

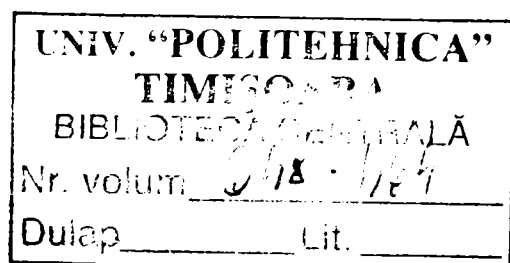
Ing. Popescu A. Daniela Cornelia

TEZĂ DE DOCTORAT

CONTRIBUȚII LA STUDIUL PROCESELOR
DE FERMENTARE ANAEROBĂ ÎN VEDEREA
OBȚINERII DE BIOGAZ

Conducător științific

Prof.dr.ing. Mirel Ion



Timișoara 2005

CUPRINS:

1. INTRODUCERE	5
1.1 ASPECTE DE ORDIN GENERAL	5
1.2 SURSE NECONVENȚIONALE DE ENERGIE	6
1.2.1 <i>Energia solară</i>	6
1.2.2 <i>Energia eoliană</i>	8
1.2.3 <i>Energia geotermală</i>	9
1.2.4 <i>Energia apei</i>	11
1.2.5 <i>Energia biomasei</i>	13
1.2.5.1 <i>Biomasa solidă</i>	13
1.2.5.2 <i>Biomasa lichidă</i>	14
1.3 NECESITATEA ȘI OPORTUNITATEA STUDIULUI.....	15
1.4 OBIECTIVELE CERCETĂRII	16
2. STADIUL CUNOAȘTERII	18
2.1 PROCESE DE FERMENTARE ANAEROBĂ	18
2.1.1 <i>Fermentarea anaerobă și metanogeneza bacteriană</i>	18
2.1.2 <i>Etapele procesului de fermentare anaerobă</i>	20
2.1.3 <i>Factorii care influențează procesul de fermentare anaerobă</i>	23
2.1.3.1 <i>Caracteristicile fizico-chimice ale maselor organice supuse fermentării</i>	24
2.1.3.1.1 <i>Compoziția și concentrația maselor organice solide</i>	24
2.1.3.1.2 <i>Compoziția maselor organice lichide</i>	27
2.1.3.1.3 <i>Părțile componente ale maselor organice solide și lichide</i>	28
2.1.3.1.4. <i>Raportul dintre componenta organică și minerală</i>	30
2.1.3.1.5 <i>Elemente nutritive</i>	31
2.1.3.1.6 <i>Raportul carbon-azot (C/N)</i>	32
2.1.3.1.7 <i>Conținutul de acizi, valoarea pH-ului și alcalinitatea</i>	34
2.1.3.1.8 <i>Inhibitorii</i>	35
2.1.3.2 <i>Condițiile de exploatare a instalațiilor de fermentare</i>	35
2.1.3.2.1 <i>Temperatura mediului</i>	35
2.1.3.2.2. <i>Durata de fermentare</i>	40
2.1.3.2.3 <i>Sistemul de alimentare și evacuare</i>	44
2.1.3.2.4 <i>Doza de încărcare</i>	45
2.1.3.2.5 <i>Amestecul și recircularea</i>	48
2.1.3.2.6 <i>Forma bazinelor de fermentare</i>	49
3. CONSIDERAȚII TEORETICE ASUPRA FERMENTĂRII ANAEROBE	52
3.1 CINETICA PROCESELOR DE FERMENTARE ANAEROBĂ	52
3.1.1 <i>Ecuatiile fermentării anaerobe</i>	52

**CONTRIBUȚII LA STUDIUL PROCESELOR DE FERMENTARE ANAEROBĂ
ÎN VEDEREA OBTINERII DE BIOGAZ**

3.1.2 Modelul cinetic	53
3.1.3 Ecuatiile eficienței sistemului cu două bazine de fermentare.....	57
3.2 MODELAREA PROCESELOR DE FERMENTARE ANAEROBĂ	60
3.2.1 Modele ale fermentării nemetanogene	61
3.2.1.1 Modelul Ghosh și Pohland	61
3.2.1.2 Modelul Ghosh, Conrad și Klass.....	64
3.2.1.3 Modelul Eastman și Ferguson	65
3.2.2 Modele ale fermentării metanice.....	69
3.2.2.1 Modelul Lawrence și McCarty	69
3.2.2.2 Modelul Anderson și Donnelly	70
3.2.2.4 Modelul Frostell	71
4. BIOGAZUL - PRODUS AL FERMENTĂRII ANAEROBE.....	73
4.1 ASPECTE DE ORDIN GENERAL	73
4.2 COMPOZIȚIA BIOGAZULUI.....	75
4.3 PROPRIETĂȚILE BIOGAZULUI	77
4.4 PRODUCȚIA DE BIOGAZ.....	80
4.5 CARACTERISTICILE GAZULUI DE NĂMOL.....	86
5. CONSTRUCȚII ȘI INSTALAȚII PENTRU PRODUCEREA BIOGAZULUI.....	87
5.1 ASPECTE DE ORDIN GENERAL	87
5.2 CLASIFICAREA INSTALAȚIILOR DE BIOGAZ	88
5.2.1 În funcție de capacitate:	88
5.2.1.1 Instalații mici, de tip gospodăresc	88
5.2.1.2 Instalații de capacitate medie.....	89
5.2.1.3 Instalații de mare capacitate	89
5.2.2 În funcție de regimul de funcționare:.....	89
5.2.2.1 Instalații statice.....	89
5.2.2.2 Instalații semidinamice.....	90
5.2.2.3 Instalații dinamice	90
5.3 CONSTRUCȚII ȘI INSTALAȚII DE BIOGAZ REALIZATE ÎN ROMÂNIA ÎN PERIOADA 1965-1985 ..	91
5.3.1 Construcții și instalații de mică capacitate (de tip gospodăresc).....	91
5.3.2 Construcții și instalații de biogaz de medie capacitate	97
5.4 CONSTRUCȚII ȘI INSTALAȚII DE BIOGAZ REALIZATE ÎN R.P. CHINA	102
5.5 CONDIȚII GENERALE DE EXPLOATARE ȘI ÎNTREȚINERE A DIGESTOARELOR DE MICĂ CAPACITATE	104
5.6 DEFICIENȚE DE FUNCȚIONARE, CAUZE ȘI MIJLOACE DE REMEDIERE.....	106
5.6.1 În timpul amorsării procesului de fermentare	107
5.6.2 În timpul funcționării	108
5.7 CONSTRUCȚII ȘI INSTALAȚII DE FERMENTARE ANAEROBĂ DE TIP INDUSTRIAL	109
6 CERCETĂRI ȘI REZULTATE EXPERIMENTALE	114
6.1. INSTALAȚIILE DE LABORATOR	114
6.2 PROTOTIPUL EXPERIMENTAL - FINIȘ	117
6.2.1 Schema tehnologică.....	117
6.2.2 Dimensionarea prototipului experimental cu cameră hidraulică	119
6.2.3 Evaluarea cantităților de materiale necesare prototipului	123

**CONTRIBUȚII LA STUDIUL PROCESELOR DE FERMENTARE ANAEROBĂ
ÎN VEDEREA OBTINERII DE BIOGAZ**

6.2.4	<i>Execuția prototipului</i>	127
6.2.5	<i>Exploatarea prototipului experimental</i>	133
6.2.6	<i>Rezultatele cercetărilor experimentale</i>	133
6.3	REȚETE PENTRU ALIMENTAREA INSTALAȚIILOR DE BIOGAZ	136
6.4	EVALUAREA CANTITĂȚILOR DE BIOGAZ CARE SE POT PRODUCE ÎNTR-O GOSPODĂRIE	138
6.5	NECESARUL DE BIOGAZ PE CATEGORII DE FOLOSINȚE	140
6.5.1	<i>Necesarul de energie și de biogaz pentru prepararea apei calde</i>	140
6.5.2	<i>Consumul de gaz necesar pentru gătit</i>	141
6.5.3	<i>Consumul de gaz necesar pentru obținerea energiei electrice</i>	141
6.5.4	<i>Necesarul de biogaz la sistemele de încălzire cu acumulare de căldură</i>	141
6.6	MODALITĂȚI DE UTILIZARE ALE BIOGAZULUI	142
7.	CONCLUZII GENERALE	146
7.1	CONȚINUTUL TEZEI	146
7.2	CONTRIBUȚII PERSONALE	149
7.3	AVANTAJELE PRODUCERII ȘI UTILIZĂRII BIOGAZULUI	150
7.4	MODALITĂȚI ȘI PERSPECTIVE DE IMPLEMENTARE A ENERGIILOR NECONVENȚIONALE	152
7.4	PERSPECTIVE ȘI CERCETĂRI VIITOARE	153
	BIBLIOGRAFIE	154

1. INTRODUCERE

1.1 Aspecte de ordin general

Problema fundamentală a omenirii de-a lungul istoriei a fost determinată de găsirea resurselor energetice. Resursele energetice utilizate pe parcursul dezvoltării omenirii, au fost cele rezultate din arderea combustibililor solizi, energia animală, energia vântului și cea a cursurilor de apă. Astfel, secolul XIX a fost considerat secolul aburului, secolul XX cel al electricității obținută din abur, gaze naturale, căderi de apă și din energia nucleară, iar secolul XXI va fi considerat cel al energiilor neconvenționale (solară, eoliană, geotermală, energia apei și cea a biomasei) [33], [82], [133], [134], [135], [148], [155].

Dar ce înseamnă surse neregenerabile? Petrolul și cărbunele, ca materii prime având un conținut energetic foarte ridicat, s-au format cu câteva milioane de ani în urmă din resturi vegetale și animale. Ca să dispunem de aceleași cantități pe care omenirea le-a consumat până acum, ar trebui să așteptăm încă câteva milioane de ani. Practic aceste rezerve nu se mai îmbrospătează, noi vom utiliza numai ce există acum în subsol. Se spune că aceste surse de energie sunt neregenerabile. În schimb, există surse care practic pot furniza energie dacă nu la infinit, măcar pe perioade mai mari de timp [69], [98].

Utilizarea energiilor regenerabile se face în mod descentralizat, utilizatorul „culegând” direct energia în vederea utilizării ei.

În categoria energiilor neconvenționale sunt incluse energia solară, energia eoliană, energia geotermală, energia valurilor, energia pământului, energia apei și altele. Energiile neconvenționale pot fi utilizate exclusiv sau combinații ale acestora.

Aceste tipuri de energii s-au regăsit în economia multor țări, mai ales după anul 1970 odată cu declanșarea crizei energetice pe plan mondial. O serie de țări cum ar fi: Germania, Franța, Danemarca, China, India, SUA etc au utilizat, în forme separate sau combinate aceste forme de energii neconvenționale.

Danemarca, spre exemplu, o țară cu un potențial economic bine dezvoltat utilizează, în paralel cu energiile convenționale și o bună parte din energiile neconvenționale (energia solară, energia eoliană, energia geotermală, energia valurilor, energia pământului, dar și biomasa) [74].

RP Chineză are în prezent peste 1,2 milioane instalații producătoare de biogaz utilizate atât în gospodăriile individuale, în cvartale de locuințe, dar și la o serie de colectivități și chiar la unele instalații industriale [137].

În țări precum Franța și SUA se utilizează pe scară largă energia eoliană, energie ce s-a introdus în sistemul energetic național.

În România, dintre energiile neconvenționale, cea mai frecvent utilizată este energia geotermală. Aceasta se utilizează îndeosebi în zona de vest a țării pentru încălzitul locuințelor, a serelor, a bazinelor de înot etc [76], [77], [91]. Un alt tip de energie care se mai utilizează în țara noastră este energia eoliană. Instalațiile eoliene de pe muntele Semenic fiind conectate și ele la sistemul energetic național.

1.2 Surse neconvenționale de energie

1.2.1 Energia solară

Soarele este un corp solar incandescent având în interiorul său o temperatură de 10 -15 milioane grade Kelvin, iar la suprafață de aproximativ 6000 K. Ca urmare a acestei temperaturi are loc o radiație solară în spațiul cosmic [148].

Energia solară este o radiație electromagnetică similară undelor radio, dar cu o bandă de frecvență diferită. Cantitatea de energie solară care ajunge la suprafața atmosferei terestre este de aproximativ 1367 W/m^2 . La trecerea prin atmosfera terestră, într-o zi senină, cantitatea de energie solară disponibilă pe suprafața pământului, după direcția soarelui, este de 1000 W/m^2 . Energia solară disponibilă depinde în primul rând de poziția soarelui față de Pământ și de condițiile atmosferice (prezența norilor).

Deși cantitatea maximă de energie solară revine lunilor de primăvară-vară, radiația solară se poate utiliza cu o eficiență satisfăcătoare și în perioada lunilor de toamnă și de iarnă.

Utilizarea radiației solare se face printr-un proces complex, care include mai multe etape: captarea radiației solare; concentrarea ei; conversia/transformarea în alte forme de energie; transportul și consumul ei la consumator.

Conversia energiei, din radiația solară se face sub diferite forme de energie: termică, electrică, mecanică, biologică (reacțiile de fotosinteză) și chimică.

Energia solară se utilizează pentru producerea de căldură prin metode de conversie pasivă sau activă sau pentru furnizarea de energie electrică prin sisteme fotovoltaice.

Sistemele solare cu captatoare termale active se folosesc, de obicei, pentru prepararea apei calde menajere în locuințe individuale.

În cazul utilizării sistemelor solare pasive, nu este necesar un nivel foarte ridicat al radiațiilor solare, deoarece acestea pot funcționa și în zone geografice mai puțin atractive din punct de vedere al intensității radiației solare.

Conversia energiei solare în energie electrică se realizează cu instalații fotovoltaice care cuprind o serie de module solare, cu configurații și de dimensiuni diferite.

Energia solară, în raport cu celelalte tipuri de energii convenționale prezintă următoarele de avantaje:

- este o sursă care, după recuperarea cheltuielilor inițiale de investiții devine practic gratuită;
- amortizarea investiției se face într-un interval de timp relativ scurt comparativ cu costurile cerute de implementarea energiilor convenționale și nu va fi influențată de creșteri ulterioare de preț;
- eficiența captatoarelor solare în regim hibrid este mai ridicată, comparativ cu celelalte sisteme convenționale sau neconvenționale de energie;

- reprezintă o rezervă nelimitată de energie;
- este o sursă total nepoluantă de energie;

1.2.2 Energia eoliană

Energia eoliană este rezultatul mișcării curenților atmosferici. Mărimea energiei eoliene este determinată de viteza, durata, structura și direcția vântului.

Vântul natural este rezultatul mișcării curenților de aer de-a lungul suprafeței Pământului, stratul de aer putând atinge mai mulți km grosime. Această mișcare se manifestă prin creșteri periodice și prin șocuri neregulate [136].

Vântul nu este altceva decât mișcarea orizontală a aerului. Vântul este un curent instabil, viteza lui putând varia de la o rafală până la o acalmie, sau alternativ, ca urmare a mișcării maselor de aer și a direcției în care acesta se deplasează.

Viteza vântului crește rapid și neuniform de la suprafața pământului în sus, determinând și efectele pe care acesta le produce în natură.

Durata vântului, reprezintă intervalul de timp de la începerea și până la încetarea vântului, fiind exprimată prin diferite praguri de viteză. Durata vântului este funcție de diferența de presiune atmosferică, iar când presiunea se egalează se ajunge la un echilibru între masele de aer.

După mărimea vitezei și caracterul mișcării aerului, vântul poate avea o *structură* laminară, turbulentă sau în rafale. Structura laminară este aceea în care aerul se deplasează cu viteze mici și uniforme, fără a-și modifica direcția și intensitatea.

La structura turbulentă direcția și intensitatea vântului variază foarte mult, determinând formarea, în curentul de aer, a unui număr mare de vârtejuri.

Vântul în rafale este acela în care direcția și intensitatea au variații în timp foarte mari.

Viteza și durata vântului sunt elemente de interes energetic, iar structura vântului, influențează rezistența organelor principale din componența turbinelor eoliene. Vântul în rafale produce vibrații și suprasolicită paletele turbinelor eoliene.

De asemenea, direcția vântului reprezintă elementul de stabilitate pentru funcționarea turbinelor. Viteza vântului variază în raport cu altitudinea, având valori mai mici la sol și mai mari odată cu creșterea altitudinii. Viteza mai redusă a vântului la sol se datorează în mod deosebit obstacolelor întâlnite de curenții de aer, iar la altitudini, circulația curenților de aer fiind mult mai uniformă.

Energia eoliană este inclusă în categoria energiilor neconvenționale fiind puțin costisitoare datorită faptului că investițiile se pot amortiza într-un timp relativ scurt ceea ce face ca, în continuare, energia produsă să devină relativ gratuită.

1.2.3 Energia geotermală

Energia geotermală este energia termică provenită din apele de adâncime ale Pământului. Energia geotermală utilizează căldura Pământului și este folosită pentru o serie de aplicații practice cum ar fi pompele de căldură geotermale sau la cele pentru producerea de electricitate. Localizarea resurselor geotermale se face prin explorări geologice, geochimice și geofizice [38], [155].

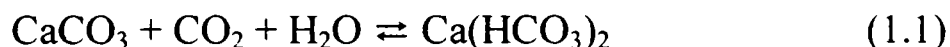
În cazul țării noastre cele mai importante resurse de ape geotermale cu temperaturi cuprinse între 40-130°C, se află în Câmpia de Vest, resurse care au fost și sunt utilizate pentru diferite scopuri, asigurându-se astfel economii importante de combustibil convențional [76], [77].

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

Calitatea apelor geotermale trebuie privită sub aspectul stabilității și al compatibilității cu elementele componente ale instalațiilor de valorificare a apelor geotermale, deoarece acestea conțin gaze sub formă de metan și de dioxid de carbon precum și o serie de substanțe chimice și diferite alte gaze dizolvate [91].

Un fenomen frecvent întâlnit în exploatarea apelor geotermale îl constituie formarea crustelor din zona superioară a forajului, pe conductele de distribuție cât și pe suprafețele instalațiilor interioare de încălzire.

Când apa conține o cantitate mai mare de CO₂, face ca acest surplus față de poziția de echilibru să devină agresiv la contactul cu elementele metalice ale instalației. Agresivitatea acestuia asupra calcarului se resimte până la stabilirea stării de echilibru. Prin atacarea calcarului se formează Ca(HCO₃)₂ după următoarea reacție:



Când apa conține o cantitate de dioxid de carbon inferioară stării de echilibru se produce depunerea de CaCO₃ pe seama bicarbonatului, eliberându-se CO₂, până la restabilirea echilibrului.

Apa termală ajunge la suprafață în condiții de presiune și temperatură diferite de cele din zăcământul subteran. Ca urmare acestor modificări, la un moment dat, CO₂ de echilibru începe să iasă din soluție, iar bicarbonații de calciu încep să se descompună pentru a stabili un nou echilibru chimic corespunzător presiunii parțiale a CO₂ de echilibru rămas în soluție după care începe precipitarea CaCO₃ sub formă de crustă care se depune pe pereții coloanei. Imediat după ce presiunea scade sub valoarea critică, începe formarea crustei.

Depunerea carbonaților se poate realiza prin stagnarea apei timp de 30-60 min într-un rezervor tampon de degazare.

Pentru prevenirea depunerii crustei pe sondă, se impune menținerea apei la pH-ul de echilibru, cerință realizabilă, în unele cazuri, prin asigurarea unui conținut corespunzător de CO₂ dizolvat.

Apele geotermale pot avea aplicații directe, (prin schimbătoare de căldură), indirecte și mixte. Cea mai frecventă utilizare o întâlnim la încălzirea directă a spațiilor de locuit sau ca apă caldă menajeră.

În ceea ce privește efectele asupra mediului înconjurător trebuie urmărite două aspecte și anume, la evacuarea în emisar, a apei calde cu conținut de săruri și/sau fenoli ce poate influența plantele și animalele existente în aceste zone precum și cantitățile de emisii eliberate în aer [156], [159]. Comparativ cu celelalte tipuri de energii convenționale, energia geotermală produce mult mai puține emisii în aer sau chiar deloc.

Energia geotermală este deci o sursă neconvențională de energie care contribuie la economisirea unor cantități importante de combustibili convenționali (solizi, lichizi și gazoși). Această utilizare se poate face numai după o studiere atentă și corectă a ansamblului de factori calitativi, cantitativi, sociali, ecologici și economici în vederea găsirii soluțiilor optime.

1.2.4 Energia apei

Cursurile de apă reprezintă masele de apă care se deplasează pe suprafața pământului și formează surse energetice care pot fi utilizate de om. Energia apelor curgătoare pune în mișcare morile de apă, dar și turbinele centralelor hidroelectrice. În stare naturală această energie se pierde datorită frecărilor cu albia, cu transportul aluviunilor, la schimbările de direcție a râului, ș.a.

În România, potențialul hidroenergetic al râurilor principale este valorificat, în cadrul unor amenajări de mare și de mică putere după cum urmează [157]:

- amenajări de mare putere (34.000 GWh/an);
- amenajări de mică putere (6.000 GWh/an).

Amenajările hidroenergetice de mică putere de până la 3,6 MW se subîmpart astfel:

- ☞ centrale hidroelectrice (UHE) –cu o putere egală sau mai mare de 3.600 kW;
- ☞ unități hidroelectrice (UHE) cu o puterea mai mică de 3.600 kW, diferențiate în trei subcategorii:
 - ✓ Unități hidroelectrice de mică putere (CHEMP), cu puteri instalate între 200 kW și 3.600 kW;
 - ✓ Microhidrocentrale (MHC), cu o putere instalată între 20 kW și 200 kW;
 - ✓ Unități hidroelectrice artizanale (CHA), cu o putere instalată mai mică de 20 kW.

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

Pe cursul râurilor mici și al pâraielor, asemenea măsurători nu există, iar pentru a putea valorifica energia acestor cursuri de apă, trebuie să fie cunoscute într-o anumită perioadă de timp, diferențele de nivel (H) și debitele de apă (Q) dintre două secțiuni date.

Pentru a se putea utiliza energia hidraulică disponibilă este necesar, ca diferențele de nivel să fie concentrate pe distanțe cât mai scurte, ca apoi cu ajutorul unei mașini hidraulice, energia apei să se transforme în energie mecanică și/sau electrică.

Centralele și microcentralele hidroelectrice sunt instalații care asigură transformarea energiei hidraulice a apelor curgătoare în energie electrică.

1.2.5 Energia biomasei

Prin biomasă se înțeleg reziduurile de la creșterea animalelor, deșeurile industriei alimentare, resturile vegetale provenite din agricultură și silvicultură, deșeurile menajere etc. Atunci când aceste reziduuri sunt prezente în cantități foarte mari, ele devin o sursă de poluare atât pentru oameni cât și pentru mediul înconjurător. Printr-o prelucrare adecvată, reziduurile organice pot fi utilizate pentru producerea de biogaz înlocuind astfel o parte din combustibili convenționali, iar materialul fermentat reprezintă un valoros îngrășământ pentru culturile agricole [148].

Energia obținută din biomasa este o energie regenerabilă și teoretic inepuizabilă.

Cea mai simplă și rapidă cale de obținere a energiei termice (căldurii) este prin arderea plantelor uscate. Energia termică poate fi transformată la rândul ei într-o forță motrică sau în electricitate.

Biogazul este un produs al fermentării anaerobe a produselor organice. El se produce în natură, pe fundul bălților și al lacurilor ieșind la suprafață sub formă de bășicuțe. Este cunoscut de multă vreme și în popor este denumit gaz de baltă sau de gunoi, deoarece ia naștere și în timpul fermentației gunoaielor.

1.2.5.1 Biomasa solidă

Biomasa solidă este constituită din plante uscate tufărișuri, frunze, crengi de copaci și din deșeuri solide urbane (textile, hârtie, cartoane etc.). Materiile organice prezente în deșeurile solide menajere pot fi de două categorii:

- materii organice cu descompunere rapidă (3 luni – 1 an);
- materii organice cu descompunere lentă (>50 ani).

Deșeurile uscate și bine compactate se pot păstra în forma lor inițială foarte mulți ani după ce au fost îngropate.

Biodegradabilitatea componentelor organice a deșeurilor menajere, este determinată de umiditatea acestora. Umiditatea optimă, pentru conversia materiei organice biodegradabile este de 50-60%. Umiditatea depozitelor de deșuri fiind neuniform distribuită, procesele de descompunere a biomasei solide se extind pe perioade mari de timp [56], [111].

1.2.5.2 Biomasa lichidă

Biomasa lichidă este constituită din dejecțiile animaliere și din fecalele umane, sau din nămolurile apelor rezultate de la epurarea apelor uzate orășenești, cât și a celor provenite de la industriile alimentară.

În cadrul proceselor de fermentare anaerobă biomasa lichidă se descompune în gaze constituite din CH_4 , CO_2 , H_2S și apă. În cazul în care conținutul de CH_4 din gazele de fermentare depășește 65-70% și CO_2 este de până la 25-30%, gazul format arde susținut purtând denumirea de biogaz.

Biogazul produs din biomasa lichidă poate fi obținut în instalații industriale sau de tip gospodăresc (individuale).

Fermentarea anaerobă în aceste instalații are loc sub acțiunea a două specii distincte de microorganisme (bacteriile facultativ anaerobe și bacteriile obligat anaerobe) care se dezvoltă simultan în același mediu:

Bacteriile facultativ anaerobe produc, prin intermediul enzimelor extracelulare, lichefierea materiilor insolubile și apoi descompunerea substanțelor organice complexe, în elemente organice simple (acizi grași, aminoacizi ș.a.).

Faza de lichefiere sau faza acidă a fermentării care se dezvoltă în prima etapă este un proces rapid și mai puțin sensibil la condițiile de mediu.

Bacteriile obligat anaerobe care se dezvoltă în cea de-a doua fază a fermentării, denumită și faza de gazeificare sau faza metanică este specifică pentru

formarea biogazului. Produsele fazei acide sunt transformate, prin activitatea enzimelor intracelulare în metan și dioxid de carbon.

Această etapă se desfășoară lent și este sensibilă la condițiile de mediu.

Fermentarea anaerobă este un proces complex, influențat de caracteristicile fizico-chimice ale materialelor supuse fermentării dar și de condițiile de exploatare a fermentatoarelor.

Producția și calitatea biogazului este determinată de natura și compoziția reziduurilor organice supuse fermentării, de temperatura la care se produce fermentarea, de alți factori chimici, mecanici, hidraulici etc.

1.3 Necesitatea și oportunitatea studiului

La baza dezvoltării economice naționale a oricărei țări, stau resursele energetice. Creșterea vertiginoasă, în special în ultimul secol, a populației, a nivelului de trai precum și a dezvoltării rapide a industriei a dus la diminuarea rezervelor de combustibili convenționali. Criza energetică declanșată după anul 1970, a determinat omenirea să caute alternative de înlocuire a combustibililor clasici prin utilizarea resurselor energetice regenerabile.

Numeroase cercetări în domeniu au făcut ca acestea să devină competitive din punct de vedere economic cu sursele clasice.

În cadrul lucrării, s-au evidențiat toate acele categorii de energii regenerabile, a căror surse sunt inepuizabile sau reînnoibile precum: energia solară, eoliană, geotermală, energia apei și a biomasei. Aplicarea acestor surse energetice sunt condiționate de anumiți factori determinanți. Toate au însă același scop: producerea de energie în folosul oamenilor.

Dintre toate tipurile de energii alternative, la nivelul țării noastre, energia biomasei este cea care se poate valorifica aproape oriunde există o așezare și o activitate omenească.

Sectorul energetic din România va trebui să se adapteze la strategia energetică mondială, și în mod deosebit a țărilor din UE, privind introducerea printre prioritățile politice a unor programe energetice naționale care să se axeze pe producerea și utilizarea energiilor neconvenționale.

Energiile neconvenționale pot contribui cu succes la suplimentarea sau în unele cazuri la diminuarea și chiar înlocuirea energiilor tradiționale.

Pentru aceasta este necesar, ca printr-o popularizare adecvată, să se prezinte avantajele instalațiilor producătoare de biogaz prin prisma avantajelor economice, ecologice, igienico-sanitare și de protecție a mediului înconjurător.

1.4 Obiectivele cercetării

În cadrul acestei lucrări s-au urmărit și s-au pus în evidență următoarele obiective:

⇒ Studiul parametrilor determinanți pentru desfășurarea proceselor necesare producerii de biogaz;

⇒ Evidențierea potențialului energetic al diferitelor tipuri de materiale organice;

⇒ Asigurarea necesarului de energie pentru diferite categorii de utilizatori;

⇒ Proiectarea unui modul de biogaz de tip gospodăresc cu capacitatea de 5 m³; în vederea valorificării potențialului energetic a reziduurilor menajere de la o gospodărie individuală;

⇒ Executarea și exploatarea prototipului instalației de biogaz de tip gospodăresc cu capacitatea de 5 mc în comuna Feniș, județul Bihor;

⇒ Stabilirea rețetelor de încărcare a instalațiilor statice de tip gospodăresc;

⇒ Completarea instalației de producerea biogazului cu un pat filtrant cu scopul de a se asigura condițiile cerute de NTPA 001/2002 la evacuarea efluentului în emisarii naturali;

- ⇒ Întocmirea instrucțiunilor de exploatare a instalațiilor dinamice producătoare de biogaz de tip gospodăresc;
- ⇒ Analiza comparativă a capacității calorice a biogazului produs cu diferite categorii de combustibili convenționali;
- ⇒ Analiza modalităților de utilizare a biogazului produs, prin comparație, cu diferite categorii de combustibili convenționali;
- ⇒ Elaborarea unui studiu de sinteză privind utilizarea instalațiilor de producere a biogazului în instalații de tip gospodăresc (de mică capacitate) și în cele industriale (de medie și mare capacitate);
- ⇒ Evidențierea avantajelor economice a biogazului produs pentru diferite utilizări în raport cu diferite categorii de combustibili convenționali (lemne, cărbuni, gaz metan, energie electrică etc);
- ⇒ Neutralizarea maselor organice colectate de la gospodăriile individuale din mediul rural, prin diminuarea compușilor de azot din apele reziduale;
- ⇒ Asigurarea condițiilor optime de fermentare a maselor organice prin introducerea unor sisteme de încălzire a spațiului de fermentare cu o parte a biogazului produs sau cu ajutorul captatoarelor solare.

2. STADIUL CUNOAȘTERII

2.1 Procese de fermentare anaerobă

2.1.1 Fermentarea anaerobă și metanogeneza bacteriană

Fermentarea anaerobă este un proces biochimic complex în care bacteriile metanogene dezvoltate în spațiile lipsite de oxigen, descompun substanțele organice din natură, în metan, dioxid de carbon și alte gaze [9].

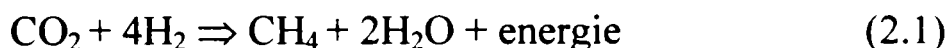
Gazul biologic rezultat în aceste condiții, sub efectul determinant al bacteriilor metanogene, poartă denumirea de biogaz. Din punct de vedere chimic biogazul este un amestec de gaze în care ponderea revine metanului (65-70%), restul fiind dioxid de carbon (25-30%) și în proporții foarte mici oxid de carbon (2-4%), azot (1-2%), hidrogen sulfurat (0,1%), vapori de apă etc [93], [145], [146], [147], [149].

Fermentarea metanică a reziduurilor organice solide și lichide este un proces anaerob prin care se realizează mineralizarea progresivă a substanțelor organice, care datorită proceselor biochimice de oxido-reducere, conduce la formarea, pe de o parte, la dioxid de carbon prin oxidare, iar pe de altă parte la metan prin reducere. În cadrul acestui de fermentare, gazul de amestec format este cunoscut sub denumirea de gaz de fermentare metanică, gaz de baltă sau de biogaz [2], [9].

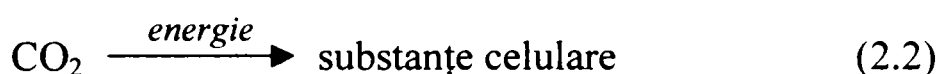
Fermentarea biologică poate avea loc în mlaștini și în solul terenurilor inundabile, în sedimentele apelor dulci și sărate, în nămolurile provenite de la epurarea apelor uzate menajere orășenești și comunale, în gunoiul de grajd și în reziduurile organice de la depozitele gunoi. Același proces microbiologic este similar cu procesul care are loc în stomacul oamenilor sau în rumenul animalelor.

În cadrul proceselor de fermentare anaerobă substanțele macromoleculare din reziduurile organice, polizaharidele (celuloza, hemiceluloza etc), proteinele și lipidele, sub acțiunea enzimelor extracelulare (celulaze, hemicelulaze, proteaze etc) se descompun în substanțe zaharoase simple (glucoză sau alți produși zaharoși), aminoacizi, acizi grași volatili, apă și alți produși organici micromoleculari, după

care, cu ajutorul bacteriilor metanogene, descompunerea continuă formându-se acizii organici reduși (acidul formic și acidul acetic), dioxid de carbon, hidrogen și apă. Bacteriile metanogene pot reduce dioxidul de carbon și oxida hidrogenul molecular, producând metan și apă. Dioxidul de carbon servește drept acceptor de electroni, iar hidrogenul molecular drept donator de electroni conform reacției:

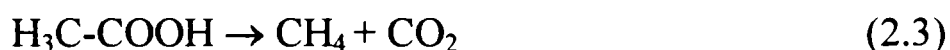


Energia rezultată este utilizată pentru asimilarea carbonului din CO_2 , contribuind astfel la formarea substanțelor celulare.



Unele tulpini de bacterii metanogene pot produce metan și din CO și H_2 , însă viteza lor de dezvoltare este mult mai lentă.

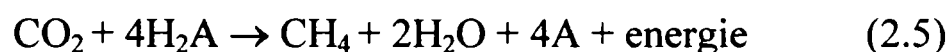
Sub acțiunea bacteriilor metanogene, acidul acetic se poate descompune direct în metan și dioxid de carbon conform relației:



Într-un sistem, în care anumite comunități de bacterii s-au adaptat la condițiile de mediu, celuloza fiind descompusă direct în metan și în dioxid de carbon conform relației:



Dacă substanțele organice folosite se notează prin H_2A , atunci reacția de formare a metanului poate fi redată, sumar, sub forma:



Energia rezultată se folosește pentru asimilarea carbonului din dioxid de carbon sau din acetat. Bacteriile metanogene pot asimila din acetat, până la 60% din carbonul total al substanțelor celulare, iar restul de 40% provenind din dioxidul de carbon.

Procesele nutritive și cele biologice au loc în prezența a două specii de bacterii: *Bacillus cellulosa methanicus* – responsabil de formarea metanului și *Bacillus cellulosae hidrogenicus* – responsabil de formarea hidrogenului și numai

în absența oxigenului. Ulterior aceste două specii au fost reunite sub denumirea comună de methanobacterium, iar ca materie primă folosecs biomasa. Bacteriile metanogene mor mult mai repede în prezența oxigenului decât bacteriile strict anaerobe. Bacteriile metanogene se dezvoltă în mediile în care pH -ul este în jur de 7 și pot avea caracter crioofil, pentru cazul temperaturilor cuprinse între 4 și 15°C, mezofil, pentru care optimul de dezvoltare este cuprins între 37°C și 40°C și termofil, pentru cazul în care temperaturile sunt cuprinse între 55°C și 60°C [1], [18], [132], [139], [141], [142].

2.1.2 Etapele procesului de fermentare anaerobă

Producerea microorganismelor producătoare de biogaz din reziduurile organice este rezultatul metabiozei dintre următoarele trei comunități de microorganisme [30], [32], [46], [47], [62], [66], [67], [96], [104], [108], [109], [139], [144]:

- a) microorganisme nemetanogene, dar lichefiante și acidogene;
- b) microorganisme nemetanogene, dar acetogene;
- c) microorganisme metanogene.

Procesul fermentării anaerobe cuprinde trei etape:

- I. lichefierea acidogenă;
- II. acetogeneza (formarea acizilor);
- III. metanogeneza (formarea metanului).

În prima parte a etapei de lichefiere acidogenă, sub acțiunea enzimelor extracelulare (celulază, hemicelulaze, proteaze etc.) și a microorganismelor din prima comunitate are loc lichefierea reziduurilor organice printr-o degradare hidrolitică (hidroliză) în compuși organici cu o greutate moleculară mică.

Astfel, din polizaharide (celuloză, hemiceluloze etc.), din proteine și grăsimi și din compuși organici cu greutate moleculară mare, se formează oligo- și monozaharidele, aminoacizii, acizii grași și alți compuși organici micromoleculari.

În partea a doua a primei etape, microorganismele transformă compuși organici micromoleculari rezultați în urma procesului de lichefiere, în acizi organici. Adesea, stadiul de acidogeneză este numit stadiul CBO-lui constant, deoarece în fapt se petrece o rearanjare chimică a structurii moleculelor organice; acceptorii de hidrogen sunt compuși organici cu stare de oxidare superioară, care astfel se reduc. Această acidogeneză se poate desfășura pe două căi. Pe prima cale se formează acetat, bicarbonat, echivalenți reducători și hidrogen și se poate realiza numai atunci când hidrogenul molecular se îndepărtează imediat după formarea sa. Dacă hidrogenul molecular nu se îndepărtează, ci se acumulează, atunci devine preponderentă calea a doua, în care, în loc de acetat, se formează acizi grași volatili (exemplu acidul propionic și acidul butiric, etanol sau alți alcooli în cantități mici).

Ambele părți ale etapei de lichefiere acidogenă sunt realizate de o singură comunitate de microorganisme, iar multiplele asociații alcătuite din diferite specii se pot organiza în comunități stabile și eficiente pentru realizarea lichefierii acidogene.

În cadrul etapei a doua - acetogeneza, care se dezvoltă sub acțiunea comunității microorganismelor acetogene, acizii propionic și butiric cât și alcoolii inferiori produși în prima etapă (lichefierea acidogenă) sunt transformați în acetat, bicarbonat, echivalenți reducători și hidrogen molecular. Acetogeneza este condiționată și în acest caz de îndepărtarea hidrogenului molecular.

Populația stadiului nemetanogen este formată din bacterii aerobe, facultative și obligat anaerobe. Producții finali ai stadiului nemetanogen sunt transformați în continuare în metan de către bacteriile metanogene, în stadiul de metanogeneză (de gazeificare).

În cadrul celei de-a treia etape - metanogeneza, care se dezvoltă sub efectul bacteriilor metanogene, se formează biogazul, având în componența sa 65-70% metan (CH₄) și 25-30% dioxid de carbon (CO₂).

Acetatul produs în prima sau/și în cea de-a doua etapă este transformat, de către bacteriile metanogene, în metan și dioxid de carbon. Sub acțiunea bacteriilor metanogene are loc și reducerea bicarbonatului în metan cu ajutorul hidrogenului molecular format în prima sau/și în cea de-a doua etapă. Îndepărtarea hidrogenului molecular asigură continuarea acetogenezei din primele etape. Excesul de bicarbonat apărut în etapa metanogenă poate servi pentru neutralizarea ionilor de hidrogen produși în etapa acidogenă sau/și acetogenă.

În cadrul proceselor de fermentare anaerobă, toate aceste reacții decurg simultan.

Microorganismele metanogene, producătoare de metan, pretind pentru dezvoltarea lor, în raport cu cele care determină formarea acizilor, un mediu exclusiv anaerob.

Lichefierea acidogenă și acetogeneza se dezvoltă într-o perioadă relativ scurtă, de circa 5 zile, iar metanogeneza, ca etapă caracteristică formării metanului, are o durată mai lungă și este de mare sensibilitate la condițiile de mediu (temperatură, pH, concentrația materiei organice, prezența substanțelor toxice sau a celor inhibatoare etc).

Viteza de creștere a microorganismelor metanogene este relativ lentă, în general de 5-6 ori mai mică decât aceea a microorganismelor nemetanogene.

De asemenea, o altă caracteristică a microorganismelor metanogene o reprezintă capacitatea de dezvoltare și de multiplicare a acestora la temperaturi mai ridicate, deci în condiții de mezofilie (28-35°C) și mai ales de termofilie (50-55°C), spre deosebire de microorganismele nemetanogene [18], [24], [29].

Astfel, faza în care se dezvoltă comunitățile de microorganisme metanogene este faza cea mai lentă dar care determină viteza de reacție globală a procesului de formare a biogazului.

Dacă metabolismul bacteriilor metanogene este perturbat, se produce un regres al procesului, cu trecerea acestuia în faza de fermentare acidă determinându-se distrugerea bacteriilor producătoare de metan. De aceea, în cadrul desfășurării proceselor de fermentare anaerobă este necesar să se stimuleze factorii care favorizează capacitatea de metabolism a bacteriilor metanogene și să se elimine toți acei factori cu efecte negative [1], [132].

2.1.3 Factorii care influențează procesul de fermentare anaerobă

Procesul de fermentare anaerobă este influențat, în sens pozitiv sau negativ, de o multitudine de factori, determinați de [9], [10], [25], [26], [30], [34], [102], [112], [144], [146]:

- caracteristicile fizico-chimice ale maselor organice supuse fermentării, în care se includ:
 - ✓ compoziția și concentrația substanțelor solide;
 - ✓ raportul dintre componenta minerală și organică;
 - ✓ elemente nutritive;
 - ✓ raportul carbon-azot;
 - ✓ conținutul de acizi, valoarea pH, alcalinitatea;
 - ✓ prezența unor substanțe toxice sau inhibatoare etc.
- condițiile de exploatare a instalațiilor de fermentare determinate de:
 - ✓ temperatura mediului;
 - ✓ durata de fermentare;
 - ✓ sistemul de alimentare și evacuare;
 - ✓ doza de încărcare;
 - ✓ amestecul și recircularea;
 - ✓ forma digestoarelor etc.

Deoarece prin fermentarea anaerobă se urmărește atât creșterea producției de biogaz cât și stabilizarea componenței organice, alegerea parametrilor constructivi și de exploatare a instalațiilor de biogaz trebuie să se aleagă în concordanță cu efectul pozitiv al factorilor de influență.

2.1.3.1 Caracteristicile fizico-chimice ale maselor organice supuse fermentării

2.1.3.1.1 Compoziția și concentrația maselor organice solide

Sursa de materii prime necesară procesului de metanogenoză bacteriană o constituie reziduurile organice provenite de la crescătoriile de animale, nămolurile rezultate de la epurarea apelor reziduale, reziduurile domestice și materiile vegetale [5], [6], [7], [8], [10], [13], [28], [36], [52], [63], [64], [65], [78], [82], [89], [144].

Producția de biogaz, în cadrul proceselor de fermentare metanogenă, este determinată, în principal, de compoziția și concentrația materiilor solide totale utilizate.

Materiile solide totale, sunt constituite din suma materiile solide în stare de suspensie și materiile solide dizolvate organice și minerale.

Concentrația materiilor solide se exprimă, în mg/dm^3 și reprezintă cantitatea de substanțe minerale și organice conținute în unitatea de volum a apelor uzate sau a dejecțiilor animaliere.

Compoziția și concentrația materiilor solide variază în funcție de natura sursei de materii prime și de anotimpul în care acestea se produc.

Nămolurile proaspete provenite din apele uzate conțin între 60 și 70% materii organice și 30 și 40% materii minerale urmând ca după fermentare procentele să se inverseze, cantitatea de materii organice coborând la 40-45%, iar cele minerale să se ridice la 60-65%.

Excrementele de animale și de păsări cât și unele mase vegetale care nu se pot utiliza pentru furajarea animalelor, reprezintă pentru gospodăriile din mediul

rural, surse importante de materii prime pentru hrana bacteriilor metanogene producătoare de biogaz.

Părțile componente ale substanțelor solide din excrementele de animale și păsări cât și concentrația acestora, exprimată în procente, din totalul masei solide în stare uscată, sunt redate informativ în tabelul 2.1 [7], [10], [144].

Compoziția chimică a acestor excremente este influențată atât de tipul cât și de mărimea animalului sau a păsării, dar și de hrana administrată. Excrementele și urina rezultată pot conține suplimentar, după modul în care se face creșterea, cantități variate de apă, materiale de așternut și resturi de furaje.

Mersul procesului de fermentare metanogenă este determinat de compoziția și concentrația masei organice conținute în dejecțiile de animale și excrementele de păsări.

Astfel, zaharurile, acizii grași, acizii organici, albumina, peptidele, vitaminele, dizolvanții organici și antibioticele (dacă nu sunt în concentrații prea ridicate), au o viteză rapidă de descompunere, în schimb lignina, celuloza încrustată cu lignină, părul, ceara etc. având o viteză lentă de descompunere pot deranja evoluția procesului de metanogeneză bacteriană, evidențiată prin reducerea conținutului de metan din biogazul produs. Din această cauză, excrementele rumegătoarelor rezultate din consumul furajelor cu conținut ridicat în celuloză, determină producții de biogaz mult mai reduse în comparație cu excrementele provenite de la porcine și de la păsări. Prin fărâmițarea componentelor cu conținut de lignină, prin procedee mecanice, chimice sau termice pot fi făcute și ele apte pentru o descompunere biochimică completă.

**CONTRIBUȚII LA STUDIUL PROCESELOR DE FERMENTARE ANAEROBĂ
ÎN VEDEREA OBTINERII DE BIOGAZ**

Tabelul 2.1.

Conținutul chimic al excrementelor de animale și păsări,
în %, din totalul masei solide în stare uscată

Substanțele conținute în excrementele de animale și păsări	Bovine la îngrășat	Vaci cu lapte	Porci	Găini
Masa organică	77-85	77-85	77-84	76-77
Azot (N ₂)	2,3-4,0	1,9-6,5	4,0-10,3	2,3-5,7
Fosfor (P ₂ O ₅)	0,1-1,1	0,1-1,1	0,2-0,7	1,0-2,7
Potasiu (K ₂ O)	1,0-2,0	2,4	1,4-3,1	1,0-2,9
Calciu (CaO)	0,6-1,4	2,3-4,9	-	5,6-11,6
Magneziu (MgO)	0,5-0,6	-	-	0,9-1,1
Raport (C/N)	12-25	12-25	12-25	12-25
Fibre brute (celuloză)	-	27,6-50,3	19,5-21,0	13,0-17,8
Grăsimi brută	-	2,9-4,3	3,5-4,0	2,4-5,0
Proteină brută	-	9,3-20,7	16,4-21,5	20,5-42,1
Lignină	16-30	16-30	-	9,6-14,3

Compoziția chimică a paielor de cereale, a frunzelor sfeclei de zahăr și a vrejurilor de cartofi, precum și proporțiile substanțelor organice și minerale, exprimate, în %, din totalul masei solide uscate, sunt redată informativ în tabelul 2.2 [7], [8], [9], [10], [119], [120], [144].

Tabelul 2.2.

Conținutul chimic al paielor de cereale, frunzelor sfeclei de zahăr și a vrejurilor de cartofi, în %, din totalul masei solide în stare uscată

Substanțele conținute în masele vegetale	Paie de orez	Paie de grâu	Paie de secară	Paie de ovăz	Coceni de porumb	Frunzele sfeclei de zahăr	Vrejuri de cartofi
Masa organică	93,8	94,4	95,4	93,0	91,7	78,5	78,9
Azot (N)	0,54	0,46	0,46	0,54	1,20	2,00	2,34
Fosfor (P ₂ O ₅)	0,08	0,09	0,12	0,19	0,16	0,26	0,20
Potasiu (K ₂ O)	1,40	0,79	0,88	1,92	2,32	3,57	1,67
Calciu (CaO)	0,29	0,14	0,19	0,29	0,69	1,40	2,57
Magneziu (MgO)	0,10	0,07	0,05	0,09	0,30	0,60	0,83
Raport C/N	84	90-165	80-150	70-150	30-65	18	17
Fibre brute (celuloză)	43,5	45,5	47,5	44,5	33,3	11,5	23,8
Grăsimi brută	1,7	1,6	1,5	1,9	1,7	1,5	3,2
Proteină brută	3,5	2,9	2,9	3,4	7,5	12,5	14,6
Lignină	15-20	15-20	15-20	15-20	5,5	-	-

Frunzele sfeclei de zahăr și vrejurile de cartofi, prin conținutul lor ridicat de masă organică și azot, fiind lipsite de lignină și deci cu cantități reduse de celuloză, reprezintă surse valoroase de materii prime pentru dezvoltarea bacteriilor metanogene producătoare de biogaz.

Caracteristicile chimice ale nămolurilor rezultate din epurarea apelor reziduale comunale, variază după originea minerală și organică a substanțelor conținute în ele.

2.1.3.1.2 Compoziția maselor organice lichide

Compoziția chimică a nămolurilor proaspete și fermentate, precum și proporțiile de substanțe organice (considerate volatile) și minerale, exprimate în % din totalul masei solide în stare uscată sunt redată informativ în tabelul 2.3 [5], [6], [8], [9], [17], [97], [115], [144].

Tabelul 2.3.

Conținutul chimic al nămolurilor din apele reziduale,
în % din totalul masei solide în stare uscată.

Substanțele conținute în nămoluri	Nămol	
	proaspăt	fermentat
Substanțe organice (volatile)	60-80	45-60
Substanțe minerale totale	20-40	40-55
Cenușă insolubilă	17-35	35-40
Azot (N ₂)	(2,4-3,5)	(3-3,5)
Nitrat de sodiu	1-3,5	1,4
Fosfor P ₂ O ₅	1-3,5	0,5-3,7
Potasiu (K ₂ O)	0,2-0,5	0,4
Siliciu (SiO ₂)	...	15-16
Fier (Fe ₂ O ₃)	(3-2)	5,4
Celuloză și alte substanțe	10-13	10-13
Grăsimi și alte uleiuri	7-35	3-17
Proteine	22-28	16-21
Lignină	(5,8-8,5)	(5,2-5,6)

Fecalele umane și urina, prin faptul că omul consumă alimente mult mai bogate în substanțe proteice, conțin mai mult azot comparativ cu cele provenite de

la animalele domestice. Aceste reziduuri conțin cantități însemnate de fosfor, potasiu și de alte elemente.

Spre deosebire de animalele erbivore, la om, urina dă o reacție acidă și este mult mai abundentă decât componentele solide. La cabaline, de exemplu, raportul dintre fecalele solide și cele lichide este în medie de 5:1, iar la om acest raport este de 1:9 [8], [9], [116].

Un om matur elimină în medie, în timp de 24 ore, 133 g fecale solide (cu variații de la 100 la 200 g) și 1200 g urină. În timp de un an, de la un om adult, se pot acumula însemnate cantități de fecale și urină care prin conținutul lor de azot, fosfor și potasiu pot reprezenta nutrienții naturali deosebit de valoroși pentru culturile agricole.

2.1.3.1.3 Părțile componente ale maselor organice solide și lichide

În tabelul 2.4. sunt redate, după Davidescu [28], părțile componente ale fecalelor umane (solide și lichide) acumulate într-un an de la un om matur.

Tabelul 2.4.

Părțile componente ale fecalelor umane (solide și lichide)
acumulate într-un an de la un om matur

Părțile componente	Tipul fecalelor, în kg/om·an		Total kg/om·an
	lichide	solide	
Masa totală	438,00	48,50	486,5
Substanță uscată	23,00	11,00	34,00
Substanță organică	18,20	9,40	27,60
Azot (N ₂)	4,40	0,80	5,20
Fosfor (P ₂ O ₅)	0,66	0,60	1,26
Potasiu (K ₂ O)	0,81	0,27	1,08
Calciu (CaO)	0,08	0,29	0,37

Compoziția chimică a fecalelor umane (solide, lichide și amestecate) precum și conținutul procentual al acestora în apă, substanțe organice, azot, fosfor, potasiu și cenușă sunt redate în tabelul 2.5 [28], [90], [122].

Tabelul 2.5.

Compoziția chimică a fecalelor umane

Părțile componente	Tipul dejecțiilor, în %		
	solide	lichide	amestecate
Apă	73,82	93,47	91,42
Substanțe organice	19,40	4,20	5,70
Azot (N ₂)	1,60	1,00	1,10
Fosfor (P ₂ O ₅)	1,23	0,15	0,26
Potasiu (K ₂ O)	0,55	0,18	0,22
Cenușă	3,40	1,00	1,30

Conținutul procentual al fecalelor umane, în azot, fosfor și potasiu este strâns legat de cantitatea de apă pe care acestea o au, de calitatea hranei și de anotimp.

Compoziția chimică a excrementelor de păsări (gâște, rațe, găini și porumbei) cât și conținutul procentual al acestora în apă, în substanțe organice, azot, fosfor, potasiu și cenușă sunt redată în tabelul 2.6. [8], [9], [10].

Tabelul 2.6.

Compoziția chimică a excrementelor de păsări, în %

Părțile componente ale dejecțiilor proaspete	Gâște	Rațe	Găini	Porumbei	Media
Apă	79-82	53-55	56	52	60
Substanțe organice	14,20	27,0	26,0	30,0	24,4
Azot (N ₂)	0,6	0,8-0,1	0,7-3,6	1,2-2,4	0,8-2,3
Fosfor (P ₂ O ₅)	0,5	1,4-1,5	1,5-2,4	1,7-2,2	1,2-2,0
Potasiu (K ₂ O)	0,94	0,4-0,6	0,8-1,2	1,0-2,3	0,7-1,2

În tabelul 2.7. sunt redată informativ, cantitățile de dejecții și echivalentul acestora în substanță solidă uscată, produse zilnic de la unele animale și păsări [28], [125], [126].

Tabelul 2.7.

Cantitățile de dejecții și echivalentul acestora în substanță organică uscată
obținute de la animale și păsări

Animale și păsări	Dejecții, în kg/zi	Echivalentul în substanță solidă (uscată), în kg/zi
Vacă de lapte	60	7,50
Cal mediu	16	3,10
Porc îngrășat	5,80	0,54
Porc de îngășat	3,8	0,41
Purcel	0,45	0,045
Berbec reproducător	1,80	0,45
Oaie	1,80	0,45
Miel	0,68	0,18
Rață	0,18	0,068
Gâscă	0,27	0,070
Găină	0,135	0,031

Cunoscându-se compoziția și concentrația materiilor solide a diferitelor tipuri de reziduuri organice se poate determina, cu o bună aproximație, cantitatea de material ce se poate considera în calcule pentru producerea unei anumite cantități de biogaz. Un m³ de materie organică, având în componența sa gunoi de grajd (frunze, resturi menajere și deșeuri vegetale) conține circa 150 kg substanță organică uscată (S.O.) din care se poate produce între 60 și 120 m³ de biogaz.

2.1.3.1.4. Raportul dintre componenta organică și minerală

Cantitatea și calitatea biogazului rezultat în timpul fermentării anaerobe, exprimat prin conținutul în metan sunt determinate și de raportul existent între componenta organică și minerală a substanțelor solide introduse în fermentator. Pentru nămolurile proaspete provenite de la decantoarele primare ale stațiilor de epurare a apelor uzate orășenești se recomandă ca acest raport să fie de 2/3, iar după fermentare, el trebuie să ajungă la circa 1/3 [9], [94], [95]. La aceste nămoluri, cantitatea de substanțe organice variază între 60 și 80% din cantitatea totală a materiilor solide (tabelul 2.3), restul reprezentând substanțele minerale. După fermentare, substanțele organice coboară la circa 45-60%, iar cele minerale urcă la 40-55%.

Masa organică conținută în dejecțiile de animale și în excrementele de păsări (tabelul 2.1.) este de 75 - 85%, iar cea din deșeurile agricole (tabelul 2.2.) de 75 - 95%.

Componentele minerale și organice, a căror densitate diferă considerabil de cea a lichidului din fermentator, se pot sedimenta sau se pot ridica la suprafață perturbând dezvoltarea microbiană și diminuând în același timp conținutul de metan din gazul produs. Pentru evitarea acestui neajuns, este necesar ca atât materiile sedimentabile, cât și cele plutitoare să fie separate înainte de a fi introduse în fermentator.

Materiile solide, în special cele vegetale, se recomandă ca înainte de a fi introduse în fermentator să fie tăiate, fărâmițate sau zdrobite, pentru a se obține o masă cât mai omogenă, ușor de vehiculat prin diferite procedee mecano-hidraulice și în același timp mai comod de macerat de către bacteriile metanogene.

2.1.3.1.5 Elemente nutritive

În cadrul proceselor de fermentare anaerobă, substanțele organice reprezintă sursa principală de materii prime pentru dezvoltarea bacteriilor metanogene. O reproducție nestingherită a acestora are loc atunci când materialul nutritiv are în componența sa atât carbon cât și oxigen pentru aprovizionarea cu energie, hidrogen, azot, sulf și fosfor pentru producerea de albumină, precum și metale alcaline, fier și urme de alte elemente chimice [8], [9], [90], [122].

Dacă în substratul de porcine predomină hidrații de carbon față de albumine, va rezulta mai puțin amoniu, va crește conținutul de hidrogen molecular dar și cel de dioxid de carbon, va spori conținutul în acizi și se va reduce pH-ul și prin urmare, conținutul de metan din gazul produs se va diminua.

Pe de altă parte, un conținut de albumine sau aminoacizi mai mare decât cel admis va determina, de asemenea, reducerea conținutului de metan din gazul produs.

2.1.3.1.6 Raportul carbon-azot (C/N)

Raportul dintre carbon și azot determină în cea mai mare parte reacția microbială.

Producția de biogaz în cadrul proceselor de fermentare metanogenă este dependentă de natura materialelor organice introduse în fermentator, care determină de altfel o anumită valoare a raportului dintre carbon și azot (C/N).

Microorganismele implicate în fermentarea anaerobă au nevoie, pentru activitatea și dezvoltarea lor, atât de carbon cât și de azot, dar consumul de carbon este 30 – 35 de ori mai rapid decât consumul de azot.

Pentru valorificarea completă a materialului organic din fermentator este necesar ca raportul optim dintre conținutul în carbon și azot (C/N) să fie de cuprins în intervalul 15 : 1 – 30 : 1. Când acest raport este sub 15 : 1, au loc pierderi de azot [134], [151].

Raportul carbon-azot cât și conținutul în azot al maselor organice din dejecțiile de animale și excrementele de păsări, din paie de cereale, din frunzele sfeclei de zahăr și din vrejurile de cartofi sunt redați informativ în tabelele 2.1. și 2.2 [7], [8], [9], [10], [97], [144].

La dejecțiile de animale și excrementele de păsări, raportul carbon-azot fiind situat în limitele domeniului optim (C/N = 12-25), favorizează procesul de dezvoltare a bacteriilor metanogene producătoare de biogaz, în schimb la paie de cereale (orez, grâu, secară, ovăz și coceni de porumb) acest raport fiind cuprins între 30 și 165 face ca procesul de metanogeneză bacteriană să se dezvolte cu o viteză mai lentă. De aceea, pentru fermentarea anaerobă a materialelor vegetale devine necesară adăugarea unor mase organice bogate în azot. Dejecțiile de la porci și excrementele de păsări, gunoiul de grajd și fecalele umane, prin conținutul lor ridicat în azot, pot corecta raportul carbon-azot, în limitele domeniului optim favorizându-se astfel fermentația metanogenă și a materiilor vegetale.

În vederea stabilirii posibilităților de combinare a diverselor mase organice care se introduc în fermentatoarele de biogaz este necesar să li se cunoască raportul C/N respectiv conținutul acestora în carbon și azot.

În tabelul 2.8. se prezintă raportul C/N cât și conținutul procentual, în carbon și azot pentru o serie de materiale organice specifice pentru gospodăriile din mediul rural [7], [98], [101], [144].

Tabelul 2.8.

Raportul C/N și conținutul de carbon și azot, în %, pentru diferite mase organice

Material organic	C/N	%C	%N
Paie uscate de grâu	87	46	0,53
Coceni de porumb	53	40	0,75
Frunze	41	41	1,00
Iarbă	27	14	0,54
Dejecții ovine	29	16	0,55
Balegă taurine	25	7,3	0,29
Balegă de cal	24	10	0,42
Dejecții de porc	12	7,8	0,65
Dejecții de găină	15	45	3,0
Fecale umane	2,9	2,5	0,85

Raportul C/N pentru un amestec de “materii prime” ce urmează a fi supuse fermentării anaerobe, se poate determina utilizând relația:

$$\frac{C}{N} = \frac{P_1 \cdot r_1 + P_2 \cdot r_2 + \dots + P_n \cdot r_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i r_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (2.6)$$

în care: P_1, P_2, \dots, P_n reprezintă numărul de părți din fiecare material component;

r_1, r_2, \dots, r_n reprezintă raportul C/N al componentelor utilizate.

2.1.3.1.7 Conținutul de acizi, valoarea pH-ului și alcalinitatea

Deoarece bacteriile metanogene au capacitatea de metabolism și viteza de reproducție mai redusă decât bacteriile acidogene, prin supradozarea sau supraîncărcarea fermentatoarelor cu substanțe organice, se poate crea un surplus de acizi volatili ce frânează activitatea bacteriilor metanogene. Acest fenomen poate să apară numai în momentul în care valoarea pH-ului a scăzut sub limita de 6,5. În mod normal, în timpul formării acizilor, datorită alcalinității (capacității tampon) substanțelor solide supuse fermentării (substratul), valoarea pH-ului nu se reduce sub limita admisă. Fenomenul de tamponare sau de neutralizare este rezultatul formării de carbonați prin intermediul dioxidului de carbon eliminat în timpul procesului de fermentație.

Pentru ca procesul de fermentare metanogenă să nu fie perturbat este necesar ca în masa solidă din fermentator, conținutul de acizi volatili, valoarea pH și alcalinitatea să se încadreze în limitele din tabelul 2.9. recomandate de Badeer [4], [5], [8], [9], [10].

Tabelul 2.9.

Conținutul de acizi volatili, valoarea pH și alcalinitate

Conținutul	Unitatea de măsură	Valoarea
Acizi volatili	mg/dm ³	600-1500
pH	-	6,5-7,5
Alcalinitate	mg Ca(HCO ₃) ₂ /dm ³	1500-5000

Procesul de metanogeneză bacteriană poate fi perturbat prin creșterea conținutului de acizi volatili și a celui de dioxid de carbon din gazul produs sau prin descreșterea alcalinității și a valorii pH-ului.

Conținutul de CO₂ din gazul de fermentare trebuie să se încadreze în limitele de 30-35%.

2.1.3.1.8 Inhibitorii

Activitatea microorganismelor metanogene este perturbată dacă în masa solidă din fermentator se află concentrații prea ridicate de detergenți, săruri grele, metale alcaline sau metale alcalino-pământoase.

În tabelul 2.10. se prezintă, după Baader [1], [6], [8], concentrațiile admise pentru o serie de inhibitori de la care activitatea bacteriilor anaerobe producătoare de metan începe să fie perturbată.

Tabelul 2.10.

Limita de concentrație a unor inhibitori

Natura inhibitorilor	Concentrația, în mg/dm ³
Cupru	10
Calciu	8000
Natriu	8000
Magneziu	3000
Amoniac	1500
Sulfați	200
Nitrați	50

Pentru dizolvanții organici detergenți și antibiotice, nu se cunosc concentrațiile critice, însă aceste substanțe, chiar în cantități minime deranjează atât metabolismul cât și viteza de reproducție a bacteriilor metanogene.

2.1.3.2 Condițiile de exploatare a instalațiilor de fermentare

2.1.3.2.1 Temperatura mediului

Temperatura reprezintă factorul determinant pentru buna desfășurare a proceselor de fermentare anaerobă, influențând direct metabolismul și rata de reproducție a bacteriilor metanogene, durata de fermentare, cantitatea și calitatea gazului produs.

În condiții naturale, în spații închise și neîncălzite, la temperaturi de 5-15°C are loc o fermentare crioofilă (rece), care se desfășoară pe o durată îndelungată în timp.

În aceste spații odată cu creșterea temperaturii mediului de fermentare, se dezvoltă două tipuri de bacterii: unele care se adaptează la temperaturi de până la 37° C, numite mezofile și altele la temperaturi de 50-60°C, numite termofile.

În funcție de temperatura realizată în spațiile de fermentare se deosebesc trei zone caracteristice:

-zona temperaturilor înalte (44-60°C), în care acționează bacteriile termofile,

-zona temperaturilor moderate (15-43°C), în care acționează bacteriile mezofile și

-zona temperaturilor joase (sub 15°C), în care acționează bacteriile criofile.

Cele trei zone, caracteristice pentru fermentarea nămolurilor provenite de la epurarea apelor uzate orășenești, sunt redată în figura 2.3.

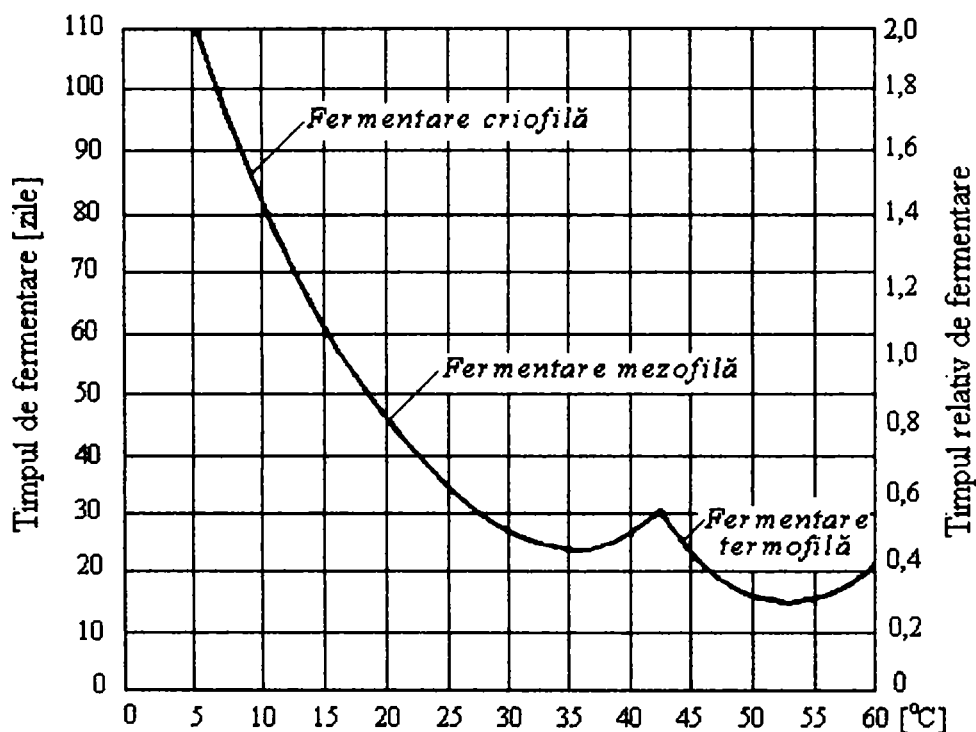


Fig. 2.3 Zone caracteristice pentru fermentarea nămolului

Temperatura optimă pentru activitatea bacteriilor termofile se consideră de 55°C, iar pentru cele mezofile de 37°C; sub 5°C activitatea bacteriilor metanogene încetează [9], [54], [97], [144].

După unii autori [72], temperatura optimă pentru activitatea bacteriilor mezofile se consideră de 28°C.

În condițiile mediului natural, la fermentatoarele îngropate și neîncălzite, această temperatură nu se poate atinge nici chiar în perioadele calde, de vară, temperatură care la aceste instalații nu depășește 25°C.

Fermentarea la temperaturi mai înalte, determină cu scurtarea duratei de fermentare, crește cantitatea de gaze produse, sporește cu 5-10% procesul de descompunere a substanțelor organice și reduce aproape complet bacteriile patogene din nămolurile rezultate [2], [3], [14], [28], [100], [106]. Cu toate avantajele subliniate, consumul ridicat de energie termică pe care îl necesită pe de-o parte cât și diminuarea conținutului de metan din gazul produs pe de altă parte, fac ca fermentarea în zona termofilă, să se utilizeze foarte rar. Din aceste considerente pentru valorificarea, sub aspect energetic a nămolurilor din apele uzate orășenești sau a dejecțiilor animaliere provenite de la complexe agrozootehnice de tip industrial, se recomandă utilizarea de fermentatoare încălzite la temperaturi de maxim 28-33°C, iar pentru fermentatoarele de mică capacitate, neîncălzite, specifice zonelor rurale, să se folosească temperatura mediului ambiant.

Durata optimă a fermentării termofile este de 5-7 zile, a celei mezofile de 20-25 zile, iar a celei criofile de peste 90 zile.

Efectul temperaturii asupra volumului de gaze obținute dintr-o probă de nămol dintr-un bazin de fermentare convențional cât și asupra duratelor de fermentare necesare pentru a se produce 90% din cantitatea totală posibilă de gaze este evidențiat în diagrama din figura 2.4 [9], [16], [23], [72]. Producția relativă a gazului de fermentare α_G , reprezintă raportul dintre producția de gaze G obținută la o temperatură de fermentare oarecare T și producția maximă de gaze G_0 obținută la temperatura optimă de fermentare T_0 .

Durata relativă de fermentare $\alpha_\theta = \theta/\theta_0$, reprezintă raportul dintre timpul de fermentare θ pentru care, la temperatura T , se obține producția de gaze G și timpul optim de fermentare θ_0 pentru care la temperatura optimă T_0 se obține producția de gaze G_0 .

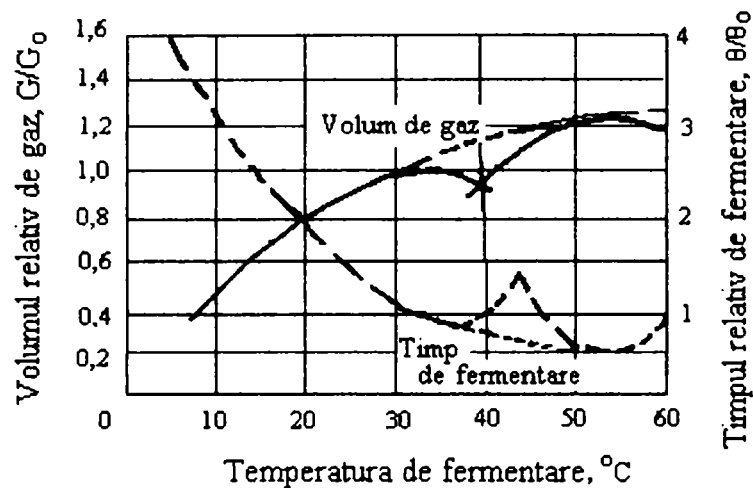


Fig. 2.4 Efectul temperaturii asupra cantităților relative de gaze și a duratelor relative de fermentare

Producțiile relative de gaze și duratele relative de fermentare, reprezentate în figura 2.4., s-au stabilit pentru domeniul temperaturilor cuprinse între 5°C și 60°C.

Pentru $T_0 = 33^\circ\text{C}$; $\alpha_G = G/G_0 = 1$ și $\alpha_\theta = \theta/\theta_0 = 1$

$T_0 = 55^\circ\text{C}$; $\alpha_G = G/G_0 = 1,25$ și $\alpha_\theta = \theta/\theta_0 = 3,2$

Prin ridicarea temperaturii, producția totală de gaze crește, în timp ce duratele de fermentare se reduc în mod considerabil.

Maly și Fadrus [72], cercetând efectul temperaturii asupra cantității și calității gazelor de fermentare, au dovedit că prin majorarea temperaturii, producția totală de gaze crește, în schimb conținutul acestora în metan nu poate depăși o anumită limită maximă.

Efectul temperaturii asupra cantității și calității gazului produs în raport cu durata de fermentare este redat sugestiv în figura 2.5.

Producția de metan obținută la temperatura de 50°C sub efectul bacteriilor termofile este aproximativ egală cu cea realizată de bacteriile mezofile la temperaturile de 20 și 30°C evident, după intervale de timp mult mai mari.

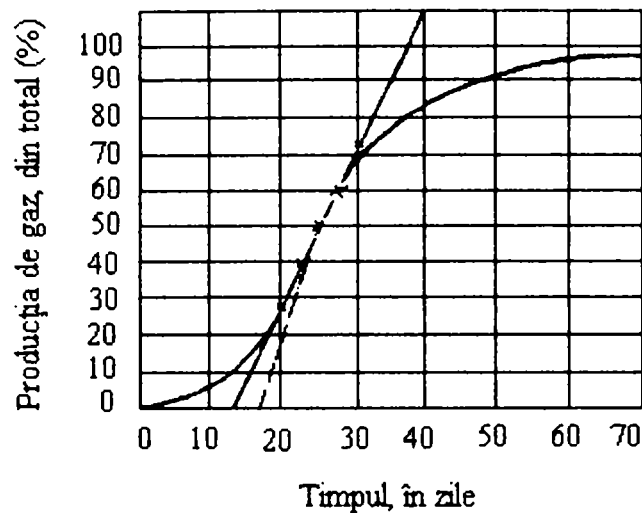


Fig. 2.5 Efectul temperaturii asupra cantității și calității gazului produs

Limita maximă a conținutului de metan din gazul produs la temperatura de 20°C este atinsă după 90 zile, la 30°C după 25-30 zile, iar la 50°C după numai 10-12 zile.

Deoarece prin majorarea temperaturii de fermentare, conținutul de metan din gazul produs nu poate depăși anumite limite maxime, conținutul de CO₂ va crește și prin urmare capacitatea calorică a gazelor rezultate se va diminua cu până la 20-30% față de cea a gazelor obținute la temperaturile de 20 și 30°C.

Sub acest aspect, fermentatoarele neîncălzite care funcționează la temperatura mediului ambiant (15-25°C), specifice gospodăriilor din mediul rural, dezvoltă gaze a căror capacitate calorică este mult superioară celor obținute cu instalațiile încălzite la temperaturi de peste 30°C.

Scăderile bruște de temperatură perturbă metabolismul și rata de reproducție a bacteriilor metanogene. Pentru evitarea acestui neajuns este recomandabil ca în fermentatorul de biogaz temperatura să se mențină constantă sau aproape constantă pe toată durata de desfășurare a procesului.

Menținerea temperaturii minime de fermentare, la instalațiile neîncălzite nu ridică probleme decât în timpul iernii, deoarece vara, temperatura mediului înconjurător este suficientă. În cazul în care se dorește accelerarea procesului este suficient să se acopere bazinul de fermentare cu o folie de material plastic pentru a

se realiza efectul de seră. Iarna însă, când temperatura mediului înconjurător scade foarte mult, se recomandă ca instalația să acopere și să se înconjoare cu bălegar proaspăt, aflat în faza de fermentare aerobă, asigurându-se astfel căldura necesară desfășurării proceselor de fermentare metanogenă.

2.1.3.2.2. Durata de fermentare

Durata de fermentare reprezintă timpul necesar pentru descompunerea parțială sau completă a substanțelor solide introduse în fermentator, fiind influențată direct de temperatura de fermentare, de umiditatea și proveniența nămolului, de cantitatea și calitatea biogazului ce se urmărește a se obține.

Descompunerea completă necesită perioade de staționare mai lungi dar și recipiente de capacitate mai mare, în timp ce la descompunerea parțială, perioadele de staționare sunt mai scurte, iar recipientii de fermentare au capacitatea mai redusă.

Staționarea mai îndelungată a materialelor organice în fermentator, determină o creștere a conținutului de metan cu reducerea corespunzătoare a celui de CO₂ și prin urmare un gaz de calitate mai bună [8], [9].

Timpul optim de staționare se stabilește din considerente tehnico-economice, în funcție de caracteristicile maselor organice și de gradul de fermentare dorit.

Gradul de fermentare final, în general, se consideră atins atunci când s-a obținut aproximativ 90% din producția de gaz teoretică.

Limita tehnică de fermentare pe baza căreia se alege durata optimă (tehnică) de fermentare, corespunde cantității de gaze rezultate din descompunerea substanțelor organice solide în proporție de 90%, în cazul instalațiilor de tip industrial și de 45-50%, în cazul instalațiilor de tip gospodăresc.

Durata de fermentare influențează direct producția de gaz ce se poate obține, la o anumită temperatură de fermentare.

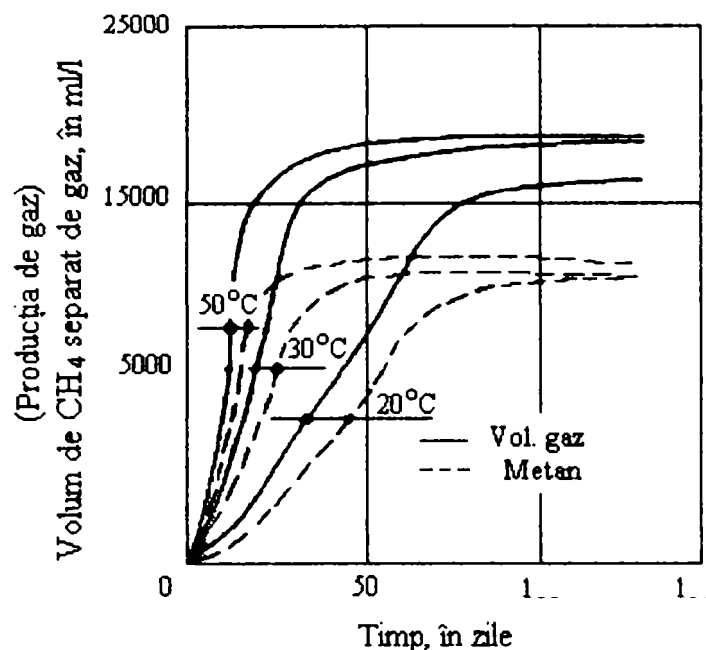


Fig. 2.6 Variația producției de gaz în funcție de timpul de fermentare

Variația producției de gaz în funcție de timpul de fermentare, pentru o probă de nămol, provenită de la un digestor static, la temperatura de 20°C este redată în figura 2.6 [62], [96], [106].

Viteza de fermentare, sau viteza de producere a biogazului este mică la început, fiind urmată de o creștere continuă, pentru ca la finele procesului aceasta să descrească din nou, atunci când producția de gaz se apropie de o valoare limită. Linia punctată din figura 2.6 definește pe abscisă o zonă de întârziere, care la fermentarea cu alimentare continuă dispăre.

Influența temperaturii asupra timpului de fermentare este redată după Fair și Moore [37], [43], [55], în figura 2.7.

Din această reprezentare, rezultă și cantitatea de biogaz produsă dintr-un kg de material organic supus procesului de fermentare anaerobă.

Duratele de fermentare uzuale cresc pe măsură ce temperatura din instalație scade.

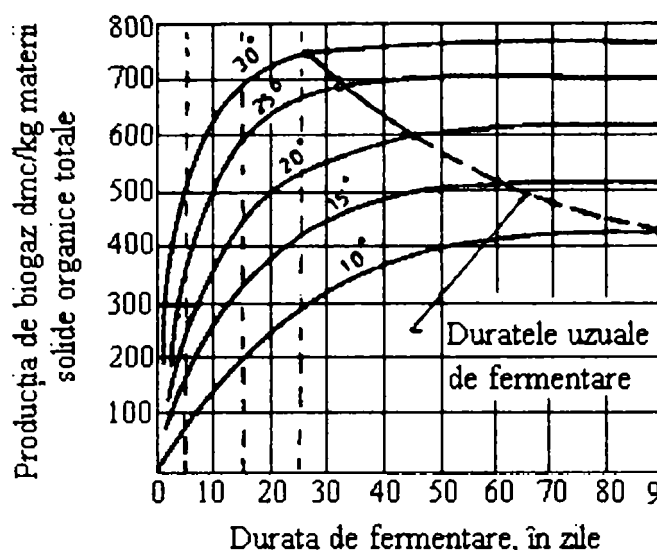


Fig. 2.7 Influența temperaturii asupra timpului de fermentare

Legătura dintre durata și temperatura de fermentare se poate evidenția prin relația (2.7) [97]:

$$\theta = \theta_0 e^{\lambda_\theta(T-T_0)} \quad (2.7)$$

sau:

$$\ln \theta/\theta_0 = \lambda_\theta(T-T_0) \quad (2.8)$$

în care: θ , θ_0 sunt duratele, în zile, necesare pentru fermentarea completă a nămolului la temperatura $(T - T_0)$;

λ_θ , este panta corespunzătoare dreptei din reprezentarea în scară semilogaritmică a funcției (2.7).

Duratele optime de fermentare se stabilesc în funcție de temperatura la care se obține producția maximă de biogaz sau în raport cu gradul optim de descompunere al materialelor organice posibil a fi realizat cu temperatura de care se dispune în fermentator.

Duratele optime de fermentare ale unor dejecții de animale și păsări, în funcție de încărcare și gradul de descompunere realizat la temperatura de 33°C, sunt redată, după Baader [9], în tabelul 2.11.

Tabelul 2.11.

Duratele optime de fermentare ale unor dejecții animaliere și păsări în funcție de doza de încărcare și gradul de descompunere la temperatura de 33°C

Dejecții de animale și păsări	Doza de încărcare, în kg/m ³ ·zi	Durata de fermentare, în zile	Gradul de descompunere, în %
Vaci cu lapte	6,0	15	40
Bovine la îngrășat	4,5	10	40
Porci	3,0	10	50
Găini	1,5	50	55

Duratele de fermentare la excrementele de găini sunt mai lungi, datorită conținutului mai ridicat de amoniac pe care acestea îl conțin.

În cazul în care alimentarea instalațiilor se face discontinuu, perioadele de fermentare se majorează cu 20-25%.

La instalațiile cu funcționare discontinuă, fermentarea începe imediat, dar producția de biogaz se obține abia după 10-15 zile. Biogazul obținut în primele zile, având un conținut mai ridicat de CO₂, se aprinde mai greu sau nu arde deloc. Aceste fracțiuni de gaz se elimină, la începutul procesului prin câteva eșapări în atmosferă, captându-se numai producția următoare cu conținut sporit de metan [98].

Timpul de fermentare necesar pentru descompunerea substanțelor organice și transformarea acestora în biogaz se compune dintr-o perioada de timp cerută pentru amorsarea procesului t_a și dintr-o perioada utilă t_u caracteristică gazelor cu conținut ridicat de metan. Legătura dintre aceste durate se poate exprima prin relația:

$$\theta = \theta_a + \theta_u. \quad (2.9)$$

Durata de amorsare se poate reduce dacă materiile organice vegetale utilizate sunt menținute în grămezi timp de 10-15 zile sau prin dăugarea de maia (nămol fermentat dintr-o fermentație anterioară, dejecții animaliere și/sau fecale umane în stare proaspătă).

În cazul instalațiilor neîncălzite, timpul de staționare în fermentator, se consideră în medie de 60 zile. În funcție de această durată medie se stabilește ritmul de alimentare al fermentatorului.

Generatorul de biogaz cu umplere și golire discontinuă se încarcă și se descarcă de 6-7 ori pe an.

2.1.3.2.3 Sistemul de alimentare și evacuare

Sistemul de alimentare și evacuare determină în mare măsură randamentul instalațiilor producătoare de biogaz [9], [83], [86], [96], [98].

Alimentarea și evacuarea trebuie făcută în concordanță cu ritmul și gradul de descompunere al substanțelor organice existente în fermentator.

Adaosul de material proaspăt cât și evacuarea celui fermentat se poate face în mod continuu sau intermitent cu șarje cât mai dese și de lungă durată.

Este de preferat ca alimentarea instalației producătoare de biogaz, să se facă în mod continuu, deoarece materialul organic în stare proaspătă contribuie la menținerea unui mediu alcalin, ferind volumul total de șocuri cu materiale organice de calitate mult diferită.

Alimentarea instalațiilor, cu materiale organice în cantități mai mari decât cele necesare are drept consecință evacuarea din fermentator a substanțelor organice mai puțin descompuse și prin urmare, producția de biogaz raportată la unitatea de masă organică introdusă, se reduce considerabil.

Dacă masa organică introdusă este mai mică decât cea consumată are ca efect utilizarea incompletă a capacității utile a rezervorului de fermentare.

În cazul în care recipientii de fermentare cu alimentare intermitentă se încarcă mult prea rapid, datorită disproporției dintre cantitatea de bacterii active existente în fermentator și cantitatea de substanță nutritivă oferită, transformările biochimice sunt mai lente, iar cantitatea de biogaz eliberată pe unitatea de timp și de masă introdusă este mai mică.

Randamentul maxim al instalațiilor de biogaz alimentate în sistem continuu sau intermitent se poate obține numai atunci când substanța organică introdusă corespunde cu cantitatea de substanță organică descompusă.

Considerând o medie de fermentare de 60 zile, alimentarea instalațiilor producătoare de biogaz se poate face zilnic în șarje mici sau la intervale de 7-10 zile, astfel încât cantitățile extrase să fie egale cu cele introduse. Șarjele zilnice se stabilesc în funcție de volumul util al fermentatorului.

Ritmul de alimentare, în funcție de capacitatea fermentatorului, este redat în tabelul 2.12 [8], [9], [64], [75], [83], [144].

Materialele fibroase vor fi fărâmițate (tocate) înainte de a se introduce în fermentator, iar apa necesară procesului se recomandă ca să fie caldă.

Tabelul 2.12.

Ritmul de alimentare în funcție de capacitatea fermentatorului

Ritmul de alimentare	Capacitatea de fermentare, în m ³			
	5	10	25	50
Zilnic, în m ³ /zi	0,08	0,16	0,4	0,8
Decadal, în m ³ /decadă	0,80	1,60	4,0	8,0

2.1.3.2.4 Doza de încărcare

Doza de încărcare a bazinelor de fermentare se poate stabili în funcție de proveniența materialului organic și temperatura mediului sau față de volumul util al spațiului de fermentare.

Dozele de încărcare pentru rezervoarele de fermentare alimentate cu nămol provenit de la epurarea apelor orășenești variază, în funcție de gradul de descompunere al substanțelor organice (32 la 55%) și temperatura de fermentare (30 la 52°C), între 1 kg/m³ zi și 8 kg/m³ zi [8], [9].

Doza de încărcare se stabilește printr-un calcul tehnico-economic ținând seama că prin creșterea dozei de încărcare, volumul rezervorului de fermentare se micșorează determinând reducerea gradului de descompunere al substanțelor

organice iar prin micșorarea dozei de încărcare crește în mod corespunzător volumul rezervoarelor de fermentare.

Dozele optime de încărcare, se pot considera, de 3-4 kg/m³zi în cazul fermentării mezofile și de 4-6 kg/m³zi pentru fermentarea termofilă.

Pentru nămolul provenit de la epurarea apelor uzate orășenești, dozele de încărcare, se pot considera de 2-4 kg/m³zi în cazul fermentării mezofile și de 3-6 kg/m³zi pentru fermentarea termofilă.

Diagrama din figura 2.8 exprimă legăturile dintre substanța uscată (S.U.) constituită din bălegarul de vite, exprimat în %, cantitatea de bălegar fluid introdusă în bazinul de fermentare în l/m³zi, doza de încărcare în kg S.U./m³·zi și timpul de staționare al bălegarului în camera de fermentare, în zile. La trasarea diagramei, s-a ținut cont de faptul că substanțele volatile (S.V.) reprezintă 80% din conținutul de substanță uscată (S.U.), iar un litru de bălegar fluid cântărește un kilogram [9].

Dacă bălegarul are, de exemplu, un conținut de substanță uscată de 8% și se alege o doză de încărcare de 3 kg S.U./m³zi, este nevoie, așa cum rezultă din diagramă, să se introducă zilnic 47 litri de bălegar fluid pentru fiecare m³ de bazin.

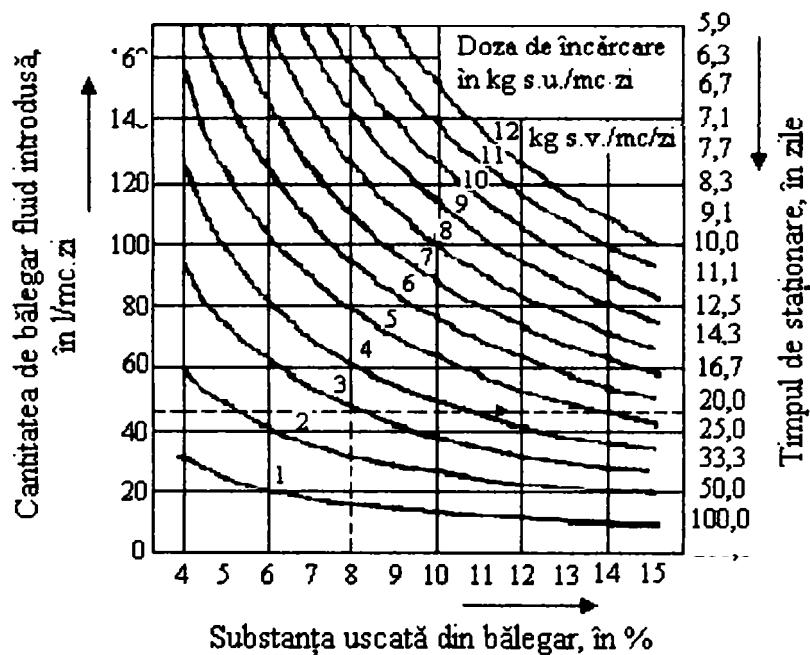


Fig. 2.8 Legătura dintre conținutul în substanță uscată din bălegarul de vite, bălegarul fluid introdus, doza de încărcare și timpul de fermentare

Acestei încărcări de $47 \text{ l/m}^3\text{zi}$, îi corespunde un timp de staționare în bazin de 21,3 zile. În cazul în care se alege timpul de staționare, se poate calcula încărcătura necesară pentru dimensionarea bazinelor de fermentare.

Din aceeași diagramă rezultă, de asemenea, că pentru o anumită doză de încărcare, cantitatea de bălegar fluid care se introduce în camera de fermentare variază în funcție de conținutul în substanță uscată a bălegarului. Dacă doza de încărcare considerată este de $3 \text{ kg S.U./m}^3\text{zi}$ și conținutul de substanță uscată din bălegar crește de la 4 la 15%, încărcarea camerei de fermentare cu bălegar fluid, scade de la 93,75 la $25 \text{ l/m}^3\text{zi}$, iar duratele de staționare vor crește de la 10,7 la 40 zile.

Bălegarul cu un conținut redus de substanțe uscate este mai fluid, iar cel cu un conținut mai mare de substanțe uscate este mai vâscos. Pe aceste considerente, consumul de energie pentru încălzitul unui bălegar cu 4% substanțe uscate este de 3,75 ori mai mare decât a celui cu 15% substanțe uscate.

Multitudinea și complexitatea factorilor care intervin în desfășurarea proceselor de fermentare anaerobă, ca de exemplu: conținutul în apă al bălegarului, componentele organice, temperatura procesului, forma bazinelor de fermentare etc., fac dificilă stabilirea unor doze optime de încărcare sau al unor durate optime de staționare pentru specificul diferitelor sorturi de bălegar sau de alte dejecții animaliere.

Pentru fermentarea mezofilă a bălegarului de vite se recomandă folosirea unor doze de încărcare de 3-6 $\text{kg S.U./m}^3\text{zi}$ și cu o durată de staționare de 10-20 zile. Pentru fermentarea termofilă doza de încărcare trebuie să fie de 6-12 $\text{kg S.U./m}^3\text{zi}$ cu o durată de staționare de 5-10 zile. Pentru dejecțiile provenite de la porcine și păsări, prin faptul că au un conținut mai mare de azotat de amoniu care poate împiedica dezvoltarea bacteriilor metanogene, se recomandă utilizarea unor doze de încărcare mai mici și o prelungire a duratelor de staționare în fermentator.

2.1.3.2.5 Amestecul și recircularea

Amestecul și recircularea sunt mijloace prin care se stimulează dezvoltarea procesului de metanogeneză bacteriană, având drept scop omogenizarea materialului proaspăt, mai rece, cu cel din fermentator, mai cald, a celui sedimentabil cu cel plutitor, evitarea formării crustei și a uniformizării pH-ului masei din fermentator.

În funcție de specificul și capacitatea bazinelor, amestecul și recircularea se pot realiza prin următoarele procedee [8], [31], [34], [35], [61], [79], [80], [97]:

-trimiterea zilnică sau la intervale scurte de timp de material proaspăt sub presiune în diferite puncte ale bazinului sau deasupra nivelului de nămol pentru a împiedica formarea crustei;

-trimiterea sub presiune de apă sau de nămol rezultat dintr-o fermentare anterioară; această injecție se poate face fie deasupra nivelului de nămol din bazin, fie în diferite puncte ale bazinului, cu scopul de a se asigura însămânțarea nămolului proaspăt cu comunități microbiene selecționate;

-insuflarea la partea de jos a bazinului a unei părți din gazul rezultat în timpul procesului;

-utilizarea de hidroelevatoare, agitatoare sau pompe de nămol pentru recircularea nămolului din interiorul bazinului.

În cadrul operațiilor de recirculare este importantă îndepărtarea periodică a crustei formată și reintroducerea ei în masa de nămol din bazin. În perioada când se face alimentarea cu nămol proaspăt, acesta este bine să fie încălzit, în măsura în care este posibil, la temperatura de fermentare și apoi, împreună cu nămolul mai vechi de recirculare, să fie introdus în bazin.

Bazinele de fermentare de capacitate mică, specifice gospodăriilor individuale și care funcționează la temperatura mediului ambiant, vor fi echipate cu agitatoare acționate manual, iar materialul organic, înainte de a fi introdus în bazin, se va prepara cu apă caldă.

2.1.3.2.6 Forma bazinelor de fermentare

Forma bazinelor de fermentare influențează în mare măsură ritmul și viteza de dezvoltare a bacteriilor anaerobe producătoare de metan [7], [8], [9], [144], [150].

Alegerea unei forme corespunzătoare, ușurează omogenizarea, reduce consumul de energie pentru amestecare și recirculare, sporește gradul de mecanizare și favorizează condițiile de exploatare (alimentare-evacuare).

Mărimea volumului de fermentare, reprezintă în prezent, criteriul pe baza căruia se alege forma rezervorului.

Secțiunea în plan a rezervoarelor de fermentare poate fi circulară sau pătrată. Se preferă secțiunea circulară deoarece ușurează amestecarea nămolului și elimină spațiile moarte.

Formele uzuale ale recipientilor de fermentare sunt redată în figura 2.9 [9], [150].

Rezervorul în formă de "pară" redat în figura 2.9.a, reprezintă soluția optimă atât sub aspectul condițiilor constructive cât și a celor de exploatare. Dificultățile de execuție, fac ca aceste tipuri de rezervoare să nu aibă în prezent o extindere prea mare. Materialul de construcție folosit este betonul armat.

Recipientii ce nu depășesc capacitatea de 30 m³ se pot executa și din mase plastice armate cu fibre de sticlă.

Rezervorul de fermentare din figura 2.9.b, alcătuit dintr-un corp cilindric închis la cele două capete cu trunchiuri de con, reprezintă din punct de vedere constructiv o soluție apropiată celui în formă de pară. La acest tip de rezervor, datorită discontinuităților create între corpul cilindric și cele două trunchiuri de con, determină condiții interioare de curgere mai puțin favorabile, făcând ca necesarul de energie pentru amestecare și omogenizare să fie mult mai mare față de cel al recipientilor în formă de pară. Acest tip de digester se recomandă la fermentarea nămolurilor provenite de la stațiile de epurare orășenești sau de la complexele

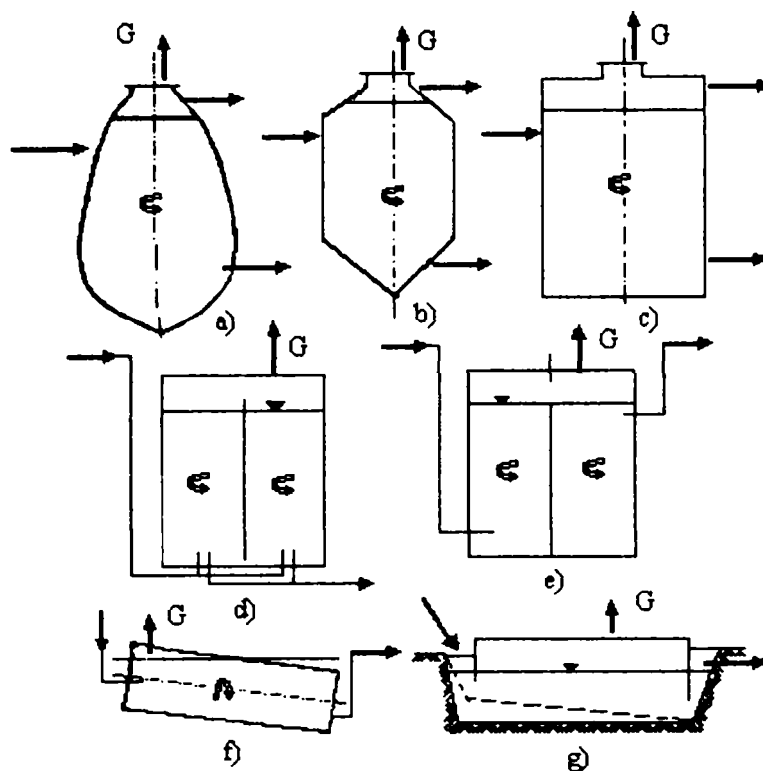


Fig. 2.9 Forme uzuale ale recipientelor de fermentare

zootehnice de tip industrial. Se execută din beton armat cu capacități cuprinse între 500 și 2000 m³.

Rezervoarele de formă cilindrică cu radierul și capacul orizontal (figura 2.9.c), datorită faptului că se poate executa cu mai multă ușurință se recomandă pentru fermentarea nămolurilor de la complexe zootehnice de mică și medie capacitate. Se pot executa din tablă de oțel, beton, beton armat și uneori chiar din mase plastice. Principalele neajunsuri ale acestor tipuri de rezervoare sunt datorate condițiilor de scurgere mai puțin favorabile și a dificultăților de înlăturare a stratului plutitor și a nămolului fermentat. La instalațiile de mică capacitate, dispozitivele de amestec și de recirculare pot să lipsească.

În cazul în care recipientul cilindric se compartimentează prin intermediul unui perete transversal (figura 2.9.d), se obține o soluție mult mai economică față de alternativa în care pentru fermentarea completă s-ar fi utilizat doi recipiente identici cuplați în serie. Recipientii de fermentare cu pereți despărțitori prezintă avantajul unor consumuri mai reduse de materiale pentru construcția și izolarea

pereților, sporește gradul de limpezire, reduce consumul de energie pentru încălzirea agentului termic deoarece instalațiile de încălzire pentru cele două compartimente se pot amplasa în peretele despărțitor. Recipientii de acest tip se recomandă pentru fermentarea și limpezirea dejecțiilor animaliere cu un grad ridicat de fluiditate.

Spațiile de fermentare, de forme cubice sau prismatice, având secțiunile orizontale, pătrate sau dreptunghiulare (figura 2.9.e) se recomandă pentru instalațiile simple, de uz gospodăresc. Se pot construi sub formă de bazin, cu unul sau chiar cu două compartimente. Nu se prevăd cu dispozitive de amestecare și recirculare. Evacuarea sedimentelor și a stratului plutitor făcându-se cu mare dificultate reprezintă neajunsurile pentru o exploatare corespunzătoare a acestor tipuri de instalații.

Recipientul de fermentare cilindric cu axul orizontal sau înclinat (figura 2.9.f) se recomandă tot pentru instalațiile de uz gospodăresc. Înclinarea cilindrului înlesnește curgerea nămolului fermentat către orificiul de evacuare. Acest tip de fermentator se pretează mai ales pentru instalații cu funcționare continuă. Introducerea nămolului proaspăt trebuie făcută în funcție de cantitatea masei organice descompuse.

Canalul de fermentare redat în figura 2.9.g, reprezintă o soluție simplă și ușor de construit recomandată pentru fermentarea unor cantități mai mari de substanțe organice de proveniență animală sau vegetală. Canalul are radierul înclinat, iar pereții verticali sau înclinați. Se execută din beton sau chiar din pământ. Colectarea gazului de fermentare se asigură prin intermediul unei folii gonflabile din material plastic sau cu ajutorul unui clopot metalic plutitor.

3. CONSIDERAȚII TEORETICE ASUPRA FERMENTĂRII ANAEROBE

3.1 Cinetica proceselor de fermentare anaerobă

3.1.1 Ecuațiile fermentării anaerobe

Procesele de fermentare anaerobă cuprind trei etape-trepte: lichefierea acidogenă; acetogeneza (formarea acizilor) și metanogeneza (formarea metanului).

Producerea metanului din reziduurile organice este rezultatul acțiunii simultane a trei comunități de microorganisme: microorganismele nemetanogene, dar lichefiante și acidogene de tip A; microorganismele nemetanogene, dar acetogene de tip B și microorganismele metanogene de tip C, care apar și se dezvoltă pe parcursul celor trei etape caracteristice [12], [19], [20], [21], [30], [40], [41], [97], [127], [128].

Reacțiile care au loc în timpul desfășurării proceselor de fermentare anaerobă sunt schematizate în figura 3.1 [12]. Bacteriile producătoare de acizi din prima comunitate, descompun, în paralel cu dezvoltarea și înmulțirea bacteriilor, compușii organici complecși în structuri organice simple, iar compușii organici intermediari, sub formă de acizi organici sau de acizi volatili etc., alimentează bacteriile producătoare de metan.

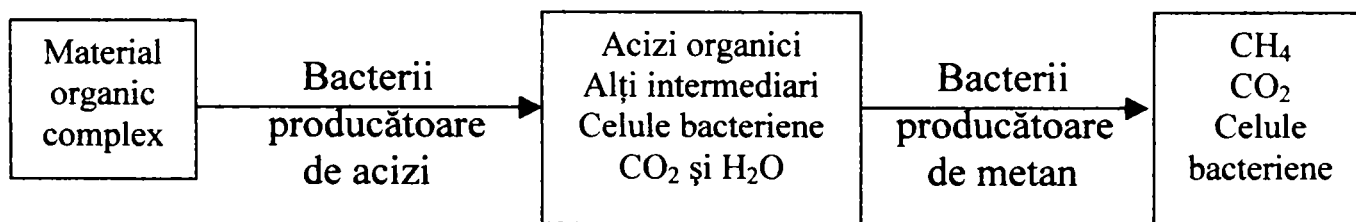


Fig. 3.1 Reacțiile care au loc în timpul fermentării maselor organice

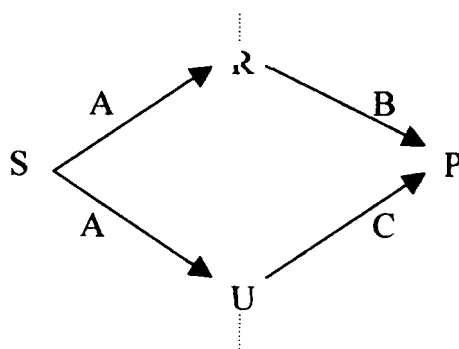


Fig. 3.2 Reprezentarea modelului de culturi mixte

În cadrul acestui model, propus de Monod [92], [97], s-a considerat că sistemul poate fi reprezentat adecvat de doi acizi organici intermediari, R și U și de trei comunități de bacterii A, B și C. Comunitatea de bacterii acidogene de tip A, transformă impurificarea organică S în acizii organici intermediari R și U care, prin intermediul bacteriilor metanogene de tip B și C conduce la formarea produsului final P.

Bacteriile producătoare de metan constituie substratul specific, iar fiecare tip din culturile de bacterii, fermentează un grup mic de compuși organici intermediari. De aceea, pentru mineralizarea tuturor compușilor intermediari este nevoie de mai multe tipuri de culturi bacteriene. Un anumit model de culturi mixte a fost reprezentat în figura 3.1 [92], [97].

3.1.2 Modelul cinetic

Pentru stabilirea modelului cinetic, Monod [92] consideră că procesul de fermentare anaerobă se desfășoară în două faze: acidă și alcalină (metanică). În această accepțiune faza acidă este constituită din două etape ce includ atât lichefierea acidogenă cât și acetogeneza, iar faza alcalină este identică cu etapa de formare a metanului. Modelul Monod include deci, într-o formă globală, cele trei etape caracteristice procesului de fermentare anaerobă.

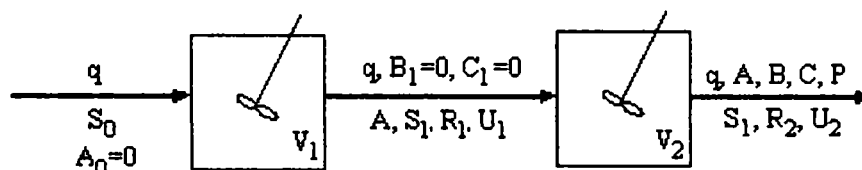


Fig. 3.3 Fazele procesului de fermentare a maselor organice

Monod consideră că cele două faze ale procesului au loc în două bazine de fermentare, distincte V_1 și V_2 (figura 3.3.).

În cadrul acestui model se fac următoarele precizări:

-fermentarea acidă are loc în recipientul V_1 , iar cea metanică în recipientul V_2 ;

-nămolul din cele două bazine se amestecă în permanență, cu ajutorul unor agitatoare, dar fără a se recircula;

-funcționarea sistemului are loc în condiții complet izoterme;

-fermentarea anaerobă este dependentă de existența celor trei comunități de bacterii;

-sistemul se află în permanență într-un regim stabil de funcționare.

Pentru simplificare, în treptele de transformare implicate în schema cinetică propusă de Monod [92], [97] redată în figura 3.4 se folosesc următoarele notații:

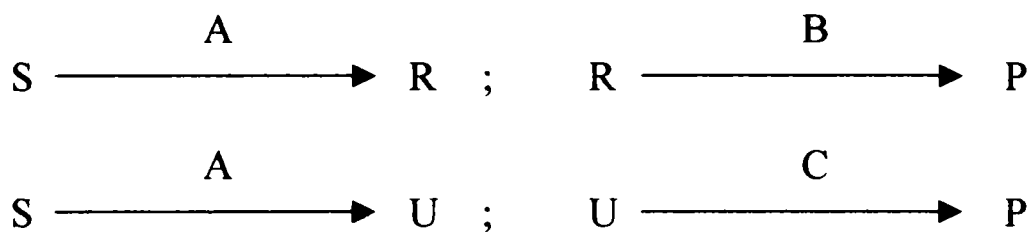


Fig. 3.4 Reprezentarea simplificată a modelului de culturi mixte

în care:

S este impurificarea organică netransformată;

A- concentrația culturilor de bacterii care transformă impurificarea organică S în acizii organici intermediari R și U;

B, C- concentrația culturilor de bacterii care transformă acizii organici intermediari R și U în metan;

P- produsul final (metanul).

Viteza de utilizare și de formare a diferitelor tipuri de culturi și de bacterii care iau parte, în prima fază la desfășurarea procesului, este direct legată de factorii de producție $Y_{A/S}$, $Y_{R/S}$ și $Y_{U/S}$ redați în figura 3.5 și definiți de ecuațiile:

$$Y_{A/S} = -\frac{r_A}{r_S} \quad (3.1)$$

$$Y_{R/S} = -\frac{r_R}{r_S} \quad (3.2)$$

$$Y_{U/S} = -\frac{r_U}{r_S} \quad (3.3)$$

în care:

- r_A este viteza de formare a bacteriilor de tip A;
- r_R, r_U - vitezele de formare a acizilor organici de tip R și U;
- r_S - viteza de utilizare a impurificării organice S.

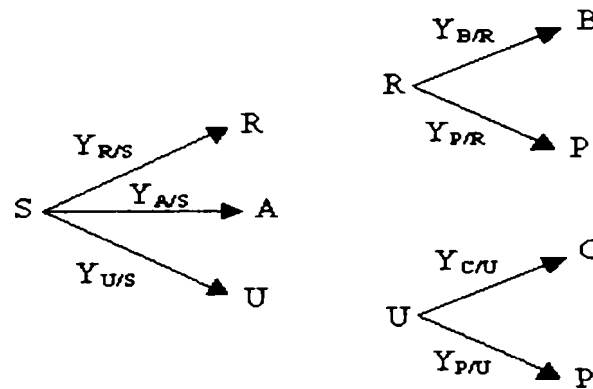


Fig. 3.5 Factorii de producție care concură la formarea culturilor mixte de bacterii

Ceilalți factori de producție care concură la formarea culturilor de bacterii în cea de-a doua fază sunt prezentați în aceeași figură 3.5.

În prima etapă a procesului, impurificarea organică S este consumată de bacteriile de tip A, formându-se acizii organici R și U ca produși organici intermediari [14], [32], [41], [97]. Pe baza modelului Monod se obțin, în continuare, expresiile pentru următoarele mărimi:

$$r_A = \frac{k_A S_1 A}{K_S + S_1} \quad (3.4)$$

$$r_S = -\frac{k_A S_1 A}{Y_{A/S}(K_S + S_1)} \quad (3.5)$$

$$r_{R1} = -Y_{R/S} \cdot r_S = \frac{Y_{R/S}}{Y_{A/S}} \cdot r_A \quad (3.6)$$

$$r_{U1} = -Y_{U/S} \cdot r_S = \frac{Y_{U/S}}{Y_{A/S}} \cdot r_A \quad (3.7)$$

în care:

k_A este viteza de dezvoltare (creștere) specifică, maximă, a bacteriilor de tip A;

K_S -constanta de saturare a impurificării organice S;

r_A, r_{R1}, r_{U1} -vitezele de formare a bacteriilor de tip A și a acizilor organici R și U, în prima etapă;

r_S -viteza de utilizare (consum) a impurificării organice S, în prima etapă;

S_1 -concentrația impurificării organice netransformate, în prima etapă;

$Y_{A/S}, Y_{R/S}, Y_{U/S}$ -factorii de producție definiți de ecuațiile 3.1, 3.2 și 3.3.

În cea de-a doua etapă acidul organic R este consumat de bacteriile de tip B, iar acidul U de bacteriile de tip C. Transformările biochimice care au loc în această etapă, determină obținerea în final, a produsului P – metanul [92], [97]. În cadrul modelului cinetic, factorii de producție și vitezele caracteristice de formare a bacteriilor de tip B și C, vitezele de consum a impurificării organice R și U, vitezele de formare a metanului și vitezele de dezvoltare specifice sunt date de următoarele relații:

$$Y_{B/R} = -\frac{r_B}{r_{R2}} \quad (3.8)$$

$$Y_{C/U} = -\frac{r_C}{r_{U2}} \quad (3.9)$$

$$Y_{P/R} = -\frac{r_{P1}}{r_{R2}} \quad (3.10)$$

$$Y_{P/U} = -\frac{r_{P2}}{r_{U2}} \quad (3.11)$$

$$r_B = \frac{k_B \cdot R_2 \cdot B}{K_R + R_2} \quad (3.12)$$

$$r_{R2} = -\frac{k_B \cdot R_2 \cdot B}{Y_{B/R}(K_R + R_2)} = -\frac{r_B}{Y_{B/R}} \quad (3.13)$$

$$r_C = \frac{k_C \cdot U_2 \cdot C}{K_U + U_2} \quad (3.14)$$

$$r_{U2} = -\frac{k_C \cdot U_2 \cdot C}{Y_{C/U}(K_U + U_2)} = -\frac{r_C}{Y_{C/U}} \quad (3.15)$$

în care:

$Y_{B/R}$, $Y_{C/U}$, $Y_{P/R}$, $Y_{P/U}$ sunt factorii de producție, în etapa a doua;

r_B , r_C -vitezele de formare a bacteriilor de tip B și C, în etapa a doua;

r_{R2} , r_{U2} -vitezele de consum (utilizare) a impurificării organice R și U, în etapa a doua;

r_{P1} , r_{P2} -vitezele de formare a metanului sub efectul bacteriilor de tip B și C;

k_B , k_C -vitezele de dezvoltare specifice, maxime, a bacteriilor de tip B și C;

K_R , K_U -constantele de saturare a impurificării organice R și U;

Deoarece produsul final, P (metanul), este realizat sub efectul microorganismelor de tip B și C, expresia vitezei de formare a acestuia este dată de relația:

$$r_P = r_{P1} + r_{P2} \quad (3.16)$$

Din ecuațiile 3.10 și 3.11 se obțin vitezele de formare a metanului sub efectul bacteriilor de tip B și C, evidențiate de următoarele relații:

$$r_{P1} = -Y_{P/R} \cdot r_{R2} \quad (3.17)$$

$$r_{P2} = -Y_{P/U} \cdot r_{U2} \quad (3.18)$$

care după înlocuirea în ecuația 3.16 rezultă viteza de formare a metanului:

$$r_P = -Y_{P/R} \cdot r_{R2} - Y_{P/U} \cdot r_{U2} \quad (3.19)$$

Înlocuind în această expresie mărimile r_{R2} și r_{U2} cu valorile rezultate din ecuațiile 3.13 și 3.15, se obține expresia vitezei de formare a metanului ca produs final (P) sub forma:

$$r_P = \frac{Y_{P/R}}{Y_{B/R}} \cdot r_B + \frac{Y_{P/U}}{Y_{C/U}} \cdot r_C \quad (3.20)$$

3.1.3 Ecuațiile eficienței sistemului cu două bazine de fermentare

Ecuațiile eficienței sistemului cu două bazine de fermentare se stabilesc în funcție de echilibrul masei considerând că cele două etape ale procesului se

desfășoară succesiv în fiecare din cele două bazine redată în figura 3.3 [30], [97]. În acest sens ecuațiile 3.1...3.20 vor defini pentru fiecare etapă regimul de lucru. Sistemul, cu cele două bazine de fermentare consecutive este alimentat cu debitul de nămol q .

În prima etapă intervin impurificările organice S, R și U, precum și bacteriile de tip A. Făcând echilibrul masei pentru bacteriile de tip A se obține:

$$A_0 - A + r_A \cdot \theta_1 = 0 \quad (3.21)$$

în care:

A_0 este concentrația bacteriilor de tip A din nămolul proaspăt;

$\theta_1 - V_1/q$ – timpul mediu de staționare a bacteriilor în bazinul de fermentare în prima etapă;

V_1 – volumul bazinului din prima etapă;

q – debitul de nămol;

Dacă nămolul este lipsit de bacterii ($A_0 = 0$) rezultă:

$$A = r_A \cdot \theta_1 \quad (3.22)$$

Înlocuind pe r_A din ecuația 3.22 în ecuația 3.4 se obține:

$$S_1 = \frac{K_S}{k_A \theta_1 - 1} \quad (3.23)$$

Balanța impurificării organice netransformate S, se evidențiază prin relațiile:

$$S_0 - S_1 + r_S \cdot \theta_1 = 0 \quad (3.24)$$

$$S_0 - S_1 = -r_S \cdot \theta_1 \quad (3.25)$$

în care:

S_0 este concentrația impurificării organice netransformate din nămolul care pătrunde în proces;

S_1 – concentrația impurificării organice netransformate a nămolului care iese din bazinul V_1 ;

Împărțind ecuația 3.22 cu ecuația 3.25, se obține ecuația:

$$A = \left(-\frac{r_A}{r_S} \right) \cdot (S_0 - S_1) = Y_{A/S} (S_0 - S_1) \quad (3.26)$$

Scriind în același mod ecuațiile de echilibru material pentru impurificările organice R_1 și U_1 date de relațiile 3.6 și 3.7 și împărțindu-le pe rând cu ecuația 3.25, rezultă următoarele expresii:

$$R_1 = Y_{R/S} (S_0 - S_1) \quad (3.27)$$

$$U_1 = Y_{U/S} (S_0 - S_1) \quad (3.28)$$

În etapa a doua intervin bacteriile de tip B și C, impurificările organice R și U precum și produsul final P. Făcând echilibrul material pentru bacteriile de tip B, se obține:

$$B = r_B \cdot \theta_2 \quad (3.29)$$

în care:

$\theta_2 = V_2/q$ este timpul mediu de staționare a bacteriilor de tip B în bazinul de fermentare V_2 din cea de-a doua etapă;

q – debitul de nămol;

Înlocuind pe r_B din ecuația 3.29 cu valoarea din ecuația 3.13, rezultă:

$$R_2 = \frac{K_R}{k_B \theta_2 - 1} \quad (3.30)$$

De asemenea, echilibrul material pentru bacteriile de tip C, în cadrul celei de-a doua etape pune în evidență valoarea impurificării organice sub forma:

$$U_2 = \frac{K_U}{k_C \theta_2 - 1} \quad (3.31)$$

Aplicând echilibrul material pentru impurificarea organică intermediară R, în cea de-a doua etapă se obține expresia:

$$R_1 - R_2 = -r_{R2} \cdot \theta_2 \quad (3.32)$$

Împărțind ecuația 3.29 la 3.32 și ținând cont și de ecuația 3.13, se obține:

$$B = -\frac{r_B}{r_{R2}} (R_1 - R_2) = Y_{B/R} (R_1 - R_2) \quad (3.33)$$

De asemenea, echilibrul material în cea de-a doua etapă pentru impurificarea organică intermediară U determină relația:

$$C = Y_{C/D}(U_1 - U_2) \quad (3.34)$$

Pentru produsul final P (metanul) se obține expresia:

$$P = -r_P \cdot \theta_2 \quad (3.35)$$

Înlocuind în ecuația 3.35 valoarea lui r_P dată de ecuația 3.20 rezultă:

$$P = \frac{Y_{P/R}}{Y_{B/R}} r_B \cdot \theta_2 + \frac{Y_{P/U}}{Y_{C/U}} r_C \cdot \theta_2 \quad (3.36)$$

Echilibrul material pentru bacteriile de tip C în cea de-a doua traptă de fermentare determină relația:

$$C = r_C \cdot \theta_2 \quad (3.37)$$

Astfel, ecuația 3.36, după înlocuirea valorilor r_B și r_C date de relațiile 3.29 și 3.37, devine:

$$P = \frac{Y_{P/R}}{Y_{B/R}} B + \frac{Y_{P/U}}{Y_{C/U}} C \quad (3.38)$$

Ecuațiile 3.23 la 3.28 și 3.30 la 3.38 furnizează eficiențele procesului de fermentare din prima și respectiv din cea de-a doua etapă [92], [97].

3.2 Modelarea proceselor de fermentare anaerobă

Procesele de fermentare anaerobă (metanică), a reziduurilor solide, sunt procese mult mai complexe decât cele de la oxidarea aerobă a diferitelor tipuri de reziduuri. Mecanismele biochimice și fizico-chimice intercorelate cu fiziologia bacteriilor sunt procese care nu sunt pe deplin cunoscute. De asemenea, exploatarea defectuoasă a stațiilor de epurare influențează microbiologia procesului alterând astfel, valoarea randamentelor scontate. În aceste condiții, modelele cinetice ale proceselor de fermentare metanică sunt utile pentru a evidenția predicția comportării sistemului modelat. Modelarea cinetică bazată pe date experimentale, poate fi utilă în sensul celor menționate mai sus, dar poate să

ofere informații asupra diferitelor situații și scenarii, contribuind astfel la înțelegerea și cunoașterea procesului [46], [47], [48], [49], [50], [70], [92], [104], [128].

Modelarea ține seama de bilanțul de materiale în sistemul dat dar și de creșterea microorganismelor, care de cele mai multe ori se defășoară în conformitate cu relația lui Monod. Au fost obținute modelele și coeficienții cinetici pentru procesele de fermentare metanică în totalitate, ținând cont de faptul că stadiul de metanogeneză, fiind cel mai lent, limitează viteza generală a bioconversiei [104].

3.2.1 Modele ale fermentării nemetanogene

3.2.1.1 Modelul Ghosh și Pohland

Acest model a fost dezvoltat din ecuațiile bilanțului de materiale, scrise pentru o cultură existentă în fermentator cu amestecare completă, menținută în stare staționară și alimentată continuu cu un substrat solubil, constituit din glucoză [48], [49], [50], [51], [104]. La formularea modelului s-au avut în vedere următoarele:

-asimilarea substratului de către microorganisme reprezintă suma reacțiilor necesare pentru sinteza protoplasmei, pentru producerea energiei folosite în reacțiile de sinteză (sau de creștere) și pentru reacțiile de menținere (reacții endogene);

-asimilările fracționate pentru sinteză și producere de energie în cazul metabolismului mixt al substratului, pot fi calculate prin introducerea a doi coeficienți de utilizare a substratului;

-produșii finali lichizi și gazoși sunt obținuți din fracțiile de substrat catabolizat pentru producerea energiei de sinteză și de menținere;

-randamentele de produs, observate, variază cu viteza de creștere specifică și deci în modele stabilite pot fi introduși coeficienții de randament celular, constanți pentru condițiile de fermentare date;

-vitezele de creștere specifică pot fi descrise prin relația lui Monod;

-glucoza reprezintă substratul microorganismelor acidogene, iar produșii finali (lichizi) ai acidogenezei reprezintă substratul bacteriilor metanogene.

Bilanțul pentru biomasă conduce la ecuațiile:

$$\mu_{\text{met}} = 1/\theta \quad (3.39)$$

$$\mu_a = 1/\theta_c \quad (3.40)$$

$$A = K_{s \text{ met}}/\mu_{m \text{ met}} \theta_c - 1 \quad (3.41)$$

$$C = K_{s a}/\mu_{m a} \theta - 1 \quad (3.42)$$

$$\theta_{c \text{ crit}} = (K_s + C_o)/(\mu_m + C_o) \quad (3.43)$$

iar cel al substratului pentru microorganismele acidogenezei este dat de relația:

$$X_a = \frac{C_o - C}{U_e + U_p + m\theta_c} \quad (3.44)$$

în care:

$$U_p = 1/Y_p \quad (3.45)$$

$$U_e = 1/Y_e \quad (3.46)$$

unde:

μ_m este viteza specifică maximă de creștere a microorganismelor;

θ – durata de staționare hidraulică;

θ_c - timpul de retenție celular;

K_s - constanta de saturație;

C - concentrația substratului (impurități organice) în bazinul de aerare;

C_o - concentrația substratului (impurității organice) în influent (concentrația inițială);

A - concentrația acizilor volatili în reactor, substrat al bacteriilor metanogene;

e - coeficientul utilizării substratului pentru producerea de energie (masa de substrat asimilată pentru producerea de energie necesară sintezei unității de biomasă),

p - coeficientul de utilizare a substratului pentru creștere (masă de substrat asimilată pentru sinteza unității de biomasă);

X – concentrația nămolului activat din bazinul de aerare;

U - viteza specifică de consum a substratului;

Y_p – coeficient de producție a substratului pentru creștere;

Y - coeficient de producție (de randament / de conversie).

Indicii "met" se referă la stadiul de metanogeneză, iar "a" la cel de acidogeneză.

Viteza formării oricărui produs (lichid sau gazos) la o anumită durată de staționare hidraulică, θ , a stadiului de acidogeneză poate fi reprezentată prin ecuația generală:

$$P'_i = \frac{\alpha'_i \theta [(U_e + m\theta)(C_o - C)]}{U_e + U_p + m\theta} \quad (3.47)$$

în care:

P'_i este viteza de echilibru, de formare a oricărui produs i al acidogenezei la un anumit θ , în mg/oră, iar

α'_i - constanta de randament al procesului real

Concentrația oricărui produs lichid al acidogenezei este dată de ecuația:

$$P_i = \alpha_i X_a (U_e + m\theta) - X_{met} (U'_e + U'_p + m'\theta) \quad (3.48)$$

în care indicele i se referă la produs lichid, iar semnul prim, la microorganismele metanogene.

În cazul în care $\theta < \theta_{crit}$ pentru bacteriile metanogene, $X_{met} = 0$; deci ecuația 3.48 se reduce la forma:

$$P_i = \alpha_i X_a (U_e + m\theta) \quad (3.49)$$

Ecuția 3.49 se aplică în cazul în care bacteriile metanogene sunt eliminate prin control cinetic, sau atunci când este activ numai metabolismul microorganismelor de acidogeneză. Această relație poate fi utilizată pentru predicția concentrației produșilor obținuți în acest stadiu, iar prin combinarea cu ecuația 3.44, se obține:

$$A = P_i = \frac{\alpha_i (U_e + m\theta)(C_o - C)}{U_e + U_p + m\theta} \quad (3.50)$$

Coeficienții cinetici: μ_m , K_s , Y cât și celelalte mărimi pot fi determinați în laborator prin cercetări experimentale.

3.2.1.2 Modelul Ghosh, Conrad și Klass

Acest model se referă la alimentarea reactoarelor de fermentare cu substrat format din suspensii organice [48], [49], [50], [51], [104]. Autorii au demonstrat prin cercetările efectuate posibilitatea tehnică a fermentării în două faze, în reactoare separate pentru fiecare stadiu. Biomasa din reactoare nu a fost recirculată.

Ecuțiile procesului s-au stabilit, ca și în cazul modelului Ghosh și Pohland, din bilanțul de materiale corelat cu modelul creșterii bacteriene a lui Monod. Concentrațiile, în faza staționară, ale substratului (C) au rezultat din ecuațiile 3.42 și 3.43, iar cele ale biomasei, (X) din ecuația 3.44, în care concentrația influentă (C_o) este înlocuită cu încărcarea instalației cu substrat $L(\text{g/l}\cdot\text{h})$:

$$X = \frac{L\theta - C}{U_p + U_e + m\theta} \quad (3.51)$$

Din bilanțul de materiale pentru produșii acidogenezei, P_i , evidențiată prin ecuația 3.49, considerând neglijabilă creșterea bacteriilor metanice, rezultă:

$$A - A_0 = \alpha_i X (U_e + m\theta) \quad (3.52)$$

Înlocuind pe X cu valoarea dată de ecuația 3.54 rezultă:

$$A = A + \frac{\alpha_i(U_c + m\theta)(L\theta - C)}{U_c + U_p + m\theta} \quad (3.53)$$

Viteza producției de gaz (în principal CO₂) în stadiul de acidogeneză se poate determina cu relația:

$$G = \frac{\alpha_g V [(L\theta - C) X U_p]}{\theta} \quad (3.54)$$

în care: -G este viteza producției de gaz în fază staționară (g/oră)

- α_g – randamentul real al producției de gaz.

Coeficienții cinetici μ_m , K_s , U_p , U_c , m , α_i , α_g , și Y sunt obținuți prin linearizarea ecuațiilor 3.51 la 3.54.

Timpul critic de retenție pentru orice încărcare organică (în suspensii volatile) se poate determina cu relația:

$$\theta_{crit} = \frac{L + \sqrt{L + 4K_s \mu_m}}{2\mu_m L} \quad (3.55)$$

3.2.1.3 Modelul Eastman și Ferguson

Modelul Eastman și Ferguson [39], [104] ține seama și de procesul de hidroliză care are loc în stadiul de acidogeneză, în cazul fermentării reziduurilor solide. Autorii consideră că în acest caz stadiul de acidogeneză este format din două substadii – hidroliza și acidogeneza propriu-zisă (figura 3.7). În acest caz, reziduurile solide, degradabile, cu care se alimentează instalațiile sunt scindate enzimatic în molecule mici, solubile care folosesc apoi ca substrat sursa de carbon C_s și energie, bacteriilor implicate în acidogeneză. Din reacțiile de metabolism rezultă material celular nou (biomasă), X și produși de metabolism, P (acizi inferiori și alți metaboliți). O parte a biomasei mărește cantitatea produșilor de metabolism, prin distrugerea celulelor vii. Modelul menționat măsoară toți componenții sistemului în CCO, de asemenea presupune că singurii acceptori de electroni în acest proces sunt substanțele organice și CO₂. În primul substadiu se

consideră viteza de hidroliză, V_h , funcție de pH , temperatură, concentrația enzimatică (deci de biomasă activă), natura și mărimea particulelor de hidrolizat, concentrația rămasă de la particulele degradabile, ca și cele de la concentrația produșilor de hidroliză, care pot controla reacția enzimatică. În cazul în care temperatura și pH – ul sunt constante, modelul consideră viteza de hidroliză, V_h , ca fiind de ordinul 1 față de concentrația rămasă de la particulele degradabile, nehidrolizate (exprimată ca CCO):

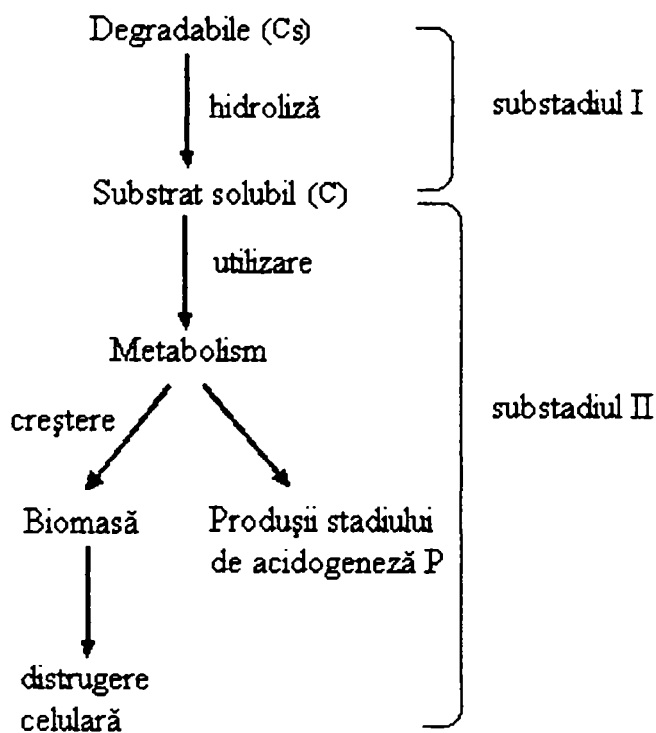
$$V_h = k_h C_s \quad (3.56)$$

în care:

k_h este constanta vitezei de hidroliză,

C_s – concentrația substratului solid

PARTICULE SOLIDE



Bazându-se pe bilanțul de materiale în cele două substadii, bilanțul de substrat solubil, de biomasă (creștere bazată pe relația lui Monod) și de produșii, în substadiul de acidogeneză (toate materialele fiind exprimate în CCO), s-au putut obține patru ecuații ale stării staționare, care, însumate și împărțite la debitul Q , conduc la relația:

Fig. 3.7 Stadiul de acidogeneză conform lui Eastman și Fergurson

$$(C_{os} - C_s) + (C_o - C) + (X_o - X) + (P_o - P) = 0 \quad (3.57)$$

Această relație evidențiază faptul că în sistemul anaerob, în care acceptori de electroni sunt numai substanțele organice și CO_2 , nu există schimbări în CCO-ul sistemului general.

Considerându-se timpul de retenție hidraulic exprimat sub forma:

$$\theta = V/Q \quad (3.58)$$

au fost obținute ecuațiile pentru concentrațiile caracteristice, exprimate în CCO, pentru fiecare component major al sistemului de reacție:

- pentru substratul solid (particule de nămol):

$$C_s = \frac{C_{os}}{1 + k_h \theta} \quad (3.59)$$

- pentru substratul solubil:

$$C = \frac{K_s(1 - X_o / X + k_d \theta)}{\theta(\mu_m - k_d) + X_o / X - 1} \quad (3.60)$$

- pentru biomasă:

$$X = \frac{Y[(C_{os} - C_s) + (C_o - C)] + X_o}{1 + k_d \theta} \quad (3.61)$$

- pentru produșii de metabolism:

$$P = P_o + (C_{os} - C_s) + (X_o - X) + (C_o - C) \quad (3.62)$$

Coeficienții necesari modelului pot fi obținuți din pantele și intersecțiile dreptelor rezultate prin înscrierea datelor experimentale, în ecuațiile redete mai sus.

Introducând notațiile:

$$\Delta C_s = C_{os} - C_s; \quad (3.63)$$

$$\Delta C = C_o - C; \quad (3.64)$$

ecuația pentru biomasă 3.61 se poate scrie sub forma:

$$\frac{X - X_o}{X\theta} = Y \frac{(\Delta C_s + \Delta C)}{X\theta} - k_d \quad (3.65)$$

Reprezentând în ordonată raportul $(X - X_o)/X\theta$, iar în abscisă $(\Delta C_s + \Delta C)/X\theta$, se obține o dreaptă a cărei pantă dă valoare lui Y, iar intersecția, valoarea lui $-k_d$;

Ecuția pentru substratul solubil 3.60 se poate scrie sub forma:

$$\frac{\theta}{1 + k_d \theta - X_o / X} = \frac{K_s}{\mu_m} \frac{1}{C} + \frac{1}{\mu_m} \quad (3.66)$$

Înscriind în ordonată primul termen, iar în abscisă $1/C$, se obține o dreaptă a cărei pantă este K_s/μ_m , iar intersecția ordonatei este $1/\mu_m$;

În cazul ecuației pentru substratul solid 3.59 scrisă sub forma:

$$\theta = C_{os} (\theta/\Delta C_s) - 1/k_h \quad (3.67)$$

din înscrierea lui θ față de $\theta/\Delta C_s$ se obține o dreaptă a cărei pantă reprezintă valoarea C_{os} , iar intersecția, valoarea $-1/k_h$.

Ecuația pentru produșii de metabolism 3.62 devine:

$$\Delta C_s + \Delta C = (X - X_o) + (P - P_o) \quad (3.68)$$

Coeficienții cinetici b și Y se stabilesc prin cercetări experimentale în condițiile păstrării mediului anaerob și a prevenirii pierderilor de gaz. Acumularea de nămol activ este dată de diferența dintre nămolul format prin conversia impurităților organice și nămolul consumat prin autooxidare, aspect evidențiat de următoarele relații:

$$\frac{\Delta X_T}{\Delta t} = Y \frac{\Delta C_T}{\Delta t} - b X_T \quad (3.69)$$

sau:

$$\frac{\Delta X_T}{\Delta t} = Y \frac{\Delta C_T}{X_T \Delta t} - b \quad (3.70)$$

în care:

ΔX_T este cantitatea de nămol activ evacuată din procesul de epurare într-un interval dat de timp;

ΔC_T - cantitatea de substrat îndepărtat într-un interval dat de timp;

X_T - cantitatea de nămol activ din bazinul de aerare.

Expresia 3.70 reprezintă ecuația unei drepte a cărei pantă este Y , iar b este ordonata la origine.

3.2.2 Modele ale fermentării metanice

În fermentarea metanică stadiul cel mai lent, limitator al vitezei generale, este în afara substadiului de hidroliză, deci în stadiul de metanogeneză. În instalațiile în care stadiile principale ale procesului de fermentare metanică nu sunt separate în reactoare individuale, viteza întregului proces este limitată de viteza scăzută a reacțiilor de transformare a acizilor volatili în gaze de fermentare [3], [45], [70], [104].

3.2.2.1 Modelul Lawrence și McCarty

Modelul cinetic propus de Lawrence și McCarty [70] pentru descrierea procesului de fermentare este dat de ecuația:

$$dX/dt/X = \mu = YkC/(K_s + C) - b \quad (3.71)$$

Acest concept, se aplică atât procesului de tratare anaerobă convențională cât și procesului cu nămol activat anaerob sau de contact.

Pentru a evalua coeficienții modelului cinetic este necesar să se calculeze viteza de utilizare specifică, U , printr-o relație de tip Monod. Valorile coeficienților cinetici rezultă din valorile obținute pentru C și U la diferiți θ experimentali:

$$\frac{1}{\theta} = YU - b \quad (3.72)$$

și

$$\frac{1}{U} = \frac{K_s}{k} \frac{1}{C} + \frac{1}{k} \quad (3.73)$$

Din ecuația 3.72 se obțin coeficienții de creștere Y și b , iar cu ecuația 3.73 se stabilesc coeficienții legați de îndepărtarea substratului, k și K_s

3.2.2.2 Modelul Anderson și Donnelly

Acest model se referă la sistemul de fermentare anaerobă de contact [3], [104]. Asemănările fluxului tehnologic de epurare aerobă cu nămol activat și de recirculare promovează o structură a modelului asemănătoare cu aceea folosită pentru determinarea cineticii proceselor aerobe cu nămol activat. Modelul lui Anderson se bazează pe schema din fig. 3.8.

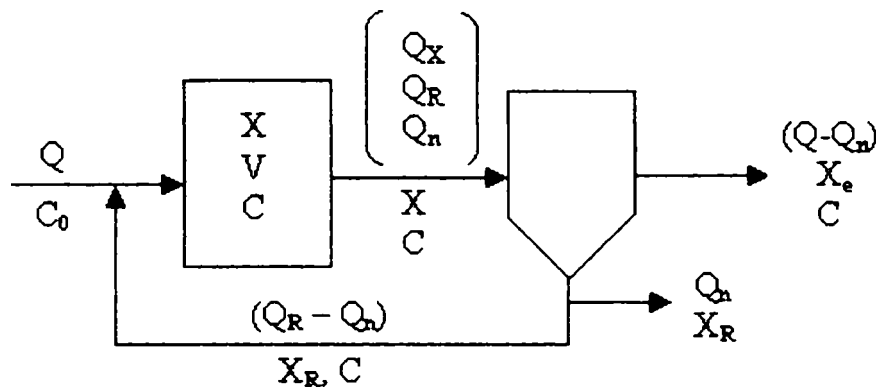


Figura 3.8 Schema fermentării metanice de contact

în care:

Q este debitul de alimentare a reactorului cu substrat;

C_0 - concentrația influentului;

X - concentrația biomasei în reactor;

V - volumul reactorului;

C - concentrația substratului în reactor;

Q_R - debitul de recirculare a nămolului îngroșat, îndepărtat;

X_e - concentrația biomasei în efluent;

X_R - concentrația biomasei din nămolul de recirculare.

Concentrațiile biomasei sunt exprimate în substanțe volatile, iar concentrațiile substratului, în CCO.

Relațiile de bază ale modelului care descriu procesele din reactorul de contact sunt: relația lui Monod pentru creșterea biomasei; relația de definire a

factorului de randament celular, Y și bilanțul de materiale (biomasă și substrat) din reactor. Ecuațiile rezultate sunt similare celor obținute pentru modelarea proceselor de epurare cu nămol activ aerob, cu recirculare. Determinarea coeficienților cinetici μ_m , K_s , k_d și Y s-a realizat în modele fizice funcționând la θ_c diferite și prin înscrierea rezultatelor în graficele ecuațiilor linearizate.

Dacă în ecuația:

$$\frac{1}{C} \frac{K_s}{\mu_m} + \frac{1}{\mu_m} = \frac{\theta_c}{1 + \theta_c k_d} \quad (3.74)$$

prin înscrierea, în abscisă a lui $1/C$ și în ordonată, a termenului $\theta_c/(1+\theta_c k_d)$ se obțin valorile pentru intersecția cu ordonata ($1/\mu_m$) și panta dreptei (K_s/μ_m).

Din ecuația linearizată:

$$\frac{1}{\theta_c} \frac{1}{Y} + \frac{k_d}{Y} = \frac{Q(C_o - C)}{XV} \quad (3.75)$$

prin înscrierea în abscisă a lui $1/\theta_c$ și în ordonată a termenului $Q(C_o - C)/XV$ se obțin valorile pentru panta dreptei ($1/Y$) și intersecția cu abscisa ($-k_d$).

3.2.2.4 Modelul Frostell

Acest model simplu se referă la fermentare anaerobă, metanică, a soluțiilor organice [45], [104]. Elementele luate în considerație sunt următoarele:

-reactorul s-a prevăzut cu amestecare completă, concentrația suspensiilor fiind controlată din interiorul acestuia;

-factorul de reținere a nămolului în reactor ($r = X/X_e$), s-a definit ca raportul între concentrația biomasei din reactor, (X) și aceea din efluent, (X_e);

-influentul este lipsit de suspensii;

- s-a admis relația lui Monod pentru creșterea microorganismelor.

În faza staționară în care nu există acumulare de biomasă, se obține ecuația:

$$\mu r X_e V = Q X_e \quad (3.76)$$

din care rezultă:

$$\mu = \frac{Q}{rV} \quad (3.77)$$

Știind că $Q = V/\theta$, relația 3.77 devine:

$$\mu = 1/r\theta \quad (3.78)$$

În aceleași condiții de mediu, timpul de retenție poate fi scurtat prin creșterea lui r , iar atunci când $r = 1$, $X = X_e$. Ecuația 3.78 se aplică reactoarelor cu amestecare completă, alimentate continuu, fără recirculare. În cazul în care $r \geq 1$, cazul reactoarelor de contact, parametrul de control este timpul de retenție celular, θ_c . Pe baza relației stabilită de Monod se pot determina coeficienții cinetici μ_m și K_s prin înscrierea reciprocei concentrației efluentului, $1/C$, la timpi de retenție diferiți. Considerând concentrația influentului, C_o , se poate obține timpul de retenție hidraulic sau timpul celular minim, și respectiv timpul de retenție critic, θ_{crit} .

Criteriul de stabilitate pentru fermentarea anaerobă se stabilește cu relația:

$$\theta_{crit} > \frac{K_s + C_o}{\mu_m C_o} \quad (3.79)$$

prin care se exprimă dependența timpului de retenție critic de concentrația reziduului influent și de coeficienții cinetici K_s și $\mu_m \cdot C_o$.

Încărcarea organică care poate fi aplicată instalației (C_o/Q), depinde de mărimile C_o , K_s și μ_m .

4. BIOGAZUL - PRODUS AL FERMENTĂRII ANAEROBE

4.1 Aspecte de ordin general

Prin introducerea apei potabile curente în gospodăriile rurale, dar fără a realiza un sistem adecvat de colectare, evacuare și epurare a apelor reziduale, se va accentua poluarea mediului înconjurător prin impurificarea solului, a cursurilor naturale de apă și a aerului, favorizând astfel apariția unor epidemii de boli infecțioase și de zone insalubre ce pot periclita starea de sănătate a ființelor umane.

Evacuarea directă a apelor uzate în emisarii naturali, fără o epurare corespunzătoare, determină creșterea conținutului de poluanți în cursurile de apă peste limitele admise [59], [159].

Astfel, înainte de deversarea acestor ape în emisarii naturali, epurarea devine obligatorie. Stația de epurare este o parte componentă a sistemului de canalizare, menită să reducă conținutul de poluanți (resturi menajere plutitoare, nisip, grăsimi și produse petroliere, materii în suspensie și dizolvate, CBO₅ etc.) în limitele admise de normativele și standardele în vigoare. Nămolul rezultat de la epurarea apelor uzate poate fi prelucrat prin tehnologii moderne, rezultând un produs care poate fi utilizat ca material fertilizant în agricultură fără să producă însă poluarea mediului înconjurător [11], [32], [53], [57], [58], [88], [114], [115].

În cazul gospodăriilor individuale din mediul rural, există pe lângă apele uzate și cantități însemnate de reziduuri organice provenite din diferite surse, reziduuri care pot constitui surse importante de energie, capabilă să înlocuiască o bună parte din combustibilii convenționali. În plus, materialul fermentat astfel obținut, are un conținut bogat în elemente nutritive (N, P, K etc.) și poate fi utilizat ca îngrășământ pentru fertilizarea terenurilor agricole [60], [90], [122].

Reziduurile organice din mediul rural sunt constituite din dejecții animaliere, mase vegetale (frunze și resturi de plante), deșeuri menajere, fecale, urină și ape de

spălare dde la băi și bucătării.

Deoarece prin fermentarea anaerobă se urmărește atât stabilizarea componentei organice cât și creșterea producției de biogaz, alegerea parametrilor constructivi și de exploatare a instalațiilor de biogaz trebuie să se facă în concordanță cu efectul pozitiv al factorilor de influență.

Biogazul, ca produs al fermentării anaerobe se poate privi din mai multe puncte de vedere și anume:

Din punct de vedere chimic, biogazul este un gaz combustibil cu un conținut ridicat de metan obținut prin fermentarea pe cale anaerobă a reziduurilor organice de origine animală sau vegetală [9], [54], [97], [113].

Din punct de vedere energetic, acest gaz reprezintă o importantă resursă de energie neconvențională care nu trebuie neglijată. Materia primă disponibilă în natură este în cantitate mare și inepuizabilă în timp, fiind practic repartizată pe întreg teritoriul unei țări. Se obține cu ușurință și are o utilizare simplă. Este capabil să satisfacă o bună parte din necesarul de energie al gospodăriilor sătești, putând intra cu o anumită pondere și în balanța energetică națională [42], [53], [71], [84], [119].

Din punct de vedere economic, biogazul constituie un mijloc de a reduce efortul valutar pentru importul de hidrocarburi, de a economisi o parte din combustibilii convenționali și de a reduce din cheltuielile necesare pentru producerea de îngrășăminte artificiale. Pe de altă parte, nămolul fermentat fiind bogat în humus și alte materiale fertilizante poate înlocui unele din îngășămintele artificiale consumatoare de energie [31], [59], [121].

Din punct de vedere ecologic, fermentarea metanogenă contribuie la distrugerea agenților patogeni din apele uzate, din resturile și reziduurile organice și prin urmare la reducerea gradului de poluare a mediului înconjurător - sol, apă și aer [59], [71], [105], [109], [118].

4.2 Compoziția biogazului

Componentele principale ale biogazului sunt metanul și dioxidul de carbon. Metanul, (în proporție de 60-75 %) și dioxidul de carbon, (în proporție de 28-43 %), variază în funcție de natura și compoziția materiei prime, de concentrația substanței uscate din substrat, de gradul de descompunere al substanțelor organice, de temperatura de fermentare, de durata staționării materialului organic în fermentator cât și de alți factori, astfel că aceste limite pot fi depășite. În cantități mult mai mici sunt prezente în biogaz și alte gaze precum hidrogen sulfurat (H_2S), azot (N_2), dioxid de carbon (CO_2), oxigen (O_2), vapori de apă etc [7], [8], [9], [36], [144].

Mirosul caracteristic al biogazului este dat de hidrogenul sulfurat. Acesta nu este întotdeauna prezent în biogaz. De exemplu biogazul obținut din dejecțiile de ovine, aproape că nu conține hidrogen sulfurat și, în consecință, nu are miros caracteristic. Motivul pentru care se întâmplă acest lucru este că oaia consumă sulful din hrană pentru producția de lână și astfel el nu ajunge în dejecții.

Substanțele ușor fermentabile, ca de exemplu hidrocarbonații, cedează cantități mai mari de dioxid de carbon decât compușii organici complecși – proteine sau grăsimi.

Dacă concentrația substanței uscate din substrat este mai scăzută, crește ponderea dioxidului de carbon care se dizolvă în fluidul din fermentator făcând să sporească conținutul de metan din gazul produs.

Concentrația metanului este de regulă mai redusă la fermentarea termofilă decât la cea mezofilă. După Maly și Fadrus [97] gazul obținut la $50^\circ C$ conține 64-65% metan, iar cel obținut la $20^\circ C$ conține până la 74-75% metan.

Dacă duratele de staționare a materialului organic în fermentator sunt mai îndelungate, sporește gradul de descompunere al substanțelor organice mărindu-se astfel și concentrația metanului din gazul produs.

Pe baza studiilor și a cercetărilor efectuate de către institutele de specialitate

suedeze, compoziția chimică a biogazului, obținut prin fermentarea în regim mezofil a bălegarului de vită, este redată în tabelul 4.1 [9], [144]. Concentrația acestor componente este determinată atât de caracteristicile fizico-chimice ale materialului supus fermentării cât și de condițiile de exploatare ale instalațiilor producătoare de biogaz.

Tabelul 4.1

Compoziția chimică a biogazului

Componentele	Volume, în %
Metan (CH ₄)	50-65
Dioxid de carbon (CO ₂)	25-40
Oxid de carbon (CO)	0-0,3
Hidrogen (H ₂)	0-3,0
Azot (N ₂)	1-5,0
Oxigen (O ₂)	0-0,5
Hidrogen sulfurat (H ₂ S)	0,05-1,5

Metanul și dioxidul de carbon reprezintă împreună aproximativ 90-95% din totalul gazului produs.

Raportul CH₄/CO₂ variază, în funcție de calitatea biogazului, între 1,25 și 3,00. Un gaz de bună calitate se poate obține numai atunci când raportul dintre cele două componente este ≥ 2 [9], [96], [98].

Prin corelarea, sub aspect tehnic și economic, a tuturor parametrilor care influențează cantitatea și calitatea biogazului, a rezultat, de exemplu, că pentru fermentarea dejecțiilor animaliere, la o temperatură de 34°C, raportul optim dintre conținutul în metan și cel al dioxidului de carbon trebuie să fie în jur de 2 [9], [98].

În finalul procesului, în afară de biogaz, rezultă un produs fluid care conține materii mineralizate, substanțe organice nedegradabile, substanțe organice parțial nedegradate și apă [9].

4.3 Proprietățile biogazului

Proprietățile fizico-chimice ale biogazului sunt determinate de ponderea principalelor componente care intră în compoziția sa.

Principalele proprietăți ale biogazului, obținut din fermentarea pe cale anaerobă a dejecțiilor animaliere sunt redată în tabelul 4.2 [7], [8], [9].

Tabelul 4.2

Proprietățile biogazului

Proprietăți	Unitatea de măsură	Componente				Amestec
		CH ₄	CO ₂	H ₂	H ₂ S	60%CH ₄ /40%CO ₂
Conținutul chimic	%din volum	55-70	27-44	<1	<3	100
Puterea calorică inferioară	kcal/m ³ N	8562	-	2580	5447	5137
Puterea calorică inferioară	MJ/m ³ N	35,8	-	10,8	22,8	21,5
Limita minimă de aprindere	volum % în aer	5	-	4	4	6
Limita maximă de aprindere	volum % în aer	15	-	80	45	12
Temperatura de aprindere	°C	600-750	-	450	-	650-750
Temperatura critică	°C	-82,5	31	-	100	-82,5
Presiunea critică	daN/cm ² (bar)	47,3	75	13	89	75-89
Densitatea critică	kg/m ³ _N	162	468	31	349	320
Densitatea normală la 0°C și 760 mmHg	kg/m ³ _N	0,72	1,98	0,09	1,54	1,20
Densitatea relativă față de aer	-	0,55	1,53	0,07	1,20	0,83

Din analiza acestor proprietăți se desprind atât posibilitățile de utilizare ale gazului de fermentare cât și măsurile care se impun pentru manipularea sa.

Gazul metan din compoziția biogazului este componenta principală purtătoare de energie.

Puterea calorică inferioară a metanului (H_i) este de 8562 kcal/Nm³, respectiv de 35,8 MJ/m³ (9,8 kWh/m³). Deoarece cantitatea de metan din gazul produs variază între 55% și 75% face ca puterea calorică a biogazului să se situeze

între 4500 și 6500 kcal/Nm³, respectiv 18,84 și 27,21 MJ/m³.

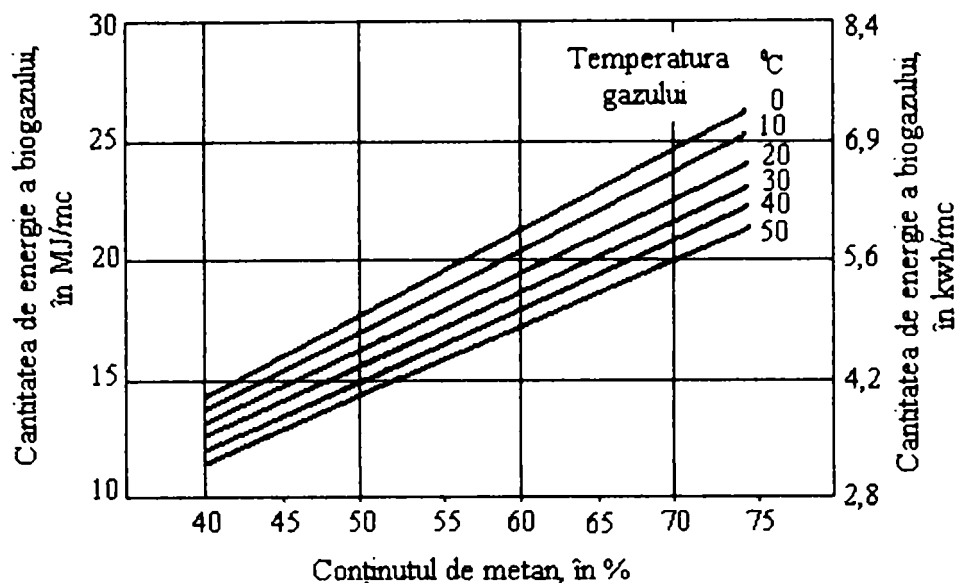


Fig. 4.1 Cantitatea de energie a biogazului în funcție de conținutul în CH₄ și de temperatura acestuia

Conținutul de energie al gazului de fermentare este determinat, în principal, de conținutul de metan și de temperatura acestuia. În diagrama din figura 4.1 se prezintă legătura dintre cantitatea de energie a biogazului, în funcție de conținutul de metan și temperatura acestuia [9], [97], [144].

Tabelul 4.3

Puterea calorică a biogazului la diferite temperaturi în funcție de conținutul de metan

Conținutul de CH ₄ , în %	Puterea calorică inferioară a biogazului la presiunea de 760 mmHg, în kcal/m ³ _N		
	0°C	20°C	30°C
50	4281	3955	3811
52	4452	4145	3962
54	4623	4304	4114
56	4794	4463	4268
58	4963	4623	4420
60	5137	4782	4572
62	5308	4942	4724
64	5479	5101	4877
66	5650	5261	5029
68	5822	5420	5182
70	5993	5579	5335
72	6164	5739	5487
74	6335	5898	5639
75	6421	5952	5716

**CONTRIBUȚII LA STUDIUL PROCESELOR DE FERMENTARE ANAEROBĂ
ÎN VEDEREA OBTINERII DE BIOGAZ**

Puterea calorică inferioară a biogazului la diferite temperaturi în funcție de conținutul de metan este redată în tabelul 4.3 [98], iar în tabelul 4.4 sunt prezentate puterile calorice inferioare pentru diferiți combustibili gazoși [9], [97], [144].

Tabelul 4.4

Puterile calorice inferioare ale combustibililor gazoși

Denumirea combustibilului gazos	Puterea calorică inferioară, în kcal/m ³ _N
Butan	29500
Propan	22350
Gaze naturale	8500
Gaz de sondă	6500
Biogaz	5500-6000
Gaz de iluminat	5260
Gaz de cocserie	4130
Gaz de generator cu aer	1215
Gaz de furnal	940

În tabelul 4.5 sunt redate, prin comparație, puterile calorice ale biogazului în raport cu diferite tipuri de combustibili, precum și echivalențele masice sau volumice ale acestor combustibili față de 1 m³ de biogaz produs [97], [98], [101].

Tabelul 4.5

Biogazul în comparație cu alți combustibili

Natura combustibilului	U/M	Puterea calorică kcal/unitatea de măsură	Echivalentul, în kg sau mc, al combustibililor clasici pentru 1 m ³ biogaz
Biogaz cu 60% gaz metan la 0° C	mc	5137	1
Lemn crud	kg	1300-1800	3,95-2,85
Lemn bine uscat	kg	1800-2200	2,85-2,34
Lignit	kg	1800-3800	2,85-1,35
Brichete de cărbune praf	kg	4000-6800	1,28-0,76
Păcură	kg	9400-9500	0,55-0,54
Combustibil calorifer	kg	9500-9700	0,54-0,53
Motorină	kg	1000-11000	0,51-0,47
Gaz metan natural	m ³	8500	0,60
Gaze lichefiate (aragaz)	m ³	22000	0,23

4.4 Producția de biogaz

Descompunerea materiilor organice prezente în nămolul proaspăt se poate realiza numai prin fermentare anaerobă. Limita de reducere a materiilor organice, la care procesul de fermentare este practic încheiat (definit ca fiind durata necesară pentru producerea a 90% din gaz) este numită *limita maximă de fermentare* [9], [97], [117].

La fermentarea nămolurilor din stațiile de epurare nu este necesar să se atingă această limită, ci este suficient să se obțină un nămol care să se deshidrateze ușor și să fie lipsit de mirosuri neplăcute. Aceasta înseamnă că proprietățile coloidale ale nămolului au fost modificate într-o măsură suficientă pentru ca o mare parte din apa legată să poată fi cedată relativ ușor. Materiile organice, puțin stabile din nămolul proaspăt, se pot descompune într-o asemenea măsură încât acesta să se poată depozita în condiții aerobe fără a mai intra într-o fază fermentare acidă. Prin întreruperea fermentării anaerobe înainte de atingerea limitei maxime de fermentare se evită folosirea unor spații de fermentare nejustificat de mari. Pe de altă parte, în nămolul fermentat rămâne o cantitate de materii organice care mărește valoarea nutritivă a acestuia ca îngrășământ agricol. În practică gradul de fermentare adoptat este denumit *limita tehnică de fermentare*, iar durata de fermentare corespunzătoare, *durata tehnică de fermentare*. La o compoziție a nămolului proaspăt de circa două treimi materii organice, limita tehnică de fermentare corespunde unui grad de descompunere a materiei organice de circa 59%, față de circa 65% cât este limita maximă de fermentare. În general, se consideră că limita tehnică de fermentare este de circa 90% din limita maximă.

Pentru a determina limita tehnică de fermentare sunt folosite diferite grafice, tabele și chiar relații matematice. Pe baza datelor de exploatare de la mai multe stații de epurare din Statele Unite ale Americii și Anglia, Keefer [117] propune o relație liniară prin care se stabilește limita tehnică de fermentare în funcție, numai, de procentul de substanță organică din nămolul proaspăt. În figura 2 se prezintă diagrama lui Keefer, modificată de Roediger [116] astfel încât în nămolul fermentat

CONTRIBUȚII LA STUDIUL PROCESELOR DE FERMENTARE ANAEROBĂ
ÎN VEDEREA OBTINERII DE BIOGAZ

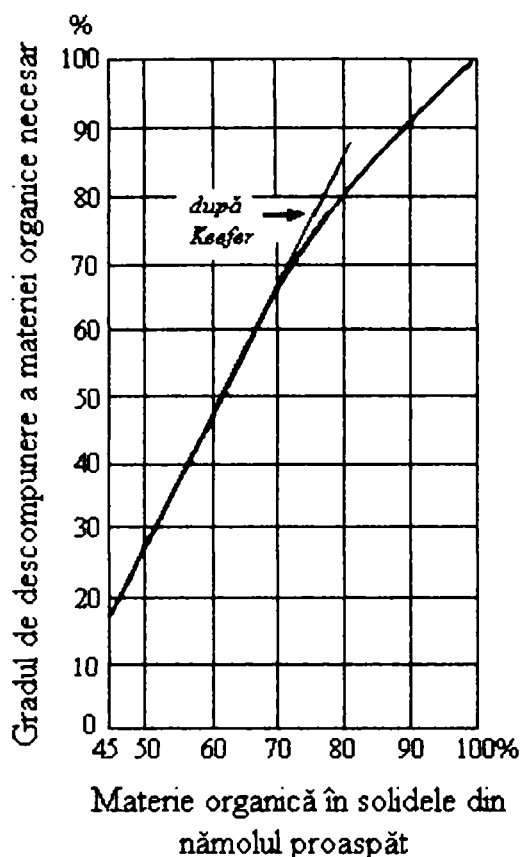


Fig. 4.2 Diagrama pentru stabilirea limitei tehnice de fermentare

să se asigure un raport optim între cantitatea de materii organice și minerale.

Producția de biogaz este determinată, în principal, de calitatea maselor organice fermentate, de durata și de temperatura la care are loc procesul, aspect evidențiat în fig. 2.7.

Cantitatea și compoziția gazului de fermentare diferă în funcție de compoziția nămolului. În tabelul 4.6 se prezintă cantitățile specifice de biogaz precum și compoziția biogazului produs prin fermentarea anaerobă a unor grupe de substanțe organice [117].

Tabelul 4.6

Cantitățile specifice de biogaz rezultate prin fermentarea materiilor organice

Grupa de substanțe	Cantitatea de biogaz l/kg	CH ₄ %	CO ₂ %
Hidrați de carbon (C ₆ H ₁₀ O ₅) _n	790	50	50
Grăsimi (C ₅₀ H ₃₀ O ₆)	1250	68	32
Proteine (6C 2NH ₃ 3H ₂ O)	704	71	29

Rezultă de aici că grăsimile dau cantitatea de biogaz cea mai mare dar și cu un conținut ridicat de metan; proteinele dau de asemenea un biogaz de bună calitate dar în cantitate mai mică, în timp ce hidrații de carbon dau o cantitate de biogaz relativ mică și săracă în metan. O cantitate mare de hidrați de carbon în nămol va determina o creștere a conținutului de dioxid de carbon în biogazul produs, aceasta cu atât mai mult cu cât din cele trei categorii de materii organice menționate, degradarea cea mai înaintată o suferă hidrații de carbon.

Cantitatea și compoziția gazului produs vor putea fi de asemenea influențate de prezența, în rețeaua de canalizare, a unor ape uzate industriale.

Pentru a se putea estima cantitatea și compoziția biogazului care va rezulta dintr-o instalație de fermentare este util să se cunoască cel puțin compoziția nămolului care urmează a fi fermentat, fiind însă de dorit să se stabilească, pe cale experimentală, cantitatea și compoziția biogazului.

În tabelul 4.7 se dau valorile medii orientative ale gazului de fermentare [9], [117].

Tabelul 4.7

Caracteristicile gazului de fermentare

Caracteristica	U/M	Valoarea
Cantitate specifică	l/kg materie organică mineralizată	800-1000
Conținut de metan	%	60-75
Dioxid de carbon	%	22-30
Putere calorică	kcal/m ³	5000-6000

Producția de gaz diferă în funcție de compoziția nămolului proaspăt, de temperatura de fermentare și de durata de fermentare (vârsta nămolului). Conform cercetărilor efectuate de F. Pöpel [110], cantitatea maximă de gaz, în Nm³/zi, se presupune a se determina cu relația:

$$G_{\max} = 138 \cdot \sqrt{\theta \cdot G_0} \quad (4.1)$$

iar durata de fermentare, în zile, cu relația:

$$\theta_f = 175 \cdot 10^{-0,03 \cdot \theta} \quad (4.2)$$

în care:

θ este temperatura de fermentare, în °C;

G_0 - cantitatea de materii organice solide din nămolul proaspăt, în t/zi.

Cantitatea reală de gaz, va reprezenta 70-90% din cantitatea teoretică calculată cu relația (4.1). În acest scop, în tabelul 4.8 sunt prezentate cantitățile specifice de gaz, în $Ndm^3/kgSV$, conform graficului din figura 2.7 [32].

Tabelul 4.8

Temperatura °C	10	15	20	25	30
Producția maximă $\frac{Ndm^3}{kgSV}$	450	530	610	710	760
Producția reală (90%) $\frac{Ndm^3}{kgSV}$	405	477	549	639	684
Durata de fermentare (zile)	90	60	45	30	27

Puterea calorică a gazului este de 5500-5900 kcal/Nm³, iar cea utilizabilă la arzătoare este de 0,85 x 5500 = 4750 kcal/Nm³. În compoziția biogazului predomină metanul (70%) și dioxidul de carbon (30%), iar 1 m³ din acest gaz combustibil este echivalent, din punct de vedere energetic cu 1,0 kg cocs, cu 1,27 Nm³ gaz de iluminat, cu 5,1 kwh, cu 0,56 kg motorină și cu 0,47 Nm³ gaze naturale etc [32].

Criza energetică actuală ne face ca să acordăm o atenție sporită acestei surse de energie care nu este întotdeauna pe deplin utilizată.

În tabelele 4.9 și 4.10 se prezintă producția de biogaz a diferitelor materii și produse organice, la temperatura de 30°C și în funcție de durata procesului, iar în tabelul 4.11 este redat randamentul pe numărul de zile al unei instalații producătoare de biogaz pentru temperatura de fermentare cuprinsă între 25 și 30°C [9], [97], [123], [124], [144].

**CONTRIBUȚII LA STUDIUL PROCESELOR DE FERMENTARE ANAEROBĂ
ÎN VEDEREA OBTINERII DE BIOGAZ**

Tabelul 4.9

Producția de biogaz, duratele de fermentare și conținutul de metan pentru diferite materii organice la temperatura de 30°C

Materialul organic	Cantitatea de biogaz raportată la:		Timpul de fermentare, în zile	Conținutul de CH ₄ , în %	Cantitatea de gaz, în % din volumul total de gaz după timpul total de fermentare, în zile		
	masa totală uscată, în dm ³ /kg	masa totală organică, în dm ³ /kg			10	15	20
Dejecții de porc	257	415	115	81	40	57	68
Paie de 30cm lungime	357	383	123	80	29	38	45
Paie de 2mm	393	423	80	81	51	67	77
Frunze de cartofi	526	606	53	75	85	90	92
Frunze de sfeclă de zahăr	456	501	14	85	99	100	100
Iarbă	490	557	24	84	87	96	99

Tabelul 4.10

Producția de biogaz pentru diferite materii organice la temperatura de fermentare a mediului ambiant

Materia organică	Producția de biogaz, în m ³ /kg de substanță uscată (S.U.)
Dejecții de porc	0,39-0,54
Dejecții de păsări	0,21-0,31
Nămol de la stațiile de epurare	0,39-0,60
Deșeuri vegetale	0,45-0,94
Frunze uscate	0,45
Gunoii divers	0,24
Coceni de porumb	0,81
Plevă de grâu	0,94

Tabelul 4.11

Randamentul pe zile al unei instalații producătoare de biogaz pentru temperatura de fermentare cuprinsă între 25°C și 30°C

Numărul zilelor de fermentare	Materia organică consumată, în %	Debit mediu pe m ³ de cuvă în funcție de durată
9	38,7	1,40
12	48,5	1,30
15	56,7	1,22
18	63	1,13
21	68	1,05
24	73	0,98
27	77	0,93
30	81	0,87
39	91	0,75
45	94	0,67
51	96	0,60
60	99	0,53

**CONTRIBUȚII LA STUDIUL PROCESELOR DE FERMENTARE ANAEROBĂ
ÎN VEDEREA OBTINERII DE BIOGAZ**

În tabelul 4.12 este redată cantitatea de biogaz produsă din diferite materiale organice la temperatura de 30°C, precum și conținutul de metan în raport cu gradul de descompunere al substanțelor organice [8], [9], [103], [130].

Tabelul 4.12

Cantitatea de biogaz produsă din diferite materiale organice la temperatura de 30°C

Materialul organic	Cantitatea de gaz produsă, în dm ³ /kg substanță uscată (S.U.)	CH ₄ , în %	Descompunerea substanțelor uscate, în %	Cantitatea de gaz produsă pentru o descompunere de 25%, în dm ³ /kg substanță uscată (S.U.)
Excremente de porc	561	70	55	286
Gunoii de grajd	250	60	20	313
Bălegar de vite mari	200-300	60	35	143-214
Iarbă	630	70	55	286
Pleavă de la treierat	615	62	68	226
Strujeni de porumb	424	53	35-50	250
Vrejuri de cartofi	420	60	41	256
Paie de in	359	59	31	290
Paie de grâu	342	58	49	175
Frunze	210-294	59	34	155-216
Teci de mazăre	98	60	12	204
Ace de conifere	37	69	3	308

Producția de biogaz, conținutul de materii și durata de fermentare a diferitelor materii organice pentru temperatura de 25°C este redată în tabelul 4.13 [9].

Tabelul 4.13

Producția de biogaz, conținutul de metan și durata de fermentare a diferitelor materiale organice pentru temperatura de 25°C

Materialul organic	Producția de biogaz, în m ³ /kg substanță organică (S.O.)	Conținutul de CH ₄ , în %	Durata de fermentare, în zile
Fecale porcine	0,30	65	60
Bălegar de taurine	0,28	50	90
Bălegar de cal	0,31	60	90
Fecale de om	0,24	50	30
Pleavă	0,23	62	90
Iarbă	0,29	70	60
Frunze	0,16-0,22	59	60

Legătura dintre producția de biogaz și temperatura de fermentare a maselor organice alcătuite din paie, iarbă și dejecții de porcine este redată în tabelul 4.14 [9].

Tabelul 4.14

Legătura dintre producția de biogaz și temperatura de fermentare

Materialul organic	Temperatura, în °C	Producția de biogaz, în m ³ pe m ³ de cuvă și zi
Paie+iarbă+dejecții de porcine	29-31	0,55
Idem	24-26	0,21
Idem	16-20	0,10
Idem	12-15	0,07

4.5 Caracteristicile gazului de nămol

Gazul obținut, în urma fermentării anaerobe, conține metan în proporție de 65-70%, dioxid de carbon 30-35% și mici cantități de azot, oxigen, hidrogen, hidrogen sulfurat, vapori de apă etc.

Greutatea specifică relativă a gazului metan (considerând-o pe cea a aerului egală cu 1,0) este 0,553, iar cea a dioxidului de carbon de 1,529; greutatea uscată a metanului este de 0,70 daN/m³; aerul necesar combustiei este de 9,50 m³/m³ metan; temperatura teoretică a flacării este de 2060°C; inflamabilitatea în aer a gazului este 5,8-13,3%. Puterea calorică se datorează numai metanului, iar puterile calorice menționate se referă practic numai la metan [97].

Gazul metan nu are miros, iar pentru depistarea pierderilor de gaz prin instalații este necesară efectuarea amestecului cu diferiți odorizanți.

Hidrogenul sulfurat conținut în gazul de nămol este foarte toxic, iar în cantități destul de mici (0,001%) poate fi sesizat prin miros. La concentrații de 0,1% este otrăvitor. În asemenea cazuri trebuie să se prevadă o epurare uscată sau umedă a gazului, în epuratoare de gaz, instalații care se prezintă sub forma unor filtre pe mai multe nivele, materialul filtrant fiind hidroxidul de fier. Hidrogenul sulfurat, în afară de faptul că este toxic, atacă conductele și instalațiile executate din fier. Dacă este necesar să se elimine dioxidul de carbon și hidrogenul sulfurat se aplică operații de spălare a gazelor cu ajutorul apei [97].

5. CONSTRUCȚII ȘI INSTALAȚII PENTRU PRODUCEREA BIOGAZULUI

5.1 Aspecte de ordin general

Instalațiile necesare pentru producerea de biogaz pentru unitățile gospodărești din zonele rurale sunt construcții de tipuri, forme și mărimi diferite, statice sau dinamice (alimentate continuu sau discontinuu). Aceste construcții trebuie să fie cât mai simple, ieftine, ușor de construit și ușor de exploatat.

Generatoarele producătoare de biogaz se pot construi cu capacități mici și mijlocii, specifice îndeosebi unităților de tip gospodăresc sau de mare capacitate, caracteristice unităților de tip industrial întâlnite la fermentarea anaerobă a nămolurilor din stațiile de epurare orășenești sau a celor provenite de la complexe agrozootehnice [9], [44], [79], [81], [99], [107], [144].

Terminologia utilizată pentru definirea construcțiilor și a proceselor de fermentare anaerobă este următoarea:

Digestor cuvânt de origine engleză (digestion) și al cărui sens de bază se referă la fenomenul de digestie ce are loc în rumenul animalelor.

Generator de biogaz reprezintă sensul românesc al construcției în care masa organică supusă procesului de fermentare anaerobă generează gazul biologic sau biogazul.

Metantanc este un cuvânt de origine germană (Metantank) și care în traducere înseamnă rezervor pentru producerea metanului.

În mod curent pentru instalațiile mici și mijlocii denumirile uzuale sunt cele de digestor sau generator de biogaz, iar pentru instalațiile de tip industrial s-a consacrat denumirea de metantanc.

Se poate spune că denumirea s-a făcut în funcție de mărimea, tipul și specificul instalației de producere a biogazului.

Generatoarele producătoare de biogaz sunt alcătuite dintr-o cuvă în care are loc fermentarea maselor organice, construită din zidărie de cărămidă, din piatră, beton, beton armat sau din metal și dintr-un clopot metalic pentru colectarea biogazului. La construcția acestora trebuie să se țină cont de natura terenului și nivelul apelor subterane.

La instalațiile mari, biogazul este colectat în gazometre separate.

Buna funcționare a acestor instalații depinde de o multitudine de factori, iar cei legați de exploatarea instalațiilor sunt hotărâtori în obținerea de producții mari și constante de biogaz.

5.2 Clasificarea instalațiilor de biogaz

Clasificarea instalațiilor de producerea biogazului se poate face în funcție de următoarele criterii:

5.2.1 În funcție de capacitate:

5.2.1.1 Instalații mici, de tip gospodăresc

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

-o parte din energia necesară pentru prepararea alimentelor, încălzitul apei și a locuinței și în anumite situații chiar și energia electrică necesară pentru iluminat și pentru funcționarea aparaturii electrocasnice (boiler, frigider etc);

-nutrienții necesari pentru culturile agricole (îngrășământ);

-protecția mediului înconjurător.

5.2.1.2 Instalații de capacitate medie

Instalațiile de biogaz de capacitate medie se recomandă pentru valorificarea energetică a maselor organice colectate de la grupurile de gospodării din mediul rural, de la cvartalele de locuințe din zonele urbane, de la fermele de animale, de la fabricile industriei alimentare precum și a nămolurilor din stațiile de epurare ale localităților cu până la 25000-50000 locuitori echivalenți. Gazul produs se poate utiliza pentru consumul propriu, la încălzitul digestoarelor, pentru preparatul hranei, producerea de apă caldă, încălzitul spațiilor de locuit și pentru producerea apei calde menajere și a celei necesare proceselor tehnologice.

5.2.1.3 Instalații de mare capacitate

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

5.2.2 În funcție de regimul de funcționare:

5.2.2.1 Instalații statice

Digestoarele de tip static sau cu alimentare discontinuă, sunt utilizate în unitățile gospodărești și sunt încărcate de 2-3 ori/an. Sunt prevăzute cu instalații de amestec manuale. Aceste instalații sunt specifice gospodăriilor individuale, izolate sau caselor de vacanță cu activitate permanentă sau sezonieră. Încărcarea acestor instalații cu materialul organic se face de regulă primăvara, fiind utilizate de regulă pe parcursul anotimpului cald. Funcționarea instalațiilor statice este ciclică și

reflectă modul de creștere și dezvoltare a microorganismelor din fermentator. Acest proces este caracterizat, la început, printr-o fază lentă, urmat apoi de o fază rapidă de creștere până la atingerea unui plafon maxim, după care se trece în faza de descreștere care se continuă în final cu o fază de moarte a microorganismelor. Similar, după introducerea materiei organice în fermentator, producerea de biogaz începe să crească până la atingerea unei valori maxime, după care producția începe să scadă lent până aproape de zero, moment în care materialul organic epuizat, este evacuat din fermentator și urmează un nou ciclu.

5.2.2.2 Instalații semidinamice

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

5.2.2.3 Instalații dinamice

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

5.3 Construcții și instalații de biogaz realizate în România în perioada 1965-1985

5.3.1 Construcții și instalații de mică capacitate (de tip gospodăresc)

Pentru unitățile de tip gospodăresc, generatoarele producătoare de biogaz se pot construi cu capacități mici ($5, 10, 15 \text{ m}^3$) și respectiv mijlocii ($25, 50, 75$ și 100 m^3).

În funcție de capacitatea construită se poate estima că pentru 1 m^3 capacitate construită producția de biogaz este de $0,15 \dots 0,8 \text{ m}^3/\text{zi}$. Capacitatea digesterului se determină în funcție de consumul zilnic de biogaz [146], [152].

În figurile 5.1 – 5.3 sunt redată diferite tipuri de instalații producătoare de biogaz, pentru uzul gospodăresc [98], [107], [134].

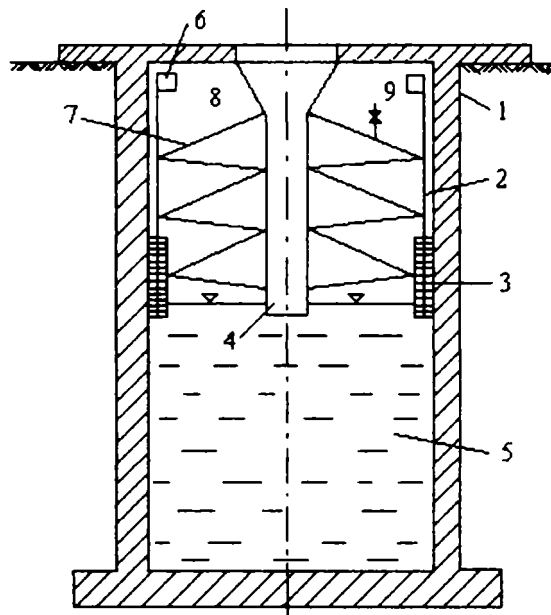


Fig. 5.1 Instalație de fermentare de uz gospodăresc

1 –cuvă din beton, cărămidă sau piatră; 2 –clopot metalic; 3 –inel de apă pentru etanșare; 4 –tub de alimentare și golire; 5 –spațiu pentru fermentarea depunerilor; 6 –urechi pentru învârtirea clopotului de gaz; 7 –contravânturi folosite și ca sistem de agitație; 8 –spațiu pentru lestarta clopotului de gaz; 9 –robinet de biogaz.

La instalația de biogaz din figura 5.1, prin clopotul captator de biogaz interior se asigură atât alimentarea cu masă organică proaspătă, cât și evacuarea nămolului fermentat, iar contravântuirile sunt folosite și ca sistem de amestec [107], [134].

CONTRIBUȚII LA STUDIUL PROCESELOR DE FERMENTARE ANAEROBĂ
ÎN VEDEREA OBTINERII DE BIOGAZ

În tabelul 5.1 sunt redate caracteristicile geometrice ale componentelor instalațiilor realizate de ICA București pentru capacități de 5 și 10 m³.

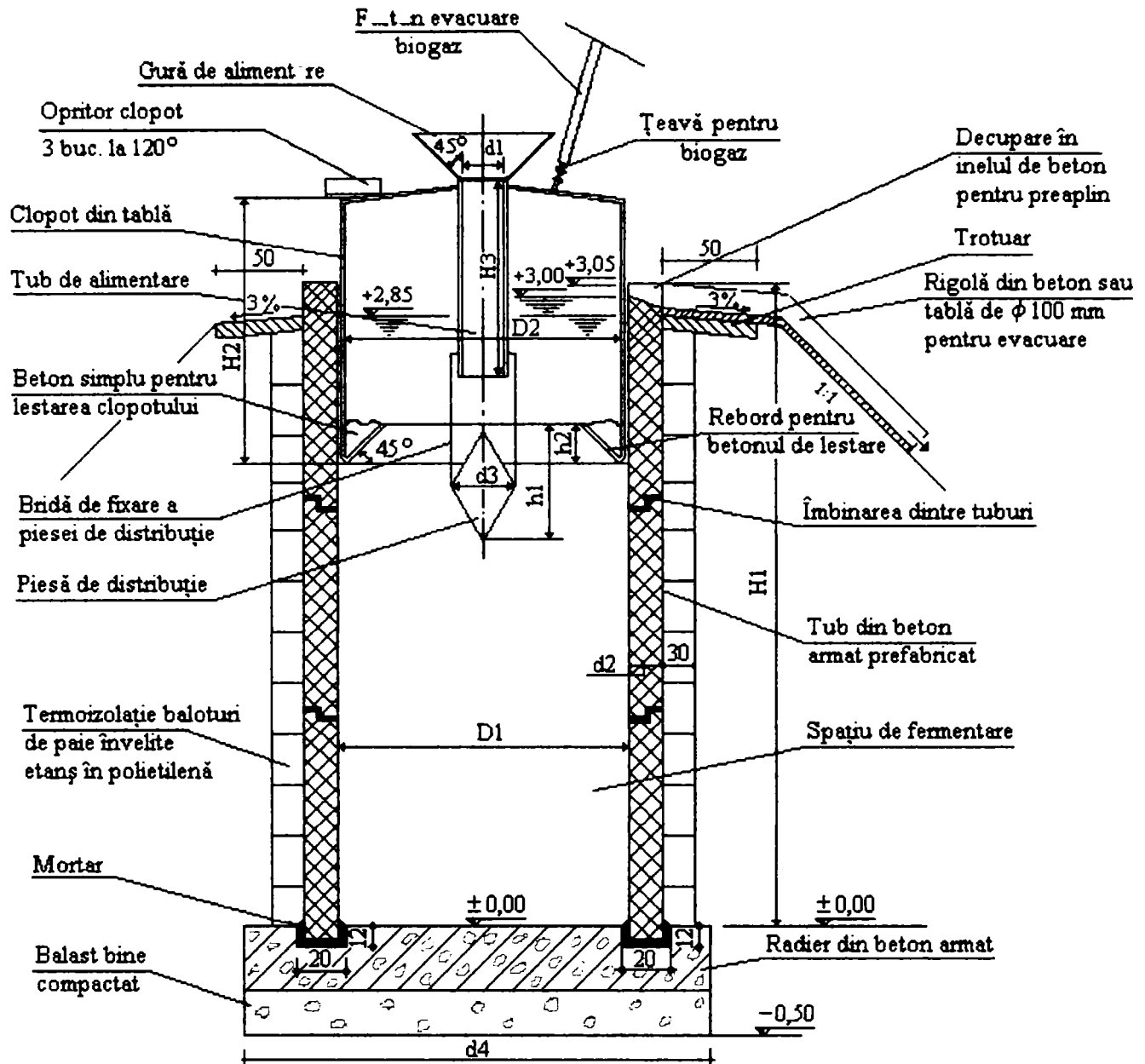


Fig. 5.3 Instalație de biogaz de mică capacitate, concepută de ICA

Tabelul 5.1

Capacitatea de fermentare (m ³)	Dimensiuni tehnologice (m)											
	d4	D1	D2	d1	d2	d3	H1	H2	H3	h1	h2	S
5	2,40	1,50	1,47	0,16	0,10	0,18	3,05	1,22	1,05	0,50	0,16	0,002
10	2,94	2,00	1,97	0,20	0,12	0,22	3,05	1,32	1,18	0,60	0,35	0,003

Regimul de funcționare al instalației este continuu și necesită o curățare completă o dată pe an.

Instalația se poate construi îngropată sau semiîngropată.

În figurile 5.4 – 5.5 sunt prezentate instalațiile pentru producerea biogazului promovate de Prof. Mihai Dima de la Institutul Politehnic Iași (Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi Iași) din perioada 1967-1985 [33], [98], [134].

Instalația pentru producerea biogazului din figura 6.5 se prezintă sub forma unui bazin rectangular din beton armat și poate fi executată îngropată sau semiîngropată, în funcție de nivelul apei subterane. Instalația se compune din căminul de alimentare, camera propriu-zisă de fermentare și camera de evacuare.

Volumul total al camerei de fermentare este de 7 m^3 , din care volumul util reprezintă circa 6 mc. Cantitatea de biogaz asigurată zilnic este de 3-4 Nmc. Pentru asigurarea unei presiuni constante de 200-250 mm coloană de apă necesară arzătorului, clopotul metalic a fost lestat la partea superioară cu un strat de balast [144], [147].

Regimul de funcționare al instalației este continuu, iar o dată pe an este necesară golirea întregii instalații.

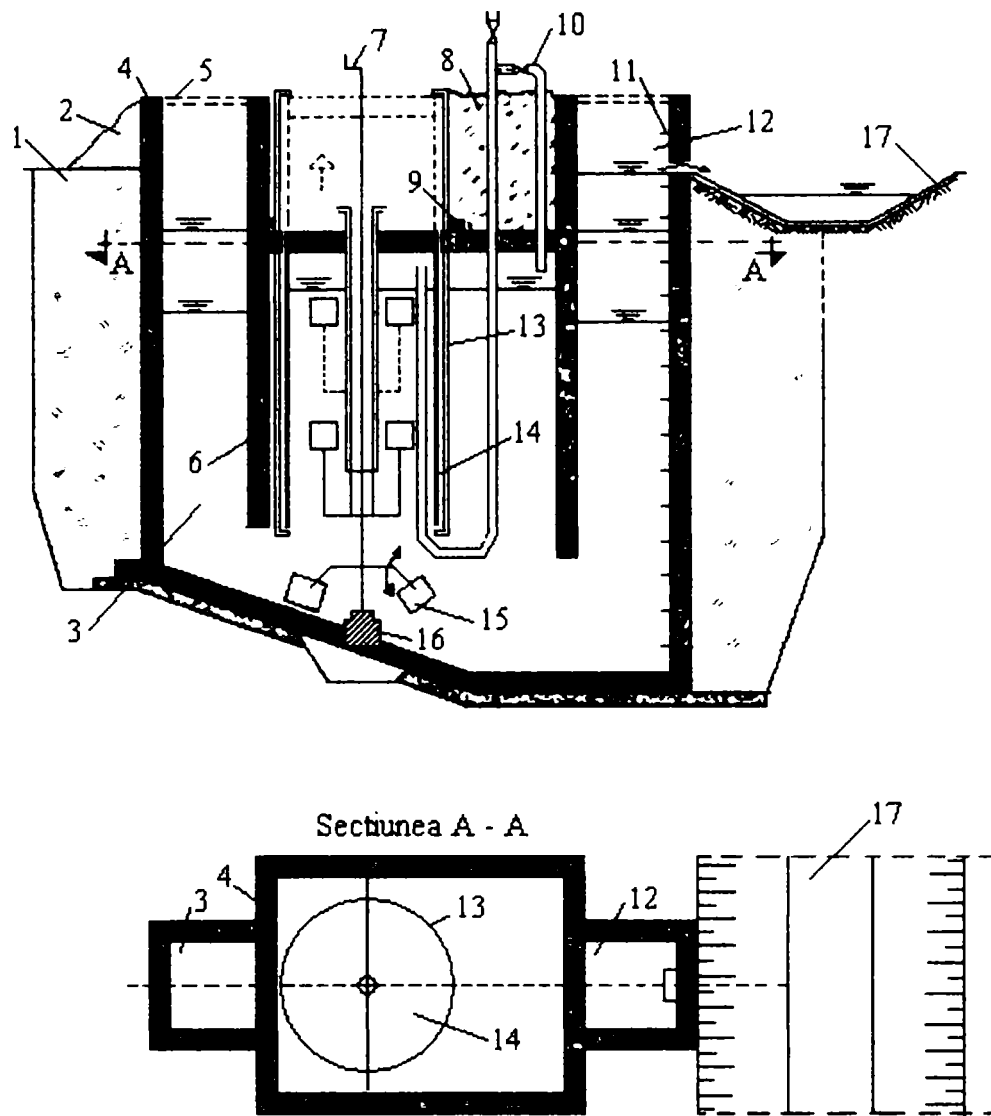


Fig. 5.4 Instalație de biogaz de capacitate 7 m³, concepută de IP Iași

1 –umplură: pământ și gunoi de grajd; 2 –umplură pământ; 3 –cămin de alimentare; 4 –perete exterior; 5 –podină lemn; 6 –perete interior cămin de alimentare; 7 –instalație mecanică amestec nămol; 8 –termoizolație paie și gunoi de grajd; 9 –mastic bituminos; 10 –conductă evacuare gaz, 3/4"; 11 –scări; 12 –cămin evacuare; 13 –burlan etanșare; 14 –clopot de tablă; 15 –paleți; 16 –piesă de bronz; 17 –rigolă colectare material fermentat

În figura 5.5 se prezintă o instalație de tip „siloz deschis” de producere a biogazului concepută tot la IP Iași [33], [98].

Instalația se compune dintr-o cameră de fermentare sub forma unui bazin cilindric, cu diametrul de 2 m, un volum total de 6 m³ și care se termină la partea inferioară cu un trunchi de con, al cărui volum total reprezintă circa 10% din volumul total de fermentare. Înălțimea zonei cilindrice de fermentare este de 1,70 m din care s-a redus înălțimea de siguranță de 0,25 m, ceea ce face ca volumul util de

fermentare să fie de $4,7 \text{ m}^3$. Această instalație asigură o cantitate zilnică de biogaz de circa 3 Nmc. Gazul este înmagazinat în clopotul gazometru care se lestează pentru asigurarea unei presiuni de circa 200-300 mm coloană de apă.

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

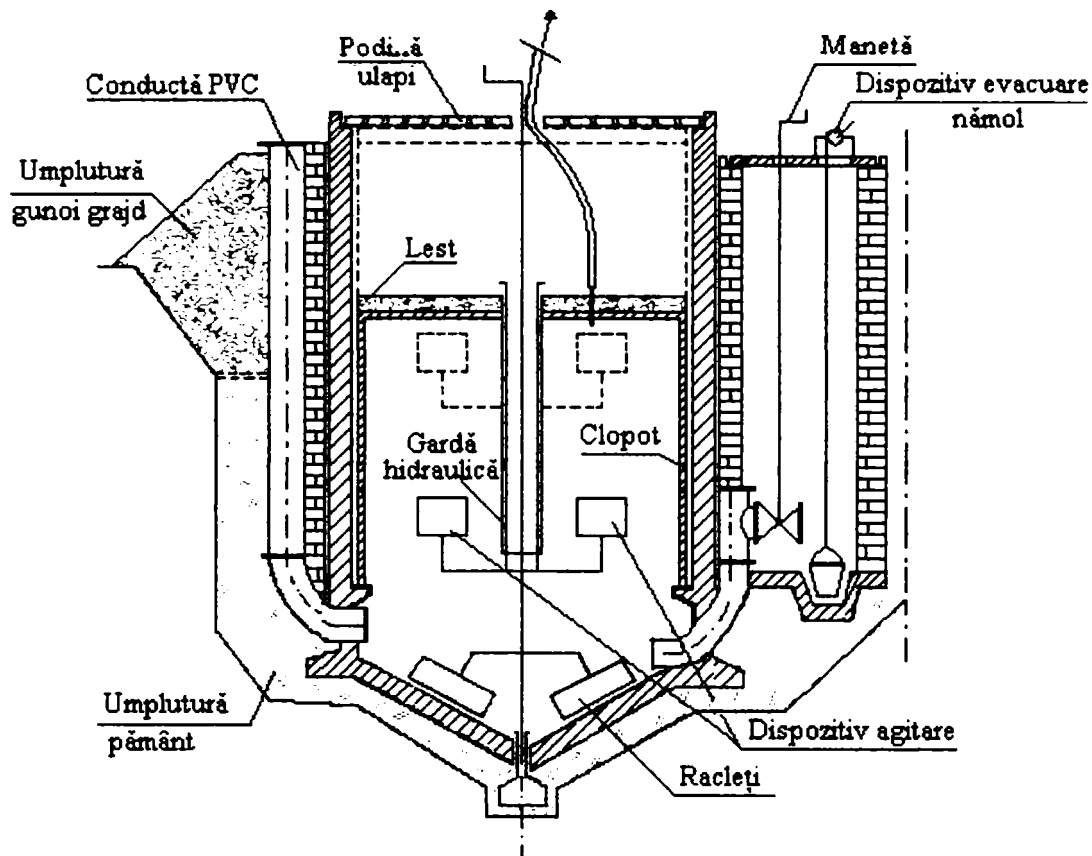


Figura 5.5 Instalație de biogaz de 6 m^3 , concepută de IP Iași

Instalația funcționează în regim de alimentare continuu și se curăță o dată pe an, excepție făcând nămolul din zona conică a instalației, cu rol de însămânțare în vederea amorsării procesului următor de fermentare.

Principalii indicatori tehnici ai instalațiilor de biogaz cu capacități de 5, 10, 25 și 50 m^3 sunt redată în tabelul 5.2.

Tabelul 5.2

Indicatori	Capacități de fermentare, în m ³					
	5	10	25	50	25	50
			fără încălzire		cu încălzire	
Ritm de alimentare, în m ³ /zi	0,08	0,16	0,4	0,8	0,4	0,8
Producția de biogaz, în m ³ /zi	1,6	3,2	8	16	24	48
Producția de biogaz, în m ³ /an	576	1152	2800	5600	8400	16800
Disponibilizare combustibil convențional, în tcc/an	0,45	0,9	2,2	4,4	4,28	8,56
Necesar animale, în echivalent porci, buc.	15	30	55	110	144	288

Instalațiile de biogaz redate în figurile 5.1 – 5.3 au fost utilizate la o serie de gospodării individuale din mediul rural, în perioada anilor 1970 – 1985.

5.3.2 Construcții și instalații de biogaz de medie capacitate

Instalațiile de biogaz de medie capacitate cuprind toate acele instalații cu volume cuprinse între 25 și 100 m³.

La instalațiile de biogaz cu capacități mai mari de 50 m³ se recomandă introducerea sistemelor proprii de încălzire pentru ca instalația să poată produce biogaz și în anotimpurile mai reci [79].

În figurile 5.6 – 5.11 sunt redate diferite tipuri de digestoare cu capacități cuprinse între 25 și 100 m³ [9], [86], [141].

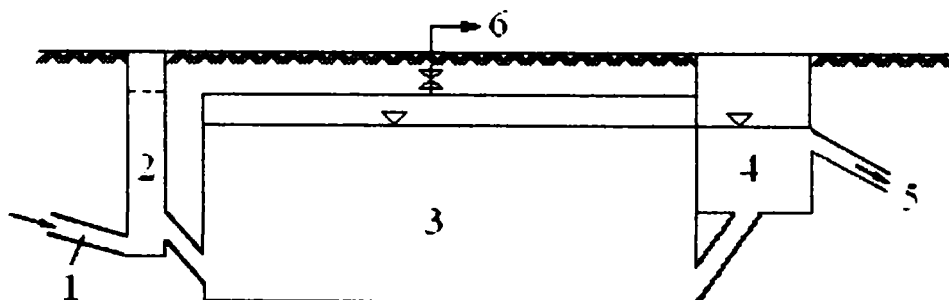


Fig. 5.6 Digestor paralelipedic

1 –apă menajeră; 2 –cămin de alimentare; 3 –spațiu de fermentare;
4 –cameră hidraulică; 5 –canal colector; 6 –colectare biogaz

Instalația de biogaz din figura 5.6 a fost realizată la Teremia Mare din județul Timiș, în anul 1980 [141].

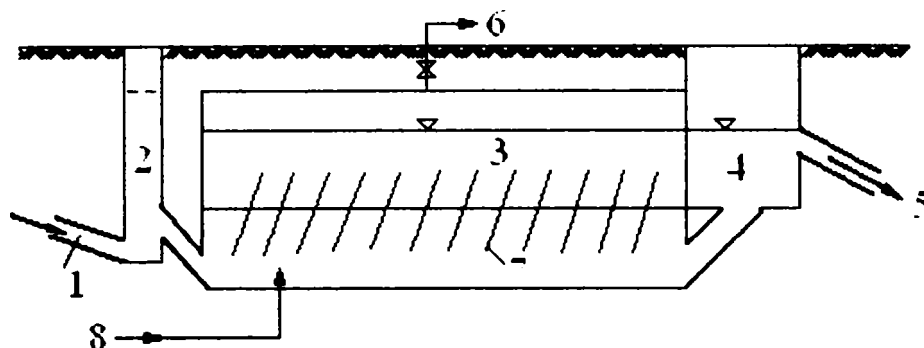


Fig. 5.7 Digester paralelipedic cu agitator mecanic și încălzire cu abur
1 –apă menajeră; 2 –cămin de alimentare; 3 –spațiu de fermentare; 4 –cameră hidrostatică;
5 –canal colector; 6 –colectare biogaz; 7 –agitator mecanic; 8 –abur

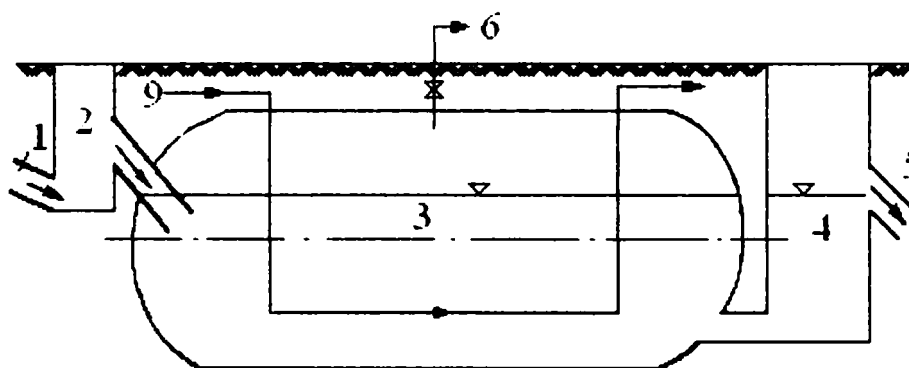


Fig. 5.8 – Digester cilindric încălzit cu apă caldă

1-apă menajeră; 2- cămin de alimentare; 3-spațiu de fermentare; 4- cameră hidrostatică;
5- canal colector; 6- colectare biogaz; 7- agitator mecanic; 8- abur; 9- apă caldă.

În figura 5.9 este redat un model de instalație de biogaz, conceput de Institutul de Chimie Alimentară din București, pentru capacități de 25 și 50 m³, model similar cu cel redat în figura 5.3 [98], [99], [100].

CONTRIBUȚII LA STUDIUL PROCESELOR DE FERMENTARE ANAEROBĂ
ÎN VEDEREA OBTINERII DE BIOGAZ

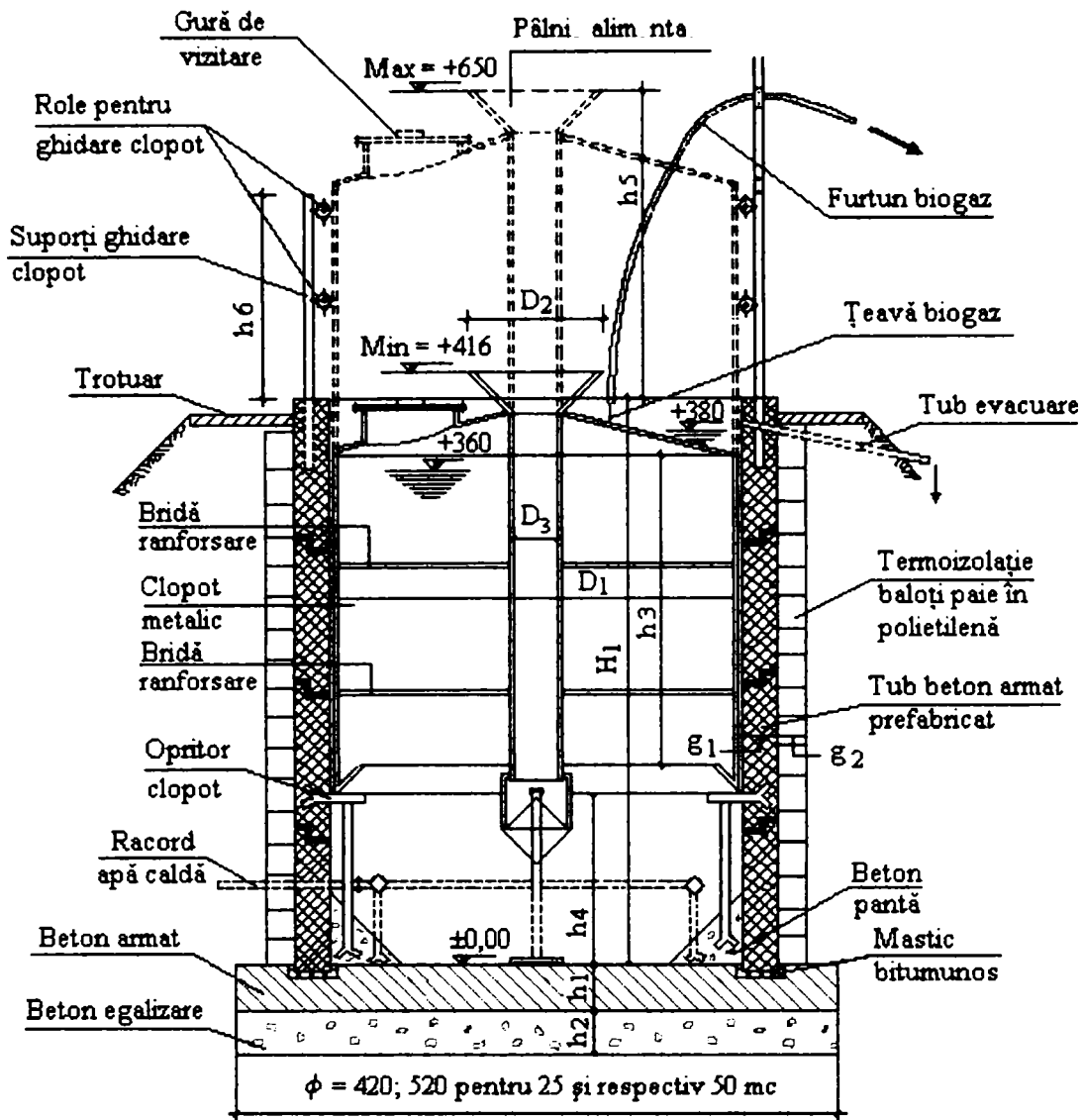


Fig. 5.9 Instalație de biogaz de capacitate medie, concepută de ICA București

Tabelul 5.3

Capacitatea de fermentare (m ³)	Dimensiuni tehnologice (m)											
	H1	D1	h1	h2	h3	h4	h5	h6	D2	D3	g1	g2
25	4,00	3,00	0,35	0,25	2,40	1,30	2,50	1,50	0,60	0,20	0,20	0,30
50	4,35	4,00	0,35	0,25	3,00	1,10	3,20	1,50	0,60	0,20	0,20	0,30

Instalațiile cu capacitate de 25 și 50 m³ sunt prevăzute cu un clopot multifuncțional. Caracteristicile geometrice ale instalației sunt redată în tabelul 5.3 [98], [99], [100].

O instalație de capacitate medie, de 50 m³, realizată de Institutul Politehnic Iași, este prezentată în figura 5.10 [33]. Constructiv, bazinul de fermentare a fost conceput în două variante:

CONTRIBUȚII LA STUDIUL PROCESELOR DE FERMENTARE ANAEROBĂ
ÎN VEDEREA OBTINERII DE BIOGAZ

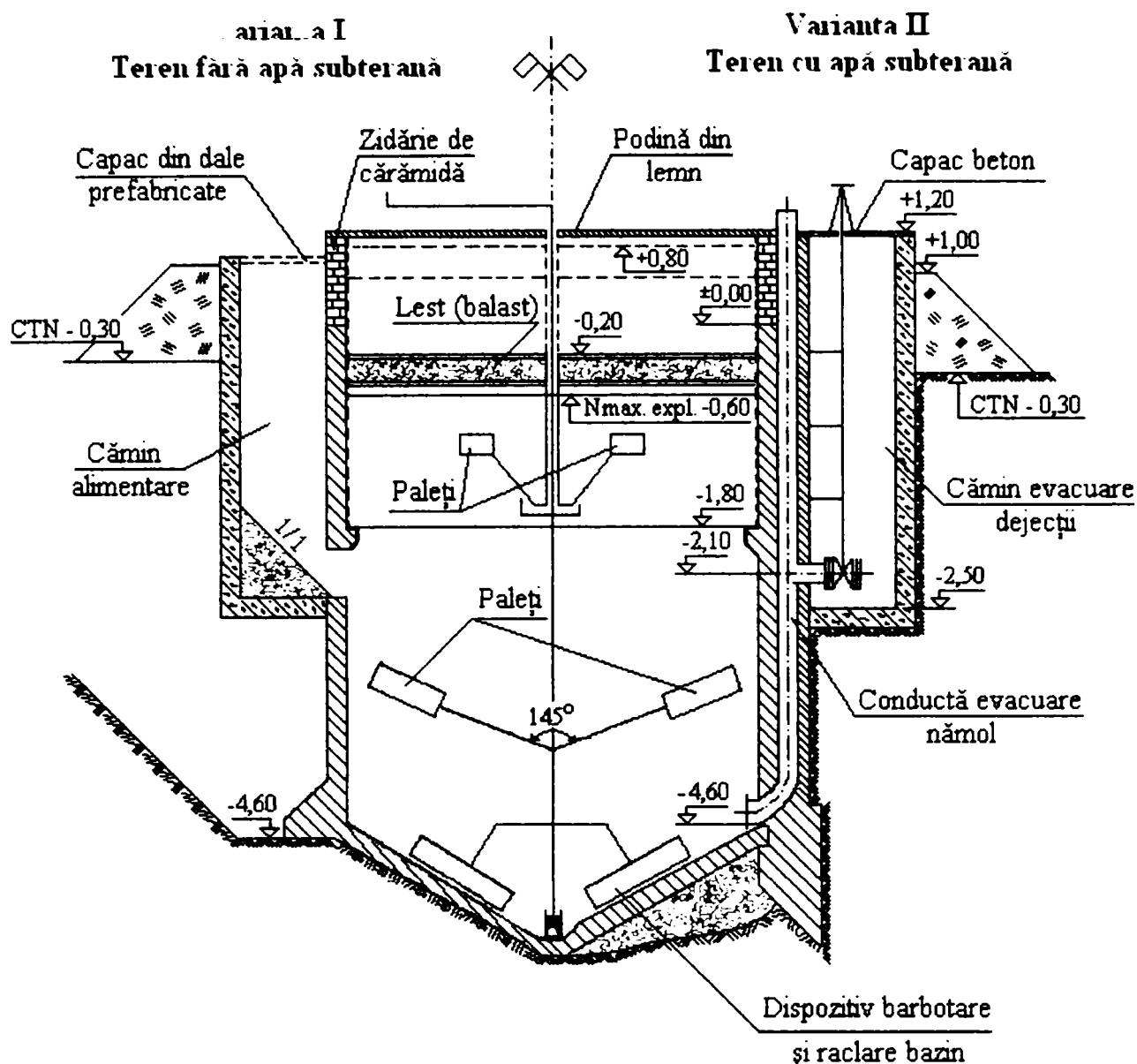


Fig. 5.10 Instalație de biogaz cu capacitatea de fermentare de 50 m³

- varianta I – bazin circular executat în săpătură deschisă în teren fără apă subterană, cu diametrul de 3,80 m și adâncimea totală de 5,30 m
- varianta a II-a – construcție tip cheson în teren cu apă subterană și cu aceleași dimensiuni interioare.

În figura 5. 11 se prezintă instalația proiectată de Prof. dr. ing. Mirel Ion și realizată la Complexul Agrozootehnic (1500 tineret bovin) din comuna Orțișoara cu sprijinul Direcției Agricole a județului Timiș (1985), instalație cu care s-a putut asigura necesarul de biogaz atât pentru preparatul hranei la animale dar și energia electrică necesară pentru moara de furaje cât și iluminatul electric [85].

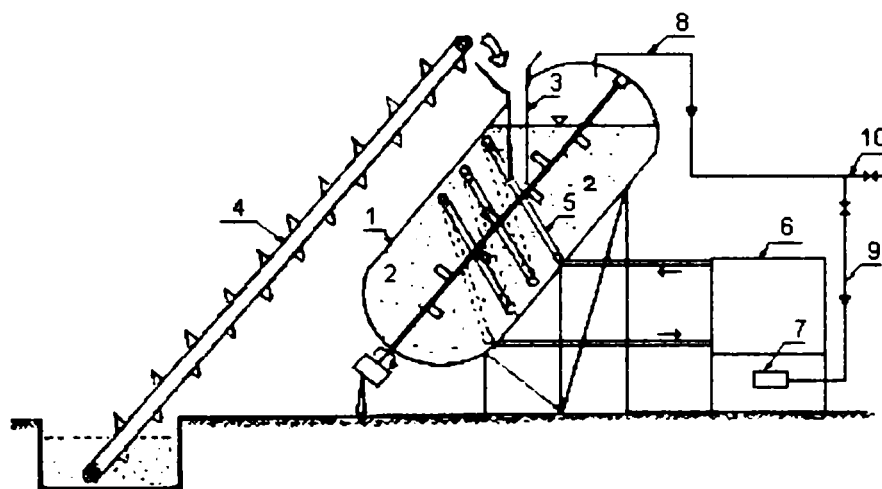


Figura 5.11 Instalație de biogaz cu capacitatea de fermentare de 30 m^3

1 –Rezervor metalic ($V = 30 \text{ m}^3$); 2 –Camera de fermentare; 3 –Conducta de alimentare;
4 –elevator; 5 –instalație încălzire; 6 –Boiler pentru apă caldă; 7 –Arzător; 8 –Conducta
de gaz; 9 –Conducta de alimentare a arzătorului; 10 –Consumator.

Instalația a fost constituită dintr-un digester cu $V = 30 \text{ m}^3$, prevăzut cu o instalație de încălzire cu apă caldă și două gazometre cu $V = 2 \times 30 \text{ m}^3$. Digestorul a fost realizat dintr-o cisternă cu care se transporta pe calea ferată bitumul cald necesar la asfaltarea drumurilor.

Complexul Agrozootehnic Orțișoara a făcut parte din unitățile reprezentative producătoare de biogaz din dejecții animaliere, în județul Timiș.

Construcțiile și instalațiile de capacitate medie, cum sunt cele din figurile 5.6 – 5.11 sau cele de tipul chinezesc dar de capacitate medie, se pot utiliza și pentru cvartale de locuințe. Schema de amenajare a unei instalații de biogaz pentru un cvartal de locuințe este redată în figura 5.12 [86], [87].

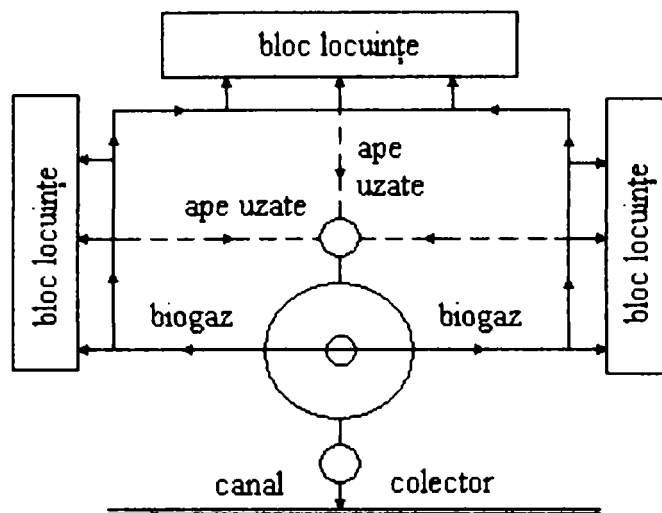


Fig. 5.12 Instalație de biogaz pentru cvartal de locuințe.

Instalația de biogaz (digestorul) este amplasată pe canalul de racord la colectorul principal de canalizare al localității, prevăzut a prelua apele uzate menajere de la grupurile sanitare și de la bucătăriile blocurilor de locuințe [156], [156].

Instalațiile utilizate în acest scop au fost prevăzute cu cameră hidraulică, pentru a se asigura presiunea minimă necesară arzătoarelor de la mașinile de gătit și de la boilerele de apă caldă menajeră.

5.4 Construcții și instalații de biogaz realizate în R.P. China

În R.P. China instalațiile de biogaz fiind cele mai vechi din lume au cunoscut o largă răspândire mai ales, în mediul rural, unde numărul acestora depășește 1,2 milioane. Aceste instalații se execută îngropate în pământ sub forme cilindrice, sferice și elipsoidale pentru capacități de 4, 6, 8 și 10 m³ [84], [87].

În principiu aceste instalații sunt alcătuite din 3 compartimente: camera de alimentare, bazinul propriu-zis de fermentare a dejecțiilor și camera hidraulică prin care se evacuează materialul fermentat și se asigură presiunea minimă necesară arzătoarelor [151], [152].

Materialele din care se pot realiza aceste instalații sunt: betonul turnat monolit, betonul armat, zidăria de cărămidă și zidăria din blocuri de piatră [73], [153], [154].

La instalațiile din figurile 5.13 – 5.15 dimensiunile camerei hidraulice sunt determinate în funcție de cantitatea de biogaz produsă zilnic, raportată la capacitatea digesterului, exprimată în $m^3/m^3 \cdot zi$ [73], [129], [140], [151], [152], [153], [154].

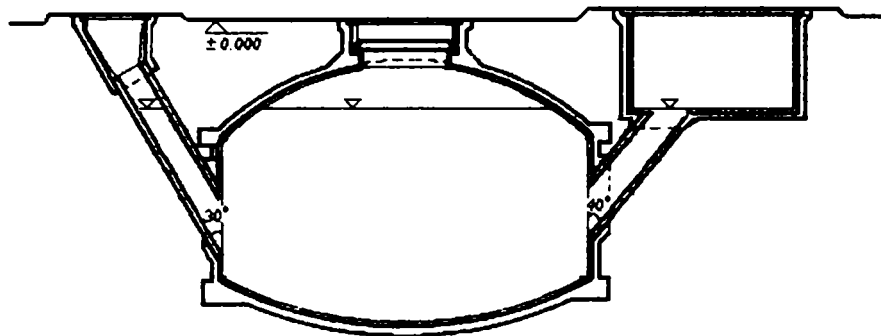


Fig. 5.13 Digester cilindric cu cupolă și cameră hidraulică

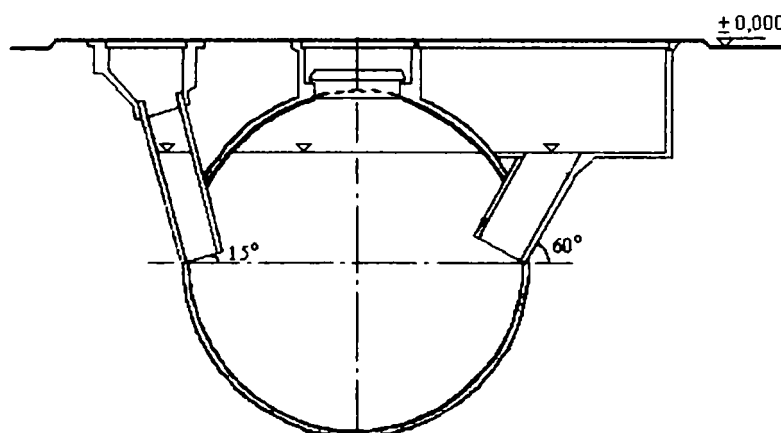


Fig. 5.14 Digester sferic cu cameră hidraulică

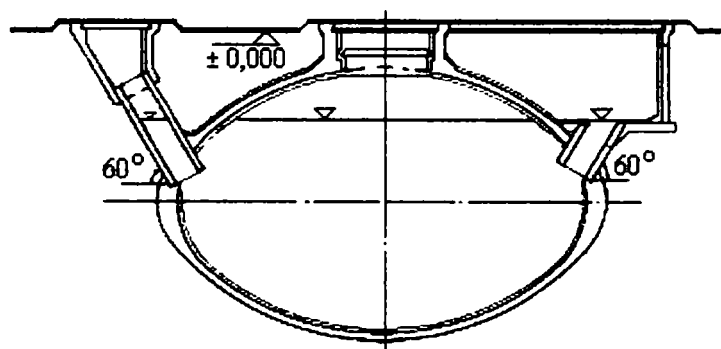


Fig. 5.15 Digester elipsoidal cu cameră hidraulică

Instalațiile de tip chinezesc au un regim de alimentare dinamică cu funcționare continuă sau statică.

5.5 Condiții generale de exploatare și întreținere a digestoarelor de mică capacitate

Funcționarea corectă a unei instalații pentru o producție maximă și constantă de biogaz este condiționată de următorii factori [9], [33], [83], [98], [100], [103], [116], [138], [142], [147]:

a) Asigurarea materiilor organice în cantitate și concentrație suficientă

În cazul digestoarelor dinamice cu alimentare continuă și intermitentă este necesar ca să se asigure debitul și concentrația biomasei, iar în cazul digestoarelor statice, o cantitate constantă de substanță organică prin respectarea rețetei de alimentare.

În condiții de fermentare crioofilă, la temperaturi de până la 15°-25°C, în cazul digestoarelor statice, durata de descompunere a substanțelor organice se prelungește mai mult. În aceste condiții se impune ca alimentarea să se facă în șarje pentru a se asigura un timp mediu de fermentare de până la 60 de zile.

Alimentarea cu cantități mai mari de biomasă, va conduce la eliminarea automată din fermentator a materiilor organice, insuficient descompuse și netransformate în biogaz.

b) Menținerea regimului termic pe toată durata de funcționare a digestorului

Temperatura are un rol hotărâtor asupra desfășurării procesului de fermentare metanogenă și implicit asupra producției de biogaz. Majoritatea fermentatoarelor de tip gospodăresc nu sunt încălzite. Ele beneficiază doar de căldura mediului ambiant și de căldura ce se degajă în cursul fementației, căldură care se poate pierde prin:

-evacuarea zilnică a nămolului fermentat mai cald decât materia primă supusă fermentării;

-pierderile de căldură prin pereții și radierul fermentatorului, cât și prin capacul sau clopotul fermentatorului.

Este bine să fie preîntâmpinate toate aceste deficiențe care pot să apară în exploatare. Pierderile de căldură prin pereții digestorului se pot micșora printr-o termoizolație realizată din paie uscate în baloturi presate introduse în saci de polietilenă mai rezistentă astfel încât sacul să nu se perforzeze pentru a se preveni putrezirea paielor. Sacii se leagă la gură și se clădesc în jurul fermentatorului. O altă măsură care se impune este aceea de a se izola capacul fermentatorului sau de a se utiliza în paralel o instalație solară pentru a încălzi materialul organic din interior.

c) Echilibrul biochimic al fermentării

După cum s-a arătat în capitolele anterioare, în cadrul digestoarelor au loc simultan, două mari grupe de procese biologice. O grupă de procese biologice, în care acționează bacteriile acidogene ce aduc substanțele organice putrescibile până la faza de acizi organici și o a doua grupă de procese biologice în care acționează bacteriile metanogene, care fac ca acizii organici să fie transformați în biogaz. Între aceste microorganisme trebuie să existe un anumit echilibru. În faza de fermentare crioofilă se poate întâmpla ca producția de acizi organici să fie mai mare decât consumul bacteriilor metanogene, fapt ce conduce la o scădere a pH -ului, cu consecințe negative asupra activității bacteriilor metanogene care pot chiar să dispară.

Verificarea indicatorului, pH , se va efectua cu aparatură specifică sau cu ajutorul hârtiei de turnesol. Determinarea pH -ului se face prin compararea culorii de pe hârtia probă, cu scara de culori martor existentă pe cutia în care se găsește banda de hârtie.

Corectarea pH -ului poate fi remediată prin micșorarea rației zilnice de alimentare, prin mărirea diluției (pe cât posibil cu apă caldă de 40-45°C) sau prin introducerea în fermentator a unor soluții neutralizante cum ar fi: laptele de var, bicarbonatul neutru de sodiu (soda de rufe) sau cenușa rezultată numai din arderea materialului lemnos. După introducerea soluției neutralizatoare în fermentator,

aceasta se agită cu conținutul din fermentator și se efectuează operația de golire în vederea alimentării cu o nouă biomasă la care se verifică valoarea pH -ului. Operația se repetă până la obținerea unei valori normale.

În cazul în care pH -ul crește peste valoarea 7,5 se recomandă ca instalația să se alimenteze cu dejecții de cal sau de taurine diluate cu apă după care se măsoară pH -ul.

Un alt tip de dezechilibru poate fi produs de nerespectarea raportului optim dintre carbon și azot, raport care trebuie să fie de 15-30. În general există tendința ca acest raport să crească, ceea ce conduce automat la micșorarea producției de biogaz.

Dacă în rețetele preparate nu se poate respecta raportul C/N se recomandă adăugarea de azot din carbonat de amoniu, azotat de amoniu sau alte surse.

d) Coroziunea

Părțile metalice ale instalației sunt supuse proceselor de coroziune datorită umidității cât și prezenței hidrogenului sulfurat (H_2S), care se găsește în biogaz, în cantități de până la 0,5% și căruia i se datorează, în cea mai mare parte și mirosul biogazului cu iz de ouă clocite.

Preîntâmpinarea coroziunii părților metalice se face prin verificare periodică a acestora, iar acolo unde se constată atacarea metalului, se curăță bine suprafața cu o perie de sârmă apoi se aplică 1-2 straturi de vopsea.

5.6 Deficiențe de funcționare, cauze și mijloace de remediere

Deficiențele de funcționare pot fi multiple și ele pot să apară în cazul digestoarelor statice:

- în timpul amorsării procesului de fermentare sau
- în timpul funcționării

5.6.1 În timpul amorsării procesului de fermentare

Tabelul 5.4

Deficiența	Cauza	Remedierea
1. Nu se obține biogaz după maxim 10 – 12 zile de la încărcare	a) Biomasa încărcată nu are raportul C/N cuprins între 15-25 datorită unei erori la alcătuirea rețetei	- Se verifică calculul prin care s-a stabilit rețeta inițială și se adaugă o cantitate corespunzătoare de dejecții cu raportul C/N mic (dejecții de porc), iar atunci când nu se dispune de cantitatea necesară se poate adăuga azotat de amoniu (îngrășământ), doza fiind de 50-100 g/m ³ biomasă.
	b) Nu s-a respectat concentrația biomasei, respectiv umiditatea de 92%	- În cazul în care umiditatea este sub 92% se adaugă cantitatea de apă necesară (încălzită la 30-40°C), iar când umiditatea este mai mare decât 92% se evacuează cantitatea de apă în surplus.
	c) Temperatura (iarna) în fermentator este sub 12°C	- Se va introduce în fermentator apă caldă de 30-40°C, concomitent cu luarea unor măsuri de izolare termică.
	d) Cantitatea de acizi volatili depășește 1500 mg/l, respectiv pH-ul este sub valoarea de 6,5	- Se face corectarea pH-ului prin introducerea de bicarbonat de sodiu. Corectarea cu lapte de var este mai puțin recomandată datorită necesității adăugării unei cantități mari ceea ce conduce la mărirea concentrației de calciu care devine toxic pentru proces. Corectarea se mai poate face cu cenușă obținută de la arderea materialului lemnos. În cazul în care valoarea pH > 7,5 pentru scăderea acestuia se introduc dejecții de cal sau vită diluate cu apă.

e) Biomasa nu are în compoziție dejecții de taurine ce conțin bacterii metanogene	- Se introduce o cantitate corespunzătoare de dejecții de taurine diluate cu apă sau o cantitate corespunzătoare de masă fermentată de la o instalație care funcționează normal.
---	--

De remarcat este faptul că producția de biogaz poate fi obținută mai rapid, respectiv după numai 1-2 zile, dacă în digestor se introduce 30% din biomasa adusă dintr-o instalație de biogaz care funcționează la parametrii normali (inocul).

5.6.2 În timpul funcționării

Tabelul 5.5

Deficiența	Cauza	Remedierea
1. Biogazul produs nu arde	a) Gazul produs conține peste 50% CO ₂	- Se face evacuarea periodică a gazului existent în atmosferă timp de 1-3 zile, până se obține o creștere a conținutului de metan.
2. Biogazul arde dar nu are presiune suficientă	a) Cantitatea de gaz acumulată în fermentator este mai mică decât consumul instantaneu	-Se eșalonează funcționarea consumatorilor -Se intercalează între fermentator și consumatori un gazometru
	b) Conducta de transport a biogazului la consumator este subdimensionată sau înfundată	- Se înlocuiește conducta existentă sau se desfundă (iarna se dezgheață apa de condens ce poate forma dopuri)
3. Scade producția de biogaz	a) Cauzele se datorază celor menționate la pct. 1 a; b; c și d de la § 5.6.1	- Idem § 5.6.1 – 1 a; b; c; d
	b) Sunt pierderi de gaz prin porozități sau neetanșeități la conducte și armături	- Se identifică locul pierderilor prin ungerea îmbinărilor cu apă și săpun. Dacă este necesar ca la remedieri să se lucreze cu sudură, aceasta se va face numai după golirea completă a gazului din conductă și

		închiderea robinetelor de alimentare, iar dacă operația de sudură se execută la corpul fermentatorului, aceasta se efectuează numai după dezamorsarea acestuia și aerisirea completă.
	c) S-au introdus din greșală substanțe toxice	- Se elimină sursa de toxine
4. Nivelul materialului din camera de evacuare crește peste limită	a) Producția de biogaz depășește cu mult consumul și în consecință crește presiunea în fermentator	- Se evacuează gazul în plus în atmosferă până la atingerea nivelului normal stabilit
	b) Cantitatea de biomasă evacuată înaintea alimentării a fost mai mică decât cea alimentată	- Se evacuează surplusul până la scăderea nivelului în mod corespunzător
5. Nivelul din camera de evacuare scade permanent	a) Există fisuri în construcție prin care se pierde lichid	- Se efectuează depistarea zonei pe unde se produc scurgerile, apoi se iau măsurile de remediere ce se impun

5.7 Construcții și instalații de fermentare anaerobă de tip industrial

La scară industrială, biogazul nu se produce numai în stațiile de epurare orășenești, ci și în instalațiile de fermentare anaerobă a dejecțiilor provenite de la fermele zootehnice. Acestea s-au proiectat la diferite capacități, configurații, echipamente și modalități de funcționare, funcție de caracteristicile climatice și de altă natură ale amplasamentului.

Componentele unei unități de fermentare sunt reprezentate prin depozitul de material organic, fermentatorul propriu zis, rețeaua de biogaz, depozitul de biogaz și material organic epuizat, sistemul de manipulare a materialului organic la

introducerea și evacuarea din fermentator, sistemul de încălzire și omogenizare a materialului organic și sistemul de curățire și utilizare a biogazului.

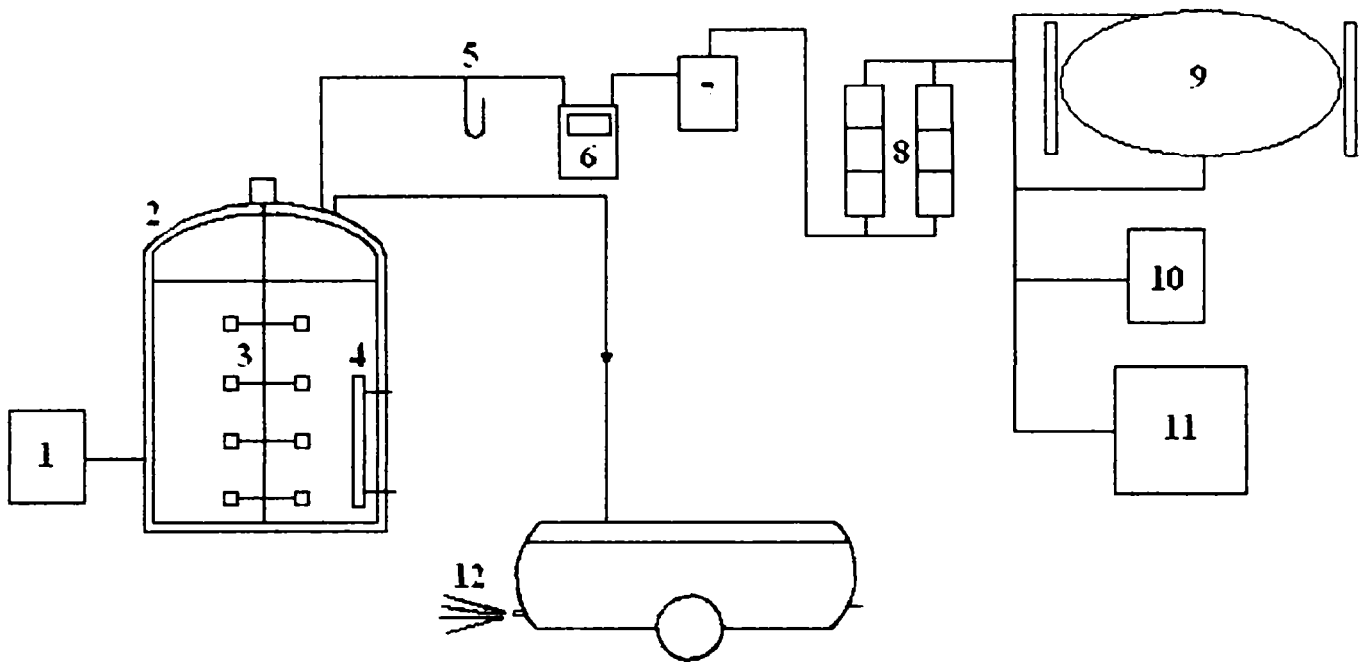


Fig. 5.16 Componenta unei instalații de biogaz

Schematic, componența unei instalații de biogaz de tip industrial redată în figura 5.16 [148] este alcătuită din: depozit de material (1); fermentator prevăzut cu rezervor de biomasă (2), un amestecător (3), un încălzitor (4); o rețea de biogaz prevăzută cu o supapă de suprapresiune (5), un contor de gaz (6), un filtru (7), o instalație de desulfurare (8), un recipient de stocare (9) și un sistem de utilizare alcătuit dintr-un cazan de încălzire pe gaz (10), un generator electric (11) și un motor cu ardere internă (12).

În figurile 5.17 – 5.20 sunt redată diferite tipuri de instalații industriale de producere a biogazului realizate în țări care au efectuat numeroase cercetări în domeniul producerii și utilizării biogazului [134].

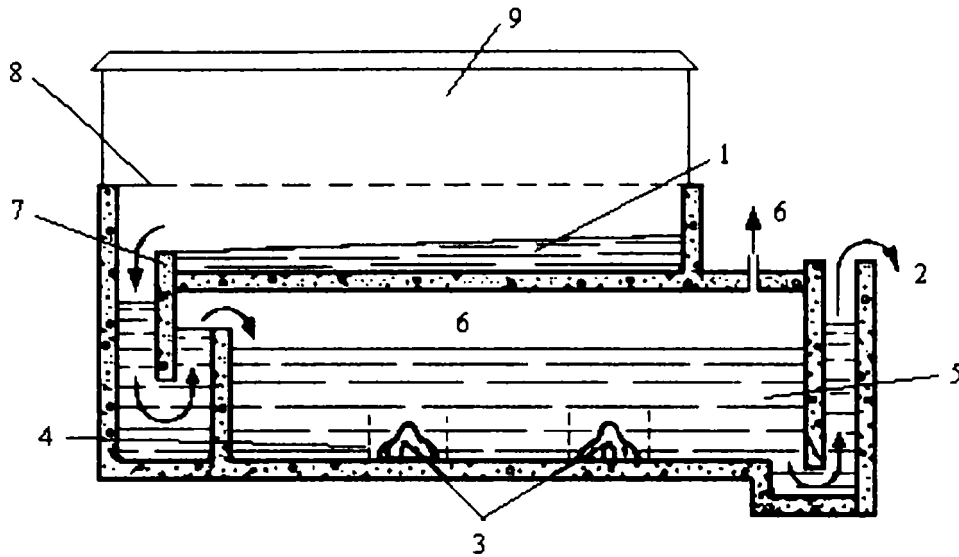


Fig. 5.17 Schema instalației de producere a biogazului (Japonia)

1 – Dejecții; 2 – Evacuare; 3 – Pompe submersibile; 4 – Sită; 5 – Material rezidual semilichid;
6 – Biogaz; 7 – Rigolă; 8 – Podea cu grătar; 9 – Grajd pentru 30 de vaci.

Capacitatea de fermentare a instalației de biogaz din figura 5.17 este de 220 m^3 . Pompele submersibile din fermentator asigură atât amestecul cât și încălzirea rezidului semilichid, cu vapori de apă, până la o temperatură de 35°C .

În figura 5.18 este prezentată o instalație de biogaz ce funcționează cu alimentare în șarje alternative. La acest tip de instalație se realizează preîncălzirea dejecțiilor după care, acestea sunt pompate în reactorul I. Aceeași cantitate de fluid trece din reactorul I în reactorul II printr-o conductă ce leagă cele două reactoare. Din reactorul II se elimină același volum de fluid printr-o deschidere în tancul de păstrare a materialului rezidual fermentat [134].

evacuare continuă. Acest sistem funcționează la o serie de stații de epurare din țară, ca de exemplu: stația de epurare Pitești, Iași, Arad, Târgu Mureș etc.

În figura 5.20 este reprezentată schema bazinului de fermentare anaerobă a nămolului de la stația de epurare Arad [81].

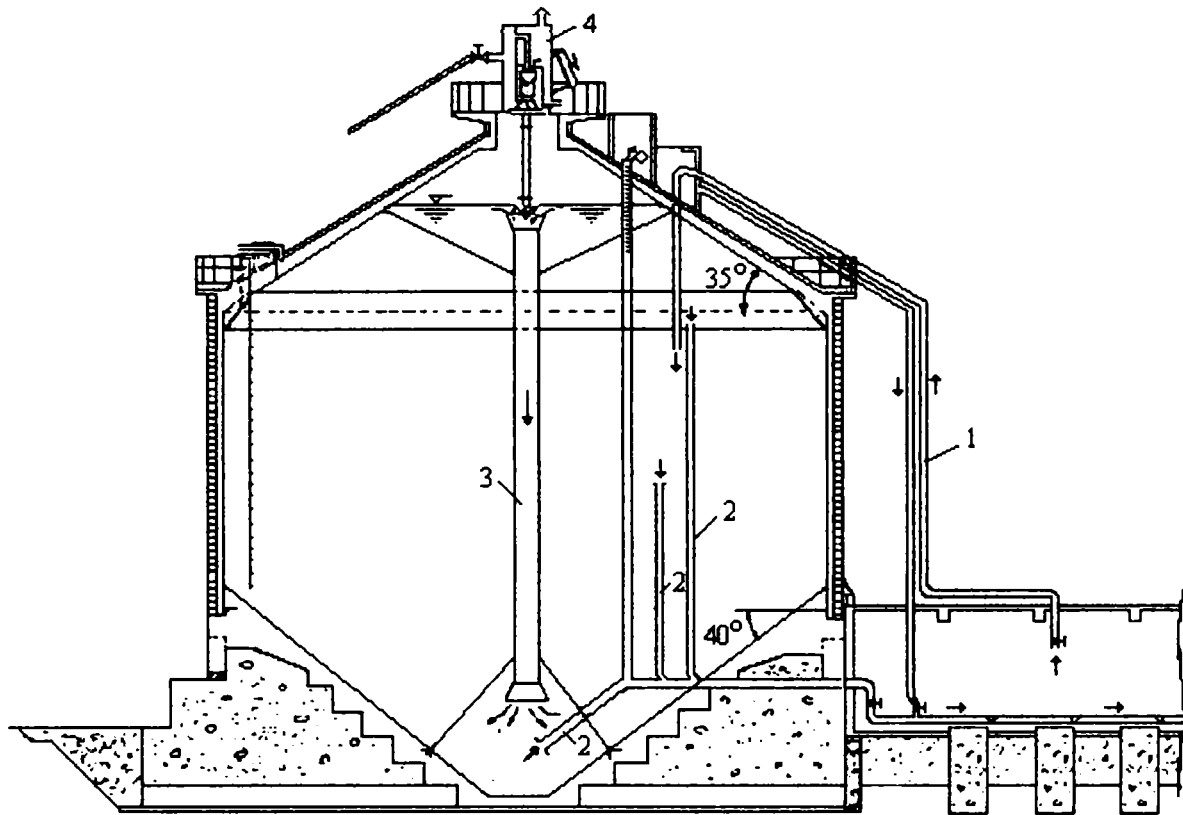


Figura 5.20 Bazinul de fermentare a nămolului

1 –conductă de alimentare; 2 –conduțe de evacuare; 3 –hidroelevator; 4 –capator de gaze

Din păcate, în cadrul rețehnologizărilor actuale, au fost eliminate, fără justificare, instalațiile pentru producerea biogazului, la stațiile de epurare din Timișoara, Oradea și alte stații.

6 CERCETĂRI ȘI REZULTATE EXPERIMENTALE

6.1. Instalațiile de laborator

Cercetările experimentale pentru producerea de biogaz s-au efectuat în cadrul laboratorului Facultății de Hidrotehnică din Timișoara și la APM Arad folosind o instalație experimentală de laborator de tipul celei redate în figura 6.1, constituită din două vase cu capacitatea de 1000 ml fiecare, prevăzute cu dopuri de închidere și cu tuburi de legătură de alimentare-evacuare și de colectare a biogazului produs [52], [64], [83], [144].

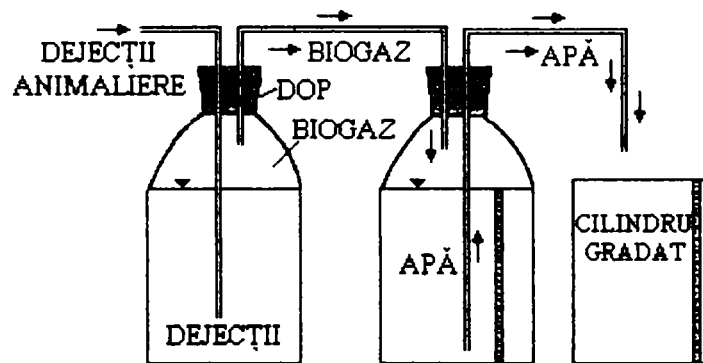


Figura 6.1 – Instalație de laborator

În primul vas se introduc masele organice supuse procesului de fermentare, iar în cel de al doilea vas se introduce apă cu scopul de a se putea măsura cantitatea de gaz produsă, într-un anumit interval de timp.

Primul vas, cu rol de digester-fermentator este prevăzut cu un sistem de agitare, realizat prin intermediul unui magnet și a unei plite metalice. Plita metalică asigură temperaturile necesare proceselor de fermentare mezofile sau termofile.

Masa organică a fost constituită din dejectii animaliere.

Gazele de fermentare constituite din metan (55-75%), dioxid de carbon (20-25%) și hidrogen (1-2%) descărcate din vasul digester au fost evacuate prin conducta de legătură în cel de al doilea vas, din care, pe măsură ce se produc gazele de fermentare, apa este evacuată în cilindrul gradat pentru a fi măsurată.

În cadrul cercetărilor experimentale efectuate la temperaturi de 20°C, 37°C și 54°C s-au evidențiat cantitățile și calitățile de gaze emanate cât și duratele proceselor de fermentare.

Interpretarea rezultatelor

La un volum de 500 ml dejecții animaliere, cu un conținut de 300 mg substanțe organice și 200 ml apă și urină s-au obținut, în gama temperaturilor studiate, următoarele rezultate redată în tabelul 6.1:

Tabelul 6.1

Temperatura, în °C	Durata, în zile	Volumul de gaz obținut, în ml/zi	Capacitatea calorică a gazului, în kcal
20	10 – 15	150 – 200	6300 – 6500
37	6 – 8	250 – 300	5800 – 6200
54	4 – 6	360 – 384	5000 – 5500

În urma cercetărilor efectuate a reieșit faptul că volumul gazelor de fermentare crește odată cu creșterea temperaturii, în schimb calitatea acestor gaze scade substanțial, de la 6 300-6 500 kcal la 5 000-5 500 kcal.

Fermentarea termofilă asigură o cantitate mai mare de gaz dar cu o calitate mai redusă, în schimb aceste procese, au un efect benefic pentru protecția mediului înconjurător asigurând distrugerea unor microorganisme și chiar a unor paraziți.

La fermentarea mezofilă și chiar a celei criofile volumul de biogaz obținut a fost relativ redus, însă calitatea acestuia a fost mai bună, procentul de CH₄ ajungând la 75-80%.

Modelul experimental, redat în figura 6.2 are o capacitate de 1 m³ și a fost realizat în laboratorul Facultății de Hidrotehnică din Timișoara de către Prof. dr. ing. Mirel Ion [83]. Instalația a fost experimentată în laborator cu frunze din Parcul Rozelor, în perioada 1983-1985, fiind apoi transferată la o gospodărie din cartierul

Freidorf, Timișoara, unde a funcționat mai mulți ani, materia organică fiind constituită din resturile organice colectate de la gospodăria respectivă [83].

Acesta fiind un model de tip static a fost prevăzut cu un sistem manual de amestec. Digestorul (fermentatorul) a fost prevăzut cu clopot mobil.

Instalația a fost realizată din tablă de oțel prevăzută pe părțile laterale cu camere de alimentare pentru dejecțiile proaspete și de evacuare pentru dejecțiilor fermentate anaerob.

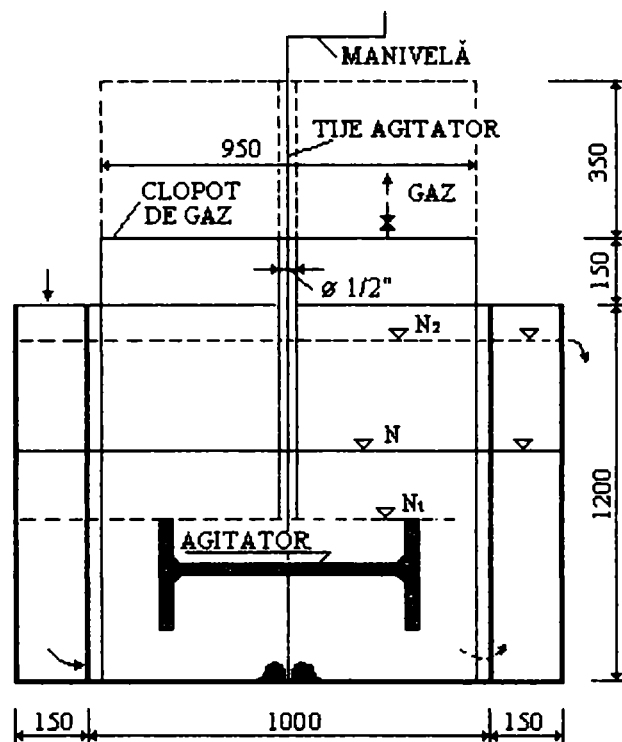


Figura 6.2 – Modul experimental ($V = 1\text{m}^3$) – laboratorul
Facultății de Hidrotehnică din Timișoara

Camera de evacuare a fost prevăzută cu un deversor triunghiular, având rolul de a determina cantitatea de dejecții introduse, respectiv volumul de gaz produs într-un anumit timp de fermentare.

La sistemul digestorului cu clopot fix, camera de evacuare sau camera hidraulică cu nivel constant, va servi pentru acumularea de biogaz între nivelul N_1 și

N₂ dar și pentru reglarea presiunii gazului la arzătoarele aragazelor (350-380 mm Hg) [83].

Modelul a fost experimentat la temperatura mediului înconjurător, specifică perioadelor aprilie – noiembrie.

Debitul de biogaz produs a fost de 0,5 la 2,0 m³/zi, în funcție de temperatura mediului înconjurător. Debitele mai mici au fost obținute în timpul nopții, iar cele maxime în timpul orelor de prânz din zilele călduroase ale lunilor de vară (iulie și august).

Perioada de amorsare a procesului de fermentare a fost de 10-12 zile.

La funcționarea digesterului în regim static, producția de biogaz a fost mai mare după punerea în funcțiune, scăzând treptat după 6 luni de funcționare, iar la funcționarea în regim dinamic, cu alimentare și evacuare continuă, producția de biogaz a fost relativ constantă pe toată perioada anotimpului cald (20-25°C).

Prin blocarea clopotului s-a putut realiza o presiune constantă în tot sistemul de distribuție și de utilizare a biogazului.

Rezultatele obținute cu instalațiile de biogaz redată în figurile 6.1 și 6.2 au fost verificate pe prototipul experimental.

6.2 Prototipul experimental - Finiș

6.2.1 Schema tehnologică

Modelul experimental realizat în comuna Finiș din județul Bihor, este un prototip ce are la bază modelul chinezesc, cu o capacitatea de circa 5 m³. Acest prototip cuprinde o cameră de fermentare cu o capacitate de 5 m³ și o cameră hidraulică de aproximativ 1 m³ (figura 6.3). Digesterul este de tip dinamic cu alimentare intermitentă.

Materia primă utilizată a fost gunoiul de grajd, iar pentru amorsarea digesterului s-a respectat următoarea tehnologie:

Materialul organic s-a introdus în 4 reprize, în cantități egale la un interval de 3 zile. Masa uscată introdusă la fiecare repriză s-a amestecat cu apă. Apa de amestec a fost în proporție de 40-50% din cantitatea de material organic introdus. După ultima încărcare s-a montat capacul de închidere asigurându-se astfel închiderea ermetică a digesterului. Gazul obținut în primele zile, a avut un conținut

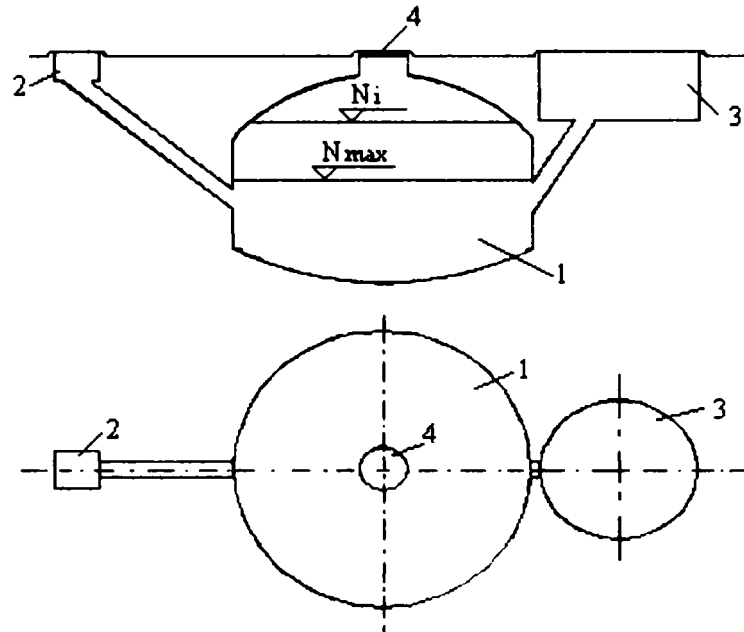


Fig. 6.3 Schița digesterului cu cameră hidraulică

1 –digester; 2 –cameră de alimentare; 3 –cameră hidraulică; 4 –capac de închidere.

redus de metan, fiind necesară eliminarea în atmosferă. După cea de-a 12-a zi, gazul produs a început să ardă, ceea ce a însemnat că procentul de metan a fost mai mare de 65%, iar procentul de dioxid de carbon 28-30%.

Perioada de amorsare a procesului de fermentare anaerobă este cuprinsă între 10 și 12 zile.

6.2.2 Dimensionarea prototipului experimental cu cameră hidraulică

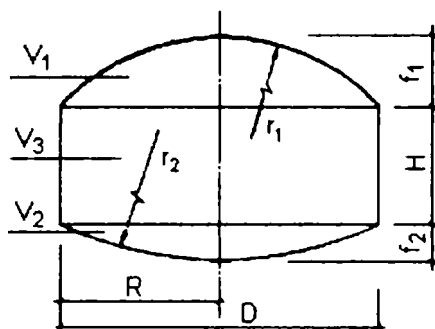


Figura 6.4 Dimensiunile geometrice ale digesterului

Volumul camerei de fermentare (V) redat în figura 6.4 se determină cu următoarele relații:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \quad (6.1)$$

$$V_1 = \frac{\pi}{6} f_1 (3R^2 + f_1^2) \quad (6.2)$$

$$V_2 = \frac{\pi}{6} f_2 (3R^2 + f_2^2) \quad (6.3)$$

$$V_3 = \pi R^2 H \quad (6.4)$$

în care:

$$f_1 = \frac{D}{5} \quad (6.5)$$

$$f_2 = \frac{D}{8} \quad (6.6)$$

$$H = \frac{D}{2,5} \quad (6.7)$$

$$R = \frac{D}{2} \quad (6.8)$$

Înlocuind relațiile (6.5), ... (6.8) în relațiile (6.2), (6.3) și (6.4) obținem:

$$V_1 = 0,0827 D^3 \quad (6.9)$$

$$V_2 = 0,0501 D^3 \quad (6.10)$$

$$V_3 = 0,3142 D^3 \quad (6.11)$$

Cunoscând că $V = 5 \text{ m}^3$ rezultă:

$$D = \sqrt[3]{\frac{5}{0,4470}} = 2,24 \text{ m}$$

Înlocuind valoarea lui D astfel calculată, în relațiile (6.5), ..., (6.8) obținem valorile pentru:

$$f_1 = 0,45 \text{ m}$$

$$f_2 = 0,28 \text{ m}$$

$$H = 0,90 \text{ m}$$

$$R = 1,12 \text{ m}$$

Diametrele digestoarelor cilindrice cu $V \leq 10 \text{ m}^3$ se pot calcula cu relația:

$$D = \sqrt[3]{\frac{V}{0,4470}} \quad (6.12)$$

În care:

D este diametrul camerei de fermentare;

V – volumul estimat al camerei de fermentare

În continuare se calculează volumul de gaz inițial (la presiunea atmosferică).

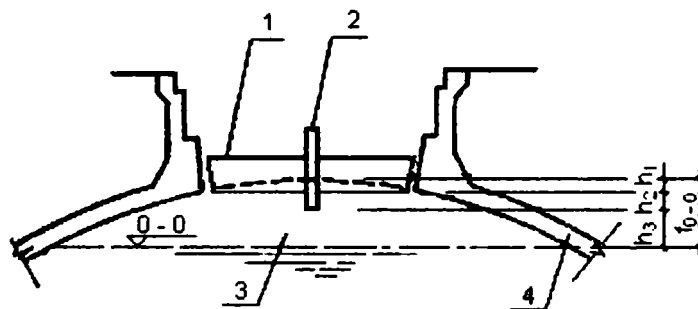


Fig. 6.5 Înălțimile caracteristice ale volumului de gaz la presiunea atmosferică

1. capac; 2. țeava de gaz; 3. volumul de gaz inițial; 4. cupola bazinului de fermentare

Înălțimea cupolei f_{0-0} care delimitează volumul de aer se determină cu relația:

$$f_{0-0} = h_1 + h_2 + h_3 \quad (6.13)$$

Pentru înălțimile h_1 , h_2 și h_3 se recomandă următoarele dimensiuni:

$$h_1 = 10 \dots 15 \text{ cm}, h_2 = 3 \dots 5 \text{ cm}, h_3 = 20 \dots 30 \text{ cm}$$

iar pentru cazul studiat s-au ales valorile:

$$h_1 = 12 \text{ cm}, h_2 = 4 \text{ cm}, h_3 = 25 \text{ cm} \text{ și a rezultat } f_{0-0} = 0,41 \text{ m}$$

Cota 0 - 0 reprezintă nivelul materialului din digester la presiunea atmosferică.

Volumul inițial de gaz se poate calcula cu ajutorul relațiilor:

$$V_{0-0} = \pi f_{0-0}^2 \left(r_1 - \frac{f_{0-0}}{3} \right) \quad (6.14)$$

$$\begin{aligned} V_1 - V_{0-0} &= \frac{4\pi}{3} \left(\frac{f_1 - f_{0-0}}{2} \right)^3 + \frac{1}{2} \left[R^2 (f_1 - f_{0-0}) + \pi r_1 (f_1 - f_{0-0}) \right] = \\ &= \frac{4\pi}{3} \left(\frac{f_1 - f_{0-0}}{2} \right)^3 + \frac{\pi (f_1 - f_{0-0})}{2} (R^2 + r_1^2) \end{aligned} \quad (6.15)$$

Pentru $D = 2,24 \text{ m}$:

$$V_1 = 0,0827 D^3 = 0,93 \text{ m}^3$$

$$f_1 - f_{0-0} = 0,45 - 0,41 = 0,04 \text{ m și}$$

$$R = 1,12 \text{ m}$$

Rezultă:

$$r_1 = 1,56 \text{ m și}$$

$$V_{0-0} = 0,75 \text{ m}^3$$

Având volumul inițial de gaz, la presiunea atmosferică, se poate determina gradul de umplere al digesterului, în procente, utilizând relația:

$$\frac{V - V_{0-0}}{V} \times 100\% = \frac{5 - 0,75}{5} \times 100\% = 85\%$$

Cantitatea maximă a gazului produs ($V_{\max \text{ gaz}}$) se stabilește considerând o producție specifică de gaz de $q_s = 0,35 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \cdot \text{zi}$:

$$V_{\max \text{ gaz}} = \frac{1}{2} \times V \times q_s \quad (6.16)$$

$$V_{\max \text{ gaz}} = \frac{1}{2} \times 5 \times 0,35 = 0,875 \text{ m}^3$$

Volumul total ocupat de gazul din rezervor:

$$V_{\text{gaz}} = V_{0-0} + V_{\max \text{ gaz}} \quad (6.17)$$

$$V_{\text{gaz}} = 1,625 \text{ m}^3 > 0,93 \text{ m}^3 = V_1$$

$$V_1 < V_{\text{gaz}} \quad (6.18)$$

ceea ce înseamnă că nivelul lichidului A – A se află în interiorul corpului cilindric.

Nivelul lichidului A – A se stabilește cu relația:

$$V_{\text{cil}} = V_{\text{gaz}} - V_1 \quad (6.19)$$

$$V_{\text{cil}} = \pi R^2 h_{\text{cil}} \quad (6.20)$$

$$h_{\text{cil}} = \frac{V_{\text{cil}}}{\pi R^2} \quad (6.21)$$

Pentru:

$$V_{\text{cil}} = 0,695 \text{ m}^3 \text{ rezultă poziția nivelului A – A}$$

$$h_{\text{cil}} = 0,2 \text{ m}$$

Dimensionarea camerei hidraulice comportă determinarea următoarelor mărimi:

$$h_{A-A} = f_1 + h_{\text{cil}} = 0,45 + 0,2 = 0,65 \text{ m}$$

$$h_{A-A} - h_{0-0} = 0,65 - 0,41 = 0,24 \text{ m}$$

$$H_{\text{hidraulic}} = 0,8 - 0,24 = 0,56 \text{ m} > 0,35 \text{ m H}_2\text{O}$$

Presiunea la arzător, pentru o bună funcționare trebuie să fie de 0,35 m H₂O. Ținând cont și de pierderile de presiune prin rețea, rezultă că o presiune de 0,56 m H₂O la digester este suficientă pentru a asigura presiunea necesară la arzătorul de la aragaz.

Pentru a determina celelalte elemente geometrice ale camerei hidraulice, se consideră că aceasta are o formă cilindrică, iar volumul camerei hidraulice trebuie să fie egal cu volumul maxim de stocare a gazului.

$$S_{\text{hidraulic}} = \frac{V_{\text{hidraulic}}}{H_{\text{hidraulic}}} = \frac{V_{\text{max gaz}}}{H_{\text{hidraulic}}} \quad (6.22)$$

în care:

$S_{\text{hidraulic}}$ este aria suprafeței camerei hidraulice;

$V_{\text{hidraulic}}$ - volumul camerei hidraulice;

$H_{\text{hidraulic}}$ - înălțimea camerei hidraulice;

$V_{\text{max gaz}}$ - volumul maxim de stocare a gazului calculat.

$$S_{\text{hidraulic}} = \frac{0,875}{0,56} = 1,56 \text{ m}^2$$

$$R_{\text{hidraulic}} = \sqrt{\frac{S_{\text{hidraulic}}}{\pi}} = 0,70 \text{ m}$$

6.2.3 Evaluarea cantităților de materiale necesare prototipului

Pe baza elementelor geometrice calculate, pentru capacitatea digesterului de 5 m^3 au rezultat cantitățile de materiale prezentate în tabelul 6.2.

Consumurile principalelor materiale de construcție pentru
instalația de biogaz de capacitate 5 m³

Materiale	U/M	Cantitate
Beton Bc 16/20	m ³	2,85
Mortar M50-Z	m ³	0,85
Cărămidă 25 cm grosime	m ³	2,85
Cărămidă 12,5 cm grosime	m ³	0,6
Cărămidă de protecție 7 cm grosime	m ³	0,7
Oțel beton	kg	217,5
Confecții metalice	kg	11,5
Tub de beton Ø200 mm cu cep și buză pentru canalizare	m	2,2
Hidroizolație din membrană Pluvitec	m ²	15
Termoizolație din polistiren rigid 10 cm grosime	m ²	15
Cofraje	m ²	16,2

Datorită topografiei terenului, din zona de amplasare a prototipului redată în figura 6.7, lichidul fermentat, se poate evacua gravitațional, prin conducte până la locul de amenajare a patului filtrant după care apa filtrată se poate evacua, tot gravitațional, în râul din apropiere. Acest aspect permite modificarea regimului de funcționare a instalației dintr-un regim static, într-o instalație cu regim de funcționare dinamică.

6.2.4 Execuția prototipului

Instalația pentru producerea biogazului este o construcție subterană, la care săpăturile se execută în trei etape. Săpătura pentru digester se execută la adâncimea de – 1,90 m față de cota terenului natural ($\pm 0,00$), are forma circulară și diametrul de 3,10 m. La executarea săpăturilor se vor lua măsuri de sprijinire a malurilor.

Săpătura pentru camera hidraulică are adâncimea de 0,68 m este de formă circulară și are diametrul $D_h = 1,65$ m. Camera de alimentare are o formă rectangulară de 0,50 x 0,70 m la adâncimea de 0,38 m. Între cele trei camere, se vor executa săpăturile pentru amplasarea tuburilor de beton având diametrele $D_{ni} = 200$ mm ($D_{ne} = 300$ mm).

Radierul camerei de fermentare este din beton armat Bc 16/20, executat în trepte, având grosimea minimă de 10 cm la centru și de 20 cm spre exterior, cu rol de centură perimetrală.

Radierul s-a calculat la încărcările care provin din greutatea pământului, greutatea elementelor de construcție (boltă, pereți circulari), presiunea hidrostatică a dejecțiilor, greutatea proprie a radierului și presiunea gazelor din interiorul camerei de fermentare de maxim 0,8 atm (8 daN/cm^2) [22].

Radierul se armează pe două direcții cu bare din OB 37 cu $\varphi 12$ la 9,5 cm distanță în câmp. Perimetral se execută o centură de 42,5 x 20 cm armată cu 6 bare circulare $\varphi 8$ legate cu etrieri $\varphi 6/20$ cm. Barele $\varphi 12$ intră în centură cu capetele orizontale, se vor prevedea cu ciocuri și se va urmări ca la turnarea betonului să aibă acoperirea minimă de 3 cm.

După întărirea betonului din radier (3 – 4 zile) se execută zidăria de protecție a hidroizolației din cărămidă presată plină, pe cant de 7 cm grosime până la cota inelului circular de beton, adică – 0,49 m, după care se tencuiește pe suprafața interioară cu mortar M 50 – Z.

Pentru realizarea hidroizolației pe suprafața uscată a tencuiei se execută o amorsă de bitum. Ca hidroizolație pentru această cuvă se poate folosi cartonul bituminat CA 300 în două straturi cu 3 straturi de bitum sau o membrană Pluvitec de 3 mm grosime lipită la cald. Hidroizolația se va duce și pe orizontală în zona unde se va zidi peretele de 25 cm.

Termoizolația se va executa din polistiren rigid, în plăci de 10 cm grosime minimă (50 x 100 cm). Realizarea cât mai corectă a hidroizolației și a termoizolației duce la creșterea randamentului instalației de biogaz, mai ales în anotimpul friguros. Se vor lăsa prelungiri ale hidroizolației peste limita peretelui de protecție deoarece aceasta se va racorda la cea aplicată peste boltă și chepeng.

Peretele circular se execută din cărămidă presată plină, în grosime de 25 cm și cu mortar marca M 50 – Z. Zidăria se consolidează superior cu un inel centură din beton armat. Centura se va arma cu 5 bare \varnothing 8 circulare și etrieri \varnothing 6/20.

Pentru bolta de cărămidă este necesar un cofraj sferic cu săgeata la mijloc de 0,45 m și diametrul de 2,25 m susținută de un eșafodaj inferior. Cărămizile se zidesc în pană cu mortar M 50 – Z. În zona centrală, bolta se rigidizează cu o altă centură la boltă din beton armat.

Cofrajul de susținere a bolții se îndepărtează numai după întărirea betonului din centura a 2-a. Pe această centură se va închide în interior un capac cu margini conice.

Camera hidraulică și camera de alimentare se execută din cărămidă presată plină de 12,5 cm grosime și cu mortar M 50 – Z. Camera hidraulică are un radier de beton armat cu \varnothing 6/10 cm pe ambele direcții și beton Bc 16/20. La toate aceste cămine la partea superioară se prevede câte o centură de beton armat cu 4 \varnothing 6 perimetral și etrieri \varnothing 6/20 sau \varnothing 6/15. Centurile sunt prevăzute cu falț pentru amplasarea capacelor de beton. Capacele se toarnă ca prefabricate din beton, se armează cu bare \varnothing 6/10 pe două direcții pentru camera de fermentare și cea de alimentare și \varnothing 10/12 cm pe ambele direcții pentru camera hidraulică. Capacele se

vor prevedea cu urechi de prindere, iar capacul camerei hidraulice va avea un alt capac 40 x 40 cm, metalic necesar golirii periodice a căminului.

Peste bolta de cărămidă se va executa o termoizolație și hidroizolație ca și la pereții verticali, care se conduce până la nivelul centurii de beton, adică cota -0,04 m.

Pe parcursul executării lucrărilor, se amplasează conductele de comunicare între camere, constând în tuburi de beton cu φ_e 300 mm. În zona străpungerilor tubului de beton prin zidărie, acesta va fi cămășuit cu fire de azbest pe toată lungimea îmbinării.

În final, camera de fermentare, camera hidraulică și cea de alimentare se vor tencui în interior cu o tencuială hidrofugă de 3 cm grosime de ciment cu apastop (sau alte sisteme de izolare hidrofugă). Această acoperire se face în două straturi. Primul strat de 1,5 cm grosime se execută pe toate suprafețele: pe beton la radier, pe cărămidă la pereții de 25 cm grosime și pe cei de 12,5 cm și are menirea de a umple toate golurile mici și a netezi suprafețele.

După întărirea primului strat, se aplică un alt strat de vopsea impermeabilă pentru închiderea porilor. În al doilea strat de impermeabilizare a cuvelor este bine să se includă și armarea acestui strat cu plasă de fibră de sticlă pentru evitarea în timp a producerii fisurilor.

Deasupra camerei de fermentare se realizează o umplutură de pământ compactat în jurul chepengului de acces până la o înălțime de 50 cm.

Imagini din timpul execuției digestorului sunt redată în Foto 6.1 la Foto 6.6.

Instalația de biogaz a fost realizată în regie proprie de membrii familiei beneficiare.



Foto 6.1 - Etape din construcția digesterului de capacitate 5 m³

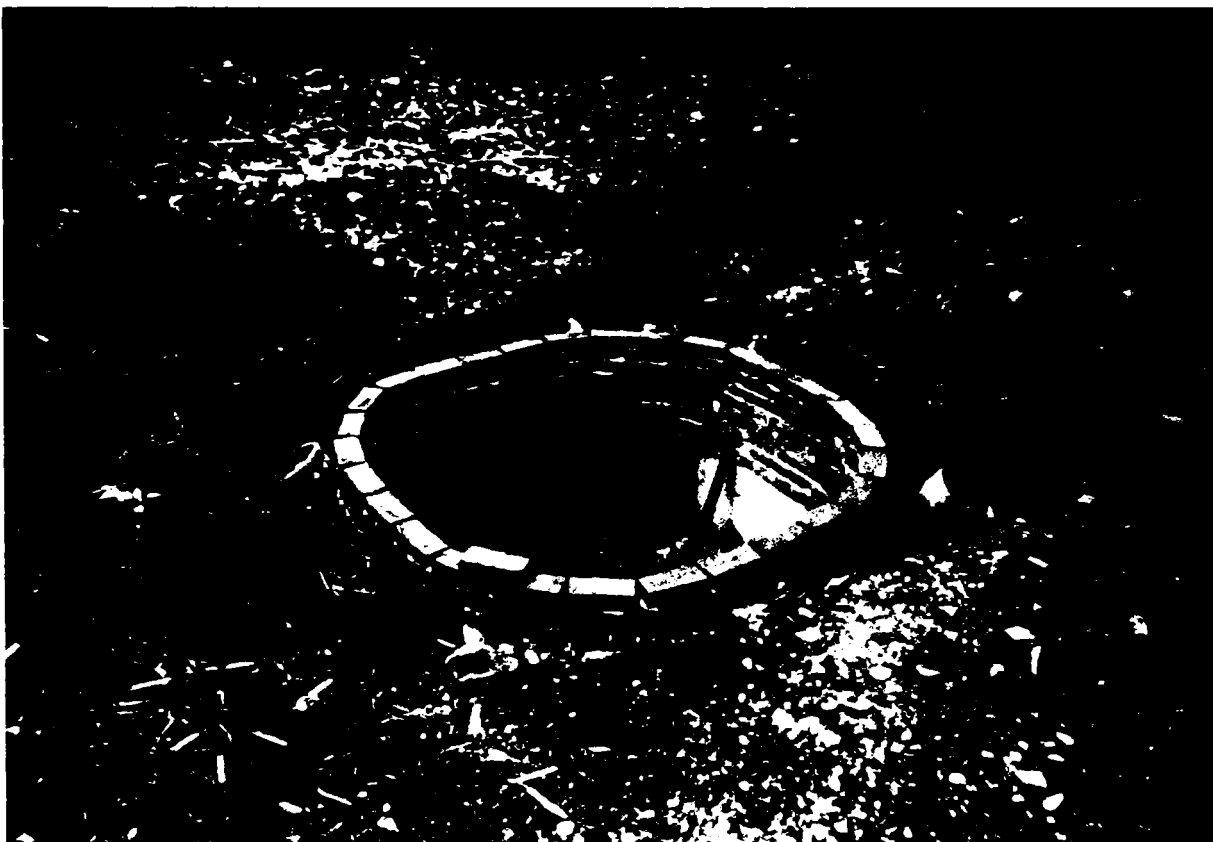


Foto 6.2 - Etape din construcția digesterului de capacitate 5 m³

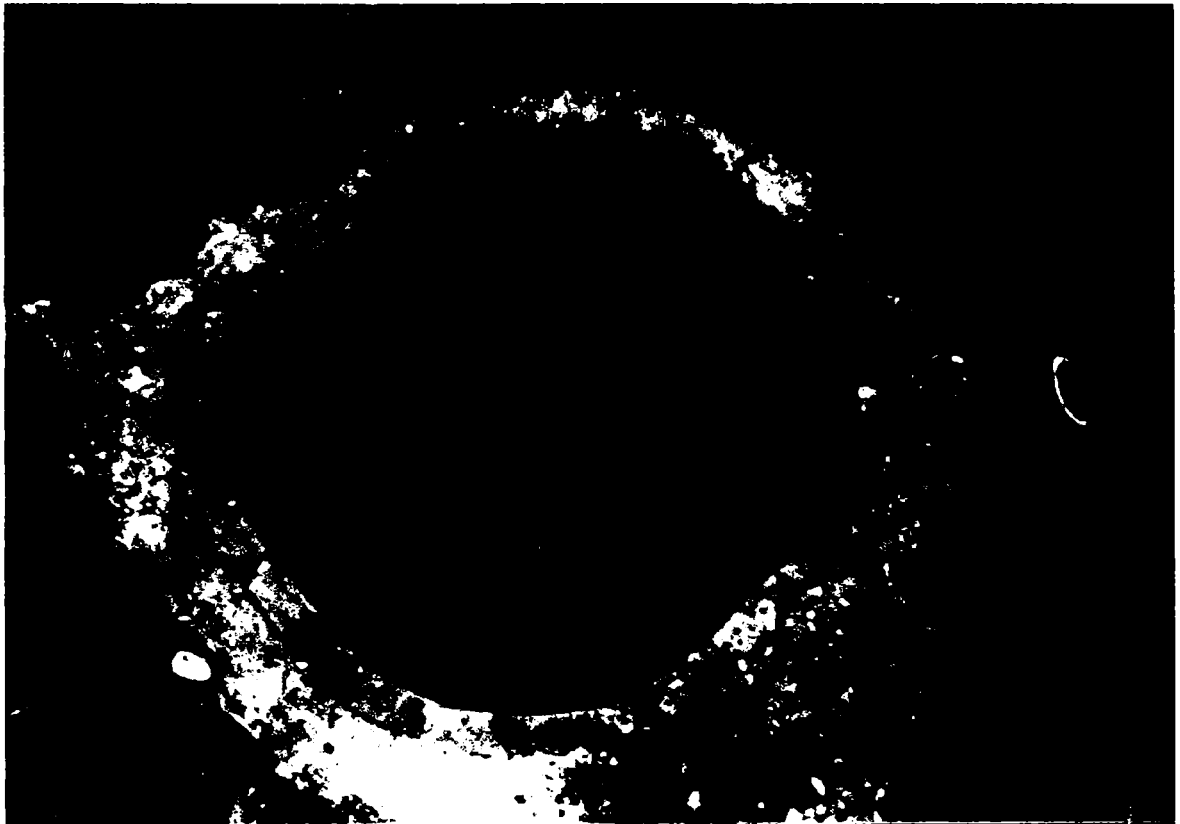


Foto 6.3 - Etape din construcția digesterului de capacitate 5 m³

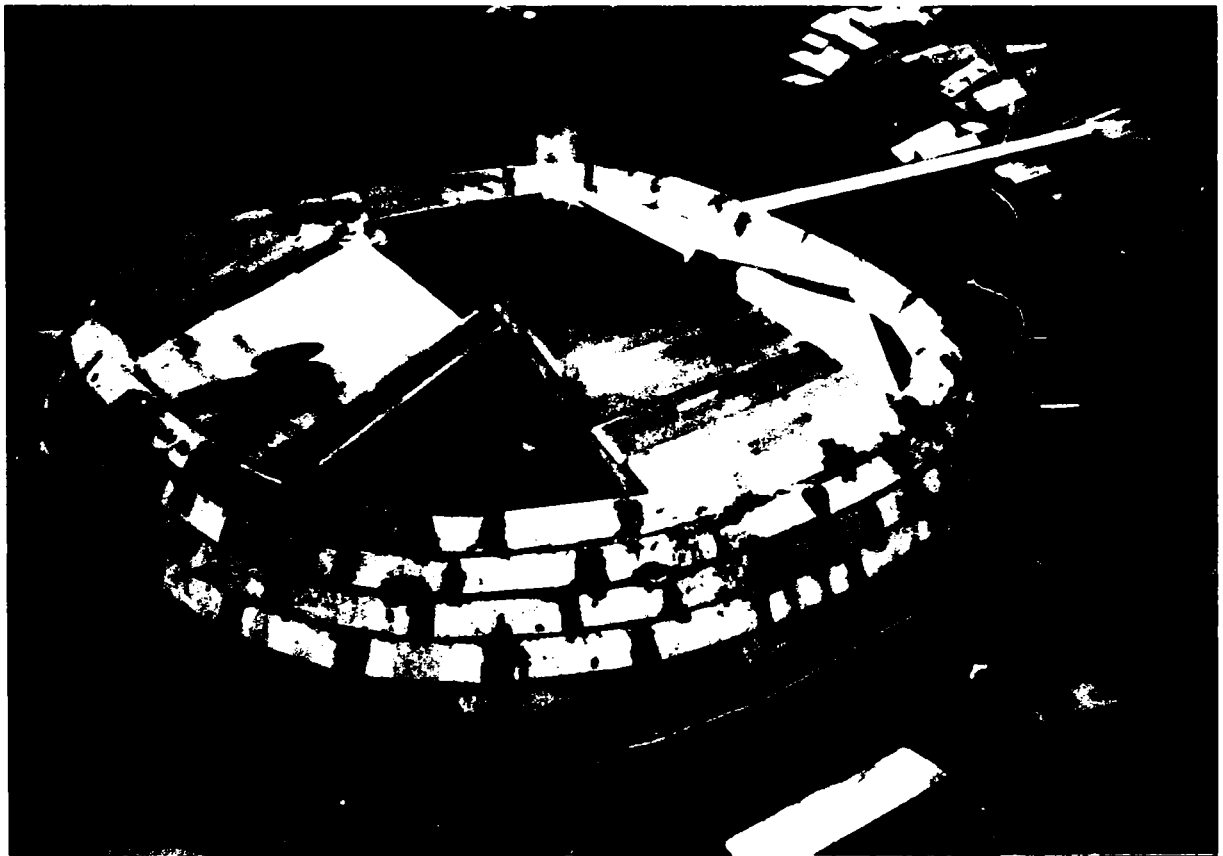


Foto 6.4 - Etape din construcția digesterului de capacitate 5 m³



Foto 6.5 Instalație de biogaz finalizată



Foto 6.6 Instalația de biogaz înainte de alimentare

6.2.5 Exploatarea prototipului experimental

Exploatarea instalațiilor producătoare de biogaz comportă:

- verificarea etanșeității digesterului;
- depistarea pierderilor de biogaz la digester și pe conductele de transport la utilizator;
- verificarea zilnică a pH – ului și corectarea acestuia când procesul de fermentare anaerobă tinde să se dezvolte într-un mediu acid ($pH \leq 7$);
- asigurarea umidității necesare pentru dezvoltarea proceselor biologice de tip anaerob;
- stabilirea potențialului caloric obținut prin procesele de fermentare anaerobă;
- determinarea nutrienților în vederea fertilizării terenurilor agricole;
- verificarea calității biogazului și stabilirea caracteristicilor pentru efluentul eliminat în emisarii naturali prin analize de laborator.

6.2.6 Rezultatele cercetărilor experimentale

Rezultatele cercetărilor experimentale sunt redată în buletinul de analiză cromatografică nr. 532/15.12.2005 efectuat la SNP – SUCURSALA TIMIȘOARA SCHELA DE PETROL TIMIȘOARA, unitate specializată în analiza cromatografică a gazelor naturale.

Din proba analizată s-au pus în evidență concentrațiile de CH_4 , CO_2 și N_2 .

Menționăm că nu s-au putut evidenția concentrațiile de hidrogen sulfurat, oxizi de carbon, vapori de apă și alte gaze, deoarece programul de analiză cromatografică nu include acești parametri.

Putem sublinia faptul că biogazul produs arde foarte bine, iar proba analizată, a avut o concentrație de 81,376% CH_4 și 12,259% CO_2 , puterea calorică inferioară fiind $H_i = 6916,98 \text{ kcal/Nm}^3$ și cea superioară $H_s = 7690,054 \text{ kcal/m}^3$.

Este de remarcat că, în prezent la noi în țară, analiza cromatografică a biogazului reprezintă o problemă atât din punct de vedere economic datorită faptului că este foarte scumpă, cât și din punct de vedere tehnic datorită lipsei aparaturii necesare determinărilor.

**CONTRIBUȚII LA STUDIUL PROCESELOR DE FERMENTARE ANAEROBĂ
ÎN VEDEREA OBȚINERII DE BIOGAZ**

File : c:\maestro\chrom\biogaz.532
Method : c:\maestro\methods\patru.met

c:\maestro\chrom\biogaz.532 -- Channel A

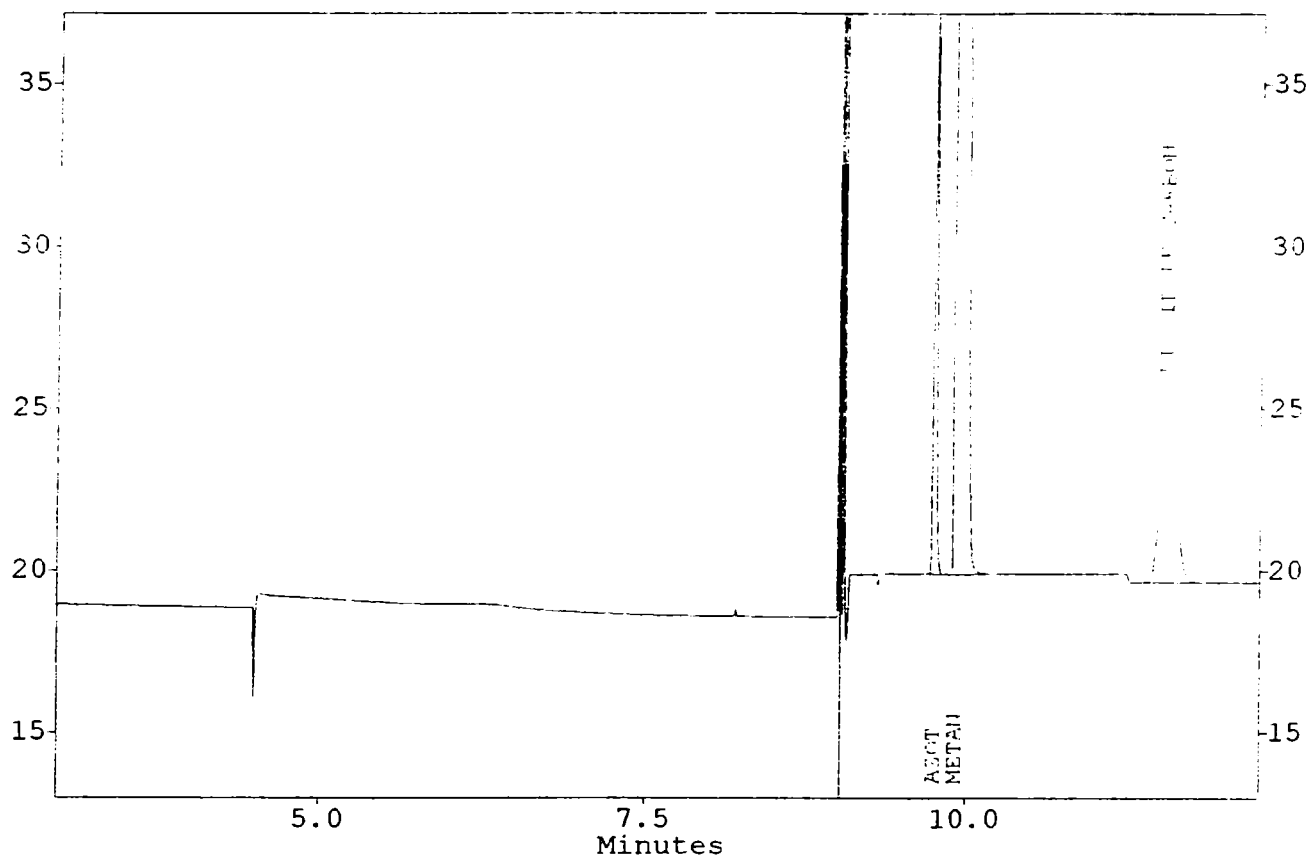


Figura 6.8 Cromatograma probei de biogaz analizate

Channel A Results

Peak	Timp	Component	Area	% VOL
--	1.58	PROPAN	0	0.000
--	1.87	IZO-BUTAN	0	0.000
--	2.15	N-BUTAN	0	0.000
--	3.00	N-PENTAN	0	0.000
--	3.26	IZO-PENTAN	0	0.000
--	9.40	OXIGEN	0	0.000
1	9.75	AZOT	31165	6.233
2	9.92	METAN	645531	79.695
3	11.56	DIOXID DE CARBON	48023	12.006
--	12.97	ETAN	0	0.000
G1		HEXANI+ (C6+)	0	0.000

6.3 Rețete pentru alimentarea instalațiilor de biogaz

Producerea biogazului în instalațiile de fermentare se datorează procesului de fermentare anaerobă metanogenă a unei mari biodiversități de materii cu conținut de substanță organică: deșeuri menajere sau industriale, dejecții animaliere sau de la păsări, resturi agricole, fecale umane, nămoluri din apele reziduale etc.

Întregul proces se bazează pe activitatea biologică a bacteriilor existente în dejecțiile proaspete. Aceste bacterii utilizează drept hrană substanța organică.

În tabelul 6.3 sunt redate orientativ cantitățile de biogaz ce se pot obține dintr-un kg de substanță organică folosind materiile prime în exclusivitate sau amestec [98], iar în tabelul 6.4 sunt date conținutul de substanță uscată și de substanță organică raportată la totalul materiei prime.

Tabelul 6.3

Cantitatea de biogaz ce se poate obține dintr-un kg de substanță organică (S.O.)

Materialul folosit la obținerea biogazului	Proporția de amestec, în %	Biogaz ce se poate obține, m ³ /kg S.O.
Dejecții de bovine	100	0,38
Dejecții porcine	100	0,57
Dejecții păsări	100	0,62
Nămol de ape reziduale	100	0,26
Buruieni, ierburi	100	0,28
Dej. bovine + porcine	50÷50	0,51
Dej. bovine + păsări	50÷50	0,53
Dej. bovine + nămol ape rez.	50÷50	0,41
Dej. bovine + buruieni	50÷50	0,36
Dej. porcine + păsări	50÷50	0,63
Dej. bovine + porcine + păsări	25÷50÷25	0,58
Dej. păsări + nămol	50÷50	0,49
Dej. păsări + buruieni	50÷50	0,51
Nămol + buruieni	50÷50	0,39

Conținutul de substanță organică (S.O.) și substanță uscată (S.U.)

Materia primă	Substanță uscată, în %			Substanță organică, în %		
	min.	max.	mediu	min.	max.	mediu
Dejecții de bovine	10	18	14	8,0	15,3	11,6
Dejecții de porci	12	15	13,5	9,0	12,8	10,9
Dejecții de oi	20	30	25	16,0	25,0	20,5
Dejecții de cai	20	25	22,5	16,0	20,5	18,2
Dejecții de păsări	25	30	27,5	17,5	24,0	20,7
Fecale umane	25	28	26,5	14,5	20,0	18,0
Resturi menajere	20	25	22,5	16,0	22,5	19,2
Paie de grâu	85	87	86,5	76	83	80
Paie de orz	84	85	84,5	75	83	79
Paie de ovăz	83	85	84	75	83	79
Coceni de porumb	85	90	87,5	76	83	80
Lujeri de cartof, soia, fasole	15	20	17,5	12	17	14,5
Frunze verzi	10	15	12,5	8	12	10
Frunze de sfeclă	10	17	13,5	8	16	12
Lucernă verde	20	25	22,5	17	22	19,5
Buruieni, iarbă verde	15	17	16	12	15	13,5

Materialele de fermentat pot fi folosite separat, sau în amestec. S-a constatat că producția de biogaz ce se obține din amestecul materialelor este mai mare decât media rezultată din calcul.

Producția de biogaz obținută din amestecurile de materii prime este mult mai mare datorită faptului că se realizează raporturi mai bune între C și N.

La calculul unei rețete de amestec, în condiții gospodărești, este necesar să se ia în considerare următoarele condiții:

- a) realizarea unui raport C/N cuprins în intervalul 15...30;
- b) realizarea unei umidități a amestecului de 90-92 %.

La digestoarele din mediul rural, rețeta va cuprinde obligatoriu și dejecții de taurine deoarece acestea sunt purtătoare de bacterii metanogene.

Dacă în rețeta de amestec se utilizează paie, pentru a nu se produce înfundări ale fermentatorului și pentru a obține o producție superioară de biogaz, acestea vor fi în prealabil fărâmițate (tocate și obligatoriu zdrobite).

6.4 Evaluarea cantităților de biogaz care se pot produce într-o gospodărie

Se consideră o familie de 4 persoane care deține în gospodărie o vacă cu un vițel, 3 porci și 40 găini. La dejecțiile provenite de la aceste animale, fecalele și urina de la membrii familiei, se mai adaugă și paie de așternut (tocate). Pentru stabilirea disponibilului zilnic de materie primă s-au luat în considerare valorile redate în tabelele 2.8, 6.4 obținându-se valorile înscrise în tabelul 6.5.

Tabelul 6.5

Sursa de materie	Cantitate, kg/zi	Substanță uscată		Substanță organică		Raportul C/N
		%	kg	%	kg	
1 vacă de lapte	40	14	5,6	11,6	4,64	25
1 vițel	25	14	3,5	11,6	2,9	25
4 porci	4 x 6,5 = 26	13,5	3,51	10,9	2,83	12
40 găini	40 x 0,2 = 8	27,5	2,2	20,5	1,64	15
Paie tocate (așternut)	6	86,5	5,19	80	4,8	87
Fecale umane	4 x 1,0 = 4	26,5	1,06	18,0	0,72	2,9
Total	109		21,06		17,53	

Pentru amestecul de materii prime ce urmează a fi supus fermentării anaerobe, se determinăm raportul C/N, utilizând relația 2.6

$$\frac{C}{N} = \frac{P_1 r_1 + P_2 r_2 + \dots + P_6 r_6}{P_1 + P_2 + \dots + P_6} = \frac{40 \cdot 25 + 25 \cdot 25 + 26 \cdot 12 + 8 \cdot 15 + 6 \cdot 87 + 4 \cdot 2,9}{40 + 25 + 26 + 8 + 6 + 4} =$$

$$= \frac{2590,6}{109} = 23,8$$

Raportul C/N = 23,8 fiind cuprins în intervalul 15 – 30, rezultă că rețeta este bună.

A doua condiție necesară obținerii unei producții ridicate de biogaz este determinată de asigurarea umidității amestecului de 90 – 92%. Utilizând tabelul 4.17 se obține pentru cele 109 kg de material, următorul conținut procentual de substanță uscată:

CONTRIBUȚII LA STUDIUL PROCESELOR DE FERMENTARE ANAEROBĂ
ÎN VEDEREA OBTINERII DE BIOGAZ

$$\frac{21,06}{109} \times 100 = 19,32\% \text{ S.U.}$$

Pentru ca umiditatea amestecului să fie 92%, adică 8% S.U., necesarul de apă va fi:

$$109 \times \frac{19,32}{8} = 263,2 \text{ kg amestec, din care}$$

$$263,2 - 109 = 154,2 \text{ kg apă}$$

Cantitatea de biogaz ce se poate obține din cele 109 kg materie primă se determină utilizând valorile din tabelul 4.13 și aplicând următoarea relație:

Cantitatea de S.O. (kg/zi) x producția de biogaz (m³/kg S.O.) = producția totală de biogaz (m³/zi)

$$4,64 \times 0,28 + 2,9 \times 0,28 + 2,83 \times 0,3 + 1,64 \times 0,61 + \\ + 4,8 \times 0,23 + 0,72 \times 0,24 = 5,24 \text{ m}^3/\text{zi}$$

Rezultă o producție de 5,24 m³ biogaz/zi cantitate brută. Din producția obținută circa 30 – 35% se utilizează pentru încălzirea digesterului și numai diferența devine disponibilă pentru utilizator.

Astfel din 5,24 m³ biogaz/zi, se obține:

$$5,24 \times 30 \dots 35\% = 1,57 \dots 1,83 \text{ m}^3 \text{ biogaz/zi pentru încălzirea digesterului,}$$

$$5,24 \times 65 \dots 70\% = 3,4 \dots 3,6 \text{ m}^3 \text{ biogaz/zi disponibil}$$

Anual se obține o cantitate medie de 1277,5 m³ biogaz ceea ce reprezintă, conform tabelului 4.5 echivalentul, în kg sau m³, al următorilor combustibili clasici, redați în tabelul 6.6:

Tabelul 6.6

Natura combustibilului	U/M	Echivalentul, în kg sau m ³ , al combustibililor clasici pentru 1 m ³ biogaz	Echivalentul, în kg sau m ³ , al combustibililor clasici pentru 1277,5 m ³ biogaz
Lemn crud	kg	3,95-2,85	5046,12-3640,87
Lemn bine uscat	kg	2,85-2,34	3640,87-2989,35
Lignit	kg	2,85-1,35	3640,87-1724,62
Brichete de cărbune praf	kg	1,28-0,76	1635,2-970,9
Păcură	kg	0,55-0,54	702,62-689,85
Combustibil calorifer	kg	0,54-0,53	689,85-677,07
Motorină	kg	0,51-0,47	651,52-600,42
Gaz metan natural	m ³	0,60	766,5
Gaze lichefiate (aragaz)	m ³	0,23	293,82

6.5 Necesarul de biogaz pe categorii de folosințe

Necesarul de biogaz pentru locuințele din mediul rural, în condiții de independență energetică totală sau parțială, trebuie să asigure cantitatea de gaz pentru gătitul alimentelor la bucătărie, apă caldă la băi și bucătărie, încălzitul locuințelor precum și pentru funcționarea aparaturii de uz casnic.

Consumul de biogaz al gospodăriilor rurale se stabilește în funcție de numărul membrilor de familie și de mărimea suprafeței locuite [144].

Aceste gospodării au familii alcătuite din 3-5 adulți cu 1-3 copii și care dețin între 100 și 200 m².

În tabelul 6.7 sunt redate 4 tipuri de gospodării rurale cu numărul total de persoane și suprafețele locuite aferente [144].

Tabelul 6.7

Tipuri de gospodării rurale

Consumatorul	Gospodăria			
	A	B	C	D
Numărul persoane adulte	3	3	4	5
Numărul copiilor	-	1	2	3
Total persoane	3	4	6	8
Suprafața locuinței (m ²)	100	120	150	200

Deoarece nu există date exacte, cu privire la suprafețele de locuit încălzite pentru tipurile de gospodării rurale, s-a admis că suprafața de locuit în zonele rurale să fie cu circa 10% mai mare decât a celor din zonele urbane.

6.5.1 Necesarul de energie și de biogaz pentru prepararea apei calde

Necesarul de energie și de biogaz pentru prepararea apei calde la cele 4 tipuri de gospodării, considerând un gaz cu o putere calorică de 24 MJ/m³ (5732,3 kcal/Nm³), este prezentat în tabelul 6.8.

Necesarul de energie și de biogaz pentru prepararea apei calde

Gospodăria	Biogaz m ³ /zi	Mcal/zi	MJ/zi	MJ/an
A	1,9	10,89	45,6	16644
B	2,3	13,18	55,2	20148
C	3,3	18,92	79,2	28908
D	4,3	24,65	103,2	37668

6.5.2 Consumul de gaz necesar pentru gătit

Consumul de gaz necesar pentru gătit se calculează în funcție de debitul arzătorului de aragaz (180 – 200 l/oră) și durata de funcționare a aragazului. Considerând că o perioadă de 3 ore de funcționare simultană a două ochiuri de aragaz este suficientă, se obține următorul consum:

$$2 \times 200 \text{ l biogaz/h} \times 3 \text{ h} = 1200 \text{ l biogaz} = 1,2 \text{ m}^3 \text{ biogaz}$$

6.5.3 Consumul de gaz necesar pentru obținerea energiei electrice

Consumul de gaz necesar pentru obținerea energiei electrice se calculează cu relația:

$$\begin{aligned} V &= Q/H = 1 \text{ kW} \cdot \text{h} / (24 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3) = \\ &= 3,6 \cdot 10^6 \text{ J} / (24 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3) = 0,15 \text{ m}^3 \text{ biogaz} \end{aligned}$$

6.5.4 Necesarul de biogaz la sistemele de încălzire cu acumulare de căldură

Sobele sunt sisteme de încălzire care acumulează căldura prin încălzirea cărămizilor din corpul acestora. Capacitatea calorică volumică (cantitatea de căldură necesară încălzirii cu un grad a unui metru cub din acel material) – Q_v se

calculează funcție de densitatea cărămizilor și căldura lor specifică ($d = 1900 \text{ kg/m}^3$, $C = 0,88 \text{ kJ/kg.grd}$);

$$Q_v = d \cdot C = 1,64 \text{ MJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{grad}).$$

O sobă tipică ($l = L = 0,5 \text{ m}$ și $H = 2 \text{ m}$) cu volumul $V = 0,5 \text{ m}^3$ și masa $m = 950 \text{ kg}$, încălzită de la 20°C la 90°C ($\Delta t = 90 - 20 = 70^\circ\text{C}$) acumulează:

$$Q = V \cdot Q_v \cdot \Delta t = 0,5 \cdot 1,64 \cdot 70 = 57,4 \text{ MJ}$$

Pentru cei $57,4 \text{ MJ}$ sunt necesari $2,4 \text{ m}^3$ biogaz cu puterea calorică 24 MJ .

În cazul unei sobe cu apă, în care apa reprezintă mediul de acumulare a căldurii ($d = 1000 \text{ kg/m}^3$, $C = 4,185 \text{ kJ/kg.grd}$), capacitatea calorică volumică este de:

$$Q_v = d \cdot C = 4,185 \text{ MJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{grad})$$

deci de 2,55 ori mai mare decât a cărămizii.

Considerând o sobă cu volumul la jumătate ($l = L = 0,5 \text{ m}$ și $H = 1 \text{ m}$) și masa de 250 kg , aceasta va acumula o cantitate de energie

$$Q = V \cdot Q_v \cdot \Delta t = 0,25 \cdot 4,185 \cdot 70 = 73,2 \text{ MJ}$$

cu 27% mai multă căldură decât la o sobă clasică. În acest caz sunt necesari $3,05 \text{ m}^3$ biogaz cu puterea calorică 24 MJ .

6.6 Modalități de utilizare ale biogazului

Biogazul obținut în urma proceselor de fermentare anaerobă este utilizat cu precădere în, țara noastră, pentru consumul casnic (preparare hrană, încălzit apă), iar în străinătate, spre exemplu RP China, acesta se utilizează la funcționarea aragazelor pentru preparatul hranei (foto 6.7 – 6.8), pentru iluminat (foto 6.9), la boiler, pentru apă caldă menajeră (foto 6.10) sau pentru asigurarea necesarului de energie electrică aparatelor casnice: frigider, congelator, ventilator etc.



Foto 6.7 – Mașină de gătit ce funcționează cu biogaz

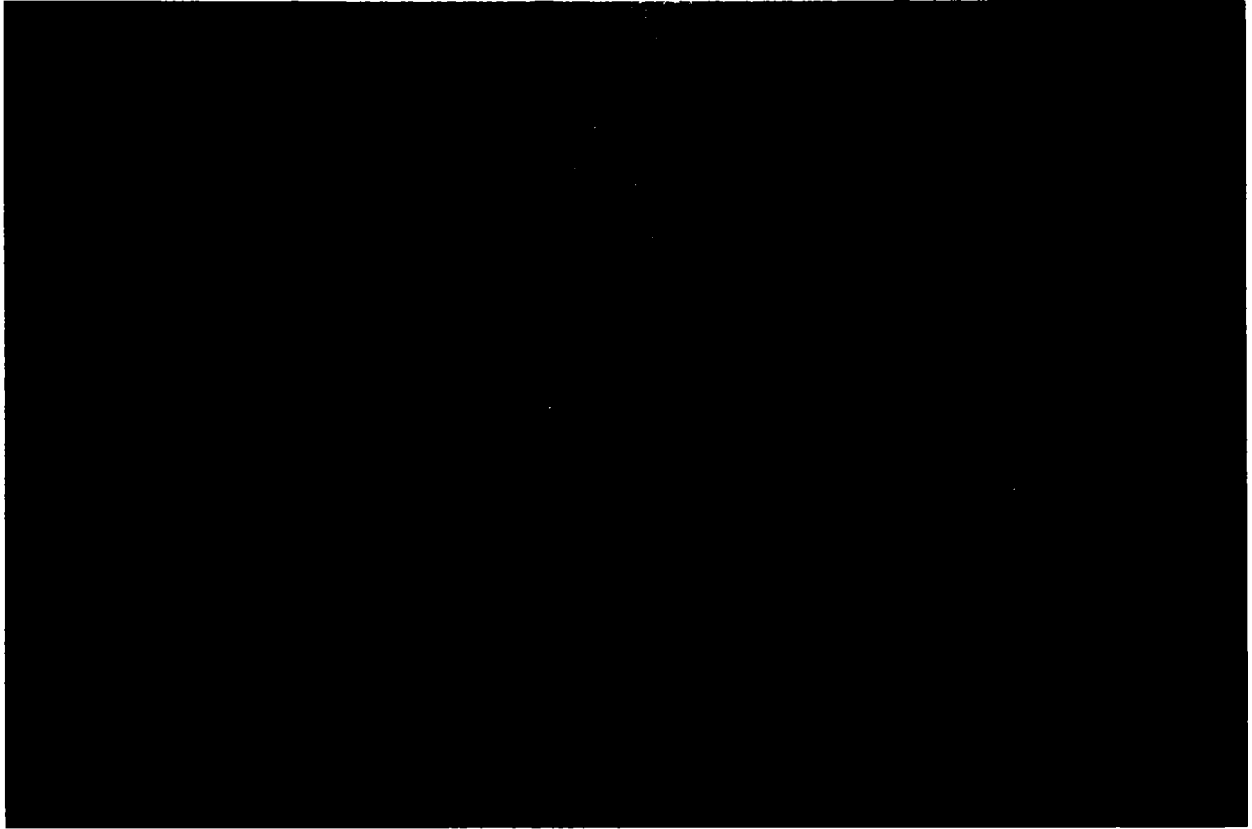


Foto 6.8 – Mașini de gătit ce funcționează cu biogaz



Foto 6.9 – Lampă cu biogaz îmbuteliat și becuri de iluminat



Foto 6.10 – Boiler pentru apă caldă menajeră ce funcționează cu biogaz

7. CONCLUZII GENERALE

7.1 Conținutul tezei

Lucrarea „Contribuții la studiul proceselor de fermentare anaerobă în vederea obținerii de biogaz” este structurată pe 7 capitole și cuprinde 167 pagini, 112 relații de calcul, 47 figuri, 39 tabele, 10 fotografii precum și o listă cu semnalări bibliografice cu 160 titluri.

În primul capitol „Introducere” sunt prezentate într-o formă succintă energiile neconvenționale, utilizate în prezent pe plan mondial și în țara noastră, precum și obiectivele cercetărilor privind producerea și utilizarea biogazului. Necesitatea și oportunitatea abordării subiectului a rezultat ca urmare a declanșării crizei energetice la nivel mondial. România, ca țară aspirantă la Uniunea Europeană, va trebui să-și adapteze strategia energetică la nivelul cerințelor impuse de aceasta.

În al doilea capitol intitulat „Stadiul cunoașterii”, sunt prezentate procesele de fermentare anaerobă cu etapele caracteristice acestora, factorii care influențează fermentarea anaerobă, caracteristicile fizico-chimice ale maselor organice, compoziția maselor organice solide și lichide cu părțile componente ale acestora, raportul dintre componenta organică și minerală, elementele nutritive, raportul carbon-azot, conținutul de acizi, valoarea pH -ului, alcalinitatea și inhibitorii.

De asemenea sunt evidențiate condițiile cerute pentru o exploatare rațională a instalației de producerea biogazului, subliniindu-se efectul temperaturii asupra duratelor de fermentare, modul în care se face alimentarea și evacuarea digesterului, doza de încărcare, amestecul și recircularea, precum și forma care trebuie dată bazinelor de fermentare, astfel încât producțiile de biogaz să fie cât mai mari și de foarte bună calitate.

În cel de-al treilea capitol „Considerații teoretice asupra fermentării anaerobe” sunt prezentate modelele matematice ale proceselor de fermentare

anaerobă, în concepția diferiților autori în condițiile fermentării metanogene cât și a celei nemetanogene.

Toate modelele matematice se bazează pe conceptul cinetic elaborat de Monod, model care include cele trei etape caracteristice proceselor de fermentare anaerobă (lichefierea acidogenă, acetogeneza și metanogeneza). Aceste procese se pot produce după concepția lui Monod în bazine de fermentare distincte (separate), sau în bazine unice.

Modelele matematice elaborate de diverși autori, țin seama de modul în care se face alimentarea cu substrat a digestorului, de efectele procesului de hidroliză asupra stadiului de acidogeneză, de mărimea vitezei de descompunere și de producere a biogazului.

În capitolul patru intitulat „Biogazul – produs al fermentării anaerobe”, s-a analizat biogazul din punct de vedere chimic, energetic, economic și ecologic evidențiindu-se următoarelor aspecte: compoziția biogazului în raport cu substanțele fermentabile; concentrația substanței uscate și gazul produs; concentrația metanului și temperatura de fermentare; durata de staționare; gradul de descompunere al substanțelor organice și concentrația metanului din gazul produs; proprietățile biogazului cu caracteristicile fizico-chimice; conținutul de energie al gazului de fermentare; puterea calorică a biogazului la diferite temperaturi în funcție de conținutul de metan în comparație cu alți combustibili; producția de biogaz în raport cu limita maximă, limita tehnică și durata tehnică de fermentare. S-a scos în evidență faptul că producția de biogaz este funcție de compoziția nămolului proaspăt, de temperatură și de durata de fermentare (vârsta nămolului). S-a prezentat, în tabele, producția de biogaz a diferitelor materii organice funcție de temperatura și durata de fermentare.

Au fost stabilite rețetele pentru alimentarea instalațiilor producătoare de biogaz statice, de mică capacitate și necesarul de biogaz pentru diferite folosințe din mediul rural.

În capitolul cinci „Construcții și instalații pentru producerea biogazului” s-a prezentat terminologia utilizată pentru definirea construcțiilor și a proceselor de fermentare anaerobă, principalele componente ale unui generator de biogaz, urmate de o clasificare a instalațiilor producătoare de biogaz realizată după două criterii: în funcție de capacitate și în funcție de regimul de funcționare. De asemenea, s-au prezentat o serie de construcții și instalații de biogaz realizate în România în perioada 1965 – 1985 pentru capacități mici (de tip gospodăresc) și medii, precum și principalele tipuri de construcții și instalații de biogaz realizate în R.P. China. Pentru construcțiile de mică capacitate s-au prezentat măsurile necesare pentru o exploatare și întreținere corectă a digestoarelor, deficiențele de funcționare, cauzele și mijloacele de remediere care pot apare în cele două etape ale funcționării fermentatorului, caracteristice amorsării procesului de fermentare cât și a perioadei de regim. În final, capitolul se încheie cu o succintă prezentare a instalațiilor de fermentare anaerobă, de tip industrial.

În cel de-al șaselea capitol „Cercetări și rezultate experimentale”, s-au pus în evidență cercetările și rezultatele experimentale efectuate atât pe o instalație de laborator, cât și pe un model experimental cu capacitatea de 1 m³. De asemenea s-a prezentat prototipul instalației de 5 m³, care a fost executat în comuna Finiș din județul Bihor și care a produs, în vara anului 2005, o prima șarjă de biogaz. S-a verificat, cu bune rezultate, rețeta de încărcare propusă, cu care instalația a funcționat, rețetă formată dintr-un amestec de materiale organice ce se pot găsi într-o gospodărie rurală.

În capitolul șapte „Concluzii” s-a prezentat un rezumat al lucrării și s-au pus în evidență contribuțiile personale, avantajele utilizării biogazului, modalități de implementare a energiilor neconvenționale precum și perspectivele unor viitoare cercetări.

7.2 Contribuții personale

Prin lucrarea de față s-au urmărit și s-au realizat următoarele obiective:

- ⇒ Un studiu aprofundat al literaturii de specialitate privind procesele fermentării anaerobe;
- ⇒ O sinteză a realizărilor pe plan național și mondial în privința valorificării energiilor neconvenționale și în mod deosebit al biogazului;
- ⇒ O sinteză a studiilor teoretice și experimentale realizate în țară și străinătate;
- ⇒ Studiul parametrilor determinanți pentru desfășurarea proceselor necesare producerii de biogaz;
- ⇒ Evidențierea potențialului energetic al diferitelor tipuri de materiale organice;
- ⇒ Clasificarea instalațiilor producătoare de biogaz, în raport cu modul de alimentare;
- ⇒ Proiectarea unui modul de biogaz de tip gospodăresc cu capacitatea de 5 m³ în vederea valorificării potențialului energetic a reziduurilor menajere de la o gospodărie individuală;
- ⇒ Executarea prototipului instalației de biogaz de tip gospodăresc cu capacitatea de 5 m³ în comuna Finiș, județul Bihor;
- ⇒ Completarea instalației de producerea biogazului cu un pat filtrant cu scopul de a se realiza condițiile impuse la evacuarea efluentului în emisarii naturali;
- ⇒ Stabilirea rețetei de încărcare pentru instalațiile de tip gospodăresc în regim static de funcționare;
- ⇒ Întocmirea instrucțiunilor de exploatare și întreținere a instalațiilor producătoare de biogaz de tip gospodăresc;

- ⇒ Stabilirea capacității digestoarelor în raport cu masele organice disponibile;
- ⇒ Efectuarea unei analize comparative a biogazului produs, cu diferite tipuri de combustibili convenționali;
- ⇒ Stabilirea necesarului de biogaz pentru diferite categorii de utilizatori;
- ⇒ Elaborarea unui studiu de sinteză privind utilizarea instalațiilor de producere a biogazului în instalații de tip gospodăresc (de mică capacitate) și a celor industriale de medie și mare capacitate;
- ⇒ Evidențierea avantajelor economice a biogazului produs pentru diferite utilizări în raport cu diferite categorii de combustibili convenționali (lemne, cărbuni, gaz metan, energie electrică etc);
- ⇒ Asigurarea condițiilor optime de fermentare a maselor organice prin introducerea unor sisteme de încălzire a spațiului de fermentare cu ajutorul unei părți din biogazul produs sau cu aportul unor panouri solare.

7.3 Avantajele producerii și utilizării biogazului

Construcțiile și instalațiile de biogaz se recomandă în mod deosebit, în mediul rural pentru gospodăriile individuale, în fermele zootehnice dar și la stațiile de epurare orășenești și au ca principal scop atât producerea biogazului cât și transformarea caracterului poluator al deșeurilor organice, într-un material (nămol) fermentat, stabilizat, cu caracter fertilizator natural (îngrășământ) pentru terenurile agricole.

Prețul de cost al instalațiilor de biogaz de mică capacitate, scade foarte mult dacă acestea sunt construite și întreținute de beneficiar, iar pentru rentabilizarea economică a instalației este bine ca acestea să se completeze și cu alte surse alternative de energii neconvenționale (energia solară, eoliană, geotermală etc).

Avantajele producerii și utilizării biogazului pot fi clasificate după trei criterii:

Avantaje ecologice:

- contribuie la protejarea pădurilor prin reducerea consumului de lemne pentru încălzire și alte nevoi gospodărești;
- contribuie la prevenirea eroziunii solului prin eliminarea defrișării pădurilor;
- contribuie la controlul poluării apelor subterane și de suprafață;
- contribuie la îmbunătățirea calității solului prin administrarea de fertilizanți naturali (N, P, K);
- reduce cantitatea de emisii poluante în atmosferă, în special a gazelor cu efect de seră respectiv: pulberi în suspensie, dioxid de carbon, metan și a gazelor rezultate prin ardere;
- se reduc cantitățile de nămol evacuat;

Avantaje economice:

- instalațiile pentru producerea biogazului nu necesită consum de energie electrică pentru punerea în funcțiune sau în funcționare, putându-se construi în zone izolate, lipsite de energie electrică;
- amortizarea investiției se face într-o perioadă scurtă de timp ≤ 5 ani;
- durata de exploatare este cuprinsă între 15 și 20 ani;
- asigurarea combustibilului necesar pentru utilizări primare (ardere directă) sau prin conversia acestuia în alte forme de energie (termică, calorică, electrică);
- cheltuielile de întreținere sunt foarte reduse.

Avantaje igienico-sanitare:

- elimină sau diminuează spațiile de depozitare a dejecțiilor animaliere în stare proaspătă
- elimină mirosul neplăcut al nămolurilor și al materialelor biodegradabile din timpul proceselor de descompunere al materialelor biodegradabile
- contribuie la eliminarea, în proporție de până la 99% a agenților patogeni, a ouălor de paraziți, bacterii patogene și a altor poluanți din nămolurile fermentate, prevenind astfel răspândirea bolilor
- elimină apariția insectelor și a altor dăunători purtători de microbi

7.4 Modalități și perspective de implementare a energiilor neconvenționale

Conștientizarea populației prin diferite mijloace, pentru promovarea și utilizarea energiilor neconvenționale cu privire la:

- aspectele legate de alternativele de eliminare/reducere a combustibililor clasici;

- reducerea/eliminarea impactului asupra mediului înconjurător;

- avantajele economice legate de diminuarea cheltuielilor energetice;

Promovarea biogazului ca soluție alternativă de energie se poate face îndeosebi cetățenilor care locuiesc în mediul rural.

Pentru promovarea către gospodăriile individuale se poate apela la publicitate în mass-media, materializată prin difuzarea de materiale publicitare și emisiuni specializate la posturile de radio și televiziune locale și naționale care au acoperire în zonele rurale.

O altă componentă a campaniei dedicată gospodăriilor individuale o constituie organizarea de caravane ale specialiștilor în localitățile rurale în vederea promovării producerii și utilizării energiilor neconvenționale, biogaz, energie

eoliană, solară etc, cu prezentarea mai ales a informațiilor necesare pentru realizarea și utilizarea instalațiilor de producere a biogazului.

Pentru utilizatorii de tip industrial, campaniile de promovare se pot efectua prin seminarii la Camerele de Comerț și Industrie Județene unde vor fi invitați principalii potențiali producători de dejecții animaliere, dar și beneficiari ai rezultatului produselor fermentate.

Pentru campania de promovare și finanțare a producerii și utilizării energiilor neconvenționale este necesară o strânsă colaborare între Ministerele Economiei și Comerțului, al Mediului și Gospodăririi Apelor și al Agriculturii, Pădurilor și Dezvoltării Rurale.

În privința perspectivelor viitoare, ar trebui dezvoltate cercetările biologice în scopul îmbunătățirii proceselor microbiologice implicate în fermentarea anaerobă.

7.4 Perspective și cercetări viitoare

Hidrogenul, de exemplu, reprezintă o sursă importantă de energie. Acesta apare și se dezvoltă, ca urmare a fermentării anaerobe a biomasei, în faza acidă. Dacă se stopează dezvoltarea fazei acide prin introducerea de lapte de var și se favorizează dezvoltarea fazei metanice se obține biogazul ca și combustibil neconvențional. Dacă se urmărește dezvoltarea producției de hidrogen din biomasă în vederea valorificării acestuia, se obține o nouă formă de energie neconvențională și anume biohidrogenul.

Obținerea hidrogenului din biomasă reprezintă o problemă fundamentală de viitor, determinată de modul în care se poate separa hidrogenul din compoziția gazelor formate în procesul de acidogeneză.

Bibliografie

1. Aitken, D. M., *Batch biological treatment of inhibitory substrates* Journal of Environmental Engineering, vol 119, 9, 1993
2. Akca, L., *A model for optimum design of activated sludge plants* Water Resources, vol. 27, 9, 1993
3. Anderson G. K., Donnelly T., în G. Matlock, *New Process of Waste of Water Treatment and Recovery*, London, Ed. Horwood, 1978
4. Baader, W., Thaer, R., Traulsen, H., *Verfahren zur Behandlung von Abfällen der tierischen. Produktion.* Ber. Ldw. 50, 1972, 612-627, Verlag Paul parey, Hamburg U. Berlin, 1972
5. Baader, W., *Freislzung von Wärme aus organischen Reststoffen der landwirtschaftlichen Produktion.* Landbauforschg. Volkenrode 26, H.3, 1976
6. Baader, W., Bardtke, D., Grabbe, K., Tietjen, C. *Behandlung tirischer Excremente.* In: Strauch, D., Baader, W., Tietjen, C., *Abfälle aus der Tierhaltung.* Verlag E. Ulmer, Stuttgart, 1977
7. Baader, W., *Aussichten der Biogasgewinnung aus organischen Rest und Abfallstoffen aus der londwirtschaftlichen Produktion,* Kongreßbericht. Deutsches Sonnenform, Hamburg, Bd. 3, 1977
8. Baader, W., *Biogasgewinnung im landwirtscheftichen Bereich,* Technische Voraussetzungen und Konsequenzen, Landtechink 33, H.2, 1978
9. Baader, W., Dohne, E., Brenndörfer, M. - *Biogas in Theorie und Praxis,* KTBL -Schriften -Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster Hiltrup, 1979
10. Baader, W., Schuchardt, F., Thaer, R., Dohne, E., *Behandlung organischer Reststoffe aus der landwirtschaftlichen Produktion in biologischen Prozessen* Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes für die Europäische wirtschaftsgewinschaft, 1977
11. Bara, V., *Igiena mediului înconjurător* Editura Universității din Oradea, 1998

12. Bartlett, H.D., Persson, S., Regan, R.W., Branding, A.E., *Experiences from operating a full size anaerobic digester*, ASAE Paper 77-4053. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, 1977
13. Blaj Alina Letiția *Contribuții cu privire la depozitarea și neutralizarea reziduurilor menajere – Studiu de caz* Teză de doctorat, UP Timișoara, 2005
14. Bliz, E. *Epurarea apelor uzate menajere și orășenești*, Editura Tehnică, București, 1966
15. Bosset, E.: „*Eliminarea materiilor eutrofizante – a treia treaptă de epurare a apelor uzate*”, La Technique de L'Eau, nr. 6, 1970
16. Boti, D. Nicolici, V., Moise, Șt., Nastasia, I. - *Valorificarea integrală și nepoluantă a dejecțiilor de ovine cu implicații zootehnice, energetice și agrochimice*. Comunicările Simpozionului național privind surse neconvenționale de energie, Iași, 1982
17. Braha, Al. *Bioverfahren in der Abwasser Technik*, Bauverlag GMBH-Wiesbaden und Berlin, 1988
18. Bryant, M.P., Varel, V.H., Frobish, R.A., Isaacson, H.R., *Biological potential of thermophilic methanogenesis from cattle wastes* In: Schlegel, H.G., Barma, J., *Microbial energy conversion* Verlag E. Goltze, K.G., Göttingen, 1976
19. Buswell, A.M, *Microbiology and Theory of Anaerobic Digestion* Sewage Works Journal, 19,28,1947
20. Buswell, A.M., Müller, M., F., *Mechanism of methane fermentation*, Ind. Eng. Chems. 44, 1952
21. Buswell, A.M. *Fundamentals of anaerobic treatment of organic wastes* Sewage Ind. Wastes, 29,1957
22. Cadar, I, Clipii, T., Tudor Agneta, *Beton armat* Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 1999
23. Constantinescu, S., *Biogazul sursă de energie neconvențională* Știință și tehnică, nr. 6, 1979

24. Converse, J.C., Graves, R.E., Evans, G.W., *Anaerobic degradation of dairy manure under mesophile and termophilic temperatures*. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 20, 1977
25. Converse, J.C., Evans, G.W., Verhoeven, C.R., Gibbon, W., Gibbon, M., *Performance of a large size anaerobic digester for poultry manure* ASAE-Paper 77-0451. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, 1977
26. Converse, J.C., Graves, R.E., *Facts on methane production from animal manure* Fact sheet Univ. Of Wisconsin, 1974
27. Cooney, C., Wise, D., *Thermophilic anaerobic digestion of solid waste for fuel gas production* Biotechnol. Bioeng. 17, 1975
28. Davidescu, D. *Agrochimia* Editura Agro-Silvică, București, 1963
29. Dima, M., *Aspecte economice privind valorificarea energetică a reziduurilor organice*, Simpozionul Național SINCOTC, Iași, 1981
30. Dima, M., Meglei V., Dima B., Badea Cecilia, *Bazele epurării biologice a apelor uzate* Editura Tehnopress, Iași, 2002
31. Dima, M., *Considerații economice privind proiectarea rezervoarelor de fermentație metanică din cadrul stațiilor de epurare* Hidrotehnica, nr. 2, 1983
32. Dima, M., *Epurarea apelor uzate urbane* Editura Junimea, Iași, 1998
33. Dima, M., *Instalații de producerea biogazului. Știința modernă și energia. Dezvoltarea producției de energie*. Editura Dacia, vol. III, 1984
34. Dima, M., *Posibilitatea creșterii cantităților de gaze disponibile din stațiile de epurare prin reconsiderarea soluțiilor de proiectare* Hidrotehnica, nr. 7, 1982
35. Dima, M., *Unele aspecte privind proiectarea rezervoarelor de fermentare în două trepte* Hidrotehnica, nr. 5, 1986
36. Dima, M., Zavati, V., Dima Aurora, Ionescu, I., Tobolcea, V., Manoliu, C., Meglei, V. *Realizări în domeniul asigurării cu energie neconvențională*

- (biogaz) în gospodăriile individuale din mediul rural Comunicările Simpozionului național privind surse neconvenționale de energie, Iași, 1982.
37. Dinca, V. *Planificarea consumului populației și perspectivele consumului casnic de combustibili* Craiova, Editura Scrisul Românesc, 1979
38. Doboș, A. *Sonde geotermale, colectoare subterane, piloane de energie – căldură și răcoare din adâncuri* Revista Tehnica Instalațiilor, nr. 5, București, 2003
39. Eastman J., Ferguson J., *J.W.P.C.F.*, 53, partea 1, 352, 1981
40. Eckenfelder, W. Jr. ș.a. *Activated Sludge Treatment of Industrial Wastewater*, Technomic Publ., Pennsylvania, U.S.A., 1995
41. Eckenfelder, W.W., Cecil, L.K., *Application of new concepts of physical – chemical wastewater treatment* Editura Pergamon Press, Vanderbilt University, Nashville, Tennessee, 1972
42. Eyser, E., *Biogas, eine Studie über die Aktualität der Biogasgewinnung* Abschlußarbeit, Gesamthochschule Kassel, 1976
43. Fair, G.M., Moore, E.W., *Observations on the digestion of a sewage sludge over a wide range of temperature* Ewage Works, J. 9, 1937
44. Fischer, J.R., Meador, N.E., Sievers, D.M., Fulhage, C.D., Iannotti, E.L., *Design and operation of a farm-size anaerobic digester for swine* ASAE Paper 77-4052. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, 1977
45. Frostell B., *Teză de doctorat*, Stocholm, Oct. 1979
46. Ghederim Veturia, Cicei, I., Gueron, I., Popescu, F. *Realizări și perspective de obținerea gazului de fermentare combustibil de la stații de epurare orășenești* Hidrotehnica, vol. 24, nr. 9, 1979
47. Ghederim Veturia, Gueron, I., *Realizări și perspective în domeniul prelucrării nămolurilor prin fermentare anaerobă* Simpozionul „Bazele biologice ale proceselor de epurare și protecție a mediului”, Oradea, 1979
48. Ghosh S., Conrad J., Klass D., *J.W.P.C.F.*, 47, 30, 1975

49. Ghosh S., Klass D. L., *Process Bioch.*, 13,15, 1978
50. Ghosh S., Pohland F., *Water Res.*, 6,99, 1972
51. Ghosh S., Pohland F., *J.W.P.C.F.*, 46, 748, 1974
52. Giurconiu, M., Mirel, I., Retezan, A., Sârbu, I. - *Researches concerning the obtaining of biogas from agricultural and domestic Wastes* Comunicările Simpozionului național privind surse neconvenționale de energie. Iași, 1982
53. Giurconiu, M., Mirel, I., Carabeț, A., Chivereanu, D., Florescu, C., Stăniloiu, C., *Construcții și instalații hidroedilitare* Editura de Vest, Timișoara, 2002
54. Götz, G., *Die Biogasgewinnung ohne Schwimmdecke „System München”*, In: Liebmann, H., *Gewinnung und Verwertung von Methan aus Klärschlamm und Mist*, Verlag R. Oldenbourg, München, 1956
55. Gyula, F. - *Evacuarea și valorificarea reziduurilor menajere* București. Editura Tehnică, 1982
56. Ianculescu O., Ianculescu D., *Producerea și mișcarea gazelor prin depozitele de deșeuri menajere*. Bul. Științific al Univ. „Politehnica” din Timișoara, Seria Hidrotehnica, Tom 43(57), Volumul 1, 1998
57. Ianculescu, O., Ionescu, Gh., Racovițeanu Raluca, *Canalizări* Editura Matrix Rom, București, 2001
58. Ianculescu, O., Ionescu, Gh., Racovițeanu Raluca, *Epurarea apelor uzate* Editura Matrix Rom, București, 2001
59. Ianculescu Speranța, Ianculescu, O., *Legislația privind Protecția Mediului*, vol I, II, III, Editura Matrix Rom, București, 2002
60. Ianuli, V., Mirel, I., Ștefănescu, V., Ailenei, P., Mihai, C., Popa Mihaela, Vass A., *Sludge disposal and associated legislation* Rom Aqua, nr. 2-3/2001
61. Ianuli, V., ș.a. *Stații de epurare a apelor uzate orășenești* Partea I-a, Rotaprint, I.C. București, 1983
62. Imhoff, K., *Taschenbuch der Stadtentwässerung* München-Wien, Verlag von R. Oldenbourg, 21 Aufl., 1966

63. Jura, C., Mirel, I., Retezan, A., Konstantinovici, I. - *Valorificarea energetică a nămolurilor din apele uzate cu încărcare organică mare* Buletinul științific al Institutului de Construcții București, T. 23, nr. 1-4, 1980
64. Jura, C., Giurconiu, M., Mirel, I., ș.a., *Experimental station for treatment and turning to account – as energy source – residues from agricultural-zootehnic farms of industrial type* Comunicările Simpozionului național privind surse neconvenționale de energie, Iași, 1982
65. Jura, C., Giurconiu, M., Mirel, I., Retezan, A., Sârbu, I. - *Valorificarea energetică a maselor organice din apele uzate pentru protecția calității cursurilor de apă* Simpozion național “Probleme actuale în gospodărirea apelor”. Concepții în cercetare, proiectare, exploatare. Timișoara, 1982
66. Jurcoane Ștefana *Biotehnologii-Fundamente. Bioreactoare. Enzime*. Editura Tehnică, București, 2000
67. Jurcoane Ștefana, Săsărman Elena, Lupescu Irina, Roșu Ana, Tamba Berehoiu Radiana, Banu Alexandra, Rădoi Florentina, *Tratat de biotehnologii* vol. 1, Editura Thnică, București, 2004
68. Kiess, F., *Gewinnung und Verwertung von Methan aus klärschlamm und Mist*, Verlag von R. Oldenbourg, München, 1956
69. Lazăr I., Groșanu L., Badea Gh., *Dezvoltarea producției de energie* vol III, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1984
70. Lawrence A. W., McCarty P. L., *J.W.P.C.F.*, 41, partea a 2-a, R₁, 1969
71. Li Peng, *To develop rural energy with great efforts* Department of Environment Protection and Energy Ministry of Agriculture, People’s Republic of China, 1994. 12
72. Liebmann, H., *Zur Biologie der Methanbakterien*, Ges,-Ing. 71, 1950
73. Long Dayou, *Up-to-date state and development of biogas implementation in Sichuan Province of China* Department of Environment Protection and Energy Ministry of Agriculture, People’s Republic of China, 1994. 12

74. Mercea V., Groșanu L., Mircioiu C., Vășaru Gh., *Investigații în domeniul energiei* vol. I, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1982
75. Mirel, I., *Biogazul sursa de energie pentru gospodăriile individuale din mediul rural*. Lucrările conferinței "Instalații pentru construcții și confort ambiental". Timișoara, 1997
76. Mirel I., Ionescu, Gh., Mitrașcă Mihaela, *Considerații asupra apelor geotermale din perimetrul Săcuieni județul Bihor* Analele Universității din Oradea, 2003
77. Mirel I., Mitrașcă Mihaela, *Considerații asupra apelor geotermale din perimetrul Salonta și Ciumeghiu județul Bihor* Analele Universității din Oradea, 2003
78. Mirel I., Stăniloiu C., Florescu C., *Considerații privind tratarea și valorificarea nămolurilor rezultate de la stațiile de epurare orășenești – Îmbunătățirile funciare între prezent și viitor – zilele academice timișene* ed. A VII-a, Timișoara – România, Univ. „Politehnica” din Timișoara Facultatea de Hidrotehnică-catedra de Îmbunătățiri Funciare, Editura Politehnica, 2001
79. Mirel, I., Ghergheleş, V., Popescu Daniela, Ghergheleş Carmen, Pantea Emilia, *Installation to produce and utilize biogas in countryside - microCAD International Scientific Conference, University of Miskolc, Hungary, 2004*
80. Mirel, I., Ghergheleş Carmen, Barabàs Katalin, Ghergheleş, V., *Urban wastewater sludge neutralization and exploitation - microCAD International Scientific Conference, University of Miskolc, Hungary, 2004*
81. Mirel I., Popescu Daniela, Bănățean Gh., Varga M., *Producerea și utilizarea biogazului în instalații de tip industrial – Simpozion internațional „Biogazul” oportunități și soluții*, București, 2000
82. Mirel I., Popescu Daniela, *Valorificarea energetică a reziduurilor organice pentru ridicarea gradului de confort și de protecție a mediului înconjurător în*

- mediul rural* – Conferința cu participare internațională; Instalații pentru construcții și confort ambiental, Timișoara, 1998
83. Mirel I., Popescu Daniela, Klein L., *Considerații privind producția și utilizarea biogazului în instalații de tip gospodăresc* - Mediul și industria – București, 1998
84. Mirel I., *Biogazul sursă de energie pentru consumatorii din mediul rural* – Instalații pentru construcții și confort ambiental, 1997
85. Mirel, I., Man, E., Chivoreanu, D., Carabeț, A., *Biogas Instalations in Romania*. Bul. St. al Universității "Politehnica" din Timișoara, 1997
86. Mirel I., Chivoreanu D., Carabeț A., *Construction and installation with biogas for individual households and dwelling quarters* – International Conference TEMPO – HP'98 Čačak – Jugoslavia
87. Mirel, I., Retezan, A., Chivoreanu, D., Carabeț, A., *Instalații de biogaz pentru cvartale de locuințe*. Analele Universității din Oradea, Fascicula "Construcții și instalații hidroedilitare", Tom. 1, 1998
88. Mirel, I., Ionescu, G., Nacu, A., Mitrașcă, M., *Consideration regarding the wastewater biological tratment* – Conferința Internațională Debrecen, 1999
89. Mirel, I., Creț, Z., Mitrașcă, M., Ghitea, V., *Separarea, neutralizarea și valorificarea deșeurilor din stațiile de epurare* Buletinul științific Universitatea din Oradea, 2000
90. Mirel, I., Starkl, M., ș.a. *Valorificarea nutrienților din apele reziduale* Bul. Științific al Univ. „Politehnica” din Timișoara, Seria Hidrotehnica, Tom 48(62), Fascicola 1, 2003
91. Mitrașcă Mihaela Ana, *Contribuții la studiul proceselor de tratare a apelor geotermale* Teză de doctorat, UP Timișoara, 2005
92. Monod, I., *The technique of continous culture, theory and applications*, Ann. Inst. Pasteur, Lille, 79, 390, 1950

93. Murphy, K.L., *Significance of Flow Patterns and Mixing in Biological Waste Treatment Biotechn.*, Bioeng. Symposium, 2, 1971
94. Nastasia, I., Boti, D., Nikolić, V., *Potențialul energetic și agrochimic al dejecțiilor provenite de la complexe de taurine* Comunicările Simpozionului național privind surse neconvenționale de energie, Iași, 1982
95. Navean, H., Nyns, E.J., Dealfontaine, M., Auquier-Detray, C., *Recyclage des résidus de l'agriculture par bioconversion en methane*, journée d'Etude „Perspective du Recyclage des Residus de l'Agriculture et des Industries agricoles en Belgique”, Louvain, 1978
96. Negulescu, M., *Canalizări București*, Editura Didactică și Pedagogică, 1978
97. Negulescu, M., *Epurarea apelor uzate orășenești* București, Editura Tehnică, 1978
98. Nikolić, V., Grigoriu, A., *Biogazul* Tehnium, ediție specială consacrată construcției și utilizării instalațiilor de biogaz, București, 1985
99. Nikolić, V., Grigoriu, A., *Noi surse de energie. Biogazul* Tehnium, București, nr. 4,5, 1983
100. Nikolić, V., Odagiu Rodica, *Contribution a l'analyse termique du fermentateur de biogas* Comunicările Simpozionului național privind surse neconvenționale de energie, Iași, 1982
101. Nikolić, V., Bendore, Al., Grigoriu, Al., Tufeanu Victoria, *Generateurs de biogas pour des capacités et moyennes* Comunicările Simpozionului național privind surse neconvenționale de energie, Iași, 1982
102. Nimitan, E., ș.a. *Ecologia microorganismelor*, Editura Cerami, Iași, 1997
103. Noack, W., *Biogas in der Lanwirtschaft* Verlag Elsner, Darmstadt, 1955
104. Ognean, T., Vaicum, L.M., *Modelarea proceselor de epurare biologică* Editura Academiei R.S.R., București, 1987
105. Oldenburg, M., *Alternative Sanitärkonzepte Praxisbgispiele*, Öo Akademie für Umwelt und Natur Öo Umweltkongress, 2002

106. Pallasch, O., Triebel, W., *Lehr und Handbuch der Abwassertechnik* Band III, Berlin- München, Verlag von Wilhelm Ernst&Sohn, 1969
107. Pascu, D., Ursu, *Valorificarea gunoaielor menajere importantă sursă economică* Editura Tehnică, București, 1981
108. Pașa, R., Topală, D.N., *Dinamica producerii de metan în instalații de laborator cu culturi de bacterii metanogene* Comunicările Simpozionului național privind surse neconvenționale de energie, Iași, 1982
109. Pârvu, C., *Ecologie generală* Editura Tehnică, București, 2001
110. Pöpel, F., *Das Wesen der Vergärung organischer Stoffe bei der Kompostierung Müll-und Abfallbeseitigung*, Band 3, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1964
111. Popescu, D., *Methane fermentation, Efficient biochemical process for environment protection*, Bul. Științific al Univ. „Politehnica” din Timișoara, Seria Hidrotehnica, Tom 49(64), Fascicola 2, 2005
112. Popescu, D., *Studiul parametrilor determinanți în procesul fermentării anaerobe*, Simpozionul Instalații pentru construcții și confort ambiental, Timișoara, 1999
113. Robertson, A.M., Burnett, G.A., Hobson, P.N., Bousfield, S., Summers, R., *Bioengineering Aspects of anaerobic digestion of piggery wastes* In: Managing Livestock Wastes (Proceedings, International Symposium). American Society of Agricultural Engineers. PROC-275, 1975
114. Robescu, D., Lanyi, S., Robescu Diana, Verestoy, A., *Fiabilitatea proceselor, instalațiilor și echipamentelor de tratare și epurare a apelor* Editura Tehnică București, 2002
115. Robescu, D., ș.a. *Tehnologii, instalații și echipamente pentru epurarea apei* Editura Tehnică, București, 2000
116. Rodiger, H., *Die anaerobische alkalische Schlammfäulung* Verlag R. Oldenbourg, München, 1960

117. Rojanschi, V., Ognean, Th., *Cartea operatorului din stații de epurare a apelor uzate* Editura Tehnică, București, 1997
118. Rojanschi, V., Bran Florina, Diaconu Gheorghita, *Protecția și ingineria mediului* Editura Economică, București, 1997
119. Rosegger, S., *Energetische Fragen bei der biologischen Gaserzeugung in der Landwirtschaft* Agrartechnik 5, H. 10, 1955
120. Rosegger, S., Neuling, S., *Weg zur Berechnung von landwirtschaftlichen Biogasanlagen* Agrartechnik 7, H. 1, 1957
121. Rosegger, S., *Der Entwicklungsstand von Biogasanlagen und Perspektiven für die landwirtschaftliche Praxis* Agrartechnik 7, H. 12, 1957
122. Starkl, M., *Nachhaltige Strategien der Abwasserentsorgung in ländlichen Gebieten. Ö Akademie für Umwelt und Natur Umweltkongres*, 2002
123. Scheffer, F., Kemmler, G., *Biologische Gasgewinnung aus Stallmist* Mitt. D. DLG 78, H. 10, 1953
124. Smith, R.J., Hein, M.E., Greiner, T.H., *Experimental methan production from animal excreta* Journal Paper No. J-8917 of the Iowa Agr. and Home Economics Exp. Station, Ames, Iowa, 1977
125. Stoian Olga, Isvoreanu Viorica, *Potențialul energetic și agrochimic al dejecțiilor provenite de la complexe de taurine*, Comunicările Simpozionului național privind surse neconvenționale de energie, Iași, 1982
126. Stoica, Val., Nastasia, I., Boti, D., Nikolić, V., Orha Eugenia, Stoian Olga, Isvoreanu Viorica *Potențialul energetic și agrochimic al dejecțiilor provenite de la complexe de taurine* Comunicările Simpozionului național privind surse neconvenționale de energie, Iași, 1982
127. Strauss, W., *Gewinnung und Verwertung von Methan aus Klärschlamm und Mist. München*, Beiträge zur Abwasser, Fischerei und Flussbiologie, 3, 1956
128. Streeter, H.W., Phelps, E.B., *Studies of the Pollution and Natural Purification of the Ohio River*, Bul. 146, U.S. Pub. Health Service, 1958

129. Tang Yi, *Anaerobic septic tanks for urban domestic sewage* Asia-Pacific Biogas Research & Training Center, BRTC-TM-17th-4, Chengdu, China, 1996
130. Tietjen, C., *Bilanzuntersuchungen bei Stallmistaufbereitung in Biogasanalgen Pflanzern.*, Düngung, Bodenkunde 77, 1957
131. Topală, N.D., Dima, M., Marin Elena, Comănescu, Șt. ș. a., *Reciclarea prin fermentație metanică a nămolurilor biologice de la stațiile de epurare din industria petrochimică*, Lucrările celui de-al treilea simpozion de microbiologie industrială, București, 1981
132. Topală, N., Kiss, Șt., *Metanogeneza bacteriană* Investigații în domeniul energiei, vol. I, Editura Dacia, Cluj Napoca, 1982
133. Ursu, I., *Știința modernă și energia. Dezvoltarea producției de energie* vol. III, Editura Dacia, Cluj Napoca, 1984
134. Vintilă, M., *Biogazul* Editura Tehnică, București, 1989
135. Vlad, I., *Energia vântului* Editura Tehnică, București, 1982
136. Wehry, A., Guler, S., *Microstații de pompare pentru irigații folosind energia neconvențională* Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2002
137. Wu Libin, *The status study on biogas septic systems in China* Department of Environment Protection and Energy Ministry of Agriculture, People's Republic of China 1994. 12
138. Wu Y.C., *Wet air oxidation of anaerobically digested sludge* JWPCF, Ianuarie, 1987
139. Zarnea, G., *Microbiologie generală* Editura Didactică și Pedagogică, București, 1970
140. Zhang Anrong, Wu Libin, *The update state of the implementation of biogas technology in China and its developing prospects* Department of Environment Protection and Energy Ministry of Agriculture, People's Republic of China 1994. 12

141. Zhao, Yufeng, *Hight rate rural househole digester* Asia-Pacific Biogas Research & Training Center, BRTC-TM-17th-3, Chengdu, China, 1996
142. Zhao, Yizhang, *Anaerobic microbiology* Asia-Pacific Biogas Research & Training Center, BRTC-TM-17th-4, Chengdu, China, 1996
143. ***Contract 424/1999 Faza preliminară *Studiu de soluție (Studiu de fezabilitate conform cerințelor Haskoning) pentru stația de epurare Pitești UP Timișoara, Fac. de Hidrotehnică, Catedra de HIM, Timișoara, 1999*
144. ***Contract nr. 900/1996 Faza I/AA12/1996 *Studii și cercetări privind producerea de biogaz în instalații de tip industrial și gospodăresc UP Timișoara, Fac. de Hidrotehnică, Catedra de Hidraulică și Ingineria Mediului, beneficiar M.C.T. București – cooperare România – R.P.Chineză, 1996*
145. ***Contract nr. 900/1996 Faza II/AA1320/1997 *Proiectarea unui modul de biogaz de tip gospodăresc UP Timișoara, Fac. de Hidrotehnică, Catedra de Hidraulică și Ingineria Mediului, beneficiar M.C.T. București – cooperare România – R.P.Chineză, 1996*
146. ***Contract nr. 900/1996 Faza II/AA1972/1997 *Stadiul actual al producerii și utilizării biogazului pe plan mondial. Proiectarea unei instalații de biogaz de tip industrial UP Timișoara, Fac. de Hidrotehnică, Catedra de Hidraulică și Ingineria Mediului, beneficiar M.C.T. București – cooperare România – R.P.Chineză, 1996*
147. ***Contract nr. 900/1996 Faza III/AA894/1998 *Experimentarea unor module de biogaz de tip gospodăresc și industrial UP Timișoara, Fac. de Hidrotehnică, Catedra de Hidraulică și Ingineria Mediului, beneficiar M.C.T. București – cooperare România – R.P.Chineză, 1996*
148. ****Energiile regenerabile în gospodăriile noastre și în clădirile publice ACM-V, Timișoara, 1999/2000*
149. ****EPA Anaerobic digester mixing systems JWPCF, 59, 3, 1987*

150. ****Instalații de producere și utilizare a biogazului în instalații industriale și de tip gospodăresc* UP Timișoara Fac. de Hidrotehnică, Catedra HIM – Energii neconvenționale EXPOTIM Timișoara, 2003
151. ****The Biogas Technology in China* Chengdu Biogas Research Institute of the Ministry of Agriculture, P.R.C., Agricultural Publishing House, 1992
152. ****The Collection of design for household hydraulic biogas digesters in rural areas* The National Standard of the Peoples Republic of China. GB 4750-84
153. ****The standard for check and acceptance of the quality for household hydraulic biogas digesters in rural areas* The National Standard of the Peoples Republic of China. GB 4751-84
154. ****The operation rules for construction of household hydraulic biogas digesters in rural areas* The National Standard of the Peoples Republic of China. GB 4752-84
155. ****Utilizarea apelor geotermale – Schimb de experiență*, CPJ Timiș, I.P.T.-IPROTIM, Timișoara, 1982
156. ****Legea Protecției Mediului nr. 137/1995 cu modificările și completările ulterioare*
157. ****Legea Apelor nr. 107/1996 cu modificările și completările ulterioare*
158. ****Normativul NTPA 011/2002 aprobat prin HG 188/2002*
159. ****Normativul NTPA 001/2002 aprobat prin HG 188/2002*
160. ****Normativul NTPA 002/2002 aprobat prin HG 188/2002*