

# **CONTRIBUȚII PRIVIND VALORIFICAREA ENERGETICĂ A BIOMASEI PENTRU OBȚINEREA DE BIOGAZ**

Teză destinată obținerii  
titlului de doctor inginer  
la  
Universitatea Politehnica Timișoara  
în domeniul INGINERIE MECANICĂ  
de către

**ing. Lucia Ana Varga**

Conducător științific: prof. dr. ing. habil Ioana Ionel  
Referenți științifici: prof. univ. dr. ing. dhc Ecaterina Andronescu  
prof. univ. dr. ing. Tudor Prisecaru  
prof. univ. dr. ing. Radu-Liviu Șumălan  
prof. univ. dr. ing. Corneliu-Mircea Davidescu

Ziua susținerii tezei: 15.11.2018

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- |   |  |
|---|--|
| 1. Automatică                               | 10. Știința Calculatoarelor                |
| 2. Chimie                                   | 11. Știința și Ingineria Materialelor      |
| 3. Energetică                               | 12. Ingineria sistemelor                   |
| 4. Ingineria Chimică                        | 13. Inginerie energetică                   |
| 5. Inginerie Civilă                         | 14. Calculatoare și tehnologia informației |
| 6. Inginerie Electrică                      | 15. Ingineria materialelor                 |
| 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații | 16. Inginerie și Management                |
| 8. Inginerie Industrială                    | 17. Arhitectură                            |
| 9. Inginerie Mecanică                       | 18. Inginerie civilă și instalații         |

Universitatea Politehnică 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 Politehnică – Timișoara, 2018

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 Politehnică Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

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

## CUVÂNT ÎNAINTE

Teza de doctorat constituie o contribuție la cercetările teoretice și experimentale în domeniul valorificării energetice a biomasei și obținerea de biogaz. Aceste cercetări s-au desfășurat în contextul actual în care valorificarea deșeurilor spre economia circulară reprezintă o soluție pentru reducerea impactului activităților economice asupra mediului înconjurător.

Aduc mulțumirile mele doamnei prof. universitar dr ing. habil Ioana Ionel, conducătorul științific, pentru susținerea și înțelegerea în momentele dificile prin care am trecut. Îi mulțumesc pentru cunoștințele împărtășite și sugestiile făcute de domnia sa. Acestea au avut un rol esențial și au condus la îmbunătățirea permanentă a redactării tezei.

De asemenea, mulțumirile mele se îndreaptă către doamna prof.univ.dr. Ecaterina Andronescu, Universitatea Politehnica București, prof.univ.dr. Corneliu-Mircea Davidescu, Universitatea Politehnica Timișoara, prof.univ.dr. Radu-Liviu Șumălan, Univ.de Științe Agricole și Medicină Veterinară a Banatului Timișoara, precum și către președintele comisiei doctorale, prof. univ. dr. Maniu, Inocentiu, Universitatea Politehnica Timișoara.

Mulțumesc, de asemenea, membrilor comisiei de îndrumare: conf. dr. ing. Adina Negrea, conf. dr. ing. Ioan Laza, conf. dr. ing. Mircea Dorin Vasilescu pentru observațiile și recomandările făcute.

Mulțumesc cadrelor didactice de la Facultatea de Mecanică Timișoara care m-au sprijinit pentru a putea realiza cercetările practice și teoretice precum și tuturor celor din cadrul Școlii Doctorale de Studii Inginerești, Universitatea Politehnica Timișoara pentru cadrul propice creat în vederea finalizării cu succes a acestei etape de pregătire.

Mulțumesc, de asemenea, CNCS-UEFISCDI care, prin finanțarea proiectului "Valorificarea potențialului energetic al reziduurilor agro-industriale prin procese de biodegradare și arderea catalitică a biogazului rezultat", mi-a dat posibilitatea să realizez studiile experimentale. Aprecierile mele se îndreaptă deopotrivă către cel care a coordonat acest proiect, dl director de proiect, ing. Adrian Eugen Cioablă.

Mulțumesc ficei mele și soțului meu, prietenilor mei care m-au încurajat, m-au susținut și mi-au fost alături în toată perioada doctoratului,

Mulțumesc lui Dumnezeu pentru că mi-a dat sănătate, înțelepciune și putere să realizez această lucrare!

Lucia Ana Varga

*„Un nou mod de gândire e necesar dacă oamenii vor să supraviețuiască.”  
Albert Einstein*

Varga, Lucia Ana

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

Teze de doctorat ale UPT, Seria 9, Nr. 181, Editura Politehnica, 2018, 160 pagini, 78 figuri, 34 tabele.

ISSN:1842-4937

ISBN: 978-606-35-0232-3

Cuvinte cheie: biogaz, deșeuri organice, valorificare energetică, digestie anaerobă, dezvoltare durabilă, economie circulară, energie regenerabilă, emisii de gaze cu efect de seră

Rezumat,

Lucrarea are ca obiectiv identificarea de soluții pentru valorificarea energetică a biomasei pentru obținerea de biogaz.

Cercetările au fost direcționate spre analiza posibilităților de valorificare a deșeurilor organice prin digestie anaerobă a acestora în instalații de biogaz și valorificarea energetică a biogazului obținut.

Au fost studiate un număr reprezentativ de referințe bibliografice din fluxul actual al cunoașterii din România și de la nivel mondial și au fost identificate unele elemente valoroase legate de posibilitatea valorificării deșeurilor în economia circulară.

A fost realizat Studiul experimental cu privire la identificarea de rețete pentru substraturi din apele uzate în combinație cu diverse alte deșeuri organice și digestia anaerobă a acestora, concretizat cu stabilirea unei metode de lucru atât în plan teoretic, cât și experimental pentru atingerea scopului.

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

De asemenea, au fost identificate direcții de acțiune pentru încurajarea valorificării deșeurilor în economia circulară pentru o dezvoltare durabilă.

# CUPRINS

<b>LISTĂ DE FIGURI .....</b>	<b>7</b>
<b>LISTĂ DE TABELE .....</b>	<b>10</b>
<b>NOTAȚII, ABREVIERI, ACRONIME .....</b>	<b>12</b>
<b>1. INTRODUCERE.....</b>	<b>13</b>
1.1. Scopul și importanța temei .....	13
1.2. Obiectivele tezei de doctorat .....	13
1.3. Structura tezei de doctorat .....	13
1.4. Utilizarea tezei de doctorat .....	14
<b>2. CADRUL LEGISLATIV .....</b>	<b>15</b>
2.1. Legislația privind dezvoltarea durabilă .....	15
2.2. Schimbările climatice și energia curată, provocări ale dezvoltării durabile....	16
2.3. Energia verde din biomasă.....	17
2.4. Energia verde și economia circulară-valorificarea deșeurilor organice .....	22
<b>3. STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII.....</b>	<b>28</b>
3.1. Digestia anaerobă. Generalități .....	28
3.2. Digestia anaerobă în instalațiile de biogaz din România .....	31
3.3. Digestia anaerobă a deșeurilor organice ca substrat principal .....	38
3.4. Digestia anaerobă a nămolului ca substrat principal .....	43
3.5. Digestia anaerobă a dejecțiilor animaliere ca substrat principal.....	51
3.6. Valorificarea metanului obținut în instalațiile de biogaz .....	58
3.6.1. Valorificarea energetică a biogazului.....	58
3.6.2. Îmbunătățirea biogazului și utilizarea lui în transporturi .....	60
<b>4. STUDIU EXPERIMENTAL .....</b>	<b>63</b>
4.1. Descrierea standurilor experimentale .....	63
4.1.1. Standul experimental .....	63
4.1.2. Sistemul de pregătire preliminară a biomasei .....	67
4.1.3. Rezervoarele de fermentație anaerobă.....	68
4.2. Sistem de evacuare a biogazului.....	69
4.3. Sistem de epurare a gazului.....	70
4.4. Sistem de reținere a dioxidului de carbon .....	72
4.5. Echipamente de măsură, control și dispozitive anexe .....	73
4.5.1. Echipamente de monitorizare a proceselor .....	73
4.5.2. Măsurarea concentrației de CH <sub>4</sub> și CO <sub>2</sub> .....	74
4.6. Sinteza operațiilor necesare punerii în funcțiune a instalațiilor experimentale de producere a biogazului .....	75
4.6.1. Pregătirea instalației pentru experimente .....	75
4.6.2. Pornirea/oprirea instalației experimentale de producere a biogazului ....	76
4.7. Rezultate experimentale. Interpretarea rezultatelor .....	77
4.7.1. Experimente de laborator.....	77

4.7.2. Experimente pe instalația pilot.....	83
4.8. Abordarea experimentală și de modelare a producției de biogaz prin digestia anaerobă a resurselor agricole.....	92
<b>5. MODEL PENTRU EVALUAREA REDUCERII EMISIILOR DE CO<sub>2</sub> PRIN VALORIFICAREA DEȘEURILOR SPRE BIOGAZ. ANALIZĂ CRITICĂ ..</b>	<b>95</b>
5.1. Gazele cu efect de seră și schimbările climatice .....	95
5.2. Prezentarea modelului folosit pentru evaluarea emisiilor de gaze cu efect de seră provenite din depozitarea deșeurilor menajere.....	99
5.3. Scenarii privind emisiile de gaze cu efect de seră provenite din depozitarea deșeurilor menajere în perioada de preaderare și aderare. Analiză critică.	100
5.3.1. Scenariul I, scenariul ideal al conformării privind depozitarea deșeurilor în România .....	100
5.3.2. Scenariul II, scenariul situației reale privind depozitarea deșeurilor în România .....	103
5.4. Scenarii privind emisiile de gaze cu efect de seră care ar rezulta prin depozitarea deșeurilor menajere până în 2035. Analiză critică .....	105
5.4.1. Scenariul III–Conformarea privind depozitarea deșeurilor față de țintele stabilite pentru anul 2035.....	105
5.4.2. Scenariul IV–Neconformarea totală privind depozitare deșeurilor față de țintele stabilite pentru anul 2035.....	108
5.5. Analiza critică a potențialului de reducere a emisiilor de CO <sub>2</sub> prin valorificarea energetică a deșeurilor spre biogaz .....	110
5.5.1 Analiza critică a potențialului de reducere a emisiilor de CO <sub>2</sub> prin valorificarea energetică a deșeurilor spre biogaz pentru perioada 2006-2016 ..	110
5.5.2 Analiza critică a potențialului de reducere a emisiilor de CO <sub>2</sub> prin valorificarea energetică a deșeurilor spre biogaz pentru perioada 2017-2035 ..	112
<b>6. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE .....</b>	<b>114</b>
6.1. Identificarea scopului și obiectivului tezei.....	114
6.2. Studiarea cadrului legislativ la nivel mondial și național .....	114
6.3. Studiarea unui număr reprezentativ de referințe bibliografice din fluxul actual al cunoașterii din România și la nivel mondial.....	115
6.4. Identificarea unor elemente valoroase legate de posibilitatea valorificării deșeurilor în economia circulară .....	116
6.5. Sistematizarea unor exemple din străinătate .....	118
6.6. Stabilirea unei metode de lucru, atât în plan teoretic, cât și experimental pentru atingerea scopului.....	118
6.7. Valorificarea energetică a deșeurilor, soluție pentru reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră .....	119
6.8. Propuneri privind direcțiile de acțiune pentru reducerea poluării mediului înconjurător prin valorificarea energetică a deșeurilor pentru obținerea de biogaz .....	121
<b>BIBLIOGRAFIE.....</b>	<b>123</b>
<b>SUMMARY OF PHD THESIS .....</b>	<b>136</b>

## LISTĂ DE FIGURI

Figura 2.3.1. Dinamica producției de energie din surse regenerabile în sectorul încălzirii și răcirii [105] .....	21
Figura 2.4.1. Ierarhia deșeurilor și procesele de valorificare energetică a deșeurilor [26].....	23
Figura 2.4.2. Evoluția cantităților de nămoluri generate în 2014 adaptat după [29] ....	26
Figura 2.4.3. Opțiunile de gestionare a nămolului .....	27
Figura 3.1.1. Evoluția numărului de instalații de biogaz în Europa [32], adaptat după [32] .....	29
Figura 3.1.2. Numărul de instalații de biogaz în Europa în 2015 adaptat după[32]	29
Figura 3.1.3. Centrale cu biogaz în Germania adaptat [107].....	30
Figura 3.2.1. Instalația de biogaz de la Filipeștii de Pădure, jud. Prahova[37] .....	32
Figura 3.2.2. Tancul de fermentarea a instalației de biogaz Filipeștii de Pădure, jud. Prahova [37] .....	33
Figura 3.2.3. Fluxul tehnologic de producere a biogazului din gunoi de grajd și culturi energetice ,instalația de biogaz Seini, jud. Maramureș[36].....	35
Figura 3.2.4. Schema de funcționare a unei instalații de biogaz în sistem cu transfer continuu, instalația biogaz Săcuieni , jud.Bihor[40] .....	36
Figura 3.2.5. Producția specifică de biogaz, instalația de biogaz Glina, București[35].	37
Figura.3.4.1. Schema simplificată a procesului de pretratare a deșeurilor de la instalația de biogaz din Frutigen, Elveția, adaptată[73] .....	45
Figura 3.4.2. Schema instalației de biogaz din Velenje, Slovenia, adaptată [76] .....	47
Figura 3.4.3. Schema instalației de biogaz din Boden, Suedia, adaptată [57] .....	48
Figura 3.5.1. Schema instalației de biogaz din Bjuv (a) și Hagavik (b),Suedia, adaptată [57] .....	53
Figura 3.5.2. Schema bloc centralei de biogaz Linko Gas (a) și Lemvig (b), Danemarca, adaptată [72] .....	54
Figura 3.5.3. Schema instalației de biogaz pe baza de dejectii animaliere și deșeuri agroindustriale din Marcon, Italia, adaptată [81].....	55
Figura 3.5.4. (a) Vederea frontală a instalației de biogaz cu digestie uscată din Gorizia (Italia), b) procesul de încărcare a reactorului cu digestie uscată [89] .....	55
Figura 3.6.1.1.Diagramă simplificată pentru utilizarea biogazului[108] .....	58
Figura 3.6.1.2. Centrala cogenerare Seini, jud. Maramureș [34] .....	60
Figura 3.6.2.1.Centrala de biogaz pe bază de deșeuri biologice de la Vasteras, Suedia (a) schema de principiu (b) schema instalației de upgradare, adaptată[57] .....	61
Figura 3.6.2.2. (a)Rezervoare de stocare biogaz și (b) stațiile de alimentare cu biogaz [57] .....	62
Figura 4.1.1.1 Instalația de mici dimensiuni realizată pentru testarea materialelor [91] .....	63
Figura 4.1.1.2. Montarea capacelor vaselor de sticlă.....	64

Figura 4.1.1.3.	Verificarea senzorilor pe instalație .....	65
Figura 4.1.1.4.	Schema de principiu a instalației pilot [92] [93] .....	66
Figura 4.1.1.5.	Vedere frontală a instalației pilot[92] .....	67
Figura 4.1.2.1.	Sistemul de pregătire preliminară a biomasei [94] .....	67
Figura 4.1.3.1.	Rezervoarele de fermentație anaerobă [92] [94].....	68
Figura 4.1.3.2.	Schimbătoarele de căldură [94] .....	69
Figura 4.1.3.3.	Cazanul folosit pentru încălzirea instalației [94] .....	69
Figura 4.2.1	Panoul de comandă și monitorizare al instalației [94] .....	69
Figura 4.2.2	Sistemul de conducte și electroventile montat pe capacul instalației [94].....	69
Figura 4.2.3.	Rezervor stocare biogaz [94].....	70
Figura 4.2.4.	Contor gaz [94] .....	70
Figura 4.3.1	Filtrul de H <sub>2</sub> S (în partea din spate) și filtrul de CO <sub>2</sub> (în partea din față) încorporate în instalație[94] .....	70
Figura 4.3.2.	Inele ceramice Raschig pentru filtrul spălător[94] .....	71
Figura 4.3.3.	Pompă dozatoare folosită pentru spălarea biogazului[94] .....	71
Figura 4.3.4.	Umplutură de șpan de oțel pentru filtrul de H <sub>2</sub> S[94] .....	71
Figura 4.4.1	Ansamblu sistem reținere CO <sub>2</sub> [95].....	72
Figura 4.4.2.	Compresor răcit cu aer[95] .....	72
Figura 4.5.1.1.	Controler de presiune ATR 121 [99] .....	73
Figura 4.5.1.2.	Senzor de presiune Trafag 48170 .....	73
Figura 4.5.1.3.	Controler de temperatură model AD-025V2DS-C [100] .....	74
Figura 4.5.1.4.	Termocuplu tip J[100] .....	74
Figura 4.5.1.5.	Controler pH tip BL 981411 [101] .....	74
Figura 4.5.1.6.	Senzor pH model HI 1210 [102] .....	74
Figura 4.5.2.1.	Componenta analizorului Delta 1600 S IV [103].....	75
Figura 4.7.1.1.	Variația pH [142] .....	79
Figura 4.7.1.2	Concentrație metan din biogazul produs [142].....	80
Figura 4.7.1.3	Concentrație bioxid de carbon din biogazul produs [142].....	80
Figura 4.7.1.4	Variația pH[91].....	81
Figura 4.7.1.5	Variația CH <sub>4</sub> [91].....	82
Figura 4.7.1.6	Variația CO <sub>2</sub> [91] .....	82
Figura 4.7.2.1	Variația pH- ului pentru materialele testate .....	85
Figura 4.7.2.2	Variația concentrației de metan.....	85
Figura 4.7.2.3.	Variația concentrației de dioxid de carbon .....	86
Figura 4.7.2.4	Variația de pH pentru șarjele studiate .....	88
Figura 4.7.2.5	Variația concentrației de metan.....	89
Figura 4.7.2.6	Variația concentrației de dioxid de carbon .....	89
Figura 4.7.2.7	Producția de biogaz pentru șarjele cu porumb degradat .....	91
Figura 4.7.2.8	Producția de biogaz pentru șarjele cu orz degradat.....	92
Figura 4.8.1.	Producția cumulate de biogaz în timpul digestiei anaerobe a celor patru substraturi[133] .....	94
Figura 4.8.2.	Regresia neliniară pentru producția de metan in timpul digestiei anaerobă a substraturilor investigate[133] .....	94
Figura 5.1.1.	Estimarea ponderii emisiilor de GES la nivel global pentru anul 2011 [134] .....	95
Figura 5.1.2.	Distribuția emisiilor globale de GES pe categorii de activități pentru anul 2011[135] .....	96



---

Figura 5.1.3.	Emisiile de gaze cu efect de seră cu efecte în UE, tendințe, previziuni și ținte de reducere[140].....	97
Figura 5.1.4	Emisiile de gaze cu efect de seră, în anul 2014, la nivelul UE, în funcție de sursă[140].....	97
Figura 5.1.5	Emisiile sectoriale de GES în 2014, în România[137] .....	98
Figura 5.3.1.1.	Interfața cu date de intrare introduse în modelul LandGEM , Scenariul I .....	101
Figura 5.3.1.2.	Reprezentarea grafică a gazelor cu efect de seră, Scenariul I, model LandGEM.....	102
Figura 5.3.2.1.	Interfața cu datele de intrare introduse în modelul LandGEM, Scenariul II .....	103
Figura 5.3.2.2.	Reprezentarea grafică a cantităților de GES, Scenariul II, model LandGEM.....	105
Figura 5.4.1.1.	Interfața cu datele de intrare introduse în modelul LandGEM, Scenariul III .....	106
Figura 5.4.1.2.	Reprezentarea grafică a cantităților de GES, scenariul III, model LandGEM.....	107
Figura 5.4.2.1.	Interfața cu datele de intrare introduse în modelul LandGEM, scenariul IV .....	108
Figura 5.4.2.2.	Reprezentare grafică a cantităților de GES, scenariul IV, model LandGEM.....	109

## LISTĂ DE TABELE

Tabel 2.3.1.	Contribuția totală preconizată a tehnologiei de producere a energiei din biomasă până în 2020 [20] .....	19
Tabel 2.4.1.	Cantitățile de deșeuri municipale generate în 2014 [29] .....	24
Tabel 2.4.2.	Cantitățile de deșeuri alimentare generate în 2014 [29] .....	26
Tabel 3.2.1.	Parametrii substratului la instalația de biogaz de la Filipeștii de Pădure, jud. Prahova [37].....	32
Tabel 3.2.2.	Parametrii specifici–Instalația de la Seini, jud. Maramureș[36].....	34
Tabel 3.2.3.	Valorile medii ale energiei produsă prin valorificarea energetică a biogazului[35] .....	38
Tabel 3.3.1.	Producția de biogaz din procesul de (co-)digestie a deșeurilor organice .....	42
Tabel 3.3.2.	Exemple de instalații mari de producere biogaz din co-digestia deșeurilor organice .....	43
Tabel 3.4.1.	Producția de biogaz din procesul de (co-)digestie a nămolului .....	49
Tabel 3.4.2.	Exemple de instalații mari de producere de biogaz din co-digestia nămolului rezultat din stațiile municipale de epurare a apelor reziduale.....	50
Tabel 3.5.1	Producția de biogaz din procesul de co-digestie a dejecțiilor animaliere.....	56
Tabel 3.5.2.	Exemple de instalații mari de producere de biogaz din co-digestia dejecțiilor animaliere .....	57
Tabel 3.6.1.1.	Caracteristicile diferențiate pe motoare otto cu gaz și motoare Pilot cu injecție pe gaz[108].....	59
Tabel 4.7.1.1.	Proprietăți fizico–chimice pentru materialele alese–partea 1[142]..	77
Tabel 4.7.1.2.	Proprietăți fizico–chimice pentru materialele alese–partea a- 2-a [142].....	78
Tabel 4.7.1.3.	Proprietăți fizico–chimice pentru materialele alese–partea 1[91] .	78
Tabel 4.7.1.4.	Proprietăți fizico–chimice pentru materialele alese–partea a-2-a[91].....	79
Tabel 4.7.2.1.	Proprietăți fizico–chimice pentru materialele alese–partea 1.....	83
Tabel 4.7.2.2.	Proprietăți fizico–chimice pentru materialele alese–partea a-2-a.....	83
Tabel 4.7.2.3.	Proprietăți fizico–chimice pentru materialele alese–partea a-3-a.....	84
Tabel 4.7.2.4.	Proprietăți fizico–chimice pentru materialele alese după proces–partea 1.....	87
Tabel 4.7.2.5.	Proprietăți fizico–chimice pentru materialele alese după proces–partea a-2-a.....	87
Tabel 4.7.2.6.	Proprietăți fizico–chimice pentru materialele alese după proces – partea a-3-a.....	88
Tabel 4.7.2.7.	Proprietăți fizico–chimice pentru materialele alese după proces–partea 1 .....	90
Tabel 4.7.2.8.	Proprietăți fizico–chimice pentru materialele alese după proces–partea a-2-a .....	90
Tabel 4.7.2.9	Proprietăți fizico–chimice pentru materialele alese după proces–partea a-3-a .....	91

---

Tabel 5.3.1.1. Cantitățile de emisii de CH <sub>4</sub> și CO <sub>2</sub> calculate cu modelul LandGEM, Scenariul I .....	102
Tabel 5.3.2.1. Cantitățile de emisii de CH <sub>4</sub> și CO <sub>2</sub> calculate cu modelul LandGEM, Scenariul II .....	104
Tabel 5.4.1.1. Cantitățile de emisii de CH <sub>4</sub> și CO <sub>2</sub> calculate cu modelul LandGEM, Scenariul III .....	107
Tabel 5.4.2.1. Cantitățile de emisii de CH <sub>4</sub> și CO <sub>2</sub> calculate cu modelul LandGEM, Scenariul IV .....	109
Tabel 5.5.1.1. Cantitate totală de emisii de CO <sub>2</sub> echivalent, scenariul A.....	110
Tabel 5.5.1.2. Cantitate totală de emisii de CO <sub>2</sub> echivalent, scenariul B.....	111
Tabel 5.5.1.3. Avantajele valorificării energetice a deșeurilor spre biogas.....	112
Tabel 5.5.1.4. Cantitate totală de emisii de CO <sub>2</sub> echivalent, scenariul C.....	113

## NOTAȚII, ABREVIERI, ACRONIME

ADM 1	Model de digestive anaerobă nr 1
AW	Deșeurile de abator
BOD	Cerința de oxigen biologic
CHP	Centrala electrică de cogenerare
CH <sub>4</sub>	Metan
CM	Gunoii de vaci
COD	Cerința de oxigen chimic
CO <sub>2</sub>	Bioxid de carbon
EU ETS	Schema europeană de comercializare a certificatelor de emisii
EC	Comisia Europeană
ECCP	Programul European privind schimbările climatice
FOG	Grăsimi, uleiuri și unsori
FVW	Deșeuri fructe și produse vegetale
FW	Deșeuri alimentare
GES	Gaze cu efect de seră
HCF	Hidrofluorocarburi
HRT	Timpul de retenție
H <sub>2</sub> S	Hidrogen sulfurat
ICEMENERG	Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Energie
IPCC	Comisia Interguvernamentală pentru Schimbările Climatice
INS	Institutul Național de Statistică
IWA	Grupul Internațional de Asocierie a Apei
MP	Potențial de producere a metanului
MSW	Deșeuri municipale solide
OFMSW	Fracția organică a deșeurilor municipale solide
ORL	Rata de încărcare
PGE	Efectul global potențial
PFC	Perfluorocarburi
PNAER	Planul Național de Acțiune pentru Energie Regenerabilă
PNGD	Planului Național de Gestionare a Deșeurilor.
R <sub>m</sub>	Rata maximă de producere a metanului
SWD	Emisiile de gaze cu efect de seră din categoria de eliminare a deșeurilor solide
SEN	Sistemul Energetic Național
NO <sub>2</sub>	Protoxid de azot
TS	Concentrații substanțe solide totale
UE	Uniunea Europeană
WCED	World Commission on Environment and Development

# 1. INTRODUCERE

## 1.1. Scopul și importanța temei

Cercetările efectuate în cadrul tezei de doctorat au ca scop promovarea valorificării deșeurilor în economia circulară în vederea dezvoltării durabile și a reducerii poluării mediului înconjurător, în special a emisiilor de gaze cu efect de seră.

## 1.2. Obiectivele tezei de doctorat

**Obiectivul tezei de doctorat** este de a contribui la identificarea de soluții pentru valorificarea energetică a biomasei, în special a deșeurilor și a apelor uzate, pentru obținerea de biogaz.

Cercetările au fost direcționate spre analiza posibilităților de valorificare a deșeurilor organice prin digestie anaerobă a acestora în instalații de biogaz și valorificarea energetică a biogazului obținut. Au fost studiate un număr reprezentativ de referințe bibliografice din fluxul actual al cunoașterii din România și de la nivel mondial și au fost identificate unele elemente valoroase legate de posibilitatea valorificării deșeurilor în economia circulară.

Principalele **obiective specifice** ale tezei de doctorat sunt:

- Cercetarea cadrului legislativ existent privind dezvoltarea durabilă, schimbările climatice, promovarea energiei din surse regenerabile, economia circulară și gestionarea deșeurilor;
- Studierea unui număr reprezentativ de referințe bibliografice în fluxul actual al cunoașterii în România și în întreaga lume privind valorificarea biomasei și obținerea de biogaz;
- Stabilirea unei metode de lucru, atât în plan teoretic, cât și experimental pentru stabilirea co-substraturilor utilizate pentru producerea de biogaz;
- Prezentarea rezultatelor experimentale și interpretarea acestora în vederea identificării potențialului de valorificare a apelor uzate prin digestie anaerobă;
- Prezentarea scenariilor privind valorificarea energetică a deșeurilor ca soluție pentru reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră;
- Concluzii și propuneri pentru stimularea valorificării deșeurilor organice și obținerea de biogaz.

## 1.3. Structura tezei de doctorat

Teza este fi structurată în șase capitole.

**Capitolul introductiv** prezintă scopul, importanța, noutatea temei.

**Capitolul doi** cuprinde **cercetarea cadrului legislativ** existent la nivel mondial și național referitor la dezvoltarea durabilă, schimbări climatice, energii regenerabile, biomasă, economie circulară și gestionarea deșeurilor. Au fost evidențiate eforturile ce trebuie depuse la nivel european, dar și mondial pentru

punerea în practică a obiectivelor stabilite prin legislație și au fost identificate ținte cuantificabile și mecanismele economice existente pentru atingerea obiectivelor.

În **capitolul trei** au fost identificate elementele valoroase din bibliografia existentă, referitoare la **biomasă ca resursă regenerabilă** și la tehnologiile de valorificare energetică a acesteia, la nivel mondial și național.

**Partea experimentală** a tezei este cuprinsă în **capitolul patru**. Sunt descrise instalațiile, metodele de lucru și mijloacele folosite în cadrul cercetării. Totodată sunt prezentate rezultatele obținute în urma fermentării diferitelor substraturi, precum și analizele fizico-chimice a materialelor testate.

**Capitolul cinci** prezintă o analiză critică referitoare la posibilitățile de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră pentru diferite scenarii, în acest scop folosindu-se modelul LandGEM.

**Capitolul șase** este capitolul în care sunt prezentate concluziile și contribuțiile personale.

#### **1.4. Utilitatea tezei de doctorat**

Teza de doctorat aduce contribuții în favoarea digestiei anaerobe a deșeurilor, prin sistematizarea unor exemple din literatura de specialitate existentă la nivel național și mondial.

Rezultatele cercetării conduc la posibilitatea stabilirii unei metode de lucru în plan teoretic în vederea determinării părților componente a co-substraturilor utilizate pentru producerea de biogaz.

De asemenea, se realizează o evaluare a consecințelor asupra mediului înconjurător a neîndeplinirii obligațiilor europene privind eliminarea deșeurilor, obligații stabilite în perioada de aderare și preaderare a României la Uniunea Europeană.

În cadrul tezei se prezintă direcțiile de acțiune în vederea încurajării valorificării energetice a deșeurilor pentru obținerea de biogaz. Stimularea aplicării acestor direcții de acțiune ar avea ca efect îmbunătățirea calității mediului, în special prin reducerea gazelor cu efect de seră și prin reducerea poluării resurselor de apă.

## 2. CADRUL LEGISLATIV

### 2.1. Legislația privind dezvoltarea durabilă

Dezvoltarea durabilă este o „dezvoltare care satisface nevoile generației actuale fără a compromite șansele viitoarelor generații de a-și satisface propriile nevoi”[1].

Țările industrializate s-au dezvoltat economic cu impact semnificativ asupra mediului, recunoscându-se existența problemelor de mediu la nivel global, pentru prima dată, în cadrul Conferinței de la Stockholm din anul 1972. La acel moment „Declarația finală asupra mediului” a subliniat legătura dintre protecția mediului și „progresul economic și social al popoarelor și au fost propuse măsuri în ceea ce privește: apa, sănătatea, energia, agricultura și diversitatea biologică”[3].

Conceptul de dezvoltare durabilă a fost instituit în cadrul lucrărilor Comisiei Mondiale pentru Mediu și Dezvoltare în urma întocmirii de către G.H. Brundtland a unui raport în 1987 intitulat „Viitorul nostru comun”.

La Rio de Janeiro (1992) a fost adoptată „Declarația Mileniului (2000)”. Declarația a fost adoptată și de România și reprezintă angajamentul politic de a depune toate eforturile pentru a proteja generațiile viitoare, astfel încât „umanitatea, mai ales copiii și nepoții noștri” [4] să „nu fie afectați iremediabil de activitățile oamenilor”.

În anul 2001, Consiliul European de la Göteborg a adoptat Strategia de Dezvoltare Durabilă a Uniunii Europene care a devenit un obiectiv politic.

Conferința Mondială pentru Dezvoltare Durabilă de la Johannesburg (2002) a impus guvernelor programe în domeniul dezvoltării durabile, fiind adoptate Agenda 21 și Agenda 21 Locală, ca programe concrete de acțiune la nivel global și pe linia autorităților locale. A fost adoptat documentul „EUROPA 2020-O strategie europeană pentru o creștere inteligentă, ecologică și favorabilă incluziunii”[5], „o strategie care susține nevoia de creștere durabilă, promovarea unei economii mai eficiente din punctul de vedere al utilizării resurselor, mai ecologice și mai competitive”[5].

România a aprobat Strategia națională pentru dezvoltare durabilă-Orizonturi 2013-2020-2030”[2], prin care au fost stabilite obiectivele țintă de acțiune în conformitate cu legislația internațională și europeană în domeniu. Principalele domenii de intervenție s-au referit la, schimbări climatice și energie curată, conservarea și gestionarea resurselor, producție și consum durabil, transport durabil”, dar deopotrivă și la teme precum „sănătatea publică, incluziune socială, demografie și migrație, sărăcia globală și sfidările dezvoltării durabile”.

Conferința ONU pentru Dezvoltare Durabilă din Brazilia din 2012, a evaluat progresele realizate, dar în cadrul acesteia au apărut și teme noi precum economia verde în contextul dezvoltării durabile.

În anul 2015 a avut loc în septembrie, la New York, Summit-ul ONU privind dezvoltarea durabilă, în cadrul căruia a fost adoptat programul de acțiune globală „Agenda 2030 pentru dezvoltare durabilă”. Ideea de menținere a unui echilibru între dezvoltare economică, socială și de mediu este elementul de noutate, fiind adoptată Agenda 2030 cu cele 17 obiective de dezvoltare durabilă și cu 169 de obiective

asociate, care sunt "integrate și indivizibile"[6]. Cele 190 de țări au stabilit că aceste obiective de dezvoltare durabilă reprezintă priorități a căror implementare necesită efort și determinare.

Uniunea Europeană a adoptat prevederile Agendei 2030 pentru dezvoltare durabilă în luna iunie 2017 prin rezoluția „Un viitor durabil al Europei: răspunsul UE la Agenda 2030 pentru dezvoltare durabilă”[6]. În România, necesitatea implementării Agendei 2030 pentru următorii 15 ani a fost asumată la cel mai înalt nivel, Parlamentul României a adoptat „Declarația nr.1/2016 a Parlamentului României privind Obiectivele Dezvoltării Durabile”[7]. În perioada următoare, în vederea preluării Agendei 2030 de Dezvoltare Durabilă [7], este necesară modificarea Strategiei naționale pentru Dezvoltare Durabilă–Orizonturi 2013-2020-2030.

## **2.2. Schimbările climatice și energia curată- provocări ale dezvoltării durabile**

Creșterea temperaturii și creșterea nivelului mării sunt efecte vizibile ale schimbărilor climatice [114] cauzate de gazele cu efect de seră. Acestea sunt eliminate în atmosferă în urma arderii combustibililor fosili pentru producerea de energie, dar și ca urmare a activităților economice. De asemenea, GES provin din transport și depozitarea deșeurilor.

Oamenii de știință au tras semnale de alarmă cu privire la schimbările climatice, astfel că, în anul 1992, la nivel politic, a fost adoptată la Summitul de la Rio de Janeiro, Convenția-cadru a Națiunilor Unite privind schimbările climatice (UNFCCC). Au avut loc dezbateri cu privire la schimbările climatice și s-au stabilit pentru țări angajamente referitoare la gazele cu efect de seră, inventare de emisii, programe de atenuare și adaptare la schimbările climatice.

România a adoptat Legea nr.24/1994 pentru ratificarea Convenției-cadru a Națiunilor Unite asupra schimbărilor climatice [8], prin care s-a stabilit obligativitatea de realizare a inventarelor de emisii a gazelor cu efect de seră, precum și necesitatea susținerii de „programe naționale pentru atenuarea schimbărilor climatice și a programelor de adaptare la schimbările climatice”[8].

În anul 1997 a fost semnat Protocolul de la Kyoto, prin care țările dezvoltate și-au asumat angajamente concrete de limitare și reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră în perioada 2008-2012 și au identificat mecanisme prin a căror aplicare să se atingă aceste obiective. Acordul a stabilit obiective concrete pentru țările industrializate, și anume o reducere a emisiilor poluante cu 5,2% în perioada 2008-2012 în comparație cu cele din 1990.

Protocolul de la Kyoto a fost ratificat de Uniunea Europeană și a fost inițiat „Programul european privind schimbările climatice (ECCP)”[9], iar în 2005 a instituit Schema europeană de comercializare a certificatelor de emisii (EU ETS). De asemenea, Uniunea Europeană a adoptat angajamente proprii pentru reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră, precum cel din anul 2007. Astfel s-a stabilit angajamentul de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră, la nivelul anului 2020, cu un procent de 20% comparativ cu nivelul emisiilor din anul 1990.

Eforturile au continuat, în anul 2009, a fost adoptat pachetul legislativ „Schimbări Climatice–Energie”.

Odată cu aderarea la Uniunea Europeană, România a transpus directivele și regulamentele adoptate de UE de a reduce emisiile de gaze cu efect de seră și de a



se adapta la schimbările climatice. Cea mai concretă acțiune a fost adoptarea în 2005 a Hotărârii nr.645/2005 pentru aprobarea Strategiei naționale a României privind schimbările climatice 2005-2007 [10]. Strategia are și un capitol privind impactul, vulnerabilitatea și adaptarea la schimbările climatice, avertizând că schimbările climatice vor duce la fenomene meteorologice extreme precum inundații și secete care vor produce pagube și pierderi de vieți. Din păcate, România s-a confruntat cu inundații catastrofale în 2005, 2006 și 2008, care au dus la pierderi însemnate. În lucrarea [104] autorii prezintă consecințele inundațiilor produse în 2005 și 2006 în România, precum și abordările tehnice și științifice integrate și interdisciplinare pentru prevenirea și gestionarea inundațiilor în viitor. Studiul conține informații referitoare la planul de prevenire, protecție și atenuare a inundațiilor, hărți de risc și scenarii, ca instrumente necesare pentru viitor.

De asemenea România a inițiat proiecte în vederea diminuării și adaptării la schimbările climatice și a transpus noua legislație adoptată la nivel European în acest domeniu. Astfel România a adoptat Hotărârea de Guvern nr.739/2016 pentru aprobarea Strategiei naționale privind schimbările climatice [11], prin care au fost aprobate și măsurile concrete de implementare cuprinse în planul de acțiune pentru perioada 2016-2020.

Schimbările climatice au fost și rămân o provocare continuă ce necesită noi și noi angajamente și acorduri prin care să se limiteze încălzirea globală. În anul 2015 Convenția Cadru a Națiunilor Unite asupra schimbărilor climatice a adoptat Acordul de la Paris, care fixează obiectivul de „menținere a nivelului de creștere a temperaturii medii globale sub 1,5 grade Celsius comparativ cu nivelurile preindustriale” [115]. Tot la Paris au avut loc dezbateri referitoare la tehnologiile noi de captare și de stocare a dioxidului de carbon. De asemenea, Uniunea Europeană și țările dezvoltate și-au luat angajamentul de a continua să ofere finanțare pentru combaterea schimbărilor climatice „ca instrument de sprijin pentru țările aflate în curs de dezvoltare, pentru ca acestea să poată pune în aplicare măsurile de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră” [116]. Acordarea sprijinului financiar țărilor în curs de dezvoltare pentru combaterea schimbărilor climatice, va însemna dezvoltarea de activități economice iar aplicarea de politicile adecvate va juca un rol important în reducerea costului energiei regenerabile [118].

Ca o concluzie, lupta împotriva schimbărilor climatice trebuie intensificată întrucât „riscurile asociate schimbărilor climatice sunt evaluate ca fiind mari în comunitățile vulnerabile din toate țările. Se așteaptă în viitor apariția unor efecte semnificative a schimbărilor climatice asupra sănătății populației, a securității regionale și chiar o migrație masivă a populației” [117].

### **2.3. Energie verde din biomasă**

Printre eforturile de reducere a gazelor cu efect de seră, se înscriu și cele referitoare la promovarea producerii de energie din surse regenerabile, în contextul unei creșteri economice realizate în mod sustenabil. Provocarea majoră a fost cea referitoare la reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră prin utilizarea energiei regenerabile și diminuarea dependenței de combustibilii fosili, cu asigurarea simultană a creșterii siguranței furnizării de energie. Cadrul strategic privind energia durabilă pe termen mediu și lung (orizontul anilor 2020-2030-2050) îl reprezintă Cartea Verde-O strategie europeană pentru energie durabilă, competitivă și sigură – Green Paper „A European strategy for sustainable, competitive and secure energy”

[COM (2006) 105 final][12]. Problemele majore identificate sunt cele legate de creșterea cererii de energie, ceea ce duce la necesitatea importurilor de energie. Se conturează ideea că pentru o dezvoltare durabilă este necesară o strategie energetică mai bună „care să echilibreze obiectivele de protecție a mediului cu competitivitatea și securitatea aprovizionării” și este enunțată necesitatea unei politici europene comune în domeniul energiei.

Alte documente strategice „Energie 2020—O strategie pentru o energie sigură, competitivă și durabilă [COM (2010) 639]” [13] și Directiva pentru energie regenerabilă (2009/28/EC) [14], stabilesc „instituirea unui cadru comun privind producția și promovarea energiei din surse regenerabile”[14]. Directiva face parte din pachetul legislativ privind energia și schimbările climatice și stabilește ținte clare pentru țările membre. Astfel până în anul 2020 sectorul transporturilor trebuie să utilizeze energie din surse regenerabile în procent „egal cu cel puțin 10% din consumul final în acest sector” [14]. Aceste ținte sunt obligații ale statelor membre care trebuie să întocmească pentru 2020 un plan național de acțiune în care să existe prevederi referitoare la sectoarele transporturi, producția de electricitate (inclusiv încălzire) și la procentul de energie utilizat în aceste sectoare provenit din surse regenerabile. Totodată, statele membre trebuie să creeze infrastructura necesară pentru promovarea utilizării energiei din surse regenerabile în sectorul transporturilor. În acest sens Uniunea Europeană a adoptat măsuri de politică pentru „a promova utilizarea biocarburanților avansați pentru transporturi” ,biocarburanți realizați din surse durabile, inclusiv deșeuri și reziduuri [119]. Implementarea acestei directive este posibilă, majoritatea statelor membre au „materie primă durabilă disponibilă” [119]. Există însă țări precum Austria, Cipru, Danemarca, Estonia, Irlanda, Luxemburg, Malta și Slovenia care „ar putea avea nevoie de import de materie primă durabilă pentru îndeplinirea țintelor”[119]. Pornind de la acest considerent, pentru obținerea de biocombustibili din biomasă, în prezent se realizează cercetări și pentru dezvoltarea de noi tehnologii de producere de biocombustibili din reziduri de biomasă. Reformarea termo-catalitică și hidroxidarea[120] sunt tehnologii prin care se pot obține biocombustibili din biomasă. Cercetările se realizează la nivel mondial, producția de biocombustibili are rolul de a crea o politică energetică echilibrată la nivelul statelor cu beneficii asupra economiilor acestora dar mai ales pentru reducerea impactului acestor economii asupra mediului [121].

Uniunea Europeană s-a impus ca lider în promovarea energiilor regenerabile, ponderea acestora în consumul final de energie, până în 2020, ar urma să fie de 20 %, iar în domeniul transporturilor de 10%. Este însă extrem de important ca, producerea de biocombustibili și de energie regenerabilă din biomasă să se realizeze astfel încât să nu fie afectată siguranța alimentară.

Statele membre și-au stabilit o legislație proprie care să reglementeze cantitatea de biomasă utilizată pentru implementarea directivei fără a pune în pericol siguranța alimentară a cetățenilor. Astfel, în România este obligatorie obținerea de certificate de origine pentru biomasa provenită din silvicultură și industriile conexe [122]. Documentul Energiile regenerabile în secolul XXI: construirea unui viitor mai durabil [COM (2006)848]” [16], prezintă strategia pe termen lung a Comisiei în domeniul energiei regenerabile în Uniunea Europeană

(UE). Acest document face o radiografie a provocărilor referitoare la siguranța aprovizionării cu energie a Uniunii Europene [16]. Totodată sunt abordate aspecte legate de competitivitate și sunt evaluate provocările legate de obiectivul Uniunii Europene cu privire de decarbonizare. Toate scenariile de decarbonizare analizate și care stau la baza acestui document sugerează că „ponderea surselor regenerabile de energie va crește, atingând până la 30% din energia finală brută în anul 2030”[16]. Costurile de producție a energiei regenerabile sunt încă ridicate, prin urmare, pentru atingerea obiectivului stabilit sunt necesare politici și scheme de sprijin de reducere a costurilor și îmbunătățirea tehnologiilor existente. Energia din surse regenerabile precum cea produsă din surse geotermale, pompe de căldură, energia solară, biogaz pot constitui surse de energie locală cu emisii scăzute de carbon. Aceste surse folosite în special pentru încălzire și răcire pot juca un rol esențial pentru decarbonizare. În urma cercetărilor efectuate s-a demonstrat că producerea de energie electrică și termică din surse regenerabile (biogaz) în comparație cu utilizarea surselor convenționale (combustibili fosili) „poate fi considerată o opțiune pentru reducerea considerabilă a emisiilor de CO<sub>2</sub>, gaz cu efect de seră” [17]. Prin urmare, decizia care trebuie să se ia în sectorul energetic, în perioada următoare, implică găsirea unei balanțe între diverse aspecte economice, sociale, tehnologice și ecologice peste spațiu și timp. Destul de des, aspectele tehnice și de mediu sunt reprezentate sub forma unor multiple criterii și indicatori care sunt deseori exprimate ca fiind obiective conflictuale. Pentru a obține o eficiență mai mare privind realizarea de investiții în energii regenerabile, investitorii iau în considerare, cu prioritate, multicriterii cu caracter tehnic [123]. România și-a asumat obiectivele dezvoltării energetice pe termen mediu și lung în vederea valorificării potențialului surselor regenerabile de energie. Legea 220/2008, Ordonanța de Urgență a Guvernului nr.88/2011, Legea nr. 184/2018 pentru aprobarea Ordonanței de urgență a Guvernului nr. 24/2017 au ca scop reglementarea unui „sistemului de promovare a producerii energiei din surse regenerabile de energie” [18]. Legea nr. 220/2008 stabilește sistemul de promovare a producerii de energie din surse regenerabile de energie în România prin certificate verzi, corelat cu sistemul cotelor anuale obligatorii ale furnizorilor de energie electrică, în scopul îndeplinirii obiectivului național privind atingerea unei ponderi de 24 % a energiei din surse regenerabile în consumul final brut de energie în anul 2020. Această lege a fost modificată ca urmare a primirii de către autoritățile statului român, în luna iulie 2011, a deciziei oficiale a C.E. privind aprobarea schemei suport pentru energia produsă din surse regenerabile prin sistemul de cote obligatorii combinat cu tranzacționarea certificatelor verzi [18]. Contribuția totală preconizată a tehnologiei de producere a energiei din biomasă este prezentată în tabelul 2.3.1. [20].

Tabelul 2.3.1. Contribuția totală preconizată a tehnologiei de producere a energiei din biomasă până în 2020 [20]

Anul	UM	Biomasă solidă	Biogaz	Biolichide	Total	În cogenerare (din total)
2005	MW	0	0	0	0	0
	GWh	0	0	0	0	0
2010	MW	10	4	0	14	14

	GWh	48	19	0	67	67
2011	MW	80	10	0	90	90
	GWh	385	50	0	435	435
2012	MW	145	20	0	165	165
	GWh	700	95	0	795	795
2013	MW	200	50	0	250	250
	GWh	960	240	0	1200	1200
2014	MW	250	90	0	340	340
	GWh	1200	440	0	1640	1640
2015	MW	300	125	0	425	425
	GWh	1450	600	0	2050	2050
2016	MW	350	160	0	510	510
	GWh	1680	770	0	2450	2450
2017	MW	370	170	0	540	540
	GWh	1780	820	0	2600	2600
2018	MW	385	180	0	565	565
	GWh	1855	865	0	2720	2720
2019	MW	400	190	0	590	590
	GWh	1930	920	0	2850	2850
2020	MW	405	195	0	600	600
	GWh	1950	950	0	2900	2900

Criteriile de durabilitate pentru biocarburanți și biolichide, din Directiva 2009/28/CE au fost preluate prin Hotărârea de Guvern nr.935/2011 privind promovarea utilizării biocarburanților și biolichidelor. În baza principiului durabilității sociale, economice și de mediu, sunt excluse de la utilizarea în scopul producerii de biocarburanți și biolichide, terenurile forestiere [21].

Se consideră că „biocombustibilii lichizi - atât avansați, cât și convenționali - vor fi totuși necesari pentru stocul existent de vehiculele cu motoare cu combustie internă și pentru modurile de transport în care electrificarea nu este încă o opțiune. Utilizarea biocarburanților lichizi s-ar putea tripla până în 2030 în comparație cu nivelurile din 2010, ajungând la 66 miliarde de euro litri” [147].

Un alt document adoptat de țara noastră a fost Strategia energetică a României în perioada 2007– 2020 [22], care are ca obiectiv strategic dezvoltarea durabilă iar principiile ale dezvoltării durabile precum „utilizarea rațională și eficientă a resurselor energetice primare” [22], stau la baza acestui document. De asemenea, strategia energetică cuprinde prevederi referitoare la promovarea producerii de energie din surse regenerabile astfel încât sectorul energetic să reducă emisiile de gaze cu efect de seră și deci să reducă impactul negativ asupra mediului înconjurător. Planul național de acțiune pentru energie regenerabilă (PNAER) [20] este documentul strategic care stabilește obiectivele naționale privind producerea de energie regenerabilă în România, identifică sursele de finanțare și măsurile de sprijin. De asemenea este încurajat transferul de tehnologie dinspre țările cu experiență în astfel de proiecte și sunt susținute programe de cercetare în domeniul energiei regenerabile [20].

De remarcat este faptul că biomasă a fost în anul 2015 [105] materia primă cea mai utilizată pentru încălzire și răcire. Dinamica producției de energie din surse regenerabile în sectorul încălzirii și răcirii este prezentată în figura 2.3.1.

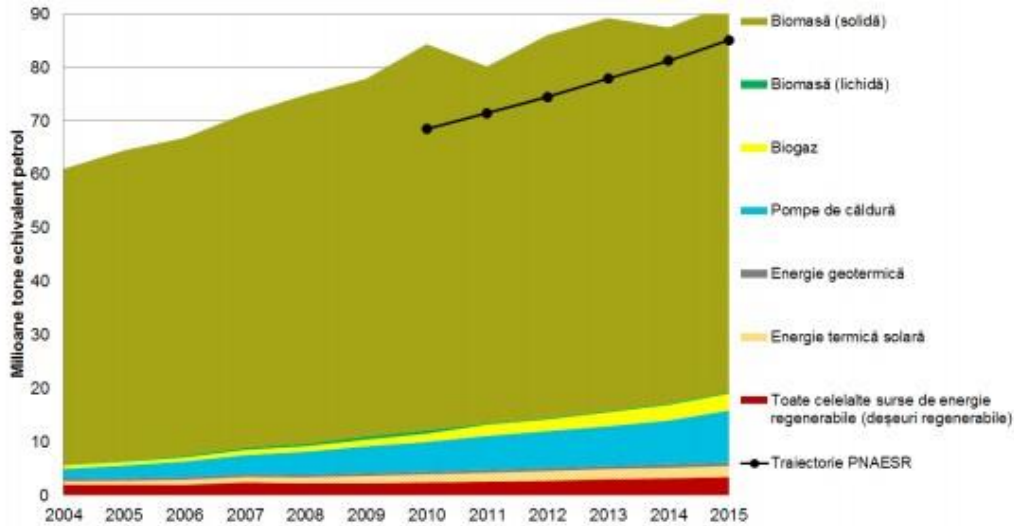


Figura 2.3.1. Dinamica producției de energie din surse regenerabile în sectorul încălzirii și răcirii [105]

Pentru viitor, Agenția Internațională de Energie Regenerabilă estimează că „biomasă va rămâne cheia tranziției energetice până în 2030 și după aceasta”, dacă se ține seama de preocupările legate de durabilitate [147].

În privința valorificării energetice a deșeurilor, Comisia Europeană consideră că acestea sunt o resursă de energie insuficient exploatată. La nivelul României exista un potențial energetic al biomasei care a fost evaluat [31], însă este necesară o actualizare a acestuia.

Față de contribuția totală preconizată a tehnologiei de producere a energiei din biomasă până în 2020 [20], în România se observă o rămânere în urmă în raport cu cotele anuale pentru energia electrică produsă din biogaz. Identificarea cauzelor și găsirea unor soluții în vederea promovării investițiilor de producere a energiei electrice și termice din biomasă trebuie să reprezinte o prioritate pentru a putea fi îndeplinite obiectivele fixate prin Planul Național de Acțiune în Domeniul Energiei din Surse Regenerabile P.N.A.E.R [20].

Legislația aplicată până în acest moment prin care s-a instituit schema certificatelor verzi, nu a dus la dezvoltarea infrastructurii de producere a energiei electrice și termice prin valorificarea energetică a biomasei astfel încât să fie atinse țintele propuse.

Țările europene au aplicat scheme de sprijin prin stabilirea unui tarif fix pentru energia electrică produsă din valorificarea biomasei. De exemplu, Italia a stabilit tariful fix pentru energia electrică produsă din biogaz, în strânsă legătură cu capacitatea instalației de biogaz, cu substraturile utilizate și cu tehnologiile aplicate pentru reducerea impactului asupra mediului înconjurător [125].

## 2.4. Economia circulară-valorificarea deșeurilor organice

După cum am văzut în capitolul anterior, există un potențial tehnic și economic estimat la nivelul de amenajare din 2030, potențial care trebuie valorificat pentru o dezvoltare durabilă. Pentru a impulsiona reciclarea și valorificarea deșeurilor în scopul conservării resurselor și susținerii unei economii durabile, Comisia Europeană a adoptat, în anul 2015, Pachetul pentru Economie Circulară.

Obiectivele fixate se referă la menținerea cât mai mult în economie a produselor și resurselor și reducerea la minim a generării de deșeuri, reprezentând „o contribuție esențială la eforturile UE de dezvoltare a unei „economii durabile, cu emisii scăzute de dioxid de carbon, eficientă din punctul de vedere al utilizării resurselor și competitivă” [25].

Trecerea de la modelul unei economii liniare la o economie circulară, înseamnă că materialele sunt recuperate din produse la sfârșitul ciclului de viață al produsului conectând deșeurile cu resursele. De fapt aceasta va oferi economiei europene un avantaj competitiv și va reduce dependența față de importurile de materii prime din afara spațiului european [126].

De remarcat faptul că, în anul 2014, ponderea consumului de energie regenerabilă în UE a fost de 16%, reprezentând 80% din obiectivul de 20% stabilit în Uniunea Europeană pentru 2020 [127].

Unul din procesele fezabile de generare a energiei regenerabile folosind biomasa, este producția de biogaz. „Tehnologia biogazului oferă o cale foarte atractivă pentru utilizarea anumitor categorii de biomasă pentru a satisface necesitățile energetice parțiale” [128].

România a adoptat reglementările europene prin Hotărârea nr.3/2016 cu privire la Pachetul privind Economia Circulară: COM (2015) 614 final. Prin urmare gestionarea deșeurilor trebuie să se realizeze astfel încât accentul să fie pus pe prevenire, reutilizare, reciclare și valorificare energetică până la eliminare.

„ Transformarea deșeurilor în energie ar putea să joace un rol și ar putea să creeze sinergii cu politica UE în domeniul energiei și al climei” [25].

În cadrul gestionării integrate a deșeurilor „tratamentul termic reprezintă o opțiune valabilă pentru reducerea cantității de deșeuri” care urmează a fi depozitate, însă este necesară tratarea gazelor arse rezultate din incinerarea deșeurilor astfel încât să se prevină poluarea aerului. Cercetările efectuate de Wachter și alții [24] au identificat că tratarea gazelor de ardere se poate realiza printr-o tehnologie ce constă „dintr-un absorber uscat, un filtru de țesături, un filtru de carbon activ și o reducere catalitică selectivă (SCR) pentru oxizii de azot” [24]. Astfel tratarea gazelor arse se poate realiza, „ în sistemul de patru etape” [24].

În anul 2017, Comisia Europeană a elaborat documentul „Rolul valorificării energetice a deșeurilor în economia circulară” COM (2017)34 final [26], document care scoate în evidență locul ocupat de valorificarea energetică a deșeurilor în economia circulară.

Comisia Europeană recomandă statelor membre să valorifice energetic deșeurile numai dacă nu pot fi reciclate sau reutilizate. Tehnologiile de eliminare a deșeurilor recomandate de Comisie sunt coincinerarea lor în fabricile de ciment sau în instalații mari de ardere precum și incinerarea în incineratoare destinate arderii deșeurilor sau incinerarea indirectă în urma pirolizei sau gazeificării [26]. De asemenea tehnologia de digestie anaerobă a deșeurilor biodegradabile sau producția

de combustibili din deșeuri sunt din ce în ce mai utilizate pentru eliminarea deșeurilor.

În figura 2.4.1 se observă că digestia anaerobă a deșeurilor organice în care digestatul este reciclat ca îngrășământ,[26] este considerată de fapt o reciclare. De remarcat faptul că depozitarea deșeurilor și incinerarea cu recuperare redusă a energiei sau fără recuperare de energie nu sunt opțiuni favorabile pentru reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră. De aceea gestionarea deșeurilor trebuie să se facă în principal prin reutilizare și reciclarea deșeurilor pentru a evita generarea de GES. De asemenea, în cazul deșeurilor biodegradabile, Comisia Europeană consideră că „aplicarea noilor norme propuse pentru a asigura colectarea separată a biodeșeurilor ar trebui să conducă la creșterea producției de biogaz obținut din deșeuri”. Biogazul ar putea fi utilizat pentru producerea de energie termică și electrică sau îmbunătățit și injectat în rețeaua de gaze. Folosirea biogazului upgradat drept combustibil în transporturi este o practică curentă în țări precum Suedia. Digestatul rezultat din procesul tehnologic de digestiei anaerobă poate fi valorificat ca fertilizator.

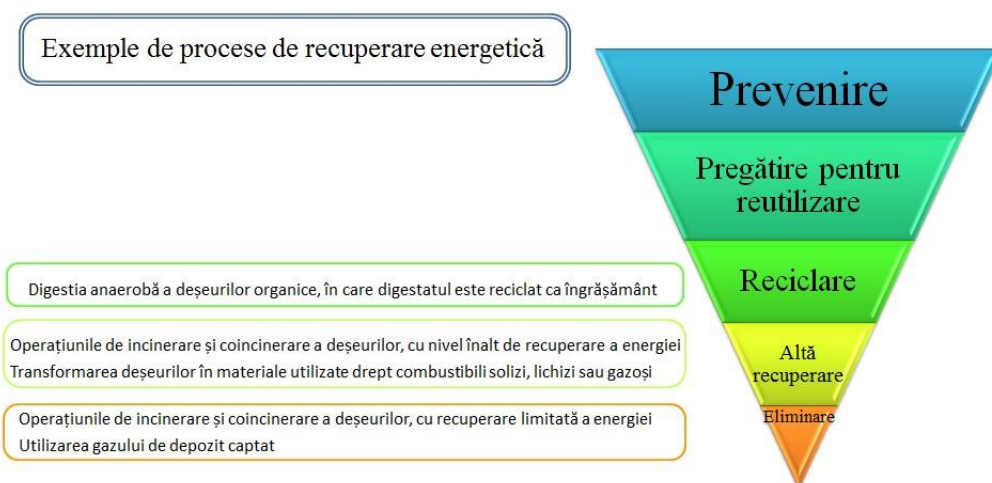


Figura 2.4.1. Ierarhia deșeurilor și procesele de valorificare energetică a deșeurilor [26]

Studiul „Către o mai bună exploatare a potențialul tehnic al deșeurilor în energie” efectuat de către Comisia Europeană arată că în anul 2014 prin incinerarea, coincinerarea în cuptoare de ciment și prin digestia anaerobă a deșeurilor, se produc aproximativ 676 PJ/an, ceea ce reprezintă 1,5% din consumul total de energie al UE [26].

Dominik Rutz și alții au realizat o analiză comparativă a diferitelor metode de tratare pentru deșeurile organice municipale [30] în șapte orașe cu număr diferit de populație (Zagreb, Skopje, Malaga, Paris, Ivanic, Krk și Madrid). Au fost realizate scenarii pentru digestia anaerobă, compostare, incinerare și depozitare. Analiza comparativă realizată a luat în considerare aspecte precum reducerea deșeurilor totale generate, creșterea aprovizionării cu energie sigură, reciclarea nutrienților, reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră. Au fost, de asemenea subliniate beneficiile colectării separate la sursă a biodeșeurilor, precum și a resturilor



alimentare, a deșeurilor din industria de băuturi, a deșeurilor de la catering și a deșeurilor bio din gospodăriile cetățenilor și a valorificării acestora. Studiul a evidențiat faptul că, digestia anaerobă este tehnologia de valorificare a biodeșeurilor considerată cea mai bună și prietenoasă pentru mediu [30].

În România, transpunerea Directivei cadru privind deșeurile s-a realizat prin aprobarea Legii 211 din 15 noiembrie 2011 privind regimul deșeurilor, iar prin HG nr.942/20.12.2017 s-a aprobat Planul Național de Gestionare a Deșeurilor.

Implementarea acestui document strategic înseamnă atingerea obiectivelor stabilite prin angajamentele asumate de țara noastră prin Tratatul de Aderare la Uniunea Europeană. PNGD realizează o inventariere a situației actuale privind cantitățile de deșeuri generate în România în ultimii ani și a instalațiilor existente. De asemenea, au fost identificate problemele din domeniul gestionării deșeurilor și au fost prezentate obiectivele și țintele asumate prin legislație. Un capitol important este cel care se referă la investițiile necesare a fi realizate pe termen mediu și lung pentru gestionarea și la fondurile necesare realizării acestora. PNGD este întocmit ținându-se cont de obiectivele celui de-al 7-lea Program de Acțiune pentru Mediu în ceea ce privește politica UE în sectorul gestionării deșeurilor și cuprinde un capitol referitor la prevenirea generării deșeurilor în scopul reducerii cantităților de deșeuri.

În continuare vom prezenta câteva informații referitoare la categoriile de deșeuri care pot fi utilizate pentru valorificare energetică în instalații de biogaz și anume deșeuri municipale, deșeuri alimentare, cele provenite din agricultură, dejecții animaliere și nămoluri de la stațiile de epurare.

În prezent, în România se produc 4,95 milioane tone/an de deșeuri municipale ca deșeuri menajere și similare, deșeuri din grădini și parcuri, deșeuri din piețe și deșeuri stradale [29].

Pentru valorificarea energetică a acestora, conform PNGD[29], în perioada următoare se vor pune în funcțiune instalații de digestie anaerobă în 32 județe și Municipiul București, cu o capacitate totală estimată de 812.000 tone/an. Cantitățile de deșeuri municipale generate în ultimii ani au înregistrat o scădere anuală din 2010 până în 2014 după cum se poate observa și din tabelul 2.4.1. [29].

Tabel 2.4.1. Cantitățile de deșeuri municipale generate în 2014 [29]

	Cantitate (milioane tone/an)				
	2010	2011	2012	2013	2014
<b>Deșeuri municipale generate</b>	<b>6,34</b>	<b>5,21</b>	<b>5,04</b>	<b>5,07</b>	<b>4,95</b>
<b>Deșeuri municipale biodegradabile generate, din care:</b>	<b>4,30</b>	<b>3,45</b>	<b>3,92</b>	<b>3,93</b>	<b>3,84</b>
Deșeuri menajere și similare	3,91	3,11	3,51	3,47	3,46
Deșeuri din grădini și parcuri	0,11	0,08	0,09	0,09	0,07
Deșeuri din piețe	0,06	0,07	0,06	0,06	0,05
Deșeuri stradale	0,22	0,19	0,26	0,31	0,26

Conform Planului Național de Gestionare a Deșeurilor [29], în România nu există în operare nicio instalație de digestie anaerobă pentru deșeuri municipale. În



prezent deșeurile municipale sunt valorificate energetic în coincinerare în cuptoarele de ciment. Cantitatea totală de deșeuri menajere valorificate prin compostare este de 215435 tone/an și se realizează în cele 45 instalații de compostare (22 în operare, 5 în autorizare și 18 în curs de operare autorizate)[29]. Tratarea deșeurilor înainte de depozitare se realizează prin tratare mecano-biologică în cele 3 instalații existente fiind în curs de realizare și autorizare încă 14. În total vor fi tratate mecano-biologic 1,459 milioane tone pe an, conform PNGD [29]. Această metodă va stabiliza deșeurile fără a se reduce „cantitățile de deșeuri municipale biodegradabile depozitate la 35 % din cantitatea totală, exprimată gravimetric, produsă în anul 1995”. Precizăm că „cantitatea totală, exprimată gravimetric, produsă în anul 1995 a fost de 4,8 milioane tone”[29]. Aceasta înseamnă că, începând cu 2020, România ar trebui să elimine spre depozitare doar 1,68 milioane tone deșeuri pe an.

Comisia Europeană a adoptat prevederi noi referitoare la legislația privind gestionarea deșeurilor, provocările fiind și mai mari pentru perioada următoare [145]. Astfel prin modificările legislației referitoare la eliminarea deșeurilor, s-a stabilit că, până în 2035, din totalul de deșeuri municipale generate, doar 10% pot fi stocate în depozitele de deșeuri, într-o economie circulară accentul fiind pus pe reciclare și valorificare.

Valorificarea energetică a deșeurilor menajere biodegradabile prin digestia anaerobă în instalațiile de biogaz și producerea de energie în CHC poate fi o soluție de gestionare a deșeurilor și evitare a aplicării de penalizări din partea Comisiei Europene pentru neconformarea cu legislația europeană în vigoare .

Strategia UE încurajează promovarea soluțiilor energetice neutre din punct de vedere al emisiilor de carbon. CHP este o „tehnologie matură care oferă deja încălzire și răcire cu emisii reduse de carbon pentru multe orașe și orașe.”[149]. Astfel se poate realiza o „rețea pentru utilizarea eficientă a surselor regenerabile de energie cu un nivel redus și zero de carbon” [149].

Producerea de biogaz prin digestia anaerobă oferă avantaje semnificative față de alte metode de tratament a deșeurilor. Cele mai importante avantaje sunt următoarele [91]:

- rezultă o cantitate mai redusă de reziduu produsă prin comparație cu tehnologiile de tratament aerob;
- se realizează cu succes tratamentul deșeurilor umede cu mai puțin de 40% masă uscată;
- oferă o îndepărtare mai eficientă a patogenilor-acest aspect este adevărat pentru digestoarele în mai mulți pași, sau dacă o etapă de pasteurizare este introdusă în proces.
- are loc reducerea emisiilor odorizante deoarece 99% din elementele volatile sunt descompuse oxidant în urma arderii biogazului;
- digestatul rezultat în urma digestiei anaerobe (ca reziduu) este considerat un fertilizator îmbunătățit și poate fi utilizat ca atare pe terenurile agricole [91].

La nivel mondial există studii aplicative pentru a stabili căile cele mai bune de utilizare a potențialului biomasei, în special a deșeurilor organice.

De remarcat este faptul că neutilizate corespunzător, reziduurile de deșeuri din biomasă pot conduce la emisii de carbon negative [129].

În ceea ce privește deșeurile alimentare se constată, la nivelul anului 2014, că în România au fost generate 3,278829 milioane tone deșeuri alimentare pe an. Transformarea acestora în biogaz ar avea beneficii majore privind reducerea poluării

factorilor de mediu, reducerea gazelor cu efect de seră prin producerea de energie electrică și termică.

Tabel 2.4.2. Cantitățile de deșeuri alimentare generate în 2014 [29]

Sector	Clasificare CAEN	Cod CAEN	Deșeuri alimentare generate în România, 2012, tone/an	Deșeuri alimentare generate în România, 2014, tone/an	Deșeuri alimentare generate în UE 28, 2012, tone/an
Producție primară	Agricultură, silvicultură și pescuit	01-03	462.613***	541.331***	<b>9.100.000**</b>
Procesare	Industria prelucătoare	10-11	337.323*	478.661*	<b>16.900.000**</b>
Distribuție	Comerț cu ridicată și cu amănuntul	46-47	20.312*	54.902*	<b>4.600.000**</b>
Serv. alimentare	Hoteluri și comunicații	55-56	735.537*	523.244*	<b>10.500.000**</b>
Gospodării	-	-	1.539.625*	1.680.691*	<b>46.500.000**</b>

Un alt tip de deșeu analizat a fost nămolul din stațiile de epurare. În România, în 2014, s-au generat 192.000 tone nămol, în creștere cu 134% față de anul 2010 după cum se poate vedea în graficul 2.4.2. Procentul ridicat s-a datorat creșterii gradului de racordare a populației la sistemul centralizat de canalizare. În 2014, gradul de racordare a populației la canalizare este de 47 %, dar conform angajamentelor asumate prin Tratatul de Aderare la Uniunea Europeană, toate localitățile cu peste 2000 locuitori echivalenți vor trebui să aibă rețele de canalizare și stații de epurare a apelor uzate. Prin urmare, cantitățile de nămol generate de stațiile de epurare care vor prelua apele uzate provenite de la populație, vor fi în creștere în perioada următoare.



Fig.2.4.2. Evoluția cantităților de nămoluri generate în 2014 [29]

În prezent, problema gestionării nămolurilor provenite din epurare este nerezolvată, operatorii stațiilor de epurare neavând o soluție pentru valorificarea și

eliminarea acestuia. Nu există o politică națională de gestionare a nămolurilor, deși Ministerul Mediului, prin Direcția Generală a Autorității de Management al Programului Operational Sectorial de Mediu, a inițiat în 2011 un proiect cofinanțat din Fondul European de Dezvoltare Regională în vederea elaborării unei strategii naționale de gestionare a nămolurilor de epurare. Din păcate această strategie nu a fost adoptată [29]. Opțiunile de gestionare a nămolului precum aplicarea pe terenuri agricole, folosirea în silvicultură, reabilitarea calității solului, incinerarea sau co-incinerarea și valorificarea acestuia în instalații de biogaz prin digestie anaerobă sunt aplicabile în România. Este însă necesară elaborarea actelor normative care să reglementeze calitatea digestatului rezultat din instalațiile de valorificare, eliminare a nămolului. În absența acestor reglementări, nămolul a fost depozitat în proporție de 75% conform tabelului 2.4.3. [29].

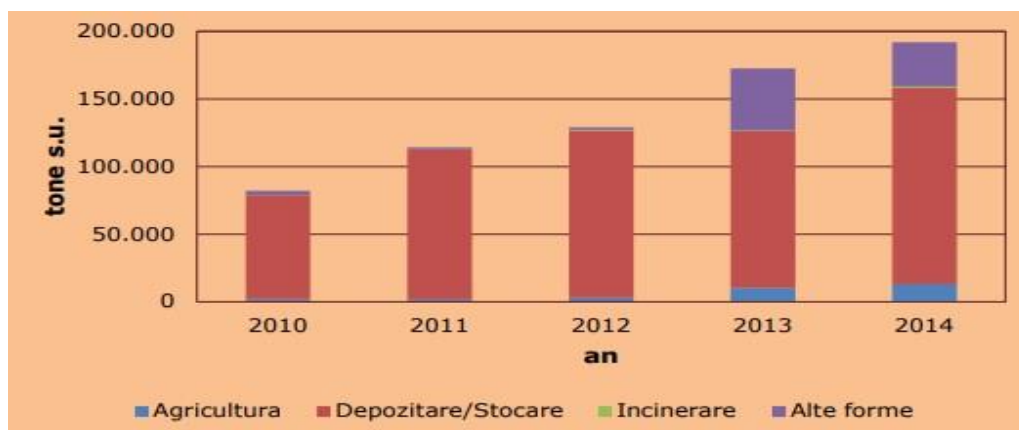


Figura 2.4.3 Opțiunile de gestionare a nămolurilor [29]

Din figură se observă că, instalațiile de biogaz nu au fost considerate, până în prezent, o soluție pentru reducerea depozitării nămolului.

Alte deșeuri care pot fi valorificate pentru producerea biogazului sunt deșeurile provenite din agricultură, silvicultură și pescuit. PNGD nu conține informații complete privind această categorie de deșeuri. Se consideră că sunt generate 541331,68 tone deșeuri vegetale și de preparare pe an, din care 96% au fost eliminate. Cantitățile de deșeuri provenite anual din activitatea de creștere a animalelor precum dejecții și gunoi de grajd, nu sunt consemnate în PNGD.

Gestionarea necorespunzătoare a deșeurilor provenite din agricultură, în special a deșeurilor din zootehnie, în anii 1970-1980, a avut ca efect poluarea resurselor de apă, inclusiv în zona Mării Negre. În ultimii ani, reducerea activităților economice și prin urmare reducerea poluării apelor din Bazinul Dunării, au dus la „scăderea continuă a nivelului nutrienților ceea ce a determinat o îmbunătățire a calității apelor din România” [106].

În concluzie, în România nu există în prezent infrastructura necesară valorificării și reciclării cantităților de deșeuri municipale, a deșeurilor provenite din agricultură și a nămolurilor de epurare, conform obligațiilor europene asumate.

## 3. STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII

### 3.1. Digestia anaerobă. Generalități

Digestia anaerobă este definită ca fiind un proces biochimic prin care substraturi organice complexe sunt descompuse, în absența oxigenului, până la stadiul de biogaz și digestat, de către diverse tipuri de bacterii anaerobe. Sunt realizate pretratamente, analize ale bacteriilor microbiene din lacul de sediment, din digester și derivate din digestia anaerobă pentru a determina condițiile optime necesare pentru ca procesele chimice de descompunere a substraturilor organice să se realizeze cu un randament cât mai mare. De altfel este dovedit faptul că, „pretratarea este o etapă esențială în creșterea eficienței hidrolizei enzimatică a biomasei lignocelulozice” [130].

În cele mai multe instalații de biogaz, substratul supus digestiei anaerobe este format dintr-un substrat principal în combinație cu alte amestecuri, procesul numindu-se co-digestie. Avantajele co-digestiei sunt multiple, cantitatea de biogaz produs și conținutul de metan crește considerabil față de digestia anaerobă [28] „deoarece componentele potențial toxice din substraturi se dizolvă și efectul acestora asupra procesului, este diminuat, nutrienții din substanțe sunt bine echilibrați, iar microorganismele sunt multiple și acționează simultan [28].

Digestia anaerobă are avantajul complementarității substratelor pentru balanța raportului de consum de oxigen chimic: azot, minimizând costurile de operare și crescând randamentul de metan al substratelor amestecate [131].

Mukumba și alții [27] au investigat raportul optim de amestecare pentru co-digestie. Cel mai mare conținut de metan de 75% a fost obținut din co-digestia a „40% bălegar de măgari cu 60% de deșeuri vegetale” [27]. De asemenea, s-a ajuns la concluzia că, co-digestia gunoiului de cai și a suspensiei de porc este fezabilă, cu condiția să se aplice o soluție de pre-tratament adecvat și cel mai bun amestec. Biogazul rezultat poate fi utilizat pentru: combustia în motorul CHP, upgradarea pentru înlocuirea parțială a gazelor naturale și upgradarea pentru utilizarea drept combustibil pentru transport.

Producerea biogazului prin digestie anaerobă din biomasă a fost utilizată în ultimii ani în lume, dar și în Europa. Conform Asociației Europene de Biogaz, cantitatea totală de energie electrică produsă din biogaz este de 60,6 TWh, un număr care corespunde consumului anual de 13,9 milioane de gospodării europene [32]. De asemenea, din figura 3.1.1. [32] se poate observa că, față de anul 2009, numărul instalațiilor de biogaz în Europa a crescut constant și a ajuns la 17376 în 2015, de 2,8 ori mai mult decât în 2009.

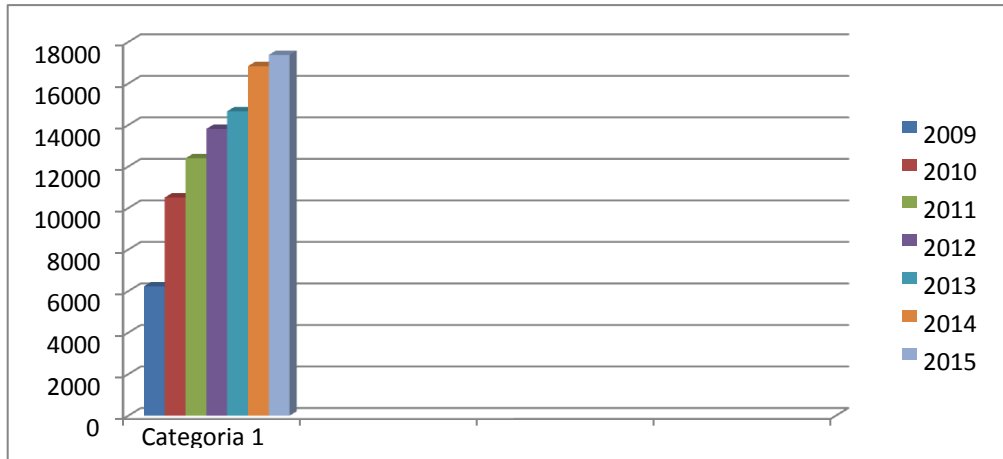


Fig 3.1.1. Evoluția numărului de instalații de biogaz în Europa, adaptat după [32]

O dezvoltare spectaculoasă a instalațiilor de biogaz s-a înregistrat în Germania, unde în 2015 funcționau 10846 astfel de instalații. Țări precum Italia (1555), Franța (717), Elveția (638), Republica Cehă (554), Marea Britanie (523) depășesc 500 de instalații de biogaz; Austria (444), Suedia (282), Polonia (277), Olanda (268), Belgia (204), Slovacia (140), Spania (139), Norvegia (123) depășesc 100 astfel de instalații de biogaz. Țările cu cele mai puține instalații de biogaz sunt Islanda (4), Serbia (7), Bulgaria (11), România (11), Cipru (13), Estonia (18) care aveau în 2015, mai puțin de 20 instalații de biogaz. Conform Asociației Europene de Biogaz, România, deși avea doar 11 instalații de biogaz în 2015, totuși se menține tendința crescătoare (cu trei mai multe ca în 2014) [32].

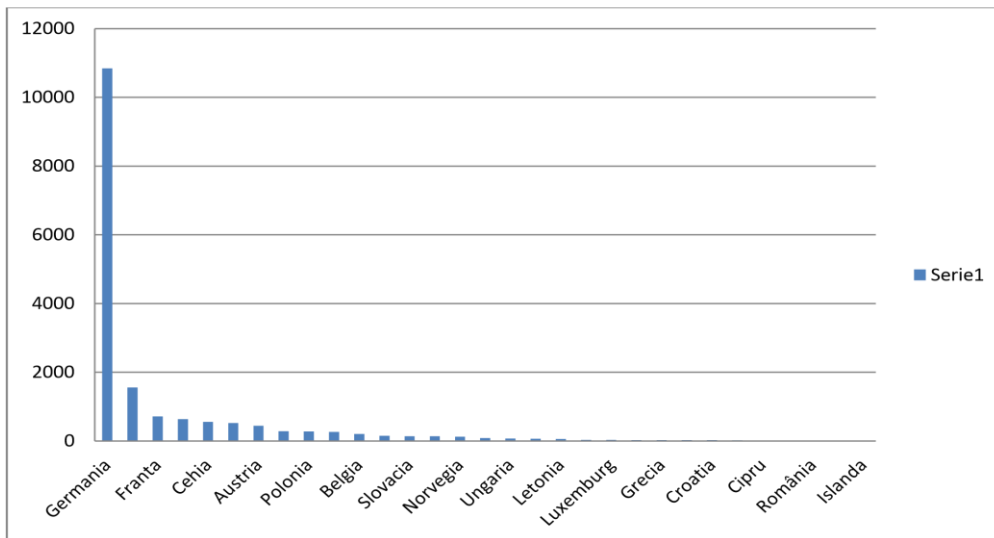


Figura 3.1.2. Numărul de instalații de biogaz în Europa în 2015, adaptat după [32]

Se estimează că această tendință de creștere a numărului de instalații de biogaz în România se va menține și se va accelera, având în vedere că țara noastră este o țară cu un potențial mare de biomasă.

S-a realizat o analiză referitoare la cauzele care au dus la dezvoltarea instalațiilor de biogaz în Germania, țara cu cel mai mare număr de instalații de biogaz. În urma analizei s-a constatat că prin legislația germană, a fost încurajată realizarea unor astfel de instalații. Evoluția numărului de centrale cu biogaz în Germania a fost reprezentată în figura 3.1.3. [107].

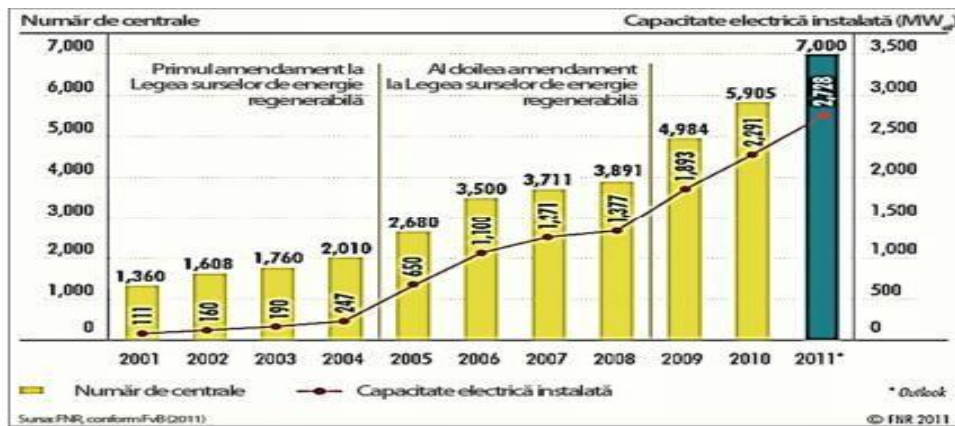


Figura 3.1.3. Centrale cu biogaz în Germania [107]

Conform datelor Autorității Naționale de Reglementare în Energie, în anul 2016 în România funcționau 28 centrale electrice, utilizând potențialul energetic din biomasă cu putere instalată între 9,7300 [MW] și 0,370[MW]. Dintre acestea 13 sunt centrale termoelectrice, centrale electrice în condensatie, centrale de cogenerare care utilizează biomasa, iar 15 sunt centrale de cogenerare pe biogazul provenit din diverse culturi lemnoase și energetice, dejecții animaliere, porumb, dejecții păsări, gaz de fermentare a nămolurilor din instalațiile de ape uzate etc.

Deci constatăm că tendința de creștere a numărului de instalații de biogaz se menține (de la 11 în 2015 la 15 în 2016), însă sunt cu mult sub numărul instalațiilor din țările europene. Acest fapt se datorează lipsei unei scheme eficiente de spijin din partea statului pentru susținerea producerii de biogaz din biomasă. Acordarea de sprijin pentru realizarea instalațiilor de biogaz generează o serie de beneficii [34], pornind de la faptul că se poate produce energie regenerabilă din deșeuri, contribuindu-se la conservarea resurselor naturale.

De asemenea, producerea energiei din biogaz duce la scăderea consumului de combustibili solizi și deci la reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră. „Se estimează că, în România, 1Kwh de electricitate produsă din surse regenerabile reduce emisiile de CO<sub>2</sub> cu aproximativ 0,7kg” [36].

Instalațiile de biogaz sunt facilitate prin care se reduc cantitățile de deșeuri depozitate, respectiv descompunerea acestora cu producere de emisii de metan. De asemenea, subliniem beneficiul privind „valorificarea apelor reziduale în contextul utilizării lor ca sursă de producere a biogazului în procesele de fermentare

anaerobă”[91]. Un alt avantaj al instalației de biogaz este acela că nu este o tehnologie cu un aport mare de apă tehnologică în procesul de obținere a biogazului.

La nivelul Uniunii Europene s-a constatat că producția de biogaz în anul 2015 a fost realizată din „culturile dedicate (51%) și gunoi de grajd (22%)”[147]. De asemenea, se consideră că cel mai mare potențial de creștere se găsește în deșeurile organice și în dejecțiile animaliere[147]. Avantajele producerii de biogaz prin digestia anaerobă a deșeurilor și a gunoiului de grajd sunt multiple în ceea ce privește reducerea poluării resurselor de apă, reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră și previne formarea mirosurilor și al insectelor la locul de depozitare a deșeurilor, în special a celor provenite de la creșterea animalelor. Există și impedimente în special cele legate de lipsa expertizei tehnice pentru inițierea, proiectarea și realizarea proiectelor pentru instalațiile de biogaz și a personalului specializat pentru operarea eficientă a acestora.

### 3.2. Digestia anaerobă în instalații de biogaz din România

Procesul de digestie anaerobă care stă la baza funcționării instalațiilor de biogaz este un proces biochimic foarte complex. În absența oxigenului, biomasa este descompusă de către bacterii anaerobe și se obține biogaz și digestat. Digestatul este substratul descompus anaerob, bogat în macro- și micro- nutrienți, care poate fi utilizat, prin urmare, drept fertilizator. Biogazul produs de digestie, „este un combustibil curat și ecologic, cu un  $\text{CH}_4$  conținut de aproximativ de 55-65%. Alți componenți includ 30-40% din  $\text{CO}_2$ , fracțiuni de vapori de apă, urme de  $\text{H}_2\text{S}$  și  $\text{H}_2$ , și eventual alți contaminanți (de exemplu, siloxani)”[91].

Compoziția biogazului depinde de „tipul și concentrația materiei organice ce urmează a fi digerată, dar și de condițiile fizico-chimice din digester cum ar fi pH, alcalinitate, temperatura și prezența altor anioni cum ar fi sulfati și nitrati” [36].

Biogazul obținut prin digestie anaerobă „are o energie echivalentă cu aproximativ două treimi din cea a gazelor naturale și poate fi arsă în motoare staționare sau turbine pentru a genera căldură și electricitate; în multe cazuri metanul acționează asupra motoarelor de combustie, căldură și energie electrică (CHP), care generează electricitate și căldură ca produs secundar”[92]. O altă întrebuintare a biogazului este „comprimarea și depozitarea, iar calitatea sa poate fi îmbunătățită prin eliminarea  $\text{CO}_2$  prin metode chimice” [91].

➤ **Instalația de biogaz de la Filipeștii de Pădure, jud, Prahova** produce biogaz care este ars într-un motor staționar, generându-se căldură și electricitate.





Figura 3.2.1. Instalația de biogaz de la Filipeștii de Pădure, jud. Prahova,[37]

În instalația de biogaz are loc procedeul de fermentare anaerobă care este un procedeu umed în două trepte, cu culturi energetice (20000 tone/an), cu adaos de nămol organic deshidratat (550 tone/an), reziduri de margarină (1400 tone/an) și făină proteică (50 tone/an) [37]. Biogazul produs în instalația de biogaz generează 1MW/h energie electrică, care este injectată în Sistemul Energetic Național și 1,2MW energie termică, care este livrat către CrisTim . Instalația de biogaz de la Filipeștii de Pădure, funcționează astfel încât substratul respectă anumiți parametri pentru a fi asigurată „siguranța echipamentelor și pentru a nu le exploata la limita maximă de funcționare”[37]. Parametrii substratului sunt prezentați în tabelul 3.2.1.

Tabelul 3.2.1. Parametrii substratului la instalația de biogaz de la Filipeștii de Pădure, jud. Prahova [37]

Valoarea pH	4-10
Indicator maxim nămol fermentat	125ml/g
Conținut de substanță uscată al nămolului fermentator	Maxim10%
Vâscozitate dinamică maximă	500mPas
Densitate maximă	1060 kg/m <sup>3</sup>

Este important ca în interiorul tancurilor de fermentație să se realizeze amestecarea într-un mod corespunzător, astfel încât „compostul să fie omogen și să nu prezinte cruste/formațiuni la suprafață”[39]. Mixarea are loc în tancul de fermentarea a instalației de biogaz. Diametrul acestuia este de 24 m, fiind prevăzut cu două mixere și un agitator. Rolul unui mixer este acela de a menține suprafața fără suprafețe flotante, iar celalalt mixer împrăștie biomasa proaspăt introdusă în rezervor, iar amestecatorul menține mișcarea de rotație a substratului [39].



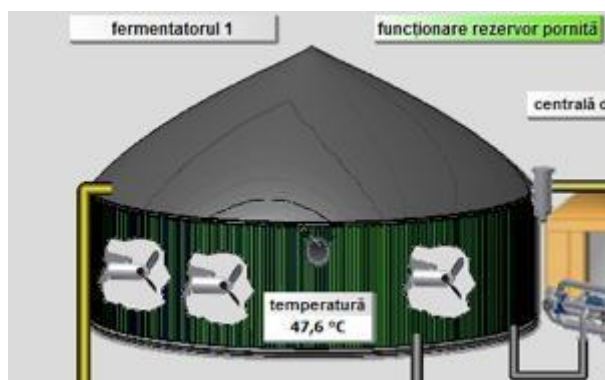


Figura 3.2.2. Tancul de fermentare a instalației de biogaz Filipeștii de Pădure, jud.Prahova [37]

Descompunerea substanțelor organice în tancul de fermentare, se face în anumite condiții, în prezența enzimelor și bacteriilor în patru mari pași: hidroliza, acidificarea, acetogeneză și metanogeneză. „Prezența enzimelor și a metalelor grele precum cobalt, nichel, fier, molibden sunt importante în instalația de biogaz pentru stabilitatea și randamentul procesului”. De asemenea, planul de hrănire a instalației de biogaz, valoarea pH-ului și a temperaturii medii pot duce la diminuarea oligoelementelor”[37].

Bărdeanu a studiat influența macro/microelementelor asupra producerii biogazului din porumb siloz în proces de mono-digestie. S-a constatat, după o perioadă scurtă de la lansare, că „lipsa oligoelementelor duce la scăderea dramatică a producției de biogaz”. Lipsa oligoelementelor în interiorul populației microbiene, conținutul scăzut de fier, molibden, selenium, cobalt a necesitat adăugarea timp de trei luni a 10 kg pulberi pe zi pentru îmbunătățirea oligoelementelor, ceea ce a dus la stabilizarea procesului de producție de biogaz. După cinci luni de funcționare a instalației de biogaz cu adaos de 10 kg de pulberi pe zi pentru îmbunătățirea oligoelementelor, concentrația de metan a crescut cu 1% [37].

În prezent, instalația de biogaz de la Filipeștii de Pădure funcționează cu un randament mare deoarece, co-digestia se realizează cu deșeuri organice cu un efect pozitiv asupra cantității de metan obținută.

➤ **Instalația de la Seini, jud. Maramureș** este o instalație de biogaz care folosește ca substrat principal deșeurile animale, cu adaos de culturi energetice. Instalația este un exemplu de bune practici pentru reducerea poluării apelor de suprafață și subterane cu nitrați proveniți din deșeurile și deșeuri din agricultură. Fondurile necesare realizării proiectului au fost asigurate de Ministerul Mediului prin Banca Mondială în cadrul proiectului „Controlul poluării în agricultură” [36]. Instalația de biogaz din Seini, jud. Maramureș, procesează deșeurile animale provenite de la crescătoriile de animale din localitate.

Prin „digestia anaerobă a 18000 tone pe an de deșeurile (8000 tone/an deșeurile animale de la suine, 5000 tone/an deșeurile de la bovine, 5000 tone/an deșeurile de la păsări) și a 2000 tone de culturi energetice (siloz de porumb și de secară) se produc anual 1.527.445 metri cubi de CH<sub>4</sub>, ce sunt transformați în 2997000 kWh/an”[36].

Dimensionarea instalației pilot de producere a biogazului la Seini a fost realizată pornind de la parametrii specificați în tabelul 3.2.2. [36].

Tabelul 3.2.2. Parametri specifici–Instalația de la Seini, jud. Maramureș [36]

Nr.	Input (tone)	Categorie	Substanță Uscată (%)	Materii solide (tone)	Substanță organică (% din solide)	Substanță organică (tone)
1	5000	Dejecții porci	4,7	235	71,9	168,965
2	8000	Dejecții vaci	12	960	85,6	821,76
3	5000	Dejecții păsări	32	1600	75	1200
4	2000	Siloz vegetal	32,6	652	94,7	617,444
Total	20000			3447		2808,169

Procesul de producere a biogazului în instalația de la Seini este asemănător celui de la instalația de la Filipeștii de Pădure, adică digestia anaerobă are loc în două fermentatoare din beton, un fermentator principal, închis sus cu o membrană, unde se introduce substratul spre fermentare și un fermentator secundar în care se introduce substratul prefermentat, care mai produce încă biogaz. Procesul este automatizat, alimentarea fermentatorului principal cu siloz de porumb și cu dejecții se realizează printr-un recipient de încărcare cu ajutorul dozatorului cu șneac acționat la comandă. Pentru prevenirea formării crustei deasupra substratului, fermentatoarele sunt dotate în interior cu amestecatoare pe două direcții. Formarea crustei la suprafața substratului ar împiedica degajarea liberă a biogazului. Fermentatoarele sunt prevăzute cu instalații de încălzire din inox, rezistente la mediul acid, cu ajutorul căreia este menținută temperatura de 39°C, digestia având loc în regim mezofil la temperaturi între 39-41°C. Fluxul tehnologic de producere a biogazului din gunoi de grajd și culturi energetice este prezentat în figura 3.2.3.[36]

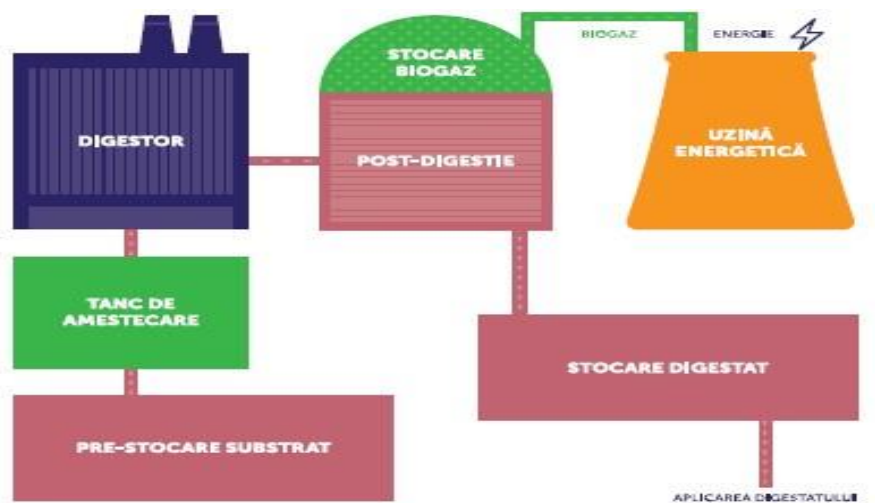


Figura 3.2.3. Fluxul tehnologic de producere a biogazului din gunoi de grajd și culturi energetice, instalația de biogaz Seini, jud. Maramureș [36]

Producția de biogaz este influențată de raportul C/N care trebuie păstrat în limitele [20:1-30:1] [36]. De asemenea un factor foarte important este temperatura la care are loc procesul de fermentație anaerobă.

Literatura de specialitate arată că microorganismele ce concurează la producerea biogazului, îndeosebi cele metanogene, se împart în trei mari categorii și determină tipul de fermentație anaerobă: crioofil (între 12-24°C), mezofil (între 25 – 40°C), termofil, la temperaturi cuprinse între 50 – 60°C [36].

Biogazul produs la Seini ajunge într-o instalație de cogenerare, după ce trece printr-un proces de desulfurare, producându-se energie electrică injectată în Sistemul Energetic Național (SEN) și căldură utilizată pentru încălzirea clădirilor. În urma procesului de fermentare rezultă digestatul -digestat lichid (cu 3% subst. uscată conținut, 15.150 m<sup>3</sup>/an) și digestat solid brut, 5.835 tone/an [36]. Digestatul, este un fertilizator recomandat a fi folosit în agricultură sau transformat în compost. În funcție de întrebuințare, instalațiile de biogaz sunt prevăzute cu separatoare unde are loc separarea fazei lichide și solide. Instalația de la Seini generează anual 1200 tone fertilizant solid, 2335 tone fertilizant lichid [36].

➤ **Instalația de biogaz de la Săcuieni Bihor** este o instalație în sistem cu transfer continuu, în care sunt supuse digestiei anaerobe 5440 tone/an dejecții rezultate din zootehnie și 8800 tone pe an siloz. „În această tehnologie, fermentatoarele sunt pline în permanență, golirea se face ocazional (pentru reparații)”[40]. Avantajul unei astfel de instalații este acela că producerea de biogaz este uniformă.

Schema de funcționare a unei instalații de biogaz în sistem cu transfer continuu este prezentată în figura 3.2.4.

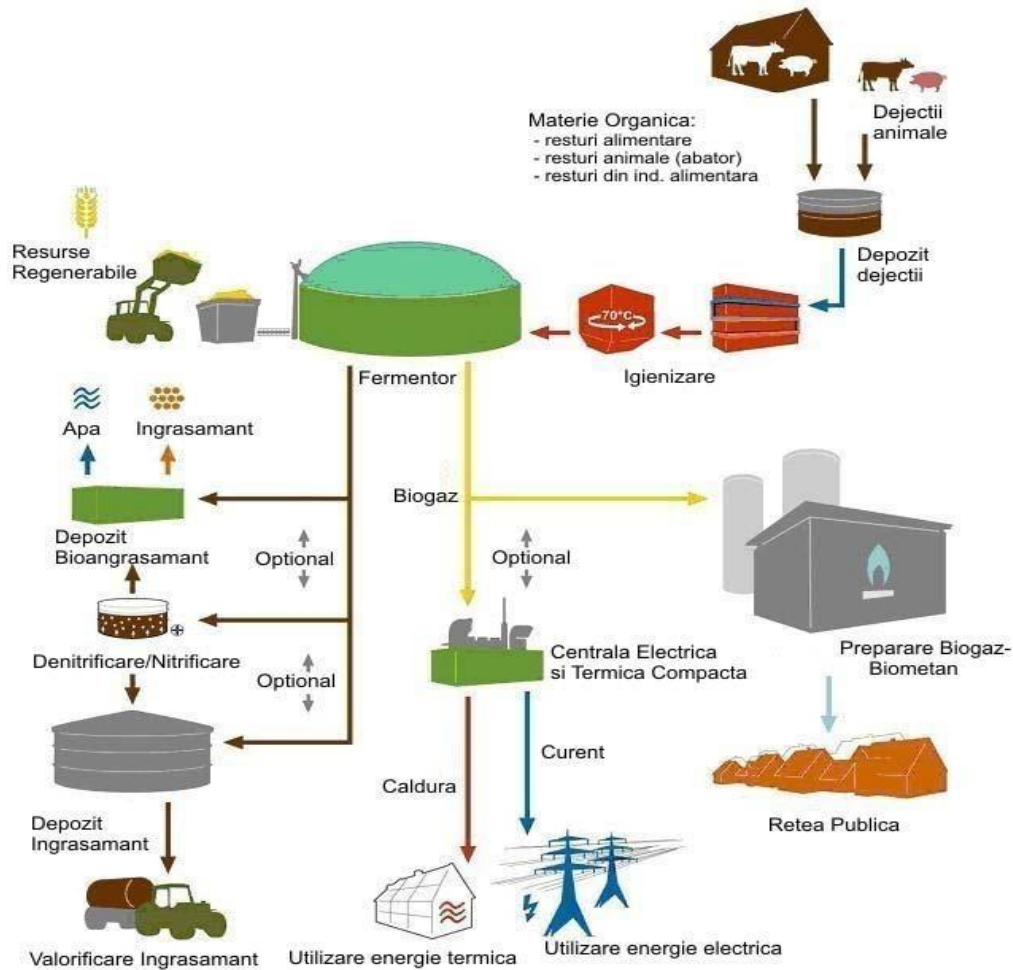


Figura 3.2.4. Schema de funcționare a unei instalații de biogaz în sistem cu transfer continuu, instalația biogaz Săcuieni, jud. Bihor.[40]

Biogazul rezultat este ars în minicentrala cu motor cu gaz, generându-se anual 500KW energie electrică, care este injectată în SEN.

➤ **Instalația de biogaz Glina, București aparținând Veolia SA**, este un alt exemplu de instalație de biogaz realizată în România, o instalație în care are loc digestia anaerobă a nămolului provenit de la stația de epurare Glina din București. Procesul de degradare a materiei organice în lipsa oxigenului are loc într-un grup de cinci digestoare de 8.000 m<sup>3</sup> fiecare cu funcționare în paralel. Instalația de biogaz are o schemă de funcționare conform căreia amestecul de nămol primar și biologic îngroșat este pompat în cele cinci rezervoarele de fermentare, asigurându-se o recirculare continuă. Procesul de digestie anaerobă are loc în regim mezofil (36...38 °C). Biogazul produs ajunge printr-o conductă în rezervoarele de stocare, asigurarea

capacității de stocare temporară fiind foarte importantă. În acest fel sunt compensate fluctuațiile din producție și se poate realiza asigurarea alimentării continue cu biogaz a centralelor de cogenerare în care este ars biogazul pentru producerea de energie. [35]. Înainte de ardere, biogazului este trecut printr-un filtru cu cărbune activ pentru a fi îndepărtați compușii de siliciu, iar hidrogenul sulfurat este îndepărtat prin desulfurizare. Acest procedeu este necesar pentru a se evita coroziunea subansamblelor mecanice și a evita diminuarea randamentului motoarelor. De la unitatea de desulfurizare-uscare, biogazul ajunge în centrala de cogenerare CHP. Aceasta este formată din centralele cuplate termoelectrice, constând din motoare cu combustie internă care antrenează un generator electric. Energia electrică produsă este utilizată în stația de epurare iar agentul termic obținut în urma procesului de cogenerare este utilizat în principal pentru încălzirea nămolului, la temperatura optimă a procesului de digestie anaerobă, în reactoare mezofile.

Din graficul 3.2.5. se poate observa eficiența procesului de digestie anaerobă care este reprezentată prin producția specifică de biogaz raportată la cantitatea de substanță organică volatilă introdusă[35].

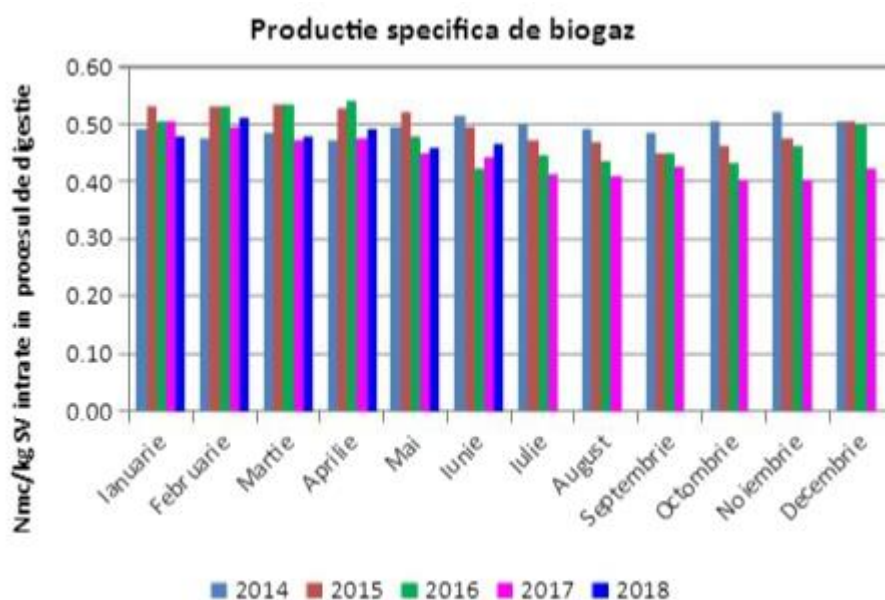


Figura 3.2.5. Producția specifică de biogaz, instalația de biogaz Glina, București[35]

Producția medie de energie electrică obținută prin valorificarea biogazului este situată între 50...70 MWh/zi, și este utilizată numai pentru consumul propriu al stației de epurare a apelor uzate de la Glina. În tabelul 3.2.3 sunt prezentate valorile medii ale energiei produse prin valorificarea energetică a biogazului.

Tabel nr 3.2.3 Valorile medii ale energiei produsă prin valorificarea energetică a biogazului[35]

	Medie 2012	Medie 2013	Medie 2014	Mediu 2015	Medie 2016	Medie 2017	Medie 2018
Energia produsă MWh/zi	54	51	61,3	67,2	61,2	59,1	60,9

Producția de energie electrică este destinată numai pentru consumul intern al stației de epurare, asigurându-se o autonomie energetică de aproximativ 55-60%[35]. Astfel se constată că stația de epurare a apelor uzate de la Glina este cel mai mare producător de energie verde din zona metropolitană a Bucureștiului .

### 3.3. Digestia anaerobă a deșeurilor organice ca substrat principal

Producerea de biogaz din deșeurile organice în procesul de mono-și co-digestie, utilizându-se diferite tipuri de reactoare și operand-se în diferite condiții de lucru, a fost studiată în detaliu de mai mulți cercetători (vezi tabelul 3.3.1). De exemplu, Elango și alții [41] au investigat experimental procesul de digestie a deșeurilor municipale solide (52% fracție organică) în amestec cu nămol rezidual. Experimentele s-au efectuat într-un reactor de tip semi-șarjă (mod de operare semicontinuu cu alimentare zilnică) funcționând în intervalul de temperaturi 26-36°C, timpul de retenție (HRT) constant de 25 zile și rate de încărcare (OLR) diferite variind între 0,5 până la 4,3 kg VS/m<sup>3</sup>·zi. Cantitatea maximă de biogaz produsă de 0,36 m<sup>3</sup>/kg VS a fost înregistrată pentru un OLR de 2,9 kg VS/m<sup>3</sup>·zi. Creșterea ratei de încărcare peste această valoare a dus la scăderea volumului de biogaz produs. Rezultatele, de asemenea, au arătat că 68-72% din compoziția biogazului rezultat a reprezentat CH<sub>4</sub>, 18-20% CO<sub>2</sub> și 8% H<sub>2</sub>S.

Fernandez și alții [42] au investigat influența concentrației substanțelor solide totale (TS) asupra procesului de digestie a deșeurilor organice (fracția organică a deșeurilor municipale solide, OFMSW). Două cazuri au fost studiate, și anume, concentrația substanțelor solide (TS) de 20% și cea de 30%. A fost utilizat un reactor de tip șarjă, în care, în condiții mezofile (35°C), deșeurile au fost degradate pentru o perioadă de până la 95 zile. Rezultatele experimentale au arătat că reactorul cu 20% TS a generat cea mai mare cantitate de CH<sub>4</sub>, adică 0,11 m<sup>3</sup>/kg VS față de doar 0,07 m<sup>3</sup>/kg VS în cazul reactorului umplut cu 30% TS. De asemenea, s-a observat că începutul activității metanogene în cele două cazuri a fost diferit. Pentru reactorul cu 20% TS, metanogeneza începe în 14 zile, observându-se o creștere a volumului de biogaz produs, atingând maximum în zilele 21-22. Procesul de digestie se termină în ziua 45, adică după 14 zile de hidroliză și acidogeneză și 28 zile de metanogeneză. În reactorul cu 30% TS, faza metanogenă începe în 28 zile, aproape dublu față de cazul precedent, maximum atingându-se în zilele 54-55, și întregul proces se termină în ziua 80.

Într-o altă lucrare pentru TS de 20 și 30%, același grup de cercetători [43] au investigat digestia deșeurilor OFMSW în condiții mezofile (35°C) într-un reactor discontinuu. Ei au observat că, la sfârșitul etapei de metanogeneză, cantitatea totală de CH<sub>4</sub> produsă a fost de aproape 7 l (după 40 zile) în cazul digestiei cu solide totale de 20% și 5,5 l (după 75 zile) în cazul digestiei cu solide totale de 30%.

Guendouz și alții [44] au studiat procesul uscat de digestie anaerobă a deșeurilor municipale solide (MSW), în regim mezofil și un timp de retenție (HRT) de 15 zile, într-o instalație de laborator și au comparat rezultatele cu datele de la o instalație pilot (cu o capacitate de 21 m<sup>3</sup>). Solidele totale (TS) au reprezentat ~35% din amestec. Rezultatele au arătat că în urma procesului de fermentare a deșeurilor în instalația de laborator s-au obținut între 0,187-0,211 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg VS funcție de concentrația solidelor totale și a celor volatile, precum și de raportul dintre deșeu introdus și substratul deja fermentat. Aceste valori au fost aproape identice cu cele obținute în instalația pilot, 0,193-0,212 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg VS.

În cadrul experimentelor efectuate de Macias-Coral și alții [45] au fost investigate (co)digestia deșeurilor solide (fracția organică, OFMSW) și a gunoiului de grajd (de la vaci de lapte, CM) într-o instalație pilot cu digestia anaerobă în două etape. Compoziția deșeurilor OFMSW, reprezentând ~61% din totalul deșeurilor solide, a fost compusă din aproximativ 62% hârtie (70% în experimentele cu codigestie), 23% (20%) deșeuri alimentare și 15% (10%) gunoi de curte. Digestia separată (sau monodigestia) a OFMSW și a gunoiului de grajd a generat 0,03 și, respectiv, 0,08 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg VS, în timp ce codigestia a produs 0,1 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg VS. Concentrația CH<sub>4</sub> în gazul produs în timpul testelor a variat între 72,3 și 73,1% (față de ~60% obținut în sisteme convenționale de digestie anaerobă într-o singură treaptă). Rezultatele au arătat că, în testele cu co-digestie, masa totală a materiei supusă fermentării s-a redus cu 78% în urma procesului de digestie (față de numai 8,7% în testele cu utilizarea doar a OFMSW). Autorii au concluzionat că co-digestia deșeurilor organice cu dejecțiile animaliere are un efect pozitiv asupra procesului de producere biogaz.

Utilizarea deșeurilor alimentare (FW) în procesul de descompunere anaerobă a fost cercetat de Zhang și alții [46]. Pentru experimente au fost folosite reactoare de tip șarjă operând în condiții termofil (~50°C). Înaintea testelor, deșeurile FW proaspete adăugate în reactoare au fost amestecate cu inocul (din nămol) obținut de la un fermentator anaerob de la o stație municipală de tratare a apelor reziduale. În timpul experimentelor cantitatea maximă de CH<sub>4</sub> produsă a fost de 0,425-0,445 m<sup>3</sup>/kg VS după 28 de zile de fermentare (cea mai mare parte, aproape 80%, a fost produsă după primele 10 zile). Concentrația medie a CH<sub>4</sub> înregistrată a fost de ~73 % și cea de CO<sub>2</sub> a fost de ~27 %. În termeni de substanță introdusă, cantitatea totală de biogaz generată a fost de 0,465 m<sup>3</sup> de biogaz per kg materie uscată. Aceste rezultate arată că deșeurile alimentare reprezintă o materie primă foarte bună pentru producerea de biogaz având un randament ridicat.

Forster-Carneiro și alții [47] au studiat procesul de digestie a deșeurilor alimentare (FW) în șase reactoare de tip șarjă, în regim termofil (55°C), cu trei concentrații diferite de solide totale (TS) în amestec, de 20, 25 și 30 %, și două concentrații de inocul (nămol fermentat), de 20 și 30 %, pH-ul materialului inițial a fost de 5,9 pentru FW și 7,9 pentru nămolul fermentat iar raportul C/N a fost de 37,0 în FW și 15,7 în nămolul fermentat. Cele mai bune rezultate au fost obținute pentru șarja cu 20 % TS și 30 % inocul. Producția de metan în etapa de stabilizare (între 20 și 60 de zile) a fost de 0,49 m<sup>3</sup>/kg VS. De asemenea, ei au propus un



protocol pentru îmbunătățirea fazei de pornire în sistemele uscate de digestie anaerobă termofilă a deșeurilor FW.

Bouallagui și alții [48] au comparat performanțele procesului de fermentare a deșeurilor provenite din fructe și produse vegetale (FVW, 8,3 % TS din care 93 % VS) în regim de temperaturi mezofil ( $\sim 35^{\circ}\text{C}$ ) cu cel termofil ( $\sim 55^{\circ}\text{C}$ ). Ei au arătat că rezultate mai bune se obțin în regim termofil. Producția de biogaz crește cu aproape 45 %, și anume, pentru o rată de încărcare (OLR) de  $1,24 \text{ kg VS}/(\text{m}^3\cdot\text{zi})$  s-au obținut  $0,48 \text{ m}^3$  biogaz/kg VS în condiții termofile și  $0,33 \text{ m}^3$  biogaz/kg VS în condiții mezofile. Concentrația  $\text{CH}_4$  în biogazul generat a fost aceeași în cele două experimente (58%). Autorii au observat că producția de biogaz se mărește considerabil dacă deșeurile FVW sunt co-fermentate cu deșeurile de abator (AW). În regim mezofil cantitatea de biogaz produsă a fost de  $0,58 \text{ m}^3/\text{kg VS}$  în timp ce în regim termofil a fost de  $0,73 \text{ m}^3/\text{kg VS}$ . Acest lucru atribuindu-se unui raport C/N mai bun a amestecului FVW+AW în procesul de co-fermentare ( $\sim 22$  față de  $\sim 34$  în FVW).

Îmbunătățirea procesului de digestie anaerobă a deșeurilor organice prin co-fermentare cu alte tipuri de deșeuri este în continuă investigație. De exemplu, Ponsa și alții [49] au studiat procesul de co-digestie a OFMSW cu ulei vegetal, grăsimi animale, celuloză și proteine. Dintre acestea, cele mai bune performanțe s-au obținut pentru amestecul dintre OFMSW și ulei vegetal, cu o producție de biogaz de  $0,699 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg VS}$  ceea ce a reprezentat o creștere de  $>80\%$  față de mono-digestia OFMSW. Recent, Pavi și alții [50] au studiat experimental co-digestia OFMSW cu deșeuri de fructe și legume. Rezultatele au arătat că pentru șarja cu un amestec dintre OFMSW și FVW de 1 la 3 (raport masic VS) s-au obținut cele mai bune performanțe. Producția de biogaz cumulată a crescut până la  $0,494 \text{ m}^3/\text{kg VS}$ , o creștere de aproape 130% față de cazul mono-digestiei a OFMSW, iar concentrația de metan a crescut până la 79,7% (față de 76,5% în mono-digestie).

Procesul de digestie anaerobă a deșeurilor organice poate fi intensificat prin aplicarea diferitor metode de pretratare a substratului [51] cum ar fi, metoda mecanică (dezintegrarea/tocarea materiei solide), termică (aplicarea temperaturii), chimică (utilizarea unor substanțe pentru descompunerea compușilor organici) sau biologică. În funcție de metoda aplicată, caracteristicile substratului utilizat, dar și de tipul sistemului de digestie, producția de biogaz poate crește semnificativ. Lopez Torres și alții [52] au analizat efectul pretratării deșeurilor organice (OFMSW) asupra procesului de digestie anaerobă. Testele de laborator s-au efectuat în reactoare cu amestecare completă, de tip șarjă, cu deșeuri pretratate cu  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Cantitatea maximă de metan produsă din deșeuri pretratate ( $0,028 \text{ g Ca}(\text{OH})_2/\text{g TS}$ ) a fost de  $0,15 \text{ m}^3/\text{kg VS}$  ceea ce a reprezentat o creștere de aproape 172 % față de teste fără pretratare. Aceste rezultate arată că, de exemplu, pretratarea chimică a deșeurilor înainte de procesul de digestie are un efect benefic asupra întregului proces. Cu toate acestea, utilizarea acestei metode este contraindicată pentru deșeurile cu concentrații mari de carbohidrați [51]. Aceasta deoarece prin descompunerea rapidă a lor și acumularea ulterioară a acizilor grași volatili duce la stoparea etapei de metanogeneză. Îmbunătățirea procesului de co-digestie prin pretratare termică și/sau chimică a fost studiat recent de Abudi și alții [53]. Ei au arătat că atât în procesul de mono-digestie cât și în cel de co-digestie, pretratarea intensifică procesul de producere biogaz. În procesul de co-digestie, cele mai bune rezultate s-au obținut pentru un amestec dintre OFMSW, deșeu de nămol activat pretrat simultan termic și chimic (cu NaOH), și deșeu format din paie de orez pretrat doar chimic (cu  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) cu o producție de  $0,559 \text{ m}^3$  biogaz/kg VS (amestec 3/0,5/0,5 raport volumetric). Această



valoare este cu ~160 %, ~190 % și ~143 % mai mare față de mono-digestia deșeurilor organice, nămolului netratat și, respectiv, paielor de orez netratate.

De asemenea, procesul de digestie poate fi îmbunătățit prin adăugarea de oligoelemente [54]. De exemplu, în testele experimentale realizate de Nordel și alții 2016 [55], adăugarea de oligoelemente în procesul de co-digestie a dejecțiilor animaliere cu deșeurile organice a dus la o creștere a ratei de producție biogaz cu 24% (pentru un OLR de 3,3 kg VS/(m<sup>3</sup>·zi)) față de reactorul de referință. Experimentele au arătat și că, concentrația acizilor grași volatili scade semnificativ prin adăugarea oligoelementelor în reactor (1,7 g/l înainte și 0,4 g/l după adăugare).

Instalația de biogaz Vasteras, Suedia, de exemplu, folosește ca substrat un amestec format din deșeuri organice separate la sursă (în principal cele de bucătărie) în volum de 14000 t/an, grăsimi de la separatoare de grăsimi din bucătării și restaurante în volum de 4000 t/an și plante energetice în volum de 5000 t/an[57]. Deșeurile colectate, înainte de proces, trec printr-o procedură de pretratare care constă din amestecare, separarea și îndepărtarea impurităților cum ar fi sticle, pietre, plastic și alte materiale nebiodegradabile. După pretratare și salubritate, substratul este introdus în digester cu o capacitate de 4000 m<sup>3</sup>. Procesul de digestie are loc la temperatura de 37°C cu timp de retenție de 20 de zile. Biogazul obținut prin digestie anaeroba poate fi folosit drept combustibil pentru transport.

Linkoping este o altă instalație de biogaz din Suedia în care sunt tratate anual circa 45000 de tone de deșeuri, constând dintr-un mix de deșeuri de abator (~55%) și deșeuri alimentare (~45%)[57]. Deșeurile înainte de a fi introduse în reactor sunt mărunțite și amestecate pentru omogenizare. Apoi, amestecul este pasteurizat timp de o oră la temperatura de 70°C. După aceea, substratul este răcit și pompat în două reactoare anaerobe fiecare având o capacitate de 3800 m<sup>3</sup>. Procesul de digestie are loc la temperatura de 38°C cu un timp de retenție de 30 de zile. Biogazul generat, ca și în cazul altor instalații din Suedia, este upgradat și utilizat pentru transport. Cantitatea totală de biogaz upgradat este de 65 GWh/an. De asemenea, instalația produce biofertilizator pentru utilizare în ferme.

Instalația de biogaz din Ludlow, Anglia, este destinată pentru digestia deșeurilor organice de bucătărie și de grădină separate la sursă [58]. Înainte de digestie, deșeurile recepționate sunt verificate, pretratate și stocate într-un rezervor de amestecare unde conținutul de solide totale este redus de la 15-20 până la 12% prin recircularea digestatului. Procesul de digestie are loc într-un reactor cu amestecare continuă, cu un volum de 900 m<sup>3</sup> și care funcționează în domeniul mezofil la temperatura de 40°C. Cantitatea de biogaz produsă este estimată la 100-140 m<sup>3</sup> per deșeuri introduse și este utilizată într-o centrală de cogenerare (CHP) pentru generare de căldură și electricitate. Din totalul de energie generată, aproape 30% căldură și 5% electricitate sunt folosite pe loc iar excesul de energie poate fi exportat.

Alt exemplu de centrală de biogaz este cea din Otelfingen, Elveția, unde sunt tratate anual 12500 t/zi de deșeuri biologice [59]. Cea mai mare parte din deșeuri (10000 t/an) este alcătuită din deșeuri biologice separate la sursă colectate de la aproximativ 100000 de oameni. De asemenea, instalația tratează și deșeuri alimentare (2500 t/an) provenite dintr-un lanț de supermarketuri. Digestia are loc la temperatura de 55°C într-un reactor de 900 m<sup>3</sup>. Timpul de retenție este de 14 zile. Biogazul produs, în cantitate de 100-130 m<sup>3</sup>/t deșeu și concentrație de aproximativ 60% CH<sub>4</sub>, este utilizat pentru generare de energie electrică și termică într-o centrală

de cogenerare (CHP). O parte din biogazul produs este, de asemenea, upgradat până la o concentrație de metan de 97%, comprimat și stocat la 250 bari, și apoi folosit în calitate de combustibil de transport.

Tabelul 3.3.1. Producția de biogaz din procesul de (co-) digestie a deșeurilor organice

Studiu	Substrat	Tipul reactorului	Condiții de lucru			Producția de biogaz			
			t (°C)	HRT (zile)	OLR (kg VS/(m <sup>3</sup> ·zi))	Biogaz (m <sup>3</sup> /kg VS)	CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> /kg VS)	C <sub>CH4</sub> (% vol)	
Elango și alții	MSW + apă reziduală menajeră	Șarjă (5 l)	26-36	25	0,5-4,3	0,13-0,36		68-72	
Zhang și alții 2007	Deșeuri alimentare	Șarjă (1 l)	~50	28		0,6	0,44	~73	
Forster-Carneiro și alții 2008	Deșeuri alimentare + inocul	Șarjă (1,1 l)	55			~7,14 l după 60 de zile	0,49 (~2,82 l după 60 de zile)		
Fernandez și alții 2008	OFMSW + nămol fermentat	Șarjă (1,7 l)	35			0,11-0,07		>80	
Macias-Coral și alții 2008	MSW	Reactor în două etape					0,03	73,1	
	OFMSW + dejecții de vacă						0,10	73	
Guendouz și alții 2010	MSW	Șarjă (40 l)	37				~0,19-0,21		
Ponsa și alții 2011	OFMSW	(1 l)	37	21			0,38	68	
	+ ulei vegetal						0,69	85	
	+ grăsimi animaliere						0,50	8	
	+ celuloză						0,25	4	
	+ proteine						0,28	8	
Pavi și alții 2017	OFMSW	Șarjă (2 l)	35	15			0,215	0,16	76,5
	+ deșeuri de fructe și legume			17-18			0,434-0,494	0,35	~80
							1-0,39	7	

În tabelul 3.3.1 este prezentată producția de biogaz din procesul de (co-) digestie a deșeurilor organice.

În tabelul 3.3.2. sunt sistematizate câteva exemple de instalații mari de producere biogaz pe bază de deșeuri organice în co-digestie cu alte tipuri de deșeuri.

Tabelul 3.3.2. Exemple de instalații mari de producere biogaz din co-digestia deșeurilor organice.

Denumire instalație biogaz(țară)	Substrat	Capacitatea digesterului	Condiții de lucru	Producția de biogaz
Vasteras (Suedia)	Deșeuri de bucătărie separate la sursă (14000 t/an) + plante energetice (5000 t/an) + grăsimi (bucătării și restaurante, 4000 t/an)	4000 m <sup>3</sup>	Mezofil (37°C) HRT=20 zile	~6290 m <sup>3</sup> /zi de biogaz upgradat (9798% CH <sub>4</sub> )
Linkoping (Suedia)	Deșeuri de abator (55%) + deșeuri alimentare (45%)	Două reactoare: 3800 m <sup>3</sup> fiecare	Mezofil (38°C) HRT=30 zile	63 GWh/an biogaz upgradat
Ludlow (Anglia)	Deșeuri de bucătărie și de grădină (5000 t/an)	900 m <sup>3</sup>	Mezofil (40°C) HRT=25 zile TS=12% pH=7,3-7,5	100-140 m <sup>3</sup> /t deșeuri
Otelfingen (Elveția)	Deșeuri biologice separate la sursă (10000 t/an) + deșeuri alimentare de supermarket (2500 t/an)	900 m <sup>3</sup>	Termofil (55°C) HRT=14 zile TS=30%	100-130 m <sup>3</sup> /t deșeuri (~60% CH <sub>4</sub> )

### 3.4. Digestia anaerobă a nămolului ca substrat principal

Nămolurile rezultate din stațiile de epurare orășenești pot fi folosite în procesul de digestie anaerobă pentru producerea biogazului. În prezent, multe stații de epurare a apelor reziduale sunt echipate cu digestoare de diferite capacități în care biogazul produs este utilizat, de exemplu, pentru generarea de energie electrică și termică. Experiența totuși arată că performanța acestor sisteme este redusă. De aceea, pentru a îmbunătăți procesul de digestie se pot adăuga diferite tipuri de deșeuri în calitate de co-substraturi. În tabelul 3.4.1 sunt incluse studiile experimentale în care au fost investigate și comparate procesele de digestie a nămolurilor cu și fără adăugarea de alte tipuri de deșeuri.

De exemplu, Luostarinen și alții [60] au investigat efectul adăugării de grăsimi, uleiuri și unsori (FOG) rezultate dintr-o fabrică de procesare a cărnii asupra procesului de digestie a nămolului. Ei au arătat că utilizarea grăsimilor, influențează pozitiv procesul de digestie. Cele mai bune rezultate s-au obținut pentru amestecul cu conținut de grăsime de 46% (din totalul de solide volatile), cu o producție de 0,463 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg VS reprezentând o creștere de ~65% în comparație cu cazul de referință. Ei de asemenea au arătat că deși cantitatea de biogaz produsă scade odată cu mărirea timpului de retenție hidraulică (HRT), producția specifică de metan crește, și anume, în cazul mono-digestiei a nămolului s-a obținut ~1,74 l biogaz/zi dar 0,320 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg VS pentru un HRT de 20 zile cu rata de încărcare de 1,08-1,16

kg VS/(m<sup>3</sup>·zi) față de ~2,33 l biogaz/zi și 0,318 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg VS pentru un HRT de 18 de zile cu rata de încărcare de 1,29-1,42 kg VS/(m<sup>3</sup>·zi), și ~2,82 l biogaz/zi și 0,278 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg VS pentru un HRT de 16 de zile cu rata de încărcare de 1,56-2,09 kg VS/(m<sup>3</sup>·zi). După cum notează autorii aceasta se datorează în principal unui proces de degradare mai lent a substanțelor din nămol. Pe de altă parte, în testele de codigestie micșorarea timpului de retenție a dus la creșterea producției specifice de metan.

În experimentele efectuate de Noutsopoulos și alții în 2013 [61] s-a investigat efectul ratei de încărcare (OLR) și a concentrației substratului co-fermentat (grăsimi, uleiuri și unsori de la o stație de epurare) în amestec cu nămolul primar și cel activ asupra procesului de digestie. În condiții mezofile, utilizând un reactor cu amestecare continuă și timp de retenție de 15 zile, ei au observat că producția de biogaz crește cu adăugarea de grăsimi în amestec de până la 60% din totalul de solide volatile și a ratei de încărcare de până la 3,5 kg VS/(m<sup>3</sup>·zi). Rezultatele arată o creștere de aproape 55% a producției de biogaz, de la 0,45 m<sup>3</sup>/kg VS în cazul mono-digestie nămolului până la 0,70 m<sup>3</sup>/kg VS în cel al co-digestiei cu 60% VS grăsimi.

Jensen și alții [62] au utilizat glicerină pentru a intensifica procesul de digestie. Rezultatele lor arată că adăugarea de 0,5% (masă) glicerină duce la creșterea ratei de încărcare (OLR) cu 20 % și a producției de metan cu ~12 % iar prin adăugarea de 2 % (masă) duce la creșterea OLR cu 70 % și a producției de metan cu ~50 %.

Maragkaki și alții [63] au investigat procesul de co-digestie a nămolului cu trei tipuri de deșuri diferite, și anume, (i) ape uzate rezultate din procesul de producere a uleiului de masline, (ii) zer de brânză și (iii) glicerină. Testele, efectuate pe o instalație pilot cu o capacitate a digesterului de 220 l, în condiții mezofile, au arătat că adăugarea de numai 5 % (volum) de deșeu suplimentar duce la creșteri semnificative de biogaz. Producția de biogaz crește cu ~85 %, 220 % și 350 % în cazul co-digestiei cu zer de brânză, ape uzate și, respectiv, glicerină. Recent, într-un alt studiu, Maragkaki și alții [64] au demonstrat experimental că și prin adăugarea altor tipuri de deșuri cum ar fi deșeurile alimentare, reziduurile agroindustriale și dejecțiile animaliere se poate îmbunătăți procesul de digestie. De exemplu, prin co-digestie a 5 % deșuri alimentare se pot obține cu ~150 % mai mult biogaz față de monodigestie, iar în amestec cu 5 % glicerină, creștere de peste 200 %.

Rezultatele de mai sus arată că adăugarea diferitor tipuri de deșuri, în cantități reduse, în procesul de digestie anaerobă a nămolurilor poate crește producția de biogaz fără a afecta funcționarea digestoarelor din cadrul stațiilor de epurare și, probabil, fără a necesita instalații suplimentare.

Pretratarea este o metodă eficientă de intensificare a procesului de producere biogaz din nămol [65]. Metodele de pretratare pot fi de natură fizică, chimică sau biologică, și pot fi aplicate atât separat [66], [67], [53] cât și combinat [68], [69], [70], [71], [53]. De exemplu, Bougrier și alții [66] au investigat influența procesului de tratare termică asupra solubilizării și proprietăților fizice a nămolului utilizat, evidențiind efectul pozitiv asupra procesului de digestie. Creșterea temperaturii de tratare a condus la o biodegradabilitate mai mare a substratului în timpul procesului de digestie, ceea ce a dus la intensificarea producției de biogaz. În cadrul experimentelor efectuate de Abudi și alții [53] s-a investigat și comparat tratarea (i) separată a nămolului activat, prin aplicarea metodei termice, și (ii) combinată, utilizând simultan metoda termică și chimică (alcalină). Ei au arătat că tratarea simultană duce la cele mai bune rezultate,

producția de biogaz crește cu 9,8 și 51,2 % în comparație cu șarja tratată termic și, respectiv, netratată. Li și alții [67] au arătat că în procesul de pretratare alcalină a nămolului, concentrația optimă de NaOH folosită trebuie să fie de 0,1 mol/l. Trebuie menționat, că aplicarea tehnologiilor de pretratare, mai ales a celor termice și mecanice, implică costuri ridicate atât de capital, cât și de operare [65]. Unele metode duc la coroziune (de exemplu pretratarea chimică) iar altele au consumuri ridicate de energie electrică (de exemplu cele cu ultrasunete) [65].

Pentru a evita dezavantajele rezultate din aplicarea metodelor de pretratare, procesul de digestie anaerobă a nămolului poate fi îmbunătățit cu cantități suplimentare de oligoelemente în timpul procesului [72], [90]. De exemplu, Linville și alții [72] au investigat efectul adăugării de olivină și Ni/Co în digester operând în condiții mezofile. Rezultatele au arătat că producția de metan din digestia nămolului crește cu 56 % după adăugarea a 5 % olivină și 1,5 mg/l Ni/Co.

Exemple de instalații de biogaz utilizând ca substrat principal nămolul rezultat din stațiile de epurare a apelor uzate sunt descrise în tabelul 3.4.2.

Edelmann și alții [73], au efectuat teste pe o instalație mare de producere biogaz din nămolul obținut de la o stație de tratare a apelor reziduale din Frutigen, Elveția și au demonstrat că adăugarea deșeurilor organice îmbunătățește procesul de digestie. Deșeurile organice, reprezentând deșeurile de supermarket și cele de bucătărie și alimentare obținute din spital, au fost adăugate în proporție de 1 m<sup>3</sup>/zi. În figura 3.4.1. se prezintă schema procesului de pretratare a deșeurilor integrată în stația de epurare. Înaintea testelor de co-digestie, deșeurile au fost tocate până la dimensiunea de 1-2 mm pentru a obține o masă omogenă cu nămolul primar. Procesul de co-digestie a avut loc în două reactoare cu o capacitate de 240 m<sup>3</sup> fiecare. Cea mai mare parte din procesul de co-fermentare s-a realizat în primul reactor, în care timpul de retenție (HRT) a fost de 20 de zile. Rezultatele au arătat că producția de biogaz a crescut cu 25 %, de la aproape 179 până la 227 m<sup>3</sup>/zi.

Energia necesară procesului de pretratare și digestie a fost de aproximativ 35 kWh energie electrică și 50 kWh energie termică per tonă deșeurilor proaspete adăugate. Energia netă produsă din biogaz a fost de 65 kWh/t energie electrică și 166 kWh/t energie termică.

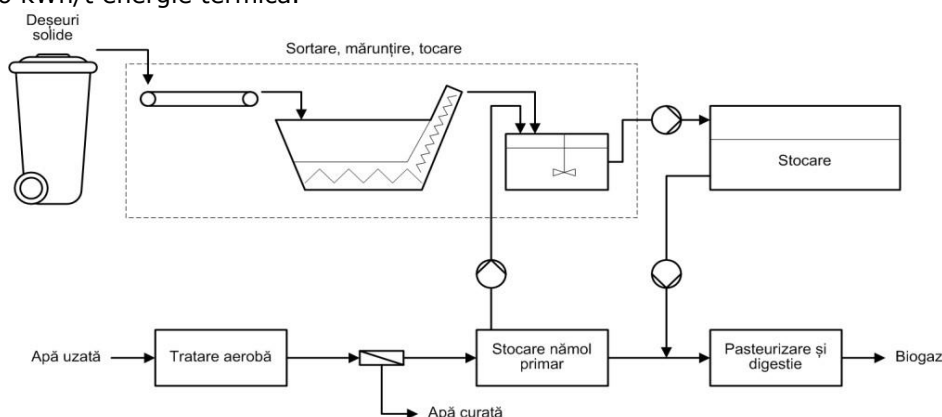


Figura 3.4.1. Schema simplificată a procesului de pretratare a deșeurilor de la instalația de biogaz din Frutigen, Elveția, adaptată [73]

Bolzonella și alții [74] au prezentat rezultatele testelor de co-digestie a nămolului cu deșeurile organice (OFMSW) efectuate pe două instalații mari de producere biogaz din Italia. La instalația din Viareggio prin adăugare a ~3 tone de OFMSW pe zi a sporit producția de biogaz de la ~600 până la 950 m<sup>3</sup>/zi. Aceasta pentru o rată de încărcare (OLR) care a crescut doar cu 20%, de la 1,02 până la 1,21 kg VS/(m<sup>3</sup>·zi). În termeni specifici, producția de biogaz a crescut de la 0,21 până la 0,26 m<sup>3</sup>/kg VS. La cea de-a doua instalație, din Treviso, co-digestia 8-9 tone de OFMSW și 80-90 m<sup>3</sup> de nămol a dus la creșterea producției de biogaz de la 3500 până la 17500 m<sup>3</sup>/lună. Cantitatea specifică de biogaz a crescut de la aproximativ 0,22 m<sup>3</sup>/kg VS, în condiții de digestie doar a nămolului, până la 0,43 m<sup>3</sup>/kg VS în cazul co-digestiei (OLR total de 0,78 kg VS/(m<sup>3</sup>·zi)). Aceste rezultate arată că tratarea unei cantități mai mari de deșeuri organice în digester duce la performanțe mai bune.

Într-un alt studiu, efectuat de Cavinato și alții [75] pe instalația din Treviso, s-a demonstrat că producția de biogaz se poate îmbunătăți și mai mult cu trecerea de la un regim de temperaturi mezofil la cel termofil.

Zupancic și alții [76] au realizat teste de co-digestie a deșeurilor organice (OW) din reziduuri menajere cu nămolul rezultat din stația de epurare din Valenje, Slovenia. Stația de epurare este echipată cu o instalație de producere biogaz, cu două digestoare, având un volum total de 2000 m<sup>3</sup> și operând în domeniul mezofil. Timpul de retenție (HRT) este de 20 de zile. Schema instalației de producere biogaz este prezentată în figura 3.4.2. După cum se poate observa, biogazul produs de la cele două digestoare este colectat într-o unitate de stocare și utilizat apoi într-un cazan pentru a genera agent termic și a acoperi necesarul total de căldură al instalației și stației de epurare, iar surplusul de biogaz este utilizat într-o centrală de cogenerare (CHP) de 50 kW. Rezultatele au arătat că volumul de biogaz produs a crescut semnificativ, cu 80%, iar cantitatea specifică a crescut de la 0,39 m<sup>3</sup>/kg VS, înaintea testelor, până la peste 0,6 m<sup>3</sup>/kg VS în timpul co-digestiei cu valoare maximă obținută de 0,89 m<sup>3</sup>/kg VS. Ca rezultat unei producții mai bune în timpul co-digestiei, cantitatea de energie generată din biogaz s-a mărit cu 45% energie termică și cu 130% energie electrică. De asemenea, testele au arătat că aproape toată materia organică s-a degradat în timpul procesului.

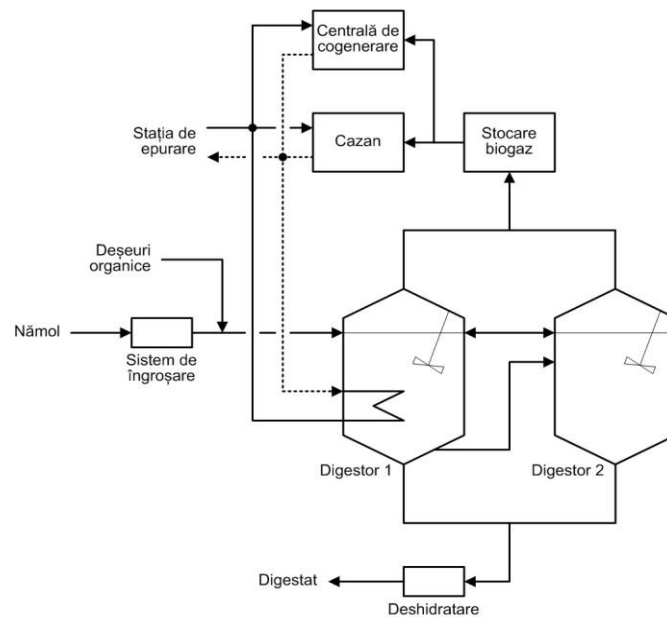


Figura 3.4.2 Schema instalației de biogaz din Velenje, Slovenia, [76]

Efectul pozitiv al co-digestiei asupra procesului de fermentare a fost, de asemenea, dovedit și de o echipă de cercetători din Germania condusă de Koch [77], unde prin adăugarea deșeurilor alimentare (FW, aproape 12% masă) în amestecul de nămol primar și activ, într-un reactor cu capacitatea de  $1350 \text{ m}^3$ , s-a obținut dublul producției de biogaz pe perioada testelor (12 luni). În cazul mono-digestiei cantitatea totală de biogaz produsă a fost de  $\sim 123 \times 10^3 \text{ m}^3$  iar în cazul co-digestiei aproape  $249 \times 10^3 \text{ m}^3$ . Testele, de asemenea, au arătat că stația de epurare din Garching/Alz prin producția de biogaz din co-digestie poate să acopere 78% din necesarul total de energie electrică, utilizând o centrală de cogenerare (CHP) cu un randament de 31%.

Suedia are o largă experiență comercială în producere de biogaz din diferite tipuri de deșuri [57]. Co-digestia este, în prezent, utilizată în 18 instalații, cu reactoare având diferite capacități și funcționând atât în regim mezofil cât și în cel termofil. În multe dintre aceste instalații biogazul produs este upgradat și utilizat în calitate de combustibil pentru transport. De exemplu, la centrala de biogaz din Boden are loc co-digestia nămolului provenit de la 11 stații locale de tratare a apelor reziduale și circa 1200 rezervoare septice cu deșuri alimentare provenite din gospodării, restaurante și magazine. Înainte de proces, deșeurile alimentare sunt tocate și după aceea amestecate cu nămol. Amestecul este pasteurizat la  $70^\circ\text{C}$  timp de o oră și apoi pompat în reactor a cărui volum este de  $1300 \text{ m}^3$ . Procesul de co-digestie are loc în condiții termofile temperatura de lucru de  $55^\circ\text{C}$  iar timpul de retenție variază între 14 și 16 zile.

Schema instalației este prezentată în figura 3.4.3. Producția anuală de biogaz este de 5,5 GWh, dintre care 3,5 sunt utilizate pentru încălzirea locală, 1,6 distribuit prin rețeaua de termoficare și 0,4 utilizat pentru upgradare. Digestatul rezultat în urma procesului (circa 1600 t/an) este și el utilizat, cea mai mare parte

fiind folosită în construcție ca material de umplere. S-a estimat că, prin construcția centralei din Boden, cantitatea de deșuri organice depozitate s-a redus cu aproape 5000 de tone pe an, iar emisiile de CO<sub>2</sub> s-au micșorat cu puțin peste 1400 de tone pe an. Numărul de transporturi necesare transportării nămolului s-a redus cu circa 700 pe an și astfel apar mai puține emisii generate în atmosferă.

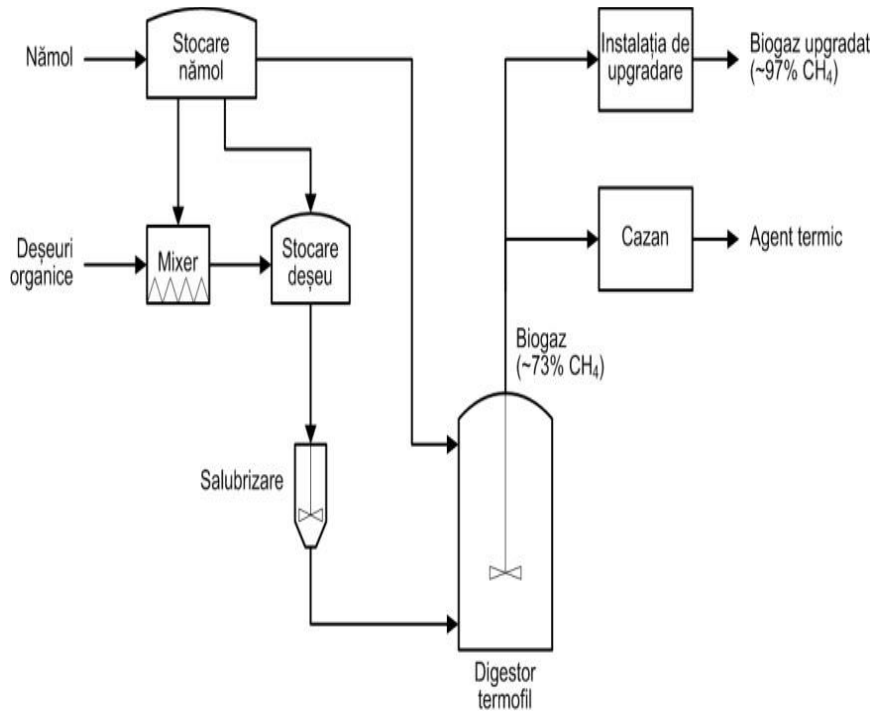


Figura 3.4.3. Schema instalației de biogaz din Boden, Suedia, adaptată [57]

Un alt exemplu de instalație de biogaz pe nămol este cea din cadrul celei mai mari stații de epurare din Suedia, Henriksdal (Stockholm) în care sunt tratate zilnic 370000 m<sup>3</sup> de ape reziduale. În instalația de biogaz, nămolul rezultat, reprezentând substratul principal, este co-fermentat cu substanțe organice în formă de grăsimi și deșuri alimentare de la restaurante și magazine. Substratul final se compune din 80-85% nămol (600000 t/an), 15-20% grăsimi (25000 t/an) și 1-2% deșuri alimentare (2000 t/an). Instalația de biogaz include 7 reactoare anaerobe cu un volum total de 39000 m<sup>3</sup>. Procesul de co-digestie are loc în condiții de temperaturi mezofile (35-37°C) cu un timp de retenție de 19 de zile. Producția anuală de biogaz de 65 GWh, dintre care maximum de 58 GWh este upgradată și utilizată pentru transport.



Tabelul 3.4.1. Producția de biogaz din procesul de (co-)digestie a nămolului.

Studiu	Substrat	Tipul reactorului	Condiții de lucru			Producția de biogaz		
			t (°C)	HRT (zile)	OLR (kg VS/(m <sup>3</sup> ·zi))	Biogaz (m <sup>3</sup> /kg VS)	CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> /kg VS)	C <sub>CH4</sub> (% vol)
Luostarinen și alții	Nămol	CSTR (5 l)	35	16	1,56 - 2,09	~0,44	0,278	63
	+ FOG (fabrică de procesare a cărnii)				3,46	~0,75	0,463	62
Noutsopoulos și alții, 2013	Amestec nămol primar și activ	CSTR (3 l)	35	15	1,92	0,452	0,294	65
	+ FOG (stația de epurare)				3,5	0,7	0,49	70
Jensen și alții, 2014	Amestec nămol primar și activ	CSTR (1 l)	37	17	2,16		821 <sup>a</sup>	
	+ glicerină				3,68		1248 <sup>a</sup>	
Maragkaki și alții, 2017a	Nămol	(220 l)	~35	24	0,6-1,0	~16-53 <sup>b</sup>		~63-71
	+ ape uzate (din producerea uleiului de masline)				0,9	50,4 <sup>b</sup>		~71-75
	+ zer de brânză				1,08	99,4 <sup>b</sup>		~69-71
	+ glicerină				1,48	238,3 <sup>b</sup>		~58-74
Maragkaki și alții, 2017b	Nămol	CSTR (1-3 l)	35	24	0,9	230 <sup>a</sup>		66,4
	+ deșeuri alimentare				1,1	572 <sup>a</sup>		71,3
	+ reziduuri de struguri				1,1	313 <sup>a</sup>		69,2
	+ zer de brânză				0,8	406 <sup>a</sup>		61,2
	+ glicerină				1,3	1751 <sup>a</sup>		72,4
	+ dejecții ovine				1,3	259 <sup>a</sup>		71,4

	+ deșeuri alimentare și glicerină				1,7	682 <sup>a</sup>		71,8
	+ dejectii ovine și glicerină				2,0	265 <sup>a</sup>		58,6

a, Producția de metan exprimată în ml/(l·zi).

b, Producția de biogaz exprimată în l/zi.

Tabelul 3.4.2 Exemple de instalații mari de producere biogaz din co-digestia nămolului rezultat din stațiile municipale de epurare a apelor reziduale

Denumire stație (capacitate, țară)	Substrat	Capacitatea digesterului	Condiții de lucru	Producția de biogaz
Frutigen (8000 PE, Elveția)	Nămol + deșeuri organice solide (1 m <sup>3</sup> /zi)	Două reactoare: 240 m <sup>3</sup> fiecare	Mezofil HRT~20 zile	227 m <sup>3</sup> /zi sau 0,57 m <sup>3</sup> /kg OS (0,55 m <sup>3</sup> /kg OS) <sup>a</sup>
Treviso (70000 PE, Italia)	Nămol activ (80-90 m <sup>3</sup> /zi) + deșeuri organice (8-9 t/zi)	2000 m <sup>3</sup>	Mezofil (36,3°C) HRT=22 zile OLR=0,78 kg VS/(m <sup>3</sup> ·zi)	0,43 m <sup>3</sup> /kg VS (0,22 m <sup>3</sup> /kg VS) <sup>a</sup>
Viareggio (100000 PE, Italia)	Nămol activ + deșeuri organice (~3 t/zi)	Două reactoare: 3000 și 1500 m <sup>3</sup>	Mezofil HRT~20 zile OLR=1,21 kg VS/(m <sup>3</sup> ·zi)	0,26 m <sup>3</sup> /kg VS (0,21 m <sup>3</sup> /kg VS) <sup>a</sup>
Velenje (50000 PE, Slovenia)	Amestec de nămol primar (60%) și cel activ (40%) + deșeuri organice	Două reactoare cu un volum total de 2000 m <sup>3</sup>	Mezofil HRT=20 zile OLR=1 kg VS/(m <sup>3</sup> ·zi)	0,60 m <sup>3</sup> /kg VS (0,39 m <sup>3</sup> /kg VS) <sup>a</sup>
Garching/Alz (Germania)	Amestec de nămol primar și cel activ + deșeuri alimentare (~12% masă)	1350 m <sup>3</sup>	Mezofil (~33°C) HRT=~40 zile	0,39 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg VS (0,31 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg VS) <sup>a</sup>

Boden (Suedia)	Nămol (24000 t/an) + deșeuri alimentare (1200 t/an)	1300 m <sup>3</sup>	Termofil (55°C) HRT=14-16 zile	5,5 GWh/an
Henriksdal (Suedia)	Nămol (600000 t/an) + deșeuri organice (grăsimi, 25000 t/an) + deșeuri alimentare (2000 t/an)	Șapte reactoare cu un volum total de 39000 m <sup>3</sup>	Mezofil (35-37°C) HRT~19 zile	65 GWh/an

### 3.5. Digestia anaerobă a dejecțiilor animaliere ca substrat principal

Dejecțiile animaliere sunt un alt tip de deșeuri pe larg utilizate în procesul de digestie anaerobă. În tabelul 3.5.1. sunt incluse studiile experimentale în care au fost folosite dejecțiile animaliere ca substrat în procesul de digestie separată și/sau simultană cu alte tipuri de deșeuri. Dejecțiile animaliere folosite în procesul de codigestie arată performanțe mai bune față de cele de mono-digestie [78], [79], [80], [81], [82], [83]

El-Mashad, Zhang și alții [80] au studiat procesul de co-digestie a dejecțiilor animaliere (de la vaci de lapte) cu deșeurile alimentare și au comparat performanțele cu procesul de mono-digestie a dejecțiilor. Testele au arătat că în procesul de digestie a dejecțiilor s-au produs între 0,366-0,436 m<sup>3</sup> biogaz/kg VS cu o concentrație a metanului de 57-69% CH<sub>4</sub>, iar în procesul de co-digestie s-au obținut între 0,455-0,531 m<sup>3</sup> biogaz/kg VS funcție de compoziția amestecului cofermentat. Cantitatea maximă se obține pentru un amestec format din 52% dejecții de vacă și 48% deșeuri alimentare. În cadrul experimentelor efectuate de Cavinato și alții [81] pe o instalație pilot de digestie a dejecțiilor animaliere cu deșeurile agroindustriale s-a investigat efectul temperaturii de lucru asupra procesului de digestie. Rezultatele au arătat că la trecerea regimului de lucru la temperaturi de operare mai mari, de la 47°C până la 55°C, producția de biogaz poate crește de la 0,54 m<sup>3</sup>/kg VS până la 0,62 m<sup>3</sup>/kg VS. De asemenea, s-a observat că și calitatea gazului se îmbunătățește, concentrația de metan crescând de la 58,8% până la 61,6%.

Giuliano și alții [82], au investigat efectul co-digestiei dejecțiilor animaliere cu plante energetice și deșeuri agricole. Două regimuri de temperaturi au fost aplicate, și anume, mezofil la temperatura de 37°C și termofil la temperatura de 55°C. Procesul de digestie a avut loc într-un reactor cu amestecare continuă având o capacitate de 230 l. Rezultatele au arătat că cea mai mare producție de biogaz de 1,13 m<sup>3</sup>/kg VS se obține pentru amestecul de 50% dejecții animaliere, 25% plante energetice și 25% deșeuri agricole în reactorul operând la temperatura de 55°C și rata de încărcare de 2 kg VS/(m<sub>3</sub>·zi). În comparație, la aceeași temperatură de funcționare, producția de biogaz în procesul de mono-digestie a dejecțiilor animaliere a fost de 0,18-0,23 m<sup>3</sup>/kg VS, a plantelor energetice de 0,82-0,91 m<sup>3</sup>/kg VS și a deșeurilor agricole de 0,92-1,05 m<sup>3</sup>/kg VS.

Zhang și alții [83] au investigat co-digestia dejecțiilor de capră cu diferite tipuri de deșeuri agricole, și anume, paie de grâu, tulpini de porumb și paie de orez. Au fost folosite diferite proporții dintre dejecțiile de capră și deșeuri agricole, variind între 0-100 %. Cele mai bune performanțe s-au obținut pentru mixul din 70% dejecții de capră și 30 % tulpini de porumb cu o producție totală de biogaz de ~16 l față de doar 10,4 l în procesul de mono-digestie a dejecțiilor.

În lucrarea [84], sunt prezentate rezultatele de co-digestie a deșeurilor alimentare (orez, tăiței, carne, legume și condimente) cu dejecțiile de cal într-un reactor anaerob în trei etape. Acesta are trei camere separate, prima pentru hidroliza materiei cu concentrații mari de solide, a doua pentru acidogeneza și a treia pentru metanogeneza umedă. Rezultatele arată că, utilizarea acestui tip de reactor poate îmbunătăți producția de metan cu ~11-23 % față de reactoarele cu una/două trepte.

Efectul diferitelor metode de pretratare a dejecțiilor animaliere asupra procesului de digestie, a fost studiat de mai mulți cercetători. De exemplu, Mladenovska și alții, [85] au studiat pretratarea termică, iar Wei și alții în 2015 [86] au aplicat metoda biologică și chimică. Recent, Ormaechea și alții în 2016 [87] au arătat că prin tratarea cu ultrasunete a unui amestec format din dejecții bovine, deșeuri alimentare și glicerină, producția specifică de metan crește de la 0,29 m<sup>3</sup>/kg VS fără tratare până la 0,52 m<sup>3</sup>/kg VS cu tratare. Passos și alții în 2017 [88], au aplicat o metodă termochimică de tratare a dejecțiilor animaliere obținând cele mai bune performanțe pentru cazurile tratate cu 10% NaOH la 100°C.

Îmbunătățirea procesului de digestie a dejecțiilor animaliere prin adăugarea de oligoelemente, a fost recent studiat de Nordel și alții în anul 2016 [55]. Ei au observat că, suplimentarea de oligoelemente în procesul de co-digestie a dejecțiilor animaliere (bovine și porcine) cu deșeurile organice (OFMSW, nămol rezidual, deșeuri de abator și grăsimi) poate îmbunătăți rata de producție biogaz cu 24%. Choong și alții în 2016 [89] au arătat că, cele mai dorite oligoelemente în procesul de digestie anaerobă sunt fierul (Fe), nichelul (Ni) și cobaltul (Co), acestea fiind și cele mai studiate.

Rezultatele de mai sus arată că digestia simultană a dejecțiilor animaliere cu alte tipuri de deșeuri, în diferite proporții, are un efect benefic asupra procesului de digestie. În tabelul 3.5.2. sunt prezentate câteva exemple de instalații mari de producere biogaz din co-digestia dejecțiilor animaliere.

Un exemplu de centrală de biogaz pe dejecții animaliere, profitabilă și ecologică, este cea de la ferma de porci din Alviksgarden, Suedia, unde sunt crescuți ~16000 de porci [57]. Dejecțiile și deșeurile rezultate de la abatorul propriu sunt folosite ca materie primă în instalația de biogaz. Procesul de dejecție are loc în două reactoare cu un volum total de 2300 m<sup>3</sup> operând în domeniul termofil de temperaturi. Din producția de biogaz, de 9,6 GWh/an, se asigură în totalitate necesarul de energie termică și electrică, iar o parte din energie electrică produsă (extra) este vândută, obținându-se astfel un venit suplimentar.

Un alt exemplu este cel al instalației din Bjuv, Suedia, unde biogazul produs, de 21 GWh/an, din co-fermentarea dejecțiilor de porc, deșeurilor de abator și deșeurilor de la o fabrică de prelucrare a produselor alimentare (în formă de deșeuri organice și nămol) este vândut unei companii în domeniul energiei, upgradat la calitatea gazelor naturale și distribuit în rețeaua de gaze. Conform [57], cantitatea de biogaz produsă este echivalentă unei reduceri a emisiilor de CO<sub>2</sub> cu puțin peste

4000 t/an ceea ce a dus la diminuarea emisiilor totale de CO<sub>2</sub> în municipiul Bjuv cu 3,4%. Schema instalației este prezentată în figura 3.5.1.a.

Instalația de biogaz din cadrul fermei agricole din Hagavik, Suedia, folosește ca substrat un amestec format din deșeuri alimentare și dejecții de pasare. Procesul de dejecție are loc într-un reactor, cu flux continuu, având o capacitate de 450 m<sup>3</sup> și operând în regim mezofil. Biogazul produs (2 GWh/an) este folosit pentru generare de energie electrică și căldură. Din totalul de energie electrică generată doar 10% este consumată în fermă, iar restul este vândut și distribuit în rețeaua electrică. Instalația, de asemenea, produce și îngrășământ bio (1500 t/an) pentru a fi folosit în agricultura ecologică. În figura 3.5.1.b este prezentată schema instalației de biogaz din Hagavik.

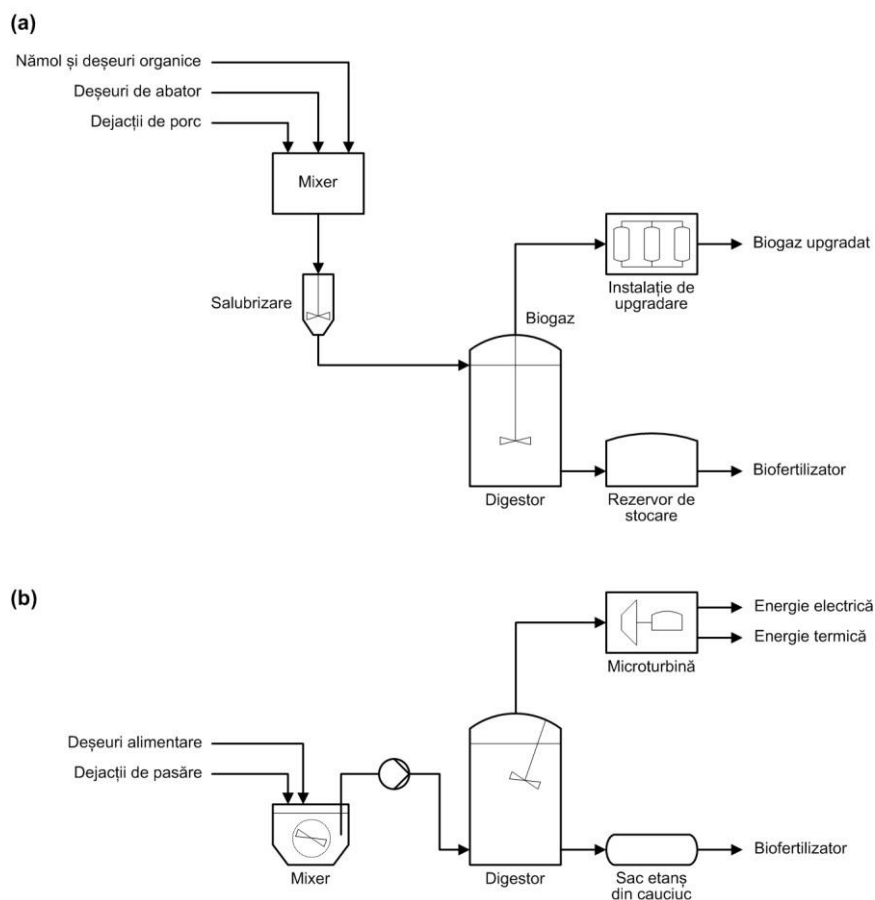


Figura 3.5.1. Schema instalației de biogaz din Bjuv (a) și Hagavik (b), Suedia, adaptată [57]

Linko Gas și Lemvig sunt două instalații mari de biogaz din Danemarca ca digestia simultană a dejecțiilor animaliere împreună cu alte tipuri de deșeuri. Ambele instalații funcționează în domeniul termofil de temperaturi (~53°C) și au o capacitate

a digestorului aproximativ egală (14600 m<sup>3</sup> la instalația Linko Gas și 14300 m<sup>3</sup> la instalația Lemvig). În figura 3.5.2. sunt prezentate scheme bloc a instalațiilor Linko Gas și Lemvig. La instalația Linko Gaz sunt tratate zilnic 630 de tone de dejecții bovine și porcine și 140 de tone de deșeuri organice constituite din deșeuri din industria alimentară și cea de prelucrare a peștelui, deșeuri de abator, și nămol de la o stație de epurare.

Instalația Lemvig tratează 500 t/zi dejecții animaliere de la ferme de vite, porc, păsări și nurci, și 120 t/zi deșeuri organice, cum ar fi deșeuri de abator, deșeuri organice separate la sursă, deșeuri de pește, alimentare, medicinale, etc [72]. Biogazul produs este, în principal utilizat pentru generare de energie termică și electrică utilizând centrale de cogenerare (CHP).

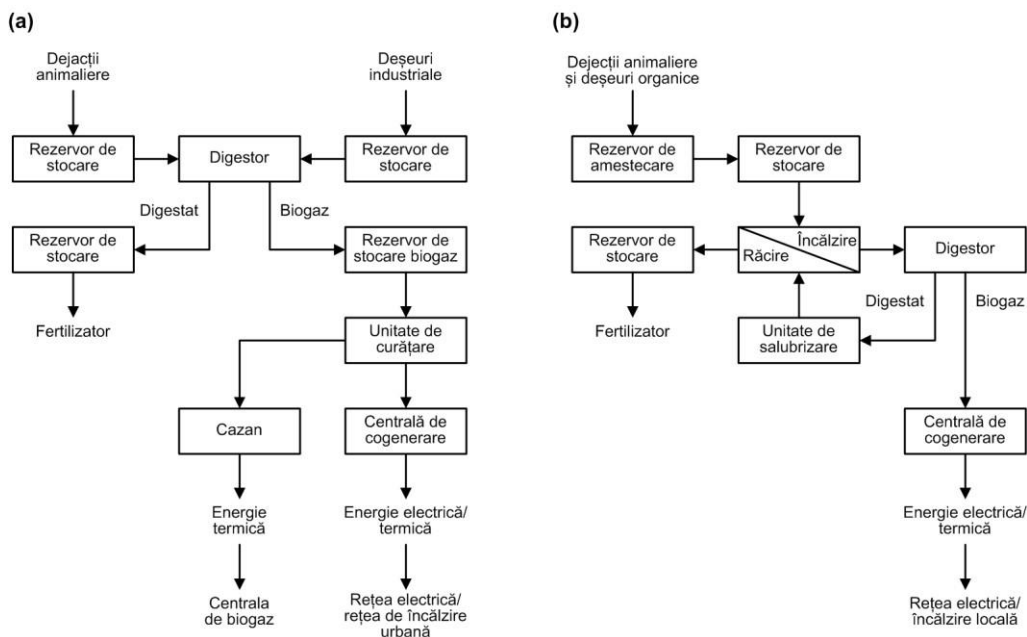


Figura 3.5.2. Schema bloc centralei de biogaz Linko Gas (a) și Lemvig (b), Danemarca, adaptată [72]

Cavinato și alții [81] prezintă date de la o instalație de biogaz cu fermentare anaerobă termofilă (47°C) a dejecțiilor animaliere și deșeurilor agroindustriale și demonstrează prin experimente realizate pe o instalație pilot, că trecerea la un regim de operare de temperaturi mai mari poate duce la îmbunătățirea întregului proces. Instalația de biogaz, figura 3.5.3, care include un reactor de 1400 m<sup>3</sup> și în care sunt tratate zilnic 140 tone de amestec dejecții animaliere cu deșeuri agroindustriale și 25 m<sup>3</sup> dejecții lichide, produce 0,45 m<sup>3</sup>/kg VS de biogaz cu o concentrație a metanului de 58,8%. În cadrul experimentele efectuate pe instalația pilot (reactor anaerob cu amestecare continuă de 380 l), reproducând condițiile de lucru de la instalația mare, s-au înregistrat 0,54 m<sup>3</sup>/kg VS de biogaz cu 58,8% metan, aceasta în special datorită unui amestec mai bun în reactor și unui conținut mai mic de solide totale. Trecerea regimului de lucru la temperaturi de operare mai

mari, de 55°C, a dus la creșterea producției de biogaz de până la 0,62 m<sup>3</sup>/kg VS. De asemenea, calitatea gazului produs s-a îmbunătățit, obținându-se o concentrație de metan în biogaz de 61,6%.

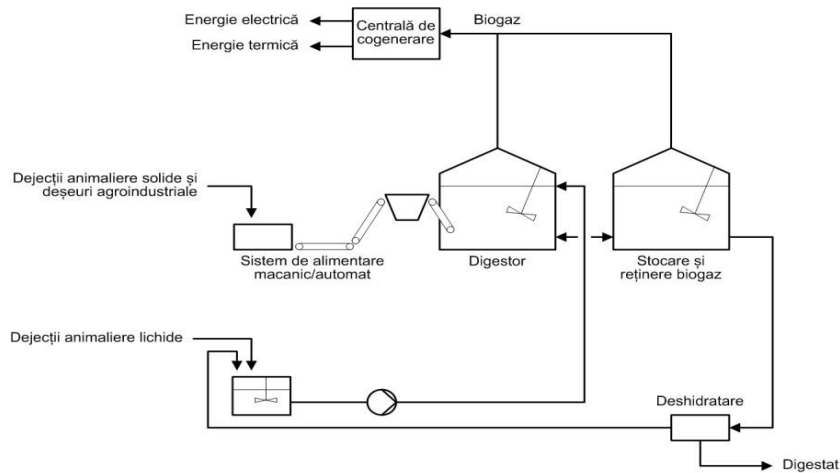


Figura 3.5.3. Schema instalației de biogaz pe baza de dejecții animaliere și deșeurii agroindustriale din Marcon, Italia, adaptată [81]

Exemplele menționate anterior reprezintă sisteme de digestie umedă, în care conținutul de solide totale în materia tratată este sub 20%. În sisteme de digestie uscată conținutul de solide totale depășește 20%. O astfel de instalație de biogaz cu digestie uscată a dejecțiilor animaliere și deșeurilor agricole este prezentată de Chiumenti și alții [89]. Instalația este compusă din 11 camere, cu bază dreptunghiulară, având dimensiuni de 30 m lungime, 7 m lățime și 5 m înălțime, cu încărcare discontinuă și funcționând la temperatura de 38°C. În figura 3.5.4.a este prezentată o fotografie a acestei instalații, iar în figura 3.5.4.b este prezentată modalitatea de încărcare a reactorului cu digestie uscată. Datele prezentate de Chiumenti și alții [89] arată că volumul total de biogaz produs de la începutul procesului de fermentare a fost de 3432000 m<sup>3</sup>. Concentrația metanului înregistrată a fost de 53,8%, cu valori maxime atinse de 63%.



Figura 3.5.4. (a) Vederea frontală a instalației de biogaz cu digestie uscată din Gorizia (Italia) adaptată [89], (b) procesul de încărcare a reactorului cu digestie uscată

Tabelul 3.5.1 Producția de biogaz din procesul de (co-)digestie a dejecțiilor animaliere

Studiu	Substrat	Tipul reactorului	Condiții de lucru:			Producția de biogaz:		
			t (°C)	HRT (zile)	OLR (kg VS/(m <sup>3</sup> zi))	Biogaz (m <sup>3</sup> /kg VS)	CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> /kg VS)	CCH <sub>4</sub> (%vol)
El-Mashad și Zhang 2010	Dejecții de vacă	Șarjă (1 l)	35	30	5	~0,37-0,44	~0,24-0,30	57-69
	Dejecții de vacă + deșeuri alimentare				3	~0,46-0,53	~0,28-0,31	59-62
Cavinato și alții. 2010	Dejecții bovine + deșeuri agricole	CSTR (380)	47 55	34,5 34,2	5,67 4,66	0,54 0,62		58,8 61,6
Giuliano și alții 2013	Dejecții bovine (semilichide)	CSTR (230l)	37/55	60 (30)	2(4)	0,18/0,18	0,11/0,13	
	Dejecții de vacă					0,22/0,23	0,12/0,12	
	Amestec dejecții					0,49(0,79)	0,23(0,18)	~57
	+ plante energetice					0,74(1,3) / 0,79(1,3)	0,37(0,32) / 0,40(0,41)	53-56
	+ plante energetice + deșeuri agricole					0,98(2) / 1,13(2,17)	0,47(0,48) / 0,54(0,52)	52-54
Zhang și alții 2013	Dejecții de capră	Șarjă (1l)	35	55		~10,4 <sup>a</sup>		
	+ deșeuri agricole					~8,0-16,0 <sup>a</sup>		
Zhang și alții 2014	Dejecții de porc	Șarjă (0,15 l)	37				~0,36	
	+ nămol deshidratat						~0,27-0,32	
Zhang și alții 2017	Dejecții de cal + deșeuri alimentare	În trei etape (20l)	35		3,76		~0,38	~63,9

<sup>a</sup> Producția totală de biogaz exprimată în litri.



Tabelul 3.5.2. Exemple de instalații mari de producere biogaz din co-digestia dejecțiilor animaliere.

<b>Denumire instalație biogaz (țară)</b>	<b>Substrat</b>	<b>Capacitatea digesterului</b>	<b>Condiții de lucru</b>	<b>Producția de biogaz</b>
Alviksgarden (Suedia)	Dejecții porcine (16000 t/an) + deșeuri de abator (1800 t/an)	Două reactoare: 1000 și 1300 m <sup>3</sup>	Termofil (50°C)	9,6 GWh/an
Bjuv (Suedia)	Dejecții porcine (3000 t/an) + deșeuri de abator (6500 t/an) + deșeuri organice și nămol (30000 t/an)	4200 m <sup>3</sup>	Mezofil (38°C) HRT=21 zile	21 GWh/an
Hagavik (Suedia)	Deșeuri alimentare (700 t/an) + dejecții păsări (100 t/an)	450 m <sup>3</sup>	Mezofil (37°C) HRT=100 zile	2 GWh/an
Linko Gas (Danemarca)	Dejecții animaliere (630 t/zi) + deșeuri organice din industria alimentară, prelucrarea peștelui, farmaceutică, abatoare și nămol (140 t/zi)	Volum total: 14600 m <sup>3</sup>	Termofil (53°C)	19,7×10 <sup>6</sup> Nm <sup>3</sup> /an în 2012
Lemvig (Danemarca)	Dejecții animaliere (bovine și porcine, 500 t/zi) + deșeuri organice (120 t/zi)	Volum total: 14300 m <sup>3</sup>	Termofil (52,5°C)	10,2×10 <sup>6</sup> Nm <sup>3</sup> /an în 2012
Marcon (Italia)	Dejecții animaliere + deșeuri agroindustriale	1400 m <sup>3</sup>	Termofil (~47°C) HRT~33 zile OLR~5 kg VS/(m <sup>3</sup> ·zi)	0,45 m <sup>3</sup> /kg VS
Gorizia (Italia)	Dejecții animaliere + deșeuri agricole	11 camere: 30L×7W×5H m	Mezofil (38°C)	3432000 m <sup>3</sup> în ~500 de zile

### 3.6. Valorificarea metanului obținut în instalațiile de biogaz

#### 3.6.1. Valorificarea energetică a biogazului

România deține cantități însemnate de materie primă pentru producerea biogazului în instalații de biogaz. Descompunerea biomasei se produce, însă este foarte important ca aceasta să se realizeze controlat, prevenindu-se eliberarea în atmosferă a emisiilor de metan. Vintilă [109], susține că, „deșeurile organice biodegradabile produc în mod neregulat cantități mari de biogaz, iar metanul conținut de acesta produce un efect de seră de peste 20 de ori mai mare decât cel produs de bioxidul de carbon”. Prin urmare, instalațiile de biogaz au un rol important în producerea biogazului în mod dirijat, urmând ca acesta să fie apoi valorificat sub diferite forme, fiind valorificat  $\text{CH}_4$  și în mică măsură  $\text{CO}_2$ . Principalele modalități de valorificare a gazului metan obținut din biogaz sunt prezentate în figura 3.6.1.1. [108]:

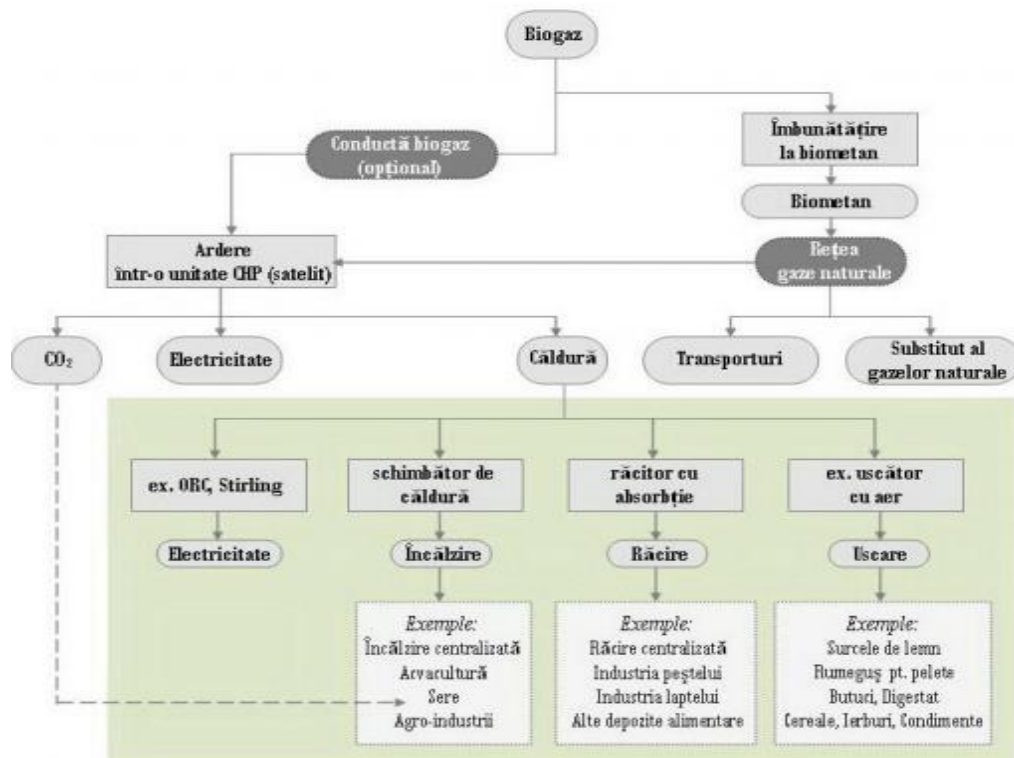


Figura 3.6.1.1. Diagramă simplificată pentru utilizarea biogazului [108]

Analizând figura 3.6.1.1. se observă că biogazul rezultat în instalațiile de biogaz poate fi valorificat energetic sau îmbunătățit ca biometan și injectat în rețeaua de gaze naturale. Producția de electricitate „a reprezentat utilizarea predominantă care reprezintă 62% din producția de biogaz” [147].

Biogazul „este un gaz combustibil, constând, în principal, din metan (CH<sub>4</sub>) și dioxid de carbon (CO<sub>2</sub>), hidrogen sulfurat (H<sub>2</sub>S), azot (N<sub>2</sub>), hidrogen (H<sub>2</sub>) și urme de oxigen (O<sub>2</sub>), monoxid de carbon (CO), amoniac(NH<sub>3</sub>), argon (Ar<sub>2</sub>) și alți compuși organici volatili (COV) sau gazele de urmărire” [91]. Prin urmare este un gaz care trebuie curățat, degazat și uscat înainte de conversia în CHP. Hidrogenul sulfurat, hidrocarburile halogenate și siloxanii conținuți în gaz trebuie eliminați deoarece prezența acestora afectează negativ funcționarea CHP[108]. După acest proces, gazul metan ajunge în CHP unde are loc arderea metanului și producerea de energie electrică și termică. De fapt, „energia chimică a reacției dintre metan și oxigen se transformă în energie termică și electrică” [108].

Ecuatia de ardere a metanului:  $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + (\Delta H_0)$

- ( $\Delta H_0$ ) este căldura de ardere și este egală cu 802,4 kJ/mol, în cazul în care este ars metan pur, echivalent cu aproximativ 35,89 MJ/Nm<sup>3</sup> (Hi), sau aproximativ 10 kWh[108]. Arderea metanului are loc în motoare cu gaz tip Otto sau motoare Pilot cu injecție de gaz. Acestea funcționează cu exces de aer pentru a reduce emisiile de CO<sub>2</sub>. Caracteristicile diferențiate pe motoare Otto pe gaz și motoare Pilot cu injecție pe gaz (adaptat din FNR 2010) [108] sunt prezentate în tabelul 3.6.1.1.

Tabelul 3.6.1.1. Caracteristicile diferențiate pe motoare Otto cu gaz și motoare Pilot cu injecție pe gaz [108]

	<b>Motoare Otto pe Gaz</b>	<b>Motoare Pilot cu Injecție pe Gaz</b>
<b>Capacitate electrică instalată</b>	Poate fi mai mare de 1MW, capacități <100 kW se găsesc rar	< 340 kW
<b>Conținut de metan</b>	> 45 %	Adecvate și pentru biogaz cu conținut foarte scăzut de CH <sub>4</sub>
<b>Eficiența electrică</b>	34-42%	30-44%
<b>Durata de viață</b>	60 000 ore	35 000 ore
<b>Combustibil adițional</b>	fără	1-5% ulei de aprindere
<b>Adecvabilitate</b>	mai degrabă pentru instalații de biogaz mai mari	mai degrabă pentru instalații de biogaz mai mici
<b>Avantaje</b>	+ proiectate special pentru gaze + valori bune ale emisiei de gaze de eșapament + sunt necesare eforturi pentru întreținere mai mici + eficiența totală mai mare decât a motoarelor Pilot cu injecție	+ costuri de investiție mai mici + eficiență electrică mai mare decât a motoarelor Otto cu gaz + cerințe mai reduse pentru calitatea gazului
<b>Dezavantaje</b>	- costurile de investiție sunt ceva mai mari decât pentru motoarele Pilot cu injecție pe gaz - costuri mai mari datorită unei producții generale de motoare mai puțin numeroase - eficiență el. mai redusă decât a motoarelor Pilot cu injecție pe gaz	- sunt necesare eforturi pentru întreținere mai mari - eficiența totală mai mică decât a motoarelor Otto cu gaz - este necesar combustibil adițional (ulei) - valori mai mari ale emisiei de gaze de eșapament (NO <sub>x</sub> )

Motorul și generatorul electric formează o „instalație de co-generare al cărei randament este de până la 90 % și produce aproximativ 35 % energie electrică și 65 % căldură” [110].

Energia electrică este livrată în Sistemul Energetic Național (SEN), iar căldura este folosită pe de o parte în procesul de digestie anaerobă, iar pe de altă

parte pentru încălzire sau răcire. Încălzirea digestoarelor necesită aprox. 25% din capacitatea termică a unității CHP.

Cealaltă cantitate de energie termică poate fi utilizată pentru alimentarea cu energie termică pentru populație (termoficare), pentru sere, halele de creștere a animalelor, pentru procesele tehnologice din industria alimentară și de medicamente.

În figura 3.6.1.2. este prezentat motorul de cogenerare-capacitate 370 KW care produce energie electrică și termică din biogazul rezultat de la instalația de biogaz de la Seini, jud. Maramureș [34].

Instalația produce 1.527.445 m<sup>3</sup>/an biogaz, care este ars în instalația de cogenerare, rezultând 2.997.000 kWh el/an produși; 1.406.307 kWh el/an injectați în SEN, 970.564 kWh/an termici pentru încălzire digestor, 2.310.000 kWh/an termici pentru uscarea unei părți din digestat [34].



Fig 3.6.1.2. Centrala cogenerare Seini, jud. Maramureș [34]

O altă utilizare a căldurii rezultate din CHP este pentru răcire având în vedere că, „instalațiile frigorifice cu absorbție utilizează în principal o sursă de căldură ca principală energie pentru procesul de răcire”[34]. Aceste instalații sunt foarte avantajoase din punct de vedere a protecției mediului deoarece elimină utilizarea clorofluorocarbonului, gaze cu efect de seră, dar sunt costisitoare.

### **3.6.2. Imbunătățirea biogazului și utilizarea în transporturi sau injecția în rețea**

Biogazul obținut prin digestia anaerobă poate fi folosit ca, combustibil pentru transport. Un astfel de exemplu este centrala de biogaz Vasteras, al cărei principiu de funcționare este prezentat în figura 3.6.2.1.a. Cantitatea de biogaz produsă de

6300 m<sup>3</sup>/zi este destinată transportului. Biogazul, după comprimare, este trecut printr-o instalație de upgradare unde calitatea gazului este îmbunătățită de la aproximativ 65% până la >97% CH<sub>4</sub>.

Instalația de upgradare este prezentată în figura 3.6.2.1.b. După cum se observă, reținerea CO<sub>2</sub> și a altor impurități (de exemplu H<sub>2</sub>S) din biogaz are loc sub presiune în scuber unde acestea se dizolvă în apă datorită solubilității mult mai mare decât cea a metanului. Din scuber, biogazul cu concentrații scăzute de CO<sub>2</sub> (~2%) este uscat într-un sistem de adsorbție pentru îndepărtarea vaporilor de apă. Biogazul upgradat este apoi transportat prin conducte la stația de autobuz unde este comprimat până la 330 bar pentru stocare (figura 3.6.2.1a). Autobuzele sunt apoi alimentate de la stațiile de alimentare (figura 3.6.2.1.b).

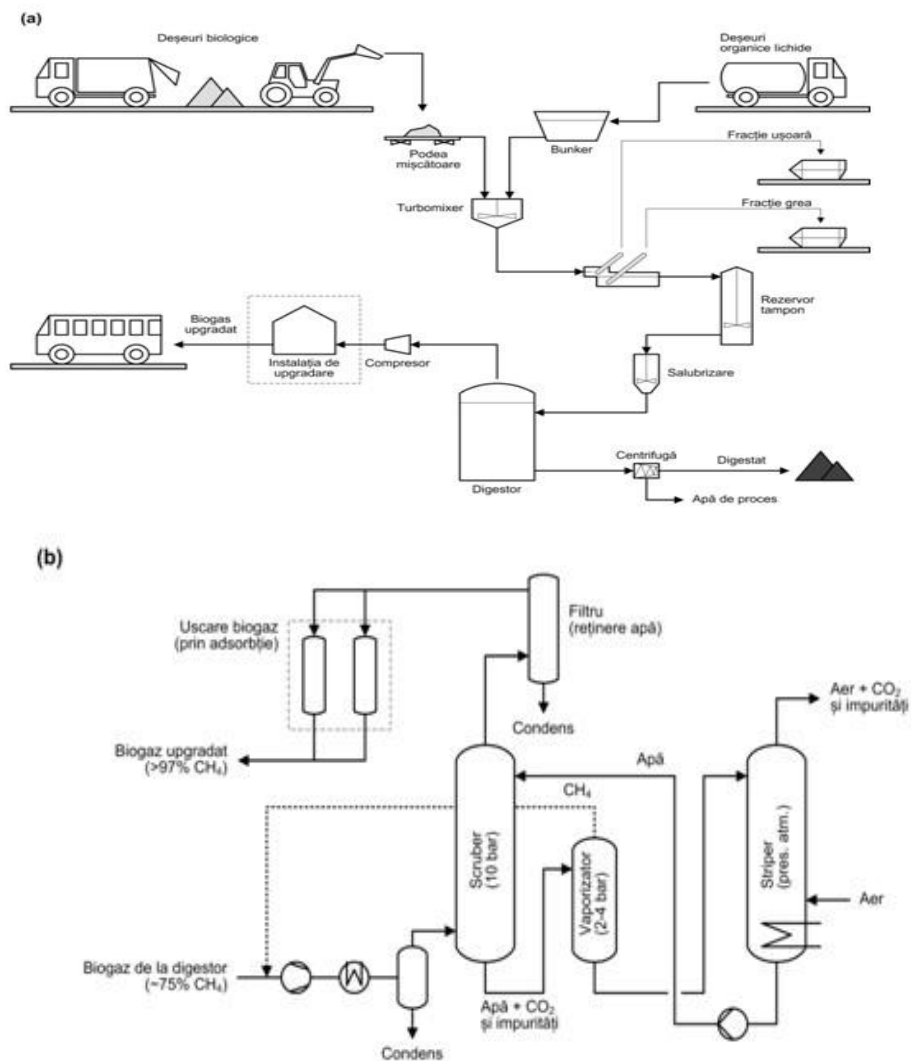


Figura 3.6.2.1. Centrala de biogaz pe bază de deșeurii biologice de la Vasteras, Suedia (a) schema de principiu (b) schema instalației de upgradare, adaptată [57].



Figura 3.6.2.2. (a) Rezervoare de stocare biogaz și (b) stațiile de alimentare cu biogaz. [57]

Alt exemplu este cel de la Linkoping, Suedia, unde biogazul generat este upgradat și utilizat pentru transport. Cantitatea totală de biogaz upgradat este de 65 GWh/an [57]. De asemenea, biogazul produs la Otelfingen, Elveția este upgradat până la o concentrație de metan de 97 %, comprimat și stocat la 250 bar, și apoi folosit în calitate de combustibil de transport. Există situații în care biogazul produs în instalațiile de biogaz este folosit atât pentru încălzirea locală, termoficare cât și pentru transport. Astfel la Boden, Suedia 3,5 Wh sunt utilizați pentru încălzirea locală, termoficare, iar 0,46Wh sunt upgradați și utilizați în transport [57]. Instalația de la stația de epurare de la Herviksdal, Stockholm, Suedia produce 65 GWh, din care maximum 58 sunt upgradați și utilizați în transport.

Conform Agenției Internaționale pentru Energie Regenerabilă [147], utilizarea biocarburanților lichizi ar reprezenta aproximativ 3% din consumul de energie din sector până în 2030 și se estimează că, „potențialul de aprovizionare a bioenergiei interne în UE-28 până în 2030 variază de la 14,1 EJ la 16,4 EJ”[147]. Prin urmare utilizarea biometanului în transport ar putea reprezenta o soluție care să contribuie la promovarea unui transport durabil în marile orașe [147].

Analizând situația privind poluarea aerului în România, Dulcea și alții, consideră că „principalul factor poluant în zona urbană este traficul, concentrația de noxe în timpul zilei în orele de vârf este de 6 ori mai mare decât valorile măsurate pe timp de noapte”[146]. Încurajarea producerii de biogaz în instalații de biogaz, transformarea biogazului în biometan și utilizarea în transport poate reprezenta o soluție pentru îmbunătățirea calității aerului, soluție aplicată deja cu succes în alte țări europene.



## 4 STUDIU EXPERIMENTAL

### 4.1. Descrierea standurilor experimentale

#### 4.1.1 Standul experimental

Standurile experimentale pe care au fost realizate determinările de laborator vor fi prezentate în cele ce urmează. Un aspect important de menționat este acela că instalația pilot utilizată pentru partea experimentală este una brevetată (brevet de invenție numărul 122047, "Procedeu și Instalație pentru obținerea biogazului din biomasă")[93], iar instalația de mici dimensiuni **[91]** a fost realizată în cadrul Laboratorului Multifuncțional a Facultății de Mecanică din Timișoara. A fost realizată testarea inițială a diferitelor tipuri de rețete cu scopul de a identifica materialele cu potențial ridicat de producere a biogazului, calitativ și cantitativ.

Schema instalației de mici dimensiuni este prezentată în figura 4.1.1.1.

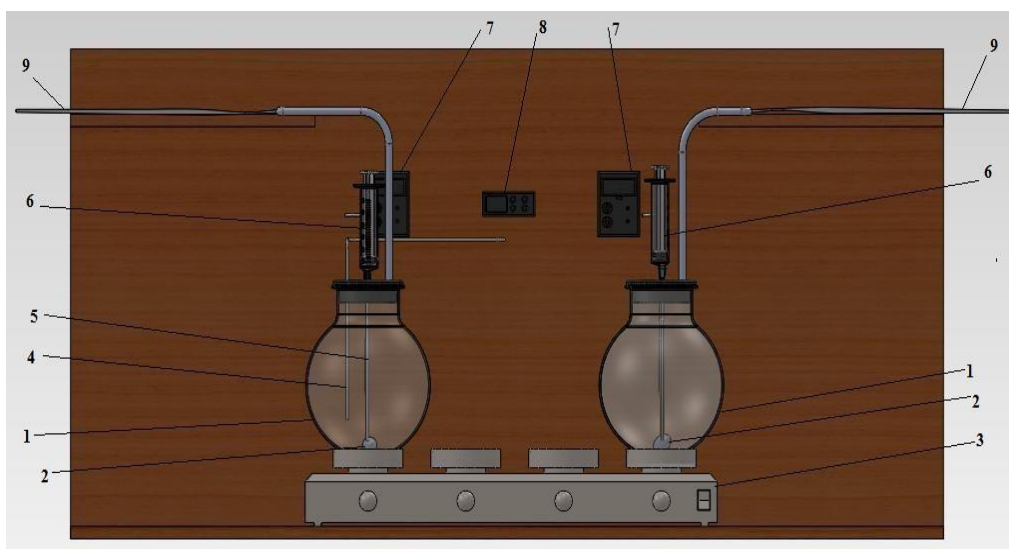


Figura 4.1.1.1 – Instalația de mici dimensiuni realizată pentru testarea materialelor [91]

Componentele acestei instalații sunt:

- 1 - vas de sticlă cu un volum de 6l, acoperit cu un strat de vopsea, pentru fermentare
- 2 - magneti poziționați în partea inferioară a vaselor de sticlă, folosiți pentru a agita moleculele materialelor uzate folosite

- 3 - dispozitiv utilizat pentru încălzirea materiei din vase
- 4 - termocuplul folosit pentru măsurarea temperaturii din vasele de fermentație
- 5 - sistem de prelevare a probelor și de corectare a pH-ului materiei în interiorul vaselor
- 6 - seringă utilizată pentru prelevarea probelor din vase
- 7 - controlere de pH, conectate la senzorii de pH din interiorul vaselor
- 8 - controler de temperatură, conectat cu termocuplul din interiorul vaselor, pentru determinarea temperaturii la un interval determinat
- 9 - pungi de gaz cu volumul de 2 l pentru colectarea biogazului din procesul de fermentație

În scopul pregătirii acestei instalații la scară mică s-au urmat mai multe etape:

- s-a realizat montarea capacelor metalice pentru vasele de sticlă, pentru inserarea tuturor sistemelor și asigurarea unei etanșări optime în timpul procesului.
- s-a realizat vopsirea vaselor de sticlă pentru a obține un proces de fermentație cât mai bun, iar toate conexiunile au fost sigilate pentru a reduce pierderile de gaz din timpul procesului.
- montajul final va permite utilizarea a două materiale sau a unui singur material combinat și substratul folosit la fermentație, pentru a se realiza compararea caracteristicilor parametrilor procesului (pH, cantitatea de biogaz produsă).

După realizarea acestor operații la scară mică, s-au efectuat teste pentru a verifica corectitudinea funcționării tuturor componentelor. S-a testat partea de control și senzorii de pH, senzorii de temperatură și partea electrică a instalației. După o dublă verificare a componentelor, instalația este pregătită în continuare pentru producerea de biogaz în cantități mici sau în scopuri experimentale.

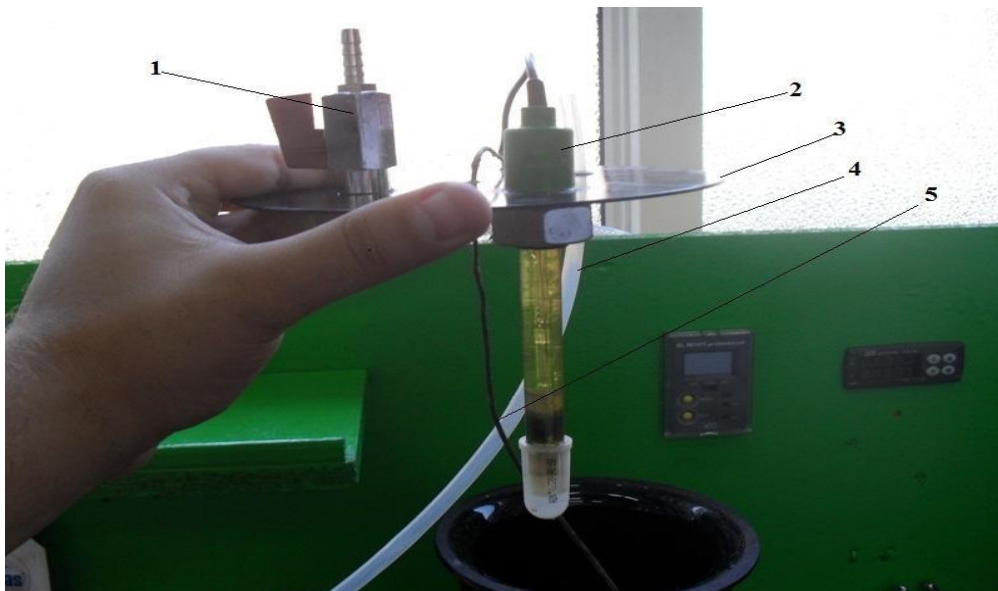


Figura 4.1.1.2. Montarea capacelor vaselor de sticlă



Legendă:

- 1 - robinet conectat la pungile de captare a biogazului
- 2 - senzor de pH
- 3 - capac metalic de etanșare a vasului de sticlă
- 4 - conducta pentru probe lichide și realizarea corecției de pH
- 5 - termocuplu



Figura 4.1.1.3. Verificarea senzorilor pe instalație

În figura 4.1.1.3 este prezentată instalația finisată, înainte de a fi inițiată faza de proces de fermentație anaerobă.

În continuare se va prezenta pe scurt instalația pilot utilizată la testarea materialelor în vederea determinării potențialului lor real de a produce biogaz în cantități corespunzătoare și cu un procent cât mai ridicat de metan în compoziția sa.

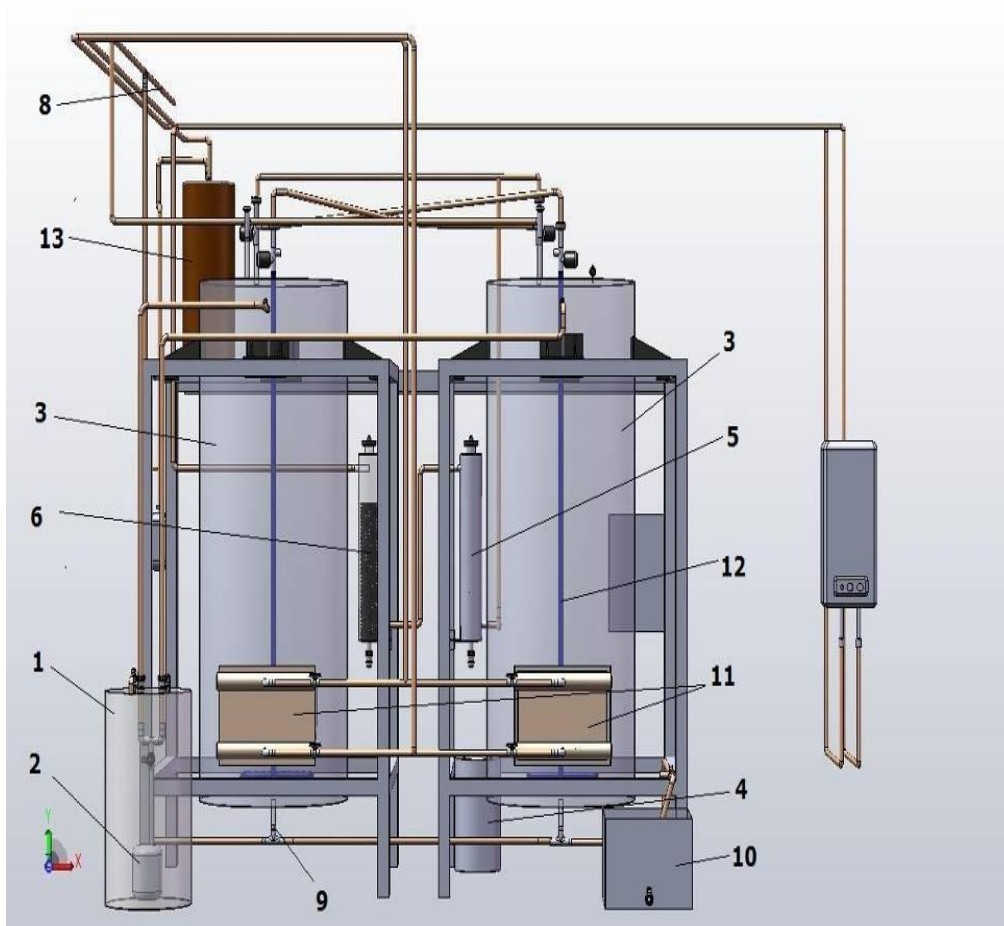


Figura 4.1.1.4. – Schema de principiu a instalației pilot [92] [93]

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

analizelor, instalația este echipată și cu un rezervor de alimentare de dimensiuni mai mici (13).



Figura 4.1.1.5. – Vedere frontală a instalației pilot [92]

În cele ce urmează se prezintă componentele principale ale instalației.

#### **4.1.2. Sistemul de pregătire preliminară a biomasei [94]**

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

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



Figura 4.1.2.1. – Sistemul de pregătire preliminară a biomasei [94]

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 anaerobă.

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  $\text{CaCO}_3$ , pentru a se realiza ruperea parțială a catenelor de lignină.

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 [97].

#### 4.1.3. Rezervoarele de fermentație anaerobă [94]



Figura 4.1.3.1. – Rezervoarele de fermentație anaerobă [92] [94]

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

De asemenea, rezervoarele sunt izolate termic cu folie de aluminiu termoizolantă pentru a diminua pierderile de căldură cu exteriorul.





Figura 4.1.3.2. Schimbătoarele de căldură [ 94]



Figura 4.1.3.3. Cazanul folosit pentru încălzirea instalației[94 ]

Date tehnice pentru schimbătoarele de căldură:  
 Lungime serpentine: circa 1000 mm  
 Diametru serpentine: 25,5 mm  
 Număr serpentine/schimbător: 6 [93]

## 4.2. 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 4.2.1. este prezentat panoul pentru comanda și monitorizarea parametrilor caracteristici ai procesului de formare a biogazului. În figura 4.2.2, este prezentat sistemul de conducte și electroventile dispus la partea superioară a rezervoarelor de fermentație anaerobă, folosit la evacuarea biogazului produs.



Figura 4.2.1 – Panoul de comandă și monitorizare al instalației[94]

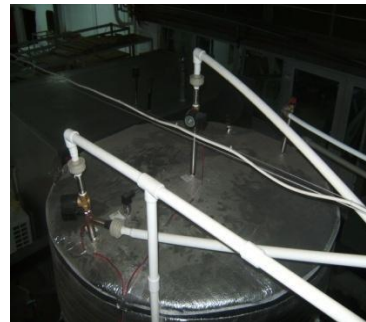


Figura 4.2.2 – Sistemul de conducte și electroventile montat pe capacul instalației[94]

De asemenea, sistemul mai este prevăzut cu un rezervor pentru stocarea de cantități mici de biogaz destinat analizei, rezervor prezentat în figura 4.2.3, respectiv un sistem cu contoare de gaz pentru fiecare rezervor pentru monitorizarea cantității evacuate de biogaz și a producției obținute (figura 4.2.4).



Figura 4.2.3.- Rezervor stocare biogaz [94]



Figura 4.2.4. Contor gaz [94]

Date tehnice rezervor stocare biogaz

Înălțime: 1000 mm

Diametru: 400 mm

Volum util: aproximativ 125 l

Presiune maximă: 4 bar [93]

### 4.3. Sistemul de epurare a biogazului [94]

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 4.3.1. între cele două rezervoare de fermentație anaerobă.



Figura 4.3.1 - Filtrul de  $H_2S$  (în partea din spate) și filtrul de  $CO_2$  (în partea din față) încorporate în instalație [94]

➤ Filtrul spălător (pentru reținere CO<sub>2</sub>) [94]

Filtrul spălător (pentru reținere CO<sub>2</sub>) [94] este de formă cilindrică, verticală, confecționat din oțel inoxidabil de Ø 160x 2mm cu înălțimea de 1000 mm. Până la o înălțime de 600 mm este umplut cu inele Raschig (figura 4.3.2) 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 4.3.3.) cu rol de a pulveriza apa ce spală biogazul ce trece prin el.



Figura 4.3.2. Inele ceramice Raschig folosită pentru filtrul [94] biogazului



Figura 4.3.3. Pompă dozatoare spălător pentru spălarea [94]



Figura 4.3.4. – Umplutură de șpan de oțel pentru filtrul de H<sub>2</sub>S [94]

Filtrul pentru reținerea parțială a hidrogenului sulfurat (H<sub>2</sub>S) [94]

Filtrul de H<sub>2</sub>S are rolul de a reține urmele de H<sub>2</sub>S (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.

#### 4.4. Sistemul de reținere a dioxidului de carbon [94]

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 CO<sub>2</sub> este prezentat în figura 4.4.1., iar compresorul răcit cu aer este prezentat în figura 4.4.2. 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 [95]. Rezervorul din oțel inoxidabil este amplasat pe un dispozitiv de încălzire, temperatura din sistem ajungând la valori între 50- 60°C, iar lichidul evacuat din filtrul de CO<sub>2</sub> este preluat dintr-un recipient cu ajutorul unei pompe dozatoare de același tip cu cea folosită la spălarea biogazului.



Figura 4.4.1 – Ansamblu sistem reținere CO<sub>2</sub> [95]      Figura 4.4.2. – Compresor răcit cu aer [95]

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.



## 4.5. 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 ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) se folosesc analizoare de gaz.

### 4.5.1. 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. Pentru a putea studia procesul de fermentație în detaliu, respectiv de a determina cantitățile evacuate din fiecare rezervor, comanda electroventilelor s-a făcut automatizat. De asemenea, nu s-a impus folosirea în mod continuu a pompelor dozatoare, motiv pentru care, pentru cercetări, acestea au fost comandate manual. Afișajul pentru partea de presiuni este realizat prin cele două controlere de presiune model ATR 121. 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  $\text{CO}_2$ .



Figura 4.5.1.1. – Controler de presiune ATR 121 [99]



Figura 4.5.1.2. – Senzor de presiune Trafag 48170



Figura 4.5.1.3. – Controler de temperatură model AD-025V2DS-C [100]



Figura 4.5.1.4. – Termocuplu tip J [100]



Figura 4.5.1.5. – Controler pH tip BL 981411 [101]



Figura 4.5.1.6. – Senzor pH model HI 1210 [102]

Electroventilele utilizate (de tip Parker), sunt acționate electric, permițând curgerea unei mici cantități de gaz din rezervorul barbotat în cel ce se barbotează și astfel creându-se agitația internă necesară pentru evitarea apariției potențialului strat superficial cu rol inhibitor pentru procesul de fermentație anaerobă.

#### 4.5.2. Măsurarea concentrației de CH<sub>4</sub> și CO<sub>2</sub>

Pentru a determina calitățile biogazului obținut este necesară măsurarea concentrației acestor două componente – metan și bioxid de carbon.

Gazo – analizorul DELTA 1600 S IV

Acest gazo–analizor folosește pentru măsurare principiul NDIR (Non Dispersive Infrared Absorbtion), nefiind necesare pentru analiza CO<sub>2</sub> și CH<sub>4</sub> 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 4.5.2.1. este prezentată componența gazo – analizorului Delta 1600 IV.



Figura 4.5.2.1. – Componenta analizorului Delta 1600 S IV [103]  
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 %, O<sub>2</sub> în procent de până la 25 % și NO până la 5000 ppm.

#### **4.6. Sinteza operațiilor necesare punerii în funcțiune a instalației experimentale de producere a biogazului.**

##### **4.6.1. Pregătirea instalației pentru experimente [92]**

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 necesare de monitorizat.

Este necesar să se asigure următoarele utilități:

- > 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;
- > CaCO<sub>3</sub> 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.

#### **4.6.2. Pornirea / oprirea instalației experimentale de producere a biogazului [92]**

La pornirea instalației este 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.

## 4.7. Rezultate experimentale. Interpretări rezultate

### 4.7.1. Experimente de laborator

Determinările de laborator au constatat în două părți conexe cu partea de obținere a biogazului: analiza proprietăților fizico- chimice pentru diferite materiale în vederea utilizării ulterioare a acestora în procese de fermentație anaerobă și determinări de laborator la scară de 5 l și în cadrul instalației pilot cu trasarea concluziilor aferente legate de potențialul de utilizare a acestor materiale reziduale.

În cele ce urmează, se vor evidenția proprietățile fizico – chimice pentru primul set de materiale ce au fost ulterior testate. Determinările de laborator au fost realizate conform standardelor europene aflate în vigoare [111].

Materialele testate inițial, doar la scară de laborator au fost: apă uzată de la o fabrică de bere localizată în Timișoara, în amestec cu 10% părți volumice zer vacă, respectiv cu 10% părți volumice melasă provenind de la procesarea sfeclă de zahăr.

În tabelul 4.7.1.1. se prezintă proprietățile materialelor alese pentru determinări.

Tabel 4.7.1.1. – Proprietăți fizico – chimice pentru materialele alese– partea 1 [142]

Nr.	Material	Conținut umiditate [%]	Conținut cenușă (bază uscată) [%]	Valoare medie putere calorifică (bază uscată) [J/kg]
1	Apă uzată fabrica de bere	5.1*	26.7	17400
2	Apă uzată fabrica de bere și 10% zer vacă	99.3	35.8	16300
3	Apă uzată fabrica de bere și 10% melasă din sfeclă de zahăr	96	33	16400

\* - Bază uscată

Din tabelul 4.7.1.1 se poate observa un conținut de umiditate ridicat pentru materialele alese, cu valori peste 90 %, specifice tipului de materiale alese pentru determinări. Conținutul de umiditate pentru apa uzată de la fabrica de bere este de aproximativ 96%, datele din tabel fiind considerate prin raportare la baza anhidră. De asemenea, se pot observa valori foarte ridicate pentru conținutul de cenușă determinat, materialele nefiind potrivite pentru procese de combustie în scopul valorificării lor energetice. Puterea calorică medie indică un potențial ridicat din punct energetic, urmând a se determina dacă procesele de fermentație anaerobă sunt potrivite pentru valorificarea acestor materiale.

Tabel 4.7.1.2. -Proprietăți fizico–chimice pentru materialele alese–partea a-2-a [142]

Nr.	Material	Conținut carbon [%]	Conținut sulf (bază uscată) [%]	Conținut volatile [%]
1	Apă uzată fabrica de bere	36.4	4.4	42.3
2	Apă uzată fabrica de bere și 10% zer vacă	21.35	0.78	64.1
3	Apă uzată fabrica de bere și 10% melasă din sfeclă de zahăr	19.49	0.71	66.9

Din tabelul 4.7.1.2. se poate observa un conținut ridicat de sulf din materialele alese, fapt care certifică nepotrivirea acestor substraturi pentru procese de combustie.

Conținutul de carbon este scăzut pentru amestecul cu melase, în timp ce materiile volatile prezintă un conținut ridicat atât pentru amestecul cu melase, cât și pentru cel cu zer de vacă. Acest lucru se concretizează și prin miros specific al amestecurilor.

Cea de-a doua șarjă de materiale testate, a avut la bază apă uzată de la uzina de epurare localizată în Timișoara, în combinație cu nămol dehidratat de la uzina de epurare, în procent masic de 4% și 5% procent volumic de zer de vacă, respectiv apă de la o fabrică de bere din raza municipiului Timișoara în amestec cu 4% procent masic nămol dehidratat de la uzina de epurare și 5% procent volumic de zer de vacă.

În tabelele 4.7.1.3 și 4.7.1.4, se prezintă principalele elemente determinate.

Tabel 4.7.1.3 - Proprietăți fizico – chimice pentru materialele alese – partea 1[91]

Nr.	Material	Conținutul de umiditate (bază uscată) [%]	Conținut de cenușă (bază uscată) [%]	Putere calorică (valoare medie) [J/kg]
1.	Apă uzată de la uzina de epurare a apei, 4% nămol dehidratat de la uzina de epurare și 5% zer de vacă	6.5	38.4	14700
2.	Apă uzată de la fabrica de bere, 4% nămol dehidratat de la uzina de epurare și 5% zer de vacă	5	27.9	17100

Și pentru aceste materiale se observă un conținut de umiditate anhidră redus, conținutul inițial de umiditate fiind de circa 98%. Ca și pentru primele materiale analizate, se poate identifica un conținut foarte ridicat de cenușă, în timp

ce puterea calorică medie identifică un potențial energetic ce poate fi valorificat prin metode corespunzătoare.

Tabel 4.7.1.4 -Proprietăți fizico–chimice pentru materialele alese–partea a- 2-a,[91]

Nr.	Material	Conținut carbon [%]	Conținut sulf [%]	Conținut volatile (bază uscată) [%]
1.	Apă uzată de la uzina de epurare a apei, 4% nămol deshidratat de la uzina de epurare și 5% zer de vacă	34.5	5.2	39.5
2.	Apă uzată de la fabrica de bere, 4% nămol deshidratat de la uzina de epurare și 5% zer de vacă	37.3	4	40.2

Din tabelul 4.7.1.4. se poate observa existența unui procent ridicat pentru conținutul de sulf, identificând nepotrivirea acestor amestecuri cu procesele de combustie, în timp ce conținutul de materii volatile este unul relativ normal pentru astfel de amestecuri.

Procesele de fermentație realizate pentru materialele prezentate mai sus au avut rolul de a identifica potențialul de valorificare energetică a acestora prin procese de digestie, în ceea ce privește conținutul de metan și bioxid existent în biogazul produs, precum și de a monitoriza cu aproximație cantitățile produse de biogaz.

S-au monitorizat pH-ul procesului, temperatura, respectiv timpul de rezidență a materialelor în interiorul reactoarelor pentru șarje de 5 l volum util. Procesul de fermentație a durat circa 50 de zile.

În cele ce urmează se prezintă prima șarjă de materiale în ceea ce privește variația pH-ului în timpul procesului de fermentație anaerobă.

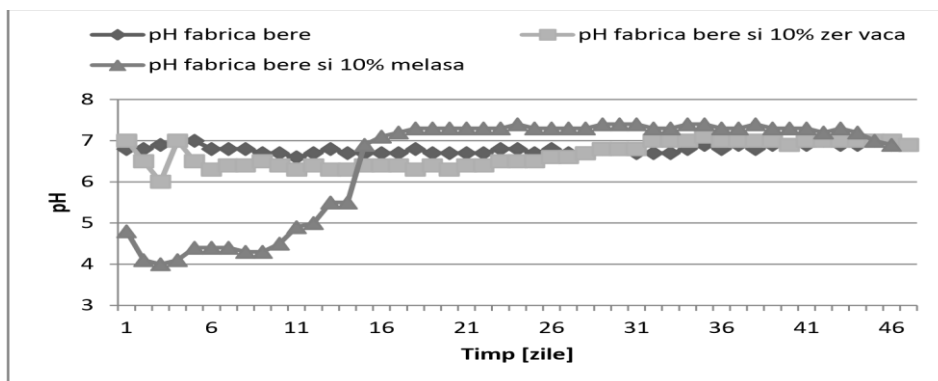


Figura 4.7.1.1. - Variația pH [142]

Din figura 4.7.1.1. se poate observa că valorile inițiale de pH au fost relativ ridicate pentru două din cele trei șarje de material. Pentru corecția pH-ului s-a folosit o soluție pe bază de amoniac ( $\text{NH}_3$ ), concentrație 20% în primele zile de proces. Șarja ce a conținut amestecul cu melasă a necesitat un regim prelungit de corecție de pH. Datorită conținutului ridicat de zaharuri, prima jumătate a perioadei de fermentație a fost caracterizată de valori reduse de pH, fapt care a impus o fază

inițială de stabilizare a acestuia mult mai mare decât normal, având impact negativ asupra producției de biogaz și a conținutului de metan a acesteia.

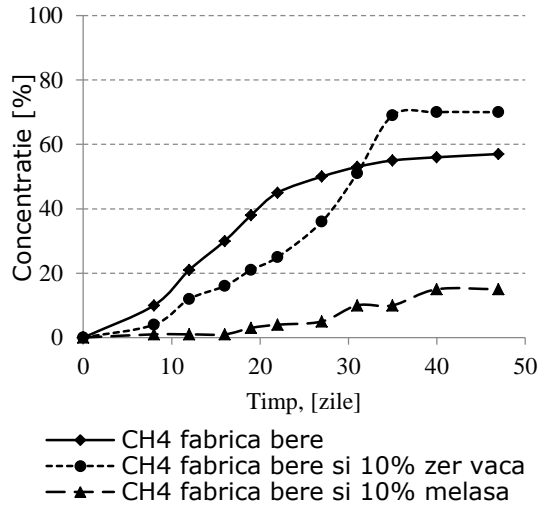


Figura 4.7.1.2 – Concentrație metan din biogazul produs [142]

Din figura 4.7.1.2 se poate observa că pentru șarja conținând melasă procentul de metan este redus, sub 20% părți volumice, acest material nefiind indicat a fi folosit în procese de biodegradare. Pentru celelalte două șarje se pot observa valori ridicate ale conținutului de metan, cu accent pe șarja ce conține zer de vacă. Aceasta din urmă prezintă un procent maximal de circa 70 %, valoare ce indică potențial de valorificare în procese de biodegradare. Prin comparație cu șarja care conține doar apă uzată de la fabrica de bere, se poate identifica necesitatea cofermentării în vederea obținerii unei producții unor valori mai ridicate în ceea ce privește biogazul produs.

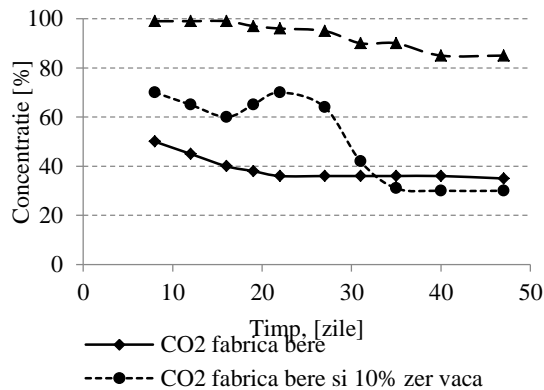


Figura 4.7.1.3 - Concentrație bioxid de carbon din biogazul produs [142]



Din figura 4.7.1.3, raportat la procentul de metan obținut în urma determinărilor, se poate observa descreșterea conținutului de bioxid de carbon, în mod proporțional, cu excepția evidentă a șarjei ce conține melasă. Valorile concentrației de bioxid de carbon ating un minim de circa 30 % pentru șarja ce conține zer de vacă – acest aspect implică găsirea unor soluții pentru optimizarea procesului pentru a aduce o reducere și mai importantă a procentului existent pentru acest gaz.

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

Pentru cea de-a doua șarjă de material, sunt prezentate elementele specifice procesului de fermentație anaerobă în cele ce urmează.

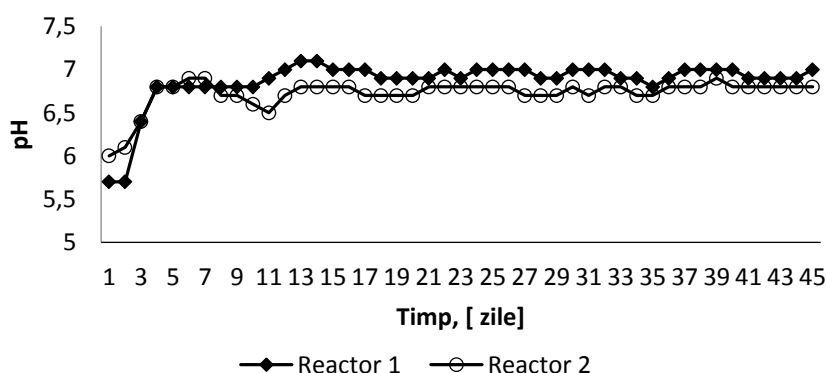
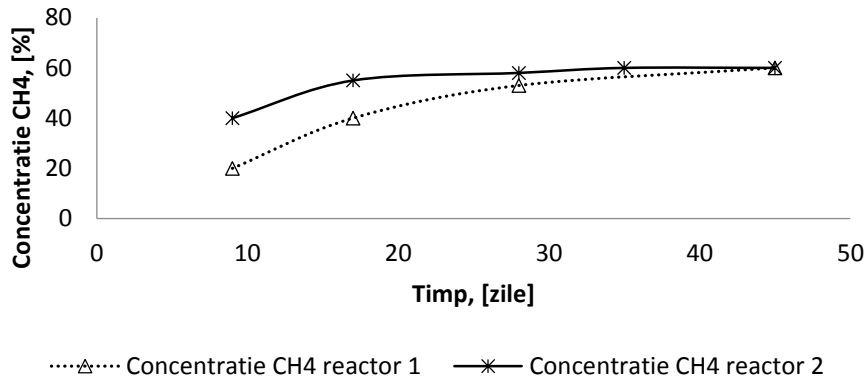


Figura 4.7.1.4 – Variația pH [91]

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

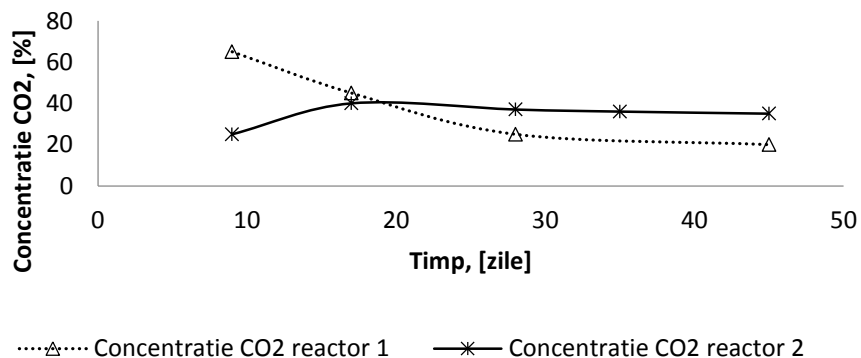
reactor 2 - apă uzată de la fabrica de bere, 4% nămol deshidratat de la uzina de epurare și 5% zer de vacă

Se observă că în timpul procesului șarjele de material prezintă o valoare relativ ridicată a pHului, fapt care a făcut ca utilizarea soluției de  $\text{NH}_3$  să se facă doar în prima perioadă de fermentare anaerobă, atunci când pH-ul nu a fost integrat în domeniul neutru.

Figura 4.7.1.5 – Variația CH<sub>4</sub>[91]

reactor 1 - apă uzată de la uzina de epurare a apei, 4% nămol deshidratat de la uzina de epurare și 5% zer de vacă;  
 reactor 2 - apă uzată de la fabrica de bere, 4% nămol deshidratat de la uzina de epurare și 5% zer de vacă

Din figura 4.7.1.5 se poate identifica o valoare maximală de circa 60% pentru conținutul de metan. Acest lucru identifică un potențial proces de ardere relativ constant, dar pentru o valorificare la un nivel optim se recomandă o valoare mai ridicată a procentului de metan din compoziția biogazului produs.

Figura 4.7.1.6 – Variație CO<sub>2</sub> [91]

reactor 1 - apă uzată de la uzina de epurare a apei, 4% nămol deshidratat de la uzina de epurare și 5% zer de vacă;  
 reactor 2 - apă uzată de la fabrica de bere, 4% nămol deshidratat de la uzina de epurare și 5% zer de vacă

Din figura 4.7.1.6 se poate determina procentul maximal de metan obținut de circa 60 %, asemănător cu cel dezvoltat pentru șarja paralelă.

Cu toate că ambele materiale au produs biogaz cu un conținut relativ ridicat de metan, prin comparație cu alte configurații studiate din literatură, procesul impune valori de peste 70 % pentru a se obține randamente potențiale de ardere mai mari.

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

#### 4.7.2. Experimente pe instalația pilot

În vederea testării la scară pilot a unor rețete de material degradat, s-au considerat pentru determinările experimentale 2 materiale cerealiere și anume boabe de porumb degradat, respectiv orz degradat.

Pentru aceste determinări s-a încercat realizarea de analize de laborator atât înainte, cât și după proces, pentru a identifica potențialul de valorificare a substraturilor considerate.

În tabelele de mai jos sunt prezentate analizele materialelor considerate înainte de proces.

Tabel 4.7.2.1 Proprietăți fizico – chimice pentru materialele alese – partea 1

Nr.	MATERIAL	Conținut umiditate (bază uscată) [%]	Conținut cenușă (bază uscată) [%]	Putere calorică superioară (bază uscată) [J/g]	Putere calorică Inferioară (bază uscată) [J/g]
1.	Porumb degradat	10	1.55	18400	16800
2.	Orz degradat	10.5	2.5	18600	17300
3.	Apă uzată uzina epurare	5.8	36	15000	14100
4.	Apă uzată fabrica bere	5	26.5	17200	16000

Tabel 4.7.2.2 Proprietăți fizico – chimice pentru materialele alese – partea a-2-a

Nr.	MATERIAL	Conținut Carbon [%]	Conținut Hidrogen [%]	Conținut Azot [%]	Conținut materii volatile (bază uscată) [%]
1.	Porumb degradat	40.3	6.6	1.3	85.7
2.	Orz degradat	40.4	6.1	1.45	82.7
3.	Apă uzată uzina epurare	32.1	5.1	5.1	37.7
4.	Apă uzată fabrica bere	36.5	5.5	7.1	42.5

Tabel 4.7.2.3. Proprietăți fizico – chimice pentru materialele alese – partea a-3-a

Nr.	MATERIAL	Conținut Sulf (bază uscată) [%]	Conținut Clor (bază uscată) [%]
1.	Porumb degradat	0,103	0,034
2.	Orz degradat	0,114	0,104
3.	Apă uzată uzina epurare	0,51	0,11
4.	Apă uzată fabrica bere	0,44	0,27

Din tabelele 4.7.2.1., 4.7.2.2 și 4.7.2.3., se poate identifica faptul că materialele testate au conținut relativ ridicat de cenușă, în special pentru apele uzate luate în considerare, respectiv o valoare ridicată pentru puterea calorică inferioară, fapt care identifică un potențial energetic ridicat. Conținutul de sulf și clor este redus, accentuând faptul că, în eventualitatea utilizării în procese de ardere materialele nu vor compromite focarul cazanului.

După partea inițială conex cu determinările de laborator, s-a trecut la testarea substraturilor considerate în procese de fermentație anaerobă. Acest lucru s-a făcut pentru o perioadă de circa 45 de zile, la un regim de temperatură mezofil, de circa 33 – 36 °C.

Primele teste au avut în vedere utilizarea unui amestec având ca bază apă uzată de la uzina de epurare și ca material cerealier porumb degradat și orz degradat. În timpul testelor, s-a avut în vedere monitorizarea pH-ului, presiunile obținute pe instalație, respectiv calitatea și cantitatea biogazului produs. Cantitatea a fost monitorizată cu ajutorul unor contoare de gaz iar compoziția parțială a biogazului obținut a fost cuantificată în ceea ce privește conținutul de metan și bioxid de carbon. În figura 4.7.2.1. este prezentată variația pH-ului pentru materialele studiate.

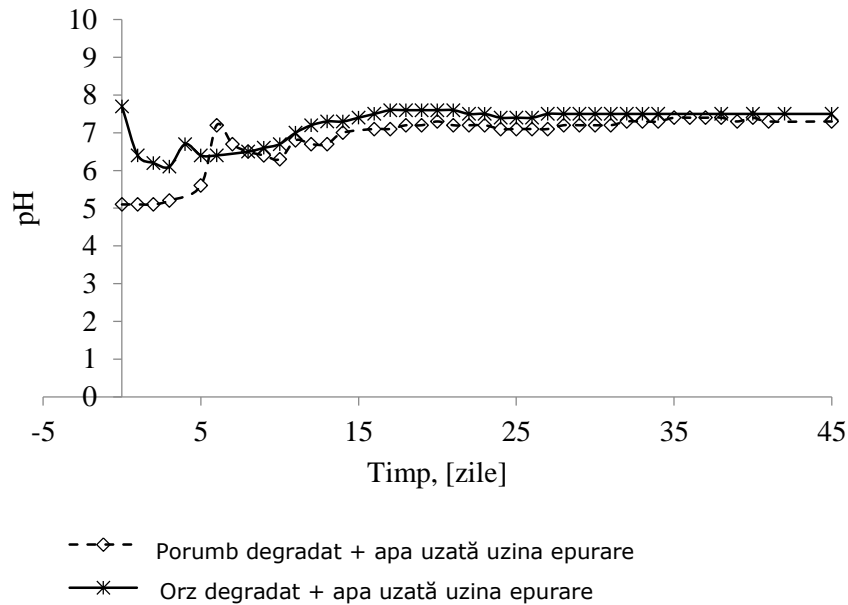


Figura 4.7.2.1 – Variația pH-ului pentru materialele testate

Din figura 4.7.2.1 se poate observa că pH-ul inițial pentru porumb a fost în domeniul acid, în timp ce pentru orz, valorile inițiale au fost relativ atipice, în domeniul alcalin. Acest lucru se poate explica prin faptul că la încărcarea instalației s-a făcut și o corecție inițială de pH, utilizând o suspensie pe bază de sodă caustică. Valorile inițiale au fost în domeniul 5-5.2, respectiv 8, pentru cele două șarje. Ulterior, după circa 5-8 zile de proces a avut loc stabilizarea pH-ului pe domeniul neutru, acest lucru rămânând neschimbat până la finele procesului de fermentație anaerobă.

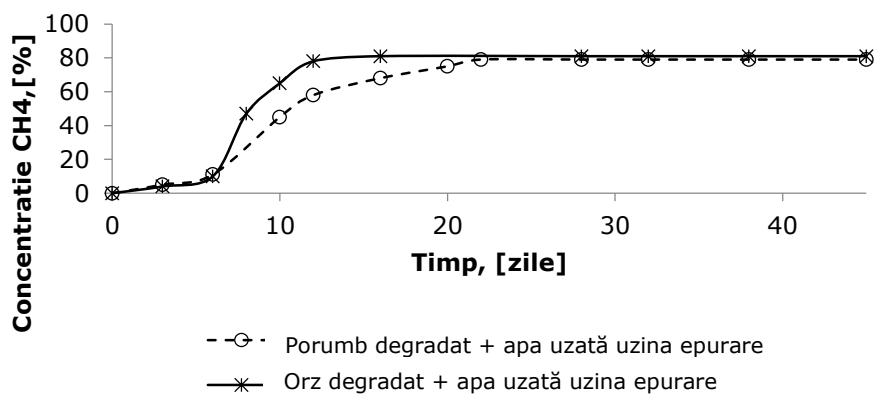


Figura 4.7.2.2 – Variația concentrației de metan

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

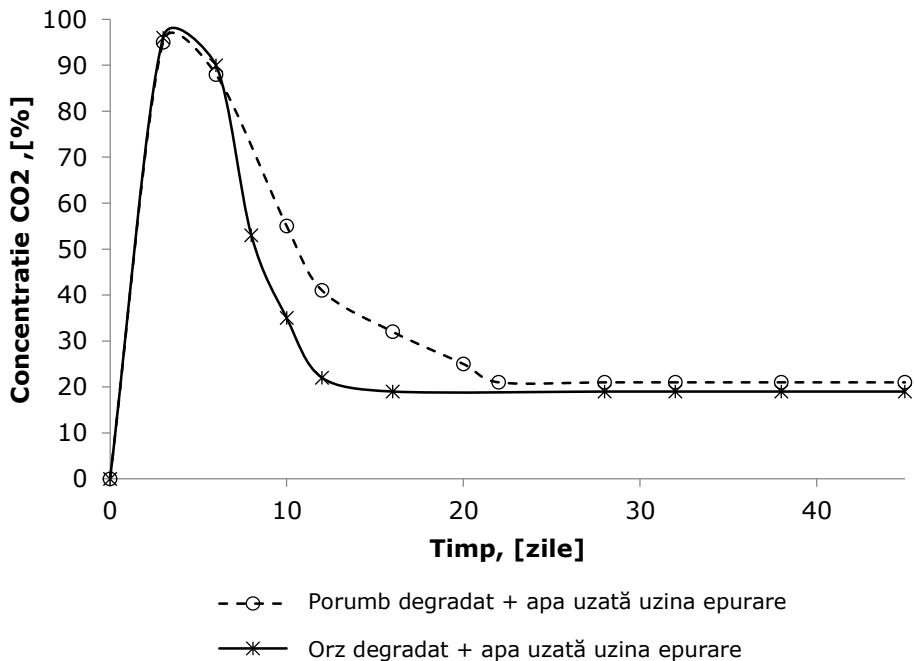


Figura 4.7.2.3. - Variația concentrației de dioxid de carbon

În mod similar, odată cu creșterea procentului de metan are loc descreșterea proporțională a procentului de dioxid de carbon la valori atingând un minim de 19 – 20% pentru șarja cu orz degradat, respectiv 21 – 22% pentru șarja cu porumb degradat.

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

După finalizarea părții de testare a materialelor, a avut loc analiza substratului după proces. În tabelele 4.7.2.4. și 4.7.2.5. sunt prezentate valorile obținute.

Tabel 4.7.2.4 Proprietăți fizico – chimice pentru materialele alese după proces – partea 1

Nr.	MATERIAL	Conținut umiditate (bază uscată), [%]	Conținut cenușă (bază uscată), [%]	Putere calorică superioară (bază uscată) [J/g]	Putere calorică inferioară (bază uscată), [J/g]
1.	Porumb degradat și apă uzată uzina epurare	3.05	27.3	15200	14300
2.	Orz degradat și apă uzată uzina epurare	3.66	14.2	17570	16200

Din tabelul 4.7.2.4 se poate observa o scădere clară a puterii calorice inferioare, semn că o parte din material a fost valorificată în cursul procesului de fermentație anaerobă.

Conținutul de cenușă a crescut în urma procesului de amestecare dintre partea cerealiară și apă uzată, iar din acest punct de vedere, dacă se ia în considerare faptul că materialele ar putea fi folosite mai departe în procese de ardere, acest lucru ar trebui să fie luat în considerare doar în combinație cu un combustibil de calitate superioară.

Tabel 4.7.2.5. Proprietăți fizico – chimice pentru materialele alese după proces – partea a-2-a

No	MATERIAL	Conținut Carbon [%]	Conținut Hidrogen [%]	Conținut Azot [%]	Conținut materii volatile (bază uscată) [%]
1.	Porumb degradat și apă uzată uzina epurare	32.3	4.2	1.69	40.6
2.	Orz degradat și apă uzată uzina epurare	43.8	6.27	1.95	70.4

Conținutul de carbon a scăzut, așa cum poate fi observat din tabelul 4.7.2.5., în timp ce conținutul de volatile crește în special pentru șarja cu orz degradat. Acest lucru este un bun indicator și pentru factorul olfactiv existent împreună cu materialele fermentate.

Tabel 4.7.2.6 Proprietăți fizico – chimice pentru materialele alese după proces – partea a -3-a

No.	MATERIAL	Conținut Sulf (bazăuscată) [%]	Conținut Clor (bazăuscată) [%]
1.	Porumb degradat și apă uzată uzina epurare	0.170	0.015
2.	Orz degradat și apă uzată uzina epurare	0.161	0.494

Din punct de vedere al conținutului de sulf și clor se poate observa că materialele nu au suferit modificări majore în urma procesului, nepunând în pericol focarul unei instalații de ardere în eventualitatea utilizării lor în procese de incinerare.

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

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

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

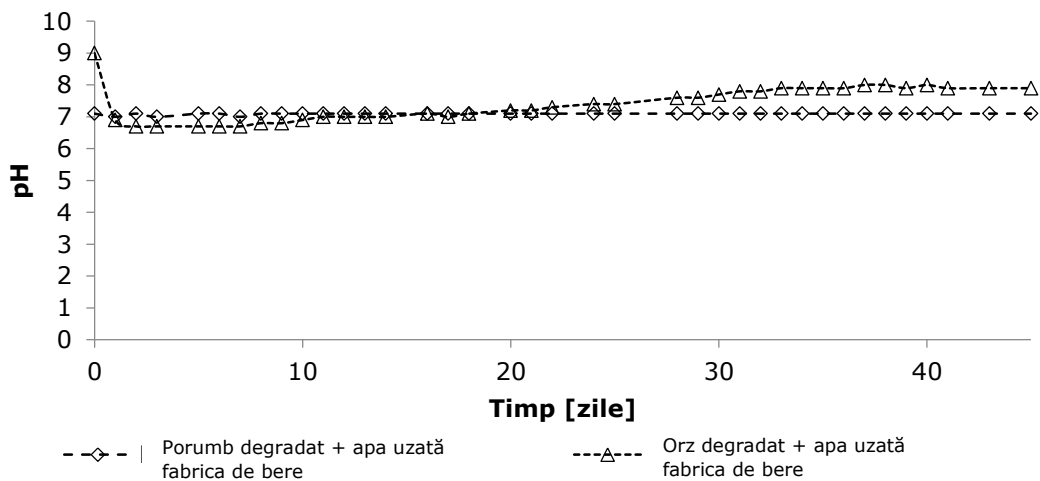


Figura 4.7.2.4 – Variația de pH pentru șarjele studiate

Din figura 4.7.2.4 se poate observa că pH-ul pentru ambele șarje de material este stabil pe întreaga perioadă de desfășurare a procesului, prezentând mici variații la începutul procesului datorită corecțiilor inițiale de pH pentru



stabilirea unui element tampon pentru menținerea cât mai stabilă a procesului de fermentație anaerobă.

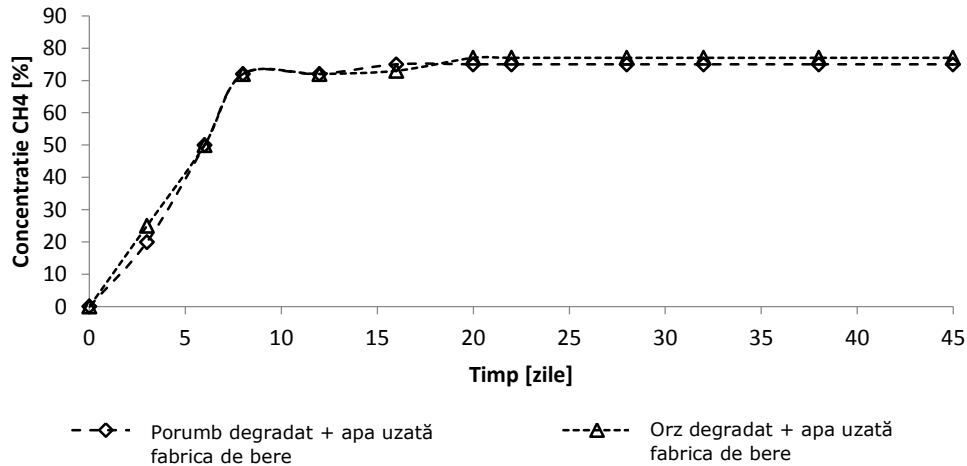


Figura 4.7.2.5 – Variația concentrației de metan

Din figura 4.7.2.5 se poate observa că procentul de metan variază pentru ambele șarje până la valori de circa 75 %, ușor mai ridicate pentru șarja ce conține orz degradat și apă de la fabrica de bere. Din această perspectivă, ambele materiale alese prezintă un comportament adecvat procesului de fermentație anaerobă.

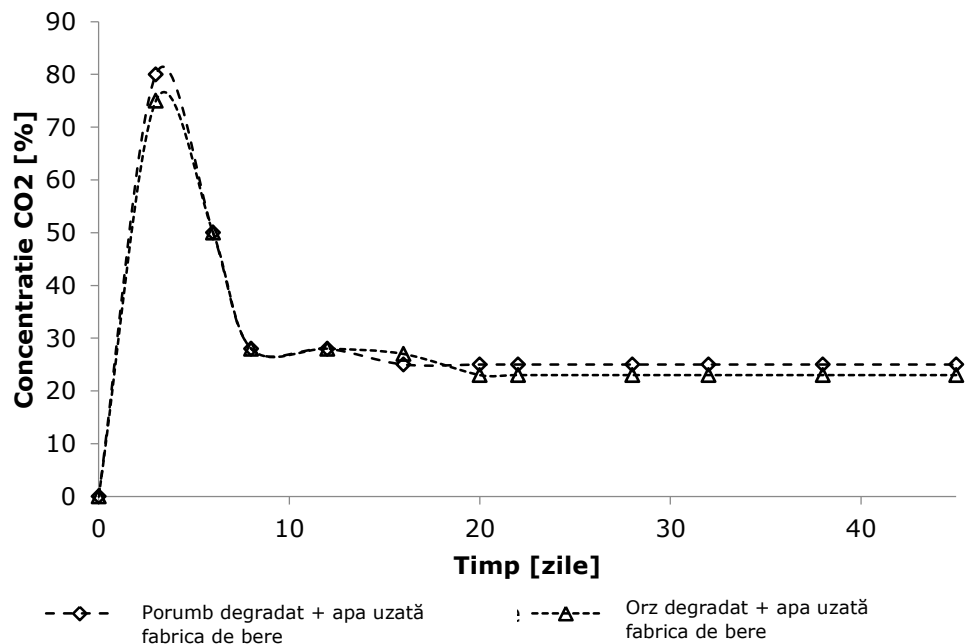


Figura 4.7.2.6 – Variația concentrației de dioxid de carbon

Din figura 4.7.2.6 se poate observa variația invers proporțională a concentrației de dioxid de carbon cu cea de metan, valorile minime atinse fiind pentru șarja ce conține orz degradat, cu concentrații de circa 23 – 24%. Conținutul ridicat de bioxid de carbon este specific acestui tip de biocombustibil, dar are impact asupra proprietăților de ardere ulterioare a biogazului în diferite instalații de ardere. În cele ce urmează se vor prezenta pe scurt valorile obținute pentru determinările de laborator realizate asupra materialelor studiate după procesul de fermentație anaerobă.

Tabel 4.7.2.7. Proprietăți fizico – chimice pentru materialele alese după proces – partea 1

Nr.	MATERIAL	Conținut umiditate (bază uscată), [%]	Conținut cenușă (bază uscată) [%]	Putere calorică superioară (bază uscată) [J/g]	Putere calorică inferioară (bază uscată) [J/g]
1.	Porumb degradat și apă uzată fabrica de bere	5.4	3.91	18100	16330
2.	Orz degradat și apă uzată fabrica de bere	5.4	5.87	18000	17050

Se poate observa din tabelul 4.7.2.7. că nu există o variație foarte mare a conținutului de cenușă prin comparație cu materialul analizat înainte de proces. Acest lucru este benefic dacă se intenționează utilizarea materialului rezidual în procese de ardere. Puterea calorică nu înregistrează variații mari, fapt ce indică doar o valorificare parțială a materialelor în cursul procesului de fermentație anaerobă.

Tabel 4.7.2.8. Proprietăți fizico – chimice pentru materialele alese după proces – partea a-2-a

Nr.	MATERIAL	Conținut Carbon [%]	Conținut Hidrogen [%]	Conținut Azot [%]	Conținut materii volatile (bază uscată) [%]
1.	Porumb degradat și apă uzată fabrica de bere	49,3	6,33	1,88	76,4
2.	Orz degradat și apă uzată fabrica de bere	48,7	6,35	1,61	75,3

Conținutul de materii volatile a crescut în urma procesului de fermentație anaerobă, în timp ce raportul carbon azot se modifică descrescător, aspect specific la finele unui proces de digestie anaerobă.

Tabel 4.7.2.9 Proprietăți fizico – chimice pentru materialele alese după proces – partea a-3-a

Nr.	MATERIAL	Conținut Sulf (bază uscată) [%]	Conținut Clor (bază uscată) [%]
1.	Porumb degradat și apă uzată fabrica de bere	0,091	0,145
2.	Orz degradat și apă uzată fabrica de bere	0,135	0,179

La fel ca și pentru prima șarja de material testată, se observă că și în acest caz, conținutul de sulf și clor este redus, indicând valori ce nu pun în pericol funcționarea corespunzătoare a unui arzător ce utilizează acest tip de materiale. Din punct de vedere al cantităților produse se poate menționa că pentru șarja ce conține porumb degradat s-au produs circa 20.4 m<sup>3</sup>N, în timp ce pentru șarja ce conține orz degradat s-au produs aproximativ 15.1 m<sup>3</sup>N.

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

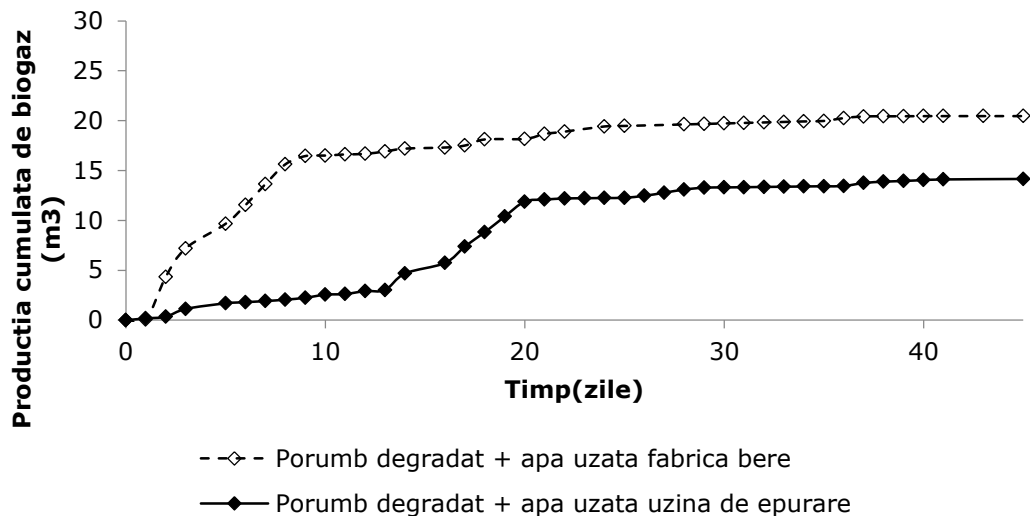


Figura 4.7.2.7 – Producția de biogaz pentru șarjele cu porumb degradat

Din figura 4.7.2.7 se poate determina faptul că pentru utilizarea porumbului degradat ca masă cerealieră în procese de digestie anaerobă, șarja specifică cu apă uzată de la fabrica de bere are rezultate net superioare, făcând din aceasta un substrat potrivit pentru acest tip de procese.

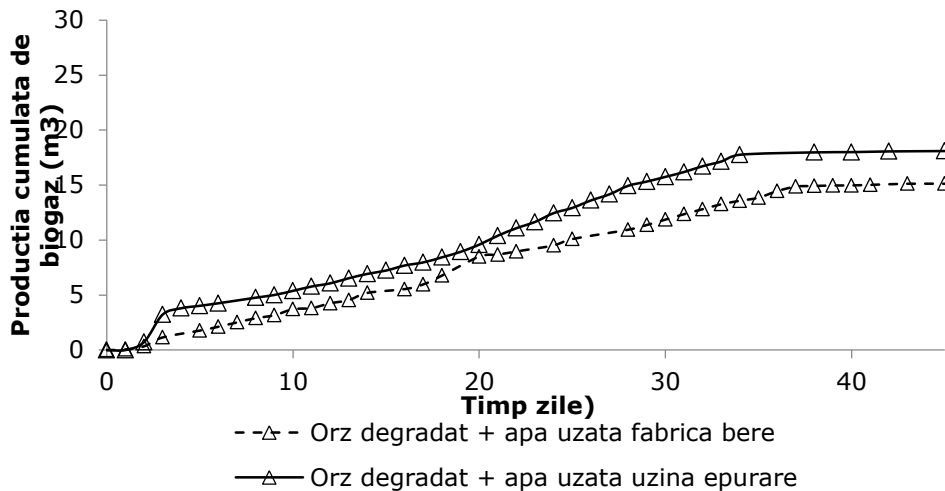


Figura 4.7.2.8 - Producția de biogaz pentru șarjele cu orz degradat

Din figura 4.7.2.8. reiese că pentru șarjele ce au utilizat orz degradat, cea mai bună combinație a fost cu apă de la uzina de epurare. Cu toate că nu este o diferență foarte mare în ceea ce privește cantitatea de biogaz produsă, sunt suficiente dovezi care să ateste faptul că pentru acest tip de material cerealier, combinația cu apă uzată de la uzina de epurare este mai propice producerii biogazului de bună calitate.

#### 4.8. Abordarea experimentală și de modelare a producției de biogaz prin digestie anaerobă a resurselor agricole

După cum am observat în capitolele anterioare, procesul de producere a biogazului este complex și sensibil deoarece sunt implicate mai multe grupuri de microorganisme. Totuși această tehnologie a fost aplicată cu succes inclusiv pentru digestia anaerobă a nămolului de apă reziduală datorită capacității sale de reducere a cerinței de oxigen chimic (COD) și a cerinței de oxigen biologic (BOD) din fluxurile de deșeuri [132].

Pentru a înțelege și a controla procesele biochimice complexe care au loc în timpul procesului anaerobic al diferitelor tipuri de biomasă au fost elaborate modele matematice de-a lungul anilor [133]. Primele astfel de modele matematice au fost cele dezvoltate de Graef și Andrews, urmate de modelul de digestie anaerobă ADM1 dezvoltat de Grupul Internațional al asociației apei (IWA).

Acest model poate să realizeze simularea digestiei anaerobe a diferitelor biomase, dar are dezavantajul că necesită numeroși parametri de intrare, lucru care consumă timp [133]. A fost elaborat apoi un alt model, modelul de regresie liniară și neliniară statistică cu ajutorul căruia se poate investiga performanțele de digestie anaerobă a diferitelor biomase agricole utilizate ca substrat unic în combinație, adică poate investiga producția de biogaz și de metan care se obține prin proces [133].

Luând în considerare modelele existente se va realiza o comparație între rezultatele experimentale obținute prin digestia anaerobă a diferitelor substraturi și rezultatele obținute în urma folosirii modelării. Astfel, se va putea concluziona cu privire la calitatea datelor obținute prin modelare față de rezultatele experimentale. Substraturi din diferite biomase degradate din agricultură: grâu (WB), orz (B), (75% porumb și 25% porumb)- denumit MIX1 și (40% porumb și 40% grâu și 20% floarea soarelui)- denumită MIX2, au fost utilizate ca substraturi în procesul de digestie anaerobă. Substraturile au fost depozitate anterior la temperatura camerei, până la utilizarea ulterioară. Toate compozițiile % au fost exprimate în volum[133].

➤ Partea experimentală

Producerea biogazului prin digestia anaerobă s-a realizat în instalația pilot din figura 4.1.4. Producția de biogaz a fiecărui digester a fost măsurată zilnic cu ajutorul unui contor de gaz, cu temperatura indicată și valorile presiunii. CH<sub>4</sub> și CO<sub>2</sub>, compozițiile (v /v) au fost măsurate prin utilizarea unui Delta Analizor de gaz 1600 IV. Temperatura și pH-ul au fost, de asemenea, măsurată continuu; temperatura prin intermediul lui J termocupluri conectate la temperatura AD-025V2DS-C controlere și pH prin intermediul senzorilor de pH, model HI 1210, conectat la pH, model BL 981411.

➤ Model matematic

Pentru a calcula și a compara producția de metan în timpul digestiei anaerobe a diferitelor biomase, a fost utilizat modelul Gompertz modificat [133]

$$M = M_p \cdot \exp\left(-\exp\left(R_m \cdot \frac{\exp(1)}{M_p} \cdot (\lambda - t) + 1\right)\right)$$

unde: M este randamentul cumulat echivalent de metan la timpul t, m<sup>3</sup>,  
M P este potențialul de producție de metan, m<sup>3</sup>,  
R m este rata maximă de producție de metan, m<sup>3</sup> / zile,  
λ este perioada de faza lag, zilei, t este timpul exprimat în zile de digestie anaerobă și exp (1) = 2,7183.

Parametrii modelului au fost calculați de către non-metoda liniară de optimizare fără restricții, folosind algoritmul Nelder-Mead, care minimizează o valoare scalară funcția neliniară a n variabilelor reale prin utilizarea numai a funcției valori [133]. Software-ul utilizat pentru a determina acești parametri a fost Matlab R2008b (versiunea 7.7.0.741).

➤ Rezultate și concluzii

Procesele de digestie anaerobă a resurselor agricole, ca substraturi unice (tărâțe de grâu și orz) sau ca combinație de substraturi (75% porumb și 25% combinație de porumb- numit MIX1 și 40% porumb și 40% grâu și 20% coji de floarea soarelui-numiți MIX2) au fost efectuate la o temperatură mezofilă într-un reactor cu

șarjă la scară pilot. Rezultatele au arătat că cel mai mare randament al biogazului a fost obținut pentru orz, urmat de MIX1 și în cele din urmă MIX2. Aceeași ordine a fost obținută atunci când a fost evaluată producția totală de metan.

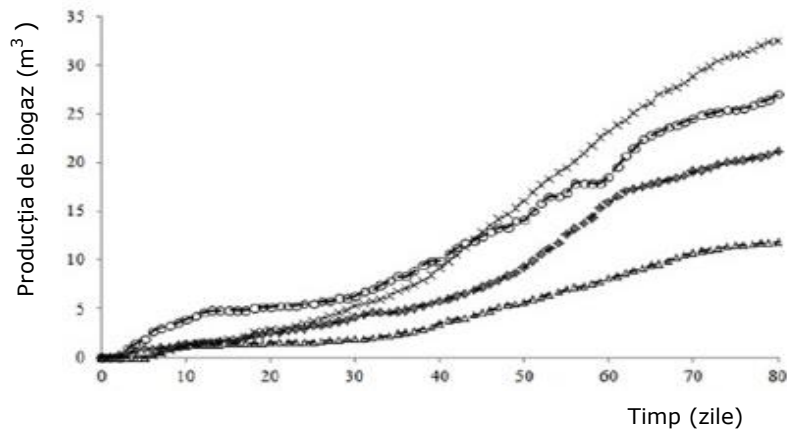


Fig. 4.8.1. Producția cumulată de biogaz în timpul digestiei anaerobe a celor patru substraturi [133]

Performanțele digestoarelor au fost evaluate matematic folosind ecuația modificată Gompertz. parametrii cinetici cum ar fi potențialul de producție de metan (MP), rata maximă de producție de metan ( $R_m$ ) și gradul de fază de lag ( $\lambda$ ) au fost calculate pentru fiecare caz experimental [133].

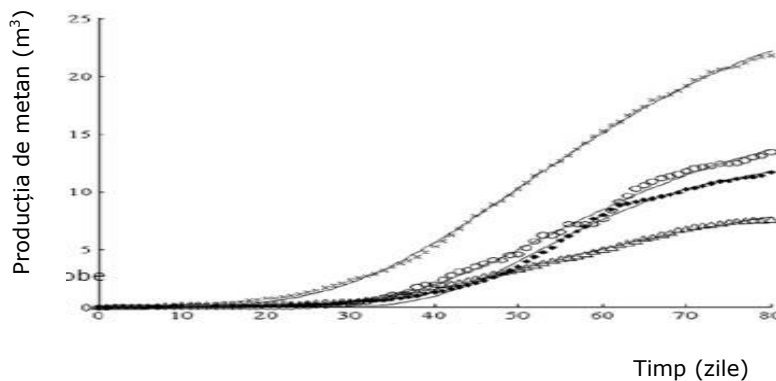


Fig 4.8.2. Regresia neliniară pentru producția de metan în timpul digestiei anaerobă a substraturilor investigate [133]

Valorile indicatorii de performanță au confirmat că toate modelele se potrivesc bine cu datele experimentale [133].

Prin urmare rezultatele obținute ne arată faptul că, prin modelare se pot stabili rețete pentru diferitele substraturi necesare digestiei anaerobe, dar se recomandă testarea acestor rezultate prin compararea acestora cu rezultatele obținute în urma experimentelor efectuate în instalații pilot.

## 5. MODEL PENTRU EVALUAREA REDUCERII EMISIILOR DE CO<sub>2</sub> PRIN VALORIFICAREA DEȘEURILOR SPRE BIOGAZ. ANALIZĂ CRITICĂ

### 5.1. Gazele cu efect de seră și schimbările climatice

Gazele cu efect de seră sunt considerate responsabile de modificările climatice. Conform Comisiei Interguvernamentale pentru Schimbări Climatice [136], gazele cu efect de seră sunt generate din constituenți gazoși ai atmosferei proveniți din surse naturale cât și antropice. Dioxidul de carbon (CO<sub>2</sub>), metanul (CH<sub>4</sub>), protoxidul de azot (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarburi (HCF), perfluorocarburi (PFC-uri), SF<sub>6</sub> și NF<sub>3</sub> sunt principalele gaze cu efect de seră [134]. Ponderea emisiilor de GES la nivel global, este prezentată în figura 5.1.1.

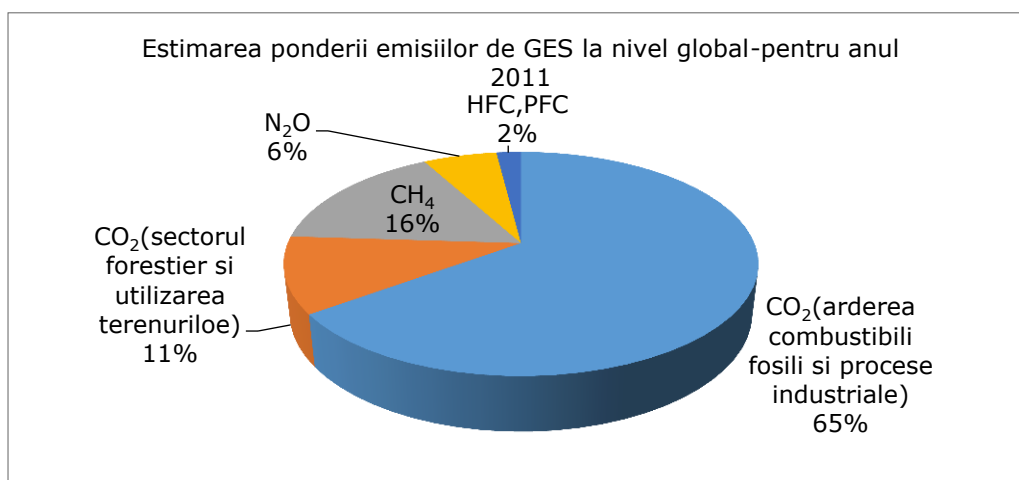


Figura 5.1.1. Estimarea ponderii emisiilor de GES la nivel global pentru anul 2011 [134]

La nivelul anilor 2011, țările cu cele mai mari emisii de CO<sub>2</sub> au fost China (28%), SUA (16%), Uniunea Europeană (10%), India (6%), Rusia (6%), Japonia (4%), alte state (30%) [138].

Efectul global potențial de seră (PGE) se exprimă în CO<sub>2</sub> echivalent, CO<sub>2</sub> având prin definiție efectul global potențial (PGE) egal cu 1, N<sub>2</sub>O multiplicându-se cu 310, iar CH<sub>4</sub> cu 21.

Variația temperaturii medii globale anuale depinde de o mulțime de factori printre care și concentrația emisiilor de GES care favorizează încălzirea globală.

Ecuția variabilității climatice ce exprimă variația temperaturii medii globale anuale, [138] este:

$$T_g = f \left( E_{si}, E_m, \frac{1}{F_{cr}}, \frac{1}{F_{scp}}, I_m, I_h, C_{CO_2}, \frac{1}{C_{SO_2}}, \frac{1}{H_t} \right)$$

unde [138]

T<sub>g</sub>-temperatura medie anuală globală,

E<sub>si</sub>-energia radiației solare

E<sub>m</sub>-energia magnetică ce traversează scoarța terestră dinspre mantaua vâscoasă

F<sub>cr</sub>-energia radiației cosmice

F<sub>scp</sub>-energia particulelor vântului solar care ating atmosfera

I<sub>m</sub>-intensitatea magnetosferei (câmpul magnetic exterior și câmpul magnetic interior)

C<sub>CO<sub>2</sub></sub>-concentrația emisiilor de GES care favorizează încălzirea globală (CO<sub>2</sub>, etc)

C<sub>SO<sub>2</sub></sub>-concentrația emisiilor de GES, aerosoli care favorizează răcirea globală (SO<sub>2</sub>, etc)

H<sub>t</sub>-factorul de transport și autoreglare termohidrică în oceane și atmosferă [138]

Unitățile de măsură sunt din sistemul internațional conform [138].

Gazele cu efect de seră provin, în principal, din activități antropice precum producerea de energie electrică și termică, agricultură, sectorul forestier și utilizarea terenurilor, industrie, transport, alte sectoare energetice, clădiri [135].

Distribuția emisiilor globale de GES pe categorii de activități pentru anul 2011, conform [135], este prezentată în figura 5.1.2.

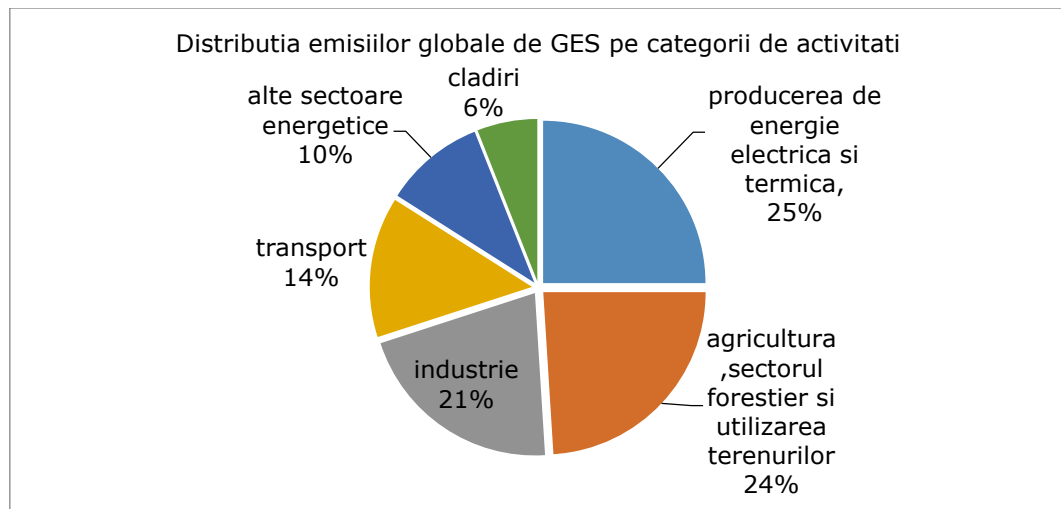


Fig.5.1.2. Distribuția emisiilor globale de GES pe categorii de activități pentru anul 2011 [135]

După cum se observă, sectorul transporturilor este responsabil pentru 14% de emisii globale de GES. De aceea sunt intensificate cercetările pentru a se găsi soluții de reducere a emisiilor provenite din acest sector[150].

Uniunea Europeană și-a propus ca, „ până în 2050, să își reducă emisiile de gaze cu efect de seră cu 80-95 % față de nivelurile din 1990”[140]. În figura 5.1.3. sunt prezentate emisiile de gaze cu efect de seră cu efecte în UE, tendințe, previziuni și ținte de reducere [140].



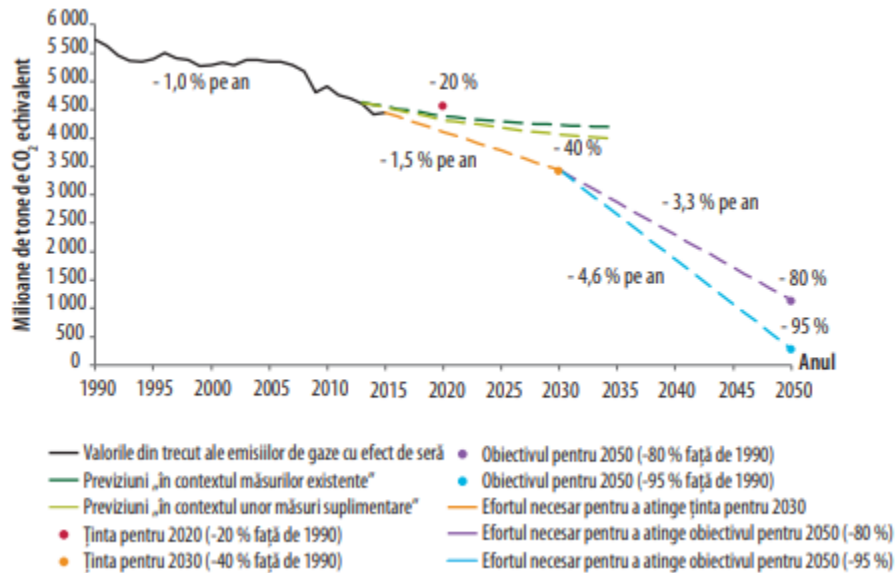


Figura 5.1.3. Emisiile de gaze cu efect de seră cu efecte în UE, tendințe, previziuni și ținte de reducere [140].

De asemenea, Uniunea Europeană a făcut estimarea emisiilor de GES în funcție de sursă pentru 2015 și a estimat aceste emisii pe producția și consumul de energie în toate sectoarele, procese industriale și utilizarea produselor, agricultură și tratarea și eliminarea deșeurilor.

În figura 5.1.4. este prezentată situația emisiilor de gaze cu efect de seră în funcție de sursă. Astfel 79% din emisiile de gaze cu efect de seră provin din producția și consumul de energie în toate sectoarele; 8% din procese industriale și utilizarea produselor; 10% din agricultură iar 3% din tratarea și eliminarea deșeurilor.

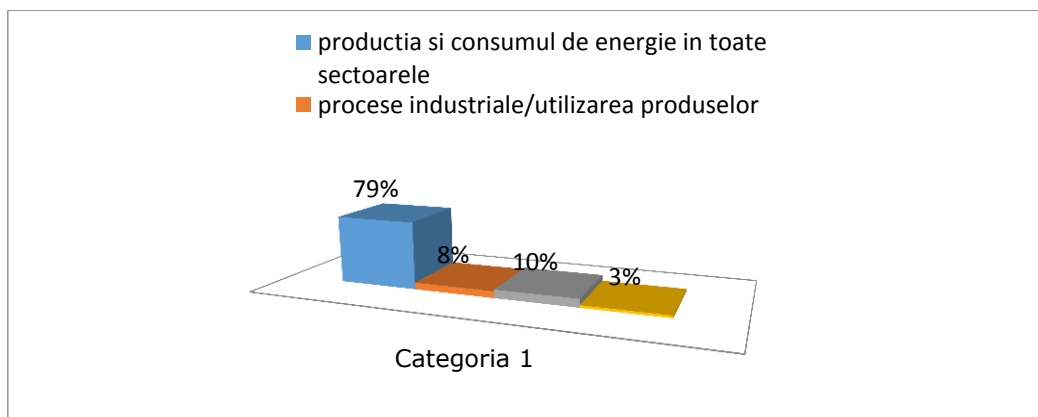


Figura 5.1.4 Emisiile de gaze cu efect de seră, în anul 2014, la nivelul UE, în funcție de sursă [140]

România a transpus și implementat angajamentele internaționale și europene cu privire la reducerea gazelor cu efect de seră și de adaptare la schimbările climatice. Conform angajamentelor, România și-a asumat până în anul 2012, să reducă cu 8% emisiile de gaze cu efect de seră față de anul 1989. Acest lucru a fost posibil în primul rând datorită declinului activităților economice după 1989. Analizând datele Inventarului Național al Emisiilor de Gaze cu Efect de Seră [137], se constată că la nivelul anului 2014, nivelul emisiilor de gaze cu efect de seră a scăzut comparativ cu anul 1989, conform figurii 5.1.5. Se constată însă că, la nivelul anului 2014, procentul emisiilor de gaze cu efect de seră din sectorul deșeurilor este 5,15% din totalul GES în România, în creștere față de anul 1989, când reprezentau 1,71% din totalul emisiilor naționale de GES din acel an [137].

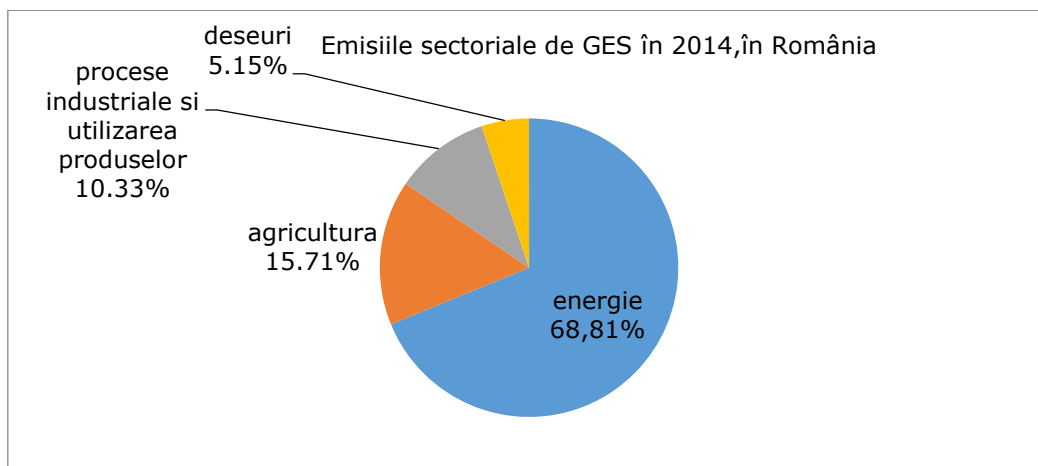


Figura 5.1.5 Emisiile sectoriale de GES în 2014, în România [137]

Emisiile de gaze cu efect de seră generate în sectorul deșeurilor, în 2014, au reprezentat 5756,73 kt echivalent CO<sub>2</sub> față de 5135,62kt CO<sub>2</sub> cât erau în 1989 (o creștere de 12.09%). Dacă analizăm figura 5.1.4 și figura 5.1.5, se observă că emisiile de gaze cu efect de seră pentru sectorul deșeurilor au reprezentat un procent mai mare (5,15%) față de procentul de gaze cu efect de seră pentru sectorul deșeuri la nivelul Uniunii Europene (situat la 3%). Acest lucru se datorează și unei gestionări ineficiente a deșeurilor în România, emisiile de gaze cu efect de seră din categoria de eliminare a deșeurilor solide (SWD) au crescut semnificativ în anul 2014, comparativ cu nivelul din anul de bază, cu un procent de 154,48% [137]. România trebuie să se conformeze la cerințele europene și să reducă cantitatea de deșeuri eliminată în depozitele de deșeuri. Acest obiectiv poate fi realizat și prin eliminarea deșeurilor prin valorificarea energetică a deșeurilor prin digestie anaerobă.

O atenție deosebită trebuie acordată emisiilor de gaze cu efect de seră din sectorul agricol provenite în urma depozitării gunoiului de grajd, care, conform Inventarului Național de Emisii reprezintă a treia sursă de emisii de gaze cu efect de seră din sectorul agricol, reprezentând un procent de 13,77% din acestea [137]. Emisiile de metan contribuie cu 2,11% la emisiile totale de GES din România [137]. Emisiile de gaze cu efect de seră în acest sector sunt în creștere în România față de

anul 1989 și, de aceea, sunt necesare adoptarea de noi metode de gestionare a deșeurilor astfel încât să se reducă cantitatea de GES.

## 5.2. Prezentarea modelului folosit pentru evaluarea emisiilor de gaze cu efect de seră provenite din depozitarea deșeurilor menajere

Folosind un model pentru determinarea emisiilor de gaze cu efect de seră pentru depozitele de deșeuri, vom estima ratele de emisie pentru gazul rezidual total (metan și dioxid de carbon) provenit din depozitele de deșeuri municipale solide. Se vor estima emisiile de gaze cu efect de seră care s-ar fi emis din depozitele de deșeuri pentru diferite scenarii. Estimarea a fost realizată cu intenția de a evalua condițiile în care acestea ar fi putut fi evitate. Modelul de calcul al emisiilor de gaze cu efect de seră utilizat este modelul LandGEM. Acesta este un instrument de estimare automată a GES cu o interfață Microsoft Excel. Modelul LandGEM poate fi utilizat pentru „estimarea ratelor de emisii pentru gazul rezidual total, metan, dioxid de carbon ,etc din depozitele de deșeuri municipale solide [141].

Modelul LandGEM este considerat un instrument de screening-cu cât datele de intrare sunt mai bune, cu atât estimările sunt mai bune [141]. Necesită date referitoare la „identitatea și dimensiunea depozitului de deșeuri care este modelat, denumirea sau identificatorul depozitului de deșeuri, anul de deschidere a depozitului de deșeuri, anul de închidere a depozitului de deșeuri, opțiunea de calculare a modelului pentru anul de închidere și capacitatea de proiectare a deșeurilor”[141].

Ecuția pentru rata de descompunere la primul ordin LandGEM pentru a estima emisiile anuale într-o perioadă de timp [141]:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 k L_0 \left(\frac{M_i}{10}\right) e^{-kt_{ij}}$$

unde [141]

$Q_{CH_4}$  = generarea anuală de metan în anul de calcul (m<sup>3</sup> / an)

$i$  = o creștere a timpului de 1 an

$n$  = (anul calculului) - (anul inițial de acceptare a deșeurilor)

$j$  = (anul-1)  $L_0$  = capacitatea potențială de generare a metanului (m<sup>3</sup> / Mg)

$M_i$  = masa deșeurilor acceptată în al  $i$ -lea an (Mg)

$t_{ij}$  = vârsta secțiunii  $j$  de masa deșeurilor  $M_i$  admisă în anul  $i$ , 3,2 ani) [141]

$k$  = rata de generare a metanului

$L_0$  = capacitatea potențială de generare a metanului

Modelul LandGEM se bazează pe mai mulți parametri de model pentru a estima emisiile în depozitele de deșeuri [141].

Rata de generare a metanului,  $k$ , determină rata generării de metan pentru masa deșeurilor din depozitul de deșeuri [141] și acestea diferă în funcție de zonele în care sunt situate depozitele adică în zone aride, conventionale sau umede. Prin urmare vom alege valoarea ratei de generare a metanului în funcție de tipul depozitului pentru care realizăm modelarea, în cazul nostru pentru zona convențională [141].

Capacitatea potențială de generare a metanului,  $Lo$ , depinde numai de tipul și compoziția deșeurilor plasate în depozitul de deșeuri și are valori cuprinse între 170 și 96 m<sup>3</sup>/Mg în funcție de categoria de depozit (conventional, arid sau umed) [141].

Producția de metan se determină utilizând ecuația ratei de descompunere de ordinul întâi și nu este afectată de concentrația de metan. Cu toate acestea, concentrația de metan afectează producția calculată de dioxid de carbon.

### **5.3. Scenarii privind emisiile de gaze cu efect de seră provenite din depozitarea deșeurilor menajere în perioada de preaderare și aderare. Analiză critică**

#### **5.3.1. Scenariul I, scenariul ideal al conformării privind depozitarea deșeurilor în România**

S-a considerat Scenariul I ca fiind scenariul conformării totale privind legislația în domeniul depozitării deșeurilor asumată în perioada de preaderare și aderare a României la Uniunea Europeană. În cadrul acestui scenariu s-au calculat cantitățile de gaze de depozit (CH<sub>4</sub> și CO<sub>2</sub>) pentru situația ipotetică în care România s-ar fi conformat cu prevederile europene asumate în perioada de preaderare și aderare la Uniunea Europeană, conform Hotărârii de Guvern nr 349/2005 privind depozitarea deșeurilor [144]. Articolul 6, alineatul 2 al actului normativ prevede că în „max. cinci ani de la data de 16 iulie 2001” să se reducă cantitățile de deșeuri „municipal biodegradabile depozitate la 75% din cantitatea exprimată gravimetric produsă în anul 1995”[144], adică la 75% din 4,8 milioane tone, ceea ce înseamnă că, în anul 2006, România ar fi trebuit să depoziteze 3,6 milioane tone deșeuri. De asemenea actul normativ prevede că „în max 8 ani de la data de 16 iulie 2001” să se reducă cantitățile de deșeuri „municipal biodegradabile depozitate, la 50% din cantitatea exprimată gravimetric produsă în anul 1995”[144]. Aceasta înseamnă că, până în 2009, România ar fi trebuit să depoziteze 2,4 milioane tone deșeuri. O altă prevedere a Hotărârii de Guvern, se referă la obiectivul ca în „max 15 ani de la data de 16 iulie 2001” să se „reducă cantitățile de deșeuri municipal biodegradabile depozitate la 35% din cantitatea exprimată gravimetric produsă în anul 1995”[144]. Aceasta înseamnă că, până în 2016, România ar fi trebuit să se depoziteze 1,68 milioane tone deșeuri.

Datele au fost introduse în programul LandGEM. S-a considerat că anul în care a început depozitarea deșeurilor a fost 2006, primul an față de care au fost fixate obiectivele de reducere a depozitării conform HG 349/2001. Anul de finalizare a depozitării deșeurilor în depozite a fost considerat 2035, anul pentru care au fost fixate, la nivel european, noi ținte privind depozitarea deșeurilor [145]. Capacitatea totală construită în vederea depozitării deșeurilor în România (parametru necesar modelului), este de 48,1 milioane tone, conform Planului Național de Gestionare a Deșeurilor [29]. Scenariul a luat în considerare cantitățile de deșeuri depozitate în conformitate cu obiectivele fixate în anul 2005 pentru 2006, 2009, 2016 și au fost estimate cantitățile de deșeuri depozitate în fiecare an astfel încât să fie posibilă atingerea țintelor. Au fost introduse datele în model și au fost selectați ceilalți parametri necesari pentru utilizarea modelului LandGEM, conform figurii 5.3.1.1

1: PROVIDE LANDFILL CHARACTERISTICS

Clear ALL Non-Parameter Inputs/Selections

Landfill Open Year: 2006  
 Landfill Closure Year: 2030  
 Have Model Calculate Closure Year?  Yes  No  
 Waste Design Capacity: 48,100,000 megagrams

Waste Design Capacity entered is not used by the model unless 'Have Model Calculate Closure Year?' option is Yes.

4: ENTER WASTE ACCEPTANCE RATES

Input Units: Mg/year

Year	Input Units (Mg/year)	Calculated Units (short tons/year)
2006	3,600,000	3,960,000
2007	3,200,000	3,520,000
2008	2,800,000	3,080,000
2009	2,400,000	2,640,000
2010	2,300,000	2,530,000
2011	2,200,000	2,420,000
2012	2,100,000	2,310,000
2013	2,000,000	2,200,000
2014	1,900,000	2,090,000
2015	1,800,000	1,980,000
2016	1,680,000	1,848,000

2: DETERMINE MODEL PARAMETERS

Methane Generation Rate, k (year<sup>-1</sup>): 0.02

Potential Methane Generation Capacity, L<sub>0</sub> (m<sup>3</sup>/Mg): User-specified value: 80  
User-specified L<sub>0</sub> value should be based on site-specific data and determined by waste type and composition.

NMOC Concentration (ppmv as hexane): Inventory No or Unknown Co-disposal - 600

Methane Content (% by volume)

Restore Default Model Parameters

Figura 5.3.1.1. Interfața cu datele de intrare introduse în modelul LandGEM, Scenariul I

Au fost astfel calculate, cu ajutorul LandGEM, emisiile rezultate în urma eliminării prin depozitare a deșeurilor în cazul scenariului I. Programul a realizat calculul a toate emisiile rezultate în urma depozitării deșeurilor, însă se vor face referiri în cadrul acestei lucrări, doar la calculul cantităților de CH<sub>4</sub> și CO<sub>2</sub>.

Cantitățile de CH<sub>4</sub> și CO<sub>2</sub> calculate ajutorul modelului LandGEM în cazul scenariului I, pentru cei zece ani (2006-2016), în situația în care România ar fi respectat angajamentele asumate, s-ar fi redus eliminarea în atmosferă a 147705 tone de CH<sub>4</sub> și a 331589 tone de CO<sub>2</sub>.

Valorile anuale ale emisiilor de CH<sub>4</sub> și CO<sub>2</sub>, calculate pentru scenariul I, sunt prezentate în tabelul 5.3.5.1.1.

Tabelul 5.3.1.1. Cantitățile de emisii de CH<sub>4</sub> și CO<sub>2</sub> calculate cu modelul LandGEM, Scenariul I

Anul închiderii 2035

an	deșeuri acceptate		deșeuri depozitate		Metan			Dioxid de carbon		
	Mg/an	tone/an	Mg	tone	tone/an	m3/an		tone/an	m3/an	
2006	3.600.000	3.960.000	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	3.200.000	3.520.000	3.600.000	3.960.000	3.808E+03	5,708E+06	3,836E+02	8,549E+03	4,671E+06	3,138E+02
2008	2.800.000	3.080.000	6.800.000	7.480.000	7,118E+03	1,067E+07	7,169E+02	1,598E+04	8,730E+06	5,865E+02
2009	2.400.000	2.640.000	9.600.000	10.560.000	9,939E+03	1,490E+07	1,001E+03	2,231E+04	1,219E+07	8,190E+02
2010	2.300.000	2.530.000	12.000.000	13.200.000	1,228E+04	1,841E+07	1,237E+03	2,757E+04	1,508E+07	1,012E+03
2011	2.200.000	2.420.000	14.300.000	15.730.000	1,447E+04	2,169E+07	1,457E+03	3,249E+04	1,775E+07	1,192E+03
2012	2.100.000	2.310.000	16.500.000	18.150.000	1,651E+04	2,475E+07	1,663E+03	3,707E+04	2,025E+07	1,361E+03
2013	2.000.000	2.200.000	18.600.000	20.460.000	1,841E+04	2,759E+07	1,854E+03	4,132E+04	2,257E+07	1,517E+03
2014	1.900.000	2.090.000	20.600.000	22.660.000	2,016E+04	3,022E+07	2,030E+03	4,525E+04	2,472E+07	1,661E+03
2015	1.800.000	1.980.000	22.500.000	24.750.000	2,177E+04	3,263E+07	2,192E+03	4,887E+04	2,670E+07	1,794E+03
2016	1.680.000	1.848.000	24.300.000	26.730.000	2,324E+04	3,484E+07	2,341E+03	5,218E+04	2,850E+07	1,915E+03

Modelul LandGEM realizează, de asemenea, reprezentarea grafică a rezultatelor obținute. Se observă, în figura 5.3.1.2. că, dacă am considera 2006 ca fiind primul an în care începe eliminarea deșeurilor în depozite, emisiile de gaze de depozit ar înregistra un maxim în jurul anului 2030 și apoi acestea au înregistrat descreștere până la nivelul anului 2146.

Urmărind graficul 5.3.1.1. rezultă că, cantitatea de GES rezultată ca urmare a depozitării deșeurilor în următorii ani este însemnată.

Prin urmare se constată că eliminarea deșeurilor prin depozitare nu este recomandată deoarece are un impact negativ semnificativ pe termen lung asupra mediului înconjurător, generându-se cantități însemnate de gaze cu efect de seră.

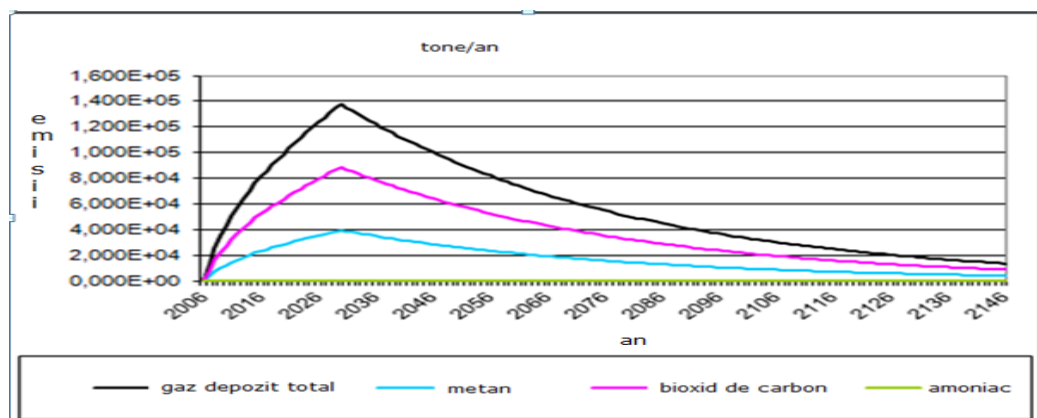


Figura 5.3.1.2. Reprezentarea grafică a gazelor cu efect de seră, Scenariul I, model LandGEM



### 5.3.2. Scenariul II, scenariul situației reale privind depozitarea deșeurilor în România.

În cadrul acestui scenariu s-a pornit de la situația reală privind depozitarea deșeurilor în România în perioada 2006-2016. Au fost calculate emisiile de CH<sub>4</sub> și CO<sub>2</sub> pentru cantitățile de deșeuri eliminate prin depozitare conform Planului Național de Gestionare a Deșeurilor [29]. Datele introduse în programul LandGEM pentru anul în care a început depozitarea deșeurilor a fost același cu cel din primul scenariu (2006) și de asemenea, anul de finalizare a depozitării a fost considerat 2035, la fel ca în scenariul I. Au fost menținuți aceiași parametri necesari modelului, conform figurii 5.3.2.1. cu cei din primul scenariu.

Figura 5.3.2.1 prezintă interfața modelului LandGEM cu datele de intrare introduse în modelul LandGEM, în cazul scenariului II.

USER INPUTS Landfill Name or Identifier: \_\_\_\_\_

Clear ALL Non-Parameter Inputs/Selections

1: PROVIDE LANDFILL CHARACTERISTICS

Landfill Open Year	2006	Waste Design Capacity entered is not used by the model unless 'Have Model Calculate Closure Year?' option is Yes.
Landfill Closure Year	2030	
Have Model Calculate Closure Year?	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No	
Waste Design Capacity	48.100.000	megagrams

2: DETERMINE MODEL PARAMETERS

Methane Generation Rate, k (year<sup>-1</sup>)  
0.02

Potential Methane Generation Capacity, L<sub>0</sub> (m<sup>3</sup>/Mg) User-specified L<sub>0</sub> value should be based on site-specific data and determined by waste type and composition.  
User-specified value: 80

NMOC Concentration (ppmv as hexane)  
Inventory No or Unknown Co-disposal - 600

Methane Content (% by volume)  
User-specified value: 55

4: ENTER WASTE ACCEPTANCE RATE

Input Units: Mg/year

Year	Input Units (Mg/year)	Calculated Units (short tons/year)
2006	5.235.182	5.758.700
2007	5.260.720	5.786.792
2008	5.670.000	6.237.000
2009	6.254.724	6.880.196
2010	6.340.000	6.974.000
2011	5.210.000	5.731.000
2012	5.040.000	5.544.000
2013	5.070.000	5.577.000
2014	4.950.000	5.445.000
2015	4.252.862	4.678.148
2016	3.900.000	4.290.000
2017		

Restore Default Model Parameters

Figura 5.3.2.1. Interfața cu datele de intrare introduse în modelul LandGEM, Scenariul II

Cantitățile de deșeuri introduse în model, în cazul acestor scenarii, sunt cantitățile anuale de deșeuri eliminate prin depozitare în conformitate cu rapoartele publice privind starea mediului în România.

Se observă că, cantitățile de deșeuri eliminate prin depozitare au crescut până în anul 2010, după care au înregistrat o scădere, dar nu datorită creșterii gradului de reciclare și valorificare a acestora, ci mai degrabă din cauza crizei economice.

Cantitățile de emisii de CH<sub>4</sub> și CO<sub>2</sub> calculate cu ajutorul modelului LandGEM, pentru scenariul II, sunt prezentate în tabelul 5.3.2.1.

Tabelul 5.3.2.1. Cantitățile de emisii de CH<sub>4</sub> și CO<sub>2</sub>, calculate cu modelul LandGEM, Scenariul II

Anul închiderii 2035

an	deșeuri acceptate		deșeuri depozitate		metan			dioxid de carbon	
	Mg/an	tone/an	Mg	tone	tone/an	m <sup>3</sup> /an		tone/an	m <sup>3</sup> /an
2006	5.235.182	5.758.700	0	0	0	0	0	0	0
2007	5.260.720	5.786.792	5.235.182	5.758.700	5,538E+03	8,301E+06	5,578E+02	1,243E+04	6,792E+06
2008	5.670.000	6.237.000	10.495.902	11.545.492	1,099E+04	1,648E+07	1,107E+03	2,468E+04	1,348E+07
2009	6.254.724	6.880.196	16.165.902	17.782.492	1,677E+04	2,514E+07	1,689E+03	3,766E+04	2,057E+07
2010	6.340.000	6.974.000	22.420.626	24.662.689	2,306E+04	3,456E+07	2,322E+03	5,177E+04	2,828E+07
2011	5.210.000	5.731.000	28.760.626	31.636.689	2,931E+04	4,393E+07	2,952E+03	6,580E+04	3,594E+07
2012	5.040.000	5.544.000	33.970.626	37.367.689	3,424E+04	5,132E+07	3,448E+03	7,687E+04	4,199E+07
2013	5.070.000	5.577.000	39.010.626	42.911.689	3,889E+04	5,830E+07	3,917E+03	8,731E+04	4,770E+07
2014	4.950.000	5.445.000	44.080.626	48.488.689	4,349E+04	6,518E+07	4,380E+03	9,763E+04	5,333E+07
2015	4.252.862	4.678.148	49.030.626	53.933.689	4,786E+04	7,174E+07	4,820E+03	1,074E+05	5,870E+07
2016	3.900.000	4.290.000	53.283.488	58.611.837	5,141E+04	7,707E+07	5,178E+03	1,154E+05	6,305E+07

Analizând datele din tabelul 5.3.2.1. privind cantitățile de emisii de metan și bioxid de carbon, eliminate în urma depozitării, constatăm că, acestea au fost duble față de cele din tabelul 5.4.1.1. Prin urmare, în cazul scenariului II prin nerealizarea obiectivelor fixate s-au emis, în cei 10 ani, 302558 tone CH<sub>4</sub> și 67950 tone CO<sub>2</sub>.

Reprezentarea grafică a rezultatelor obținute în cazul scenariului II arată că, cantitățile maxime de CH<sub>4</sub> și CO<sub>2</sub> vor fi atinse tot în jurul anului 2030 și de asemenea emisiile de GES vor avea loc până după anul 2146.



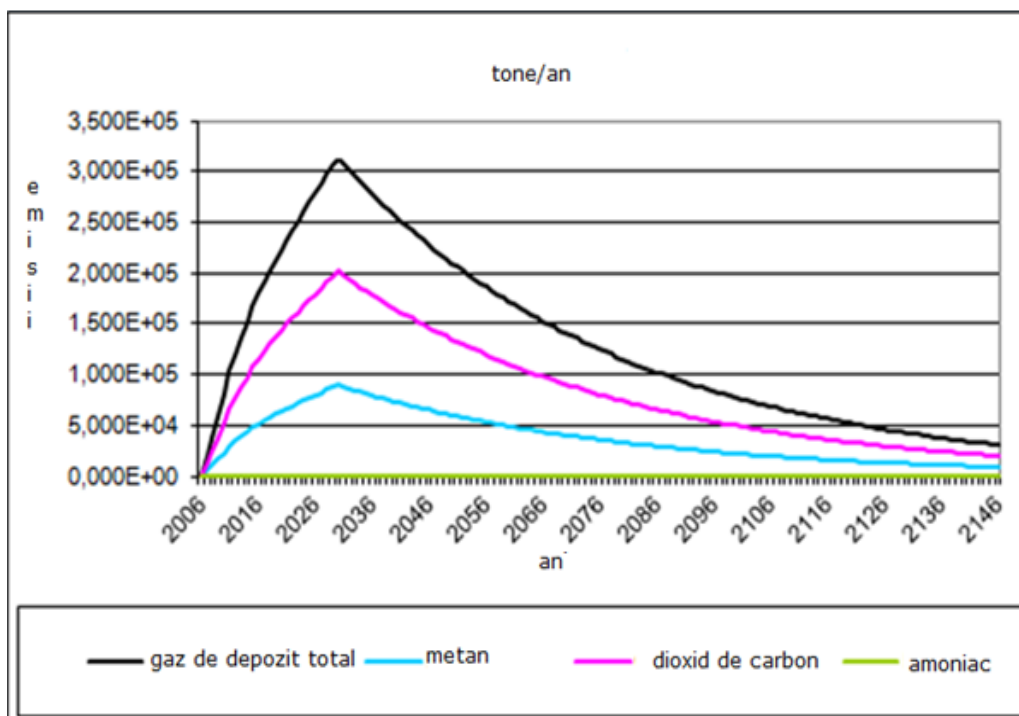


Figura 5.3.2.2. Reprezentarea grafică a cantităților de GES, Scenariul II, model LandGEM

## 5.4. Scenarii privind emisiile de gaze cu efect de seră care ar rezulta prin depozitarea deșeurilor menajere până în 2035. Analiză critică

### 5.4.1. Scenariul III–Conformarea privind depozitarea deșeurilor față de țintele stabilite pentru anul 2035

Scenariul III ia în considerare situația ideală în care România respectă angajamentele asumate în perioada de preaderare și aderare, dar și obiectivele asumate prin modificările recente ale legislației europene privind depozitarea deșeurilor [145].

Directivile europene privind gestionarea deșeurilor au fost modificate în acest an, stabilindu-se noi ținte de reciclare, valorificare, eliminare a deșeurilor.

Directiva Uniunii Europene privind depozitarea (UE) 2018/850 din 30 mai 2018 de modificare a Directivei 1999/31/CE privind depozitele de deșuri, impune statelor membre ca până în anul 2035 cantitatea de deșuri depozitate să fie redusă la 10% față de cea generate: „Statele membre iau măsurile necesare pentru a se asigura că, până în 2035, totalul deșeurilor municipale eliminate prin depozitare este redus la 10 % sau mai puțin din totalul deșeurilor municipale generate (în greutate)”[145].

Scenariul III a luat în considerare faptul că, cantitățile de deșeuri depozitate anual vor scadea până la valoarea de conformare. Prin urmare, în anul 2035, cantitățile de deșeuri municipale care vor fi eliminate prin depozitare vor reprezenta 480 000 tone.

Datele privind cantitățile de deșeuri depozitate anual, pentru scenariul III, au fost introduse în modelul LandGEM fiind menținuți ceilalți parametri la aceleași valori ca în cazul scenariilor I și II.

În figura 5.4.1.1. este prezentată interfața cu datele de intrare introduse în modelul LandGEM

The screenshot shows the LandGEM software interface. At the top, there is a dropdown menu for 'methane content (v/v volume)' set to 'User-specified' with a value of 55. Below this is a section titled '3: SELECT GASES/POLLUTANTS' with a red warning message: 'User-specified pollutant parameters are currently being used by model.' There are four dropdown menus for 'Gas / Pollutant #1' through '#4', with values: 'Total landfill gas', 'Methane', 'Carbon dioxide', and 'NMOC'. To the right of these are buttons for 'Edit Existing or Add New Pollutant Parameters' and 'Restore Default Pollutant Parameters'. At the bottom left is a 'Description/Comments' text area. On the right side, a table displays annual waste disposal data from 2017 to 2035.

2017	1.680.000	1.848.000
2018	1.680.000	1.848.000
2019	1.680.000	1.848.000
2020	1.680.000	1.848.000
2021	1.600.000	1.760.000
2022	1.520.000	1.672.000
2023	1.440.000	1.584.000
2024	1.360.000	1.496.000
2025	1.280.000	1.408.000
2026	1.200.000	1.320.000
2027	1.120.000	1.232.000
2028	1.040.000	1.144.000
2029	960.000	1.056.000
2030	880.000	968.000
2031	800.000	880.000
2032	720.000	792.000
2033	640.000	704.000
2034	560.000	616.000
2035	480.000	528.000

Figura 5.4.1.1. Interfața cu datele de intrare introduse în modelul LandGEM, Scenariul III

Cantitățile de emisii de CH<sub>4</sub> și CO<sub>2</sub> calculate conform model LandGEM pentru Scenariul III, sunt prezentate în tabelul 5.4.1.1.

Tabelul 5.4.1.1. Cantitățile de emisii de CH<sub>4</sub> și CO<sub>2</sub>, calculate cu model LandGEM, Scenariul III

Anul de închidere a depozitului este 2035

an	deșeuri acceptate		deșeuri dep.		metan		dioxid de carbon				
	Mg/an	tone/an	Mg	tone	tone/an	m <sup>3</sup> /an	tone/an	m <sup>3</sup> /an			
2017	1.680.000	1.848.000	25.980.000	28.578.000	2.456E+04	3.681E+07	2.473E+03	5.513E+04	3.012E+07	2.024E+03	1.439E+02
2018	1.680.000	1.848.000	27.660.000	30.426.000	2.585E+04	3.875E+07	2.603E+03	5.803E+04	3.170E+07	2.130E+03	1.515E+02
2019	1.680.000	1.848.000	29.340.000	32.274.000	2.712E+04	4.064E+07	2.731E+03	6.087E+04	3.325E+07	2.234E+03	1.589E+02
2020	1.680.000	1.848.000	31.020.000	34.122.000	2.836E+04	4.250E+07	2.856E+03	6.366E+04	3.478E+07	2.337E+03	1.662E+02
2021	1.600.000	1.760.000	32.700.000	35.970.000	2.957E+04	4.433E+07	2.978E+03	6.639E+04	3.627E+07	2.437E+03	1.733E+02
2022	1.520.000	1.672.000	34.300.000	37.730.000	3.068E+04	4.598E+07	3.090E+03	6.887E+04	3.762E+07	2.528E+03	1.798E+02
2023	1.440.000	1.584.000	35.820.000	39.402.000	3.168E+04	4.748E+07	3.190E+03	7.112E+04	3.885E+07	2.610E+03	1.857E+02
2024	1.360.000	1.496.000	37.260.000	40.986.000	3.258E+04	4.883E+07	3.281E+03	7.313E+04	3.995E+07	2.684E+03	1.909E+02
2025	1.280.000	1.408.000	38.620.000	42.482.000	3.337E+04	5.002E+07	3.361E+03	7.491E+04	4.092E+07	2.750E+03	1.956E+02
2026	1.200.000	1.320.000	39.900.000	43.890.000	3.406E+04	5.106E+07	3.430E+03	7.647E+04	4.177E+07	2.807E+03	1.996E+02
2027	1.120.000	1.232.000	41.100.000	45.210.000	3.466E+04	5.195E+07	3.490E+03	7.780E+04	4.250E+07	2.856E+03	2.031E+02
2028	1.040.000	1.144.000	42.220.000	46.442.000	3.516E+04	5.270E+07	3.541E+03	7.892E+04	4.311E+07	2.897E+03	2.061E+02
2029	960.000	1.056.000	43.260.000	47.586.000	3.556E+04	5.330E+07	3.581E+03	7.983E+04	4.361E+07	2.930E+03	2.084E+02
2030	880.000	968.000	44.220.000	48.642.000	3.587E+04	5.377E+07	3.613E+03	8.053E+04	4.399E+07	2.956E+03	2.103E+02
2031	800.000	880.000	45.100.000	49.610.000	3.609E+04	5.410E+07	3.635E+03	8.102E+04	4.426E+07	2.974E+03	2.115E+02
2032	720.000	792.000	45.900.000	50.490.000	3.622E+04	5.430E+07	3.648E+03	8.132E+04	4.442E+07	2.985E+03	2.123E+02
2033	640.000	704.000	46.620.000	51.282.000	3.627E+04	5.436E+07	3.653E+03	8.142E+04	4.448E+07	2.989E+03	2.126E+02
2034	560.000	616.000	47.260.000	51.986.000	3.623E+04	5.430E+07	3.648E+03	8.133E+04	4.443E+07	2.985E+03	2.123E+02
2035	480.000	528.000	47.820.000	52.602.000	3.610E+04	5.411E+07	3.636E+03	8.105E+04	4.428E+07	2.975E+03	2.116E+02

Reprezentarea grafică a cantităților de GES, calculate conform LandGEM, în cazul Scenariul III, reflectă faptul că depozitarea deșeurilor nu este o soluție. În cazul în care sunt reduse cantități importante de deșeuri spre depozitare, totuși, în urma descompunerii aerobe a deșeurilor în aceste depozite, în viitorii 140 de ani încă se vor emite în atmosferă cantități mari de GES.

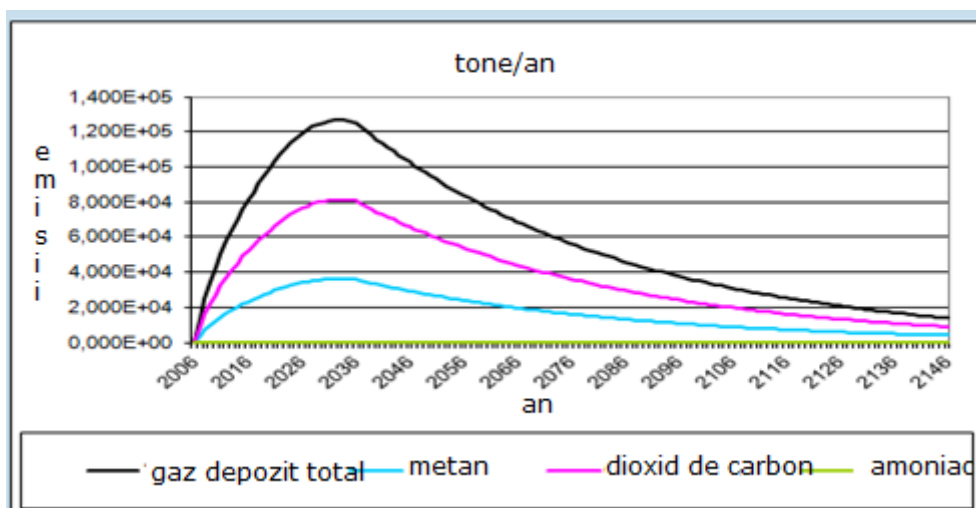


Figura 5.4.1.2. Reprezentarea grafică a cantităților de GES, Scenariul III, model LandGEM

Reamintim că, Scenariul III (scenariul situației ideale) este scenariul în care România reduce, în perioada 2017-2035, cantitățile de deșeuri municipale eliminate în depozite, conform legislației europene privind depozitarea deșeurilor.

Cantitățile de emisii de metan și bioxid de carbon ce s-ar fi eliminat în urma depozitării deșeurilor în cazul scenariului III ar putea fi de 620 000 tone CH<sub>4</sub>, respectiv 1391800 tone CO<sub>2</sub>.

#### 5.4.2. Scenariul IV–Neconformarea totală privind depozitarea deșeurilor față de țintele stabilite pentru anul 2035

Scenariul IV ia în calcul faptul că eliminarea deșeurilor se realizează în continuare prin depozitarea în depozitele de deșeuri, menținându-se constantă cantitatea de deșeuri depozitată anual la nivelul anului 2016 până în anul 2035.

În figura 5.4.2.1. se poate observa interfața cu datele de intrare introduse în modelul LandGEM și parametrii necesari modelului care au fost menținuți la valorile din celelalte scenarii.

The screenshot shows the '3: SELECT GASES/POLLUTANTS' section of the LandGEM model interface. It includes dropdown menus for selecting pollutants and buttons for editing parameters. A table on the right displays the following data:

2017	3.900.000	4.290.000
2018	3.900.000	4.290.000
2019	3.900.000	4.290.000
2020	3.900.000	4.290.000
2021	3.900.000	4.290.000
2022	3.900.000	4.290.000
2023	3.900.000	4.290.000
2024	3.900.000	4.290.000
2025	3.900.000	4.290.000
2026	3.900.000	4.290.000
2027	3.900.000	4.290.000
2028	3.900.000	4.290.000
2029	3.900.000	4.290.000
2030	3.900.000	4.290.000
2031	3.900.000	4.290.000
2032	3.900.000	4.290.000
2033	3.900.000	4.290.000
2034	3.900.000	4.290.000
2035	3.900.000	4.290.000

Figura 5.4.2.1. Interfața cu datele de intrare introduse în modelul LandGEM, scenariul IV

Datele privind cantitățile de emisii de CH<sub>4</sub> și CO<sub>2</sub> calculate cu ajutorul modelului LandGEM sunt prezentate în tabelul 5.4.2.1.

Tabel 5.4.2.1. Cantitățile de emisii de CH<sub>4</sub> și CO<sub>2</sub> calculate cu modelul LandGEM, scenariul IV

an	deșeurile acceptate		deșeurile depozitate		metan			dioxid de carbon		
	Mg/an	tone/an	Mg	tone	tone/an	m <sup>3</sup> /an		tone/an	m <sup>3</sup> /an	
2017	3.900.000	4.290.000	57.183.488	62.901.837	5.452E+04	8.172E+07	5.491E+03	1.224E+05	6.687E+07	4.493E+03
2018	3.900.000	4.290.000	61.083.488	67.191.837	5.757E+04	8.629E+07	5.798E+03	1.292E+05	7.060E+07	4.744E+03
2019	3.900.000	4.290.000	64.983.488	71.481.837	6.055E+04	9.077E+07	6.099E+03	1.359E+05	7.426E+07	4.990E+03
2020	3.900.000	4.290.000	68.883.488	75.771.837	6.348E+04	9.515E+07	6.393E+03	1.425E+05	7.785E+07	5.231E+03
2021	3.900.000	4.290.000	72.783.488	80.061.837	6.635E+04	9.945E+07	6.682E+03	1.489E+05	8.137E+07	5.467E+03
2022	3.900.000	4.290.000	76.683.488	84.351.837	6.916E+04	1.037E+08	6.965E+03	1.553E+05	8.482E+07	5.699E+03
2023	3.900.000	4.290.000	80.583.488	88.641.837	7.192E+04	1.078E+08	7.243E+03	1.614E+05	8.820E+07	5.926E+03
2024	3.900.000	4.290.000	84.483.488	92.931.837	7.462E+04	1.118E+08	7.515E+03	1.675E+05	9.151E+07	6.149E+03
2025	3.900.000	4.290.000	88.383.488	97.221.837	7.727E+04	1.158E+08	7.782E+03	1.735E+05	9.476E+07	6.367E+03
2026	3.900.000	4.290.000	92.283.488	101.511.837	7.986E+04	1.197E+08	8.043E+03	1.793E+05	9.794E+07	6.581E+03
2027	3.900.000	4.290.000	96.183.488	105.801.837	8.241E+04	1.235E+08	8.299E+03	1.850E+05	1.011E+08	6.790E+03
2028	3.900.000	4.290.000	100.083.488	110.091.837	8.490E+04	1.273E+08	8.551E+03	1.905E+05	1.041E+08	6.996E+03
2029	3.900.000	4.290.000	103.983.488	114.381.837	8.735E+04	1.309E+08	8.797E+03	1.961E+05	1.071E+08	7.197E+03
2030	3.900.000	4.290.000	107.883.488	118.671.837	8.974E+04	1.345E+08	9.038E+03	2.015E+05	1.101E+08	7.395E+03
2031	3.900.000	4.290.000	111.783.488	122.961.837	9.209E+04	1.380E+08	9.275E+03	2.067E+05	1.129E+08	7.588E+03
2032	3.900.000	4.290.000	115.683.488	127.251.837	9.439E+04	1.415E+08	9.507E+03	2.119E+05	1.158E+08	7.778E+03
2033	3.900.000	4.290.000	119.583.488	131.541.837	9.665E+04	1.449E+08	9.734E+03	2.170E+05	1.185E+08	7.964E+03
2034	3.900.000	4.290.000	123.483.488	135.831.837	9.886E+04	1.482E+08	9.957E+03	2.219E+05	1.212E+08	8.146E+03
2035	3.900.000	4.290.000	127.383.488	140.121.837	1.010E+05	1.514E+08	1.018E+04	2.268E+05	1.239E+08	8.325E+03

De asemenea observăm variația emisiilor de gaze de depozit, a CH<sub>4</sub> și a CO<sub>2</sub> pentru scenariul IV în figura 5.4.2.2.

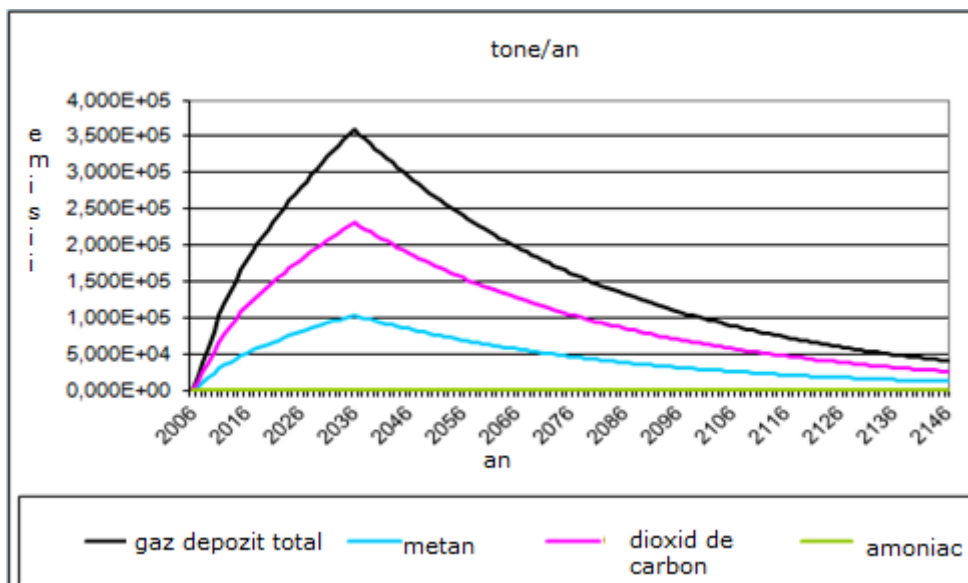


Figura 5.4.2.2. Reprezentarea grafică a cantităților de emisii de GES, scenariul IV, model LandGEM

Pentru Scenariul IV s-au calculat cantitățile de GES care se vor emite în atmosferă ca urmare a depozitării neconforme a acestora față de țintele asumate, rezultând 1502690 tone CH<sub>4</sub> și 3373400 tone CO<sub>2</sub>.

## 5.5. Analiza critică privind potențialul de reducere a emisiilor de CO<sub>2</sub> prin valorificarea energetică a deșeurilor spre biogaz

### 5.5.1. Analiza critică a potențialului de reducere a emisiilor de CO<sub>2</sub> prin valorificarea energetică a deșeurilor spre biogaz pentru perioada 2006-2016

Această analiză va fi realizată pornind de la două ipoteze refetitoare la modalitatea în care s-ar fi putut gestiona deșeurile în România în perioada 2006-2016.

#### Scenariul A

Prima ipoteză pornește de la realitatea faptului că, România a depozitat în anul 2006, o cantitate de deșeuri municipale egală cu 5,235182 milioane tone în comparație cu 3,6 milioane tone, cantitatea ce ar fi trebuit depozitată conform angajamentelor de aderare și preaderare ale țării noastre refetitoare la eliminarea deșeurilor municipale. Prin urmare, admitem ipoteza că, o cantitate de 1,335182 milioane tone deșeuri municipale au fost eliminate spre depozitare în loc să fi fost reciclate sau valorificate (vezi scenariul I).

Admitem cea de-a doua ipoteză conform căreia, întreaga cantitate de deșeuri municipale care a fost eliminată spre depozitare în perioada 2006-2016, ar fi fost valorificată energetic spre biogaz.

Pornind de la cele două ipoteze, s-a estimat energia electrică care s-ar fi putut produce din biogazul obținut prin digestia anaerobă a acestor deșeuri. Au fost estimate emisiile de CO<sub>2</sub> echivalent care s-ar fi generat pentru producerea acestei energii electrice din surse convenționale.

Se cunoaște faptul că, pentru producerea unui MW energie electrică sunt necesare 22000 tone deșeuri [37]. Prin urmare, putem estima că din cele 1,335182 milioane tone deșeuri care s-ar fi eliminat prin valorificare energetică spre biogaz, s-ar fi putut obține aproximativ 60MW energie electrică. De asemenea se cunoaște faptul că pentru producerea unui kWh utilizând combustibili convenționali se emit în atmosferă 0,7 kg CO<sub>2</sub> echivalent [36]. Prin urmare, pentru producerea celor 60MWh din combustibili convenționali s-ar fi emis în atmosferă 369000 tone emisii de CO<sub>2</sub> echivalent.

Tabelul 5.5.1.1. Cantitate totală de emisii de CO<sub>2</sub> echivalent, scenariul A

Număr de MW [kWh]	Cantitate CO <sub>2</sub> emisă /1 kWh produs din combustibili convenționali [kg]	Cantitate totală CO <sub>2</sub> emisă [ kg]
60 x 1000 x 8800 ore funcționare =528000000	0,7	369600000



**Scenariul B**

În cazul în care se iau în considerare alte ipoteze considerând că, cantitatea de deșeuri ar fi eliminată spre depozitare a fost în conformitate cu angajamentele asumate de România privind gestionarea deșeurilor pentru perioada 2006-2016. Pornim de la faptul că, cantitatea de deșeuri eliminată spre depozitare în anul 2006 a fost de 5,235182 milioane tone și considerăm cantitatea ce ar fi trebuit depozitată în 2016 ca fiind 1,68 milioane tone. Prin urmare, cantitatea de deșeuri care ar fi trebuit reciclată sau valorificată energetic ar fi fost de de 3,555182 milioane tone. Dacă păstrăm același raționament, rezultă că, în ipoteza în care această cantitate s-ar fi eliminate spre producerea de biogaz, constatăm că s-ar fi obținut aproximativ 161 MW energie electric.

Prin urmare, pentru producerea celor 161MWh din combustibili convenționali s-ar fi emis în atmosferă 991760 tone emisii de CO<sub>2</sub> echivalent. Pentru cei 161 MW se degajă 991760 tone emisii de CO<sub>2</sub> echivalent.

Tabelul 5.5.1.2. Cantitatea totală de emisii de CO<sub>2</sub> echivalent, scenariul B

Număr de MW potențiali produși, [kWh]	Cantitate CO <sub>2</sub> degajată din arderea combustibililor convenționali pentru producerea 1 kWh, [kg]	Cantitate totală CO <sub>2</sub> degajată [ kg]
161 x 1000 x 8800 ore functionare =1416800000	0,7	991760000

Putem deci concluziona că, prin producerea de energie regenerabilă din biogazul rezultat din digestia anaerobă a deșeurilor municipale (ce nu ar fi fost eliminate prin depozitare ci prin valorificarea acestora spre biogaz), s-ar fi putut reduce o cantitate importantă de emisii de gaze cu efect de seră.

Astfel, în ipoteza neconformării cu cerințele europene privind depozitarea deșeurilor din perioada de preaderare și aderare a României la UE, în perioada 2006-2016, s-ar fi putut evita emisia în atmosferă a 369000 tone CO<sub>2</sub> echivalent.

De asemenea, în cazul conformării cu cerințele privind depozitarea deșeurilor din perioada de preaderare și aderare a României la UE, s-ar fi putut evita emisia în atmosferă a 991760 tone CO<sub>2</sub> echivalent.

Datele obținute au fost centralizate în tabelul 5.5.1.3., acestea reflectă avantajele valorificării energetice a deșeurilor spre biogaz.

Se observă că, în cazul conformării cu cerințele europene privind reducerea cantității de deșeuri eliminate spre depozitare și în ipoteza valorificării energetice a acestora spre biogaz, s-ar obține 161 MW energie electrică din biogaz. Aceasta ar contribui la conformarea cu țintele fixate în legislația europeană și națională privind producerea de energie din surse regenerabile-biomasă. Prin Planul Național de Acțiune în Domeniul Energiei din Surse Regenerabile [20] România și-a asumat obligația de a produce 160 MW energie electrică din biomasă [20]. Această energie, s-ar fi putut obține din biogaz prin valorificarea energetică a deșeurilor.

De asemenea, se constată că prin producerea energiei electrice prin valorificarea energetică a biogazului se reduc considerabil emisiile de GES față de situația în care această energie este produsă din combustibili convenționali.

Tabel 5.5.1.3. Avantajele valorificării energetice a deșeurilor spre biogaz

	Cantitatea de deșeuri municipale ipotetic dirijată pentru valorificarea energetică spre biogaz [milioane tone]	Energia electrică produsă din biogaz [MW]	Cantitatea de CO <sub>2</sub> echivalent redusă [tone]
ipoteza neconformării cu cerințele europene	1,335182	60	369 000 tone
ipoteza conformării cu cerințele europene	3,555182	161	991760 tone

### 5.5.2. Analiza critică a potențialului de reducere a emisiilor de CO<sub>2</sub> prin valorificarea energetică a deșeurilor spre biogaz pentru perioada 2017-2035

Această analiză va fi realizată pornind de la două ipoteze privind la modalitatea în care se pot gestiona deșeurile în România în perioada 2017-2035.

#### Scenariul C

Prima ipoteză pornește de la scenariul pesimist în care se consideră că, cantitatea de deșeuri care a fost eliminată spre depozitare în 2016, va rămâne constantă până în anul 2035.

Aceasta înseamnă că nu se vor elimina deșeuri prin valorificarea energetică spre biogaz și deci nu se va produce energie regenerabilă prin valorificarea energetică a biogazului rezultat prin digestia anaerobă a deșeurilor în instalații de biogaz. Cu alte cuvinte, nu se va putea salva nici o tonă de CO<sub>2</sub> echivalent.

Admitem cea de-a doua ipoteză, conform căreia, cantitatea de deșeuri care a fost eliminată spre depozitare în perioada 2017-2035 va scădea de la 3,9 milioane tone (ceea ce înseamnă estimarea cantității de deșeuri depozitate în 2016, la 480000 tone deșeuri, (ceea ce corespunde țintelor fixate prin noua directivă[145]).

Prin urmare, cantitatea de deșeuri eliminată prin depozitare, ar fi redusă cu 3,42 milioane tone deșeuri. Pornind de la cea de-a doua ipoteză, se estimează energia electrică care s-ar produce din biogazul obținut prin digestia anaerobă a acestor deșeuri. De asemenea, se estimează cantitatea de emisii de CO<sub>2</sub> echivalent ce s-ar fi generat pentru producerea acestei energii electrice din surse convenționale.

Valorificând energetic aceste deșeuri în instalații de biogaz, s-ar putea produce aproximativ 156 MW și deci s-ar putea evita emisiile în atmosferă a 960960 tone emisii de CO<sub>2</sub> echivalent.



Tabelul 5.5.1.4. Cantitate totală de emisii de CO<sub>2</sub>, scenariul C

Număr de MW potențiali produși, [kWh]	Cantitate CO <sub>2</sub> degajată din arderea combustibililor convenționali pentru producerea 1 kWh, [kg]	Cantitate totală CO <sub>2</sub> degajată [ kg]
156 x 1000 x 8800 ore funcționare =1372800000	0,7	960960000

Concluzia este că, în ipoteza în care s-ar trece la conformarea cu legislația europeană în domeniul gestionării deșeurilor până în anul 2035 și dacă eliminarea deșeurilor se va realiza prin valorificarea energetică a acestora spre biogaz, s-ar putea produce 156 MW energie electrică verde din biogaz. Gavrilă [148] consideră că biomasa, inclusiv deșeurile organice „sunt neutre din punct de vedere a bioxidului de carbon” [148]. Astfel, se poate evita folosirea combustibililor convenționali pentru producerea a 156 MW și se poate evita eliminarea în atmosferă a 960960 t CO<sub>2</sub> echivalent. În felul acesta se contribuie la conformarea cu țintele fixate în legislația europeană și națională privind producerea de energie din biomasă ca sursă regenerabilă.

## **6. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE**

În cadrul tezei de doctorat, au fost realizate următoarele activități:

### **6.1. Identificarea scopului și obiectivului tezei**

Cercetările realizate contribuie la identificarea de soluții pentru promovarea și susținerea valorificării energetice a biomasei, în primul rând a deșeurilor organice, pentru obținerea de biogaz. Aplicarea soluțiilor identificate poate contribui la reducerea poluării mediului înconjurător prin gestionarea corespunzătoare a deșeurilor organice și reducerea gazelor cu efect de seră.

### **6.2. Studiarea cadrului legislativ la nivel mondial și național**

Legislația existentă la nivel mondial, european și național referitoare la dezvoltarea durabilă, schimbări climatice, energie regenerabilă, biomasă, gestionarea deșeurilor, economia circulară, stabilește obiective cuantificabile pentru reducerea impactului activităților economice asupra mediului.

Au fost create mecanisme economice și sunt încurajate cercetări tehnologice pentru atingerea obiectivelor stabilite în vederea reducerii impactului activităților economice asupra mediului, în special pentru reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră.

România a transpus legislația în domeniu asumându-și obligațiile internaționale și mai ales cele europene. A stabilit strategii și planuri de implementare, însă sunt întârzieri în punerea în practică a acestora. Un exemplu este aplicarea Planului Național de Acțiune pentru Energie Regenerabilă (PNAER)[20]. Prin acest act normativ România a stabilit ca, până în anul 2016, să producă 160 MW, iar până în 2020, 195 MW electrici produși din biogaz. În prezent nu sunt atinse obiectivele aferente anului 2016. Conform ANRE, există 15 centrale de cogenerare pe biogazul provenit din biomasă (diverse culturi lemnoase și energetice, deșeurii animale, porumb, deșeurii păsări, gaz de fermentare a nămolurilor din instalațiile de ape uzate), cu mult mai puține în comparație cu țările europene.

Un alt exemplu de întârziere în aplicarea legislației europene este în domeniul gestionării deșeurilor. Există deja întârzieri față de prevederile Planului Național de Gestionare a Deșeurilor (PNGD) și există riscul ca acesta să nu poată fi implementat conform termenelor asumate. Spre exemplu, obligația de a reduce considerabil depozitarea deșeurilor municipale biodegradabile până în 2020, (cu derogare) riscă să nu se poată realiza. În prezent, conform PNGD, sunt generate 4,8 milioane tone de deșuri municipale biodegradabile. Respectarea procentului de depozitare asumat de 35% ar însemna ca la final în 2020, în depozitele de deșuri, să ajungă doar 1,68 milioane tone. Prin urmare, diferența de 3,12 milioane tone, trebuie să fie reciclată sau valorificată energetic. Infrastructura creată în prezent în vederea reciclării sau valorificării energetice a deșeurilor este insuficientă, iar mecanismele și mijloacele de colectare și sortare a deșeurilor nu asigură realizarea țintelor asumate.

Pentru recuperarea întârzierilor în implementarea PNAER și a PNGD este recomandat să se aplice scheme de sprijin pentru subvenționarea producerii de energie electrică și termică din biomasă.

După cum am arătat, cantitățile de deșeuri organice, nămolul din stațiile de epurare, deșeuri vegetale din agricultură, dejecțiile animaliere, pot constitui materii prime pentru co-digestia anaerobă, în anumite substraturi, în instalații de biogaz și producerea de energie verde. Prin valorificarea energetică a biogazului obținut astfel, se vor reduce considerabil emisiile de gaze cu efect de seră și se va atinge obiectivul asumat de țara noastră, acela ca până în 2020 să se realizeze 195 MW energie electrică din biomasă.

Fondurile necesare pentru acordarea acestor subvenții pot fi constituite din sumele încasate de România din vânzarea certificatelor de emisii. Conform legislației existente, acestea pot fi utilizate numai pentru proiecte prin care se demonstrează că sunt reduse emisiile de gaze cu efect de seră, ori acest lucru este evident în cazul valorificării deșeurilor spre biogaz.

### **6.3. Studiarea unui număr reprezentativ de referințe bibliografice din fluxul actual al cunoașterii din România și de la nivel mondial**

Au fost studiate lucrări din literatura de specialitate din România și dintre cele de la nivel mondial.

În urma studierii acestor referințe, se desprind concluziile următoare:

#### **❖ referitor la procesul de digestie anaerobă a deșeurilor organice:**

-îmbunătățirea procesului de digestie anaerobă a deșeurilor organice prin co-fermentare cu alte tipuri de deșeuri este în continuă investigare.

-co-digestia deșeurilor organice cu dejecțiile animaliere are un efect pozitiv asupra procesului de producere biogaz, deșeurile alimentare reprezintă o materie primă foarte bună pentru producerea de biogaz având un randament ridicat.

-procesul de digestie anaerobă a deșeurilor organice poate fi intensificat prin aplicarea diferitelor metode de pretratere a substratului [51], pretraterea intensifică procesul de producere biogaz.

- procesul de digestie anaerobă a deșeurilor organice poate fi îmbunătățit prin adăugarea de oligoelemente

#### **❖ referitor la procesul de digestie anaerobă a nămolurilor**

-procesul de digestie anaerobă a nămolului ca substrat principal are randament redus, dar acesta poate fi îmbunătățit prin adăugarea diferitelor tipuri de deșeuri în calitate de co-substraturi;

-adăugarea altor tipuri de deșeuri în procesul de digestie anaerobă a deșeurilor cum ar fi deșeurile alimentare, reziduurile agroindustriale și dejecțiile animaliere duc la îmbunătățirea procesului de digestie și la creșterea producției de biogas, fără a afecta funcționarea digestoarelor din cadrul stațiilor de epurare și, probabil, fără a necesita instalații suplimentare;

-nu sunt recomandate aplicarea de tehnologii de pretratere, mai ales a celor termice și mecanice, deoarece acestea implică costuri ridicate, atât de capital, cât și de operare [65], iar unele metode duc la coroziune (de exemplu pretraterea chimică), iar altele au consumuri ridicate de energie electrică (de exemplu cele cu ultrasunete) [65];

-procesul de digestie anaerobă a nămolului poate fi îmbunătățit cu soluții suplimentare de oligoelemente în timpul procesului. Astfel producția de metan din digestia nămolului crește cu 56% după adăugarea a 5% olivină și 1,5 mg/l Ni/Co;  
 -trecerea de la un regim de temperaturi mezofil la cel termofil poate îmbunătăți producția de biogaz;  
 -testele de laborator au demonstrat că adaugarea de deșeuri alimentare în instalațiile de biogaz, ce funcționează cu nămol ca substrat principal, are un efect pozitiv. Prin adăugarea deșeurilor alimentare în amestecul de nămol primar și activ, se poate chiar dubla producția de biogaz.

❖ **c) referitor la procesul de digestie anaerobă a dejecțiilor animaliere ca substrat principal**

-digestia simultană a dejecțiilor animaliere cu alte tipuri de deșeuri, în diferite proporții, are un efect benefic asupra procesului de digestie;  
 -procesul co-digestiei a dejecțiilor animaliere și a deșeurilor agro-industriale duce la creșterea producției de biogaz și poate fi îmbunătățit prin trecerea la un regim de operare de temperaturi mai mari;  
 -instalațiile de biogaz cu digestie anaerobă a dejecțiilor animaliere ca substrat principal pot funcționa și cu adaos simultan de deșeuri organice, nămoluri, ape uzate cu încărcătură organică mare provenite din industria alimentară, deșeuri alimentare, dar este importantă realizarea preamestecului acestora pentru a crește producția de biogaz.

#### **6.4. Identificarea unor elemente valoroase legate de posibilitatea valorificării deșeurilor în economia circulară**

Producerea de energie electrică și termică în CHP este procedeul cel mai cunoscut de valorificare energetică a biomasei în instalațiile de biogaz. Energia electrică este furnizată în SEN, energia termică poate fi folosită pentru încălzire și răcire.

Utilitatea biogazului în transport sau injectarea acestuia în SEN este o altă modalitate eficientă de utilizare a biogazului ceea ce poate contribui la atingerea obiectivelor europene referitoare la utilizarea biocombustibililor în transporturi.

În cadrul tezei de doctorat au fost prezentate patru exemple de bune practici din România cu privire la instalații de biogaz, care produc energie electrică și termică la Filipeștii de Pădure, Seini, Săcuieni, și Stația de epurare ape uzate Glina București.

Prezentarea acestor proiecte de succes a fost realizată cu scopul de a demonstra că în România există suficientă expertiză tehnică pentru promovarea, proiectarea, realizarea și operarea instalațiilor de biomasă astfel încât digestia anaerobă a deșeurilor organice să se realizeze în instalațiile de biogaz la parametrii optimi.

➤ **Instalația de biogaz de la Filipeștii de Pădure** asigură o simbioză între două companii private. Deșeurile industriale provenite din procesul de producție de fabricare a preparatelor din carne și apele uzate încărcate organic, produse de CrisTim SA, sunt valorificate în instalația de biogaz de la Genesis Biopartner. La acestea se adaugă și alte deșeuri organice, produse expirate de la lanțurile mari de magazine, în co-substrat cu siloz produs pe terenul deținut de proprietarul instalației de biogaz. Genesis Biopartner furnizează către CrisTim, aburul necesar procesului tehnologic, la un preț mai mic. Avantajele acestei simbioze sunt de

#### 6.4 - Identificarea unor elemente valoroase legate de posibilitatea valorificării deșeurilor 117

ambele părți. CrisTim are avantajul asigurării gestionării corespunzătoare a deșeurilor cu costuri foarte mici (cheltuielile de transport și eliminare a deșeurilor organice). De asemenea și-a redus (chiar eliminat) cheltuielile pentru epurarea apelor industriale, eliminând costurile de operare a stației de epurare. SC CrisTim beneficiază de abur tehnologic de la instalația de biogaz la un preț mult mai mic. Toate aceste beneficii duc la creșterea competitivității fabricii de mezeluri de la CrisTim. De cealaltă parte, Genesis Biopartner are asigurată o parte din materia organică necesară procesului de digestie anaerobă, reducând cantitatea de siloz necesară în instalația de biogaz și deci economisind astfel resurse financiare pentru obținerea acestuia. Proprietarul instalației de biogaz, recuperează o parte din cheltuielile de producție prin valorificarea energiei termice către CrisTim. Cele două companii se dezvoltă durabil și își creează imaginea de companie cu grijă față de mediul înconjurător. Aceste reduceri de cheltuieli cresc competitivitatea celor doi agenți economici. De asemenea, aceștia contribuie la efortul de reducere a poluării și a reducerii gazelor cu efect de seră responsabile de schimbările climatice.

➤ **Instalația de biogaz de la Săcuieni, județul Bihor** este al doilea exemplu de bune practici studiat. În cadrul proiectului, s-a creat o simbioză între fermierii din sectorul zootehnic și autoritățile locale. Dejecțiile și deșeurile provenite din activitatea de creștere a animalelor în fermele de pe raza comunelor Săcuieni și Diosig, sunt valorificate în co-digestie cu siloz, în instalația de biogaz de la Săcuieni, instalație ce aparține Consiliului Județean Bihor.

Se asigură astfel un management corespunzător al acestor deșeuri prin evitarea aplicării pe sol a dejecțiilor și deci conformarea la legislația de mediu. Energia electrică produsă este trimisă în rețeaua SEN, iar în compensație este furnizată energia electrică necesară pentru Primaria Săcuieni, Diosig și pentru Consiliul Județean Bihor.

➤ **Instalația de biogaz de la Seini** este cel de-al treilea exemplu prezentat în cadrul tezei. Aici s-a creat o simbioză între agenții economici ce dețin complexe de creștere a animalelor (suine, pasari, bovine) și autoritatea locală din Seini.

Beneficiile sunt de ambele părți: agenții economici se conformează cu legislația privind gestionarea deșeurilor cu costuri foarte mici (cele de transport al deșeurilor), iar Primaria Seini a eliminat o problemă reală pe care o avea comunitatea locală și anume disconfortul cauzat de mirosurile provenite de la depozitele de deșeuri animaliere. A fost eliminat și riscul de poluare cu nitrați a pânzei freactice și a apelor subterane. În plus, energia electrică produsă în instalațiile de biogaz este folosită pentru iluminatul public, furnizarea de curent electric pentru primărie și clădirile aparținând acesteia: școala, etc. De asemenea energia termică este utilizată pentru asigurarea încălzirii acestor clădiri aparținătoare autorității publice locale.

➤ **Instalația de biogaz aparținând Veolia SA** reprezintă o soluție de eliminare a nămolului primar și biologic de la stația de epurare Glina din București și de reducere a costurilor de operare a epurării apelor uzate. Prin realizarea unei producții medii de energie electrică prin valorificarea biogazului, între 50...70 MWh/zi, se asigură o parte din consumul propriu al stației de epurare ape uzate de la Glina, ceea ce constituie calea spre asigurarea unei independențe energetice. De asemenea, sunt reduse semnificativ emisiile de gaze cu efect de seră care s-ar produce prin descompunerea aerobă a nămolului depozitat în depozitul de deșeuri. Totodată se demonstrează, prin realizarea acestei instalații de biogaz, preocuparea

companiei care operează stația de epurare de la Glina pentru protejarea mediului înconjurător

### **6.5. Sistematizarea unor exemple din străinătate**

Cercetarea efectuată și exemplele analizate la nivel european au avut ca scop diseminarea unor rezultate obținute deja, rezultate care au demonstrat eficiența soluțiilor aplicate.

Au fost studiate și sistematizate experiențele de producere a biogazului prin digestie anaerobă în Suedia (Vasteras, LInkoping), Anglia (Ludlow) și Elveția (Otelfingen) prin digestia anaerobă a deșeurilor organice ca substrat principal.

Instalații de biogaz ce funcționează cu nămol ca substrat principal studiate au fost cele din Elvetia(Frutigen), Italia(Viareggio, Treviso) Slovacia (Valenje), Suedia (Boden, Henriksdal Stockholm), Germania (Garching/Alz).Toate aceste instalații de biogaz sunt folosite pentru gestionarea nămolurilor din stațiile de epurare. Procesul de digestie anaerobă a nămolului este unul cu randament scăzut, de aceea este absolut necesară adăugarea în co-digestie de deșeuri organice alimentare.

Instalații de biogaz care funcționează cu dejectii animaliere ca substrat principal sistematizate sunt cele din Suedia (Alviksgarden, Bjuv, Hagavik), Danemarca (Linko Gaz. Lemvig) și din Italia (Gorizia).

Biogazul produs în aceste instalații a fost valorificat pentru producerea energiei electrice și termice dar s-a constatat că încurajarea producerii de biogaz în instalații de biogaz, transformarea metanului în biometan și utilizarea în transport poate reprezenta o soluție pentru îmbunătățirea calității aerului, soluție aplicată deja cu succes în alte țări europene.

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

În cadrul părții experimentale au fost realizate teste și analize de laborator pentru mai multe combinații utilizând materiale de proveniență cerealiară, industrială, respectiv ape uzate provenind din domeniul industrial respectiv orășenesc.

Determinările au fost realizate utilizând o instalație de mici dimensiuni cu volume totale de 5l, respectiv o instalație pilot brevetată pentru obținerea biogazului din biomasă - Brevet de invenție numărul 122047, "Procedeu și Instalație pentru obținerea biogazului din biomasă".

O parte din determinările experimentale au fost realizate în cadrul proiectului de cercetare cu titlul „Valorificarea potențialului energetic al reziduurilor agro-industriale prin procese de biodegradare și arderea catalitică a biogazului rezultat”, contract de finanțare nr PN-II-RU-TE-2014-4-1043, număr contract 65/01.10.2015.

În urma realizării determinărilor experimentale s-a constatat că, la scară de 5l, materialele testate au produs cantități de biogaz cu conținut redus de metan, fapt care nu a necesitat continuarea determinărilor experimentale la scară de pilot.

Pentru materialele degradate cerealiere s-au utilizat combinații cu ape uzate provenind de la o fabrică de bere, respectiv de la o uzină de epurare, ambele localizate în Timișoara. Rezultatele au identificat potențialul de producere a biogazului atât calitativ cât și cantitativ la scară de pilot.

Din punct de vedere cantitativ, cele mai ridicate valori s-au obținut la șarja cu porumb degradat și apă uzată de la fabrica de bere, anume peste 20 m<sup>3</sup>, în timp ce valoarea cea mai mică obținută a fost pentru șarja cu porumb degradat și apă uzată de la uzina de epurare – în acest caz biogazul produs a fost sub 15 m<sup>3</sup>.

Din punct de vedere calitativ, cea mai ridicată valoare se identifică pentru șarja cu orz degradat și apă uzată de la uzina de epurare, anume circa 80%, în timp ce minimul a fost înregistrat pentru șarja cu orz degradat și apă uzată de la fabrica de bere.

Ținând cont de argumentele prezentate în cursul părții descriptive, se poate menționa faptul că, diferite sorturi de material cereal degradat sunt compatibile cu diferite substratate lichide, provenite din surse diverse.

Se poate deduce astfel că, pentru anumite condiții și materiale alese, procesul poate să se inhibe deoarece există incompatibilități între materialele alese. Această lucruri a fost observat la scară de 5l, acolo unde un conținut ridicat de zaharuri prezent în melasă a dus la trecerea unei fermentații în domeniul alcoolic, compromițând procesul de producere a biogazului.

Analizele de laborator au identificat modificări în compoziția conținutului de cenușă, cu impact direct asupra posibilităților de utilizare ulterioară a materialului rămas, după uscare în prealabil, în procese de ardere. Se poate determina astfel că, pentru ape uzate cu un conținut ridicat de suspensii solide, conținutul ridicat de cenușă duce la imposibilitatea folosirii acestora în scopul incinerării.

De asemenea, este importantă utilizarea unei soluții pentru corecția de pH care să nu aibă influență asupra creșterii conținutului de cenușă. O suspensie pe bază de carbonat de calciu va avea un impact direct asupra creșterii conținutului de cenușă, în timp ce utilizarea unei soluții ce conține amoniac 20% concentrat sau sodă caustică concentrație 1% nu va modifica conținutul final de cenușă pentru materialul rezidual rămas după proces.

Ca o concluzie generală, se poate determina faptul că șarja conținând orz degradat și apă uzată de la uzina de epurare acoperă cel mai bine atât aspectul calitativ cât și cel cantitativ al biogazului produs, raportat la celelalte șarje testate.

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

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

A fost de asemenea calculat, pentru perioada următoare până în anul 2035, cantitățile de gaze cu efect de seră emise în atmosferă, gaze de depozit rezultate în urma eliminării deșeurilor prin depozitare, în situația conformării și în cea a neconformării față de țintele stabilite de UE.

Analiza comparativă a cantităților de emisii de CH<sub>4</sub> și CO<sub>2</sub>, calculate cu ajutorul modelului LandGEM pentru scenariul I și II arată că, cantitățile de emisii s-au dublat în cazul scenariului neconformării față de scenariul conformării totale.

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

Scenariul III a fost considerat scenariul în care se va reduce cantitatea de deșeuri eliminată spre depozitare până la atingerea țintelor fixate pentru 2035.

Scenariul IV a fost considerat scenariul în care se menține și în 2035, cantitatea de deșeuri eliminată spre depozitare la nivelul celei din prezent. Se observă că, cantitatea de CH<sub>4</sub> care se emite în atmosferă prin depozitarea deșeurilor fără respectarea angajamentelor europene în domeniu, este de 2,423 ori mai mare decât în cazul respectării acestor obligații asumate.

În concluzie, respectarea angajamentelor europene asumate de România în domeniul depozitării deșeurilor privind reducerea cantităților de deșeuri eliminate spre depozitare este impetuos necesară, realizându-se astfel o importantă reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră eliminate în atmosferă. Astfel se evită descompunerea aerobă a deșeurilor biodegradabile în depozitele de deșeuri cu producerea de gaze cu efect de seră, CH<sub>4</sub> și CO<sub>2</sub>.

De asemenea rezultatele analizelor realizate prin diversele scenarii au aratat faptul că în perioada 2006-2016 s-ar fi putut preveni eliminarea în atmosferă a emisiilor de gaze de depozit din depozitele de deșeuri a 154853 tone CH<sub>4</sub> și a 345361 tone CO<sub>2</sub>.

Prin valorificarea energetică spre biogaz a deșeurilor s-ar fi obținut 161 MW energie electrică din surse convenționale fiind astfel atinsă ținta asumată în PNAR [23] privind promovarea energiei regenerabile din biomasă. Prin realizarea acestui angajament s-ar fi evitat eliminare în aer a 9981760 tone CO<sub>2</sub> care au fost emiși în atmosferă ca urmare a arderii combustibililor convenționali necesari pentru producerea celor 161 MW.

Prin depozitarea necorespunzătoare a deșeurilor și prin nerealizarea angajamentelor asumate privind promovarea producerii energiei regenerabile din biomasă, rezultă că, au fost emise în atmosferă în cei zece ani, 4589034 tone CO<sub>2</sub> echivalent, adică 4589,034 kt CO<sub>2</sub> echivalent.

Putem, deci, estima că reducerea medie anuală a emisiilor de CO<sub>2</sub> echivalent ar fi fost de 458,90kt. Conform [137], emisiile de gaze cu efect de seră generate în sectorul deșeurilor în 2014 „au reprezentat 5756,73 kt echivalent CO<sub>2</sub>” reprezentând 5,15% din totalul emisiilor GES. Prin urmare dacă România ar fi respectat angajamentele asumate privind reducerea depozitării deșeurilor și valorificând energetic deșeurile spre biogaz, s-ar fi putut reduce cantitatea de CO<sub>2</sub> echivalent, în anul 2014 spre exemplu, la 5756,73-458,9 =5297,83 kt ceea ce ar reprezenta 4,73%, adică o reducere cu 0,41%.

Analiza critică privind potențialul de reducere a emisiilor de CO<sub>2</sub> prin conformarea cu țintele stabilite pentru perioada 2017-2035 privind eliminarea deșeurilor spre depozitare, a demonstrate că, cantitatea de CH<sub>4</sub> care s-ar putea evita să fie emisă în atmosferă este 882690 tone iar cea de CO<sub>2</sub> este de 1981600 tone .

Prin valorificarea energetică a deșeurilor spre biogaz conform țintelor asumate la nivel European, în perioada următoare pot fi obținuți 156 MW energie electrică din surse convenționale contribuindu-se la respectarea obligațiilor României privind promovarea energiei regenerabile din biomasă. Totodată s-ar putea evita emisiile a 960960 tone CO<sub>2</sub> echivalent prin producerea de energie electrică din biogaz prin dirijarea deșeurilor de la depozitare spre valorificarea spre biogaz.



Realizând conversia  $\text{CH}_4$  în  $\text{CO}_2$  echivalent și cumulând datele, rezultă că poate fi evitată eliberarea în atmosferă a 2147050 tone  $\text{CO}_2$  echivalent adică a 21479,050kt  $\text{CO}_2$ .

În concluzie eliminarea deșeurilor prin valorificare energetică spre biogaz este o soluție a cărei aplicare are avantaje foarte mari privind protejarea mediului înconjurător prin reducerea gazelor cu efect de seră.

### **6.8. Propuneri privind direcțiile de acțiune pentru reducerea poluării mediului înconjurător prin valorificarea energetică a deșeurilor pentru obținerea de biogaz**

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

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

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

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

❖ Evaluarea emisiilor de gaze cu efect de seră pentru diverse scenarii, raportat la respectarea angajamentelor asumate de România privind gestionarea deșeurilor și promovarea producerii de energie din surse regenerabile și argumentarea faptului că valorificarea energetică a deșeurilor spre biogaz este o soluție a cărei aplicare ar contribui la reducerea poluării mediului înconjurător.

❖ Realizarea de propuneri pentru direcțiile de acțiune pentru stimularea valorificării energetice a biomasei pentru obținerea de biogaz. Aceste direcții sunt:

- promovarea producerii de energie electrică și termică din deșeuri organice prin asigurarea de ajutoare de stat pentru producătorii de energie sub forma unui tarif fix pentru energia produsă din biogazul provenit din valorificarea deșeurilor municipale, a dejecțiilor animaliere, a nămolurilor, a deșeurilor alimentare, a altor deșeuri provenite din agricultură;
- încurajarea îmbunătățirii calității metanului pentru a putea fi folosit drept combustibil și încurajarea utilizării folosirii metanului în transporturi. Această legislație ar crea condițiile pentru conformarea cu directivele europene prin care este stabilit ca, până în anul 2020, 10% din combustibilul utilizat în transporturi să fie biocombustibil;
- stabilirea standardelor privind calitatea digestatului rezultat în urma digestiei anaerobe în instalațiile de biogaz și stabilirea condițiilor pentru utilizarea acestuia ca fertilizant;
- stimularea utilizării digestatului ca fertilizant prin acordarea de stimulente producătorilor agricoli ce produc produse bio și utilizează

fertilizanți naturali care nu au impact negativ asupra mediului înconjurător;

- promovarea și dezvoltarea de proiecte de cercetare de transfer de tehnologii dinspre țările care au aplicat proiecte de valorificare deșeurilor spre biogaz și valorificarea biogazului pentru producerea de energie regenerabilă și pentru utilizarea acestuia ca, biocombustibili.

Prin cercetările efectuate și prin contribuția personală adusă în cadrul tezei de doctorat, a fost demonstrat faptul că tehnologiile de valorificare a biomasei spre biogaz, sunt soluții pentru reducerea poluării mediului înconjurător cauzată de gestionarea necorespunzătoare a deșeurilor organice și a celor rezultate din activitățile socio-economice

## BIBLIOGRAFIE

1. <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>
2. Hotărârea nr.1460/2008 pentru aprobarea Strategiei naționale pentru dezvoltare durabilă - Orizonturi 2013-2020-2030]
3. <http://www.agir.ro/buletine/130.pdf>- Mariana Ratiu - Protectia Mediului in contextul Dezvoltarii Durabile Ș.I. ing. Mariana RAȚIU,
4. Monitorul Oficial al Romaniei-Declaratia Mileniului
5. [https://www.mae.ro/sites/default/files/file/Europa2021/Strategia\\_Europa\\_2020.pdf](https://www.mae.ro/sites/default/files/file/Europa2021/Strategia_Europa_2020.pdf)- Comunicarea Comisiei -EUROPA 2020 O strategie europeană pentru o creștere inteligentă, ecologică și favorabilă incluziunii
6. [http://www.cdep.ro/afaceri\\_europene/afeur/2017/fi\\_2160.pdf](http://www.cdep.ro/afaceri_europene/afeur/2017/fi_2160.pdf)
7. [http://www.cdep.ro/camera\\_deputatilor/delegatii\\_parlamentare/Declaratie\\_ODD.pdf](http://www.cdep.ro/camera_deputatilor/delegatii_parlamentare/Declaratie_ODD.pdf)- Declaratia Parlamentului Romaniei privind Obiectivele Dezvoltarii Durabile
8. [http://www.cdep.ro/pls/legis/legis\\_pck.htm\\_act\\_text?id=14314](http://www.cdep.ro/pls/legis/legis_pck.htm_act_text?id=14314)- Legea 24/1994 pentru ratificarea Conventiei-cadru a Natiunilor Unite asupra schimbarilor climatic
9. [http://www.cdep.ro/afaceri\\_europene/afeur/2009/fi\\_429.pdf](http://www.cdep.ro/afaceri_europene/afeur/2009/fi_429.pdf)- Fisa de informare Lupta impotriva schimbarilor climatic
10. Hotărârea nr. 645/2005 pentru aprobarea Strategiei naționale a României privind schimbările climatice - 2005-2007
11. Hotărârea nr. 739/2016 pentru aprobarea Strategiei naționale privind schimbările climatice și creșterea economică bazată pe emisii reduse de carbon pentru perioada 2016-2020 și a Planului național de acțiune pentru implementarea Strategiei naționale privind schimbările climatice și creșterea economică bazată pe emisii reduse de carbon pentru perioada 2016-2020
12. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=LEGISSUM%3A127062> - Green Paper: A European strategy for sustainable, competitive and secure energy
13. [www.cdep.ro/afaceri\\_europene/CE/2010/COM\\_2010\\_639\\_RO\\_ACTE\\_f3.doc](http://www.cdep.ro/afaceri_europene/CE/2010/COM_2010_639_RO_ACTE_f3.doc), Energie 2020 Strategie pentru o energie competitivă, durabilă și sigură
14. Jurnalul Oficial al Uniunii Europene-Directiva 2009/28/CE a Parlamentului European și a Consiliului

15. Plan de Acțiune pentru biomasa-[COM (2005) 628 final]  
[http://europa.eu.int/comm/energy/res/biomass\\_action\\_plan/green\\_electricity\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/energy/res/biomass_action_plan/green_electricity_en.htm)
16. Energiile regenerabile în secolul XXI: construirea unui viitor mai durabil” [COM (2006) 848]
17. E.G.A.Forbes ,R.J.Olave,C.R.Johnston, J.D.Browner,J Relf,Biomass and bio-energy utilization in a farm-based combined heat and power facility, , Biomass and Bioenergy, Journal homepage:hppt://www.elsevier.com/locate/biombioe volume 89 ,june 2016 ISSN 0961-9534
18. Ordonanța de Urgență a Guvernului nr. 88/2011 privind modificarea și completarea Legii nr. 220/2008 pentru stabilirea sistemului de promovare a producerii energiei din surse regenerabile de energie - publicată în Monitorul Oficial al României nr. 736 din data de 19 Octombrie 2011
19. Ordin privind aprobarea Metodologiei de stabilire a cotelor anuale de achiziție a certificatelor verzi-Monitorul Oficial 799/2011
20. Planul National de Actiune în Domeniul Energiei din Surse Regenerabile P.N.A.E.R prin HG nr 122/ 25-02-2015 si publicat in MO nr 169 din 11-03-2015.
21. Hotărârea nr. 935/2011 privind promovarea utilizării biocarburanților și a biolichidelor M.Of. al României- 10 noiembrie 2011
22. Hotărârea nr. 1069/2007 privind aprobarea Strategiei energetice a României pentru perioada 2007-2020 în M.Of. al României- 19 noiembrie 2007
23. Planul National de Actiune în Domeniul Energiei din Surse Regenerabile P.N.A.E.R. 2014-2020- text integral aici. A fost adoptat prin HG nr 122/ 25-02-2015 si publicat in MO nr 169 din 11-032015
24. Flue gas cleaning of municipal solid waste incinerators, Mihai Reinhold WÄCHTER\*, Adriana Raluca WÄCHTER, **Lucia Ana VARGA**, Scientific Bulletin of the Politehnica University TIMISOARA, Vol. 60 (74) ISSN 1224 - 6077 Fasc. 1, 2016
25. COM (2015)614 final- Închiderea buclei - un plan de acțiune al UE pentru economia circulară[http://www.mmediu.ro/app/webroot/uploads/files/1\\_COM\\_%282015%29\\_614\\_final\\_%C3%8Einchiderea\\_buclei\\_un\\_plan\\_de\\_ac%C8%9Biune\\_al\\_UE\\_pentru\\_economia\\_circular%C4%83.pdf](http://www.mmediu.ro/app/webroot/uploads/files/1_COM_%282015%29_614_final_%C3%8Einchiderea_buclei_un_plan_de_ac%C8%9Biune_al_UE_pentru_economia_circular%C4%83.pdf)
26. Rolul valorificării energetice a deșeurilor în economia circulară COM (2017) 34 final <http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2017/RO/COM-2017-34-F1-RO-MAIN-PART-1.PDF>

27. Mukumba, P., Makaka, G., Mamphweli, S., Mutungwazi, A. - Anaerobic Co-digestion of Donkey Manure (DM) with Vegetable Waste (VW) for Optimum Biogas Production, 25 th European Biomass Conference and Exhibition, 12-15 June 2017, Stockholm, Sweden
28. A.E. Cioabla, I. Ionel, G.A. Dumitrel, M.D. Vasilescu - Comparative study concerning anaerobic fermentation of degraded cereals, 25 th European Biomass Conference and Exhibition, 12-15 June 2017, Stockholm, Sweden
29. HG nr. 942/20.12.2017 privind aprobarea Planului National de Gestionare a Deeurilor. Monitorul Oficial al Romaniei, 5 .01. 2018, Partea I, nr. 11 bis
30. Dominik Rutz, Rita Mergner and others - Benchmarking different treatment methods for organic municipal solid waste, 25 th European Biomass Conference and Exhibition, 12-15 June 2017, Stockholm, Sweden
31. ICEMENERG - Studiu privind evaluarea potentialului energetic actual; al surselor regenerabile de energie in Romania (solar, vant, biomas, microhidro, geotermal), [http://www.minind.ro/domenii\\_sectoare/energie/studii/potential\\_energetic.pdf](http://www.minind.ro/domenii_sectoare/energie/studii/potential_energetic.pdf)
32. <http://european-biogas.eu/2016/12/21/eba-launches-6th-edition-of-the-statistical-report-of-the-european-biogas-association/>
33. <http://www.big-east.eu/downloads/Final%20National%20Handbooks/BiGEast%20Handbook%20Romania.pdf>
34. Proiect Intelligent Energy Europe, BiogasINN, Consolidare de capacități pentru instituțiile finanțatoare, în ceea ce privește finanțarea proiectelor de biogaz agricol în România, Trinergi Group, Fraunhofer IWES, [http://www.biogasin.org/files/pdf/WP3/D.3.6.6\\_Trinergi\\_RO.pdf](http://www.biogasin.org/files/pdf/WP3/D.3.6.6_Trinergi_RO.pdf), accesat în data de 19.12.2016
35. JV Aktor, Athena, Reabilitarea stației de epurare a Municipiului București, etapa 1, proiect 2011 și SCANB SA, Rapoarte lunare
36. „Instalație pilot pentru producere biogaz și Platformă de depozitare și gospodărire a gunoiului de grajd și a deeurilor menajere – orașul Seini, județul Maramureș” - “Controlul Integrat al Poluării cu Nutrienți” INPC – Ministerul Mediului, proiect finanțat de Banca Internațională pentru Reconstrucție și Dezvoltare
37. Construirea unei capacități agricole de producție a energiei electrice din biogaz BIO 1- Genesis-Biotech SRL, Filipeștii de Pădure, Specificații tehnice și descriere funcțional

38. Cristinel Popescu, Horia Bardeanu, Ștefana Jurcoane- Variation of methan yield in a biogas plant by using different substrates
39. Horia-Matei Bardeanu, Cristinel-George Popescu, Ștefana Jurcoane- Maintaining and improving the trace elements parameters ratio of the microbial population in a biogas plant
40. Proiectul "Instalație pentru producerea energiei electrice prin valorificarea resurselor energetice regenerabile - biomasă, în localitatea Săcueni, județul Bihor" ,finanțat prin Programul Operațional Sectorial Creșterea Competitivității Economice 2007-2013
41. Elango, D.,Pulikesi, M.,Baskaralingam, P.,Ramamurthi, V.,Sivanesan, S.- Production of biogas from municipal solid waste with domestic sewage. *Journal of Hazardous Materials* 2007;141:301-304.
42. Fernandez, J.,Perez, M.,Romero, L.I.- Effect of substrate concentration on dry mesophilic anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste (OFMSW). *Bioresource Technology* 2008; 99:6075-6080.
43. Fernandez, J.,Perez, M.,Romero, L.I.- Kinetics of mesophilic anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste: Influence of initial total solid concentration. *Bioresource Technology* 2010; 101:6322-6328
44. Guendouz, J.,Buffiere, P.,Cacho, J.,Carrere, M.,Delgenes, J.-P.- Dry anaerobic digestion in batch mode: Design and operation of a laboratory-scale, completely mixed reactor. *Waste Management* 2010; 30:1768-1771.
45. Macias-Corral, M.,Samani, Z.,Hanson, A.,Smith, G.,Funk, P.,Yu, H.,Longworth, J.- Anaerobic digestion of municipal solid waste and agricultural waste and the effect of co-digestion with dairy cow manure. *Bioresource Technology* 2008; 99:8288-8293.
46. Zhang, R.,El-Mashad, H.,Hartman, K.,Wang, F.,Liu, G.,Choate, C.,Gamble, P.- Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. *Bioresource Technology* 2007; 98:929-935.
47. Forster-Carneiro, T.,Perez, M.,Romero, L.I- Thermophilic anaerobic digestion of source-sorted organic fraction of municipal solid waste. *Bioresource Technology* 2008; 99:6763-6770.
48. Bouallagui, H., Lahdheb, H.,Ben Romdan, E.,Rachdi, B.,Hamdi, M.- Improvement of fruit and vegetable waste anaerobic digestion performance and stability with co-substrates addition. *Journal of Environmental Management* 2009;90:1844-1849.
49. Ponsa, S.,Gea, T.,Sanchez, A.- Anaerobic co-digestion of the organic fraction of municipal solid waste with several pure organic co-substrates. *Biosystems Engineering* 2011; 108:352-360.

50. Pavi, S.,Kramer, L.E., Gomes, L.P., Miranda, L.A.S- Biogas production from co-digestion of organic fraction of municipal solid waste and fruit and vegetable waste. *Bioresource Technology* 2017; 228:362-367.
51. Ariunbaatar, J., Panico, A.,Esposito, G.,Pirozzi, F., Lens, P.N.L- Pretreatment methods to enhance anaerobic digestion of organic solid waste. *Applied Energy* 2014; 123:143-156.
52. Lopez Torres, M.,Espinosa Llorens, M.C.- Effect of alkaline pretreatment on anaerobic digestion of solid wastes. *Waste Management* 2008; 28:2229-2234.
53. Abudi, Z.N., Hu, Z., Sun, N.,Xiao, B.,Rajaa, N.,Liu, C.,Guo, D- Batch anaerobic co-digestion of OFMSW (organic fraction of municipal solid waste), TWAS (thickened waste activated sludge) and RS (rice straw): Influence of TWAS and RS pretreatment and mixing ratio. *Energy* 2016; 107:131-140
54. Ariunbaatar, J., Esposito, G.,Yeh, D.H., Lens, P.N.L.- Enhanced anaerobic digestion of food waste by supplementing trace elements: Role of selenium (VI) and iron (II). *Frontiers in Environmental Science* 2016;4.
55. Nordell, E.,Nilsson, B.,Nilsson Paedal, S.,Karisalmi, K.,Moestedt, J.- Co-digestion of manure and industrial waste – The effects of trace element addition. *Waste Management* 2016;4721-4727.
56. Monson, K.D.,Esteves, S.R.,Guwy, A.J.,Dinsdale, R.M.- Vasteras (Vaxtkraft) biogas plant. University of Glamorgan, 2007.
57. Held, J.Mathiasson, A.,Nylander, A.- Biogas from manure and waste products – Swedish case studies. Swedish Gas Association 2008.
58. Monson, K.D.,Esteves, S.R.,Guwy, A.J.,Dinsdale, R.M.- Ludlow (Greenfinch) trial scale kitchen waste treatment plant. University of Glamorgan, 2007.
59. Monson, K.D.,Esteves, S.R.,Guwy, A.J.,Dinsdale, R.M.- Kompogas biowastes treatment sites in Zurich – Otelfingen. University of Glamorgan, 2007.
60. Luostarinen, S.,Luste, S.,Sillanpaa, M- Increased biogas production at wastewater treatment plants through co-digestion of sewage sludge with grease trap sludge from a meat processing plant. *Bioresource Technology* 2009;100:79-85.
61. Noutsopoulos C, Mamais D,Antoniou K, Avramides C, Oikonomopoulos P,Fountoulakis I.- Anaerobic co-digestion of grease sludge and sewage sludge: The effect of organic loading and grease sludge content. *Bioresource Technology* 2013; 131:452-459.
62. Jensen, P.D.,Astals, S.,Lu, Y., Devadas, M.,Batstone, D.J.- Anaerobic codigestion of sewage sludge and glycerol, focusing on process kinetics, microbial dynamics and sludge dewaterability. *Water research* 2014; 67:355-366.

63. Maragkaki, A.E., Fountoulakis, M., Gypakis, A., Kyriakou, A., Lasaridi, K., Manios, T.- Pilot-scale anaerobic co-digestion of sewage sludge with agro-industrial by-products for increased biogas production of existing digesters at wastewater treatment plants. *Waste Management* 2017a; 59:362-370.
64. Maragkaki, A.E., Fountoulakis, M., Kyriakou, A., Lasaridi, K., Manios, T.- Boosting biogas production from sewage sludge by adding small amount of agro-industrial by-products and food waste residues. *Waste Management* 2017b. (in press)
65. Neumann, P., Pesante, S., Venegas, M., Vidal, G.- Developments in pre-treatment methods to improve anaerobic digestion of sewage sludge. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 2016; 15:173-211.
66. Bougrier, C., Delgenes, J.P., Carrere, H.- Effects of thermal treatments on five different waste activated sludge samples solubilisation, physical properties and anaerobic digestion. *Chemical Engineering Journal* 2008; 139:236-244.
67. Li, H., Li, C., Liu, W., Zou, S.- Optimized alkaline pretreatment of sludge before anaerobic digestion. *Bioresource Technology* 2012; 123:189-194.
68. Jin, Y., Li, H., Mahar, R.B., Wang, Z., Nie, Y.- Combined alkaline and ultrasonic pretreatment of sludge before aerobic digestion. *Journal of Environmental Sciences* 2009; 21:279-284.
69. Chi, Y.Z., Li, Y.Y., Fei, X.N., Wang, S.P., Yuan, H.Y.- Enhancement of thermophilic anaerobic digestion of thickened waste activated sludge by combined microwave and alkaline pretreatment. *Journal of Environmental Sciences* 2011; 23:1257-1265.
70. Kim, J., Yu, Y., Lee, C.- Thermo-alkaline pretreatment of waste activated sludge at low temperatures: Effects on sludge disintegration, methane production, and methanogen community structure. *Bioresource Technology* 2013; 144:194-201.
71. Zhen, G., Lu, X., Li, Y.Y., Zhao, Y.- Combined electrical-alkali pretreatment to increase the anaerobic hydrolysis rate of waste activated sludge during anaerobic digestion. *Applied Energy* 2014; 128:93-102.
72. Choong, Y.Y., Norli, I., Abdullah, A.Z., Yhaya, M.F.- Impacts of trace element supplementation on the performance of anaerobic digestion process: A critical review. *Bioresource Technology* 2016; 209:369-379
73. Edelman, W., Engeli, H., Gradenecker, M.- Co-digestion of organic solid waste and sludge from sewage treatment. *Water Science and Technology* 2000; 41:213-221.
74. Bolzonella, D., Battistoni, P., Susini, C., Cecchi, F.- Anaerobic codigestion of waste activated sludge and OFMSW: the experiences of Viareggio and Treviso plants (Italy). *Water Science and Technology* 2006; 53:203-211.



75. Cavinato, C., Bolzonella, D., Pavan, P., Fatone, F., Cecchi, F.- Mesophilic and thermophilic anaerobic co-digestion of waste activated sludge and source sorted biowaste in pilot- and full-scale reactors. *Renewable Energy* 2013; 55:260-265.
76. Zupancic, G.D., Uranjek-Zevart, N., Ros, M.- Full-scale anaerobic co-digestion of organic waste and municipal sludge. *Biomass and Bioenergy* 2008; 32:162-167.
77. Koch, K., Plabst, M., Schmidt, A., Helmreich, B., Drewes, J.E.- Co-digestion of food waste in a municipal wastewater treatment plant: Comparison of batch tests and full-scale experiences. *Waste Management* 2016; 47:28-33.
78. Amon, T., Amon, B., Kryvoruchko, V., Zollitsch, W., Mayer, K., Gruber, L.- Biogas production from maize and dairy cattle manure—Influence of biomass composition on the methane yield. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 2007; 118:173-182.
79. Alvarez, J.A., Otero, L., Lema, J.M.- A methodology for optimising feed composition for anaerobic co-digestion of agro-industrial wastes. *Bioresource Technology* 2010; 101:1153-1158
80. El-Mashad, H.M., Zhang, R.- Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste. *Bioresource Technology* 2010; 101:4021-4028.
81. Cavinato, C., Fatone, F., Bolzonella, D., Pavan, P.- Thermophilic anaerobic co-digestion of cattle manure with agro-wastes and energy crops: Comparison of pilot and full scale experiences. *Bioresource Technology* 2010; 101:545-550.
82. Giuliano, A., Bolzonella, D., Pavan, P., Cavinato, C., Cecchi, F.- Co-digestion of livestock effluents, energy crops and agro-waste: Feeding and process optimization in mesophilic and thermophilic conditions. *Bioresource Technology* 2013; 128:612-618.
83. Zhang, T., Liu, L., Song, Z., Ren, G., Feng, Y., Han, X., Yang, G.- Biogas production by co-digestion of goat manure with three crop residues. *PLoS ONE* 2013; 8:e66845.
84. Zhang, J., Loh, K.C., Lee, J., Wang, C.H., Dai, Y., Wah Tong, Y.- Three-stage anaerobic codigestion of food waste and horse manure. *Scientific Reports* 2017; 7:1269.
85. Mladenovska, Z., Hartmann, H., Kvist, T., Sales-Cruz, M., Gani, R., Ahring, B.K.- Thermal pretreatment of the solid fraction of manure: impact on the biogas reactor performance and microbial community. *Water Science and Technology* 2006; 53:59-67.

86. Wei, Y., Li, X., Yu, L., Zou, D., Yuan, H.- Mesophilic anaerobic co-digestion of cattle manure and corn stover with biological and chemical pretreatment. *Bioresource Technology* 2015; 198:431-436.
87. Ormaechea, P., Castrillon, L., Maranon, E., Fernandez-Nava, Y., Negral, L., Megido, L.- Influence of the ultrasound pretreatment on anaerobic digestion of cattle manure, food waste and crude glycerine. *Environmental Technology* 2016; 38:682-686
88. Passos, F., Ortega, V., Donoso-Bravo, A.- Thermochemical pretreatment and anaerobic digestion of dairy cow manure: Experimental and economic evaluation. *Bioresource Technology* 2017; 227:239-246.
89. Chiumenti, A., da Borso, F., Limina, S.- Dry anaerobic digestion of cow manure and agricultural products in a full-scale plant: Efficiency and comparison with wet fermentation. *Waste Management* 2017. (in press)
90. Kim, M., Li, D., Choi, O., Sang, B.I., Chiang, P.C., Kim, H.- Effects of supplement additives on anaerobic biogas production. *Korean Journal of Chemical Engineering* 2017. (in press)
91. **Varga, Lucia**; Cioabla, Adrian Eugen; Ionel, Ioana, Comparative Determination of Cofermentation Using Residual Waters for Biogas Production at Small Scale, *Revista de Chimie*, Volum: 67 Nr: 1 Pp: 174-176, 2016
92. Contribuții teoretice și experimentale privind producerea de biogaz din deșeurile de biomasă, Adrian Eugen Cioabla, Teză de doctorat, Ed. Politehnica, ISBN 978-973-625-968-5, 2009
93. Brevet de invenție numărul 122047, "Procedeu și Instalație pentru obținerea biogazului din biomasă"
94. Optimizarea valorificării potențialului energetic al deșeurilor pentru obținerea de energie curată în instalațiile industriale românești – OVAPED, Contract Nr. 282/2006.
95. www.hannainst.com, Pompe dozatoare BL3, Manual de utilizare.
96. Laza Ioan, Cioabla 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.
97. www.WTW.com, pH 330i, Manual de utilizare.
98. www.haug.ch, compresor într-o singură treaptă, cu răcire cu aer
99. www.pixsys.net, Pixsys ATR 141, Manual de utilizare.

100. [www.adelaida.ro](http://www.adelaida.ro), Termostat digital, AD-025V2DS-C, Manual de utilizare.
101. [www.hannainst.com](http://www.hannainst.com), Controller pH, BL 981411-0, Manual de utilizare
102. [www.hannainst.com](http://www.hannainst.com), Senzor pH, HI1210 B/5, Manual de utilizare.
103. [www.mru.de](http://www.mru.de), Delta 1600S-IV, Manual de utilizare.
104. **Lucia Ana Varga**, Daniela Radulescu & Radu Drobot, Roumanien national strategy for food risk management, River Basins-From Hydrological Science to Water Management, Kovacs Colloquium, UNESCO, Paris, June 2008
105. Raportul al Comisiei catre Parlamentul European, Consiliu, Comitetului Economic si Social European si Comitetul Regiunilor, Raport privind progresele înregistrate în domeniul energiei din surse regenerabile, Bruxelles, 1.2.2017 COM(2017) 57 final, <http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2017/RO/COM-2017-57-F1-RO-MAIN-PART-1.PDF> accesat în 15 iunie 2018
106. Cociasua, **L. Varga**, L. Laza ra, D. Vasiliu, Recent data concerning evolution of the eutrophication level indicators in Romanian seawater, Journal of Environmental Protection and Ecology 10, No 3, 701–731 (2009)
107. Notă tehnică privind potențialul culturilor energetice pentru energie regenerabilă, Ministerul Agriculturii și Dezvoltării Rurale pentru Consolidarea formulării strategiei pentru sectorul agroalimentar, file:///C:/Users/Hp/Desktop/05.Nota\_tehnica\_culturi\_energetice-cod-SMIS-39078.pdf accesa 20 iunie 2018
108. BiogasHeat –Manual,. Proiectul este sprijinit de Programul Energie Inteligentă pentru Europa al Uniunii Europene (contract nr IEE/11/025 [http://www.biogasheat.org/wpcontent/uploads/2015/04/Handbook\\_RO\\_Edition2.pdf](http://www.biogasheat.org/wpcontent/uploads/2015/04/Handbook_RO_Edition2.pdf)
109. Vintila Teodor, Nikolici Vasile, Integrarea fermentatiei anaerobe si captarea metanului in managementul dejectiilor intr-o ferma de vaci, <http://www.biocombustibil.ro/p2/pdf/Info%20Biogaz.pdf> ,acesata in 19 iunie 2018
110. Raport de proiectare si dimensionarea a instalatiei de biogaz - remsis <http://remsis.utcluj.ro/wp-content/uploads/2016/02/Raport-de-proiectare-si-dimensionare-a-instalatiei-de-biogaz.pdf> ,accesat 19 iunie 2018
111. Standard CEN/TS 14780 – Metode de pregătire a mostrelor de biomasă; Standard European EN 14774– Determinarea conținutului de umiditate - metoda de uscare în cuptor; Standard European EN 14775– Determinarea conținutului de cenușă; Standard European EN 14918- Determinarea puterii calorifice; Standard European EN 15104 – Determinarea conținutului total de Carbon, Hidrogen și Azot; Standard European EN 15104 – Determinarea

- conținutului de materii volatile; Standard European EN 16994 – Determinarea conținutului total de Sulf și Clor
112. Szarka, N., Thrän, D.- Biomass Heat Scenarios in Germany, 25 th European Biomass Conference and Exhibition, 12-15 June 2017, Stockholm, Sweden
113. Lopes, M., Baptista, P., Duarte, E., Moreira, A., Assessment of Biogas Production Pathways: Application to Portugal, 25 th European Biomass Conference and Exhibition, 12-15 June 2017, Stockholm, Sweden
114. T.M.I. Mahlia, J.Y. Lim, Lisa Aditya, T.M. I. Riayatsyah, A.E. Pg Abas, Nasruddin, Methodology for implementing power plant efficiency standards for power generation: potential emission reduction, , Clean Technologies and Environmental Policy, Volume 2, March 2018
115. Manzanares, F.J., The Green Climate Fund-a beacon for climate change action, Incheon South Korea, Asian Journal of Sustainability and Social Responsibility, January 2017, pp1-5
116. <http://www.consilium.europa.eu/ro/policies/climate-change/timeline/>, 20.03.2017
117. Safi, A.S., Smith, W.J., Liu, Z., Vulnerability to climate change and the desire for mitigation, Journal of Environmental Studies and Sciences, September 2016, Volum 6, Issues 3, pp503-514. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13412-016-0384-7>, 15.07.2017
118. Santanu Bandyopadhyay, Renewable electricity : a hope for the future, Springer Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2018
119. Stephanie Y. Searle, Christopher J. Malins, Waste and residue availability for advanced biofuel production in EU Member States, Biomass and Bioenergy, Journal homepage: <http://www.elsevier.com/locate/biombioe> volume 89, June 2016 ISSN 0961-9534
120. Anna Mohr, Tina Beuchelt, Rafael Schneider, Detlef Virchow, Food security criteria for voluntary biomass sustainability standards and certifications, Biomass and Bioenergy, Journal homepage: <http://www.elsevier.com/locate/biombioe>, volume 89, June 2016 ISSN 0961-9534
121. Emmanuel Damilano Dutra, Thaysa Araujo de Lima, Jessica Lais de Oliveira Souza, Joanna Gabriela Vicente Silva, Katia Aparecida da Silva Aquino, Fabiana da Silva Aquino, Clecio Souza Ramos, Romulo Simoes Cezar Menezes, Characterization of fat and biodiesel from mango seeds using HNMR spectroscopy, Biomass Conversion and Biorefinery, Volume 8, 2018, Springer
122. <https://www.legalis.ro/2016/08/11/procedura-de-emitere-certificatelor-de-origine-pentrubiomasa-provenita-din-silvicultura-si-industriile-conexe/>

123. Morteza Yazdani, Prasenjit Chatterjee, Edmundas Kazimieras Zavadskas, Dalia Steimikiene, A novel integrated decision-making approach for the evaluation and selection of renewable energy technologies, *Clean Technologies and Environmental Policy*, Volume 2, march 2018
124. Legea nr. 220/2008 pentru stabilirea sistemului de promovare a producerii energiei din surse regenerabile de energie  
[www.anre.ro/download.php?f=f6Z8iA%3D%3D&t=vdeyut7dlcecrLbbvY%3D](http://www.anre.ro/download.php?f=f6Z8iA%3D%3D&t=vdeyut7dlcecrLbbvY%3D)
125. Alessandro Agostini, Fernando Battini, Monica Padella, Jacopo Giuntoli, David Baxter, Luisa Marelli, Stefano Amaducci, Economics of GHG emissions mitigation via biogas production from Sorghum, maize and dairy farm manure digestion in the Po valley, *Biomass and Bioenergy*, Journal homepage: <http://www.elsevier.com/locate/biombio> volume 89, June 2016 ISSN 0961-9534
126. Isabel Garcia Herrero, Maria Margallo, Raquel Onandia, Ruben Aldaco, Angel Irabien, Connecting wastes to resources for clean technologies in the chlor-alkali industry: a life cycle approach, *Clean Technologies and Environmental Policy*, Volume 2, march 2018
127. EUROSTAT STATISTICS EXPLAINED, Renewable energy statistics, January 2017, [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable\\_energy\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable_energy_statistics)
128. Costuleanu, C. L., Vintu, C. R., Robu, D. A., Ignat, G., Brezuleanu, S., *Rev. Chim. (Bucharest)*, 66, no. 5, 2015,
129. Gabrielle Beaudry, Carolline Macklin, Elizabeth Roknich, Laney Sears, Margaret Wiener, Shabbir H. Gheewalla, Greenhouse gas assessment of palm oil mill biorefinery in Thailand from a life cycle perspective, *Biomass Conversion and Biorefinery*, Volume 8, 2018, Springer
130. Emmanuel Damilano Dutra, Fernando Almeida Santos, Barbara Ribeiro Alves Alencar, Alexandre Libanio Silva Reis, Raquel de Fatima Rodrigues de Souza, Katia Aparecida da Silva Aquino, Marcos Antimo Morais Jr, Romulo Simoes Cezar Menezes, Alkaline hydrogen peroxide pretreatment of lignocellulosic biomass: status and perspectives, *Biomass Conversion and Biorefinery*, Volume 8, 2018, Springer
131. J.V. Oliveira, M.M. Alves, J.C. Costa, Biochemical methane potential of brewery by-products, *Clean Technologies and Environmental Policy*, Volume 2, march 2018
132. BATSTONE, D.J., VIRDIS, B., *Curr. Opin. Biotechnol.*, 27, 2014
133. Dumitrel, GA (Dumitrel, Gabriela Alina)[1]; Cioabla, AE (Cioabla, Adrian Eugen)[2]; Ionel, I (Ionel, Ioana)[2] ; **Varga, LA (Varga, Lucia Ana)[ 2]**,

- Experimental and Modelling Approach of Biogas Production by Anaerobic Digestion of Agricultural Resources, Revista de Chimie Volume :68Issue :6Pages:1294-1297 Published:JUN 2017
134. IPCC Website, Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014, <https://www.epa.gov/grgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>, 23.07.2016
135. EPA Website , <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>, 23.07.2017
136. IPCC Website, Glossary of Terms, <http://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/glossary/glossary-fg.htm>, 20.07.2017
137. Inventarul Național al Emisiilor de Gaze cu Efect de Seră 2016, <http://www.mmediu.ro/articol/variante-ale-ineges-transmise-oficial-de-catre-romania-in-baza-obligatiilor-asumate-la-nivel-international-si-european/378>, 20.07.2018
138. Cercetari privind prognoza emisiilor pentru principalele gaze cu efect de sera, Roxana Ivan, Teza de Doctorat,, Editura Politehnica, Universitatea politehnica Timisoara
139. World Meteorologie Organization Global Atmospheric Watch [http://library.wmo.int/opac/doc\\_num.php?explnum\\_id=3414](http://library.wmo.int/opac/doc_num.php?explnum_id=3414), 15.06.2017
140. Sinteza „Acțiunile UE în domeniul energiei și al schimbărilor climatice: o analiză panoramică, Curtea Europeană de Conturi , 2017, [https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/LR17\\_01\\_LEAFLET/LR\\_LEAFLET\\_RO.pdf](https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/LR17_01_LEAFLET/LR_LEAFLET_RO.pdf), 15.02.2018
141. LandGEM , LandGEM - Waste Gas Emission Model, version 3.02 US Environmental Protection Agency, EPA-600/R-05/047 May 2005,
142. **Lucia VARGA**, Adrian Eugen CIOABLĂ, Ioana IONEL, Biogas production from waste waters through anaerobic co-fermentation processes at laboratory scale, Papers of the 24 th European Biomass Conference, 2016, pp 290 – 293
143. Decizia Comisiei din 18 iulie 2007 de stabilire a unor orientari privind monitorizarea emisiilor de gaze cu efect de sera in conformitate cu Directiva 2003/87/CE a Parlamentului European si a Consiliului [notificata cu nr C(2007)3416, <https://publications.europa.eu/ro/publication-detail/-/publication/77d4c46f-99a6-4a97-89fd-ca2f839d9b31/language-ro>, 20.03.2018
144. Hotararea nr. 349 din 21 aprilie 2005 privind depozitarea deseurilor  
EMITENT: GUVERNUL PUBLICAT ÎN: MONITORUL OFICIAL nr. 394 din 10 mai

- 2005 [http://www.mmediu.ro/beta/wp-content/uploads/2012/05/2012-05-17\\_hg\\_349\\_2005.pdf](http://www.mmediu.ro/beta/wp-content/uploads/2012/05/2012-05-17_hg_349_2005.pdf)
145. Directiva (UE) 2018/850 a Parlamentului European și a Consiliului din 30 mai 2018 de modificare a Directivei 1999/31/CE privind depozitele de deșeurii (Text cu relevanță pentru SEE), Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0850&from=EN>, 20.08.2018
146. Daniel Dulcea, **Lucia Ana Varga**, Ioana Ionel, Studiu privind NOx generate de traficul urban, încălzirea urbană și sistemele de încălzire individuală din Downtown Timișoara, , Revista de Chimie, volumul 2015. Iulie
147. Renewable Energy Prospects for the European Union report, International Renewable Energy Agency in co-operation with the European Commission, February 2018
148. Gavrilă Trif-Tordai, Ioana Ionel, Francisc Popescu, Luisa Izabel Duncan, **Lucia Varga**, Waste Biomass & Coal Co-combustion in Stationary Fluidized Bed as promising RES based Technology Advances in Energy Planning, Environmental Education and Renewable Energy Sources 4th WSEAS International Conference on Energy Planning, Energy Saving, Environmental Education (EPESE'10) 4th WSEAS International(2010)
149. Ionel, I (Ionel, Ioana)[ 1 ] ; Popescu, F (Popescu, Francisc)[ 1 ] ; Dungan, LI (Dungan, Luisa Izabel)[ 1 ] ; **Varga, L (Varga, Lucia)**[ 1 ] – „Novel Approach for District Heating and Cooling Technology”, Edited by: Mastorakis, N; Mladenov, V; Demiralp, M; Bojkovic, A View ResearcherID and ORCID ADVANCES IN BIOLOGY, BIOENGINEERING AND ENVIRONMENT Book , Series: Proceedings on Cellular and Molecular Biology Biophysics and Bioengineering Pages:162-+ Published:2010
150. Ramon-Mihai Balogh · Ioana Ionel · **Lucia Ana Varga** · Luisa-Izabel Dungan- „Contribution regarding the impact generated by the Romania National Railway System Air Quality, Article · Jan 2010 · Metalurgia international

## **SUMMARY OF PHD THESIS**

Title

### **CONTRIBUTIONS TO ENERGY RECOVERY FROM BIOMASS FOR BIOGAS PRODUCTION**

by

Lucia Ana VARGA

Scientific advisor:

Prof. dr. ing. Habil Ioana Ionel  
„Politehnica” University of  
Timișoara



## **Introduction**

The research carried out in the PhD thesis brings a contribution to the identification of several new methods and materials for the energy utilization of biomass to biogas. It aims at analyzing the possibilities of using organic waste in combination with different wastewaters for the production of biogas.

A significant number of bibliographic references for national and international level has been consulted and valuable elements related to harnessing waste in the circular economy have been identified

The scenarios in the thesis are based on already proved facts for recovery of organic waste to biogas is a solution for reducing pollution of environmental factors, in particular by reducing greenhouse gas emissions.

The research of the existing legislative framework pointed out the efforts made at European and global level for sustainable development, reducing the effects of climate change, promoting energy from renewable sources, supporting a circular economy and managing waste. For the implementation of the objectives established by legislation, quantifiable targets have been identified, economic mechanisms have been created and technological research has been encouraged.

### **A. Study of a significant number of bibliographic references in the current stream of knowledge in Romania and around the world**

There have been studied works from Romanian and global literature on the process of anaerobic digestion of organic waste, sludge and animal sewage as a main substrate.

The research studies have shown that, the organic waste is suitable for capitalization by anaerobic digestion and biogas production.

It has also been shown that food waste is a very good raw material for the production of biogas with a high efficiency of biogas production.

Low yields have been obtained through anaerobic digestion of sludge, and it was demonstrated that co-digestion of this with other organic materials increased the production of methane.

Biogas plants where anaerobic digestion of livestock manure occurs as the main substrate can also work by adding organic waste, sludge, wastewater with high organic charges from the food industry, food waste.

The obtained mixture of materials increased the biogas production. It has also been found that pretreatment of materials intensifies the anaerobic digestion process and that by the addition of trace elements, biogas production can be improved for all substrates used.

### **B. Establishing of a working method, both in a theoretical and experimental way to achieve the goal.**

For this purpose, different types of recipes have been tested in order to identify materials with high potential for the production of biogas, qualitative and quantitative. The tests were carried out on the pilot installation used for the experimental part, which is a patented invention, process and installation for obtaining biogas from biomass [patent number 122047] and on the small installation in the multifunctional laboratory of the Timisoara Faculty of mechanics.

## **B. 1. Presentation of the installations where different types of recipes have been tested**

### **B. 1.1. Small Installation**

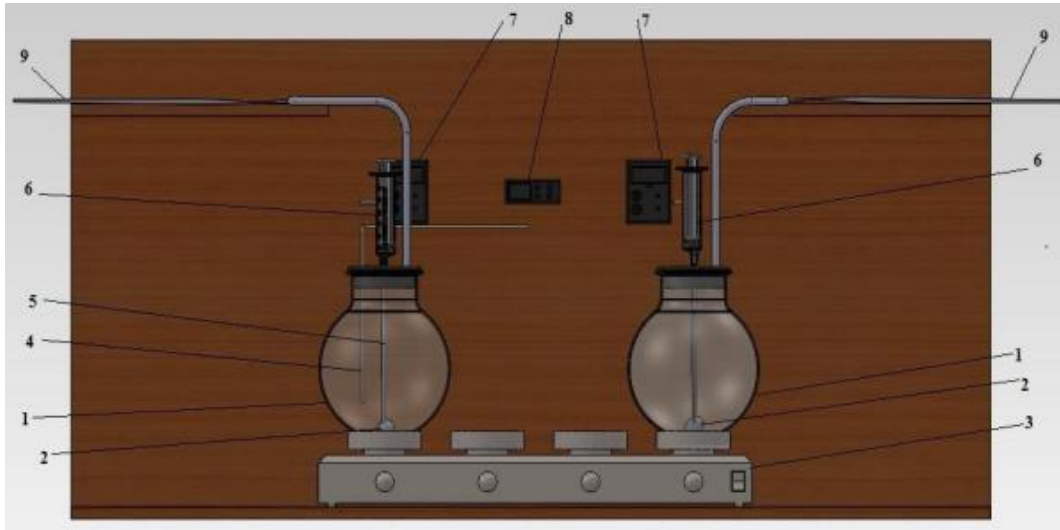


Figure B. 1.1.1. Small-scale installation scheme [Varga and others-a]

The components of this installation are:

- 1 - glass vessel with a volume of 6l, covered with a coat of paint, for fermentation
- 2 - magnets positioned in the lower part of the glass vessels, used to agitate the molecules of worn waste materials
- 3 - device used to heat matter from vessels
- 4 - thermocouple used to measure the temperature of the fermentation vessels
- 5 - sampling system and correction of the pH of matter inside the vessels
- 6 - syringe used for sampling of vessels
- 7 - pH controllers, connected to the pH sensors inside the vessels
- 8 - temperature controller, connected with thermocouple inside the vessels, to determine the temperature at a specified interval
- 9 - gas bags with a volume of 2 l for the collection of biogas from the fermentation process

To prepare this small-scale installation, several stages were followed:

- The fitting of metal caps for glass vessels has been made to introduce all systems and ensure optimum sealing during the process.
- Glass vessels have been dyed to obtain the best fermentation process and all connections have been sealed to reduce gas losses during the process.
- The final ensemble will allow the use of two materials or one combined material and the substrate used for fermentation to compare parameters of the process parameters (pH, quantity of biogas produced).

After performing these small-scale operations, tests have been performed to verify the correct operation of all components. The command part and the pH sensors, the temperature sensors and the electrical part of the installation have been tested.

After double control, the installation is further prepared to produce biogas in small quantities or for experimental purposes.



Figure B. 1.1.2. Sensor verification on the installation [Varga and others-a]

### B. 1.2. Testing of different types of recipes in the pilot facility

Determination of the actual potential for biogas production in suitable quantities and with the highest methane content in its composition was carried out in the pilot facility.

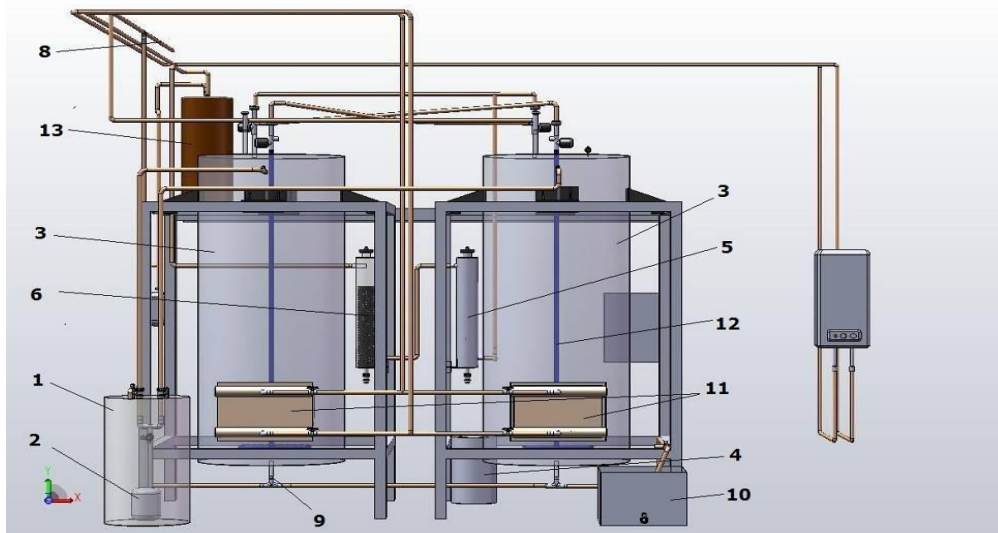


Figure B 1.2.1. Diagram of the principle of the pilot installation [[Patent invention Number 122047], [Cioabla and others]]

From the reservoir where biomass is deposited, it passes through a mill, and then it is sent to the reservoir where it is homogenized with water (1). The homogenized matter is transported with the submersible pump (2) and sent to the fermenters (3). This installation shall also be fitted with a tank containing a correction agent (4) that ensures the pH. The biogas result passes through a filter (5) for the retention of H<sub>2</sub>S (hydrogen sulfide) and then through a system (6) that partially withholds CO<sub>2</sub> (carbon dioxide), after which it can be compressed into the adjacent system (7) and the resulting biogas is collected through pipelines (8) to be used. The material used is downloaded through a gravimetric system (9), and part of the resulting liquid is separated (solid by the liquid by decanting) through the system (10) and sent to the sewage. The reactors are heated by the heating system (11), and the homogenization is achieved by a bubbling system (12). In order to keep small quantities of biogas for analysis purposes, the plant is also equipped with a smaller-sized supply tank (13).

The main components of the installation are:

- The preliminary biomass preparation system consists of a hydrolysis reactor in stainless steel. In the preparation vessel there is a submersible pump used for waste water to perform homogenization of the material then inserted into the anaerobic fermentation reactors. It should be taken into account that during the preparation of the suspension, it is important to monitor the variation of the pH in the preparation tank, and this can be done using a portable pH measuring device.

-Anaerobic fermentation tanks

They are equipped with a reservoir heating system by means of heat exchangers mounted at the bottom, consisting of 6 coils/heat exchanger and supplied with hot water from a boiler located near the plant.

To avoid heat loss, the connection path between the boiler and the installation is insulated. The tanks are also thermally insulated with insulated aluminum foil to reduce heat losses with the exterior.

## **B. 2. Gas exhaust system. [Patent invention number 122047]**

The biogas resulting from the anaerobic fermentation in the pilot plant is evacuated by a gas exhaust system consisting of a pipe system including four electrovalve fitted by two on each tank and electrically controlled from a control panel when the pressure reaches a certain preset value. The system is also equipped with a reservoir for storing small quantities of biogas for analysis, i.e. a system with gas meters for each reservoir for monitoring the amount of biogas evacuated and the obtained production.

### **B. 2.1. Biogas Treatment System**

It consists of 2 filters, one with the role of retaining traces of hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S), and the other with a role to retain CO<sub>2</sub>. It is positioned between the two tanks of anaerobic fermentation.

### **B. 2.2. Carbon dioxide restraint system**

It consists of a stainless steel tank, a liquid separator, a buffer vessel from which the exhaust gas is aspirated by an air-cooled Haug model compressor, at a pressure between 1 – 6 bar and then inserted into a cylinder at a pressure between 10 – 26 bar. The stainless steel tank is located on a heating device, the temperature

in the system reaching between 50-60°C and the liquid exhausted from the CO<sub>2</sub> filter is taken from a container using a dosing pump of the same type as the one used to wash the biogas.



Figure B. 2.2.1. Overall CO<sub>2</sub> retention system, [patent invention number 122047],

### **B. 3. Measuring equipment, control and devices**

The main equipment used for the control process are the pH, temperature and pressure sensors, as well as the related monitoring elements (dosing pumps, electrical valves). Gas analyzers are used to measure the characteristics of biogas (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S).

### **B. 4. Process monitoring equipment**

The equipment for monitoring the anaerobic fermentation process in the pilot installation is controlled in the installation Control Panel.

This board has possibilities of automating the process from the point of view of the biogas evacuation at pre-established pressure with the help of the electrical valves positioned on the installation lid, respectively the actuator of the dosing pumps to achieve pH correction. In order to be able to study in detail the fermentation process and to determine the quantities discharged from each tank, the control of the electrical valves was automated. Also, the continuous use of dosing pumps has not been imposed, which is why they were commissioned for research.

### **B. 5. Measurement of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> concentration [Patent invention number 122047]**

To determine the qualities of biogas obtained it is necessary to measure the concentration of these two components – methane and carbon dioxide. This was done with gas – the DELTA 1600 s IV analyzer [user Manual]. The analyzer can measure methane and carbon dioxide in percentages of up to 100% density parts. Optionally, the analyzer can determine the content of CO up to a percentage of 10%, O<sub>2</sub> in percentage up to 25% and NO up to 5000 ppm.

**B. 6. Synthesis of the operations necessary to put into service the experimental plant for the production of biogas**

**B. 6.1. Preparation of the facility for experiments by providing utilities corresponding to the various processes needed to be accomplished [Varga and others]:**

- electric power for the control panel and electrically operated elements of the various plant systems;
- the methane for the hot water boiler for the heat exchangers;
- hot water for suspension preparation- solid biofuels;
- CaCO<sub>3</sub> to achieve pH correction;
- chemical reagents (acetic acid) for the use of acid hydrolysis;
- chemical calibration substances for calibration of pH sensors;
- measuring and control systems for functional parameters (exhaust gas meter, heating boiler gas meter;
- other thermocouples, thermometers, manometers; valves, electric valves, sensors)

**B. 6.2. Starting/Stopping the experimental plant for biogas production [Cioabla and others]**

At the start of the installation, the following steps are important:

- the verification of the structural integrity of the plant;
- tightness checking of tanks and exhaust system;
- > calibration of pH sensors;
- > check all measuring and control equipment;
- > reading gas meters for installation and heating boiler;

The preparation of the suspension in the preparation vessel;

- > Introduction of the suspension inside the anaerobic fermentation reservoirs using the submersible pump and the supply duct system;
- > read the initial pressures in the system after completion of the supply process;
- > The execution of 2 - 3 recirculation of suspension for each tank in part in order to ensure a good homogenization of the material inside them;

The realization of the initial pH correction for the charge to start with a pH as close as possible to the neutral one.

During the entire fermentation process the characteristics parameters will be monitored, namely the proper operation of all equipment, the quantities of gas evacuated, will be noted the gas analysis related to the values recorded by the the measurement and control equipment, respectively the experimental determination of the upper and lower calorific power for biogas obtained.

In order to complete the installation, the following steps will be complete:

The entire amount of gas remaining in the system will be emptied;

- > Read the final value at the end of the gob of the gas meters for the installation and the hot water supply boiler;
- > Washing the dosing pumps>The emptying of the suspension inside the anaerobic fermentation reservoirs;
- > Storage of solid waste for drying;
- > Removing the pH sensors from the system and placing them in distilled water for preservation during the stationing of the processes in the installation;
- >Check the power supply stop of all equipment in the system.



## **C. Experimental results. Results interpretations**

The laboratory determinations consisted of two parts related to the obtaining of biogas: analysis of physical and chemical properties for different materials in order to further use them in processes of anaerobic fermentation and laboratory determinations on a scale of 5 L and within the pilot installation with the drawing of related conclusions related to the potential for use of these residual materials. Wastewater was tested from the brewery and the wastewater treatment plant in Timisoara, in combination with different materials in order to identify the potential for the recovery of wastewater through anaerobic digestion.

### **C.1. Comparative determination of co-fermentation using residues and wastewater from the brewery for small scale biogas production**

An analysis of the physical-chemical properties was made and the laboratory determinations were made at 5 L scale for wastewater from the brewery in Timisoara, and in combination with the milk whey and molasses from the sugar factory, in order to identify the potential for using these residual materials for anaerobic digestion [Varga et al.-a]

The following materials were experimentally tested only on the laboratory scale:

- Wastewater from a beer factory located in Timisoara,
- Wastewater from a brewery, mixed with 10% parts density milk whey,
- Wastewater from a brewery located in Timisoara, mixed with 10% parts density molasses from sugar beet processing.

### **Analysis of physical-chemical properties of charge 1 of tested materials**

Determinations were made for test materials on ash content (dry base) [%], moisture content [%], mean caloric power (dry base) [J/kg], carbon content [%], sulfur content [%], volatile content (dry base) [%], according to [Standard] standards.

These determinations are relevant to the decision on the use of materials for anaerobic digestion:

- the high ash content is an indicator that the tested materials are not suitable for combustion processes for the purpose of their energy recovery.
- the average caloric power indicates a potential from the energy point of view, to determine whether the anaerobic fermentation processes are suitable for the recovery of these materials.
- The high sulfur content of the chosen materials certifies the mismatch of these substrates for combustion processes
- the value of volatile materials reflects hints on the olfactory character of the mixtures.
- the carbon content indicates the potential to capitalize on the anaerobic digestion of the tested materials.

### Identification of the potential for use of residual material from the first charge by anaerobic digestion

The graphical representation of the concentration of CH<sub>4</sub> for the analyzed materials reveals that for the sample containing wastewater from the brewery in combination with milk whey, high value of methane content was obtained (maximum percentage of about 70 %), which indicates potential for capitalization in biodegradation processes.

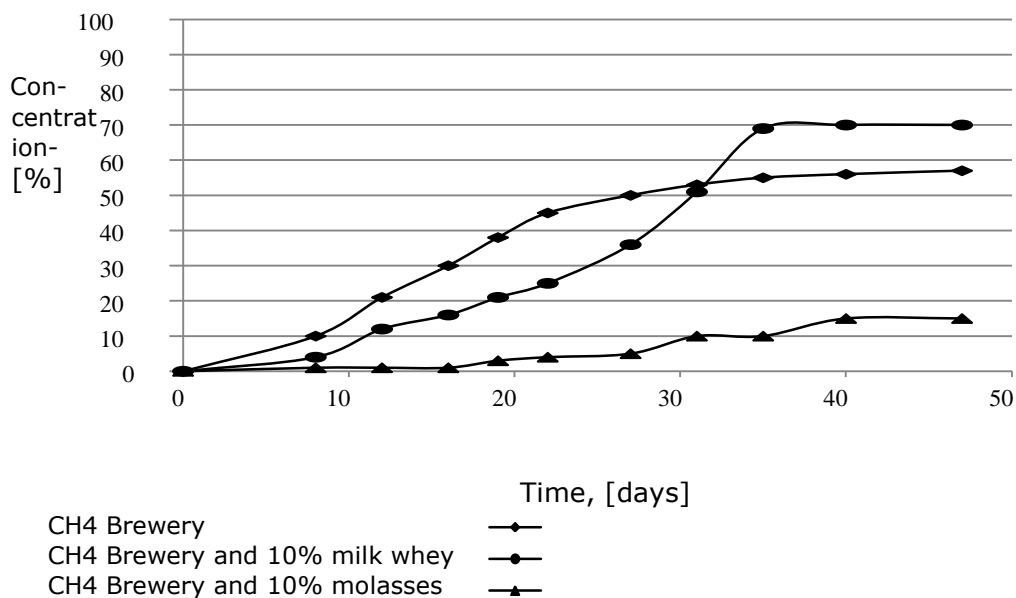


Figure C. 1.1. Graphic representation of the concentration of CH<sub>4</sub> [Varga and others-b]

For the charge containing molasses, the percentage of methane is reduced, less than 20% density parts, this material is not indicated to be used in biodegradation processes. For the charge containing only wastewater from the brewery, it is possible to identify the need for co-fermentation with a view to obtaining higher values in terms of biogas product.

In terms of initial pH values, they were relatively high for two of the three ounces of material. For pH correction, an ammonia-based solution was used (NH<sub>3</sub>), 20% concentration in the first days of the process. The charge that contained the mixture with molasses required an extended pH correction regimen. Due to the high sugar content, the first half of the fermentation period was characterized by low pH values, which required an initial stabilization phase much higher than normal, having a negative impact on the biogas production and of the methane content.



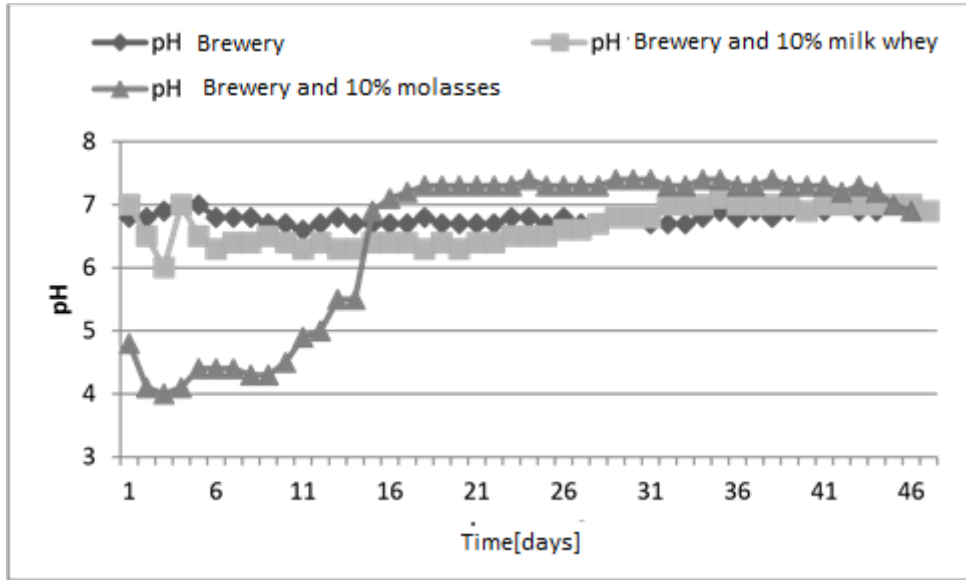
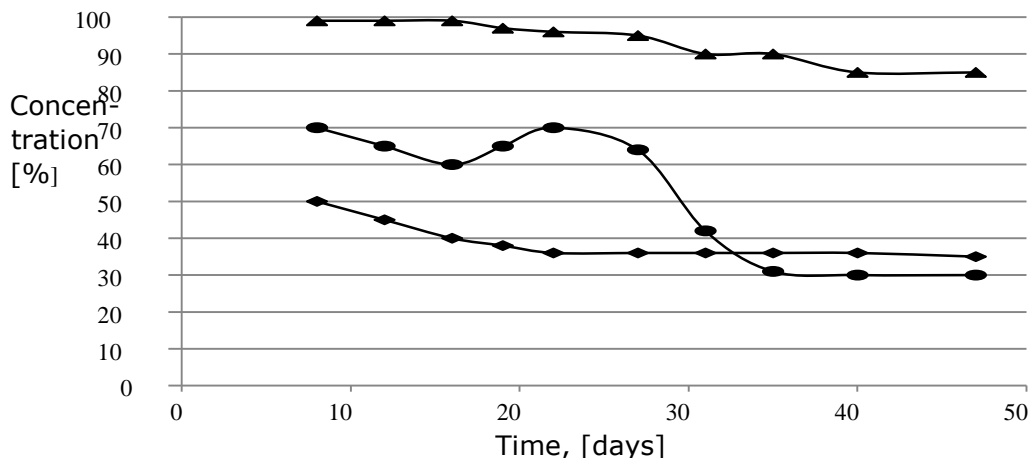


Figure C. 1.2. pH variation [Varga and others-b]

As regards the concentration of CO<sub>2</sub>, it is observed that, in proportion to the percentage of methane obtained from the determinations, it may be observed to decrease the carbon dioxide content, proportionately, with the obvious exception of the gob containing molasses.



CO2 Brewery —◆—  
 CO2 Brewery and 10% milk whey —●—  
 CO2 Brewery and 10% molasses —▲—

Figure C. 1.3. Graphic representation of CO<sub>2</sub> concentration [Varga and others-b]

Carbon dioxide levels reach a minimum of about 30% for charge containing milk whey – this involves finding solutions for optimizing the process to bring an even more significant reduction in the existing percentage for this gas.

The material charges produced about 10 L of biogas for wastewater, about 30 L of biogas for mixing with 10% milk whey and only 7 L biogas for mixing with 10% molasses.

### C. 2. Comparative determination of co-fermentation using residues and various wastewater for small-scale biogas production

Comparative determinations of substrate co-ferments have been achieved in two reactors containing the following mixtures:

First vessel - wastewater from the water treatment plant, 4% dehydrated sludge from the plant treatment and 5% milk whey;

Second vessel - wastewater from the brewery, 4% dehydrated sludge from the treatment plant and 5% milk whey.

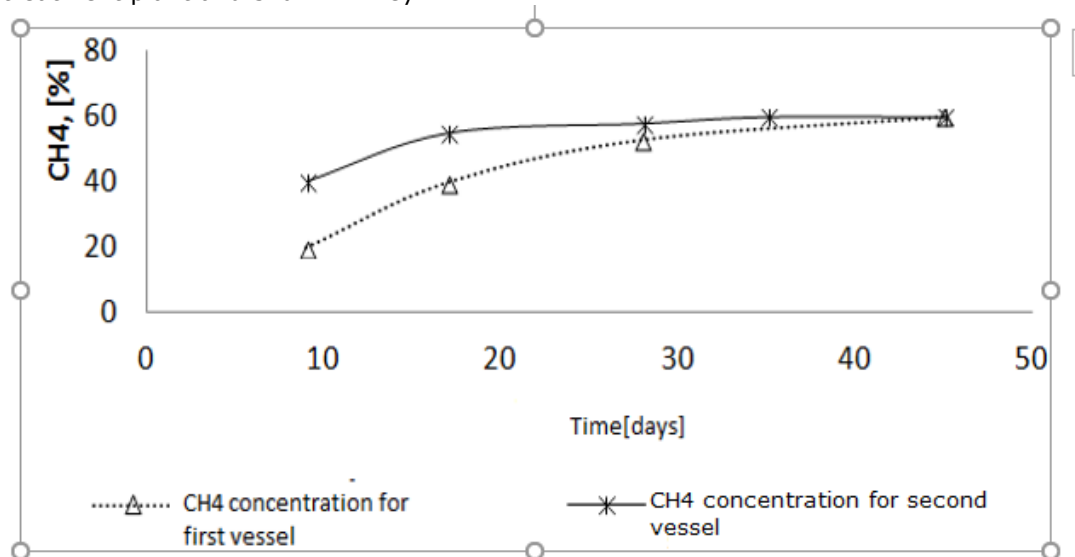


Figure C. 2.1. Graphic representation of the concentration of  $\text{CH}_4$  [Varga and others-a]

The gas analyzer used for this task was a DELTA 1600 SIV type, which allows the determination of methane and carbon dioxide to 100% by volume. It is noted that the four values for the first reactor and the five preserved values for the second reactor are corresponding to the average value read during 10 days of trial, and therefore the measurement was divided into four periods of 10 days each. For the second reactor, two measurements were carried out during the last measurement period.

It is observed that the maximum value is about 60% for methane content. This identifies a potential relatively constant combustion process, but for optimum capitalization it is recommended a higher value of the percentage of methane from the composition of the biogas produced.

It should be noted that the values indicated for the reactors correspond to the average values read over 10 days of trial, for this reason there are about four periods of 10 days.

It is also noted that during the charges process the material presents a relatively high value of adjustment, which made the use of the  $NH_3$  solution to be done only in the first period of anaerobic fermentation when the pH has not been integrated into the neutral field.

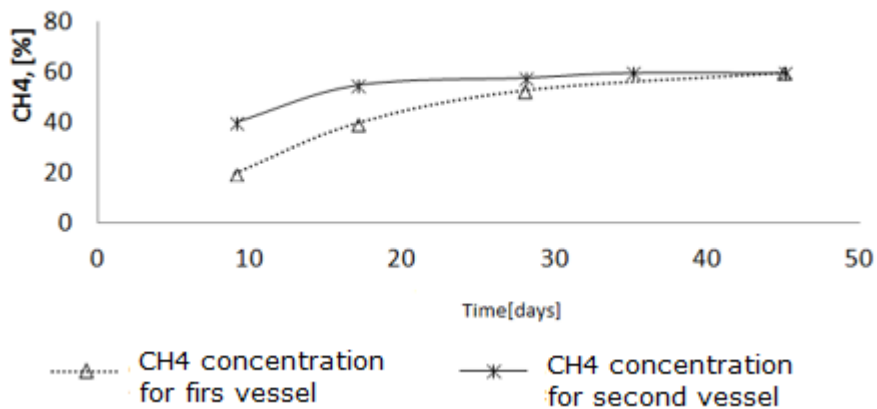


Figure C. 2.2. PH Variation [Varga and others-a]

Variation of carbon dioxide for the two samples:

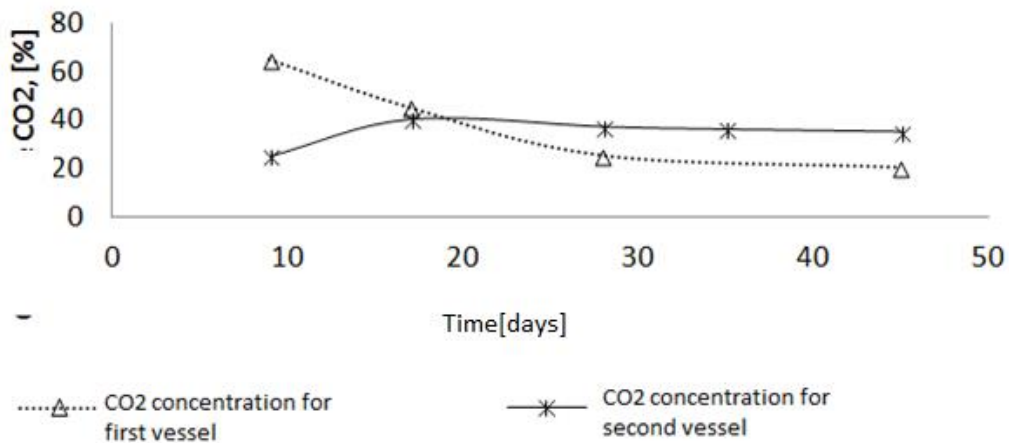


Figure C. 2.3. Graphic representation of the concentration of  $CH_4$  [Varga and others-a]

The quantities of produced  $CH_4$  consisted of approximately 4 liters of gas for mixing with 91% residual water from the sewage plant, 4% dehydrated sludge from the treatment plant and 5% whey of cows and approximately 5 L for the batch

composed of 91% residual water from beer factory , 4% dehydrated sludge from plant and 5% milk whey, higher than the one in the first reactor.

The quality and quantity of biogas depends on the organic concentration of the material used, which is a good indication that the residual water in the brewery has a higher concentration in biodegradable material.

**C.3. Comparative determination of co-fermentation using waste and wastewater in the pilot plant.**

Experimental substrates considered in the anaerobic fermentation processes of the mixture having as a basis wastewater from the wastewater treatment plant and as cereal material degraded maize and degraded barley and having as the basis of wastewater from the material brewery have been tested. Cereal corn degraded and barley degraded. This was done for about 45 days, at a mesophilic temperature regime of about 33 – 36°C.

The first tests took into account the use of a mixture based on wastewater from the sewage plant and as cereal material degraded maize and degraded barley.

During the tests, the monitoring of pH was considered, the pressures obtained on the installation, respectively the quality and quantity of the biogas produced. The quantity was monitored using gas meters and the partial composition of the obtained biogas was quantified as regards the content of methane and carbon dioxide.

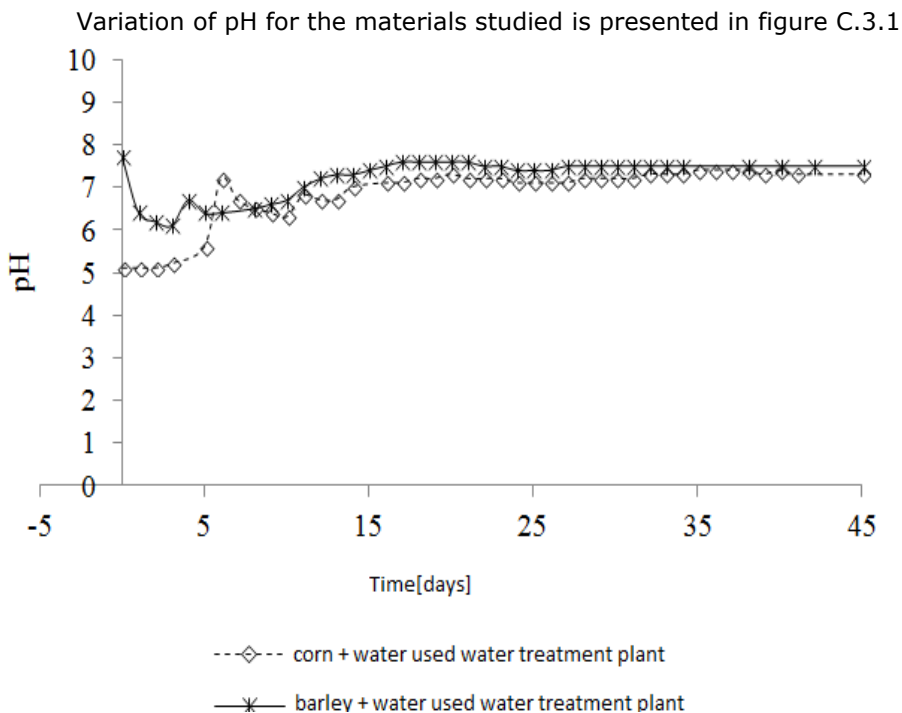


Figure C. 3.1. – pH variation for tested materials

In the figure C.3.1. it can be noticed that the initial pH for maize was in the acid field, while for barley, the initial values were relatively atypical in the alkaline field. This can be explained by the fact that an initial correction of pH was made at the loading of the plant, using a caustic soda-based suspension. The initial values were in the field of 5 – 5.2 and 8, respectively, for the two ounces. Thereafter, after about 5-8 days of the process, the pH stabilization was taken on the neutral field, this remains unchanged until the end of the anaerobic fermentation process. Regarding the variation of the concentration of  $\text{CH}_4$ , it can be seen that for the two materials studied, the variation of the methane concentration has similar behavior, charge containing degraded maize having a higher speed of increase in the value of biogas methane. At the end of the process, the charge with degraded barley presents a value of about 80% of the volume of methane in biogas, while the charge with degraded maize has a value of about 78% density percent.

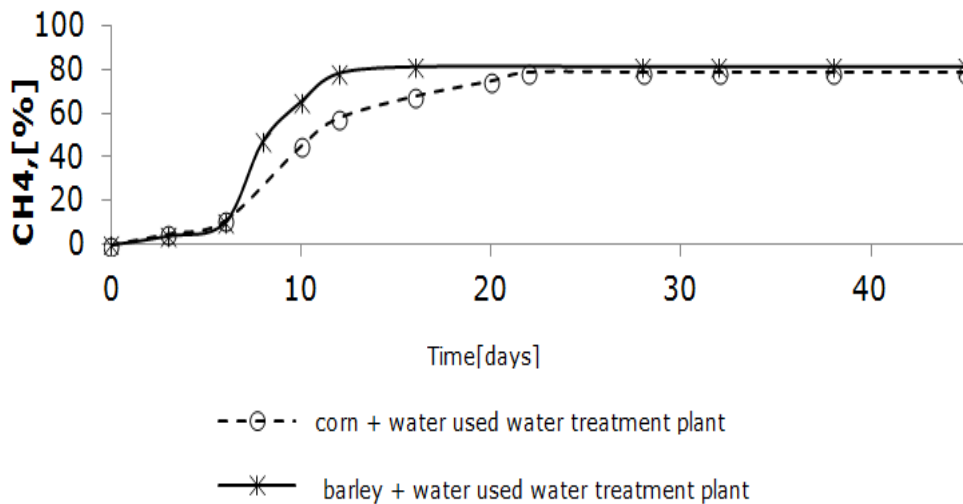


Figure C 3.2 - Variation of  $\text{CH}_4$  concentration

Similarly, as the percentage of methane increases, there is a proportional decrease in the percentage of carbon dioxide to values reaching a minimum of 19-20% for the degraded barley batch and 21-22% for the degraded maize batch.

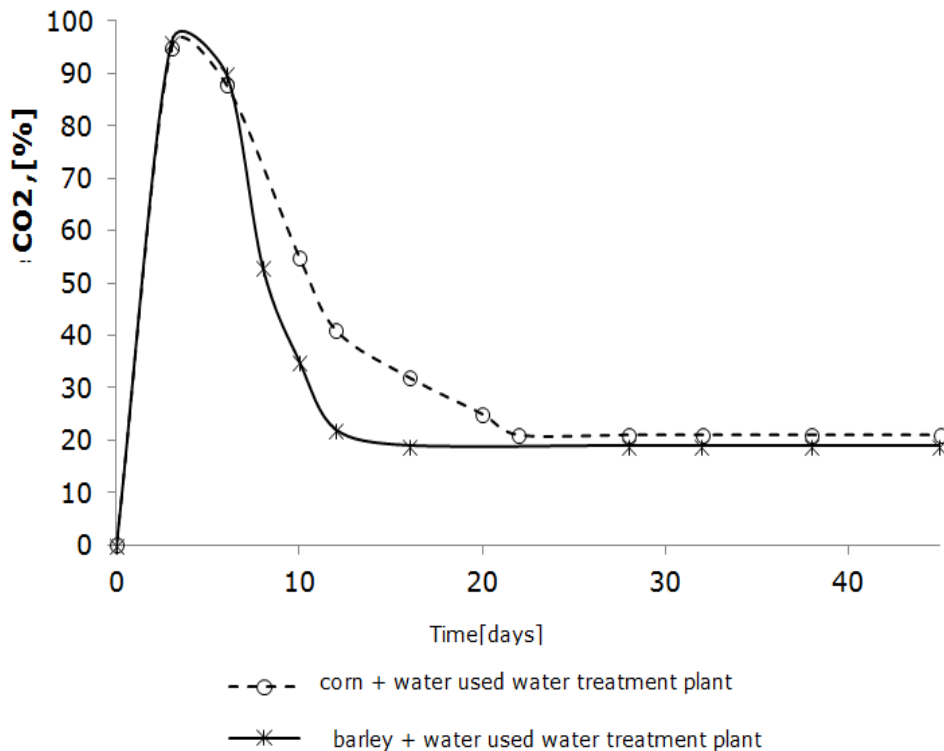


Figure C. 3.3. -CO<sub>2</sub> concentration variation

The quantities of biogas produced for the two materials in this first scenario are about 8.2 m<sup>3</sup> for charge containing degraded maize and approximately 11 m<sup>3</sup> for charge with degraded barley.

After completing the material test, the substrate analysis after the process took place.

In terms of methane production it may be mentioned that, for the charge containing degraded maize, about 14.1 m<sup>3</sup> was produced, while for the charge containing degraded barley about 18.1 m<sup>3</sup> was produced.

The following experiment involved the use of the same cereal materials in combination with wastewater from the brewery.

The process conditions were similar in terms of monitoring time and parameters observed during anaerobic fermentation (pH, temperature, pressure, partial biogas composition regarding the content of methane and carbon dioxide).

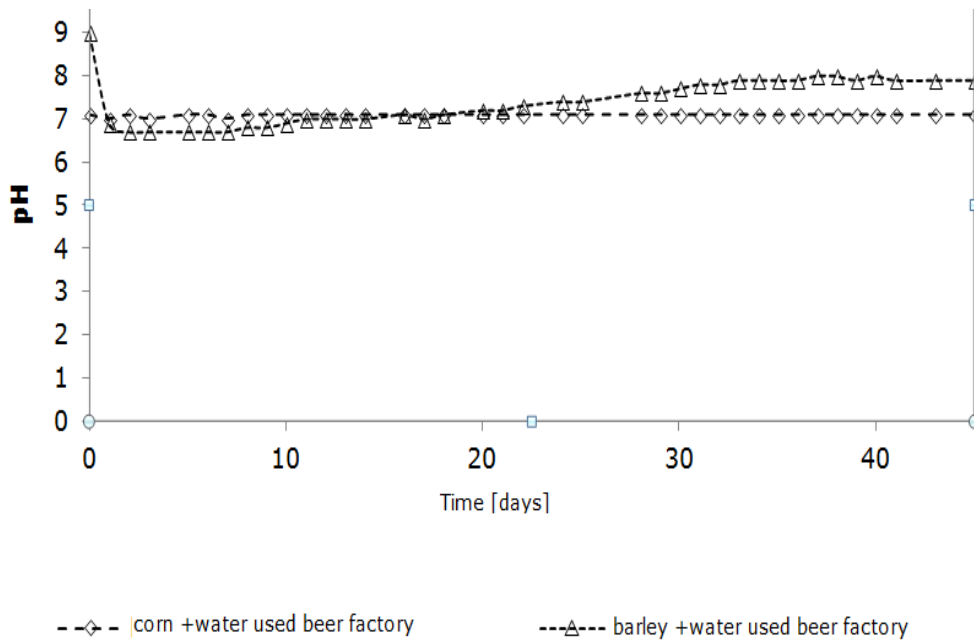


Figure C. 3.4 – Variation of pH for charges studied

In Figure C. 3.4. It can be observed that the pH for both ounces of material is stable throughout the process, presenting small variations at the beginning of the process due to the initial pH corrections for establishing a buffer element for maintaining as stable as the anaerobic fermentation process.

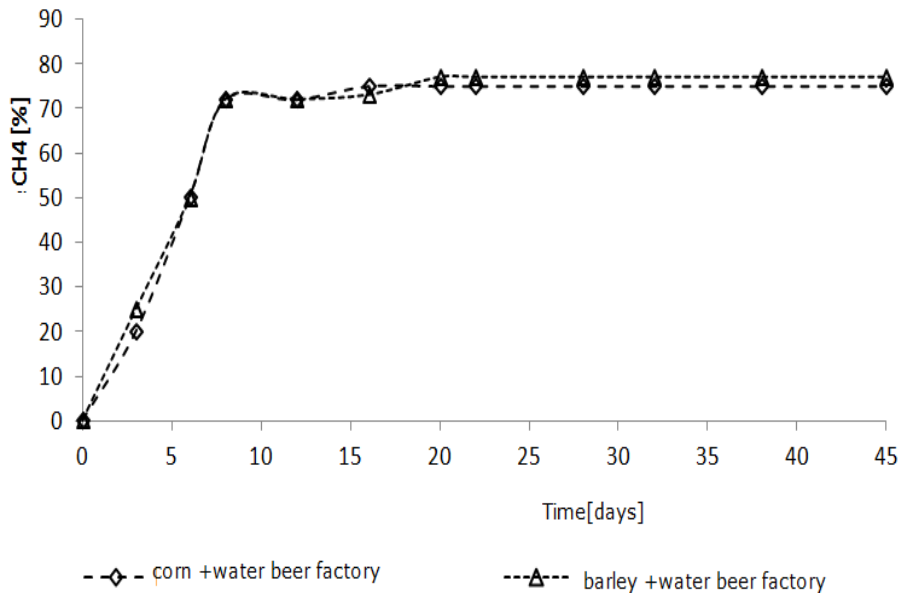


Figure C. 3.5 – Variation of the concentration of CH<sub>4</sub>

From figure C. 3.5. it can be seen that the percentage of methane varies for both ounces up to approximately 75%, slightly higher for charge containing degraded barley and water from the brewery. From this perspective, both of the chosen materials present a behavior appropriate to the anaerobic fermentation process.

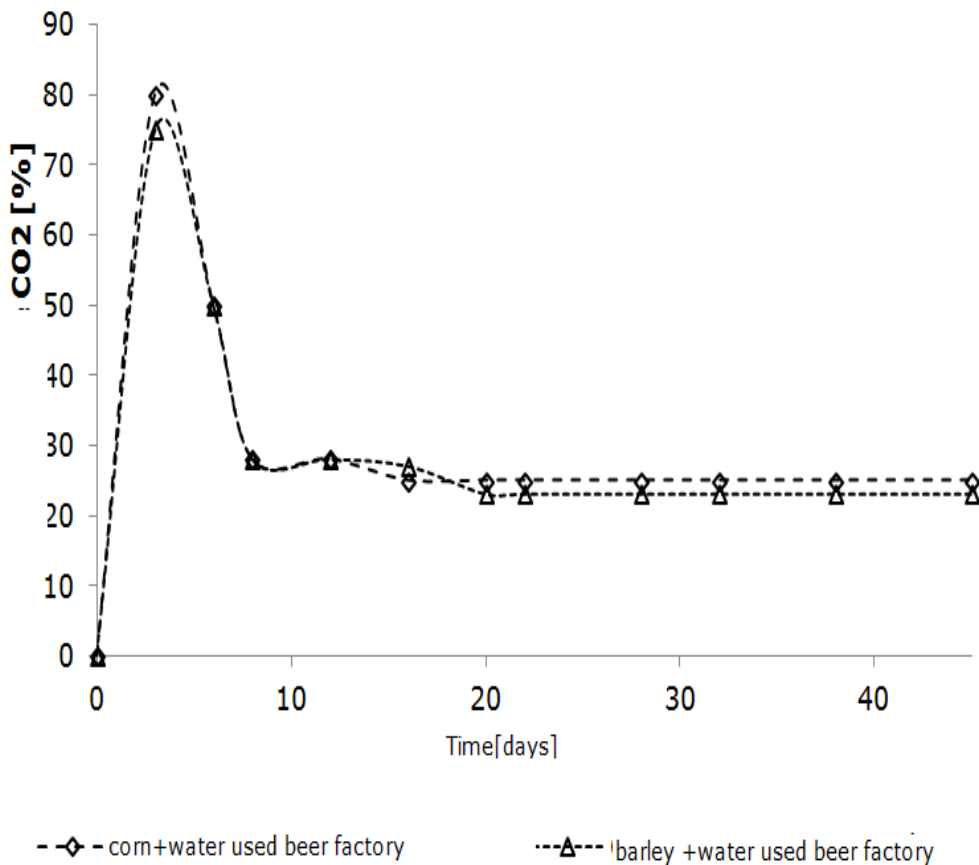


Figure C. 3.6. – The variation in CO<sub>2</sub> concentration

In Figure C. 3.6 it can be seen the inverse variation of the carbon dioxide concentration with that of methane, the minimum values achieved being for charge containing degraded barley, with concentrations of approximately 23 – 24%.

High carbon dioxide content is specific to this type of biofuel, but it impacts the subsequent combustion properties of biogas in different combustion plants.

The values obtained for laboratory determinations of the materials studied after the anaerobic fermentation process will be briefly shown in the following.

The following a comparison of the materials used in terms of the quantity of biogas produced during the anaerobic fermentation process will be achieved as it follows:



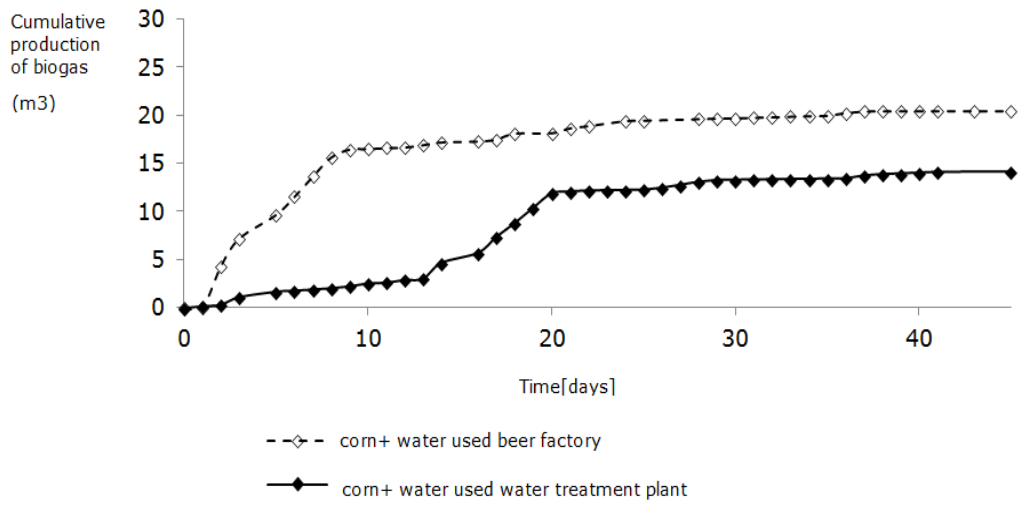


Figure C. 3.7 – Biogas production for charges with degraded maize

From figure C. 3.7 it can be noticed that for the use of corn degraded as a tipping mass in anaerobic digestion processes, the specific charge with wastewater from the brewery has superior net results, making it a substrate suitable for this kind of lawsuit.

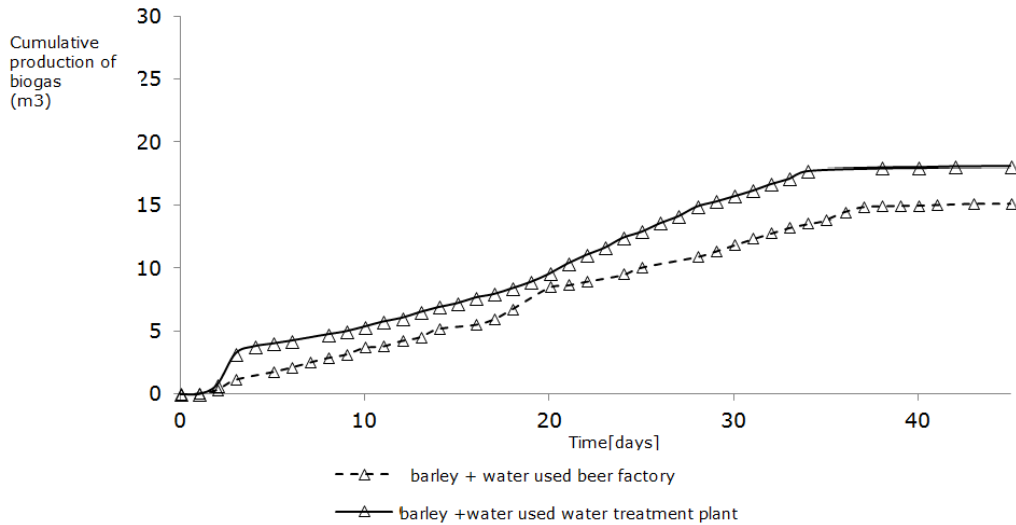


Figure C. 3.8-Biogas production for charges with degraded barley

It is notice that for charges that have used degraded barley, the best combination was with water from the sewage plant. Although there is not a very large difference in the amount of biogas produced, there is enough evidence to certify that for this type of cereal material, the combination of wastewater from the sewage plant is more conducive to the production of biogas good quality.

### D. Energy recovery of waste, greenhouse gas emission reduction solution

In the PhD thesis, the environmental impact of the emissions of gases resulting from the elimination of waste to storage was analyzed. Methane and carbon dioxide emissions for different scenarios have been calculated. The scenario in which the commitments made regarding the storage of municipal waste, during the pre-accession period and accession of Romania to the European Union, were compared. These were compared to the emissions resulting from the scenario in which the landfill would have been made in accordance with the targets laid down in the legislation.

It was also calculated, for the following period until the year 2035, the possible impact on the quantities of greenhouse gases discharged into the atmosphere as landfill gases resulting from the disposal of waste by storage in the situation of compliance and non-compliance with the targets set by the EU.

1. The comparative analysis starts from comparing the quantities of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> calculated using the LandGEM model [LandGEM], according to table D. 1.

Table D. 1. Centralization of data on quantities of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> emissions for scenario I and II

	CH <sub>4</sub> /Tons	CO <sub>2</sub> / Tons
Scenario I	147705	331589
Scenario II	302558	676950

Graph D. 1. Represents the quantities of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> estimated using the LandGEM model, in the case of the two scenarios, I and II. It is noted that the quantities of emissions have doubled in the case of the non-compliance scenario against the total compliance scenario.

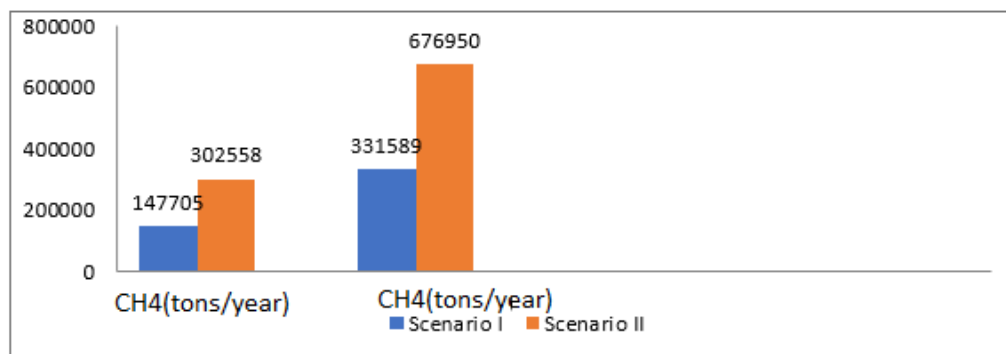


Figure D. 1. The graphical representation of the quantities of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> calculated in the two scenarios (I and II),

1. The comparative analysis of the quantities of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> emissions from waste storage in Romania in the coming years, calculated using the LandGEM model, is centralized in table D. 2.

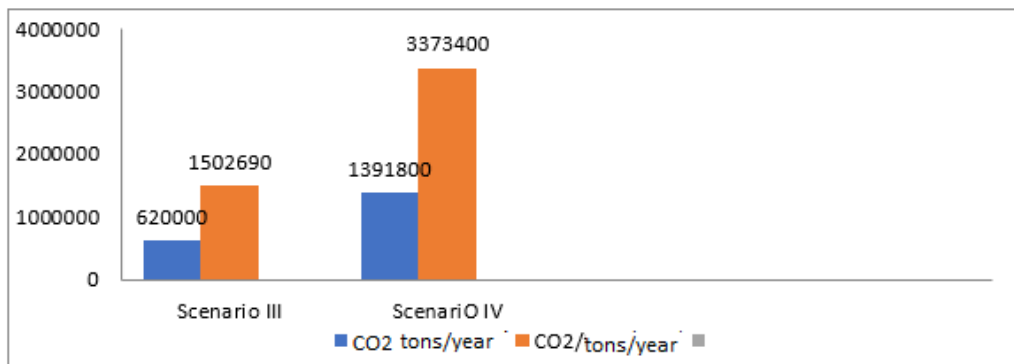
Table D. 2. Centralization of data on quantities of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> emissions for scenario III and IV

	CH <sub>4</sub> /Tons	CO <sub>2</sub> /Tons
Scenario III	620000	1391800
Scenario IV	1502690	3373400

Scenario III was considered the scenario in which it is reduced the amount of waste eliminated for storage until the targets fixed for 2035 and scenario IV was considered the scenario in which it is maintained and in 2035 the amount of waste eliminated for storage at the current level.

It can be noticed that the amount of CH<sub>4</sub> that is discharged in the atmosphere by storing waste without respecting the European commitments in the field is 2.423 times higher than in the case of compliance with these obligations assumed. Therefore, by conformation the discharge of 882690 tones CH<sub>4</sub> could be avoid.

The amount of CO<sub>2</sub> that would be emitted in the atmosphere in case of non-compliance is 2.423 times higher than in the case of complying with European law. Therefore, the atmospheric emissions of 1981600 tones of CO<sub>2</sub> could be saved. If the quantities of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> emissions are graphically eliminated for the two scenarios, the significant difference between these scenarios can be seen. Therefore, steps should be taken to reduce the amount of waste stored in the landfill and to eliminate them by methods that to reduce GHG emissions. Energy use of waste in biogas can be a sustainable solution.

Figure D. 2. Graphical representation of the quantities of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub>, scenarios III and IV

It has also been analyzed the case of compliance in which, up to 2035, the amount of eliminated waste for storage is reduced by eliminating it for recovery for biogas. In this case, it was estimated that it could be obtained by anaerobic digestion of these wastes in different co-substrates, 161 MW electricity. Greenhouse gas emissions that would be evacuated in the atmosphere for the production of 161 MW by burning conventional fuels were also calculated.

Thus it has been shown that the energy recovery of waste and the obtaining of biogas represents the waste management solutions that reduce the greenhouse gas emissions.

## **E. Conclusions and personal contributions**

Studies and research carried out in the PhD thesis resulted in the formulation of the following conclusions and personal contributions to:

- The inventory of legislation on sustainable development, climate change, renewable energies, the circular economy, the recovery of municipal waste and the obligations incumbent on Romania to promote the production of renewable energies [23] greenhouse gas emissions [137], municipal waste management [29],
- Assessing the current state of knowledge on the anaerobic digestion of biomass, in particular organic waste, animal sewage and sludge, highlighting examples of good practice in the world but also in Romania,
- The experimental study on the identification of recipes for substrates from waste water in combination with various other organic wastes and their anaerobic digestion, which is determined by the establishment of a method of work both in theory and experimental to achieve the goal,
- The assessment of greenhouse gas emissions for various scenarios, in relation to the compliance with Romania's commitments on waste management and the promotion of energy production from renewable sources and the argument that the energy used of waste to biogas is a solution whose application would help to reduce environmental pollution,
- Making proposals for the directions of action to stimulate the energy recovery of biomass for biogas. These directions are:
  1. Promoting the production of electricity and heat from organic waste by providing state aid to energy producers in the form of a fixed tariff for energy produced from biogas from the recovery of municipal waste, animal sewage, sludge, food waste, other wastes from agriculture;
  2. Encouraging the improvement of methane quality in order to be used as fuel and encouraging the use of methane in transport. This legislation would create the conditions for compliance with the European directives establishing that, by the year 2020, 10% of the fuel used in transport was biofuel;
  3. The establishment of quality digestate resulted from anaerobic digestion in biogas plants and setting conditions for its use as fertilizer;
  4. Stimulating the use of digestate as fertilizer by giving incentives to agricultural producers producing bio products and using natural fertilizers that have no negative impact on the environment;
  5. Promoting and developing research projects for the transfer of technologies from countries that have applied waste recovery projects to biogas and the recovery of biogas for the production of renewable energy and for its use as biofuels.

Through the developed research and by the personal contribution made in the PhD thesis, there has been demonstrated that the technologies for the recovery of biomass to biogas are the solutions to reduce the environmental pollution caused by the management of organic waste and those resulting from socio-economic activities. The application of these technologies creates the conditions

to reduce the environmental pollution and to comply with the commitments undertaken by the transposition of European legislation in the Romanian law.

#### Bibliography

[Varga, and others-a] , Comparative Determination of Co-fermentation Using Residual Waters for Biogas Production at Small scale, Varga, Lucia; Cioabla, Adrian Eugen; Ionel, Ioana, Chemistry Magazine, Volume: 67 Nr: 1 Pp: 174-176, 2016

[Patent invention number 122047], "Process and installation to obtain biogas from biomass"

[Cioabla and others], Theoretical and experimental contributions to the production of biogas from biomass wastes, Adrian Eugen Cioablă, PhD thesis, Ed. Polytechnic, ISBN 978-973-625-968-5, 2009

[User manual], www.mru.de, Delta 1600s-IV, user manual.

[Varga and others-b], Biogas production from waste waters through anaerobic co-fermentation processes at laboratory scale, papers of the 24th European biomass Conference, 2016, pp 290 – 293, Varga, Adrian Eugen CIOABLĂ, John Ifeanyi

[Standard], standard CEN/TS 14780-Methods of preparation of biomass samples; European Standard EN 14774 – Determination of moisture content-drying method in the oven; European Standard EN 14775 – Determination of ash content; European Standard EN 14918-Determination of calorific power; European Standard EN 15104 – Determination of total Carbon, hydrogen and nitrogen content; European Standard EN 15104 – Determination of volatile material content; European Standard EN 16994 – Determination of total sulphur and chlorine content

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