

VALORIFICAREA ENERGETICĂ A DEȘEURILOR DIN INDUSTRIA ALIMENTARĂ

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

Ing. Adriana Raluca Avram
(căsătorită Wächter)

Conducător științific: Prof.univ.dr.ing.habil Ioana Ionel

Referenți științifici: Prof.univ.dr.ing. Isidora Radulov
Prof.univ.dr.ing Tudor Prisecaru
Prof.univ.dr.ing. Dorin Lelea

Ziua susținerii tezei: 07.04.2023

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

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

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

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2023

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității Politehnica 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 a fost elaborată pe parcursul activității depuse în cadrul **Centrului de Cercetări pentru Mașini și Echipamente Termice, Transporturi și Combaterea Poluării** din Facultatea de Mecanică al Universității Politehnica Timișoara. Cercetarea se concentrează asupra ideii de valorificare a potențialului energetic conținut în fracția organică biodegradabilă a deșeurilor provenite din industria alimentară și agricultura.

Una din problemele de actualitate ale societății din zilele noastre este procesarea și tratarea deșeurilor organice provenite din industria alimentară. Obținerea produselor alimentare se realizează cu un consum energetic ridicat și generează cantități semnificative de deșeuri organice. Sistemul de management integrat al deșeurilor are rolul de a trata această problemă. Sub acest aspect, valorificarea energetică prin exploatarea biogazului obținut prin fermentare anaerobă, reprezintă o soluție fezabilă și sustenabilă pentru producerea energiei regenerabile din deșeurile organice. În majoritatea țărilor industrializate, se pune accent pe soluțiile sustenabile de management al deșeurilor și pe producerea de energie regenerabilă din deșeuri organice, fapt care se reflectă prin legislația europeană și fondurile europene puse la dispoziție prin liniile de finanțare promovate la nivel național și european.

Lucrarea se axează pe conceptul „Waste-to-Energy” care oferă soluții fezabile pentru utilizarea deșeurilor organice din industria alimentară, ca sursă alternativă de energie. Procesele de recuperare energetică studiate, au la bază acțiunea bacteriilor de fermentare anaerobă, prin care are loc conversia materiei organice în combustibil sub formă de biogaz cu un conținut ridicat de metan (CH_4). Acest proces este considerat optim din punct de vedere al bilanțului energetic, permite utilizarea unei game variate de deșeuri organice și tot odată constituie o metodă de tratare a deșeurilor organice pentru reducerea impactului asupra mediului înconjurător. Valorificarea biogazului are loc în grupuri de cogenerare cu producere de energie termică și electrică (CHP – Combined and Heat Power). În plus, reziduurile rezultate în urma procesului de fermentare anaerobă pot fi folosite ca fertilizator în industria agricolă.

Tema de cercetare abordată urmărește valorificarea energetică a biogazului produs prin fermentare anaerobă, utilizând ca materie primă deșeurile din industria alimentară. În acest sens au fost analizate două studii de caz pentru producători agroalimentari industriali care generează cantități semnificative de deșeuri organice.

Lucrarea este consolidată pe o serie de cercetări experimentale în laborator, pentru care s-au folosit echipamente de ultimă generație „state-of-the-art” în ce privește estimarea producției de biogaz prin fermentare anaerobă. Pentru aprofundarea și fixarea cunoștințelor teoretice acumulate din literatura de specialitate, pe parcursul studiilor de doctorat, am efectuat vizite on site în țară la trei stații de producere biogaz la scară industrială.

Pentru măsurători, analiza și interpretarea datelor s-au utilizat echipamentele și aparatura din dotarea Laboratorului de Analize de Combustibili Investigații Ecologice și Dispersia Noxelor de la Universitatea Politehnica Timișoara și a laboratorului de Biotehnologii Microbiene și Industriale de la Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară a Banatului – USAMVB. Rezultatele obținute au fost publicate în 13 articole științifice din care 8 indexate ISI Web Of Science și 1 BDI.

Mulțumiri și recunoștință deosebită sunt adresate conducătorului de doctorat **prof.univ.dr.ing. habil Ioana Ionel** pentru îndrumarea și consilierea atentă pe tot parcursul realizării lucrării.

Mulțumesc, de asemenea membrilor comisiei de doctorat **Prof.univ.dr.ing Isidora Radulov, Prof.univ.dr.ing Tudor Prisăcaru și Prof.univ.dr.ing. Dorin Lelea** în calitate de referenți ai lucrării și domnului **Acad.Prof.univ.dr.ing Liviu Marșavina** în calitate de președinte al lucrării.

Adresez mulțumiri deosebite domnului Conf.dr.Teodor Vintilă de la Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară a Banatului – USAMVB pentru sprijinul acordat pe parcursul desfășurării experimentelor în laborator, pentru deschiderea de colaborare și transferul de cunoștințe de specialitate cu privire la activitățile biologice desfășurate în procesul de fermentare anaerobă a substanței organice.

Respect și mulțumiri staff-ului de la Combinatul Agro Industrial Curtici pentru deschiderea și susținerea cercetării experimentale pe parcursul studiilor de doctorat.

Respect și mulțumiri staff-ului de la Smithfield Ferme pentru deschiderea și susținerea cercetării experimentale pe parcursul studiilor de doctorat.

Apreciez în final susținerea cercetării Școlii Doctorale din UPT.

Mulțumesc familiei: Patricia, Alexia și șotului Mihail pentru sprijinul moral și încurajările constante pe tot parcursul efectuării studiilor de doctorat.

Adriana Raluca Wächter

Valorificarea energetică a deșeurilor din industria alimentară

Teze de doctorat ale UPT, Seria **x**, Nr. **xxxx**, Editura Politehnica, 2023, 127 pagini, 54 figuri, 24 tabele.

ISSN:.....-.....

ISBN:.....-.....-.....-.....

Cuvinte cheie: deșeuri organice, digestie anaerobă, biometan, valorificare energetică, surse regenerabile.

Rezumat,

Subiectul abordat și concluziile cercetării raspund unor probleme de actualitate privind valorificarea energetică a deșeurilor organice biodegradabile în vederea reducerii iminentului impact de poluare asupra mediului înconjurător.

Cercetarea are la bază două studii de caz și experimente realizate pe stand în laborator, în urma cărora este pusă în evidență valorificarea energetică a deșeurilor organice generate de producători din industria agro-alimentară.

Tema abordată interdisciplinar și concluziile desprinse, îmbină aspecte legate de managementul ecologic al deșeurilor organice și metode de protejare a mediului înconjurător.

CUPRINS

Lista lucrărilor științifice publicate	8
Notații, abrevieri, acronime.....	10
Lista de tabele cuprinse în teză	11
Lista de figuri cuprinse în teză	12
1. INTRODUCERE.....	15
1.1 Stabilirea temei de cercetare	15
1.2 Importanța și actualitatea temei.....	16
1.3 Încadrarea temei în topica la nivel internațional și național	17
1.4 Obiectivele științifice prestabilite pentru cercetare	18
1.5 Metoda de cercetare abordată.....	19
2. PRODUCEREA BIOGAZULUI	21
2.1 Digestia anaerobă	21
2.2 Caracterizarea energetică a deșeurilor organice	24
2.3 Factorii de proces care influențează producția de biogaz.....	26
2.4 Fluxuri tehnologice de producere a biogazului prin digestie anaerobă	29
2.4.1 Bioreactor cu film fix.....	30
2.4.2 Bioreactor cu pat absorbant	31
2.4.3 Bioreactor cu șicane orizontal.....	32
2.4.4 Bioreactor tip lagună acoperită	33
2.4.5 Bioreactor tip piston (plug-flow)	34
2.4.6 Bioreactor cu mixare continuă.....	35
2.4.7 Bioreactor de contact cu separare și recirculare	35
2.4.8 Bioreactor de contact cu stabilizare.....	37
2.4.9 Bioreactor de contact cu separare de fază.....	38
2.5 Alegerea variantei constructive a bioreactorului.....	39
3. INVESTIGAREA INSTALAȚIILOR INDUSTRIALE DE PRODUCERE BIOGAZ	40
3.1. Stația de producere biogaz – Baia Mare	40

3.1.1 Implementarea proiectului	40
3.1.2 Descrierea fluxului tehnologic	41
3.1.3 Producerea biogazului	42
3.1.4 Stocarea și valorificarea biogazului	42
3.2. Stația de producere biogaz – Seini	44
3.2.1 Implementarea proiectului	44
3.2.2 Descrierea fluxului tehnologic	46
3.2.3 Producerea biogazului	50
3.2.4 Stocarea, tratarea și valorificarea biogazului	51
3.2.5 Stocarea și prelucrare digestat	53
3.3. Stația de producere biogaz – Arad	55
3.3.1 Implementarea proiectului	55
3.3.2 Descrierea fluxului tehnologic	56
3.3.3 Producerea biogazului	58
3.3.4 Stocarea și valorificarea biogazului	59
3.3.5 Stocarea și prelucrare digestat	60
4. EXPERIMENTE ÎN LABORATOR	62
4.1. Metode experimentale aplicate	62
4.1.1. Producerea biogazului în regim staționar	63
4.1.2. Producerea biogazului în flux cu alimentare continuă	73
4.1.3. Stand în regim staționar utilizat în experimente	78
4.1.4. Stand cu alimentare continuă utilizat în experimente	82
4.2. Studiu de caz 1 – Ferma de porci Bacova	87
4.2.1. Analiza fluxului tehnologic al fermei zootehnice	87
4.2.2. Calculul și determinarea potențialului de biogaz	89
4.2.3. Analiza și interpretarea rezultatelor	91
4.3. Studiu de caz 2 – Complexul Agro Industrial Curtici	92
4.3.1. Analiza fluxului tehnologic	93
4.3.2. Pregătirea probelor	93
4.3.3. Setarea standului experimental AMPTS II	97
4.3.4. Analiza și interpretarea rezultatelor	105

5. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE	110
5.1. Evaluarea obiectivelor de cercetare prestabilite	110
5.2. Concluzii privind rezultatelor cercetării efectuate	113
5.3. Direcțiile deschise pentru continuarea cercetărilor	115
5.4. Contribuții proprii privind tema de cercetare abordată.....	116
Bibliografie.....	120

Lista lucrărilor științifice publicate

1. Lucrări științifice publicate în reviste indexate Web of Science-WoS (ISI)

1. A.R Wächter, I.Ionel, M.R Wächter, A.Negrea, V.Minzatu, C.Munteanu, M.Ciopec, "Encapsulation of municipal solid waste incineration residues into coal fly ash rock matrix", *Journal of Environmental Protection and Ecology* 17, No.3, pp.1037-1047, 2016.

2. A.R Wächter, M.R.Wächter, D. Vaida, "Energy recovery from organic waste", *University Politehnica of Bucharest, Scientific Bulletin Series C – Electronical Engineering and Computer Science*, Bucharest, 78(4), pp.267-276, 2016.

3. T. Vintilă, I.Ionel, T.T. Rufis Fregue, A.R. Wächter, C. Julean, A.S Gabche, "Residual biomass from food processing industry in Cameroon as feedstock for second-generation biofuels", *Bioresources*, 14 (2), pp.3731-3745, 2019.

4. R.T.T. Fregue, A.R Wächter, I.Ionel, T.Vintilă, C.Julean, S.Moisa, C.I Ungureanu, A.C Mihaiut, "Renewable energy production potential by using from wastes generated in a pigs farm and slaughterhouse", *Revista de chimie*, 70(6), pp.2508-2061, 2019.

2. Lucrări științifice publicate în volumele unor manifestări științifice (Proceedings) indexate Web of Science-WoS (ISI) Proceedings

1. A.R Wächter, I. Ionel, A.E Cioablă, M.R Wächter, "Biogas recovery from a pig farm. Smithfield Bacova unit case study", in *Proc. 24th European Biomass Conference&Exhibition (EUBCE)*, DOI 10.5071/24thEUBCE2016-2CV.3.78, pp.960-964, 2016.

2. A.R Wächter, I. Ionel, T. Vintilă, D. Vaida, "Increasing energy efficiency of an agro-industrial integrated process through anaerobic co-digestion of slaughterhouse waste water and farm manure", DOI 10.5071/25thEUBCE2017-2CV.4.46, pp.938 – 942, 2017.

3. A.R Wächter, I. Ionel, T. Vintilă, M.R Wächter, "Energy Recovery from Pig Farm and Slaughterhouse Organic Wastes", DOI 10.5071/26thEUBCE2018-IBV.1.14, pp.1617 – 1620, 2018.

4. I.A Halmaciu, M.R Wächter, A.R Wächter, "Comparative analysis of the energy content of diverse fuels performed via thermogravimetric investigations", *Journal of Physics: Conference Series*, DOI: 10.1088/1742-6596/2212/1/012005, 2022.

3. Lucrări științifice publicate în reviste de specialitate indexate BDI (cu specificarea BDI)

1. M.R Wächter, A.R.Wächter, I. Ionel, M.D Vasilescu, L.A Varga, "Solidificarea reziduurilor din incinerare prin omogenizarea hidrolică în șlam dens", *Buletinul AGIR nr.3/2015*, pp.135-128, BDI: Index Copernicus International, Academic Keys, getCited.

9

4. Lucrări științifice publicate în volumele unor manifestări științifice (Proceedings) indexate BDI (cu specificarea BDI)

1.
2.

5. Lucrări științifice publicate în volumele unor manifestări științifice internaționale (Proceedings) din străinătate

1. A.R Wächter, M.R Wächter, I. Ionel, "Co-substrates influence on methane generation through waste water anaerobic digestion" in Proc. 5th International Conference Ecology of Urban Areas 2016 (URBAN ECO 2016), Zrenjanin, Serbia, September, pp.94 – 101, 2016.

6. Lucrări științifice publicate în volumele unor manifestări științifice

1. A.R Wächter, M.R.Wächter, D. Vaida, "Energy recovery from organic waste", in Proc. 7th International conference on Energy and Environment 2015, Iași, România, October 22-23.

2. A.R Wächter, I.Ionel, M.R Wächter, "Green energy recovery from farm pig manure", in Proc. 7th COLloque FRancophone en Energie, Environnement, Economie et Thermodynamique, 2016.

3. M.R.Wächter, A.R. Wächter, L.A. Varga, "Flue gas cleaning of municipal solid waste incinerators", AT20_S Energia&Transportul

Notații, abrevieri, acronime

Simbol/ Abreviere/ Notație	Semnificație
AD	Anaerobic Digestion / digestie anaerobă
AMPTS	Automatic Methane Potential Test System
AWCB	Agricultural Wastes Co- and By-products / deșeuri organice agricole
BMP	Biochemical Methane potential / potențial metanogen biochimic
BOD	Biochemical oxygen demand
BRS	BioReactor Simulator
CHP	Combined Heat and Power / unitate de cogenerare
COD	Chemical oxygen demand
GES	Gaze cu efect de seră
HRT	Hydraulic retention Time / timp de retenție hidraulică
OLR	Organic Loading Rate / capacitatea organică de încărcare
POS	Program Operațional Sectorial
SMA	Specific Methanogenic Activity
TS	Total solids / substanță uscată solidă
VS	Volatile substance / substanță organică volatilă
c	concentrația masică a substanței organice
$C_{CH_4}^{tr}$	concentrația de metan în gazul uscat
$C_{CH_4}^f$	concentrația de metan în gazul umed
C_{korr}^{tr}	concentrația corectată a gazelor componente din biogaz
$C_{t1,2}^{tr}$	concentrația măsurată a gazelor componente din biogaz
m_D	masa uscată
m_W	masa umedă
m_B	masa anorganică/ nearsă
p	presiune gazului în momentul citirii/înregistrării
p_0	1013 hPa, presiunea normală
p_w	presiune vaporilor la temperatura mediului din bioreactor
T_0	273 K, temperatura normală
T	temperatura de fermentare în bioreactor
$t_{1,2}$	intervalul de timp între măsurători ($t_2 > t_1$).
kWth	kilowatt termic
kWel	kilowatt electric
V_R	volumul util al digesterului
V	debitul volumic încărcată/-e pe zi
V_0^{tr}	volumul normal de gaz uscat
V_k	volumul liber (de acumulare) din bioreactor, [ml]
V_B	volumul de biogaz produs, [ml]

Lista de tabele cuprinse în teză

Nr. crt.	Nr. de ordine	Denumirea tabelului	Pag.
1	Tabel 1	Parametrii tehnologici fermentare mezofilă vs. termofilă	23
2	Tabel 2	Producția gazului metan raportat la tipul substanței organice	25
3	Tabel 3	Parametrii operațional pe tipuri de bireactoare	39
4	Tabel 4	Bilanțul masic și energetic al instalației de biogaz Seini	47
5	Tabel 5	Caracteristicile cosubstratelor utilizate în instalația de biogaz Arad	58
6	Tabel 6	Producția anuală de în instalația de biogaz Arad	58
7	Tabel 7	Producția de biogaz raportată la cantitatea de cosubstrate	59
8	Tabel 8	Producția de energie termică și electrică la instalația de biogaz Arad	60
9	Tabel 9	Caracteristicile digestatului de la instalația de biogaz Arad	60
10	Tabel 10	Caracteristicile fertilizatorului produs în instalația de biogaz Arad	61
11	Tabel 11	Consumurile energetice specifice în ferma zootehnică Bacova	88
12	Tabel 12	Caracteristicile și parametri de operare pentru deșeuri agricole	89
13	Tabel 13	Deșeuri organice disponibile în ferma zootehnică Macea – an 2016	93
14	Tabel 14	Valorile TS pentru cosubstratele de la ferma Macea	95
15	Tabel 15	Valorile VS pentru cosubstratele de la ferma Macea	96
16	Tabel 16	Condiții pregătire probe pentru investigarea producerii de biogaz	98
17	Tabel 17.a	Parametrii de proces probă 1-vita (gunoi de grajd vită)	99
18	Tabel 17.b	Parametrii de proces probă 2-porc (dejecții de porc)	100
19	Tabel 17.c	Parametrii de proces probă 3-abator (apă uzată abator)	101
20	Tabel 17.d	Parametrii de proces probă 4-mix(1+2+3)	102
21	Tabel 17.e	Parametrii de proces probă 5- control inocul	103
22	Tabel 18.a	Valori producție zilnică de biogaz determinate experimental	105
23	Tabel 18.b	Valori producție cumulată de biogaz determinate experimental	107
24	Tabel 19	Calcul potențialului de producere a biogazului BMP	108

Lista de figuri cuprinse în teză

Nr. crt.	Nr. ordine	Tipul figurii			Denumirea figurii	Pag
		Imagine	Grafic	Schemă		
1	Fig.1			x	Fazele de producere a gazului metan prin fermentare anaerobă	21
2	Fig.2		x		Valori de referință producție specifică metan	24
3	Fig.3			x	Flux tehnologic stație producere biogaz digestie anaerobă	26
4	Fig.4		x		Influența HRT asupra încărcării organice în digestat	28
5	Fig.5			x	a-Bioreactor cu film fix, b-Structură pat suport film bacterii	30
6	Fig.6			x	Bioreactor cu pat absorbant	31
7	Fig.7			x	Bioreactor cu șicane orizontal	32
8	Fig.8			x	Bioreactor tip lagună acoperită	33
9	Fig.9			x	Bioreactor tip piston	34
10	Fig.10			x	Bioreactor cu mixare continuă	35
11	Fig.11			x	Bioreactor de contact cu separare și recirculare	36
12	Fig.12			x	Bioreactor de contact cu separare, recirculare și stabilizare	37
13	Fig.13			x	Bioreactor cu separare faza acidă	38
14	Fig.14	x			Stația de producere biogaz Baia Mare	40
15	Fig.15			x	Schema tehnologică a stației de biogaz Baia Mare	41
16	Fig.16			x	Schema tehnologică bioreactoare 3-4 Baia Mare	42
17	Fig.17			x	Schema tehnologică rezervor stocare de biogaz Baia Mare	43
18	Fig.18	x			Plan încadrare în zonă al stației de biogaz Seini	45
19	Fig.19			x	Plan amplasament stație biogaz Seini	46
20	Fig.20			x	Flux tehnologic alimentare deșeuri organice stație biogaz Seini	48
21	Fig.21			x	Principiul de funcționare al bioreactorului de la instalația de biogaz Seini	50
22	Fig.22	x			Bioreactorul de la stația de biogaz Seini	51
23	Fig.23	x			Unitate de cogenerare de la stația de biogaz Seini	52

Nr. crt.	Nr. ordine	Tipul figurii			Denumirea figurii	Pag
		Imagine	Grafic	Schemă		
24	Fig.24	x			Linia de producere fertilizator de la stația de biogaz Seini	53
25	Fig.25	x			Instalația de ambalare fertilizator de la stația de biogaz Seini	54
26	Fig.26	x			Planul de amplasare în zonă stație de biogaz Arad	55
27	Fig.27			x	Fluxul tehnologic stație de biogaz Arad	56
28	Fig.28			x	Stand experimental producere biogaz DIN38414-8	65
29	Fig.29			x	Stand experimental producere biogaz DIN ISO 11734	65
30	Fig.30			x	Stand experimental producere biogaz cu tub de colectare gaz	66
31	Fig.31			x	Stand experimental producere biogaz cu punga colectare gaz	67
32	Fig.32			x	Stand experimental producere biogaz Hohenheim	68
33	Fig.33			x	Stand experimental producere biogaz Bergedorf	68
34	Fig.34		x		Conținutul vaporilor de apă in biogaz funcție de umiditate	70
35	Fig.35		x		Curbe specifice producției de biogaz prin fermentare anaerobă	71
36	Fig.36			x	Schemă instalație biogaz în flux cu alimentare continuă	75
37	Fig.37			x	Schemă flux măsură și analiză Biogaz	76
38	Fig.38		x		Variația OLR într-un bioreactor cu funcționare continuă	77
39	Fig.39	x			Stand experimental AMPTS II	78
40	Fig.40	x			Interfața de comunicare stand experimental AMPTS II	79
41	Fig.41	x			Determinarea TS și VS a substanței organice	80
42	Fig.42	x			Raport de date experimentale generat de AMPTS II	81
43	Fig.43	x			Stand experimental BRS	83
44	Fig.44	x			Interfața on-line de comunicare stand experimental BRS	84
45	Fig.45	x			Interfața on-line alimentare / descărcare bioreactoare stand BRS	85
46	Fig.46	x			Sistem colectare dejectii în sistem „pernă de apă”	87
47	Fig.47			x	Proces tehnologic ferma zootehnică Bacova	88

Nr. crt.	Nr. ordine	Tipul figurii			Denumirea figurii	Pag
		Imagine	Grafic	Schemă		
48	Fig.48	x			Rezultatele calculelor de simulare a producției de biogaz - ferma Bacova	90
49	Fig.49	x			Determinare TS și VS	94
50	Fig.50		x		Reprezentare grafică TS a substratelor investigate	96
51	Fig.51		x		Reprezentare grafică VS a substratelor investigate	97
52	Fig.52	x			Încărcarea bioreactoarelor AMPTS II	104
53	Fig.53		x		Evoluția producției zilnice de metan	106
54	Fig.54		x		Producția specifică de metan BMP	108
Total 54 figuri		18 imagini	9 grafice	27 scheme		

1. INTRODUCERE

1.1 Stabilirea temei de cercetare

În 2009 am absolvit Facultatea de Mecanică – UPT, specializarea Mașini și Instalații în Industria Alimentară, iar în 2011 studiile de master în Energoecologie în domeniul Termic și al Vehiculelor de Transport în cadrul aceleiași instituții. Am realizat lucrarea de diplomă *Sisteme de filtrare a berii – filtrul cu lumânări*, la Ursus Brewaris SAAB Miller Group Timișoara, beneficiind de o bursă de merit UPT, sponsorizată de compania în cadrul căreia mi-am realizat lucrarea de diplomă.

Pe parcursul carierei mele în inginerie am lucrat în diferite domenii de inginerie dintre care 3 ani ca inginer proiectant la Institutul de Studii și Proiectări Energetice – Sucursala Timișoara; 2 ani și 6 luni în producție ca inginer trasabilitate la AEM Timișoara, urmărind producția a peste 400 de angajați; iar în prezent lucrez ca expert achiziții la Agenția de Achiziții Publice Timișoara (AAPT).

Având în vedere experiența acumulată, m-am angajat să aprofundez cunoștințele dobândite prin studii de doctorat, abordând o temă legată de valorificarea energetică a deșeurilor organice provenite din industria alimentară. Tema aleasă este de actualitate, răspunde nevoilor și cerințelor specifice managementului integrat al deșeurilor generate de industria alimentară.

Legislația europeană în vigoare și fondurile europene puse la dispoziție pentru aplicații și proiecte cu tematică similară cu cea abordată în studiile doctorale, pun în evidență că tema de cercetare aleasă se încadrează în topica actuală de cercetare dezbătută la nivel național și internațional.

Una din problemele de actualitate ale societății din zilele noastre este procesarea și tratarea deșeurilor organice provenite din industria alimentară. Obținerea produselor alimentare se realizează cu un consum energetic ridicat și generează cantități semnificative de deșeuri organice cu impact asupra mediului. Sistemul de management integrat al deșeurilor are rolul de a trata această problemă. Sub acest aspect, valorificarea energetică prin exploatarea biogazului obținut din fermentare/digestie anaerobă, reprezintă o soluție fezabilă și sustenabilă pentru producerea energiei regenerabile din deșeurile organice provenite din industria alimentară. În majoritatea țărilor industrializate, se pune accent pe soluțiile sustenabile de management al deșeurilor cu valorificare energetică din surse regenerabile.

Conceptul „Waste-to-Energy” utilizează deșeurile organice ca sursă alternativă de energie, prin valorificarea potențialului lor de a produce biogaz.

Procesele de valorificare energetică din deșeurile organice, presupun utilizarea biogazului produs în urma descompunerii fracției organice sub acțiunea bacteriilor metanogene specifice (care produc metan prin metabolism). Procesul de descompunere a fracției organice sub acțiunea bacteriilor este cunoscut sub numele de fermentare sau digestie. Funcție de mediul în care se desfășoară fermentarea se disting două tipuri principale de fermentare: aerobă când procesul de descompunere are loc în prezența oxigenului; și anaerobă când procesul de descompunere are loc în lipsa oxigenului. Fiecare proces este caracterizat de activitatea unor bacterii specifice mediului în care se desfășoară descompunerea materiei organice.

Procesul de fermentare anaerobă este considerat optim din punct de vedere al raportului energie produsă/consumată; permite tratarea unei game variate de deșeuri organice; poate fi automatizat complet și produce un debit de biogaz în regim

constant. Faptul că procesul de fermentare anaerobă poate fi automatizat complet, astfel încât acesta să producă un debit constant de biogaz, a condus la dezvoltarea mai multor tehnologii de valorificare energetică a biogazului aplicate la scara industrială. În plus, reziduurile rezultate în urma procesului de fermentare anaerobă pot fi folosite ca și fertilizator în agricultură, închizând astfel ciclul de viață al produselor din industria alimentară.

Ținând cont de cele expuse anterior, cercetarea teoretică, aplicată și experimentală abordată în prezenta lucrare de doctorat, s-a axat pe valorificarea energetică a deșeurilor organice provenite din industria alimentară și agricultură, analizând diferite tehnologii aplicate și promovate la nivel european și național.

Tema și subiectul care fac obiectul tezei de doctorat sunt de actualitate, și pun în evidență posibilitatea de implementare la scară industrială a două stații de biogaz prin studiile de caz analizate. Consider că prin aportul adus prin prezenta lucrare voi contribui pentru susținerea valorificării energetice a deșeurilor organice generate de industria alimentară și agricultură.

1.2 Importanța și actualitatea temei

Una dintre principalele probleme de mediu ale societății contemporane este creșterea continuă a cantității de deșeuri organice, generate de fluxurile tehnologice din industria alimentară și agricultură – creșterea animalelor. Cantitățile de deșeuri organice generate la nivel european sunt estimate la peste 700 milioane de tone pe an, fapt care impune găsirea unor soluții de valorificare sub orice formă a acestora care să fie complementar la gestionarea judicioasă a deșeurilor prin managementul integrat al deșeurilor [1, 25, 26].

În ultimul deceniu, Uniunea Europeană (UE) a promovat necesitatea dezvoltării unei bio-economii, care se referă la utilizarea resurselor biologice regenerabile și la valorificarea acestora prin tehnologii convenționale sau noi care să genereze noi produse, materiale sau energie [1]. Prin acest concept de economie, deșeurile organice generate de industria alimentară și agricultură sunt privite ca o resursă de materie primă, pe baza căreia s-au dezvoltat o serie de tehnologii noi pentru reciclarea și valorificarea energetică a acestora.

Noile standarde și legislația în vigoare la nivel european impun valorificarea energiei și reciclarea nutrienților din materia organică aferentă deșeurilor biodegradabile. Practicile din trecut de evacuare necontrolată, depozitare pe platforme sau de incinerare a anumitor categorii de deșeurilor organice nu mai sunt acceptate [3, 25].

Produsele finite din industria alimentară sunt caracterizate de o valoare ridicată a raportului dintre cantitatea de deșeu specific și produs finit, fiind foarte dificilă scăderea cantității deșeurilor specifice cu menținerea intactă a calității produsului. Generarea deșeurilor din industria alimentară este inevitabilă, utilizarea și depozitarea acestora fiind îngreunată de mai mulți factori cum sunt: instabilitatea biologică, potențialul patogenic, degradarea biologică generată de activitatea enzimatică ridicată (putrefacție), precum și a conținutului ridicat de apă. Stabilizarea, tratarea și depozitarea deșeurilor organice ridică probleme deosebite atât în domeniul protecției mediului, cât și în cel al dezvoltării durabile [26, 106, 107].

În acest sens, tehnologia de producere a biogazului prin digestie anaerobă (AD), este una din cele mai răspândite și aplicate metode la nivel mondial, atât pentru tratarea și stabilizarea biologică a deșeurilor organice, cât și pentru valorificarea

energetică a acestora. Practic, tehnologia are la bază activitatea biologică a unor culturi de bacterii metanogene regăsite în natură, care consumă fracția biodegradabilă din materie, și o transformă prin metabolism în biogaz cu un conținut ridicat de metan (55-70%vol).

Producerea și colectarea biogazului rezultat în urma unui proces biologic a fost pentru prima dată documentată în Marea Britanie în anul 1895; de atunci acest proces a fost continuu dezvoltat și aplicat la scară industrială largă, în scopul tratării și stabilizării diferitelor tipuri de deșeuri organice. În ultimele decenii, tehnologia de producere a biogazului prin AD a fost puternic dezvoltată în contextul eforturilor la nivel mondial de utilizare a surselor alternative de energie în detrimentul utilizării combustibililor fosili, având ca principal obiectiv reducerea gazelor cu efect de seră (GES). Energia produsă prin utilizarea biogazului este considerată „energie regenerabilă”, deci generează certificate de CO₂ care pot fi comercializate, conform protocolului de la Kyoto pentru reducerea GES [25, 26, 107].

Spre deosebire de combustibilii fosili, arderea biogazului eliberează doar cantitatea de CO₂ atmosferic, care a fost înmagazinată de organismele vii (plante sau animale) în timpul creșterii lor. Astfel, circuitul de carbon al biogazului este închis. Din acest motiv, utilizarea biogazului reduce emisiile de CO₂ și ajută la evitarea creșterii concentrației de CO₂ în atmosferă, contribuind la diminuarea încălzirii globale [24,102].

1.3 Încadrarea temei în topica la nivel internațional și național

Directiva 2009/28/CE privind energia din surse regenerabile stabilește o politică generală de producere și promovare a energiei regenerabile în UE, care stabilește ca un prag minim de 20% din producția totală de energie să fie produsă din surse regenerabile până în 2020. În acest sens, la nivel de stat membru UE s-au lansat diferite programe de finanțare din fonduri UE.

La nivel național și european s-a emis pachetul legislativ „Energie – Schimbări Climatice” care a fost agreat de șefii de stat și de guvern la Consiliul European din 13 decembrie 2008 și adoptat în cadrul reuniunii plenare a Parlamentului European din data de 17 Decembrie 2008.

„Pachetul” repartizează între Statele Membre, prin criterii și ținte, obiectivele UE asumate la Consiliul European de primăvară 2007, respectiv:

1. de reducere, până în 2020, cu cel puțin 20% a emisiilor de gaze cu efect de seră (GES);
2. de creștere, în același interval de timp, cu 20% a ponderii energiilor regenerabile în totalul consumului energetic;
3. creșterea eficienței energetice cu 20%.

„Pachetul” legislativ conține patru acte normative europene:

1. Pentru sectoarele aflate sub incidența schemei de comercializare a certificatelor de emisii de gaze cu efect de seră (ETS), extinderea schemei de comercializare a certificatelor de emisii de gaze cu efect de seră prin introducerea altor sectoare/categorii de instalații și includerea altor gaze cu efect de seră (în prezent se aplică doar emisiilor de dioxid de carbon) – Directiva 2009/29/CE a Parlamentului European și a Consiliului Uniunii Europene din 23 aprilie 2009, de modificare a Directivei 2003/87/CE în vederea îmbunătățirii și extinderii sistemului comunitar de comercializare a cotelor de emisie de gaze cu efect de seră;

2. Pentru sectoarele non-ETS, distribuirea efortului de reducere între Statele Membre, prin stabilirea unor ținte diferențiate situate între -20% și +20% față de anul 2005 – Decizia nr. 406/2009/CE a Parlamentului European și a Consiliului Uniunii Europene din 23 aprilie 2009, privind efortul statelor membre de a reduce emisiile de gaze cu efect de seră astfel încât să respecte angajamentele Comunității de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră până în 2020;
3. Promovarea tehnologiei de captare și stocare a dioxidului de carbon – Directiva 2009/31/CE a Parlamentului European și a Consiliului Uniunii Europene din 23 aprilie 2009, privind stocarea geologică a dioxidului de carbon;
4. Stimularea utilizării surselor regenerabile de energie – Directiva 2009/28/CE a Parlamentului European și a Consiliului Uniunii Europene din 23 aprilie 2009, privind promovarea utilizării energiei din surse regenerabile.

Informări provenind de la instituțiile și organele uniunii europene - orientări comunitare privind ajutorul de stat pentru protecția mediului:

- Decizia nr. 406/2009/CE a Parlamentului European și a Consiliului Uniunii Europene din 23 aprilie 2009 privind promovarea utilizării energiei din surse regenerabile, de modificare și ulterior de abrogare a Directivelor 2001/77/CE și 2003/30/CE.
- Directiva nr. 28/2009/CE a Parlamentului European și a Consiliului Uniunii Europene din 23 aprilie 2009 privind promovarea utilizării energiei din surse regenerabile, de modificare și ulterior de abrogare a Directivelor 2001/77/CE și 2003/30/CE.
- Directiva nr. 29/2009/CE a Parlamentului European și a Consiliului Uniunii Europene din 23 aprilie 2009 de modificare a Directivei 2003/87/CE în vederea îmbunătățirii și extinderii sistemului comunitar de comercializare a cotelor de emisie de gaze cu efect de seră.
- Directiva nr. 31/2009/CE a Parlamentului European și a Consiliului Uniunii Europene din 23 aprilie 2009 privind stocarea geologică a dioxidului de carbon și de modificare a Directivei 85/337/CEE a Consiliului, precum și a Directivelor 2000/60/CE, 2001/80/CE, 2004/35/CE, 2006/12/CE, 2008/1/CE și a Regulamentului (CE) nr. 1013/2006 ale Parlamentului European și ale Consiliului.

1.4 Obiectivele științifice prestabilite pentru cercetare

Cercetarea științifică desfășurată pe parcursul studiilor de doctorat se bazează pe valorificarea energetică a deșeurilor organice biodegradabile prin utilizarea biogazului obținut prin digestie anaerobă.

Lucrarea este consolidată pe o serie de cercetări experimentale în laborator, unde au fost concepute și testate mai multe rețete de co-digestie anaerobă pentru o serie de tipuri de deșeuri organice utilizate în amestec, cu scopul de a caracteriza potențialul energetic de valorificare a biogazului rezultat.

Rețetele de co-digestie investigate au fost stabilite funcție de natura și cantitatea deșeurilor provenite din fluxuri tehnologice industriale, astfel încât rezultatele aferente experimentelor realizate pot fi utilizate ca date tehnologice de intrare pentru realizarea unor studii de fezabilitate care să ofere o viziune asupra

potențialului de valorificare energetică specifice sectoarelor abordate din industria alimentară și agricolă.

Obiectivele științifice urmărite în cercetarea teoretică, aplicată și experimentală pot fi grupate în două categorii principale:

- I. Cercetare teoretică
 1. Valorificarea energetică a deșeurilor organice provenite din industria alimentară și agricultură;
 2. Producerea biogazului prin digestie anaerobă;
 3. Tipuri constructive de unități pentru producerea biogazului;
- II. Cercetare aplicată și experimentală
 4. Investigarea stațiilor industriale de producere biogaz din partea de Vest a României – vizite on-site;
 5. Investigarea a apelor uzate cu încărcare organică ridicată prelevate din fluxuri industriale – determinarea încărcării organice;
 6. Calculul și stabilirea rețelilor de amestec a substratelor investigate – breviare de calcul conform standardelor în vigoare;
 7. Investigarea producției de biogaz la scară de laborator în regim staționar;
 8. Investigarea producției de biogaz la scară de laborator în flux cu alimentare continuă;
 9. Analiza și interpretarea datelor experimentale.

1.5 Metoda de cercetare abordată

Cercetarea s-a bazat pe valorificarea energetică a biogazului produs prin digestie anaerobă, utilizând deșeurile provenite din industria alimentară și agricultură. În acest sens au fost vizate apele reziduale cu încărcătură organică ridicată, generate în procesul de producție a produselor alimentare finite din industria alimentară, pe de o parte; și respectiv apele uzate provenite de la fermele de creștere a animalelor din zootehnie /agricultură.

Abordarea pleacă de la faptul că apele uzate cu încărcare organică ridicată sunt încadrate în categoria resurselor alternative de energie, iar valorificarea energetică a biogazului este încadrată ca energie regenerabilă. Procedeu tehnologic de producere a biogazului prin digestie anaerobă are la bază activitatea biologică a bacteriilor metanogene, care consumă fracția organică solidă conținută în deșeurile sau fracția diluată în apele uzate.

Bacteriile metanogene își desfășoară activitatea în condiții strict anaerobe (în lipsa oxigenului), cu umiditate și temperatură ridicată, astfel apele reziduale vizate devin un mediu propice pentru dezvoltarea lor. Ca și reprezentanți ai viului, acestea sunt printre primele organisme care au populat biosfera cu miliarde de ani înainte, și se consideră că nu au evoluat semnificativ între timp. Bacteriile metanogene se găsesc în natură în mlaștini, în adâncurile oceanelor și în sistemul digestiv al animalelor.

Altfel spus, producerea biogazului prin digestie anaerobă reprezintă o metodă biologică de tratare și valorificare energetică a apelor reziduale cu încărcătură organică ridicată, care protejează mediul ambiant, întrucât nu utilizează substanțe chimice sub nici o formă. Prin tema de cercetare abordată s-au abordat trei subiecte principale legate de gestionarea deșeurilor organice biodegradabile:

1. Reducerea gazelor cu efect de seră prin producerea, captarea și valorificarea energetică a biogazului în CHP;
2. Producerea de energie regenerabilă prin utilizarea surselor alternative de energie;
3. Tratarea și stabilizarea biologică a apelor reziduale cu încărcare organică ridicată prin digestie anaerobă.

Metoda de cercetare abordată în prezenta temă de doctorat este axată pe cercetarea experimentală în laborator, realizând campanii experimentale pe două tipuri de instalații; unul pentru producerea biogazului în regim staționar și altul pentru producerea biogazului în regim continuu.

Primul tip de instalație pune în evidență potențialul deșeurilor organice de producere a gazului metan, caracterizat de activitatea bacteriilor metanogene. Prin acest mod s-au obținut informații legate de producția specifică de biogaz și capacitatea de conversie a substanței organice în biogaz dată de activitatea metabolică a bacteriilor de fermentare anaerobă. Informațiile rezultate sunt utilizate pentru stabilirea unor rețete de amestec pentru diferite tipuri de deșeuri organice cu proveniență diferită, aspect foarte important în dimensionarea unităților de producere și valorificare a biogazului.

Al doilea tip de instalație, cel cu alimentare continuă, pune în evidență informații despre parametrii principali de operare al unei unități industriale de producere a biogazului. Informațiile rezultate sunt utilizate pentru ajustarea și reglarea producerii unui debit constant de biogaz coroborat cu gradului de reducere și stabilizare a materiei organice conținută în deșeuri.

2. PRODUCEREA BIOGAZULUI

2.1 Digestia anaerobă

Recuperarea energetică din deșeurile organice este puternic influențată de materia activă conținută în partea organică a deșeurilor, care prin procese bio-chimice este convertită în gaz metan. Pentru exploatarea potențialului maxim de producere a gazului metan generat de reacțiile bio-chimice specifice se impune aplicarea unui proces de fermentare/digestie anaerobă.

Procesul de digestia anaerobă constă în descompunerea materiei organice prin activitatea microbiologică a bacteriilor metanogene, care se dezvoltă în lipsă de oxigen și în condiții de temperatură și umiditate ridicată, întâlnite în medii naturale. Acest proces poate fi reprodus în instalații tehnologice industriale, în urma cărora rezultă două produse finale: *biogazul și digestatul* [20,25].

Bacteriile metanogene consumă materia organică din deșeurile și îi schimbă structura moleculară prin metabolism, transformând fracția organică solidă și cea solubilă în apă în fracție gazoasă sub formă de metan (CH_4), dioxid de carbon (CO_2), mici cantități de hidrogen sulfurat (H_2S) și amoniac (NH_3). Dezvoltându-se în mediu anaerob, rata de multiplicare a bacteriilor este lentă, astfel doar o mică parte din materia organică consumată este folosită pentru creștere și multiplicare, cea mai mare parte fiind convertită prin metabolism în metan. Altfel spus, bacteriile anaerobe sunt organisme vii, care consumă cantități semnificative de materie organică pentru a supraviețui. Procesul biologic de conversie a materiei organice solide în biogaz reprezintă stabilizarea deșeurilor organice [37].

Producerea gazului metan și etapele de digestie anaerobă sunt prezentate în figura 1.

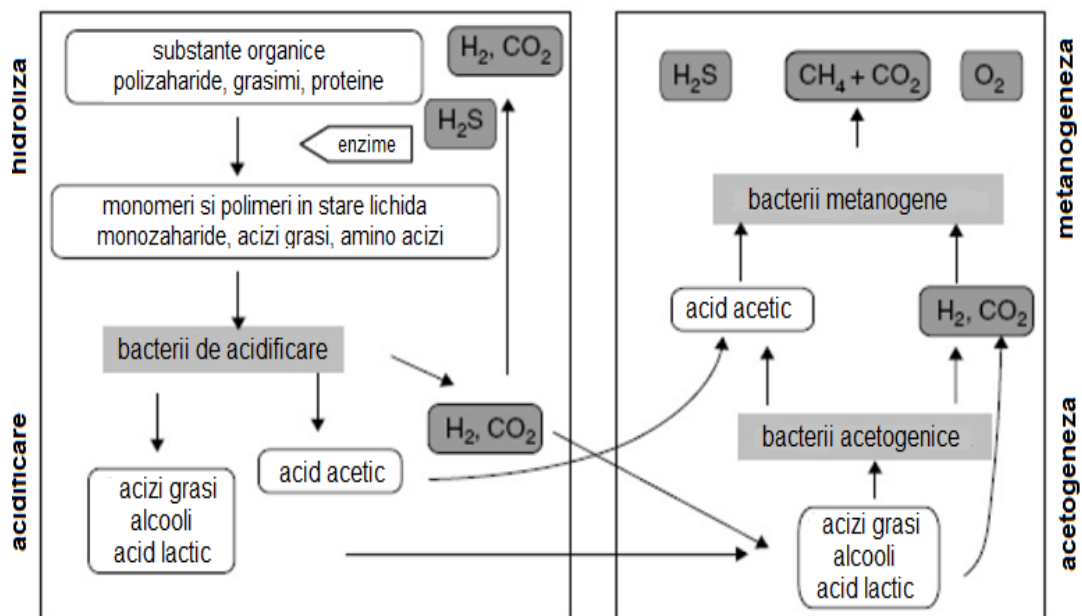


Fig.1. Fazele de producere a gazului metan prin fermentare anaerobă [26]

Hidroliza se desfășoară în prima fază a fermentării anaerobe, în care are loc descompunerea fracției organice și trecerea acesteia în fază lichidă sub acțiunea enzimelor, care transformă carbohidrații, grăsimile și proteinele în monozaharide, acizi grași și aminoacizi.

Această fază este urmată de *acidificare*, care se desfășoară sub influența metabolismului bacteriilor specifice, prin care faza lichidă din etapa anterioară trece în acizi saturați de carbohidrați cu catene scurte, alcoolii, hidrogen și dioxid de carbon.

Faza a treia este *acetogeneza*, în care acizi saturați și alcoolii sunt transformați de bacteriile acetogenetice, în acizi organici volatili saturați, acid acetic, hidrogen și dioxid de carbon.

Metanogeneza este ultima fază care se desfășoară sub acțiunea unor bacterii specifice metanogene, care asimilează compușii rezultați din fazele precedente, și care produc prin metabolism gaz metan.

Prin urmare putem concluda că fermentarea anaerobă se desfășoară în condiții specifice sub influența bacteriilor în faza de acetogeneză și metanogeneză [40,45,92,94]. În altă ordine de idei fracția organică conținută în deșeurile din industria alimentară constituie „hrana” bacteriilor care produc gaz metan. Astfel ajungem la concluzia că, cu cât deșeurile organice au un conținut mai ridicat de materie organică, cu atât bacteriile se reproduc mai mult, ceea ce duce la creșterea cantității de biogaz produs.

Biogazul este un amestec de gaze format în principal din metan CH_4 , dioxid de carbon CO_2 , hidrogen sulfurat H_2S și amoniac NH_3 . Funcție de condițiile de digestie anaerobă, de tipul și natura materiei organice, ponderea concentrației biogazului este de 50-85%vol CH_4 , 50-15%vol CO_2 , cantitățile de H_2S și NH_3 fiind neglijabile de sub 1% [20,25,26,27,37].

Pe lângă producția de gaz metan, în urma procesului de fermentare anaerobă, rezultă o cantitate semnificativă de digestat/nămol foarte bogat substanță nutritivă. Digestatul este materia organică procesată de bacterii, stabilizată din punct de vedere al încărcării organice și patogenice, care se pretează ca îngrășământ în agricultură [10, 24].

Având în vedere legislația europeană dată prin reglementarea nr. 1774/2002, fermentarea anaerobă reprezintă un procedeu/metodă de tratare a deșeurilor organice considerate toxice pentru populație și poluante pentru mediul înconjurător [11,101,106]. Prin aplicarea unei tehnologii adecvate deșeurile organice din industria alimentară pot fi utilizate ca materie primă unități de valorificare energetică din surse regenerabile.

Deșeurile organice utilizate ca materie primă în procesul de producere a biogazului poartă denumirea generică de co-substrate. Compoziția co-substratelor are un rol important în dimensionarea și proiectarea unei linii tehnologice de producere a biogazului. Conținutul organic, temperatura, umiditatea și valoarea pH-ului reprezintă parametrii de control pentru reproducerea, dezvoltarea și durata de viață a bacteriilor.

Pe baza acestui aspect și a considerentelor economice, Best Available Technology – BAT indică două intervale de temperatură: 35-45 °C pentru fermentare mezofilă și 55-60 °C pentru fermentare termofilă [46,97,99].

Din studiile anterioare s-a demonstrat că depășirea pragului termic de 60 °C atrage o scădere drastică a capacității de producție a gazului metan (bacteriile metanogene nu mai supraviețuiesc) [13,14,90,91,93].

Conținutul de gaz metan în biogaz este de cca. 50-85 %vol., funcție de temperatură, durata de fermentare și încărcarea organică a deșeurilor utilizate

[10,46,91,92]. În tabelul 1, se prezintă o comparație între regimurile de funcționare mezofilă și termofilă, care pune în evidență variația parametrilor specifici procesului tehnologic de producere a biogazului, în ipoteza utilizării aceluiași tip de materie organică.

Tabel 1: Parametrii tehnologici fermentare mezofilă vs. termofilă [46]

Parametru	Fermentare mezofilă	Fermentare termofilă
Temperatura optimă [°C]	35-40	55-60
pH	7.2-8.0	7.2-8.5
Variația de temperatura maxim admisă [°C]	3-5	1-2
Timpul de retenție hidraulică [zile]	15-25	3-10
Reducția max. COD* [%]	65-85	85-95
Reducția max. BOD ₅ ** [%]	60-80	80-90
Reducția max. de substanță organică	45-55	55-70
Producția de biogaz (Nm ³ /1000 kg _{VS} ***)	920-980	950-1000
Conținutul de gaz metan în biogaz [%]	60-70	70-85
Acizi volatili [mg CH ₃ COOH/dm ³]	1500-2500	3000-4000
Alcalinitate [mg CaCO ₃ /dm ³]	4000-6000	3000-5000
*COD –cantitatea de oxigen necesară (chemical oxygen demand) **BOD ₅ – cantitatea de O ₂ necesară raportată la 5 zile (biochemical oxygen demand) ***VS –substanța organică uscată		

După cum se observă din tabelul 1, producția de biogaz este mai mare la fermentarea termofilă în comparație cu cea mezofilă, dar totodată are un consum termic/energetic mai mare. Raportat la cantitatea de energie consumată/produsă, din considerente tehnice și economice fermentarea mezofilă este cea mai larg implementată la scară industrială. Sub aspect al consumului energetic, un procent de 10 – 30% din energia termică și electrică este utilizată în procesul tehnologic de producere a biogazului [25,107].

Pentru rentabilitatea/eficiența unui flux tehnologic de producere și valorificare biogaz, este necesară menținerea unui debit constant de biogaz către unitatea de cogenerare (CHP).

În practica industrială se face un compromis între producția maximă de biogaz și rentabilitatea economică. Cei mai importanți parametri care trebuie monitorizați într-un proces de producție a biogazului sunt:

- (i) încărcarea organică (5-10 %masic),
- (ii) valoarea pH (7.2–8.5),
- (iii) temperatura de fermentare/ digestie (35-55°C sau 55-60 °C).

2.2 Caracterizarea energetică a deșeurilor organice

Întreg procesul tehnologic de producere a biogazului depinde de natura deșeurilor organice, de cantitățile disponibile și raportul de amestec între mai multe co-substrate. Astfel pentru dimensionarea corectă a unei instalații tehnologice de producere a biogazului este foarte importantă o caracterizare energetică a co-substratelor, pe baza căreia să se stabilească o rețetă optimă de amestec. Digestia anaerobă a două sau mai multe tipuri de substraturi în amestec se numește co-digestie.

Caracterizarea energetică a co-substratelor se raportează la randamentul specific în producția de metan generat de cantitatea de substanță uscată care se regăsește în natura substanțelor din care este format deșeurul [25,50,51,103,104].

Orientativ, pentru calcule estimative, literatura de specialitate indică valori de referință a producției specifice de metan, pentru diferite tipuri de deșeurii organice sau biomasă, utilizate în liniile tehnologice de producere a biogazului – figura 2.

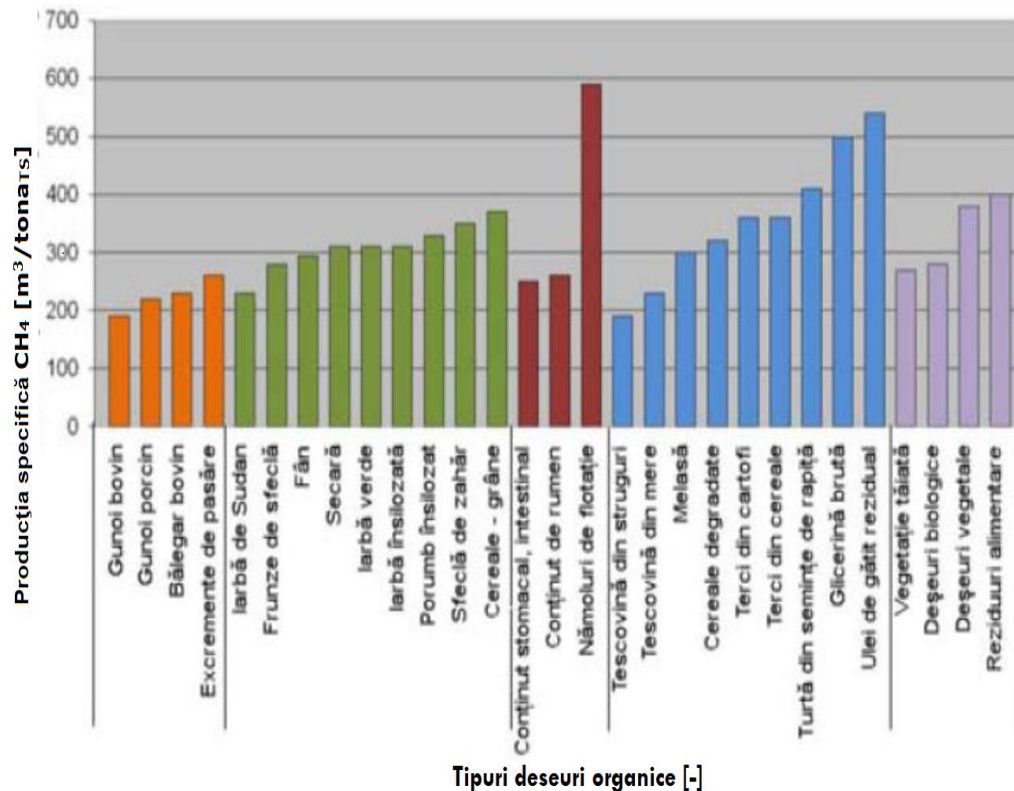


Fig.2. Valori de referință producție specifică metan [25]

După cum se observă în figura 2, deșeurile din industria alimentară și nămolurile provenite de la stațiile de tratare apă uzată prezintă cele mai mari valori pentru producția specifică de metan. Aceste valori variază într-o marjă destul de mare, întrucât calitatea deșeurilor este puternic influențată de modul de colectare și gestionare al acestora.

Estimarea corectă a producției specifice de metan, impune o analiză în laborator, care să pună în *evidență încărcarea organică a deșeurilor*. Pentru determinarea încărcării organice, fiecare tip de deșeu necesită o analiză individuală, care presupune parcurgerea a două etape [50]:

- I. Uscarea în etuvă la o temperatură de la 105°C - prin care se determină masa lichidă (m_W) și solidă uscată (m_D). În baza acestor valori se calculează conținutul de substanță uscată TS (Total Solids) specific deșeurii investigat, după următoarea formulă [51]:

$$TS = m_D / m_W \quad [\%] \quad (1)$$

- II. Calcinare în cuptor la o temperatură de 550 °C a masei uscate m_D , de la prima etapă - prin care se determină masa anorganică nearsă (m_B). În baza acestei valori și a celor determinate la faza anterioară se calculează conținutul de substanță organică VS (Volatile Solids) specific deșeurii investigat, după următoarea formulă [51]:

$$VS = (m_D - m_B) / m_W \quad [\%] \quad (2)$$

unde: m_D - masa uscată, [g];
 m_W - masa umedă, [g];
 m_B - masa anorganică/ nearsă, [g];

Pe lângă încărcarea organică a deșeurilor, producția specifică de metan este influențată de *tipul substanței din care este alcătuită fracția organică a deșeurilor*. Literatura de specialitate indică valori orientative pentru producția specifică de biogaz raportată la tipul substanței din compoziția deșeurilor:

Tabel 2: Producția gazului metan raportat la tipul substanței organice [26]

Compus	Producția de biogaz [L/kg _{VS} *]	CH ₄ [% vol]	CO ₂ [% vol]	Putere calorifică [kWh/kg _{VS} *]
Carbohidrați	790	50	50	4,0
Grăsimi	1250	68	32	4,9
Proteine	700	71	29	8,0

*VS - Substanță organică uscată

Valorile prezentate în tabelul 2 arată tipurile de compuși organici biodegradabili conținuți în co-substrate care indică capacitatea de producție a gazului metan. Practic producția specifică de gaz metan este dată de capacitatea de biodegradare/descompunere a co-substratelor [8,9].

2.3 Factorii de proces care influențează producția de biogaz

Pentru a pune în evidență factorii de proces care influențează producția biogazului prin digestie anaerobă este important să înțelegem procesul tehnologic aferent unei stații de biogaz. În figura 3 este prezentat fluxul tehnologic aferent procesului de fermentare anaerobă, specific unei instalații tehnologice de producere a biogazului:

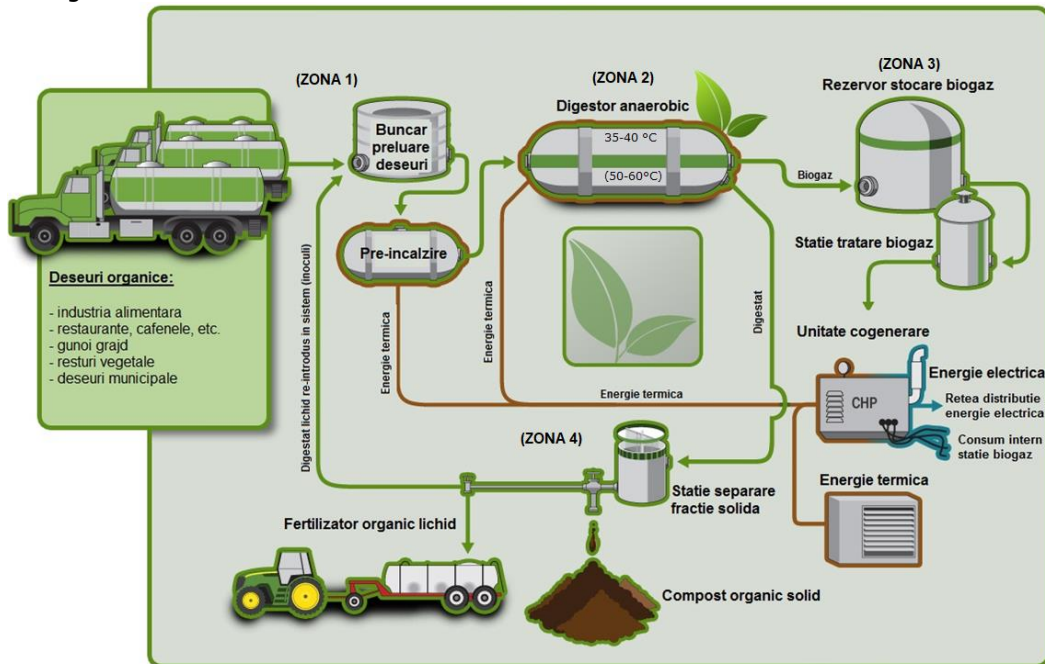


Fig.3. Flux tehnologic stație producere biogaz digestie anaerobă [2]

Potrivit celor prezentate în figura de mai sus, în instalația de producere și valorificare energetică a biogazului se disting patru zone principale:

1. Zona de stocare, prelucrare și alimentare cu materie primă – este destinată furnizării, prelucrării și alimentării cu materie organică (co-substrate) a procesului tehnologic. Specificul acestei zone constă în menținerea constantă a parametrilor și cantității substratului, care să asigure uniformizarea și omogenizarea procesului biologic din zona următoare. Aici are loc dozarea cantităților de cosubstrate funcție de încărcarea organică a acestora, pentru a menține rețeta optimă de alimentare a procesului.

2. Zona de digestie anaerobă/ producerea biogazului – preia substratul prelucrat din zona 1, unde sub acțiunea bacteriilor trece printr-o serie de transformări biochimice (metanogeneză) care au ca rezultat formarea biogazului. În această zonă are loc monitorizarea constantă a parametrilor fizici și biochimici (temperatură, presiune, pH, încărcare organică) cu scopul de a facilita o producție de biogaz parametrizată, funcție de debitul de alimentare cu co-substrate. Zona de digestie anaerobă este delimitată de bioreactor/digestor și instalațiile anexe.

3. Zona de stocare și valorificare a biogazului – este destinată stocării, filtrării și valorificării energetice a metanului conținut în biogaz. Dat fiind faptul că digestia are loc la o temperatură de 35-40 °C (sau 55-60°C), iar conținutul de apă în digestat este de min 90 %, biogazul rezultat în digester conține vapori de apă. O parte din vapori condensează în rezervorul de stocare al biogazului, iar restul conținutului este filtrat într-un uscător cu refrigerare, înainte de valorificarea acestuia în unitatea CHP.

4. Zona de stocare și prelucrare digestat – unde este preluat digestatul extras din digester. Funcție de tipul procesului tehnologic aferent unității de producere a biogazului, din zona de stocare a digestatului acesta poate fi preluat ca atare și utilizat ca fertilizator în agricultură, sau poate fi procesat într-o linie de deshidratare și uscare parțială pentru obținerea de compost.

Pentru o valorificare energetică eficientă specifică procesului de digestie anaerobă, este necesară asigurarea producerii unui debit constant de biogaz, astfel încât grupul de valorificare energetică CHP să funcționeze continuu. Factorii principali care influențează producția de biogaz într-un proces de digestie anaerobă sunt:

- a. Tipul/natura deșeurilor supuse procesului de digestie anaerobă;
- b. Concentrația digestatului;
- c. Temperatura de digestie;
- d. Valoarea pH a digestatului;
- e. Prezența substanțelor toxice inhibitoare în deșeurile organice;
- f. Timpul de retenție hidraulică;
- g. Capacitatea organică de încărcare a digesterului.

a. Tipul/natura deșeurilor influențează producția de biogaz prin caracteristica lor de descompunere și solubilitate în apă. Fiecare tip de compus organic regăsit în materia care formează deșeurile, este caracterizat de un anumit grad de descompunere biologică. Bacteriile anaerobe specifice procesului AD nu sunt capabile să descompună lignina și anumite forme de hidrocarburi care pot fi regăsite în unele tipuri de deșeuri organice. În speță tipurile de deșeuri care nu sunt solubile în apă prezintă un grad scăzut de descompunere, astfel acestea necesită o pretratare înainte de a fi supuse digestiei anaerobe. De asemenea deșeurile care au un conținut ridicat de azot și sulf, prin digestie anaerobă pot produce NH_3 (amoniac) și H_2S (hidrogen sulfurat) în cantități care să depășească pragul limită de supraviețuire a bacteriilor (max. 1.5%).

b. Concentrația digestatului în ce privește conținutul de substanță uscată (TS) are o influență directă asupra supraviețuirii bacteriilor specifice digestiei anaerobe. Dacă concentrația este prea mare, cantitatea de materie organică este ridicată, bacteriile se multiplică prea mult și ajung să se „sufocă” și într-un final să nu mai supraviețuiască. Astfel va avea o scădere drastică a producției de biogaz. În caz contrar, dacă concentrația este prea mică, bacteriile nu au suficientă „hrană”, multiplicarea este lentă și apare riscul ca acestea să fie spălate odată cu evacuarea digestatului prestabilit zilnic. Pentru o producție optimă de biogaz, literatura de specialitate recomandă menținerea unei concentrații de substanță uscată (TS) raportată la masa de digestat de max. 10 % și restul de 90% apă [50,105].

c. Temperatura de digestie are un foarte important în dezvoltarea, multiplicarea și supraviețuirea bacteriilor metanogene. Astfel după cum am prezentat anterior, aceasta va fi cuprinsă între 35-40 °C la procesul termofil, și 55-60 °C la procesul termofil. Variația temperaturii peste limitele de supraviețuire a bacteriilor duce la pierderea culturilor de bacterii (biocenoză) dezvoltate în digestat, și implicit producția

de biogaz va fi afectată negativ. Pentru procesul mezofil se acceptă o variație a temperaturii de 3-5 °C, iar pentru cel termofil de 1-2 °C [46].

d. Valoarea pH a digestatului are un efect decisiv în supraviețuirea bacteriilor metanogene, care necesită un mediu ușor alcalin $pH=6.8\div 8.5$. Bacteriile care formează faza acidă din procesul de descompunere, au o creștere mult mai rapidă decât bacteriile metanogene. Astfel dacă bacteriile care produc faza acidă se dezvoltă într-un ritm prea crescut, acestea produc o cantitate de acid prea mare care să poată fi asimilată de bacteriile metanogene. Creșterea acidității digestatului duce la inhibarea activității bacteriilor metanogene, astfel producția de biogaz scade. [46,50,53].

e. Prezența substanțelor toxice în deșeurile organice cum ar fi fungicide și antibiotice au un efect negativ în biocenoza bacteriană dezvoltată în digestat, datorită faptului că acestea extermină populația de bacterii.

f. Timpul de retenție hidraulică HRT (Hydraulic Retention Time) indică intervalul de timp mediu pentru care substratul este supus procesului de fermentare anaerobă în digester. Acesta se calculează ca raport între volumul util al digesterului și debitul de încărcare [25,50]:

$$HRT = V_R/V \quad [\text{zile}] \quad (4)$$

unde: V_R – volumul util al digesterului, $[m^3]$;
 V – debitul volumic încărcat/-e pe zi, $[m^3/h]$.

Volumul digesterului trebuie dimensionat astfel încât să asigure un timp de retenție hidraulică adecvat substratului sau amestecului de substraturi, pentru un grad de biodegradare cât mai ridicat.

În figura 4 este prezentată influența HRT asupra particulelor solide în suspensie aflate în digestat, funcție de conținutul organic (grăsimi, proteine și carbohidrați) al co-substratelor.

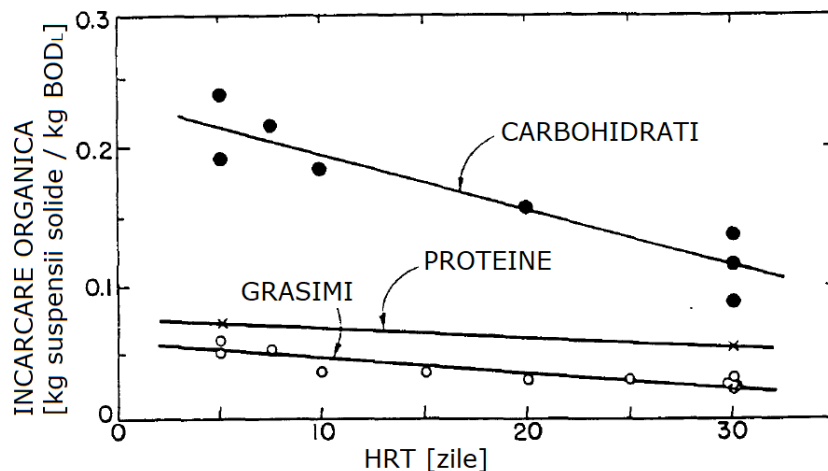


Fig.4. Influența HRT asupra încărcării organice în digestat [37]

Figura 4 pune în evidență trendul descendent al conținutului organic VS odată cu creșterea timpului de retenție hidraulică HRT. Acest fapt este influențat de

activitatea bacteriilor specifice procesului AD. Când acestea au o durată de viață mai lungă, și cantitatea de substanță organică VS din digestat scade, bacteriile se consumă („slăbesc”) și nu mai are loc aceeași rată de multiplicare/ reproducție, ceea ce duce la o scădere a producției de biogaz, dar crește gradul de stabilizare organică a deșeurilor supus fermentării AD [37].

Tot din figura 4, se constată că, carbohidrații sunt mult mai repede asimilați în metabolismul bacteriilor metanogene, în comparație cu proteinele și grăsimile conținute în fracția organică. Acest lucru se datorează faptului că, carbohidrații se descompun în compuși solubili în apă, mult mai repede decât proteinele și grăsimile.

HRT trebuie să fie suficient de lung, pentru a se asigura condiția ca numărul de bacterii vii eliminate odată cu efluentul eliminat din digester, să nu fie mai mare decât numărul de bacterii rezultate prin reproducere (rata de duplicare a bacteriilor anaerobe este de minim 10 zile).

În practica industrială cel mai des se utilizează un amestec de substraturi, provenite din diverse surse, care au grade diferite de biodegradare. Un HRT scurt diminuează productivitatea în biogaz, astfel acesta se va adapta la rata de biodegradare specifică substraturilor utilizate. HRT se va stabili pentru amestecul de substraturi supus procesului AD.

g. Capacitate organică de încărcare a digesterului OLR (Organic Loading Rate) indică masa substanței organice uscate (TS) care poate fi încărcată zilnic în digester raportată la volumul util al digesterului, și poate fi calculată după următoarea formulă [25,50]:

$$OLR = m \times c / V_R \quad [\text{kg/zi m}^3] \quad (5)$$

unde: m – debitul masic încărcat/-e pe zi, [kg/zi];
 c – concentrația masică a substanței organice, [%];
 V_R – volumul util al digesterului, [m³].

Valoarea OLR reprezintă factorul cheie prin care se controlează producția de biogaz. Pentru intervalul de temperatură la care are loc digestia anaerobă (mezofilă sau termofilă), bacteriile pot consuma doar o anumită cantitate de substanță organică pe zi. Astfel pentru a stabili o anumită cantitate de substanță organică pe zi (impusă prin proces) trebuie să asigurăm formarea unui număr de bacterii suficient în masa de digestat.

Altfel spus OLR indică cantitatea de „hrană” care trebuie asigurată zilnic biocenozelor/bacteriilor din bioreactor, care să mențină producția maximă de biogaz și implicit condițiile optime de viață pentru mediul bacterian dezvoltat în digestat [50,53].

În funcție de factorii care influențează producția de biogaz enumerați anteriori, se stabilesc parametrii de funcționare pentru fiecare stație de biogaz în parte; aceștia fiind monitorizați în mod constant în exploatare. Practic reglarea debitului de biogaz se realizează prin ajustarea valorilor acestor parametrii.

2.4 Fluxuri tehnologice de producere a biogazului prin digestie anaerobă

În timp au fost dezvoltate mai multe tipuri de procese tehnologice, care în principal au fost concepute funcție de natura deșeurilor organice generate; și funcție

de obiectivele care trebuie atinse în ce privește tratarea deșeurilor organice. Obiectivele principale ale unei instalații de producere biogaz prin digestie anaerobă sunt:

- Valorificare energetică (electrică și termică);
- Reducerea masică substanței organice VS conținută în deșeurile organice;
- Reducerea mirosurilor asociate deșeurilor;
- Tratarea apei reziduale corespunzător cu normele de poluare a mediului;
- Concentrarea nutrienților sub formă de produs care poate fi valorificat;
- Reducerea încărcării patogenice asociate deșeurilor organice.

Din punct de vedere constructiv instalațiile de producere și valorificare a biogazului se disting în funcție de tipul digesterului. Prin digester sau bioreactor se înțelege spațiul în care se desfășoară procesul biologic de conversie a compușilor organici sub acțiunea microorganismelor, și eliberarea produșilor de fermentație.

Configurația unui bioreactor este un proces complex, care are la bază principiile de inginerie specifice fiecărui tip constructiv. Alegerea tipului constructiv de bioreactor este în strânsă legătură cu natura deșeurilor organice care urmează să fie valorificat/procesat în instalație. Funcție de timpul de retenție hidraulică HRT a digesterului se disting digesteroare cu debit de alimentare ridicat (HR - high rate) și cu debit de alimentare scăzut (LR - low rate). Astfel digesteroarele HR reduc HRT de la 20 zile la 2-3 ore.

În cele ce urmează vor fi prezentate principalele variante constructive a bioreactoarelor utilizate pentru producerea biogazului prin digestie anaerobă, care cuprind atât tratarea apelor uzate cu conținut ridicat de substanțe solubile în apă, cât și tratarea deșeurilor organice care se prezintă sub formă de substanță solidă.

2.4.1 Bioreactor cu film fix

Din punct de vedere constructiv, acest tip este încadrat în categoria bioreactoarelor HR, și se caracterizează prin utilizarea unui pat suport cu suprafață mare de contact, pe suprafața căruia se dezvoltă biocenoza bacteriană sub forma unui strat/biofilm subțire. Patul suport poate fi realizat din material plastic, nisip grunjos sau orice alt tip de material suport în diferite configurații care să confere o suprafață mare de contact raportată la un volum constructiv cât mai mic. În figura 5 este prezentat principiul de funcționare al bioreactorului cu film fix.

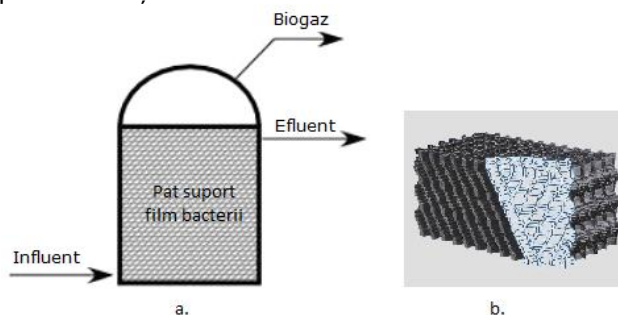


Fig.5. a-Bioreactor cu film fix, b-Structură pat suport film bacterii

După cum se observă în figura 5, cosubstratul este introdus în partea inferioară a digesterului (influent), intră în contact cu biofilmul dezvoltat pe suprafața patului suport unde are loc reținerea substanței organice solubile în apă, după care acesta

este evacuat prin partea superioară a digesterului (efluent). Biogazul rezultat în urma activității biocenozei este captat în partea superioară a bioreactorului.

Principiul tehnologic al acestui tip de bioreactor este inspirat din natură, fiind regăsit în mediul acvatic unde s-a observat că, în condițiile în care apa conține substanțe nutritive, se dezvoltă colonii de bacterii sub formă de biofilm pe toate suprafețele fixe imersate (pietre, canale betonate, baraje, etc.).

În mod similar, aceste colonii de bacterii sunt reproduse în bioreactoarele cu film fix, cu scopul de a reduce încărcarea organică a apelor reziduale și tot odată și producerea de biogaz. După cum se constată din cele prezentate anterior, acest tip de bioreactoare se pretează pentru tratarea și valorificarea energetică a apelor reziduale cu încărcare organică ridicată, care necesită tratare și stabilizare înainte de a fi evacuate în mediul ambiant (de regulă prin emisari direct în ape de suprafață).

Avantajele bioreactoarelor cu film fix, constau în construcția simplă, mentenanță redusă și consum energetic mic comparativ cu alte procese tehnologice de tratare a apelor uzate.

Dezavantajele constau în faptul că acest tip de bioreactoare pot produce biogaz doar prin conversia substanțelor organice solubile în apă, și nu pot procesa particulele solide aflate în suspensie [54].

2.4.2 Bioreactor cu pat absorbant

Similar cu cel descris anterior, acest tip constructiv este încadrat în categoria bioreactoarelor HR, cu particularitatea că, coloniile de bacterii sunt dezvoltate sub forma unui pat filtrant în suspensie, care se prezintă sub formă de granule cu dimensiunea de aprox. 1-3 mm în faza de formare, ajungând până la aprox 1-1.5 cm la maturitate. În figura 6 este prezentat principiul de funcționare al bioreactorului cu pat absorbant.

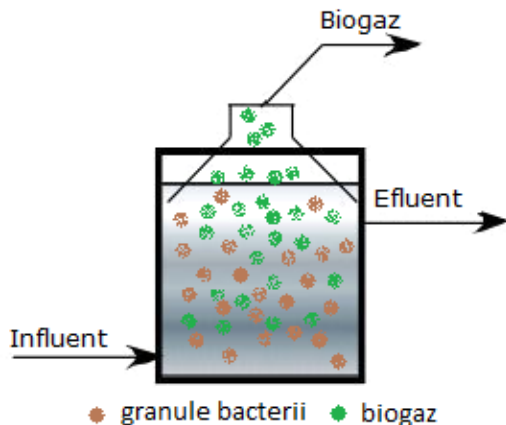


Fig.6. Bioreactor cu pat absorbant

După cum se observă în figura 6, influentul este introdus prin partea inferioară și intră în contact cu patul filtrant în suspensie, care absoarbe substanțele organice solubile în apă. Bacteriile din patul filtrant descompun substanța organică, și prin metabolism produc biogaz, care migrează prin masa lichidă în partea superioară a bioreactorului, unde este captat.

Prin modul de alimentare/evacuare a influentului/efluentului se creează suspensia granulelor bacteriene, împiedicându-se sedimentarea acestora. După un

interval de aproximativ 14 săptămâni de funcționare, granulele de bacterii cresc în dimensiune prin multiplicare, și se comportă ca un mediu de reținere filtrat pentru noile formațiuni de bacterii, astfel scade eliminarea cu efluentul a noilor formațiuni de bacterii care se formează în bioreactor.

Tipul de retenție hidraulică HRT specific este sub 24 ore, iar debitul de influent de 520.000 mc/an (1400 mc/zi) [55,56].

Se constată că viteza de curgere a apei uzate prin bioreactor; influențează direct dezvoltarea și menținerea culturilor de bacterii, în literatura de specialitate fiind indicată o viteză optimă de curgere de 0.7 – 1 m/h [56,57].

Avantajele bioreactoarelor cu pat absorbant, constau în construcția simplă, grad mare de reducere a substanței organice solubile în apă, producție scăzută de nămol rezidual, producerea biogazului concomitent cu epurarea apei uzate.

Dezavantajele constau în faptul că acest tip de bioreactoare nu pot procesa particulele solide aflate în suspensie, operarea și exploatarea instalațiilor destul de dificilă în sensul că trebuie reglate periodic condițiile de curgere hidraulică prin bioreactor [53,56,57].

2.4.3 Bioreactor cu șicane orizontal

Acest tip constructiv reprezintă varianta orizontală a bioreactorului cu pat absorbant, cu particularitatea că suspensia patului filtrant se realizează atât prin viteza de curgere cât și prin utilizarea șicanelor, astfel pot fi atinse viteze de curgere a digestatului prin bioreactor de 2 m/h [59]. În figura 7 este prezentat principiul de funcționare al bioreactorului cu pat absorbant.

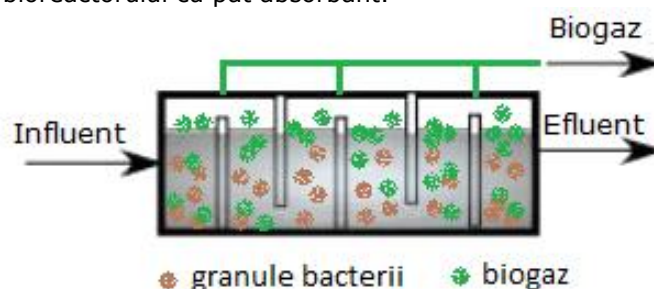


Fig.7. Bioreactor cu șicane orizontal

După cum se observă în figura 7, șicanele creează în interiorul bioreactorului mai multe compartimente, care creează o amestecare mai intensă cu un contact ferm între patul filtrant și substanța organică introdusă cu influentul, și totodată reduce semnificativ cantitatea de bacterii eliminate prin evacuarea efluentului. Acest fapt conferă avantajul că acest tip de bioreactor poate procesa ape uzate cu particule în suspensie [60].

Tipul de retenție hidraulică HRT specific este de 48 – 70 ore, iar debitul de influent de 2 – 200 mc/zi, funcție de dimensiunea constructivă a bioreactorului. Pentru o producție optimă de biogaz și o tratare eficientă a apelor uzate, se recomandă un număr de 3 – 6 compartimente, funcție de încărcarea cu particule solide a influentului și spațiul disponibil pentru construcție [59]. În urma activității coloniilor de bacterii, în partea inferioară a compartimentelor se formează un strat de sedimente care

trebuie înlăturat periodic. Funcție de încărcarea organică a influentului, eliminarea nămolului sedimentat se realizează odată la 1-3 ani de funcționare [59,60].

Avantajele bioreactoarelor cu șicane, constau în construcția simplă și durabilă, tratare eficientă a apelor uzate, procesarea unei cantități mari de ape uzate, posibilitatea epurării apelor uzate cu particule solide în suspensie, proces tehnologic simplu care implică un consum energetic scăzut.

Dezavantajele constau în costurile mari cu realizarea construcției, durată lungă de formare a coloniilor de bacterii (60-120 zile), eficiență scăzută pentru tratarea apelor cu încărcare organică scăzută. În mod uzual pentru reducerea perioadei de formare a coloniilor de bacterii, se practică inocularea influentului cu culturi de bacterii.

2.4.4 Bioreactor tip lagună acoperită

Acest tip este încadrat în categoria bioreactoarelor LR (low rate), cu o producție scăzută de biogaz comparativ cu celelalte variante constructive. Din punct de vedere constructiv, bioreactorul constă într-un bazin săpat în sol cu adâncimea de 1.2-2.4 m, cu pereți perimetrali și fundul bazinului impermeabilizați cu membrană sintetică, iar partea superioară este acoperită cu membrană sintetică elastică [61]. În figura 8 este prezentat principiul de funcționare al bioreactorului tip lagună acoperită [53].

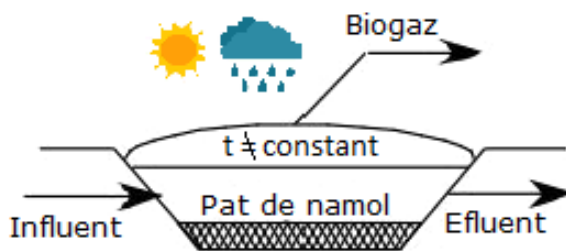


Fig.8. Bioreactor tip lagună acoperită

După cum rezultă din figura 8, digestia anaerobă este influențată de temperatura mediului ambiant și temperatura solului, producția de biogaz fiind oscilantă funcție de variația temperaturii sezoniere. Denumirea generică pentru digestia anaerobă specifică lagunelor acoperite poartă denumirea de fermentare psihrofilă, care în mod uzual se desfășoară într-un interval de temperatură de 1 - 29 °C [53, 61].

Viteza de curgere a digestatului este lentă, sesizabilă în partea superioară a masei de fluid din bioreactor, ceea ce duce la sedimentarea particulelor solide aflate în suspensie din influent și crearea unui strat de nămol în partea inferioară a bazinului. În stratul de nămol sedimentat are loc formarea coloniilor de bacterii, care realizează descompunerea substanțelor organice din influent, unde practic are loc formarea biogazului. Astfel suprafața de contact dintre influent și bacterii se realizează în zona stratului de sedimente, nefiind o amestecare omogenă în întreaga masă de influent. Grosimea stratului de nămol sedimentat va influența producția de biogaz.

Ca particularitate specifică lagunelor acoperite, față de celelalte tipuri de bioreactoare, încărcarea organică OLR se raportează la suprafața bazinului și se exprimă în kg/ha/zi și nu la volumul conținut în bioreactor/bazin. Literatura de

specialitate indică o valoare $OLR = 15 - 80 \text{ kg/ha/zi}$, pentru un timp de retenție hidraulică $HRT = 20 - 180$ zile, funcție de zona climatică [61].

Avantajele bioreactoarelor tip lagună acoperită, constau în construcția simplă și durabilă, tratare eficientă a apelor uzate, procesarea unei cantități mari de ape uzate, posibilitatea epurării apelor uzate cu particule solide în suspensie, proces tehnologic simplu care implică un consum energetic și mentenanță scăzută.

Dezavantajele constau în suprafața mare de teren ocupată, generarea mirosurilor în zonă, producția specifică de biogaz scăzută, valorificarea acesteia se rezumă la operarea bioreactorului, periodic lagunele necesită curățirea patului de nămol depus ceea ce implică costuri ridicate, se pretează pentru zone cu climat cald și cu pânza de apă freatică la adâncimi mari.

2.4.5 Bioreactor tip piston (plug-flow)

Acest tip este încadrat în categoria bioreactoarelor LR (low rate), constructiv fiind formate dintr-un bazin dreptunghiular, amplasat de obicei sub nivelul solului, acoperit cu un material impermeabil. Menținerea temperaturii de digestie anaerobă fiind realizată printr-un sistem de încălzire tip serpentină. Materialul pompat în bioreactor împinge materialul existent spre capătul opus, acționând ca un piston hidraulic pentru vehiculare digestatului. În figura 10 este prezentat principiul de funcționare al bioreactorului tip piston.

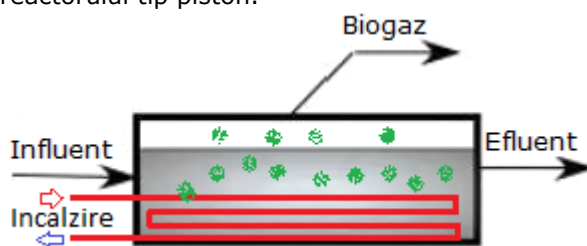


Fig.9. Bioreactor tip piston

După cum se observă în figura 10, pe măsură ce substanța organică solidă din influent este descompusă, se formează un lichid vâcos care împiedică sedimentarea solidelor. Acest tip de bioreactor se pretează pentru valorificarea energetică a deșeurilor organice care au un conținut de solide $11 \div 20 \%$. Funcționarea este în regim mezofilic $25 - 40 \text{ }^\circ\text{C}$ și timpul de retenție hidraulică este $HRT = 20 - 30$ zile [53,62-64]. Pentru a crea efectul de curgere piston, literatura de specialitate indică un raport lungime/lățime de la $3.5 \div 1.0 \text{ m}$ la $5.0 \div 1.0 \text{ m}$, și un raport între lățime/adâncime de $2.5 \div 1.0 \text{ m}$ [63, 64].

Avantaje: proces tehnologic simplu care nu implică instalații auxiliare costisitoare, procedeul hidraulic de vehiculare a digestatului nu implică piese mecanice în mișcare, operațiuni de mentenanță minime, operare simplă, durată lungă de exploatare, consum energetic scăzut, costuri mici de implementare, nu necesită materiale speciale pentru construcție.

Dezavantaje: în cazul diluării digestatului apare riscul sedimentării, care duce la scăderea producției de biogaz și implicit a randamentului instalației de valorificare a deșeurilor organice procesate.

2.4.6 Bioreactor cu mixare continuă

Acest tip este încadrat în categoria bioreactoarelor LR (low rate), constructiv fiind format dintr-un rezervor cilindric din metal sau beton, cu sistem de încălzire prin serpentine spirală și sistem de amestecare continuă, cu partea superioară sub formă de emisferă în variantă solidă (beton, tablă) sau din material sintetic impermeabil cu perete dublu. În figura 10 este prezentat principiul de funcționare al bioreactorului cu mixare continuă.

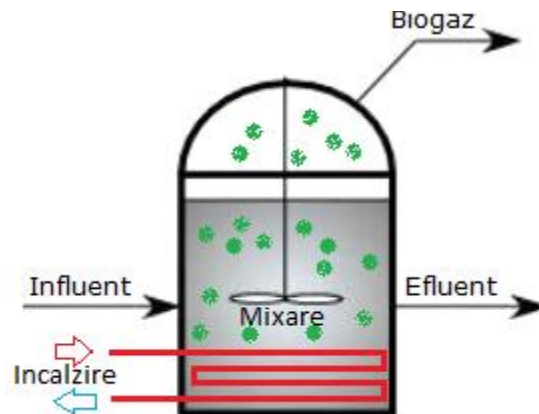


Fig.10. Bioreactor cu mixare continuă

După cum se observă din figura 9, prin sistemul de mixare se menține o suspensie omogenă în digester, realizându-se un contact maxim între influent și coloniile de bacterii, consistența digestatului fiind uniformă în orice zonă a digesterului.

Prin sistemul de încălzire, se poate regla și menține constantă temperatura optimă de digestie anaerobă indiferent de condițiile mediului exterior, oferind o flexibilitate în ce privește regimul de funcționare mezofilă (35-40°C) sau termofilă (55-60°C) a bioreactorului, cu un HRT=20-30zilei, care pot fi adaptate funcție de natura cosubstratelor procesate în instalație și producția de biogaz. [24,53,83].

Avantajele bioreactoarelor cu mixare continuă, constau în capacitatea de a procesa o gamă largă de deșeuri organice atât sub formă solidă cât și sub formă lichidă, producție constantă de biogaz și suficientă pentru a genera un surplus de energie termică și electrică care poate fi comercializată, posibilitatea utilizării digestatului ca fertilizator în agricultură, automatizarea completă a procesului tehnologic, funcționare continuă care nu necesită golirea digestatului din bioreactor.

Dezavantaje: deșeurile organice solide funcție de natura lor necesită o prelucrare înainte de a fi procesate în bioreactor fapt care duce la un consum energetic termic și electric mai ridicat, cost ridicat de implementare (cca. 4000 €/kWh putere instalată).

2.4.7 Bioreactor de contact cu separare și recirculare

Acest tip este încadrat în categoria bioreactoarelor HR (high rate), constructiv este similar cu bioreactorul cu mixare continuă, cu particularitatea că în partea de eliminare a efluentului, în fluxul tehnologic este prevăzut un separator de particule,

care recirculă o parte din substanța organică activă conținută în efluent. În figura 11 este prezentat principiul de funcționare al bioreactorului de contact cu separare și recirculare.

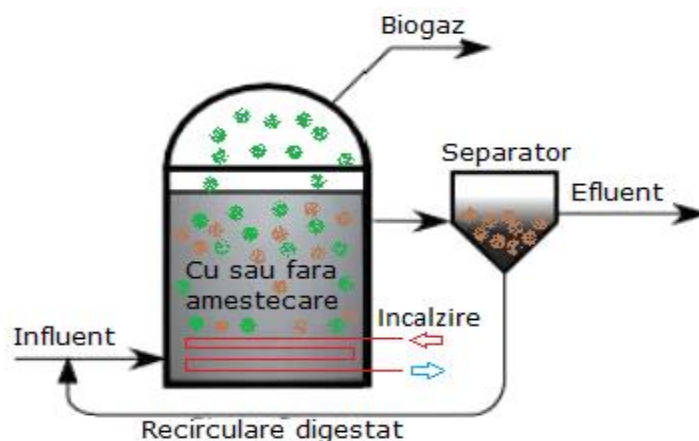


Fig.11. Bioreactor de contact cu separare și recirculare

După cum se observă în figura 11, substanța organică activă reținută/filtrată în separator este reintrodusă în influent, astfel sunt recuperate o cantitate semnificativă din coloniile de bacterii care ar fi eliminate odată cu efluentul. Acest fapt duce la creșterea randamentului instalației de biogaz, prin creșterea gradului de conversie a deșeurii organice în biogaz, adică o producție mai mare de biogaz raportată la substanța organică biodegradabilă conținută în influent [53,65,85,88].

Sub aspect tehnologic, acest tip de digestoare pot fi cu sau fără amestecare, pot funcționa în regim termofilic sau mezofylic și pot utiliza deșeuri lichide sau solide, concentrația digestatului și gradul de descompunere a materiei organice fiind controlate prin bucla de recirculare a separatorului.

De-a lungul timpului au fost utilizate mai multe variante constructive pentru treapta de separare, în primele variante fiind utilizate separatoarele gravitaționale de sedimentare, dar în funcționare s-a constatat că nu pot reține eficient solidele din efluent întrucât bulele de biogaz aderă pe suprafața acestora. Astfel particulele solide active din efluent pluteau la suprafața efluentului și nu sedimentau gravitațional. S-a încercat varianta separatoarelor gravitaționale cu lamele, cu scopul de a crea o degazare a particulelor solide. Ambele variante constructive au dovedit o eficiență scăzută în exploatare, și un timp lung de retenție hidraulică HRT.

S-a constatat că utilizarea separatoarelor gravitaționale se pretează pentru bioreactoarele cu mixare care împiedică fenomenul de stratificare al digestatului, și pentru cele care procesează un digestat diluat cu o concentrație a solidelor de până la 2.5% [53,86,89].

Ulterior, au fost testate separatoarele mecanice, cu scopul de a reduce HRT-ul necesar variantelor precedente. În acest sens s-au încercat separatoarele prin centrifugare, benzi gravitaționale, membrane și alte variante care utilizează separarea mecanică. Prin utilizarea acestora s-a constatat că separarea mecanică a solidelor din efluent inhibă supraviețuirea coloniilor de bacterii, fapt care duce la scăderea eficienței/randamentului bioreactoarelor de contact [53,80,81].

Practica inginerescă a confirmat faptul că pentru acest tip de bioreactor, tehnica de separare a solidelor prin flotație cu gaz are o eficiență optimă pentru concentrarea solidelor din efluent fără a inhiba activitatea coloniilor de bacterii, comparativ cu celelalte două metode descrise anterior. Pentru realizarea efectului de flotație se utilizează un amestec de gaze format din metan (CH_4) și dioxid de carbon (CO_2) în diverse concentrații, preluat din fluxul de captare și tratare al biogazului produs în instalație. În literatura de specialitate acest procedeu este întâlnit sub numele de separare prin flotație anoxică cu gaz (AGF – Anoxic Gas Flotation) [66].

Avantajele bioreactoarelor de contact cu separare și recirculate sunt date de eficiența ridicată a conversiei substanței organice în biogaz, procesarea unei game variate de deșeuri organice cu o concentrație a substanței solide între $0.4 \div 8\%$, HRT scăzut (aprox. 5 zile), eliminarea CO_2 și H_2S (hidrogen sulfurat) din biogaz, prevenirea apariției spumei în bioreactor, simplificarea proceselor tehnologice pentru tratarea efluentului din avalul bioreactorului [53,66].

Dezavantajele rezidă într-un consum energetic mai ridicat în ce privește integrarea și operarea unor echipamente auxiliare în procesul tehnologic.

2.4.8 Bioreactor de contact cu stabilizare

Acest tip este încadrat în categoria bioreactoarelor HR (high rate), constructiv este similar cu cel descris anterior, cu particularitatea că în partea de eliminare a efluentului, în fluxul tehnologic este prevăzut încă un bioreactor pentru stabilizarea digestatului. În figura 12 este prezentat principiul de funcționare al bioreactorului de contact cu stabilizare.

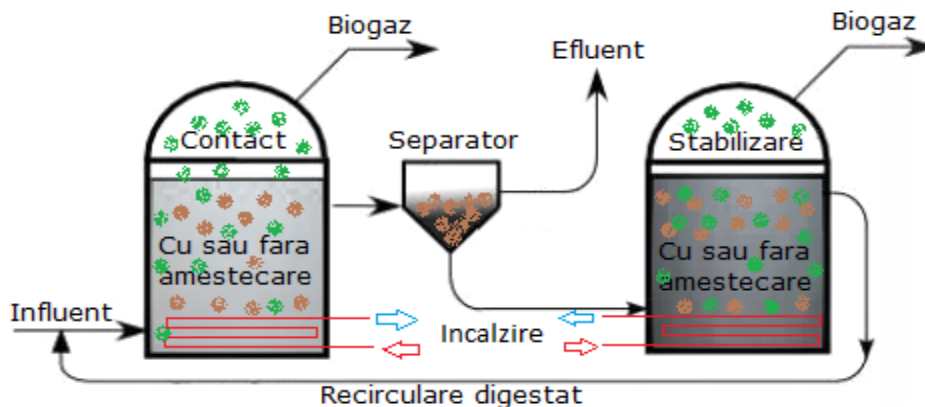


Fig.12. Bioreactor de contact cu separare, recirculare și stabilizare

După cum se observă în figura 12, bucla de recirculare a digestatului activ care conține coloniile de bacterii se realizează între bioreactorul de stabilizare și cel de contact, iar efluentul este eliminat în treapta de separare. Biogazul este captat din ambele bioreactoare, restul instalațiilor auxiliare fiind identice cu cele din procesele obișnuite de producere biogaz prin fermentare anaerobă (treaptă de captare și tratare biogaz, grup cogenerare, instalații de pompare, alimentare, evacuare, etc.).

Avantajul acestui proces tehnologic constă în faptul că pot procesa deșeuri organice heterogene cu grade diferite de descompunere. Astfel în rețeta de amestec a cosubstratelor pot fi integrate deșeuri organice care au în compoziția lor celuloză care necesită un timp îndelungat de descompunere.

Dezavantajul principal al acestui tip constructiv de bioreactor este dat de o valoare mai ridicată a costului de investiție dat de construcția rezervorului pentru treapta de stabilizare, respectiv de un consum energetic mai ridicat.

2.4.9 Bioreactor de contact cu separare de fază

Acest tip este încadrat în categoria bioreactoarelor LR (low rate), constructiv se disting prin utilizarea a două bioreactoare care funcționează în regimuri diferite, astfel pot lucra în regim termofil – mezofil sau în regim de acidifiere – metanogeneză. În figura 13 este prezentat principiul de funcționare al bioreactorului de contact cu separare de fază.

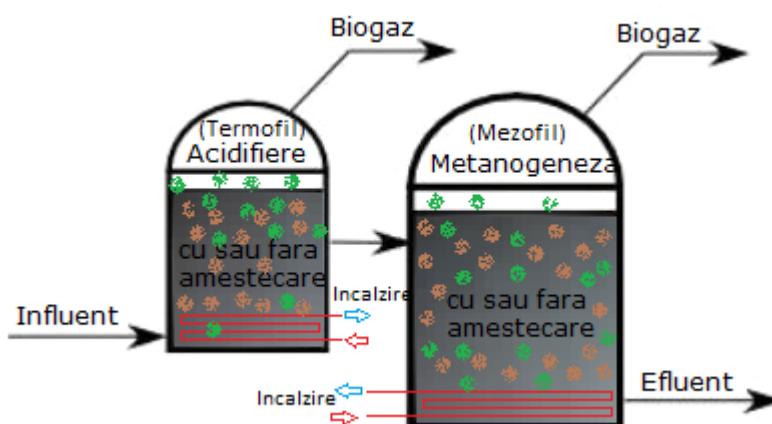


Fig.13. Bioreactor cu separare faza acidă

După cum se observă în figura 13, regimul de funcționare este dat de temperatura de funcționare pentru fiecare bioreactor pentru regimul în modul de operare termofil ($55 \div 60^\circ$) – mezofil ($35 \div 40^\circ\text{C}$), respectiv de valoarea pH-ului de operare pentru fiecare bioreactor, $\text{pH} < 6.4$ pentru faza de acidifiere și $\text{pH} = 7 \div 8.5$ pentru faza de metanogeneză [45,46,53]. Regimul de funcționare al acestui tip de bioreactor se stabilește funcție de natura substanței organice conținută în influent.

Astfel regimul de operare termofil – mezofil se pretează pentru tratarea nămolurilor provenite de la stațiile de epurare cu încărcare patogenică ridicată. În treapta termofilă are loc distrugerea patogenilor concomitent cu producerea de biogaz, iar în treapta mezofilă are loc stabilizarea substanței organice descompuse în treapta precedentă.

Regimul de operare cu separare de fază acidă – metanogeneză, se pretează pentru tratarea deșeurilor organice provenite din industria alimentară care au un conținut ridicat de polizaharide, grăsimi și proteine (în speță produse expirate la raft), unde faza de fermentare acidă reprezintă o treaptă de pretratare pentru faza metanogenă, imposibil de controlat în cazul în care s-ar utiliza un singur bioreactor, datorită faptului că bacteriile care produc fermentarea acidă au o rată de multiplicare mult mai mare decât cele din faza metanogeneză [49,53].

2.5 Alegerea variantei constructive a bioreactorului

Proiectare și dimensionare unei instalații de producere și valorificare biogaz, implică alegerea corectă a tipului de instalație care va fi implementat, și deci, a tipului constructiv de bioreactor, întrucât sub aspect tehnologic acesta reprezintă partea principală din instalație unde are loc conversia substanței organice în combustibil gazos.

După cum am prezentat în capitolele anterioare, tipul constructiv al bioreactorului se alege în funcție de natura deșeurilor organice și obiectivele prestabilite în ce privește gradul de tratare și valorificare al acestora. Pentru a oferi o imagine comparativă de ansamblu, în tabelul 3 sunt centralizați principalii parametrii de operare pentru tipurile de bioreactoare prezentate în capitolul anterior.

Tabel 3: Parametrii operațional pe tipuri de bioreactoare [52-68]

Tip constructiv	Solide [%]	HRT [zile]	Tip deșeuri [-]	Co-digestie [-]
Cu film fix	1÷5	<0.12	Ape uzate cu substanță organică diluată	nu
Cu pat absorbant	<3	<24	Ape uzate cu substanță organică diluată și particule în suspensie	da
Cu șicane orizontal	<3	2÷4	Ape uzate cu substanță organică diluată și particule în suspensie	da
Lagună acoperită	0.5÷3	40÷60	Ape uzate cu particule în suspensie	nu
Cu piston	11÷20	20÷30	Gunoii de grajd	nu
Cu mixare continuă	3÷10	20÷30	Deșeuri agro și ind. alimentară	da
De contact cu separare și recirculare	18+	2÷3	Deșeuri agro și ind. alimentară	da
De contact cu stabilizare	18+	<5	Deșeuri agro și ind. alimentară	da
De contact cu separare de fază	3÷10	<20	Deșeuri agro și ind. alimentară	da

Ponderea construcției bioreactorului în valoarea de investiție a unei centrale de producere și valorificare biogaz, reprezintă cca. 40 % din investiția totală, astfel alegerea implementării unui tip constructiv neadecvat poate duce la pierderi economice semnificative, sau chiar la eșecul fezabilității economice referitor la realizarea unei astfel de instalații.

3. INVESTIGAREA INSTALAȚIILOR INDUSTRIALE DE PRODUCERE BIOGAZ

3.1. Stația de producere biogaz – Baia Mare

3.1.1 Implementarea proiectului

În anul 2016, la stația de epurare a Municipiului Baia Mare, a fost inaugurată o instalație de producere și valorificare biogaz, care utilizează apele uzate și nămolul rezultat în urma procesului tehnologic de tratare. Stația de epurare a Municipiului Baia Mare este o stație mecanico-biologică care implică tratarea biologică avansată a azotului și carbonului, precum și tratarea chimică a fosforului, fiind proiectată pentru o capacitate de 163.300 locuitor echivalent (1450 l/s). [69].

În procesul de tratare mecanico-biologică a fost introdusă o treaptă de tratare a nămolului cu valorificarea energetică a biogazului rezultat prin digestie anaerobă. Valoarea de investiție a fost de 43 mil. lei (fără TVA), fiind finanțată din fondul de coeziune UE prin Programul Operațional Sectorial de Mediu, în vederea încadrării emisarului aferent stației de tratare ape uzate, în limitele impuse de normele de poluare UE pentru ape de suprafață sensitive [24,69]. În figura 14 se prezintă o imagine de ansamblu a stației de producere și valorificare biogaz.



Fig.14. Stația de producere biogaz Baia Mare [69]

După cum se observă din figura 14, producerea biogazului se realizează în bioreactoare cu mixare continuă, care utilizează nămolul primar îngroșat gravitațional și cel în exces îngroșat mecanic provenit din treptele de tratare anterioare.

Alimentarea se realizează dintr-un bazin de omogenizare prin intermediul unor pompe elicoidale.

3.1.2 Descrierea fluxului tehnologic

Pentru a pune în evidență modul în care este integrată stația de producere și valorificare biogaz în fluxul tehnologic al stației de epurare Baia Mare, se prezintă în figura 15, fluxul tehnologic de operare și control preluat din camera de comandă în urma vizitei în teren.

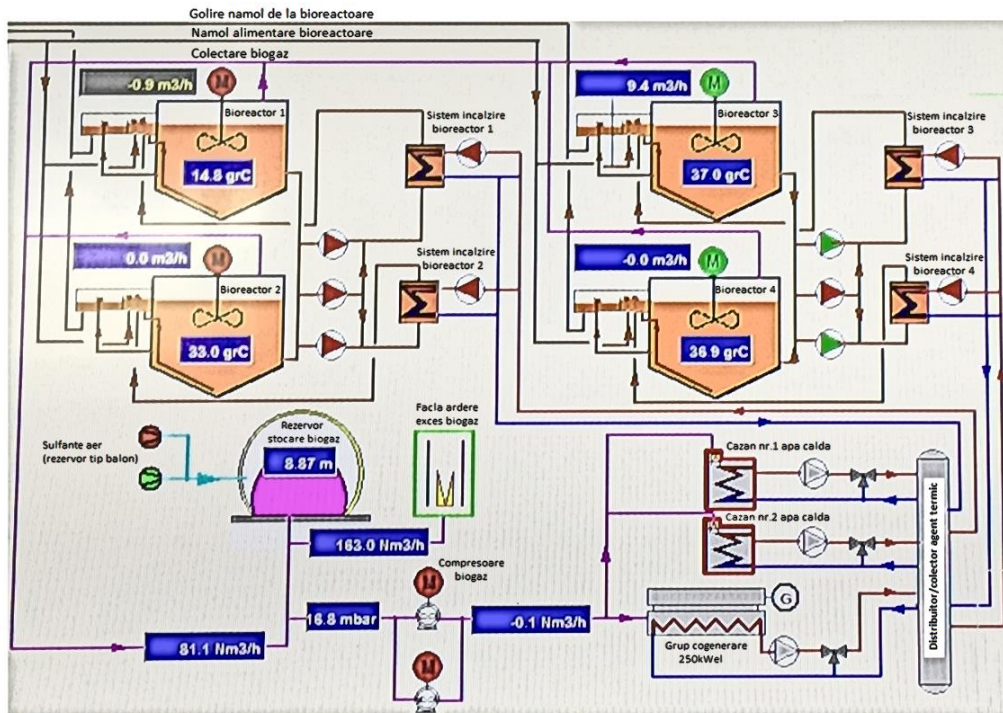


Fig.15. Schema tehnologică a stației de biogaz Baia Mare

După cum se observă din figura 15, nămolul preluat din treptele de tratare a apelor uzate orășenești, alimentează 4 bioreactoare, cu un volum de 1500 m^3 fiecare, care funcționează în regim mezofil la o temperatură de digestie de $35\div 40^\circ\text{C}$. Timpul de retenție hidraulică este $\text{HRT}=20$ zile. Fiecare bioreactor este prevăzut cu sistem de mixare continuă pentru a menține un digestat omogen [24,69].

Din punct de vedere al valorificării biogazului, după cum rezultă din figura 15, acesta poate fi valorificat fie în grupul de cogenerare CHP fie în centrala termică funcție de regimurile de funcționare impuse de exploatare.

Soluția tehnică prevăzută pentru utilizarea a 4 bioreactoare, a fost aleasă datorită variației debitului de apă ce intră în stația de tratare. Sistemul de colectare ape menajere al Municipiului Baia Mare, preia atât apa uzată generată de consumatorii casnici și industriali, cât și apa meteorică, prin același sistem de canalizare. Astfel în timpul precipitațiilor abundente debitul de apă preluat în stație este foarte mare și foarte diluat în ce privește încărcarea organică a acestuia. Având disponibile 4

bioreactoare, pot fi preluate și aceste debite mari fluctuante care pot apărea în funcționare.

Din figura 15 se observă că la momentul respectiv erau menținute în funcțiune bioreactorul nr.3 și 4, din care doar bioreactorul nr.4 era activ în ce privește producerea de biogaz.

3.1.3 Producerea biogazului

În figura 16 se prezintă fluxul tehnologic de operare și control pentru bioreactorul nr.3 și 4, preluat din camera de comandă în urma vizitei în teren.

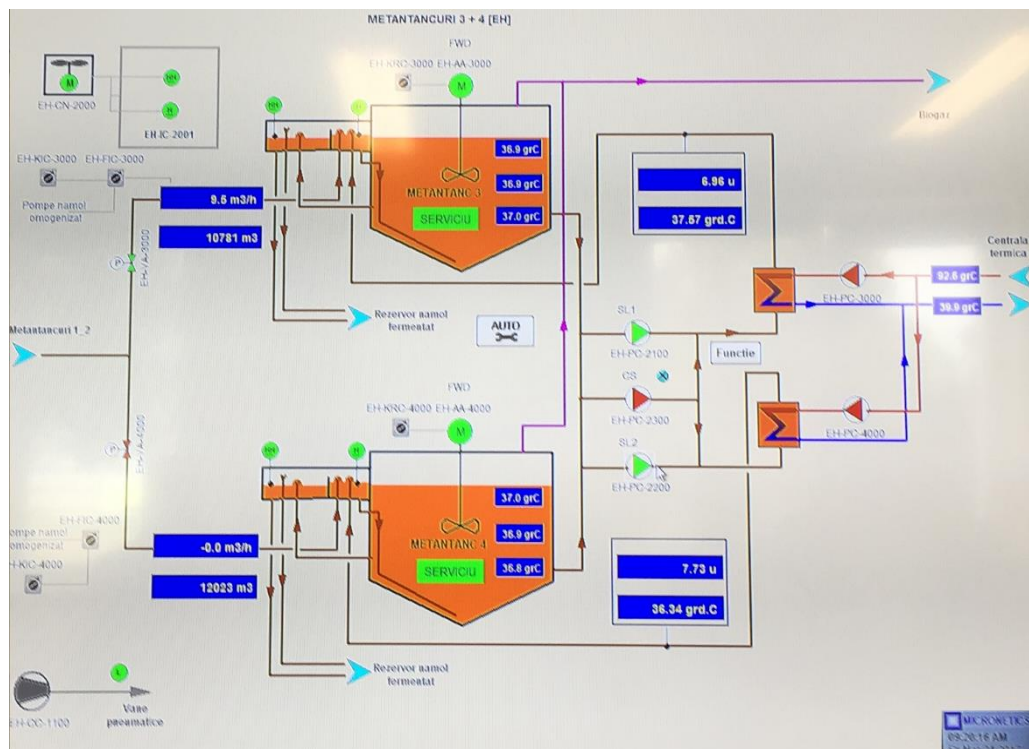


Fig.16. Schema tehnologică bioreactor 3 si 4 biogaz Baia Mare

După cum reiese din figura 16, biogazul este valorificat în centrala termică, producând agent termic pentru menținerea temperaturii de fermentare mezofilă în bioreactoare.

3.1.4 Stocarea și valorificarea biogazului

Biogazul produs, este captat într-un rezervor de stocare tip balon cu pereți dubli cu un volum de stocare de 1200 m³, presiunea gazului fiind menținută constantă prin intermediul unei suflante cu aer.

Înainte de stocarea biogazului în rezervor, are loc o primă treaptă de tratare, în care se elimină vaporii de apă conținuți în biogaz prin intermediul unei instalații de uscare prin refrigerare, urmată de o filtrare pentru eliminarea a hidrogenului sulfurat (H_2S).

Rezervorul de stocare biogaz este prevăzut cu un sistem de eliminare condens, care poate apărea în cazul temperaturilor scăzute din mediul ambiant, și există riscul apariției fenomenului de condensare pe suprafața pereților membrană ai balonului. Condensul este colectat printr-un sistem de drenare amplasat în partea inferioară a rezervorului.

Excesul de biogaz este ars la faclă, care este situată în imediata vecinătate a rezervorului de biogaz. În figura 17 se prezintă fluxul tehnologic de operare și control pentru rezervorul de stocare biogaz, preluat din camera de comandă în urma vizitei în teren.

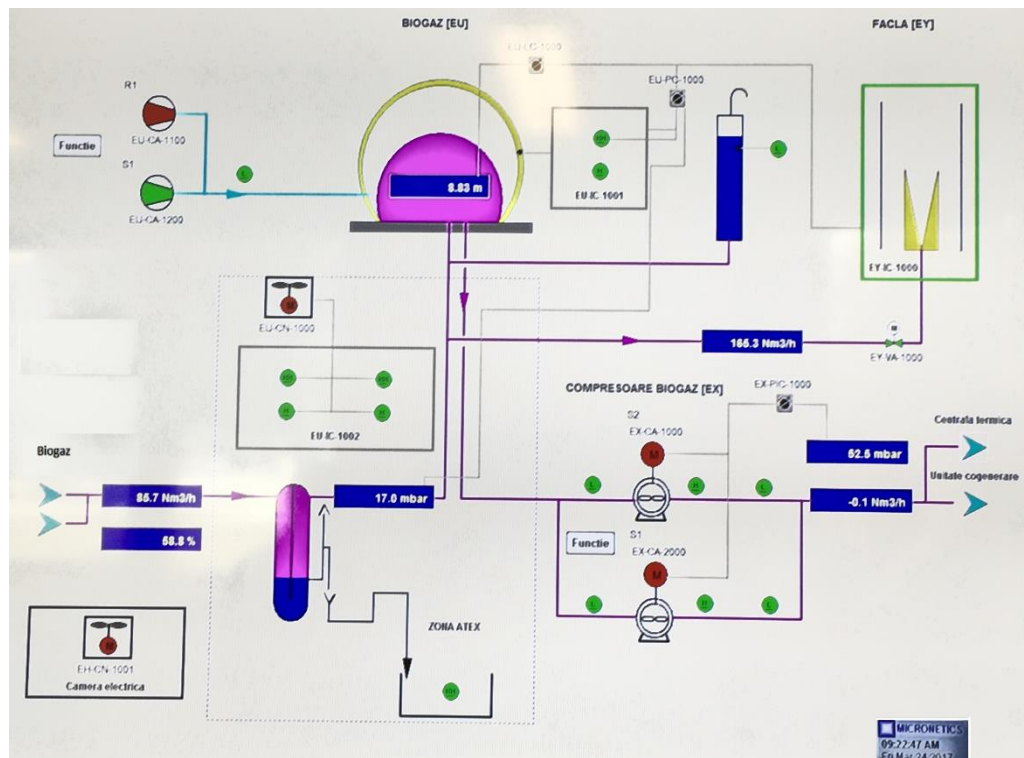


Fig.17. Schema tehnologică rezervor stocare de biogaz Baia Mare

După cum se observă în figura 17, în momentul respectiv este un exces de biogaz produs în instalație, astfel avem în funcționare faclă utilizată pentru neutralizarea gazului metan cu scopul de a reduce impactul asupra mediului ambiant – reducerea efectelor gazelor cu efect de seră. Capacitatea de stocare a rezervorului asigură echivalentul a 9 ore de producție de biogaz, excesul fiind ars la faclă [24].

Întreg procesul de funcționare al stației de biogaz este complet automatizat, fiind integrat în sistemul de monitorizare și control SCADA, care permite monitorizarea și ajustarea parametrilor în timp real funcție de regimul de operare al întregii stații de epurare ape uzate.

Regimul de funcționare al stației de biogaz de la stația de epurare Baia Mare a fost proiectat ca treaptă de tratare a nămolului, valorificarea energetică a biogazului ca energie electrică și sub formă de căldură fiind utilizată în procesul tehnologic de funcționare al bioreactoarelor, și nu în scopul comercializării acesteia. Din aceste considerente energia sub formă de căldură primează în valorificarea energetică a biogazului, întrucât stabilizarea patogenică și reducerea încărcării organice a nămolului de epurare sunt prioritari.

3.2. Stația de producere biogaz – Seini

3.2.1 Implementarea proiectului

„Institutul Național de Cercetare - Dezvoltare pentru Pedologie, Agrochimie și Protecția Mediului (ICPA)” împreună cu „Administrația Națională - Apele Române” au realizat un studiu pentru identificarea zonelor vulnerabile și potențial vulnerabile la poluarea cu nitrați. În urma studiului s-au întocmit două liste, una cu localitățile din fiecare județ unde există surse de nitrați din activități agricole; și a doua listă cu „localitățile din bazinele/spațiile hidrografice unde există surse de nitrați din activități agricole (zone vulnerabile și potențial vulnerabile)”. Ambele liste au fost aprobate prin prin „Ordinul comun nr. 241/26.03.2005 și 196/07.04.2005 al Ministrului mediului și gospodăririi apelor și al Ministrului agriculturii, pădurilor și dezvoltării rurale” [70].

Una din aceste localități este orașul Seini din județul Maramureș, fiind inclusă ca zonă vulnerabilă la poluarea cu nutrienți rezultați din cantitățile de deșeuri generate de activitățile agricole din zonă. Impactul poluator al acestora asupra mediului, justifică necesitatea implementării unor măsuri menite să îmbunătățească factorii sociali și de mediu ai localității. Orașul este situat în zona nordică a României la limita NV estică a județului Maramureș, la cca. 26 km distanță de Baia Mare – reședința de județ.

„Ministerul Mediului și Schimbărilor Climatice prin semnarea și implementarea proiectului *Controlul Integrat al Poluării cu Nutrienți* finanțat de GEF/Banca Mondială, Banca Internațională pentru Reconstrucție și Dezvoltare și cofinanțat de Guvernul României, s-a angajat să implementeze un plan de măsuri menit să reducă poluarea cu nutrienți ce provin din agricultură.

Astfel, pentru implementarea acestei Directive, România a desemnat în două faze distincte un număr de 32 de zone vulnerabile la nutrienți, care reprezintă 60% din suprafața totală a teritoriului, incluzând 1963 comune. În plus, România a actualizat, în decembrie 2008, Codul de Bune Practici Agricole (CoGAP), ce include măsuri specifice în concordanță cu Directiva Nitrați” [70].

În baza mecanismelor de finanțare descrise anterior, Seiniul a fost încadrat ca zonă vulnerabilă la poluarea cu nitrați, fiind astfel eligibilă pentru implementarea programului de investiții pentru realizarea „lucrărilor de construcții necesare pentru colectarea, depozitarea temporară și utilizarea ca îngrășământ organic a gunoiului de grajd în conformitate cu prevederile din *Codul bunelor practici agricole pentru protecția apelor împotriva poluării cu nitrați proveniți din activitățile agricole*, aprobat prin Ordinul nr. 1182/22.11.2005 al M.M.G.A., ale cărui prevederi sunt obligatorii în zonele declarate vulnerabile la poluarea cu nitrați”.

Obiectivul principal al acestui proiect este implementarea unei instalații care utilizează surse alternative de energie, care vizează tratarea gunoiului de grajd prin valorificarea energetică în cogenerare a biogazului obținut prin fermentare anaerobă.

Implementarea proiectului are ca scop promovarea unui nou concept instituțional pentru gestionarea gunoierului de grajd într-o manieră ecologică, la nivelul unei unitati administrativ teritoriale (UAT), preluând o parte din responsabilitățile de gestionare a acestor categorii de deșeuri organice aflate in sarcina autorităților publice.

În acest scop, „Planul de Măsură al Strategiei de Dezvoltare Durabilă” a zonei, prevede o măsură pentru crearea de sisteme de producere a energiei alternative pe baza potențialului regenerabil existent în scopul reducerii emisiilor poluante din activitățile industriale existente și reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră [70]. În figura 18 se prezintă planul de încadrare în zonă al stației de biogaz Seini.



Fig.18. Plan încadrare în zonă al stației de biogaz Seini

In cazul localității Seini a fost utilizat ca instrument de implementare „Planul de Management al Spațiului Hidrografic Someș-Tisa elaborat de către Administrația Bazinală de Apă Someș-Tisa” [24,70].

După cu reiese din figura 18, se observă poziționarea orașului Seini raportat la Spațiului Hidrografic Someș-Tisa, respectiv amplasamentul stației de biogaz. În proximitatea amplasamentului, se desfășoară activități agricole (terneuri arabile) și zootehnice (avicole și ferme de porci), la sud este amplasată o stație de epurare a apelor uzate, la vest un canal ANIF care se varsă în Someș.

Ca și poziționare în zona hidrografică, instalația de biogaz ocupă o suprafață totală de 32886 m², fiind amplasată în zona de sud a intravilanului orașului Seini, în lunca râului Someș (perimetru cvasiorizontal), la o cotă medie de 144m, cu direcția scurgerii S-SV, spre albia râului Someș [70].

Instalația de producere a biogazului a fost construită pe un amplasament unde până in 1989 a funcționat stația de epurare a apelor uzate care deservea fermele de porci din zonă (fostele ferme IAS Seini) [70].

Orașul Seini este o așezare cu o puternică tradiție în ceea ce privește creșterea animalelor, prin urmare aceasta reprezintă o zonă în care sunt disponibile cantități mari de gunoi de grajd, ce reprezintă un potențial factor de poluare a solului și a apelor de suprafață.

În concluzie, putem spune că instalația de biogaz este amplasată optim în ce privește sursele de generare a materiei prime utilizate în procesul tehnologic de producere a biogazului, dar și ca un element necesar în zonă cu privire la reducerea riscului poluator.

3.2.2 Descrierea fluxului tehnologic

În figura 19 se prezintă planul de amplasament al instalației de valorificare energetică a deșeurilor organice prin producere de biogaz.

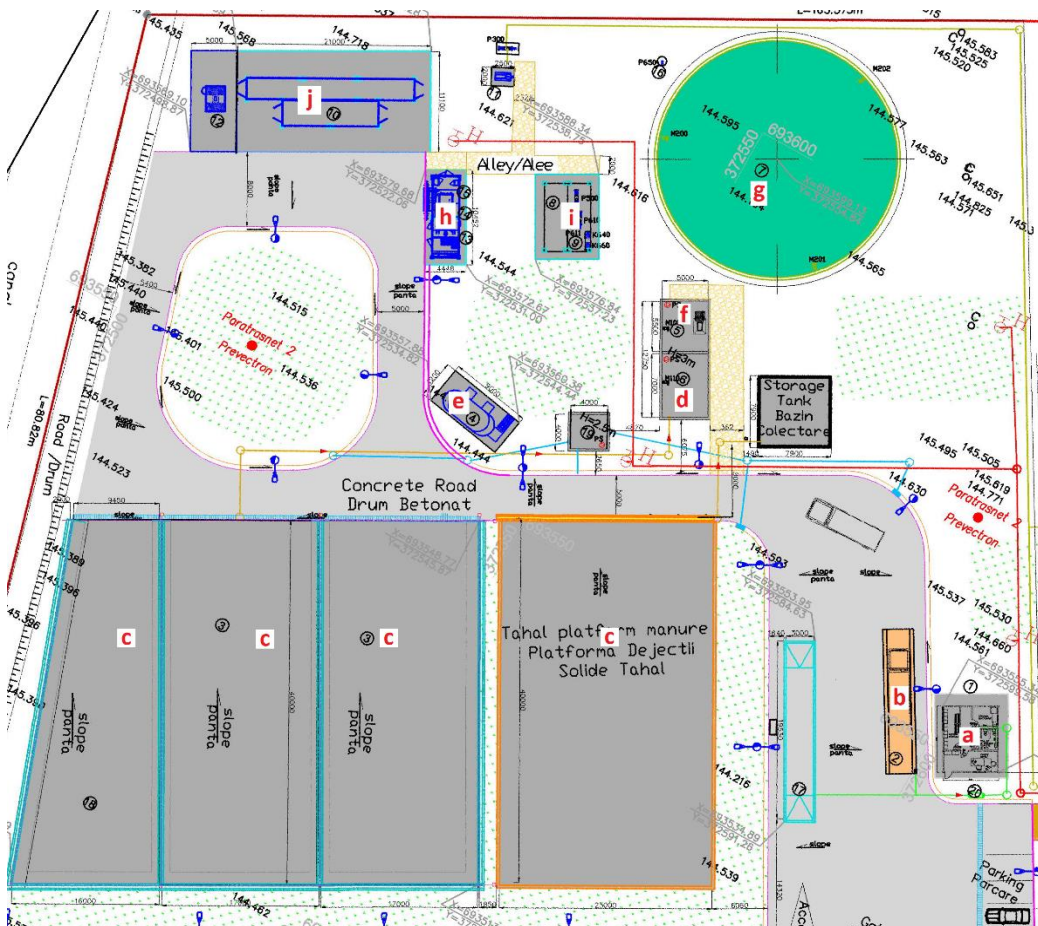


Fig.19. Plan amplasament stație biogaz Seini: a. Administrativ, b. Cântar, c. Stocare solide, d. Stocare lichide, e. Alimentare solide, f. Alimentare lichide, g. Bioreactor, h. Grup conecgerare CHP, i. Camera de control, j. Producere fertilizator [70]

Obiectivul principal al stației de biogaz prezentat în figura 19 este valorificarea energetică a gunoiului de grajd în scopul producerii de electricitate și căldură, prin cogenerare, utilizând drept combustibil biogazul rezultat. Instalația de biogaz a fost proiectată pentru a putea procesa anual următoarele cantități de deșeuri organice [24,70]:

- Siloz cultură energetică – 2000 tone;
- Dejecții animale(suine) – 5000 tone;
- Dejecții animale(bovine) – 8000 tone;
- Dejecții animale(păsări) – 5000 tone.

Capacitatea maximă de tratare instalată este de 54.79 tone/zi amestec deșeuri organice, din care 49.31 tone/zi dejecții animale și 5.48 tone/zi siloz vegetal. Rețeta zilnică privind compoziția amestecului de cosubstrate poate varia în funcție de conținutul umiditate și încărcare organică a acestora.

În baza cantităților de cosubstrate care au stat la baza dimensionării instalației de biogaz, se estimează o producție anuală de 1.527.445 m³/an, având o compoziție indicativă de 60% CH₄, 39% CO₂ și 1% O₂, CO și H₂S. Din biogazul obținut se estimează o producție de energie electrică de circa 2.967.030 kWh/an.

Subsidiar, odată cu producerea energiei electrice se estimează o producție de energie termică de cca. 3.280.564 kW, din care 970.564 kW vor fi utilizați în procesul de producție a biogazului (încălzirea bioreactorului) și 2.310.000 kW pentru instalația de producere fertilizator (uscarea a digestatului) [24,70]. În tabelul 4 se prezintă bilanțul masic și energetic proiectat al instalației de biogaz.

Tabelul 4: Bilanțul masic și energetic al instalației de biogaz Seini [70]

Producția		Resurse energetice folosite în producție		
denumire	Cantitate	Denumire	Cantitate	Furnizor
Biogaz	1.527.445 m ³ /an	Biomasă vegetală	2000 t/an	Colectare pe bază de contract
		Dejecții animale	18000 t/an	Ferme porci, vite, pasări, populație
		Energie electrică	1.590.693 kWh _e /an	SEN
		Motorină	20.353 litri/an	Furnizori produse petroliere
Digestat lichid (TS 3%)	15.150,0 m ³ /an	Energie termică	970.564 kW _{th} /an	Produs în CHP instalație biogaz
Digestat/fertilizant solid (uscă + compost)	5835 t/an		2.310.000 kW _{th} /an	
Energie electrică	2.967.030 kWh _e /an	Biogaz	1.527.445 m ³ /an	Produs în CHP instalație biogaz
Energie termică	970.564 kW _{th}	Biogaz		

În cazul unității de producere a biogazului de la Seini, a fost prevăzută și o instalație de procesare a digestatului pentru valorificarea acestuia sub formă de fertilizator. După cum am prezentat în capitolele anterioare (vezi cap.2), digestatul este un produs lichid (umiditate în stare brută, la ieșirea din fermentator cca. 95%) care este supus ulterior separării fracțiilor lichid/solid.

Conform procesului de alimentare prezentat în figura 20, digestorul poate fi alimentat cu cosubstrate în faza lichidă din bazinul de stocare T100, în două moduri:

- indirect cu pompa cu tocător P510 în care lichidul și faza solidă (alimentată de A100) se omogenizează pentru a putea fi pompate în digester;
- direct în digester cu pompa P100 dacă avem doar fracție lichidă.

Bazinul de stocare (T100) construit din beton armat, are un volum de 82,5 m³, , complet îngropat, cu capac etanș pentru diminuarea emisiilor în atmosferă. Bazinul este prevăzut cu un mixer submersibil, din oțel inoxidabil pentru a preveni sedimentarea particulelor în suspensie. În acest bazin este colectat levigatul rezultat de pe platforma de deșeuri solide și de pe platforma de stocare a compostului.

Având în vedere utilizarea mai multor cosubstrate cu compoziție și stare de agregare diferită (solide și lichide), și necesitatea asigurării unui amestec omogen în procesul de fermentare, alimentarea digesterului este o operație complexă ce presupune realizarea unui amestec de materiale solide, semisolide și lichide prin intermediul unui sistem centralizat și complet automatizat.

Suplimentar, asigurând astfel maximă flexibilitate în operare, instalația de preluare și alimentare a digesterului a fost prevăzută cu următoarele instalații anexe:

- Bazin auxiliar T110* – cu volum de 105 m³, pentru colectarea levigatului rezultat de la platformele de depozitare a cosubstratelor, a apelor pluviale și condensul rezultat din instalația de tratare a biogazului. Pentru perioade scurte de timp, bazinul poate asigura stocarea unui surplus de co-substrat lichid. Este confecționat din beton armat, complet îngropat, prevăzut cu capac etanș pentru reducerea emisiilor în atmosferă. Pentru prevenirea fenomenului de sedimentare a particulelor în suspensie, bazinul este dotat cu un mixer submersibil, din oțel inoxidabil, și o pompă centrifugă submersibilă de transvazare în tancul T100.
- Bucă de recirculare a digestatului* – realizată cu pompa centrală (de tip manifold), P500, care asigură menținerea raportului solide/lichide în bioreactor, în cazul unui deficit de lichid pe platformă, sau din contră, în cazul în care există deja exces de lichid în bioreactor.
- Unitate de mărunțire A110* – pentru pregătirea corespunzătoare a cosubstratelor sub formă solidă. Aceasta este amplasată pe capacul bazinului T100 și funcționează la un debit nominal de 6 m³/h.

Deșeurile și biomasa solide sunt mărunțită înainte de a fi amestecată cu dejecțiile lichide, se omogenizează după care produsul rezultat este pompat în digester. Faza de mărunțire are un impact pozitiv asupra producției de biogaz, reduce consumul energetic necesar omogenizării în digester și reduce riscul de apariție a fenomenului de spumare în digester.

Rețetele de alimentare sunt stabilite și revizuite periodic pornind de la tipul și cantitățile de cosubstrate preluate pe platformele de depozitare ale instalației de biogaz. Periodic sunt efectuate analize în laborator (TS, VS) pentru stabilirea caracteristicilor acestor cosubstrate.

Se recomandă ca timpul de staționare în bazinele de stocare al deșeurilor lichide să nu depășească trei zile, întrucât acesta fermentează aerob (mai ales în sezonul cald) și îi diminuează potențialul de producere biogaz prin reducerea încărcării organice.

3.2.3 Producerea biogazului

Tehnologia utilizată în această configurație este fermentația anaerobă într-o singură etapă (vezi subcap.2.4.6), ce se desfășoară într-un digester cu mixare continuă, R200, cu o capacitate de încărcare de 2814 m³, (Ø26.0 m, H= 6.0 m), cu fundație îngropată (H= - 1.0 m), în construcție monolitică din beton ranforsat cu rezistență ridicată la infiltrația de apă și expunerea în mediul coroziv. Nivelul maxim de încărcare cu digestat recomandat este de 5.3 m, păstrându-se o zonă tampon de siguranță de aproximativ 0.7 m. În figura 21 se prezintă principiul de funcționare al bioreactorului cu care este echipată instalația de biogaz Seini [70]:

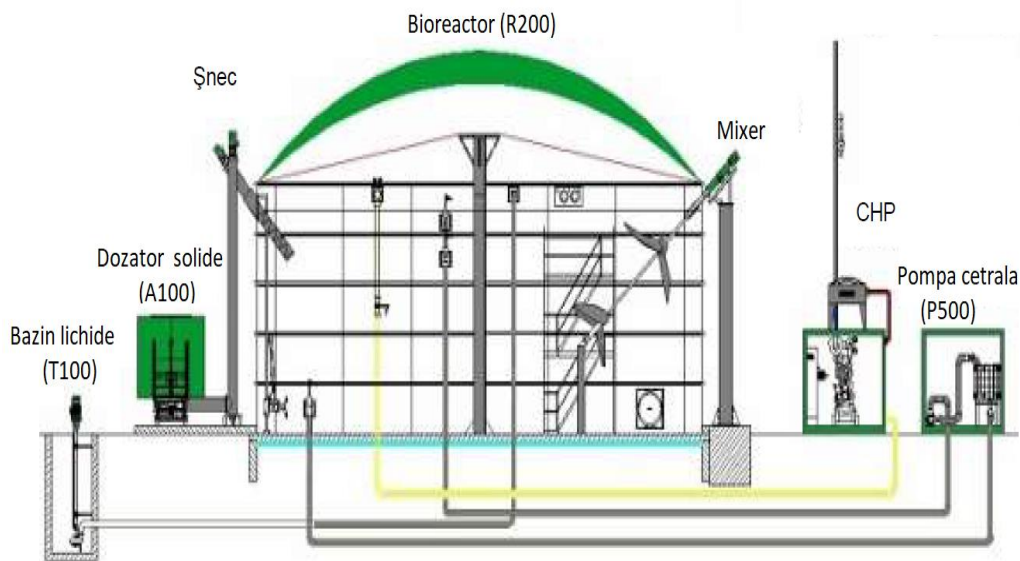


Fig.21.Principiul de funcționare al bioreactorului de la instalația de biogaz Seini [70]

Operarea optimă are loc în intervalul de temperatură 39-41°C (fermentație în regim mezofil). Bioreactorul este echipat cu două mixere orizontale submersibile și un mixer diagonal cu motor amplasat exterior, și convertizor de frecvență pentru controlul turației și implicit a vitezei de mișcare a digestatului în bioreactor. În acest mod poate fi controlată foarte eficient gradul de omogenizare a substratului, și tot odată facilitează eliberarea bulelor de biogaz care se formează în masa digestatului.

Volumul digesterului este proiectat pentru a asigura timpul de retenție (HRT) necesar pentru a maximiza descompunerea optimă a cosubstratelor utilizate în procesul de digestie anaerobă și implicit a producției de biogaz. Considerând natura cosubstratelor, timpul optim de retenție HRT proiectant este de 55 zile.

Volumul zilnic de alimentare a digesterului este cca. 54 m³ materie primă, rețeta de amestec a cosubstratelor pentru alimentarea bioreactorului, aceasta fiind stabilită funcție de calitatea și disponibilitatea substratelor. În acest sens, prioritară rămâne încărcarea cu materie organică volatilă a digesterului, astfel încărcarea organică maximă este păstrată la o valoare scăzută, cu o valoare a încărcării organice

a bioreactorului $OLR = 2.87 \text{ kg/m}^3/\text{zi}$, valoare la care se evită supradozarea sistemului microbial [24,70].

Pe lângă disponibilitatea și calitatea cosubstratelor, șarja zilnică de alimentare a bioreactorului se stabilește în funcție de concentrația ionilor de amoniu în bioreactor. Pentru optima desfășurare a reacțiilor metabolice este necesară păstrarea unui raport C:N în limitele $20:1 \div 30:1$ [70].

3.2.4 Stocarea, tratarea și valorificarea biogazului

Stocarea biogazului se realizează în partea superioară a bioreactorului, acesta fiind prevăzut cu acoperiș alcătuit din două membrane, dintre care cea exterioară este are rol protector și este întotdeauna sub presiune pentru a asigura stabilitatea sistemului, iar cea interioară, impermeabilă la aer funcționează ca rezervor de biogaz [70]. În figura 22 se prezintă o poză on-site a bioreactorului cu care este echipată instalația de biogaz Seini:



Fig.22. Bioreactorul de la stația de biogaz Seini

Spațiul util de stocare a biogazului, dat de balonajul membranei interioare, are o capacitate de 1110 m^3 . Suprapresiunea între cele două membrane este între $1.5 - 3 \text{ mbar}$ [70]. Din zona de stocare a biogazului, până la valorificarea acestuia în grupul de cogenerare CHP, biogazul este trecut prin trei trepte de tratare.

În prima treaptă de tratare are loc o desulfurare a biogazului unde este eliminat hidrogenul sulfurat (H_2S) care apare în procesul de fermentare anaerobă, cu scopul de a preveni apariția fenomenului de coroziune în instalație. Neutralizarea H_2S se face prin metoda biologică sub acțiunea bacteriilor sulfoxidante, care se dezvoltă în condiții aerobe la suprafața digestatului, în care acesta este transformat în sulf elementar prin metabolism. Astfel pentru crearea condițiilor optime de dezvoltare și multiplicare a acestor bacterii, balonul de captare a biogazului a fost prevăzut cu un sistem automatizat de injecție de aer. Cantitativ se introduce maximă $2 - 5 \%$ din volumul total de biogaz stocat în balon. Necesarul de aer depinzând direct de producția zilnică și concentrația în H_2S a biogazului produs.

În a doua treaptă de tratare a biogazului are loc eliminarea umidității din biogaz prin condensarea vaporilor de apă sub temperatura punctului de rouă, cu scopul de a asigura funcționarea optimă a motorului diesel din grupul de cogenerare CHP al unității de valorificare energetică. În acest scop biogazul este trecut printr-un uscător cu refrigerare unde are loc răcirea biogazului la o temperatură de 7°C, vaporii de apă fiind eliminați sub formă de condensat.

A treia treaptă de tratare constă în reducerea conținutului de siloxani și reducerea avansată a concentrației de hidrogen sulfurat prin epurarea biogazului într-un filtru cu cărbune activ.

După tratarea biogazului brut produs în digester, are loc valorificare energetică într-un grup de cogenerare CHP, care are o capacitate instalată de 0.47 MWel. În figura 23 se prezintă o poză on-site cu grupul CHP de la instalația de biogaz Seini.



Fig.23. Unitate de cogenerare de la stația de biogaz Seini

Grupul CHP este conceput în variantă modulară containerizată complet echipată cu sistem propriu de răcire și module de recuperare căldură din gazele de ardere și răcire motor.

Energia electrică se livrează direct în SEN, prin postul TRAFU de conexiune. Energia termică se folosește integral în proces, unde o parte este utilizată pentru încălzirea fermentatorului, iar restul la instalația de uscare a digestatului.

Intreg procesul tehnologic este complet automatizat, instalația de biogaz fiind prevăzută cu o cameră de comandă și control care oferă informații în timp real despre parametrii de funcționare ai instalației.

Sistemul de automatizare cuprinde: controlul automat al sistemului de pompare al substratului, analizor de gaz, senzor de nivel al membranei interne a balunului de captare biogaz, senzori presiune și temperatură, senzorul de nivel în bioreactor, senzorul de control levigat, echipamente de siguranță.

Ca o măsură de siguranță în caz de avarie, sau defecțiuni a sistemului de ardere CHP, instalația de biogaz este prevăzută cu o faclă de ardere. Facla pentru biogaz este folosită doar ca o urgență, dacă CHP se închide sau calitatea biogazului, măsurată după filtru de cărbune activ nu îndeplinește cerințele de intrare în CHP (conținut prea mare de H₂S).

3.2.5 Stocarea și prelucrare digestat

În faza de descărcare a bioreactorului, digestatul este pompat cu ajutorul pompei centrale P500 la separatorul A300, unde are loc o separare mecanică digestatului din care rezultă: (i) o fază lichidă cu un conținut de umiditate de aproximativ 93 %, și (ii) o fază solidă cu conținut de masă uscată de 27 – 30 %.

Faza lichidă va fi pompată cu P300 în bazinele existente pe platformă, aferente infrastructurii fostei stații de epurare dezafectată.

Faza solidă este descărcată și depozitată pe platforma betonată amenajată în acest scop. Utilizând un transportor elicoidal, solidul este transportat către uscătorul cu bandă, A310. În figura 24 se prezintă o poză on-site cu linia de producere fertilizator de la instalația de biogaz Seini.



Fig.24. Linia de producere fertilizator de la stația de biogaz Seini

Linia de uscare este un utilaj complex, care utilizează la căldura recuperată de la unitatea CHP. Un ventilator cu un debit de cca. 15.000 m³/h preia aerul rece exterior și îl trece prin schimbătoarele de căldură care sunt încălzite cu agent termic produs în unitatea de recuperare CHP. Aerul fierbinte trece prin sistemul de uscare cu benzi, intră în contact cu masa de solid supus uscării, preia umiditatea, după care este trecut printr-o unitate de tratare a aerului (scruber umed), și în final eliminat în atmosferă [70].

În unitatea de tratare a aerului contaminat (scruber), are loc recuperarea amoniacului desorbit, rezultat din evaporarea fazei lichide din digestat. Utilizând o soluție de spălare acidă (pH 4,0, corectat prin adaos de acid sulfuric), scruberul

generează ca subprodus o soluție de sulfat de amoniu care va fi utilizat ca îngrășământ lichid [70].

Linia de uscare produce un material solid, cu proprietăți fertilizante, cu un conținut de substanță uscată de până la 88 %. În figura 25 se prezintă o poză on-site cu instalația de ambalare fertilizator de la instalația de biogaz Seini.



Fig.25. Instalația de ambalare fertilizator de la stația de biogaz Seini

În baza celor descrise anterior, putem concluziona că instalația de producere biogaz de la Seini, este o instalație care poate prelua o gama variată de deșeuri organice, provenite din mai multe surse: ferme de creștere a animalelor (vite, porci, păsări), biomasă rezultată din agricultură și nămol menajer provenit de la sistemul de colectare local.

Prin integrarea instalației de procesare și prelucrare digestat care are ca rezultat producerea de material fertilizant, se închide ciclul de viață al produselor care devin deșeu, reducând impactul poluator asupra mediului.

3.3. Stația de producere biogaz – Arad

3.3.1 Implementarea proiectului

În ultimul deceniu UE promovează valorificarea energetică a resurselor biologice regenerabile (sustenabile) prin utilizarea unor tehnologii convenționale sau noi cu scopul dezvoltării unei bio-economii, care treptat să ocupe un procent cât mai ridicat în piața energetică. În acest context o societate privată din Arad (SC COM ABM SRL), care își desfășoară activitatea în domeniul agricol, a implementat un proiect de valorificare energetică a biomasei vegetale provenită din agricultură, prin tehnologia de producere a biogazului [71].

Implementarea proiectului a avut la bază legislația europeană de promovare în domeniu, transpusă în legislația din România prin cerințele formulate prin obiectivele Programului Operațional Sectorial Creșterea Competitivității Economice 2007-2013, ale Axei Prioritare 4 - „Creșterea eficienței energetice și a siguranței furnizării, în contextul combaterii schimbărilor climatice”, ale Domeniului Major de Investiție 2 - „Valorificarea resurselor regenerabile de energie pentru producerea energiei verzi” și ale Operațiunii „Sprijinirea investițiilor în modernizarea și realizarea de noi capacități de producere a energiei electrice și termice, prin valorificarea resurselor energetice regenerabile: a biomasei, a resurselor hidroenergetice (în unități cu putere instalată mai mică sau egala cu 10MW), solare, eoliene, a biocombustibilului, a resurselor geotermale și a altor resurse regenerabile de energie”.

Proiectul răspunde direct obiectivului general al „POS CCE 2007-2013 de creștere a productivității companiilor românești, în conformitate cu principiile dezvoltării durabile și reducerea decalajelor față de productivitatea la nivelul UE”. În figura 26 se prezintă planul de amplasare în zonă al stației de biogaz Arad.



Fig.26. Planul de amplasare în zonă stație de biogaz Arad: a. Digestor treapta 1, b. Digestor treapta 2, c. Stocare digestat, d. Grup cogenerare CHP, e. Alimentare solide, f. Stocare biomasă de cultură, g. Stocare solide, h. Administrativ

Capacitatea energetică proiectată a instalației de producere a biogazului este de 988 kW_{el} și 990 kW_{th}, prin utilizarea a două grupuri de cogenerare CHP 520 kW_{el} și 495 kW_{th} (314 kW_{th} din sistemul de răcire al motoarelor diesel și 181 kW_{th} cu recuperare căldură din gazele de ardere). Cantitățile de materii prime utilizate în procesul de producție sunt în principal biomasă în cantitate de 48,03 t/zi (17.530

t/an), dejecții animale la pornirea procesului tehnologic și periodic pentru întreținerea fermentării, și apă din foraje pentru menținerea concentrației optime de substanță solidă în procesul de fermentare anaerobă.

3.3.2 Descrierea fluxului tehnologic

Ca variantă constructivă, fluxul tehnologic implementat în instalația de producere biogaz de la Arad s-a optat pentru utilizarea unui bioreactor de contact cu stabilizare în două trepte (vezi subcap. 2.4.8). În figura 27 se prezintă fluxul tehnologic al stației de biogaz Arad.

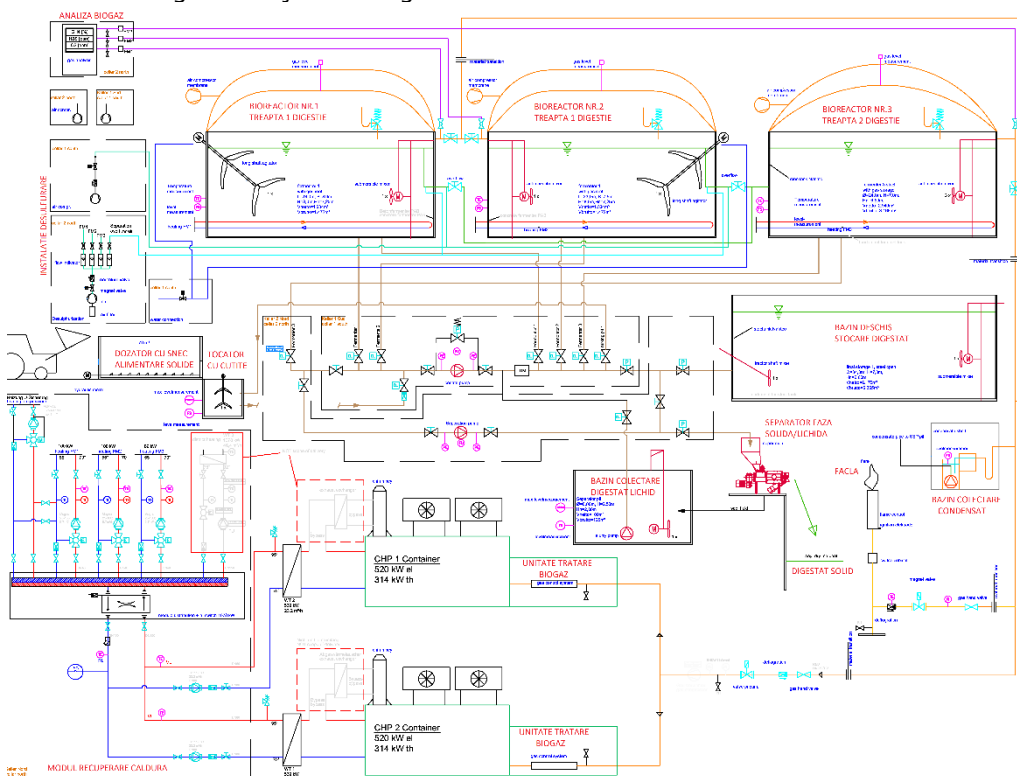


Fig.27. Fluxul tehnologic stație de biogaz Arad [71]

Conform fluxului tehnologic prezentat în figura 27, bucla de recirculare a digestatului activ care conține coloniile de bacterii se realizează între bioreactorul de stabilizare – Bioreactor nr.3 și cele de contact bioreactor nr.1 și 2, iar efluentul (digestatul) în bazinul de colectare digestat. Producția de biogaz are loc în simultan în cele trei bioreactoare. Fluxul tehnologic a fost prevăzut cu o treaptă de separare fază lichidă/solidă, cu scopul de a controla pierderea coloniilor de bacterii care are loc odată cu eliminarea digestatului.

Avantajul acestui proces tehnologic constă în faptul că pot procesa deșeuri organice heterogene cu grade diferite de descompunere. Astfel în rețeta de amestec a cosubstratelor pot fi integrate deșeuri organice care au în compoziția lor celuloză

care necesită un timp îndelungat de descompunere, cum este în cazul nostru biomasa provenită din agricultură.

În bioreactoare este un amestec format din materia primă care intră în proces, în cazul de față biomasă sub formă siloz de porumb (48,0274 t/zi). Alimentarea cu substraturi are loc după o rețetă determinată în funcție de tipul și cantitatea cosubstratelor disponibile.

Procesul de generare a biogazului începe cu încărcarea cosubstratelor solide bine mărunțite, după o cântărire prealabilă, în buncărul de alimentare (alimentator-doзатор) cu o capacitate de 80 m³, de unde, printr-un sistem de transport - conveior cu șnec, este introdus în bioreactoarele nr.1 și nr.2 din treapta 1 de fermentare. Acest proces are loc în mod automat de mai multe ori pe zi, în funcție de cantitatea de digestat preluat în treapta a doua a procesului de fermentare anaerobă care are loc în bioreactorul nr.3. Ca și variantă constructivă, bioreactoarele din prima treaptă de fermentare sunt în variantă orizontală, iar bioreactorul din a doua treaptă de fermentare este în variantă cilindrică verticală.

Digestoarele orizontale din prima treaptă de fermentare, sunt prevăzute cu un mixer cu padele format din 2 părți, dispuse coaxial, acționate de un motor electric cu frecvența variabilă cuplat cu un reductor planetar.

Din treapta 1 de fermentare, digestatul este pompat într-un tocător cu cuțite, unde are loc o mărunțire a digestatului, după care este pompat în treapta a doua de digestie anaerobă – bioreactorul nr.3. Operația de mărunțire a digestatului rezultat din prima treaptă, are scopul de a stimula procesul de fermentare din a doua treaptă, facilitând accesul bacteriilor de descompunere în structura materiei organice utilizată în proces.

Digestorul vertical din a doua treaptă de fermentare este prevăzut în partea superioară cu 4 agitatoare care au rolul de a menține un amestec uniform omogen în tot volumul bioreactorului. Digestatul rezultat este pompat în bazinul de stocare final (stocatorul de nămoluri), care are o capacitate netă de depozitare 6.175 m³.

Biomasa utilizată în proces: siloz porumb, resturi din procesarea cerealelor, și alte deșeuri similare, este depozitată fie în cele patru silozuri dedicate pentru biomasă sub formă de cereale, fie pe platforma de depozitare betonată dacă sunt procesate alte tipuri de biomasă.

În procesul de fermentare anaerobă desfășurat la instalația de producere biogaz Arad, sunt utilizate și dejecții de bovine care sunt necesare la pornirea procesului de fermentare sau periodic la reînnoirea procesului. Aceste dejecții au rolul de a reînnoi bacteriile din proces. Fluxul instalației este continuu tot timpul anului.

După faza de fermentare/digestare nămolul rezultat este depozitat în stocatorul de nămoluri, iar de aici este transportat cu vidanaje pe terenurile agricole pentru fertilizare.

Gazul rezultat este denumit biogaz datorită faptului că rezultă dintr-un proces biologic. Acesta este purificat prin desulfurare biologică, uscat, monitorizat, urmând a se dirija spre cele doua generatoare termo-electrice din incinta unității.

Pentru asigurarea siguranței în procesul de exploatare, instalația de producere biogaz este echipată cu o faclă de siguranță. Aceasta este un sistem de protecție care supraveghează depozitele de biogaz cu sarcina de a arde gazul în exces pentru ca acesta să nu ajungă în atmosferă unde metanul conținut este dăunător. Instalația de biogaz funcționează 24 ore/zi pe tot parcursul anului (8.760 ore/an), în timp ce grupurile de cogenerare funcționează 8.322 ore/an (438 ore sunt dedicate operațiilor de mentenanță specifice motoarelor diesel care funcționează cu biogaz).

Sala de comandă a centralei este dotată cu un computer de supraveghere generală a întregii stații care asigură supravegherea permanentă a întregului proces

de la faza de încărcare, omogenizare și fermentare, cu semnalizarea avariilor la panoul de comandă a instalației de biogaz, a grupurilor de cogenerare (CHP) cu vizualizare locală în camera de comandă sau la distanță în sistem SCADA.

3.3.3 Producerea biogazului

Producerea biogazului este influențată direct de caracteristicile cosubstratelor și cantitățile disponibile, funcție de care sunt stabilite rețetele de amestec optime care garantează o producție maximă de biogaz. Pentru a pune în evidență acest aspect în tabelul 5 sunt prezentați principalii parametri monitorizați în procesul de producere a biogazului în instalația de la Arad.

Tabelul 5: Caracteristicile cosubstratelor utilizate în instalația de biogaz Arad [71]

Fermentare/digestie anaerobă		
Parametru	Valoare	U.M
Cantitate cosubstrate	17.530,0	tone/an
Conținut substanță uscată în masa proaspătă (TS)	35,0	%
Conținut substanță organică în masa proaspătă (VS)	96,0	%
Timp de retenție hidraulică (HRT)	61,0	zile
Volum necesar în bioreactor	4.110,0	m ³
Încărcarea organică a bioreactorului (OLR)	3,89	kgVS/m ³ /zi

După cum se observă în tabelul 5, și după cum este prezentat în capitolele anterioare (vezi cap.2.3), parametrii de bază care stau la baza procesului de fermentare anaerobă sunt conținutul de substanță organică VS și încărcarea organică a bioreactorului care influențează în mod direct producția de biogaz. În tabelul 6 se prezintă producția de biogaz raportată la caracteristicile substratelor și parametrii de proces prezentați anterior (HRT și volum bioreactor).

Tabelul 6: Producția anuală de în instalația de biogaz Arad [71]

Fermentare/digestie anaerobă		
Parametru	Valoare	U.M
Biogaz	3.828.552,22	m ³ /an
Conținut de metan	1.990.847,15	m ³ /an
Energie totală brută (conținută în biogaz)	19.908.381,66	kWh/an
Timp de funcționare	8.322,00	ore/an
Putere instalată	988,00	kWel

Din tabelul 6 rezultă că din producția anuală de biogaz, un procent de 52% este reprezentat de gazul metan. De menționat faptul că bioreactoarele funcționează la o temperatură de 38 C, adică într-un regim de mezolif de digestie anaerobă. În tabelul 7 se prezintă producția de biogaz raportată la cantitatea de cosubstrate procesate în instalația de producere biogaz.

Tabelul 7: Producția de biogaz raportată la cantitatea de cosubstrate [71]

Producția de biogaz		
Parametru	Valoare	U.M
Necesarul zilnic de cosubstrate	48,0	tone/zi
Cantitatea anuală necesară	17.530	tone/an
Conținut substanță uscată (TS)	35,0	%
Producția de biogaz raportată la masa de cosubstrate	218,4	m ³ /tonă
Debitul mediu zilnic de biogaz	10.489,18	m ³ /zi
Debitul mediu orar de biogaz	437,05	m ³ /h
Puterea calorifică biogaz	5.473	kW/m ³
Energia primară (conținută în biogaz)	2,392	MWh

Conform datelor prezentate în tabelul de mai sus, concludem că o tonă de biomasă cu TS=35% și VS=96%, produce un debit de 218,40 m³ biogaz, care transpus în energie orară este 2.392 MWh.

3.3.4 Stocarea și valorificarea biogazului

Biogazul este produs și captat în toate cele 3 bioreactoare, după care este valorificat în grupurile de cogenerare CHP. Fiecare grup CHP este prevăzut cu o unitate de tratare a biogazului. O parte din energia electrică produsă este consumată în proces, iar surplusul este livrat în Sistemul Energetic Național (SEN). Stocarea biogazului are loc în partea superioară a bioreactorului în rezervorul cu pereți membrană dubli, care mențin presiunea constată în raport cu volumul de biogaz stocat, prin variația presiunii a aerului în spațiul dintre cele două membrane.

Generatoarele termo-electrice (CHP) sunt utilizate pentru valorificarea biogazului. Acestea sunt compuse dintr-un motor cu gaz diesel, care antrenează un generator care produce energia electrică care va fi valorificată în rețea, iar energia termică va fi valorificată către consumatorii din zonă. Prin cogenerare rezultă de asemenea energie termică care va fi utilizată în parte la încălzirea digestoarelor, iar energia termică disponibilă va fi valorificată către terți.

Fiecare container conține 1 unitate de cogenerare formată dintr-un ansamblu motor diesel cu gaz și un generator de curent electric, comandate de la un tablou de comandă cu sistem de control, având dotările tehnice aferente. Unitatea de cogenerare este de 537 kW, folosește drept combustibil biogazul rezultat din procesul de fermentare a biomasei unde se produc 10.489,18 mc/zi biogaz echivalent a

5.454,38 mc gaz metan [71]. În tabelul 8 se prezintă bilanțul de energie termică și electrică a instalației de producere biogaz de la Arad.

Tabelul 8: Producția de energie termică și electrică la instalația de biogaz Arad [71]

Producția de energie termică și electrică		
Parametru	Valoare	U.M
Energia primară (conținută în biogaz)	2,392	MWh
Randament electric CHP	41.30	%
Randament termic CHP	41.38	%
Producția energie electrică (CHP 100%) (2,392 MWh x 1000 x 41.30 %)	987.9	kWhel
Producția energie termică (CHP 100%) (2,392 MWh x 1000 x 41.38 %)	989.8	kWhth
Consum propriu energie electrică	165.67	kWhel
Consum propriu energie termică	214,00	kWhth
Energie electrică disponibilă pentru vânzare	822.23	kWhel
Energie termică disponibilă pentru vânzare	755.8	kWhth

Conform datelor prezentate în tabelul de mai sus, în condițiile de calitate și disponibilitate a cosubstratelor utilizate în proces, instalația de producere a biogazului poate livra spre vânzare 822.23 kWhel și 755.8 kWhth, care în procente raportat la totalul energiei conținută în biogaz este de 83.23 % energie electrică și 76.35 % energie termică.

3.3.5 Stocarea și prelucrare digestat

În urma procesului mezofil de digestie anaerobă desfășurat în bioreactoare, rezultă digestatul, care este depozitat în bazinul de stocare cu o capacitate netă de 6175 m³. În tabelul 9 se prezintă caracteristicile principale ale digestatului.

Tabelul 9: Caracteristicile digestatului de la instalația de biogaz Arad [71]

Digestat rezultat din procesul de fermentare anaerobă		
Parametru	Valoare	U.M
Cantitatea cosubstrate procesată	17.530,0	tone/an
Cantitate digestat (fertilizator utilizat în agricultură)	12.441,0	tone/an
Conținut substanță uscată în masa proaspătă (TS)	8.42	%
Conținut substanță organică în masa proaspătă (VS)	76.56	%
Volum în bazinul de stocare digestat	6.175	m ³

Conform datelor prezentate în tabelul de mai sus se observă, se observă o diferență de 5089 tone/an între cantitatea de cosubstrate și cantitatea de digestat. Această diferență reprezintă cantitatea de digestat recirculată în digestoare, cu scopul de a stimula procesul de descompunere anaerobă (recircularea bacteriilor de fermentație, care s-ar pierde odată cu eliminarea digestatului).

Astfel cantitatea zilnică de digestat stocată în bazin este 34,08 t/zi. Digestatul stocat în bazin este utilizat în agricultură ca îngrășământ/fertilizant, acesta fiind transportat pe suprafețele de teren agricole pe o durată de 8 luni din an cu o medie de 52t/zi. În tabelul 10 sunt prezentate elementele fertilizante din digestatul rezultat în procesul de fermentare în instalația de biogaz de la Arad.

Tabelul 10: Caracteristicile fertilizatorului produs în instalația de biogaz Arad [71]

Parametru	Intrare cosubstrat	Digestat	U.M
Azot	0,46	0,65	%
Azotat de amoniu	-	0,42	
Fosfat P ₂ O ₅	0,19	0,27	
Potasiu K ₂ O	0,78	1,09	
Oxid de calciu CaO	0,21	0,30	
Oxid de magneziu MgO	0,07	0,09	

4. EXPERIMENTE ÎN LABORATOR

4.1. Metode experimentale aplicate

Partea experimentală desfășurată în prezenta lucrare de cercetare s-a realizat în Laboratorul Analize de Combustibili Investigații Ecologice și Dispersia Noxelor al Facultății de Mecanică UPT și Laboratorul de Biotehnologii Mircobiene și Industriale de la Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară a Banatului – USAMVB Timișoara. În acest scop s-a aplicat metoda de cercetare experimentală pe stand de laborator, utilizând două tipuri de instalații „state-of-the-art” pentru investigarea potențialului de producere biogaz prin digestie anaerobă a substanțelor organice biodegradabile, ambele instalații de laborator fiind furnizate de Bioprocess Control Sweden AB (<https://bioprocesscontrol.com/>).

Astfel, în laboratorul USAMVB s-a utilizat instalația de producere a biogazului în regim staționar pe standul experimental Automatic Methane Potential Test System II (AMPTS® II), prin care s-a investigat potențialul de producere a gazului metan prin digestie anaerobă a deșeurilor organice. În acest scop au fost urmărite experimental potențialul metanogen biochimic (biochemical methane potential - BMP) și activitatea metanogenă specifică (specific methanogenic activity – SMA). Concret acest tip de instalație oferă informații legate de producția specifică de biogaz, și de capacitatea de conversie a substanței organice în gaz metan prin digestie anaerobă în condiții de laborator, informații de bază în ce privește valorificarea energetică a deșeurilor organice.

În laboratorul UPT s-a utilizat instalația de producere a biogazului în flux cu alimentare continuă pe standul experimental Bioreactor Simulator – BRS, prin care s-a investigat modul de producere continuă a biogazului prin digestie anaerobă, fiind o copie fidelă la scară de laborator, a modului de operare a unei stații industriale de producere biogaz. Concret acest tip de instalație oferă informații asupra parametrilor de operare a unei stații de biogaz, cum sunt capacitatea organică de încărcare zilnică (organic loading rate – OLR) și timpul de retenție hidraulică (hydraulic retention time – HRT).

Dimensionarea și alegerea tipului de bioreactor pentru valorificarea energetică prin producere de biogaz a diverselor tipuri de deșeuri organice, se realizează în baza capacității de producere a biogazului BMP ca urmare a activității coloniilor de bacterii metanogene. Literatura de specialitate indică orientativ anumite valori BMP pentru diferite tipuri de deșeuri organice, care oferă o imagine de ansamblu asupra potențialului energetic care poate fi valorificat [1,25].

În practica inginerescă aplicată, determinarea valorilor BMP utilizate în proiectarea și dimensionarea instalațiilor de producere biogaz, se realizează prin teste în laborator, conform unor proceduri standardizate. În acest sens, țările europene utilizează protocoalele impuse prin standardul german VDI 4630 *Fermentarea materialelor organice. Caracterizarea substratelor, probe, colectarea materiei organice, teste de fermentare (Fermentation of organic materials. Characterization of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests)* [50,73]. Potrivit acestui standard, se identifică două tipuri de teste pentru fermentare anaerobă și anume: (i) în regim staționar – protocol în loturi (batch procedure) și (ii) în flux continuu - protocol cu alimentare continuă [50].

Conform celor menționate anterior, în prezenta lucrare de cercetare experimentală s-au utilizat ambele protocoale de testare în laborator, cu scopul de a investiga în detaliu atât modul de determinare a parametrilor care stau la baza procesului de producere biogaz prin fermentare anaerobă; cât și de a înțelege corect și concret modul de abordare și importanța testelor de laborator în ce privește validarea parametrilor de calcul utilizați în dimensionarea instalațiilor de producere biogaz.

4.1.1. Producerea biogazului în regim staționar

După cum am prezentat în capitolele anterioare (vezi scap.2.1), digestia anaerobă este influențată de caracteristicile specifice ale substanțelor care compun fracția organică a deșeurilor supus procesului, în speță gradul de descompunere și asimilarea materiei organice sub acțiunea bacteriilor anaerobe.

Potrivit protocoalelor standard, testele experimentale în regim staționar au scopul de a furniza informații cu privire la următoarele aspecte [50]:

- Evaluarea fundamentală a producției posibile de biogaz și a gradului de descompunere biologică a substratului sau amestecului de cosubstrate supuse procesului de fermentare anaerobă;
- Evaluarea calitativă a vitezei de descompunere anaerobă a fracției organice din compoziția substratului investigat;
- Evaluarea calitativă a efectului de inhibare a substratului investigat pentru intervalul de concentrații substrat/e utilizate în teste.

Protocoalele standard pentru realizarea testelor experimentale în regim staționar nu oferă informații privind următoarele aspecte [50]:

- Stabilitatea procesului de fermentare anaerobă în bioreactoarele cu alimentare continuă a substratului sau amestecului de cosubstrate supuse procesului de fermentare anaerobă;
- Producția specifică de biogaz în condiții de practică aplicată, datorită posibilității apariției unor efecte de fluctuație (+ sau -) în procesele tehnologice reale;
- Monofermentabilitatea substratului în condiții reale de proces tehnologic;
- Limitele încărcării organice raportate la unitatea de volum a bioreactorului.

Potrivit celor enumerate anterior, investigarea producerii biogazului prin digestie anaerobă în regim staționar are rolul de a caracteriza fracția organică conținută în deșeu, în ce privește capacitatea specifică de producție a biogazului raportat la conținutul de substanță organică volatilă – VS, care este în strânsă legătură cu gradul de descompunere a materiei organice.

Altfel spus, se referă la producția de biogaz raportată la unitatea de masă a substanței organice VS. Cu cât raportul dintre producția de biogaz și masa organică volatilă VS este mai mare, cu atât gradul de descompunere organică este mai ridicat, și viceversa. Rezultatele acestui tip de testare în laborator, nu oferă informații/date legate de parametrii de funcționare a unui proces tehnologic real de producere biogaz.

Precizia rezultatelor aferente acestui tip de testare experimentală sunt influențate în mod direct de activitatea biologică a inoculului utilizat și de modul de colectare și măsurare a cantității de biogaz rezultat. Acest aspect indică faptul că pentru a avea rezultate cu valori comparabile pentru testele experimentale pe același tip de materie organică, nu doar parcurgerea protocolului de pregătire a

lotului/probelor de testare este importantă, ci și modul în care se realizează achiziția de date/valori experimentale în ce privește producția de biogaz [50].

În acest sens, configurația aparaturii necesare pentru testarea experimentală în laborator este indicată în standardele DIN 37414 și DIN EN ISO 11734. Potrivit acestor standarde, pentru selecția aparaturii de laborator se vor avea în vedere următoarele aspecte [50]:

- Asigurarea unei etanșeități perfecte pentru întreg ansamblul echipamentelor care alcătuiesc standul experimental, astfel încât să împiedice infiltrarea aerului atmosferic și/sau scăpările/scurgerile de biogaz în mediul ambiant. În acest sens după asamblarea și interconectarea aparatelor utilizate în stand, este obligatoriu realizarea testului de etanșeitate.
- Eliminarea aerului atmosferic din instalație prin spălarea instalației cu un gaz inert, sau un amestec de gaze care să nu influențeze compoziția biogazului produs. Se recomandă spălarea cu CO₂ sau un amestec de gaze CH₄ și CO₂, care sunt gaze identice cu cele regăsite în compoziția biogazului.
- Reglarea temperaturii de incubare la valoarea de 37°C (±2°C) pentru regimul de fermentare mezofilică, respectiv 55°C (±1°C) pentru regimul termofilic. Valoarea temperaturii de incubare trebuie menținută constantă în întreaga masă de substanță organică investigată, pe întreaga perioadă de testate experimentală.
- Utilizarea unor incubatoare (camere cu temperatură constantă) prevăzute cu ventilator, care să asigure temperatura constantă prin mișcarea aerului în întreg volumul camerei de incubare. Ca soluție alternativă pot fi utilizate băi termice cu apă, cu condiția ca nivelul apei calde să fie peste nivelul umplere a bioreactorului.
- Utilizarea unui dispozitiv pentru agitarea/mixarea digestatului din bioreactor pentru menținerea unei mase omogene constante în proba investigată. Acest fapt previne stratificarea substanței organice investigate, ajută la degazarea bulelor de biogaz care se formează în digestat și împiedică formarea unui strat flotant inactiv care se poate forma la suprafața bioreactorului.
- Pentru fermentarea unor substraturi cu compoziție omogenă se recomandă utilizarea unui bioreactor cu volumul de 0.5 litri sau 2.0 litri, iar pentru cele cu o compoziție heterogenă cele cu un volum de 5, 10 sau 20 litri. În cazul în care procedura de pregătire a probelor asigură un conținut omogen pentru substanța organică investigată, pot fi utilizate bioreactoare cu volume mai mici.

Ca și caracteristică generală, se menține o valoare scăzută a presiunii biogazului în bioreactor, astfel se asigură atât menținerea etanșeității instalației experimentale, cât și prevenirea solubilității componentelor biogazului în digestat.

În continuare se prezintă modele de configurare a standurilor de laborator recomandate pentru realizarea testelor experimentale de producere a biogazului prin digestie anaerobă în regim staționar.

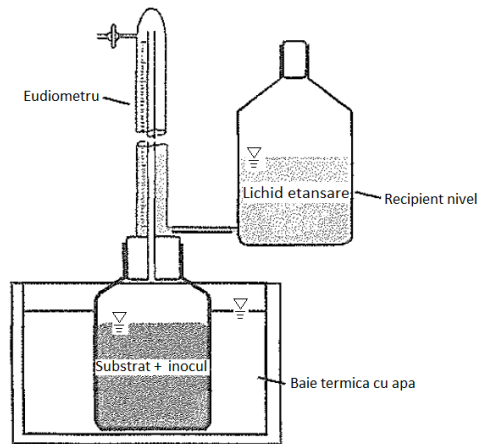


Fig.28. Stand experimental producere biogaz DIN38414-8 [50,75]

După cum se observă din figura 28, acest tip de stand experimental utilizează baia termică cu apă pentru menținerea temperaturii de fermentare anaerobă. Biogazului rezultat în urma procesului de fermentare este colectat în eudiometru cu tub gradat.

Pe măsură ce cantitatea de biogaz crește, în baza principiului vaselor comunicante, presiunea în tub crește astfel se modifică nivelul coloanei de lichid din starea de echilibru inițial, astfel se poate citi pe scara gradată volumul de biogaz produs/acumulat.

Este un stand simplu, ușor de realizat, dar cu o precizie de măsurare destul de scăzută, având în vedere că valoarea citită este influențată de parametri de stare ai gazului, care poate fi influențată de variația temperaturii mediului ambiant. În cazul utilizării unui astfel de stand se va acorda o atenție deosebită asupra menținerii constante a temperaturii din laborator în care se desfășoară experimentul; precum și a riscului de contaminare a digestatului cu lichide de etansare [50].

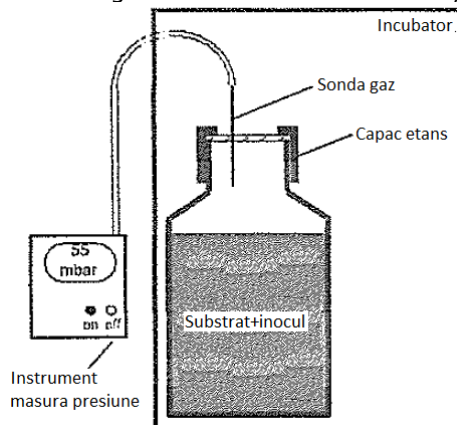


Fig.29. Stand experimental producere biogaz DIN ISO 11734 [50]

În figura 29 este prezentat un model de stand experimental mai simplu, care utilizează un incubator cu ventilator de aer cald pentru menținerea temperaturii de fermentare. În mod uzual se utilizează o etuvă ca incubator, care permite menținerea temperaturii de fermentare constantă pe toată durata experimentală, temperatura

putând fi setată atât pentru regim mezofil de 37°C ($\pm 2^\circ\text{C}$) cât și pentru regimul termofil de 55°C ($\pm 1^\circ\text{C}$).

Procesul de fermentare anaerobă care se desfășoară în acest tip de stand experimental, implică o presiune mai ridicată în bioreactor, datorită faptului că biogazul format este acumulat continuu în partea superioară a bioreactorului, care practic este un volum fix. Producția de biogaz acumulată în bioreactor este cuantificată de presiunea biogazului din bioreactor.

Presiunea ridicată în zona de acumulare a biogazului poate cauza probleme în ce privește asigurarea etanșeității bioreactorului, dar și apariția fenomenului de solubilitate a biogazului în mediul de fermentare reprezentat de digestat. Acest aspect reduce precizia de măsurare a cantității de biogaz, fiind recomandat pentru utilizarea în cazul unor cosubstrate cu o producție de biogaz redusă.

În cazul acestui tip de stand experimental, volumul de biogaz acumulat/produs se calculează în funcție de valoarea presiunii măsurate și temperatura biogazului. Pentru relevanța rezultatelor experimentale se recomandă ca presiune maximă la care se desfășoară campania experimentală să nu depășească valoare de 100 hPa (0.1bar) [50].

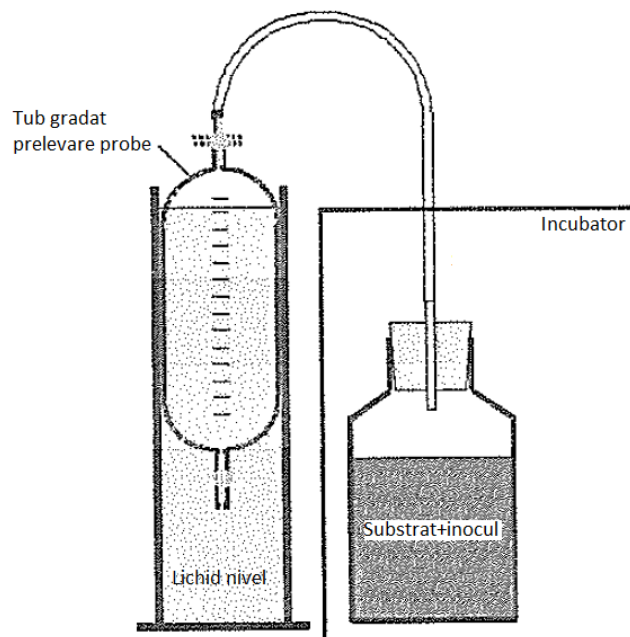


Fig.30. Stand experimental producere biogaz cu tub de colectare gaz [50]

În figura 30 este prezentat un model de stand experimental care utilizează același principiu de funcționare ca și cel precedent, dar cu precizie de măsurare mai ridicată, datorită faptului că modul de colectare a biogazului produs se realizează în mod diferit.

După cum se observă în figura 30, cantitatea de biogaz produsă în bioreactor este separată de mediul de fermentare, aceasta fiind captată într-un tub gradat imersat într-un lichid (apă distilată). Pe măsură ce cantitatea de biogaz acumulată

crește, nivelul de apă din tubul gradat scade. În acest mod se asigură o presiune constantă a biogazului în bioreactor, aceasta fiind menținută la valoarea presiunii generate de greutatea proprie a tubului gradat. Pentru acuratețea rezultatelor, este importantă menținerea temperaturii constante a mediului în care este amplasat tubul gradat.

Pentru acuratețea rezultatelor este recomandat să se utilizeze recipiente din sticlă pentru toate elementele standului experimental, inclusiv tubul de legătură dintre bioreactor și tubul gradat [50].

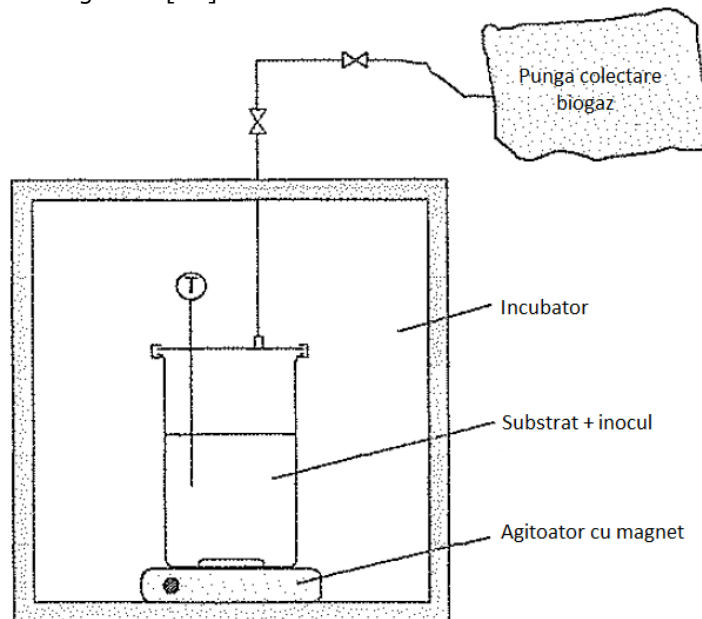


Fig.31. Stand experimental producere biogaz cu punga colectare gaz [50]

În figura 31 este prezentat un model de stand experimental care utilizează principiul de funcționare mai avansat față de cele prezentate anterior, prin faptul că utilizează mixarea continuă a digestatului ceea ce asigură omogenitate în toată masa cosubstratelor supuse experimentului. Acest aspect intensifică activitatea bacteriană în dezvoltată în bioreactor și facilitează creșterea producției de biogaz.

După cum rezultă din figura 31, colectarea biogazului se realizează într-o pungă de colectare, prin intermediul unui tub/furtun care este conectat în partea de acumulare a biogazului din bioreactor.

Punga de colectare poate avea diferite dimensiuni, fără a influența valoarea rezultatelor legate de producția de biogaz, aceasta putând fi înlocuită în timpul funcționării bioreactorului, prin închiderea/deschiderea robinetelor de separare, indiferent de debitul de biogaz produs în bioreactor.

Mixarea continuă în acest tip de stand experimental se realizează cu un agitator magnetic, astfel, gradul de mixare și viteza cu care acest proces se desfășoară poate fi controlată prin reglarea vitezei de amestec a agitatorului magnetic.

Din punct de vedere al preciziei de măsurare și determinare al potențialului de biogaz produs (BMP-ul), acest stand experimental este net superior celor prezentate anterior, fapt care se datorează procesului de mixare continuă care pe

lângă stimularea procesului de fermentare anaerobă, facilitează eliberarea mai rapidă a biogazului format în masa digestatului din bioreactor.

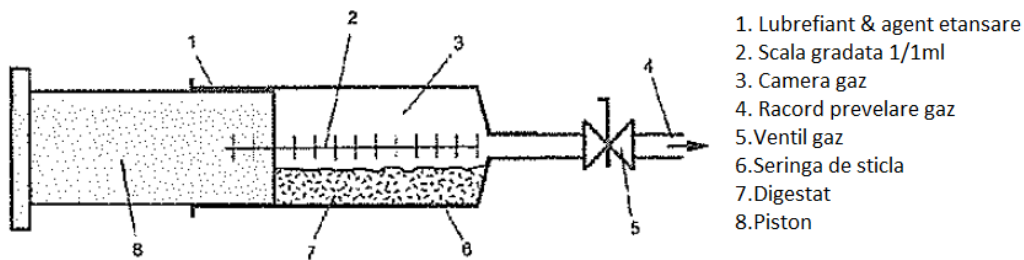


Fig.32. Stand experimental producere biogaz Hohenheim [50]

În figura 32 este prezentat modelul de stand experimental Hohenheim, care utilizează o seringă de dimensiuni mai mari cu rol de digestor. Din punct de vedere constructiv această metodă este mult mai simplă decât cele prezentate anterior, fiind mult mai robustă, cu un minim necesar de echipamente auxiliare. Agitarea are loc mecanic. Avantajul acestui stand este dat de simplitatea constructivă și de faptul că pot fi testate simultan mai multe rețete de amestec a cosubstratelor [50].

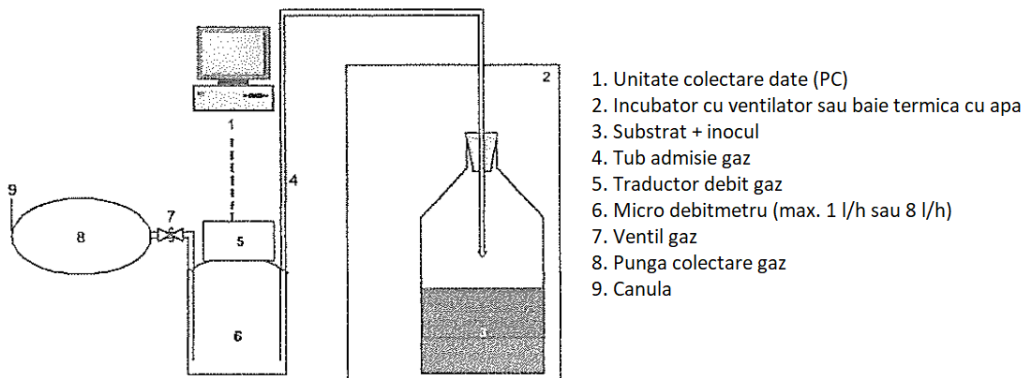


Fig.33. Stand experimental producere biogaz Bergedorf [50]

În figura 33 este prezentat modelul de stand experimental Bergedorf, care spre deosebire de standurile experimentale prezentate anterior, acesta utilizează o metodă mai avansată de măsurarea a cantității de biogaz produs, care implică folosirea unor echipamente electronice de măsurare, compatibile cu sistemele de achiziții date ce pot fi conectate prin soft-uri specifice cu unități PC. În acest mod se elimină posibilitatea apariției erorilor umane de citire, iar frecvența citirilor și cantitatea datelor înregistrate este net superioară celorlalte standuri experimentale.

Indiferent de tipul de stand selectat pentru realizarea campaniilor experimentale de producere a biogazului în regim staționar, pentru obținerea unor informații relevante și de încredere, este necesară parcurgerea unor protocoale

standardizate, care descriu modul de colectare și pregătire a probelor investigate, etapele de pregătire a standului și modul de operare și colectare date [50].

Sub aspectul evaluării rezultatelor înregistrate în campaniile experimentale pentru investigarea potențialului de biogaz prin fermentare anaerobă în regim staționar, în literatura de specialitate sunt indicate două evaluări calitativă și cantitativă [50].

Evaluarea cantitativă a producției de biogaz oferă informații despre: producția totală de biogaz; concentrația în metan a biogazului; producția de biogaz generată de cosubstrate și producția de biogaz generată de inocul. Evaluarea cantitativă presupune calculul următorilor parametri în baza rezultatelor înregistrate în campania experimentală [50]:

- Volumul normal de gaz produs între înregistrarea valorilor măsurate

$$V_0^{tr} = V \cdot \frac{(p-p_w) \cdot T_0}{p_0 \cdot T} \quad (6)$$

- unde: V_0^{tr} – volumul normal de gaz uscat, [ml_N];
 V – volumul de gaz citit/inregistrat, [ml];
 p – presiune gazului în momentul citirii/inregistrării, [hPa];
 p_w – presiune vaporilor la temperatura mediului din bioreactor, [hPa];
 T_0 – 273 K, temperatura normală, [K];
 p_0 – 1013 hPa, presiunea normală, [hPa];
 T – temperatura de fermentare în bioreactor, [K].

Dacă experimentul are loc într-un laborator cu temperatură controlată (constantă), atunci valoarea T utilizată este valoarea înregistrată în laborator. Dacă doar bioreactorul este amplasat într-un mediu cu temperatură controlată (etuvă sau baie termică cu apă), atunci valoarea utilizată pentru T este valoarea temperaturii de fermentare [50].

- Cantitatea de gaz metan conținută în biogazul produs

$$C_{CH_4}^{tr} = C_{CH_4}^f \cdot \frac{p}{p-p_w} \quad (7)$$

- unde: $C_{CH_4}^{tr}$ – concentrația de metan în gazul uscat, [%_{vol}];
 $C_{CH_4}^f$ – concentrația de metan în gazul umed, [%_{vol}];
 p – presiune gazului în momentul citirii/inregistrării, [hPa];
 p_w – presiune vaporilor la temperatura mediului din bioreactor, [hPa];

Pentru o fermentare anaerobă care are loc la o temperatură de 37 °C, valoarea p_w = 66 hPa. La alte valori ale temperaturii de fermentare anaerobă, pentru determinarea valorii p_w se va utiliza diagrama din figura 34.

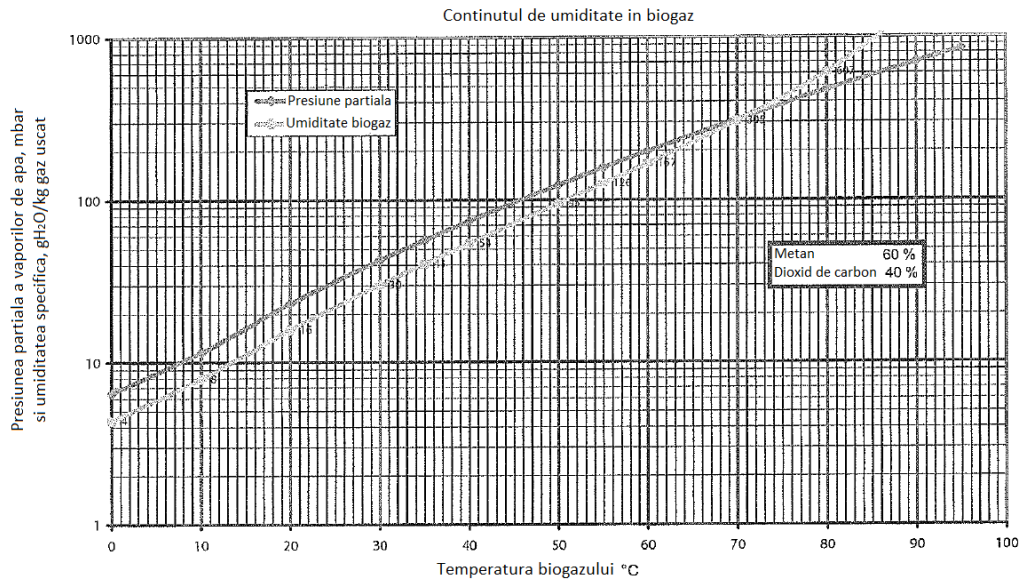


Fig.34. Conținutul vaporilor de apă în biogaz funcție de umiditate [50]

- Concentrația corectată de biogaz

$$C_{korr}^{tr} = C_{t2}^{tr} + (C_{t2}^{tr} - C_{t1}^{tr}) \cdot \frac{V_k}{V_B} \quad (8)$$

- unde: C_{korr}^{tr} – concentrația corectată a gazelor componente din biogaz, [%vol];
 $C_{t1,2}^{tr}$ – concentrația măsurată a gazelor componente din biogaz, [%vol];
 V_k – volumul liber (de acumulare) din bioreactor, [ml];
 V_B – volumul de biogaz produs, [ml];
 $t_{1,2}$ – intervalul de timp între măsurători ($t_2 > t_1$).

Dacă sunt analizate simultan cele două componente principale ale biogazului, CH₄ și CO₂, atunci concentrația corectată de biogaz uscat se calculează după formula:

$$C_{korr}^{tr} = C_{CH_4(CO_2)} \cdot \frac{100}{C_{CH_4} + C_{CO_2}} \quad (9)$$

- unde: C_{korr}^{tr} – concentrația corectată a gazelor în biogaz, [%vol];
 $C_{CH_4(CO_2)}$ – concentrația măsurată de CH₄ sau CO₂ în biogaz, [%vol];
 C_{CH_4} – concentrația măsurată de CH₄ în biogaz, [%vol];
 C_{CO_2} – concentrația măsurată de CO₂ în biogaz, [%vol];
- Volumul de biogaz produs de inocul

$$V_{IS(korr)} = \frac{\sum V_{IS} \cdot m_{IS}}{m_M} \quad (10)$$

unde: $V_{IS(korr)}$ – volumul de biogaz produs de inocul, [ml_N];
 $\sum V_{IS}$ – volumul total de biogaz produs de inocul pe durata derulării experimentului, [ml_N];
 m_{IS} – masa de inocul utilizată în amestec, [g];
 m_M – masa de inocul utilizată în testul de control, [g];

- Volumul de biogaz produs de substrat

$$V_S = \frac{\sum V_n \cdot 10^4}{m \cdot w_T \cdot w_v} \quad (11)$$

unde: V_S – producția specifică de biogaz raportată la reducerea masică pe durata experimentului, [litri_N/kg_{VS}];
 $\sum V_n$ – volumul net ocupat de substrat în bioreactor, [ml_N];
 m – masa substratului la alimentarea bioreactorului, [g];
 w_T – masa uscată a substratului utilizat în experiment, [%];
 w_v – reducerea masică a substratului [%];

Evaluarea calitativă a producției de biogaz pentru obținerea biogazului în regim staționar, are la bază rezultatele înregistrate experimental utilizate în evaluarea cantitativă. Evaluarea calitativă se realizează cu scopul de a caracteriza activitatea biologică a bacteriilor specifice, activitate cuantificată în producția de biogaz. În figura 35 sunt prezentate grafic curbele de evoluție a producției de biogaz în baza cărora pot fi identificate problemele legate de procesul de fermentare [50].

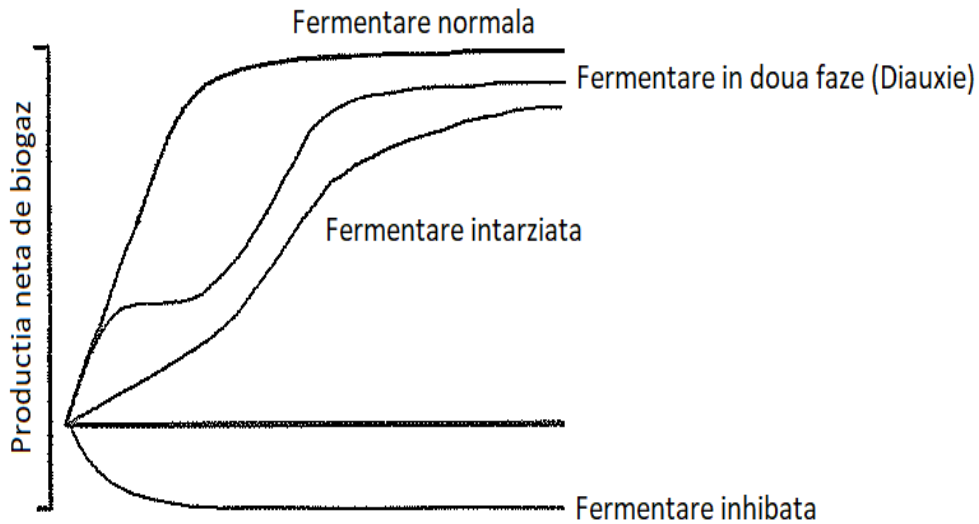


Fig.35. Curbe specifice producției de biogaz prin fermentare anaerobă [50]

Productia netă de biogaz de pe axa ordonatelor la care se face referire în figura 35, reprezintă diferența între producția totală de biogaz (cosubstrate și inocul) și producția de biogaz generată de inocul.

În unele situații este foarte dificil de a identifica și distinge problemele legate de procesul de fermentare în ce privește activitatea bacteriană, de alte probleme legate probleme legate de fermentare anaerobă. Aceste probleme apare când activitatea biologică a bacteriilor nu este capabilă să transforme rapid în biogaz cantitatea de substrat procesată, fenomen care este cunoscut sub denumirea de inhibarea producției de biogaz.

După cum se observă în figura 35, evoluția producției de biogaz specifică unei fermentări anaerobe care se desfășoară în condiții normale / optime de fermentare anaerobă are un trend crescător rapid până ajunge la o valoare de stabilizare, adică la o producție zilnică constantă de biogaz.

Dacă în procesul de fermentare anaerobă sunt utilizate mai multe cosubstrate cu grade diferite de descompunere, curba producției de biogaz este mai aplatizată în zona trendului crescător, după care ajunge în zona de stabilizare de producție constantă a biogazului. Cosubstratele cu grad ridicat de descompunere sunt convertite rapid în biogaz; iar cele cu un grad mai scăzut de degradare (cu conținut de lignină sau unele tipuri de grasimi) au o conversie mai lentă în biogaz, ceea ce modifică alina curbei de producție a biogazului comparativ cu o fermentare în condiții normale. Acest fenomen indică o fermentare întârziată a unor cosubstrate din amestecul supus fermentării anaerobe.

Dacă în aceleași condiții de fermentare anaerobă a unui amestec de cosubstrate cu grade diferite de descompunere; alina curbei de producție a biogazului se prezintă sub formă neregulată cu zone sacadate de producție constantă de biogaz, urmate de creșteri bruște (sub forma unor trepte), atunci fermentarea se desfășoară în două faze (diauxie).

În cazul în care producția de biogaz netă, generată de cosubstratele supuse fermentării anaerobe, este mai mică decât cantitatea de biogaz generată de inocul, atunci apare fenomenul de inhibare, care indică faptul că materia organică conținută în cosubstrate nu este descompusă de activitatea bacteriană specifică.

Rapoartele de analiză pentru campaniile experimentale de producere a biogazului în regim staționar trebuie să conțină informații cât mai complete și bine documentate despre [50,73,75]:

- Caracterizarea cosubstratelor utilizate în amestec;
- Caracterizarea inoculului utilizat în procesul de fermentare;
- Descrierea probelor investigate;
- Producția de biogaz;
- Descrierea calitativă a biogazului în raport cu valorile pH-ului.

După cum se observă în cele descrie anterior, campaniile experimentale de investigare a producerii biogazului în regim staționar, necesită utilizarea unor instalații și echipamente de laborator complexe, cu precizie ridicată de măsurare, astfel încât rezultatele obținute experimental să fie concludente și de încredere. După cum am precizat la începutul capitolului, producția biogazului în regim staționar are rolul de a oferi informații precise despre potențialul producerii de biogaz a diferitelor rețete de amestec cosubstrate, în baza cărora se stabilește modul și parametrii de funcționare al unei instalații industriale de biogaz; precum și necesarul de cosubstrate ca valoare cantitativă, pentru a asigura o producție constantă de biogaz.

4.1.2. Producerea biogazului în flux cu alimentare continuă

În testele convenționale de digestie anaerobă, bioreactorul este alimentat în mod continuu sau secvențial cu materie organică sub formă de substrat și în aceeași măsură se elimină o cantitate egală de digestat pentru a păstra un volum constant în bioreactor.

În literatura de specialitate, fluxul de alimentare a bioreactorului poartă denumirea generică de influent, iar debitul eliminat efluent. Menținerea și controlarea acestui bilanț masic baza acestui bilanț masic, asigură o producție constantă de biogaz în funcționarea unei instalații de biogaz, în condițiile utilizării unor cosubstrate cu o compoziție organică constantă.

Obiectivul testelor de laborator pentru digestia anaerobă, constă în stabilirea unei proceduri de lucru care să ofere valori certe a producției biogaz și a gradului de reducere a fracției organice asociate tipului de deșeu organic investigat.

După cum am descris în capitolele anterioare, prin digestia anaerobă se urmărește atât valorificarea energetică a deșeurilor, cât și tratarea și stabilizarea acestora cu scopul de a reduce impactului asupra mediului ambiant (poluare patogenică/focare de infecție, reducerea GES, integrarea în economia circulară etc).

Etapa de testare experimentală în laborator, constituie o fază preliminară pentru realizarea studiilor de fezabilitate și dimensionare a unei instalații industriale. Pe lângă acest aspect, faza de testare experimentală în laborator se utilizează în mod frecvent, în cazul stabilirii unor rețete de amestecare co-substrate cu scopul de a mări producția de biogaz sau de a diversifica paleta de deșeuri organice preluate în stația de biogaz [50,74,75]. Eșecul acestor încercări la scară industrială pot genera pierderi economice semnificative.

Instalațiile de experimentale de laborator pentru producerea biogazului în flux cu alimentare continuă implică utilizarea unor echipamente și aparate mult mai complexe și cu un gabarit semnificativ mai mare, comparativ cu procedeul descris în capitolul anterior de producere a biogazului în regim staționar. Protocoalele de utilizare și operare a unui astfel de stand experimental, implică un volum considerabil de muncă în laborator și implicit costuri mult mai ridicate pentru asemenea analize în laborator, astfel din aceste motive, trebuie acordată avuț în vedere o analiză cost-beneficiu înainte de lansarea acestui tip de campanie experimentală [50].

În ce privește analiza producției de biogaz prin fermentare anaerobă la scară de laborator, există unele obiective experimentale care nu pot fi îndeplinite decât prin campaniile experimentale de producerea biogazului în flux cu alimentare continuă.

Potrivit protocoalelor standard, testele experimentale în flux cu alimentare continuă au scopul de a furniza informații cu privire la următoarele aspecte [50]:

- Evaluarea principiilor de bază în procesul de fermentare anaerobă cuantificate prin: încărcarea organică raportată la unitatea de volum OLR; timpul de retenție hidraulică HRT; controlul anumitor faze din procesul de fermentare anaerobă; formarea și acumularea unor compuși chimici auxiliari și influența acestora în stabilitatea și eficiența fermentării anaerobe; evaluarea dozelor de șoc și fluctuația calitativă în compoziția substratelor, precum și apariția fenomenului de înhibare și metode de limitare a acesteia;
- Realizarea unor analize care necesită un volum mare de rezultate măsurate pentru diferiți parametri ai biogazului în stare gazoasă sau lichidă, care necesită colectarea unor probe în cantități mari de biogaz;
- Analizarea, testarea și determinarea unor rețete optime de amestec a cosubstratelor, stabilirea modului de pornire și alimentare a bioreactorului (cu

sau fără recirculare a digestatului); stabilirea și alegerea tipului de bioreactor (cu mixare continuă, plug-flow, etc.);

- Investigarea avansată a unor parametri specifici biogazului și digestatului produși în prin fermentare anaerobă, care pot fi determinați și măsurați doar în condiții de operare continuă, și necesită cantități minime de prelevare probe;
- Determinarea unor condiții optime de calitate a cosubstratelor ce trebuie îndeplinită pentru a garanta o producție continuă și stabilă de biogaz, stabilirea necesității aplicării unor tratamente auxiliare a cosubstratelor înainte de a fi încărcate în bioreactor.

Protocoloalele standard pentru realizarea testelor experimentale pentru producerea biogazului în flux cu alimentare continuă nu se justifică, nu sunt fezabile și nu sunt concludente dacă[50]:

- Nu se pot asigura cantități adecvate de cosubstrate funcție de capacitatea instalației de laborator, adică instalațiile de laborator de acest gen nu pot fi încărcate doar parțial din capacitate;
- Cosubstratele sunt contaminate sau sunt încadrate prin legislație ca substanțe periculoase;
- Este dificil sau imposibil de eliminat cantitățile de digestat rezultate în urma procesului, în condițiile impuse prin legislația de mediu;
- Timpul disponibil pentru realizarea campaniei experimentale nu permite realizarea și menținerea unui flux continuu care să permită producerea și colectarea cantităților necesare pentru realizarea unor analize elocvente;
- Obținerea unor rezultate și concluzii generale care nu se justifică economic ca și costuri de realizare, și pot fi determinate prin metoda de producere a biogazului în regim staționar.

Ca și caracteristică generală similar cu producerea biogazului în regim staționar, se menține o valoare scăzută a presiunii biogazului în bioreactor, astfel se asigură atât menținerea etanșeității instalației experimentale.

În cazul demarării unor campanii experimentale complexe trebuie realizate atât metoda de producere a biogazului în regim staționar, cât și cea în flux cu alimentare continuă. Acestea pot fi realizate consecutiv și/sau în paralel, cu mențiunea că în prima fază se impune realizarea producerea biogazului în regim staționar, după care se începe cea de producere a biogazului în flux cu alimentare continuă.

Modul de implementare și derulare a metodei experimentale de producere a biogazului în flux cu alimentare continuă se aplică în funcție scopul specific urmărit, astfel se disting două moduri de derulare: unul care investighează activitatea biologică și altul de proces. Prin campaniile experimentale legate de activitatea biologică se urmărește gradul de descompunere a materiei organice și producția de biogaz (specifice biotehnologiei); iar prin cele legate de proces se urmăresc parametrii de funcționare prin care se controlează fluxul tehnologic de funcționare în ansamblu al unei instalații de biogaz (specifice ingineriei mecanice) [50]. Prin urmare, realizarea unor campanii experimentale de producere a biogazului în flux cu alimentare continuă implică angrenarea unor specialiști din mai multe discipline (biologie, chimie, inginerie mecanică).

În continuare se prezintă modele de configurare a standurilor de laborator recomandate pentru realizarea testelor experimentale de producere a biogazului prin

digestie anaerobă în flux cu alimentare continuă. În figura 36 se prezintă o schemă de proces specifică unei instalații de producere a biogazului în flux cu alimentare continuă/semicontinuă.

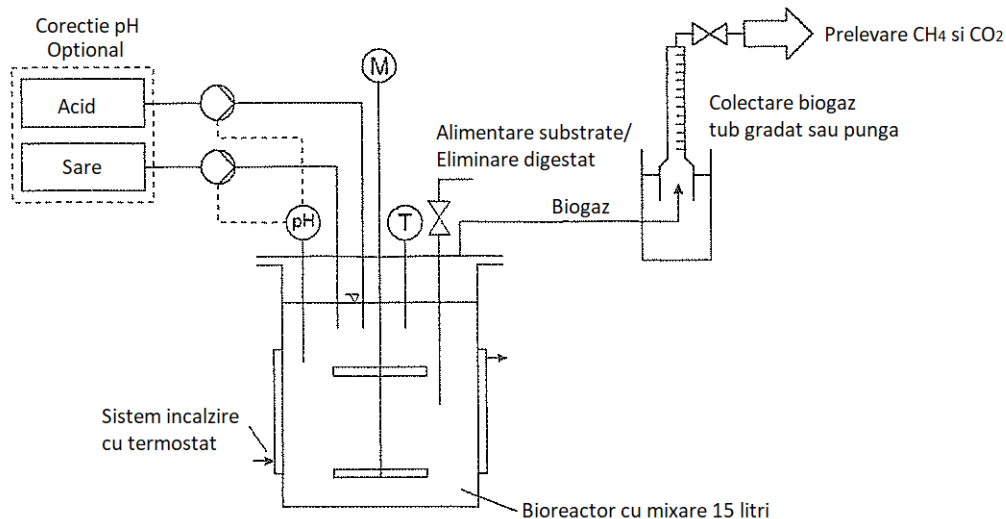


Fig.36. Schemă instalație biogaz în flux cu alimentare continuă [50]

După cu rezultă din figura 36, un stand experimental pentru producerea biogazului în flux cu alimentare continuă, este compus dintr-un bioreactor etanș prevăzut cu sistem de mixare continuă și sistem de încălzire automat, racord pentru alimentare substrate / descărcare digestat, rezervor de captare și stocare biogaz prevăzut cu racord pentru prelevare probe, și opțional poate fi adăugată o instalație auxiliară pentru menținerea pH-ului optim în digestat ($6.8 \div 8.5$).

Se observă că volumul bioreactorului este mult mai mare decât cel utilizat în experimentele aferente regimului staționar. În mod normal alimentarea și descărcarea bioreactorului se realizează manual, doar în unele cazuri excepționale se acceptă alimentarea automatizată cu pompe. Alimentarea cu substrate și descărcarea digestatului poate fi realizată de două ori pe zi, o dată pe zi sau maxim la două zile, funcție de timpul de retenție calculat.

Foarte important aspect în procedura de alimentare a bioreactorului, este ca substratele să fie aduse la temperatura de fermentare la care pentru a se evita fluctuațiile mari de temperatură în bioreactor, care pot duce la înhibarea sau chiar moartea bacteriilor anaerobe.

Viteza de mixare a utilizată este în intervalul $50 \text{ min}^{-1} \div 100 \text{ min}^{-1}$, iar dacă substratul nu prezintă tendințe de sedimentare puternice, atunci amestecarea periodică pe durata a 2-5 min/h este suficientă. De obicei instalația de reglare a pH-ului poate să lipsească, dat fiind faptul că în mod normal bacteriile de fermentarea anaerobă se desfășoară stabilizează valoarea pH-ului în digestat în mod natural. În figura 37 se prezintă o schemă flux pentru realizarea unei instalații de măsură și analiză biogaz [50].

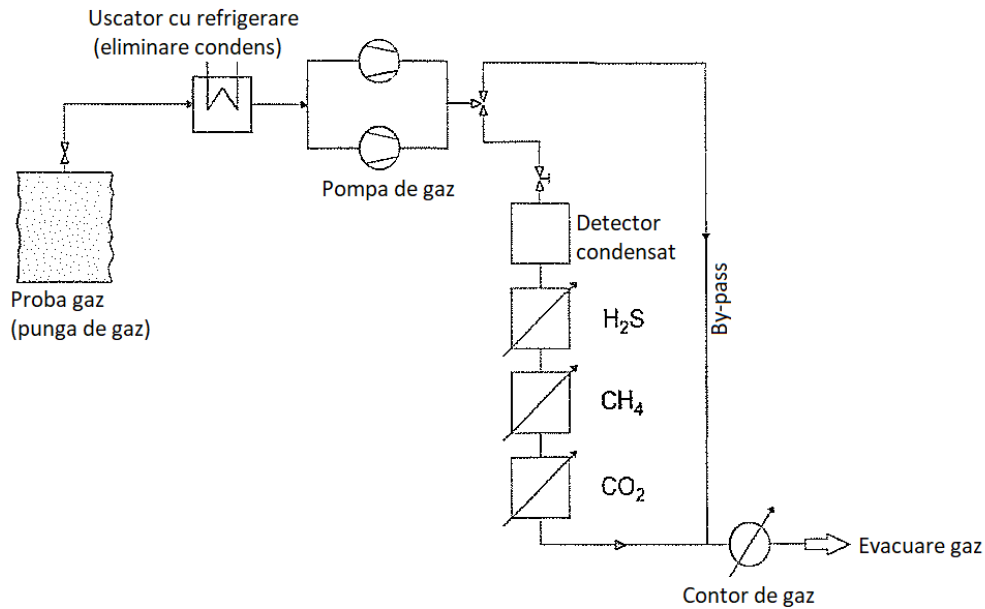


Fig.37. Schemă flux măsură și analiză Biogaz [50]

După cum rezultă din figura 37, în prima fază are loc uscarea biogazului într-un uscător cu refrigerare, pentru a elimina sub formă de condensat vaporii de apă angrenați în biogaz. De aici cu ajutorul unor pompe, biogazul trece printr-o cascadă de 3 analizoare de gaz care măsoară valori pentru conținutul de hidrogen sulfurat (H_2S); metan (CH_4) și dioxid de carbon (CO_2).

Evaluarea gradului de degradare a cosubstratelor și producția de biogaz necesită teste de fermentare continuă la diferite valori de încărcare organică OLR și timpi diferiți de retenție hidraulică HRT.

În prima fază bioreactorul se încarcă cu un amestec de inocul și cosubstrate, în proporții foarte bine stabilite în baza unor calcule. Încărcarea cu cosubstrate are loc treptat, și începe gradual pornind de la o valoare $OLR = 0.5 \text{ kg}_{VS}/\text{m}^3 \text{ zi}$, până la o valoare OLR determinată experimental optimă pentru producția de biogaz și care asigură un grad de degradare acceptabil.

Creșterea concentrației de OLR în șarja de încărcare zilnică a bioreactorului, se realizează în momentul când producția de metan rămâne constantă pentru cel puțin patru zile consecutive, după care OLR poate fi crescut cu 0.5 unități. În figura 38 se prezintă un grafic ce prezintă alina curbelor specifice pentru creșterea valorilor de încărcare organică a unui bioreactor.

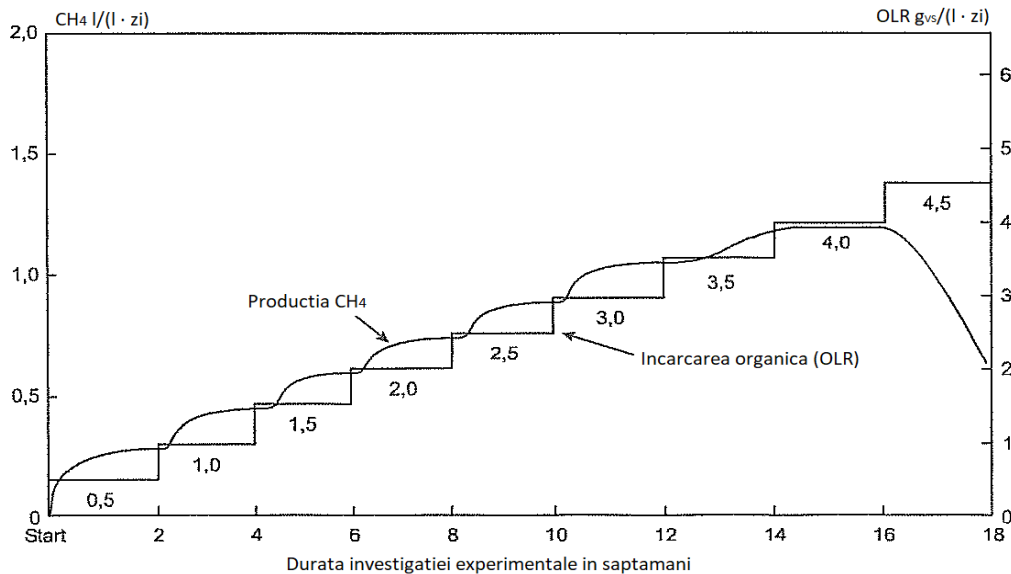


Fig.38. Variația OLR într-un bioreactor cu funcționare continuă [50]

În mod uzual creșterea valorilor OLR se aplică odată la 14 zile, până la o valoare când producția specifică de biogaz se stabilizează (rămâne constantă) sau are un trend descrescător, caz în care bioreactorul este supraîncărcat cu materie organică.

Atâta timp cât producția de biogaz are un trend crescător liniar direct proporțional cu creșterea încărcării organice OLR, capacitatea de degradare organică a bioreactorului va fi mai mare decât cea conținută în șarja de încărcare zilnică. Astfel, din curba de variația a producției de biogaz în raport cu creșterea încărcării organice OLR, se poate determina gradul maxim de degradare al substanței organice ale substratelor utilizate în experiment.

Faza de echilibru al procesului de fermentare este dată de momentul când producția de biogaz are o valoare constantă pentru cel puțin 3 zile consecutive, timp în care nu se recomandă prelevarea unor probe de digestat pentru determinarea gradului de degradare [50,75].

După cum se observă în cele descrie anterior, campaniile experimentale de investigare a producerii biogazului în flux cu alimentare continuă, sunt mult mai complexe, costisitoare și cu volum ridicat de muncă în laborator față de cele în regim staționar. În plus acestea necesită utilizarea unor date care se obțin campanii experimentale precedente; precum și necesitatea unor calcule economice care să justifice costurile aferente unor astfel de campanii experimentale.

După cum am precizat la începutul capitolului, producția biogazului în flux cu alimentare continuă are rolul de a oferi informații precise despre încărcarea organică a bioreactorului și timpul de retenție hidraulică HRT, în baza cărora se stabilește tipul constructiv al bioreactorului, logistica de procurare și depozitare a cosubstratelor precum și cea legată de gestionarea și prelucrarea biogazului și digestatului rezultat în urma procesului tehnologic specific unei instalații industriale de biogaz.

4.1.3. Stand în regim staționar utilizat în experimente

În campaniile experimentale pentru producerea biogazului în regim staționar realizate în prezenta cercetare s-a utilizat standul de laborator Automatic Methane Potential Test System II - AMPTS II, fabricat de Bioprocess Control Sweden AB. Din punct de vedere al modului de utilizare și monitorizare, acest tip de stand experimental oferă o versatilitate și manevrabilitate foarte ușoară, cu un grad de precizie al măsurătorilor foarte ridicat, fiind un stand de dimensiuni mici poate echipa orice laborator, fără a fi nevoie de condiții speciale de instalare.

Principalul avantaj al utilizării unui astfel de stand este dat de faptul că este complet automatizat, cu monitorizare și înregistrare a valorilor măsurate pe PC sau on-line, oferind posibilitatea de a stabili intervalul de timp la care se fac măsurătorile de la secundă – minut – oră – zi.

Standul este prevăzut cu un software propriu compatibil cu orice sistem de operare PC, care oferă o interfață grafică ușor de utilizat, atât pentru partea de introducere date și parametri de setare ai procesului; cât și pentru partea de achiziții date. În figura 39 se prezintă standul experimental utilizat în campaniile experimentale realizate în prezenta cercetare pentru producerea biogazului în regim staționar.

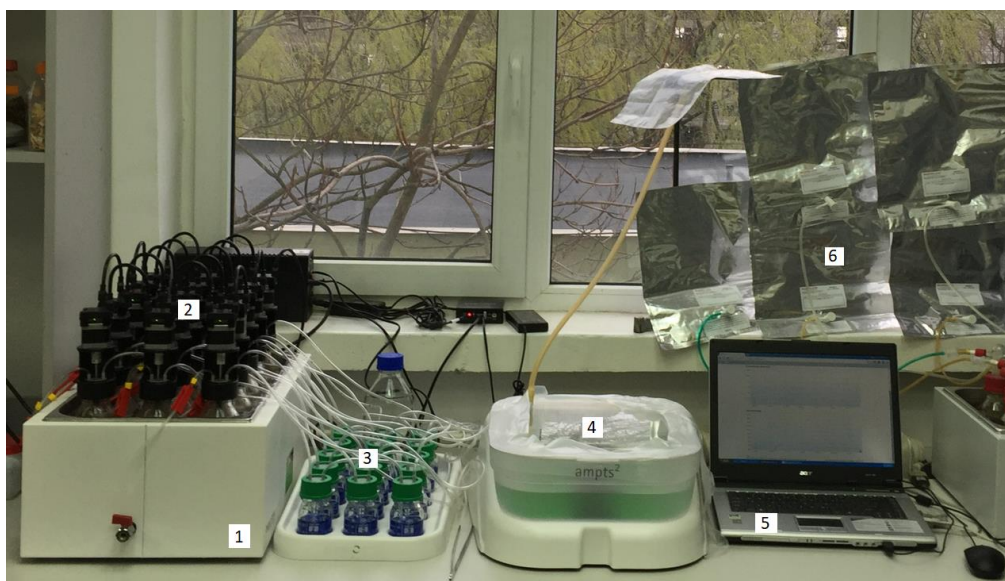


Fig.39. Stand experimental AMPTS II: 1-Baie termică cu apă, 2-Unitate cu 15 bioreactoare, 3-Unitate absorbție CO₂, 4-Unitate măsurare debit CH₄ și înregistrare valori, 5-Laptop achiziții date și control instalație, 6-Pungă prelevare probe

După cum se observă în figura 39, standul experimental este compus dintr-o baie termică (1) cu apă cu un volum de 18 litri, cu temperatură reglabilă prevăzută cu termostat, pentru menținerea temperaturii la o valoare constantă. În baia termică sunt amplasate 15 bioreactoare cu un volum de 0.5 litri/buc, fiecare bioreactor fiind prevăzut cu un sistem de mixare propriu, și racord de prelevare biogaz.

În cazul acestei campanii experimentale s-a optat pentru utilizarea unei unități de reținere prin absorbție chimică a dioxidului de carbon (CO_2) și hidrogen sulfurat (H_2S) (3), prin prepararea unei soluții de hidroxid de sodiu (NaOH) în concentrație 3 M NaOH (240 g la 2 litri apă distilată). De aici gazul este trecut prin unitatea de măsură debit gaz și înregistrare valori (4), după care acesta este captat în pungile de prelevare probe biogaz (6). Unitatea (4) este interconectată cu un laptop, care prin softul specific asigură controlul, monitorizarea și înregistrarea valorilor experimentale. În figura 40 se prezintă interfața de comunicare cu standul experimental AMPTS II.

bioprocess CONTROL Home Experiment Control Graphs Download report System

Experiment settings

Choose experiment bottle to edit
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Bottle #4

Name	Substrate (1)
Total sample amount [g]	400
Inoculum concentration [% w/w]	1.77
Substrate concentration [% w/w]	17.4
V/S ratio	2
Total volume of reactor [ml]	600
Assumed CH_4 content [%]	60
Type of unit [VS/COD]	VS

Experiment guidelines

Calculated value for setting up the experiment bottle

Inoculum amount [g]	380.64
Substrate amount [g]	19.36
Inoculum VS or COD amount [g]	6.74
Substrate VS or COD amount [g]	3.37
Headspace volume [ml]	200

Guideline matrix (Show ↓)

Store settings Restore settings

Experiment common settings

Eliminate overestimation
 Activated Deactivated

CO_2 in flush gas [%]

Process temperature
 Assumed temperature [Celsius]

Store settings

Fig.40. Interfața de comunicare stand experimental AMPTS II

În figura de mai sus se prezintă etapa de setare experimentală pentru bioreactorul nr.4, care prezintă introducerea datelor pentru cantitatea de substrat sau amestec de cosubstrate, concentrația inoculului în bioreactor, încărcare organică (VS), precum și alți parametri specifici de proces, care trebuie determinați prin calcul separat ca etapă de pregătire a experimentului.

Pentru acuratețea rezultatelor obținute și a valorilor înregistrare este obligatoriu ca fiecare rețetă testată experimental să fie replicată în 3 bioreactoare, astfel se poate depista dacă accidental o probă este compromisă (scăpări de gaze, alterarea digestatului, etc.). Pe acest stand experimental pot fi testate în simultan 4 rețete de amestec, un set de 3 bioreactoare fiind dedicat pentru proba de control a inoculului utilizat în experimente. Acest lucru reduce semnificativ timpul de lucru în laborator. Utilizarea corectă a acestui stand de laborator impune respectarea unui protocol de laborator indicat în manualul de operare al producătorului [73].

Utilizarea acestui stand impune determinarea conținutului de substanță uscată (TS) și volatilă (VS) din inocul și cosubstratele utilizate în proces, după care funcție de raportul de amestec inocul și substrat, calculează automat parametrii de operare ai procesului. Determinarea TS și VS a substanțelor organice presupune uscare în etuvă la 105 °C timp de 20 h, urmată de o calcinare la 550 °C pentru 2 ore (vezi cap.2.2). În figura 41 se prezintă modul și succesiunea operațiilor necesare pentru determinarea TS și VS.

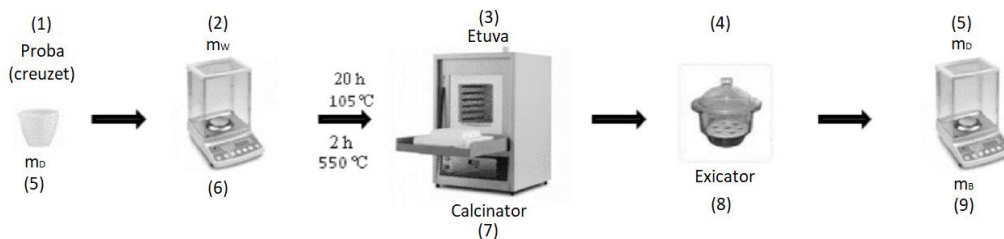


Fig.41. Determinarea TS și VS a substanței organice [73]

După cum rezultă în figura de mai sus, echipamentele și aparatura de laborator necesare pentru determinarea TS și VS sunt: creuzete, cântar electronic de mare precizie, etuvă, calcinator și exicator. Pentru acuratețe se recomandă utilizarea aceluiași creuzet în ambele faze, și realizarea unui set de 3 creuzete pentru fiecare probă.

Încărcarea bioreactoarelor cu substanță organică (cosubstrate + inocul) nu se face 100%, fiind necesar un spațiu tampon de acumulare a biogazului produs, astfel în cazul nostru, în care sunt utilizate bioreactoare cu un volum total de 500 ml, se recomandă încărcarea maximă de 400 ml.

Încărcarea corectă a bioreactoarelor reprezintă un factor decisiv în acuratețea rezultatelor experimentale, și această fază se realizează în baza unor calcule masice de încărcare care se face în funcție de raportul de amestec inocul/substrat (cosubstrate) și conținutul în substanță volatilă (VS) ale acestora. În mod uzual, în protocoalele de utilizare ale acestui tip de stand experimental sunt utilizate două rapoarte de amestec de 2:1 sau 3:2, în acest scop formulele matematice de calcul a necesarului masic pentru inocul și cosubstrate sunt [73]:

- Raport amestec inocul/substrat 2:1

$$\frac{m_{inocul} \times VS_{inocul}}{m_{substrat} \times VS_{substrat}} = 2 \quad (12) [73]$$

- Raport amestec inocul/substrat 3:2

$$\frac{m_{inocul} \times VS_{inocul}}{m_{substrat} \times VS_{substrat}} = 1.5 \quad (13) [73]$$

Masa totală încărcată în bioreactor cu volumul de lucru 400 ml va fi:

$$m_{substrat} + m_{inocul} = m_{total} = 400 \text{ g} \quad (14) [73]$$

În cazul utilizării unui raport de amestec 2:1, prin egalizare relației (12) cu (13), rezultă că:

$$m_{inocul} = \frac{800 \times VS_{substrat}}{VS_{inocul} + 2 \cdot VS_{substrat}} \quad (15) [73]$$

respectiv masa substratului va fi:

$$m_{substrat} = 400 \text{ g} - m_{inocul} \quad (16) [73]$$

Dacă se va utiliza un alt tip de substrat cu același inocul, cantitatea de substrat în cauză se va calcula după formula:

$$m_{substrat} = \frac{m_{inocul} \times VS_{inocul}}{2 \times VS_{substrat}} \quad (17) [73]$$

După cum se observă din relațiile de calcul de mai sus, în mod normal, încărcarea bioreactoarelor necesită unele realizarea unor calcule în prealabil. În cazul utilizării standului AMPTS II, aceste calcule sunt realizate automat prin soft, odată cu introducerea raportului de amestec utilizat pentru încărcarea fiecărui bioreactor în parte (vezi fig.40 – input VS ratio).

De obicei un set de determinări experimentale pentru acest tip de stand durează între 30 ÷ 60 zile, testul se consideră încheiat când producția de metan este sub 5ml/zi.

Datele înregistrate se obțin sub formă de raport, prin descărcare din baza de date stocată pe calculator (PC/laptop) și se prezintă sub formă de document Excel, sub forma celui prezentat în figura 42.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	CO2 concentration [%] of flush gas	38										
2	Process temperature [Celsius]	37										
3	Flow rate [l/min]	60										
4	Flow rate [l/min]	60										
5	Flow rate adjustment [%]	49										
6	Eliminate overestimation	No										
7												
8	Flow Cell nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
9	Rate	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
10	Substrate VS/COD amount [g]	0	0	0	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87	7,87
11	Inoculum VS/COD amount [g]	16,08	16,08	16,08	16,76	16,76	16,76	16,76	16,76	16,76	16,76	16,76
12	Type of unit [VS/COD]	VS	VS	VS	VS	VS	VS	VS	VS	VS	VS	VS
13	Bioreactor volume [ml]	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
14	Assumed CR4 content [%]	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												
32												
33												
34												
35												
36												
37												
38												
39												
40												
41												
42												
43												
44												
45												
46												
47												
48												
49												
50												

Fig.42. Raport de date experimentale generat de AMPTS II

După cum se observă în figura 42, raportul conține valori experimentale sub formă brută, care pentru interpretarea și analiză necesită o prelucrare suplimentară, astfel pentru calculul potențialului de metan BMP se va utiliza următoarea formulă de calcul:

$$BMP = \frac{V_{total} \times V_{inocul} \cdot \frac{m_{inocul,proba}}{m_{inocul,test}}}{m_{VS,substrat}} \quad (18) [73]$$

unde: V_{total} – volumul de biogaz produs de cosubstrate și inocul, [ml_N];
 V_{inocul} – volumul de biogaz produs de cosubstrate și inocul, [ml_N];
 $m_{inocul,proba}$ – masa de inocul utilizată în bioreactor, [g];
 $m_{inocul,test}$ – masa de inocul utilizată în testul de control al inoculului, [g];

Pentru determinarea BMP-ului se recomandă ca un set de trei bioreactoare să fie utilizate pentru determinarea activității biologice de producere a biogazului pentru inocul. Datele obținute sunt utilizate pentru determinarea BMP-ului pentru celelalte bioreactoare care utilizează cosubstrate în amestec cu inocul. În baza rezultatelor calculate se trasează grafice, care pun în evidență capacitatea de producție a biogazului pentru fiecare rețetă de amestec investigată.

4.1.4. Stand cu alimentare continuă utilizat în experimente

În campaniile experimentale pentru producerea biogazului în flux cu alimentare continuă realizate în prezenta cercetare s-a utilizat standul de laborator BioReactor Simulator - BRS, fabricat de Bioprocess Control Sweden AB. Din punct de vedere al modului de utilizare și monitorizare, similar cu cel descris anterior, oferind aceleași avantaje din punct de vedere al manevrabilității, precizie de măsurare, dimensiuni de gabarit și modul de colectare și stocare a datelor experimentale.

Diferența față de cel anterior este dată de modul de operare, tipul și varietatea rezultatelor experimentale care pot fi obținute în urma campaniilor experimentale.

Campaniile experimentale convenționale de fermentare continuă la scară de laborator depind de un spectru larg de variabile care au o natură diferită, fără a ne rezuma la aspectele de compoziția heterogenă a deșeurilor organice și a tipurilor de culturi de bacterii utilizate; există variabile care pot influența valoarea rezultatelor care depind de protocoalele de realizare a experimentului sau mai bine spus la faptul că nu există protocoale standardizate în acest scop.

Spre exemplu, configurația unui bioreactor, aparatura, instrumentele de măsurare și modul de operare al standului pot diferi de la un laborator la altul. În plus, modul de calcul, analiza și interpretarea datelor nu sunt standardizate, astfel este foarte dificil să realizezi o comparație între valorile a două campanii experimentale realizate în laboratoare diferite utilizând aceleași substanțe organice. Cu scopul de a elimina aceste probleme, a fost dezvoltat standul experimental BioReactor Simulator, care face posibilă utilizarea unor standuri experimentale în aceeași configurație indiferent de locația laboratorului în care sunt desfășurate campaniile de investigare a producerii biogazului prin fermentare anaerobă.

Standul este prevăzut cu un software propriu compatibil cu orice sistem de operare PC, care oferă o interfață grafică ușor de utilizat, atât pentru partea de introducere date și parametri de setare ai procesului; cât și pentru partea de achiziții date. În figura 43 se prezintă standul experimental utilizat în campaniile experimentale realizate în prezenta cercetare pentru producerea biogazului în flux cu alimentare continuă.

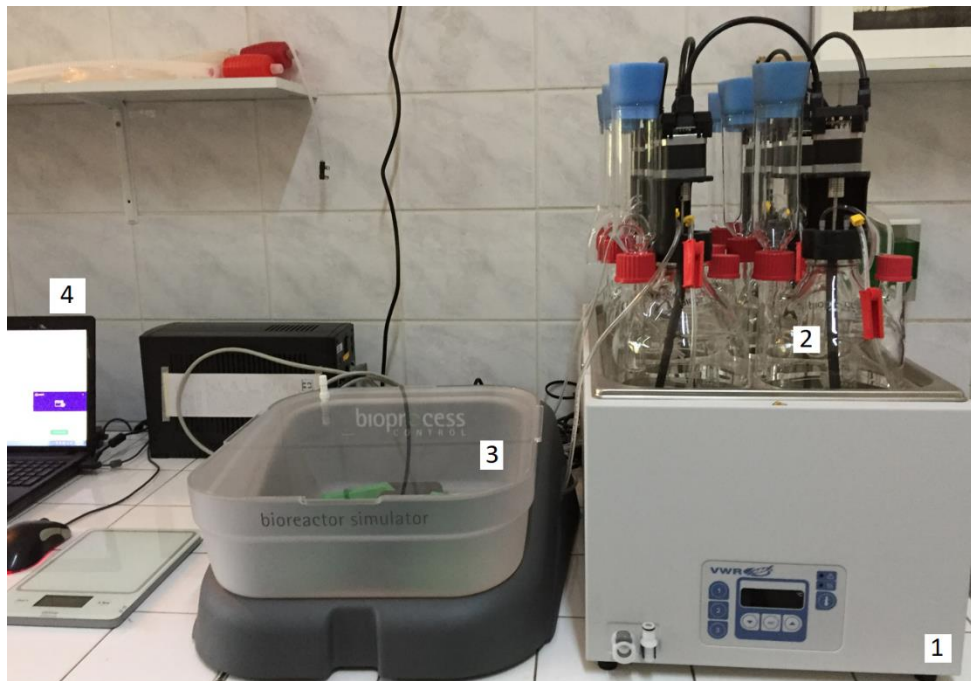


Fig.43. Stand experimental BRS: 1-Baie termică cu apă, 2-Unitate cu 6 bioreactoare 2 litri, 3-Unitate măsurare debit biogaz și înregistrare valori, 4-Laptop achiziții date și control instalație

După cum se observă în figura 43, standul experimental este compus dintr-o baie termică (1), cu temperatură reglabilă prevăzută cu termostat, pentru menținerea temperaturii la o valoare constantă. În baia termică sunt amplasate 6 bioreactoare (2) cu un volum de 2.0 litri/buc, fiecare bioreactor fiind prevăzut cu un sistem de mixare propriu, racord de prelevare biogaz și sistem de alimentare/descărcare. Bioreactoarele sunt conectate prin furtune elastice cu unitatea de măsurare și înregistrare date (3), care este conectată printr-un cablu la o rețea de internet.

Printr-un calculator PC, laptop sau telefon mobil smart cu acces la internet, se accesează portalul web <https://webshop.bpcinstruments.com/login>, unde printr-un username și parolă, se accesează o platformă de comandă și control special pentru standul experimental BRS utilizat. În prealabil este necesară o înregistrare în această platformă, conform instrucțiunilor și primește odată cu achiziționarea standului experimental. Odată la doi ani se percepe o taxă de acces la această platformă.

Se observă că modul de operare și control al acestui tip de stand experimental, nu este unul cu o licență perpetuă, și necesită o reînnoire a „dreptului

de acces” la portalul de comandă și control al standului experimental. În figura 44 se prezintă interfața de comunicare cu standul experimental BRS cu 6 bioreactoare de 2 litri și interfață de comunicare on-line.

The screenshot shows the 'bioprocess CONTROL' web interface. At the top right, there are links for 'Edit account', 'Sign out', and 'Instrument status: Online'. A navigation bar contains buttons for 'Home', 'Experiment' (highlighted), 'Feeding/Discharging', 'Control', 'Graphs', 'Reports', and 'System'.

Process settings

Process temperature [°C]:

Reactor volume [mL]:

Experiment settings

	Line 1	Line 2	Line 3	Line 4	Line 5	Line 6
	Running	Running	Running	Running	Running	Running
Name of experiment	<input type="text" value="A"/>	<input type="text" value="B"/>	<input type="text" value="C"/>	<input type="text" value="D"/>	<input type="text" value="E"/>	<input type="text" value="F"/>
Reactor active volume [mL]	<input type="text" value="2000"/>	<input type="text" value="2000"/>	<input type="text" value="2000"/>	<input type="text" value="2000"/>	<input type="text" value="2000"/>	<input type="text" value="2000"/>
Feeding interval [hh:mm]	<input type="text" value="24:00"/>	<input type="text" value="24:00"/>	<input type="text" value="24:00"/>	<input type="text" value="24:00"/>	<input type="text" value="24:00"/>	<input type="text" value="24:00"/>
Type of unit [TS/VS/COD]	<input type="text" value="VS"/>	<input type="text" value="VS"/>	<input type="text" value="VS"/>	<input type="text" value="VS"/>	<input type="text" value="VS"/>	<input type="text" value="VS"/>
Mode of operation	<input type="text" value="Manual"/>	<input type="text" value="Manual"/>	<input type="text" value="Manual"/>	<input type="text" value="Manual"/>	<input type="text" value="Automatic"/>	<input type="text" value="Automatic"/>

Fig.44. Interfața on-line de comunicare stand experimental BRS

În figura de mai sus se prezintă fereastră de comunicare on-line cu standul experimental utilizat, care după cum se observă, prezintă informații de bază pentru starea de funcționare a celor 6 bioreactoare, și parametrul de bază după care s-a realizat setarea experimentului (VS în cazul de față). Standul permite opțiunea de încărcare / descărcare manuală sau automată (Mode of operation), care în cazul experimentului de față aceste operațiuni au fost realizate manual.

Operațiunea de încărcare / descărcare a bioreactoarelor se face prin accesarea tab-ului „Feeding/Discharging”, care deschide o fereastră de comunicare ce permite introducerea mai multor parametri de proces, după cum este prezentat în figura 45.

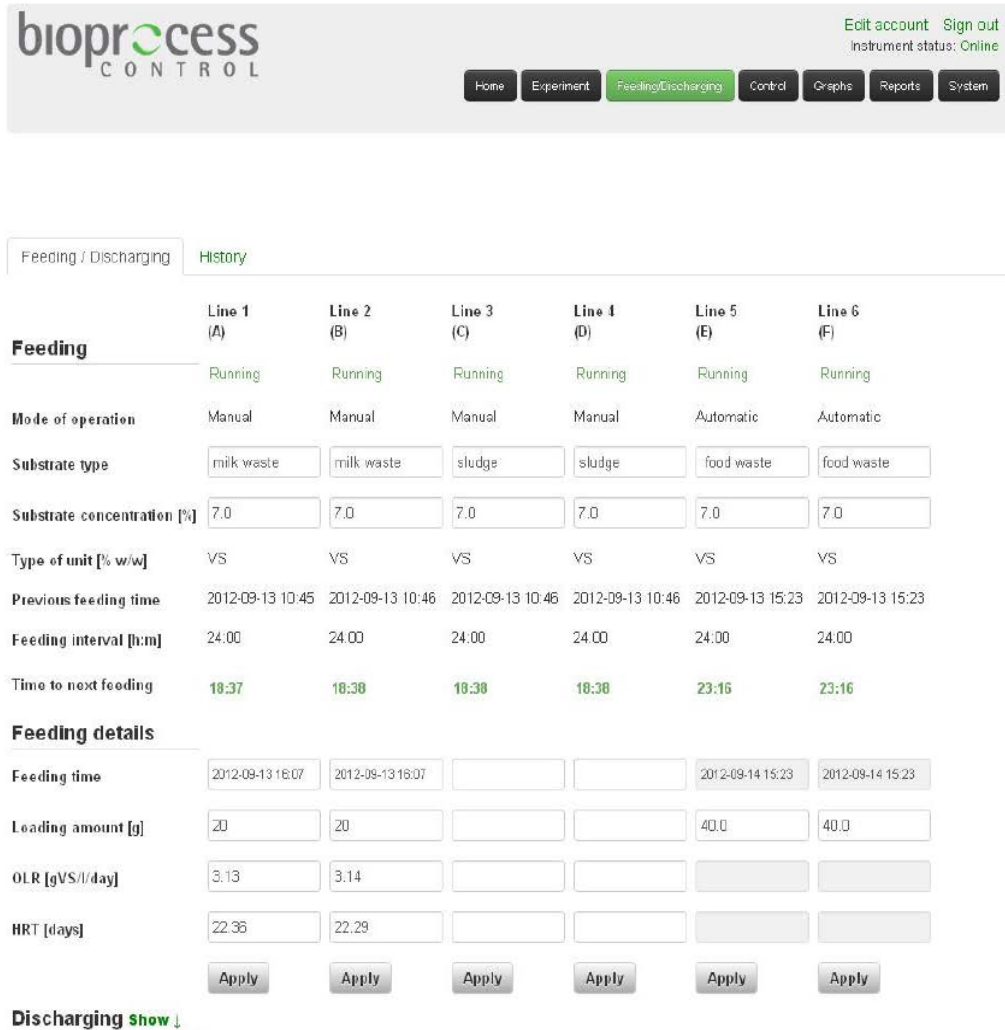


Fig.45. Interfața on-line alimentare / descărcare bioreactoare stand BRS

După cum se observă în figura 45, apare posibilitatea variației valorilor pentru parametrii de control ai unui proces de producere biogaz în flux continuu, cum sunt sarcină de încărcare (loading amount), timpul de retenție hidraulică HRT și gradul de încărcare organică OLR. Acești parametrii pot fi păstrați constanți sau pot varia ca valoare în timp, funcție de scopul urmărit în campania experimentală (vezi cap. 4.1.2).

Pentru setarea parametrilor de funcționare a standului experimental, sunt necesare determinare în prealabil a valorilor pentru substanța uscată TS și cea volatilă VS, atât pentru inocul cât și pentru cosubstratele implicate în experimente, care se determină în mod similar după metoda și cu aceleași aparate de laborator, ca în cazul standului experimental cu producere biogaz în regim staționar (vezi cap. 4.1.3).

Pentru faza de pornire și stabilizare a regimului de fermentare a standului de producere a biogazului în flux cu alimentare continuă, sunt utilizate aceleași rapoarte

de amestec de 2:1 sau 3:2, și se utilizează relațiile matematice de calcul cu formulele (12) ÷ (17) (vezi cap. 4.1.3), cu mențiunea că în acest caz diferă volumul util/activ al bioreactoarelor, care pentru acest stand este de 1800 ml din volumul total de 2000 ml.

Formulele matematice de calcul utilizate de soft-ul standului experimental, pentru calculul parametrilor de proces specifi procesului de producere a biogazului în flux continuu sunt [74]:

- Rata de încărcare organică OLR

$$OLR = \frac{F \times C}{(t_j - t_{j-1}) \times V} \quad (19) [74]$$

unde: F – masa șarjei de încărcare, [g];
 C – concentrația organică VS a șarjei de încărcare, [%];
 V – volumul util/activ al bioreactorului, [litri];
 t_j – momentul în timp la care are loc încărcarea, [zile];

- Timpul de retenție hidraulică HRT

$$HRT = \frac{V \times (t_j - t_{j-1})}{F} \quad (20) [74]$$

unde: F – masa șarjei de încărcare, [g];
 V – volumul util/activ al bioreactorului, [litri];
 t_j – momentul în timp la care are loc încărcarea, [zile];

- Producția specifică de biogaz SGP

$$SGP = \frac{G}{V} \quad (21) [74]$$

unde: G – debitul zilnic de biogaz, [litri/zi];
 V – volumul util/activ al bioreactorului, [litri];

- Producția specifică de biogaz raportată la masa organică Y_{org}

$$Y_{org} = \frac{SGP}{OLR} \quad (22) [74]$$

unde: SGP – producția specifică de biogaz, [l_N/l/zi];
 OLR – rata zilnică de încărcare organică, [g_{VS}/l/zi];

- Producția specifică de gaz umed Y_{wet}

$$Y_{wet} = \frac{G}{F} \quad (23) [74]$$

unde: G – debitul zilnic de biogaz, [litri_N/zi];
 F – masa șarjei de încărcare, [g].

Toate relațiile de calcul matematice prezentate mai sus (19) ÷ (24) sunt realizat în mod automat prin soft-ul specific standului experimental. Datele înregistrate se obțin sub formă de raport, prin descărcare din baza de date stocată pe calculator (PC/laptop) și se prezintă sub formă de document Excel.

4.2. Studiu de caz 1 – Ferma de porci Bacova

4.2.1. Analiza fluxului tehnologic al fermei zootehnice

În prezentul studiu de caz s-a investigat posibilitatea valorificării energetice a dejecțiilor de porci de la ferma zootehnică Smithfield – Bacova, județul Timiș. Sub aspect zootehnic, este o fermă de reproducere, cu o capacitate de 10 000 adulți și 267800 ÷ 272950 tineret, din care 4277 efective porcine sunt livrate anual la abator.

Din punct de vedere al modului de colectare, a dejecțiilor de porci, ferma este dotată cu un sistem de colectare modern, care asigură evacuarea permanentă a dejecțiilor colectare de la padocurile de animale la rezervoarele pentru depozitarea dejecțiilor, acestea fiind colectate în sistem cu „pernă de apă” [47].



a.

b.

Fig.46. Sistem colectare dejecții în sistem „pernă de apă”: a. Sistem colectare padoc colectiv, b. Sistem colectare boxă puiet [47]

După cum se observă în figura 46, sistemele de colectare sunt diferite ca și grătare de captare a dejecțiilor, funcție de locul unde sunt utilizate, astfel în boxele de fătare este utilizat un sistem de pardoseală cu grătare din material plastic în combinație cu plăci încălzite (pat cald), iar în cele din padocurile colective sunt de beton [47].

Depozitarea dejecțiilor se realizează în patru bazine de stocare cu o capacitate de 10 000 m³/buc, unde la ora actuală are loc o stabilizare a acestora prin fermentare aerobă, prin menținere cca 6 luni în bazine. După stabilizarea biologică dejecțiile sunt

preluate cu cisterne speciale, și sunt transportate la terenurile agricole, unde sunt utilizate ca îngrășământ / fertilizator pentru sol. În figura 47 se prezintă procesul tehnologic al fermei de porci pentru reproducere, care pune în evidență modul de operare și circuitul dejecțiilor de porci.

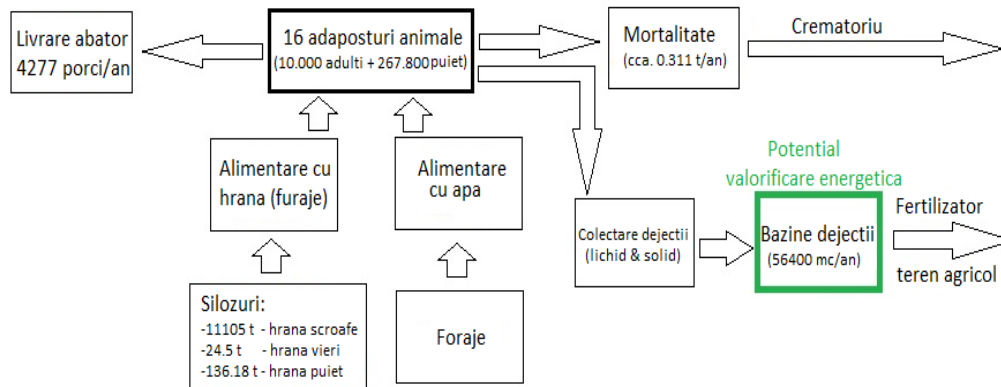


Fig.47. Proces tehnologic ferma zootehnică Bacova [76]

După cum rezultă din figura 48, în fluxul tehnologic desfășurat în ferma zootehnică poate fi integrat cu ușurință un modul / instalație pentru valorificarea energetică a dejecțiilor de porci, fără a modifica infrastructura din componenta zootehnică a fermei.

Astfel din punct de vedere al investiției, modul de funcționare al fermei indică posibilitatea valorificării resurselor regenerabile de energie, care conform modului de analiză și abordare prezentat în capitolele introductive, pentru studiul de caz analizat, se pretează utilizarea tehnologiei de producere a biogazului prin fermentare anaerobă, și valorificarea energetică în grupuri de cogenerare CHP.

Din descrierea modului de funcționare a fermei se observă că energia termică este utilizată constant la padocurile de puiet, deci surplusul de energie termică generat de grupul CHP poate fi complet utilizat / valorificat.

În tabelul 11 se prezintă consumurile energetice specifice aferente fermei zootehnice analizate în prezentul studiu de caz.

Tabelul 11: Consumurile energetice specifice în ferma zootehnică Bacova [47]

Producție		Resurse consumate pentru asigurarea producției			
Efectiv animale	Cantitate anuală	Energie/ combustibil	Cantitate		Furnizor
			Pe an	In stoc	
Puiet porci	216 160	Electricitate	2 089 178 kW	-	S.E.N
		Motorină	4250 L	230 L	ROMPETROL
Adulți livrați la abator	4277	GPL	289 148 L	V1=7x5000L V2=2x5000L V3=1x4900L V4=1x2750L	GASPECO

Valorile prezentate în tabelul 11, sunt în limitele consumurilor specifice de energie conform BAT BREF ILF – Intensive Rearing of Polutry and Pigs [47]. După

cum se observă în tabelul 11, procesul de tehnologic de funcționare al fermei zootehnice de creștere a porcilor implică un consum semnificativ de energie.

Reducerea costurilor cu energia termică și electrică în procesul de funcționare al fermei zootehnice, prin utilizarea resurselor regenerabile de energie disponibile în aceeași locație, pot genera economii anuale semnificative, care să justifice investiția într-o instalație de producere și valorificare biogaz. În acest scop este necesar realizarea unui calcul tehnico-economic care să pună în evidență costurile de investiție, de operare și eventualul profit care ppo fi generate de o asemenea investiție.

4.2.2. Calculul și determinarea potențialului de biogaz

După cum s-a prezentat în capitolele anterioare, un factor important în calculul și estimarea producerii biogazului prin fermentare anaerobă este dat de caracterizarea energetică a deșeurilor organice utilizate ca materie primă în proces. Funcție de gradul de precizie al valorilor utilizate în calcule, determinarea acestor caracteristici poate fi realizată în laborator pe stand experimental, dacă se impune utilizarea unor valori cu precizie ridicată; sau pot fi utilizate valori de referință indicate în literatura de specialitate, dacă valorile utilizate în calcule nu impun o precizie ridicată.

În cazul de studiu prezentat, caracterizarea energetică a dejecțiilor de porci nu impune utilizarea unor valori cu precizie ridicată, întrucât acestea sunt utilizate la nivelul unui studiu de fezabilitate, cu scopul de a pune în evidență rentabilitatea economică și timpul de amortizare a investiției în cazul implementării unei instalații de producere și valorificare energetică a biogazului.

În acest scop, s-a utilizat literatura de specialitate care indică valorile caracteristice producției de biogaz specifice diferitelor tipuri de substanțe organice, după cum sunt cele din industria agricolă, prezentate în tabelul 12.

Tabelul 12: Caracteristicile și parametri de operare pentru deșeuri agricole [27]

Deșeu agricol	TS [%]	VS [%]	C:N Ratio	Producție biogaz ^a [m ³ /kg]	HRT [days]	CH ₄ [%]
Dejecții porci	3-8 ^b	70-80	3-10	0.25-0.50	20-40	70-80
Dejecții vite	5-12 ^b	75-85	6-20 ^a	0.20-0.30	20-30	55-75
Dejecții avicole	10-30 ^b	70-80	3-10	0.35-0.60	>30	60-80
Deșeuri din fructe	15-20	75	35	0.25-0.50	8-20	n.a
Resturi alimentare	10	80	-	0.50-0.60	10-20	70-80
a – depinde de gradul de uscare; b – depinde de diluție						

Conform valorilor prezentate în tabelul 12, se observă că în cazul dejecțiilor de porc care fac obiectul prezentului studiu de caz, le corespunde un conținut de substanță uscată TS = 3÷8 % și substanță organică VS = 70÷80%, pentru care producția specifică de biogaz este de 0.25÷0.50 m³/kg substrat utilizat, din care 70÷80 % CH₄.

Aceste valori fost utilizate ca date de intrare pentru programul de calcul și simulare a producției specifice de biogaz BioGC dezvoltat de WFG Schwäbisch Hall Münzstraße 1 D-74523 Schwäbisch Hall Germany. Rezultatele obținute în urma calculului sunt prezentate în figura 48.

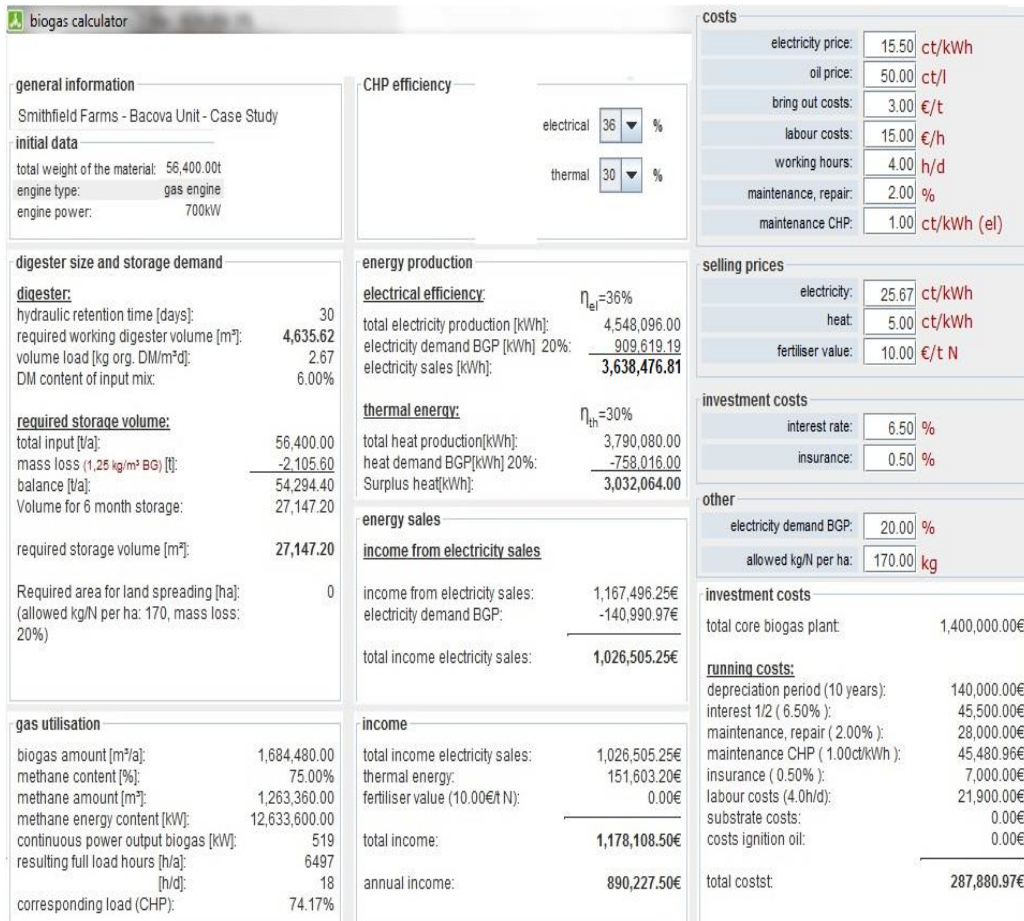


Fig.48. Rezultatele calculului de simulare a producției de biogaz – ferma Bacova

După cum rezultă din figura 48, prin utilizarea unor programe de calcul și simulare a producției de biogaz, se pot obține foarte rapid informații legate de capacitate instalată necesară pentru realizarea unei investiții într-o instalație de producere și valorificare a biogazului.

Avantajul utilizării unor astfel de programe de calcul, constau în faptul că informațiile se obțin foarte rapid, prezintă într-un mod concentrat informații legate de dimensionarea echipamentelor principale, realizează calcule economice care oferă informații despre costurile de operare și consumurile energetice ale unei instalații de producere biogaz.

Utilizarea programelor de calcul de acest gen este recomandată în fazele incipiente de proiectare cum sunt studiile de soluție, studii de fezabilitate sau studii

de fezabilitate, unde se pune accent pe identificarea soluției tehnice optime ce trebuie implementată, care să susțină fezabilitatea economică a investiției.

Calculul de simulare a fost realizat pentru monofermentare, adică, implică utilizarea unui singur tip de substrat, care în cazul nostru este reprezentat de dejecțiile de porci. În calculul de simulare s-a utilizat următoarele valori pentru caracteristicile materiei organice și parametrii de funcționare:

- $TS = 5\%$ - conținut de substanță uscată, dejecțiile fiind colectate în sistem de pernă cu apă, prezintă un grad mare de diluție;
- $VS = 75\%$ - conținutul specific de materie organică degradabilă conținută în fracția uscată a dejecțiilor, care depinde foarte mult de natura furajelor cu care sunt hrănite animalele. Fiind o fermă de reproducere, calitatea furajelor trebuie să fie una superioară, astfel încât să poată fi controlată creșterea animalelor într-un timp limitat stabilit (9-10 luni).
- $CH_4 = 75\%$ - concentrația specifică de gaz metan conținută în producția totală de biogaz, care în cazul dejecțiilor de porc are un conținut ridicat datorită alimentației bazată pe furaje cu conținut scăzut de lignină.
- $OLR = 2.67 \text{ g}/\text{m}^3 \cdot \text{zi}$ - rata de încărcare organică a digesterului raportată la volumul activ al acestuia, care se stabilește funcție de conținutul organic total din digester.
- $HRT = 30$ zile - timpul de retenție hidraulică în bioreactor, în baza căruia se calculează volumul bioreactorului, acesta fiind direct proporțional cu creșterea valorii HRT. Astfel, valorile prea mari pentru HRT duc la volume mari pentru bioreactoare și implicit la creșterea valorii de investiției. De menționat faptul că construcția bioreactorului reprezintă aproximativ 40 din valoarea totală de investiție specifică pentru o instalație de biogaz.
- $T_f = 37 \text{ }^\circ\text{C}$ - temperatura de fermentare specifică regimului mezofil.
- Prețurile pentru energia electrică sunt raportate la anul de referință 2015 când s-a realizat studiul de soluție pentru ferma de la Bacova.

4.2.3. Analiza și interpretarea rezultatelor

Conform rezultatelor prezentate anterior în figura 48, se constată că pentru o cantitate disponibilă de 56 400 t/an dejecții de porc, este necesară o instalație de producere și valorificare biogaz cu următoarea capacitate instalată:

- $P_{\text{CHP}} = 700 \text{ kW}$ - putere instalată grup de cogenerare cu motor diesel pe gaz, cu un randament electric de 36 %, și termic de 30 %;
- $V_{\text{BR}} = 4635 \text{ m}^3$ - volumul activ al bioreactorului, reprezentat de partea efectivă ocupată de digestat.
- $V_S = 6\%$ - simbolizat ca notație prescurtată (DM) în programul de calcul, reprezintă încărcarea organică a bioreactorului raportat la masa digestatului din bioreactor. De menționat faptul că digestatul este un amestec fluid cu o proporție de amestec cuprinsă în intervalul de 90÷95 % lichide și 10÷5 % solide. Depășirea acestor limite influențează în mod negativ procesul de fermentare anaerobă.
- $m_R = 1.25 \text{ kg}/\text{m}^3_{\text{biogaz}}$ - reducerea masică specifică activității metabolice a bacteriilor implicate în procesul de fermentare anaerobă, care se raportează la producția specifică de biogaz.
- $V_{\text{stocare}} = 27147 \text{ m}^3$ - reprezintă volumul necesar pentru stocarea digestatului pe o perioadă de 6 luni. În cazul nostru disponibilul asigurat de bazinele

existente este de $4 \times 10000 \text{ m}^3$. Acest timp trebuie coroborat cu posibilitatea și perioada de fertilizare a terenurilor agricole, care se realizează funcție de ciclurile de semănare – recoltă – anotimp.

În baza capacității instalate, și a desfășurării unui proces de fermentare anaerobă în regim mezofil în condiții normale, cu menținerea constantă a calității substratului utilizat, s-au calculat următorii parametri de producție:

- $V_{\text{biogaz}} = 1.684.480,0 \text{ m}^3/\text{an}$ – producția anuală de biogaz;
- $V_{\text{CH}_4} = 1.263.360,0 \text{ m}^3/\text{an}$ – producția anuală de gaz metan;
- $E_{\text{CH}_4} = 12.633.600,0 \text{ kW}/\text{an}$ – energia conținută în producția de gaz metan;
- $S_{\text{CHP}} = 71 \%$ sarcina de încărcare grup CHP raportată la un an de funcționare, căreia îi corespunde un timp efectiv de funcționare 6497 ore/an, cu o medie de 18 ore/zi.
- $E_{\text{el}_{\text{produs}}} = 4.548.096,0 \text{ kWh}/\text{an}$ – total energie electrică produsă în instalația de cogenerare;
- $E_{\text{el}_{\text{CHP}}} = 909.619.19 \text{ kWh}/\text{an}$ – energie electrică consumată în instalația de producere a biogazului;
- $E_{\text{el}_{\text{disponibil}}} = \underline{3.638.476,81} \text{ kWh}/\text{an}$ – energie electrică disponibilă pentru valorificare / comercializare;
- $E_{\text{th}_{\text{produs}}} = 3.790.080,0 \text{ kWh}/\text{an}$ – total energie termică produsă în instalația de cogenerare;
- $E_{\text{th}_{\text{Bioreactor}}} = 758.016 \text{ kWh}/\text{an}$ – energia termică consumată în proces, pentru regimul de funcționare în sezonul cald, unde reprezintă aprox. 20 % din producția totală de energie. În sezonul necesarul de energie termică poate crește până la 40-60 %, funcție de temperaturile din mediul ambiant.

În baza datelor prezentate anterior, constatam că electrică energia electrică disponibilă pentru valorificare este de 3.638.476.81 kWh/an, iar necesarul de energie electrică pentru funcționarea fermei zootehnice pentru anul 2015 a fost de 2.089.178 kWh/an (vezi tab.11), deci avem un surplus de energie electrică pentru comercializare de 1.549.298.81 kWh/an.

În concluzie cantitatea de dejecții de porci disponibilă în fluxul de producție de la ferma zootehnică Bacova, are un potențial de valorificare energetică care poate acoperi în întregime necesarul de energie electrică consumată în procesul de funcționare al fermei, și poate genera un profit economic din comercializarea pe piață a unui surplus de energie electrică de 1.549.298.81 kWh/an.

Pe lângă profitul generat de comercializare energiei electrice, se mai poate realiza un profit din utilizarea energiei termice rezultate din grupul de cogenerare CHP, cu o pondere între 80 ÷ 60 % din totalul de energie termică produsă.

Conform celor prezentate anterior, observă că programul de calcul utilizat oferă informații și despre costurile cu de operare și de mentenanță a instalației de producere și valorificare biogaz, care sunt foarte utile în costurile economice de investiții, oferind totodată o vedere de ansamblu atât tehnic cât și economic.

4.3. Studiu de caz 2 – Complexul Agro Industrial Curtici

4.3.1. Analiza fluxului tehnologic

În prezentul studiu de caz s-a investigat posibilitatea valorificării energetice a dejecțiilor de porc, gunoi de grajd vite și apă uzată de abator, colectate de la Combinatul Agro Industrial Curtici (CAI Curtici), ferma zootehnică Macea, județul Arad. Sub aspect zootehnic, ferma practică un sistem integrat de agricultură și zootehnie, aplicând o economie foarte apropiată de economia circulară.

CAI Curtici practică și gestionează în regim propriu agricultura, creșterea animalelor, sacrificarea animalelor, prelucrarea cărnii și laptelui, fabricarea produselor agroalimentare mezeleri și produse lactate precum și vânzarea și comercializarea acestora în magazine proprii.

După cum se observă în activitățile desfășurate de CAI Curtici, lipsește o singură activitate (verigă) pentru a realiza o economie circulară, și anume producerea energiei în regim propriu. La ora actuală deșeurile rezultate în urma activităților zootehnice de creștere bovine, porci și păsări, sunt gestionate într-o manieră clasică ce presupune depozitare pe platformă sau în bazine, fermentare aerobă după care sunt utilizate ca fertilizator pe terenurile agricole. Pe partea de procesare și prelucrare a cărnii și a produselor lactate, apa uzată rezultată în urma proceselor specifice este preluată într-o stație de epurare proprie.

În urma vizitei în teren și a informațiilor furnizate de reprezentanții CAI Curtici, pentru anul de referință 2016, la ferma Macea au fost disponibile cantitățile de deșuri organice prezentate în tabelul 13, și s-a înregistrat un consum de energie electrică de 3200 MWh și energie termică de 3054 MWh.

Tabelul 13: Deșuri organice disponibile în ferma zootehnică Macea – an 2016

Deșeu agricol	Cantitate disponibilă [tone/an]	Fază
Dejecții porci	24000	Lichid
Gunoi de grajd	600	Solid
Apă uzată de abator	30000	Lichid

Pentru prezentul studiu de caz, s-a optat pentru realizarea unei campanii experimentale în laborator pe standul experimental de producere a biogazului în regim staționar.

Întreaga campanie experimentală a fost desfășurată în cadrul laboratorului de Biotehnologii Mircobiene și Industriale de la Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară a Banatului – USAMVB Timișoara, pe standul experimental Bioprocesscontrol AMPTS II (vezi cap.4.1.3).

4.3.2. Pregătirea probelor

Pentru demararea campaniei experimentale este necesară o fază de pregătire a probelor de laborator ce urmează să fie supuse experimentului, după care precede o fază de calcul pentru stabilirea parametrilor de proces. Faza de pregătire a probelor presupune prelevarea probelor on-site și caracterizarea substanței organice prin determinarea conținutului de substanță uscată TS și substanță volatilă VS.

Perioada de pregătire a probelor pentru această campanie experimentală a durat 10 zile, timp care include deplasările on-site pentru prelevarea probelor, a

inoculului, pregătirea aparaturii de laborator, realizarea calculelor pentru stabilirea cantităților de amestec. În campania experimentală s-a utilizat inocul digestat prelevat de la instalația de producere și valorificare biogaz Arad (vezi cap.3.4). Încărcarea și punerea în operare/funcție a standului experimental durează cca. 8 ore pentru o echipă de lucru în doi oameni. În figura 49 sunt prezentate imagini cu activitățile desfășurate în laborator pentru determinare substanței uscate TS.

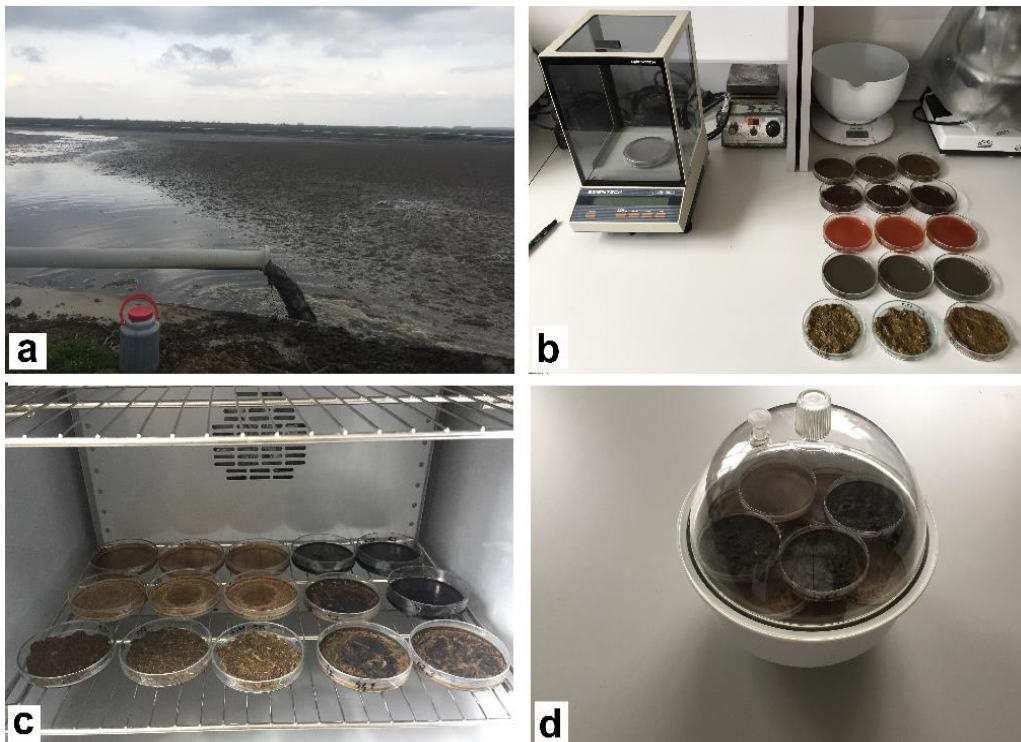


Fig.49. Determinare TS și VS:

a. Prelevare probă, b. Cântărire, c. Uscare în etuvă, d. Uscare în exicator

După cum rezultă din figura 49, au fost prelevate probe proaspete, în mod corespunzător direct din conducta de deversare în iazul de decantare și fermentare anaerobă a dejecțiilor. În acest mod se reduce riscul posibilității de contaminare a probelor, și se asigură faptul că proba prelevată are o încărcare organică maximă, nefiind alterată sub aspect al degradării substanței organice prin fermentare aerobă în iazul de stocare.

Colectarea probelor s-a realizat conform protocoalelor indicate în standardul german VDI 4630, probele fiind prelevate din fluxul tehnologic înainte de a intra în etapele de tratare, pentru a păstra caracteristicile biologice intacte, și a nu contamina probele. Stocarea și depozitarea probelor s-a realizat în spații cu temperatură controlată, fiind utilizat un frigider dedicat, astfel încât activitatea biologică a probelor să fie minimă, în perioadele intermediare de pregătire a probelor pentru experimente.

Pentru accelerarea activității biologice a inoculului utilizat, acesta a fost ținut timp de 5 zile, în etuvă la temperatura de fermentare mezofilă de 37 °C, astfel bacteriile specifice procesului de fermentare anaerobă au o rată de multiplicare mai redusă, dat fiind faptul că nu au „suficientă hrană”, iar în momentul când substratele sunt înseminate cu inocul, bacteriile „flămânde” , se adaptează mai ușor la materia organică conținută de acestea.

Ca și etape de pregătire, după cum am prezentat anterior (vezi cap. 4.1.3), este necesară determinarea conținutului de substanță uscată TS și substanță organică VS în probele prelevate. Conform protocoalelor indicate în literatura de specialitate, s-au realizat câte triplicate pentru fiecare probă. După cântărire pe cântar cu precizie ridicată, probele au fost menținute în etuvă timp de 20 ore, la o temperatură de 105 °C.

După ce au fost scoase din etuvă au fost menținute în exicator pentru răcire, după cântărite, după care au fost introduse în calcinator la 550 °C, timp de 2 ore, scoase și reintroduse în exicator, și recântărite. În tabelul 14 sunt prezentate valorile măsurate pentru determinarea substanței uscate aferentă probelor investigate.

Tabelul 14: Valorile TS pentru cosubstratele de la ferma Macea

Substrat	Proba	Greutate vas	Proba umeda*	Proba uscata*	Masa	TS	TS
		[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[%]
Gunoii de grajd	A1	43.1	72.1	46.81	29	3.71	12.96
	A2	49.9	76.2	53.31	26.3	3.41	
	A3	42.2	68.6	45.67	26.4	3.47	
Dejecții de porc	B1	43.1	64.9	43.94	21.8	0.84	3.80
	B2	42.7	62.5	43.43	19.8	0.73	
	B3	41.5	58	42.14	16.5	0.64	
Apa uzata abator	C1	46.2	71.1	46.41	24.9	0.21	0.72
	C2	42.7	67.4	42.89	24.7	0.19	
	C3	48.3	73.2	48.44	24.9	0.14	
Inocul	I1	42.3	63.8	43.77	21.5	1.47	6.62
	I2	41.1	64.7	42.66	23.6	1.56	
	I3	43.2	69.3	44.88	26.1	1.68	
* - include și greutatea vasului							

După cum se observă în tabelul 14, fiecare pentru fiecare probă s-au realizat triplicate conform protocoalelor de laborator. Pentru a pune în evidență în mod clar conținutul de substanță uscată ce caracterizează deșeurile organice investigate, pe baza valorilor experimentale prezentate în tabelul 14 s-a construit graficul prezentat în figura 50.

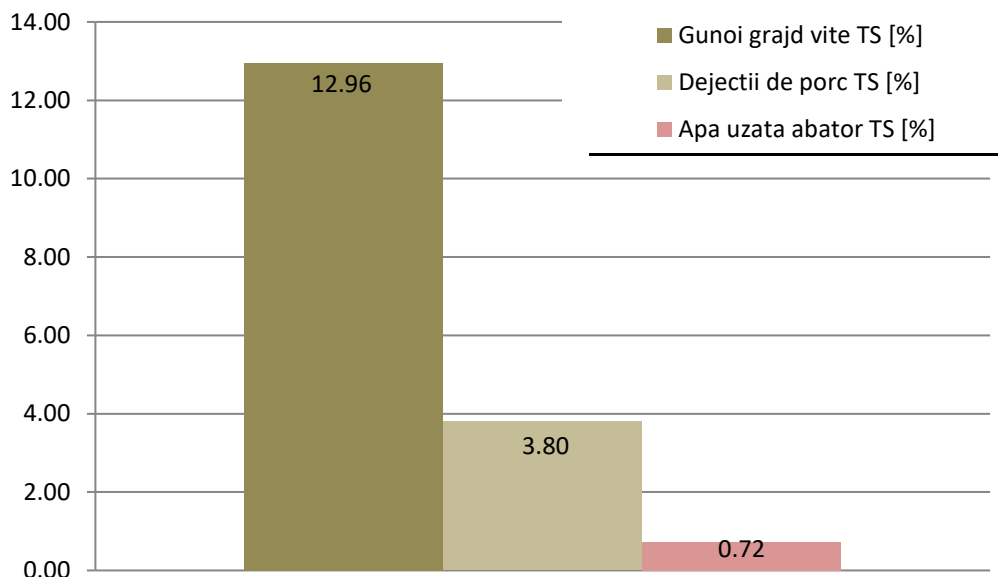


Fig.50. Reprezentare grafică TS a substratelor investigate

După cum rezultă din grafiul prezentat în figura 50, concentrația cea mai mare în substanță uscată apare la gunoiul de grajd vite, care de altfel este disponibil în formă semisolidă, acesta fiind urmat de dejecțiile de porc și apa uzată de abator. Se observă că apa uzată de abator are o diluție foarte mare, având doar 0.72 % substanță uscată, fapt care indică că se pretează apă de diluție în bioreactor, pentru menținerea / reglarea concentrației de substanță solidă în digestat.

Deoarece în timpul campaniei experimentale nu am avut în dotarea laboratorului creuzete, în faza următoare de calcinare la 550 °C pentru 2 ore, vasele de sticlă iena nu au rezistat și s-au spart, astfel a fost necesară mutarea substanței uscate din vasele de sticlă în creuzete, ceea ce a implicat o fază suplimentară de recântărire. În tabelul 15 sunt prezentate valorile măsurate pentru determinarea substanței organice aferentă probelor investigate.

Tabelul 15: Valorile VS pentru cosubstratele de la ferma Macea

Nr.crt.	Substrat	Proba	Cenușă	VS	VS
			%	%	%
1	Gunoi de grajd	A1	9.49	90.51	89.97
		A2	10.58	89.42	
2	Dejecții de porci	B1	31.61	68.39	69.01
		B2	30.37	69.63	
3	Apa uzata de abator	C1	21.96	78.04	78.34
		C2	21.37	78.63	
5	Inocul	I1	22.61	77.39	77.50
		I2	22.39	77.61	

Pentru a pune în evidență în mod clar conținutul de substanță uscată și volatilă ce caracterizează deșeurile organice investigate, pe baza valorilor experimentale prezentate în tabelul 15 s-a construit graficul prezentat în figura 51.

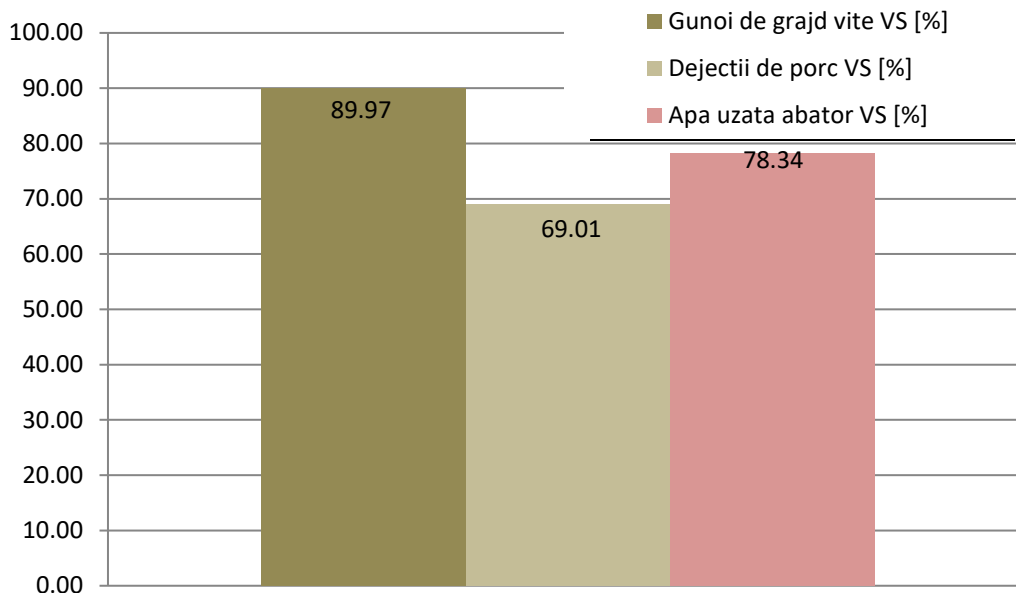


Fig.51. Reprezentare grafică VS a substratelor investigate

După cum rezultă din grafiul prezentat în figura 50, concentrația cea mai mare în substanță organică apare la gunoiul de grajd vite, disponibil în formă solidă, urmat de apa uzată de abator și dejecțiile de porc. Sub aspectul fermentării prin digestie anaerobă concentrația de substanță organică indică disponibilul de hrană pentru bacteriile anaerobe.

4.3.3. Setarea standului experimental AMPTS II

După faza de pregătire a probelor, urmează faza de calcul pentru stabilirea parametrilor de proces, care au la baza valorile determinate anterior pentru TS și VS. După cum am prezentat în capitolele anterioare (vezi cap. 2.3 și 4.1.3), campaniile experimentale de investigare a producerii biogazului în regim staționar, impun calculul de încărcare a bioreactorului. Această etapă presupune realizarea unui set de calcule pentru stabilirea încărcării organice pentru fiecare bioreactor în parte în concordanță cu rețeta de amestec prestabilită.

Pentru această campanie experimentală s-a investigat producerea biogazului pentru fiecare substrat separat și o singură rețetă de amestec care să cuprindă toate substratele. Scopul acestei abordări, ca în baza rezultatelor obținute să se poată pune în evidență într-un mod clar, care variantă este mai avantajoasă din punct de vedere al producerii de biogaz.

Modul de calcul utilizat pentru stabilirea parametrilor de proces s-a realizat conform protocoalelor indicate în standardul german VDI 4630, unde sunt precizate cantitățile și rapoartele de amestec ce trebuie îndeplinite, pentru ca rezultatele

experimentale să fie corecte. Condițiile impuse de aceste protocoale sunt sintetizate în tabelul 16.

Tabelul 16: Condiții pregătire probe pentru investigarea producerii de biogaz

VDI 4360-2006 validare condiție (value 1 = TRUE, value 0 = FALSE)		
Condition		Value
I	$VS_{inocul} \geq 50\% TS_{inocul}$	1
	- inoculul utilizat trebuie să prezinte un conținut de substanță organică mai mare sau egal cu 50% decât conținutul de substanță uscată TS (Ref. VDI4360 cap. 7.1.2 Seeding sludge)	
II	$VS_{inocul} = (1.5 \div 2.0)\% M$	1
	- concentrația substanței organice a inoculului maximă utilizată în probă de 1.5% ÷ 2.0% masic (nici mai mult nici mai puțin), în raport cu masa totală a probei (Ref. VDI4360 cap. 7.1.2 Seeding sludge)	
III	$VS_{substrat} \leq 0.5 VS_{inocul}$	1
	- pentru prevenirea apariției fenomenului de inhibare a fermentării, proporția conținutului de substanță organică a substratului utilizat trebuie să fie mai mică sau egală cu 0.5 față de cea a inoculului. (Ref. VDI4360 cap. 7.1.3 Sample quantity)	
IV	$TS_M \leq 10\% M$	1
	- conținutul maxim de substanță uscată utilizat în bioreactor trebuie să fie mai mic sau egal cu 10 % din masa totală a digestatului. (Ref. VDI4360 cap. 7.1.3 Sample quantity)	
Available digester capacity condition check (mass or volume)		
	$M_{inocul} + M_{substrat} \leq M$	1
V	- respectarea acestei condiții este influențată de conținutul în VS și TS al inoculului + VS și TS al substratului, condiție ce trebuie îndeplinită concomitent cu condiția II.	

Condițiile prezentate în tabelul 16, au fost sintetizate în ordine logică de îndeplinire și parcurgere a acestora I ÷ V, astfel încât procesul de calcul să poată fi automatizat, și structurat ca bloc logic. Fișele de calcul realizate sub formă tabelară în Excel, sunt legate prin funcțiile logice „IF(logical_test, value_if_true, value_if_false)”, de un tabel sub forma tabelului 16, astfel prin modificarea valorilor în fișele de calcul se poate verifica în mod automat îndeplinirea condițiilor impuse prin protocoalele standard.

În campania experimentală s-a utilizat și o probă de control pentru inocul, pentru a certifica activitatea bacteriană a inoculului utilizat. Pentru a păstra parametrii de comparație a rezultatelor obținute de la fiecare probă, s-au utilizat aceiași parametrii de proces, în consecință proba de control inocul a fost preparată cu un adaos de celuloză (Avicel).

În baza acestor protocoale s-au realizat fișe de calcul sub formă tabelară în Excel, cu ajutorul cărora s-au calculat parametrii de proces pentru fiecare probă. În tabelele 17 a, b, c, d și e de mai jos se prezintă fișele de calcul utilizate în campania experimentală.

Tabelul 17 a: Parametrii de proces probă 1-vita (gunoi de grajd vită)

Pregătire probe substrat biogaz conform VDI 4630-2006		PROBA Nr:		1 - vita	
Nr.	Parametrii probă	Simbol	Valoare	U.M	Status
Inocul					
1	Substanță organică	VS _i	77.5	%	input
2	Substanță uscată	TS _i	6.62	%	input
Substrat (S)					
3	Substanță organică	VS _s	89.97	%	input
4	Substanță uscată	TS _s	12.96	%	input
Calcul parametrii amestec					
5	Masa digestat (masa probei)	M	400	g	input
6	Concentrație VS inocul (1.5-2% M)	VS _i	2.00	%	input
7	Necesar VS inocul (raportat la masa amestec - M)	Vs _i	8.00	g	output
8	Necesar TS inocul	TS _i	10.32	g	output
9	Cantitate necesară inocul	M _i	155.93	g	output
10	Necesar VS substrat (pentru VS substrat= 0.5VS _i inocul)	VS _s	4.00	g	output
11	Necesar TS substrat	TS _s	4.45	g	output
12	Cantitate necesară substrat	M _s	34.30	g	output
13	Valoare TS digestat (max. 10% M)	TS	14.77	g	output
14		TS	3.69	%	output
AMPTS II - date intrare					
15	Apa pentru diluție	W _d	209.76	g	output
16	Concentrație inocul (% w/w)	IC	2.44	%	output
17	Concentrație substrat (% w/w)	SC	5.55	%	output

Tabelul 17 b: Parametrii de proces probă 2-porc (dejecții de porc)

Pregătire probe substrat biogaz conform VDI 4630-2006		PROBA Nr:		2 – porc	
Nr.	Parametrii proba	Simbol	Valoare	U.M	Status
Inocul					
1	Substanța organică	VS _i	77.5	%	input
2	Substanța uscată	TS _i	6.62	%	input
Substrat (S)					
3	Substanță organică	VS _s	69.01	%	input
4	Substanță uscată	TS _s	3.8	%	input
Calcul parametrii amestec					
5	Masa digestat (masa probei)	M	400	g	input
6	Concentrație VS inocul (1.5-2% M)	VS _i	2.00	%	input
7	Necesar VS inocul (raportată la masa amestec - M)	V _s _i	8.00	g	output
8	Necesar TS inocul	TS _i	10.32	g	output
9	Cantitate necesară inocul	M _i	155.93	g	output
10	Necesar VS substrat (pentru VS substrat= 0.5VS _i inocul)	VS _s	4.00	g	output
11	Necesar TS substrat	TS _s	5.80	g	output
12	Cantitate necesară substrat	M _s	152.53	g	output
13	Valoare TS digestat (max. 10% M)	TS	16.12	g	output
14		TS	4.03	%	output
AMPTS II - date intrare					
15	Apa pentru diluție	W _d	91.54	g	output
16	Concentrație inocul (% w/w)	IC	3.96	%	output
17	Concentrație substrat (% w/w)	SC	2.02	%	output

Tabelul 17 c: Parametrii de proces probă 3-abator (apă uzată abator)

Pregatire probe substrat biogaz conform VDI 4630-2006		PROBA Nr:		3 – abator	
Nr.	Parametrii proba	Simbol	Valoare	U.M	Status
Inocul					
1	Substanta organică	VS _i	77.5	%	input
2	Substanta uscata	TS _i	6.62	%	input
Substrat (S)					
3	Substanta organică	VS _s	78.34	%	input
4	Substanta uscata	TS _s	0.72	%	input
Calcul parametrii amestec					
5	Masa digestat (masa probei)	M	400	g	input
6	Concentratie VS inocul (1.5-2% M)	VS _i	2.00	%	input
7	Necesar VS inocul (raportata la masa amestec - M)	Vs _i	8.00	g	output
8	Necesar TS inocul	TS _i	10.32	g	output
9	Cantitate necesara inocul	M _i	155.93	g	output
10	Necesar VS substrat (pentru VS substrat= 0.5VS _i inocul)	VS _s	1.38	g	output
11	Necesar TS substrat	TS _s	1.76	g	output
12	Cantitate necesara substrat	M _s	152.53	g	output
13	Valoare TS digestat (max. 10% M)	TS	243.95	g	output
14		TS	12.08	%	output
AMPTS II - date intrare					
15	Apa pentru dilutie	W _d	0	g	output
16	Concentratie inocul (% w/w)	IC	5.13	%	output
17	Concentratie substrat (% w/w)	SC	0.56	%	output

Tabelul 17 d: Parametrii de proces probă 4-mix(1+2+3)

Pregătire probe substrat biogaz conform VDI 4630-2006		PROBA Nr:		4 – mix	
Nr.	Parametrii proba	Simbol	Valoare	U.M	Status
Inocul					
1	Substanta organică	VS _i	77.5	%	input
2	Substanta uscată	TS _i	6.62	%	input
Substrat (S1) – gunoi de grajd vită					
3	Cantitate necesară	m1	11.4	g	input
4	Substanta organică	VS _{s1}	1.33	%	output
5	Substanta uscată	TS _{s1}	1.48	%	output
Substrat (S2) – dejecții de porci					
6	Cantitate necesară	M2	50.8	g	input
7	Substanta organică	VS _{s2}	1.33	%	output
8	Substanta uscată	TS _{s2}	1.93	%	output
Substrat (S3) – apă uzată de abator					
9	Cantitate necesară	M3	60	g	input
10	Substanta organică	VS _{s3}	0.34	%	output
11	Substanta uscată	TS _{s3}	0.43	%	output
Calcul parametrii amestec					
12	Masa digestat (masa probei)	M	400	g	input
13	Concentratie VS inocul (1.5-2% M)	VS _i	2.00	%	input
14	Necesar VS inocul (raportata la masa amestec - M)	V _{si}	8.00	g	output
15	Necesar TS inocul	TS _i	10.32	g	output
16	Cantitate necesara inocul	M _i	155.93	g	output
17	Necesar VS substrat (pentru VS substrat= 0.5VS _i inocul)	VS _s	3.00	g	output
18	Necesar TS substrat	TS _s	3.84	g	output
19	Cantitate necesara substrat	M _s	122.20	g	output
20	Valoare TS digestat (max. 10% M)	TS	14.16	g	output
21		TS	3.54	%	output
AMPTS II - date intrare					
22	Apa pentru dilutie	W _d	121.87	g	output
23	Concentratie inocul (% w/w)	IC	3.57	%	output
24	Concentratie substrat (% w/w)	SC	1.71	%	output

Tabelul 17 e: Parametrii de proces probă 5- control inocul

Pregătire probe substrate biogaz conform VDI 4630-2006		PROBA Nr:		5 – control	
Nr.	Parametrii proba	Simbol	Valoare	U.M	Status
Inocul					
1	Substanta organica	VS _i	77.5	%	input
2	Substanta uscata	TS _i	6.62	%	input
Substrat (S) – Celuloză Avicel					
3	Substanta organica	VS _s	90	%	input
4	Substanta uscata	TS _s	95	%	input
Calcul parametrii amestec					
5	Masa digestat (masa probei)	M	400	g	input
6	Concentratie VS inocul (1.5-2% M)	VS _i	1.5	%	input
7	Necesar VS inocul (raportata la masa amestec - M)	V _{si}	6.00	g	output
8	Necesar TS inocul	TS _i	7.74	g	output
9	Cantitate necesara inocul	M _i	116.95	g	output
10	Necesar VS substrat (pentru VS substrat= 0.5VS _i inocul)	VS _s	3.00	g	output
11	Necesar TS substrat	TS _s	3.33	g	output
12	Cantitate necesara substrat	M _s	3.51	g	output
13	Valoare TS digestat (max. 10% M)	TS	11.08	g	output
14		TS	2.77	%	output
AMPTS II - date intrare					
15	Apa pentru dilutie	W _d	280	g	output
16	Concentratie inocul (% w/w)	IC	1.55	%	output
17	Concentratie substrat (% w/w)	SC	25.75	%	output

După cum se observă în tabelele 17 a, b, d și e pentru menținerea concentrațiilor optime în bioreactor în conformitate cu condițiile impuse prin protocoalele standard, a fost necesară utilizarea unei cantități de apă de adaos. Această practică se utilizează și în procesele reale de operare a instalațiilor de producere biogaz la scară industrială.

Fișa de calcul prezentată în figura 17 c, utilizată pentru amestecul celor 3 cosubstrate este realizată în mod diferit față de celelalte fișe de calcul, necesitând o abordare diferită în ce privește modul de calcul al maselor de substrat utilizate în rețeta de amestec; dar tot odată cu respectarea condițiilor impuse de VDI 4630.

După faza de realizare a calculelor de încărcare cu materie organică pentru fiecare rețetă investigată, urmează faza de cântărire și încărcare propriu zisă a bioreactoarelor aferente standului AMPTS II. După cum am prezentat anterior (vezi cap. 4.1.3), standul are în dotare 15 bioreactoare, probele de laborator fiind realizate în triplicate, ceea ce înseamnă că 3 bioreactoare sunt încărcate cu aceeași rețetă. În figura 52 se prezintă imagini cu etapele de lucru desfășurate în laborator pentru încărcarea bioreactoarelor.

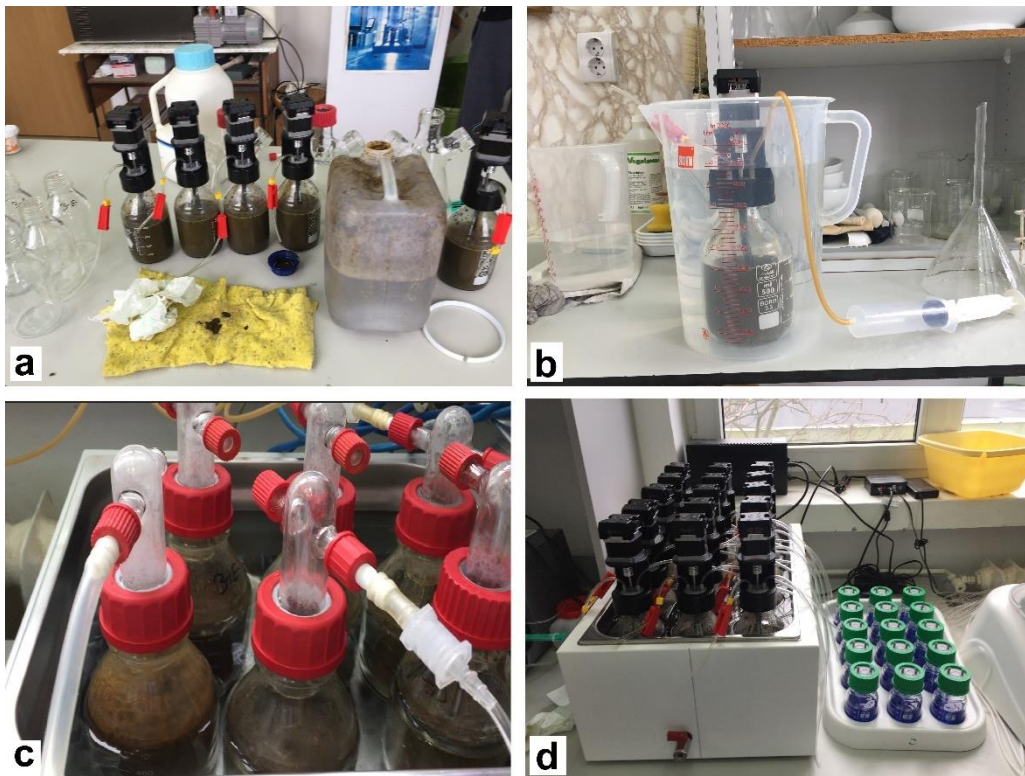


Fig.52. Încărcarea bioreactoarelor AMPTS II: a. Cântărirea substratelor, b. Verificarea etanșeității, c. Spălare cu gaze inerte, d. Incubarea în baie termică

Conform protocoalelor de laborator, dat fiind faptul că, standul experimental lucrează cu debite de gaze la ordinul mililitrilor, pentru acuratețea rezultatelor se

impune verificare etanșeității bioreactorului (fig.52.b) prin imersie în baie de apă, și presurizare cu o seringă prin care se creează suficientă presiune de probă, ținând cont de faptul că bioreactorul lucrează la presiuni foarte scăzute. Întrucât bioreactorul este activ de la faza de încărcare, pentru acuratețea rezultatelor obținute, este necesară o spălare cu gaze inerte (azot N₂ în cazul nostru), prezența oxigenului atmosferic poate altera probele. După această fază, bioreactoarele sunt incubate în baia termică a standului unde a fost setată o temperatură de incubare de 37 °C.

După realizarea acestor faze, standul experimental este pregătit pentru punerea în funcțiune, urmând a se realiza fazele de interconectare a bioreactoarelor cu modulul de tratare a biogazului unde are loc reținere CO₂; cu unitatea de măsură debit gaz, înregistrare și prelucrare date; respectiv cu laptopul care asigură controlul și monitorizarea standului.

4.3.4. Analiza și interpretarea rezultatelor

Achiziția și înregistrarea datelor experimentale s-a realizat pentru o durată de 21 zile, timp în care standul a funcționat 0-24. În tabelele 18 a, b, c și d de mai jos se prezintă valorile experimentale înregistrate automat de soft-ul AMPTS II.

Tabelul 18.a: Valori producție zilnică de biogaz determinate experimental

Zile	Vita [Nml/zi]			Porc [Nml/zi]			Abator [Nml/zi]			Mix 1+2+3 [Nml/zi]			Inocul [Nml/zi]		
	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C	4A	4B	4C	5A	5B	5C
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	232.4	220.8	248	380.3	377.3	373.5	239.3	241.3	248.5	381.4	435.8	335.7	189.3	205.6	123.5
2	225.4	197.2	233.1	378.4	374	377.1	209.5	204.3	214.9	263	348	231.7	149.5	159.8	98.3
3	183.6	158.9	189.8	307.1	295.1	294.2	106.4	97.3	102.4	191.7	271	183.8	120.7	128.7	84.9
4	140.1	127	130	219.3	220.8	223.5	52	49.4	54.7	108.1	159.7	103.6	104.7	112.5	73.7
5	106.5	96.5	103.9	131.8	146.5	138.1	41.6	41.8	45.7	82.6	120.5	75.4	93.8	101.3	66.1
6	91.3	79.3	87.1	109.1	111.2	110.6	39.5	40	42.2	68.3	100	61.5	85.3	92.3	61.2
7	87	77.9	83.3	83	84.3	86.9	39	40	42.7	61.2	87.6	53.4	79.7	86.2	60.9
8	81.9	74.1	76.6	62	61.9	64.3	29.1	29.3	30.7	50.3	72.4	45.8	71.8	77.8	53.7
9	74.9	64.8	73.1	60.1	59.4	62.1	26.8	29.8	30.9	41.6	62.2	43.1	66.5	74.1	51
10	62.3	50.1	63.2	38.4	38.4	39	25.4	29.6	32.1	37.5	55.7	35.4	63.6	70.1	47.7
11	49.9	38.1	51.5	25.3	24.6	27.8	22.8	32.1	27.7	32.8	46.4	26.1	54.2	63.6	43.7
12	44.6	35.2	45.6	24.6	23.9	27.3	27.2	36.8	27.5	29.7	44.2	17.3	49.6	57.2	41.2
13	41.3	33.3	42.1	24.8	25.2	25.9	31.6	35.1	27.1	28.4	41.6	17	48	54.1	39.3
14	36.5	29.7	32.4	23.7	22.9	25.6	30.4	27.1	25.8	24	37.2	16.8	43.1	49.8	35.6
15	30.9	29.7	30.9	26.8	26.4	28.6	31.7	28.1	32.6	25	36.6	50.4	41.5	47.3	35.3
16	27.3	23.3	27.6	26.4	25.9	26.5	31	24.8	26.5	22.6	32.5	26.3	37.5	43.8	30.7
17	25.1	22	26.4	16.6	16.1	17.5	14.3	10.7	14.3	23.3	33.5	26.9	36.6	41.8	31
18	24	20.6	24	16.5	15.5	17.7	5.2	10.1	13.4	23.8	32.3	23	35	40.3	29.2
19	22	20.5	23.5	17.1	15.3	17	7.4	10.5	10.5	19.1	28.2	25.4	34.3	38.6	29.5
20	19.8	17.5	21.6	15.3	14.3	16.4	9.5	8.5	8.3	12.5	19.7	19.4	30.9	35.1	28
21	16.9	14.5	18.4	13.6	14.3	14.1	0	0	7.2	12.6	17.8	10.7	26.9	29.7	24

Conform valorilor prezentate în tabelul 18.a, se observă că trendul descrescător al producției zilnice de biogaz se păstrează pentru fiecare bioreactor. Acest fapt indică activitatea biologică intensă a bacteriilor din toate bioreactoarele, deci protocoalele standardizate au fost respectate neavând probe alterate care să

genereze dubii asupra rezultatelor experimentale. Pentru a pune în evidență trendul descrescător al producției zilnice de biogaz, în baza valorilor prezentate în tabelul 18.a s-a construit graficul prezentat în figura 53.

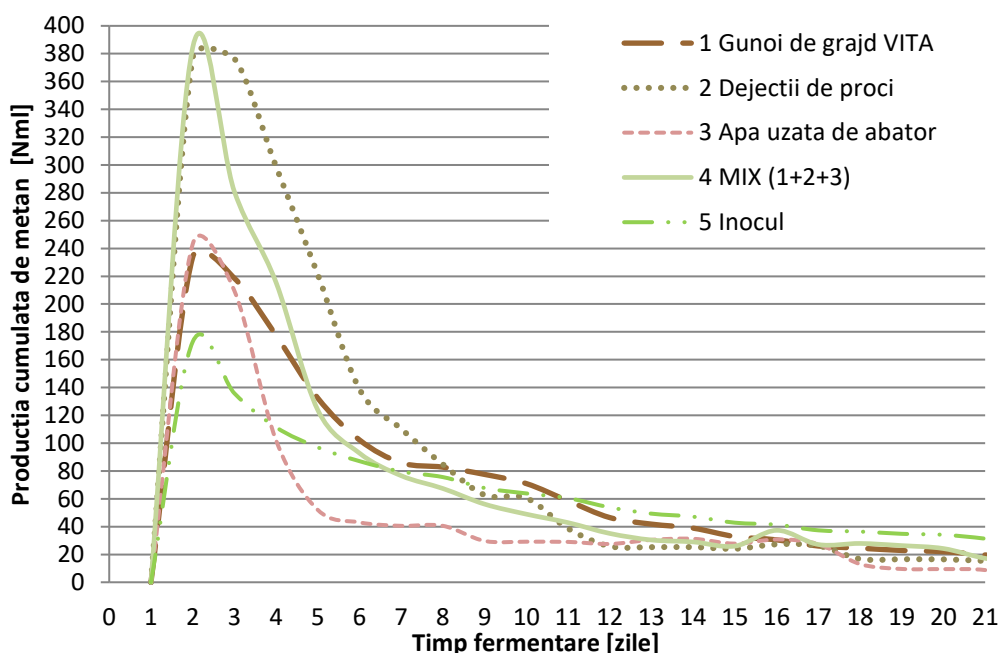


Fig.53. Evoluția producției zilnice de metan

După cum rezultă în figura de mai sus, se constată că proba nr.4 reprezentată de amestecul celor trei cosubstrate înregistrează cea mai mare producție zilnică de biogaz, urmată de proba 2 – dejectii de porc. Prin comparația celor două curbe (4) și (2), se constată că producția zilnică de biogaz pentru proba (2) se menține aproximativ 2 zile consecutive, în comparație cu proba (4), care înregistrează un vârf în ziua 2, după care începe să scadă brusc.

Acest fapt poate fi justificat de prezența apei uzate de abator în amestec, care sub aspectul conținutului de substanță organică, prezintă un conținut ridicat de proteină și alte substanțe nutritive, care după cum s-a constatat în faza de determinare a valorilor TS și VS, aceste substanțe se prezintă în formă dizolvată în apă, astfel devin foarte ușor asimilabilă în metabolismul bacteriilor anaerobe. Astfel fracția organică conținută în apa uzată de abator este consumată rapid, bacteriile o transformă prin metabolism în biogaz și se reflectă în producția specifică zilnică de biogaz.

Valoarea ridicată pe o perioadă mai îndelungată a producției specifice de biogaz pentru proba (2) – dejectii de porc, poate fi justificată prin natura hranei cu care sunt alimentați porcii, fiind o fermă de creștere, acestea beneficiază de o hrană specială care stimulează creșterea și dezvoltarea animalelor.

Acest aspect este susținut de evoluția specifică pentru proba (1), care prezintă o valoare aproximativ la 60 % din producția specifică probei (2), întrucât fiind vorba de gunoi de grajd vite, acestea au o alimentație pe bază de biomasă cu mai sărac în

substanțe nutritive comparativ cu cel utilizat pentru creșterea porcilor, și care prezintă conținut ridicat de lignină (fân, paie, etc.) ceea ce face dificilă asimilarea substanțelor nutritive pentru coloniile de bacterii.

Calculul potențialului de biogaz se calculează în funcție de cantitatea totală a biogazului produs în bioreactor, astfel este necesară cumularea producției zilnice de biogaz în raport cu durata experimentală. În figura 18.b se prezintă valorile pentru producția cumulată de biogaz.

Tabelul 18.b: Valori producție cumulată de biogaz determinate experimental

Zile	Vita [Nml]			Porc [Nml]			Abator [Nml]			Mix 1+2+3 [Nml]			Inocul [Nml]		
	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C	4A	4B	4C	5A	5B	5C
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	232.4	220.8	248	380.3	377.3	373.5	239.3	241.3	248.5	381.4	435.8	335.7	189.3	205.6	123.5
2	457.8	418.1	481.1	758.6	751.3	750.5	448.8	445.7	463.4	644.4	783.8	567.4	338.8	365.4	221.8
3	641.5	577	670.8	1065.7	1046.4	1044.8	555.2	543	565.9	836.1	1055	751.2	459.5	494.1	306.8
4	781.6	704	800.8	1285	1267.3	1268.2	607.2	592.4	620.6	944.2	1215	854.8	564.2	606.7	380.5
5	888.1	800.4	904.7	1416.8	1413.7	1406.3	648.9	634.2	666.3	1026.8	1335	930.2	658	708	446.6
6	979.4	879.7	991.8	1525.9	1525	1516.9	688.3	674.2	708.5	1095.1	1435	991.6	743.3	800.3	507.7
7	1066.4	957.6	1075.1	1608.9	1609.2	1603.8	727.3	714.2	751.2	1156.3	1523	1045	823	886.4	568.7
8	1148.3	1032	1151.8	1670.9	1671.2	1668.1	756.4	743.5	781.9	1206.7	1595	1090.8	894.8	964.3	622.3
9	1223.2	1097	1224.8	1731	1730.6	1730.2	783.2	773.3	812.8	1248.3	1657	1133.9	961.3	1038.4	673.4
10	1285.5	1147	1288	1769.4	1768.9	1769.2	808.6	802.9	844.9	1285.7	1713	1169.3	1025	1108.5	721.1
11	1335.4	1185	1339.5	1794.7	1793.6	1797	831.4	835	872.7	1318.5	1759	1195.4	1079	1172	764.8
12	1380	1220	1385.2	1819.3	1817.5	1824.3	858.6	871.8	900.1	1348.3	1804	1212.7	1129	1229.2	806
13	1421.4	1253	1427.3	1844.1	1842.7	1850.2	890.2	906.9	927.2	1376.7	1845	1229.7	1177	1283.3	845.3
14	1457.8	1283	1459.7	1867.8	1865.6	1875.8	920.6	934	953	1400.7	1882	1246.5	1220	1333.1	880.9
15	1488.7	1313	1490.5	1894.6	1892	1904.4	952.3	962.1	985.6	1425.8	1919	1296.9	1261	1380.3	916.2
16	1516	1336	1518.1	1921	1917.9	1930.9	983.3	986.9	1012	1448.3	1951	1323.2	1299	1424.2	946.9
17	1541.1	1358	1544.5	1937.6	1934	1948.5	997.6	997.6	1026	1471.6	1985	1350.1	1335	1465.9	977.8
18	1565.1	1379	1568.5	1954.2	1949.5	1966.2	1003	1008	1040	1495.4	2017	1373	1370	1506.3	1007
19	1587.1	1399	1592	1971.3	1964.7	1983.2	1010	1018	1050	1514.5	2045	1398.4	1405	1544.9	1037
20	1606.8	1417	1613.6	1986.5	1979	1999.6	1013	1025	1059	1527	2065	1417.8	1436	1579.9	1065
21	1612.7	1425	1622.9	1991.8	1981	2005.8			1063	1527.6	2069	1424.1	1449	1594.3	1079

Conform valorilor prezentate în tabelul 18.b, se observă că trendul crescător al producției cumulate de biogaz se păstrează pentru fiecare bioreactor. Prin analiza comparativă a valorilor prezentate în tabelele 18.a și b, se constată că producția cumulată de biogaz variază invers proporțional cu producția zilnică de biogaz. Conform rezultatelor înregistrate pentru proba 3 – apă uzată de abator, se observă că în ziua 21 producția de biogaz este insesizabilă pentru unitatea de măsură debit gaze, moment când s-a hotărât oprirea experimentului.

În baza valorilor prezentate în tabelul 18.b și a formulei de calcul (18) pentru determinarea BMP (vezi cap. 4.1.3) a fost calculată o valoare a potențialului de producție a biogazului pentru fiecare rețetă investigată experimental. Calculele BMP au fost realizate utilizând valoarea rezultată prin efectuarea unei medii aritmetice a rezultatelor experimentale înregistrate pentru fiecare set de bioreactoare. Rezultatele calculelor sunt prezentate în tabelul 19.

Tabelul 19: Calcul potențialului de producere a biogazului BMP

Vita [Nml]		Porc [Nml]		Abator [Nml]		Mix 1+2+3 [Nml]		Inocul [Nml]	
VS_1 [Nml]		VS_2 [Nml]		VS_3 [Nml]		VS_4 [Nml]		VB_5 [Nml]	
1553.6		1992.9		1032.4		1673.6		1374.1	
Vita [g]		Porc [g]		Abator [g]		Mix 1+2+3 [g]		Inocul [g]	
mVS _i _1	mVS _s _1	mVS _i _2	mVS _s _2	mVS _i _3	mVS _s _3	mVS _i _4	mVS _s _4	mVS _i _5	
8.01	4	8	4	3.9	1.95	6.74	3.37	20.8	
Vita [Nml/gVS]		Porc [Nml/gVS]		Abator [Nml/gVS]		Mix 1+2+3 [Nml/gVS]		Inocul [Nml/gVS]	
BMP_1		BMP_2		BMP_3		BMP_4		BMP_5	
256.1		366.09		397.30		364.51		66.06	

Pentru a pune în evidență comparativă valorile calculate pentru potențialul producerii de metan BMP în baza valorilor prezentate în tabelul 19 s-a construit graficul prezentat în figura 54.

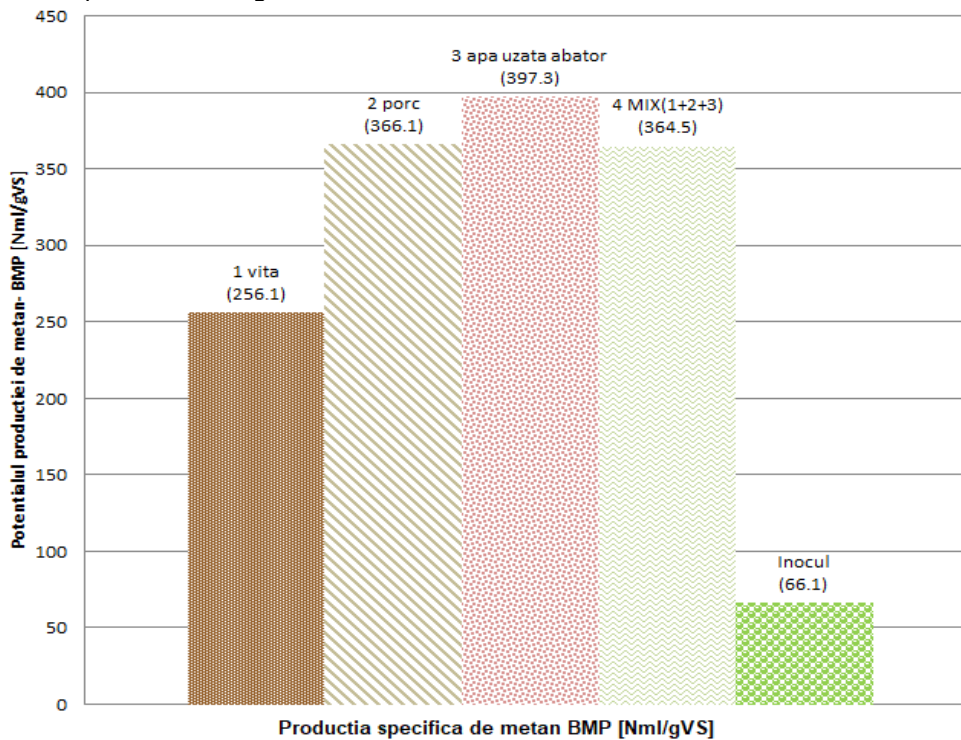


Fig.54. Producția specifică de metan BMP

De menționat faptul că valorile BMP calculate pentru fiecare probă investigată exclud metanul generat de inocul (vezi formula de calcul 18 – cap.4.1.3). După cum se observă în figura 54, valoarea cea mai mare determinată experimental pentru potențialul de producere bio-metan BMP, este înregistrată de proba (3) – apă uzată de abator, urmată de proba (2) și (4) cu valori foarte apropiate, cea mai slabă valoare pentru substrate fiind înregistrată pentru proba (1) vită. Valorile BMP indică capacitatea de producție a bio-metanului a fiecărui substrat, raportat la încărcarea organică conținută de acesta.

Analizând graficul prezentat în figura 54, se observă că materia organică conținută în proba (3) – apă uzată de abator, este cea mai bine asimilată de bacteriile specifice fermentării anaerobe, fapt care se reflectă și în valoarea cea mai mare înregistrată pentru producția zilnică de biogaz (vezi fig.53).

Astfel tragem concluzia că valoarea ridicată BMP nu este influențată de cantitatea de substanță organică conținută în substrate, ci de natura și forma în care materia organică se regăsește în cosubstrate.

Deci, o valoare ridicată a BMP-ului, indică faptul că materia organică din substrat, se regăsește în formă ușor asimilabilă de bacterii, și oferă informații despre calitatea materiei organice conținută în substrat. Acest aspect este unul foarte important în determinarea și stabilirea rețetei optime de fermentare pentru un proces de producere a biogazului la scară industrială. În acest fel, pe baza valorilor BMP, funcție de disponibilitate substratelor într-o anumită locație, se pot calcula cantitățile necesare pentru dimensionarea unui proces de producere a biogazului la scară industrială care să asigure o producție maximă de biogaz.

Prin determinarea valorilor BMP se pot identifica substratele care pot influența în mod pozitiv realizarea unei producții maxime de biogaz. După cum am demonstrat experimental, realizarea amestecului pentru proba (4), în proporțiile determinate prin calcul, prezintă o valoare BMP ridicată, iar sub aspect al producției de biogaz înregistrează cea mai mare valoare comparativ cu celelalte probe. Acest aspect este susținut de prezența substanței organice de calitate și ușor asimilabile ce se regăsește în apa uzată de abator.

Determinarea valorilor BMP este posibilă doar prin determinare experimentală în laborator, datorită faptului că, calitatea deșeurilor organice generate de fluxuri agro-alimentare similare, diferă de la o locație la altă, de la o fermă la alta, fiind foarte multe variabile ce trebuie luate în calcul, fiind foarte greu de realizat identificarea, urmărirea și cuantificarea lor. Acest fapt este pus în evidență și prin rezultatele din campania experimentală realizată, prin rezultatele căreia s-a demonstrat influența hranei asupra calității substratelor.

Conform celor prezentate anterior, prin realizarea campaniei experimentale de producere a biogazului în regim staționar pe stand de laborator, s-a pus în evidență modul de aplicare practică al procedurilor de laborator; s-au caracterizat substratele investigate sub aspect al conținutului de substanță uscată TS și substanță organică VS; s-a prezentat o variantă de realizare a unor fișe de calcul sub formă tabelară pentru setarea parametrilor unui experiment; s-au determinat experimental potențialul de bio-metan BMP și producția specifică de metan pentru materia organică investigată.

5. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

5.1. Evaluarea obiectivelor de cercetare prestabilite

Cercetarea științifică aplicată și experimentală, realizată pe parcursul studiilor doctorale, are la bază valorificarea energetică a biogazului produs prin digestie anaerobă, utilizând deșeurile provenite din industria alimentară și agricultură.

În acest sens au fost investigate experimental în laborator, apele reziduale cu încărcătură organică ridicată, generate în procesul de fabricare a produselor alimentare finite din industria alimentară, pe de o parte; și respectiv apele uzate provenite de la fermele de creștere a animalelor din zootehnie /agricultură. În acest scop s-au stabilit obiectivele urmărite, prezentate în subcapitolul 1.4. Toate obiectivele prestabilite au fost atinse în totalitate, prin:

- Investigarea a 3 instalații de producere a biogazului la scară industrială;
- Abordarea a două studii de caz;
- Realizarea a două campanii experimentale de investigare a producerii biogazului la scară de laborator pe stand experimental, în Laboratorul de Analize de Combustibili Investigații Ecologice și Dispersia Noxelor - UPT; în Laboratorul de Biotehnologii Microbiene și Industriale – USAMVB.

Investigarea instalațiilor de producere a biogazului la scară industrială a fost realizată cu scopul de a înțelege modul de funcționare și modul de operare a proceselor tehnologice reale, prin care s-a consolidat partea teoretică asimilată în prima etapă de cercetare privind stadiul actual al cunoașterii. Fiecare instalație investigată utiliza o tehnologie diferită de producere a biogazului, adaptată la natura materiei organice regăsită în substratele utilizate în proces. În acest sens au fost investigate următoarele instalații:

1. Instalația de producere a biogazului de la stația de epurare a apelor uzate a Municipiului Baia Mare, județul Maramureș – utilizează ca substrat nămolul de epurare;
2. Instalația de producere a biogazului din Orașul Seini, județul Maramureș - utilizează ca substrat gunoiul de grajd;
3. Instalația de producere a biogazului de la Arad, județul Arad – utilizează un amestec de cosubstrate rezultate din agricultură.

Studiile de caz abordează:

1. Ferma de porci Bacova, județul Timiș – investigarea producerii biogazului s-a realizat prin program de calcul dedicat, utilizând dejecțiile de porci generate de procesul de funcționare al fermei zootehnice de reproducere a porcilor;
2. Combinatul Agro Industrial Curtici – ferma Macea, județul Arad – investigarea producerii biogazului s-a realizat pe stand experimental în regim staționar pe stand de laborator, utilizând deșeurile organice rezultate în urma activităților specifice de prelucrare a cărnii, gunoi de grajd vite și dejecții de porci disponibile pe platforma agro industrială.

Pentru efectuarea cercetării experimentale s-au realizat două tipuri de standuri experimentale de ultimă generație fabricate de Bioprocesscontrol, Suedia, după cum urmează:

- În laboratorul USAMVB s-a utilizat instalația de producere a biogazului în regim staționar pe standul experimental Automatic Methane Potential Test System II (AMPTS® II), prin care s-a investigat potențialul de producere a gazului metan prin digestie anaerobă a deșeurilor organice – **pentru studiul de caz de la ferma Macea.**
- În laboratorul UPT s-a utilizat instalația de producere a biogazului în flux cu alimentare continuă pe standul experimental Bioreactor Simulation – BRS, prin care s-a investigat modul de producere continuă a biogazului prin digestie anaerobă, fiind o copie fidelă la scară de laborator, a modului de operare a unei stații industriale de producere biogaz – **pentru activitatea de publicare științifică în reviste de profil.**

Obiectivele stabilite tratează probleme de maximă actualitate privind atât valorificarea energetică a biogazului produs prin digestie anaerobă; cât și tratarea deșeurile provenite din industria alimentară și agricultură, în vederea reducerii impactului de poluare asupra mediului înconjurător. În acest sens au fost vizate apele reziduale cu încărcătură organică ridicată, generate în procesul de producție a produselor alimentare finite din industria alimentară, pe de o parte; și respectiv deșeurile provenite de la fermele de creștere a animalelor din zootehnie /agricultură. Concluziile stabilite în urma cercetării cuprinse în prezenta teză de doctorat se împart în trei categorii principale:

A. Concluzii legate de obiectivele cercetării teoretice

S-au analizat sub aspect al valorificării energetice diferite deșeuri cu proveniență din industria alimentară și agricultură. În acest sens s-a identificat (i) *producerea biogazului prin digestie anaerobă*, care are la bază a substanța organică biodegradabilă conținută în aceste deșeuri (cap. 2.1, 2.2 și 2.3), (ii) *tipurile constructive a instalațiilor de producere a biogazului* funcție de natura deșeurilor organice utilizate (cap. 2.4.1÷2.4.9) și (iii) *metodele de calcul pentru determinarea potențialului de producere a biogazului*, cu program de calcul (cap.4.2) și experimental (cap.4.3).

În acest sens s-a prezentat și aplicat teoretic și experimental metode de producere a biogazului și procedee de calcul pentru estimarea cantității de biogaz produs funcție de conținutul în substanță organică al deșeurilor. Pe baza unei selecții de bibliografie din fluxul actual al cunoașterii, s-a prezentat modul de calcul, parametrii de dimensionare ce trebuie urmăriți și metodologia de abordare, necesare pentru dimensionarea unei instalații de producere și valorificare a biogazului.

Pentru a putea gestiona producția de biogaz prin fermentare anaerobă, s-a analizat compoziția în substanță uscată TS și substanță organică VS, a deșeurilor supuse procesului de valorificare. Astfel au fost prezentate metodele de determinare experimentală în laborator valorilor TS și VS, care reprezintă valori de bază în dimensionare, operarea și controlul procesului de producție a biogazului prin digestie anaerobă.

Totodată, prin prezentarea modului de abordare al calculelor de producere a biogazului, s-a pus în evidență importanța studierii fluxului de generare a deșeurilor organice, pentru a înțelege în mod clar aspectele ce pot influența producția de biogaz.

Ca regulă generală, abordarea pleacă de la faptul că deșeurile cu încărcare organică ridicată sunt încadrate în categoria resurselor alternative de energie, iar valorificarea energetică a biogazului este încadrată ca energie regenerabilă. Procedul tehnologic de producere a biogazului prin digestie anaerobă are la bază activitatea biologică a bacteriilor metanogene, care consumă fracția organică solidă conținută în deșeuri sau fracția diluată în apele uzate.

Se cunoaște faptul că, generarea deșeurilor din industria alimentară este inevitabilă, utilizarea și depozitarea acestora fiind îngreunată de mai mulți factori cum sunt: instabilitatea biologică, potențialului patogen, degradarea biologică generată de activitatea enzimatică ridicată (putrefacție), precum și a conținutului ridicat de apă. Stabilizarea, tratarea și depozitarea deșeurilor organice ridică probleme deosebite atât în domeniul protecției mediului, cât și în cel al dezvoltării durabile. Sub acest aspect s-a prezentat diferitele tipuri de instalații de producere a biogazului, care prezintă metode de valorificare energetică prin producerea biogazului existente la ora actuală.

B. Concluzii legate de obiectivele cercetării aplicate privind producerea biogazului prin digestie anaerobă

Atingerea obiectivelor propuse în ce privește cercetare aplicată se cuantifică prin investigare on-site a trei instalații de producere a biogazului la scară industrială, care tratează deșeuri organice de natură diferită, fiecare având o tehnologie de producție a biogazului diferită una față de alta (cap.3.1, 3.2 și 3.3).

În faza cercetării aplicate au fost analizate fluxurile tehnologice de funcționare a instalațiilor industriale de producere și valorificare a biogazului prin digestie anaerobă. În acest sens s-a realizat o scurtă descriere pentru fiecare instalație analizată, prin care s-a urmărit sintetizarea modului de aplicare precum și justificarea alegerii variantei constructive implementate.

S-a constatat că fiecare instalație de producere și valorificare biogaz, are caracteristici unice de funcționare în ce privește parametrii de proces, aceștia fiind influențați de natura de substanței organice procesate, de modul de colectare a substratelor, de cantitățile disponibile în zonă, de logistica de colectare și depozitare a deșeurilor organice, etc.

Valorile parametrilor de proces pentru instalațiile industriale de producere a biogazului, sunt guvernate de activitatea biologică a „fermelor” de bacterii dezvoltate în bioreactor, astfel pe lângă înțelegerea fluxului tehnologic, este esențială și o bună cunoaștere a activității biologice care stă la baza procesului.

Procesul de digestie anaerobă constă în descompunerea materiei organice prin activitatea microbiologică a bacteriilor metanogene, care dezvoltă în lipsa oxigenului și în condiții de temperatură și umiditate ridicată, întâlnit în mai multe medii naturale. Acest proces poate fi reprodus în instalații tehnologice industriale, în urma căruia rezultă două produse finale: *biogazul și digestatul*.

Bacteriile metanogene consumă materia organică din deșeuri și îi schimbă structura moleculară prin metabolism, transformând fracția organică solidă și cea solubilă în apă în fracție gazoasă sub formă de metan (CH_4), dioxid de carbon (CO_2), mici cantități de hidrogen sulfurat (H_2S) și amoniac (NH_3). Dezvoltându-se în mediu

anaerob, rata de multiplicare a bacteriilor este lentă, astfel doar o mică parte din materia organică consumată este folosită pentru creștere și multiplicare, cea mai mare parte fiind convertită prin metabolism în metan.

Altfel spus, bacteriile anaerobe sunt organisme vii, care consumă cantități semnificative de materie organică pentru a supraviețui. Procesul biologic de conversie a materiei organice solide în biogaz reprezintă stabilizarea deșeurilor organice.

C. Concluzii legate de obiectivele cercetării experimentale privind producerea biogazului prin digestie anaerobă

Întreg procesul tehnologic de producere a biogazului depinde de natura deșeurilor organice, de cantitățile disponibile și raportul de amestec între mai multe co-substrate. Astfel pentru dimensionarea corectă a unei instalații tehnologice de producere a biogazului este foarte importantă o caracterizare energetică a co-substratelor, pe baza căreia să se stabilească o rețetă optimă de amestec.

Caracterizarea energetică a co-substratelor se raportează la randamentul specific în producția de metan generat de cantitatea de substanță uscată care se regăsește în natura substanțelor din care este format deșeurul.

Estimarea corectă a producției specifice de metan, impune o analiză în laborator, care să pună în *evidență încărcarea organică a deșeurilor*. Pentru determinarea încărcării organice, fiecare tip de deșeu necesită o analiză individuală, care presupune determinarea substanței uscate TS și a substanței volatile VS.

Dimensionarea și alegerea tipului de bioreactor pentru valorificarea energetică prin producere de biogaz a diverselor tipuri de deșuri organice, se realizează în baza capacității de producere a biogazului BMP ca urmare a activității coloniilor de bacterii metanogene.

În acest scop a fost determinat experimental în laborator potențialul metanogen biochimic (biochemical methane potential - BMP) și activitatea metanogenă specifică (specific methanogenic activity - SMA). A fost utilizat standul Automatic Methane Potential Test System II (AMPTS® II), prin care s-au determinat valorile parametrilor legați de producția specifică de biogaz, și de capacitatea de conversie a substanței organice în gaz metan prin digestie anaerobă în condiții de laborator, informații de bază în ce privește valorificarea energetică a deșeurilor organice.

Pentru activitate de publicare științifică în reviste de specialitate, a fost folosit un stand experimental pentru producerea biogazului în flux cu alimentare continuă, BioReactor Simulator – prin care s-au determinat valori ale parametrilor de operare a unei stații de biogaz, cum sunt capacitatea organică de încărcare zilnică (organic loading rate – OLR) și timpul de retenție hidraulică (hydraulic retention time - HRT).

Prin realizarea campaniei experimentale de producere a biogazului în regim staționar pe standul de laborator (AMPTS II), s-a pus în evidență modul de aplicare practică al procedurilor de laborator; s-au caracterizat substratele investigate sub aspect al conținutului de substanță uscată TS și substanță organică VS; s-a prezentat o variantă de realizare a unor fișe de calcul sub formă tabelară pentru setarea parametrilor unui experiment; s-au determinat experimental potențialul de bio-metan BMP și producția specifică de metan pentru materia organică investigată.

5.2. Concluzii privind rezultatelor cercetării efectuate

În urma activității de cercetare teoretică, aplicată și experimentală desfășurate pe parcursul studiilor doctorale pe tema valorificării energetice a deșeurilor din industria agricolă și alimentară, se conturează următoarele concluzii:

- Produsele finite din industria alimentară sunt caracterizate de o valoare ridicată a raportului dintre cantitatea de deșeu specific și produs finit, fiind foarte dificilă scăderea cantității deșeurilor specifice cu menținerea intactă a calității produsului.
- Generarea deșeurilor din industria alimentară este inevitabilă, utilizarea și depozitarea acestora fiind îngreunată de mai mulți factori cum sunt: instabilitatea biologică, potențialului patogenic, degradarea biologică generată de activitatea enzimatică ridicată (putrefacție), precum și a conținutului ridicat de apă. Stabilizarea, tratarea și depozitarea deșeurilor organice ridică probleme deosebite atât în domeniul protecției mediului, cât și în cel al dezvoltării durabile.
- Deșeurile provenite din industria agricolă și alimentară, au încărcare organică ridicată și pot fi exploatate energetic foarte eficient prin utilizarea unor tehnologii de producere și valorificare a biogazului prin digestie anaerobă.
- Conceptul „Waste-to-Energy” utilizează deșeurile organice ca sursă alternativă de energie, prin valorificarea potențialului lor de a produce biogaz; și oferă soluții fezabile pentru implementare la scară industrială foarte eficiente.
- Procesele de valorificare energetică din deșeurile organice, au la bază utilizarea biogazului produs în urma descompunerii fracției organice sub acțiunea bacteriilor metanogene specifice (care produc metan prin activitatea metabolică).
- Procesul de descompunere a fracției organice sub acțiunea bacteriilor este cunoscut sub numele de fermentare sau digestie. Funcție de mediul în care se desfășoară fermentarea se disting două tipuri principale de fermentare: aerobă când procesul de descompunere are loc în prezența oxigenului; și anaerobă când procesul de descompunere are loc în lipsa oxigenului.
- Procesul de fermentare anaerobă este considerat optim din punct de vedere al raportului energie produsă/consumată; permite tratarea unei game variate de deșeuri organice; poate fi automatizat complet și produce un debit de biogaz în regim constant.
- Faptul că procesul de fermentare anaerobă poate fi automatizat complet, astfel încât acesta să producă un debit constant de biogaz, a condus la dezvoltarea mai multor tehnologii de valorificare energetică a biogazului aplicate la scara industrială. În plus, reziduurile rezultate în urma procesului de fermentare anaerobă pot fi folosite ca și fertilizator în agricultură, închizând astfel ciclul de viață al produselor din industria alimentară.

- Din punct de vedere constructiv instalațiile de producere și valorificare a biogazului se disting în funcție de tipul digesterului. Prin digester sau bioreactor se înțelege spațiul în care se desfășoară procesul biologic de conversie a compușilor organici sub acțiunea microorganismelor, și eliberarea produșilor de fermentație sub formă de digestat și biogaz.
- Biogazul este un amestec de gaze format în principal din metan CH_4 , dioxid de carbon CO_2 , hidrogen sulfurat H_2S și amoniac NH_3 . Funcție de condițiile de digestie anaerobă, de tipul și natura materiei organice, ponderea concentrației biogazului este de 50-85%vol CH_4 , 50-15%vol CO_2 , cantitățile de H_2S și NH_3 fiind neglijabile de sub 1%.
- Digestatul este materia organică procesată de bacterii, stabilizată din punct de vedere al încărcării organice și patogenice, care se pretează ca îngrășământ în agricultură fiind bogat substanță nutritivă.
- Configurația unui bioreactor este un proces complex, care are la bază principii de inginerie specifice fiecărui tip constructiv. Alegerea tipului constructiv de bioreactor este în strânsă legătură cu natura deșeurilor organice care urmează să fie valorificat/procesat în instalație.
- Pentru determinarea încărcării organice, fiecare tip de deșeu necesită o analiză individuală, care presupune determinarea substanței uscate TS și a substanței volatile VS.
- Potențialul de producere a biometanului BMP indică capacitatea de producție a gazului metan a unei deșeu, raportat la substanța organică VS conținută de acesta.
- Dimensionarea și alegerea tipului de bioreactor pentru valorificarea energetică prin producere de biogaz a diverselor tipuri de deșeurilor organice, se realizează în baza capacității de producere a metanului BMP.
- Valoarea ridicată BMP nu este influențată de cantitatea de substanță organică conținută în substrate, ci de natura și forma în care materia organică se regăsește în cosubstrate.
- Valoarea ridicată a BMP-ului, indică faptul că materia organică din substrat, se regăsește în formă ușor asimilabilă de bacterii, și oferă informații despre calitatea materiei organice conținută în substrat. Acest aspect este unul foarte important în determinarea și stabilirea rețetei optime de fermentare pentru un proces de producere a biogazului la scară industrială.
- Prin determinarea valorilor BMP se pot identifica substratele care pot influența în mod pozitiv realizarea unei producții maxime de biogaz.

5.3. Direcțiile deschise pentru continuarea cercetărilor

În urma cercetării științifice efectuate în prezenta teză de doctorat privind valorificarea energetică a deșeurilor din industria alimentară s-au abordat două

subiecte principale legate de conversia a materiei organice conținută în gaz metan; respectiv modul de abordare pentru caracterizarea energetică a diferitelor tipuri de deșeuri cu conținut de substanță organică cu scopul de a determina potențialul de producere a biometanului BMP.

Se consideră că direcțiile de cercetare rămase deschise pentru primul subiect abordat sunt legate de eficientizarea gradului de degradare biologică ce caracterizează substanța organică din deșeuri.

S-a ajuns la această concluzie prin investigarea și analiza în laborator trei tipuri de substraturi generate de o platformă industrială agroalimentară. După cum rezultă prin analiza valorilor BMP determinate experimental, se constată că forma în care se prezintă substanța organică în deșeu, influențează producția specifică de biogaz prin gradul de asimilare al fracției organice de către bacteriile specifice procesului de fermentare anaerobă.

S-a constatat că substraturile care conțin o formă dizolvată în apă a fracției organice prezintă cea mai ridicată valoare a potențialului de producere biogaz BMP și totodată sunt foarte rapid asimilate de bacterii; iar la polul opus sunt substraturile cu o structură solidă cu conținut ridicat de lignină, ceea ce face ca fracția organică să devină pentru bacteriile specifice.

La ora actuală există metode de pretratare a acestor tipuri de deșeuri, care prin prelucrare mecanică și/sau termică urmate de o fază de prelucrare chimică enzimatică sau combinații ale acestora, modifică structura moleculară a substanței organice care compun deșeurile, facilitând accesul bacteriilor la o substanță modificată molecular, care este mai ușor asimilabilă.

Prelucrarea mecanică aferentă acestor procedee implică operațiuni de tocare, mărunțire, afânare; prelucrarea termică presupune tratare cu abur a deșeurilor care necesită un consum energetic și mai ridicat în raport cu prelucrare mecanică. După aceste faze de prelucrare urmează faza de tratare chimică unde sunt utilizate diferite tipuri de enzime, care au rolul de a modifica structura moleculară a substanțelor care alcătuiesc deșeurile.

Având în vedere acest aspect, rămân deschise spre cercetare metodele de pretratare enzimatică-biologică a substraturilor greu asimilabile pentru bacteriile metanogene. Un aspect foarte important în utilizare enzimelor este faptul că acestea trebuie să fie compatibile cu bacteriile specifice fermentării anaerobe, care sunt de altfel foarte sensibile la factorii poluatori.

Un alt aspect care rămâne deschis spre cercetare este cel legat de creșterea concentrației de metan în biogazul produs prin digestie anaerobă, care este puternic influențat de activitatea metabolică a bacteriilor.

În altă ordine de idei, partea de cercetare biologică specifică dezvoltării și cultivării diferitelor tipuri de bacterii, încă nu este pe deplin cunoscută, existând posibilitatea dezvoltării unor bacterii hibride care să poată substitui fazele de prelucrare prin tratare mecanică și/sau termică.

Având în vedere cele prezentate mai sus, ca și concluzie finală tehnologiile de valorificare energetică care implică activitate biologică sunt în continuă dezvoltare, fiind o temă de cercetare intens dezbătută la nivel mondial.

5.4. Contribuții proprii privind tema de cercetare abordată

Pornind de la cercetarea științifică teoretică efectuată pe parcursul studiilor de doctorat și nu numai, s-au abordat mai multe metode de cercetare aplicată și

experimentală pentru a putea face o evaluare pertinentă, critică și actualizată a posibilităților de valorificare energetică a deșeurilor organice provenite din industria agro-alimentară, precum și de minimizare a impactului asupra mediului înconjurător, evaluare pe baza căreia se pot trage concluzii pertinente.

Tema de cercetare experimentală abordată, răspunde la una din problemele de actualitate ale societății din zilele noastre, legate de procesarea și tratarea deșeurilor organice provenite din industria agro-alimentară. Fabricarea produselor alimentare implică un consum energetic ridicat și generează cantități semnificative de deșeuri organice cu impact asupra mediului.

Legislația europeană în vigoare și fondurile europene puse la dispoziție pentru aplicații și proiecte cu tematică similară cu cea abordată în studiile doctorale, pun în evidență că tema de cercetare aleasă se încadrează în topica actuală de cercetare dezbătută la nivel național și internațional.

Sub acest aspect, valorificarea energetică prin exploatarea biogazului obținut din fermentare/digestie anaerobă, reprezintă o soluție fezabilă și sustenabilă pentru producerea energiei regenerabile din deșeurile organice provenite din industria alimentară. Conceptul „Waste-to-Energy” utilizează deșeurile organice ca sursă alternativă de energie, prin valorificarea potențialului lor de a produce biogaz.

În majoritatea țărilor industrializate, se pune accent pe soluțiile sustenabile de management al deșeurilor cu valorificare energetică din surse regenerabile. Procesele de valorificare energetică din deșeurile organice, presupun utilizarea biogazului produs în urma descompunerii fracției organice sub acțiunea bacteriilor metanogene specifice (care produc metan prin metabolism).

Conceptul „Waste-to-Energy” utilizează deșeurile organice ca sursă alternativă de energie, prin valorificarea potențialului lor de a produce biogaz. Energia produsă prin utilizarea biogazului este considerată „energie regenerabilă”, deci generează certificate de CO₂ care pot fi comercializate, conform protocolului de la Kyoto pentru reducerea GES.

În România, deși sunt investiții vizibile în implementarea a unor capacități noi de producere a biogazului, din păcate nu se utilizează potențialul disponibil în zonă. Deșeurilor organice sunt considerate sursă regenerabilă de energie și ar trebui prioritizate ca investiții la nivel național.

Dacă se face o analiză a modului de exploatare energetică a deșeurilor provenite din industria agro-alimentară pentru țările cu o economie sănătoasă, se observă că în aceste state (Germania, Austria, Suedia, Danemarca, Franța, U.K) sunt lideri în ce privește construcția instalațiilor de producere a biogazului, de pe teritoriul Europei. Acest lucru ar trebuie să ne pună semne de întrebare, și să profităm de „know-how”-ul acestor state, implementând și în țara noastră astfel de unități de valorificare energetică. În plus noile norme europene impun și stimulează tratarea și valorificarea energetică a deșeurilor cu încărcare organică provenite din diferite fluxuri agro-alimentare.

În lucrarea de față au fost tratate teme legate de tratarea și valorificare deșeurilor provenite din industria agro-alimentară, prin cercetarea a trei aspecte principale:

1. Calculul și determinarea parametrilor legați de potențialul producerii de biometan prin fermentare anaerobă;
2. Valorificarea energetică a deșeurilor provenite din industria agro-alimentară;
3. Investigarea experimentală pe stand de laborator a deșeurilor cu încărcare organică ridicată.

În acest context, s-au investigat trei instalații de producere a biogazului la scară industrială, care utilizează materie organică diferită și procese tehnologice diferite. S-au analizat și identificat două surse generatoare de deșeuri organice unde se pretează implementarea unor instalații de valorificare energetică a biogazului; una fiind ferma zootehnică de la Bacova, jud. Timiș și cealaltă Combinatul Agro Industrial Curtici, jud Arad.

Contribuțiile referitoare la tema de cercetare prezentată, sunt următoarele:

A. Cu referire la cercetarea științifică teoretică:

- Întocmirea unei scurte sinteze (în baza fluxului internațional al cunoașterii pe ultimii 10 ani, în majoritate) privind metodele de valorificare energetică a deșeurilor organice din industria agro-alimentară prin producere de biogaz (cap. 1.2, 1.3, 2.1);
- Descrierea și prezentarea modului de conversie a materiei organice sub acțiunea metabolică a bacteriilor de fermentare anaerobă, sintetizarea celor patru etape care guvernează procesul de formare a biogazului (cap. 2.2);
- Caracterizarea sub aspect al conținutului de substanță uscată TS și substanță organică VS a deșeurilor pretabile pentru utilizare în procesele de valorificare energetică prin producere de biogaz, parametrii utilizați pentru dimensionarea unei instalații la scară industrială (cap. 2.3);
- Sintetizarea factorilor de proces principali care influențează producerea biogazului într-o instalație de valorificare energetică a biogazului (cap. 2.4);
- Prezentarea principiilor de funcționare a instalațiilor de producere și valorificare biogaz, funcție de tipul și natura materiei organice care alcătuiește substratele utilizate în procesul de valorificare energetică (cap. 2.4.1 ÷ 2.4.9);
- Prezentarea modului de funcționare a diferitelor tipuri de standuri experimentale la scară de laborator utilizate pentru investigarea producerii de biogaz prin fermentare anaerobă; fiind prezentate atât modelele de producere a biogazului în regim staționar, cât și cele de producere a biogazului în flux cu alimentare continuă (cap. 4.1.1, 4.1.2);

B. Cu referire la cercetarea științifică aplicată:

- Investigarea stației de producere a biogazului de la stația de epurare ape uzate Baia Mare, jud. Maramureș, unde se utilizează ca substrat nămolul rezultat în urma procesului de epurare (cap. 3.1);
- Investigarea stației de producere a biogazului din Orașul Seini, jud. Maramureș, unde se utilizează ca un amestec de cosubstrate provenite din activitățile zootehnice de creștere a animalelor (cap. 3.2);

- Investigarea stației de producere a biogazului Arad, jud. Arad, unde se utilizează ca un amestec de cosubstrate provenite din activitățile agricole de cultivare a cerealelor și a plantelor energetice (cap. 3.3);
- Realizarea studiului de caz 1 pentru ferma zootehnică de reproducere și creștere a porcilor de la Bacova, jud. Timiș, unde s-a utilizat un program de calcul pentru dimensionarea unei unități de producere a biogazului (cap.4.2);

C. Cu referire la cercetarea științifică experimentală pe stand în laborator:

- Prezentarea, descrierea modului de setare a parametrilor pentru standul de laborator utilizat în campania experimentală pentru investigarea producerii biogazului în regim staționar Automatic Methane Potential Test System II - AMPTS II, fabricat de Bioprocess Control Sweden AB (cap.4.1.3);
- Prezentarea, descrierea modului de setare a parametrilor pentru standul de laborator utilizat în campania experimentală pentru investigarea producerii biogazului în flux cu alimentare continuă BioReactor Simulator - BRS, fabricat de Bioprocess Control Sweden AB (cap.4.1.4);
- Realizarea studiului de caz 2 pentru deșeurile disponibile la Combinatul Agro Industrial Curtici, ferma Macea, jud. Arad, unde s-a utilizat standul experimental la scară de laborator AMPTS II, fiind investigate trei tipuri de deșeuri organice, (cap.4.3);
- Întocmirea unor fișe de calcul sub formă tabelară, realizate în baza protocoalelor de laborator stabilite prin standarde, care sunt necesare activității de laborator pentru desfășurarea unor campanii experimentale de investigare a deșeurilor organice pentru producerea biogazului (cap.4.3.2 și 4.3.3).
- Realizarea unor determinări experimentale (cu criteriu de atestare a capacității de producere a biogazului) pentru determinarea potențialului de producere a biogazului a deșeurilor cu încărcare organică, precum și prelucrarea, analiza și interpretarea rezultatelor (cap. 4.3.4).
- Analiza și interpretarea datelor experimentale obținute pe stand în laborator asupra potențialului de producere a biometanului BMP (cap. 4.3.4).

Bibliografie

1. Sotiris I. Patsios, Konstantinos N. Kontogiannopoulos, Sultana T. Mitrouli, Konstantinos V. Plakas, Anastasios J. Karabelas, „Characterisation of Agricultural Waste Co- and By-Products”, May 2019, Available: www.AgroCycle.eu
2. Eoin White, Thomas Oldfield, „Holistic analysis of Agricultural Waste, Co-products and By-products (AWCB) chains and logistics of AWCB valorisation systems”, May 2019, Available: www.AgroCycle.eu
3. Tom Oldfield, Sotiris I. Patsios, Lisa Bigozzi, „Report on EU regulatory frameworks for AWCB management, environmental, and potential health risks”, May 2019, Available: www.AgroCycle.eu
4. Lujia Han, Xian Liu, Zengling Yang, Longjia Chen, Guangqun Huang, Weihua Xiao, „Report on the main agricultural value chains in China and corresponding regulations”, May 2019, Available: www.AgroCycle.eu
5. Wenhao Chen, Thomas Oldfield, Nicholas M. Holden, „Integrated Sustainability Assessment Framework”, May 2019, Available: www.AgroCycle.eu
6. Sophie Mason and Dr Caitlin Burns, NNFCC, „Biomass Supply Chain Evaluation”, May 2019, Available: www.AgroCycle.eu
7. Yue Han, „Laboratory studies on the temperature-phased anaerobic digestion of mixtures of primary and waste activated sludge”, 1997 Iowa State University, Available: Digital Repository @ Iowa State University
8. Yuling Chen, Benjamin Röbler, Simon Zielonka, Anna-Maria Wonneberger and Andreas Lemmer, „Effects of Organic Loading Rate on the Performance of a Pressurized Anaerobic Filter in Two-Phase Anaerobic Digestion”, *Energies* 2014, Available: www.mdpi.com/journal/energies
9. Hussain, Shashi Kant Dubey, „Specific methanogenic activity test for anaerobic degradation of influents”, 23 June 2015, Available: springerlink.com
10. A. Nielfa, R. Cano, M. Fdz-Polanco, „Theoretical methane production generated by the co-digestion of organic fraction municipal solid waste and biological sludge”, 20 October 2014, Available: [Creative Commons — Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Unported — CC BY-NC-ND 3.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/)
11. Pablo César Rodríguez Carmonaa, Tomasz Piechotaa, Robert Mazura, „Influence of Added Co Substrates, Technical and Technological Factors on the Fermentation Process of Municipal Wastewater Sludge”, 2013, Available: www.sciencedirect.com
12. Wei Wu, „Anaerobic Co-digestion of Biomass for Methane Production: Recent Research Achievements”, 2007, Available: www.semanticscholar.org
13. Radziah Wahid, „BIOGAS POTENTIALS FROM MIXED SUBSTRATES: EFFECT OF PRE-TREATMENT AND CO-DIGESTION”, 2014, Available: <http://www.eng.au.dk>
14. M. R. Sebola , H. B. Tesfagiorgis, E. Muzenda, „Methane Production from Anaerobic Co-digestion of Cow Dung, Chicken Manure, Pig Manure and Sewage Waste”, July 2015, Available: www.researchgate.net/publication/281836756
15. Giovanna Catalina Croxatto Vega, „Environmental Impacts of Alternative Co-substrates for Biogas Production”, 2012, Available: <http://stud.epsilon.slu.se>

16. Y. Kuang, M. Lepesteur, P. Pullammanappallil and G.E. Ho, „Influence of co-substrates on structure of microbial aggregates in long-chain fatty acid-fed anaerobic digesters” 2001, Available: [Influence of co-substrates on structure of microbial aggregates in long-chain fatty acid-fed anaerobic digesters - Kuang - 2002 - Letters in Applied Microbiology - Wiley Online Library](#)
17. M. Kuglarzand B. Mrowiec, „CO - DIGESTION OF MUNICIPAL BIOWASTE AND SEWAGE SLUDGE FOR BIOGAS PRODUCTION”, 2009, Available: [\(PDF\) CO-DIGESTION OF MUNICIPAL BIOWASTE AND SEWAGE SLUDGE FOR BIOGAS PRODUCTION \(researchgate.net\)](#)
18. Funda Cansu Ertem, „IMPROVING BIOGAS PRODUCTION BY ANAEROBIC DIGESTION OF DIFFERENT SUBSTRATES - Calculation of Potential Energy Outcomes”, 2011, Available: [Improving Biogas Production by Anaerobic Digestion of Different Substrates: Calculation of Potential Energy Outcomes | Request PDF \(researchgate.net\)](#)
19. Giovanni Esposito, Luigi Frunzo, Flavia Liotta, Antonio Panico and Francesco Pirozzi, „Bio-Methane Potential Tests To Measure The Biogas Production From The Digestion and Co-Digestion of Complex Organic Substrates”, 2012, Available: [Bio-Methane Potential Tests To Measure The Biogas Production From The Digestion and Co-Digestion of Complex Organic Substrates | Request PDF \(researchgate.net\)](#)
20. M.Sc. Chaoran Li, „Wet and Dry Anaerobic Digestion of Biowaste and of Co-substrates”, 2015, Available: <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000046184>
21. Adrian Eugen Cioblă1, Gabriela Alina Dumitrel, Francisc Popescu, Gavrilă Trif - Tordai, Delia Calinoiu, Aleksandar Đurić, Dorin Lelea, Niculina Pop, „Comparative study for the degradation process on two types of biomass at laboratory scale”, October 2014, International Conference „ECOLOGY OF URBAN AREAS 2014—, 9-10th October 2014, Zrenjanin, Serbia
22. Ioan Neamț, „CERCETĂRI TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND POSIBILITATEA VALORIFICĂRII ENERGETICE A NĂMOLULUI PROVENIT DIN STAȚIILE DE EPURARE MUNICIPALE”, 2014, Editura Politehnica – Timișoara, 2014
23. Ministerul Apelor si Padurilor, „Instalația de Biogaz aferentă Stației de Epurare a Apelor Uzate din Baia Mare”, 2016, Guvernul Romaniei, Unitatea de management al proiectului „controlul integrat al poluării cu nutrienți
24. Naiana Milea, „energie verde din gunoi de grajd”, 2018, Biogaz Seini
25. Tehnologii de valorificare a potențialului energetic din biomasă - Suport curs, 2010, Universitatea Tehnică Cluj
26. Prof.univ.dr.ing. Lucian Gavrilă, „Gestionarea, valorificarea si minimalizarea deseurilor industriei alimentare”, 2007, Suport curs, Facultatea de Inginerie Bacau
27. Klein E. Iilejei, Chad Martin, and Don Jones, „Basics of energy Production through Anaerobic digestion of Livestock Manure”, 2015, Available: www.ces.purdue.edu/bioenergy
28. Kryvoruchko V., Amon T., Amon B., Gruber L.,Schreiner M., Zolitsch W., „Influence of nutrient composition on methane production from animal manures and co-digestion with maize and glycerine”, January 2004, Available: <https://www.researchgate.net/publication/287596742>
29. Giovanni Esposito, Luigi Frunzo, Flavia Liotta, Antonio Panico and Francesco Pirozzi, „Bio-Methane Potential Tests To Measure The Biogas Production From The Digestion and Co-Digestion of Complex Organic Substrates”, 2012, Available: The Open Environmental Engineering Journal, 2012, 5, 1-8

30. Funda Cansu Ertem, „Improving biogas production by anaerobic digestion of different substrates - calculation of potential energy outcomes”, 2011, Suport curs, Halmstad University
31. Boris Ćosić, Tomislav Pukšec, Goran Krajačić, Neven Duić, Nataša Markovska, Hrvoje Mikulčić, Milan Vujanović, Robert Bedoić, „Database/inventory of the current agricultural value chains - Animals AWCB value chain”, May 2019, Available: www.AgroCycle.eu
32. Boris Ćosić, Tomislav Pukšec, Goran Krajačić, Neven Duić, Nataša Markovska, Hrvoje Mikulčić, Milan Vujanović, Robert Bedoić, „Database/inventory of the current agricultural value chains - Cereals AWCB value chain”, May 2019, Available: www.AgroCycle.eu
33. Adnan Z. Amin, „Renewable Energy Prospects for the European Union”, February 2018, International Renewable Energy Agency
34. Comisia europeană, Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, Decizia de punere în aplicare (UE) 2017/302 A COMISIEI din 15 februarie 2017 de stabilire a concluziilor privind cele mai bune tehnici disponibile (BAT), în temeiul Directivei 2010/75/UE a Parlamentului European și a Consiliului, pentru creșterea intensivă a păsărilor de curte și a porcilor
35. Doctorand Ing. Teleky Bernadette-E, „Valorificarea energetică prin producție de hidrogen a fermentării anaerobe a biomasei cu lignoceluloză”, 2015, Teza de doctorat, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
36. Hong-Wei Yen a, David E. Brune, „Anaerobic co-digestion of algal sludge and waste paper to produce methane”, January 2006, Available: www.sciencedirect.com
37. Fatma Yasemin Cakir and Michael K. Stenstrom, „Anaerobic treatment of low strength wastewater”, 2017, Available: www.sciencedirect.com
38. Peter G. Stroot , Katherine D. McMahon, Roderick, Mackie and Lutgarde Raskin, „Anaerobic codigestion of municipal solid waste and biosolids under various mixing conditions} i. digester performance”, 2001, Available: www.sciencedirect.com
39. Nathalie Bachmann, „Sustainable biogas production in municipal wastewater treatment plants”, 2015, British Library
40. T.Z.D. de Mes, A.J.M. Stams, J.H. Reith and G. Zeeman, „Methane production by anaerobic digestion of wastewater and solid wastes”, 2020, Available: www.sciencedirect.com
41. H&S ECO CONSULT, „raport studiul de evaluare a impactului asupra mediului”, Martie 2015, Available: www.anpm.ro
42. Project Manager: Robert Freygang, „Waste prevention throughsewage sludge reuse for efficient energygeneration at waste water treatment sites ”, 2020, Available: Project's website (DE/EN/FR/PL)
43. Karlygash Korazbekova, Zhumabek Bakhov & Botagos Mutaliyeva, „Influence of Co-substrates for the Methane Production Rate Kinetics in Anaerobic Fermentation of Pig Slurry”, May 2015, Available: Canadian Center of Science and Education
44. Martin, Jerry Hughes. A, „ A New Method to Evaluate Hydrogen Sulfide Removal from Biogas”, 2008, Faculty of North Carolina State University
45. Fabian Monnet, „An Introduction to Anaerobic Digestion of Organic Wastes”, November 2003, Available: www.semanticscholar.org

46. KARDOS, L., JUHÁSZ, Á. , PALKÓ, GY. , OLÁH, J. , BARKÁCS, K., ZÁRAY, GY., „Comparing of mesophilic and thermophilic anaerobic fermented sewage sludge based on chemical and biochemical tests”, October 2011, Available: <http://www.ecology.uni-corvinus.hu>
47. H&S ECO CONSULT, „Raport studiul de evaluare a impactului asupra mediului”, Martie 2015, Available: www.anpm.ro
48. Ministerul mediului si gospodarii apelor din romania agentia nationala de protectia mediului, „Prevenirea si Controlul Integrat al Poluarii (IPPC) Documentul de Referinta asupra Celor mai bune tehnici disponibile in cresterea intensiva a pasarilor si porcilor”, iulie 2003, Available: www.anpm.ro
49. F. R. Montgomery Günther Bochmann, „Pretreatment of feedstock for enhanced biogas production”, 2014, Technical Brochure, Available: British Library
50. ***VDI 4630, „Fermentation of organic materials Characterisation of the substrate, samplig, collection of material data, fermentation tests”, april 2006
51. *** Operation and Maintenance Manual - BRS BioReactor Simulator, Version 3.0, December 2017, Bioprocess Control Sweden AB.
52. Ministerul Apelor si Padurilor „Programul de Diseminare a Tehnologiei de Producere a Biogazului prin Utilizarea de Deșeuri Provenite de la Animale”, Suport de curs, 2016, Available: www.mmediu.ro
53. Dennis A. Burke P.E., „Dairy Waste Anaerobic Digestion Handbook”, June 2001, Available: www.makinngenerny.com
54. G., Stensel, H., Tsuchihashi, R. Burton, F., „Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery, 5th ed. McGraw-Hill Education, New York, US. „Fixed-Film Reactors in Wastewater Treatment”, 2014, Available: www.worldscientific.com
55. Matia Mainardis, Marco Buttazzoni and Daniele Goi, „Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Technology for Energy Recovery: A Review on State-of-the-Art and Recent Technological Advances”, May 2020, Available: www.mdpi.com
56. Raúl Rodríguez Gómez, „UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET REACTOR: MODELLING”, 2011, Thesis in Chemical Engineering Stockholm, Sweden
57. Elizabeth Tilley, Lukas Ulrich, Christoph Lüthi, Philippe Reymond and Christian Zurbrügg, „Compendium of Sanitation Systems and Technologies”, 2014, Available: <https://iwa-network.org>
58. Huong Nguyen Scott Turgeon Joshua Matte, „The Anaerobic Baffled Reactor”, March 2010, Available: <https://www.semanticscholar.org>
59. Rahul Krishna B., „Design approach and classification of anaerobic baffled reactor for wastewater treatment -A Review”, February 2019, Available: www.researchgate.net/publication/334708147_Design_approach_and_classification_of_anaerobic_baffled_reactor_for_wastewater_treatment_-_A_Review
60. ***H andbook on decentralised wastewater treatment module, 2017, Available: https://smartnet.niuu.org/sites/default/files/resources/booklet_on_technology_options_dewats.pdf
61. *** EPA/600/R-11/088 „Principles of Design and Operations of Wastewater Treatment Pond Systems for Plant Operators, Engineers, and Managers”, August 2011, Available: www.epa.gov/nrmrl

62. Ruile, S.; Schmitz, S.; Mönch-Tegeder, M.; Oechsner, H. Degradation efficiency of agricultural biogas plants-a full-scale study. *Bioresour. Technol.* 2015, 178, 341–349.
63. Simeon Olatayo Jekayinfa, „Value-addition to agriculture in the use of agricultural residues as feedstock in the production of bio-fuels”, July 2014, www.researchgate.net/publication/266327276_Design_Construction_and_Testing_of_a_Plug_Flow_Digester_for_Converting_Agricultural_Residues_to_Biogas
64. Available: Katherine Helène Klavon PE, „Design and economics of plugflow, small-scale anaerobic digesters for temperate climates”, 2011, Master of Science, Faculty of the Graduate School of the University of Maryland
65. ***EPA 430-B-20-001 AgSTAR Project Development Handbook, Available: <https://www.epa.gov/agstar/agstar-project-development-handbook>
66. Dennis A. Burke, „Application of the AGF (Anoxic Gas Flotation) Process”, January 2000, Available: <https://www.researchgate.net/publication/228501171>
67. ***EPA [Recovering Value from Waste: Anaerobic Digester System Basics | US EPA](https://www.epa.gov/agstar), „Recovering Value from Waste Anaerobic Digester System Basics”, December 2011, Available: <https://www.epa.gov/agstar>
68. J. Bovendeur, „Fixed-Biofilm Reactors applied to Waste Water Treatment and Aquacultural Water Recirculating Systems”, Nov 1989, Available: www.semanticscholar.org
69. S.C Vital S.A, Baia Mare, „Stația de epurare a apelor uzate Baia Mare”, Septembrie 2021, Available: www.vitalmm.ro
70. Popescu Ghe. Ileana Intreprindere Individuala, „Instalație pilot pentru producerea biogazului Oraș Seini, județul Maramureș Raportul Privind Impactul Asupra Mediului”, Iulie 2013, Available: <http://www.mmediu.gov.ro/>
71. Bioprocess Control Sweden AB, „AMPTS II Automatic Methane Potential Test System Operation and Maintenance Manual”, July 2011, Available: <https://bpcinstruments.com/>
72. Bioprocess Control, „BRS BioReactor Simulator Operation and Maintenance Manual”, December 2017, Available: <https://webshop.bpcinstruments.com/>
73. Benedikt Hülsemann 1, Lijun Zhou 1 , Wolfgang Merkle 1 , Juli Hassa 2 , Joachim Müller 3 and Hans Oechsner, „Biomethane Potential Test: Influence of Inoculum and the Digestion System”, Available: https://www.researchgate.net/publication/318111111_Biomethane_Potential_Test:_Influence_of_Inoculum_and_the_Digestion_System
74. Adriana WÄCHTER , Reinhold WÄCHTER, Ioana IONEL , Daniel VAIDA, „Energy Recovery From Organic Waste”, Available: <https://www.scientificbulletin.upb.ro>
75. Terrell M. Thompson, Brent R. Young, Saeid Baroutian „Enhancing biogas production from Caribbean pelagic Sargassum utilising hydrothermal pretreatment and anaerobic co-digestion with food waste”, February 2021, Journal Pre-proof, Available: <https://www.sciencedirect.com>
76. Noor Yusuf, Fares Almomani, „Recent advances in biogas purifying technologies: Process design and economic considerations”, November 2022, Journal Pre-proof, Available: <https://www.sciencedirect.com>
77. Xionghui Fei , Wenbao Jia, Ting Chen, Yongsheng Ling, „Life-cycle assessment of two food waste disposal processes based on anaerobic digestion in China”, January 2021, *Journal of Cleaner Production*, Available: www.elsevier.com

78. Qin Xiao, Jinguang Hu, Mei Huang, Fei Shen, Dong Tian, Yongmei Zeng, Moon-Ki Jang, „Valorizing the waste bottom ash for improving anaerobic digestion performances towards a “Win-Win” strategy between biomass power generation and biomethane production”, February 2021, Available: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126508>
79. A. Sarrion, R.P. Ipiales, M.A. de la Rubia, A.F. Mohedano, E. Diaz, „Chicken meat and bone meal valorization by hydrothermal treatment and anaerobic digestion: Biofuel production and nutrient recovery”, January 2023, Available: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.01.005>
80. Zahra Hajabdollahi Ouderji, Rohit Gupta, Andrew Mckeown, Zhibin Yu, Cindy Smith, William Sloan, Siming You, „Integration of anaerobic digestion with heat Pump: Machine learning-based technical and environmental assessment”, December 2022, Available: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128485>
81. Nikola Rakić, Vanja Šušteršič, Dušan Gordić, Nebojša Jovičić, Goran Bošković, Ivan Bogdanović, „Characteristics of biogas production and synergistic effect of primary sludge and food waste co-digestion”, January 2023, Available: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2460323/v1>
82. Meisam Tabatabaei, Mortaza Aghbashlo, Elena Valijanjan, Hamed Kazemi Shariat Panahi, Abdul-Sattar Nizami, Hossein Ghanavati, Alawi Sulaiman, Safoora Mirmohamadsadeghi, Keikhosro Karimi, „A comprehensive review on recent biological innovations to improve biogas production, Part 2: Mainstream and downstream strategies”, July 2019, Available: <http://www.elsevier.com/locate/rene>
83. Yeqing Li, Ruihong Zhang, Yanfeng He, Chenyu Zhang, Xiaoying Liu, Chang Chen, Guangqing Liu, „Anaerobic co-digestion of chicken manure and corn stover in batch and continuously stirred tank reactor (CSTR)”, March 2014, Available: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.054>
84. Susanna VAnhamaki, KATERINA medkova, apostolos malamakis, Stamatia - Kontogianni, Eleonora marisova, DAVID huisman DELLAGO & NICOLAS - MOUSSIOPOULOS, „Bio-based Circular Economy in European National and Regional Strategies”, March 2019, Available: <https://www.researchgate.net>
85. Johann F. Görgens, Marion Carrier, and Maria P. García-Aparicio, „Biomass Conversion to Bioenergy Products”, October 2014, Available: <https://www.researchgate.net>
86. Das A. and Mondal C., „Biogas Production from Co-digestion of Substrates: A Review”, January 2016, Available: [International Research Journal of Environment Sciences](https://www.researchgate.net)
87. K.K. Pant and Pravakar Mohanty Department of Chemical Engineering, Indian Institute of Technology Delhi, India, „Biomass, Conversion Routes and Products – An Overview”, June 2014, Available: <https://www.researchgate.net>
88. Claudinei de Souza Guimarães and David Rodrigues da Silva Maia, „Development of Anaerobic Biodigester for the Production of Biogas Used in Semi-Continuous System Bioprocesses: An Efficient Alternative for Co-Digestion of Low Biodegradability Biomass”, January 2023, Available: <https://www.researchgate.net>
89. Teodor Vintila, Ioana Ionel, Tagne Tiegam Rufis Fregue, Adriana Raluca Wächter, Calin Julean and Anagho Solomon Gabche, „Residual Biomass from Food Processing Industry in Cameroon as Feedstock for Second-generation Biofuels”, March 2019, Available: <https://www.researchgate.net>

https://www.researchgate.net/publication/331977534_Biofuels_Cameroon_biomass?enrichId=rgreq-a35eba8f9fd60acf545c2a7f090a6ac7-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdIOzMzMTk3NzUzNDtBUzo3NDE4ODUyNzQ0OTcwMjRAMTU1Mzg5MDY0MTI3OQ%3D%3D&el=1_x_2&esc=publicationCoverPdf

90. Ahmet Canan, Rahman Calhan, Mehmet Ozkaymak, „Investigation of the effects of different slags as accelerant on anaerobic digestion and methane yield”, November 2020, Available: <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01340-0>
91. Roshni Paul, Alla Silkina, Lynsey Melville, Sri Suhartini and Michael Sulu, „Optimisation of Ultrasound Pretreatment of Microalgal Biomass for Effective Biogas Production through Anaerobic Digestion Process”, January 2023, Available: <https://www.researchgate.net>
92. Yadvika, Santosh, T.R. Sreekrishnan, Sangeeta Kohli, Vineet Rana, „Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques—a review”, August 2003, Available: www.sciencedirect.com
93. Sutaryo Sutaryo, Aldila Nugrahaini Sempana, Rifo Martio Mulya, Dian Sulistyaningrum, Mochamad Sofyan Ali, Rafi Ihsa Damarjati, Endang Purbowati, Retno Adiwanti and Agung Purnomoadi, „Methane Production of Pistia Stratiotes as a Single Substrate and as a Co-Substrate with Dairy Cow Manure”, December 2022, Available: <https://www.mdpi.com>
94. Fabrizio Di Gregorio, „Fuel gas technology for biomass and waste – Environmental and techno-economic assessments”, Industrial Engineering PhD thesis, AMRA 2013, Available: www.doppiavoce.it
95. Teodorita Al Seadi, Dominik Rutz, Heinz Prassl, Michael Köttner, Tobias Finsterwalder, Silke Volk, Rainer Janssen, „Colophon”, October 2008, Available: <http://www.sdu.dk>
96. N A M Hilmi, I A Zakarya, A A N Gunny, T N T Izhar, S K Zaaba, M F Samah, Z A A M Daud and M R C Beson, „Co-digestion of food waste with cow dung by anaerobic digestion for biogas production”, International Conference on Civil and Environmental Engineering 2022, Available: [Co-digestion of food waste with cow dung by anaerobic digestion for biogas production. - IOPscience](https://www.iopscience.iop.org/10.1088/1755-1315/1001/1/012001)
97. Christy E. Manyi-Loh, Sampson N. Mamphweli, Edson L. Meyer, Anthony I. Okoh, Golden Makaka and Michael Simon, „Microbial Anaerobic Digestion (Bio-Digesters) as an Approach to the Decontamination of Animal Wastes in Pollution Control and the Generation of Renewable Energy”, International Journal of Environmental Research and Public Health 2013, Available: [International Journal of Environmental Research and Public Health | An Open Access Journal from MDPI](https://www.mdpi.com/1660-3390/10/12/20324)
98. Pengfei Li, Chao He, Chongbo Cheng, Youzhou Jiao, Dekui Shen & Ran Yu, „Prediction of methane production from co-digestion of lignocellulosic biomass with sludge based on the major compositions of lignocellulosic biomass”, July 2020, December 2020, Available: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12262-1>
99. Celina Dittmer, Johannes Krümpel and Andreas Lemmer, „Modeling and Simulation of Biogas Production in Full Scale with Time Series Analysis”, February 2021, Available: <https://doi.org/10.3390/microorganisms9020324>

100. Lucy F. R. Montgomery and Günther Bochmann, „Pretreatment of feedstock for enhanced biogas production”, February 2014, Available: Technical Brochure is available from the British Library.
101. Rudolf Rechsteiner, „German energy transition (Energiewende) and what politicians can learn for environmental and climate policy”, October 2020, Available: <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01939-3>
102. S. C. Bhatia, „Advanced renewable energy systems”, April 2014, Available: www.woodheadpublishingindia.com
103. Basma Omar, Reda Abou-Shanab, Maie El-Gammal, Ioannis A. Fotidis, Panagiotis G. Kougias, Yifeng Zhang, Irimi Angelidaki, „Simultaneous biogas upgrading and biochemicals production using anaerobic bacterial mixed cultures”, April 2023, Available: www.elsevier.com/locate/watres
104. Jérémie Geelen, „Report Biomass Supply”, December 2022, Available: Biomass Supply - Bioenergy Europe
105. Alvyra Slepetiene, Jurgita Ceseviciene, Kristina Amaleviciute-Volunge, Audrone Mankeviciene, Irmantas Parasotas, Aida Skersiene, Linas Jurgutis, Jonas Volungevicius, Darijus Veteikis and Ieva Mockeviciene, „Solid and Liquid Phases of Anaerobic Digestate for Sustainable Use of Agricultural Soil”, December 2022, Available: <https://doi.org/10.3390/su15021345>
106. Xu Kang, Yu Liu, Wenzong Liu, Ling Wang and Chaolin Li, „Fermentation and Biogas Production of Alkaline Wasted Sludge Enhanced in a Bioelectrolysis-Assisted Anaerobic Digestion Reactor under Increasing Organic Loads”, January 2023, Available: [Sustainability | Free Full-Text | Fermentation and Biogas Production of Alkaline Wasted Sludge Enhanced in a Bioelectrolysis-Assisted Anaerobic Digestion Reactor under Increasing Organic Loads \(mdpi.com\)](https://www.mdpi.com/2504-3113/15/1/10)
107. Pavlo Pokataiev, Anastasiia Liezina, Anhelina Andriushchenko, Helena Petukhova, „The role of biotechnology in the development of the bioeconomy”, December 2019, Available: <https://orcid.org/0000-0003-2105-7666>