04/2008	0.55	0.30	7.1	34.3	0.076	0.25
14/04/2008	0.47	0.47	7.0	33.9	0.000	0.00
15/04/2008	0.48	0.48	7.1	30.6	0.000	0.00
16/04/2008	0.61	0.35	7.0	29.7	0.083	0.26
17/04/2008	0.44	0.23	7.0	31.0	0.060	0.21
18/04/2008	0.62	0.39	7.1	32.6	0.071	0.23
20/04/2008	0.58	0.36	7.0	34.1	0.067	0.22
21/04/2008	0.55	0.55	7.0	30.8	0.000	0.00
22/04/2008	0.58	0.58	7.0	32.2	0.000	0.00
23/04/2008	0.61	0.25	7.1	33.7	0.125	0.36
24/04/2008	0.45	0.45	7.0	31.1	0.000	0.00
25/04/2008	0.57	0.32	7.1	31.8	0.072	0.25
28/04/2008	0.58	0.30	7.0	33.7	0.081	0.28
29/04/2008	0.36	0.36	7.1	32.0	0.000	0.00
01/05/2008	0.48	0.48	7.0	32.5	0.000	0.00
02/05/2008	0.61	0.32	7.0	33.2	0.084	0.29
03/05/2008	0.56	0.30	7.1	32.3	0.078	0.26
05/05/2008	0.46	0.22	7.0	36.0	0.070	0.24
06/05/2008	0.36	0.36	7.0	34.8	0.000	0.00
07/05/2008	0.45	0.24	7.1	31.4	0.059	0.21
08/05/2008	0.45	0.20	7.0	30.7	0.076	0.25
09/05/2008	0.30	0.30	7.0	33.0	0.000	0.00
12/05/2008	0.38	0.38	7.1	31.5	0.000	0.00
13/05/2008	0.42	0.11	7.1	29.6	0.092	0.31
15/05/2008	0.25	0.25	7.0	28.7	0.000	0.00
17/05/2008	0.44	0.30	7.0	31.6	0.045	0.14
19/05/2008	0.34	0.34	7.0	30.1	0.000	0.00
20/05/2008	0.44	0.30	7.1	32.2	0.040	0.14
22/05/2008	0.52	0.52	7.1	31.1	0.000	0.00
23/05/2008	0.63	0.40	7.0	30.0	0.077	0.23
25/05/2008	0.60	0.40	7.0	27.1	0.065	0.20
26/05/2008	0.50	0.40	7.0	26.5	0.048	0.10
27/05/2008	0.58	0.58	7.0	25.6	0.000	0.00
28/05/2008	0.57	0.48	7.1	25.3	0.040	0.09
29/05/2008	0.50	0.10	7.0	25.1	0.136	0.40

Figurile 5.32. – 5.35. reprezintă graficele aferente parametrilor monitorizați în cadrul procesului, prezentați la fel ca și pentru prima șarjă.

Asemănător cu prima șarjă, se observă variația de temperatură pentru cele două rezervoare (figura 5.32.), precum și corecția aferentă pentru pH (figura 5.33.). Valoarea medie a pH-ului este de circa 7, o valoare neutră care nu influențează negativ procesul de producere a biogazului.

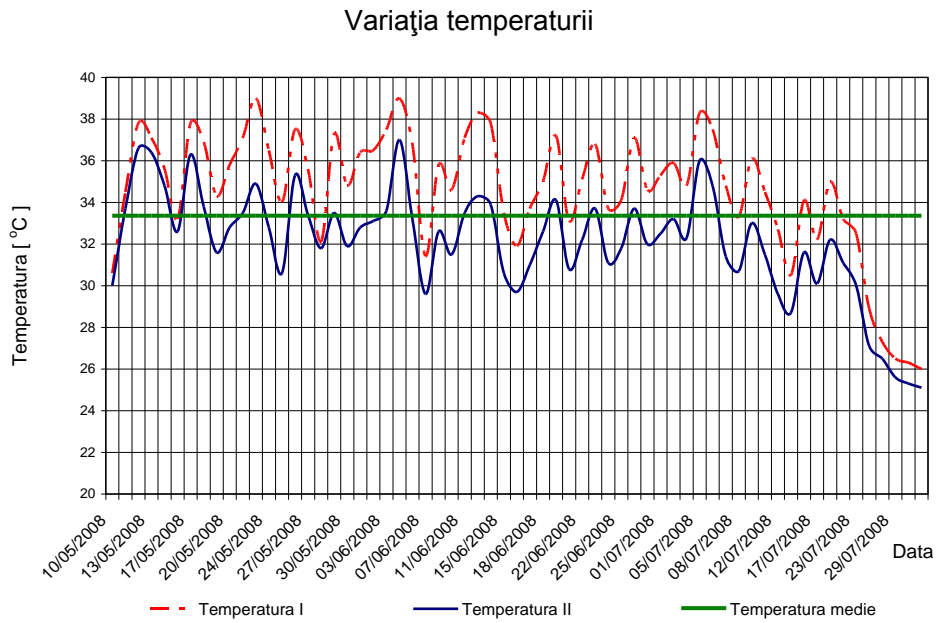


Figura 5.32. – Variația temperaturii în rezervoare

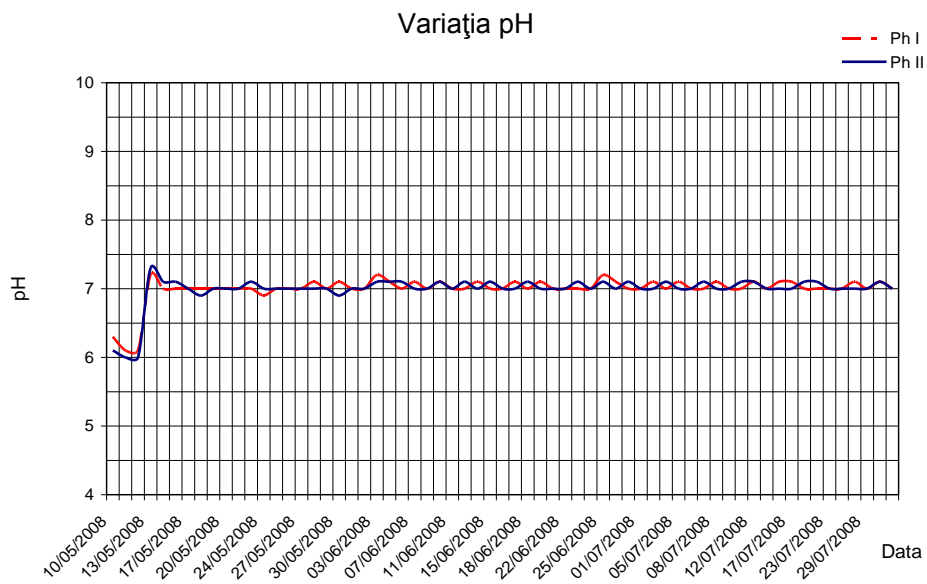


Figura 5.33. – Variația pH-ului în rezervoare

Diferența de presiune

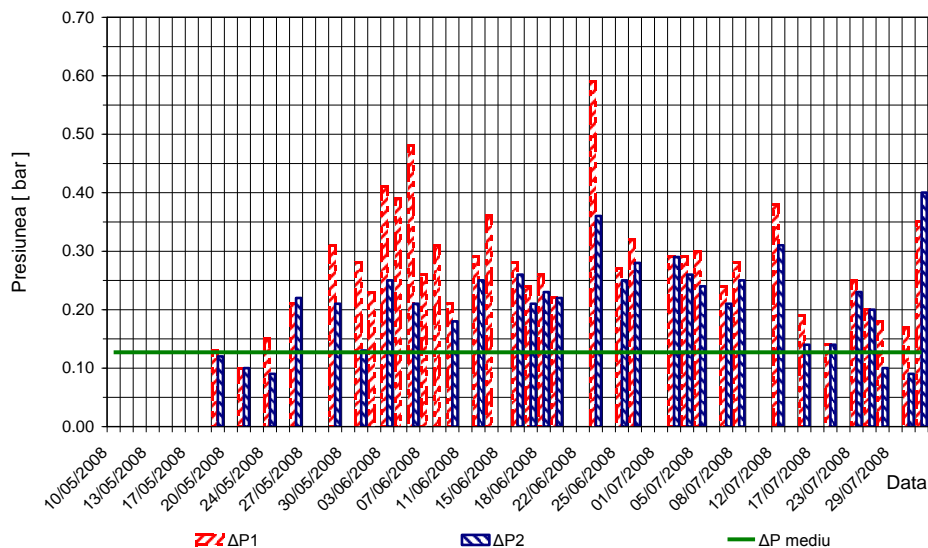


Figura 5.34. – Diferența de presiune în rezervoare

Producția de biogaz

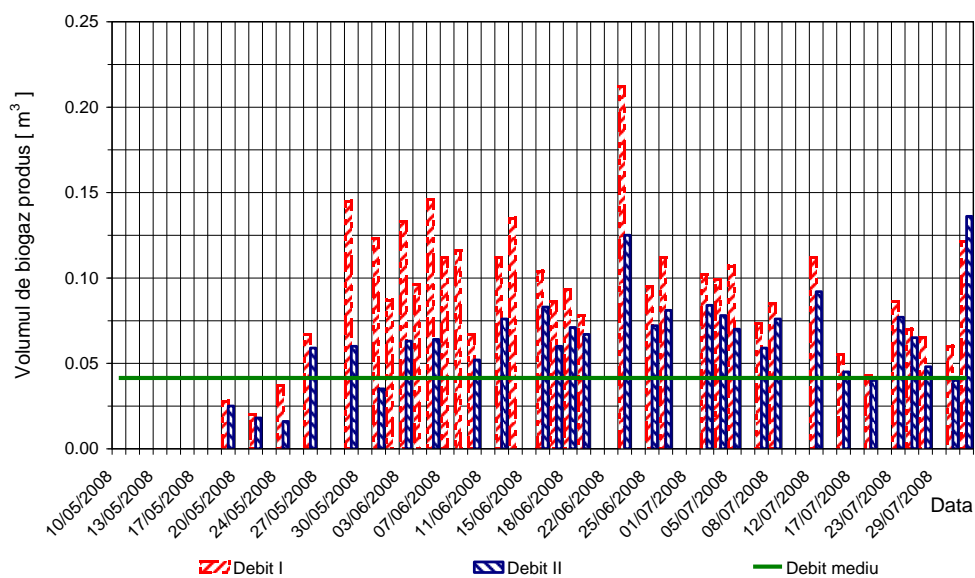


Figura 5.35. – Producția de biogaz obținută din rezervoare

Din figura 5.34. se observă că diferența medie de presiune este de circa 0.12- 0.13 bar, în timp ce, corelat cu aceasta, din figura 5.35. se observă că valoarea medie a cantității de biogaz produsă în instalație este sub 0.05 m³.

Astfel, asemănător cu prima șarjă, și aceasta din urmă are ca și rezultat o producție scăzută de biogaz.

În continuare s-a determinat procentul de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat din biogazul obținut. La fel ca și pentru prima șarjă, s-au realizat 3 măsurători.

În tabelele 5.15 - 5.20. sunt prezentate măsurătorile realizate pentru cele două rezervoare, iar în figurile 5.36. - 5.47. sunt prezentate reprezentările grafice ale monitorizării.

Tabel 5.15. - Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat - rezervorul 1, măsurătoarea numărul 1

Durata secunde	H₂S ÎS [ppm]	CH₄ ÎS [%]	CO₂ ÎS [%]	CH₄ DS [%]	CO₂ DS [%]	H₂S DS [ppm]
0	24.44	54.43	45.37	55.52	44.18	7.92
10	27.42	53.39	46.33	55.73	44.15	8.67
20	24.55	54.86	45.05	55.25	44.43	13.07
30	26.58	53.14	46.67	55.43	44.44	10.57
40	27.35	54.00	45.75	55.60	44.28	13.05
50	27.21	54.49	45.27	55.62	44.12	7.67
60	26.26	53.43	46.31	55.80	44.09	8.55
70	24.30	54.49	45.41	55.63	44.25	7.79
80	26.43	54.76	45.05	55.59	44.29	9.39
90	23.93	54.66	45.16	55.57	44.23	8.95
100	27.04	53.86	46.02	55.52	44.27	8.93
110	24.60	53.37	46.29	55.31	44.47	8.86
120	26.96	54.15	45.69	55.37	44.48	13.62
130	27.04	53.48	46.28	55.37	44.38	11.04
140	27.66	53.94	45.88	55.51	44.32	12.28
150	27.32	54.11	45.68	55.12	44.66	13.62
160	23.98	54.58	45.32	55.69	44.18	9.89
170	27.48	53.05	46.71	55.66	44.17	12.32
180	24.01	53.20	46.65	55.65	44.24	13.37
190	24.48	54.10	45.75	55.20	44.54	13.31
200	24.90	53.12	46.68	55.15	44.70	12.04
210	26.28	53.14	46.65	55.20	44.70	9.64
220	26.50	53.20	46.67	55.30	44.59	11.64
230	24.08	54.77	45.06	55.69	44.19	7.57
240	27.48	54.55	45.28	55.24	44.56	7.57
250	26.67	54.66	45.21	55.49	44.37	10.99
260	23.96	53.75	46.09	55.88	44.06	7.61
270	26.99	54.00	45.81	55.26	44.52	13.88
280	25.66	53.09	46.72	55.62	44.24	11.18
290	27.44	54.03	45.72	55.59	44.28	7.09
300	24.39	54.09	45.83	55.75	44.07	9.14
310	26.89	54.06	45.73	55.73	44.08	9.21

5.3 - Măsurători realizate pe instalația pilot 135

320	27.53	54.67	45.15	55.56	44.34	9.12
330	23.93	53.30	46.46	55.35	44.47	11.93
340	26.74	53.08	46.71	55.48	44.40	7.90
350	24.17	54.45	45.41	55.38	44.43	10.46
360	25.93	53.83	46.03	55.80	44.10	13.79
370	25.30	53.53	46.28	55.06	44.81	13.19
380	24.86	54.54	45.34	55.30	44.46	13.63
390	27.35	53.96	45.81	55.77	44.09	10.61
400	25.78	54.74	45.07	55.87	44.06	9.26
410	25.44	53.92	45.88	55.27	44.55	9.05
420	26.95	53.90	45.78	55.06	44.21	12.73
430	26.36	53.25	46.51	55.63	44.18	10.02
440	26.61	53.63	46.28	55.23	44.57	8.57
450	26.34	54.83	45.02	55.86	44.03	10.78
460	23.79	53.85	45.99	55.21	44.58	12.39
470	24.07	54.56	45.24	55.29	44.51	7.70
480	25.48	54.62	45.25	55.81	44.03	11.50
490	25.67	54.43	45.45	55.27	44.51	10.32
500	25.97	53.84	45.89	55.75	44.10	12.84
510	23.83	53.41	46.41	55.83	44.04	9.96
520	23.96	53.38	46.36	55.12	44.58	10.77
530	25.46	54.17	45.64	55.85	44.03	11.82
540	26.49	54.41	45.46	55.77	44.11	11.16
550	27.45	54.86	45.05	55.88	44.03	11.30
560	26.10	53.48	46.31	55.64	44.22	13.90
570	25.24	54.11	45.79	55.80	44.05	9.60
580	26.63	54.75	45.13	55.05	44.77	9.67
590	24.22	53.97	45.87	55.79	44.12	11.83
600	23.88	54.81	45.10	55.86	44.05	13.59

Variația concentrației de CH₄ și CO₂

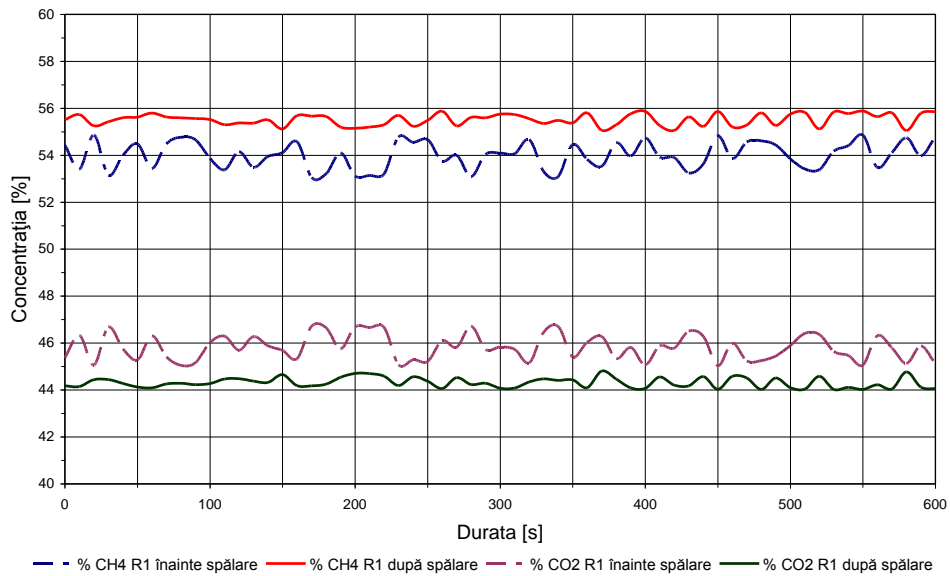


Figura 5.36. – Variația în % a concentrației de CH₄ și CO₂, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 1

Variația concentrației de H₂S

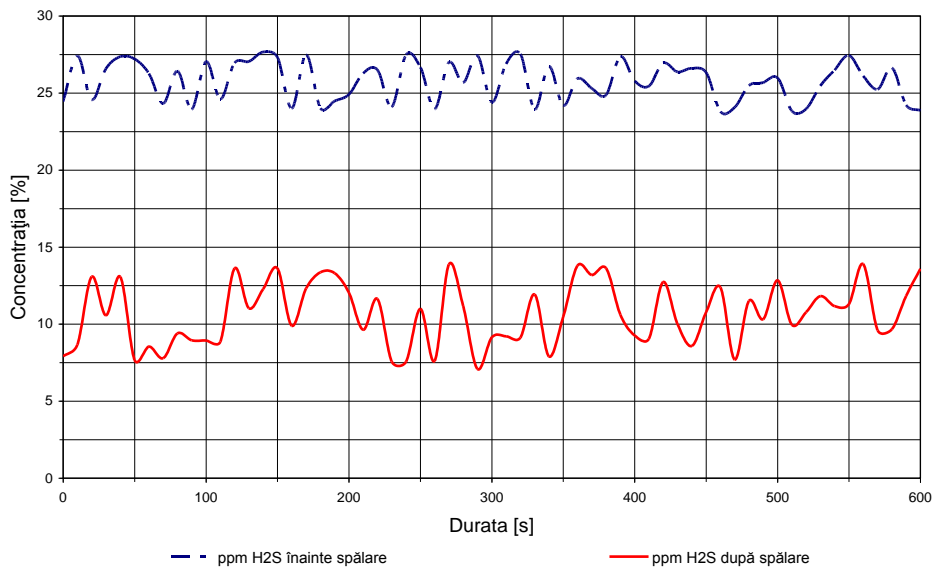


Figura 5.37. – Variația în ppm a concentrației de H₂S, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 1

5.3 - Măsurători realizate pe instalația pilot 137

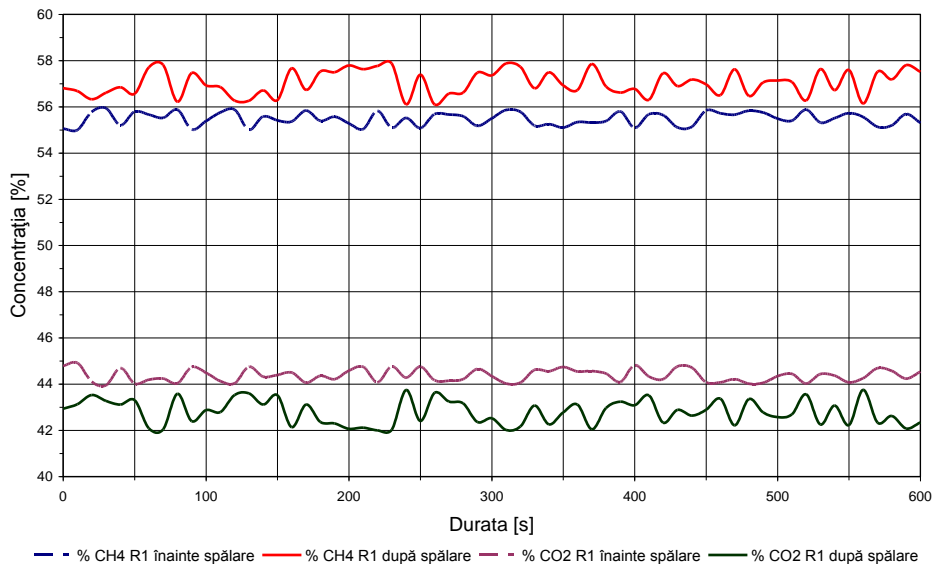
Din figurile 5.36. și 5.37, se poate observa din nou o creștere a concentrației de metan după sistemul de filtrare a gazului, procentul atins fiind de circa 55 %.

De asemenea, conținutul de CO₂ se situează în jurul valorii de 44 % după sistemul de filtrare, în timp ce conținutul de H₂S se reduce la 12 – 13 ppm.

Tabel 5.16. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 1, măsurătoarea numărul 2

Durata secunde	H₂S îS [ppm]	CH₄ îS [%]	CO₂ îS [%]	CH₄ DS [%]	CO₂ DS [%]	H₂S DS [ppm]
0	27.34	55.05	44.78	56.81	42.94	8.29
10	24.48	55.00	44.92	56.68	43.13	11.10
20	23.74	55.78	44.10	56.33	43.53	12.68
30	27.29	55.94	43.95	56.61	43.28	13.59
40	24.55	55.20	44.70	56.85	43.11	13.29
50	27.77	55.79	44.03	56.57	43.31	7.03
60	24.66	55.66	44.19	57.71	42.09	11.34
70	26.28	55.52	44.24	57.81	42.04	12.85
80	23.75	55.87	44.03	56.23	43.58	13.34
90	27.36	55.02	44.73	57.46	42.40	9.11
100	26.59	55.38	44.48	56.93	42.88	9.80
110	27.31	55.75	44.13	56.85	42.79	8.78
120	26.53	55.88	44.03	56.27	43.53	8.20
130	25.51	55.01	44.75	56.26	43.60	8.81
140	25.37	55.58	44.32	56.71	43.12	13.73
150	24.34	55.41	44.39	56.29	43.53	12.53
160	26.21	55.36	44.50	57.67	42.14	9.56
170	25.48	55.84	44.06	56.73	43.12	8.58
180	25.58	55.39	44.36	57.53	42.37	11.16
190	25.72	55.57	44.21	57.50	42.30	13.52
200	24.75	55.28	44.58	57.79	42.07	13.50
210	25.40	55.03	44.75	57.63	42.12	9.53
220	24.15	55.83	44.07	57.77	42.00	9.68
230	24.79	55.10	44.77	57.87	42.02	9.78
240	27.77	55.52	44.28	56.10	43.75	11.55
250	25.08	55.08	44.75	57.39	42.41	10.62
260	25.24	55.68	44.16	56.10	43.62	13.39
270	24.77	55.67	44.15	56.57	43.25	7.12
280	26.97	55.59	44.21	56.62	43.17	12.85
290	26.55	55.17	44.65	57.47	42.36	11.42
300	25.88	55.50	44.34	57.36	42.52	12.00
310	25.35	55.86	44.02	57.87	42.02	7.04
320	25.35	55.78	44.06	57.73	42.16	7.05
330	24.54	55.18	44.62	56.80	43.07	12.80
340	25.46	55.25	44.55	57.49	42.26	10.56
350	26.46	55.10	44.74	56.92	42.78	7.08
360	26.62	55.34	44.54	56.73	43.12	9.13
370	27.25	55.32	44.56	57.85	42.04	10.78
380	27.06	55.38	44.45	56.88	42.97	8.24

390	25.58	55.80	44.09	56.61	43.24	7.19
400	25.79	55.09	44.82	56.77	43.09	8.55
410	25.88	55.67	44.33	56.31	43.51	13.51
420	25.01	55.63	44.22	57.45	42.33	12.97
430	26.84	55.11	44.76	56.90	42.89	13.64
440	27.61	55.13	44.71	57.18	42.64	9.06
450	26.16	55.84	44.07	56.97	42.89	9.24
460	25.13	55.72	44.07	56.51	43.37	7.12
470	27.07	55.65	44.21	57.62	42.22	11.05
480	27.32	55.83	44.02	56.47	43.36	12.24
490	25.37	55.76	44.05	57.06	42.78	9.24
500	23.77	55.48	44.35	57.14	42.57	8.77
510	24.03	55.39	44.45	57.08	42.69	12.03
520	25.97	55.88	44.02	56.28	43.56	13.73
530	24.53	55.32	44.44	57.63	42.26	8.42
540	25.86	55.50	44.36	56.72	43.08	10.38
550	23.94	55.72	44.07	57.60	42.22	11.02
560	27.11	55.56	44.25	56.15	43.75	12.43
570	26.61	55.13	44.69	57.52	42.33	8.63
580	25.65	55.20	44.57	57.19	42.62	8.77
590	26.46	55.69	44.23	57.80	42.08	7.10
600	24.69	55.30	44.54	57.51	42.34	7.77

Variația concentrației de CH₄ și CO₂Figura 5.38. – Variația în % a concentrației de CH₄ și CO₂, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 2

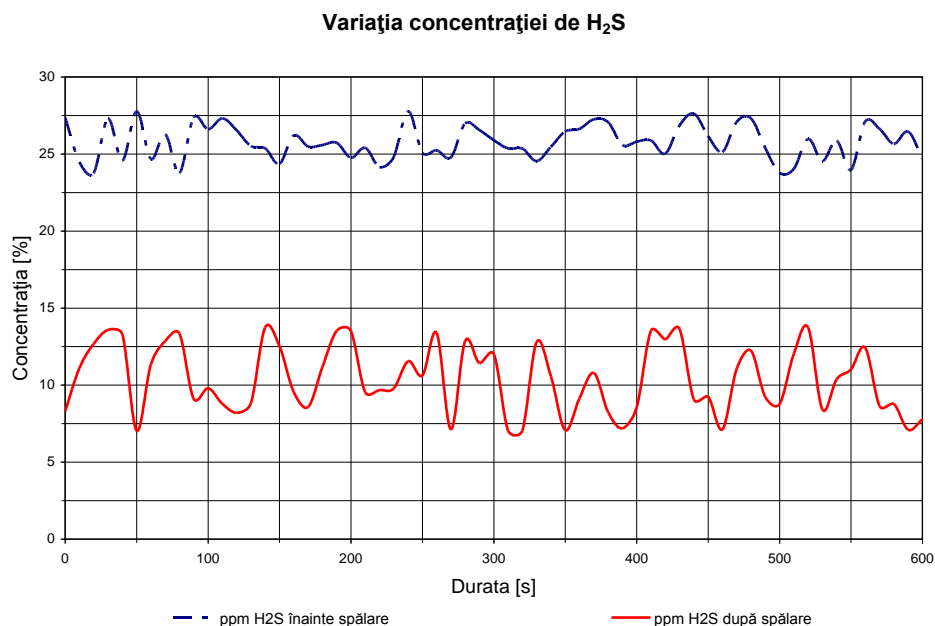


Figura 5.39. – Variația în ppm a concentrației de H₂S, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 2

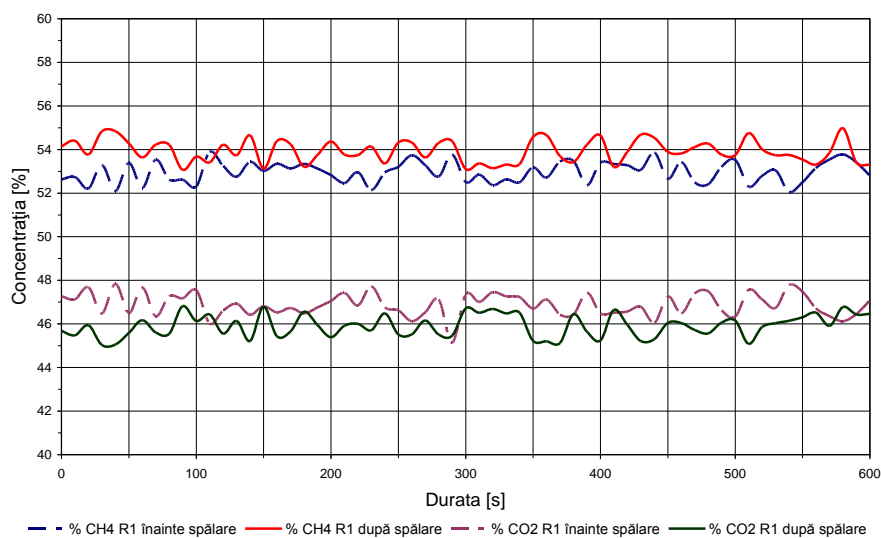
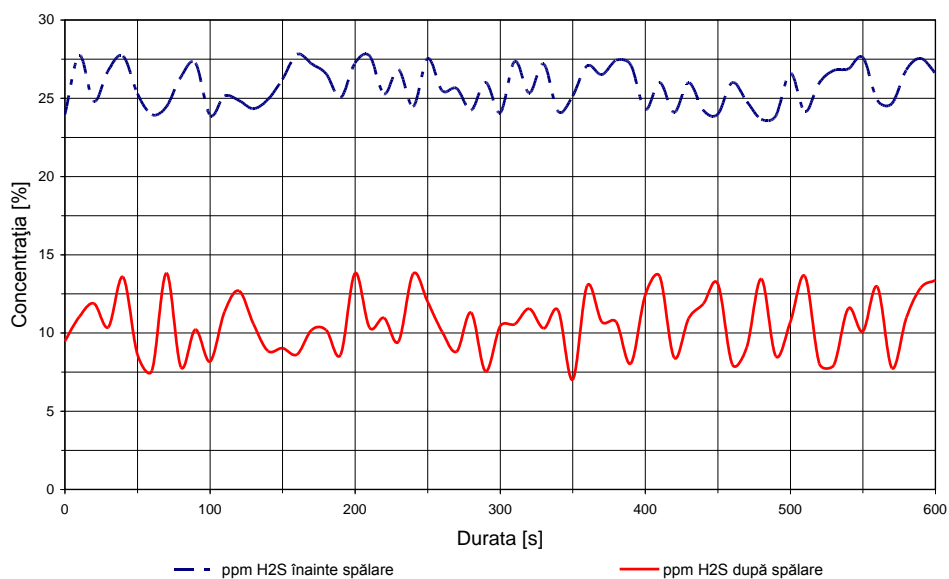
Din figurile 5.38. și 5.39. se observă o creștere a conținutului de metan la valori de până la 58%, în timp ce conținutul de CO₂ scade pînă la circa 41 – 42%, iar conținutul de H₂S variază între 27 – 28 ppm și 12 – 13 ppm.

Tabel 5.17. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 1, măsurătoarea numărul 3

Durata secunde	H ₂ S îS [ppm]	CH ₄ îS [%]	CO ₂ îS [%]	CH ₄ DS [%]	CO ₂ DS [%]	H ₂ S DS [ppm]
0	23.95	52.62	47.26	54.15	45.68	9.49
10	27.72	52.74	47.12	54.41	45.48	11.04
20	24.79	52.20	47.69	53.78	45.93	11.89
30	26.78	53.29	46.47	54.83	45.03	10.37
40	27.69	52.09	47.83	54.84	45.06	13.57
50	25.28	53.38	46.49	54.28	45.58	8.62
60	23.95	52.23	47.67	53.64	46.17	7.60
70	24.46	53.53	46.34	54.22	45.61	13.82
80	26.36	52.62	47.27	54.21	45.54	7.82
90	27.25	52.62	47.17	53.06	46.82	10.21
100	23.90	52.29	47.54	53.67	46.13	8.17
110	25.14	53.89	46.01	53.41	46.43	11.36
120	24.84	53.24	46.60	54.22	45.55	12.69
130	24.33	52.74	46.93	53.74	46.13	10.56
140	24.92	53.43	46.40	54.65	45.21	8.85

140 Măsurători și rezultate experimentale - 5

150	26.20	53.01	46.80	53.12	46.79	9.03
160	27.80	53.35	46.52	54.39	45.43	8.62
170	27.20	53.13	46.72	54.24	45.65	10.19
180	26.55	53.34	46.48	53.21	46.56	10.19
190	25.03	53.12	46.75	53.75	45.95	8.61
200	27.25	52.82	47.05	54.36	45.38	13.82
210	27.71	52.45	47.42	53.77	45.91	10.34
220	25.26	52.96	46.84	53.75	46.00	10.96
230	26.83	52.13	47.72	54.14	45.70	9.45
240	24.45	52.94	46.76	53.36	46.48	13.77
250	27.53	53.20	46.62	54.32	45.52	11.99
260	25.47	53.74	46.12	54.33	45.51	10.08
270	25.63	53.28	46.53	53.64	46.15	8.81
280	24.23	52.75	47.12	54.31	45.51	11.30
290	26.01	53.77	45.13	54.38	45.46	7.54
300	24.07	52.50	47.35	53.10	46.71	10.44
310	27.36	52.84	47.00	53.36	46.51	10.55
320	25.32	52.36	47.45	53.14	46.68	11.55
330	27.18	52.63	47.27	53.31	46.48	10.30
340	24.13	52.49	47.23	53.33	46.51	11.43
350	25.14	53.18	46.70	54.57	45.23	7.02
360	27.08	52.71	47.12	54.66	45.20	13.02
370	26.50	53.45	46.42	53.69	45.13	10.71
380	27.42	53.47	46.43	53.42	46.45	10.69
390	27.12	52.35	47.43	54.22	45.64	8.05
400	24.27	53.39	46.48	54.65	45.23	12.41
410	25.99	53.33	46.52	53.20	46.64	13.61
420	24.08	53.28	46.56	53.89	45.96	8.43
430	25.99	53.06	46.78	54.68	45.21	10.93
440	24.22	53.86	46.04	54.53	45.30	11.86
450	23.98	52.65	47.26	53.89	46.04	13.14
460	26.00	53.42	46.48	53.82	46.04	7.99
470	24.78	52.49	47.38	54.11	45.72	9.09
480	23.65	52.40	47.49	54.27	45.56	13.45
490	23.86	53.20	46.62	53.76	46.06	8.53
500	26.60	53.53	46.32	53.74	46.16	10.72
510	24.12	52.30	47.57	54.75	45.08	13.63
520	25.98	52.79	47.12	54.01	45.86	8.03
530	26.77	53.04	46.72	53.73	46.03	7.95
540	26.87	52.06	47.79	53.75	46.14	11.57
550	27.61	52.49	47.47	53.54	46.30	10.10
560	24.87	53.15	46.71	53.31	46.52	12.95
570	24.65	53.54	46.35	53.85	45.90	7.75
580	26.82	53.78	46.12	54.98	46.77	10.98
590	27.54	53.40	46.44	53.40	46.43	12.89
600	26.59	52.79	47.08	53.31	46.46	13.36

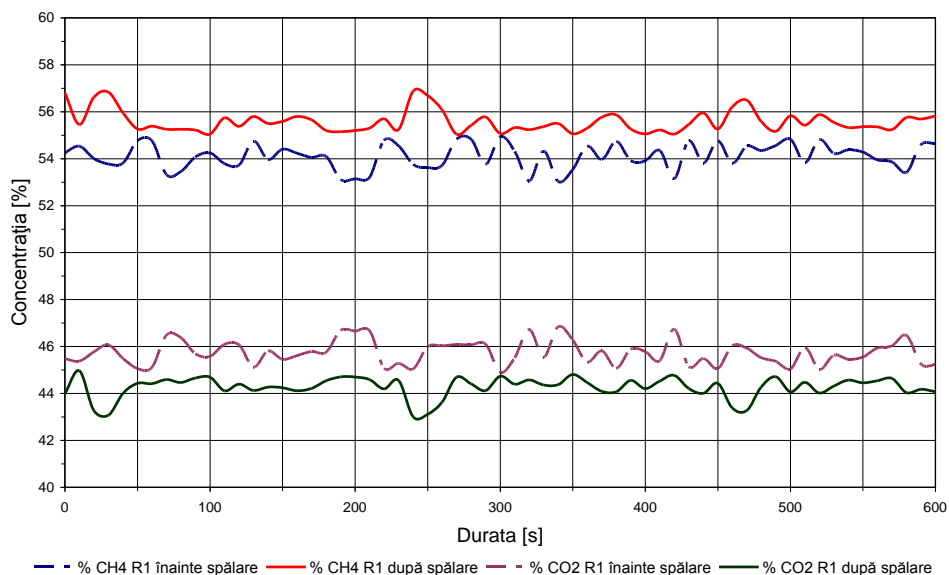
Variația concentrației de CH₄ și CO₂Figura 5.40. - Variația în % a concentrației de CH₄ și CO₂, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 3Variația concentrației de H₂SFigura 5.41. - Variația în ppm a concentrației de H₂S, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 3

Din figurile 5.40. și 5.41. se observă scăderea concentrației de metan către sfârșitul desfășurării procesului de fermentație anaerobă, în timp ce conținutul de hidrogen sulfurat rămâne la o valoare de circa 10 – 12 ppm.

Tabel 5.18. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 2, măsurătoarea numărul 1

Durata secunde	H2S îS [ppm]	CH4 îS [%]	CO₂ îS [%]	CH4 DS [%]	CO₂ DS [%]	H2S DS [ppm]
0	25.81	54.25	45.48	56.81	43.98	9.57
10	24.53	54.53	45.37	55.46	44.97	11.55
20	23.99	54.01	45.76	56.61	43.27	13.90
30	24.18	53.77	46.07	56.84	43.07	10.47
40	26.40	53.81	45.49	55.94	44.00	7.52
50	26.22	54.76	45.05	55.27	44.43	8.24
60	25.05	54.76	45.11	55.38	44.41	9.59
70	27.59	53.32	46.48	55.26	44.59	10.82
80	24.51	53.45	46.37	55.25	44.47	9.35
90	26.26	54.07	45.69	55.22	44.65	10.57
100	24.57	54.24	45.57	55.05	44.69	13.34
110	27.25	53.79	46.09	55.73	44.11	13.39
120	25.10	53.72	46.07	55.38	44.39	8.92
130	27.56	54.75	45.12	55.80	44.12	7.69
140	23.86	53.96	45.81	55.50	44.27	13.87
150	27.68	54.40	45.45	55.58	44.24	7.93
160	27.59	54.23	45.60	55.80	44.11	8.13
170	26.37	54.05	45.79	55.65	44.21	12.35
180	24.11	54.10	45.75	55.20	44.54	12.52
190	26.61	53.12	46.68	55.15	44.70	7.47
200	27.31	53.14	46.65	55.20	44.70	12.61
210	24.30	53.20	46.67	55.30	44.59	11.46
220	23.65	54.77	45.06	55.69	44.19	9.33
230	26.49	54.55	45.28	55.24	44.56	11.05
240	24.42	53.75	45.04	56.87	43.00	11.37
250	24.79	53.62	45.99	56.69	43.11	13.63
260	26.47	53.72	46.02	56.08	43.64	11.10
270	26.07	54.83	46.08	55.04	44.69	12.63
280	27.78	54.83	46.07	55.42	44.40	10.00
290	24.26	53.75	46.10	55.77	44.12	8.13
300	26.59	54.94	44.90	55.07	44.73	7.66
310	26.23	54.31	45.52	55.32	44.39	12.65
320	26.52	53.04	46.72	55.23	44.58	9.96
330	24.14	54.33	45.54	55.37	44.36	8.48
340	27.53	53.03	46.84	55.50	44.37	12.97
350	25.51	53.53	46.28	55.06	44.81	7.45
360	27.32	54.54	45.34	55.30	44.46	8.97
370	26.97	53.96	45.81	55.77	44.09	13.52
380	24.67	54.74	45.07	55.87	44.06	10.75

390	26.19	53.92	45.88	55.27	44.55	12.07
400	23.97	53.90	45.78	55.06	44.21	8.24
410	26.12	54.35	45.39	55.22	44.52	13.11
420	26.12	53.13	46.74	55.05	44.77	12.93
430	27.66	54.76	45.14	55.46	44.21	6.99
440	27.33	53.81	45.49	55.94	44.00	12.95
450	27.14	54.76	45.05	55.27	44.43	12.35
460	25.06	53.81	46.03	56.21	43.38	13.49
470	23.77	54.53	45.92	56.49	43.27	7.98
480	26.83	54.34	45.52	55.58	44.28	8.73
490	27.14	54.55	45.37	55.17	44.71	11.14
500	26.49	54.83	45.04	55.82	44.07	8.25
510	27.45	53.82	45.94	55.43	44.47	8.91
520	26.94	54.82	45.02	55.88	44.01	7.11
530	25.17	54.21	45.62	55.54	44.32	13.26
540	26.49	54.38	45.45	55.32	44.57	8.30
550	24.59	54.28	45.55	55.36	44.45	9.16
560	24.50	53.95	45.93	55.35	44.54	10.92
570	26.24	53.86	46.03	55.24	44.64	11.10
580	24.23	53.42	46.47	55.75	44.03	8.22
590	24.56	54.59	45.25	55.69	44.18	7.39
600	25.25	54.64	45.21	55.82	44.07	10.73

Variația concentrației de CH₄ și CO₂Figura 5.42. - Variația în % a concentrației de CH₄ și CO₂, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 1

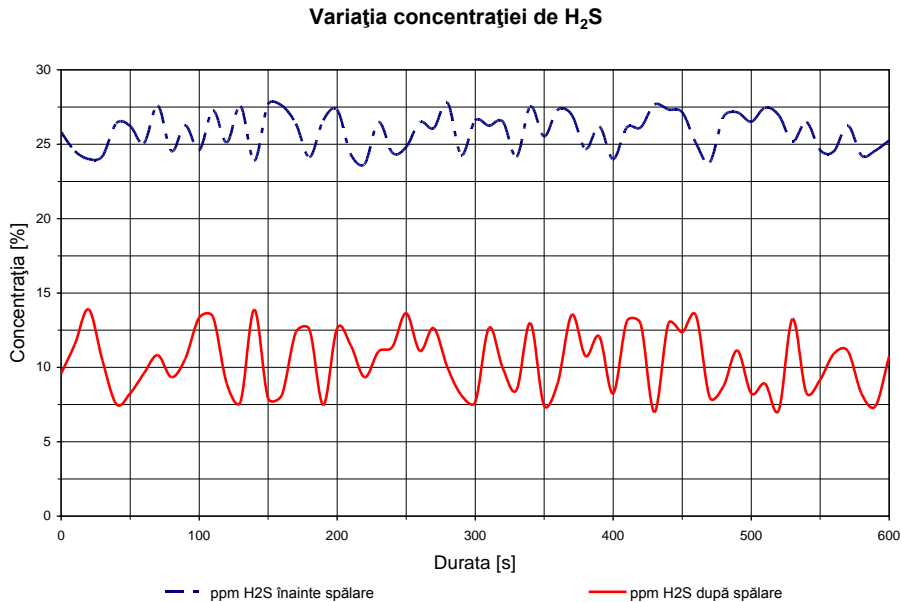


Figura 5.43. – Variația în ppm a concentrației de H₂S, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 1

În figurile 5.42. și 5.43. se evidențiază concentrațiile de metan, CO₂ și H₂S pentru rezervorul numărul 2. La fel ca și pentru primul rezervor, se poate observa o creștere a concentrației de metan la o valoare de circa 56 – 57% după sistemul de spălare a biogazului, corelată cu o scădere a conținutului de CO₂ la o valoare de 42 – 43% și cu o valoare a concentrației de H₂S de 13 – 14 ppm.

Tabel 5.19. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 2, măsurătoarea numărul 2

Durata secunde	H ₂ S îS [ppm]	CH ₄ îS [%]	CO ₂ îS [%]	CH ₄ DS [%]	CO ₂ DS [%]	H ₂ S DS [ppm]
0	24.47	55.28	44.46	57.19	42.62	9.98
10	24.80	55.17	44.64	57.81	41.95	11.35
20	24.22	55.20	44.67	56.98	42.85	12.75
30	25.66	55.36	44.53	57.59	42.27	11.66
40	25.87	55.35	44.54	57.68	42.10	9.41
50	25.80	55.37	44.50	57.03	42.75	11.38
60	26.89	55.51	44.33	56.40	43.48	12.00
70	26.06	55.68	44.19	56.31	43.49	9.23
80	24.55	55.21	44.62	56.86	43.00	11.38
90	26.75	55.39	44.37	56.39	43.50	10.34
100	26.42	55.35	44.49	56.69	43.01	12.60
110	24.75	55.73	44.12	57.22	42.55	7.53
120	24.21	55.18	44.69	56.22	43.53	7.75
130	26.53	55.44	44.40	57.23	42.62	11.43

5.3 - Măsurători realizate pe instalația pilot 145

140	24.17	56.00	43.85	57.09	42.67	8.98
150	25.70	55.96	43.87	57.81	42.01	12.46
160	24.92	55.26	44.62	56.68	43.12	9.17
170	27.08	55.17	44.66	57.05	42.86	13.66
180	24.57	55.12	44.71	56.57	43.84	9.81
190	25.03	55.33	44.47	57.15	42.71	11.47
200	27.03	55.60	44.17	57.04	42.41	8.70
210	24.03	55.38	44.31	56.64	42.13	9.22
220	26.10	55.61	44.19	57.36	42.31	9.43
230	24.15	55.54	44.23	57.55	42.12	12.45
240	26.79	55.49	44.29	57.17	42.55	10.77
250	24.59	55.97	43.81	56.78	42.85	8.50
260	24.09	55.74	44.04	57.03	42.72	12.49
270	26.75	55.39	44.34	56.24	43.56	11.74
280	27.70	55.33	44.35	56.72	43.07	8.09
290	26.63	55.41	44.33	57.25	42.60	11.25
300	25.99	55.80	44.02	57.28	42.46	10.39
310	27.36	55.29	44.30	57.16	42.63	12.22
320	23.91	55.76	44.05	57.06	42.78	9.51
330	23.86	55.48	44.35	57.14	42.57	12.16
340	26.24	55.39	44.45	57.08	42.69	13.80
350	24.48	55.88	44.02	56.28	43.56	8.05
360	25.80	55.32	44.44	57.63	42.26	12.87
370	23.85	55.50	44.36	56.72	43.08	9.49
380	25.35	55.72	44.07	57.60	42.22	12.67
390	25.66	55.56	44.25	56.15	43.75	9.94
400	27.49	55.13	44.69	57.52	42.33	10.87
410	27.79	55.41	44.39	56.29	43.53	10.74
420	23.72	55.36	44.50	57.67	42.14	13.07
430	25.07	55.84	44.06	56.73	43.12	12.97
440	25.05	55.39	44.36	57.53	42.37	10.50
450	24.43	55.57	44.21	57.50	42.30	9.73
460	26.91	55.28	44.58	57.79	42.07	8.66
470	27.15	55.03	44.75	57.63	42.12	12.67
480	25.03	55.83	44.07	57.77	42.00	10.19
490	24.87	55.10	44.77	57.87	42.02	11.14
500	26.54	55.56	44.20	56.63	42.85	9.27
510	25.71	55.86	44.03	56.35	43.55	7.47
520	26.12	55.70	44.15	57.82	42.46	7.82
530	27.54	55.38	44.15	56.46	43.26	13.21
540	24.79	55.60	44.24	56.08	43.67	11.76
550	25.50	55.89	44.02	57.51	42.22	12.27
560	27.39	55.25	44.62	57.14	42.71	10.82
570	24.00	55.24	44.48	57.52	42.21	8.76
580	26.13	55.57	44.30	56.74	42.80	9.48
590	25.41	55.59	44.24	57.51	42.18	10.03
600	26.75	55.17	44.53	57.50	42.27	11.69

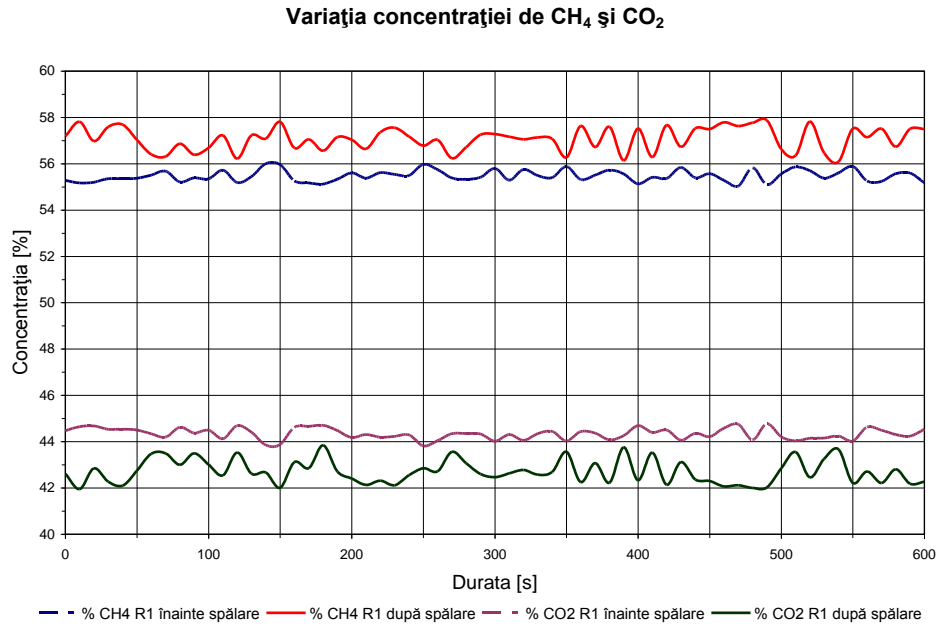


Figura 5.44. – Variația în % a concentrației de CH₄ și CO₂, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 2

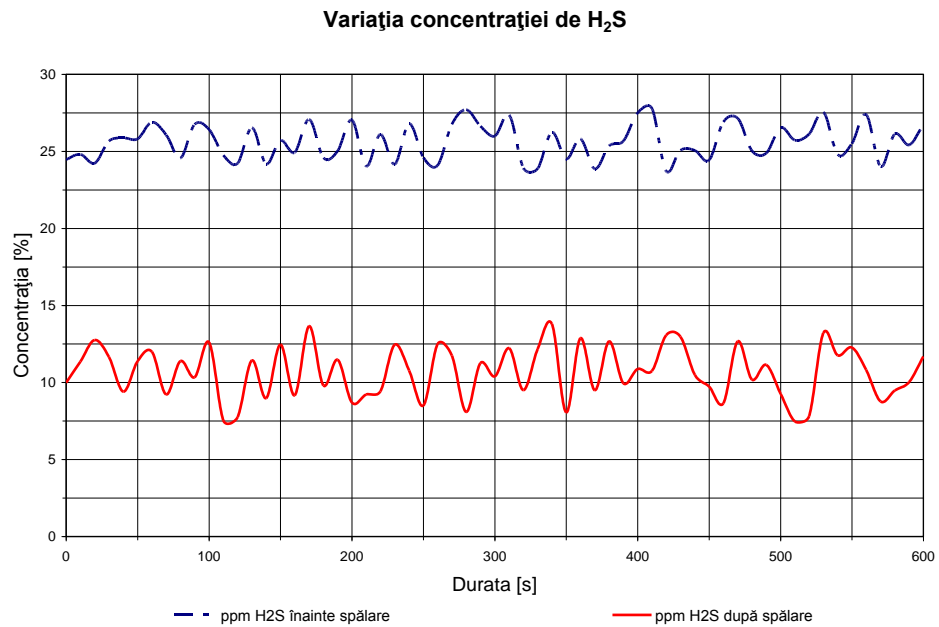


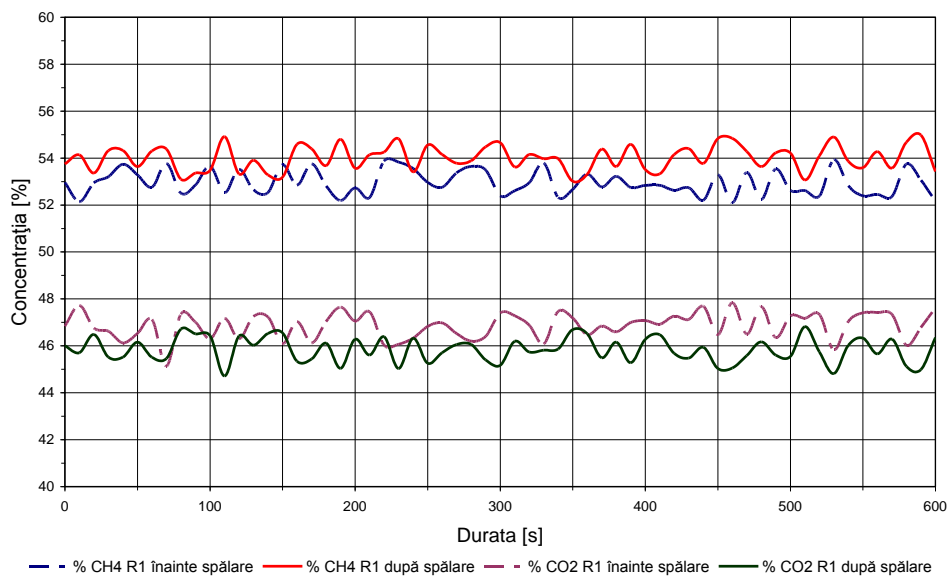
Figura 5.45. – Variația în ppm a concentrației de H₂S, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 2

În figurile 5.44. și 5.45. se observă creșterea conținutului de metan, raportat la scăderea concentrației de CO₂ după sistemul de spălare a biogazului, precum și menținerea unei valori de 10 – 12 ppm pentru conținutul de H₂S.

Tabel 5.20. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 2, măsurătoarea numărul 3

Durata secunde	H₂S îS [ppm]	CH₄ îS [%]	CO₂ îS [%]	CH₄ DS [%]	CO₂ DS [%]	H₂S DS [ppm]
0	25.72	52.96	46.84	53.75	46.00	8.06
10	25.86	52.13	47.72	54.14	45.70	12.88
20	27.72	52.94	46.76	53.36	46.48	8.65
30	27.28	53.20	46.62	54.32	45.52	11.87
40	24.37	53.74	46.12	54.33	45.51	8.89
50	27.53	53.28	46.53	53.64	46.15	13.01
60	26.44	52.75	47.12	54.31	45.51	12.82
70	25.18	53.77	45.13	54.38	45.46	9.33
80	25.19	52.50	47.35	53.10	46.71	8.98
90	26.24	52.84	47.00	53.36	46.51	13.47
100	26.48	53.66	46.29	53.47	46.43	10.02
110	25.79	52.52	47.17	54.91	44.71	13.46
120	27.70	53.52	46.29	53.32	46.42	11.08
130	23.97	52.64	47.25	53.90	46.02	9.61
140	23.65	52.52	47.22	53.28	46.52	11.28
150	23.98	53.72	46.08	53.18	46.55	7.54
160	25.71	52.84	47.03	54.59	45.34	8.28
170	25.96	53.75	46.12	54.39	45.44	11.75
180	26.69	52.81	47.03	53.68	46.11	7.35
190	27.16	52.18	47.65	54.79	45.04	7.04
200	24.74	52.73	47.05	53.57	46.27	12.29
210	27.16	52.31	47.45	54.14	45.61	8.99
220	25.82	53.87	46.03	54.25	46.39	13.73
230	24.67	53.83	46.06	54.82	45.03	13.34
240	24.09	53.55	46.32	53.41	46.32	11.31
250	27.70	52.96	46.82	54.56	45.25	7.71
260	26.54	52.75	46.97	54.15	45.70	12.50
270	24.77	53.37	46.52	53.78	46.05	11.28
280	25.45	53.64	46.20	53.88	46.06	12.58
290	27.37	53.49	46.39	54.48	45.40	13.86
300	23.94	52.39	47.40	54.66	45.17	10.41
310	26.45	52.61	47.28	53.62	46.19	9.24
320	23.98	52.95	46.88	54.15	45.73	11.76
330	23.75	53.79	46.07	53.97	45.81	7.30
340	26.95	52.32	47.47	53.97	45.87	13.26
350	26.47	52.66	47.18	53.01	46.69	7.69
360	25.33	53.31	46.46	53.30	46.52	8.87
370	26.64	52.77	46.85	54.39	45.49	8.64
380	27.73	53.22	46.59	53.64	46.15	10.15

390	24.14	52.74	46.99	54.58	45.28	12.04
400	24.44	52.83	47.07	53.51	46.27	11.64
410	24.87	52.84	46.91	53.32	46.48	10.58
420	23.64	52.62	47.26	54.15	45.68	7.20
430	25.28	52.74	47.12	54.41	45.48	9.37
440	25.06	52.20	47.69	53.78	45.93	11.57
450	26.25	53.29	46.47	54.83	45.03	9.79
460	24.36	52.09	47.83	54.84	45.06	7.47
470	25.24	53.38	46.49	54.28	45.58	12.44
480	25.22	52.23	47.67	53.64	46.17	7.57
490	24.16	53.53	46.34	54.22	45.61	8.25
500	26.37	52.62	47.27	54.21	45.54	7.58
510	26.53	52.62	47.17	53.06	46.82	9.35
520	26.74	52.37	47.33	54.10	45.74	6.97
530	25.88	53.93	45.82	54.90	44.81	10.19
540	27.50	52.82	47.04	53.86	46.02	8.75
550	24.16	52.39	47.40	53.58	46.33	10.83
560	25.21	52.45	47.42	54.28	45.66	12.68
570	27.45	52.35	47.34	53.57	46.29	13.50
580	24.48	53.75	46.02	54.68	45.12	8.51
590	27.52	53.05	46.78	54.98	44.99	7.95
600	26.24	52.15	47.60	53.43	46.35	12.96

Variația concentrației de CH₄ și CO₂Figura 5.46. – Variația în % a concentrației de CH₄ și CO₂, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 3

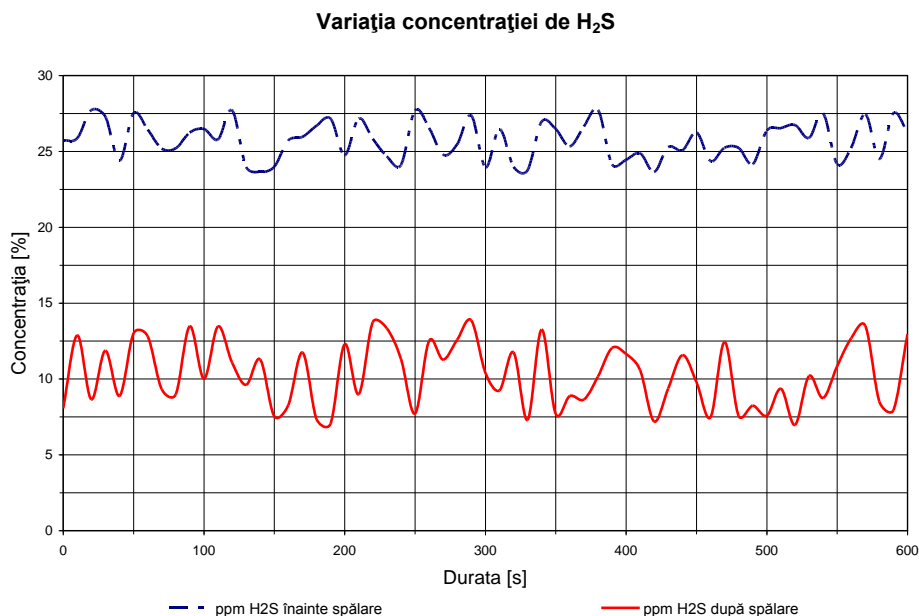


Figura 5.47. – Variația în ppm a concentrației de H₂S, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 3

Se poate observa din figurile 5.46. și 5.47. că, din nou, are loc scăderea conținutului de metan către sfârșitul perioadei de desfășurare a procesului de fermentație anaerobă, în paralel cu menținerea unei valori relativ constante de 10 – 13 ppm pentru concentrația de H₂S.

Din analiza graficelor prezentate mai sus reiese faptul că, din nou, cantitățile produse sunt reduse, iar conținutul de metan este îmbunătățit după trecerea prin filtrul de spălare CO₂.

De asemenea, cantitatea totală de biogaz produsă în perioada de desfășurare a procesului a fost de circa 5.219 m³, o cantitate foarte redusă comparativ cu potențialul instalației.

Șarja numărul 3 – amestec de boabe de porumb deteriorat măcinat și boabe grâu deteriorat măcinat

Cea de-a treia șarjă a inclus un amestec 50% boabe de porumb măcinat deteriorat și 50% boabe de grâu măcinat deteriorat, dimensiunea medie a acestora fiind de 1-2 mm. Cantitatea de material solid introdusă în fiecare rezervor a fost de 75 kg.

Raportul material solid : volum de lichid este 0,037.

Durata de desfășurare a șarjei a fost de 67 de zile

Raportul C / N ținând cont că în cazul nostru există un amestec, se calculează cu relația :

$$\frac{C}{N} = \frac{P_1 r_1 + P_2 r_2}{P_1 + P_2} \quad [63] \quad (5.1.)$$

unde

P_1, P_2 – cantitățile de material introduse în rezervoare

r_1, r_2 – raportul Carbon / Azot pentru fiecare componentă în parte

Cantitatea de material introdusă în fiecare rezervor este următoarea :

$$P_1 = P_{\text{boabe porumb}} = 37.5 \text{ kg}$$

$$P_2 = P_{\text{boabe gr\u00e2u}} = 37.5 \text{ kg}$$

$$r_1 = r_{\text{boabe porumb}} = \frac{46.58}{0.47} = 99.1 \quad [24] \quad [93]$$

$$r_2 = r_{\text{boabe gr\u00e2u}} = \frac{43.6}{2.28} = 19.1$$

Raportul C / N pentru amestec va fi

$$C / N = \frac{37.5 \times 99.1 + 37.5 \times 19.1}{37.5 + 37.5} = 59.1$$

Monitorizarea parametrilor, respectiv analiza biogazului obținut s-au realizat în aceleași condiții ca și pentru primele două șarje. În tabelele 5.21. și 5.22. sunt prezentate valorile parametrilor considerați pentru cele două rezervoare.

Tabel 5.21. - Monitorizarea procesului în rezervorul numărul 1

Data	Presiune inițială	Presiune finală	Ph I	Temperatura I	Debit I	$\Delta P1$
20/11/2008	0.00	0.00	8.5	35.2	0.000	0.00
21/11/2008	0.02	0.02	5.6	31.8	0.000	0.00
22/11/2008	0.20	0.20	5.0	35.8	0.000	0.00
23/11/2008	0.27	0.27	7.8	32.2	0.000	0.00
24/11/2008	0.32	0.32	6.4	35.9	0.000	0.00
25/11/2008	0.35	0.35	7.9	32.7	0.000	0.00
26/11/2008	0.40	0.40	6.8	35.6	0.000	0.00
27/11/2008	0.43	0.43	7.6	32.7	0.000	0.00
28/11/2008	0.46	0.46	7.1	31.0	0.000	0.00
29/11/2008	0.51	0.51	6.2	35.7	0.000	0.00
30/11/2008	0.55	0.55	7.5	32.8	0.000	0.00
01/12/2008	0.60	0.60	7.0	36.2	0.000	0.00
02/12/2008	0.67	0.67	7.2	33.7	0.000	0.00
03/12/2008	0.72	0.14	6.9	35.8	0.245	0.58
04/12/2008	0.23	0.01	7.1	31.9	0.155	0.22
05/12/2008	0.22	0.01	6.9	34.4	0.147	0.21
06/12/2008	0.23	0.23	7.2	31.8	2.000	0.00
07/12/2008	0.36	0.36	7.0	29.2	0.000	0.00
08/12/2008	0.48	0.02	7.0	28.3	0.340	0.46
09/12/2008	0.68	0.68	7.2	32.4	0.000	0.00
09/12/2008	1.52	0.21	7.1	34.5	0.610	1.31
09/12/2008	0.92	0.20	7.1	36.8	0.420	0.72
09/12/2008	0.57	0.09	7.1	36.4	0.260	0.48

5.3 - Măsurători realizate pe instalația pilot 151

09/12/2008	0.87	0.02	7.1	35.6	0.500	0.85
10/12/2008	0.91	0.22	6.9	34.0	0.400	0.69
10/12/2008	0.80	0.22	6.9	33.5	0.290	0.58
10/12/2008	0.59	0.02	7.0	33.0	0.265	0.57
11/12/2008	0.77	0.05	7.0	31.8	0.430	0.72
11/12/2008	0.67	0.02	7.0	35.2	0.355	0.65
12/12/2008	0.81	0.23	7.1	33.4	0.280	0.58
12/12/2008	0.35	0.03	7.1	36.2	0.176	0.32
13/12/2008	0.81	0.23	6.9	33.6	0.286	0.58
13/12/2008	0.74	0.21	6.9	32.8	0.255	0.53
13/12/2008	0.49	0.04	6.9	32.3	0.220	0.45
14/12/2008	0.68	0.19	7.1	31.2	0.230	0.49
14/12/2008	0.58	0.07	7.1	30.5	0.235	0.51
15/10/2008	0.66	0.12	7.0	29.6	0.252	0.54
15/10/2008	0.76	0.05	7.0	35.6	0.412	0.71
16/12/2008	1.06	0.03	7.0	33.6	0.520	1.03
16/12/2008	0.34	0.05	7.0	33.0	0.150	0.29
17/12/2008	0.90	0.02	6.9	31.6	0.450	0.88
17/12/2008	0.60	0.04	7.0	37.3	0.290	0.56
18/12/2008	1.31	0.02	7.0	35.1	0.600	1.29
18/12/2008	0.44	0.07	7.0	34.2	0.176	0.37
19/12/2008	0.85	0.02	7.1	33.0	0.443	0.83
19/12/2008	0.77	0.04	7.1	35.5	0.420	0.73
20/12/2008	1.15	0.32	7.1	33.6	0.440	0.83
20/12/2008	0.68	0.04	7.1	33.1	0.357	0.64
21/12/2008	1.09	0.03	7.1	31.7	0.530	1.06
22/12/2008	1.05	0.02	7.2	30.4	0.518	1.03
23/12/2008	0.91	0.02	7.2	34.3	0.446	0.89
24/12/2008	0.90	0.05	7.1	32.1	0.438	0.85
26/12/2008	0.85	0.07	7.1	30.0	0.419	0.78
27/12/2008	0.82	0.05	7.1	34.1	0.415	0.77
28/12/2008	0.73	0.03	7.0	34.5	0.380	0.70
29/12/2008	0.84	0.50	7.0	36.3	0.186	0.34
30/12/2008	0.92	0.17	6.9	34.4	0.398	0.75
31/12/2008	0.64	0.40	7.0	32.3	0.122	0.24
02/01/2009	0.80	0.50	6.9	30.6	0.164	0.30
03/01/2009	0.80	0.40	6.9	36.0	0.209	0.40
04/01/2009	0.88	0.43	7.0	33.6	0.234	0.45
05/01/2009	0.95	0.40	7.0	31.8	0.280	0.55
06/01/2009	0.82	0.45	7.0	30.9	0.195	0.37
07/01/2009	0.84	0.04	7.0	34.7	0.426	0.80
09/01/2009	1.18	0.45	7.0	31.1	0.388	0.73
09/01/2009	0.71	0.29	7.0	36.7	0.217	0.42
10/01/2009	0.92	0.01	7.0	34.3	0.489	0.91
11/01/2009	0.77	0.06	7.0	32.6	0.379	0.71
12/01/2009	0.80	0.08	7.0	31.0	0.381	0.72
13/01/2009	0.67	0.07	7.0	29.9	0.294	0.60
14/01/2009	0.72	0.08	7.0	29.0	0.355	0.64
15/01/2009	0.53	0.15	6.9	28.4	0.205	0.38

152 Măsurători și rezultate experimentale - 5

17/01/2009	0.72	0.06	7.0	27.9	0.341	0.66
17/01/2009	0.51	0.20	7.0	27.3	0.165	0.31
18/01/2009	0.45	0.01	7.0	27.0	0.235	0.44
19/01/2009	0.38	0.09	6.9	26.7	0.148	0.29
20/01/2009	0.35	0.05	7.0	26.5	0.140	0.30
21/01/2009	0.30	0.30	7.0	26.2	0.000	0.00
22/01/2009	0.54	0.07	7.0	26.0	0.245	0.47
23/01/2009	0.27	0.27	7.1	25.8	0.000	0.00
24/01/2009	0.38	0.38	7.0	25.5	0.000	0.00
25/01/2009	0.42	0.01	7.0	25.1	0.204	0.41

Tabel 5.22. - Monitorizarea procesului în rezervorul numărul 2

Data	Presiune inițială	Presiune finală	Ph II	Temperatura II	Debit II	$\Delta P2$
20/11/2008	0.00	0.00	8.4	34.0	0.000	0.00
21/11/2008	0.01	0.01	5.7	30.7	0.000	0.00
22/11/2008	0.10	0.10	5.2	34.7	0.000	0.00
23/11/2008	0.18	0.18	8.0	31.0	0.000	0.00
24/11/2008	0.25	0.25	6.6	34.5	0.000	0.00
25/11/2008	0.31	0.31	8.0	31.4	0.000	0.00
26/11/2008	0.37	0.37	6.6	34.3	0.000	0.00
27/11/2008	0.40	0.40	7.8	31.4	0.000	0.00
28/11/2008	0.44	0.44	7.0	29.9	0.036	0.00
29/11/2008	0.48	0.48	6.3	34.7	0.054	0.00
30/11/2008	0.52	0.52	7.7	31.9	0.000	0.00
01/12/2008	0.58	0.58	7.3	35.1	0.066	0.00
02/12/2008	0.64	0.64	7.0	32.7	0.000	0.00
03/12/2008	0.69	0.15	6.9	34.8	0.245	0.54
04/12/2008	0.27	0.03	7.0	30.6	0.166	0.24
05/12/2008	0.26	0.02	6.9	33.3	0.156	0.24
06/12/2008	0.26	0.03	7.1	30.7	0.150	0.23
07/12/2008	0.39	0.39	7.0	28.0	0.000	0.00
08/12/2008	0.49	0.04	6.9	27.2	0.212	0.45
09/12/2008	0.78	0.78	7.1	31.4	0.000	0.00
09/12/2008	1.16	0.50	7.1	33.4	0.410	0.66
09/12/2008	1.24	0.20	7.1	36.3	0.500	1.04
09/12/2008	0.73	0.14	7.1	36.0	0.295	0.59
09/12/2008	1.09	0.05	7.1	35.1	0.505	1.04
10/12/2008	1.15	0.23	7.0	33.1	0.481	0.92
10/12/2008	0.82	0.22	7.0	32.5	0.390	0.60
10/12/2008	0.73	0.02	7.0	32.1	0.434	0.71
11/12/2008	1.00	0.06	6.9	30.6	0.486	0.94
11/12/2008	0.73	0.02	6.9	33.3	0.435	0.71
12/12/2008	0.80	0.20	6.9	31.8	0.386	0.60
12/12/2008	0.37	0.02	6.9	34.7	0.187	0.35
13/12/2008	0.79	0.21	7.0	31.7	0.380	0.58
13/12/2008	0.66	0.21	7.0	30.8	0.210	0.45

5.3 - Măsurători realizate pe instalația pilot 153

13/12/2008	0.46	0.04	7.0	30.3	0.198	0.42
14/12/2008	0.57	0.25	7.1	29.2	0.160	0.32
14/12/2008	0.53	0.03	7.1	28.8	0.243	0.50
15/10/2008	0.49	0.11	7.0	28.0	0.172	0.38
15/10/2008	0.62	0.03	7.0	33.3	0.379	0.59
16/12/2008	0.78	0.03	7.0	31.5	0.442	0.75
16/12/2008	0.26	0.04	7.0	31.0	0.134	0.22
17/12/2008	0.63	0.03	6.9	29.6	0.384	0.60
17/12/2008	0.49	0.02	6.9	34.5	0.220	0.47
18/12/2008	0.95	0.02	7.0	32.5	0.485	0.93
18/12/2008	0.39	0.04	7.0	32.1	0.170	0.35
19/12/2008	0.71	0.03	7.0	31.0	0.430	0.68
19/12/2008	0.63	0.02	7.0	33.3	0.410	0.61
20/12/2008	1.06	0.30	7.0	31.9	0.447	0.76
20/12/2008	0.63	0.03	7.0	31.4	0.381	0.60
21/12/2008	1.00	0.03	6.9	30.1	0.496	0.97
22/12/2008	0.93	0.03	7.0	29.1	0.478	0.90
23/12/2008	0.72	0.02	7.1	32.3	0.427	0.70
24/12/2008	0.81	0.04	7.0	31.1	0.446	0.77
26/12/2008	0.85	0.03	7.0	29.0	0.523	0.82
27/12/2008	0.80	0.03	7.0	32.7	0.445	0.77
28/12/2008	0.31	0.01	7.0	32.3	0.177	0.30
29/12/2008	0.82	0.51	7.0	34.1	0.179	0.31
30/12/2008	0.86	0.18	6.9	32.6	0.411	0.68
31/12/2008	0.53	0.41	6.9	31.0	0.056	0.12
02/01/2009	0.69	0.49	7.0	29.5	0.105	0.20
03/01/2009	0.71	0.40	7.0	28.6	0.179	0.31
04/01/2009	0.75	0.44	7.0	32.3	0.180	0.31
05/01/2009	0.82	0.39	7.0	30.8	0.210	0.43
06/01/2009	0.75	0.42	6.9	30.0	0.191	0.33
07/01/2009	0.74	0.43	6.9	33.2	0.187	0.31
09/01/2009	0.90	0.48	7.0	30.4	0.205	0.42
09/01/2009	0.66	0.28	7.0	35.7	0.189	0.38
10/01/2009	0.75	0.01	7.0	31.9	0.453	0.74
11/01/2009	0.49	0.05	6.9	31.3	0.214	0.44
12/01/2009	0.60	0.07	6.9	30.1	0.245	0.53
13/01/2009	0.52	0.06	7.0	29.3	0.220	0.46
14/01/2009	0.61	0.09	7.0	28.6	0.241	0.52
15/01/2009	0.50	0.09	7.0	28.1	0.201	0.41
17/01/2009	0.71	0.05	7.0	27.5	0.399	0.66
17/01/2009	0.63	0.20	7.0	27.0	0.210	0.43
18/01/2009	0.50	0.02	6.9	26.6	0.228	0.48
19/01/2009	0.41	0.07	7.0	26.2	0.176	0.34
20/01/2009	0.37	0.05	7.0	25.9	0.168	0.32
21/01/2009	0.31	0.31	7.0	25.5	0.000	0.00
22/01/2009	0.50	0.05	7.0	25.3	0.238	0.45
23/01/2009	0.28	0.28	7.0	25.1	0.000	0.00
24/01/2009	0.40	0.40	7.0	24.9	0.000	0.00
25/01/2009	0.44	0.01	7.0	24.6	0.219	0.43

În figurile 5.48. – 5.51. sunt prezentate graficele de variație ale parametrilor monitorizați.

Variația temperaturii

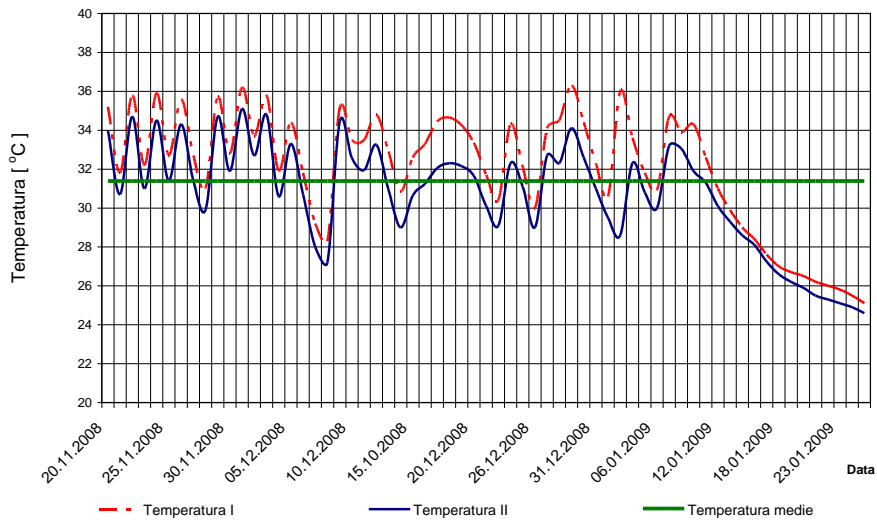


Figura 5.48. – Variația temperaturii în rezervoare

Variația pH

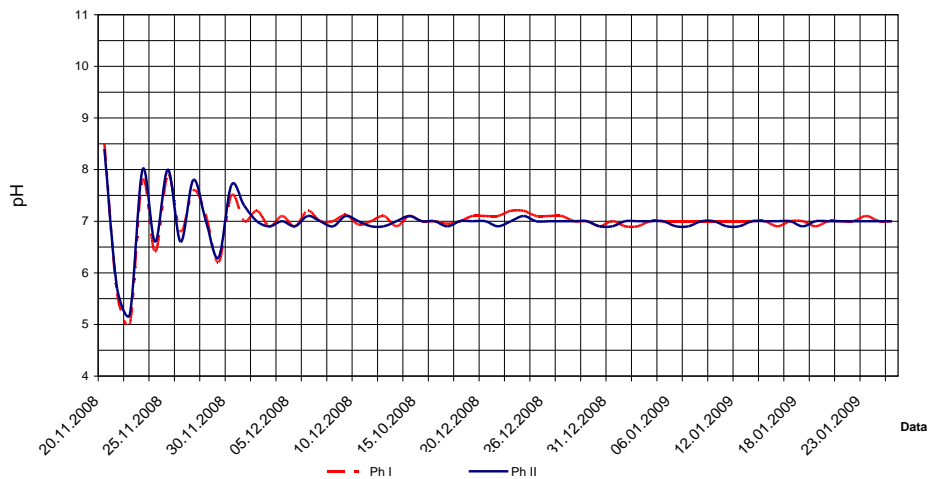


Figura 5.49. – Variația pH-ului în rezervoare

Diferența de presiune

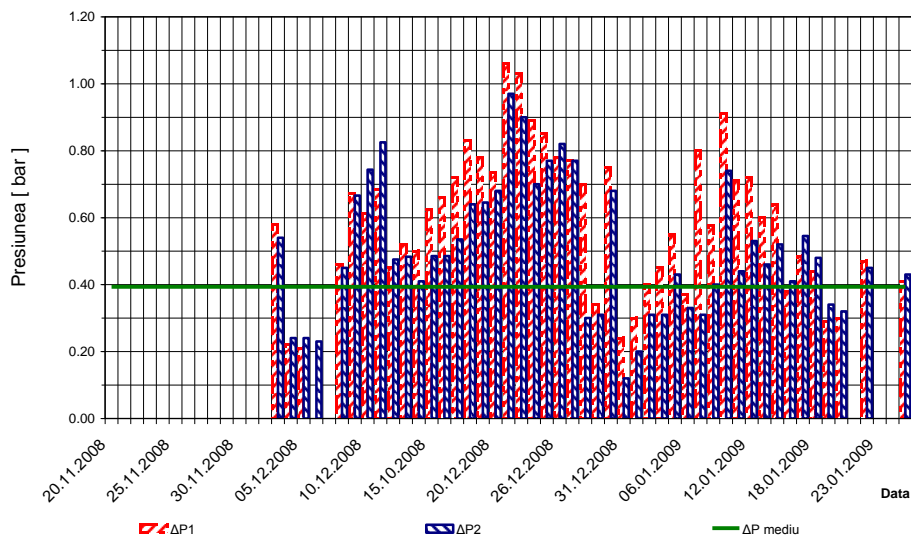


Figura 5.50. – Diferența de presiune în rezervoare

Producția de biogaz

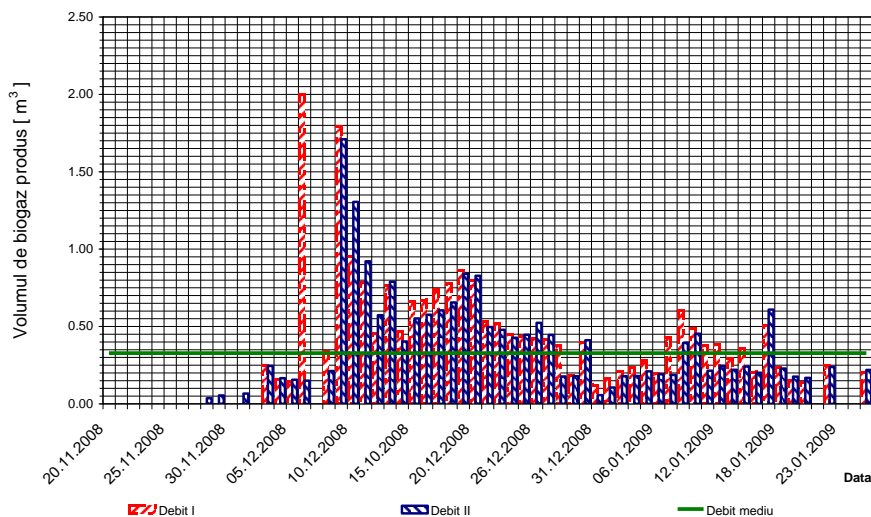


Figura 5.51. – Producția de biogaz din instalație

Din grafice se poate observa, asemănător cu celelalte șarje, variația de temperatură (figura 5.48.), corecția de pH (figura 5.49.) dar și o creștere simțitoare a producției de biogaz. Principalul motiv al diferenței de producție îl constituie

conținutul de amidon din amestec, cu un rol deosebit de important în producerea de biogaz (un conținut mai ridicat de materie organică).

Corelația dintre diferența de presiune prezentată în figura 5.50. și producția de biogaz obținută, prezentată în figura 5.51. evidențiază diferența cantitativă a cantității de biogaz obținută raportat la șarjele anterioare.

La fel ca și pentru celelalte șarje, s-a realizat determinarea caracteristicilor biogazului obținut cu ajutorul gazo-analizoarelor prezentate anterior, rezultatele fiind prezentate mai jos. În tabelele 5.23. – 5.28. sunt prezentate valorile parametrilor mășurați, iar în figurile 5.52. – 5.63. sunt prezentate graficele de variație ale parametrilor monitorizați.

Tabel 5.23. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 1, măsurătoarea numărul 1

Durata secunde	H₂S îS [ppm]	CH₄ îS [%]	CO₂ îS [%]	CH₄ DS [%]	CO₂ DS [%]	H₂S DS [ppm]
0	62.74	57.86	41.80	60.87	38.66	30.37
10	62.04	57.97	41.57	61.74	37.87	32.41
20	64.88	57.13	42.57	60.01	39.74	30.09
30	63.49	58.04	41.50	61.40	38.21	30.13
40	64.37	58.97	40.69	60.77	38.76	31.08
50	62.41	58.82	40.88	60.91	38.84	32.99
60	62.03	58.52	41.02	61.82	37.79	30.68
70	63.14	57.15	42.55	61.66	37.87	31.67
80	62.43	58.02	41.64	61.26	38.49	32.39
90	64.63	58.81	40.79	61.05	38.56	33.01
100	63.18	57.90	41.64	62.00	37.68	31.99
110	62.18	57.98	41.72	60.51	39.02	32.97
120	63.62	57.58	42.08	60.24	39.37	30.20
130	62.76	58.82	40.78	60.54	39.14	32.84
140	64.85	57.35	42.19	60.99	38.62	30.91
150	63.65	58.39	41.27	61.81	37.72	31.73
160	64.28	57.03	42.67	61.70	37.98	31.84
170	62.52	57.82	41.72	60.97	38.78	31.91
180	63.88	57.87	41.73	61.06	38.55	32.68
190	64.62	58.77	40.89	61.62	37.91	30.58
200	62.73	58.62	41.08	60.41	39.20	33.06
210	62.45	58.92	40.62	60.82	38.86	33.55
220	64.36	57.56	42.04	61.62	38.13	32.03
230	64.32	58.27	41.39	60.29	39.24	32.42
240	63.80	58.99	40.71	60.21	39.47	31.03
250	63.88	57.22	42.32	60.79	38.82	33.64
260	62.71	57.31	42.29	60.87	38.81	33.03
270	64.67	57.35	42.31	60.12	39.49	30.20
280	62.09	58.83	40.87	60.11	39.42	33.41
290	63.81	58.63	40.91	61.88	37.87	31.55
300	64.96	57.54	42.06	61.41	38.27	31.25
310	64.76	58.20	41.46	60.56	39.05	31.92
320	64.50	57.70	41.90	61.04	38.49	33.68

5.3 - Măsurători realizate pe instalația pilot 157

330	64.91	58.23	41.47	60.68	39.00	30.21
340	64.56	57.64	42.02	61.77	37.84	31.72
350	63.08	58.21	41.33	60.11	39.42	32.01
360	64.38	57.31	42.29	60.15	39.60	31.53
370	64.84	58.48	41.22	60.08	39.60	31.85
380	64.77	57.97	41.63	61.65	37.96	33.81
390	62.08	58.99	40.67	60.60	38.93	32.50
400	62.16	57.81	41.92	61.86	37.82	31.79
410	62.41	57.11	42.59	61.19	38.42	32.55
420	64.88	58.27	41.33	61.21	38.54	32.54
430	63.92	57.37	42.36	61.85	37.68	30.79
440	63.01	58.47	41.23	61.15	38.53	31.74
450	64.23	57.10	42.56	61.29	38.32	30.40
460	64.35	57.22	42.38	61.23	38.45	31.12
470	62.63	58.32	41.38	60.84	38.77	33.39
480	63.96	58.39	41.34	61.54	37.99	31.61
490	62.36	58.42	41.18	61.35	38.40	33.42
500	64.96	57.37	42.33	61.32	38.36	31.70
510	62.83	58.25	41.41	60.66	39.09	31.69
520	62.05	57.68	42.02	60.84	38.77	31.70
530	64.17	58.24	41.30	60.43	39.10	30.60
540	62.73	57.41	42.19	60.57	39.11	33.07
550	62.81	58.36	41.34	61.71	37.90	31.75
560	63.61	57.49	42.05	60.37	39.38	31.98
570	62.19	57.56	42.14	61.05	38.70	32.59
580	64.50	58.79	40.87	61.79	37.74	33.79
590	63.29	57.65	42.05	61.86	37.75	32.92
600	64.38	58.44	41.10	61.43	38.10	30.60

Variația concentrației de CH₄ și CO₂

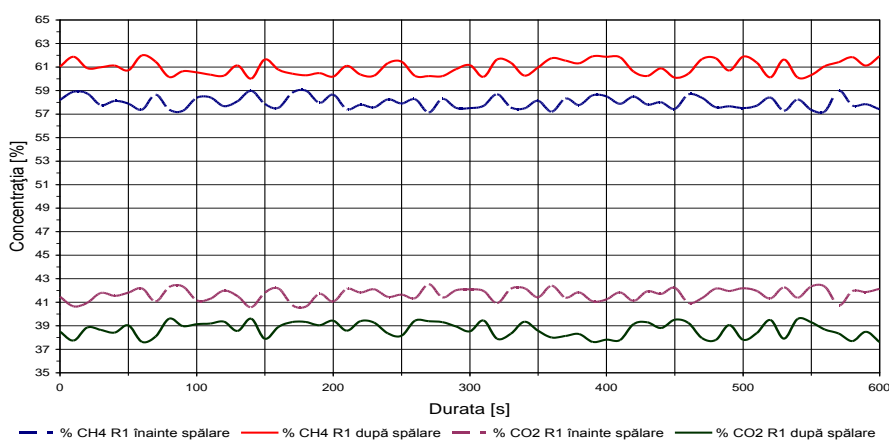


Figura 5.52. - Variația în % a concentrației de CH₄ și CO₂, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 1

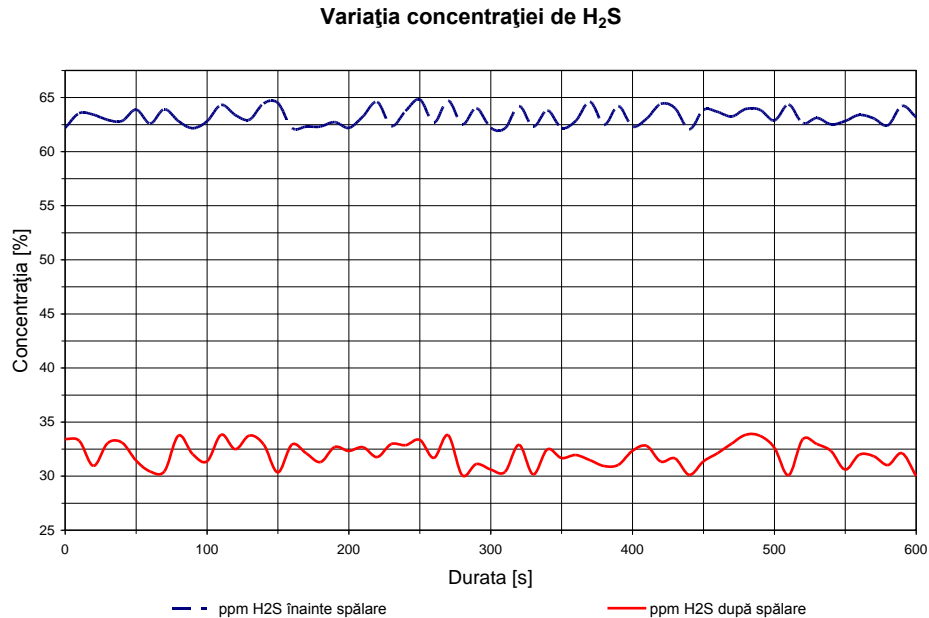


Figura 5.53. – Variația în ppm a concentrației de H₂S, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 1

Din figurile 5.52. și 5.53. se observă că concentrația de metan din biogazul obținut este mai mare decât pentru șarjele anterioare, ajungând până la o valoare de 61 – 62% după sistemul de spălare a gazului.

De asemenea concentrația de H₂S este în jurul valorii de 30 – 32 ppm după sistemul de spălare, valoare care nu reprezintă un pericol pentru echipamentele din instalație sau sănătatea operatorilor instalației.

Tabel 5.24. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 1, măsurătoarea numărul 2

Durata secunde	H ₂ S ÎS [ppm]	CH ₄ ÎS [%]	CO ₂ ÎS [%]	CH ₄ DS [%]	CO ₂ DS [%]	H ₂ S DS [ppm]
0	65.55	62.99	36.71	65.09	34.49	30.90
10	66.38	61.65	37.97	65.03	34.69	29.82
20	64.83	62.06	37.51	64.54	35.04	30.58
30	66.79	62.99	36.66	64.34	35.32	30.78
40	64.84	62.36	37.34	64.69	35.02	30.30
50	65.60	62.68	36.97	65.93	33.79	31.99
60	64.75	61.98	37.64	65.21	34.37	30.11
70	65.21	61.56	38.09	64.48	35.18	31.56
80	64.86	61.05	38.65	65.24	34.48	31.34
90	66.35	62.46	37.11	65.91	33.81	29.64
100	64.01	62.20	37.42	64.28	35.38	29.02
110	66.70	62.50	37.15	65.14	34.44	31.37

5.3 - Măsurători realizate pe instalația pilot 159

120	66.60	62.27	37.43	65.50	34.22	29.41
130	66.57	62.04	37.61	65.26	34.46	29.00
140	64.99	62.37	37.25	65.94	33.78	30.29
150	66.73	62.89	36.81	64.19	35.47	29.03
160	65.69	61.04	38.53	65.63	34.09	31.26
170	66.02	62.40	37.25	65.52	34.20	29.03
180	64.58	62.97	36.73	64.79	34.79	31.68
190	64.10	62.65	36.92	65.56	34.10	29.68
200	66.03	61.54	38.08	65.72	34.06	30.90
210	66.84	61.11	38.59	65.99	33.59	31.84
220	65.91	62.20	37.45	65.58	34.20	29.39
230	66.51	62.64	36.98	64.39	35.33	30.98
240	65.86	62.15	37.42	65.66	34.00	30.96
250	65.94	61.91	37.79	64.25	35.53	31.90
260	65.95	61.68	37.97	64.29	35.29	29.43
270	65.05	62.43	37.14	64.18	35.48	31.84
280	64.22	62.50	37.12	64.88	34.70	31.68
290	64.40	62.10	37.60	65.56	34.16	29.42
300	66.30	61.55	38.10	65.92	33.86	29.14
310	66.47	61.84	37.73	64.03	35.55	29.12
320	66.87	61.93	37.69	64.21	35.57	31.53
330	65.05	62.76	36.81	65.48	34.18	29.65
340	64.44	62.46	37.24	64.32	35.26	30.20
350	65.13	62.24	37.41	65.37	34.41	29.00
360	65.73	61.30	38.27	64.33	35.33	30.53
370	64.94	62.24	37.38	64.43	35.15	29.70
380	64.94	61.71	37.86	64.32	35.46	29.11
390	64.27	61.39	38.31	64.01	35.71	31.46
400	65.89	62.85	36.80	65.08	34.58	30.94
410	65.11	61.53	38.09	64.47	35.11	29.02
420	66.33	62.72	36.85	65.49	34.29	31.56
430	66.09	62.35	37.30	64.92	34.80	30.83
440	64.51	62.88	36.82	65.05	34.61	31.60
450	64.44	62.64	36.93	64.91	34.67	29.54
460	64.98	61.44	38.18	65.87	33.91	30.11
470	65.22	62.16	37.49	65.06	34.60	31.95
480	65.47	62.64	36.93	65.30	34.28	29.76
490	64.13	61.05	38.65	65.67	34.05	30.45
500	65.90	61.87	37.78	64.66	35.06	30.08
510	66.82	62.25	37.37	64.70	35.08	30.96
520	64.61	61.43	38.14	64.85	34.73	30.45
530	64.42	61.22	38.48	65.17	34.55	29.30
540	66.40	61.33	38.32	65.43	34.35	30.75
550	64.56	61.17	38.40	64.48	35.10	29.70
560	65.88	62.75	36.87	64.50	35.28	29.25
570	66.27	61.16	38.49	64.25	35.47	30.85
580	66.70	61.15	38.42	64.34	35.44	31.22
590	64.61	62.58	37.12	65.57	34.01	30.60
600	64.51	61.46	38.16	65.67	33.99	31.17

Variația concentrației de CH₄ și CO₂

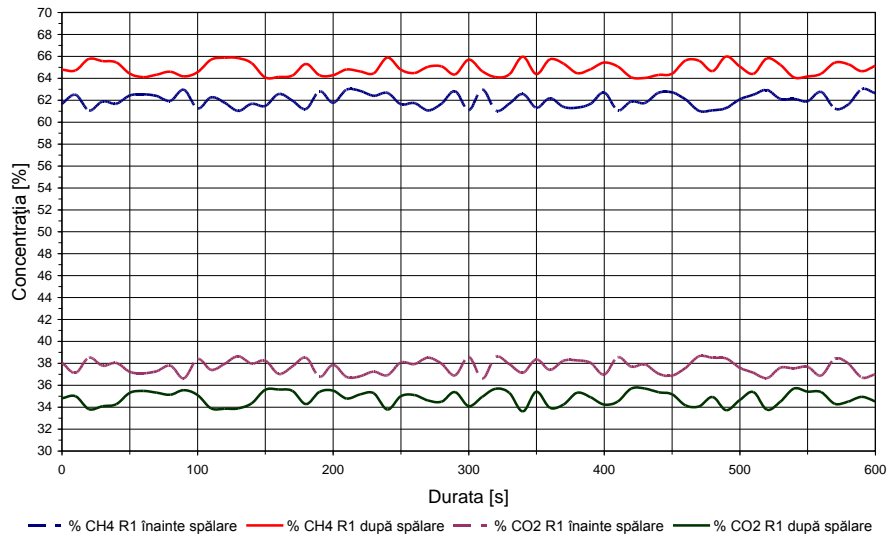


Figura 5.54. – Variația în % a concentrației de CH₄ și CO₂, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 2

Variația concentrației de H₂S

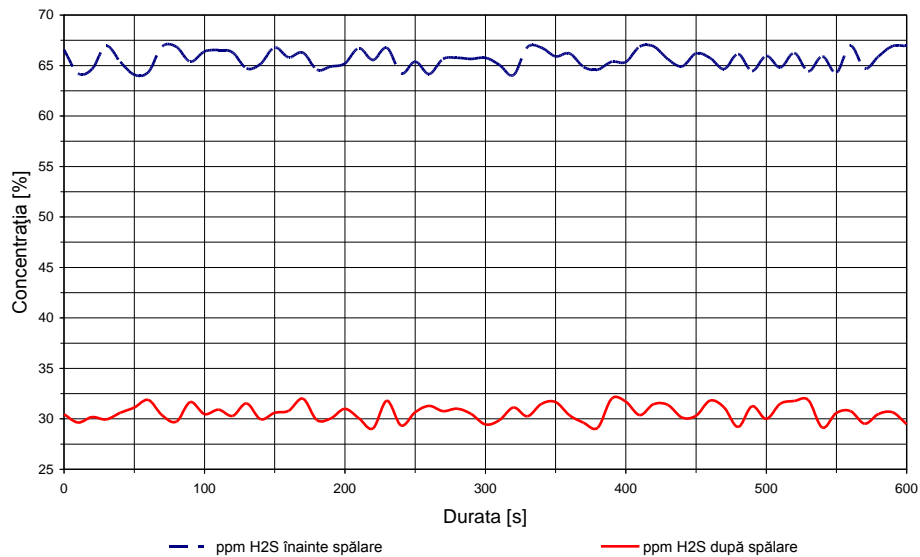


Figura 5.55. – Variația în ppm a concentrației de H₂S, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 2

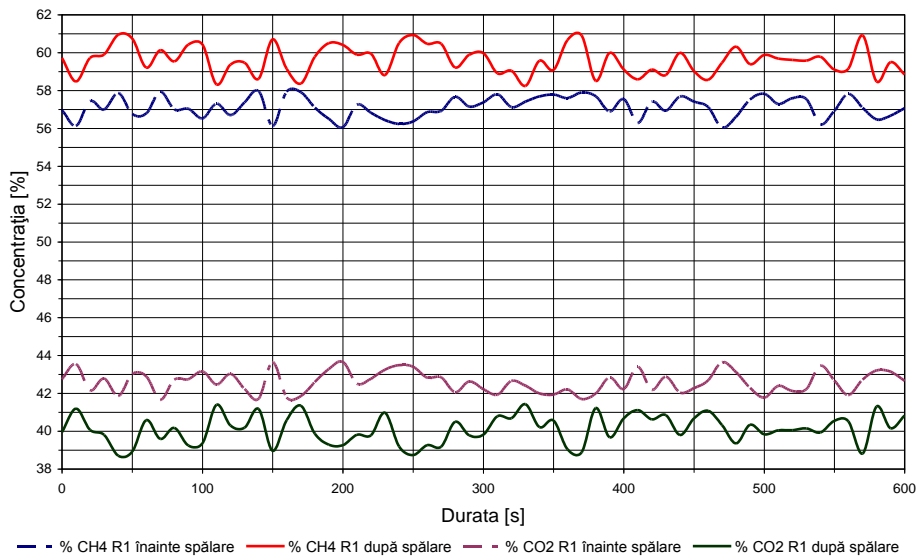
5.3 - Măsurători realizate pe instalația pilot 161

Din figurile 5.54. și 5.55. se observă ca spre mijlocul perioadei de desfășurare a procesului de fermentație anaerobă, calitatea biogazului obținut atinge un punct de maxim, la o valoare de 65 – 66% metan, 33 – 34 % CO₂, respectiv 30 – 32 ppm concentrație de H₂S după sistemul de spălare a gazului.

Tabel 5.25. - Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 1, măsurătoarea numărul 3

Durata	H₂S	CH₄	CO₂	CH₄	CO₂	H₂S
secunde	ÎS	ÎS	ÎS	DS	DS	DS
	[ppm]	[%]	[%]	[%]	[%]	[ppm]
0	63.53	56.61	43.11	58.22	41.45	32.96
10	63.96	57.59	42.09	60.71	38.96	34.04
20	63.89	57.75	41.84	58.82	40.97	32.74
30	63.73	56.00	43.77	59.61	40.10	34.54
40	61.14	56.65	43.07	60.39	39.26	33.83
50	62.64	56.65	43.12	58.13	41.54	32.03
60	63.76	56.02	43.66	60.37	39.42	34.52
70	63.75	56.78	42.81	58.97	40.76	34.19
80	63.40	57.32	42.40	59.71	40.00	34.00
90	61.41	57.17	42.60	58.38	41.29	33.56
100	63.63	57.11	42.57	60.15	39.64	32.13
110	61.98	57.45	42.32	59.20	40.51	33.11
120	63.38	56.86	42.86	58.63	41.04	33.84
130	62.64	57.89	41.70	60.23	39.42	33.23
140	62.65	57.13	42.55	58.38	41.41	34.40
150	63.92	56.38	43.39	60.77	38.90	33.73
160	61.99	57.27	42.45	58.60	41.13	32.37
170	63.89	57.05	42.72	58.99	40.72	34.24
180	61.24	57.44	42.24	58.65	41.00	33.12
190	61.25	56.14	43.63	59.09	40.70	32.94
200	63.49	56.70	43.02	58.50	41.17	33.12
210	61.07	57.05	42.72	59.84	39.87	33.11
220	62.92	57.34	42.25	59.32	40.41	32.02
230	61.23	56.48	43.20	60.72	39.07	33.58
240	63.54	57.87	41.85	60.87	38.84	33.19
250	62.15	57.72	42.05	58.41	41.26	34.32
260	63.65	57.96	41.72	58.21	41.52	32.72
270	62.38	56.17	43.60	59.88	39.77	32.31
280	62.91	56.10	43.62	59.05	40.66	34.55
290	62.38	57.92	41.85	59.65	40.02	32.97
300	63.92	56.67	42.92	59.20	40.59	32.74
310	63.08	57.70	42.02	59.17	40.54	33.64
320	62.84	56.08	43.69	59.71	40.02	32.35
330	62.97	56.91	42.90	60.22	39.45	32.97
340	61.53	57.70	41.98	60.45	39.34	33.41
350	61.73	56.06	43.66	58.13	41.52	34.10
360	63.11	56.35	43.46	58.83	40.88	33.12
370	63.41	56.17	43.42	60.55	39.24	32.43
380	62.75	56.03	43.65	59.67	40.06	34.55

390	62.31	56.13	43.59	59.98	39.69	33.90
400	61.97	57.63	42.14	60.39	39.40	32.13
410	63.72	57.76	41.92	60.03	39.68	33.69
420	62.25	57.51	42.08	58.45	41.28	32.83
430	61.83	57.45	42.36	58.27	41.40	34.19
440	62.21	57.65	42.07	60.49	39.30	32.39
450	62.67	56.10	43.58	58.28	41.43	34.54
460	61.45	57.85	41.96	60.12	39.53	33.85
470	62.17	56.84	42.84	59.82	39.97	33.11
480	62.16	57.12	42.60	59.31	40.36	34.69
490	61.19	57.63	42.18	59.94	39.79	32.99
500	63.09	56.14	43.45	58.65	41.06	33.07
510	63.12	57.24	42.44	59.64	40.09	32.32
520	61.97	56.72	43.00	60.60	39.07	33.74
530	63.03	56.18	43.59	59.93	39.80	33.82
540	63.86	56.67	43.01	60.94	38.77	32.05
550	63.16	57.98	41.61	59.81	39.84	33.82
560	63.57	56.91	42.81	58.18	41.49	32.79
570	61.49	57.37	42.44	59.81	39.92	34.07
580	61.94	56.70	42.98	60.92	38.87	34.37
590	61.75	57.83	41.98	60.26	39.39	33.13
600	63.88	56.48	43.24	59.75	39.92	32.93

Variația concentrației de CH₄ și CO₂Figura 5.56. – Variația în % a concentrației de CH₄ și CO₂, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 3

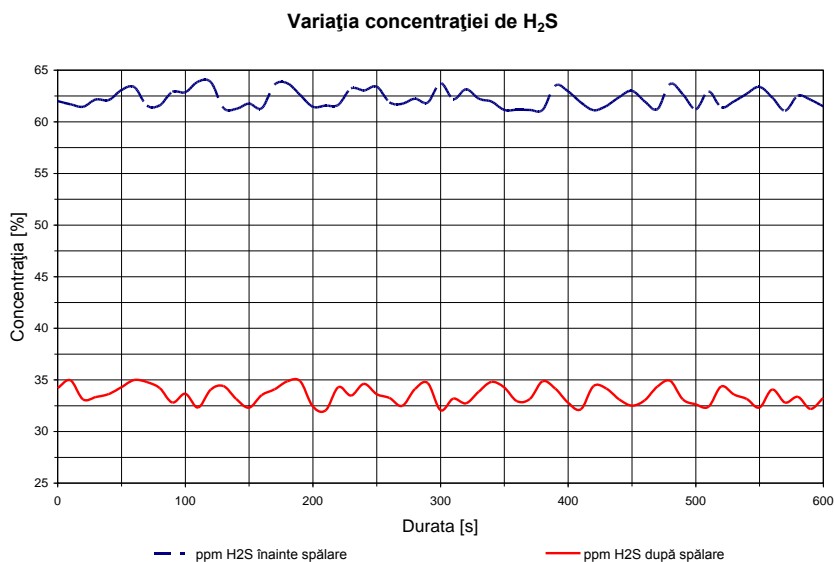


Figura 5.57 – Variația în ppm a concentrației de H₂S, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 3

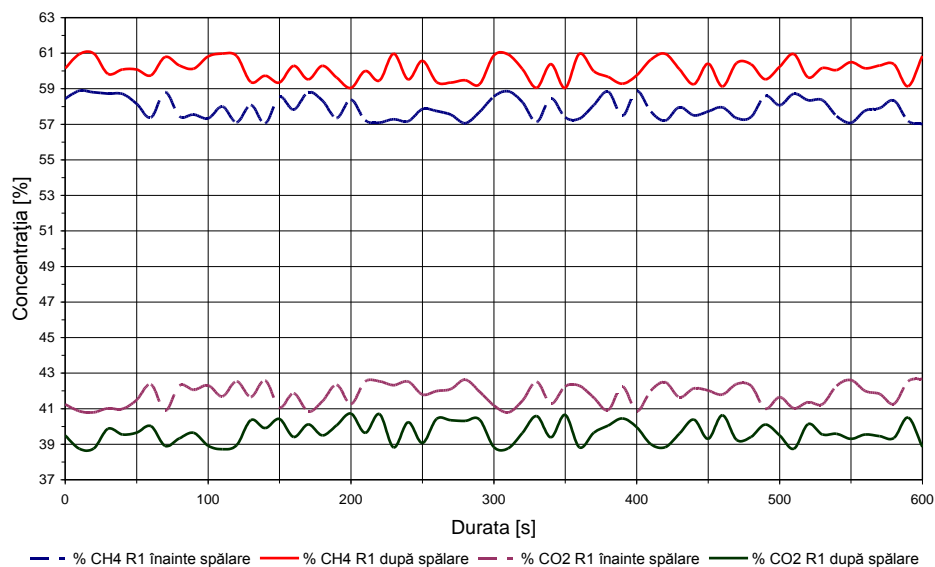
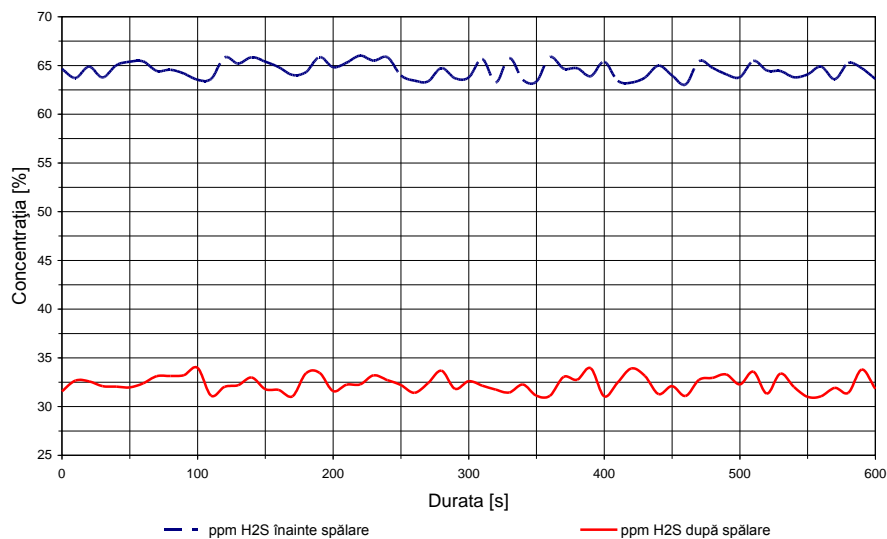
După cum se poate observa din figurile 5.56. și 5.57., la ultima măsurătoare realizată pentru rezervorul numărul 1, valorile concentrației de metan scad către 59 – 60 %, în timp ce valorile concentrației de CO₂ ajung la 39 – 40%, iar concentrația de H₂S se menține la valoarea de 32 – 34 ppm după sistemul de spălare a gazului.

Tabel 5.26. - Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 2, măsurătoarea numărul 1

Durata secunde	H ₂ S îS [ppm]	CH ₄ îS [%]	CO ₂ îS [%]	CH ₄ DS [%]	CO ₂ DS [%]	H ₂ S DS [ppm]
0	63.46	58.26	41.42	59.38	40.25	31.70
10	64.87	58.15	41.58	60.39	39.30	31.66
20	63.06	57.34	42.25	59.68	40.05	33.99
30	65.03	57.00	42.74	59.81	39.88	33.49
40	65.56	58.76	40.92	60.68	38.95	32.25
50	63.41	57.32	42.31	59.81	39.92	31.20
60	63.41	57.13	42.60	60.85	38.91	32.39
70	64.09	58.93	40.75	60.67	39.02	33.51
80	64.62	58.57	41.17	60.57	39.06	31.76
90	63.90	58.94	40.65	59.16	40.60	33.20
100	63.13	58.14	41.49	59.71	40.02	32.80
110	64.47	57.90	41.78	60.33	39.36	31.35
120	63.70	58.90	40.73	59.61	40.18	31.16
130	64.80	58.17	41.56	60.98	38.75	31.27
140	65.22	57.09	42.54	60.41	39.22	33.26

164 Măsurători și rezultate experimentale - 5

150	64.32	58.14	41.45	60.48	39.28	33.85
160	65.99	57.82	41.86	60.12	39.57	32.08
170	64.64	57.78	41.85	59.84	39.79	33.98
180	65.30	58.51	41.23	59.56	40.23	33.98
190	65.05	58.31	41.37	60.43	39.26	31.64
200	63.45	57.09	42.54	60.97	38.79	33.50
210	63.10	57.98	41.75	60.31	39.32	33.72
220	65.05	58.76	40.87	60.48	38.76	31.95
230	65.66	57.16	42.43	59.60	40.19	32.32
240	64.38	58.30	41.38	60.81	38.95	33.16
250	63.86	57.21	42.42	59.04	40.59	32.62
260	64.21	58.86	40.87	60.26	39.53	33.34
270	63.23	57.83	41.80	60.57	39.12	31.33
280	65.97	58.53	41.15	60.58	39.21	32.90
290	65.03	58.30	41.33	60.62	39.01	33.61
300	65.92	57.15	42.58	60.05	39.66	33.73
310	63.92	58.60	41.03	60.29	39.40	32.58
320	65.82	58.17	41.51	60.54	39.19	33.47
330	64.13	58.70	40.93	60.56	39.07	33.34
340	63.57	57.79	41.94	59.89	39.87	32.15
350	65.43	58.64	40.99	59.01	40.68	31.87
360	65.56	58.29	41.30	60.55	39.24	32.82
370	63.31	57.66	42.02	60.59	39.04	32.23
380	65.38	58.84	40.90	59.74	39.97	31.41
390	64.27	57.33	42.38	60.62	39.11	33.24
400	64.06	58.78	40.95	60.38	39.33	33.17
410	63.15	57.40	42.31	60.79	38.84	32.00
420	64.78	58.33	41.35	59.01	40.78	33.53
430	65.52	58.17	41.42	60.46	39.23	31.12
440	65.53	57.87	41.76	59.03	40.60	31.40
450	65.89	58.73	41.00	59.77	39.94	32.48
460	64.41	57.46	42.28	59.21	40.55	32.87
470	65.37	58.72	40.99	59.80	39.89	33.23
480	64.35	57.83	41.85	59.46	40.33	33.94
490	65.32	58.33	41.26	59.56	40.07	32.89
500	65.62	57.77	41.94	59.84	39.89	31.56
510	64.49	58.78	40.95	60.96	38.73	33.16
520	65.54	57.47	42.24	59.21	40.55	31.57
530	65.54	57.21	42.38	60.45	39.26	32.47
540	64.24	58.64	41.10	59.86	39.77	33.95
550	64.73	57.69	41.99	59.98	39.81	32.06
560	64.68	57.75	41.99	60.68	39.01	32.04
570	64.91	58.57	41.16	59.92	39.84	33.46
580	65.05	58.56	41.03	59.21	40.52	32.44
590	65.84	58.71	41.00	60.46	39.17	33.29
600	65.43	57.03	42.65	60.12	39.57	33.01

Variația concentrației de CH₄ și CO₂Figura 5.58. – Variația în % a concentrației de CH₄ și CO₂, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 1Variația concentrației de H₂SFigura 5.59. – Variația în ppm a concentrației de H₂S, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 1

Din figurile 5.58. și 5.59. raportat la valorile obținute pentru rezervorul numărul 1, se observă că pentru prima măsurătoare și în rezervorul numărul 2, concentrația de metan ajunge la valori de 60 – 61%, concentrația de CO₂ la valori de 39 – 40 % iar conținutul de H₂S atinge valori de 30 – 34 ppm după sistemul de spălare a gazului.

Tabel 5.27. - Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 2, măsurătoarea numărul 2

Durata secunde	H₂S îS [ppm]	CH₄ îS [%]	CO₂ îS [%]	CH₄ DS [%]	CO₂ DS [%]	H₂S DS [ppm]
0	63.05	64.37	35.37	67.82	31.86	31.91
10	64.30	64.77	34.90	67.26	32.56	32.72
20	63.26	63.93	35.64	67.71	31.98	31.80
30	63.28	63.73	35.98	65.72	33.96	31.96
40	63.15	64.66	34.99	66.82	32.93	31.04
50	64.60	62.21	37.53	65.47	34.35	31.73
60	64.04	63.53	36.12	66.45	33.23	32.53
70	64.41	62.24	37.43	67.71	31.98	32.01
80	64.17	62.12	37.45	65.81	34.01	31.96
90	64.00	63.78	35.96	65.95	33.73	32.06
100	63.44	63.05	36.60	66.97	32.78	31.69
110	64.34	63.79	35.88	65.99	33.83	31.40
120	63.30	63.14	36.57	66.98	32.71	32.89
130	63.93	64.17	35.48	66.69	32.99	31.94
140	64.99	64.43	35.31	66.99	32.76	32.34
150	64.42	64.71	34.94	67.95	31.87	32.46
160	64.80	64.29	35.38	66.74	33.01	32.96
170	64.61	62.50	37.07	65.18	34.51	32.80
180	64.35	62.33	37.38	66.86	32.82	31.97
190	63.55	63.19	36.55	65.53	34.13	31.17
200	63.74	63.54	36.11	67.35	32.47	32.99
210	63.45	63.08	36.59	65.99	33.67	32.93
220	63.84	62.44	37.29	65.48	34.20	31.12
230	63.81	62.09	37.48	67.00	32.69	31.63
240	63.84	64.25	35.49	66.95	32.87	31.14
250	64.35	63.04	36.69	67.00	32.75	31.73
260	63.89	62.61	37.10	65.35	34.33	31.48
270	63.84	63.40	36.27	67.57	32.09	31.89
280	63.76	63.73	35.84	65.18	34.64	32.59
290	63.07	63.28	36.37	66.39	33.30	31.75
300	64.56	63.66	36.08	66.65	33.01	31.21
310	64.28	63.47	36.26	65.41	34.41	32.53
320	63.02	62.22	37.45	67.97	31.78	32.29
330	64.37	62.05	37.66	65.60	34.09	32.31
340	63.44	63.65	35.92	67.79	31.89	32.37
350	64.81	62.72	36.93	66.35	33.31	31.27
360	64.40	64.92	34.82	66.03	33.79	32.90

5.3 - Măsurători realizate pe instalația pilot 167

370	63.58	64.55	35.18	67.83	31.83	31.44
380	63.02	63.55	36.12	66.83	32.85	31.91
390	64.15	64.04	35.69	65.48	34.21	32.80
400	63.59	62.11	37.63	67.19	32.47	32.82
410	63.98	64.81	34.84	66.11	33.71	31.43
420	63.67	62.12	37.45	67.30	32.45	31.99
430	64.73	63.61	36.06	67.80	31.89	32.81
440	64.10	63.15	36.56	65.05	34.63	31.58
450	63.23	63.64	35.93	66.96	32.70	31.50
460	63.09	64.99	34.74	67.62	32.20	31.29
470	63.17	62.59	37.08	67.02	32.64	32.97
480	64.50	63.21	36.53	67.90	31.78	32.22
490	63.10	62.55	37.18	66.23	33.43	31.87
500	63.13	64.89	34.82	65.19	34.63	31.76
510	64.54	64.42	35.25	65.46	34.20	31.26
520	64.96	63.21	36.52	66.47	33.21	32.92
530	64.49	63.12	36.62	65.23	34.46	32.35
540	64.44	64.68	34.89	66.06	33.76	31.87
550	64.22	64.83	34.90	65.14	34.61	32.90
560	64.85	63.27	36.44	65.89	33.79	32.80
570	63.54	63.18	36.49	66.27	33.48	31.35
580	64.87	62.64	37.01	65.38	34.44	32.60
590	63.64	62.88	36.69	66.98	32.68	31.95
600	64.68	64.13	35.61	65.15	34.53	31.70

Variația concentrației de CH₄ și CO₂

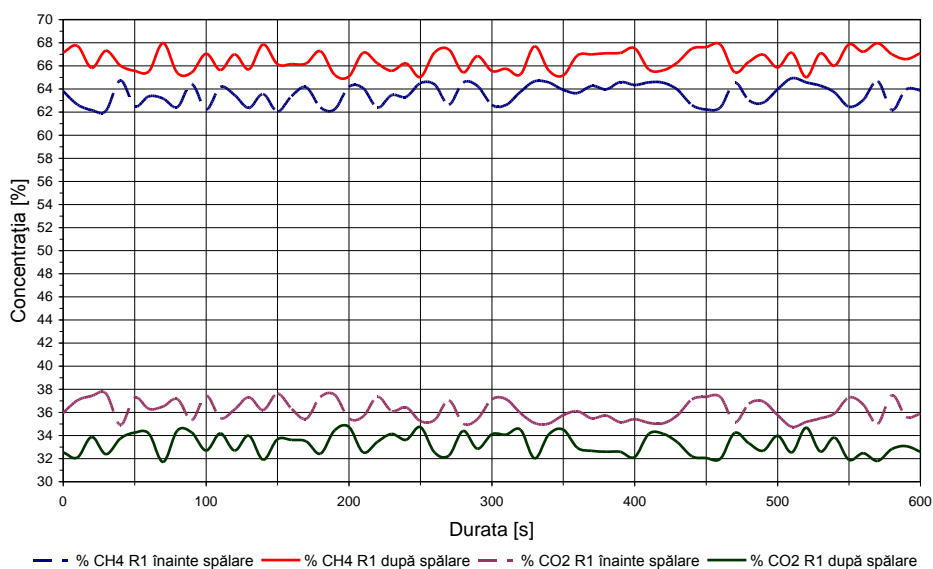


Figura 5.60. – Variația în % a concentrației de CH₄ și CO₂, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 2

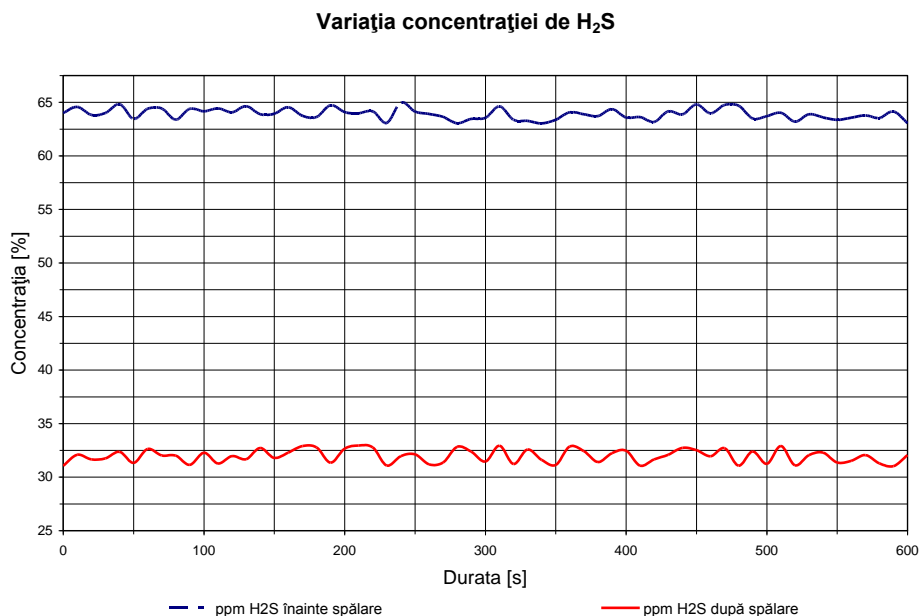


Figura 5.61. - Variația în ppm a concentrației de H₂S, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 2

În figurile 5.60. și 5.61. se evidențiază creșterea concentrația de metan din biogazul obținut corelat cu scăderea concentrației de CO₂ și menținerea unei valori de circa 30 – 32 ppm pentru H₂S după sistemul de spălare a gazului.

Valorile atinse pentru concentrația de metan sunt de 67 – 68 % iar cele atinse pentru CO₂ sunt 32 – 33%.

Tabel 5.28. - Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 2, măsurătoarea numărul 2

Durata secunde	H ₂ S îS [ppm]	CH ₄ îS [%]	CO ₂ îS [%]	CH ₄ DS [%]	CO ₂ DS [%]	H ₂ S DS [ppm]
0	61.21	57.70	42.04	58.51	41.23	28.09
10	61.82	57.68	42.01	58.85	40.83	28.86
20	62.92	57.60	42.18	60.11	39.48	28.31
30	62.52	57.18	42.49	60.56	39.19	30.00
40	62.07	57.37	42.42	58.85	40.83	30.65
50	61.77	56.95	42.79	58.54	41.20	28.15
60	63.85	56.89	42.89	59.03	40.68	29.81
70	62.97	57.40	42.29	60.08	39.67	29.72
80	61.12	57.04	42.70	58.99	40.75	28.16
90	63.79	56.45	43.33	58.79	40.89	28.19
100	63.56	56.67	43.00	60.88	38.83	29.08
110	61.97	56.64	43.05	60.88	38.86	29.39

5.3 - Măsurători realizate pe instalația pilot 169

120	61.96	56.63	43.16	58.77	40.82	28.51
130	63.82	57.27	42.47	59.38	40.30	28.35
140	62.19	56.70	43.08	59.97	39.78	30.08
150	62.76	57.00	42.67	60.89	38.85	30.88
160	61.10	56.80	42.99	60.67	39.04	29.94
170	61.41	57.55	42.14	59.86	39.82	28.33
180	62.87	57.26	42.48	59.41	40.33	30.21
190	62.77	56.43	43.36	58.76	40.92	30.29
200	63.10	56.90	42.88	60.06	39.62	30.61
210	62.18	56.36	43.33	59.69	40.06	30.37
220	61.94	57.63	42.16	60.98	38.70	30.68
230	62.65	57.72	41.95	58.79	40.95	30.91
240	63.61	57.89	41.85	59.75	39.96	29.68
250	62.21	56.06	43.73	60.77	38.91	30.55
260	62.34	56.56	43.13	58.03	41.65	30.19
270	62.68	57.79	42.00	60.01	39.73	30.87
280	63.20	57.78	41.96	58.03	41.56	28.01
290	61.38	56.99	42.73	59.05	40.63	30.39
300	63.37	56.42	43.27	60.20	39.51	28.90
310	62.11	56.75	43.03	59.51	40.23	30.97
320	61.39	57.44	42.28	60.41	39.34	30.10
330	61.75	57.41	42.33	59.48	40.20	28.04
340	61.43	57.31	42.48	58.77	40.91	29.57
350	62.53	57.57	42.10	60.67	39.07	29.76
360	62.99	57.50	42.19	58.75	40.96	29.91
370	61.89	57.15	42.57	59.39	40.36	28.07
380	63.01	56.26	43.41	60.47	39.21	28.96
390	62.98	57.84	41.90	59.35	40.39	28.12
400	61.71	57.43	42.35	59.13	40.55	29.80
410	61.22	56.36	43.36	59.93	39.75	30.31
420	62.35	56.87	42.82	60.17	39.42	28.53
430	62.00	56.99	42.73	58.83	40.85	28.44
440	61.27	56.52	43.22	58.67	41.07	28.74
450	61.62	57.34	42.38	58.80	40.88	30.91
460	61.22	56.66	43.12	59.85	39.83	29.14
470	61.51	57.18	42.51	59.31	40.44	28.90
480	62.39	56.22	43.50	58.73	41.01	30.19
490	63.66	57.55	42.19	60.07	39.61	28.60
500	63.54	57.44	42.28	59.21	40.54	29.36
510	62.04	56.73	42.96	60.85	38.83	28.75
520	63.58	56.25	43.47	59.56	40.18	28.61
530	63.43	56.45	43.29	58.40	41.36	30.56
540	61.46	57.90	41.82	59.78	39.88	29.73
550	63.77	56.37	43.41	59.64	40.10	28.88
560	62.58	56.27	43.42	58.93	40.83	30.24
570	63.89	57.93	41.79	59.84	39.75	29.66
580	61.74	57.87	41.87	58.39	41.35	28.41
590	62.13	56.11	43.56	58.93	40.82	28.06
600	63.61	57.71	41.98	59.61	40.07	28.54

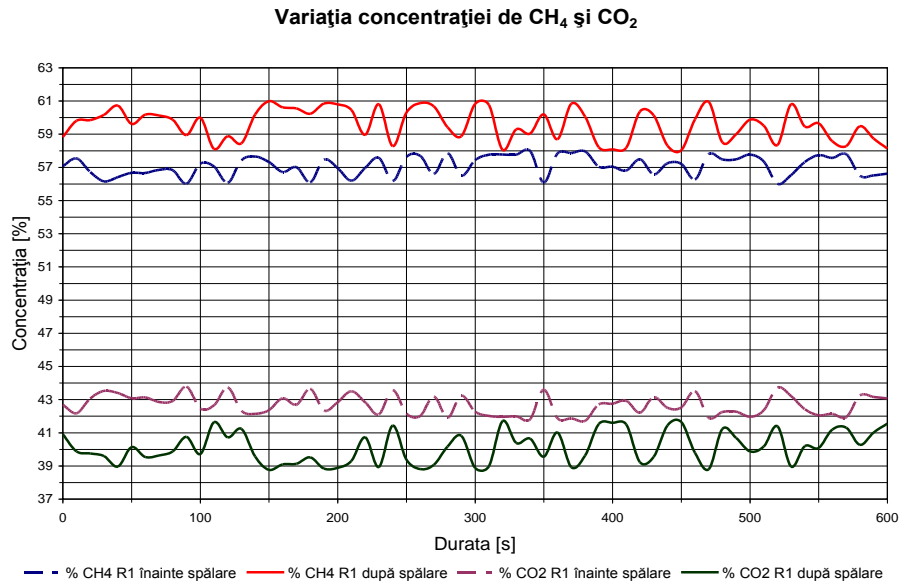


Figura 5.62. – Variația în % a concentrației de CH₄ și CO₂, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 3

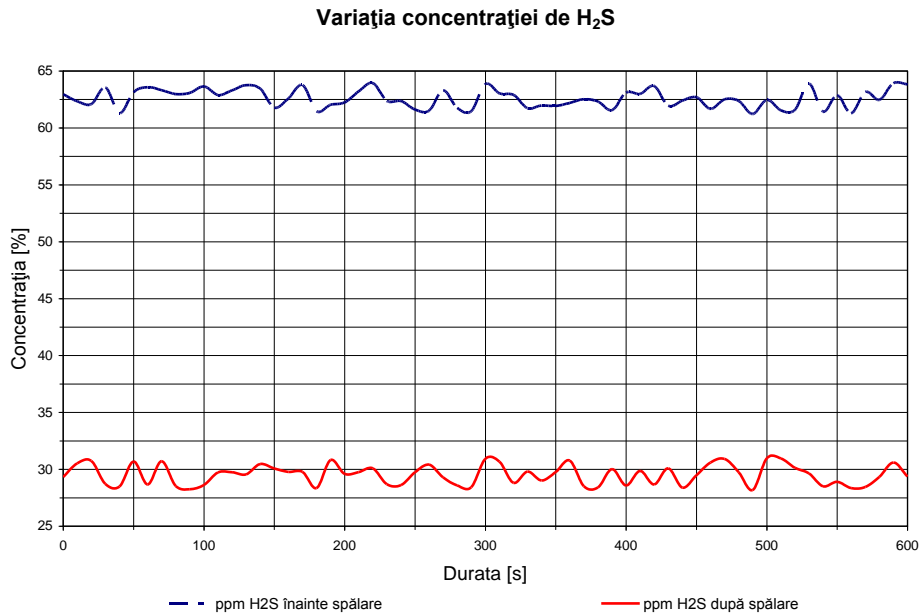


Figura 5.63. – Variația în ppm a concentrației de H₂S, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 3

Din figurile 5.62. și 5.63. reiese faptul că, din nou, spre sfârșitul desfășurării procesului de fermentație anaerobă, concentrația de metan scade la 59 – 60 % în timp ce concentrația de CO₂ ajunge la valori de 39 – 49 %, în timp ce concentrația de H₂S este de circa 30 ppm după sistemul de spălare a gazului.

Din analiza graficelor prezentate mai sus reiese că, în acest caz cantitățile produse sunt mai mari comparativ cu primele două șarje, iar conținutul de metan este din nou îmbunătățit după trecerea prin filtrul de spălare CO₂.

De asemenea, cantitatea totală de biogaz produsă în perioada de desfășurare a procesului a fost de circa 41.29 m³, o cantitate mult mai mare decât cele obținute la primele două șarje.

Șarja numărul 4 – boabe de porumb măcinat deteriorat

Cea de-a patra și ultima șarjă încercată a fost realizată din boabe de porumb deteriorat, măcinate la dimensiuni de 1 – 2 mm. Datorită conținutului mare de amidon și calităților bune de fermentare, pentru această șarjă așteptările au fost ridicate.

Monitorizarea s-a făcut de-a lungul a 83 de zile.

Cantitatea de material solid introdusă în fiecare rezervor : 75 kg

Raportul masă solidă / volum lichid : 0.037 %

$$\text{Raportul C / N} = \frac{46.58}{0.47} = 99.1 \text{ [24] [93]}$$

Monitorizarea parametrilor, respectiv analiza biogazului obținut s-au realizat în aceleași condiții ca și pentru primele trei șarje. În tabelele 5.29. și 5.30. se evidențiază valorile parametrilor pentru cele două rezervoare de-a lungul procesului de fermentație anaerobă.

Tabel 5.29. – Monitorizarea procesului în rezervorul numărul 1 [16]

Data	Presiune inițială [bar]	Presiune finală [bar]	Ph I	Temperatura I [°C]	Producție I [m³]	ΔP1 [bar]
26/03/2009	0.00	0.00	8.9	34.3	0.000	0.00
29/03/2009	0.01	0.01	4.5	29.8	0.000	0.00
30/03/2009	0.15	0.15	4.4	35.8	0.000	0.00
31/03/2009	0.05	0.05	4.4	33.5	0.000	0.00
01/04/2009	0.22	0.16	9.3	35.9	0.020	0.06
02/04/2009	0.18	0.18	6.2	33.9	0.000	0.00
03/04/2009	0.06	0.06	6.7	34.5	0.000	0.00
04/04/2009	0.37	0.37	9.2	33.8	0.000	0.00
05/04/2009	0.23	0.23	6.2	31.0	0.000	0.00
06/04/2009	0.27	0.27	6.2	37.6	0.000	0.00
07/04/2009	0.26	0.26	6.1	35.1	0.000	0.00
08/04/2009	0.33	0.33	8.4	38.3	0.000	0.00
09/04/2009	0.28	0.28	7.1	34.8	0.000	0.00
10/04/2009	0.30	0.13	10.4	37.5	0.045	0.17
12/04/2009	0.10	0.10	6.9	30.8	0.000	0.00
13/04/2009	0.21	0.21	6.6	35.6	0.000	0.00

172 Măsurători și rezultate experimentale - 5

14/04/2009	0.35	0.35	6.6	36.0	0.000	0.00
15/04/2009	0.55	0.20	6.5	36.3	0.103	0.35
16/04/2009	0.45	0.45	6.6	33.0	0.000	0.00
17/04/2009	0.78	0.18	8.0	36.0	0.278	0.60
18/04/2009	0.33	0.33	7.7	32.3	0.000	0.00
19/04/2009	0.30	0.30	7.4	30.4	0.000	0.00
21/04/2009	0.20	0.15	7.8	27.6	0.017	0.05
22/04/2009	0.23	0.17	7.7	26.6	0.020	0.06
23/04/2009	0.44	0.17	7.5	32.6	0.072	0.27
24/04/2009	0.32	0.15	7.4	30.1	0.042	0.17
25/04/2009	0.31	0.31	7.3	28.6	0.000	0.00
26/04/2009	0.46	0.21	7.3	26.7	0.063	0.25
27/04/2009	0.41	0.41	7.1	37.5	0.000	0.00
28/04/2009	0.71	0.19	7.1	34.8	0.276	0.52
29/04/2009	0.50	0.20	7.1	33.8	0.080	0.30
30/04/2009	0.62	0.18	7.1	31.3	0.156	0.44
01/05/2009	0.88	0.44	7.2	33.8	0.160	0.44
02/05/2009	1.00	0.06	7.1	31.0	0.411	0.94
03/05/2009	1.02	0.09	7.1	28.8	0.406	0.93
04/05/2009	1.12	0.64	7.0	27.0	0.191	0.48
04/05/2009	0.87	0.15	7.0	26.8	0.355	0.72
04/05/2009	0.33	0.07	7.0	26.6	0.108	0.26
05/05/2009	0.89	0.25	7.0	25.6	0.322	0.64
05/05/2009	0.57	0.17	7.0	33.1	0.187	0.40
05/05/2009	0.70	0.36	7.0	32.7	0.118	0.34
06/05/2009	1.33	0.32	6.9	30.6	0.470	1.01
06/05/2009	1.07	0.15	7.1	34.6	0.453	0.92
06/05/2009	0.58	0.05	7.0	34.0	0.261	0.53
07/05/2009	1.18	0.61	6.9	36.5	0.256	0.57
07/05/2009	1.18	0.04	7.1	34.9	0.500	1.14
08/05/2009	0.96	0.21	7.0	32.6	0.364	0.75
08/05/2009	0.90	0.11	7.1	34.5	0.370	0.79
08/05/2009	0.45	0.02	7.1	34.0	0.214	0.43
09/05/2009	1.08	0.08	7.0	31.9	0.465	1.00
09/05/2009	0.56	0.02	7.0	31.3	0.185	0.54
10/05/2009	0.89	0.12	6.9	29.9	0.358	0.77
10/05/2009	0.63	0.06	7.1	29.3	0.278	0.57
11/05/2009	0.77	0.16	7.0	28.5	0.284	0.61
11/05/2009	0.93	0.10	6.9	35.9	0.405	0.83
11/05/2009	0.73	0.04	7.0	35.0	0.348	0.69
12/05/2009	1.16	0.14	7.0	33.1	0.476	1.02
12/05/2009	0.81	0.04	7.0	31.8	0.368	0.77
13/05/2009	1.23	0.09	6.9	34.0	0.558	1.14
13/05/2009	0.91	0.06	7.0	34.4	0.371	0.85
13/05/2009	0.51	0.05	7.0	33.7	0.263	0.46
14/05/2009	1.37	0.05	7.1	31.6	0.670	1.32
14/05/2009	0.84	0.36	7.1	30.5	0.232	0.48
14/05/2009	0.69	0.03	7.1	30.1	0.362	0.66
15/05/2009	1.03	0.09	7.0	28.8	0.443	0.94

5.3 - Măsurători realizate pe instalația pilot 173

15/05/2009	0.48	0.10	6.9	34.0	0.176	0.38
15/05/2009	0.75	0.02	7.1	33.2	0.359	0.73
16/05/2009	1.07	0.03	7.0	31.5	0.544	1.04
16/05/2009	0.78	0.03	7.0	30.5	0.404	0.75
17/05/2009	0.97	0.02	7.1	29.4	0.448	0.95
17/05/2009	0.57	0.03	7.1	29.0	0.267	0.54
18/05/2009	0.84	0.08	7.1	28.1	0.408	0.76
18/05/2009	0.80	0.10	6.9	37.5	0.351	0.70
18/05/2009	0.72	0.03	7.1	36.5	0.348	0.69
19/05/2009	0.89	0.14	7.0	34.9	0.401	0.75
19/05/2009	0.60	0.09	7.0	34.4	0.242	0.51
19/05/2009	0.55	0.01	7.0	33.8	0.244	0.54
20/05/2009	1.06	0.14	7.0	32.6	0.496	0.92
20/05/2009	0.77	0.23	6.9	35.5	0.240	0.54
20/05/2009	0.59	0.03	7.0	35.1	0.248	0.56
21/05/2009	0.81	0.17	7.1	33.6	0.352	0.64
21/05/2009	0.55	0.13	7.1	33.1	0.188	0.42
21/05/2009	0.53	0.04	7.1	32.6	0.223	0.49
22/05/2009	0.89	0.27	7.0	35.6	0.291	0.62
23/05/2009	0.79	0.15	7.0	33.0	0.350	0.64
24/05/2009	0.61	0.12	7.0	31.8	0.222	0.49
24/05/2009	0.48	0.03	7.1	31.0	0.212	0.45
25/05/2009	0.40	0.02	7.0	29.9	0.178	0.38
25/05/2009	0.46	0.03	6.9	36.1	0.204	0.43
26/05/2009	0.35	0.35	7.0	34.6	0.000	0.00
26/05/2009	0.62	0.13	7.0	33.5	0.221	0.49
27/05/2009	0.58	0.58	7.1	32.1	0.000	0.00
27/05/2009	0.61	0.14	7.1	31.5	0.212	0.47
28/05/2009	0.51	0.51	6.9	34.5	0.000	0.00
28/05/2009	0.60	0.20	7.0	33.5	0.195	0.40
29/05/2009	0.58	0.05	6.9	36.5	0.237	0.53
29/05/2009	0.24	0.07	7.0	35.4	0.044	0.17
30/05/2009	0.66	0.02	7.0	31.9	0.347	0.64
31/05/2009	0.33	0.02	7.1	29.8	0.079	0.31
01/06/2009	0.33	0.02	7.1	28.2	0.080	0.31
01/06/2009	0.35	0.05	7.0	35.2	0.078	0.30
02/06/2009	0.39	0.02	7.0	33.0	0.095	0.37
02/06/2009	0.18	0.02	7.1	32.2	0.038	0.16
03/06/2009	0.50	0.02	7.0	34.1	0.232	0.48
04/06/2009	0.50	0.03	7.0	31.2	0.229	0.47
06/06/2009	0.67	0.03	6.9	34.2	0.342	0.64
07/06/2009	0.55	0.04	7.0	31.8	0.231	0.51
08/06/2009	0.73	0.08	6.9	37.0	0.347	0.65
09/06/2009	0.62	0.08	7.0	34.9	0.242	0.54
10/06/2009	0.39	0.39	7.0	33.4	0.000	0.00
10/06/2009	0.50	0.03	7.1	33.0	0.228	0.47
11/06/2009	0.45	0.03	7.0	35.1	0.205	0.42
11.06.2009	0.36	0.36	7.0	34.3	0.000	0.00
12/06/2009	0.65	0.02	6.9	36.9	0.341	0.63

174 Măsurători și rezultate experimentale - 5

12/06/2009	0.31	0.02	7.0	35.4	0.075	0.29
13/06/2009	0.60	0.02	7.1	32.6	0.251	0.58
14/06/2009	0.34	0.02	7.0	31.1	0.090	0.32
15/06/2009	0.27	0.02	7.1	29.4	0.067	0.25
16/06/2009	0.20	0.02	7.0	32.1	0.049	0.18

Tabel 5.30. – Monitorizarea procesului în rezervorul numărul 2

Data	Presiune inițială [bar]	Presiune finală [bar]	Ph II	Temperatura II [°C]	Producție II [m ³]	ΔP2 [bar]
26/03/2009	0.00	0.00	8.7	36.0	0.000	0.00
29/03/2009	0.01	0.01	4.6	27.7	0.000	0.00
30/03/2009	0.01	0.01	4.5	32.7	0.000	0.00
31/03/2009	0.02	0.02	4.5	30.5	0.000	0.00
01/04/2009	0.05	0.05	10.5	33.6	0.000	0.00
02/04/2009	0.11	0.11	6.5	31.4	0.000	0.00
03/04/2009	0.02	0.02	8.5	31.6	0.000	0.00
04/04/2009	0.34	0.34	9.8	30.9	0.000	0.00
05/04/2009	0.37	0.26	6.3	28.3	0.036	0.11
06/04/2009	0.42	0.20	6.3	34.5	0.054	0.22
07/04/2009	0.42	0.42	6.1	32.3	0.000	0.00
08/04/2009	0.58	0.32	8.5	35.0	0.066	0.26
09/04/2009	0.25	0.25	6.5	32.4	0.000	0.00
10/04/2009	0.26	0.11	9.2	34.6	0.040	0.15
12/04/2009	0.07	0.07	6.8	28.6	0.000	0.00
13/04/2009	0.09	0.09	6.6	33.3	0.000	0.00
14/04/2009	0.09	0.09	6.6	33.4	0.000	0.00
15/04/2009	0.20	0.20	6.5	33.3	0.000	0.00
16/04/2009	0.32	0.32	6.6	30.6	0.000	0.00
17/04/2009	0.53	0.17	8.2	32.8	0.078	0.36
18/04/2009	0.10	0.10	7.5	30.4	0.000	0.00
19/04/2009	0.15	0.15	7.3	28.7	0.000	0.00
21/04/2009	0.38	0.22	7.6	26.3	0.049	0.16
22/04/2009	0.36	0.20	7.5	25.5	0.047	0.16
23/04/2009	0.52	0.18	7.3	30.1	0.070	0.34
24/04/2009	0.40	0.15	7.3	27.8	0.060	0.25
25/04/2009	0.36	0.36	7.3	26.6	0.000	0.00
26/04/2009	0.54	0.23	7.2	25.1	0.063	0.31
27/04/2009	0.37	0.37	7.1	36.1	0.000	0.00
28/04/2009	0.74	0.19	7.0	32.7	0.293	0.55
29/04/2009	0.50	0.20	7.0	31.7	0.067	0.30
30/04/2009	0.62	0.19	7.1	29.5	0.148	0.43
01/05/2009	0.86	0.37	7.1	31.7	0.198	0.49
02/05/2009	0.97	0.07	7.1	28.8	0.399	0.90
03/05/2009	0.98	0.08	7.1	26.9	0.387	0.90
04/05/2009	1.06	0.57	7.0	25.5	0.191	0.49
04/05/2009	0.81	0.16	7.0	25.3	0.324	0.65

5.3 - Măsurători realizate pe instalația pilot 175

04/05/2009	0.30	0.07	7.0	25.1	0.101	0.23
05/05/2009	0.72	0.26	7.0	24.3	0.178	0.46
05/05/2009	0.50	0.11	7.0	30.4	0.167	0.39
05/05/2009	0.50	0.31	7.0	30.0	0.057	0.19
06/05/2009	1.16	0.31	6.9	28.5	0.374	0.85
06/05/2009	0.94	0.13	7.1	32.3	0.361	0.81
06/05/2009	0.49	0.03	7.1	31.6	0.217	0.46
07/05/2009	1.10	0.54	7.0	34.2	0.237	0.56
07/05/2009	1.15	0.03	7.1	32.6	0.470	1.12
08/05/2009	0.94	0.19	7.0	30.3	0.360	0.75
08/05/2009	0.95	0.10	7.0	32.3	0.412	0.85
08/05/2009	0.46	0.02	7.0	31.8	0.210	0.44
09/05/2009	1.02	0.08	7.0	29.5	0.455	0.94
09/05/2009	0.48	0.02	7.0	28.9	0.214	0.46
10/05/2009	0.74	0.10	6.9	27.5	0.315	0.64
10/05/2009	0.48	0.05	7.1	27.1	0.205	0.43
11/05/2009	0.58	0.14	7.0	26.5	0.209	0.44
11/05/2009	0.66	0.09	6.9	34.0	0.256	0.57
11/05/2009	0.48	0.03	7.0	33.3	0.212	0.45
12/05/2009	0.84	0.10	7.0	31.9	0.355	0.74
12/05/2009	0.53	0.02	7.0	30.9	0.160	0.51
13/05/2009	0.96	0.09	6.9	33.1	0.423	0.87
13/05/2009	0.66	0.06	7.0	33.7	0.312	0.60
13/05/2009	0.39	0.03	7.0	33.0	0.193	0.36
14/05/2009	0.97	0.04	7.1	31.5	0.505	0.93
14/05/2009	0.64	0.26	7.1	30.3	0.192	0.38
14/05/2009	0.54	0.02	7.1	29.9	0.278	0.52
15/05/2009	0.85	0.09	7.0	28.6	0.361	0.76
15/05/2009	0.45	0.09	6.9	34.1	0.171	0.36
15/05/2009	0.70	0.02	7.2	33.4	0.369	0.68
16/05/2009	1.09	0.02	7.0	31.8	0.555	1.07
16/05/2009	0.88	0.02	7.0	31.0	0.465	0.86
17/05/2009	1.15	0.02	7.1	29.7	0.552	1.13
17/05/2009	0.67	0.02	7.1	29.2	0.360	0.65
18/05/2009	0.96	0.06	7.1	28.5	0.491	0.90
18/05/2009	0.97	0.10	7.0	36.4	0.478	0.87
18/05/2009	0.90	0.02	7.1	35.5	0.481	0.88
19/05/2009	1.15	0.12	7.0	33.5	0.521	1.03
19/05/2009	0.67	0.07	7.0	32.8	0.278	0.60
19/05/2009	0.60	0.01	7.0	32.5	0.273	0.59
20/05/2009	1.04	0.17	7.0	31.1	0.478	0.87
20/05/2009	0.85	0.19	6.9	33.8	0.355	0.66
20/05/2009	0.58	0.02	7.1	33.3	0.245	0.56
21/05/2009	0.87	0.16	7.1	32.1	0.353	0.71
21/05/2009	0.59	0.14	7.1	31.5	0.204	0.45
21/05/2009	0.59	0.03	7.1	30.8	0.243	0.56
22/05/2009	0.81	0.27	7.0	33.7	0.235	0.54
23/05/2009	0.84	0.15	7.0	31.5	0.372	0.69
24/05/2009	1.05	0.21	7.0	30.3	0.463	0.84

176 Măsurători și rezultate experimentale - 5

24/05/2009	0.94	0.07	7.0	29.6	0.471	0.87
25/05/2009	0.87	0.05	7.0	28.6	0.457	0.82
25/05/2009	0.82	0.02	6.9	35.0	0.448	0.80
26/05/2009	0.88	0.31	7.0	33.3	0.248	0.57
26/05/2009	0.77	0.02	7.0	32.1	0.357	0.75
27/05/2009	0.93	0.52	7.1	30.3	0.193	0.41
27/05/2009	0.69	0.11	7.1	30.2	0.250	0.58
28/05/2009	0.72	0.57	7.0	32.6	0.038	0.15
28/05/2009	0.79	0.24	7.0	32.0	0.240	0.55
29/05/2009	0.76	0.06	6.9	34.1	0.349	0.70
29/05/2009	0.40	0.10	7.0	33.1	0.074	0.30
30/05/2009	0.85	0.04	7.0	30.2	0.452	0.81
31/05/2009	0.47	0.05	7.1	28.5	0.197	0.42
01/06/2009	0.45	0.03	7.1	27.0	0.196	0.42
01/06/2009	0.43	0.08	7.0	32.6	0.092	0.35
02/06/2009	0.48	0.04	7.0	30.9	0.201	0.44
02/06/2009	0.24	0.03	7.1	30.3	0.054	0.21
03/06/2009	0.63	0.03	7.0	32.2	0.288	0.60
04/06/2009	0.54	0.05	7.0	29.2	0.235	0.49
06/06/2009	0.69	0.03	6.9	31.3	0.349	0.66
07/06/2009	0.60	0.04	7.0	29.5	0.243	0.56
08/06/2009	0.82	0.11	6.9	35.0	0.353	0.71
09/06/2009	0.85	0.14	7.0	32.3	0.355	0.71
10/06/2009	0.68	0.28	7.0	31.1	0.192	0.40
10/06/2009	0.56	0.06	7.1	30.8	0.210	0.50
11/06/2009	0.76	0.07	7.0	32.5	0.350	0.69
11/06/2009	0.63	0.10	7.0	32.2	0.229	0.53
12/06/2009	0.72	0.01	6.9	33.6	0.354	0.71
12/06/2009	0.60	0.05	7.0	32.6	0.234	0.55
13/06/2009	0.74	0.04	7.0	30.7	0.364	0.70
14/06/2009	0.70	0.05	7.0	29.4	0.359	0.65
15/06/2009	0.50	0.05	7.1	28.1	0.217	0.45
16/06/2009	0.40	0.03	7.0	30.6	0.104	0.37

În figurile 5.64. – 5.67. sunt prezentate graficele de variație ale parametrilor în timpul procesului de fermentație anaerobă.

Variația temperaturii

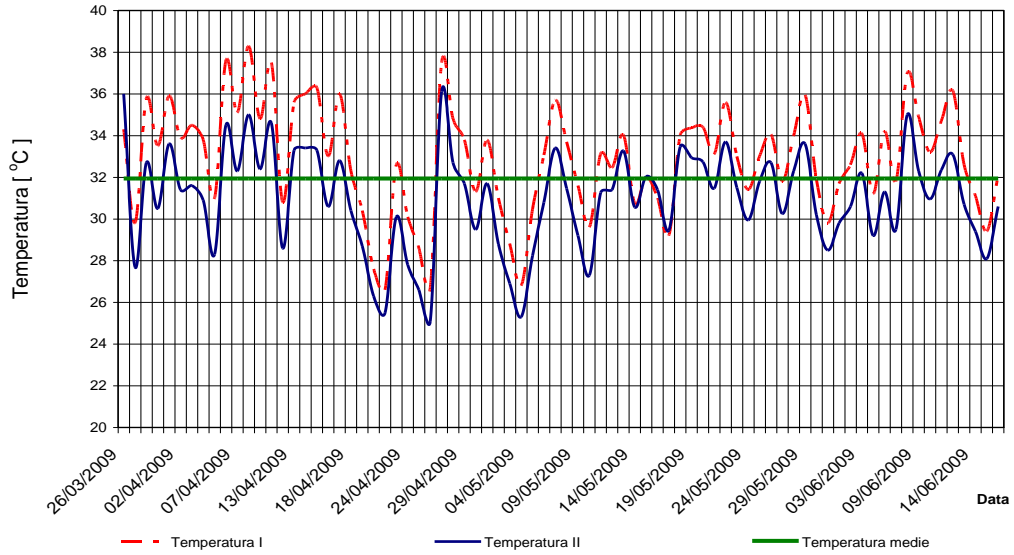


Figura 5.64. – Variația temperaturii în rezervoare

Variația pH

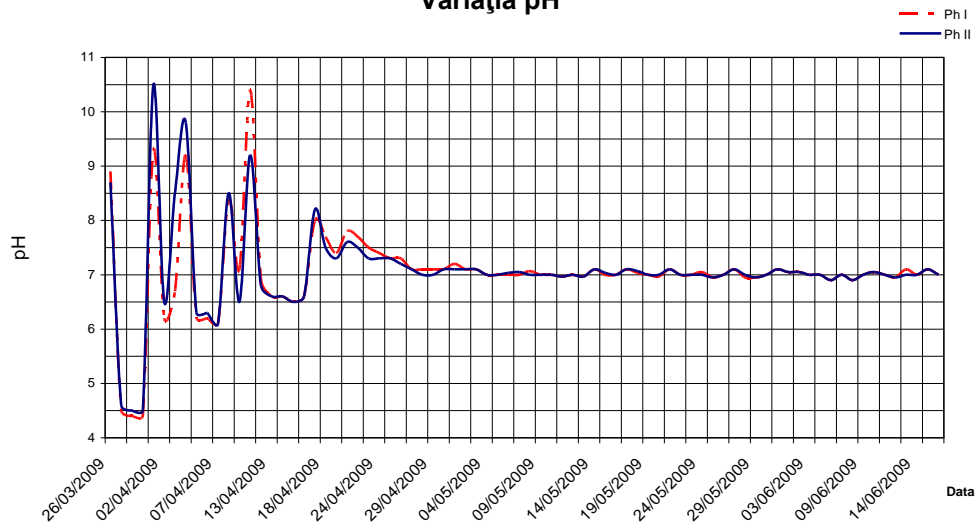


Figura 5.65. – Variația pH-ului în rezervoare

Diferența de presiune

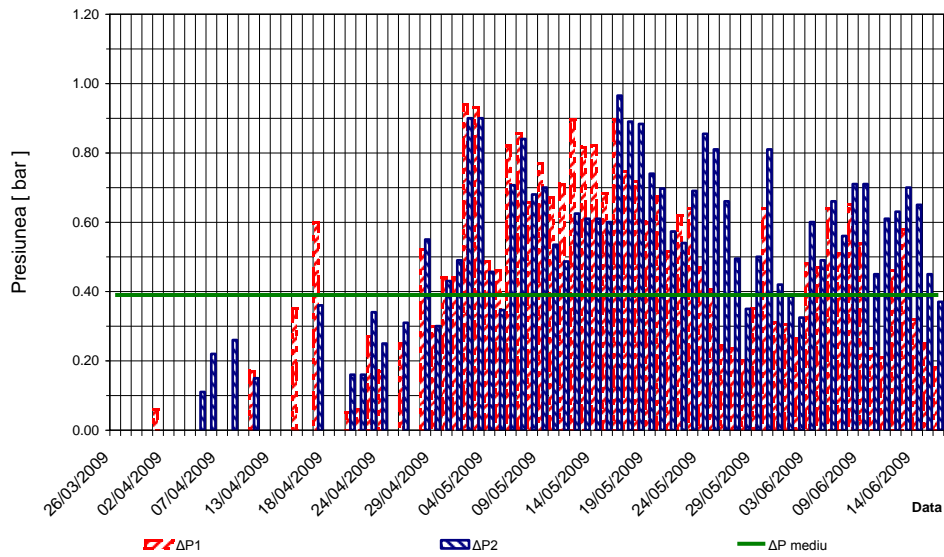


Figura 5.66. – Diferența de presiune în rezervoare

Producția de biogaz

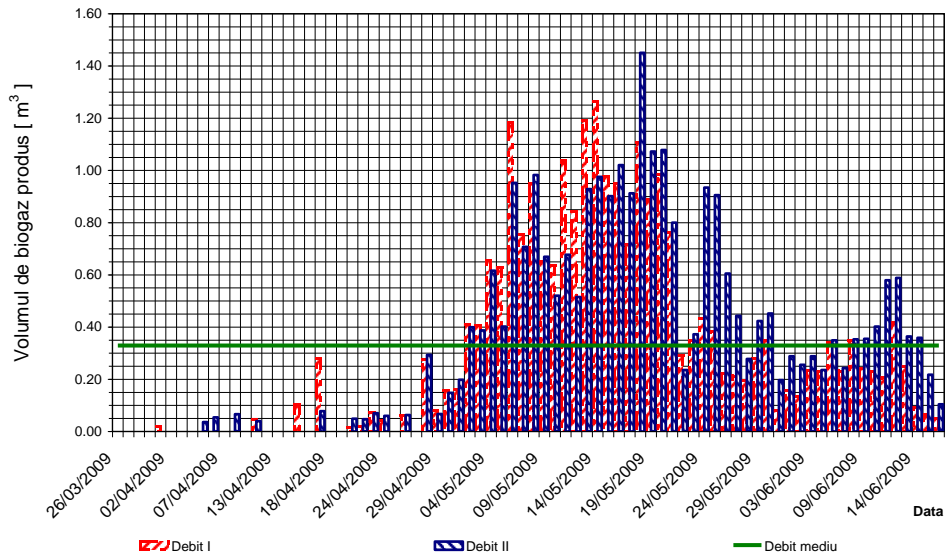


Figura 5.67. – producția de biogaz din rezervoare

Din graficele de mai sus se observă ca această șarjă prezintă cea mai mare cantitate de biogaz produsă, relativ la condițiile asemănătoare cu cele prezentate și în cazul șarjelor anterioare. Din nou, se observă variația de temperatură pentru cele două rezervoare (figura 5.64.), care are o valoare medie de circa 32°C, precum și corecția de pH pentru menținerea procesului în parametri optimi, prezentată în figura 5.65.

Corelația dintre figurile 5.66. și 5.67. arată că în instalația s-au acumulat valori mari de presiune, iar cantitățile echivalente produse au depășit valorile atinse la celelalte șarje. Cantitatea totală de biogaz produsă la această șarjă este de circa 51.38 m³.

În tabelele și graficele de mai jos se realizează analiza biogazului obținut în aceleași condiții ca și pentru primele trei șarje.

În tabelele 5.31. – 5.36. sunt prezentate valorile corespunzătoare variației concentrațiilor parametrilor monitorizați, iar în figurile 5.68. – 5.79. sunt prezentate graficele de variație aferente valorilor parametrilor monitorizați.

Tabel 5.31. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 1, măsurătoarea numărul 1

Durata secunde	H₂S ÎS [ppm]	CH₄ ÎS [%]	CO₂ ÎS [%]	CH₄ DS [%]	CO₂ DS [%]	H₂S DS [ppm]
0	63.37	59.59	39.80	61.76	37.62	33.74
10	62.85	58.70	38.64	62.54	37.20	30.39
20	62.19	58.09	40.82	62.27	37.18	33.12
30	62.03	58.49	40.16	63.45	36.21	32.46
40	62.97	59.19	39.98	63.78	35.67	33.75
50	62.84	59.48	39.75	63.36	35.92	32.15
60	63.19	59.68	39.12	63.75	35.67	30.87
70	62.80	59.96	39.51	63.12	36.25	33.53
80	62.35	58.30	40.82	62.67	36.78	33.66
90	62.41	59.78	39.84	62.98	36.44	30.30
100	63.38	58.49	40.85	62.94	36.40	30.72
110	62.40	58.41	40.60	63.12	36.21	31.10
120	62.05	58.73	39.91	62.76	36.78	33.48
130	63.41	59.42	40.23	62.70	36.67	31.36
140	62.30	58.99	39.86	62.44	36.82	32.05
150	62.19	59.10	40.12	61.98	36.65	32.71
160	62.01	58.59	40.76	62.66	36.89	31.98
170	63.29	59.84	39.40	61.60	37.99	32.77
180	63.55	58.67	40.35	62.37	37.25	30.49
190	63.76	59.12	40.24	62.79	36.89	31.13
200	62.97	58.71	40.76	63.42	36.14	31.09
210	63.35	58.42	40.68	63.78	35.68	30.12
220	62.48	59.23	40.16	63.24	36.31	31.91
230	62.87	59.56	39.74	62.75	36.77	30.94
240	62.40	58.74	40.82	61.98	37.52	33.81
250	63.42	60.00	39.15	62.34	37.23	32.49
260	63.63	59.45	39.94	62.96	36.58	33.05

180 Măsurători și rezultate experimentale - 5

270	63.61	59.97	39.28	63.27	36.31	30.70
280	62.90	59.34	39.98	63.78	35.76	33.03
290	63.36	59.14	39.75	62.94	36.87	33.95
300	62.64	59.56	39.77	62.30	37.38	31.93
310	63.53	58.90	40.42	61.84	37.76	30.08
320	62.95	59.24	40.12	61.92	37.62	30.67
330	62.64	59.26	40.27	62.45	37.12	31.32
340	62.45	59.74	39.85	63.01	36.65	30.97
350	63.30	59.23	40.20	63.51	36.11	31.25
360	63.05	58.78	40.76	62.89	36.78	33.94
370	62.92	58.92	40.77	62.36	36.93	32.95
380	63.44	59.21	39.96	62.05	37.44	31.08
390	62.30	59.43	39.78	62.14	37.45	31.81
400	63.07	59.78	39.56	61.84	37.76	33.34
410	63.78	59.96	39.34	62.45	37.11	31.87
420	63.04	59.34	39.78	62.84	36.78	32.53
430	63.31	58.78	40.35	63.20	36.56	32.80
440	62.51	58.99	40.26	63.57	36.20	32.46
450	63.13	59.23	39.88	63.97	35.68	30.64
460	63.53	59.76	39.82	63.41	36.17	30.38
470	63.67	58.69	40.63	62.89	36.70	30.70
480	63.43	58.91	40.32	62.52	37.14	32.70
490	63.76	59.43	39.65	61.96	36.68	33.90
500	63.42	59.78	39.64	62.37	36.91	33.20
510	63.27	60.11	39.23	62.85	36.76	33.59
520	63.11	59.45	39.78	63.26	36.24	32.55
530	62.78	59.12	40.22	63.45	36.25	31.41
540	63.30	58.37	40.78	62.78	36.78	33.06
550	63.76	58.79	40.65	62.37	37.26	33.44
560	62.79	59.52	39.86	62.81	36.81	32.13
570	63.38	59.45	39.89	63.04	36.57	32.90
580	62.39	59.61	39.82	63.20	36.41	32.41
590	62.23	58.12	41.12	63.54	36.24	31.90
600	63.30	59.43	39.96	63.78	35.89	30.73

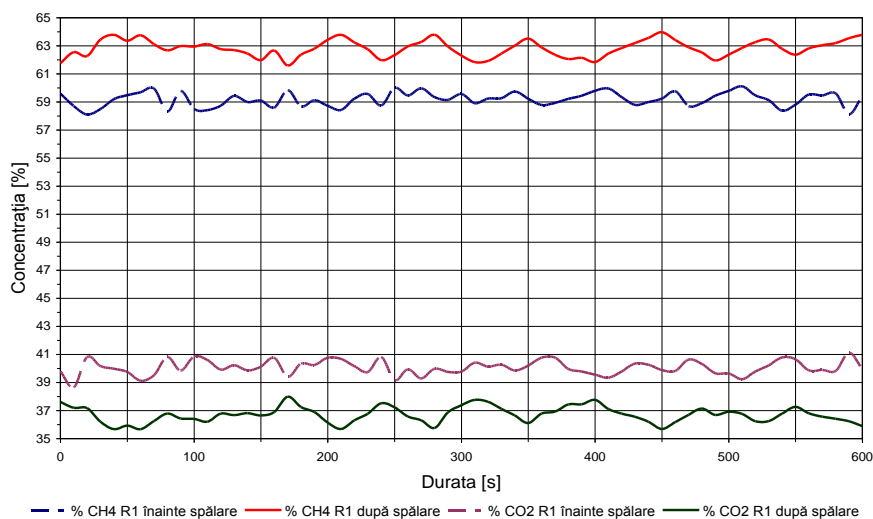
Variația concentrației de CH₄ și CO₂

Figura 5.68. – Variația în % a concentrației de CH₄ și CO₂, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 1

În figurile 5.68. și 5.69. se prezintă variația concentrației de metan, CO₂ și H₂S pentru rezervorul numărul 1, din care se poate observa că valorile atinse de concentrația de metan sunt de circa 62 – 63 %, pentru concentrația de CO₂ sunt de circa 36 – 37 % iar pentru H₂S sunt 30 – 33 ppm, valori considerate după sistemul de spălare a gazului.

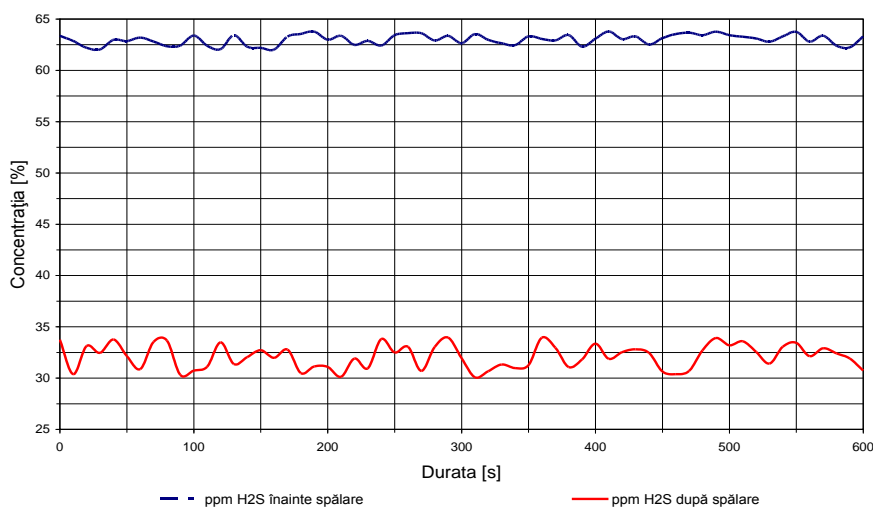
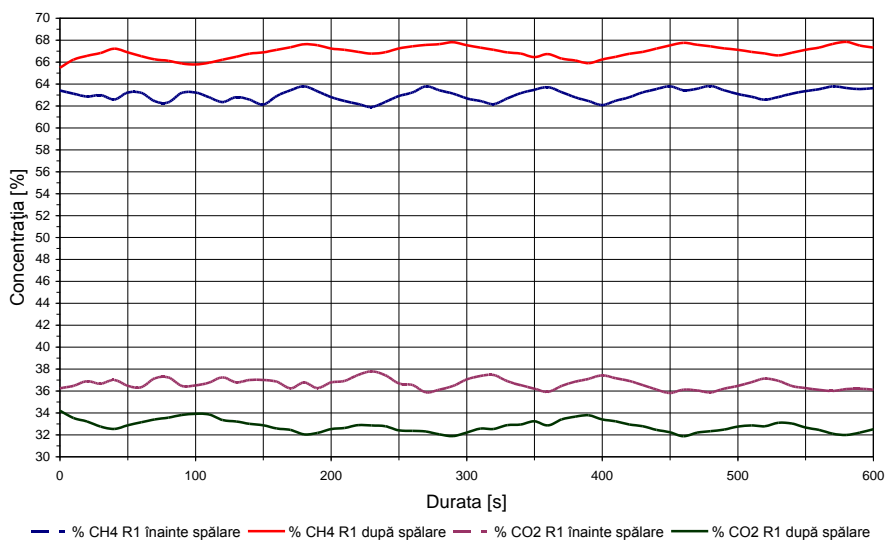
Variația concentrației de H₂S

Figura 5.69. – Variația în ppm a concentrației de H₂S, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 1

Tabel 5.32. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 1, măsurătoarea numărul 2

Durata secunde	H₂S ÎS [ppm]	CH₄ ÎS [%]	CO₂ ÎS [%]	CH₄ DS [%]	CO₂ DS [%]	H₂S DS [ppm]
0	63.79	63.40	36.25	65.47	34.21	30.69
10	62.19	63.12	36.46	66.22	33.54	33.84
20	63.31	62.85	36.89	66.56	33.22	30.02
30	63.56	62.99	36.65	66.83	32.76	32.76
40	62.97	62.58	37.00	67.21	32.54	30.72
50	63.76	63.21	36.47	66.89	32.87	32.12
60	62.09	63.19	36.34	66.54	33.15	30.92
70	63.03	62.42	37.15	66.24	33.41	33.25
80	62.74	62.32	37.24	66.11	33.56	32.12
90	63.28	63.19	36.45	65.87	33.81	33.92
100	63.20	63.22	36.51	65.78	33.92	31.22
110	62.81	62.78	36.75	65.94	33.86	31.30
120	63.76	62.34	37.24	66.21	33.35	30.04
130	63.20	62.79	36.78	66.47	33.22	33.99
140	63.64	62.56	37.00	66.76	33.00	32.96
150	62.94	62.11	37.00	66.89	32.87	33.00
160	63.80	62.89	36.84	67.12	32.58	30.04
170	63.39	63.42	36.23	67.35	32.45	31.27
180	63.62	63.78	36.77	67.62	32.05	31.72
190	63.48	63.31	36.26	67.54	32.18	31.68
200	62.72	62.79	36.78	67.23	32.52	30.03
210	62.00	62.45	36.92	67.11	32.63	33.28
220	63.33	62.17	37.45	66.92	32.89	33.70
230	63.43	61.89	37.79	66.76	32.86	31.89
240	62.74	62.36	37.43	66.90	32.78	31.17
250	62.14	62.89	36.69	67.24	32.41	32.38
260	62.62	63.22	36.54	67.43	32.36	32.58
270	63.78	63.78	35.87	67.56	32.31	33.36
280	63.72	63.42	36.12	67.63	32.05	33.08
290	63.61	63.12	36.45	67.81	31.89	31.12
300	63.13	62.68	37.04	67.54	32.21	30.24
310	63.19	62.44	37.36	67.32	32.56	30.82
320	63.65	62.16	37.45	67.12	32.54	30.06
330	63.67	62.68	36.89	66.89	32.88	32.20
340	62.25	63.15	36.53	66.76	32.94	33.90
350	62.04	63.46	36.20	66.45	33.23	32.54
360	62.71	63.71	35.92	66.73	32.85	30.53
370	62.80	63.25	36.45	66.32	33.41	33.24
380	63.72	62.78	36.84	66.14	33.65	31.17
390	62.15	62.43	37.11	65.89	33.78	31.75
400	62.82	62.07	37.42	66.23	33.41	31.71
410	62.91	62.46	37.16	66.47	33.23	30.02

420	62.01	62.78	36.92	66.75	32.94	33.55
430	62.58	63.23	36.53	66.92	32.78	30.96
440	63.66	63.54	36.12	67.23	32.45	32.24
450	62.82	63.78	35.82	67.52	32.23	30.60
460	62.50	63.42	36.12	67.76	31.87	30.57
470	62.91	63.56	36.04	67.58	32.20	30.22
480	63.12	63.81	35.87	67.43	32.34	30.76
490	63.60	63.42	36.21	67.24	32.48	33.91
500	62.17	63.09	36.47	67.11	32.76	31.49
510	63.07	62.84	36.78	66.93	32.85	31.28
520	63.37	62.56	37.14	66.78	32.78	30.28
530	62.28	62.81	36.92	66.61	33.10	31.84
540	62.23	63.12	36.45	66.85	33.03	30.43
550	62.18	63.35	36.27	67.12	32.67	33.74
560	63.27	63.52	36.10	67.32	32.45	33.90
570	62.28	63.78	36.00	67.65	32.10	30.45
580	62.83	63.64	36.17	67.84	31.98	33.09
590	63.78	63.54	36.21	67.51	32.20	31.19
600	62.02	63.62	36.12	67.32	32.51	30.67

Variația concentrației de CH₄ și CO₂Figura 5.70. – Variația în % a concentrației de CH₄ și CO₂, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 2

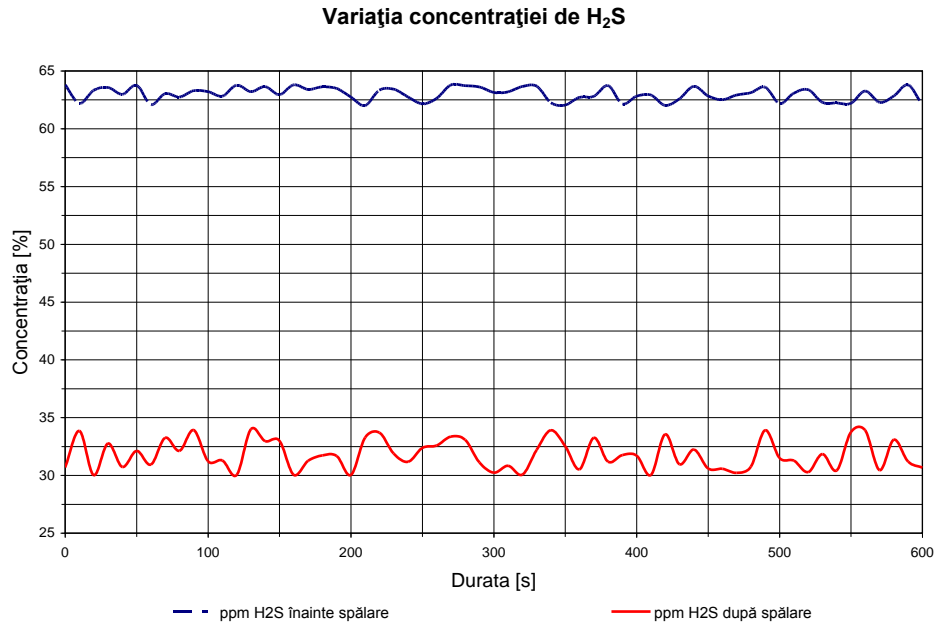


Figura 5.71. – Variația în ppm a concentrației de H₂S, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 2

În figura 5.70. și 5.71. sunt prezentate variațiile concentrațiilor de metan, CO₂ și H₂S pentru rezervorul numărul 1, măsurătoarea numărul doi, de unde se poate observa faptul că concentrația de metan atinge un punct de maxim la o valoare de 66 – 68%, concentrația de CO₂ este în jurul valorii de 31 – 33%, iar concentrația de H₂S este în domeniul 30 – 35 ppm, valori realizate după trecerea gazului prin sistemul de spălare.

Tabel 5.33. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 1, măsurătoarea numărul 3

Durata secunde	H ₂ S ÎS [ppm]	CH ₄ ÎS [%]	CO ₂ ÎS [%]	CH ₄ DS [%]	CO ₂ DS [%]	H ₂ S DS [ppm]
0	63.18	54.69	45.10	56.06	43.58	33.63
10	63.49	55.14	44.38	56.43	43.20	32.18
20	63.16	55.45	44.12	56.76	43.02	31.44
30	62.09	55.73	44.06	56.92	42.87	33.44
40	62.16	55.87	43.89	57.33	42.35	32.39
50	62.12	56.11	43.62	57.45	42.31	32.61
60	62.82	55.89	43.78	57.62	42.06	33.22
70	63.31	55.67	44.14	57.80	41.93	32.14
80	63.29	55.34	44.35	58.32	41.36	30.56
90	62.00	55.75	44.00	58.45	41.27	32.15
100	63.45	55.62	44.07	58.65	41.12	30.64
110	62.42	55.43	44.26	58.36	41.37	32.81

5.3 - Măsurători realizate pe instalația pilot 185

120	62.21	55.12	44.56	58.21	41.46	30.36
130	63.06	55.37	44.42	58.10	41.48	32.93
140	63.00	55.10	44.56	57.84	41.75	33.77
150	63.54	54.90	44.78	57.65	42.12	32.07
160	62.95	55.23	44.51	57.43	42.35	30.63
170	62.85	55.45	44.25	57.82	41.87	32.92
180	62.23	55.78	44.02	58.11	41.65	31.36
190	63.71	55.91	43.88	58.34	41.46	32.27
200	63.37	56.02	43.76	58.52	41.23	31.91
210	63.39	55.88	43.68	58.76	41.00	30.79
220	62.49	55.74	44.05	58.89	40.79	32.92
230	62.33	55.89	43.85	58.64	40.86	30.43
240	63.56	55.72	43.92	58.43	41.34	32.70
250	63.17	55.67	44.11	58.24	41.43	32.32
260	63.23	55.78	43.86	57.89	41.84	32.15
270	63.39	55.84	43.88	57.76	42.07	32.94
280	63.18	55.67	44.09	57.93	41.88	31.34
290	63.61	55.52	44.26	58.11	41.55	30.92
300	63.14	55.46	44.32	58.34	41.67	30.88
310	63.08	55.67	44.10	58.52	41.32	33.54
320	62.29	55.51	44.23	58.78	40.78	31.45
330	62.97	55.32	44.38	58.64	41.23	32.78
340	63.48	55.23	44.45	58.35	41.37	33.08
350	62.15	55.08	44.60	58.12	41.62	32.63
360	63.71	54.89	44.82	57.93	41.91	33.36
370	62.87	55.12	44.53	57.76	42.01	30.07
380	63.18	54.95	44.76	57.38	42.39	33.02
390	62.67	55.23	44.51	57.45	42.38	33.34
400	63.03	55.36	44.48	57.87	41.85	32.28
410	62.10	55.62	44.06	58.21	41.46	33.98
420	63.11	55.53	44.21	58.46	41.23	31.58
430	63.09	55.32	44.43	58.77	41.00	33.54
440	62.82	55.47	44.37	58.63	41.12	30.60
450	63.39	55.76	44.03	58.44	41.25	31.02
460	62.13	55.89	43.89	58.76	40.97	33.91
470	62.23	56.21	43.52	58.52	41.32	33.11
480	63.36	56.07	43.58	58.41	41.36	32.40
490	63.08	55.88	43.82	58.27	41.47	30.31
500	63.38	55.67	44.10	58.34	41.32	33.11
510	62.33	55.48	44.26	58.56	41.26	31.75
520	62.99	55.62	44.21	58.78	40.94	32.67
530	63.14	55.73	44.03	58.91	40.73	33.62
540	62.43	55.98	43.86	58.85	40.88	30.38
550	62.69	56.24	43.45	58.63	41.15	30.45
560	63.04	55.93	43.80	58.57	41.22	30.25
570	62.85	55.78	44.01	58.49	41.27	32.08
580	63.54	55.63	44.15	58.64	41.18	31.29
590	63.79	55.54	44.26	58.51	41.25	32.23
600	63.57	55.62	44.18	58.67	41.14	32.61

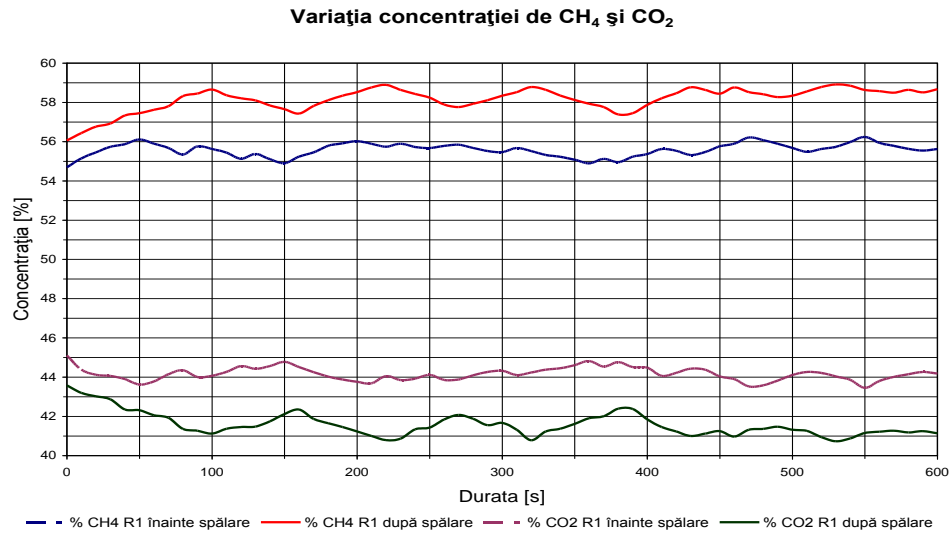


Figura 5.72. – Variația în % a concentrației de CH₄ și CO₂, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 3

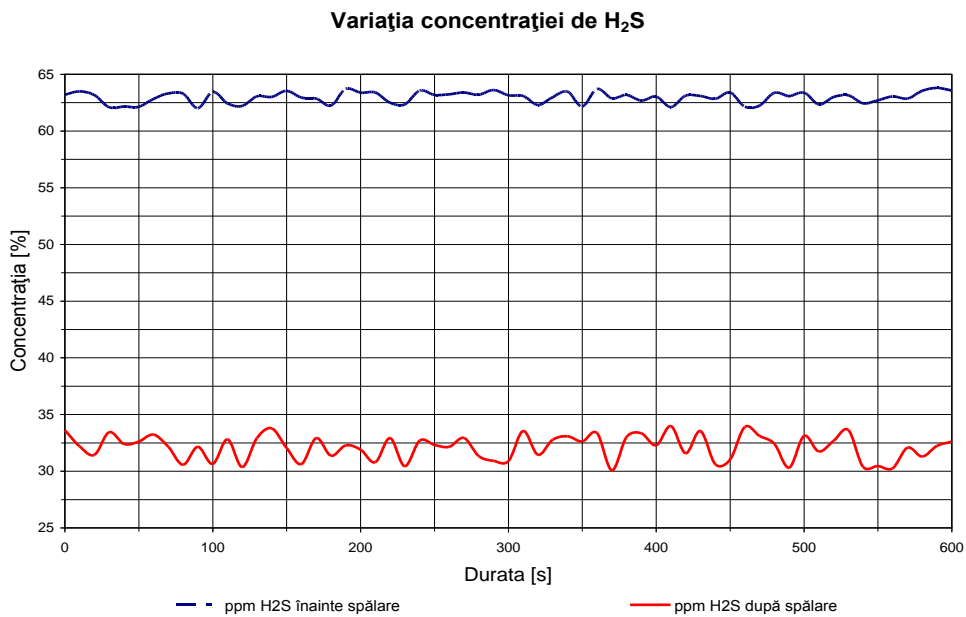


Figura 5.73. – Variația în ppm a concentrației de H₂S, rezervor numărul 1, măsurătoarea numărul 3

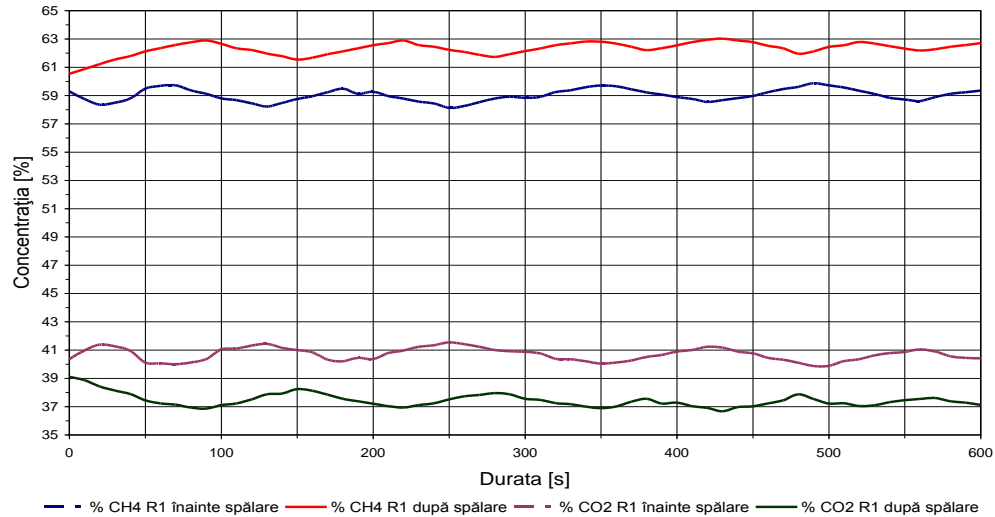
5.3 - Măsurători realizate pe instalația pilot 187

Din figurile 5.72. și 5.73. se observă scăderea concentrației de metan către valori de 58 – 59 %, în timp ce concentrația de CO₂ ajunge la valori de 41 – 42%, iar concentrația de H₂S se situează în jurul valorii de 30 – 31 ppm.

Tabel 5.34. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 2, măsurătoarea numărul 1

Durata secunde	H ₂ S ÎS [ppm]	CH ₄ ÎS [%]	CO ₂ ÎS [%]	CH ₄ DS [%]	CO ₂ DS [%]	H ₂ S DS [ppm]
0	62.07	59.29	40.35	60.53	39.11	30.62
10	62.53	58.75	40.97	60.87	38.87	30.33
20	62.52	58.34	41.38	61.22	38.43	31.65
30	63.46	58.49	41.26	61.54	38.14	33.53
40	62.82	58.78	40.95	61.78	37.89	32.61
50	62.67	59.48	40.11	62.12	37.45	30.91
60	62.44	59.68	40.07	62.35	37.23	32.38
70	62.17	59.72	40.00	62.58	37.14	32.71
80	63.46	59.36	40.12	62.76	36.94	31.73
90	62.33	59.12	40.35	62.89	36.86	33.41
100	63.20	58.79	41.05	62.65	37.11	30.47
110	62.80	58.67	41.10	62.34	37.23	32.32
120	62.97	58.44	41.32	62.22	37.51	33.16
130	63.45	58.21	41.44	61.97	37.87	32.15
140	62.20	58.46	41.15	61.78	37.92	33.69
150	62.68	58.75	41.00	61.54	38.24	33.79
160	62.10	58.94	40.84	61.67	38.12	32.30
170	63.26	59.23	40.32	61.92	37.85	32.05
180	62.62	59.48	40.21	62.12	37.56	33.00
190	62.04	59.12	40.45	62.34	37.38	33.02
200	63.77	59.26	40.36	62.55	37.21	32.67
210	63.72	58.95	40.78	62.71	37.03	31.14
220	63.63	58.78	40.96	62.89	36.94	32.62
230	63.77	58.56	41.23	62.56	37.11	33.99
240	62.62	58.43	41.34	62.45	37.24	33.60
250	63.17	58.12	41.55	62.23	37.51	30.38
260	63.18	58.26	41.42	62.07	37.73	33.45
270	62.93	58.52	41.23	61.88	37.83	32.33
280	63.18	58.78	41.00	61.73	37.96	33.57
290	63.11	58.91	40.92	61.92	37.87	33.36
300	63.37	58.83	40.87	62.14	37.56	33.60
310	63.41	58.90	40.76	62.32	37.48	30.43
320	62.98	59.24	40.38	62.55	37.25	32.99
330	62.17	59.37	40.35	62.68	37.17	33.54
340	62.47	59.58	40.21	62.81	37.00	32.36
350	63.29	59.71	40.04	62.80	36.89	33.14
360	63.29	59.65	40.12	62.67	37.01	31.18
370	62.91	59.43	40.26	62.45	37.35	32.69
380	62.00	59.22	40.51	62.21	37.56	30.70
390	63.17	59.06	40.65	62.35	37.22	30.50

400	62.97	58.89	40.89	62.54	37.28	30.93
410	63.13	58.76	41.00	62.77	37.03	33.06
420	62.52	58.54	41.23	62.93	36.91	31.21
430	63.11	58.67	41.18	63.02	36.67	30.40
440	63.75	58.81	40.88	62.89	36.97	31.19
450	62.80	58.97	40.76	62.77	37.02	30.09
460	63.55	59.23	40.45	62.51	37.23	32.76
470	62.78	59.45	40.32	62.34	37.45	31.22
480	62.07	59.61	40.10	61.95	37.87	30.22
490	63.08	59.87	39.87	62.12	37.54	30.62
500	62.78	59.72	39.88	62.43	37.22	32.22
510	62.80	59.56	40.22	62.55	37.24	32.92
520	62.17	59.34	40.35	62.78	37.04	30.94
530	63.48	59.11	40.62	62.67	37.10	32.74
540	62.15	58.84	40.78	62.49	37.32	31.02
550	62.11	58.72	40.86	62.31	37.46	30.66
560	62.06	58.61	41.05	62.18	37.54	33.30
570	62.53	58.88	40.89	62.27	37.61	33.11
580	63.29	59.12	40.56	62.44	37.38	33.50
590	62.22	59.23	40.45	62.56	37.28	30.45
600	62.38	59.35	40.42	62.71	37.12	32.03

Variația concentrației de CH₄ și CO₂Figura 5.74. – Variația în % a concentrației de CH₄ și CO₂, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 1

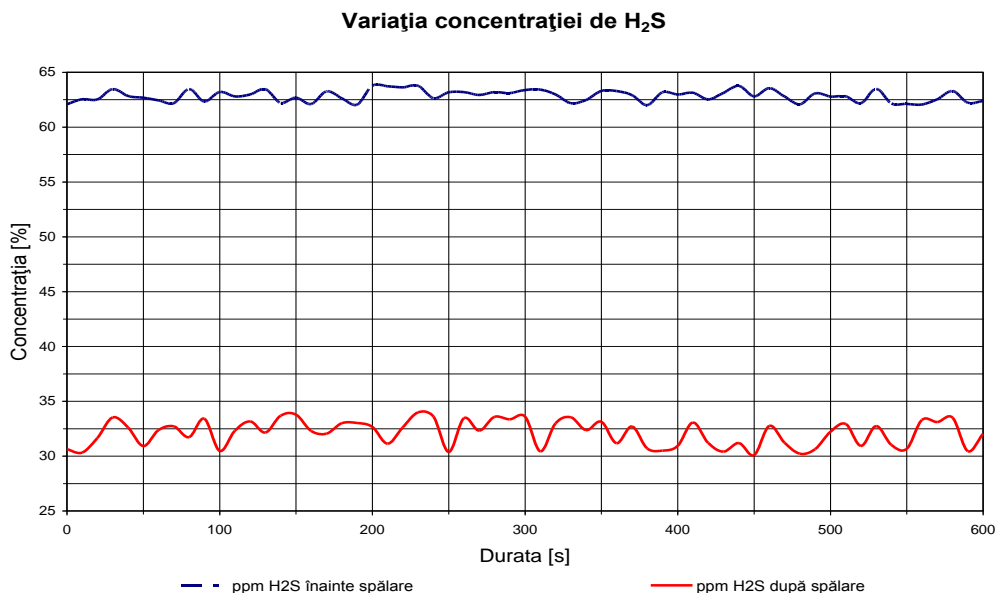


Figura 5.75. – Variația în ppm a concentrației de H₂S, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 1

Din figurile 5.74. și 5.75. se observă că și pentru rezervorul numărul 2 variația concentrației de metan, CO₂ și H₂S se situează în domeniul de valori corespunzător pentru rezervorul numărul 1 : pentru metan, o concentrație de 61 – 63 %, pentru CO₂ valori cuprinse între 37 – 39 %, iar pentru H₂S valori cuprinse în domeniul 30 – 33 ppm, valori determinate după sistemul de spălare a gazului.

Tabel 5.35. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 2, măsurătoarea numărul 2

Durata secunde	H ₂ S ÎS [ppm]	CH ₄ ÎS [%]	CO ₂ ÎS [%]	CH ₄ DS [%]	CO ₂ DS [%]	H ₂ S DS [ppm]
0	63.04	62.53	37.24	65.58	34.23	32.20
10	62.81	62.57	37.15	65.79	33.89	31.72
20	63.48	62.75	37.02	66.23	33.54	33.23
30	62.86	62.89	36.89	66.47	33.23	30.11
40	62.57	63.12	36.67	66.62	33.11	32.54
50	63.76	63.28	36.45	66.89	32.92	32.99
60	62.42	63.35	36.42	67.14	32.45	30.64
70	62.92	63.56	36.36	67.34	32.36	32.03
80	63.45	63.79	35.94	67.48	32.24	31.43
90	62.18	63.72	35.91	67.65	32.18	33.08
100	62.43	63.66	36.11	67.53	32.26	30.50
110	63.49	63.48	36.35	67.36	32.37	30.94
120	63.32	63.32	36.42	67.21	32.54	30.87
130	62.88	63.21	36.47	67.11	32.65	31.93

190 Măsurători și rezultate experimentale - 5

140	62.15	62.97	36.87	66.89	32.89	31.54
150	63.78	62.79	36.93	66.74	33.00	32.27
160	63.20	62.84	36.88	66.93	32.87	32.38
170	62.63	63.16	36.34	67.24	32.43	30.48
180	62.60	63.32	36.40	67.44	32.28	32.03
190	62.71	63.45	36.27	67.56	32.21	30.54
200	62.91	63.57	36.21	67.71	32.04	33.45
210	62.78	63.78	36.02	67.83	31.87	31.58
220	63.70	63.67	36.11	67.58	32.26	33.87
230	63.61	63.51	36.28	67.34	32.45	32.22
240	62.71	63.42	36.31	67.18	32.55	33.18
250	63.49	63.29	36.40	66.94	32.86	33.16
260	62.83	63.07	36.65	66.85	32.79	33.04
270	63.31	62.87	36.89	66.62	33.14	31.16
280	63.52	63.10	36.48	66.34	33.37	31.15
290	62.71	63.26	36.43	66.67	33.06	31.85
300	63.10	63.43	36.37	66.93	32.78	31.10
310	62.83	63.62	36.11	67.22	32.45	31.86
320	62.83	63.78	36.00	67.43	32.33	31.82
330	63.37	63.56	36.23	67.55	32.27	31.69
340	62.65	63.41	36.28	67.73	31.95	31.10
350	62.00	63.34	36.35	67.89	31.88	33.82
360	62.63	63.11	36.47	67.76	32.00	33.29
370	63.17	62.89	36.87	67.52	32.23	31.53
380	63.56	62.78	36.94	67.35	32.41	31.43
390	62.32	62.96	36.79	67.24	32.32	31.19
400	62.84	63.09	36.67	67.37	32.37	31.92
410	62.61	63.23	36.41	67.52	32.21	31.36
420	62.35	63.35	36.44	67.66	32.17	32.20
430	63.20	63.56	36.22	67.81	31.96	32.63
440	63.51	63.71	36.00	67.58	32.23	31.98
450	62.00	63.84	35.92	67.36	32.34	30.84
460	62.29	63.78	35.86	67.12	32.65	32.76
470	62.01	63.67	36.03	66.94	32.86	30.06
480	62.56	63.59	36.21	66.78	33.00	30.89
490	63.13	63.67	36.14	66.88	32.89	33.52
500	63.43	63.78	35.91	67.04	32.57	33.60
510	63.62	63.56	36.27	67.21	32.43	30.12
520	62.14	63.43	36.34	67.35	32.47	30.12
530	63.27	63.35	36.42	67.48	32.36	31.87
540	62.02	63.12	36.57	67.57	32.25	31.27
550	62.59	62.97	36.88	67.72	32.01	33.41
560	63.38	63.21	36.45	67.88	31.88	31.66
570	63.29	63.44	36.35	67.71	31.93	30.87
580	62.95	63.56	36.21	67.65	32.12	33.70
590	63.24	63.65	36.15	67.54	32.27	30.99
600	62.50	63.52	36.22	67.50	32.34	31.68

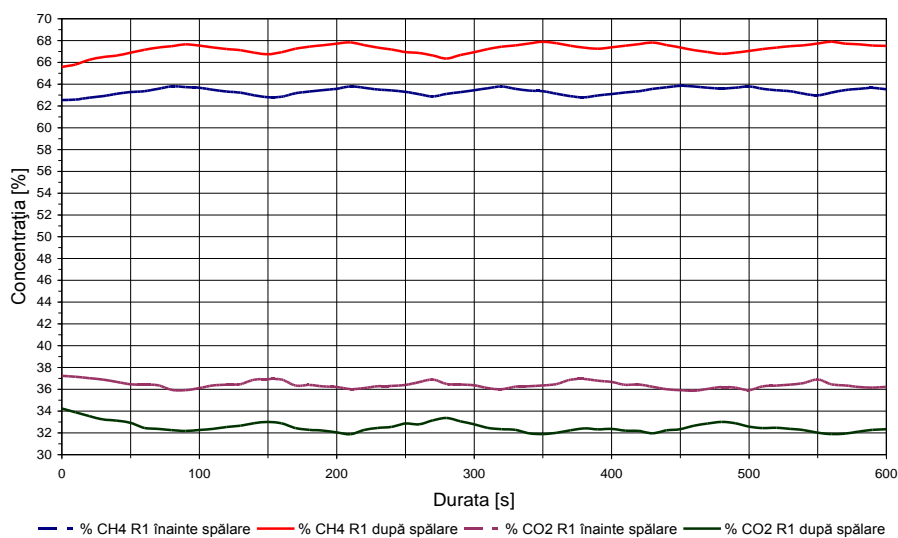
Variația concentrației de CH₄ și CO₂

Figura 5.76. – Variația în % a concentrației de CH₄ și CO₂, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 2

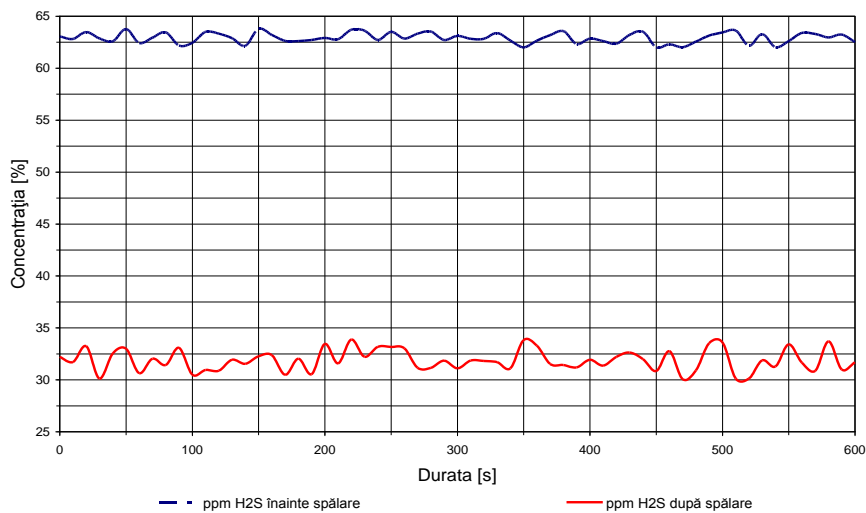
Variația concentrației de H₂S

Figura 5.77. – Variația în ppm a concentrației de H₂S, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 2

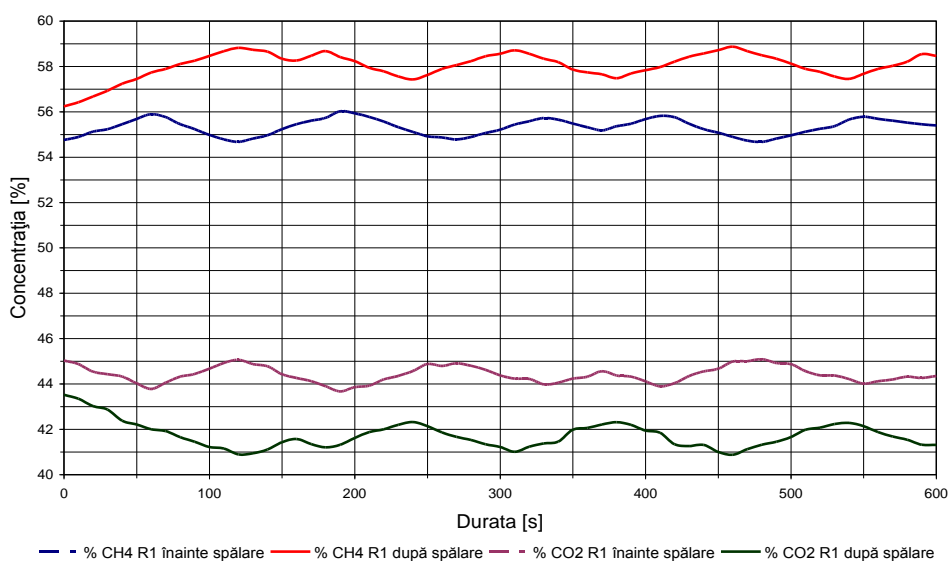
Din figurile 5.76. și 5.77. se determină valorile concentrațiilor pentru metan, CO₂ și H₂S în domeniul de maximă producție de biogaz, se poate observa astfel că

concentrația de metan este de circa 66 – 68 %, în timp ce concentrația de CO₂ este în domeniul 32 – 34 % iar concentrația de H₂S se menține la valori de 30 – 33 ppm.

Tabel 5.36. – Variația concentrației de metan, bioxid de carbon și hidrogen sulfurat – rezervorul 2, măsurătoarea numărul 3

Durata secunde	H₂S ÎS [ppm]	CH₄ ÎS [%]	CO₂ ÎS [%]	CH₄ DS [%]	CO₂ DS [%]	H₂S DS [ppm]
0	62.14	54.76	45.03	56.24	43.52	30.23
10	63.32	54.89	44.87	56.42	43.35	30.88
20	63.64	55.12	44.54	56.67	43.02	31.57
30	63.37	55.23	44.43	56.93	42.87	31.48
40	62.57	55.45	44.32	57.24	42.38	33.83
50	62.26	55.68	44.02	57.45	42.21	31.45
60	62.08	55.89	43.78	57.73	42.00	30.54
70	62.91	55.76	44.05	57.89	41.92	32.49
80	62.69	55.45	44.32	58.11	41.65	33.95
90	63.04	55.23	44.44	58.25	41.45	33.21
100	63.55	54.98	44.67	58.46	41.22	30.64
110	62.03	54.78	44.92	58.67	41.15	32.41
120	62.71	54.67	45.06	58.82	40.89	33.49
130	62.60	54.82	44.87	58.73	40.94	30.33
140	62.63	54.96	44.78	58.65	41.11	31.58
150	62.40	55.23	44.42	58.34	41.43	30.85
160	62.02	55.45	44.26	58.26	41.57	32.43
170	62.15	55.61	44.12	58.47	41.35	30.61
180	62.67	55.73	43.89	58.67	41.20	30.52
190	63.59	56.02	43.67	58.41	41.32	33.86
200	62.51	55.93	43.86	58.23	41.62	30.70
210	62.65	55.77	43.92	57.94	41.88	33.67
220	63.46	55.56	44.20	57.78	42.00	30.60
230	62.85	55.32	44.35	57.56	42.20	33.38
240	62.90	55.11	44.57	57.43	42.32	33.63
250	63.20	54.92	44.88	57.62	42.14	30.95
260	62.15	54.87	44.79	57.89	41.86	33.07
270	62.73	54.78	44.91	58.06	41.67	30.80
280	63.35	54.89	44.80	58.23	41.53	31.06
290	62.73	55.06	44.62	58.45	41.34	32.24
300	62.34	55.21	44.37	58.56	41.22	33.16
310	63.68	55.43	44.23	58.71	41.01	32.75
320	63.02	55.58	44.22	58.56	41.23	30.41
330	63.63	55.72	43.98	58.34	41.38	33.74
340	63.26	55.65	44.05	58.19	41.46	32.93
350	62.96	55.48	44.23	57.86	41.98	33.64
360	63.39	55.32	44.31	57.74	42.06	33.66
370	62.81	55.18	44.56	57.65	42.21	33.26
380	63.48	55.36	44.37	57.48	42.31	30.39
390	62.21	55.47	44.32	57.69	42.20	33.85
400	63.44	55.67	44.11	57.83	41.94	30.57

410	62.78	55.82	43.89	57.97	41.85	32.11
420	62.58	55.76	44.03	58.21	41.34	30.21
430	62.98	55.47	44.34	58.43	41.26	33.28
440	62.13	55.23	44.55	58.57	41.31	32.65
450	63.49	55.08	44.67	58.72	41.00	30.98
460	63.19	54.89	44.99	58.87	40.88	32.76
470	62.10	54.73	45.00	58.67	41.12	31.74
480	62.70	54.67	45.09	58.49	41.32	33.53
490	63.66	54.82	44.92	58.34	41.45	31.55
500	62.71	54.96	44.87	58.12	41.66	32.85
510	62.07	55.12	44.56	57.89	41.98	30.89
520	62.12	55.25	44.38	57.76	42.07	31.06
530	62.51	55.36	44.37	57.56	42.23	33.98
540	62.59	55.65	44.21	57.45	42.28	33.57
550	62.84	55.78	44.01	57.67	42.14	30.11
560	62.25	55.69	44.12	57.89	41.88	31.32
570	62.17	55.61	44.20	58.03	41.68	33.10
580	63.41	55.52	44.32	58.21	41.54	31.10
590	63.30	55.45	44.26	58.54	41.32	32.48
600	63.10	55.40	44.35	58.46	41.31	31.42

Variația concentrației de CH₄ și CO₂Figura 5.78. - Variația în % a concentrației de CH₄ și CO₂, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 3

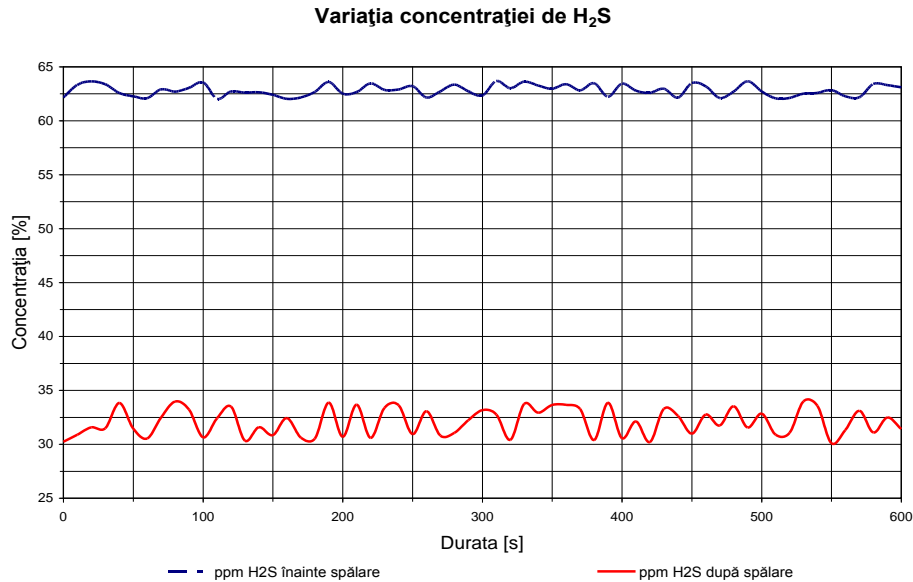


Figura 5.79. – Variația în ppm a concentrației de H₂S, rezervor numărul 2, măsurătoarea numărul 3

Din figurile 5.78. și 5.79. se observă că, la fel ca și pentru rezervorul numărul 1, către sfârșitul desfășurării procesului de fermentație anaerobă are loc scăderea valorii corespunzătoare metanului la 58 – 59 %, crește concentrația de CO₂ la valori de circa 40 – 42 %, în timp ce concentrația de H₂S se situează în domeniul 30 – 33 ppm, valori considerate după sistemul de spălare a gazului.

Din tabelele de variație a parametrilor principali se poate observa faptul că, raportat la șarjele anterioare, folosind boabe de porumb măcinat, respectiv boabe de grâu măcinat, chiar și pentru cazul folosirii unui material cu proprietăți scăzute de exploatare (materiale deteriorate, deșeuri), cantitățile de biogaz obținute sunt ridicate iar concentrația de metan se apropie de o valoare de circa 68%.

5.3.2. Calculul parametrilor procesului de ardere a biogazului obținut

Pentru determinarea puterii calorifice a biogazului obținut se folosește un calorimetru Junkers. În figura 5.80. este prezentată schema de principiu a unui calorimetru Junkers [36] [42].

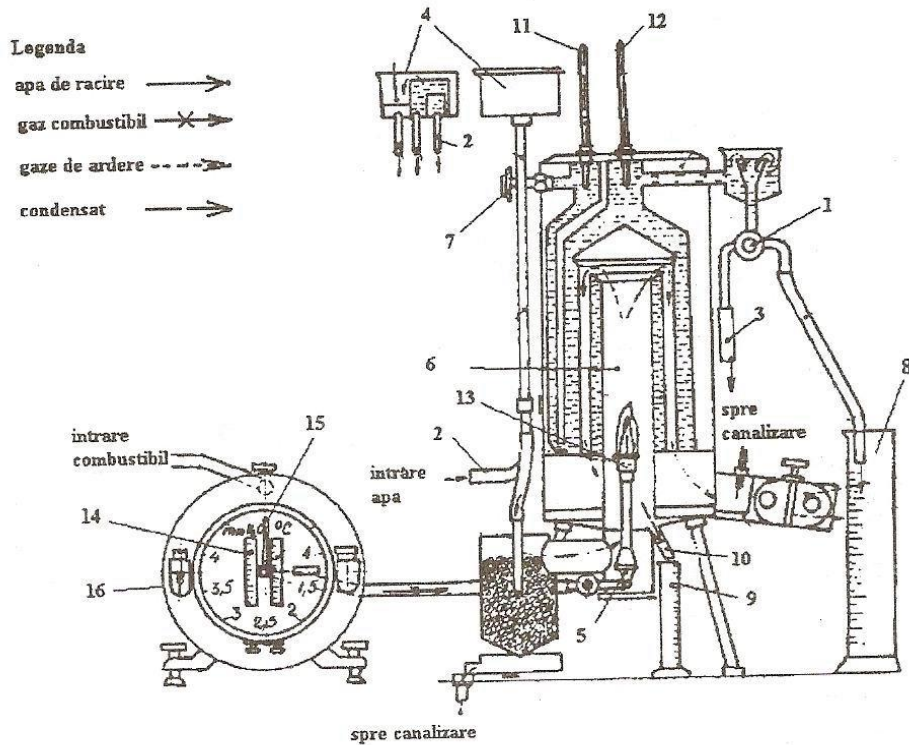


Figura 5.80. - Schema instalației pentru determinarea puterii calorifice [42]

1 - robinet distribuie apă, 2 - conductă intrare apă, 3 - conductă spre canalizare, 4 - vas tampon, 5 - rondea, 6 - camera de combustie, 7 - robinet reglare debit apă, 8 - vas gradat din sticlă, 9 - cilindru gradat, 10 - racord, 11, 12, 15 - termometre, 14 - manometru diferențial, 16 - contor de gaz

Relațiile de calcul [42] pentru determinarea puterii calorifice sunt :

$$H_S \cdot V_0 = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1) \quad (5.2.)$$

H_S - puterea calorifică superioară [J/m^3_N];
 m - capacitatea de apă măsurată în calorimetru [kg];
 c - capacitatea termică masică a apei [$J / kg \cdot K$];
 t_1, t_2 - temperaturile apei la intrare și ieșire din calorimetru [$^{\circ}C$];
 V_0 - volumul de gaz ars raportat la starea normală [m^3_N].

Valoarea puterii calorifice superioare se calculează astfel:

$$H_s = \frac{m \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{V_0} \text{ [kJ/m}^3\text{N]} \quad (5.3.)$$

$$V_0 = V \frac{T_0}{T} \frac{p}{p_0} \text{ [m}^3\text{N]} \quad (5.4.)$$

V – volumul de gaz ars pentru m kg de apă în m³_N
 T, p – parametrii de stare ai gazului combustibil citiți la aparatele de pe
 contor;

T₀, p₀ – parametrii de stare la condițiile fizice normale.

Puterea calorifică inferioară se determină cu relația:

$$H_i = H_s - \frac{r \cdot w}{V_0} \text{ [kJ/m}^3\text{N]} \quad (5.5.)$$

r – 2260 kJ / kg – căldura de vaporizare a apei la presiunea atmosferică;
 w – cantitatea de condensat din gazele de ardere [kg].

Datorită faptului că producția de biogaz pentru șarjele în care s-a folosit rumeguș a prezentat valori reduse din punct de vedere al cantităților produse, iar șarja în care s-au folosit boabe de porumb măcinate a prezentat cea mai mare cantitate de gaz produsă, se va pune în evidență puterea calorifică a biogazului obținut din această ultimă șarjă.

Pentru o valoare măsurată de metan de circa 66% în volum și circa 34.5% bioxid de carbon din biogazul obținut, s-au obținut următoarele valori:

t_{gaz} = 25°C cantitate apă măsurată = 2 kg
 p_{atm} = 1007 mbar
 suprapresiunea = 2 mbar
 p = 1009 mbar
 p₀ = 1013 mbar
 V = 1,5 * 10⁻³ m³
 t₁ = 23°C
 t₂ = 27.2 °C

Din relația (5.4.) se determină valoarea lui V₀:

$$V_0 = 1,368 \text{ m}^3\text{N}$$

Din relația (5.3.) se determină valoarea puterii calorifice superioare:

$$H_s = 25789 \text{ kJ /m}^3\text{N}$$

Cantitatea de condensat obținută a fost w = 3 mg = 3 * 10⁻³ kg

Din relația (5.5.) se determină valoarea puterii calorifice inferioare:

$$H_i = 20833 \text{ kJ /m}^3\text{N}$$

5.3.3. Determinarea puterii calorifice a deșeurii rezultat în urma procesului de fermentație anaerobă

Pentru determinarea puterii calorifice (superioare și inferioare) s-a folosit experimental bomba calorimetrică model IKA C 5000, în cadrul determinărilor realizate la laboratoarele Ofi din Viena, Austria.



Figura 5.81. – Vedere din față echipament determinare putere calorifică



Figura 5.82. – Detaliu echipament determinare putere calorifică



Figura 5.83. – Mostră reziduu rumeguș fag pregătită pentru introducerea în bomba calorimetrică



Figura 5.84. – Spălarea bombei calorimetrice cu apă distilată

În figurile 5.81 și 5.82. sunt prezentate imagini ale echipamentului folosit pentru determinarea puterii calorifice a deșeurii rezultat în urma procesului de fermentație anaerobă.

În figura 5.83. este prezentată o mostră de pelet de rumeguș de fag folosită pentru determinarea puterii calorifice iar în figura 5.84. este prezentat un detaliu din cadrul etapelor efectuate pentru determinarea puterii calorifice și anume spălarea bombei calorimetrice cu apă distilată.

Pentru realizarea determinărilor, mostrele trebuie pregătite în prealabil, realizându-se pastile de material prin presare la rece.

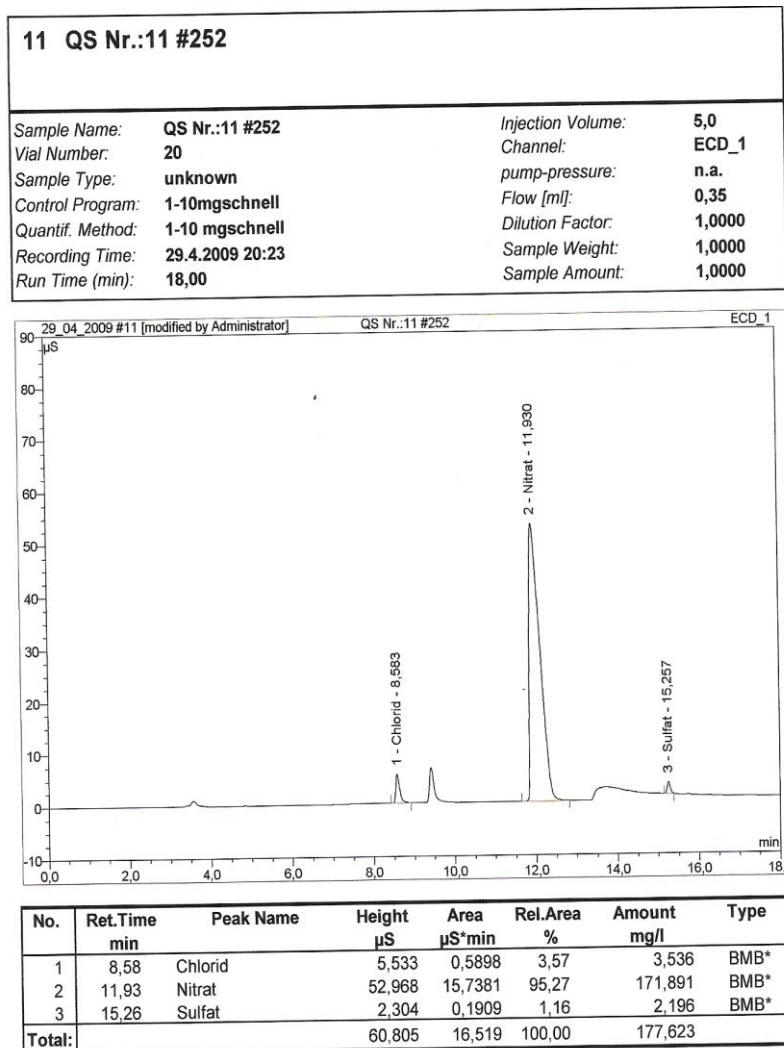


Figura 5.85. – Aspectul unei diagrame rezultate din analiza folosind cromatografia ionică

După desfășurarea procesului de ardere a mostrei în interiorul bombei, s-a realizat spălarea acesteia cu apă distilată, iar în calculul puterii calorifice superioare și inferioare s-a ținut cont de prezența clorurilor, nitraților și sulfatilor.

În figura 5.86. este prezentat un protocol de calcul folosit pentru determinarea puterii calorifice.

La determinarea puterii calorifice s-a ținut cont de valorile prestabilite de proces, respectiv de corecțiile făcute prin adaosul concentrațiilor celor trei elemente chimice mai sus prezentate (nitrați, cloruri și sulfati).

Prin introducerea valorilor cunoscute în protocolul de calcul al bombei rezultă următoarele valori finale pentru puterea calorifică superioară și inferioară.

În tabelul 5.37. sunt prezentate valorile rezultate ale puterii calorifice superioară și inferioară pentru reziduurile rezultate în urma procesului de fermentație anaerobă.

Tabel 5.37. – Valori putere calorifică superioară și inferioară pentru reziduurile de biomasă obținute [70]

Nr. Crt.	Mostră	Putere calorifică superioară [kJ / kg]	Putere calorifică inferioară [kJ / kg]
1	Reziduu rumeguș fag – reactor 1	13195	11759
2	Reziduu rumeguș fag – reactor 2	12987	11463
3	Reziduu rumeguș tei – reactor 1	13254	11843
4	Reziduu rumeguș tei – reactor 2	13146	11721
5	Reziduu amestec boabe de grâu și porumb – reactor 1	7356	6094
6	Reziduu amestec boabe de grâu și porumb – reactor 2	7335	6044
7	Reziduu boabe porumb – reactor 1	4972	3673
8	Reziduu boabe porumb – reactor 2	4936	3645

Din tabelul de mai sus rezultă că reziduu caracteristic masei lemnoase are un bun potențial de co-incinerare în combinație cu elemente cu putere calorifică ridicată, în timp ce reziduu de natură agricolă are un potențial scăzut de ardere, materialul organic consumându-se aproape în întregime de-a lungul procesului de fermentație anaerobă.

5.4. Posibilități de utilizare a biogazului în motoarele cu ardere internă

Generarea de energie folosind motoare alimentate cu gaz este răspândită la nivel larg în lume, în special în zone în care nu există o infrastructură de natură electrică, pentru generarea de energie.

Co-generarea de căldură și energie duce la creșterea eficienței și oferă avantaje economice și ecologice [40]. Din punct de vedere al protecției mediului, un mod de a reduce poluarea este folosirea biocombustibililor, în cazul nostru, considerându-se biogazul, datorită faptului că acesta este neutru din punct de vedere al emisiilor de CO₂ și provine, așa cum s-a arătat în celelalte capitole din deșeurii organice prin fermentație, astfel putându-se valorifica potențialul unor materiale altfel inutilizabile [10].

Acest studiu teoretic prezintă o metodă de evaluare a reducerii emisiilor atunci când este folosit biogazul. Sunt luate în considerare mai multe metode de

operare folosind diverse rapoarte aer – combustibil pentru motoare staționare. Valorile CO₂, CO și NO_x sunt calculate și este evaluat conținutul de metan din combustibil.

Motoarele cu aprindere prin scânteie alimentate cu gaz pot atinge o eficiență electrică de 45% datorită caracteristicilor speciale pe care acestea le au, din acestea putându-se menționa optimizarea arderii și o eficiență mecanică ridicată prin reducerea pierderilor [33].

Motoarele pe gaz de tipul MAN de 5 – 8 MW 32/40 PGI cu un sistem de aprindere de nouă generație combină avantajele motoarelor diesel, o eficiență ridicată, cu conținutul redus de emisii produse de motoarele alimentate cu gaz.

Considerând modul de operare, care presupune injectarea unei cantități reduse de gaz în pre-cameră pentru a fi aprins cu ajutorul contactului cu o suprafață fierbinte, eficiența electrică este de 46% în timp ce emisiile de NO_x sunt sub 250 mg / m³N la 5% O₂ [34].

Luând în considerare sursele de combustibil metanul este cel mai acceptabil din punct de vedere al impactului asupra mediului, cu un nivel minim de emisii de CO₂. În timp ce motoarele diesel au randamente ridicate de până la 50% [34], emisiile de oxizi de azot sunt ridicate și necesită un sistem de tratament al gazelor evacuate prin reducere selectivă catalitică. Motoarele alimentate cu gaz prezintă emisii de CO₂ mai reduse, precum și emisii foarte scăzute de NO_x, sub 1g /kWh fără a fi necesar vreun tratament al gazelor evacuate.

Luând în considerare biogazul, această sursă de energie este neutră din punct de vedere al emisiilor de CO₂ și este obținută prin fermentarea biomasei. Chiar și așa, conversia unui motor realizat să funcționeze pe benzină la biogaz necesită o evaluare a valorilor emisiilor și alegerea celei mai bune strategii de exploatare.

Motoarele cu aprindere prin scânteie reprezintă o sursă de poluare a aerului datorită gazelor ce conțin oxizi de azot (NO și NO₂, denumiți general NO_x), monoxid de carbon (CO) și compuși organici nearși sau hidrocarburi parțial arse (HC) [35].

Din cele două specii existente (NO și NO₂), NO₂ este predominant, cantitatea de NO ce se regăsește în gazele de evacuare fiind dată de cinetica reacțiilor de formare și disociere, adesea denumită mecanismul Zeldovich.

Gradul de formare a NO poate fi modelat folosind ecuația (5.6) [32].

$$\frac{d[NO]}{dt} = \frac{6 \cdot 10^{16}}{T^{0,5}} \frac{1}{e^{69090/T}} [O_2]_e^{0,5} [N_2]_e \quad (5.6)$$

unde $d[NO]$ reprezintă variația concentrației molare de NO măsurată în mol/cm³s, dt reprezintă variația timpului în secunde, T reprezintă temperatura locală în K, iar $[O_2]_e$ și $[N_2]_e$ reprezintă concentrațiile de oxigen și azot la echilibru chimic, măsurate în mol/cm³. O puternică dependență între formarea NO și temperatură este evidentă prin termenul exponențial. Temperatura locală în timpul arderii poate fi simulată folosind un model Flamelet [18] care oferă informații legate de scăderea presiunii efective cu descreșterea conținutului de metan, după cum se poate observa din figura 5.87.

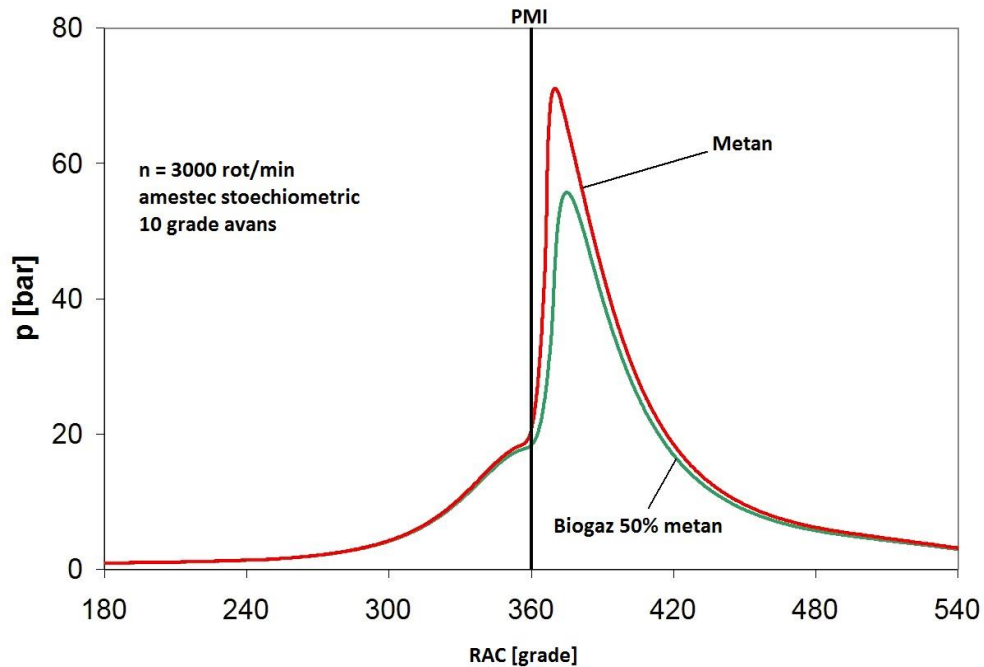


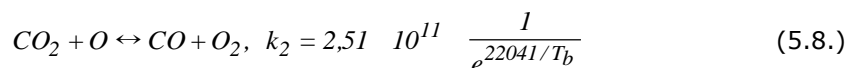
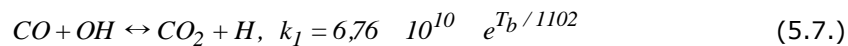
Figura 5.87 - Presiunea simulată corelată cu rotația arborelui cotit pentru metan și biogaz cu 50% conținut de metan în timpul cursei de comprimare și destindere [62]

Un alt factor de influență îl reprezintă raportul de echivalență sau coeficientul excesului de aer (λ) cuantificat de concentrațiile molare de echilibru pentru O_2 și N_2 . Această influență devine importantă la exploatarea motorului folosind diverse amestecuri sau diverse tipuri de combustibili [55].

Recircularea gazelor de evacuare afectează indirect formarea NO prin coborârea valorilor de temperatură în timpul arderii, reducând astfel într-o mare măsură emisiile de NO_x chiar și atunci când este folosit combustibil îmbogățit în hidrogen [22].

Valorile emisiilor de monoxid de carbon sunt controlate cinetic, pe măsură ce reacția de oxidare la CO_2 este încetinită, comparativ cu formarea CO.

Concentrațiile de CO măsurate pentru amestecuri bogate sunt în corelare cu valorile de echilibru estimate, în timp ce pentru amestecuri stoechiometrice, este necesară o corecție (5). Oxidarea CO și mecanismul de formare pot fi modelate pentru diverși coeficienți, așa cum sunt descrise de ecuațiile (5.7.) și (5.8.) [61].



unde k_1 și k_2 sunt coeficienții de reacție, măsurați în $m^3/kmol \cdot s$, iar T_b reprezintă temperatura gazului ars în K.

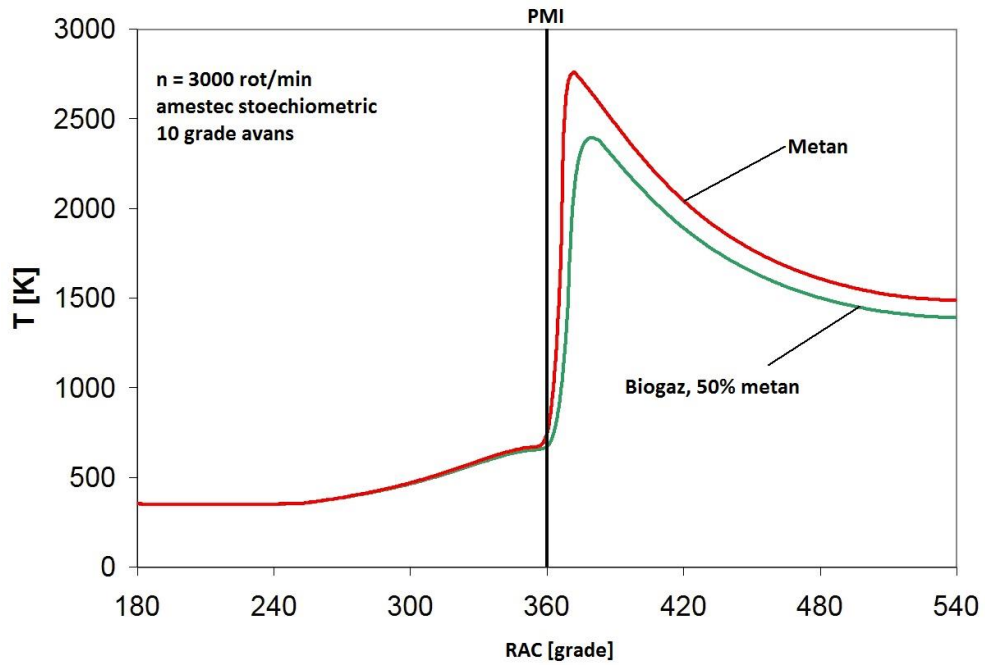


Figura 5.88. – Valorile simulate de temperatură corelate cu rotația arborelui cotit pentru metan și biogaz cu 50% conținut de metan în timpul cursei de comprimare și destindere [62]

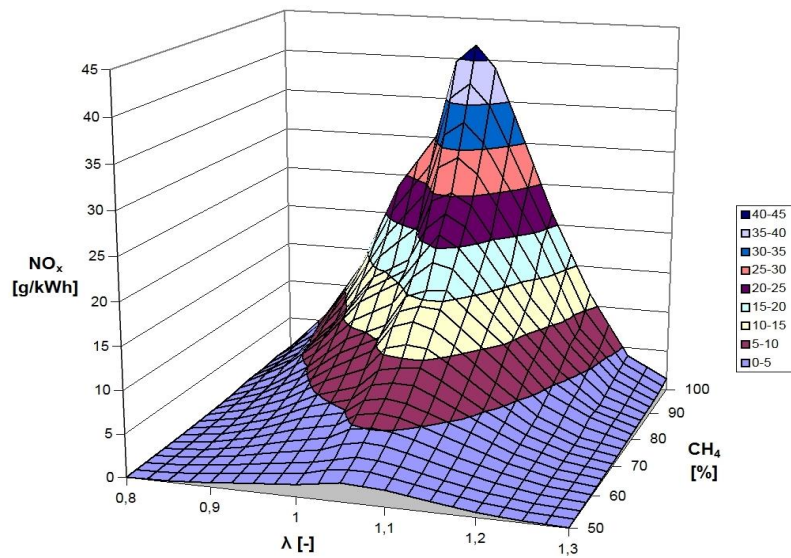


Figura 5.89. – Emisiile calculate de NO_x pentru diferite calități ale biogazului, viteza motorului de 3000 rot / min [62]

Prezența CO_2 în biogaz are un efect similar asupra emisiilor NO_x ca și recircularea gazelor arse, valorile temperaturilor în timpul arderii sunt mai reduse pentru biogaz cu un conținut ridicat de CO_2 , așa cum poate fi observat din figura 5.88.

O reducere semnificativă a gradului de formare a NO se observă pentru toată plaja corespunzătoare coeficientului excesului de aer pe măsură ce biogazul este îmbogățit în CO_2 . Desigur, prezența CO_2 duce la o scădere a randamentului datorită prelungirii perioadei de ardere cauzată de o viteză mai mică a flăcării și de o creștere a emisiilor de hidrocarburi nearchive [64]. Modelul prezintă un vârf pentru valorile aferente emisiilor de NO_x pentru amestecuri ușor sărace așa cum se poate observa în figura 5.89. În legătură cu datele experimentale. Valorile maxime simulate, sunt în orice caz mai mari decât cele măsurate [64].

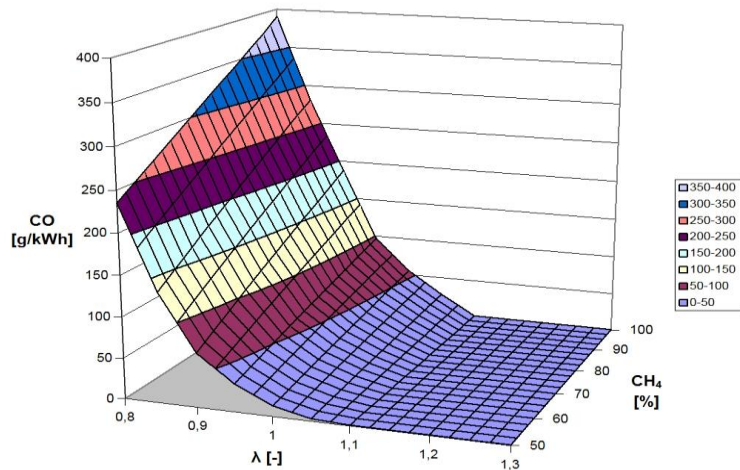


Figura 5.90. – Emisiile calculate de CO pentru diferite calități ale biogazului, viteza motorului de 3000 rot / min [62]

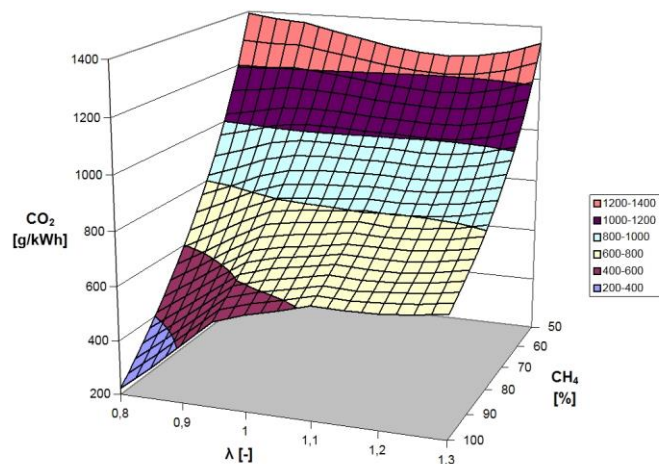


Figura 5.91 - Emisiile calculate de CO_2 pentru diferite calități ale biogazului, viteza motorului de 3000 rot / min [62]

Emisiile de CO scad pe măsură ce conținutul de metan scade (figura 5.90.), în special datorită temperaturilor mai scăzute de ardere [64] și datorită faptului că este mai puțin carbon disponibil pentru oxidare.

În acest caz se poate observa că există mai puțin CO₂ în gazele de evacuare pe măsură ce conținutul de metan crește (figura 5.91.).

Luând în considerare biogazul, calitatea acestuia este un factor important, cu o influență deosebită asupra randamentului, precum și a emisiilor produse. Un conținut ridicat în metan crește eficiența și valorile temperaturii de ardere, corelate cu emisii ridicate de NO_x și CO.

Trebuie notat faptul că biogazul este o sursă de energie neutră din punct de vedere al prezenței emisiilor de CO₂, astfel fiind recomandat pentru a fi folosit în motoarele cu ardere internă, datorită economiei de CO₂ rezultate.

Având în vedere caracterul acestui biocombustibil, se poate calcula o reducere a cantității de CO₂ care ar ajunge în atmosferă în cazul utilizării combustibililor fosili. Pentru generatoare electrice de putere mică antrenate de motoare cu aprindere prin scânteie se utilizează în general benzină, gaz petrol lichefiat (GPL) sau gaze naturale [39]. Benzina are avantajul unei densități energetice ridicate și faptul că nu prezintă dificultăți la stocare. GPL-ul trebuie lichefiat pentru a oferi o densitate energetică corespunzătoare, iar utilizarea gazelor naturale este practică doar în cazul în care motorul se alimentează de la rețeaua de distribuție, stocarea fiind foarte dificilă [41].

Puterea electrică generată prin utilizarea unui motor cu aprindere prin scânteie (MAS) se poate calcula cu relația (5.9.), unde randamentul efectiv (η_e) ia valori de ~ 30 % în regim de funcționare la sarcină plină. Valori mai ridicate ale acestui randament (de până la ~ 39 % și chiar mai ridicate) se pot obține pentru MAS supraalimentate care funcționează cu amestec aer-combustibil foarte sărac, la turație scăzută de ~ 1500 rot/min și care au un raport de comprimare ridicat. Acest tip de motoare sunt limitate însă la funcționarea cu gaze naturale datorită tendinței ridicate spre detonație [41] [76].

$$P_e = \eta_g \cdot \eta_e \cdot \dot{m}_{comb} \cdot Q_i \quad (5.9.)$$

unde:

- P_e – este puterea electrică [W],
- η_g – randamentul generatorului electric [-],
- η_e – randamentul efectiv al motorului [-],
- \dot{m}_{comb} – debitul de combustibil [kg/s],
- Q_i – puterea calorică a combustibilului [J/kg].

Motorul cu ardere internă care antrenează generatorul electric necesită mai multe operațiuni de întreținere și reparații la intervale regulate de timp. Astfel, după un anumit număr de ore de funcționare este necesară schimbarea uleiului, a diferitelor componente ale sistemului de aprindere, schimbarea filtrelor etc. De asemenea, la intervale mai mari de timp sunt necesare reparații capitale care presupun schimbarea mai multor piese ale motorului. Toate aceste operații reduc timpul efectiv în care motorul poate fi exploatat, iar timpul efectiv de funcționare se reduce comparativ cu durata de viață a agregatului.

Deoarece biogazul se obține din biomasă care a fixat dioxidul de carbon din atmosferă, acest biocombustibil este practic neutru din punct de vedere al emisiei

de CO₂. Astfel, se produce energie verde, iar dacă se produce electrică și termică în centrale de cogenerare, randamentele sunt foarte ridicate, iar economia de combustibil fosil realizată duce la evitarea eliberării unor cantități suplimentare de CO₂ în atmosferă.

Energia electrică ce poate fi produsă depinde de dimensiunea instalației de producere a biogazului. Pentru instalații de biogaz de mici dimensiuni, cum este și cazul instalației experimentale pe care s-au efectuat măsurătorile, puterea motorului cu ardere internă este de ordinul 2-5 kW. Pentru o putere efectivă a motorului (P_e) de 2,2 kW, un randament efectiv (η_e) al motorului cu ardere internă de 30 %, un coeficient de funcționare efectivă (η_f) de 76 % și un randament al generatorului electric (η_g) de 98 % se poate face o comparație a emisiei de CO₂ (tabelul 5.38.) în cazul utilizării benzinei ($Q_i \sim 43500$ kJ/kg) sau a gazelor naturale ($Q_i \sim 50000$ kJ/kg). Evident în cazul utilizării biogazului emisia de CO₂ este practic nulă, ceea ce înseamnă o reducere a emisiei de dioxid de carbon. Se observă o valoare mai ridicată a emisiei anuale de CO₂ în cazul utilizării benzinei comparativ cu gazele naturale, fapt care se explică prin conținutul mai mare de carbon al benzinei ($\sim 0,854$ kg_C/kg_{comb}) comparativ cu metanul (0,75 kg_C/kg_{comb}), principala componentă a gazelor naturale.

Tabel 5.38. Emisia anuală de CO₂ calculată

Tip combustibil	P_e [kW]	η_e	η_g	η_f	m_{comb} [kg]	Emisie CO ₂ [t/an]
Benzină	2,2	0,3	0,98	0,76	7131	22,329
Gaz metan					6203	17,058

Evident, în cazul unei instalații în care se produce energie electrică, iar prin utilizarea unui schimbător de căldură montat pe traseul gazelor de evacuare, se recuperează o parte din căldura evacuată din motor, se pot obține randamente foarte ridicate în regim de cogenerare [40], iar potențialul de reducere a emisiei de CO₂ este mult mai ridicat, față de cazul în care se utilizează un MAS pentru a genera energie electrică și o centrală termică pentru a obține energie termică. În general randamentul schimbătoarelor de căldură (η_{sc}) se situează la valori maxime de ~ 70 %, însă această valoare variază mult în funcție de parametrii la care este exploatat acest mijloc de recuperare a căldurii conținută în gazele de evacuare. Un alt aspect important este evaluarea necesarului de căldură pentru menținerea unei temperaturi corespunzătoare în bioreactor astfel încât să fie asigurat un mediu propice dezvoltării bacteriilor metanogene. Astfel, deși randamentul de producere a energiei în regim de cogenerare are valori ridicate (în jur de 80 %) [46], randamentul global al instalației este mai mic datorită pierderii de căldură necesară pentru a menține temperatura optimă în rezervoarele de fermentație.

Corelat cu valorile obținute, conform ANRE (Asociația Națională pentru Reglementarea Energiei), la nivelul anului 2008, emisia de CO₂ evitată prin producerea de energie din surse regenerabile a fost de circa 74964 tone CO₂ [91].

6. CONCLUZII GENERALE

6.1. Conținutul tezei

Teza de doctorat intitulată „Contribuții teoretice și experimentale privind producerea de biogaz din deșeuri de biomasă” este structurată pe 6 capitole, sintetizând în cadrul acestora abordarea problematicii modului de utilizare a energiilor regenerabile, cu specific pe producerea biogazului din biomasă, în contextul acutizării problematicei energetice la nivel local, regional și mondial. În cele ce urmează se va prezenta conținutul tezei pe capitole.

În primul capitol „Aspecte generale privind necesitatea folosirii energiilor regenerabile” sunt evidențiate elementele de generalitate conexe cu diversele tipuri de energii regenerabile folosite în prezent, necesitatea studiului realizat în cadrul tezei, evidențierea potențialului biomasei ca sursă regenerabilă de energie, precum și obiectivele folosirii biogazului ca și combustibil fosil.

În cel de-al doilea capitol, „Efecte pozitive ale folosirii biomasei în vederea obținerii biogazului” sunt menționate elemente de generalitate privind biomasa ca materie primă în vederea posibilităților de obținere de biogaz, prezentarea celor două categorii principale de biomasă : agricolă și silvică, prezentarea câtorva date caracteristice privind diferite sorturi de biomasă, precum și etapele de pregătire a biomasei în vederea valorificării acesteia prin producerea de biogaz,

În cel de-al treilea capitol „Obținerea biogazului din biomasă” sunt prezentate conceptele privind organizarea procesului de obținere a biogazului, caracteristicie biogazului posibil de obținut, elementele prezente în compoziția biogazului, o clasificare a instalațiilor realizate în scopul obținerii de biogaz, modele de procese pentru obținerea biogazului prin fermentație anaerobă, parametri de influență asupra procesului de fermentație anaerobă, precum și exemple de instalații ce folosesc biomasă în scopul obținerii de biogaz prin fermentație anaerobă.

În capitolul patru, „Descrierea instalațiilor experimentale și a echipamentelor conexe” sunt prezentate cele două instalații existente în cadrul Laboratorului de Combustibili și Investigații Ecologice al Facultății de Mecanică din cadrul Universității Politehnica din Timișoara, prima fiind o instalație pilot realizată în baza brevetului de invenție numărul 122047, "Procedeu și Instalație pentru obținerea biogazului din biomasă" , iar cea de-a doua reprezentând un model la scară redusă pentru studierea în detaliu a desfășurării procesului de fermentație anaerobă. În cadrul capitolului sunt prezentate atât echipamentele aferente celor două instalații cât și echipamentele folosite pentru monitorizarea procesului de fermentație și a determinării caracteristicilor biogazului obținut.

În capitolul cinci „Măsurători și rezultate experimentale” sunt prezentate seturile de măsurători realizate atât pe instalația de mici dimensiuni, cât și pe instalația pilot. Măsurătorile includ atât determinarea caracteristicilor biomasei folosite în cadrul procesului, monitorizarea procesului de fermentație anaerobă, monitorizarea parametrilor biogazului obținut, determinarea puterii calorifice a biogazului pentru șarja din care s-a obținut biogazul cu cele mai bune caracteristici de calitate și cantitate, precum și determinarea puterii calorifice pentru deșeurile

rezultat în urma procesului de fermentație anaerobă. Capitolul mai cuprinde și un studiu asupra posibilităților de utilizare a biogazului în motoarele cu ardere internă.

Capitolul șase, „Concluzii generale” cuprinde concluziile privind cercetările teoretice, investigațiile experimentale, precum și contribuțiile teoretice și experimentale ale autorului.

6.2. Concluzii privind cercetările teoretice

Prin parcurgerea literaturii de specialitate în domeniu s-au conturat următoarele concluzii :

1) Biogazul este una dintre tipurile de energii neconvenționale de viitor, una dintre modalitățile de producere a energiei folosite încă din vechime și care are tendința de a căpăta un impact tot mai mare în contextul prezent legat de reducerea cantităților de combustibili fosili.

2) Biomasa reprezintă o resursă practic inepuizabilă de energie ce poate fi folosită parțial sau total pentru producerea de biogaz, atât prin fermentație anaerobă cât și prin alte procedee (fermentație aerobă, gazificare), dar tehnologia aferentă procesului de fermentație anaerobă este una dintre cele mai folosite în prezent;

3) Densitatea energetică a biomasei, mult mai redusă decât a combustibililor clasici face neeconomic transportul și, ca urmare, se recomandă folosirea ei la locul de producere sau în instalații individuale mici sau medii situate în apropiere;

4) Cerințele de preparare a biomasei sunt dictate de sursele ei de proveniență, deoarece calitatea materiei prime poate varia în limite largi în ceea ce privește caracteristicile fizico-chimice și implicit cele energetice. Cele mai importante operații constau în: reducerea preliminară a dimensiunilor, transportul și depozitarea, eliminarea materialelor nedorite, iar în unele cazuri reducerea conținutului de cenușă, uscarea totală sau parțială și reducerea secundară a dimensiunilor înainte de incinerare;

5) Instalațiile de biogaz pot fi de diferite mărimi, astfel asigurându-se necesarul energetic atât la nivel individual (apartament, fermă) cât și la nivel industrial, cu costuri de investiție amortizabile într-o perioadă de timp rezonabilă;

6) La nivel regional și global se stimulează investițiile legate de realizarea de instalații cu scopul producerii de biogaz, o orientare la care și țara noastră ar trebui să adere în condițiile actuale;

7) Puritatea biogazului obținut este în strânsă legătură cu tipul de biomasă folosit, iar un element foarte important de monitorizat îl reprezintă urmele de gaze periculoase ce sunt prezente (H_2S);

8) Parametrii principali de influență asupra procesului de fermentație anaerobă sunt temperatura la care se realizează procesul, pH – ul suspensiei, compoziția chimică elementară a materialului folosit, precum și natura biomasei;

9) Raportat la substratul folosit, este important de cunoscut atât raportul dintre masa solidă și cea lichidă folosit, cât și raportul Carbon / Azot

10) Spălarea biogazului obținut prin pulverizarea de apă în filtre speciale ajută la creșterea procentului de metan din compoziția evacuată, procent a cărui influență se regăsește la calculul puterii calorifice a combustibilului gazos.

6.3. Concluzii privind investigațiile experimentale

Pentru a vizualiza rezultatele experimentale determinate în urma monitorizării, în figurile 6.1., 6.2., 6.3., 6.4., 6.5., 6.6., 6.7., respectiv 6.8. se vor reprezenta corelările dintre valorile presiunilor și cantitățile de gaz rezultate pentru cele două rezervoare în cazul fiecărei șarje.

Din graficele prezentate mai jos reiese importanța pe care o are tipul de biomasă folosit pentru a produce biogaz prin fermentație anaerobă, observându-se clar diferența între valorile obținute pentru primele două șarje comparativ cu ultimele două.

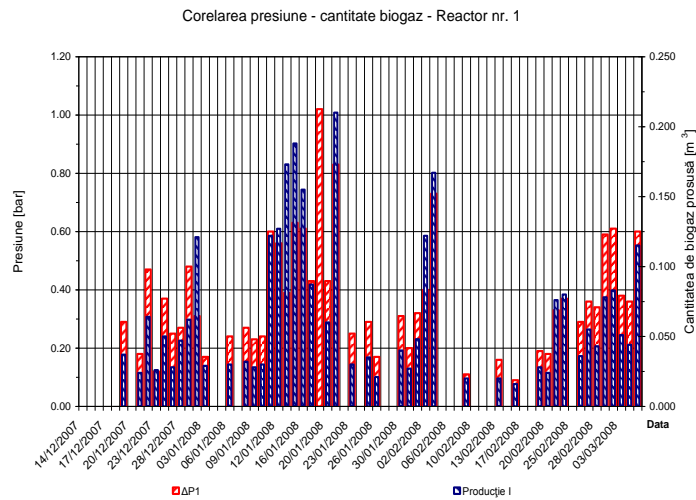


Figura 6.1. – Corelarea presiune - cantitate gaz, Reactor 1 – șarja cu rumeguș de fag

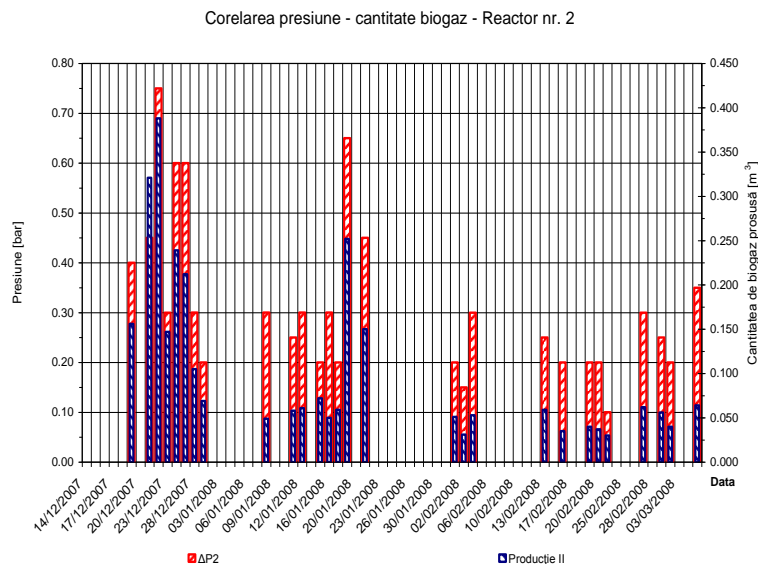


Figura 6.2. – Corelarea presiune - cantitate gaz, Reactor 2 – șarja cu rumeguș de fag

Corelarea presiune - cantitate biogaz- Reactor nr. 1

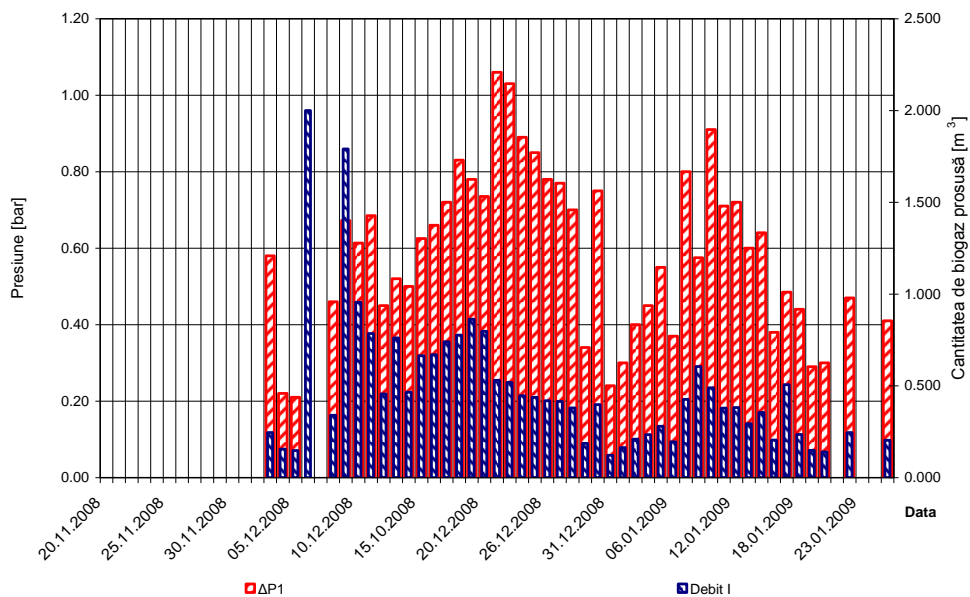


Figura 6.5. – Corelarea presiune - cantitate gaz, Reactor 1 – șarja cu amestec de boabe de porumb și grâu deteriorat

Corelarea presiune - cantitate biogaz - Reactor nr. 2

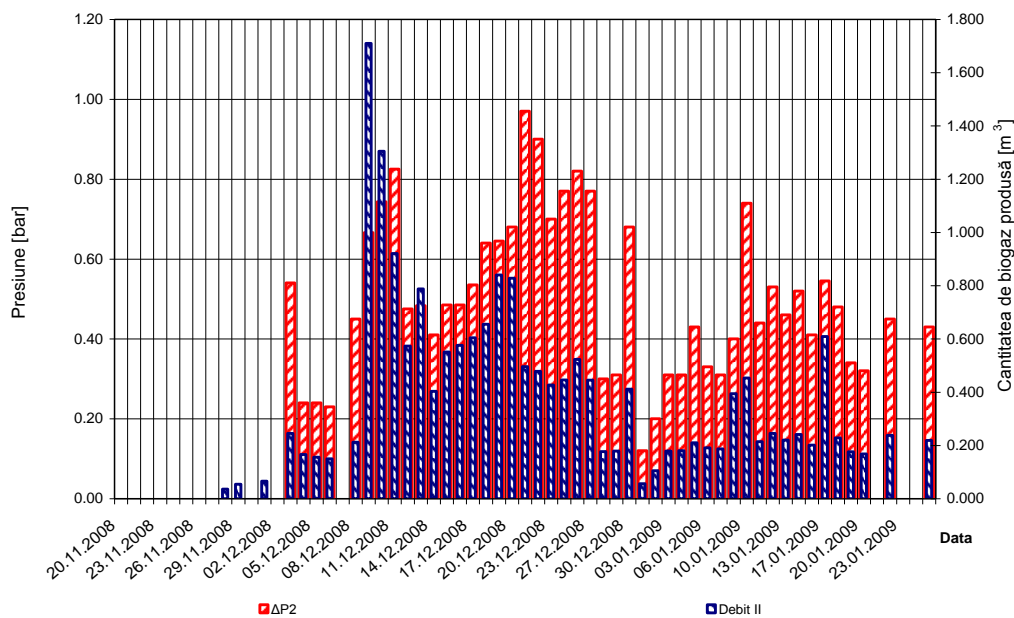


Figura 6.6. – Corelarea presiune - cantitate gaz, Reactor 2 – șarja cu amestec de boabe de porumb și grâu deteriorat

Din graficele prezentate mai sus se evidențiază faptul că materialul folosit este deosebit de important relativ la tipul de biomasă folosit, raportul Carbon / Azot, durata de desfășurare a șarjei, precum și raportul dintre materialul solid și volumul de lichid introdus. Ultimele două șarje au produs o cantitate mult mai mare decât primele două, iar acest motiv implică găsirea de soluții pentru a rezolva problema degradării dificile a lanțurilor de ligno – celuloză ce se regăsesc în masa lemnoasă. Se poate încerca realizarea unei hidrolize acide, dar prin procesul de neutralizare a acidului rezultă săruri care inhibă procesul de producere a biogazului și astfel producția este redusă.

În figura 6.9. se prezintă valorile comparative pentru cele patru șarje, evidențindu-se faptul că pentru deșeu de material lemnoș valorile corespunzătoare sunt mai reduse prin existența unui procent mare de ligno-celuloză, în timp ce pentru deșeu de natură cerealieră, conținutul de amidon joacă un rol important în producerea de gaz metan. Valorile nu includ cantitățile de biogaz folosite pentru analize.

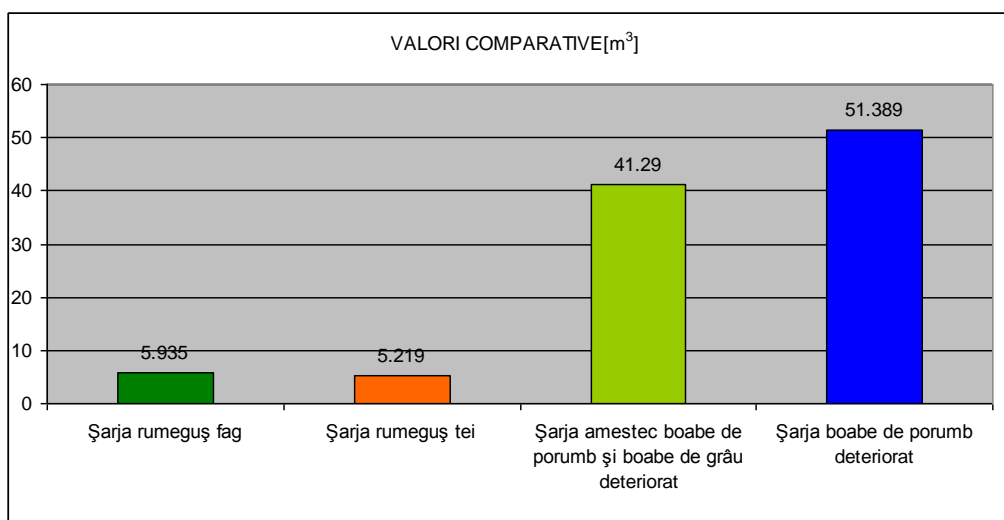


Figura 6.9. – Valorile comparative pentru producția de biogaz în cazul celor patru șarje

Din diagrame se poate observa că folosind reziduuri de material lemnoș, datorită faptului că acesta nu se descompune decât foarte greu și incomplet, procesul se desfășoară cu greutate, descompunerea este minimă, iar cantitățile obținute sunt reduse.

Datorită faptului că valoarea energetică a deșeurilor este relativ ridicată, pentru o valorificare a întregului potențial energetic al acestuia se recomandă co-incinerarea cu materiale cu putere calorifică ridicată, astfel încât întreaga cantitate existentă să fie utilizată.

De asemenea, se observă importanța deosebită ce trebuie acordată procesului de epurare a biogazului, pentru a obține o cât mai bună calitate a acestuia.

Raportat la aplicațiile pe care biogazul le poate avea pentru procesul de ardere, folosind biogaz pentru a produce energie și căldură într-o instalație de co-generare se pot atinge niveluri ridicate ale randamentului.

Considerând conversia combustibilului folosit pentru antrenarea motorului de la benzină la biogaz, o evaluare corespunzătoare a valorilor emisiilor ar trebui să scoată în evidență cea mai bună strategie de exploatare a motorului. Calitatea biogazului este un factor important, cu o influență deosebită asupra randamentului, precum și a emisiilor produse. Un conținut ridicat în metan crește eficiența și valorile temperaturii de ardere, corelate cu emisii ridicate de NO_x și CO. Motoarele exploatate cu biogaz de calitate redusă prezintă emisii ridicate de CO_2 , corelate cu un nivel ridicat al hidrocarburilor nearchive care sunt eliminate în atmosferă datorită unei dezvoltări limitate a procesului de ardere în prezența CO_2 conținut în biogaz.

6.4. Contribuții teoretice și experimentale

1) Parcurgerea literaturii de specialitate, ce a permis sistematizarea stadiului actual al cunoașterii în domeniul producerii biogazului din deșeuri de biomasă, în cadrul echipei de cercetare a Laboratorului de Combustibili și Investigații Ecologice al Facultății de Mecanică din Timișoara;

2) Implicarea activă în activitatea de cercetare realizată în cadrul catedrei, în diverse granturi și contracte, printre acestea putându-se evidenția grantul care a avut ca scop realizarea instalației pilot pentru obținerea de biogaz din biomasă prin fermentație anaerobă;

3) Montajul și realizarea operațiilor de punere în funcțiune a instalației pilot de producere a biogazului prin fermentație anaerobă;

4) Realizarea unei instalații de mici dimensiuni pentru studierea în detaliu a procesului de fermentație anaerobă;

5) Determinarea cu ajutorul unei lupe binoculare a aspectului materialului degradat, precum și corelarea influenței procesului de descompunere cu producerea de biogaz;

6) Realizarea de analize de laborator pentru diverse sorturi de biomasă și deșeuri de biomasă. Aceste analize au fost realizate în cadrul unui proiect european în cadrul Laboratoarelor Ofi din Viena, precum și în cadrul laboratoarelor existente în Facultatea de Mecanică. Analizele de laborator au inclus :

- determinarea conținutului de umiditate pentru biomasa folosită;
- determinarea conținutului de cenușă pentru biomasa folosită;
- determinarea conținutului de elemente majore pentru biomasa folosită;
- determinarea conținutului de metale grele pentru biomasa folosită;

7) Întreținerea instalației și aparaturii auxiliare folosirii ei, atât în timpul desfășurării procesului cât și pe durata perioadelor de staționare;

8) Monitorizarea permanentă a parametrilor procesului de fermentație anaerobă;

9) Realizarea măsurărilor pentru determinarea concentrației elementelor componente din biogazul obținut cu ajutorul gazo-analizorului DELTA 1600 S IV și a analizorului de gaze Testo 300 XXL;

- determinarea conținutului de metan;
- determinarea conținutului de bioxid de carbon;
- determinarea conținutului de hidrogen sulfurat;

10) Determinarea puterii calorifice a biogazului obținut pentru șarja cu cele mai bune proprietăți din punct de vedere calitativ și cantitativ;

11) Determinarea puterii calorifice a deșeurilor rezultate în urma procesului de fermentație anaerobă;

- 12) Evidențierea posibilităților ulterioare de utilizare a rezidului rezultat în urma procesului de fermentație anaerobă;
- 13) Prelucrarea, prezentarea și analiza rezultatelor obținute în urma măsurărilor efectuate pe instalația pilot de producere a biogazului prin fermentație anaerobă;
- 14) Trasarea unor rezultate comparative în raport cu cantitatea biogazului obținut;
- 15) Determinarea importanței conținutului de ligno-celuloză, precum și a raportului Carbon / Azot pentru substratul folosit în cadrul procesului de fermentație anaerobă, corelat cu bibliografia studiată și cu puterea calorifică determinată experimental pentru reziduul rezultat din proces;
- 16) Abordarea interdisciplinară a cercetării, prin preluarea de metode de lucru specifice domeniului mecanic și chimic;
- 17) Realizarea unui studiu teoretic corelat cu aplicațiile biogazului în motoarele cu ardere internă;
- 18) Evidențierea posibilităților de realizare a unei tehnologii care să ducă în timp, prin aplicații la nivelul motoarelor cu ardere internă, la reducerea emisiilor de CO₂ prin producerea de energie folosind resurse regenerabile.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Bănăţeanu, Ion, Barca Frumuzache, Popa Magdalena, - Chimie pentru muncitori și tehnicieni din industria chimică, Editura Tehnică București, 1977.
- [2] Bejan Mircea, Rusu Tiberiu, - O sursă de energie regenerabilă – biogazul din deșeurile organice, Buletinul AGIR, nr 1 / 2007.
- [3] Buswell, A.M., Muller, M., F., Mechanism of methane fermentation, Ind. Eng. Chems.44, 1952.
- [4] Buswell, A.M. Fundamentals of anaerobic treatment of organic wastes Sevage Ind. Wastes, 29,1957.
- [5] Călin Laurențiu, - Contribuții la optimizarea sistemelor tehnologice de uscare a produselor cerealiere, Teză de doctorat, Universitatea Politehnica din Timișoara, 2008.
- [6] Călin Laurențiu, Jădăneanț Mihai, **Cioablă Adrian Eugen**, Irimescu Adrian, Lonțis Nicolae - Considerations regarding the mathematical model for the grain drying process - Simpozion „ Transport logistică – dezvoltare postaderare, 16-17 octombrie 2008, Buletinul Științific al UPT, Seria Mecanică, Tomul 53(67), Fascicola 2, Editura Politehnica, Timișoara, 2008, ISSN: 1224-6077.
- [7] Călin Laurențiu, Jădăneanț Mihai, **Cioablă Adrian Eugen**, Irimescu Adrian, Lonțis Nicolae - Consideration sur l'échange de chaleur et de masse pendant le stockage des cereales - Simpozion „ Transport logistică – dezvoltare postaderare, 16-17 octombrie 2008, Buletinul Științific al UPTimișoara, Seria MECANICĂ, Tomul 53(67), Fascicola 2, Editura Politehnica, Timișoara, 2008, ISSN: 1224-6077.
- [8] Călin Laurențiu, Jădăneanț Mihai, **Cioablă Adrian Eugen**, Irimescu Adrian, Lonțis Nicolae - Optimizarea sistemelor tehnologice pentru uscarea produselor cerealiere - Simpozion – Filiala AGIR Timisoara,, CALITATEA PRODUSELOR SI PROCESELOR MECANICE 03-07.11.2008.
- [9] Călin Laurențiu, Popescu Francisc, **Cioablă Adrian Eugen**, Bria Nicolae - Optimisation of the drying technological systems and the adherence to the european regulations regarding pollutant emissions – A IX Conferinta cu participare Internationala AFASES 2009–Academia Fortelor Aeriene Brasov, 20–22.05.2009, ISBN 978-973-8415-67-6.
- [10] Călin Laurențiu, Irimescu Adrian, Jădăneanț Alexandru,- Research regarding the reduction of nitrate concentration in waste water discarded by the beer industry in the Timis hydrological area, Presented at the International Conference on Management and Sustainable Marine Development,

- Constanta, Romania, 15-18 May 2008, Accepted for publication in the Journal of Environmental Protection and Ecology, Sofia, Bulgaria, ISSN 1311-5065, Re No 1318/27.06.08.
- [11] **Cioablă Adrian Eugen**, Ionel Ioana, Jădăneanț Mihai, Popescu Francisc, Savu Alexandru, - State of the art on biogas from biomass residues at the unconventional energies laboratory at Politehnica University of Timisoara, Buletinul științific al UPT, seria Mecanică, Tom 52 (66), 2007, Fascicola 7, 2007, ISSN 1224-6077.
- [12] **Cioablă Adrian Eugen**, Ionel Ioana, Jădăneanț Mihai, Popescu Francisc, Dungan Luiza Isabel, Trif – Tordai Gavrilă, Savu Alexandru, - Preliminary results concerning the characteristic parameters in the process of biogas production - Buletinul științific al UPT, seria Mecanica, Tom 53 (67), Fascicola S2, 2008, ISSN 1224-6077.
- [13] **Cioablă Adrian – Eugen**, Ionel Ioana, Jădăneanț Mihai, Savu Alexandru, - Study regarding the production of biogas using biomass resulting from agricultural residues at the Unconventional Energies laboratory at Politehnica University of Timisoara, A 21-a conferință „Procesing 2008”, Beograd, 4-6 iunie 2008.
- [14] **Cioablă Adrian Eugen**, Ionel Ioana, Jădăneanț Mihai, Țenchea Adrian, Popescu Francisc, Savu Alexandru, - Preliminary data regarding the production of biogas from agricultural residues, Conferința internațională COFRET'08, Nantes, Franța, 11-13 iunie 2008, ISBN: 2.6905267.61.5.
- [15] **Cioablă Adrian Eugen**, Ionel Ioana, Pădurean Ioan, Țenchea Adrian, Popescu Francisc, Savu Alexandru, - Biogas production from agricultural residues. Test rig and results, Revista Metalurgia Internațional, volumul XIV (2009), numărul 3, pag. 40 – 44, ISSN 1582 – 2214, revistă cotate ISI.
- [16] Cioablă Adrian Eugen, Ionel Ioana, Lelea Dorin, Vetreș Ion, - Experimental study regarding the influence of the variation of main parameters upon the quality of the biogas production, Conferința "PROCESSING 2009", 10 – 12 iunie 2009, Belgrad, Serbia, CD proceedings
- [17] Constantinescu S., - Biogazul sursă de energie neconvențională Știință și tehnică, nr. 6, 1979.
- [18] Dahms R., Peters N., Stanton D. W., Tan Z., Ewald J.,- Pollutant formation modelling in natural gas SI engines using a level set based flamelet model, International Journal of Engine Research, Volume 9, Nr 1 / 2008, Pag. 1-14, ISSN 1468-0874.
- [19] Demirel Burak, Scherer Paul, -The roles of acetotrophic and hydrogenotrophic methanogens during anaerobic conversion of biomass to methane : a review, Reviews in Environmental Science and Biotechnology, Vol. 7, Nr. 2, ISSN 1572 – 9826.

-
- [20] Deublein Dieter, Steinhäuser Angelika, - Biogas from waste and renewable resources, an introduction, ISBN 978 - 3 - 527 - 31841 - 4, 2008.
- [21] Dima, M., Instalații de producerea biogazului. Știința modernă și energia. Dezvoltarea producției de energie. Editura Dacia, voi. III, 1984.
- [22] Dimopoulos P., Bach C., Soltic P., Boulouchos K.,- Hydrogen-natural gas blends fuelling passenger car engines: Combustion, emissions and well-to-wheels assessment, International Journal of Hydrogen Energy, December 2008, Volume 33, Issue 23, Pag. 7224-7236, ISSN 0360-3199.
- [23] Doboș, A. *Sonde geotermale, colectoare subterane, piloane de energie - căldură și răcoare din adâncuri* Revista Tehnica Instalațiilor, nr. 5, București, 2003
- [24] Domalski, E.S., Jobe, T.L.Jr., Milne, A. T., - Thermodynamic Data for biomass conversion and waste incineration, 1986.
- [25] Dorf C. Richard, - Technology, humans and society, ISBN 13 : 978 - 0122210907.
- [26] Dragotă Diana, Moiescu Valeriu, ș.a., - Biocarburanții în România, ISBN 973-87023-2-1.
- [27] Ebenezer Rajkumar Abraham, Sethumadhavan Ramachandran, Velraj Ramalingam, - Biogas: Can It Be an Important Source of Energy?, Environmental Science and Pollution Research, Vol. 14, Nr. 1, ISSN 1614 - 7499.
- [28] Eder Barbara, Schulz Heinz, - Biogas Praxis, Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele, Wirtschaftlichkeit, ISBN 978 - 3 - 936896 - 13 - 8, 2007.
- [29] Faaij Andre, - Modern biogas conversion technologies, mitigation and adaptation strategies for global change, Vol. 11, Nr. 1 - 3, ISSN 1599 - 0291.
- [30] Foehl Peter, - Wohin mit dem bioerdgas ?, Revista Energie & Management, ian. 2009.
- [31] Ghergheș Viorel - Energia viitorului. Surse regenerabile, Ed. Mediamira, Cluj - Napoca, 2006, ISBN (10) 973 - 713 - 146 - 0, ISBN (13) 978 - 973 - 713 - 146 - 0.
- [32] Heywood J. B.,- Internal Combustion Engines Fundamentals, Mc-Graw Hill Series in Mechanical Engineering, 1988.
- [33] Hunt J., - Cleaner, more power and heat, less fuel... today's engines must deliver. Cogeneration & On-Site Power Production, March-April 2009, Vol.10, No 2, Pag. 23-29, ISSN 1469-0349.

- [34] Hunt J., - Reciprocating engines continue to evolve. Cogeneration & On-Site Power Production, January-February 2008, Volume 10, No 1, Pag. 39-47, ISSN 1469-0349.
- [35] Ionel I., Ungureanu C., ș.a. - Termoenergetica și mediul, Ed. 2^a, Ed. Politehnica, ISBN: (10) 973-625-387-2, Timișoara, 2006.
- [36] Ionel, I., ș.a., - Introducere în termotehnică Editura politehnica, Timișoara, 2007.
- [37] Ionel Ioana, Popescu Francisc, Trif-Tordai Gavrilă, Cebucean Dumitru, **Cioablă Adrian Eugen**, Savu Alex., - Experimental results concerning the co-combustion of biomass in a stationary fluidised bed pilot with biogas support and CO₂ capture, Proceedings of the 16th European Biomass Conference & Exhibition 2-6 June 2008, Feria Valencia, ISBN: 978-88-89407-58-1.
- [38] Ionel Ioana, Ungureanu C., **Trif-Tordai G**, Țenchea A., Silaghi Diana, Constantin Carmencita - Managementul valorificării energetice a biomasei. Monografie, Ed. Politehnica, ISBN: 978-973-625-541-0, Timișoara, 2007.
- [39] Ionel Ioana, Ungureanu C. - Centrale termoelectrice. Cicluri termodinamice avansate, Ed. Politehnica, ISBN: 973-625-162-4, Timișoara, 2004.
- [40] Irimescu Adrian, Călin Laurențiu, Jădăneanț Alexandru: Aspects concerning the efficient use of biogas obtained from sewage water discarded by the beer industry, Presented at the International Conference on Management and Sustainable Marine Development, Constanta, Romania, 15-18 May 2008, Accepted for publication in the Journal of Environmental Protection and Ecology, Sofia, Bulgaria, ISSN 1311-5065, Re No 1326/27.06.08.
- [41] Irimescu Adrian – Cercetări privind influența stării amestecului carburant și a naturii combustibilului asupra performanțelor și gradului de poluare ale unui motor cu aprindere prin scânteie cu injecție în poarta supapei, Teză de doctorat, UPT, Seria 9, ISBN 978-973-625-913-5
- [42] Jădăneanț, M., – Termotehnică și mașini termice în experimente, Editura Politehnica, 2001.
- [43] Kazmerski L. Lawrence - Renewable & Sustainable Energy Reviews, Volume 12, Elsevier, ISSN: 1364-0321, 2008.
- [44] Langhton M. A., Warne D. F., - Electrical engineer's reference book, ISBN 13: 978 – 0750646376.
- [45] Laza Ioan, **Cioablă Adrian Eugen**, - Study regarding the reduction of the energetic consumption for the compressed air networks, Conferința internațională BENA, Management and sustainable marine development, 15 – 18 Mai, 2008, Constanța, România, Conferință cu caracter ISI Nr. înregistrare : 1319/27.06.08

- [46] Loniș Nicolae – Cercetări teoretice și experimentale privind cogenerarea cu motor m.a.i., funcționând cu bio-combustibil, Teză de doctorat, UPT, seria 9, ISBN 978-973-625-766-7
- [47] Malamatenios Ch., coordonator - Energii regenerabile & Eficiența energetică, Ghid de instruire, Ed. Nic Vox, București, 2007, ISBN (13) 978 - 973 - 8489 - 37 - 0.
- [48] Mirel L, Popescu Daniela, Bănățean Gh., Varga M., Producerea și utilizarea biogazului în instalații de tip industrial - Simpozion internațional „Biogazul” oportunități și soluții, București, 2000.
- [49] Mirel I., Ionescu, Gh., Mitrașcă Mihaela, *Considerații asupra apelor geotermale din perimetrul Săcuieni județul Bihor* Analele Universității din Oradea, 2003
- [50] Mirel I., Mitrașcă Mihaela, *Considerații asupra apelor geotermale din perimetrul Salonta și Ciurmeșiu județul Bihor* Analele Universității din Oradea, 2003
- [51] Mirel, L, Man, E., Chivereanu, D., Carabeț, A., Biogas Instalations in România. Bul. St. al Universității "Politehnica" din Timișoara, 1997.
- [52] Mitchell C. P., Overend R. P. - Biomass and bioenergy, Volume 32, Elsevier, ISSN: 0961-9534, 2008.
- [53] Mukesh Doble, Anil Kumar Kruthiventi, - Green chemistry and processes, ISBN 13 : 978 - 0123725325.
- [54] Muntea Cornel – Încălzirea serelor, ICCA, ed a 17-a, 17 - 18 aprilie 2008, Timișoara, p. 181 - 189, ISSN 1842 - 9491.
- [55] Mustafi N. N., Miraglia Y. C., Raine R. R., Bansal P. K., Elder S. T.,- Spark ignition engine performance with Powergas fuel (mixture of CO/H₂): A comparison with gasoline and natural gas, FUEL The Science of Technology of Fuel and Energy, September 2006, Vol 85, Issues 12-13, Pag. 1605-1612, ISSN 0016-2361.
- [56] Nikolic, V., Grigoriu, A., *Biogazul Tehnium*, ediție specială consacrată construcției și utilizării instalațiilor de biogaz, București, 1985
- [57] Nikolic, V., Grigoriu, A., *Noi surse de energie. Biogazul Tehnium*, București, nr. 4,5, 1983
- [58] Nitu Vasile – Energetică generală și conversia energiei, EDP, București, 1980.
- [59] Noyola Adalberto, Morgan – Sagastume Juan Manuel, Hernandez Jorge E. Lopez, - Treatment of Biogas Produced in Anaerobic Reactors for Domestic Wastewater: Odor Control and Energy/Resource Recovery , Reviews in Environmental Science and Biotechnology, Vol. 5, Nr. 1, ISSN 1572 - 9826.

- [60] Ohmiya Kunio, Sakka Kazuo, Tetsuya Kimura, - Anaerobic bacterial degradation for the effective utilization of biomass, *Biotechnology and bioprocess engineering*, Vol. 10, Nr. 6, ISSN 1976 – 3816.
- [61] Papagiannakis R. G., Rakopoulos C. D., Hountala D. T., Giakoumis E. G., - Study of the performance and exhaust emissions of a spark-ignited engine operating on syngas fuel, *International Journal of Alternative Propulsion*, Volum 1, Nr. 2/3, 2007, ISSN 1741-8011.
- [62] Pădure Gelu, Irimescu Adrian, Călin Laurențiu, Trif – Tordai Garilă, **Cioablă Adrian Eugen**, Vetreș Ion, - Theoretical study of emission for stationary spark ignition engines fueled with biogas, UAB - B.En.A. International Conference "Management and Sustainable protection of Environment", 6-7 Mai 2009, Alba Iulia (în curs de publicare).
- [63] Popescu A. Daniela Cornelia, - Contribuții la studiul proceselor de fermentare anaerobă în vederea obținerii de biogaz, Teză de doctorat, Universitatea Politehnica Timișoara, 2005.
- [64] Porpathama E., Ramesh A., Nagalingama B., - Investigation on the effect of concentration of methane in biogas when used as a fuel for a spark ignition engine, *FUEL The Science of Technology of Fuel and Energy*, July 2008, Vol. 87, Issues 8-9, Pag. 1651-1659, ISSN 0016-2361.
- [65] Scholz, R., Beckmann, M., Schulenburg, F., - *Abfallbehandlung in thermischen verfahren*, ISBN 3 – 519 – 00402 – X, B.G. Teubner GmbH, Stuttgart / Leipzig / Wiesbaden, 2001.
- [66] Sjaak van Loo, Jaap Koppejan – *Handbook of Biomass combustion and co-firing*, 2002, ISBN 9036517737.
- [67] Standard CEN/TS 14780, – Metode de pregătire a mostrelor de biomasă.
- [68] Standard CEN/TS 14774, – Determinarea conținutului de umiditate.
- [69] Standard CEN/TS 14775, – Determinarea conținutului de cenușă.
- [70] Standard CEN/TS 14918, - Determinarea puterii calorifice.
- [71] Standard CEN/TS 15290, - Determinarea elementelor chimice majore.
- [72] Standard CEN/TS 15296, - Determinarea elementelor minore (metale grele).
- [73] Tănăsescu T.F. – *Conversia energiei – Tehnici neconvenționale*, Ed. Tehnică, București, 1986.
- [74] Trif – Tordai Gavrilă, - *Cercetări privind arderea combinată a biomasei cu cărbune*, Teză de doctorat, Universitatea Politehnica Timișoara, 2008.
- [75] Jenchea Adrian, *Cercetări privind arderea în strat fluidizat a biomasei*, Teză de doctorat, UPT, 2008.
- [76] Ungureanu C., Ioana Ionel - *Generatoare de abur. Calcul termic*, Ed. U.T.T., Timișoara, 1993.

- [77] Ungureanu C., Ionel I., Oprea P. D. - Gestionarea integrată a deșeurilor municipale, Ed. Politehnica, ISBN: (11) 973-625-386-4, Timișoara, 2006.
- [78] Anuarul statistic al României, 2001.
- [79] Anuarul statistic al României 2007.
- [80] *** - Brevet Invenție numărul 122047, Procedeu și Instalație pentru obținerea biogazului din biomasă
- [81] [29] *** - Directiva 77 privind promovarea energiei electrice produse din surse regenerabile, Septembrie 2004.
- [82] 148. ****Energiile regenerabile în gospodăriile noastre și în clădirile publice* ACM-V, Timișoara, 1999/2000
- [83] *** - Energia nucleară și viitorul climat. Raport al Societății Regale Britanice și al Academiei Regale Britanice de Inginerie, elaborat în iunie 1999.
- [84] *** - European Commission – Biomass Conversion Technologies, Achievements and Prospect for Heat and Power Generation, European Communities, 2006.
- [85] *** - H.G. 443/2003 privind promovarea producției de energie electrică din surse regenerabile de energie.
- [86] *** - Optimizarea valorificării potențialului energetic al deșeurilor pentru obținerea de energie curată în instalațiile industriale românești – OVAPED, Contract Nr. 282/2006.
- [87] *** - Planning and installing bioenergy systems, A guide for installers, architects and engineers, James & James/Earthscan, ISBN: 978-1-84407-132-6, London, UK, 2007.
- [88] ****Utilizarea apelor geotermale - Schimb de experiență*, CPJ Timiș, I.P.T.-IPROTIM, Timișoara, 1982
- [89] *** - www.adelaida.ro, Termostat digital, AD-025V2DS-C, Manual de utilizare.
- [90] *** - www.alternative-energy-resources.net, Alternative Energy Resources.
- [91] *** - www.anre.ro, Asociația națională pentru reglementarea energiei.
- [92] *** - www.armfield.co.uk/w8_datasheet.html, Digestor anaerob W8, Manual de utilizare.
- [93] *** - www.biodat.eu, baza de date Phydades.
- [94] *** - www.eubia.org, European Biomass Industry Association, 2008.
- [95] *** - www.europa.eu/index_ro.htm, Portalul Uniunii Europene.
- [96] *** - www.geocities.com/dieret/re/Biomass/biomass.html.
- [97] *** - www.hannainst.com, Senzor pH, HI1210 B/5, Manual de utilizare.

-
- [98] *** - www.hannainst.com, Controller pH, BL 981411-0, Manual de utilizare.
- [99] *** - www.hannainst.com, Pompe dozatoare BL3, Manual de utilizare.
- [100] *** - www.haug.ch, compresor într-o singură treaptă, cu răcire cu aer
- [101] *** - www.mru.de, Delta 1600S-IV, Manual de utilizare.
- [102] *** - www.nrel.gov, National Renewable Energy Laboratory.
- [103] *** - www.pixsys.net, Pixsys ATR 141, Manual de utilizare.
- [104] *** - www.retsch.com, Retsch SM 2000, Manual de utilizare.
- [105] *** - www.righel.ro, uscătoare, depozite de cherestea.
- [106] *** - www.testo.com, Testo 300 XXL, Manual de utilizare.
- [107] *** - www.treepower.org, Planet Power energy and the environment.
- [108] *** - www.t-uk.co.uk, TLk 39, Manual de utilizare.
- [109] *** - www.WTW.com, pH 330i, Manual de utilizare.

ABSTRACT IN ENGLISH

Theoretical and experimental contributions concerning biogas production from biomass residues

SUMMARY

Table list
Figure list

Ch. 1. General aspects regarding the need to use renewable energies

- 1.1. Overview of renewable energy resources
 - 1.1.1. Hydro energy
 - 1.1.2. Wind energy
 - 1.1.3. Solar energy
 - 1.1.4. Geothermal energy
 - 1.1.5. Biomass
- 1.2. Necessity of this study
- 1.3. Biomass potential as renewable energy resources
- 1.4. The objectives of using biogas as fossil fuels
 - 1.4.1. Brief history
 - 1.4.2. The objectives of using biogas as fossil fuels

Ch. 2. Positive effects of the biomass use for obtaining biogas

- 2.1. General aspects regarding biomass as feedstock for the production of biogas
 - 2.1.1. Agricultural biomass
 - 2.1.2. Wood based biomass
- 2.2. Biomass preparation for capitalization by biogas recovery
 - 2.2.1. Size reduction technology for biomass
 - 2.2.2. Biomass transportation
 - 2.2.3. Long-term storage of biomass
- 2.3. Biomass drying

Ch. 3. Obtaining biogas from biomass

- 3.1. Concepts for organizing the process of biogas production
 - 3.1.1. Types of vegetal used to produce biogas
 - 3.1.2. Biogas characteristics and production in Europe
 - 3.1.3. Elements present in biogas composition
 - 3.1.3.1. Methane and carbon dioxide
 - 3.1.3.2. Ammonia
 - 3.1.3.3. Hydrogen sulphide
 - 3.1.3.4. Fats
 - 3.1.3.5. Proteins
- 3.2. Plants for obtaining biogas

- 3.2.1. Classification criteria
- 3.2.2. Process models to obtain biogas through anaerobic fermentation
 - 3.2.2.1. Characteristics of anaerobic fermentation process
 - 3.2.2.2. Influence parameters on the anaerobic fermentation process
- 3.2.3. Layout of a facility for obtaining biogas from biomass
- 3.2.4. Examples of plants that are using biomass to obtain biogas

Ch. 4. Description of experimental facilities and related equipment

- 4.1. Description of experimental facility for testing laboratory samples of biomass
 - 4.1.1. Anaerobic fermentation containers
 - 4.1.2. Process control and exhaust system for biogas
- 4.2. Description of experimental plant
 - 4.2.1. The preliminary preparation system for biomass

 - 4.2.2. Anaerobic fermentation tanks
 - 4.2.3. The biogas exhaust system
 - 4.2.4. The biogas purification system
 - 4.2.5. The carbon dioxide retention system
- 4.3. Measuring equipment, control and auxiliary devices
 - 4.3.1. Process monitoring equipment
 - 4.3.2. Methane and CO₂ measurement
- 4.4. Summary of operations necessary for the operation of experimental biogas plant
 - 4.4.1. Pilot plant preparation for experiments
 - 4.4.2. Starting / stopping experimental biogas plant

Ch. 5. Measurements and experimental results

- 5.1. Biomass analyses before the anaerobic fermentation process
- 5.2. Experimental results from laboratory facility
- 5.3. Measurements conducted on pilot plant
 - 5.3.1. Monitoring the biogas production process in the pilot plant
 - 5.3.2. Calculation of combustion process parameters for produced biogas
 - 5.3.3. Determination of calorific value for resulted waste from the anaerobic fermentation process
- 5.4. Possibilities to use biogas in internal combustion engines

Ch. 6. General conclusions

- 6.1. PhD thesis content
- 6.2. Conclusions regarding theoretical research
- 6.3. Conclusion regarding experimental investigations
- 6.4. Theoretical and experimental contributions

Bibliography **Abstract in English**

Introduction to the thematic of the research

General presentation for the two installations existing at the Unconventional Energy Laboratory at the Mechanical Engineering Faculty from the Politehnica University Timisoara

Preliminary analysis of the used biomass before the process of anaerobic fermentation

Experimental results obtained from the small installation

Experimental results obtained from the pilot installation

Determination of the calorific value for the biogas

Determination of the calorific values for the resulted residue after the anaerobic fermentation process

Possibilities of using the biogas in internal combustion engines

General conclusions

Conclusions regarding theoretical research

Conclusions regarding experimental investigations

Theoretical and experimental contributions

Main conclusion

Introduction to the thematic of the research

From all renewable energy resources, biomass is one of the most well represented on our country. Because the use of fossil fuels is becoming increasingly problematic, it is necessary to find solutions to solve the problems related to energy sources availability. Thus, the study conducted is related to using various types of waste biomass in a patented pilot plant that exists in Unconventional Energy Laboratory at the Mechanical Engineering Faculty from the Politehnica University Timișoara.

The study focused on the verification of different types of waste biomass, laboratory analysis to determine their components, consulting the literature for comparison the data with existing results, observing the behavior of materials used in the anaerobic fermentation process, analyzing the quality of produced biogas, respectively the calorific value of waste product with the possibility to be used in co-incineration processes, in parallel using the material as fertilizer in agriculture.

The resulting conclusions are regarding the possibilities of optimizing the process and a possible use in internal combustion engines of produced biogas.

General presentation for the two installations existing at the Unconventional Energy Laboratory at the Mechanical Engineering Faculty from the Politehnica University Timisoara



Figure A1 - General image for the small installation used for testing the biomass samples

fermentation. The resulted biogas is passed through a filter for retaining the H_2S (5) and after that, through a system used for retaining CO_2 (6), after which takes place the CO_2 desorption and the compression of the CO_2 in the adjacent system (7) and the purified biogas is sent for being used (8). The used material is discharged through the means of a gravimetric system (9), and the solid material is retained for being dried using the natural drying, and after that is sent to a compost deposit for being used as a soil fertilizer. A part of the resulting liquid is neutralized when the case, in the system (10) and sent to the sewerage network, or is transported by the recirculation pump (2) from the suspension preparation tank (1). The fermentation reactors are thermostat heated with the system (11). For the homogenization of the suspension is used a bubbling system (12) made by polypropylene pipes to avoid the possible corrosion. Also, for depositing small quantities of biogas of the purpose of analyzing, the installation is equipped with a small tank (13) positioned at the top of the reservoirs.

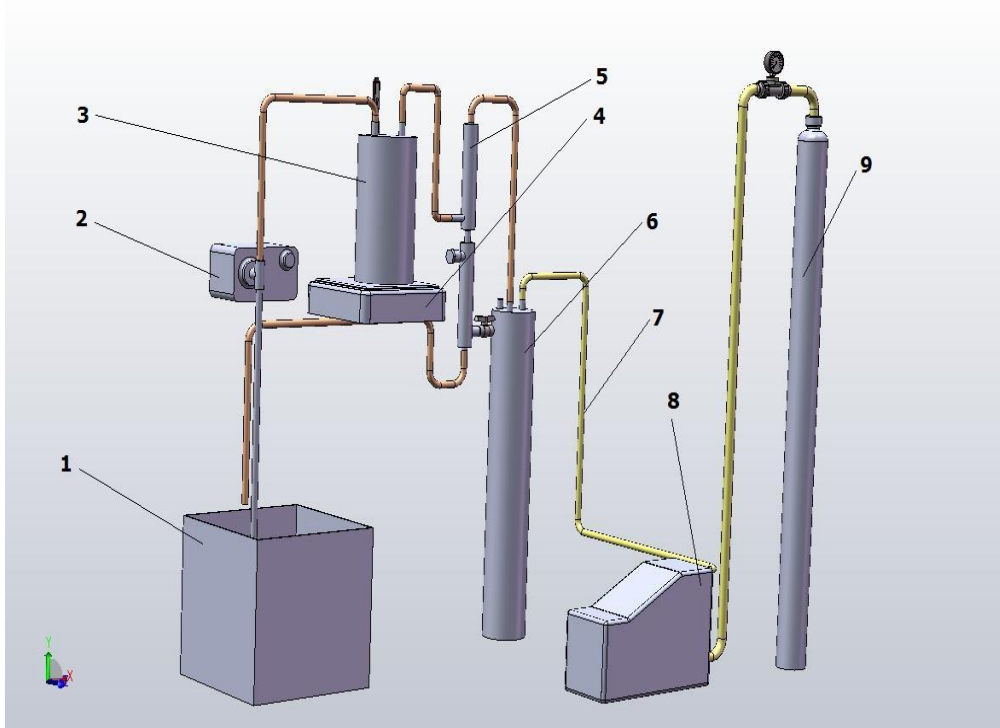


Figure A3 – Principle scheme for the CO_2 retaining system

In figure A3 is presented the principle scheme for the CO_2 retaining system.

The system is composed from a tank (1) from which the water is passed by the means of a dosing pump (2) similar with the dosing pumps used for the pH correction, a stainless steel tank (3) positioned on an heating device (4), a liquid separator (5), a buffer tank (6), from which the gas is aspirated with the help of a Haug compressor and inserted in a cylinder at a pressure of about 10 – 26 bar. The temperature inside the stainless steel tank can reach values of 50 – 60 °C.

Preliminary analysis of the used biomass before the process of anaerobic fermentation

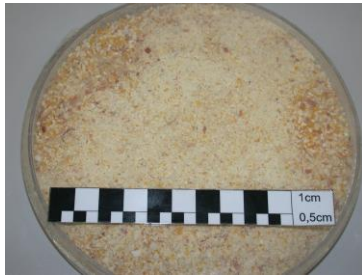


Figure A4. – Grains of corn waste



Figure A5 – Beech dust



Figure A6 – Linden dust

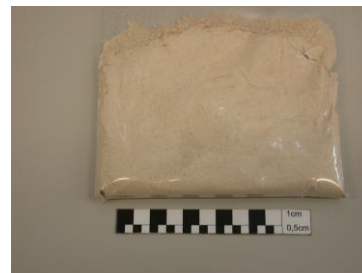


Figure A7 – Mix of maize and corn waste



Figure A8 – Maize bran



Figure A9 – Recipe of corn, maize and sunflower seeds

In figures A4 – A9 are presented the types of biomass used for the determinations in the two installations.

Table B1 – Characteristics of the used biomass types

No	Sample	Humidity [%]	Hygroscopic Humidity [%]	Ash content [%]	High calorific value [kJ/kg]	Low calorific value [kJ/kg]
1	Maize bran	10.23	0.16	4,63	17098	15535
2	Recipe of corn , maize and sunflower seeds	11.76	1.04	1,81	16744	15192
3	Grains of corn waste	13.91	1.50	1,88	15933	14488
4	Beech dust	6.43	0.51	0,92	17751	16322
5	Linden dust	8.01	0.23	0,54	17705	16263
6	Mix of maize and corn waste	10.98	0.88	1,64	16591	15245

In table B1 are presented a part of the characteristics for the biomass used types.

Experimental results obtained from the small installation

In the two batches that functioned in parallel, the used biomass types were maize bran on a hand and the mix with 40% corn beans, 40% maize beans and 20% sunflower seeds, with a ration between solid and liquid material of 40% to 60%.

The process was controlled at a temperature between 34 - 38°C.

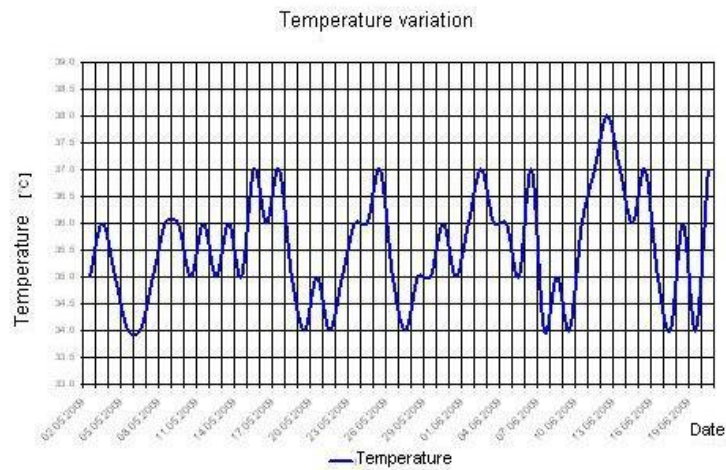


Figure A10 – Temperature variation for the process

In figure 10 it can be observed the temperature variation for the process. It can be seen that the average value is around 36°C.

Also, related to the monitoring process, it can be observed in figure A11 that after about 20 days it appeared the first bubbles of gas inside of the vessels.

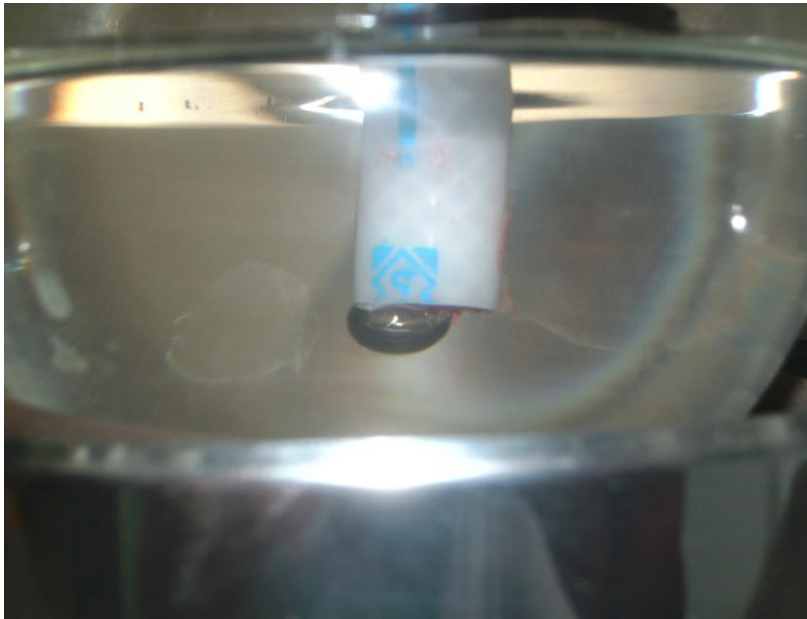


Figure A11 – The first gas bubbles inside the vessel



Figure A12 – Detail for the mix

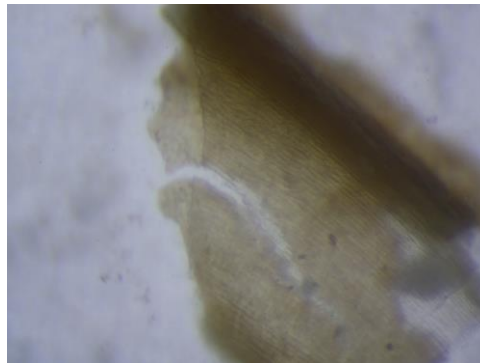


Figure A13 – Structure of the bran

In figures A12 and A13 it can be seen the structure for the cereal mix and the bran with the help of a binocular magnifier. It can be observed the fibrous structure of the bran and also it can be observed the bacterial halo inside the suspension.

Experimental results obtained from the pilot installation

Inside the pilot installation there were tested 4 sorts of biomass: beech dust, linden dust, mix of maize and corn waste and also corn waste.

For each of them there were made monitoring tables and graphic representations and also analyses for the composition of methane, CO₂ and H₂S in the obtained biogas.

1. Beech dust batch

$$\text{C/N ratio} = \frac{47.9}{0.22} = 217$$

Quantity of solid material introduced in each reservoir = 75 kg

Solid material / liquid volume ratio = 0.037 %

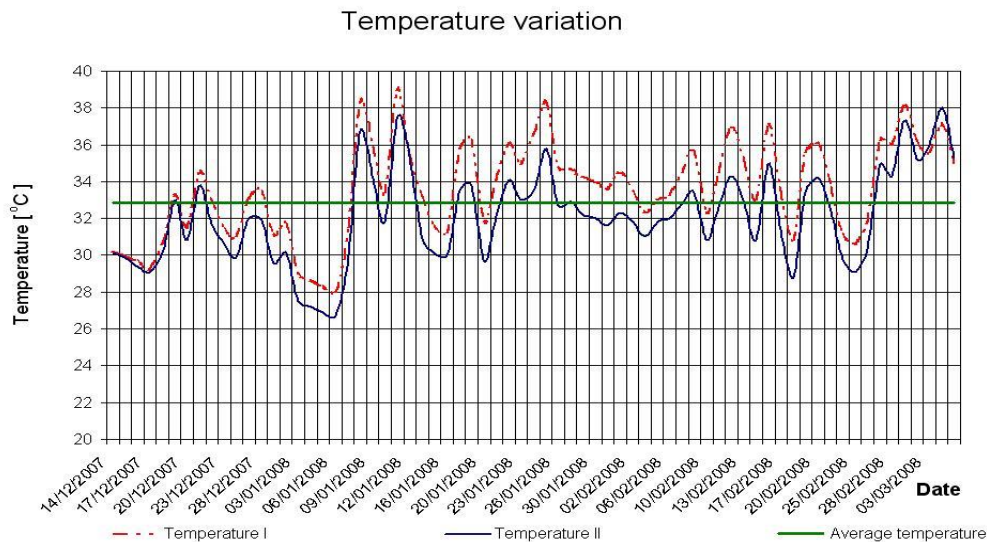


Figure A14 – Temperature variation

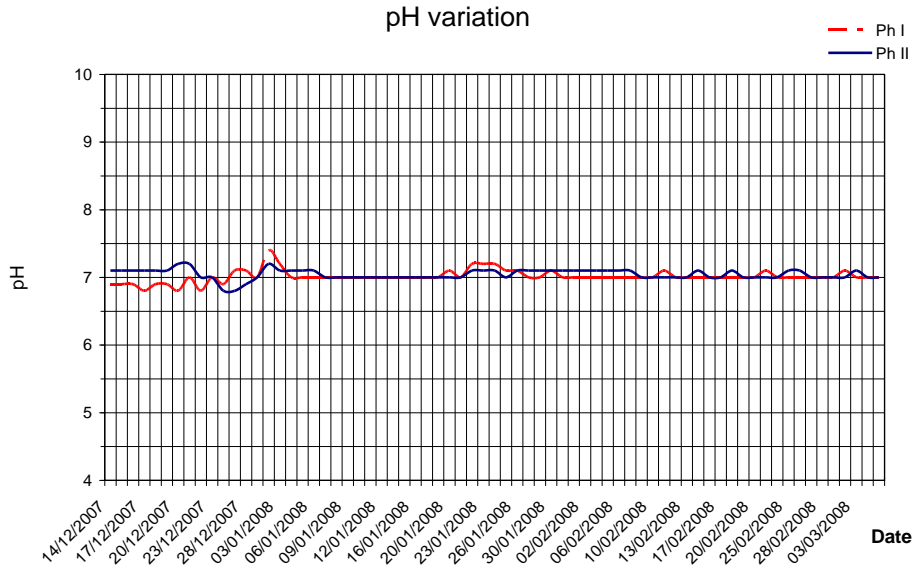


Figure A15 – pH variation

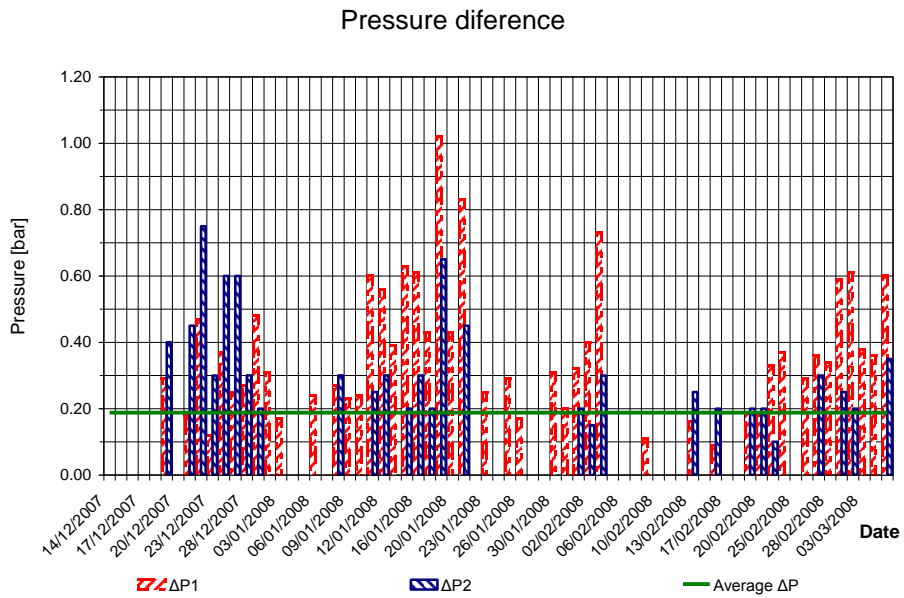


Figure A 16 – Pressure difference

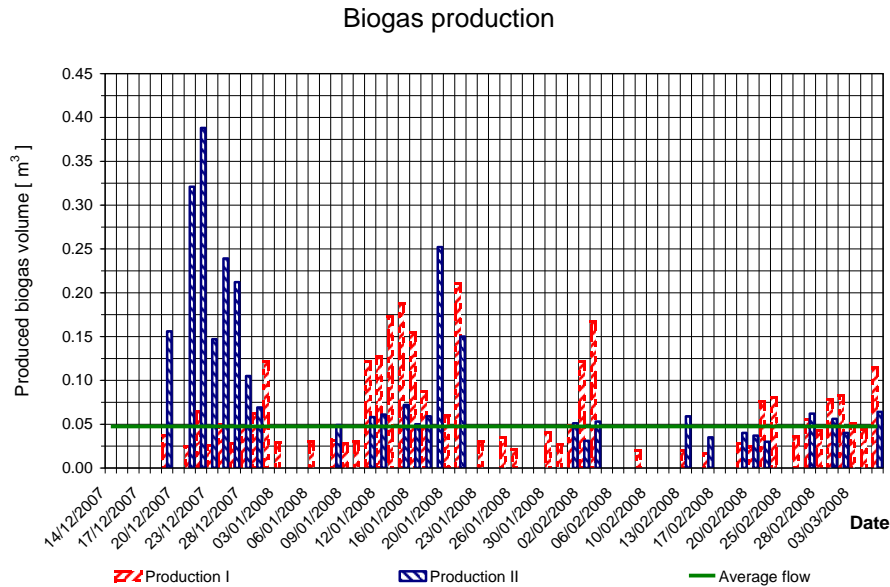


Figure A 17 – Biogas production

From the graphics, it can be observed that there is a difference between the variations of temperature for the two reservoirs, but the domain is between 30 – 37° C.

The pH values are between 6,5 – 7,5, the small differences from one day to another being corrected with the help of the dosing pumps.

The average value for the pressure difference is approx. 0.2 bars, and the biogas quantity is under 0.05 m³ / day.

In the next figures are presented the values for the methane, CO₂ and H₂S concentrations in both reservoirs. The values are obtained during measurements before the filter used for retaining the H₂S and after the filter for CO₂ washing.

The determination was made during the first, second and last month of the process.

CH₄ and CO₂ concentration variation

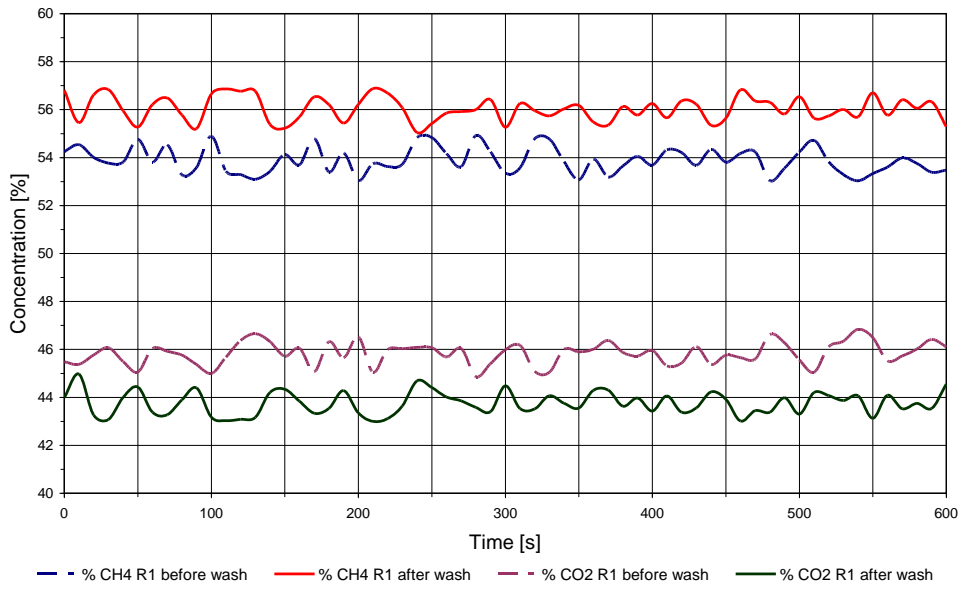


Figure A 18 – CH₄ and CO₂ concentration: first reservoir, measurement no.1

H₂S concentration variation

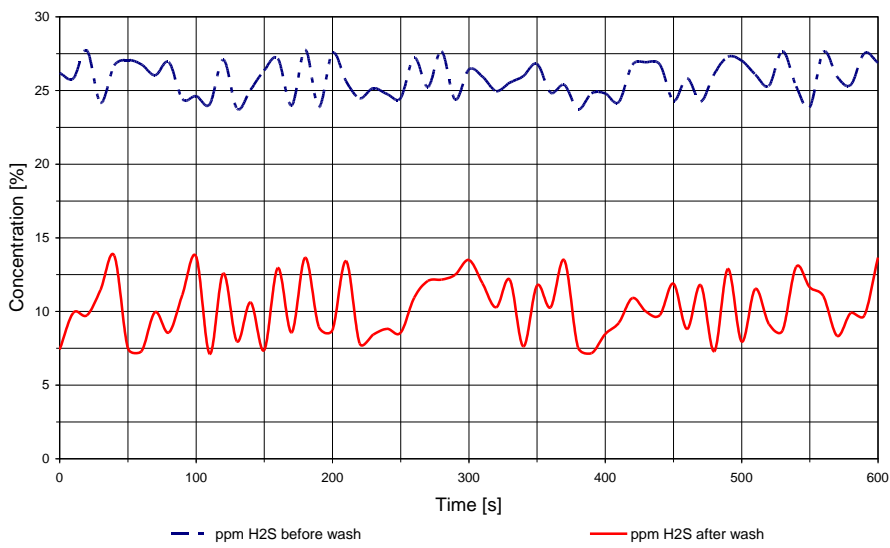


Figure A 19 – H₂S concentration, first reservoir, measurement no.1

CH₄ and CO₂ concentration variation

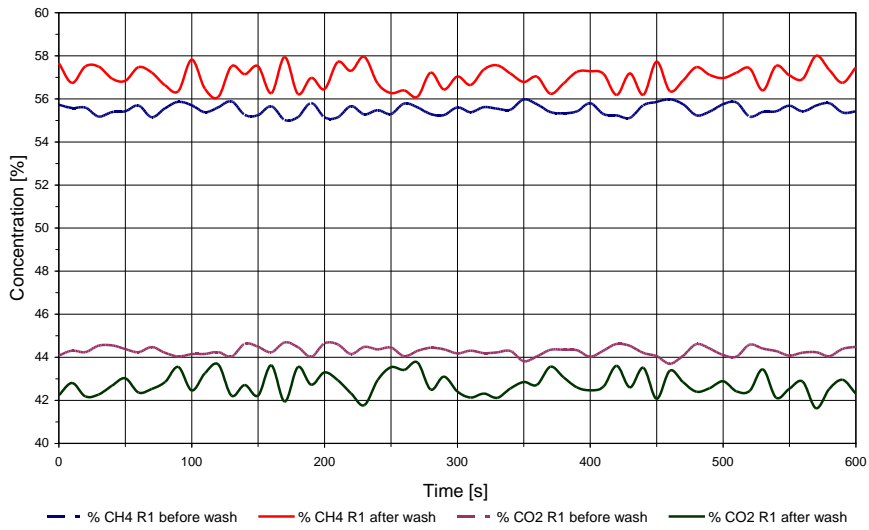


Figure A 20 – CH₄ and CO₂ concentration: first reservoir, measurement no.2

H₂S concentration variation

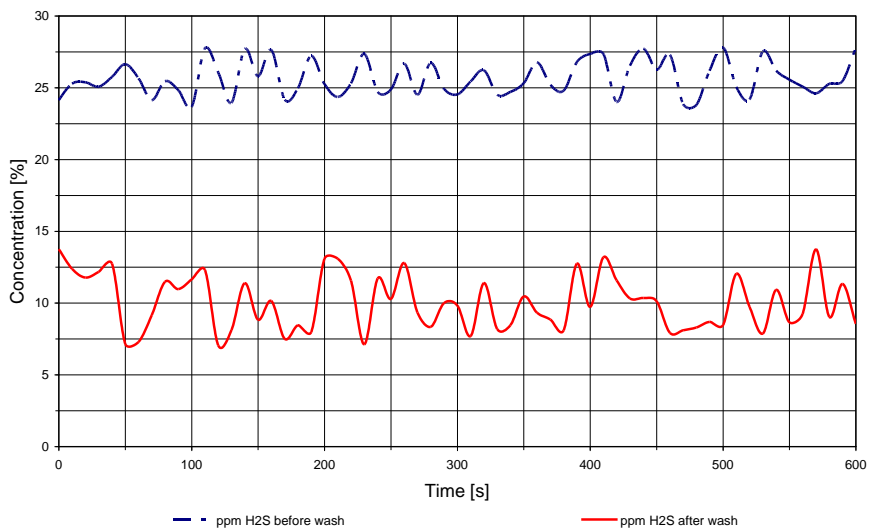


Figure A 21 – H₂S concentration, first reservoir, measurement no.2

CH₄ and CO₂ concentration variation

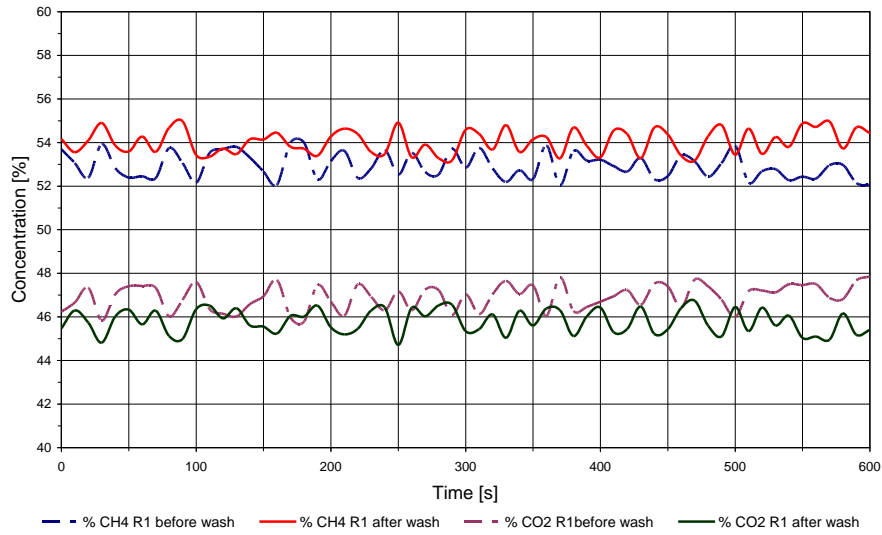


Figure A 22 – CH₄ and CO₂ concentration: first reservoir, measurement no.3

H₂S concentration variation

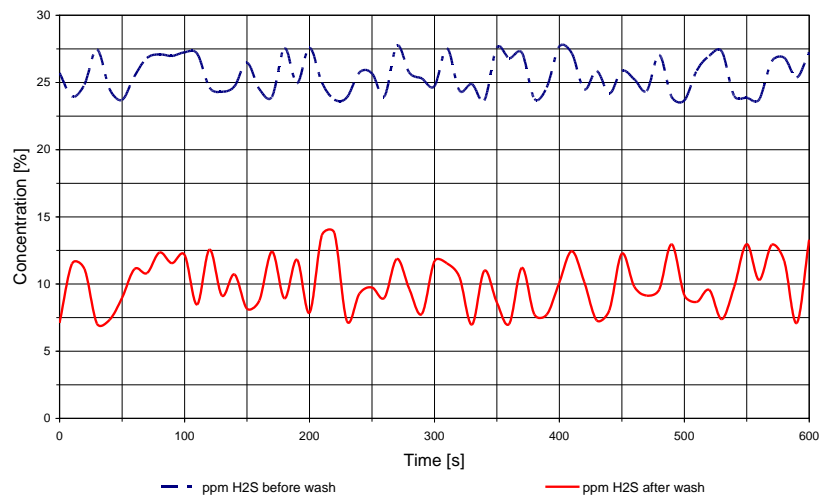


Figure A 23 – H₂S concentration, first reservoir, measurement no.3

From the graphics A18 – A 23 it can be observed that in the CH₄ concentration increases from the first measurement to the second, and after that it decreases back to a value close to the first measurement.

The CO₂ concentration rises and decreases in correlation with the behavior of the CH₄ concentration.

H₂S is close to a value of 10 – 15 ppm on all the measurements after the filter used for CO₂ washing.

The measurements for the second reservoir are close in values to the first and are presented bellow.

CH₄ and CO₂ concentration variation

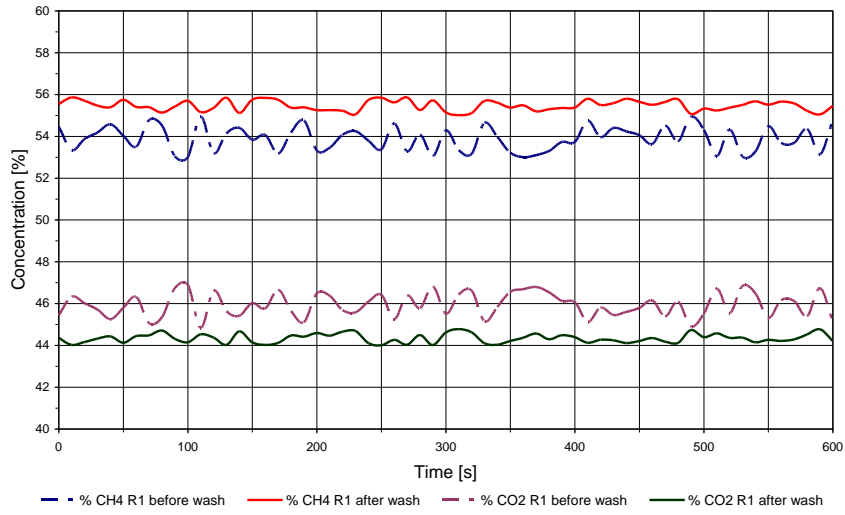


Figure A 24 - CH₄ and CO₂ concentration: second reservoir, measurement no.1

H₂S concentration variation

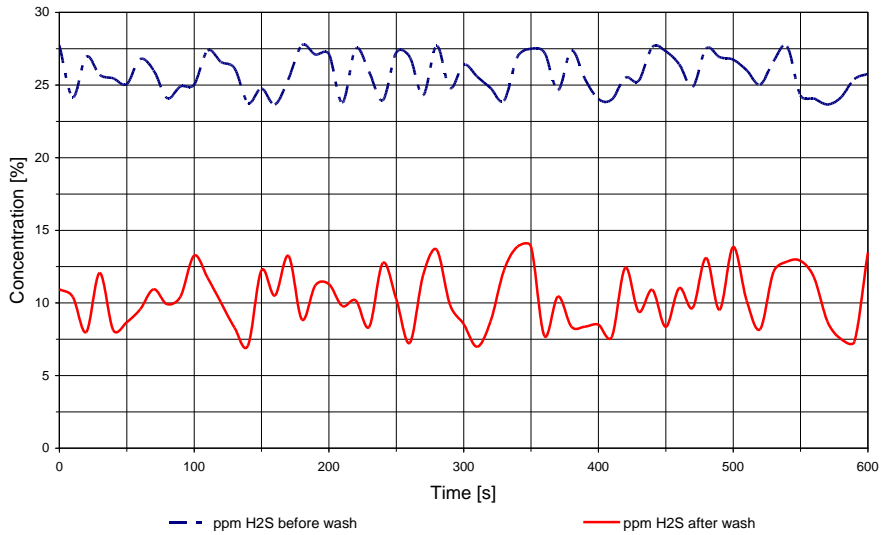


Figure A 25 - H₂S concentration, second reservoir, measurement no.1

CH₄ and CO₂ concentration variation

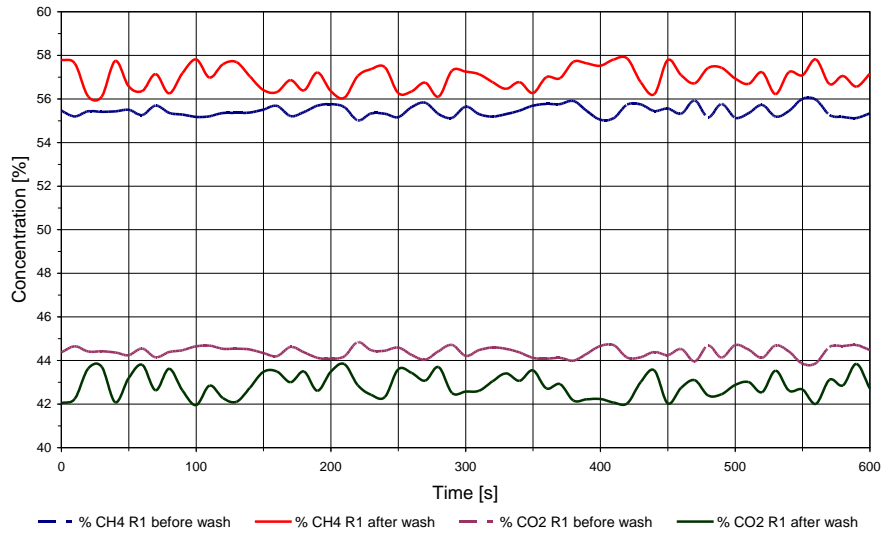


Figure A 26 - CH₄ and CO₂ concentration: second reservoir, measurement no.2

H₂S concentration variation

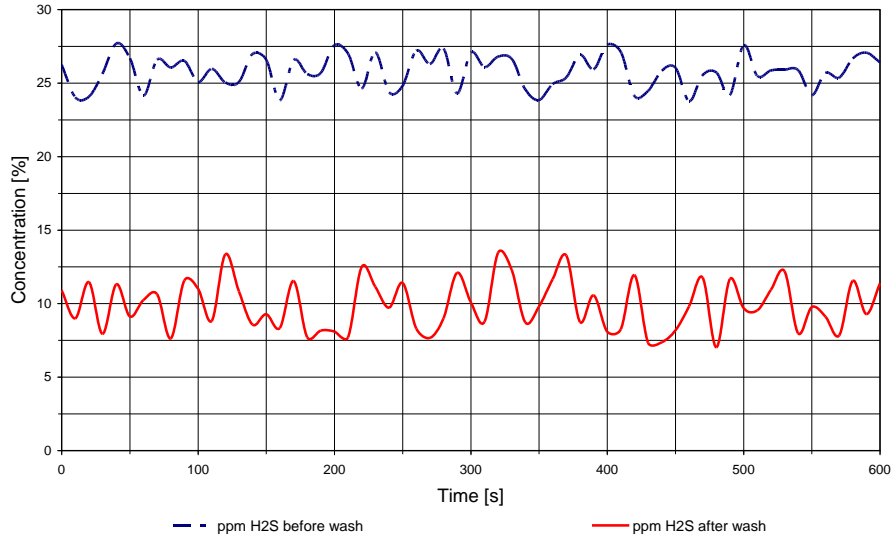


Figure A 27 - H₂S concentration, second reservoir, measurement no.2

CH₄ and CO₂ concentration variation

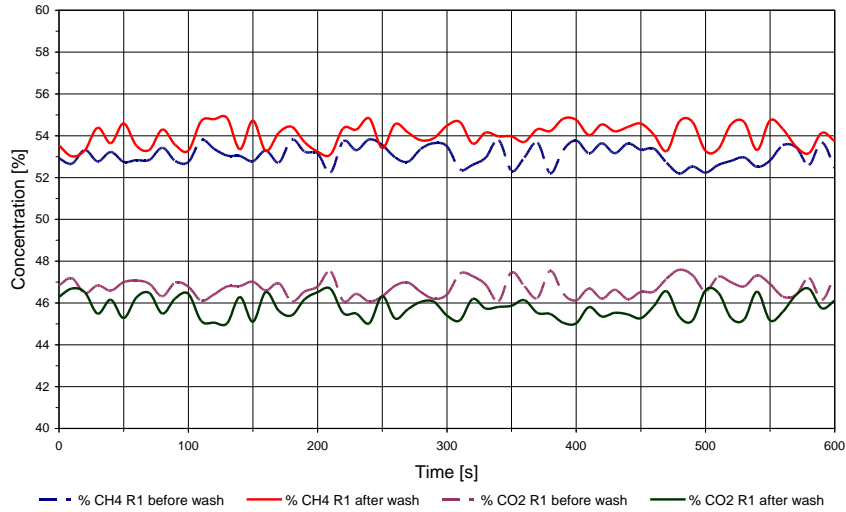


Figure A 28 - CH₄ and CO₂ concentration: second reservoir, measurement no.3

H₂S concentration variation

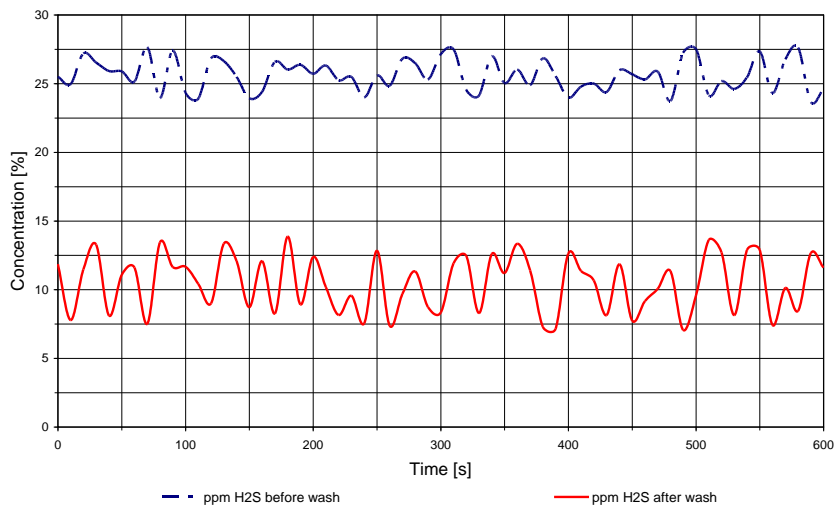


Figure A 29 - H₂S concentration, second reservoir, measurement no.3

From the graphics it results that the methane concentration has about the same values as for the first reservoir (with a maximum value of about 58%), while CO₂ concentration is in the range of 41 - 42% maximum. H₂S concentration is about 12 - 13 ppm.

2. Linden dust batch

$$C / N \text{ ratio} = \frac{47.5}{0.42} = 113$$

Quantity of solid material introduced in each reservoir = 75 kg

Solid material / liquid volume ratio = 0.037 %

The measurements and the monitoring process are taken in similar condition as the first batch.

Temperature variation

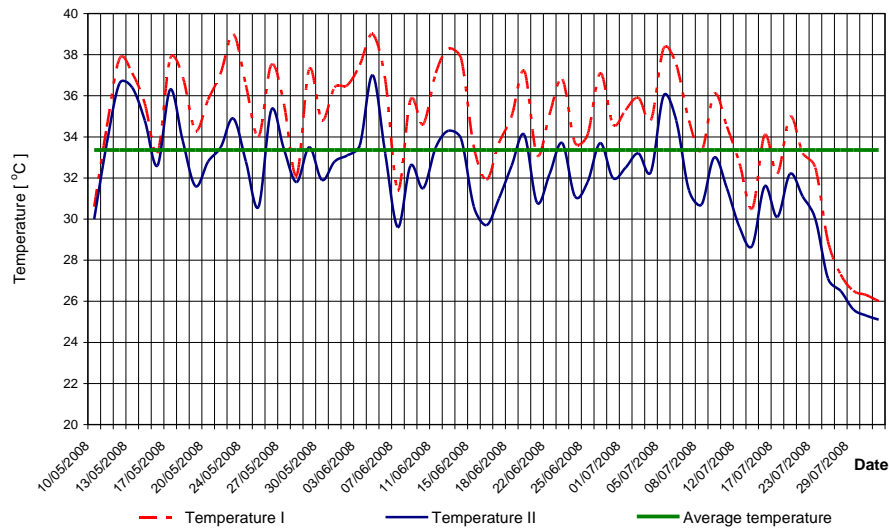


Figure A30 – Temperature variation

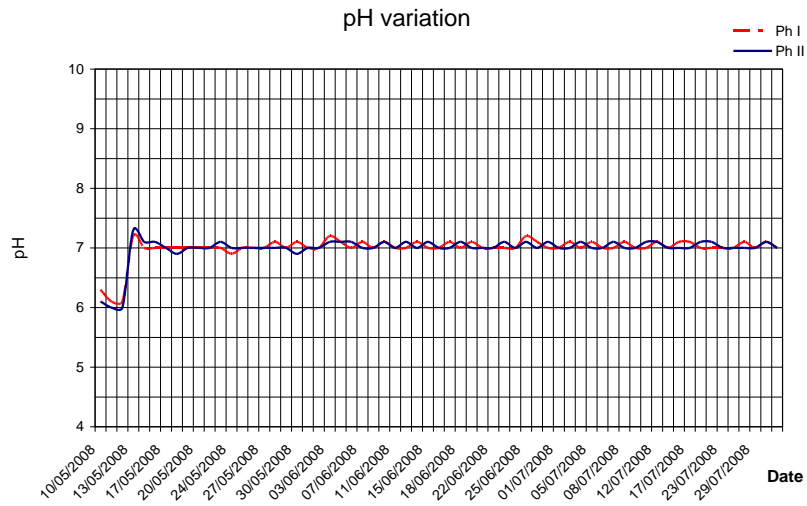


Figure A31 – pH variation

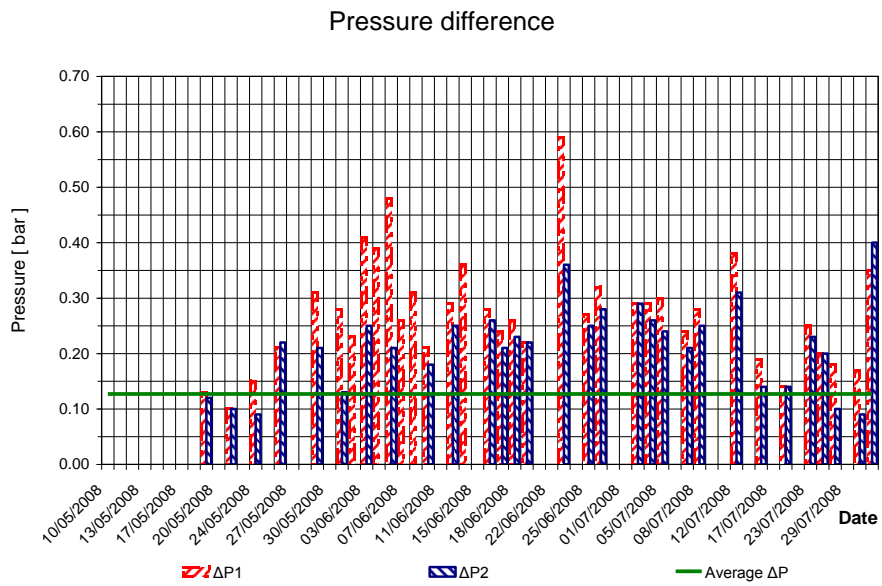
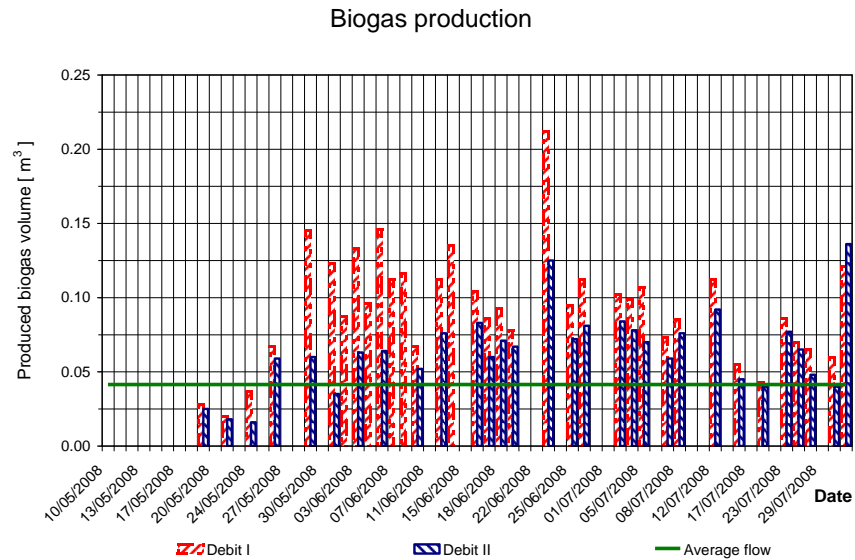


Figure A 32 – Pressure difference



From the graphics it can be observed the same variation in temperature between the two reservoirs like for the first batch, the pH values are around 7, and the correlation between the pressure difference and the biogas production is at a low value, of 0.12 bars, meaning an equivalent biogas production of under 0.05 m³.

In the next graphics are presented the concentration variations for methane, CO₂ and H₂S for the reservoirs at the point of maximum (second measurement). The reason for presenting the variation only for the second measurement is the fact that both batches present a good similarity regarding the concentration values for methane, CO₂ and H₂S in all the three measurements.

CH₄ and CO₂ concentration variation

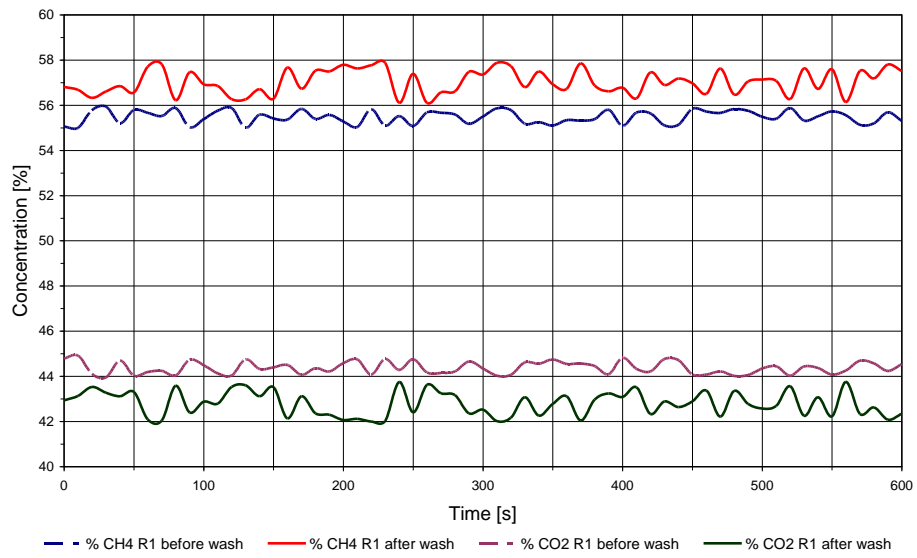


Figure A 34 - CH₄ and CO₂ concentration: first reservoir, measurement no.2

H₂S concentration variation

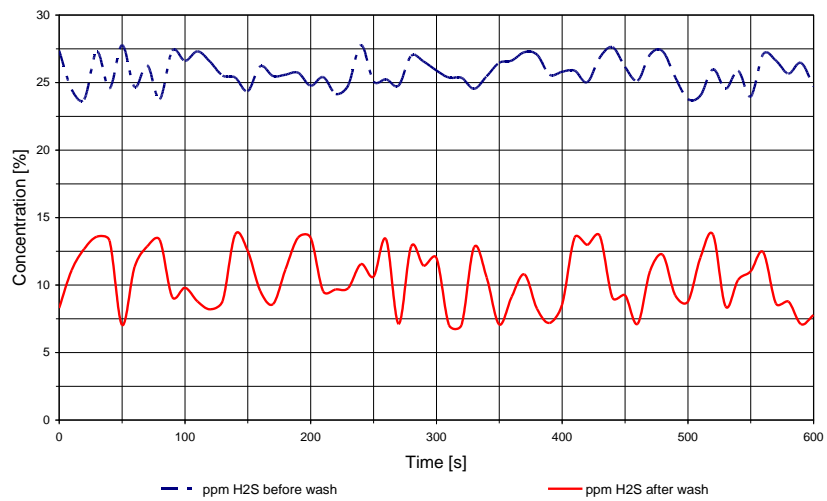


Figure A 35 - H₂S concentration, first reservoir, measurement no.2

CH₄ and CO₂ concentration variation

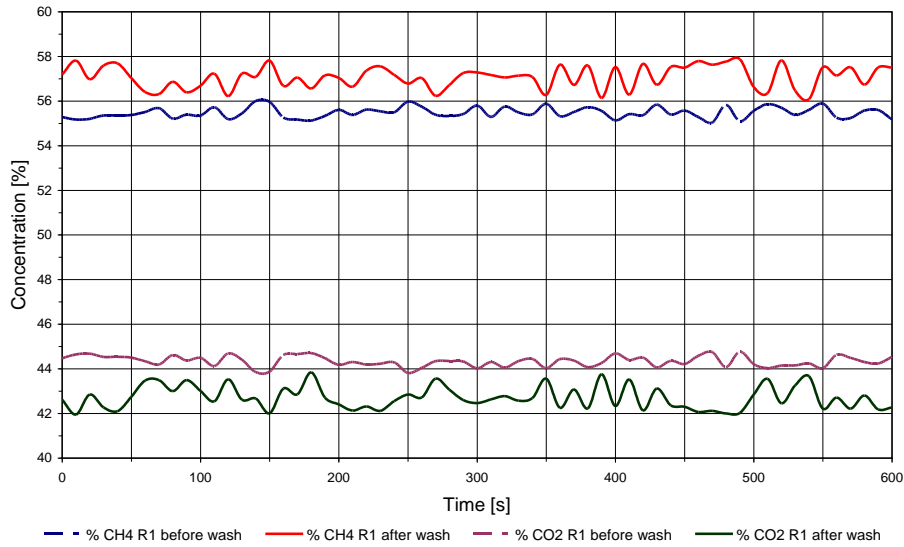


Figure A 36 - CH₄ and CO₂ concentration: second reservoir, measurement no.2

H₂S concentration variation

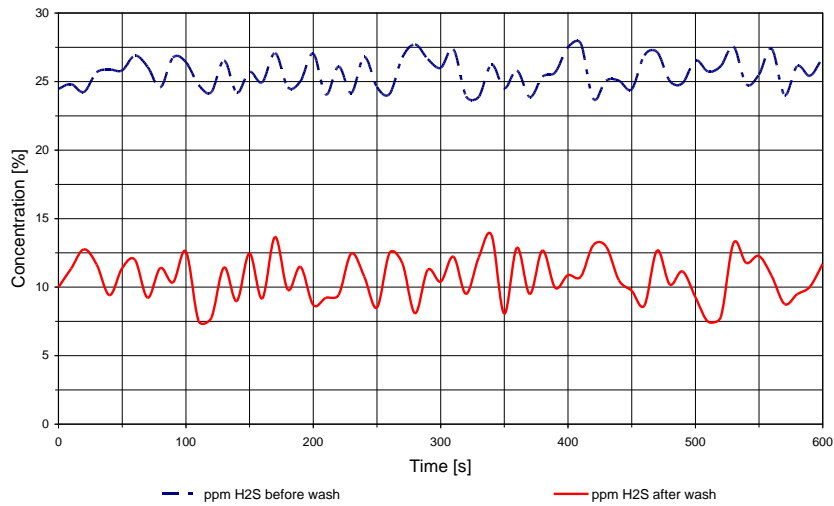


Figure A 37 - H₂S concentration, second reservoir, measurement no.2

Through comparison with the values for the first batch, it can be observed that the CH₄ concentration is about the same for the maximum values, like the CO₂ concentration and H₂S concentration. The explanation resides in the fact that the material is woody and has a large percentage of ligno-cellulose.

3. Mix of maize and corn waste

The next batch had in it's composition a mixture of 50% grains of degraded corn and 50 % grains of degraded maize. The quantity of solid material introduced in each reservoir was about 75 kg.

C / N ration having in mind that in our case there is a mixture of two different types of biomass is calculated with the formula:

$$\frac{C}{N} = \frac{P_1 r_1 + P_2 r_2}{P_1 + P_2} \quad (1.1.)$$

Where:

P_1, P_2 – the material quantities introduced in the reservoirs

r_1, r_2 – C / N ration for each type of material

$P_1 = P_{\text{corn cobs}} = 37.5 \text{ kg}$

$P_2 = P_{\text{maize cobs}} = 37.5 \text{ kg}$

$$r_1 = r_{\text{corn cobs}} = \frac{46.58}{0.47} = 99.1$$

$$r_2 = r_{\text{maize cobs}} = \frac{43.6}{2.28} = 19.1$$

C / N ration for the mix is:

$$C / N = \frac{37.5 \times 99.1 + 37.5 \times 19.1}{37.5 + 37.5} = 59.1$$

The next graphics present the variation of temperature, ph, pressure difference and biogas production, determined in the same conditions like for the first two batches.

Temperature variation

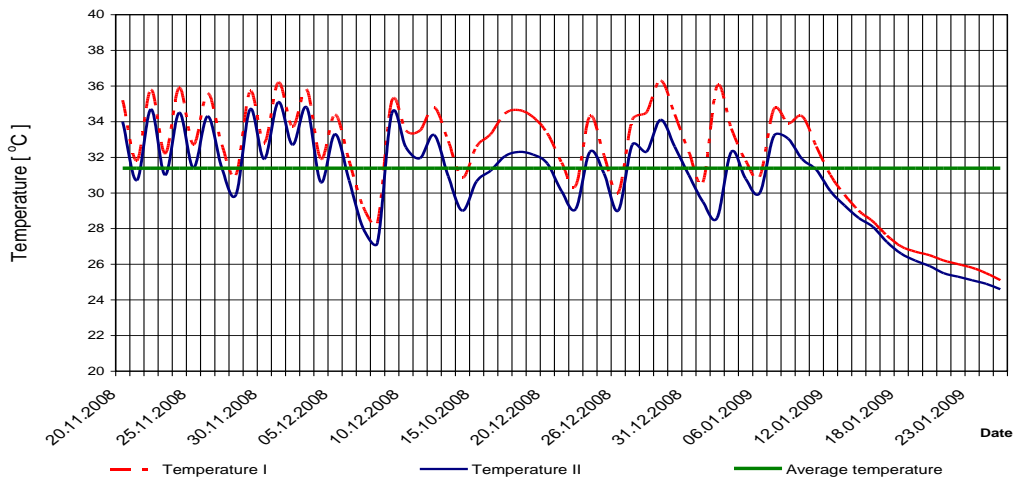


Figure A 38 – Temperature variation

pH variation

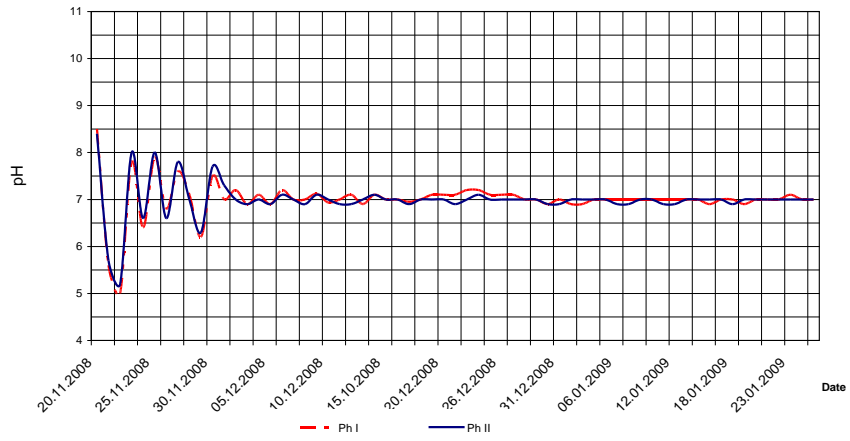


Figure A 39 – pH variation

Pressure difference

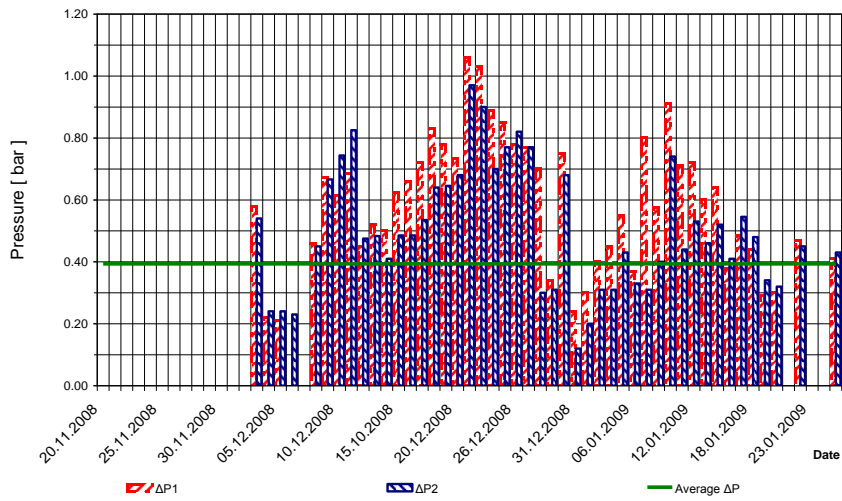
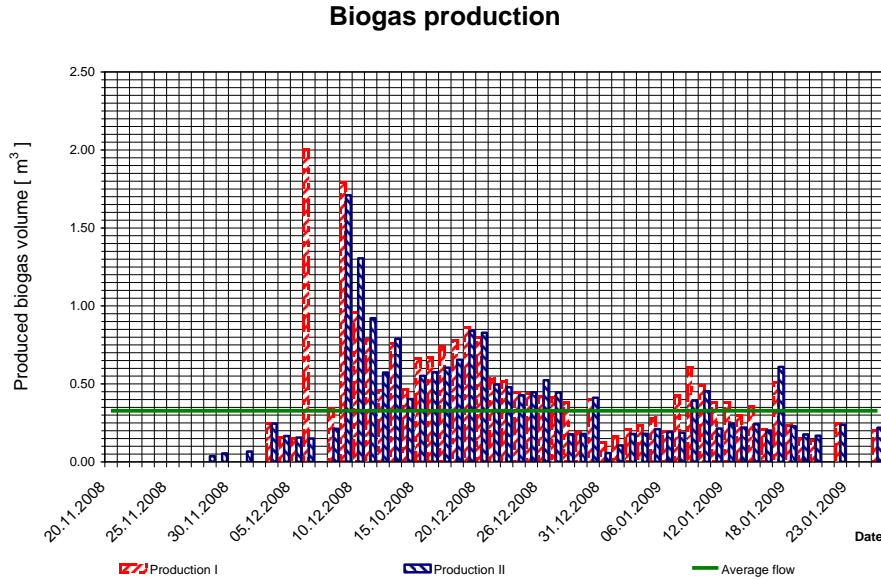


Figure A 40 – Pressure difference



From the figure A 38 it can be observed that the average value for the temperature is under 32°C, and the difference between the temperatures for the two reservoirs is about the same like for the first two batches.

The pH variation, presented in figure A 39 shows that the average value is about 7, and this neutral value is, like for the other batches important because it will not affect the process of anaerobic fermentation.

Figures A 40 and A 41 present the correlation between the difference of pressure and the biogas production, and it can be observed that the average value is about 0.4 bar and the biogas production has peaks at 2 m³, with an average value for production of 0.25 m³ / day.

From those graphics we can deduce that the content of amidon and organic matter existing in the mix is at a higher value than for the first two batches, therefore the production is in larger quantities.

The total biogas quantity produced for this batch, excepting the quantities lost for analyzing the biogas is 41.29 m³.

In the next graphics are presented the measurements for determining the concentrations of methane, CO₂ and H₂S from the obtained biogas.

CH₄ and CO₂ concentration variation

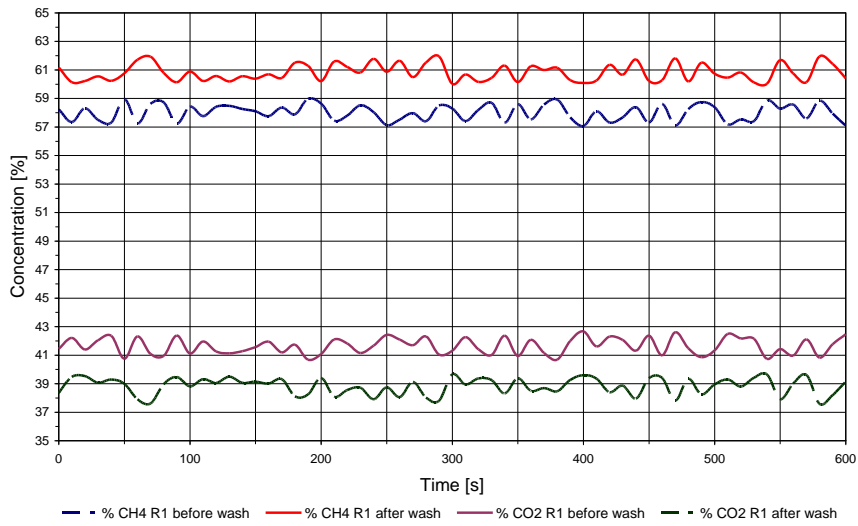


Figure A 42 - CH₄ and CO₂ concentration: first reservoir, measurement no.1

H₂S concentration variation

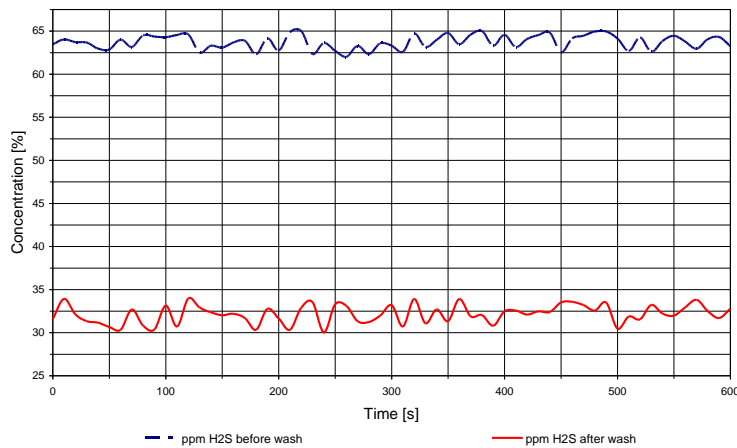


Figure A 43 - H₂S concentration, first reservoir, measurement no.1

From the first measurement, we can observe that the methane concentration, even if it's the first period of the process, has a bigger value than for the first two batches (about 61 – 62%), while the CO₂ value decreases to 38 – 39%. The H₂S concentration is about 32 – 33 ppm, all the considered values being measured after the CO₂ washing filter.

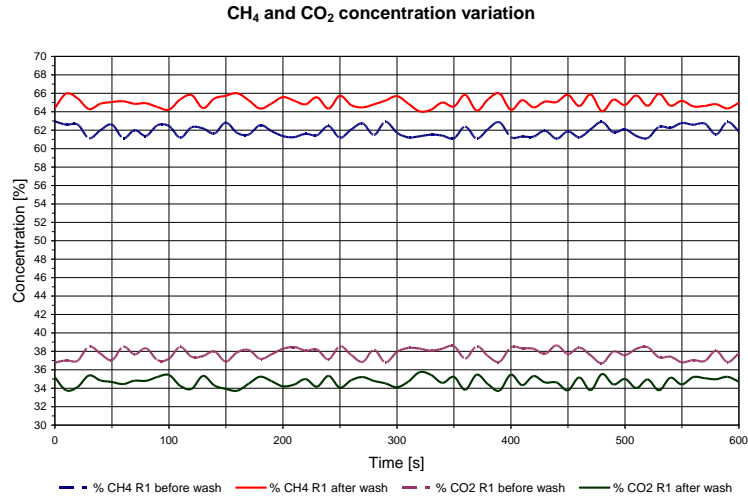


Figure A 44 - CH₄ and CO₂ concentration: first reservoir, measurement no.2

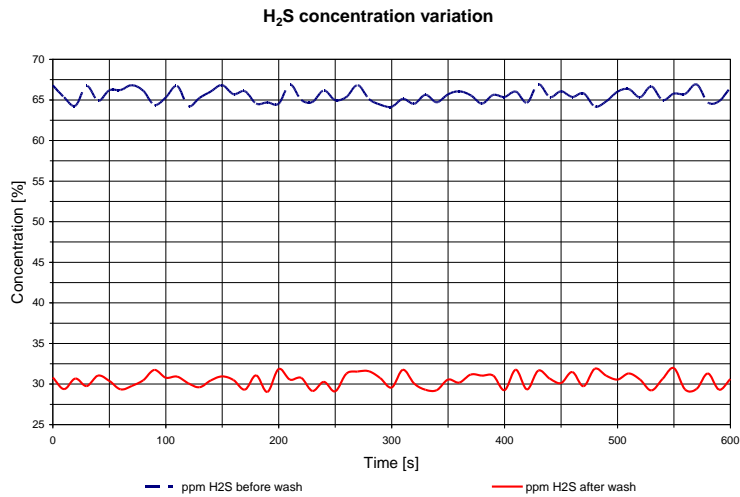


Figure A 45 - H₂S concentration, first reservoir, measurement no.2

Figures A 44 and A 45 present the concentrations for CH₄, CO₂ and H₂S in the second measurement for the first reservoir, and we can observe that the maximum values for CH₄ are in the range of 65 – 66%, while the CO₂ values are about 34 – 35 % and H₂S values are about 30 ppm.

This measurement presents the maximum concentration for CH₄ in this batch.

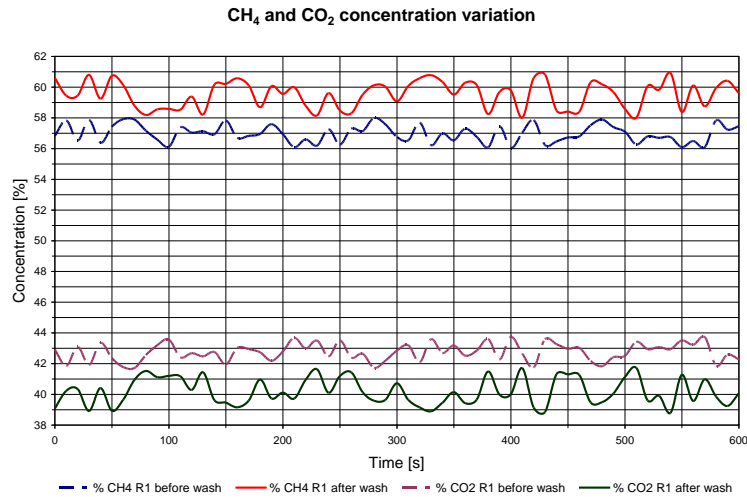


Figure A 46 - CH₄ and CO₂ concentration: first reservoir, measurement no.3

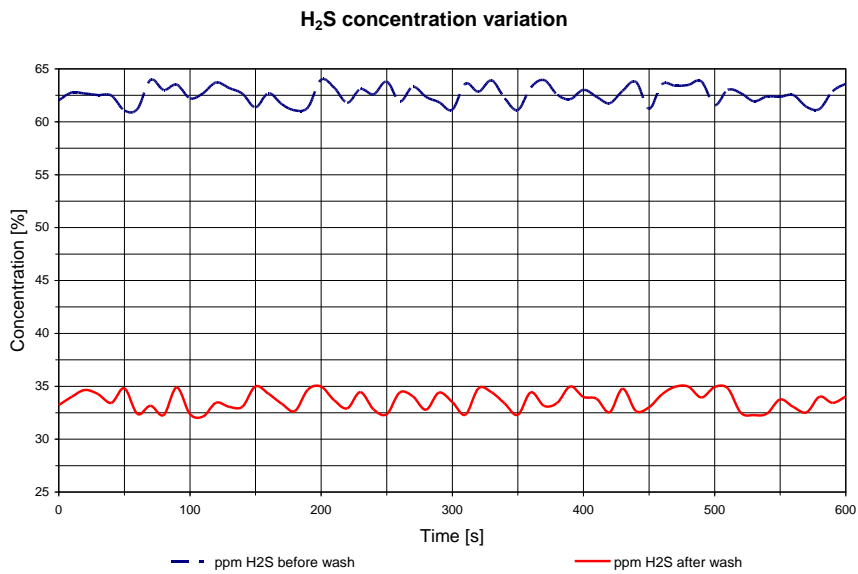


Figure A 47 - H₂S concentration, first reservoir, measurement no.3

The last measurements presented in figures A 46 and A 47 show that the concentration of methane decreases to 60 – 61% while CO₂ concentration reaches a value of about 42 – 43% and H₂S concentration is about 34 ppm.

The next graphics present the concentrations for the second reservoir.

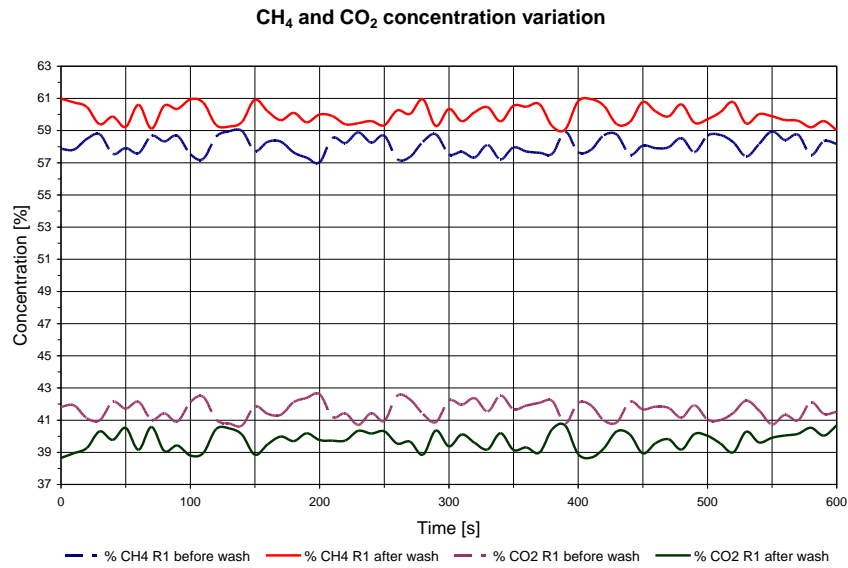


Figure A 48 - CH₄ and CO₂ concentration: second reservoir, measurement no.1

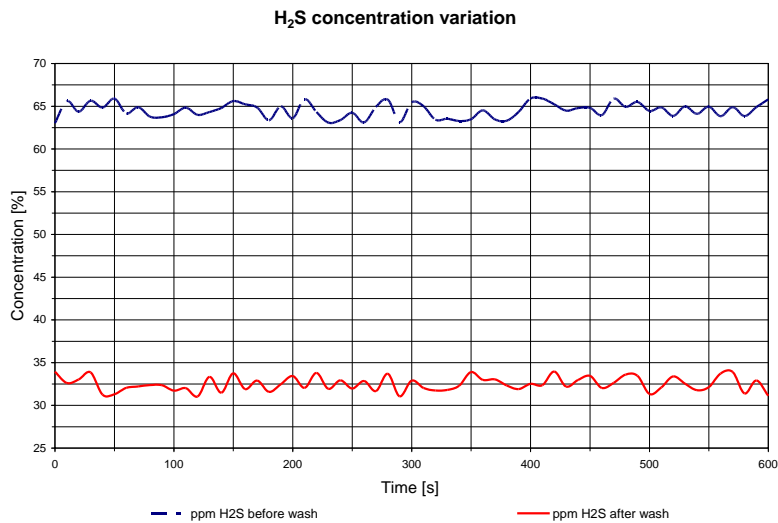


Figure A 49 - H₂S concentration, second reservoir, measurement no.1

From the graphics A 48 and A 49 it can be seen that the values for the concentrations in methane, CO₂ and H₂S are in the same range with the first reservoir for this measurement, so the behavior of the two reservoirs is commune in this stage.

CH₄ and CO₂ concentration variation

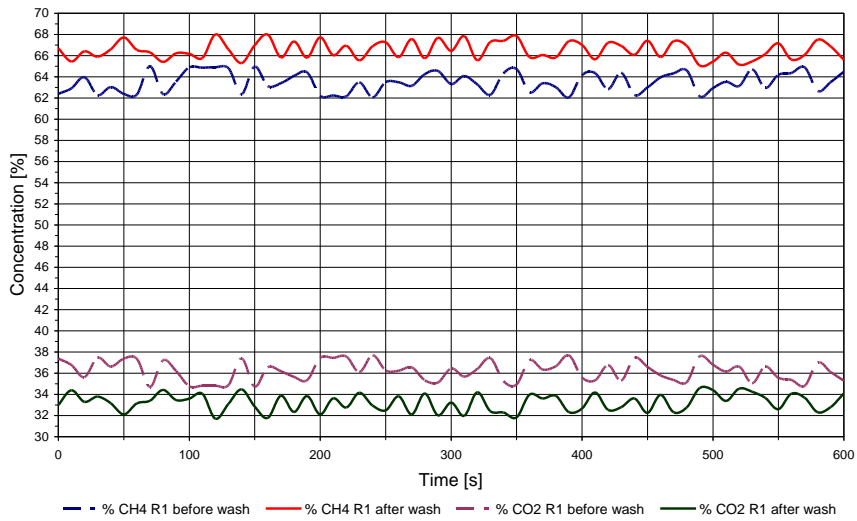


Figure A 50 - CH₄ and CO₂ concentration: second reservoir, measurement no.2

H₂S concentration variation

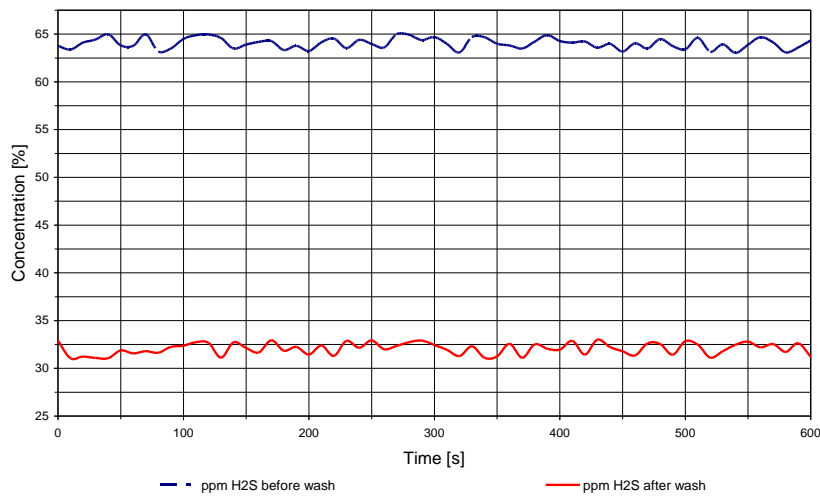
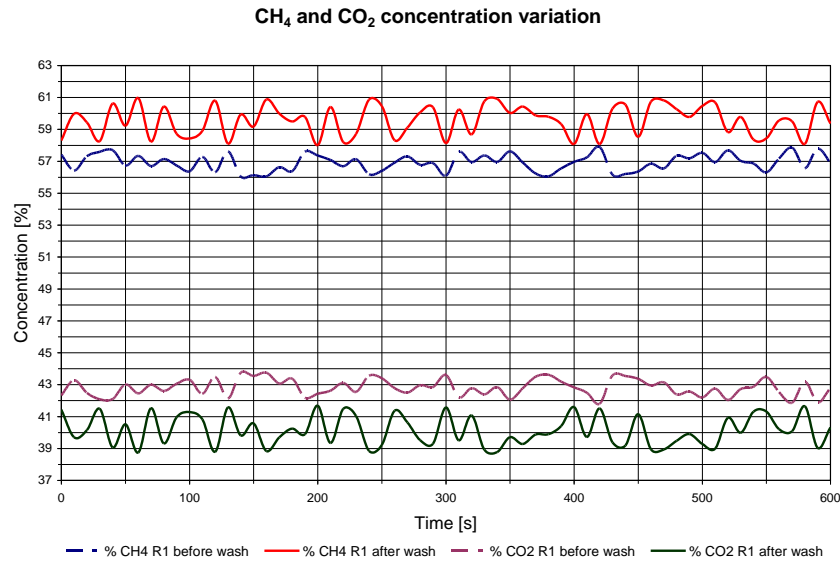
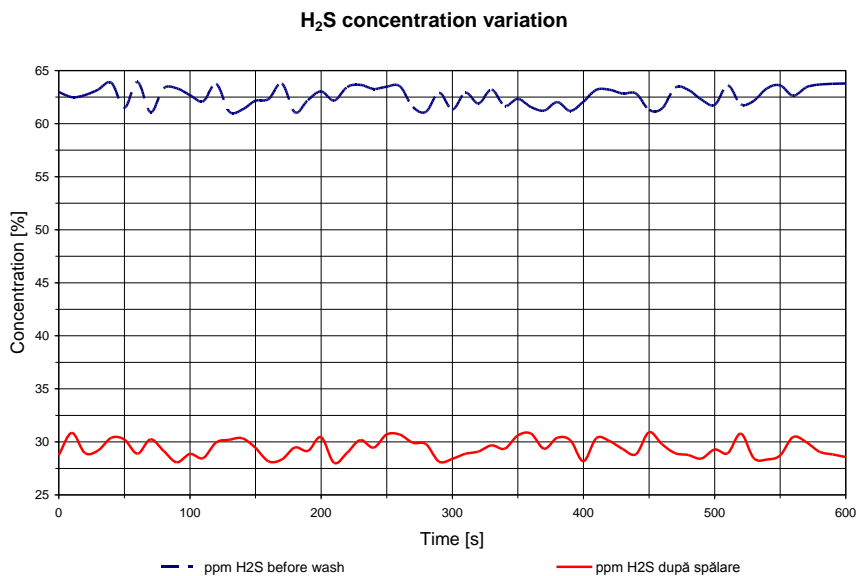


Figure A 51 - H₂S concentration, second reservoir, measurement no.2

For the second measurement, it can be observed that the CH₄ value is with approximately 1% larger for the second reservoir, this percentage influencing the CO₂ concentration, while H₂S concentration stays in the range of 30 – 32 ppm.

Figure A 52 - CH₄ and CO₂ concentration: second reservoir, measurement no.3Figure A 53 - H₂S concentration, second reservoir, measurement no.3

From the graphics A 52 and A 53 it can be observed that the methane concentration in the last part of the process decreases, like for the first reservoir, the CO₂ concentration is in the range of 42 – 43 % and H₂S concentration is about 30 ppm.

4. Corn waste batch

The last batch was composed only from corn waste; the total quantity of solid material introduced in each reservoir was 75 kg.

The solid material / liquid volume ratio = 0.037 %

$$C / N \text{ ratio} = \frac{46.58}{0.47} = 99.1$$

The next graphics present the variation of the main parameters like for the first three batches.

Temperature variation

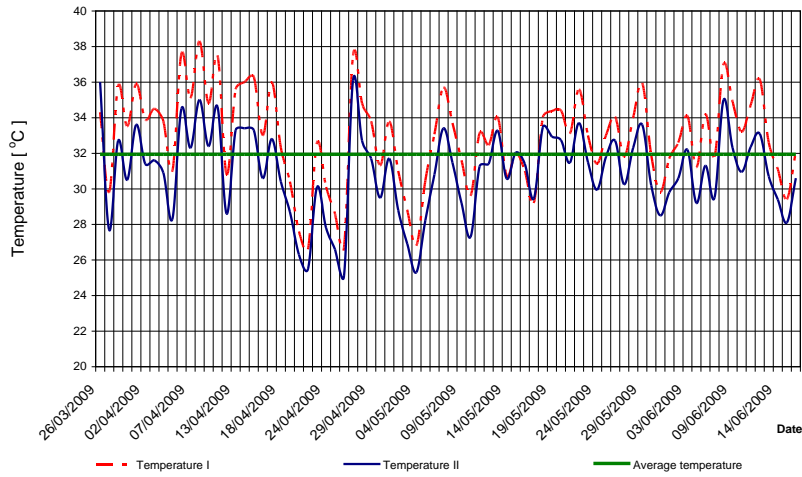


Figure A 54 – Temperature variation

pH variation

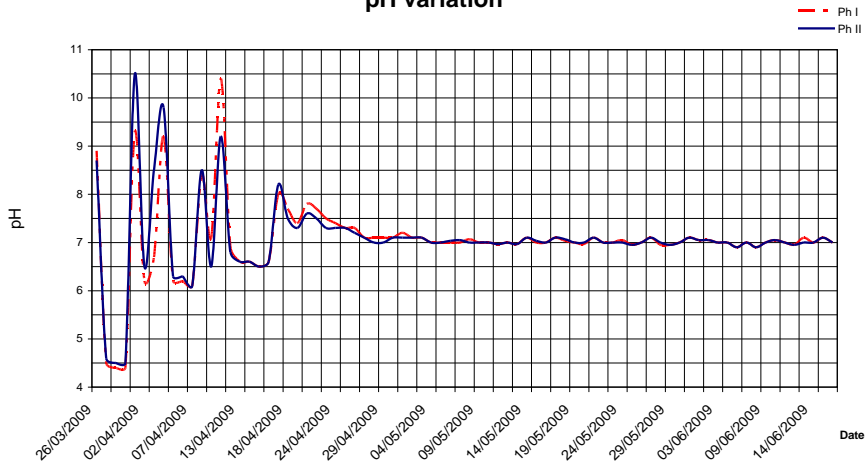


Figure A 55 – pH variation

Pressure difference

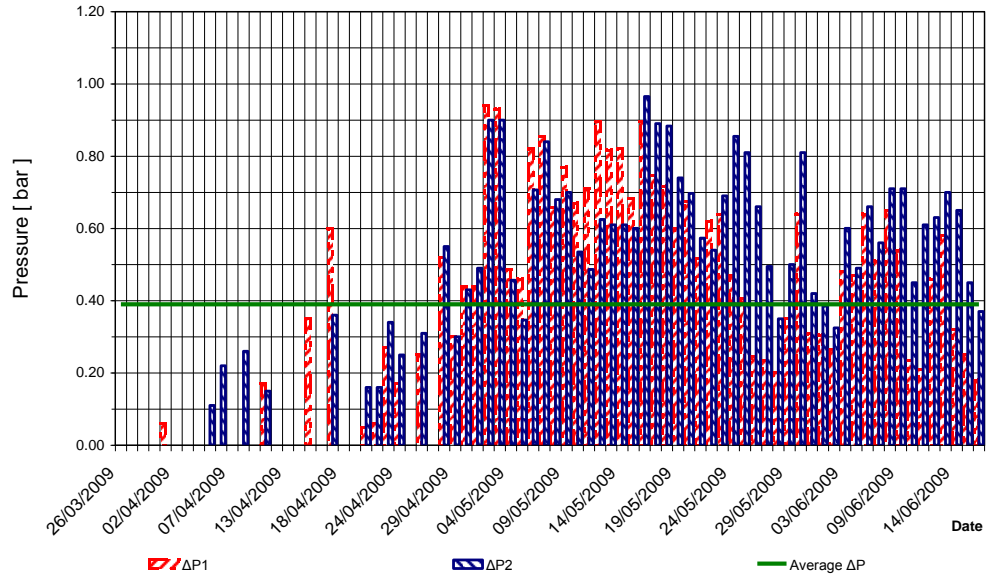


Figure A 56 – Pressure difference

Biogas production

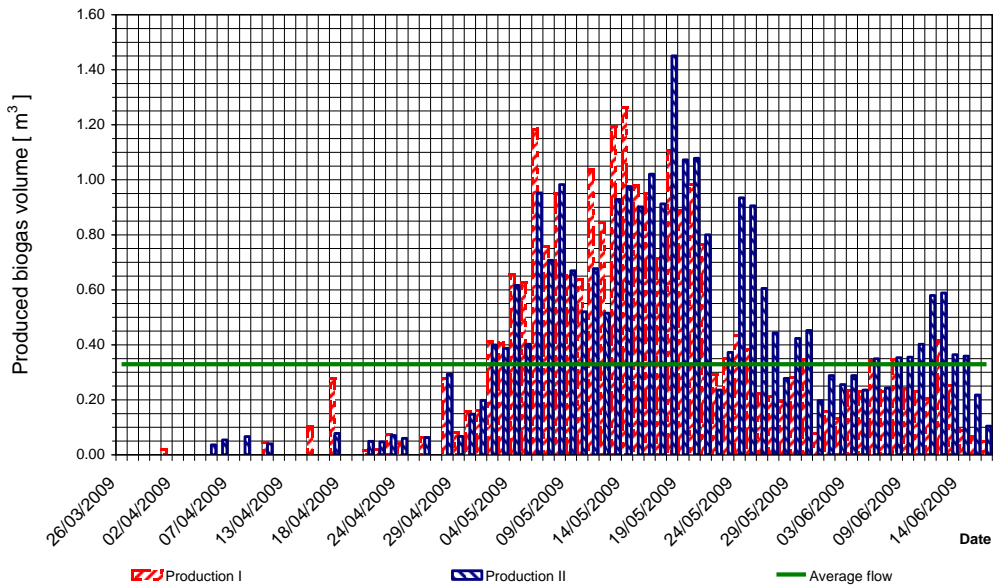


Figure A 57 – Biogas production

From figure A 54 it can be observed the same variation between temperatures inside the reservoirs that was noticed for the other batches, and the average value is about 32° C. The pH values are fluctuating very much in the first part of the process, suggesting that the suspension of material needed to be corrected each day in the first period with the help of dosing pumps. The correction was made to a value to a maximum of 10 during 1 – 2 days, because of the decrease in pH until the next day was of 2 – 3 units.

The correlation between the difference in pressure and biogas production shows that this batch had produced the largest quantity of biogas, meaning 51.38 m³ in a period of 83 days.

The next graphics are related with the CH₄, CO₂ and H₂S concentrations in the reservoirs.

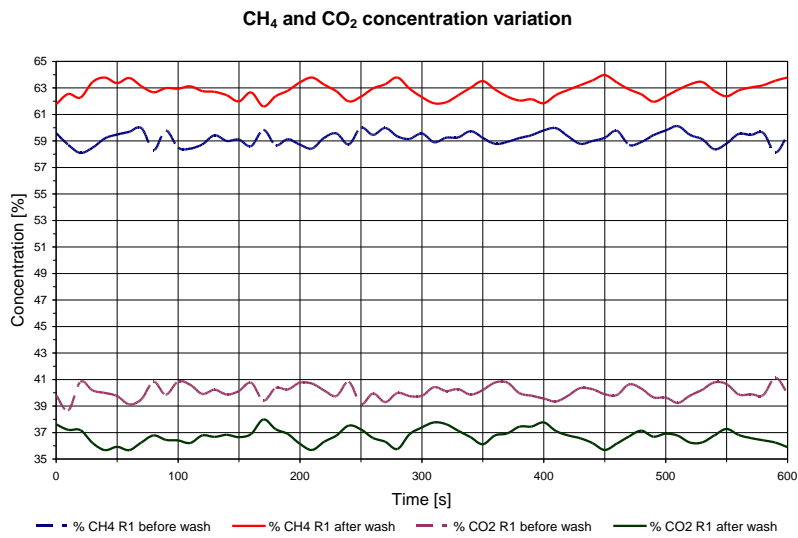


Figure A 58 - CH₄ and CO₂ concentration: first reservoir, measurement no.1

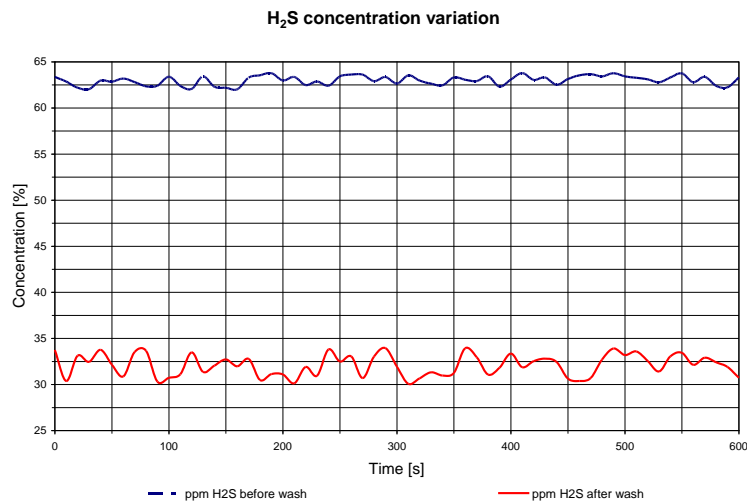


Figure A 59 - H₂S concentration, first reservoir, measurement no.1

From the figures A58 and A59 it can be observed that the CH₄ concentration is about 63%, the correlated value of CO₂ concentration is about 37% and the H₂S concentration is very low again, about 32 ppm, values measured after the CO₂ washing filter.

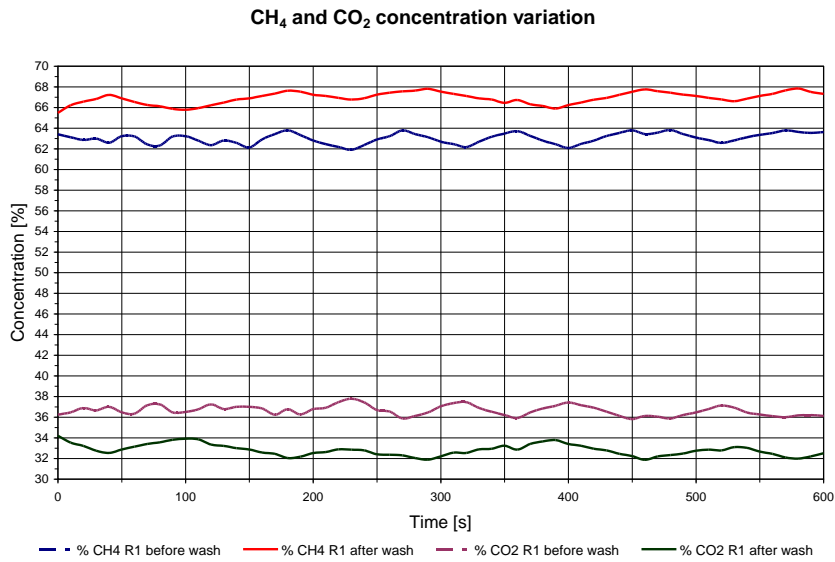


Figure A 60 - CH₄ and CO₂ concentration: first reservoir, measurement no.2

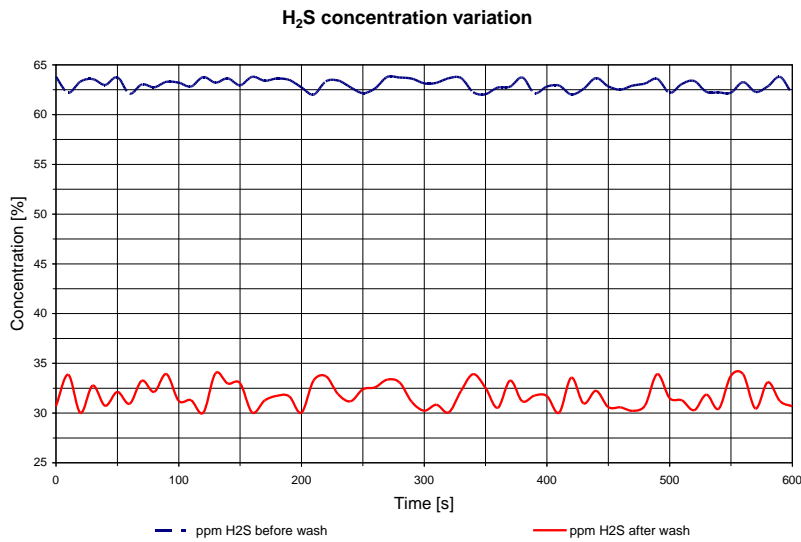


Figure A 61 - H₂S concentration, first reservoir, measurement no.2

The maximum value for the CH₄ concentration is obtained for both reservoirs in the second measurement, and as we can see in figure A 60, it is in the

range of 67 – 68%. The CO₂ concentration is decreased, approximately 32 – 33 %, while H₂S concentration presented in figure A 61 is 32 – 33 ppm.

CH₄ and CO₂ concentration variation

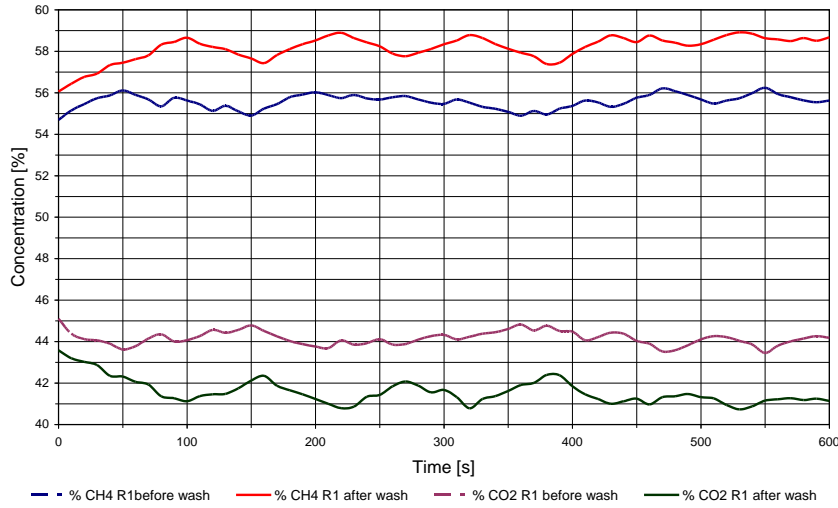


Figure A 62 - CH₄ and CO₂ concentration: first reservoir, measurement no.3

H₂S concentration variation

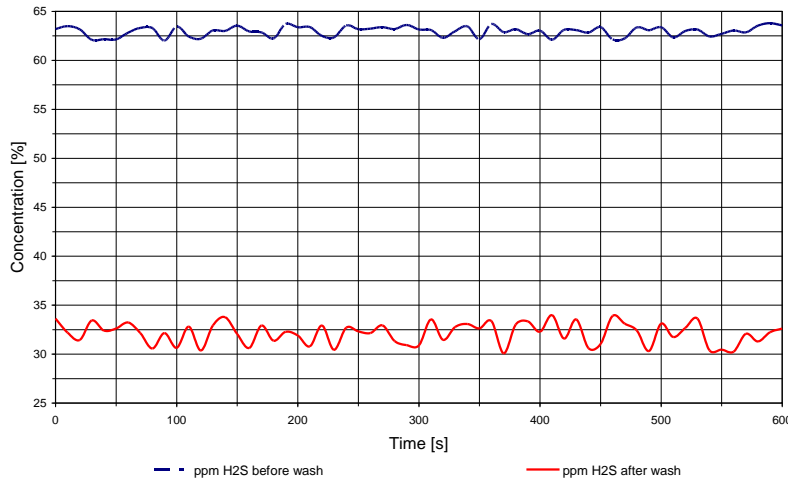


Figure A 63 - H₂S concentration, first reservoir, measurement no.3

Like for the other three batches, in the last part of the process the CH₄ concentration decreases, as it can be seen from figure A 62 to a value of 58 – 59%, while the CO₂ concentration reaches a value of 41 – 42 %, and the H₂S concentration, presented in figure A 63 has a value of about 33 ppm.

The next graphics present the variation of methane, CO₂ and H₂S concentrations for the second reservoir.

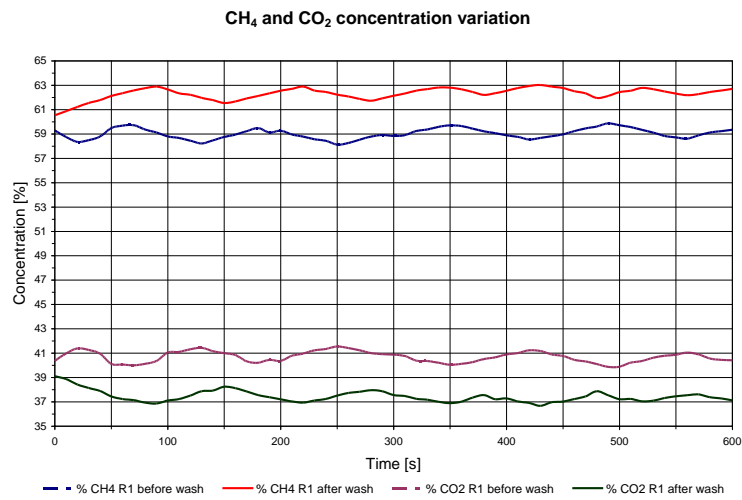


Figure A 64 - CH₄ and CO₂ concentration: second reservoir, measurement no.1

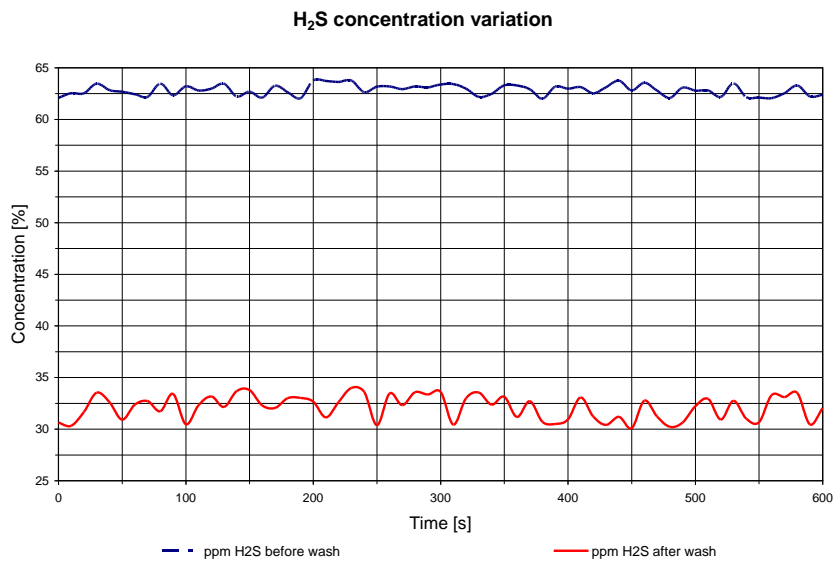


Figure A 65 - H₂S concentration, second reservoir, measurement no.1

From the figures A64 and A65 it can be observed that the concentrations for the second reservoir are close to the ones for the first (CH₄ between 62 -63 %, CO₂ between 37 - 38% and H₂s between 30 - 32 ppm).

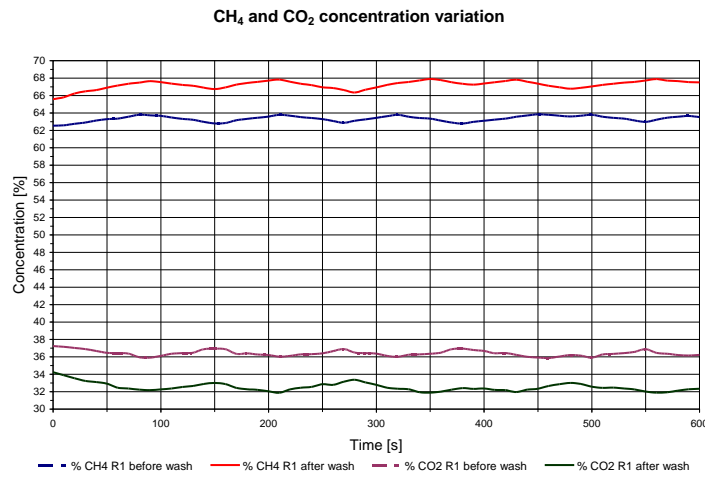


Figure A 66 - CH₄ and CO₂ concentration: second reservoir, measurement no.2

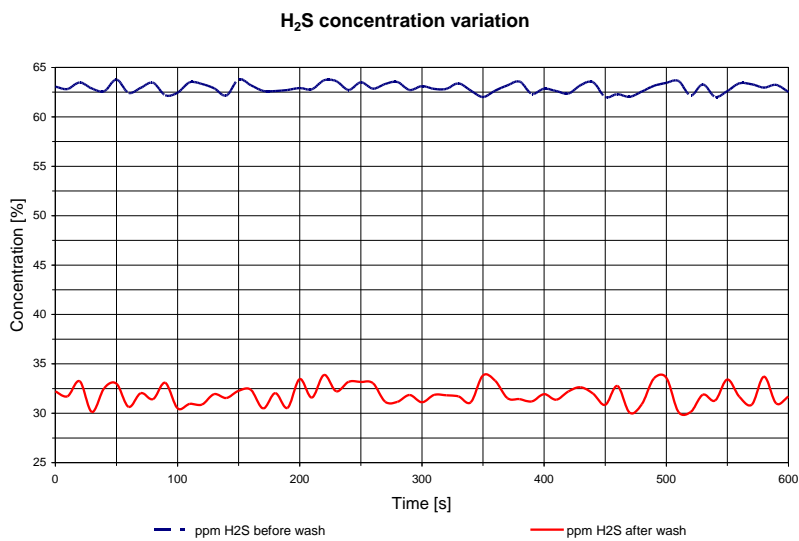


Figure A 67 - H₂S concentration, second reservoir, measurement no.2

From the figures A 66 and A 67 we can observe the maximum value for methane (67 – 68 %) obtained for this batch, and also the values for CO₂ concentration that is decreased compared with the first measurement (32 – 33%), while H₂S concentration has a value of about 32 ppm.

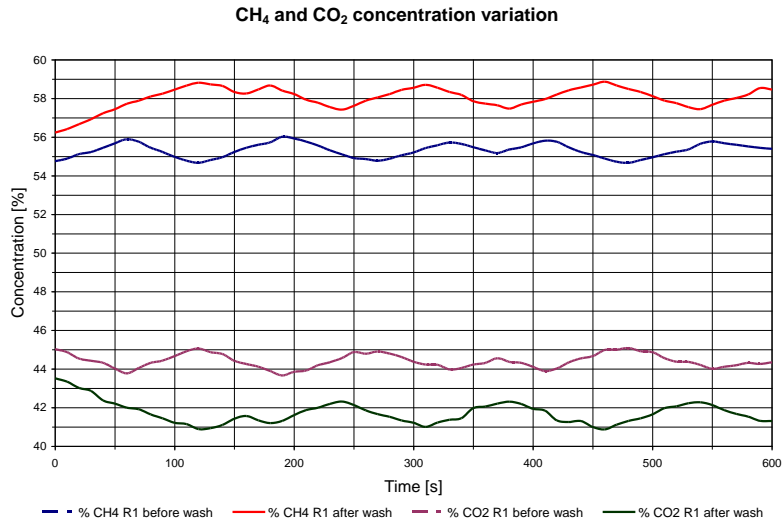


Figure A 68 - CH₄ and CO₂ concentration: second reservoir, measurement no.3

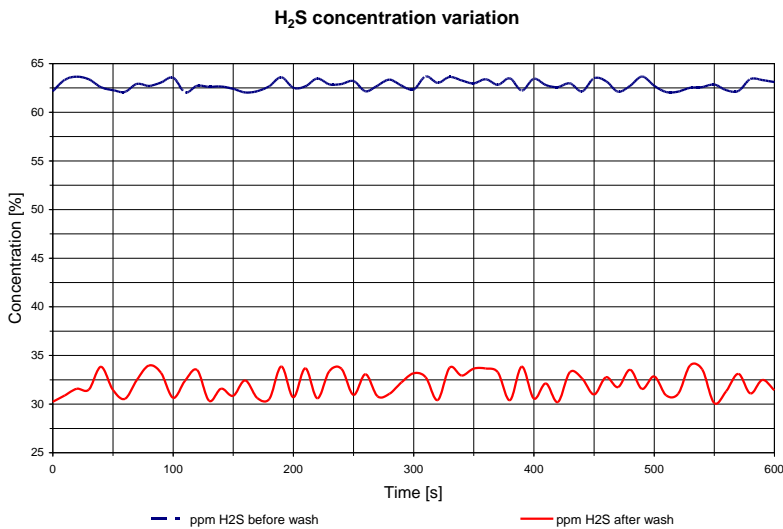


Figure A 69 - H₂S concentration, second reservoir, measurement no.3

From the graphics A 68 and A 69 it can be observed that in the last part, like for the other batches, the methane concentration decreases to a value close to the one for the first reservoir (58 – 59 %), the CO₂ concentration increases (41 – 42%) and H₂S value remains about the same, approximately 32 ppm, all the values being measured after the CO₂ washing filter.

It can be said that the last batch is the one with the largest quantity and quality obtained in biogas production, the measurements made for all the batches indicating that the cereal residues are far more suited to be used than wood residues.

Determination of the calorific value for the biogas

The determination of the calorific value for the obtained biogas was made for the last batch that had the largest quantity and the best quality for the obtained biogas. The determination was made using a Junkers calorimeter.

The relations for determining the calorific value are presented below:

$$H_s \cdot V_0 = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1)$$

(1.2.)

Where:

H_s – high calorific value [J/m³_N];

m – water capacity measured inside the calorimeter [kg];

c – water thermal capacity [J / kg*K];

t_1, t_2 – temperatures for the water on the entering point and exit point from the calorimeter [°C];

V_0 – burned gas volume correlated with the normal state [m³_N].

Value for the high calorific value is calculated like below :

$$H_s = \frac{m \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{V_0} \text{ [kJ/m}^3\text{N]}$$

(1.3.)

$$V_0 = V \frac{T_0}{T} \frac{p}{p_0} \text{ [m}^3\text{N]}$$

(1.4.)

V – burned gas volume for m water kg in m³_N;

T, p – state parameters for the fule gas rea don the counter device;

T_0, p_0 – state parameters in normal physical conditions.

Low calorific value is determined with the relation :

$$H_i = H_s - \frac{r \cdot w}{V_o} \text{ [kJ/m}^3\text{N]}$$

(1.5.)

r – 2260 kJ / kg – water vaporization heat at atmosferic pressure;

w – condensate quantity form the flue gases [kg].

For a measured value of 66% methane and approximately 34.5 % CO₂ from the obtained biogas, the next values were obtained:

$$t_{\text{gas}} = 25^\circ\text{C}$$

water measured quantity = 2 kg

$$p_{\text{atm}} = 1007 \text{ mbar}$$

overpressure = 2 mbar

$$p = 1009 \text{ mbar}$$

$$p_0 = 1013 \text{ mbar}$$

$$V = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$t_1 = 23^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 27.2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

From relation (5.4.) is determined the value for V_0 :

$$V_0 = 1,368 \text{ m}^3_{\text{N}}$$

From relation (5.3.) is determined the value for the high calorific value:

$$H_S = 25789 \text{ kJ / m}^3_{\text{N}}$$

The obtained condensate quantity was $w = 3 \text{ mg} = 3 * 10^{-3} \text{ kg}$

From the relation (5.5.) is determined the low calorific value:

$$H_i = 20833 \text{ kJ / m}^3_{\text{N}}$$

Determination of the calorific values for the resulted residue after the anaerobic fermentation process

For the determination of the calorific values (high and low) it was used the calorimeter bomb model IKA C 5000, during a period of training over a specialized laboratory in Viena, Austria.

After the burning process of the sample inside the bomb, it was made the washing of the burned material with distilled water, and for the calculating protocol for the calorific value it was taken into consideration the presence of chlorines, nitrates and sulphates.

In table B2 are presented the obtained calorific values for the residues.

Table B2 – Calorific values for the residues

No.	Sample	High calorific value [kJ / kg]	Low calorific value [kJ / kg]
1	Beech dust residue – reservoir no. 1	13195	11759
2	Beech dust residue – reservoir no. 2	12987	11463
3	Linden dust residue – reservoir no. 1	13254	11843
4	Linden dust residue – reservoir no. 1	13146	11721
5	Mix of corn and maize waste residue – reservoir no. 1	7356	6094
6	Mix of corn and maize waste residue – reservoir no. 2	7335	6044
7	Grains of corn waste – reservoir no. 1	4972	3673
8	Grains of corn waste – reservoir no. 2	4936	3645

From table B2 it results that the wood residue didn't consumed it's calorific value during the process of anaerobic fermentation, reason for which it can be used in different co – combustion processes with material that has good combustion properties.

The cereal residues were consumed in a large part during the anaerobic fermentation process, reason for which they aren't suited for co – combustion processes.

Possibilities of using the biogas in internal combustion engines

Power generation by using gas fueled engines is widely spread around the world, especially in remote areas with no electric power transport infrastructure. Combined heat and power generation increases overall efficiency and provides environmental as well as economical benefits.

This theoretical study presents a method of evaluating emissions reduction when biogas is used. Several operating strategies are investigated, with different air-fuel ratios for a stationary engine. CO₂, CO and NO_x emissions values are calculated and the effect of methane content in the fuel is evaluated. A reduction of both NO_x and CO emissions values is noticed as the biogas methane content decreases, while carbon dioxide emissions are lower for methane rich biogas.

Dedicated lean-burn, turbo-charged spark ignition gas engines can reach electrical efficiency of 45% due to special features including combustion optimization and high mechanical efficiency through reduced losses³. Engines like MAN's 5-8 MW 32/40 PGI power generation gas engine with a completely new high-energy ignition system, combine the advantages of diesel engines, high efficiency and power density, with the low emissions of gas engines. Given this operation mode, where a small quantity of gas is injected into a pre-chamber to be ignited on a hot surface, electrical efficiency is as high as 46%, while NO_x emissions are less than 250 mg/Nm³ at 5% O₂.

When considering fuel sources, methane is the most environmentally friendly fossil fuel, with minimum CO₂ emissions. While diesel engines deliver high efficiencies up to 50%, nitrous oxide emissions are high and require the use of selective catalytic reduction exhaust gas treatment. Gas engines feature less CO₂ emissions and very low NO_x emissions, under 1 g/kWh without any exhaust gas treatment.

Spark ignition engines are a major source of air pollution due to the exhaust gases that contain nitrous oxides (NO and NO₂ collectively known as NO_x), carbon monoxide (CO), and organic compounds which are unburned or partially burned hydrocarbons (HC).

Nitrous oxide emissions (NO_x) are comprised of nitric oxide (NO) and nitrogen dioxide (NO₂). Out of the two species, NO is predominant with the major source being the oxidation of atmospheric nitrogen. The quantity of NO in the exhaust gas stream is given by the kinetics of formation and dissociation reactions, often called the extended Zeldovich mechanism. Reasonable NO formation rates can be modeled⁵ using equation (5.6.).

$$\frac{d[NO]}{dt} = \frac{6 \cdot 10^{16}}{T^{0.5}} \frac{1}{e^{69090/T}} [O_2]_e^{0.5} [N_2]_e$$

(1.6.)

where $d[NO]$ is the variation of nitric oxide molar concentration measured in mol/cm³ s, dt the variation of time in s, T local temperature in K, $[O_2]_e$ and $[N_2]_e$ are oxygen and nitrogen concentrations at chemical equilibrium measured in mol/cm³. A strong dependence between NO formation and temperature is evident through the exponential term. Local temperature during combustion and the expansion stroke

can be simulated using a flamelet model that predicts a drop in mean effective pressure with decreasing methane content (see figure A 70).

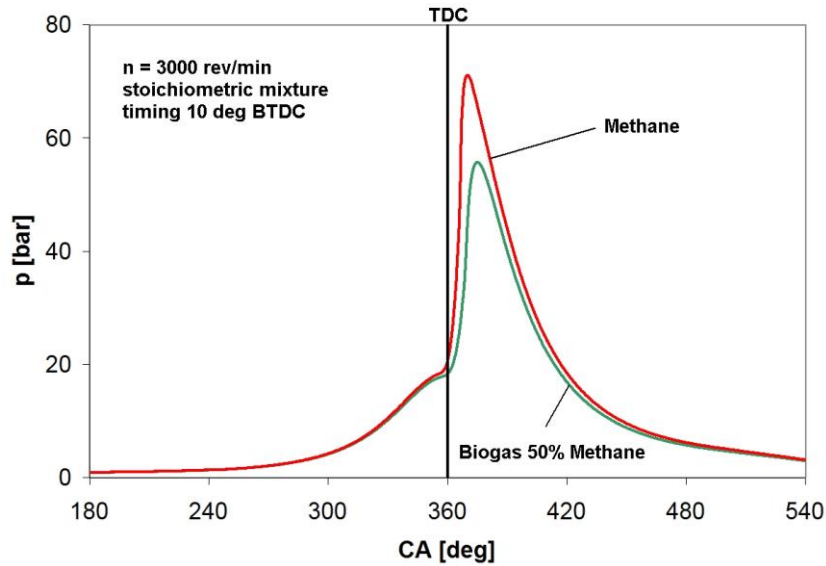
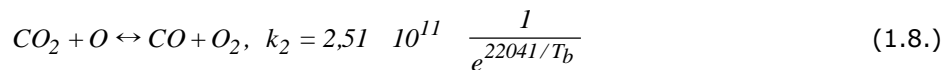
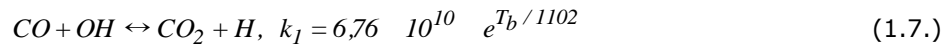


Figure A 70. Simulated pressure traces vs. crank angle rotation for methane and biogas with 50% methane content during compression and expansion strokes

Another influence factor is the equivalence ratio or excess air ratio (λ), quantified by O_2 and N_2 molar equilibrium concentrations. This influence becomes important when operating the engine on lean mixtures with certain types of fuels, like power gas. Exhaust gas recirculation indirectly affects NO_x formation by lowering temperature values during combustion, greatly reducing NO_x emissions even when hydrogen enriched fuel is used.

Carbon monoxide emission values are kinetically controlled, as the reaction rate of oxidation to CO_2 is slow compared to the CO formation rate. CO concentrations measured for rich mixtures are in good agreement with predicted equilibrium values, while at close to stoichiometric mixtures a correction is necessary. The CO oxidation and formation mechanism can be modeled with specific reaction rates as described by equations (5.7) and (5.8).



where k_1 , k_2 are reaction rates measured in $m^3/kmol \cdot s$, and T_b is the burned gas temperature in K.

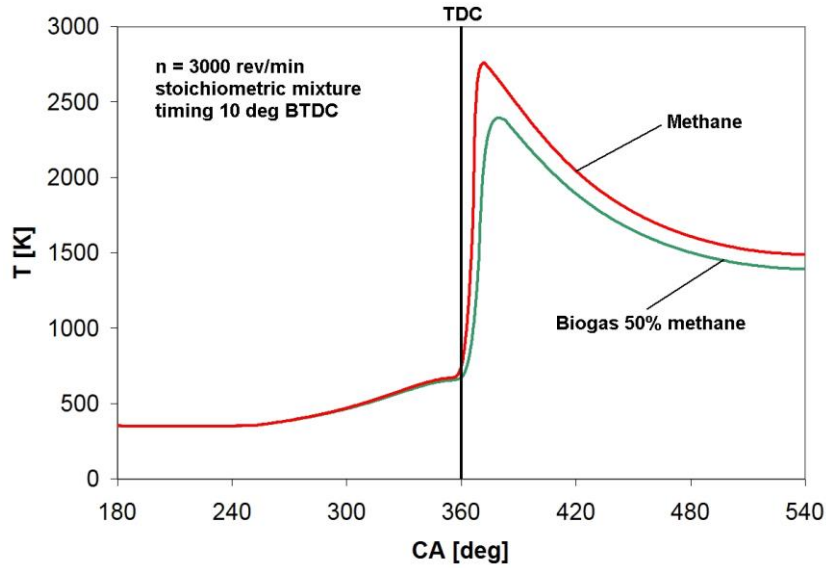


Figure A 71. Simulated temperature values vs. crank angle rotation for methane and biogas with 50% methane content during compression and expansion strokes

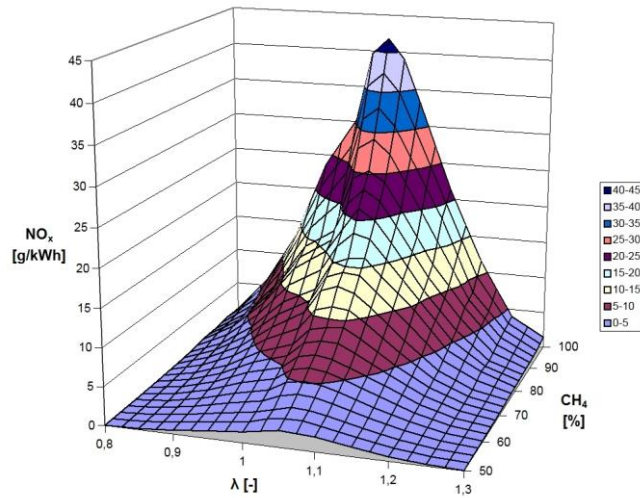


Figure A 72. Calculated NO_x emissions for different biogas quality values, engine speed 3000 rev/min

The presence of CO_2 in biogas has a similar effect on NO_x emissions as exhaust gas recirculation, as temperature values during combustion are lower for biogas with high carbon dioxide content (see figure A 71). A significant reduction of NO formation is noticed for the entire excess air ratio range as the biogas is richer in CO_2 . Of course, the presence of CO_2 leads to a drop in efficiency because of longer combustion due to a lower flame speed, and an increase of unburned hydrocarbon emissions. The model predicts a peak in NO_x values for slightly lean mixtures (see

figure A72), in good agreement with experimental data. Simulated maximum values however, are higher than those actually measured.

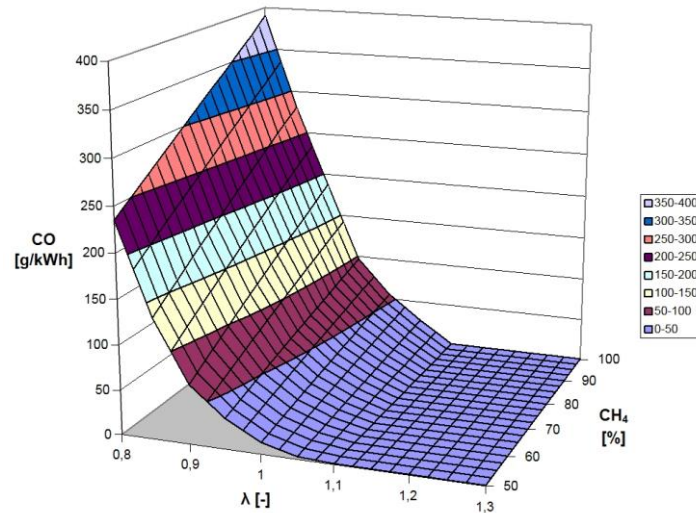


Figure A 73. Calculated CO emissions for different biogas quality values, engine speed 3000 rev/min

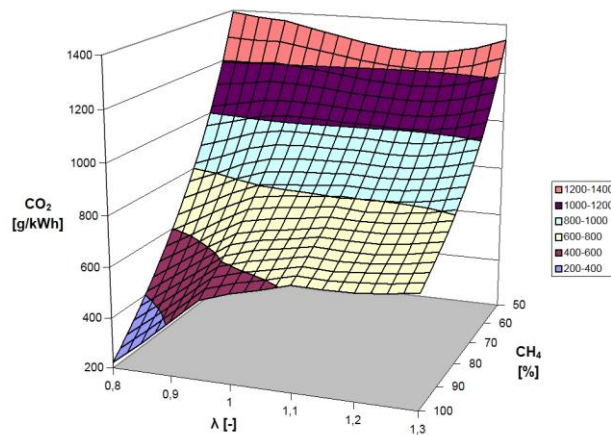


Figure A 74. Calculated CO₂ emissions for different biogas quality values, engine speed 3000 rev/min

CO emissions drop as the methane content decreases (see figure A73), mainly due to lower combustion temperatures and because there is less carbon available for oxidation.

Evidently, less carbon dioxide is present in the exhaust gas stream, as methane content is higher (see figure A74). It must be noted however, that biogas is a CO₂ neutral energy source.

Having in mind the character of this fuel we can determine the CO₂ quantity that can be reduced by not going to be dispersed in the atmospheric air in case of using fossil fuels.

For low power electrical generators driven by spark-ignition engines in general is used gasoline, liquefied petroleum gas (LPG) or natural gas.

Electric power generated by using a spark ignition engine (MAS) can be calculated with relation (5.9.), where the effective yield (η_e) ranges from $\sim 30\%$ under full load operation. Higher values of this efficiency (up to $\sim 39\%$ and even higher) can be obtained for MAS supercharged operating with very lean air-fuel mixture at low speed ~ 1500 rpm and have a high compression ratio. Such engines are limited to operation with natural gas due to high tendency to detonation.

$$P_e = \eta_g \cdot \eta_e \cdot \dot{m}_{fuel} \cdot H_i \quad (1.9.)$$

where:

P_e - the electrical power [W],

η_g - electric generator efficiency [-]

η_e - actual performance engine [-]

\dot{m}_{fuel} - fuel flow [kg / s]

H_i - fuel calorific value [J / kg].

Internal combustion engine which causes the electric generator requires more maintenance and repairs at regular intervals. Thus, a number of operating hours is necessary to change the oil, the various components of the ignition system, change filters etc.. Also, every time more than necessary repairs which require more pieces of the engine change. All these operations effectively reduce the time the engine can be exploited, and the actual operation is reduced compared with the life of unit.

The electricity that can be produced depends on the size of the biogas plant. For small biogas plants, as is the case with the experimental installation on which measurements were made, the power internal combustion engine is of the order of 2.5 kW. For an effective power of the engine (P_e) of 2.2 kW, the actual yield (η_e) of the internal combustion engine by 30%, an effective operating coefficient (η_f) for a yield of 76% and electric generator (η_g) 98% can make a comparison of CO₂ emissions (Table B 3) in case of using gasoline ($H_i \sim 43,500$ kJ / kg) or natural gas ($H_i \sim 50,000$ kJ / kg). Obviously the use of biogas in CO₂ emission is practically zero, which means a reduction in the emission of carbon dioxide. There is a higher amount of annual emissions of CO₂ in using gasoline compared to the situation when is used natural gas, which is explained by the higher carbon content of gasoline (~ 0.854 per kg of bodyweight / kg_{fuel}) compared with methane (0.75 per kg of bodyweight / kg_{fuel}), this being the main component of natural gas.

Table B3 – Calculated CO₂ annual emission

Fuel	P_e [kW]	η_e	η_g	η_f	m_{fuel} [kg]	CO ₂ emission [t/year]
Gasoline	2,2	0,3	0,98	0,76	7131	22,329
Natural gas					6203	17,058

Obviously, for an installation which produces electricity and by using a heat exchanger mounted on the exhaust path is recovered some of the heat evacuated from the engine, it can be obtained very high efficiency in cogeneration system and

the potential reduction of CO₂ emission is much higher compared to where MAS is used to generate electricity and a central heating is used to get heat. Overall efficiency heat exchangers (η_{sc}) are the maximum values of $\sim 70\%$ but this figure varies widely depending on the parameters which are operated this way for recovering the heat contained in exhaust gases. Another important aspect is the evaluation of the heat to maintain a proper temperature so that the bioreactor provided an environment conducive to development of methanogenic bacteria. Thus, although efficiency of energy production in cogeneration system has high values (around 80%), overall plant efficiency is lower due to the loss of heat needed to maintain optimum temperature in fermentation tanks.

General conclusions

PhD thesis entitled "Theoretical and experimental contributions to the biogas production from waste biomass" is structured in 6 chapters, summarize them in tackling the use of renewable energy, especially the biogas production from biomass, in the context of energy issues at local, regional and global level. In the following, the thesis content is presented by chapter.

In the first chapter "General aspects regarding the need to use renewable energies" are highlighted elements of generality associated with various types of renewable energy used today, the necessity of this study, the mark out of biomass potential as renewable energy resources and the objectives of using biogas as fossil fuel.

In the second chapter, "Positive effects of the biomass use for obtaining biogas" are mentioned: general elements of biomass feedstock for biogas production opportunities, the two main categories of biomass (agricultural and forestry), some data regarding characteristic of different varieties of biomass, and biomass preparation stages in order to exploit it by producing biogas.

In the third chapter "Obtaining biogas from biomass" are presented the concepts of organizing biogas production, biogas characteristics, the elements present in biogas, a classification of plants built to obtain biogas, different processes to obtain biogas through anaerobic fermentation, influence parameters regarding the anaerobic fermentation process, and examples of facilities that use biomass to obtain biogas through anaerobic fermentation.

In chapter four, "Description of experimental facilities and related equipment" the two existing facilities in the Laboratory of Fuels and Ecological Investigations of the Mechanical Engineering Faculty are presented, the first being a pilot plant completed in the patent with number 122047, "Method and installation for obtaining biogas from biomass", and the second representing a scale model to study in detail the anaerobic fermentation process. In this chapter are presented equipment related to this two installations and equipment used to monitor the fermentation process and to determine the characteristics of biogas produced.

In chapter five "Measurements and experimental results" are presented both sets of measurements made on small plant and the pilot plant. Measurements include the determination of biomass characteristics used in the process, monitoring the anaerobic fermentation and parameters of obtained biogas, determination of calorific value of biogas for each batch and the determination of calorific value for resulting waste from the anaerobic fermentation process. This chapter also comprises a study on the potential of using biogas in internal combustion engines.

Chapter six, "General conclusions" include conclusion regarding theoretical research and experimental investigations and the contributions of the author.

Conclusions regarding theoretical research

1) Biogas is a type of unconventional energy for the future, one way to produce energy and still tends to assume a growing impact in the present context related to reduce amounts of fossil fuels.

2) Biomass represents an inexhaustible energy resource that can be used partly or wholly for biogas production, both by anaerobic fermentation and other processes (aerobic fermentation, gasification), related technology for anaerobic fermentation process being used in the present;

3) Energy density of biomass, much less than classics fuels create non-economic transport and therefore it is recommended to be used at production place or in small or medium plants located nearby;

4) The requirements for biomass preparation are dictated by its sources, because the quality of raw materials can vary widely in terms of physical-chemical characteristics and hence the energy. The main operations are: preliminary size reduction, transport and storage, removing unwanted materials, and in some cases reducing the ash content, total or partial drying and secondary size reduction prior to incineration;

5) Biogas plants can be of different sizes, thus ensuring the energy needs at both individual (flat, firm) and industry level, with the cost investment depreciation in a reasonable time;

6) Regionally and globally, stimulated investments are linked to the achievement of plants to produce biogas, a shift in which our country should join the current conditions;

7) The purity of produced biogas is closely related to the type of biomass used, and a very important element to watch is the traces of hazardous gases (H_2S);

8) Main parameters of influence on the anaerobic fermentation process is the temperature at which the process is done, the pH of slurry, elementary chemical composition of the materials used and the biomass nature;

9) Reported on the substrate used, it is important to know the mass ratio of solid and liquid used and carbon / nitrogen ratio;

10) Washing of produced biogas by spraying water in special filters help to increase the percentage of methane contained in evacuated, percentage whose influence is reflected in the calculation of calorific value of gas fuel.

Conclusions regarding experimental investigations

For visualizing the experimental results after the monitoring process, related with the type of biomass that was used in the installation, in the next graphics it will be presented together the difference of pressure and the production of biomass for each reservoir.

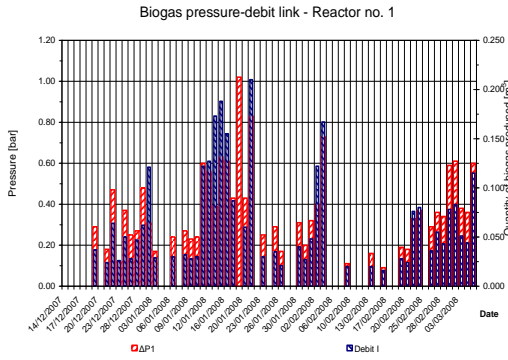


Figure A75 – Beech dust – reactor no.1

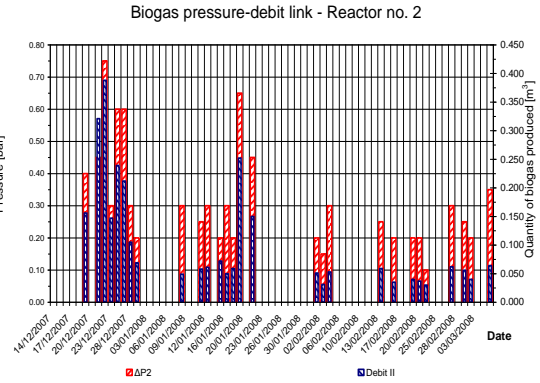


Figure A76 – Beech dust – reactor no.2

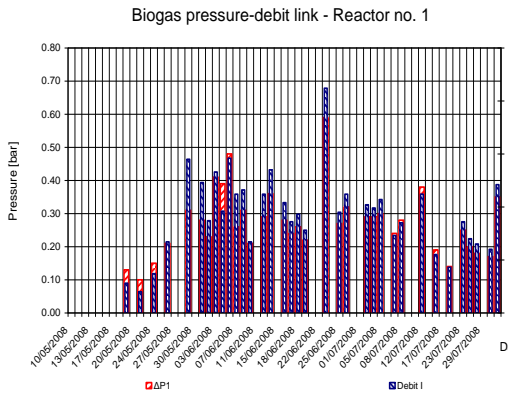


Figure A 77 – Linden dust – reactor no.1

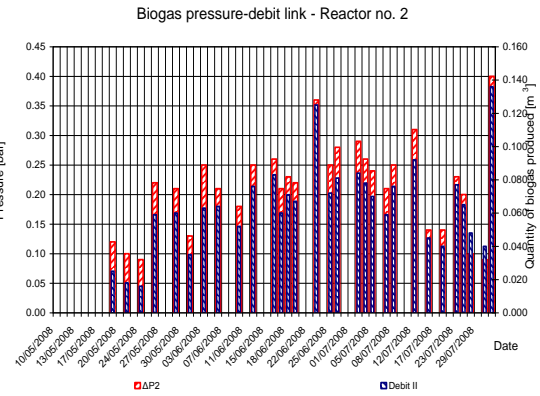


Figure A 78 – Linden dust – reactor no.2

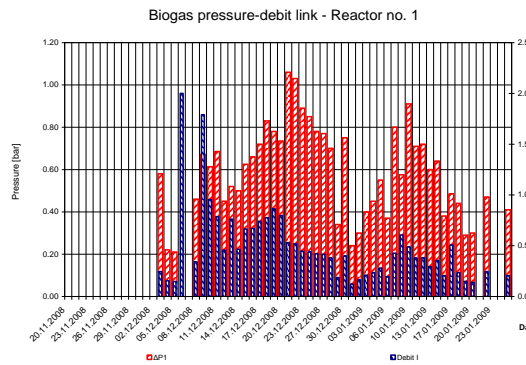


Figure A 79 - Mix of corn and maize waste – reactor no. 1

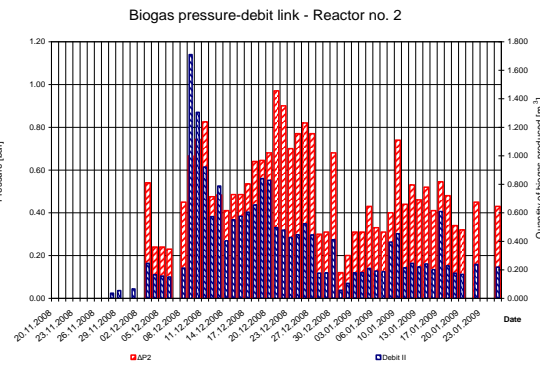


Figure A 80 - Mix of corn and maize waste – reactor no. 2

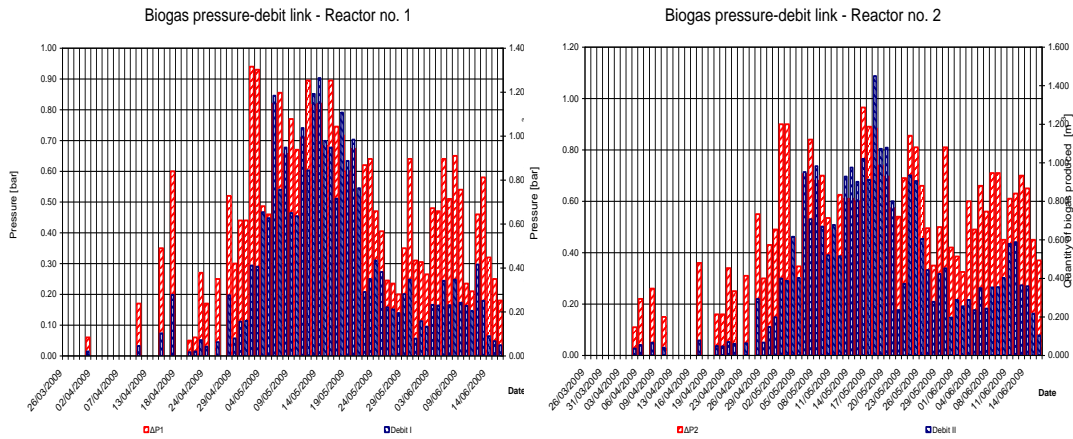


Figure A 81 - Grains of corn waste – reactor no. 1

Figure A 82 - Grains of corn waste – reactor no. 2

From the graphics presented above it is clear that the material used is very important, related with the type of biomass, the C / N ratio, the duration of the batch, and also the ration between solid matter and liquid volume. Through comparison it can be seen that the last two batches (figures A79 – A82) produce much more biogas than the first two (A75 – A78), and because of this, it is very important to find different solutions to solve the problem of the difficult degradation of the ligno – cellulose chains. An acid hydrolysis can be a solution, but through the process of neutralizing the acid, the result is often a salt, that decreases the speed of the formation of mathanogenic bacteria, and thus, the biogas production is reduced.

Figure A83 presents the comparative values for the four batches, showing that for the wood waste the values are reduced by the existence of a large percentage of ligno-cellulose, while for waste such as cereal, the starch content and organic matter content plays an important role in the production of methane. Values do not include quantities of biogas used for analysis.

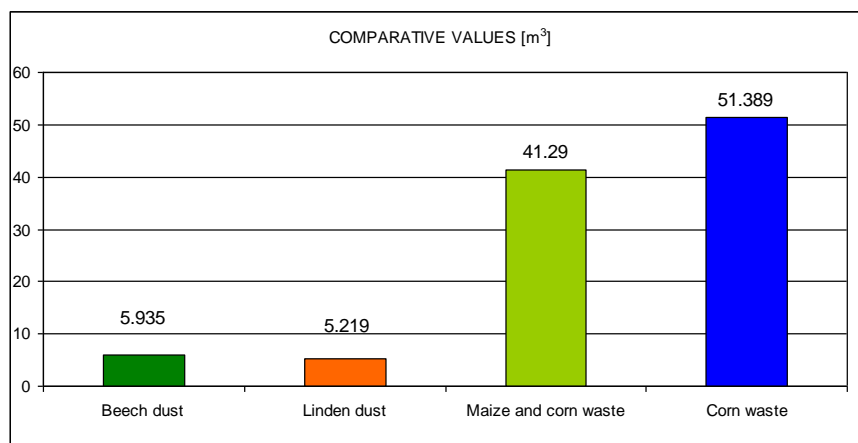


Figure A 83 – Comparative results regarding the biogas production

Because the energetic value of the waste is relatively high, for a full recovery of energetic potential it is recommended to be co-incinerated with high calorific value fuels, so that all existing quantity the to be used.

Biogas purification process is important to obtain the best possible quality of it. As explained in Chapter five, good washing can increase the biogas methane content, in the case of pilot plant the biogas percentage obtained after washing was improved by 3 to 5%.

The results obtained on small plant present mesophilic regime as best suited to carry out anaerobic fermentation process, in terms of priming the burden and the production period of biogas. Although, the biogas is produced in small quantities, related to the batch of used material, images taken using binocular eyeglass showed the decomposition ability of the material and obtaining biogas over time correlated with the decomposition process.

Reported to the applications that biogas may have for combustion process, using biogas to produce electricity and heat in a co-generation plant can reach high levels of efficiency.

Taking the fuel used to drive the engine conversion from gasoline to biogas, a proper assessment of the emission values should highlight the best strategy to exploit the engine. The quality of biogas is an important factor, with an important impact on efficiency and emissions. A high methane content increases combustion efficiency and temperature values are correlated with higher emissions of NO_x and CO. Engines operated with low quality biogas have high CO₂ emissions, linked to high levels of unburned hydrocarbons which are eliminated in the atmosphere due to the limited development of the combustion process in the presence of CO₂ content in biogas.

Theoretical and experimental contributions

1) Browsing the literature allowed to organize the current state of knowledge in the production of biogas from waste biomass, inside the research team of Fuels and Ecological Investigations Laboratory at the Mechanical Engineering Faculty of Timisoara.

2) Active involvement in researches conducted in our department in various grants and contracts, especially the grant of which purpose was to build up a pilot plant for production of biogas from biomass by anaerobic fermentation;

3) Assembling the facility and implementing pilot plant operation for biogas production through anaerobic fermentation;

4) Building a small plant to study in detail the process of anaerobic fermentation;

5) Determination of degraded material appearance by using a binocular eyeglass and matching the decomposition influence process with biogas production;

6) The laboratory analysis for various sorts of biomass and waste biomass. These analyses were accomplished under a European project in the Vienna OFI laboratories and in the existing laboratories of Mechanical Engineering Faculty. Laboratory tests included:

- moisture content determination for used biomass
- ash determination for used biomass
- major elements determination for in use biomass
- heavy metals determination for in use biomass;

- 7) Maintenance of facilities and auxiliary equipment during operation and off-cycle periods;
- 8) Permanent monitoring of parameters for anaerobic fermentation process;
- 9) Making measurements for the concentration of biogas constituents by DELTA 1600 S IV and Testo 300 XXL gas analyzers
 - methane determination,
 - carbon dioxide determination,
 - hydrogen sulfide determination;
- 10) Determination of calorific value for biogas obtained from the batch with the best properties in terms of quality and quantity;
- 11) Determination of calorific value for waste resulted from the anaerobic fermentation process;
- 12) Highlighting further opportunities for utilizing the residues resulted from the anaerobic fermentation process;
- 13) The processing, presentation and analysis of the measurements results on pilot plant for anaerobic biogas fermentation;
- 14) Elaboration of chats with comparative results in relation to the produced biogas;
- 15) Determinate the importance of ligno-cellulose content and the carbon / nitrogen ratio substrate used in the anaerobic fermentation process, related to studied literature and with calorific value determined experimentally for the residue resulting from the process;
- 16) Interdisciplinary approach of the research, by taking on specific working methods from chemical and mechanical field;
- 17) Making a theoretical study related to applications of biogas in internal combustion engines;
- 18) Highlighting opportunities for achieving a triable technology over time, with application to the internal combustion engine to reduce CO₂ emissions from energy production using renewable resources.

Main conclusion

In conclusion, the paper, through it's involvement regarding the environmental protection using renewable energies demonstrates the potential of using different types of biomass residues to obtain biogas, that is considered to be CO₂ neutral in combustion processes. There are shown the advantages and limitations using different types of vegetable biomass residues and all the important factors that can influence the process of obtaining and using the produced biogas.