

# PRODUCEREA BIOGAZULUI ȘI VALORIFICAREA LUI ÎN SCOPURI ENERGETICE

T. Tutunaru,

Universitatea Tehnică a Moldovei

## INTRODUCERE

Creșterea prețului la resursele energetice fosile, pe de o parte, și degradarea mediului, pe de altă parte, impun necesitatea integrării tuturor formelor de energie regenerabilă în consumul de energie. În Republica Moldova biomasa, vis-a-vis de alte surse regenerabile, are cel mai mare potențial disponibil, care poate fi folosit în scopuri energetice, ce se cifrează la nivel de 550 mii tep. În această lucrare este abordată problema producerii biogazului și utilizării ulterioare a lui la producerea electricității și căldurii. În plus, este considerat un proiect de investiții ce privește:

- o stație colectivă de producere a biogazului , amplasată la margina unui centru raional;
- o centrală de cogenerare a căldurii și electricității (mini-CET), alimentate cu biogaz;
- un sistem de sere agricole, existente în preajma mini-CET și alimentate cu căldură.

Biomasa folosită pentru producerea biogazului cuprinde: deșeuri urbane solide și lichide, dejecții animaliere și masă vegetală. Obținerea biogazului din materia primă presupune colectarea, transportarea, depozitarea și procesarea acesteia.

În lucrare este:

- determinat necesarul de biogaz folosit la alimentarea mini-CET-ului cu puterea instalată de 1050 kW,
- calculată cantitatea de biomasă – pe tipuri materie primă folosită,
- dimensionat rezervorul pentru materia primă, fermentatorul și camera de colectare a gazului produs.

## 1. FERMENTAREA ANAEROBĂ - PRINCIPALA CALE DE PRODUCERE A BIOGAZULUI

Modalitatea de bază aplicată pentru producerea biogazului este fermentarea anaerobă a biomasei. Fermentarea anaerobă reprezintă un proces microbiologic de descompunere a materiei organice în lipsa aerului. Temperatura optimă pentru realizarea acestui proces este cuprinsă între

20-45°C. În rezultatul fermentării anaerobe se obține un produs gazos (format în principal din metan și bioxid de carbon) și o masă reziduală, ce nu mai poate fi supusă fermentării. Această masă este de obicei folosită ca fertilizator pentru sol.

Fermentarea anaerobă în lume este privită ca o soluție foarte benefică din două puncte de vedere: a soluționării problemei deșeurilor și producerii energiei. În medie, la o stație de fermentare dintr-o tonă de amestec de deșeuri se poate obține cca. 400–600 m<sup>3</sup><sub>N</sub> de biogaz din care 50-70% să fie metan. Întreg procesul de fermentare presupune parcurgerea a patru faze principale de descompunere a biomasei

*Hidroliza:* microorganismele hidrolitice transformă moleculele organice grele în particule mai mici cum sunt zaharidele, acizii grași, aminoacizii , apă.

*Acidogeneza:* particulele formate la prima fază sunt destrămate în acizi organici, amoniac, sulfid de hidrogen și bioxid de carbon.

*Acetogeneza:* formarea hidrogenului și a bioxidului de carbon în rezultatul transformării amestecului complex de acizi grași în acid acetic.

*Metanogeneza:* formarea metanului, bioxidului de carbon și a apei.

Procesul de formare a metanului este sporit la începutul fermentării și practic se încetinește la sfârșitul acesteia. În fig. 1 sunt prezentate cantitățile de biogaz care pot fi obținute prin fermentarea anaerobă a biomasei (la o tonă materie primă).

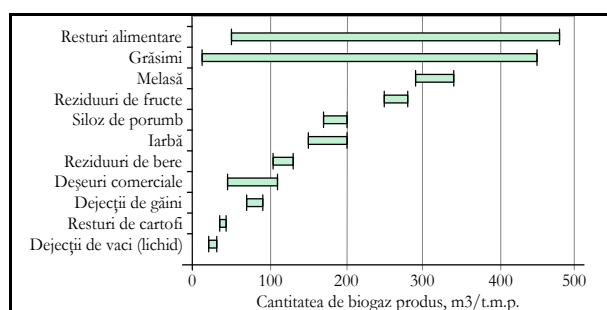


Figura 1. Producția de biogaz pentru diferite materii prime

Fermentarea anaerobă este considerată ca fiind una dintre cele mai atractive soluții de producere a energiei regenerabile din biomasă. Numărul

fermierilor și agricultorilor care produc biogaz în instalații de fermentare este în continuă creștere.

## 2. INFRASTRUCTURA STAȚIEI DE BIOGAZ

Este considerată o stație de producere a biogazului ce include o serie de elemente, precum sunt (fig. 2-5):

- instalațiile de transport;
- depozitul pentru materia primă,
- mașinile de mărunțire a materiei prime,
- sistemul de alimentare cu materia primă (dozatorul),
- pompele;
- bazinul de fermentare (fermentator sau digester, reactor);
- sistemul de colectare a biogazului;
- sistemul de colectare a reziduurilor;
- sistemul de utilizare a biogazului produs.



**Figura 2.** Vederea de ansamblu a unei stații de producere a biogazului, (Firma germană „Luthe GmbH Biogasanlagen”)

Biomasa colectată din zonă este adusă și descărcată în depozitul pentru materia primă - rezervor. Aici ea se mărunțește și se amestecă, după aceasta este îndreptată spre dozator (fig. 3).



**Figura 3.** Dozatorul și transportatoare cu șnec, „Luthe GmbH Biogasanlagen”

*Dozatorul* este dotat cu cuțite și șnecuri pentru transportarea fără blocaj a materiei prime către *digester/fermentator*, in care are loc procesul

de fermentare a biomasei și producerea de biogaz (fig. 4).



**Figura 4.** Interiorul fermentatorului și amestecătoarele folosite

Interiorul bazinului de fermentare este dotat cu amestecătoare comandate automat. Pentru asigurarea temperaturii optime de fermentare, pe pereții digesterului sunt montate elemente pentru încălzirea biomasei. Deoarece mediul din interiorul fermentatorului este unul extrem de acid, toate elementele sunt realizate din oțeluri inoxidabile. În partea de jos a fermentatorului se așează nămol, care este evacuat într-un colector special, fiind mai apoi utilizat ca îngrășământ.

Biogazul produs se ridică în partea superioară a fermentatorului (camera de colectare a gazului), din care este îndreptat spre instalația de purificare și de uscare (fig. 5). O parte din biogazul curățit



**Figura 5.** Instalația de purificare a biogazului și cea de uscare

merge către instalația de cogenerare a energiei, iar alta este colectată într-o cameră specială (fig. 6). În dependență de materia primă folosită, biogazul poate conține anumite cantități de diverși compuși care necesită a fi eliminați. Pentru a garanta buna funcționare a instalațiilor de ardere, biogazul trebuie tratat. Astfel biogazul mai întâi este supus unor procese de epurare (de filtrare), de uscare și desulfurare, după care este utilizat. Perioada de fermentare a biomasei cuprinde de la 20 la 40 zile in dependență de tipul materiei prime. Alimentarea stației cu biomasă de regulă se realizează într-un mod automatizat care asigură o funcționare neîntreruptă a unităților de fermentare.

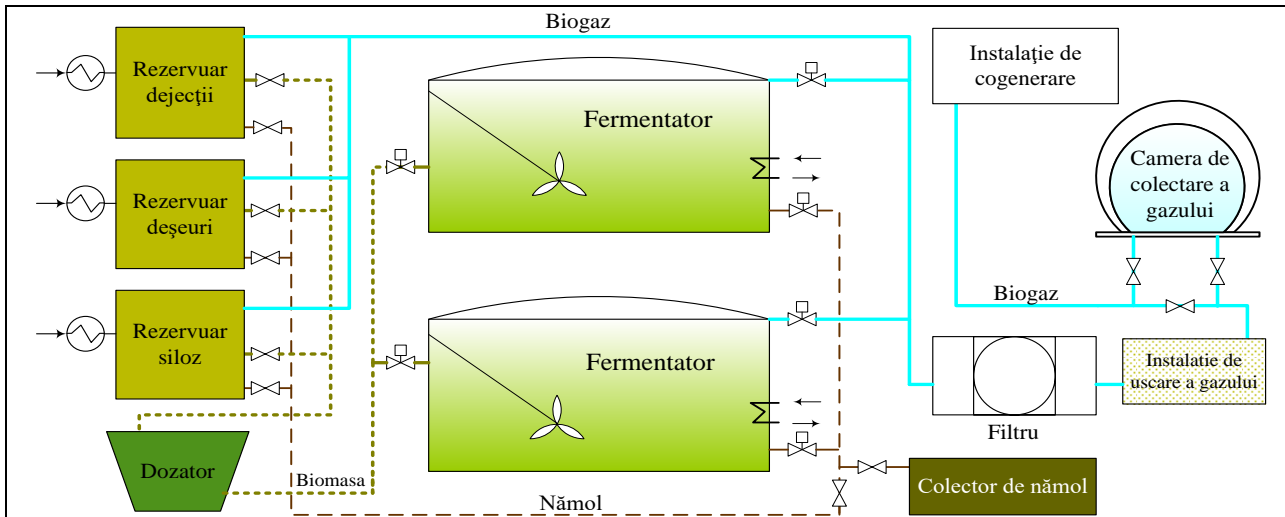


Figura 6. Flux tehnologic de producere a biogazului

### 3. NECESARUL DE BIOGAZ PENTRU ALIMENTAREA MINI-CET

Considerăm situația implementării unui proiect de investiții în producerea biogazului cu folosirea acestuia pentru producerea de căldură și electricitate în cadrul unui mini-CET, bazat pe aplicarea motorului cu ardere internă. Mini-CET-ul este dotat cu două agregate cu puterea electrică instalată de 525 kW fiecare.

Tabelul 1. Datele tehnice ale instalației de cogenerare JMS 312 GS - B.L

Parametri	Notație	Unități	Valori
Puterea electrică nominală a unității	$P_e$	kW	526
Puterea termică maximă a unității	$P_t$	kW	558
Durata de utilizare a puterii maxime electrice	$T_m$	h/an	6000
Randament electric	$\eta_e$	%	40,4
Randament termic	$\eta_t$	%	42,9
Randament global	$\eta$	%	83,3
Gradul de utilizare a puterii electrice nominale	k	%	90

Pentru a determina cererea anuală de biogaz, folosit la mini-CET, trebuie să cunoaștem volumul total de energie produsă anual la centrală  $E_{CET}$  -

$$E_{CET} = W + Q \quad (1)$$

unde  $W$  reprezintă cantitatea de energie electrică, iar  $Q$  - cantitatea de căldură.

În particular, avem -

$$W = 2 \cdot P_e \cdot T_m \cdot k = 2 \cdot 526 \cdot 6000 \cdot 0,9 = 5,7 \text{ GWh/an} \quad (2)$$

$$Q = 2 \cdot P_t \cdot T_m \cdot k = 2 \cdot 558 \cdot 6000 \cdot 0,9 = 6 \text{ GWh} \quad (3)$$

$$E_{CET} = 5,7 + 6 = 11,7 \text{ GWh/an} \quad (4)$$

Cunoscând producția totală de energie (electricitate și căldură), precum și randamentul global al instalației de cogenerare determinăm cantitatea de energie înglobată în combustibil (în biogaz)  $Q_{comb}$  -

$$Q_{comb} = E_{CET} / \eta = 11,7 / 0,833 = 14 \text{ GWh} = 50595 \text{ GJ/an} \quad (5)$$

Considerăm căldura de ardere a biogazului egală cu  $22,4 \text{ MJ/m}^3$ .

Cunoscând căldura de ardere și energia înglobată în biomasă, determinăm volumul de biogaz ce urmează a fi produs din biomasă:

$$V_{biogaz} = Q_{comb} / LHV_{biogaz} = 2 \text{ 259 mii m}^3/\text{an} \quad (6)$$

Așadar producția și respectiv consumul de biogaz constituie:

- pe an - 2 259 mii  $\text{m}^3/\text{an}$ ,
- pe zi - 2 259 mii  $\text{m}^3 / 250 \text{ zile} = 9 \text{ 034,9 m}^3/\text{zi}$ ,
- pe oră - 2 259 mii  $\text{m}^3 / 6000 \text{ h} = 376 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Pentru acest necesar de biogaz urmează să determinăm cantitatea de biomasă pe tipuri materie primă folosită.

#### 4. NECESARUL DE BIOMASĂ

La stația de biogaz sunt valorificate, în primul rând, deșeurile municipale lichide și solide din regiune. De menționat că la stație deșeurile lichide și solide sunt amestecate și fermentate în comun.

Deșeurile municipale solide sunt acumulate de la toată populația din regiune (11 630 locuitori).

Deșeurile municipale lichide vor fi acumulate doar de la o parte a populației orașului (cca. 40 % 4 817,5 locuitori), conectați la sistemul centralizat de canalizare, întrucât cealaltă parte a populației beneficiază de sisteme individuale de canalizare. În scopul dimensionării fermentatorului se cere de a cunoaște masa totală de deșeuri. Iată de ce mai jos vom calcula cantitatea totală a deșeurilor municipale solide și lichide colectate pentru fermentare.

$$B_{deșeuri} = B_{deșeuri\ solide} + B_{deșeuri\ lichide} \quad (7)$$

unde  $B_{deșeuri}$  reprezintă cantitatea totală de deșeuri organice municipale;  $B_{deșeuri\ solide}$  și  $B_{deșeuri\ lichide}$  - cantitatea de deșeuri solide și lichide.

Cunoscând că unui locuitor îi revine aproximativ 0,7 kg deșeuri organice solide, determinăm cantitatea deșeurilor municipale solide disponibile -

$$B_{deșeuri\ solide} = 11\ 630 \cdot 0,7\ \text{kg/zi} = 8,14\ \text{t/zi} \quad (8)$$

Deșeurile municipale lichide reprezintă nămolul format de apele uzate colectate prin sistemul de canalizare de la populație. Nămolul de la stația de epurare este transportat la stația de biogaz pentru fermentare. Știind că unei persoane, în mediu, îi revine 0,5 kg/zi deșeuri lichide, determinăm cantitatea totală a acestor deșeuri -

$$B_{deșeuri\ lichide} = 4\ 817 \cdot 0,5\ \text{kg/zi} = 2,4\ \text{t/zi} \quad (9)$$

Așadar, volumul total de deșeuri municipale este -

$$B_{deșeuri} = 8,14 + 2,4 = 10,54\ \text{t/zi}$$

Dintr-o tonă de deșeuri solide rezultă la fermentare aproximativ 120 m<sup>3</sup> de biogaz, iar la fermentarea unei tone de nămol se produce aproximativ 400 m<sup>3</sup> de biogaz. În așa mod determinăm volumul de biogaz, care rezultată la fermentarea cantității totale a deșeurilor -

$$V_{biogaz1} = 1,9\ \text{mii m}^3/\text{zi}$$

Astfel, valorificarea energetică a deșeurilor municipale ne permite de a produce cca. 1 936,8 m<sup>3</sup> biogaz pe zi, ceea ce reprezintă apr. 21 % din necesarul de biogaz; celelalte 79 % sunt acoperite din materia primă - masă vegetală și dejecții animaliere. La stația de biogaz se colectează dejecții animaliere din regiune.

În 2007 s-a înregistrat în zonă un număr de 1 850 capete bovine, 2 537 capete - porcine și 3 537 capete ovine și caprine. În tab. 2. este prezentată cantitatea de dejecții pe un cap de animal rezultate într-o zi.

**Tabelul 2.** Cantitatea dejecțiilor animaliere rezultate într-o zi

	Greutatea corpului, kg	Debit zilnic dejecții, (stare inițială) kg/zi
Bovine	200	10
Porcine	60	6
Ovine și caprine	30	2

Cunoscând efectivul de animale și cantitatea dejecțiilor rezultate de la acestea, determinăm potențialul dejecțiilor pentru fermentare -

$$B_{dejecții} = B_{bovine} + B_{porcine} + B_{ovine, caprine} \quad (10)$$

unde  $B$  reprezintă total dejecții; iar  $B_{bovine}$ ,  $B_{porcine}$  și  $B_{ovine, caprine}$  - dejecții de bovine, de porcine și respectiv de ovine și caprine.

Calculăm potențialul dejecții de bovine, cunoscând efectivul de animale și cantitatea de dejecții care rezultă de la fiecare animal.

$$B_{bovine} = 1850 \cdot 10\ \text{kg/zi} = 18,5\ \text{t/zi} \quad (11)$$

$$B_{porcine} = 2\ 537 \cdot 6\ \text{kg/zi} = 15\ \text{t/zi} \quad (12)$$

$$B_{ovine, caprine} = 3\ 537 \cdot 2\ \text{kg/zi} = 7\ \text{t/zi} \quad (13)$$

$$B_{dejecții} = 40,5\ \text{t/zi}$$

În zonă sunt gospodării care valorifică dejecțiile animaliere în diferite scopuri, și nu sunt dispuși de a le furniza. De aceea cantitatea disponibilă a dejecțiilor pentru fermentare este  $B_{dejecții} = 38\ \text{t/zi}$ , cca. 90 % din potențialul dejecțiilor din regiune. Dintr-o tonă dejecții lichide de bovine se produce 15 m<sup>3</sup> de biogaz, dintr-o tonă dejecții solide de ovine și caprine - 60 m<sup>3</sup> de biogaz, iar dintr-o tonă dejecții lichide de porcine - 15,6 m<sup>3</sup> de biogaz. Astfel volumul de biogaz rezultat la fermentarea dejecțiilor animaliere este -



$$V_{biogaz2} = 18,5 \cdot 15 + 15 \cdot 15,6 + 7 \cdot 60 = 893,4 \text{ m}^3/\text{zi}$$

În așa fel, valorificarea energetică a dejecțiilor animaliere ne permite de a produce cca. 893,4 m<sup>3</sup>/zi, ceea ce reprezintă apr. 10 % din biomasa totală necesară producerii de biogaz. Cunoscând potențialul dejecțiilor animaliere și a deșeurilor municipale solide, urmează să determinăm necesarul de masă vegetală pentru fermentare la stația de biogaz.

Dejecțiile animaliere din regiune și deșeurile municipale solide și lichide acoperă aproximativ 31 % din biomasa necesară, de aceea masa vegetală trebuie să constituie cca. 69 % din total biomasă pentru fermentare. La fermentare se vor utiliza două tipuri de *biomasa vegetală*: silozuri de porumb și de lucernă.

Pentru aprovizionarea stației de biogaz cu biomasă vegetală, se încheie contracte de vânzare - cumpărare cu deținătorii de pământuri din regiune. În continuare determinăm cantitatea de masă verde care urmează a fi fermentată pentru producerea a 6 152,8 m<sup>3</sup> /zi de biogaz, ceea ce reprezintă 69 % din totalul materiei prime (biomasei).

Reieșind din faptul că dintr-o tonă de siloz de porumb se produce 185 m<sup>3</sup> biogaz, iar dintr-o tonă de lucernă – 195 m<sup>3</sup> biogaz, vom achiziționa zilnic câte 16 tone siloz de porumb și 17 tone de lucernă.

$$B_{masa\ verde} = B_{siloz\ porumb} + B_{lucerna} = 16 + 17 = 33 \text{ t/zi} \quad (14)$$

$$V_{biogaz\ 3} = 6\ 275 \text{ m}^3 / \text{zi}$$

În continuare vom determina consumul total de biomasă necesar pentru fermentare la stația de biogaz. Din totalul de biogaz care se cere de a produce (9 034,9 m<sup>3</sup>/zi), 31 % se produce din deșeurii municipale și dejecțiile animaliere, iar restul 69 % se produce din biomasă vegetală. Consumul de biomasă la stație se determină astfel:

$$B_{biomasa} = B_{deșeuri} + B_{dejecții} + B_{masa\ verde}, \quad (15)$$

$$B_{deșeuri} = 10,54 \text{ t/zi};$$

$$B_{dejecții} = 38 \text{ t/zi};$$

$$B_{masa\ verde} = 33 \text{ t/zi}.$$

$$B_{biomasa} = 81,54 \text{ t/zi}.$$

Consumul de biomasă:  
pe zi - 81,54 t/zi;

pe lună - 81,54 t/zi · 30 zi/lună = 2446,2 t / lună;

pe an - 81,54 t/zi · 250 zi/an = 20 385 t/an.

Cunoscând producția de biogaz și consumul acestuia, urmează a dimensiona rezervoarele pentru materia primă și fermentatorul.

## 6. DIMENSIONAREA STAȚIEI DE PRODUCERE A BIOGAZULUI

### 6.1. Dimensionarea rezervoarelor și a camerei de colectare a gazului

Pentru stocarea celor trei tipuri de biomasă - dejecții animaliere, deșeurii municipale și silozurilor, la stație se prevăd trei rezervoare.

În rezervoare se acumulează cca. 2600 t de materie organică, cantitate necesară pentru o încărcare a fermentatorului. Mai jos vom dimensiona cele trei rezervoare.

Rezervor deșeurii municipale:

Masa deșeurii -

$$m_{deșeuri} = 21\% \cdot m_{tot} = 0,21 \cdot 2600 \text{ t} = 546 \text{ t} \quad (16)$$

Volumul rezervorului -

$$V = m_{deșeuri} / \rho_{deșeuri} = 546 \text{ t} / 0,9 \text{ t/m}^3 = 606 \text{ m}^3 \quad (17)$$

Rezervor dejecții animaliere:

Masa dejecții -

$$m_{dejecții} = 10\% \cdot m_{tot} = 0,1 \cdot 2600 \text{ t} = 260 \text{ t} \quad (18)$$

Volumul rezervorului de dejecții -

$$V = m_{dejecții} / \rho_{dejecții} = 260 \text{ t} / 1 \text{ t/m}^3 = 260 \text{ m}^3 \quad (19)$$

Rezervor silozuri de porumb și lucernă

$$m_{siloz} = 69\% \cdot m_{tot} = 0,69 \cdot 2600 \text{ t} = 1\ 794 \text{ t} \quad (20)$$

Volumul rezervorului -

$$V = m_{siloz} / \rho_{siloz} = 1\ 794 \text{ t} / 0,4 \text{ t/m}^3 = 4\ 485 \text{ m}^3 \quad (21)$$

Biogazul produs în fermentator, este evacuat prin sistemul de colectare a gazului, curățit și uscat în instalații speciale, după care o parte este injectată direct spre instalația de cogenerare, iar o parte este colectată în camera de colectare a gazului. Gazul colectat în cameră alimentează motorul în zilele în care nu se produce biogaz la fermentator (la încărcarea fermentatorului cu materie organică).

Ținând cont că fermentatorul se încarcă 1-2 zile, iar consumul de biogaz pe zi este 9 034,9 m<sup>3</sup>, volumul camerei de colectare a gazului este de 20 000 m<sup>3</sup>.

Instalația de cogenerare este plasată în cadrul stației de producere a biogazului. Biogazul curățit și uscat este injectat în motor, care antrenează generatorul și produce energie electrică; căldura se recuperează pe teri căi - din gazele de ardere, din sistemul de răcire al motorului și din sistemul de răcire a uleiului.

### Bibliografie

1. Arion, Valentin „Biomasa și utilizarea ei în scopuri energetice”/Valentin Arion, C. Bordeianu, A. Boșcăneanu, A. Capcelea [et al.], Ch.: „Garomond Studio” SRL, 2008.-268 p.
2. Programul Național de valorificare a surselor regenerabile de energie pentru anii 2006 – 2010. IE AȘM, (proiect) Chișinău, 2006.

## 6.2. Dimensionarea fermentatorului

Fermentatorul reprezintă un bazin de fermentare în care se aduce volumul necesar de biomasă și în perioada de apr. 30 zile se degajă biogaz și se ridică în partea superioară a fermentatorului. Pe lângă camera de fermentare a biomasei, în fermentator mai este și camera de colectare a gazului și de așezare a nămolului.

Volumul fermentatorului –

$$V = V_c + V_f + V_s \quad (22)$$

unde  $V_c$  reprezintă volumul camerei de colectare a gazului;

$V_f$  - volumul camerei de fermentare a biomasei; (80% din  $V$ )

$V_s$  - volumul camerei de așezare a nămolului.

Volumul fermentatorului poate fi determinat în urma cunoașterii volumului camerei de fermentare, care depinde de masa materiei prime la o încărcătură a fermentatorului – 2446 t. La fermentare se utilizează deșeuri municipale în proporție de 21 % cu densitatea  $\rho_{deșeuri} = 900 \text{ kg/m}^3$ , dejecții animaliere – 10 %, cu densitatea  $\rho_{dejecții} = 1000 \text{ kg/m}^3$  și biomasa vegetală – 69 %, cu densitatea  $\rho_{masă\ vegetală} = 400 \text{ kg/m}^3$ , prin urmare putem determina densitatea totală a biomasei folosită pentru fermentare.

$$\rho_{biomasa} = \rho_{deșeuri} \cdot 21\% + \rho_{dejecții} \cdot 10\% + \rho_{masaverde} \cdot 69\% \quad (23)$$

$$\rho_{biomasa} = 900 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,21 + 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,10 + 400 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,69 = 565 \text{ kg/m}^3 \quad (24)$$

Volumul camerei de fermentare a biomasei -

$$V_f = 2\,446\,000 / 565 = 4\,330 \text{ m}^3 \quad (25)$$

Volumul fermentatorului –

$$V = V_f / 0,8 = 4\,330 / 0,8 = 5\,413 \text{ m}^3 \quad (26)$$

**Recomandat spre publicare: 16.01.2009.**