

Curs 9

Gazul de baltă, gaz de gunoi, biogaz: proveniență și condiții de formare

Gazele combustibile emanate din ape stătătoare au fost denumite “gaz de baltă” (gaz de mlaștină) de către Shirley și Volta. Cele produse în timpul fermentării anaerobe a gunoiului de animale au primit denumirea de “gaz de gunoi”.

Ca recunoaștere a rolului pe care-l au microorganismele în formarea gazelor combustibile, prin fermentarea anaerobă a materiei organice în curs de descompunere, în secolul nostru s-a adoptat termenul de “biogaz” pentru desemnarea lor, indiferent de sursele din care provin.

În prezent există 7 procedee principale de recuperare a energiei din reziduurile organice agricole:

1. fermentarea aerobă la temperatura mediului ambiant;
2. fermentarea anaerobă la temperaturi ridicate;
3. descompunerea aerobă termofilă;
4. distilarea distructivă (piroliza, hidrogenarea);
5. compostarea;
6. incinerarea;
7. transferul de căldură.

Dintre aceste procedee, fermentarea anaerobă prezintă potențialul cel mai ridicat de recuperare a energiei și constituie, totodată, procedeul cel mai eficient de a genera energie neconvențională în unitățile de creștere a animalelor. Prin fermentare anaerobă, microorganismele descompun materia organică, eliberând o serie de metaboliți, produși de fermentare, printre care dioxidul de carbon și metanul. Amestecul dintre acești doi metaboliți, cu predominarea metanului care include și cantități mici, până la urme, din alți metaboliți gazoși, constituie biogazul. Drept combustibil este folosit fie biogazul, fie metanul purificat de dioxidul de carbon și de alte componente.

Dintre componentele chimice ale materiei organice, grade mai ridicate de conversie în biogaz au celulozele, hemicelulozele și grăsimile, în timp ce proteinele prezintă grade mai scăzute și variabile de conversie. Lignina nu contribuie la formarea biogazului sau contribuie foarte puțin, nefiind practic degradată prin fermentare anaerobă. În tabelul 4.1. este prezentată cantitatea teoretică de biogaz care se poate obține din diverse substanțe organice pure. Menționăm că partea solidă rămasă după fermentare conține produși organici cu azot și sulf. Ea poate fi însoțită de resturi anorganice ca: nisip, pietre, etc. De remarcat este faptul că reziduul solid conține produse cu fosfor, potasiu, microelemente (Cs, Mn, Zn, Fe) cu grade de mobilitate mai mari decât în materialul inițial.

Natura substanței	Biogaz (1 kg ⁻¹ materie uscată)	Conținut în CH ₄ (%)
Hidrați de carbon	886	50
Grăsimi	1535	70
Proteine	587	84

Tabelul 4.1. Cantitatea teoretică de biogaz care poate rezulta prin conversia energetică a unor substanțe organice pure.

Reziduul fermentat are miros specific de mîl și este lipsit de agenți patogeni activi. În funcție de

caracteristicile biochimice poate fi folosit ca îngrășământ organic pentru sol (în special în sere și solarii) și chiar ca adaos vitamino-proteic în cazul unor furaje sau poate avea și alte destinații (suport pentru culturi de alge și râme, așternut, hrană pentru pești, etc.). Transformarea sau descompunerea produselor organice de către bacterii este un proces natural în care acestea consumă lent și digeră materialul obținându-se ca produse secundare ale activității lor gaze și produse solide. Dacă procesul de descompunere se desfășoară în atmosferă, adică aerob, produsele secundare includ amoniacul, dioxidul de carbon și reziduuri solide (humus). În cazul în care procesul de descompunere se desfășoară fără prezența aerului (anaerob), produsele de descompunere au un mai mare conținut energetic.

Formarea de gaze combustibile, prin descompunerea substanțelor organice umede în medii lipsite de oxigen molecular este un proces care se produce în mod natural pe pământ, metanul fiind constituenții lor principal. Procesul are amploare deosebită în stomacul bovinelor, ovinelor și caprinelor datorită fermentării anaerobe, la întuneric, a nutrețurilor celulozice ingerate.

Agenții fermentării anaerobe ai celulozei la temperaturi de 20-45°C au fost cercetați de Shohngen, Hoppe-Seyler și Omelianski. Ultimul a stabilit în 1899 că la acest proces participă două specii de bacterii. Printre produșii de fermentație ai celulozei una dintre ele formează cantități importante de metan *Bacillus cellulose*

methanicus- iar cealaltă, cantități importante de hidrogen-*Bacillus cellulosa* *hydrogenicus*. Ulterior aceste specii au fost reunite sub denumirea comuna de *Methanolbacterium omelianskii*.

Explicarea mecanismului de formare a metanului prin fermentarea anaerobă a substanțelor organice și în special a celulozei este rodul a numeroase cercetări printre care cele realizate de Barker (1936,1956) care a adus lămuriri esențiale cu privire la biochimia producerii metanului prin fermentare anaerobă, la sistematica bacteriilor metanogene și la obținerea în culturi a acestora. Alte lucrări de referință sunt considerate cele elaborate de Buswel și Hatfield (1936) în care pe lângă lămurirea unor aspecte teoretice și metodologice (teste de laborator) s-au pus bazele producerii la nivel uzinal a gazelor combustibile prin fermentare anaerobă a reziduurilor vegetale de animale.

S-a constatat că există mai multe grupuri de bacterii care participă la procesul de descompunere anaerob. Astfel, un grup de bacterii ar preceda la desfacerea materialului organic în compuși mai simpli în special acid acetic. Apoi ar intra în acțiune cel de al doilea grup de bacterii care face conversia acizilor produși de primul grup în gaz metan, dioxid de carbon și mici cantități de hidrogen sulfurat. Conținutul în metan variază între 50-80%, depinzând de natura materialului organic. Cea mai potrivita materie organică pare a fi cea obținută din dejecțiile animalelor, în care rămân aproximativ 12-33% din potențialul energetic al hranei ingerate. În natură, descompunerea anaerobă are loc spontan (gazul bălților), însă intervenția omului poate accelera mult procesul, fie prin ridicarea temperaturii produsului supus descompunerii (în jur de 35°C), fie prin închiderea materialului în rezervoare etanșe. O altă tehnică pentru conversia biomasei reprezintă fermentația, de asemenea un proces natural, în care acționează enzimele, producând transformări chimice ale materialului organic. Sunt binecunoscute fermentațiile folosite în producerea spirtului (alcoolul etilic). Biomasele care se pretează la conversie în etanol sunt în general produse agricole: sucul trestiei de zahăr, a sfeclei de zahăr sau glucoza din cereale și cartofi.

Materia primă pentru producerea biogazului

Reziduuri organice agricole

Materia organică moartă înmagazinează energie solară convertită în energie chimică, în componentele fotosintetizate de plantele din care a provenit. O mare cantitate din energia solară, acumulată de plante, este stocată în celuloză.

În prezent, agricultura, industria alimentară, zootehnia, stațiile de epurare a apelor și gospodăriile orășenești și individuale sunt principalele sectoare și activități producătoare de materie organică a cărei energie poate fi recuperată prin procese dirijate de om. După un calcul făcut de Jewel (1976) rezultă că din cantitatea de 45,4 kg reziduuri, ce revine în medie pe cap de locuitor în SUA, materia organică reprezintă 34 kg. În raport cu sursa, materia organică se regăsește, aproximativ în cantitate de 2,3 kg în gunoaiile orășenești, 0,09 kg în nămolurile de la stațiile de epurare și aproape 30 kg în reziduurile din zootehnie și în produsele secundare din agricultură. Din fiecare kg de materie organică reziduală din agricultură poate fi extrasă o cantitate de energie de 1260 Kcal. În producția secundară de grâu și soia este stocată o energie de aproximativ 12 ori mai mare decât energia consumată pentru obținerea acestor culturi.

Materia organică raportată la substanța uscată reprezintă între 92 și 98% în produsele secundare din agricultură, între 80 și 88% în dejecțiile proaspete de animale, 73% în dejecțiile proaspete de pasări și în jur de 90% în gunoiul de grajd.

Celuloza este principala componentă a materiei organice din care rezultă metan prin bioconversie. Conținutul de celuloză, raportat la substanța uscată, este de 35-50% în produsele secundare din agricultură, 12-23% în dejecțiile proaspete de rumegătoare și 6-10% în dejecțiile de pasări și porcine. Cantități mai mari de celuloză se găsesc în gunoaiile provenite de la animalele crescute pe așternut.

Din inventarierea făcută de FAO privind produsele secundare și reziduale din agricultură, folosite pe glob pentru obținerea biogazului, a reieșit că acestea ar fi următoarele:

- paie de cereale și alte produse secundare vegetale, reziduuri solide de la prelucrarea fructelor și legumelor, borhoturi și ape reziduale din industria fermentativă a berii, dejecții de animale în Australia,
- dejecții de animale, reziduuri solide și ape reziduale din industria alimentară în Canada,
- dejecții de animale și umane, resturi vegetale și alimentare în China,
- dejecții de animale în Franța,
- dejecții de animale, resturi vegetale și alimentare în India,
- paie și alte produse secundare din agricultură, reziduuri din industria hârtiei și industria alimentară, dejecții de animale în Marea Britanie,

- dejecție de animale și ape reziduale din diferite industrii agroalimentare în SUA.

Culturi energetice foarte hidratate

Alte surse de biomasă, care pot fi convertite în biogaz, sunt reprezentate de biomasele foarte hidratate. În această categorie de surse de biomasă sunt incluse plantele acvatice și algele. Acestea au un conținut de apă aproximativ 95%.

Caracteristic pentru culturile energetice foarte hidratate este capacitatea extrem de mare de a-și multiplica biomasa, într-un timp relativ scurt ceea ce este un mare avantaj.

Principalele plante acvatice care constituie biomasa folosită la obținerea biogazului sunt: zambilele de apă (*Eichhornia crassipes*), pistia (*Pistia stratiates*), azola (*Azolla primata*), iarba de mare și algele dintre care cele mai importante sunt: alga brună (*Macracystis prifera*) și laminaria.

Zambila de apă crește spontan în lacurile, canalele și râurile din ținuturile tropicale din Africa și America de Sud. Ea s-a dovedit a fi un agent activ de depoluare a cursurilor de apă sau a apelor reziduale din bazinele de colectare a dejecțiilor, sursa de proteină furajeră, materie primă pentru obținerea metanului prin fermentare anaerobă.

Zambila de apă a fost introdusă în culturi experimentale în zona temperată pentru depoluarea apelor reziduale în marile crescătorii de animale. Cultura ei în aceasta zona climatică este limitată la sezonul cald al anului. Zambila de apă se reface în fiecare an, prin readucerea pe luciul apei a unor părți vegetative, care au fost conservate la temperaturi corespunzătoare pe parcursul perioadei reci (în sere).

În România, zambila de apă este cultivată în bazinele de colectare a dejecțiilor la Complexul de creștere a porcilor de la Modelu (Calarași), cu rezultate bune în purificarea apelor reziduale. În prezent se fac experimentări și în alte localități, de folosire a zambilei de apă pentru purificarea apelor reziduale.

Pistela, o altă plantă acvatică tropicală, originară din Egipt se cultivă în țara noastră în condiții similare cu zambila de apă pentru depoluarea apelor reziduale. Ea se folosește de asemenea ca și zambila de apă ca biomasă pentru obținerea biogazului.

Azola este folosită recent în China pentru producerea de biogaz, deși multă vreme a fost folosită numai ca îngrășământ în orezării.

În Japonia se manifestă interes pentru folosirea ierbii de mare ca biomasă energetică.

Dintre alge, alga brună crește în zone maritime litorale iar laminaria se cultivă în special în California, ambele se folosesc pentru obținerea biogazului.

Plantele acvatice, cultivate în bazine de colectare a dejecțiilor de animale, pot avea o destinație mixtă în furajarea animalelor și în producerea de biogaz.

În cursul procesului de depoluare a apelor reziduale orășenești, industriale și a cursurilor de ape poluate, plantele acvatice acumulează cantități mari de metale grele în concentrații ce pot atinge nivele toxice pentru animale și oameni care le consumă. Din aceasta cauză este mai indicat ca această biomasă să fie utilizată în scopul producerii biogazului.

Materialul organic	Cantitatea de s.u.* descompusă %	Conținutul de CH ₄ în % din biogazul produs
Plevuri grosiere	68-83	62
Tulpini de floarea soarelui	61	-
Coceni de porumb	58	53
Ciocalăi de porumb	35-57	53
Paie de în	48	53
Paie de grâu	46-49	55
Vreji de cartofi	41	58
Frunze foioase	34-40	60
Dejecții de taurine	35	59
Gunoii de grajd	20	60
Teci de mazăre	12	60
Coji de decorticare a orezului	6,4	-
Frunze (ace) de conifere	5	69

Tabelul 4.3. Gradul de descompunere prin fermentare anaerobă, timp de 30-40 zile.

Potențialul unor materiale organice de a genera biogaz

Din date experimentale s-a constatat că la aceeași durată de fermentare anaerobă de 30-40 de zile, gradul de descompunere a substanței solide a fost mai mare la produsele vegetale secundare în comparație cu dejecțiile de taurine. Față de celelalte materii organice vegetale se remarcă biodegradabilitatea mai ridicată a plevurilor, datorită gradului lor avansat de mărunțire, precum și a tulpinilor de

floarea-soarelui și cea mai scăzută a cojilor rămase de la decorticarea orezului, care sunt foarte bogate în lignină. Din cantitatea de biogaz produsă, metanul a reprezentat între 53 și 69%. O apreciere comparativă a potențialului unor materiale organice de a produce biogaz, în condiții similare de fermentare anaerobă, rezultă din tabelele 4.3. și 4.4.

Materialul organic	%
Dejecție de vacă	100
Zambile de apă	114
Reziduuri organice	130
Lăptuca de apa	145
Dejecții de porci	154
Reziduuri de graminee	177
Paie de orez	187
Îngrășământ flamand	221

Tabelul 4.4. Eficacitatea relativă a unor materiale organice în a produce biogaz comparativ cu dejecțiile de vacă (100%).

În majoritatea cazurilor producția de biogaz rezultată prin descompunerea substanței uscate este de 740 l kg⁻¹ substanță uscată. Prin procesul de metanizare a plantelor acvatice s-au obținut în medie, producții de 0,3 m³ metan/kg substanță uscată în cazul zambilei de apă și 0,2 m³ metan/substanță uscată la metanizarea plantei. Ținând seama de conținutul scăzut de substanță uscată a plantelor acvatice (3-6%), cantitatea de energie produsă pe m² de luciu de apă este modestă.

Totuși, procesul de metanizare a zambilei de apă ca și a altor culturi energetice puternic hidratate, se consideră oportun și de perspectivă. El apare justificat tehnic și economic în condițiile cuplării lui cu procesul de depoluare a apelor reziduale, ca obiectiv principal și obligatoriu, sau ca reprezentând una dintre căile de valorificare ale acestor culturi, alături de folosirea lor ca îngrășăminte naturale și furaje. În tabelul 4.5. se prezintă potențialul diverselor materiale organice de a produce biogaz în fermentatoare de capacitate mică care au funcționat în aceleași condiții.

Sursa	Natura materialului organic	Biogaz % (l kg ⁻¹ substanță uscată)	Conținutul de metan (%)
Agricultură	Ierburi diferite	557	84,0
	Lucernă	445	77,7
	Frunze	260	58,0
	Paie de grâu întregi	367	78,5
	Paie tocate la 0,2 cm	423	81,3
	Paie de orez	380	-
	Paie de orez	360	-
Industria agro-alimentară	Frunze de sfeclă de zahăr	501	84,8
	Frunze de sfeclă furajeră	496	84,0
	Lujeri de tomate tocați	606	74,7
	Tulpini de in sau cânepă	369	-
	Drojdie de la distilerii	300-600	58,0
Zootehnie	Dejecție de păsări	520	-
	Dejecție de porcine	480	60,0
	Dejecție de bovine	260-280	50-60
	Dejecție de ovine	320	65
	Dejecție de cabaline	200-300	-
Populație	Fecale umane	240	50
Stații de epurare	Nămol orășenesc	370	-

Tabelul 4.5. Cantități de biogaz posibil de obținut din materiale organice.

Rezerve de reziduuri organice agricole din România

În țara noastră există surse importante de materie organică, convertibilă în energie neconvențională. Ele sunt concentrate în cantități mari la complexele de creștere industrială a animalelor și la stațiile de epurare a apelor reziduale (orășenești și din industria alimentară) sau sunt diseminate la nivelul unor unități de producție mici sau a gospodăriilor populației rurale.

Ca și în alte țări, produsele reziduale din zootehnie dețin o pondere importantă din acest punct de vedere și în România. La nivelul anilor '80 s-a calculat că anual se evacuează din crescătoriile de animale o cantitate de materie organică de 1074000 t de la taurine, 512000 t de la porcine, 2212000 t de la ovine și 488000 t de la păsări. Dejecțiile brute de la animalele crescute în sistem gospodăresc trebuie fermentate anaerob în instalații de capacitate mică și, rareori în instalații de capacitate mijlocie. Produsele vegetale din agricultură constituie

rezerve importante de biomase convertibile în energie neconvențională. Totuși în prezent ele nu sunt folosite decât într-o mică măsură, în deosebi în instalațiile gospodărești de capacitate mică din țara noastră.

Aceasta este de fapt, în momentul de față, și orientarea pe plan mondial pentru țările din zonele temperate și reci, cu populație densă, în care există alte priorități în folosirea produselor vegetale secundare (furajarea animalelor, materia primă în industria celulozei, hârtiei sau furfurolului, etc).

Rezerve importante de materie organică posibilă de metanizare există și în sectorul industriei alimentare din țara noastră. Folosirea lor pe scară mai largă decât în prezent în fermentatoare de mare randament se poate înscrie pe linia practicilor curente din alte țări ale lumii îndeosebi din Europa.

În gospodăriile populației în materia primă care alimentează fermentatoarele intra și produsele vegetale secundare ca și alte resturi celulozice alimentare, frunziș, etc. Ținând seama de randamentul de bioconversie energetică a tehnologiilor folosite în prezent pentru metanizarea dejectiilor de taurine și porcine din țara noastră, dacă acestea s-ar prelucra integral ar rezulta o producție de biogaz de aproximativ $5 \cdot 10^8 \text{ m}^3 \text{ an}^{-1}$, ceea ce echivalează cu 400000 t combustibil convențional. Dacă se ia în considerare și aportul reziduurilor organice din centrele populate, cantitatea de biogaz ar crește la $625000 \text{ m}^3 \text{ an}^{-1}$, echivalând cu 500000 t combustibil convențional. La aceste valori se mai adaugă cantitatea de biogaz obținută prin metanizarea nămolurilor de la stațiile de epurare orășenești de cca $125000000 \text{ m}^3 \text{ an}^{-1}$ care echivalează cu 100000 t combustibil convențional.

Creșterea în perspectiva a posibilității de obținere a noi cantități de biogaz în țara noastră se va putea realiza prin perfecționarea tehnologiilor care folosesc ca materie primă dejectiile de porcine și taurine, prin extinderea metanizării la dejectiile de păsări și ovine și la reziduurile din industria alimentară, a celulozei și hârtiei etc., și prin utilizarea culturilor energetice foarte hidratate și, parțial, a resturilor vegetale celulozice.

Pentru estimarea producției de biogaz într-o unitate cu un număr mic de animale crescute în sistem gospodăresc (cu așternut de paie) se folosește următoarea relație:

$$G = N + 1/6 \cdot C_p + 4 \cdot C_v \text{ unde:}$$

G-este cantitatea zilnică de biogaz în m^3

N-este efectivul de animale exprimat în echivalent unități animale mari

C_p -este cantitatea de paie pentru așternut care revine la 3-5 kg/unitate animale mari zi

C_v - este cantitatea de deșeuri organice (frunze, iarbă, resturi menajere) care se estimează la $0,3 \text{ Kg zi}^{-1}$.

De exemplu, dacă într-o mică fermă există 10 vaci de lapte (10 unități animale mari), 5 junici ($5 \cdot 0,5$ unități animale mari) și 10 porci ($10 \cdot 0,1$ unități animale mari) rezultă că efectivul de animale N, exprimat în echivalent unitate animal mare este de $10 + 2,5 + 1 = 13,5$. Introducând aceste date în relația de mai sus se obține:

$$G = 13,5 + 1/6 \cdot 13,5 \cdot 4 + 4 \cdot 0,3 = 23,7 \text{ m}^3/\text{zi}.$$

Producerea biogazului

Preocupări privind producerea biogazului în regim controlat sunt semnalate de la sfârșitul secolului trecut. Astfel în Anglia, Dibdin a folosit bacteriile existente în apele reziduale ale orașelor ca agenți activi de epurare a acestora în sisteme cu filtre aerobe iar Cameron a proiectat un sistem de epurare biologică format din două trepte de epurare: una anaerobă și alta aerobă. Sistemul lui Cameron a fost construit în orașul Exeter din Anglia în anul 1895, iar gazul rezultat a fost folosit la iluminarea străzilor acestui oraș.

Prin anul 1890 este menționată producerea de biogaz în unele ferme din Germania și 20 de ani mai târziu și în Anglia.

Până la cel de-al II-lea război mondial, fermentarea anaerobă controlată s-a extins, aproape în exclusivitate în stațiile de epurare ale orașelor mari din Europa și America. Prin acest proces s-a urmărit reducerea volumului materialelor reziduale, stabilizarea lor biochimică și aseptizarea lor, trei condiții esențiale pentru a fi permisă deversarea lor ulterioară în cursuri de apă.

În cele mai multe țări, producerea de biogaz este susținută de stat, prin programe speciale, concretizate în subvenții pentru cercetare, formare de tehnicieni, elaborarea de proiecte pentru instalații de diferite mărimi, producerea echipamentului necesar, propagandă.

Astfel în Franța, țara cu cea mai îndelungată experiență în producerea biogazului în regim controlat, această activitate este coordonată de comitetul V.E.D.A (Valorificarea Energetică a Deșeurilor Agricole). În SUA, există trei agenții în cadrul Departamentului Energiei care coordonează valorificarea energetică a reziduurilor organice prin bioconversie metanogenă.

În Asia, succesul politicii de stat, în susținerea producerii de biogaz, este ilustrat de numărul foarte mare de instalații familiale: peste 150.000 în India și câteva milioane în China.

Fermentarea anaerobă

Fermentarea anaerobă, folosită pentru producerea și captarea biogazului, este un proces dirijat de descompunerea materiei organice umede, care se desfășoară în absența oxigenului molecular și a luminii.

Spre deosebire de alte procese microbiologice dirijate de către om, fermentarea anaerobă pentru obținerea biogazului nu folosește culturi pure sau condiții sterile. În sistemele naturale în care se găsește, materia organică decompozabilă este purtătoarea unei microflore foarte variate și active; bacteriile metanogene nu cresc niciodată în culturi pure, ci numai în asociație cu o microfloră bogată foarte diversă. Această microfloră mixtă asigură anaerobioza și compușii, metabolici specifici dezvoltării metanobacteriilor. Materiile organice în curs de descompunere, folosite pentru alimentarea fermentatoarelor anaerobe, furnizează permanent o microfloră activă în procesul de metanogeneză și reprezintă principalele surse pentru obținerea metanobacteriilor. Din această cauză principalul obiectiv urmărit în procesul de metanogeneză dirijată îl constituie optimizarea factorilor de mediu și tehnologici implicați în activitatea microorganismelor responsabile de transformările materiei organice.

Pe baza cercetărilor microbiologice și biochimice, efectuate s-a constatat că transformarea materiei organice în metan se face în mai multe faze: două după unii autori, trei după alții. În fiecare dintre ele în mod predominant sau aproape exclusiv activează comunități distincte de microorganisme.

După majoritatea cercetătorilor producerea biogazului se desfășoară în două faze: acidogenă (lichefierea) și metanogenă (gazeificare).

În faza acidogenă acționează microorganismele fermentative nespecializate, cu capacitate de hidroliză a materiei organice și de producere de acizi organici. Ele sunt microaerofile și facultativ anaerobe: bacterii celulozolitice, coliforme, propionice, lactice, butirice, acetice, lipolitice, protolitice precum și numeroase specii de ciuperci și unele drojdii. În această fază, ca și în cea de metanogeneză, mai acționează bacterii sulfat-reducătoare și denitrificatoare.

Lichefierea reziduurilor organice se produce prin hidroliza enzimatică a substanțelor macromoleculare care trec în substanțe cu greutate moleculară mică.

În reziduurile din zootehnie, hidrații de carbon se găsesc sub formă de compuși polimerizați, având celuloza ca o componentă principală, precum și hemicelulozele și alte polizaharide vegetale care nu au fost descompuse în procesul de digestie al animalelor.

Din hidrații de carbon hidrolizați rezultă zaharuri ușor fermentescibile de tipul arabinoză, xiloză, glucoză și manoză. Aceste zaharuri servesc ca sursă energetică pentru înmulțirea microorganismelor implicate în transformarea celorlalte componente ale materiei organice.

Lipidele sunt hidrolizate de microorganismele lipolitice, cu formare de glicerol și acizi grași cu catenă lungă. Sub acțiunea microorganismelor proteolitice se produce descompunerea proteinelor și diseminarea aminoacizilor, cu formare de amoniac, care reprezintă principala sursă de azot pentru toate microorganismele din fermentator.

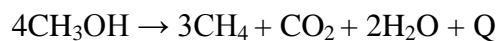
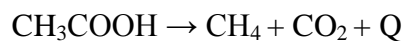
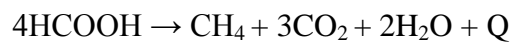
În urma descompunerii aminoacizilor ce conțin sulf, bacteriile sulfat-reducătoare ca și unele bacterii fermentative formează sulfuri și hidrogen sulfurat.

În partea finală a fazei de acidogeneză, mono și polizaharidele sunt fermentate cu producere îndeosebi de acid acetic, hidrogen și dioxid de carbon iar acizii cu catenă lungă sunt de asemenea, degradați până la acid acetic și gaze.

În faza a doua, numită metanogenă, acționează bacteriile metanogene, obligat anaerobe, care sunt specializate în producerea de metan.

Hidrogenul și dioxidul de carbon reprezintă un substrat caracteristic pentru metanogeneză.

Metanul se formează sub acțiunea metanobacteriilor asupra $\text{CO}_2 + \text{H}_2$, sau a acidului formic, acidului acetic, metanolului conform următoarelor reacții:



În figura 4.1. este prezentată o schemă a descompunerii materiei organice în fermentația anaerobă.

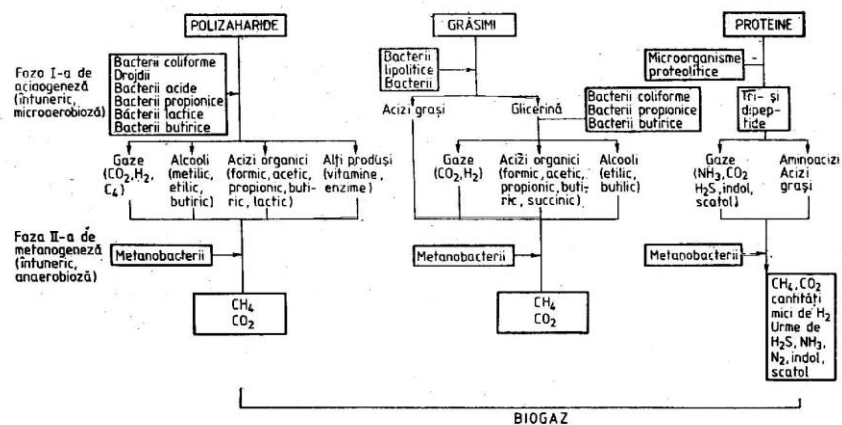


Figura 4.1. Schema de descompunere a principalelor componente de materii organice în cursul fermentării anaerobe.

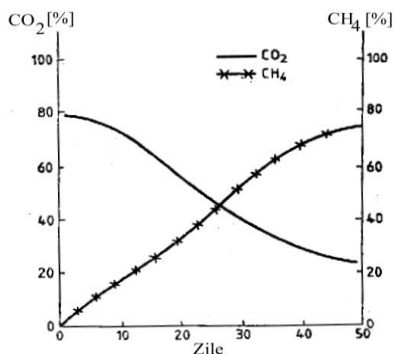


Figura 4.2. Dinamica formării CO₂ și a CH₄ din dejecții de porc și vacă.

Faza de metanogeneză se încheie prin obținerea biogazului care este un amestec gazos de metan (maximum 80%) și CO₂ (minimum 20%), alături de care se întâlnesc cantități mici de H₂, H₂S, mercaptani, vapori de apă, precum și urme de NH₃, N₂, indol și scatol. În figura 4.2. se prezintă dinamica formării gazului metan comparativ cu scăderea dioxidului de carbon din dejecții animale.

În tabelul 4.7. este prezentată estimarea cantităților de biogaz producibile prin fermentare anaerobă.

Tipul de reziduu organic	Subst. organică (% subst.uscată)	Conținut de subst. uscată (%)	Randament de biogaz, m ³ t ⁻¹ subst. organică
Siloz de porumb	86	34	350-390
Siloz de ierburi	67-98	26-82	300-500
Fan	83-93	86-93	500
Paie	85-89	85-90	180-600
Trifoi	80	20	300-500
Coceni de porumb	72	86	300-700
Melasă	95	80	300
Zer	80-92	4.3-6.5	330
Rebuturi vegetale	76-90	5-20	350
Rebuturi distilație Mere	94-95	2-3.7	330
Dejecții solide cabaline	75	28	200-400
Dejecții solide ovine	80	25-30	240-500
Dejecții lichide păsări	75-77	10-29	200-400
Dejecții solide păsări	70-80	32-32.5	400
Dejecții solide bovine	65-85	11-25	200-300
Dejecții lichide bovine	68-85	6-11	200-260
Dejecții lichide porcine	60-85	2.5-9.7	260-450
Dejecții solide porcine	75-90	20-25	450

Tabelul 4.7. Cantitățile de biogaz producibile prin fermentație anaerobă.

Factorii care influențează fermentarea anaerobă

Factorii de mediu și tehnologici care influențează fermentarea metanică și de a căror optimizare depinde obținerea unor randamente ridicate în bioconversia energetică a reziduurilor organice sunt următorii:

1. factori de mediu: temperatură, pH, elemente nutritive și substanțe toxice

2. factori tehnologici: compoziția stratului organic, mărimea încărcăturii organice, timpul de retenție, conținutul de substanță organică uscată din substrat, omogenizare, încălzire, izolare și inoculare cu microorganisme metanogene.

Temperatura. Viteza de creștere a metanobacteriilor și prin urmare, producerea biogazului, depinde de temperatura din fermentator este mult încetinită sub 20°C și mai ales sub 6°C precum și peste 55°C, deși obținerea de biogaz este posibilă în domeniul de temperatură de la 0°C la 60°C. Au fost delimitate trei domenii de temperatură în care se produce fermentația metanică: zona termofilă (peste 45°C), zona mezofilă (20-45°C) și zona psihofilă (cirofilă, sub 20°C).

În practica curentă, fermentarea anaerobă a nămolurilor de la stațiile de epurare orășenești se face în zona de temperaturi mezofil, temperatura optimă fiind de 30-35°C.

Temperatura optimă pentru unitățile de biogaz de capacitate mică din zona temperată se consideră a fi în domeniul 19-30°C. Caracteristicile acestor instalații este durată mare de retenție a materialelor reziduale în fermentator în scopul realizării producției de biogaz. Ea variază între 30 și 90 de zile.

Instalațiile de biogaz de capacitate mijlocie și mare funcționează în domeniul de temperaturi mezofile sau termofile. Aceste regimuri termice sunt asigurate și menținute relativ constante cu ajutorul surselor interioare de căldură și a izolației termice exterioare.

În figura 4.3 este prezentată influența temperaturii și a timpului de retenție asupra producției de biogaz.

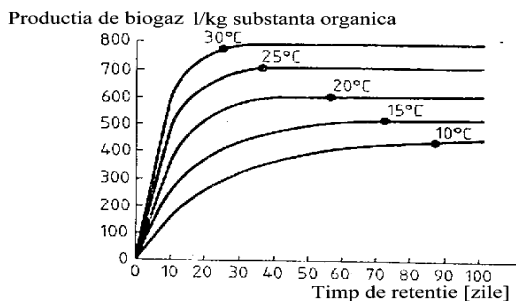


Figura 4.3. Influența temperaturii și a timpului de retenție asupra producției de biogaz

pH - alcalinitate-concentrație de acizi volatili.

Metanobacteriile sunt foarte sensibile la pH-ul mediului. Ele se dezvoltă cel mai bine dacă reacția este aproape neutră respectiv pH = 6,8-7,2, însă pot tolera un domeniu mai larg de pH cuprins între 6,5-8,0. Aceste microorganisme sunt sensibile și la variațiile bruște de pH. Dejecțiile de animale, îndeosebi cele proaspete, conțin suficienta alcalinitate pentru a menține pH-ul din fermentator în domeniul 7,0-8,0 astfel că procesul de producerea biogazului este, de regulă, destul de stabil.

Elemente nutritive și substanțe toxice. Procesul de metanizare necesită existența unui mediu nutritiv optim pentru dezvoltarea microorganismelor implicate în biodegradarea materiei organice din fermentator. Prezența unor sulfuri în cantitate mare ca și cantități mari de zinc, cupru, nichel, arsen, plumb, mercur, provenite în special din nămolurile de la stațiile de epurare orășenești și industriale au efect toxic, pentru microorganismele din fermentatoarele anaerobe.

De asemenea acțiune toxică asupra microorganismelor au antibioticele și substanțe dezinfectante.

Compoziția materiei organice. Cantitatea de gaze, care poate fi generată în cursul fermentării anaerobe, depinde de compoziția globală a materiei organice.

Celuloza pură este relativ repede descompusă prin fermentare anaerobă. În resturile vegetale însă, celuloza este legată chimic de hemiceluloză și lignină în structuri complexe, ceea ce face ca, într-o mare măsură, să fie inaccesibilă enzimelor extracelulare ale bacteriilor prezente în fermentator.

O măsură care conduce la scurtarea etapei de lichefiere a produselor celulozice o constituie pretratarea acestora care facilitează hidroliza polizaharidelor complexe până la zaharuri ușor accesibile microflorei producătoare de acizi.

Mărimea încărcăturii organice-timpul de retenție-conținutul de substanță uscată.

Pentru funcționarea cu randament ridicat a instalațiilor de biogaz cu alimentare continuă prezintă importanță trei

parametrii tehnologici interdependenți: mărimea încărcăturii organice, timpul de retenție hidraulică și conținutul de substanță organică.

Mărimea încărcăturii organice reprezintă masa de materie organică adăugată zilnic care revine pe unitate de volum de fermentator. Numeroase cercetări au stabilit că acestea nu trebuie să depășească 6 kg materie organică/m³ fermentator·zi în instalațiile care funcționează la sau sub 35°C.

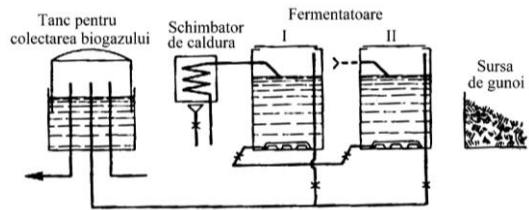


Figura 4.4. Schema unei instalații de fermentare cu alimentare discontinuă.

moderne, omogenizarea conținutului din fermentator este o operație tehnologică obligatorie. Ea asigură un contact intim permanent între materia organică și microorganisme și o uniformizare a temperaturii din fermentator. Totodată previne formarea crustei și ajută degajarea mai rapidă a biogazului format.

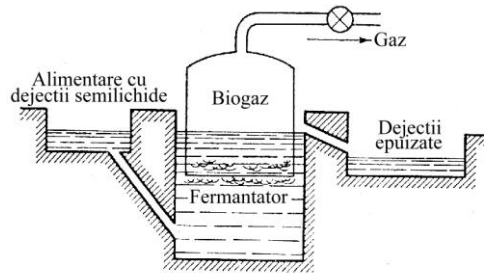


Figura 4.5. Schema de obținere a biogazului folosind sistemul cu alimentare continuă.

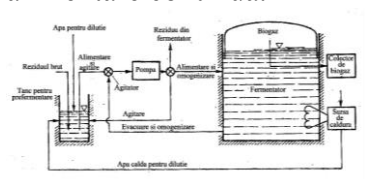


Figura 4.6. Schema unui sistem de fermentare cu alimentare continuă.

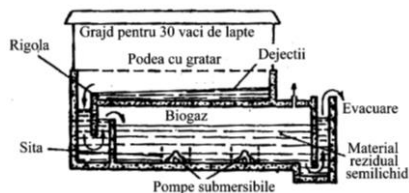


Figura 4.7. Schema de producere a biogazului în stațiunea experimentală zootehnică din regiunea Nagano.

Fermentatoarele se umplu cu gunoi de grajd la aproape 20% din capacitate, peste care se adaugă deșeurii lichide și inocul de metanobacterii, după care acestea se închid. Fermentatoarele se pot încălzi printr-un schimbător de căldură.

Timpul de retenție reprezintă raportul dintre volumul fermentatorului și debitul de alimentare zilnic al influentului. Timpul de retenție trebuie să asigure microorganismelor metanogene convertirea integrală a acizilor în biogaz.

Omogenizarea și îmbogățirea cu microorganisme metanogene.

În fermentatoarele moderne, omogenizarea conținutului din fermentator este o operație tehnologică obligatorie. Ea asigură un contact intim permanent între materia organică și microorganisme și o uniformizare a temperaturii din fermentator. Totodată previne formarea crustei și ajută degajarea mai rapidă a biogazului format.

Fermentarea. În raport cu modul de alimentare al fermentatoarelor cu substrat organic, se diferențiază fermentatoare cu alimentare discontinuă și fermentatoare cu alimentare continuă.

Instalațiile cu alimentare discontinuă au o funcționare ciclică. Ea reflectă modul de creștere a populației de microorganisme care este caracterizat printr-o fază lentă, apoi printr-o fază rapidă până la atingerea unui plafon maxim, urmate de o fază de descreștere și în final, de o fază de moarte. În mod simetric, după introducerea materiei organice în fermentator, producerea de biogaz începe să crească până atinge valori maxime, ca apoi să descrească lent până aproape de zero, moment în care materia organică este evacuată din fermentator. Urmează apoi un nou ciclu.

O instalație la scară mare cu alimentare discontinuă este prezentată în figura 4.4.

Producerea de biogaz durează 2-3 luni, după care fermentatoarele se golesc și din nou se pregătesc pentru un nou ciclu. Instalațiile cu alimentare discontinuă nu asigură producerea de biogaz la întreaga capacitate a fermentatorului pe tot parcursul unui ciclu, prezentând dificultăți de ordin organizatoric și economic. Din această cauză utilizarea lor este restrânsă la micile gospodării țărănești.

În figura 4.5. este prezentată schița unei instalații de obținere a biogazului cu alimentare continuă iar în figurile 4.6 și 4.7 se prezintă schemele a două sisteme moderne de producere continuă a biogazului.

Dezvoltarea producerii biogazului în România

În țara noastră ca și în alte țări, interesul pentru producerea biogazului din biomase a urmat un drum ascendent.

Începând din anul 1958, la Centrul experimental de îngrășăminte bacteriene (C.E.I.B.) de la Băneasa, s-au inițiat cercetări de laborator pentru izolarea unor surse active de bacterii metanogene și obținerea de gaze combustibile pe cale biologică, din diferite substraturi organice: bălegar de cal, bălegar de bovine și gunoarie menajere. Din 1964 s-au efectuat cercetări de obținerea biogazului din nămoluri organice.

Prin “*Programul pentru cercetarea și valorificarea de noi surse de energie*” (1974) a fost prevăzută introducerea metanizării reziduurilor organice din agricultură (de origine vegetală și animală) și crearea unei stații pilot de producere a biogazului din dejecții de porci la Stațiunea centrală de cercetări pentru creșterea porcilor de la Periș.

La noi în țară funcționează numeroase instalații de producere a biogazului. Prima stație modernă de producere a biogazului a fost realizată la Dancu (Iași) care folosea reziduurile de la epurarea apelor uzate ale municipiului Iași. Această stație a fost înzestrată cu instalații industriale pentru producerea biogazului constând din metan-tancuri (reactoare de fermentare metanică) și gazometre (colectoare de gaze combustibile). Cu cantitatea de gaze rezultate (la început de 2000 m³ biogaz/zi) stația de epurare și-a asigurat necesarul de energie tehnologică din producția proprie de biogaz, realizând și cantități excedentare în perioadele calde. Începând cu anul 1980 funcționează instalații de producere a biogazului în cadrul stațiilor de epurare ale apelor reziduale de la: Bacău, Iași, Oradea, Suceava, Hunedoara, Petroșani, Roman, Pitești, Cluj-Napoca, Sibiu, Timișoara, etc. Pe principii similare au fost puse în funcțiune stații de producere a biogazului din deșeuri și nămoluri organice pe platforma industriei alimentare a orașului Vaslui, la abatoarele județene Ialomița și Timiș, la distileria de tescovină Tohan, etc.

Începând cu anul 1979 au intrat în funcțiune stații de producere a biogazului din dejecții provenite de la fermele de porci de la Periș, Caracal, Codlea, Tomești (Iași), Roman, Pecineaga (Constanța), etc., cu capacități de producție de 600 până la 8000 m³ biogaz/zi. În aceeași perioadă s-au construit și stații de biogaz de capacitate mijlocie (50-500 m³ biogaz/zi) la cooperativele agricole de producție, crescătoare de animale de la Grozești, Țigănași și Chirița (Iași), Mangalia și Băneasa (Constanța), Frăsinet (Teleorman), Certișoara (Timiș). Mai

numeroase, de ordinul miilor, s-au răspândit instalațiile de capacitate mică care produc biogaz pentru colectivități mici sau pentru gospodăriile populației.

Utilizarea biogazului

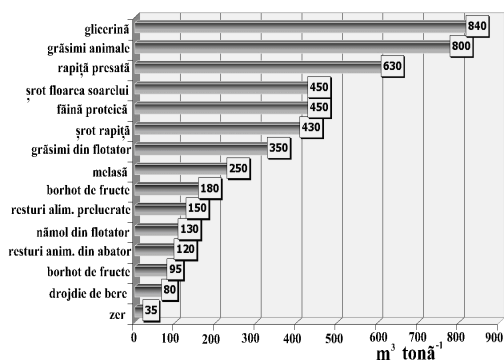


Figura 4.8. Cantitatea de biogaz (m³ t⁻¹) ce se obține din diverse materiale organice

În figura 4.8. se prezintă cantitățile de biogaz ce se obțin din diverse materiale organice.

Deoarece biogazul (în mod curent 60%-70% CH₄ și 30-40% CO₂ și cantități foarte mici de H₂ și urme de alte produse) are o capacitate mai mică decât a altor combustibili, se folosește pentru încălzit, producerea de electricitate în grupuri electrogene și la alimentarea motoarelor de autovehicule. 1 m³ biogaz corespunde ca. 6 kWh; din 1.000 m³ biogaz rezultă ca. 2.400 kWh energie electrică și 2.700 kWh energie termică.

În instalațiile de tip gospodăresc, biogazul este folosit ca sursă de căldură, mai ales pentru pregătirea hranei și încălzirea apei menajere. În principiu se pot folosi orice arzătoare cu condiția asigurării unui raport corespunzător între biogaz și aer.

Producerea de curent electric cu ajutorul biogazului, este o a doua utilizare larg acceptată a energiei rezultată din arderea biogazului. Pentru creșterea eficienței energiei produse de instalațiile de biogaz, sau realizat sisteme de producere combinată ("co-generation"), a electricității și căldurii.

O a treia direcție de folosire a acestuia este de carburant pentru motoare de mașini, camioane și tractoare. Motoare pentru autoturisme și autocamioane, alimentate cu biogaz au fost prezentate la Târgul Internațional de Mașini Agricole de la Hanovra încă din anul 1980.

Instalațiile cu alimentare continuă au fost proiectate pentru a funcționa în permanență la capacitatea maximă în scopul producerii de biogaz. Ele se pretează, cel mai bine, pentru a fi utilizate în complexe de creștere industrială a animalelor, unde rezultă zilnic cantități mari de dejecții.

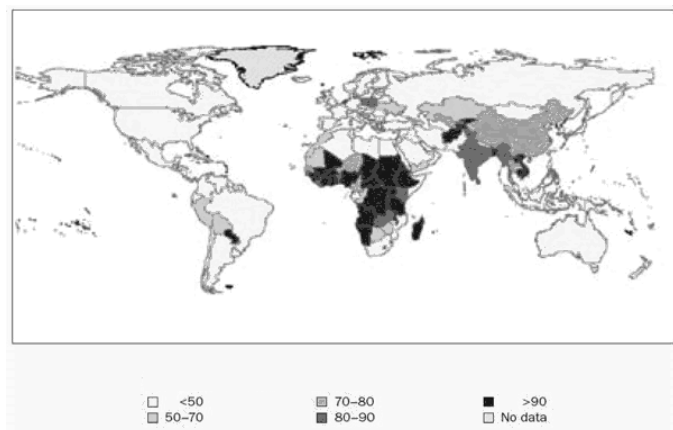


Figura 4.9. Consumul de biomasă sub formă de combustibil, la nivel mondial.

Un consum important al biomasei este sub formă de combustibil în medii mai ales rurale. În figura 4.9. este prezentat consumul de biomasă ca și combustibil în gospodării la nivel mondial.