

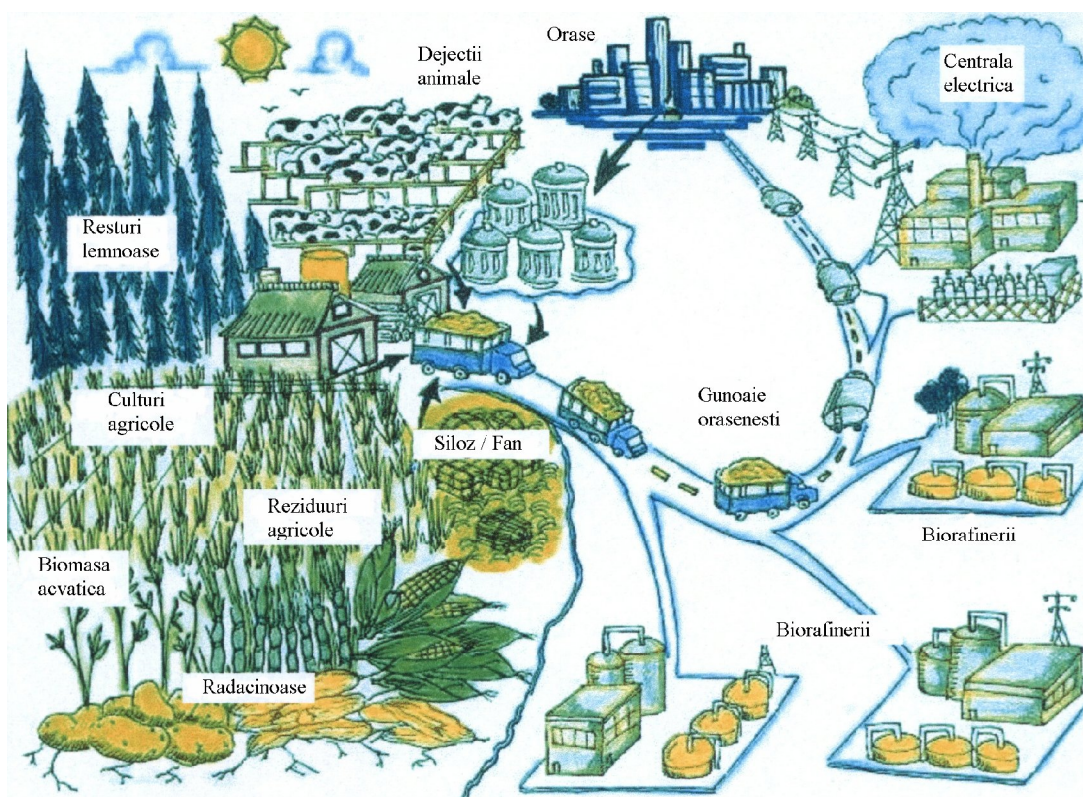


Institutul de Biotehnologii Aplicate
IBA Timișoara

TIMIȘOARA, Calea Aradului nr. 119; tel: 0256 / 277145, 277086, fax: 0256 / 277110

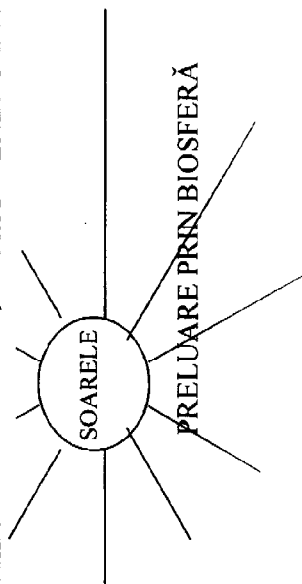
Vintilă Teodor, Nikolic Vasile

Integrarea fermentației anaerobe și captarea metanului în managementul deșeurilor într-o fermă de vaci de lapte

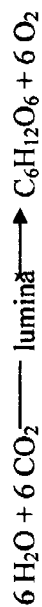
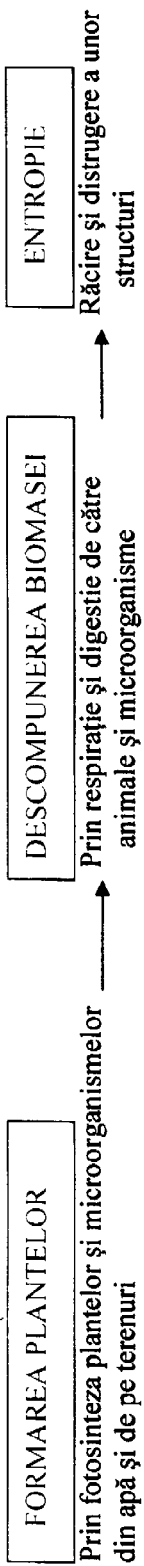


2009

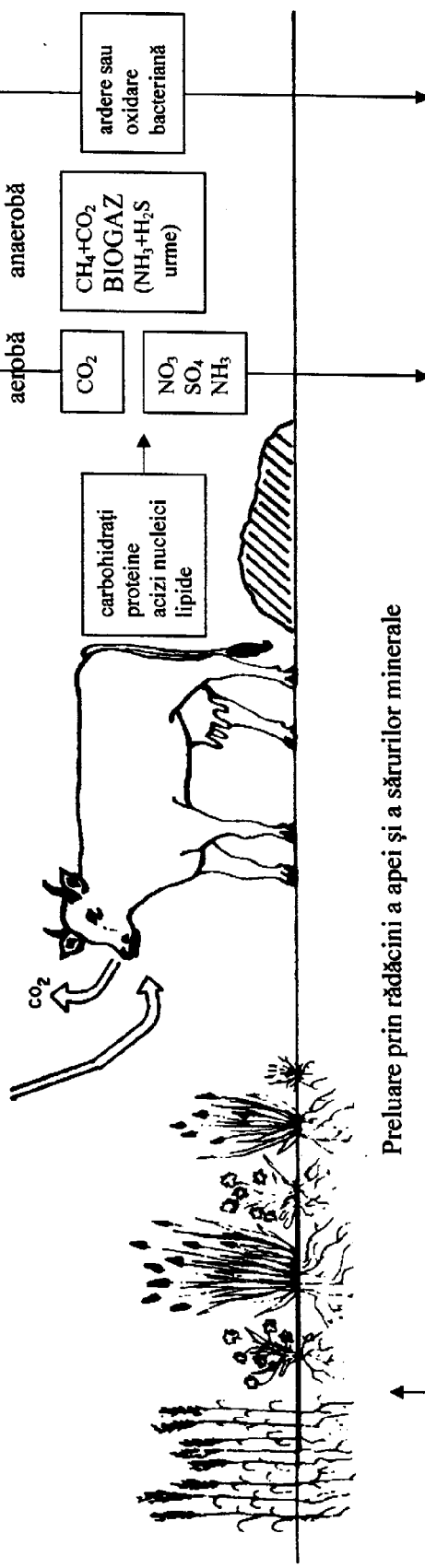
HIDROGEN → HELIU + ENERGIE RADIANTĂ



CIRCUITUL APEI, AL CARBONULUI ȘI AL ALTOR BIOELEMENTE



Descompunerea deșeurilor vegetale și animale



Sursa energetică și lanțul trofic al generării biogazului

INTRODUCERE

Prin termenul de „biogaz”, acceptat pe plan internațional, se înțelege produsul gazos ce rezultă în cursul fermentării anaerobe (în lipsa aerului) a materiilor organice de diferite proveniențe.

Biogazul este un amestec de gaze. Principalele gaze care îl compun sunt metanul și dioxidul de carbon, ambele în proporții variabile. În cantități foarte mici se mai găsesc în biogaz hidrogen sulfurat, azot, oxid de carbon, oxigen.

Valoarea energetică a biogazului este dată de conținutul de metan al acestuia. În tabelul ce urmează sunt date valorile energetice pentru un metru cub de biogaz :

% Metan	kcal/m ³		% Metan	kcal/m ³		% Metan	kcal/m ³	
	la 0 ⁰ C	la 20 ⁰ C		la 0 ⁰ C	la 20 ⁰ C		la 0 ⁰ C	la 20 ⁰ C
50	4275	3962	60	5130	4754	70	5985	5546
51	4360	4040	61	5215	4833	71	6070	5625
52	4446	4120	62	5301	4912	72	6156	5705
53	4531	4199	63	5386	4991	73	6241	5784
54	4617	4278	64	5472	5071	74	6327	5863
55	4702	4357	65	5557	5150	75	6412	5942
56	4788	4437	66	5643	5230	76	6498	6022
57	4873	4516	67	5728	5308	77	6583	6101
58	4959	4596	68	5814	5388	78	6669	6180
59	5044	4674	69	5900	5468	79	6754	6259

Pentru exprimarea în kJ, valorile din tabel se vor multiplica, desigur, cu 4,186 kJ/kcal.

Se vede că biogazul este un combustibil valoros. În comparație cu alți purtători de energie termică situația lui se prezintă ca în tabelul următor:

Natura combustibilului	U.M.	Putere calorifică kcal/U.M.	Echivalent în U.M pentru 1 m ³ biogaz
Biogaz cu 60% metan, 0 ⁰ , 1 bar	m ³	5130	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 pt. calorifer	kg	9500 - 9700	0,54 – 0,53
Motorină	kg	10000 - 11000	0,51 – 0,47
Gaz metan natural	m ³	8500	0,60
Gaze petroliere lichefiate	m ³	22000	0,23

FACTORII CARE INFLUENȚEAZĂ PRODUCȚIA DE BIOGAZ

Pe baza experienței îndelungate acumulate de către cei care, în decursul timpului, au cercetat și urmărit producerea biogazului, următorii factori sunt determinanți în producția de biogaz:

- Materia primă
- Temperatura
- Presiunea
- Agitarea
- pH – ul

Materia primă

Materia primă trebuie să asigure mediul prielnic dezvoltării și activității microorganismelor ce concurează la digestia substratului și, în final, la producerea biogazului. Acest mediu trebuie să satisfacă următoarele condiții:

- Să conțină materie organică biodegradabilă
- Să aibă o umiditate ridicată, peste 90%
- Să aibă o reacție neutră sau aproape neutră ($\text{pH} = 6,8 - 7,3$)
- Să conțină carbon și azot într-o anumită proporție ($\text{C/N} = 15 - 25$)
- Să nu conțină substanțe inhibitoare pentru microorganisme: unele metale grele, detergenți, antibiotice, concentrații mari de sulfați, formol, dezinfectanți, fenoli și polifenoli etc.

Pentru obținerea biogazului se pot utiliza materii prime organice de proveniență foarte diferită: deșeuri vegetale, deșeuri menajere, fecale umane, dejecții animaliere, gunoiul de grajd, ape reziduale din industria alimentară și din zootehnie, etc.

Producția specifică, medie, de biogaz, ce se poate obține din diverse materii prime, raportată la substanța uscată a lor, este cea din tabelul următor:

DENUMIREA	BIOGAZ OBTENABIL litri / kg S.U.	CONȚINUT MEDIU DE METAN, ÎN %
Paie de grâu, întregi	367	78,5
Idem, tocate la 3 cm	363	80,2
Idem, tocate la 0,2 cm	423	81,3
Lucernă	445	77,7
Ierburi diferite	557	84,0
Frunze de sfeclă furajeră	496	84,0
Frunze de sfeclă de zahăr	501	84,8
Lujeri de roșii, tocați	606	74,7
Tuleie de porumb, tăiate la 2 cm	214	83,1
Frunze de copac	260	58
Paie de orz	380	77
Paie de orez	360	75
Tulpini de în sau de cânepă	369	58
Dejecții de bovine	260 – 280	50 – 60
Dejecții de porc	480	60
Dejecții de cal	200 – 300	66
Dejecții de oaie	320	65
Dejecții de păsări	520	68
Fecale umane	240	50
Nămol din stații de epurare orășenești	370	50 – 60
Drojdii de la distilării de spirt	300 – 600	58

Materiile prime de mai sus pot fi utilizate exclusiv sau în amestec. S-a constatat că, prin amestecarea diferitelor materii prime, capacitatea metanogenă a amestecului, exprimată în l/kg substanță organică (S.O.), este mai mare decât media rezultată din calculul aritmetic. Acest aspect este redat în tabelul următor:

DENUMIREA	PROPORȚIA DE AMESTEC în %	BIOGAZ l/kg S.O.	CREȘTEREA FAȚĂ DE CALCUL în %
Dejecții de bovine	100	380	-
Dejecții de porcine	100	569	-
Dejecții de păsări	100	617	-
Nămol de la ape reziduale	100	265	-
Buruieni, ierburi	100	277	-
Dejecții bovine + porcine	50 – 50	510	+ 7,5
Dejecții bovine + păsări	50 – 50	528	+ 6
Dejecții bovine + nămol ape reziduale	50 – 50	407	+ 26
Dejecții bovine + buruieni	50 – 50	363	+ 5
Dejecții porcine + păsări	50 – 50	634	+ 7
Dejecții bovine + porcine + păsări	25 – 50 – 25	585	+9,6
Dejecții păsări + nămol ape reziduale	50 – 50	495	+ 12,3
Dejecții păsări + buruieni	50 – 50	513	+ 13,5
Nămol ape reziduale + buruieni	50 – 50	387	+42

Această potențare sinergică se datorează faptului că în amestecuri de materii prime se realizează raporturi mai bune între conținutul de carbon și cel de azot, raport foarte important în producția eficientă de biogaz și care, după cum s-a arătat, trebuie să fie cuprins în intervalul 15-25.

În tabelul următor sunt trecute, pentru principalele materii prime:

- Conținutul de carbon (C)
- Conținutul de azot (N)
- Raportul C/N

DENUMIREA	CONȚINUT DE CARBON %	CONȚINUT DE AZOT %	RAPORTUL C/N
Iarbă verde	15	0,6	25
Paie de grâu, uscate	46	0,53	87
Paie de orez, uscate	42	0,63	67
Paie de ovăz, uscate	42	0,75	56
Tuleie de porumb	40	0,75	53
Lucerna	48	2,6	18
Frunze	41	1	41
Vrejuri de cartof	40	1,8	22
Lujere de soia	41	1,3	32
Dejecții de oaie, proaspete	16	0,55	29
Dejecții de bovine, proaspete	7,3	0,29	25
Dejecții de cal, proaspete	10	0,42	24
Dejecții de porc, proaspete	7,8	0,65	13
Fecale umane, proaspete	2,5	0,85	29
Dejecții de găină	45	3	15

Rețete de amestec

Pentru a putea calcula corect o rețetă de amestec de materii prime trebuie ținut seama de următoarele:

- Realizarea unui raport C/N cuprins între 15 – 25
- Asigurarea unei umidități de cel puțin 90 % pentru amestec.

În vederea calculării raportului corect C/N se procedează astfel:

Presupunând că se dispune de dejecții de porc, de vită, frunze verzi și paie uscate de grâu, din tabelul nr. 9 se scot valorile C/N pentru aceste materii prime

- Dejecții de porc, C/N.....13
- Dejecții de vită, C/N.....25
- Frunze verzi, C/N.....41
- Paie de grâu, C/N.....87

Pentru ca amestecul să aibă C/N cuprins în limitele 15 – 25, se observă că dejecțiile de porc sunt cele care pot corecta raportul C/N din frunze și paie deoarece dejecțiile de vită au acest raport situat chiar la limita superioară a raportului optim. Se va încerca, deci, să se pună mai multe părți, în greutate, de dejecții de porc decât frunze și paie, de exemplu:

Dejecții de porc	5 părți	x 13 =	65
Dejecții de vită	1 parte	x 25 =	25
Frunze verzi	2 părți	x 41 =	82
Paie grâu	<u>2 părți</u>	x 87 =	<u>174</u>
Total	10 părți		346

Rezultă că, în amestec, raportul C/N va fi de $346/10 = 34,6$ deci amestecul nu este corect. Pentru a-l corecta se mărește cantitatea de dejecții de porc față de cea a frunzelor și paielor, încercându-se rețeta următoare:

Dejecții de porc	7 părți	x 13 =	91
Dejecții de vită	1 parte	x 25 =	25
Frunze verzi	1 parte	x 41 =	41
Paie grâu	<u>1 parte</u>	x 87 =	<u>87</u>
Total	10 părți		244

Noul raport C/N = $244/10 = 24,4$ arată că rețeta de amestec a materiilor prime este bună.

Pentru a se asigura o umiditate corectă a amestecului se va ține seama de umiditatea materiilor prime care este trecută în tabelul următor:

DENUMIRE	CONȚINUT SUBSTANȚĂ USCATĂ %			UMIDITATE MEDIE %
	MINIM	MAXIM	MEDIU	
Dejecții de vită	10	18	14	86
Dejecții de porci	12	15	13,5	86,5
Dejecții de oi	20	30	25	75
Dejecții de cai	20	25	22,5	77,5
Dejecții de păsări	25	30	27,5	72,5
Fecale umane	25	28	26,5	73,5
Resturi menajere	20	25	22,5	77,5
Paie de grâu	85	87	86,5	13,5
Paie de orz	84	85	84,5	15,5
Paie de ovăz	83	85	84	16
Coceni de porumb	83	90	87,5	12,5
Lujeri de cartof, soia, fasole	15	20	17,5	82,5
Frunze verzi	10	15	12,5	87,5
Frunze de sfeclă	10	17	13,5	86,5
Lucernă verde	20	25	22,5	77,5
Buruieni, iarbă verde	15	17	16	84

Revenind la exemplul corect de calcul al compoziției amestecului de mai înainte, pentru dejecții de porc (P), de vită (V), pentru frunze (F) și paie de grâu (G), se poate deduce conținutul mediu de substanță uscată prin următorul calcul:

$$\frac{7 \times P + 1 \times V + 1 \times F + 1 \times G}{10} \rightarrow \frac{7 \times 13,5 + 1 \times 14 + 1 \times 12,5 + 1 \times 86,5}{10} \rightarrow \frac{207,5}{10}$$

Deci cele zece părți de amestec conțin 20,75 % substanță uscată. Pentru a aduce acest amestec la un conținut de apă de 92%, de exemplu, adică la un conținut de substanță uscată de 8%, cantitatea de apă ce va trebui adăugată se va obține din calculul următor:

10 părți amestec $\times 20,75 / 8 = 25,93$ rotund 26 părți amestec

Compoziția finală care va fi supusă fermentării va cuprinde deci:

- 7 părți, în greutate, dejecții de porc
- 1 parte în greutate, dejecții de vită
- 1 parte în greutate, frunze verzi
- 1 parte în greutate, paie de grâu
- 16 părți apă.

Total 26 părți amestec

Aciditatea

În primele etape de fermentare a materiilor organice în vederea producerii biogazului, predomină microorganismele din grupa celor acidogene, pentru care aciditatea mediului, exprimată în pH, este cuprinsă în intervalul 5,5 – 7,0. În etapele finale de fermentare, bacteriile metanogene care consumă acizii cu molecule mici rezultați din etapele anterioare, lucrează bine la o aciditate care corespunde unui interval de pH de 6,8 – 8,0. Se poate întâmpla ca, din diferite motive, activitatea bacteriilor acidogene să fie mai intensă decât a celor metanogene, fapt care duce la o acumulare a acizilor organici ce determină o scădere a pH-ului inhibând și mai tare activitatea bacteriilor metanogene. În astfel de situații se constată că producția de biogaz scade până la dispariție și este nevoie de intervenția operatorilor pentru a redresa situația. Corecția acidității excesive se face, de obicei, cu lapte de var, prin care pH-ul se readuce în limitele de echilibru dintre cele două grupe de populații, acidogene și metanogene, adică între limitele 6,8 – 7,6.

S-a arătat deja că aceste inconveniente apar în cazul fermentatoarelor cu amestecare totală a materialului conținut, în care aciditatea trebuie menținută într-un echilibru de compromis între preferințele celor două populații de microorganisme. Evitarea problemelor legate de aciditatea substratului se poate face fie prin sistemul de fermentare în două faze, cu recipiente separați, fie, mai bine, adoptând sistemul de fermentare în flux orizontal.

Temperatura

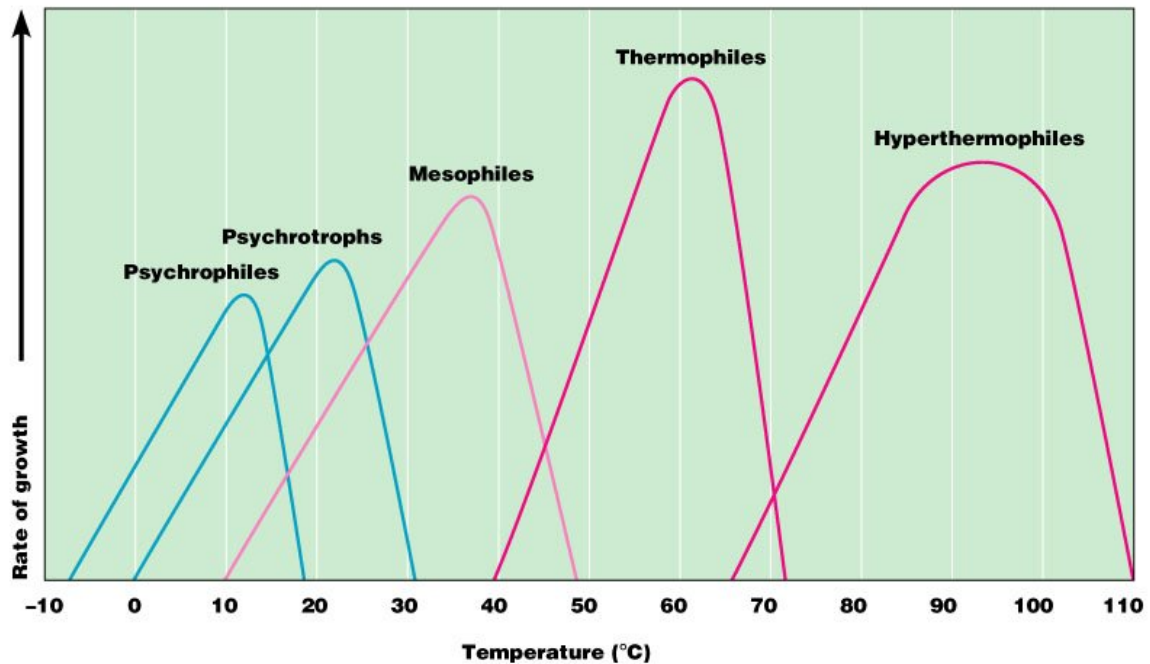
Producția de biogaz este influențată puternic de temperatură.

Din punct de vedere al temperaturii la care își desfășoară activitatea, microorganismele ce concură la producerea biogazului, îndeosebi cele metanogene, se împart în trei mari categorii:

- Criofile, caracterizate printr-o activitate care poate avea loc la temperaturi cuprinse între 12 – 24°C, zonă caracteristică fermentării în *regim crioofil*;
- Mezofile, caracterizate printr-o activitate care are loc la temperaturi cuprinse între 25 – 40°C, zonă caracteristică fermentării în *regim mezofil*;
- Termofile, caracterizate printr-o activitate care poate avea loc la temperaturi cuprinse între 50 – 60°C, zonă caracteristică fermentării în *regim termofil*.

Ca întotdeauna în biologie, aceste limite nu reprezintă niște praguri de netrecut iar fermentația metanogenă, în cazuri mai rare, se întâlnește și puțin în afara acestor limite.

În diagrama de mai jos se pot vedea cele trei zone termice caracteristice regimurilor crioofil, mezofil și termofil precum și modul în care temperatura influențează producția de biogaz.



Clasificarea microorganismelor în funcție de temperatura optimă de dezvoltare

Diagrama e făcută în raport cu producția de biogaz la 15°C care a fost considerată ca 100% și se prezintă creșterea producției, în procente față de cea de bază, din regimul crioofil, odată cu creșterea temperaturii la care are loc fermentarea. Din diagramă se vede că, la 10°C producția de biogaz scade la cca. 70% față de cea de la 15°C, în schimb ajunge la cca. 250% în regimul mezofil și la peste 360% în cel termofil.

Presiunea

Presiunea are o mare importanță în procesul de metanogeneză. S-a dovedit că, atunci când presiunea hidrostatică în care lucrează bacteriile metanogene crește peste 4-5 metri coloană de apă, degajarea de metan, practic, încetează. Ea reîncepe atunci când presiunea hidrostatică scade la valori mai mici. Această constatare este foarte importantă la proiectarea fermentatorului. La fermentatoare cu ax vertical, care pot atinge înălțimi de zeci de metri, degajarea de metan se produce numai în partea superioară, până la o adâncime de maximum cinci metri iar restul spațiului ocupat de substrat, nu produce biogaz. Acest „rest” de spațiu poate fi foarte mare uneori, în funcție de dimensiunile fermentatorului, putând ajunge la 85-90% din volumul total. Prin recirculare permanentă, obligatorie la acest tip de fermentatoare, porțiunile de substrat aflate sub limita de degajare a metanului, sunt aduse în zone superioare unde degajarea reîncepe. Pentru înlăturarea acestui inconvenient major, au fost realizate fermentatoare în flux orizontal, la care înălțimea substratului nu depășește 3,5 metri degajarea de metan producându-se în întreaga masă a materialului supus fermentării.

Agitarea

În interiorul fermentatoarelor au loc nu numai procese biochimice despre care s-a scris mai înainte ci și unele procese fizice. Astfel se constată că, în cursul fermentației are loc o segregare a materialului supus fermentării. Microbulele de gaze care se degajă în masa substratului antrenează, prin fenomenul de flotație, particulele mai ușoare de suspensii, spre suprafața lichidului. Se formează repede o crustă cu tendință de întărire și deshidratare chiar dacă materiile organice din ea nu au apucat să fie degradate prin fermentație. O altă parte a suspensiilor, mai grele prin natura lor, sau fracțiuni care au fermentat și sunt parțial sau total mineralizate, au tendința să se lase spre partea de jos a fermentatorului. Între aceste două straturi se găsește un strat de lichid în care fermentarea și epuizarea materiei organice continuă din ce în ce mai lent.

Cele arătate mai sus constituie unul din motivele pentru care este necesară agitarea conținutului fermentatorului.

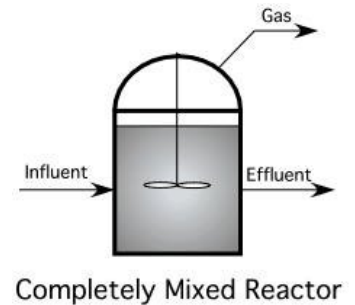
Ce tipuri de fermentatoare pot fi folosite pentru producerea biogazului?

Fermentatoarele anaerobe folosite în producerea de biogaz din dejecții de animale au capacitatea de a capta metanul și de a reduce numărul bacteriilor coliforme fecale, însă diferă în ceea ce privește costul, climatul la care se pretează și concentrația dejecțiilor care se pot procesa.

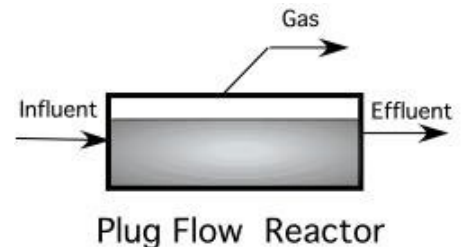
Laguna acoperită constă dintr-un bazin (lagună) acoperit, care captează gazul produs în timpul descompunerii dejecțiilor. Acest tip de fermentator este cel mai puțin costisitor și se pretează pentru dejecții lichide (sub 3% solide). Laguna este acoperită cu o folie din material impermeabil prinsă în mod etanș de marginile lagunei după o bordură de beton. Biogazul se acumulează sub folie, de unde este preluat printr-o conductă. Cu toate că necesită investiții reduse, lagunele acoperite necesită volume mari de dejecții, climat cald și zone cu pânză de apă freatică la adâncimi mari.



Fermentatoarele cu agitare convertesc materia organică la biogaz într-un rezervor încălzit deasupra sau sub nivelul solului. În acest rezervor se face o agitare mecanică sau prin barbotare (recirculare) de gaz pentru a menține solidele în suspensie. Astfel de fermentatoare costă mai mult și sunt mai scumpe de întreținut. Se pretează pentru volume mari de dejecții și cu conținut în solide între 3 și 10%. Fermentatorul poate fi o structură cilindrică de oțel sau din beton turnat. Menținerea unei temperaturi optime în fermentator poate reduce timpul de retenție a dejecțiilor la mai puțin de 20 zile.



Fermentatoarele cu deplasare (cu curgere de tip piston, sau plug-flow) se pretează pentru dejecții care conțin între 11 și 40% solide. O instalație tipică plug-flow include un sistem de colectare a dejecțiilor, un bazin pentru omogenizare și fermentatorul ca atare. În bazinul de omogenizare se ajustează proporția de solide în dejecții prin adaos de apă. Fermentatorul este un bazin rectangular, lung, de obicei sub nivelul solului, acoperit ermetic cu un material impermeabil. Materialul pompat în fermentator împinge materialul existent spre capătul opus (curgere tip piston).

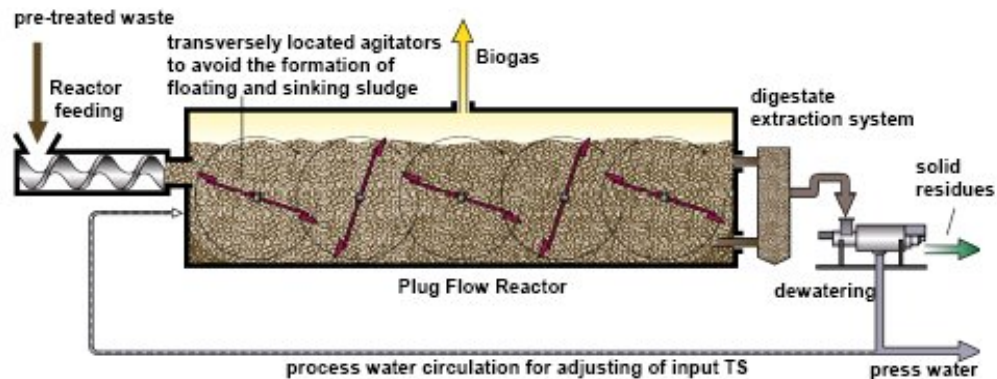


Pe măsură ce solidele din dejecții sunt descompuse, formează un material vâcos, limitând separarea solidelor în rezervor și constituind „pistonul” care împinge lichidul. Timpul mediu de retenție a dejecțiilor în fermentator este de 20-30 zile. Un astfel de model de fermentator necesită un minim de lucrări de întreținere. Căldura degajată de motorul-generator care transformă gazul în electricitate, poate fi folosită pentru a încălzi fermentatorul. În interiorul acestuia un sistem de conducte permite circulația apei calde pentru a menține temperatura între 25-40°C, temperatura optimă pentru bacteriile metanogene.

1. Caracteristicile reactorului

- _ Tehnologie robustă de amestecare cu palete
- _ Flexibilitate în ceea ce privește tipul de substrat (cu conținuturi diferite de substanță uscată)
- _ Reactorul poate procesa substraturi cu un conținut de 15-40 % DS
- _ Degradarea substratului aproape completă
- _ Tipul de amestecare reduce riscul separării prin plutire și sedimentare
- _ Amestecarea permite transportul sedimentelor în sensul dorit
- _ Reactorul este construit în întregime din beton armat turnat sau prefabricat
- _ Evacuarea digestatului se face cu un sistem de vacuum, fără piese în mișcare (se elimină riscul defecțiunilor datorate abraziunii, forfecării, șocurilor mecanice)

- _ Alimentarea cu substrat se face printr-un sistem de transportator tip melc
- _ Întreținere simplă, durata de funcționare îndelungată
- _ Garanția igienizării în operați termofile datorită timpului de retenție bine definit în reactorul plug flow.

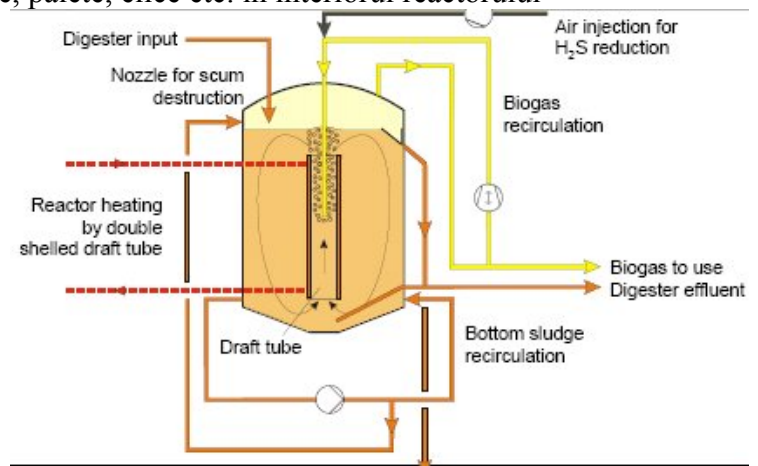


2. Caracteristicile amestecării

- _ Mai multe amestecătoare tip paletă perpendiculare pe direcția curgerii
- Eliminarea riscului separării prin plutire și sedimentare
- Omogenizarea substratului în fiecare secțiune a reactorului
- _ Construcția orizontală a reactorului permite obținerea unei suprafețe mari de lichid pentru emisia de gaz
- _ Eliminarea tensiunilor, torsiunilor și a vibrațiilor în comparație cu late tehnologii de amestecare
- _ Pretabilitatea reactorului pentru substraturi cu vâscozități diferite
- _ Consum redus de energie pentru amestecare datorită rezoluției lente a paletelor și a operației intermitente a fiecărui amestecător

Reactorul Air-lift

- Nu există piese în mișcare ca agitatoare, axe, palete, elice etc. în interiorul reactorului
- Nu sunt făcute orificii în pereții reactorului pentru introducerea agitatoarelor
- Costuri de întreținere reduse datorită absenței lagărelor, agitatoarelor
- Reducerea pericolelor de explozie datorită lipsei lagărelor, a pieselor de etanșare cu risc de scurgeri de gaze
- Activități de întreținere doar în exteriorul reactorului
- Tubul draft poate fi confecționat cu pereți dublii, pentru încălzirea procesului



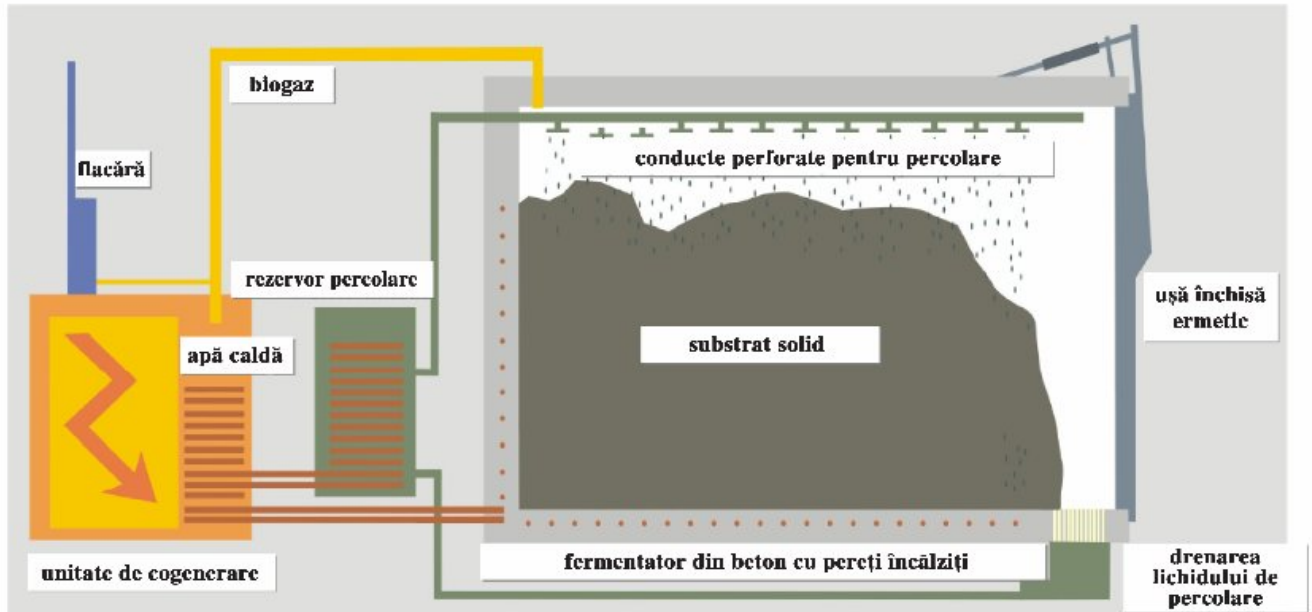
Eficiența agitării

- Omogenizarea optimă pe verticală a substratului datorită tubului draft
- Rata ridicată a circulației lichidului, de 2 până la 6 ori per oră a întregului volum
- Permite producerea cu ușurință a gazului datorită condițiilor perfecte de dezvoltare a microorganismelor
- Reducerea riscului acidifierii la partea inferioară a fermentatorului datorită saturării cu CO_2 în timpul amestecării verticale
- Lipsa agitării mecanice elimină forțele de forfecare care pot distruge celulele bacteriene sau pot dezintegra aglomerările multicelulare realizate de microorganisme.

Fermentatoare în substrat solid

În agricultură, marea majoritate a sistemelor de fermentație anaerobă și producere a biogazului sunt sisteme lichide de fermentație, sau fermentație în sistem submers, cum sunt denumite în industria de profil. Aceasta se datorează faptului că majoritatea sistemelor de evacuare a gunoierului din fermele din vest duc la obținerea dejecțiilor în stare lichidă. Chiar și în cazurile în care se obțin dejecții solide,

Fermentație în substrat solid cu percolare



BEKON, 2002

pentru a le fermenta și a produce biogaz, companiile specializate în acest domeniu propun sisteme de fermentație lichidă. Astfel, materia solidă se amestecă cu volume mari de apă, se folosesc fermentatoare de capacități foarte mari, iar după fermentație, solidele trebuie separate din nou de faza lichidă. Oare nu se pot elimina aceste etape tehnologice, astfel încât ceea ce este în stare solidă să poată fi procesat fără a-l mai trece printr-o suspensie apoasă? Recent am vizitat Universitatea Hohenheim din Stuttgart și am aflat că cercetătorii de aici au dezvoltat un sistem de fermentare a biomasei solide cu producere de biogaz. Aceștia s-au gândit să transfere sistemul aplicat la biodegradarea deșeurilor solide orășenești la degradarea dejecțiilor și a biomasei din ferme cu producere de biogaz. Pentru că în ferme se obțin cantități mult mai mici de dejecții sau reziduuri solide decât deșeurile din așezările omenești, nu se poate prelua sistemul continuu, automatizat aplicat în acest din urmă caz, ci este nevoie să se aplice sistemul de fermentare *în șarje*, sau *sistem batch*, termen folosit în industria de profil. Acest sistem constă în umplerea fermentatorului o singură dată, acesta se închide, fermentația durează câteva săptămâni, după care se deschide, se descarcă biomasa fermentată și se umple din nou cu o altă șarjă de fermentație. Nu există amestecare în acest sistem, doar porțiuni din materialul fermentat rămân în fermentator ca inocul (maia) pentru inițierea fermentației următoare. Pentru că producția de biogaz fluctuează în timpul fermentației, fiind 0 la început, apoi crește atingând producția maximă, după care începe să scadă pe măsură ce substanța organică este consumată, se impune construirea mai multor fermentatoare, dispuse în baterie, astfel încât fiecare să se afle într-o altă fază de fermentație, astfel se va obține o producție continuă de biogaz. Fermentatoarele au o construcție simplă, mult mai simplă decât fermentatoarele pentru fermentație lichidă. Majoritatea sistemelor de fermentație în substrat solid folosesc fermentatoare de *tip garaj*. Practic sunt încăperi din

beton armat, închise ermetic, în care se introduce substratul solid. La partea superioară sunt dispuse un sistem de conducte perforate prin care substratul solid se stropește cu lichid. Lichidul este percolat prin toată masa solidă și se acumulează la partea inferioară într-un rezervor, de unde este pompat din nou în conductele perforate pentru a fi împrăștiat pe biomasa solidă. Această spălare a substratului solid se face de obicei de două ori pe zi, timp de 15 minute. Substratul folosit trebuie să fie de o structură care să permită circulația lichidului prin toată masa solidă. De aceea, nu se folosesc materiale cu grad mare de compactare (cum sunt fecalele de vacă), sau dacă se folosesc, acestea trebuie bine amestecate cu materiale care să le confere textură și afânare, pentru circulația lichidului (paie tocate, substrat vegetal etc). Cele mai bune rezultate se obțin cu fecalele de cal, care au o structură mai fibroasă și mai afânată. De asemenea, s-au obținut rezultate bune cu gunoiul de la ferme avicole, în care se folosește așternut permanent. În cazul în care se folosesc materiale solide cu grad mare de compactare, se formează zone prin care lichidul se scurge și zone în care lichidul nu ajunge niciodată și unde materialul rămâne nedegradat. Lichidul are un rol crucial în fermentarea materialului solid, pentru că reprezintă cărașul microorganismelor care fermentează materia organică. Dezvoltarea lor se inițiază doar în unele zone din materia solidă, iar prin trecerea periodică a lichidului prin substratul solid, acesta va spăla celulele de microorganisme la trecerea prin substrat și le va împrăști pe toată masa substratului pe la partea superioară. Prin curgerea lichidului și prin alte zone ale substratului, acesta va duce microorganismele metanogene în zone în care acestea au lipsit. Această percolare se face pentru că în sistemul de fermentație în substrat solid nu există amestecătoare ca în sistemul lichid, pentru a obține un amestec omogen de substrat și microorganisme metanogene.

Compararea sistemului de fermentație în substrat solid cu sistemul în substrat lichid

Criteriul	Fermentația în substrat solid	Fermentația în sistem submers (lichid)
Substratul	Solid, umed (max. 50% solide totale)	<i>Lichid, pompabil (max. 13% solide totale)</i>
Tehnologia	Preamestecarea componentelor, circulația lichidului prin percolare, inundare	<i>Omogenizare</i>
Probleme posibile	Sistemul de percolare (site, injectoare înfundate)	<i>Spumare, depuneri, materii plutitoare, pompe blocate, agitatoare deteriorate</i>
Echipamentul	Module, fermentatoare în baterie	<i>Complex, operare continuă, multifazică</i>
Disfuncționalități	Afectează un singur modul sau o șarjă	<i>Afectează întreg sistemul</i>
Consum de energie în proces	Redus (doar pentru pompele de percolare, de putere mică)	<i>Mare, efort pentru omogenizare, pompare</i>
Densitatea energetică a substratului	Mare	<i>Redusă</i>
Emisii	Scăzute	<i>Ridicate</i>
Substrat necesar	Gunoi de grajd solid	<i>Dejecții lichide</i>

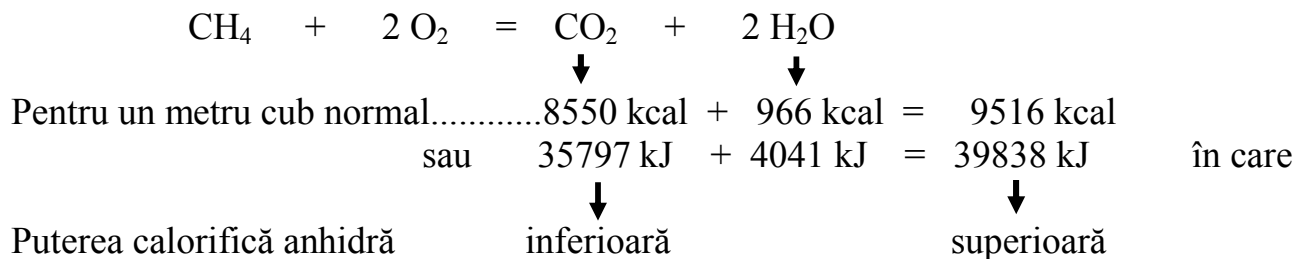
BIOGAZUL ȘI CO-GENERAREA

Introducere

Componenta energetică a argumentației ce pledează în favoarea acțiunii de producere a biogazului devine, în condițiile crizei energetice actuale din ce în ce mai importantă. Desigur mai există și celelalte componente: ecologică, socială, pedologică, dar ponderea primei tinde să crească mai ales în urma conturării tot mai evidente a crizei resurselor de combustibili fosili precum și pericolului încălzirii globale ca rezultat al activității umane din care cel mai important este cel al efectului de seră. Biogazul se produce în natură și fără intervenția omului. Deșeurile organice biodegradabile produc – în mod neregulat – cantități mari de biogaz iar metanul conținut de acesta produce un efect de seră de peste 20 de ori mai mare decât cel produs de dioxidul de carbon. Este important, deci, ca biogazul să se producă în mod dirijat, fiind apoi utilizat fie direct, în focarele unor unități termoelectrice fie, așa cum vom expune în continuare, în unități de co-generare a energiei electrice și a celei termice în mod concomitent.

Date de bază ale co-generării

Principiul co-generării constă în transformarea energiei chimice a reacției dintre metan și oxigen în energie termică și energie electrică. Reacția cunoscută a arderii poate fi fracționată energetic, astfel:

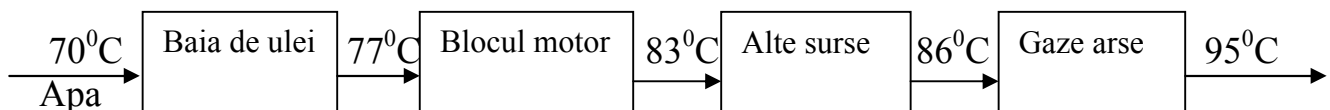


Co-generarea constă în utilizarea biogazului, în calitate de carburant, într-un motor termic ce antrenează un generator electric.

Se cunoaște faptul că randamentul mecanic al unui motor termic, în funcție de gradul de modernitate al lui, se situează între 28% și 32% din energia totală furnizată de carburant. În mod obișnuit, restul energiei se pierde sub formă de căldură, disipată de blocul motor, de baia de ulei și de gazele de ardere. Utilajele moderne de co-generare recuperează o mare parte a acestor pierderi și le oferă sub formă de apă fierbinte astfel încât randamentul total energetic ajunge în jur de 90%. Din această cantitate cca. o treime se obține sub formă de energie electrică iar restul sub formă de energie termică.

În diagrama de mai jos e prezentat modelul tipic în care se face recuperarea căldurilor disipate de către motorul termic al co-generatorului. Ca exemplu cifric a fost luat un co-generator cu o putere termică recuperată de 1100 kW:

$$\text{Putere} \quad 125 \text{ kW} \quad + \quad 335 \text{ kW} \quad + \quad 180 \text{ kW} \quad + \quad 464 \text{ kW} = 1100 \text{ kW}$$



Pentru realizarea recuperărilor din diagrama exemplificată debitul de apă trebuie să fie de 47-48 m³/h.

Returul apei, după utilizarea energiei termice, nu trebuie să depășească 70°C.

În felul acesta temperatura în baia de ulei nu depășește 85°C, cea din blocul motor va fi de maxim 90°C, cea din alte surse (mecanisme, transmisii etc.) va fi de cel mult 93°C iar temperatura gazelor arse va scădea de la 427°C la 180°C.

Tipuri de co-generatoare

Cel mai important criteriu de clasificare a utilajelor de co-generare le împarte în două categorii:

- a. Dependente, la care generatorul electric de tip asincron, este comandat în frecvență de către rețeaua în care debitează curentul electric produs și care, astfel, nu poate funcționa decât dependent de acea rețea electrică:
- b. Independente sau insularizate, la care generatorul electric este de tip sincron, excitat electric astfel încât să furnizeze energia electrică la parametri prestabiliți de către producător în ceea ce privește tensiunea și frecvența.

Primele sunt interesante în cazurile în care co-generarea de energie electrică are ca obiectiv exclusiv debitarea în rețea a energiei electrice produse. Avantajul acestora este că sunt mai ieftine iar dezavantajul major e acela că, atunci când, din diferite motive, rețeaua cade, ele nu mai pot funcționa.

Cele independente sunt indicate mai ales atunci când consumatorul de energie electrică este chiar agentul economic producător de biogaz care este interesat ca structura sa energetică să funcționeze mai ales atunci când rețeaua de energie electrică nu îi mai poate furniza curentul electric necesar procesului industrial.

Oportunitatea co-generării

Co-generarea, în cazul biogazului, este întotdeauna posibilă dar nu este întotdeauna și oportună. Să ne explicăm.

Tehnologia obținerii biogazului, care, în cele mai multe cazuri se face în regim mezofil, are nevoie de energie termică pentru întreținerea procesului fermentativ, căldură cunoscută sub denumirea de *autoconsum*. Acesta, în funcție de tipul și performanțele fermentatoarelor, este cuprins între 10 – 30% din totalul energiei produse prin biogaz. În astfel de situații energia termică furnizată prin co-generare este binevenită. Oricum, și în acest caz rămâne o cantitate de energie termică excedentară produsă prin co-generare, care e cuprinsă între 30 – 50% din potențialul energetic al biogazului produs și căreia trebuie să i se găsească o utilizare pentru a justifica economic co-generarea.

Pot exista cazuri în care substratul introdus spre fermentare este gata încălzit prin faptul că provine dintr-un proces termic. În astfel de situații sunt, de exemplu, fabricile de spirt din porumb care valorifică borhotul rezultat prin fermentare metanogenă și îl transformă în biogaz și material fertilizant. Dar acest borhot rezultă la temperatura de peste 90°C iar până în fermentator ajunge sigur la peste 65°C. În acest caz nu mai este necesar un aport exterior de energia termică echivalentă autoconsumului deoarece se valorifică în acest scop chiar căldura reziduală a substratului însuși. În astfel de situații recurgerea la co-generare este oneroasă fiindcă în sistem există un excedent de căldură iar energia termică oferită prin co-generare nu își poate găsi o întrebuințare. În acest caz, întreaga producție de biogaz este utilizabilă integral în afara sistemului de producere a lui, deci el devine în întregime biogaz

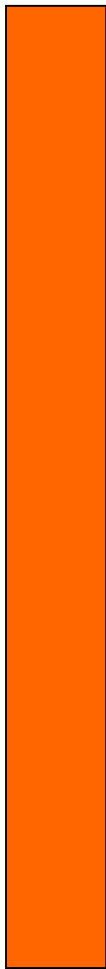
– marfă. Un studiu de caz care a fost analizat și prezentat de noi în chiar acest for științific, a arătat că biogazul produs poate acoperi, în mare măsură, nevoile energetice ale fabricii de spirt, renunțându-se, în bună parte, la consumul de gaz metan, din ce în ce mai scump și mai problematic de obținut.

A produce totuși, în astfel de situații energie electrică din biogazul rezultat prin fermentarea borhotului de la fabricarea spirtului, ar duce la situația, paradoxală din punct de vedere economic, de a se produce energie electrică în proporție de cca. 30% din potențialul energetic al biogazului și de a risipi cca. 60% din acest potențial prin neutilizarea apei calde rezultate din co-generare. În plus, unitatea ar rămâne în continuare tributară furnizorului de gaz metan ale cărui costuri ar întrece cu mult echivalentul valoric al energiei electrice produse prin co-generare.

Cele arătate mai înainte pot fi ilustrate grafic.

În diagramele ce urmează sunt prezentate distribuțiile de energie în categoriile de cazuri de co-generare.

Energia potențială
din biogaz (100%)



Distribuția energie prin
co-generare



Pierderi cca. 10%

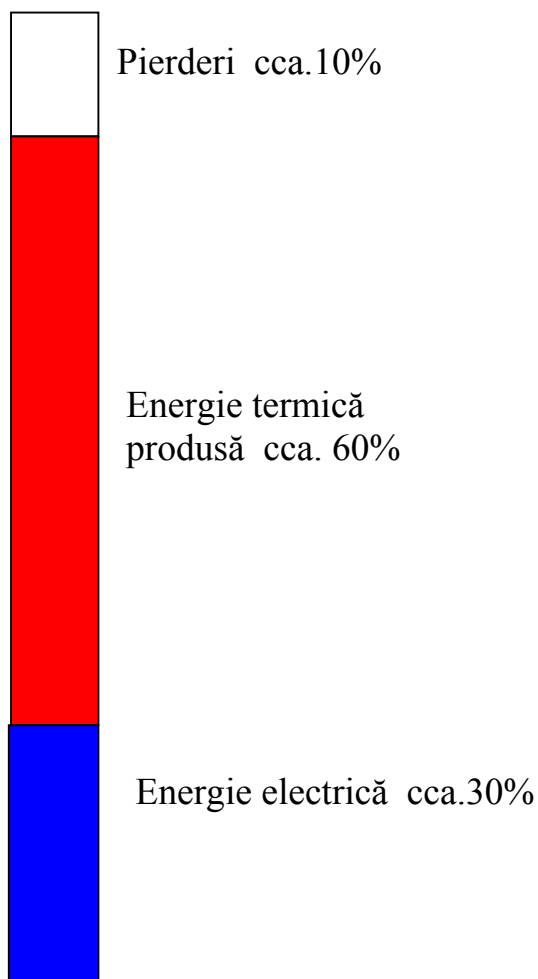
Energia termică cca. 60%

Energie electrică cca. 30%

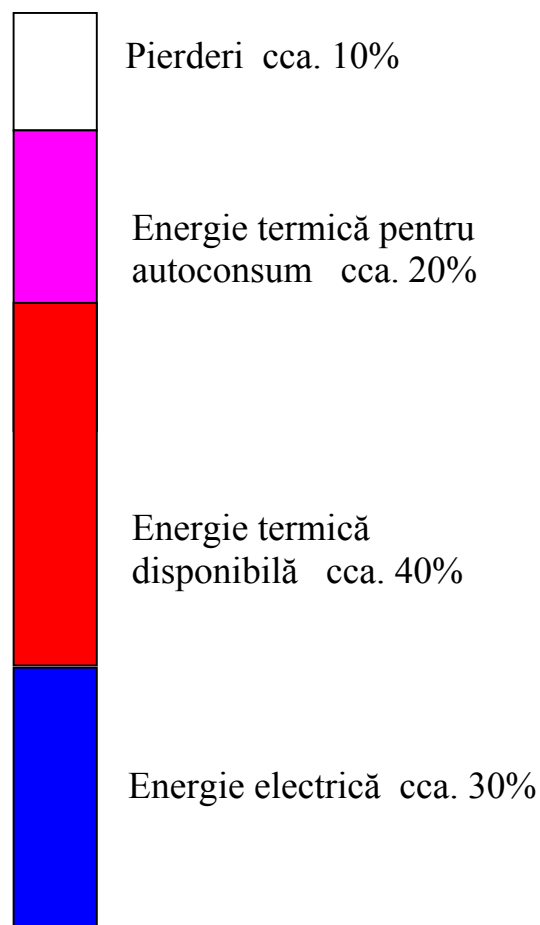
Co-generarea pune la dispoziție cca. 90% din energia potențială a biogazului.

Când prin co-generare se asigură energia termică necesară întreținerii procesului de producere a biogazului (autoconsum), distribuția de energie se prezintă ca în graficul următor:

Energie produsă prin
co-generare



Distribuția energiei produse
prin co-generare

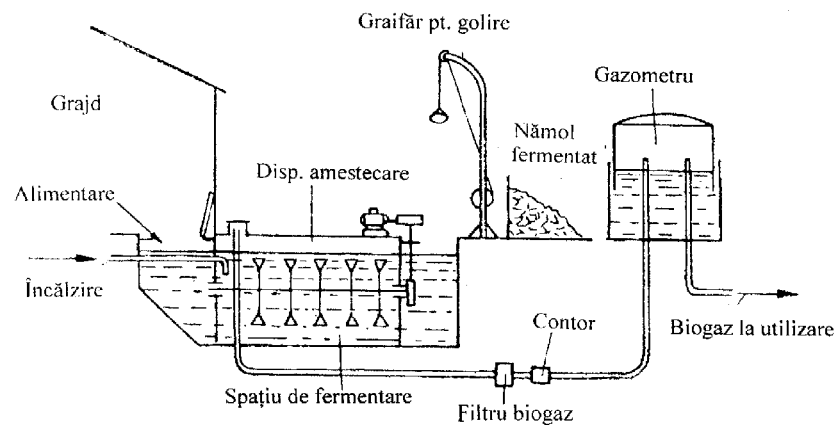


Se observă că energia valorificabilă prin co-generare, în afara procesului de producere a biogazului, se reduce la cca. 40%.

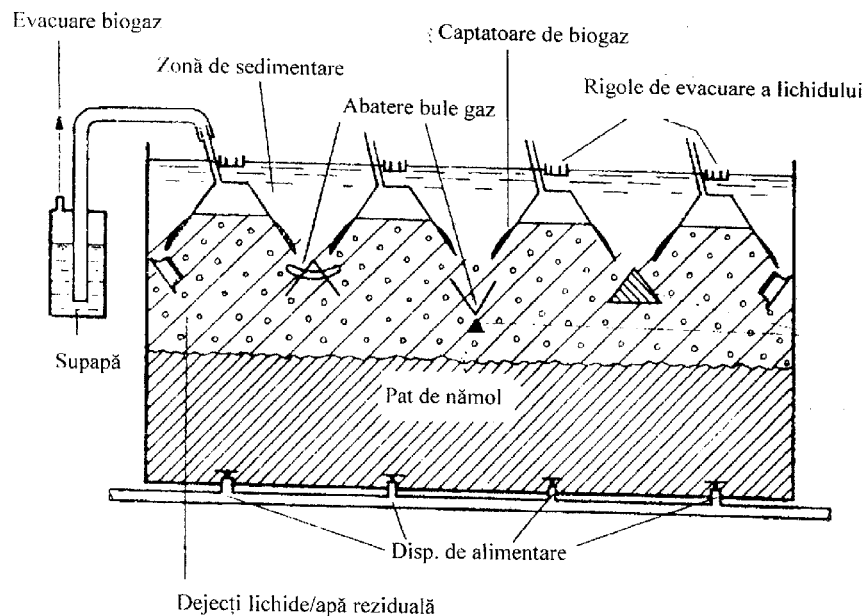
În funcție de tipul și performanțele sistemului de producere a biogazului, distribuția energiei termice utilizabile poate varia în limitele de 10 – 30% pentru autoconsum și 30 – 50% energie disponibilă pentru alte utilizări.

MODELE DE INSTALAȚII DE BIOGAZ REALIZATE DE-A LUNGUL TIMPULUI

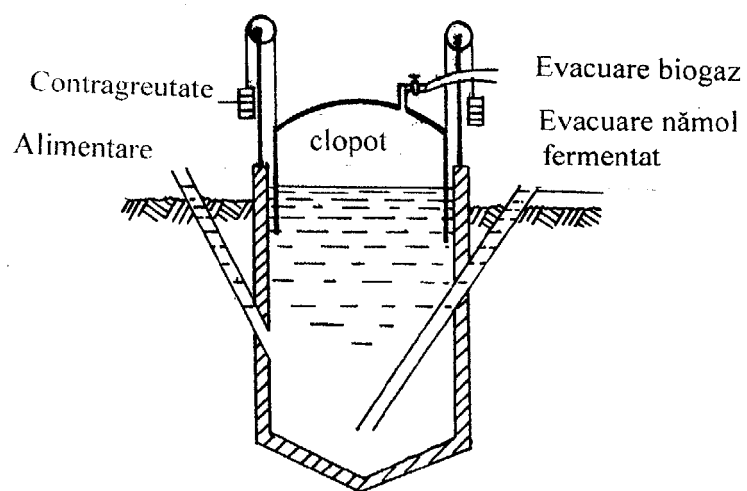
Există o varietate foarte mare de instalații de producere a biogazului. Tipurile de instalații diferă în funcție de procedeele de fermentare, de țară sau continent, de mărime, de natura materiei prime, de factori climatici etc. Aici vor fi prezentate principiile unor instalații tipice ca procedeu, apoi vor fi grupate, din punctul de vedere al capacității, în instalații mici, mijlocii și mari. În fiecare din categorii se vor arăta și realizările din România. O parte din instalațiile prezentate în acest capitol pot fi considerate ca având un caracter istoric, dar au fost reținute pentru că și ele pot cuprinde motive de inspirație tehnică pentru cei care vor să conceapă și să proiecteze o instalație de biogaz întrucât conțin soluții ingenioase pentru diferite componente ale instalației de biogaz.



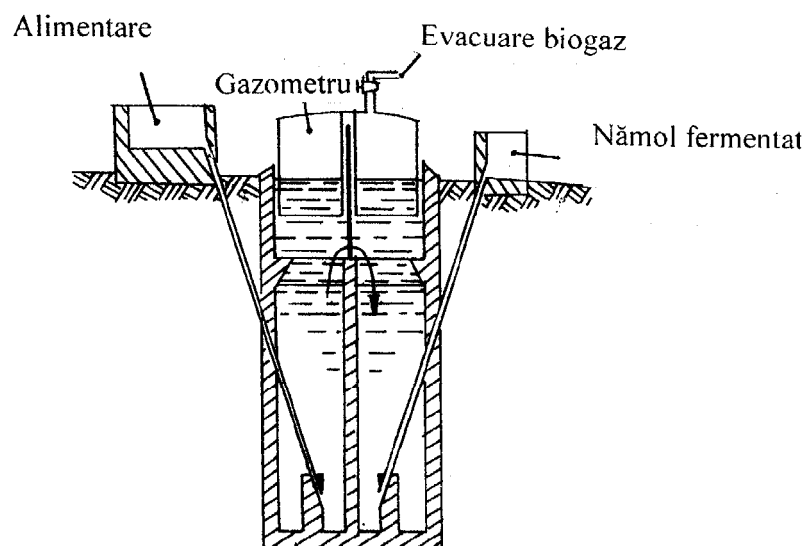
Instalație de biogaz după sistemul Darmstadt



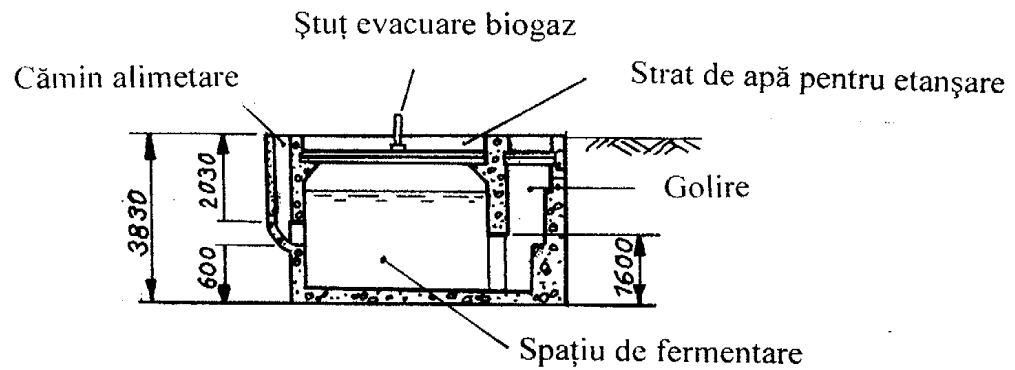
Instalație de biogaz sistem UASB – Vageningen (Anaerob de contact, Olanda 1979)



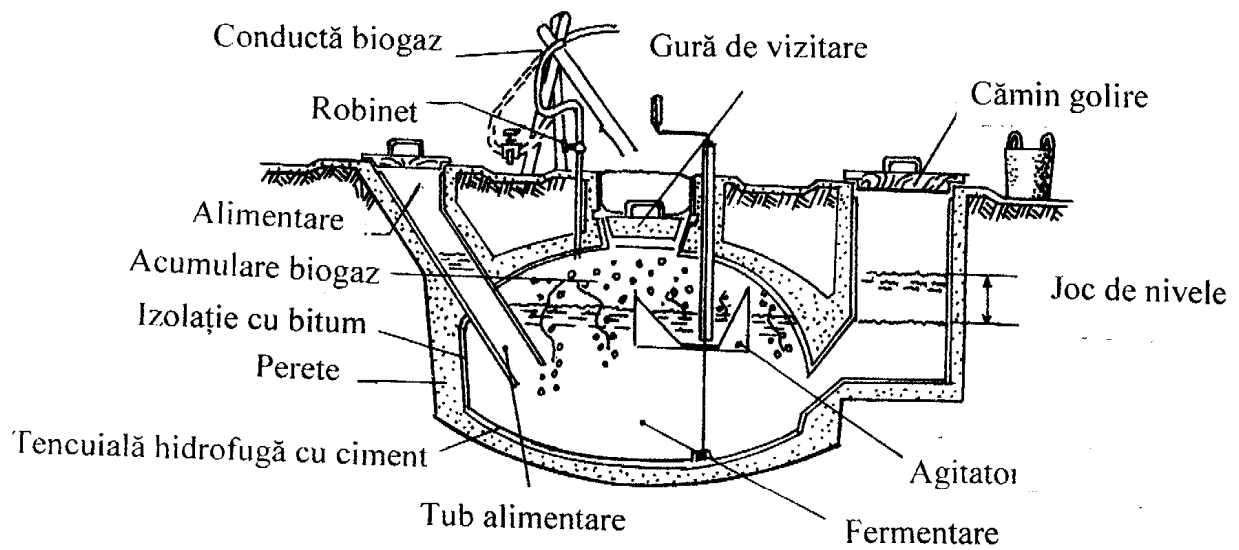
Instalație de biogaz brevet J.J. PATEL (India, 1950)



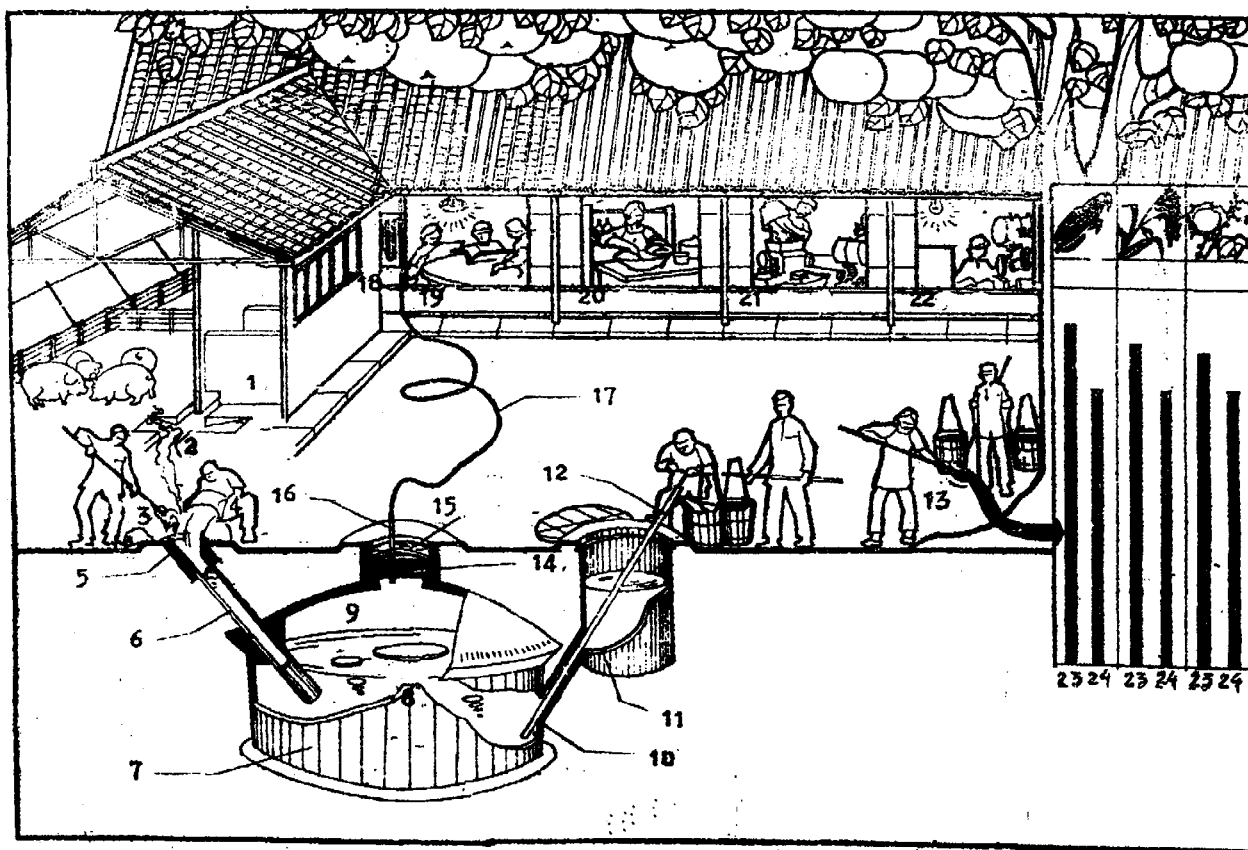
Instalație de biogaz tip KVIC



Fermentator paralelipipedic din provincia Sichuan (China)



Instalația de biogaz sistem DOM din provincia Sichuan (China)

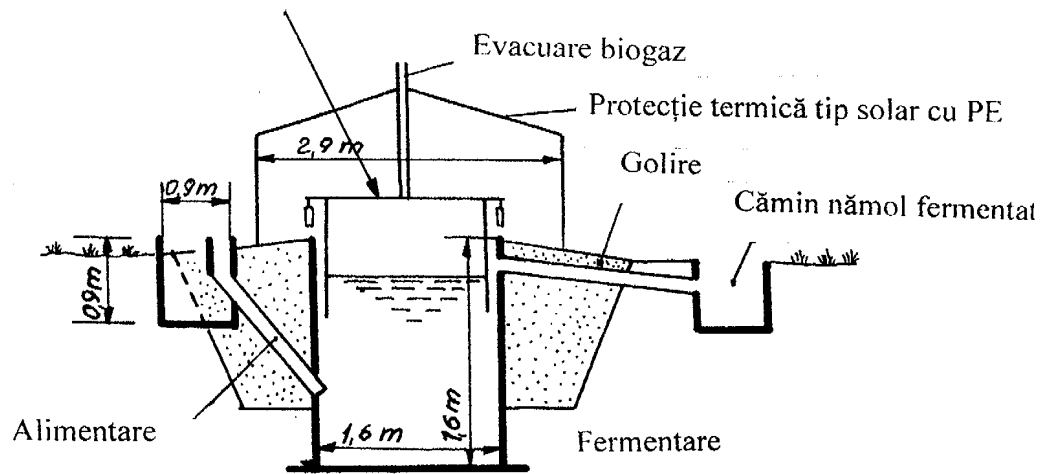


- 1- WC
- 2- Gunoi de grajd
- 3- Deșeuri ierboase
- 4- Apă
- 5- Punct alimentare
- 6- Tub alimentare
- 7- Fermentator
- 8- Spațiu util fermentare
- 9- Spațiu acumulare biogaz
- 10- Tub evacuare
- 11- Cămin nămol fermentat
- 12- Pompă nămol fermentat

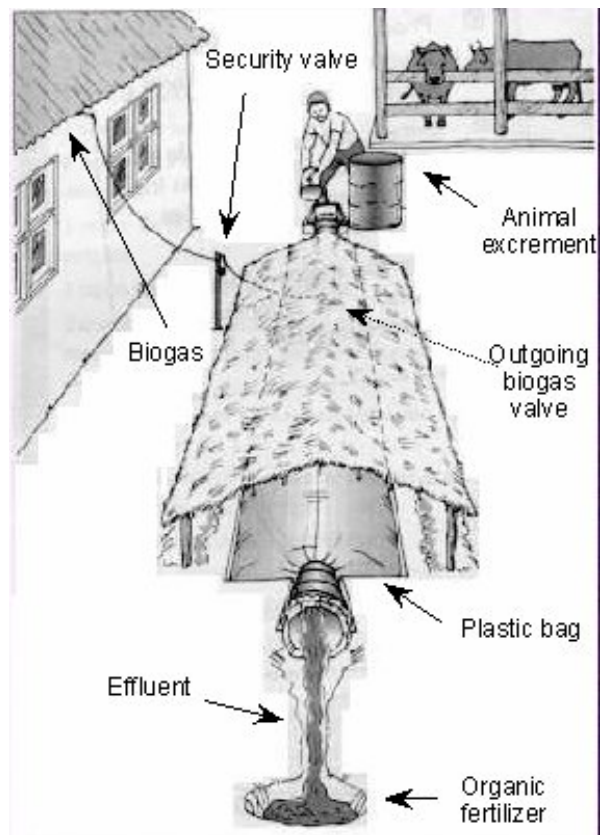
- 13- Nămol fermentat
- 14- Gură de vizitare
- 15- Zăvor hidrolic
- 16- Conductă biogaz
- 17- Tub biogaz
- 18- Contor biogaz
- 19- Iluminat casnic
- 20- Gătit
- 21- Decorticare orez
- 22- Aparatură electrocasnică
- 23- Nămol fermentat
- 24- Gunoi nefermentat

Vedere panoramică a instalației de producere și utilizare a biogazului în gospodării din China

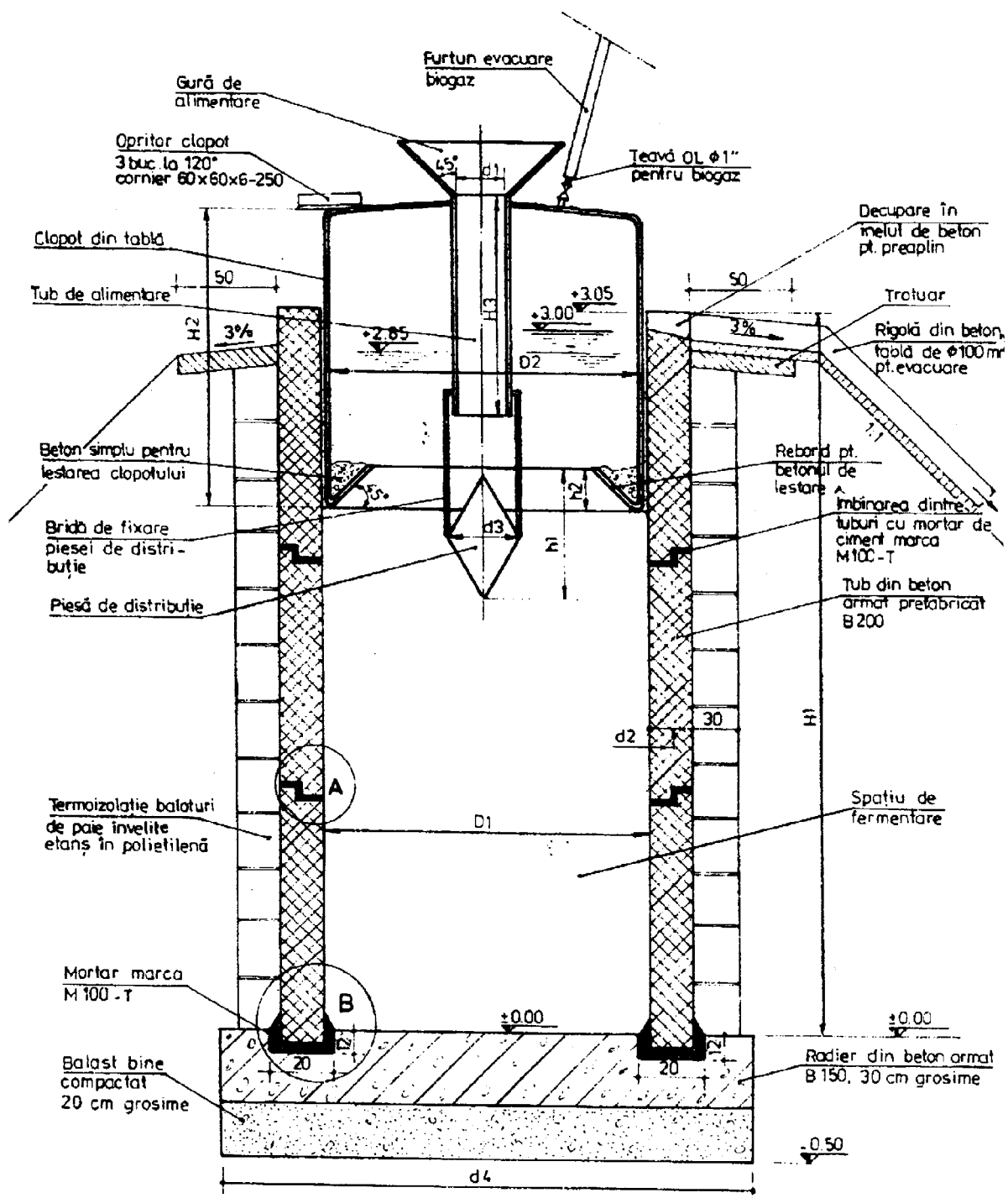
Gazometru (lemn izolat cu PE)



Instalație de biogaz din Coreea

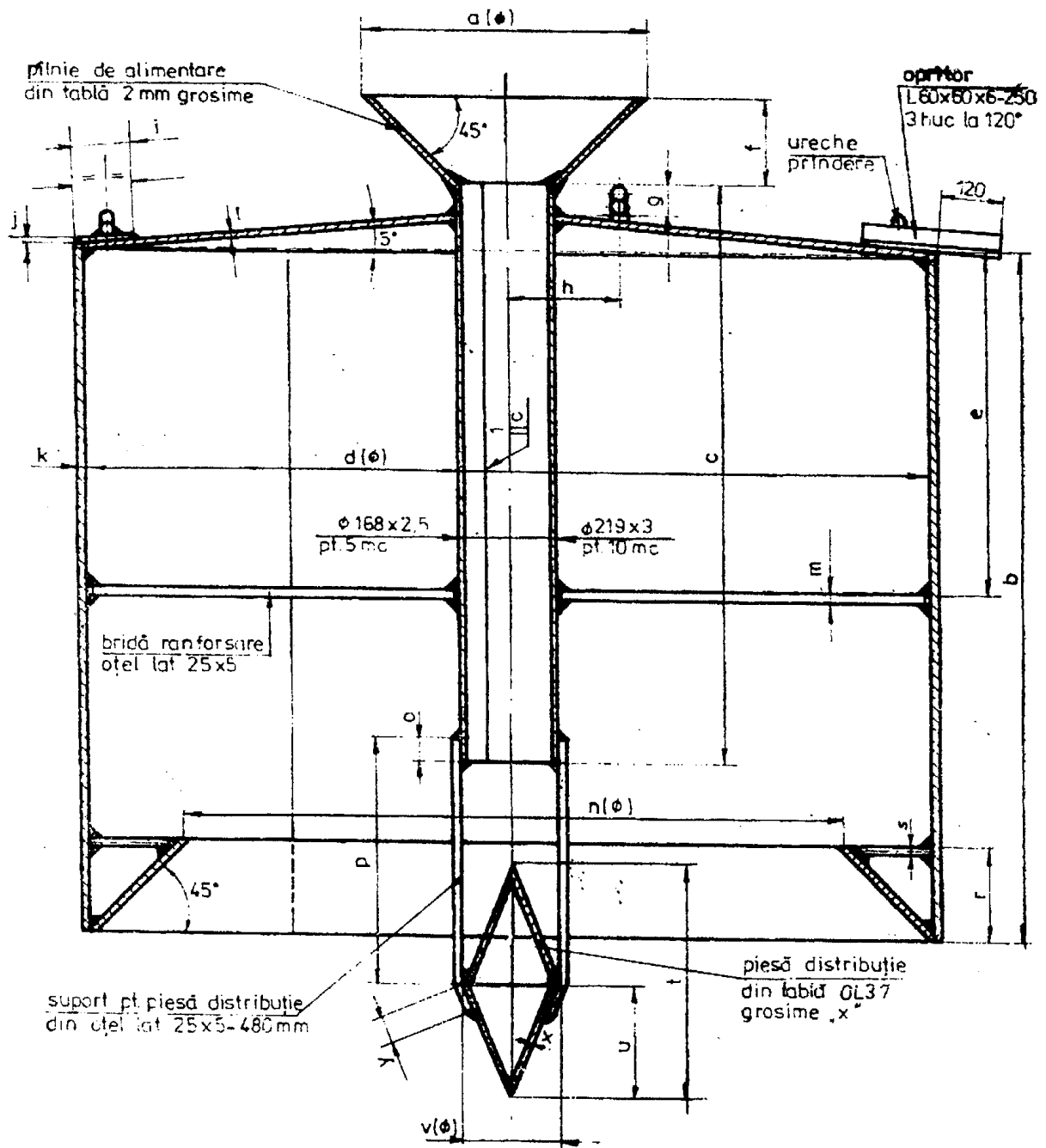


Fermentația anaerobă a dejecțiilor în Costa Rica



CAPACITATEA DE FERMENTARE	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

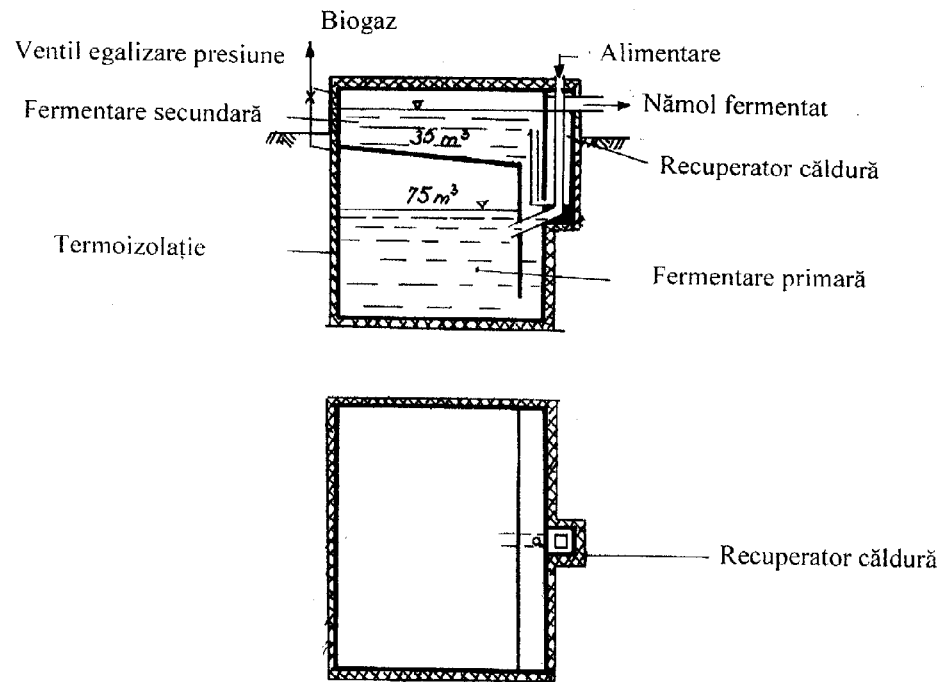
Instalație de biogaz tip ICA de 5 și 10 m³



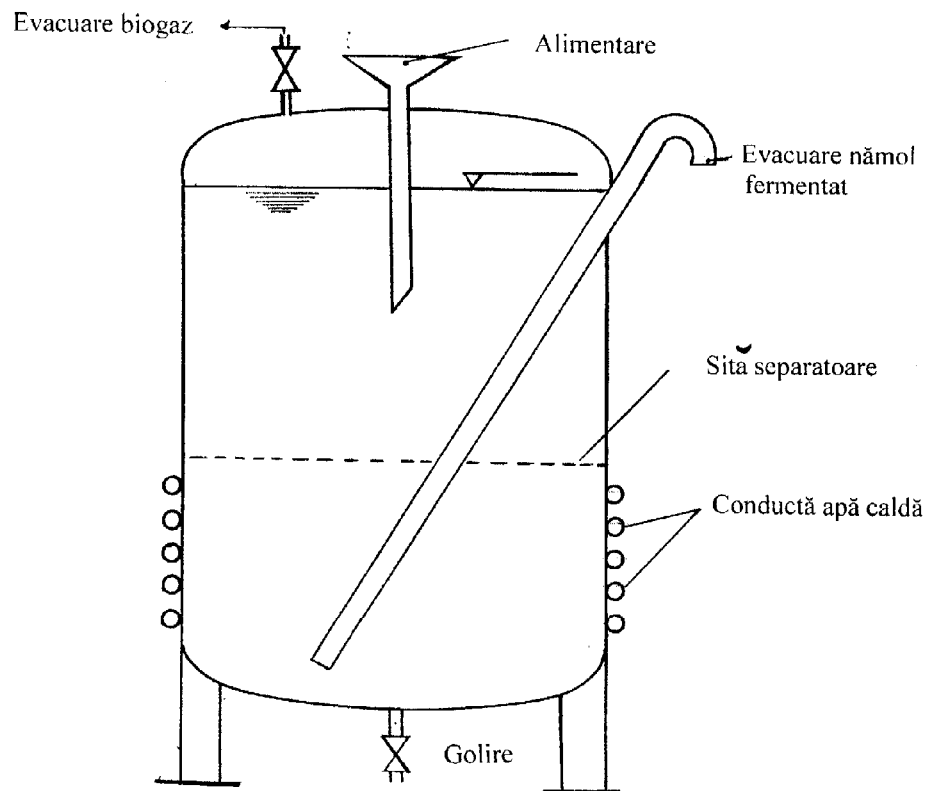
Dimensiuni în mm

Volum de fermentare	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	r	s	t	u	v	x	y
5	480	1220	1050	1470	595	155	75	184	100	2	1,5	2	25	1160	50	450	160	5	500	250	180	15	40
10	600	1320	1180	1970	650	190	100	210	100	3	3	2	25	1570	50	570	200	5	600	300	220	2	40

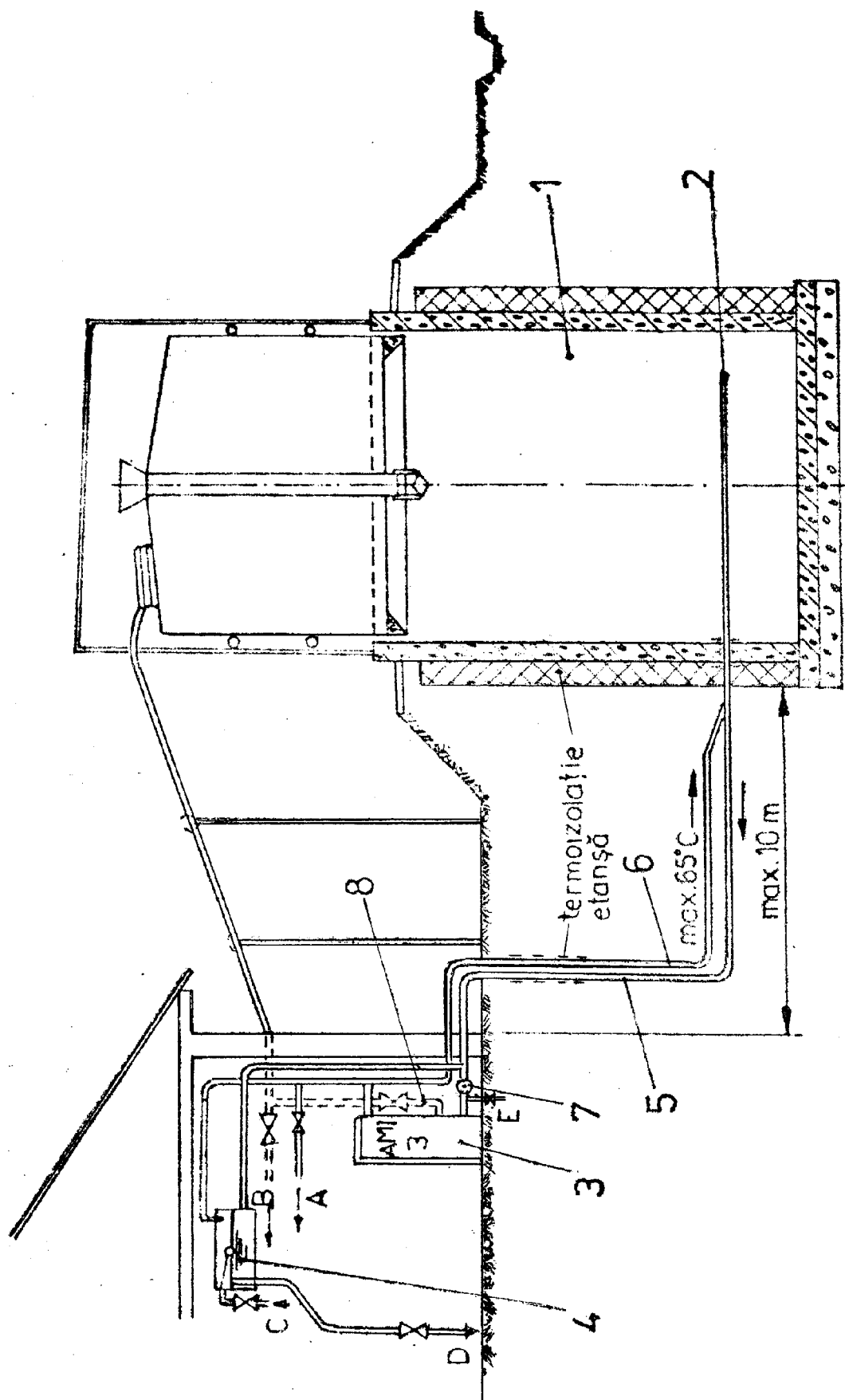
Clopot multifuncțional pentru instalațiile de biogaz de 5 și 10 m³ tip ICA



Instalație biogaz sistem BIMA – GÖBEL de 110 m^3 (Austria, Elveția)

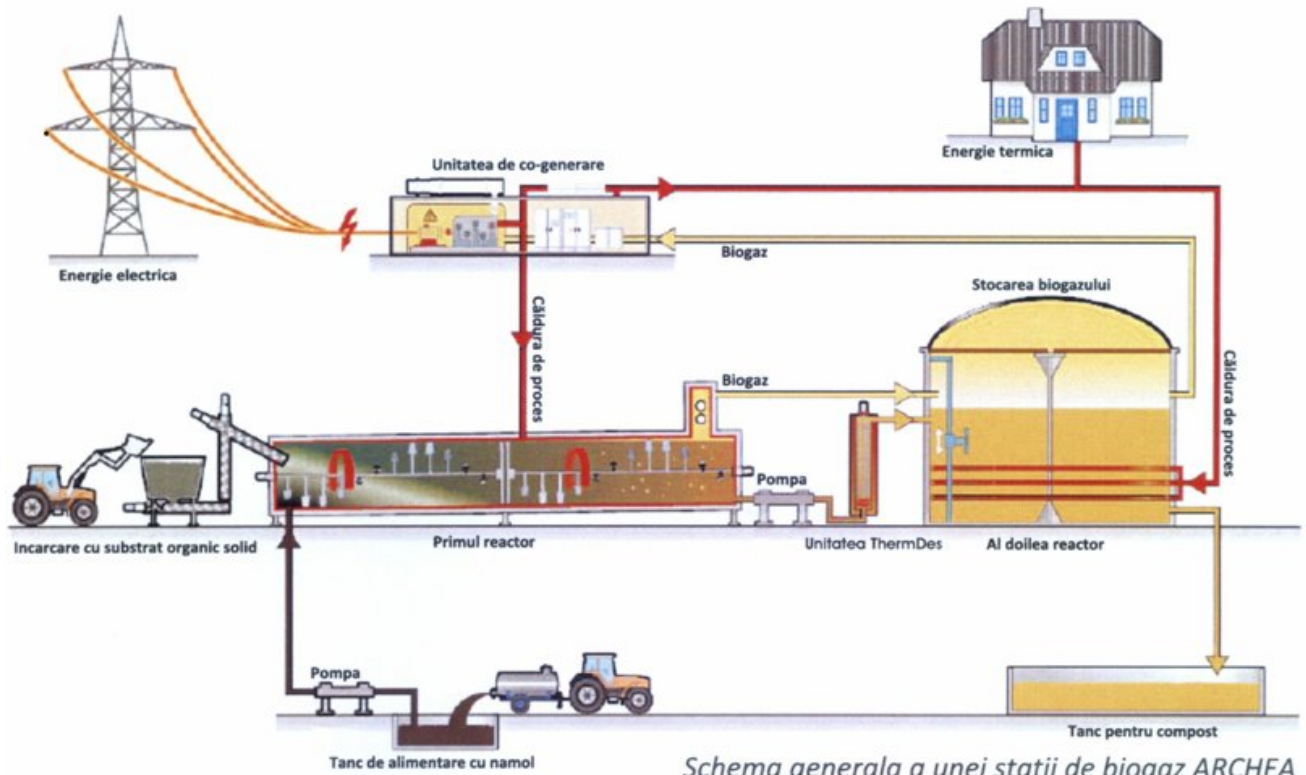


Generator de biogaz din Polonia

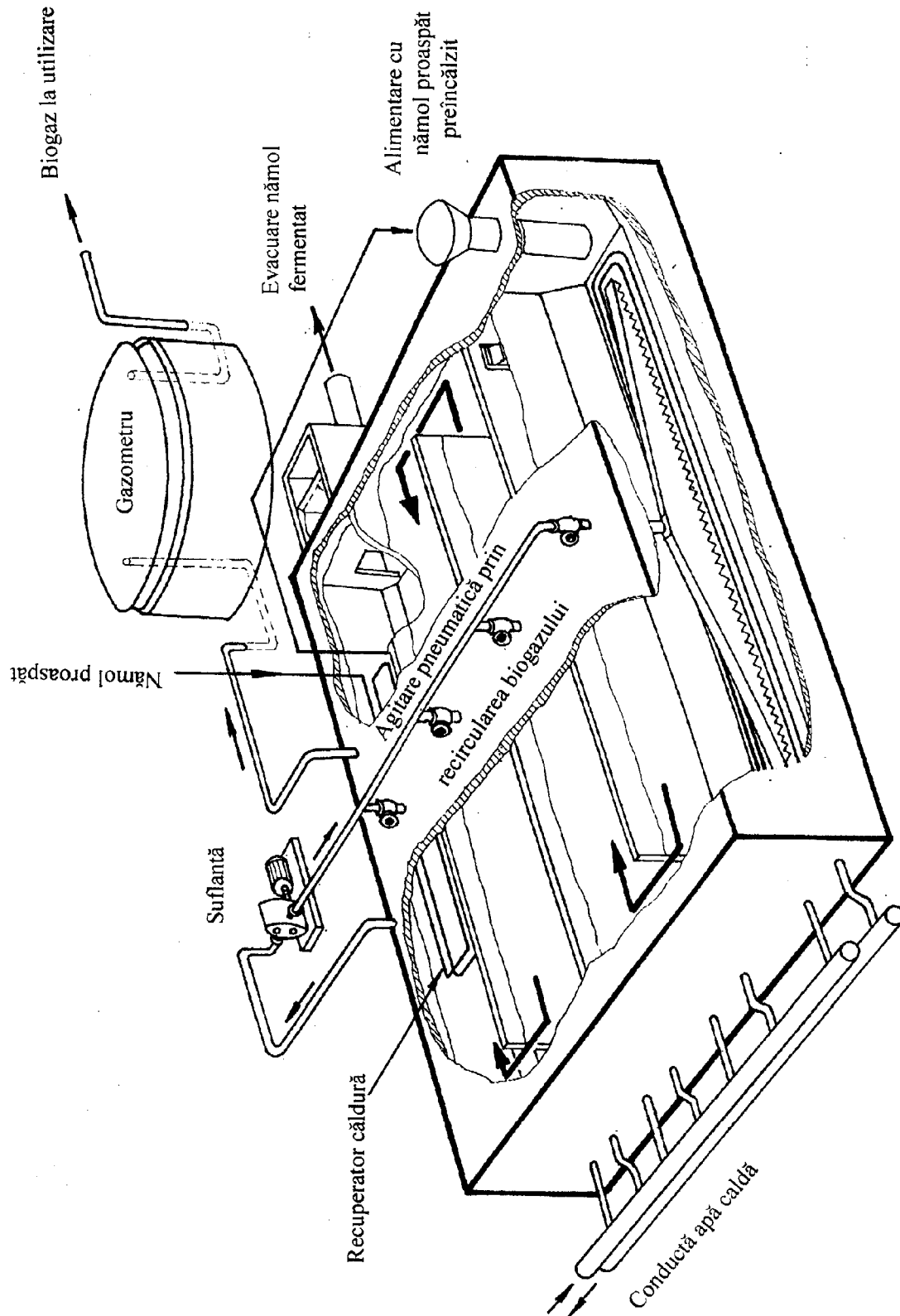


Aspectul general al instalației de biogaz tip ICA de 25 și 50 m³

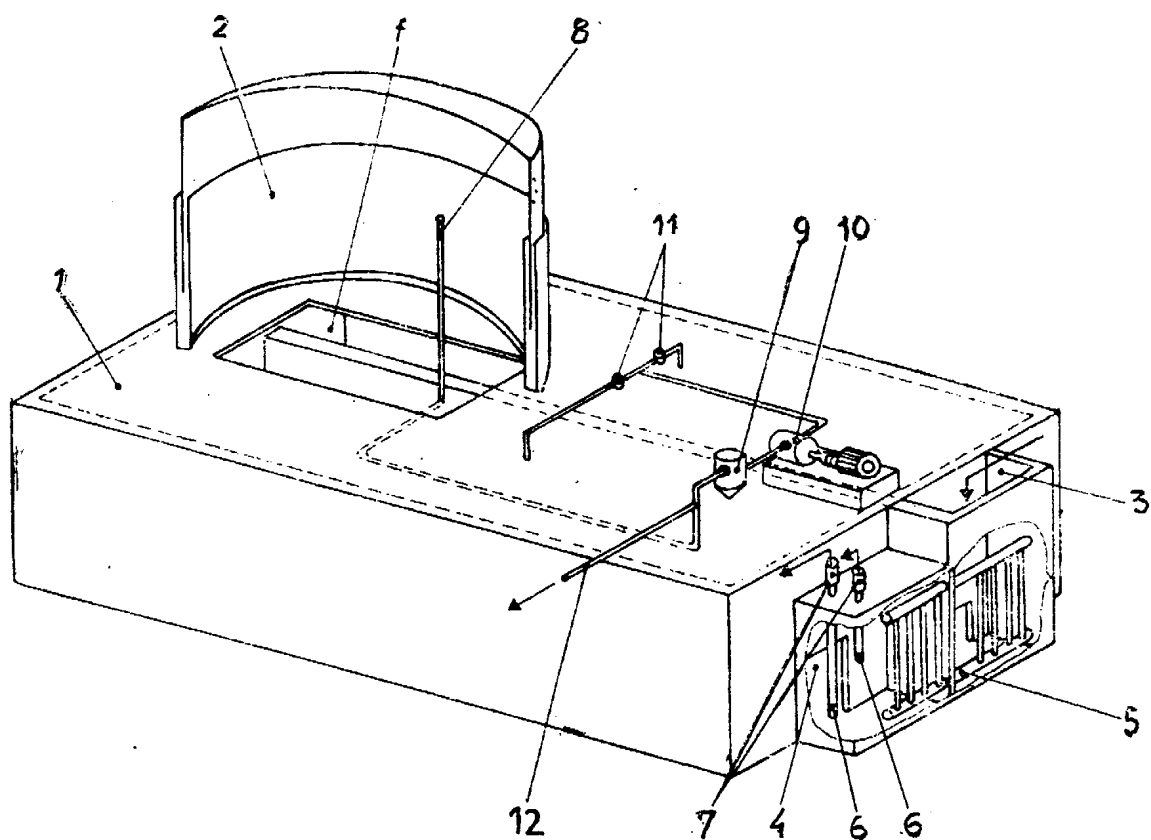
Instalație modernă de tip german (fermentatoare cu agitare mecanică)



INSTALAȚII DE BIOGAZ RECOMANDATE PENTRU FERMIERII ROMÂNI (fermentator orizontal cu barbotare)

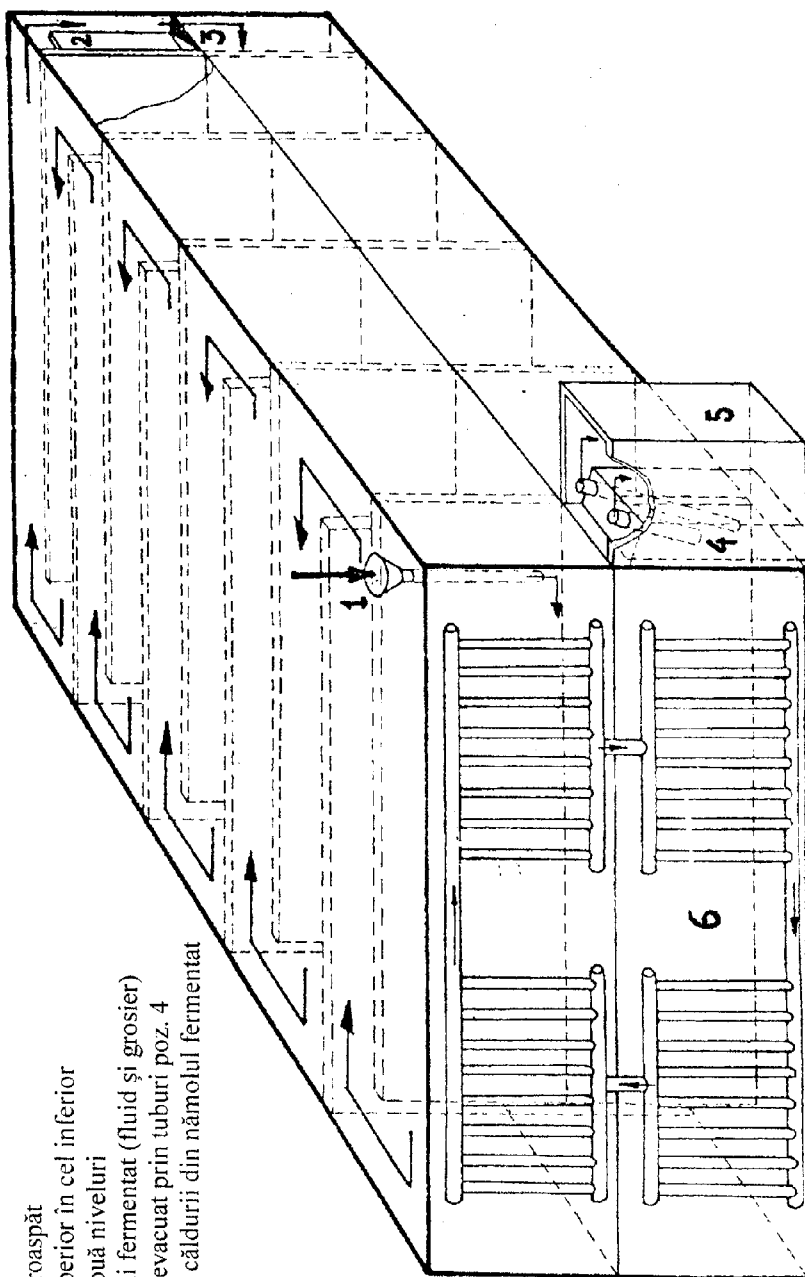


Instalație de producere a biogazului în flux orizontal
Schema de principiu



1. Corpul fermentatorului
2. Gazometru
3. Cămin alimentare nămol proaspăt
4. Cămin evacuare nămol fermentat
5. Registru cu apă pentru recuperarea căldurii
6. Conducte evacuare nămol fermentat
7. Mufe de reglare a înălțimii preaplinului
8. Conductă aspirație biogaz din gazometru
9. Separator de condens și opritor de flacără
10. Suflantă pentru agitare pneumatică a substratului prin recircularea biogazului
11. Ventile electromagnetice pentru dirijarea secvențială a biogazului refulat de suflantă
12. Conductă de biogaz spre utilizator
- f. Fantă decupată în plafonul fermentatorului pentru comunicare cu gazometru

Instalație de biogaz compactă, în flux orizontal, de capacitate medie (100 și 200 m³)



1. Pâlnie de alimentare cu material proaspăt
2. Deversor de trecere din nivelul superior în cel inferior
3. Golul de comunicare dintre cele două niveluri
4. Tuburile de evacuare a materialului fermentat (fluid și grosier)
5. Căminul de primire a materialului evacuat prin tuburi poz. 4
6. Registre cu apă pentru recuperarea căldurii din nămolul fermentat

Capacități proiectate și realizate : 1400 m³ la ferma Ioșia (Oradea)

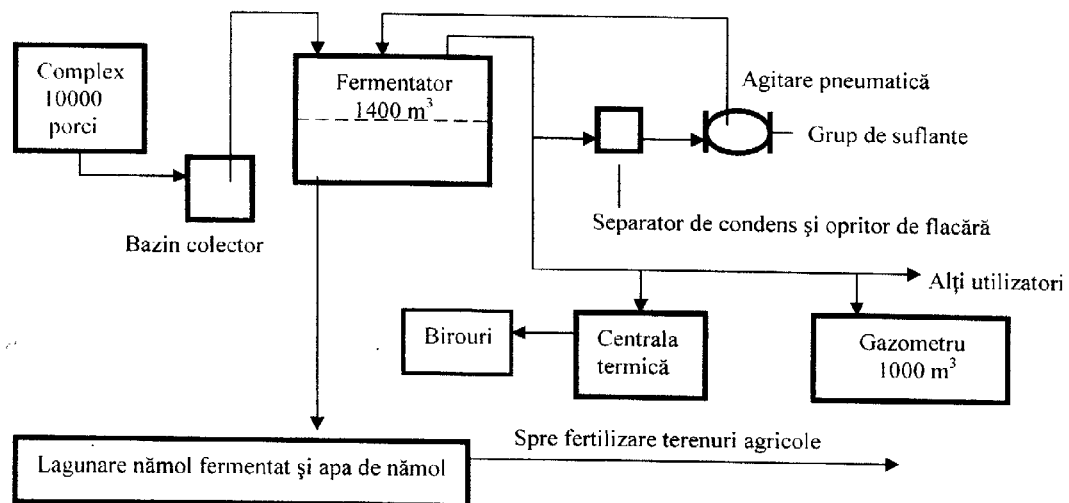
1400 m³ la I.A.S. Sascut

2000 m³ la ferma Sântăul Mic (jud. Bihor)

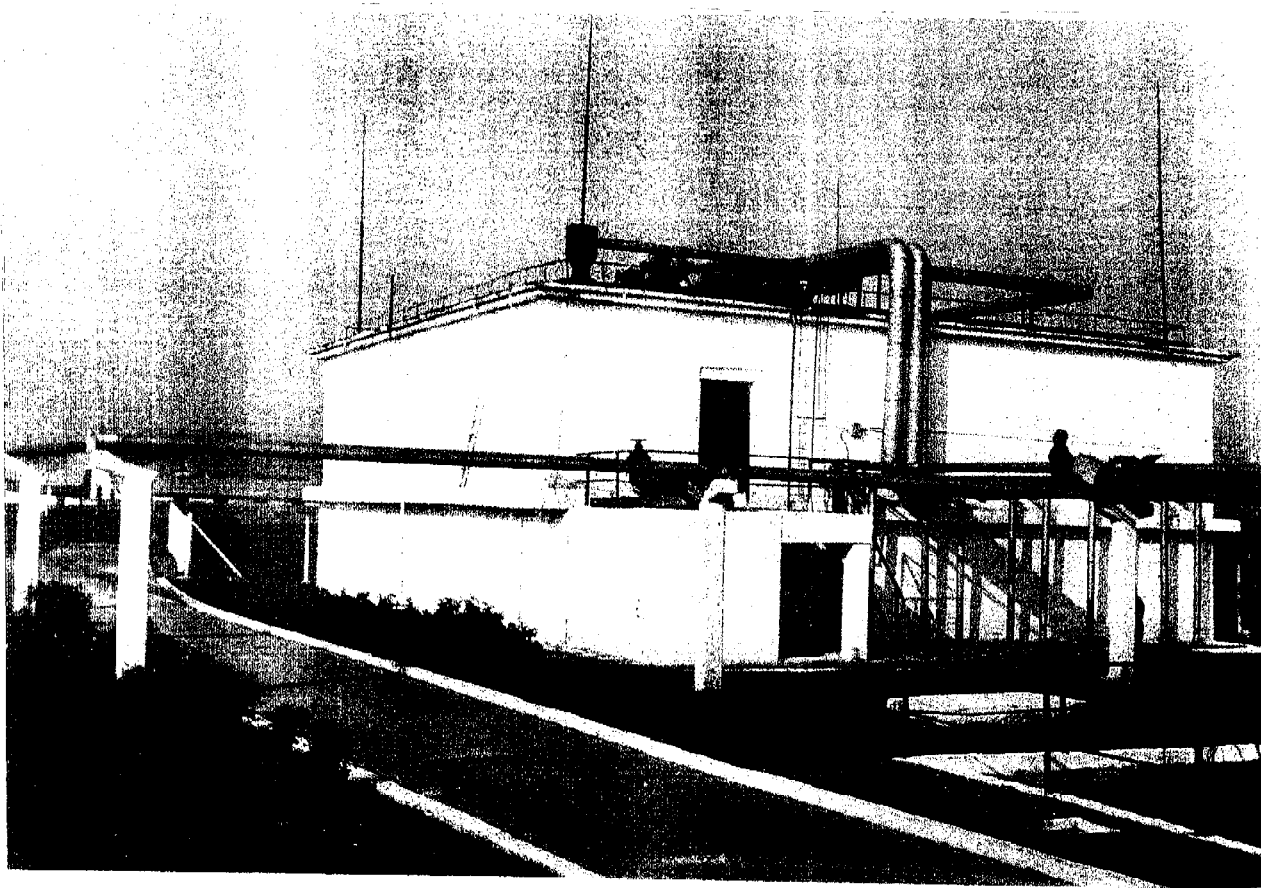
Capacități proiectate cu realizare neterminată : 3000 m³ la I.A.S. Avicola Buftea

2x3000 m³ la I.A.S. Tinca (jud. Bihor)

Schema de principiu a fermentatorului în flux orizontal cu două niveluri de circulație



Schema instalației de biogaz de la ferma Ioșia - Oradea



Fermentator în flux orizontal de 1400 m³ (Ioșia-Oradea și Sascul)

CALCULUL CAPACITĂȚII DE PRODUCERE A BIOGAZULUI ÎNTR-O FERMĂ DE 100 DE VACI. SISTEMUL DE FERMENTAȚIE – INSTALAȚIE ÎN FLUX ORIZONTAL

La Institutul de Biotehnologii Aplicate și Facultatea de Zootehnie și Biotehnologii din Timișoara se fac studii privind capacitatea de producere a biogazului din dejecții de animale și biomasă agricolă. Folosind datele obținute în cadrul studiilor noastre, am centralizat în tabelul nr. 1 veniturile care se pot obține în cazul unei ferme de 100 vaci. S-a făcut un studiu comparativ privind folosirea doar a dejecțiilor ca materie primă față de cazul adăugării de porumb siloz la dejecțiile existente în fermă.

Calcul estimativ privind capacitatea unei ferme de 100 de vaci de a produce energie din biogaz

Specificație	Doar dejecții	din Dejecții cu siloz de porumb
Nr. vaci	100	100
Producția de dejecții		
kg/vacă/zi	50	50
Total (tone/zi)	5	5
Siloz de porumb (cu 30% SU)		
Total (tone/zi)	0	15
Apă diluție la 10% SU	0	30
Fermentator		
Volum, m ³	100	1000
Timpul de retenție (zile)	20	20
Producția de biogaz		
Din dejecții (m ³ /tonă)	32	32
Per tonă siloz (cu 30% SU)	0	100
Total (m ³ /zi)	160	1500+ 160
Producția de energie electrică		
Per vacă (kWh/zi)	2,5	2,5
Per tona de porumb siloz cu 30% SU	0	178
Total (kWh/zi)	280	280+ 2670
Puterea generatorului (kW)	12	135
Funcționarea generatorului (Randament energetic)	90%	90%
Producția anuală (kWh)	92400	973500
Producția de energie termică		
Producția de energie termică (kWh/zi)	260	260+ 2500
Investiție în instalația de biogaz, fără cogenerare (RON)	110 000	490 000
Venituri		
Venit din energie electrică (lei/zi)	37	389
Venit din energie electrică / an (lei)	12200**	128500**
Venit din energie electrică / an (Euro, 1E=4,2 RON)	2900	30600
Venit din certificate verzi: 3 x 55E / MWh (<i>Legea 220 / 2008</i>)	15246	160627
Venit din energie calorică / an (lei)	Depinde de valorificare	Depinde de valorificare
Total venituri din vânzare de energie Euro / an	Peste 18 000	Peste 190 000
Costuri cu materii prime (Euro)	0	20 x 15 x 330 = 99 000
Costuri de investitie (Euro)	56 000	~ 150 000
Amortizare	~ 4 ani	~ 3 ani

* Calculat la 132 lei / MW acordat de ANRE

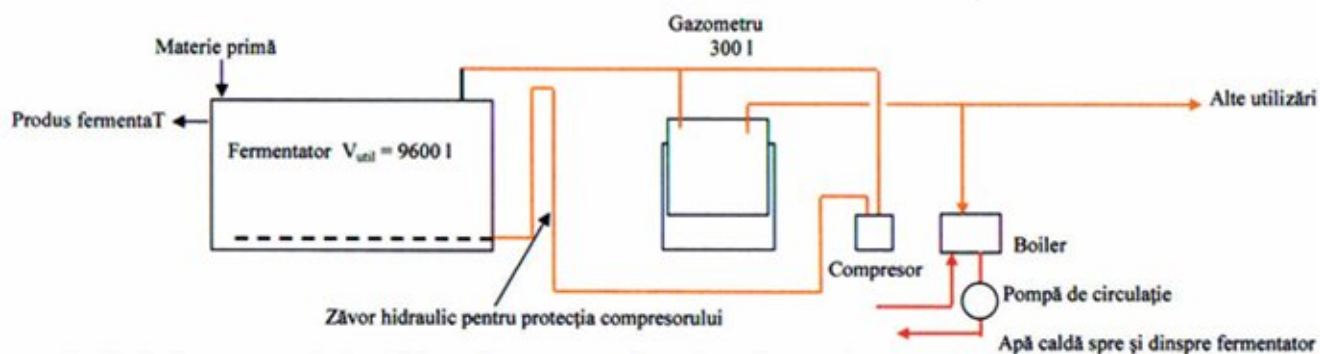
** Calculat pentru 330 zile funcționare / an

Un factor important de care trebuie ținut seamă la orice rețetă de alimentare cu materie primă a unei instalații de biogaz, este raportul C/N, care trebuie să fie cuprins între 15-25. În cazul deieecțiilor de vite C/N=25, în schimb la porumb siloz C/N=53. Amestecul este dezechilibrat și trebuie corectat cu adaos de uree sau alte substanțe cu conținut ridicat de azot. În acest fel se va putea utiliza integral potențialul energetic metanogen al materiei prime.

Se observă că o fermă zootehnică poate deveni un producător de energie, doar prin modificarea sistemului de management a deieecțiilor. Adică, dacă deieecțiile vor fi depozitate într-un rezervor închis (sistem anaerob), și nu pe o platformă deschisă (sistem aerob), metanul produs de acestea poate fi captat și folosit ca și combustibil. Dacă la deieecțiile existente de la 100 de vaci se adaugă circa 5000 tone de porumb siloz, ferma poate să producă peste 900 MWh energie electrică și tot atâția megawați energie termică. Conform calculelor noastre, adăugarea de biomasă vegetală la deieecțiile din fermă sporește productivitatea procesului de peste 10 ori.

Studiu comparativ, fermentator orizontal cu barbotare - fermentator vertical cu agitare mecanică

O instalație tipică plug-flow (**fermentator orizontal**) include un sistem de colectare a deieecțiilor, un bazin pentru omogenizare și fermentatorul ca atare. În bazinul de omogenizare se ajustează proporția de solide în deieecții prin adaos de apă. Fermentatorul este un bazin rectangular, lung, de obicei sub nivelul solului, acoperit ermetic cu un material impermeabil. Materialul pompat în fermentator împinge materialul existent spre capătul opus (curgere tip piston). Pe măsură ce solidele din deieecții sunt descompuse, formează un material vâscos, limitând separarea solidelor în rezervor și constituind „pistonul” care împinge lichidul. Timpul mediu de retenție a deieecțiilor în fermentator este de 20-30 zile. Un astfel de model de fermentator necesită un minim de lucrări de întreținere. Căldura degajată de motorul-generator care transformă gazul în electricitate, poate fi folosită pentru a încălzi fermentatorul. În interiorul acestuia un sistem de conducte permite circulația apei calde pentru a menține temperatura între 25-40°C, temperatura optimă pentru bacteriile metanogene.



Fermentatoarele cu agitare convertesc materia organică la biogaz într-un rezervor încălzit deasupra sau sub nivelul solului. În acest rezervor se face o agitare mecanică sau prin barbotare (recirculare) de gaz pentru a menține solidele în suspensie. Astfel de fermentatoare costă mai mult și sunt mai scumpe de întreținut. Se pretează pentru volume mari de deieecții și cu conținut în solide între 3 și 10%. Fermentatorul poate fi o structură cilindrică de oțel sau din beton turnat. Menținerea unei temperaturi optime în fermentator poate reduce timpul de retenție a deieecțiilor la mai puțin de 20 zile.

Caracterele principale ale celor două tipuri de fermentatoare

Specificație	Fermentator vertical cu agitare continuă	Fermentator orizontal cu barbotare
Sistem de agitare	Mecanică, cu palete sau elice	<i>Barbotare, conducte perforate</i>
Probleme la agitare	Frecvente, palete, axuri rupte, blocaje	<i>Rare, orificii înfundate</i>
Substratul	Lichid, pompabil (max. 13% solide totale)	<i>Poate fi lichid, sau mai concentrat, umed (max. 35 % solide totale)</i>
Echipamentul	Complex, operare continuă, multifazică	<i>Module, fermentatoare în baterie</i>
Riscul de evacuare a materialului nefermentat	Prezent, randament de conversie scăzut	<i>Absent, randament de conversie ridicat</i>
Costuri de investiție	~ 4000 Euro / kWh putere instalată	<i>~ 2500 Euro / kWh putere instalată</i>
Consum de energie în proces	<i>Mare, efort pentru omogenizare, pompare</i>	Redus (doar pentru suflantă, barbotarea se face 10 minute la 12 ore)



A



B

Interiorul fermentatoarelor: A – arizontal, B - vertical, cu agitare mecanică

CUPRINS

INTRODUCERE	3
FACTORII CARE INFLUENȚEAZĂ PRODUCȚIA DE BIOGAZ	3
Materia primă	4
<i>Rețete de amestec</i>	<i>6</i>
Aciditatea	7
Temperatura	7
Presiunea	8
Agitarea	9
Ce tipuri de fermentatoare pot fi folosite pentru producerea biogazului?	10
BIOGAZUL ȘI CO-GENERAREA	14
MODELE DE INSTALAȚII DE BIOGAZ	
REALIZATE DE-A LUNGUL TIMPULUI	18
INSTALAȚII DE BIOGAZ RECOMANDATE PENTRU FERMIERII ROMÂNI (fermentator orizontal cu barbotare)	29
CALCULUL CAPACITĂȚII DE PRODUCERE A BIOGAZULUI ÎNTR-O FERMĂ DE 100 DE VACI. SISTEMUL DE FERMENTAȚIE – INSTALAȚIE ÎN FLUX ORIZONTAL	33
Studiu comparativ, fermentator orizontal cu barbotare - fermentator vertical cu agitare mecanică	34