
Biodujų gamyba iš žemės ūkio ir maisto pramonės atliekų

Romualdas Juozas Janušauskas

Lietuvos žemės ūkio inžinerijos
institutas,
Gyvulininkystės skyrius,
Instituto g. 20,
LT-4320 Raudondvaris,
Kauno rajonas

Anaerobinis biomasės, pvz., gyvulių mėšlo, perdirbimas bioreaktoriuose gana aktualus sprendžiant šių atliekų tvarkymo gyvulių fermose problemas. Mūsų šalyje Lietuvos žemės ūkio inžinerijos institute 1993 m. pradėti vykdyti moksliniai tyrimai įvairių atliekų anaerobinio perdirbimo klausimais. Sudarytas biokonversijos proceso matematinis modelis. Matematinio modeliavimo rezultatai parodė, kad lyginamoji vidutinė biodujų paros išeiga q kubiniais metrais vienam kubiniam metrui bioreaktoriaus tūrio per parą nuo įkrovų dažnumo nepriklauso arba kinta labai nežymiai. Mažinant įkrovų dažnumą lyginamosios biodujų išeigos svyravimų dažnumas mažėja, o svyravimų amplitudė didėja. Biodujų išeigos svyravimų amplitudė taip pat priklauso ir nuo perdirbamos medžiagos. Mažiausia lyginamoji vidutinė biodujų išeiga gaunama perdirbant bioreaktoriuje kiaulių ekskrementą ($1,22 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{par.}$), o didžiausia – perdirbant miežinius miltus ($3,39 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{par.}$). Pavyzdžiui, perdirbant pieno išrūgus biodujų išeigos svyravimų amplitudė vidutinės reikšmės atžvilgiu esant kasdieninei įkrovai sudaro apytikriai 0, o papildant kas 5 paros – nuo +215,8 iki -97,5%.

Raktažodžiai: biodujos, biomasė, bioreaktorius, matematinis modelis

1. ĮVADAS

Perdirbant anaerobiniu būdu biomasę, sudarytą iš žemės ūkio gamybos, maisto ir kitų pramonės šakų produkcijos perdirbimo atliekų, gaunamos biodujos, kaip alternatyvi energija. Perdirbtos biomasės nuotekomis galima tręšti laukus. Perdirbant biomasę anaerobiniu būdu gautos nuotekos nukenksminamos, paskleidžiant nuotekas laukuose mažiau užteršiama aplinka.

Biomasės, kaip alternatyvaus energijos šaltinio, panaudojimo klausimais Europos Sąjungoje priimti pagrindiniai sprendimai: kaip panaudoti iš biomasės gautą energiją bei biodujų gamybos ateitis Europoje [1–4].

Anaerobinis biomasės, pvz., gyvulių mėšlo, perdirbimas bioreaktoriuose gana aktualus sprendžiant šių atliekų tvarkymo gyvulių fermose problemas.

Danijoje, Lenkijoje, Vokietijoje, Švedijoje ir kitose šalyse atlikti bei dabar vykdomi moksliniai tyrimai ir gamybiniai bandymai perdirbant anaerobiniu būdu žemės ūkio produkcijos gamybos atliekas [5–10]. Mūsų šalyje Lietuvos žemės ūkio inžinerijos institute 1993 m. pradėti vykdyti moksliniai tyrimai įvairių atliekų anaerobinio perdirbimo klausimais [11].

Darbo tikslas – sudaryti biomasės biokonversijos proceso matematinį modelį, įgalinantį analitiniu būdu analizuoti bioreaktorių eksploatacinių režimų įtaką biokonversijos procesui.

2. TYRIMŲ METODAI

Atlikti įvairios biomasės anaerobinio perdirbimo eksperimentiniai tyrimai 100 l laboratoriniame bioreaktoriuje. Tyrimams naudota biomasė pakraunama į bioreaktorių įkrova, lygia 5% bioreaktoriaus tūrio. Biomasė perdirbama mezofiliniu 35°C temperatūros režimu. Biomasės drėgnis nustatomas standartiniu metodu – džiovinant pavyzdžius 105°C temperatūroje. Bioreaktorius papildomas įkrova, kai bioreaktoriaus lyginamasis našumas $q \leq 0,1 \text{ l/l}$ per parą. Įkrovos drėgnis sulyginamas su standartiniu rekomenduojamu 90% drėgniu. Biodujų išeiga matuojama elektromechaniniu skaitikliu, jo rodmenis fiksuojant kas parą arba dažniau, priklausomai nuo norimo tikslumo.

Šiame darbe, panaudojus literatūroje rastus ir mūsų gautus biomasės apdorojimo bioreaktoriuje tyrimų duomenis, buvo sudarytas daugiakomponentės biomasės biokonversijos proceso matematinis modelis. Atlikta analitinė gamybinio 60 m³ bioreaktoriaus

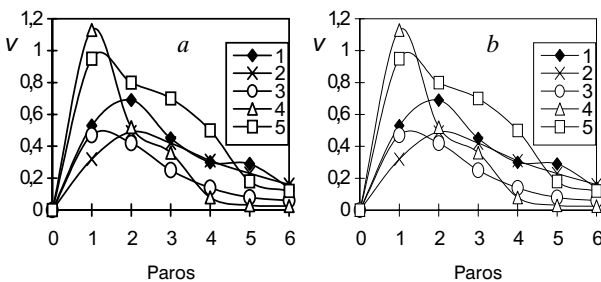
eksploatacijos režimų įtakos biokonversijos procesui analizė.

3. REZULTATAI

3.1. Biokonversijos proceso matematinis modelis

Žemės ūkio gamybos, maisto ir kitų pramonės šakų produkcijos perdirbimo atliekos, naudojamos anaerobiniam perdirbimui, sudaro daugiakomponentę biomasę, sudarytą iš įvairių skirtingų savybių medžiagų. Šios savybės lemia biomasės anaerobinio perdirbimo bioreaktoriuje sąlygas. Priklausomai nuo medžiagų savybių perdirbimo trukmė iki visiškai atskiros medžiagos suirimo gali būti nuo 10 iki 60 ir daugiau parų. Todėl biokonversijos proceso tyrimas eksperimentiniu būdu reikalauja didelių laiko ir materialinių sąnaudų. Siekiant sumažinti šias sąnaudas, tiriant biokonversijos procesą ieškota galimybių sudaryti biokonversijos proceso matematinį modelį. Biokonversijos proceso matematinis modeliavimas leidžia su kur kas mažesnėmis laiko ir materialinėmis sąnaudomis tirti įvairių veiksnių įtaką biokonversijos procesui.

Laboratoriniame bioreaktoriuje eksperimentinių tyrimų metu nustatytas įvairių medžiagų biodujų išėigos iš perdirbamos biomasės intensyvumas priklausomai nuo perdirbimo trukmės. Lyginamojo biodujų išėigos intensyvumo v kubiniais metrais per parą vienam kubiniam metrui bioreaktoriaus tūrio duomenų grafikai pavaizduoti 1 (a) pav.



1 pav. Lyginamojo biodujų išėigos intensyvumo v (m^3/m^3) grafikai tirtoms medžiagoms: 1 – kiaulių ekskrementas, 2 – alaus saladinas, 3 – rapso išspaudos, 4 – pieno išrūgos, 5 – miežiniai miltai. a – eksperimentiniai duomenys, b – modeliavimo rezultatai

1 paveiksle matyti, kad biodujų išėigos iš biomasės intensyvumo priklausomybė nuo perdirbimo laiko yra analogiška rodyklinei funkcijai.

Iš bioreaktoriuje perdirbamos vienetinės biomasės biodujų išėigos intensyvumo priklausomybę nuo perdirbimo laiko galime išreikšti rodykline lygtimi

$$v_1 = a \cdot t^d \cdot \exp(c \cdot t); \quad (1)$$

čia v_1 – biodujų išėigos intensyvumas kub. metrais per laiko vienetą; t – laikas; a , c – koeficientai, priklausantys nuo bioreaktoriaus temperatūros režimo; d – laipsnio rodiklis.

Analizuojant eksperimentinius duomenis aiškėja, kad biodujų išėigos intensyvumą iš biomasės sąlygoja pagrindiniai veiksniai: biomasės įkrovos kiekis, jos drėgnis, perdirbimo temperatūra, perdirbimo laikas, biomasės įkrovų dažnumas, medžiagų savybės.

Nustatyta, kad kintant biomasės perdirbimo temperatūrai biodujų išėigos intensyvumo dėsningumas nekinta, o kinta intensyvumo amplitudinė reikšmė ir trukmė. Tai įvertina (1) lygties a ir c koeficientai. Nustatyta, kad a ir c koeficientų reikšmės priklausomai nuo perdirbamos biomasės temperatūros turi eksponentinį dėsningumą, kuris išreiškiamas lygtimis:

$$a = \exp(a_1 \cdot T - b_1); \quad (2)$$

$$c = - \exp(a_2 \cdot T - b_2); \quad (3)$$

čia T – biomasės temperatūra bioreaktoriuje $^{\circ}C$; a_1 , b_1 , a_2 , b_2 – koeficientai.

Įrašius į (1) lygtį a ir c koeficientų išraiškas gauta biodujų išėigos priklausomai nuo biomasės perdirbimo bioreaktoriuje temperatūros intensyvumo lygtis:

$$v_1 = \exp(a_1 \cdot T - b_1) \cdot t^d \cdot \exp(- \exp(a_2 \cdot T - b_2) \cdot t). \quad (4)$$

Literatūros analizė parodė, kad įvairios medžiagos suyra per skirtingą laiką ir gaunamas skirtingas biodujų kiekis iš masės vieneto [3, 4, 11]. Medžiagos suirimo trukmės įtaka biodujų išėigos intensyvumo trukmei yra analogiška temperatūros įtakai, o atskiros medžiagos turi tiesioginę įtaką intensyvumo amplitudinei reikšmei. Tai įvertinus ir į (4) lygtį įrašius medžiagų savybes apibūdinančius k_i ir c_i koeficientus, gauta biodujų išėigos iš daugiakomponentės biomasės intensyvumo lygtis:

$$v_1 = k_i \exp(a_1 c_i \cdot T - b_1) \cdot t^d \cdot \exp(- \exp(a_2 c_i \cdot T - b_2) \cdot t). \quad (5)$$

Anaerobinio biomasės perdirbimo proceso matematinis modelis. Biodujų išėigą iš anaerobiniu būdu perdirbamos biomasės priklausomai nuo biokonversijos procesą sąlygojančių veiksnių išreiškiamo funkcine lygtimi:

$$B_d = f(B_m; T; t; w; p; n); \quad (6)$$

čia B_d – biodujų kiekis m^3 ; B_m – įkrovos masė m^3 ; T – biomasės temperatūra bioreaktoriuje $^{\circ}C$; t – laikas; w – biomasės drėgnis %; p – biomasės įkrovų dažnumas paromis; n – biomasės komponentių skaičius.

Biodujų išeiga B_d iš anaerobiniu būdu perdirbamos biomasės priklausomai nuo biomasės temperatūros T , perdirbimo laiko t ir biomasės komponentų skaičiaus išreikšta (5) lygtimi, o priklausomybę nuo biomasės įkrovos kiekio, jos drėgnio ir įkrovų dažnio išreiškiamo lygtimi:

$$B_{ms} = B_m (1 - 1/V_b p)(1 - w/100); \quad (7)$$

čia B_{ms} – sausųjų medžiagų kiekis biomasėje m^3 ; B_m – įkrovos kiekis m^3 ; p – įkrovų dažnis paromis; w – medžiagos drėgnis %; V_b – bioreaktoriaus tūris m^3 .

Biodujų išeigos B_d funkcinę priklausomybę ((6) lygtis), išreiškę (5 ir 7) lygtimis ir matematiškai pertvarkę nustatėme biokonversijos proceso matematinį modelį:

$$B_d = \sum_{z_0}^{z_1} \sum_{x_0}^{x_1} \int_0^{t_s} \{k_i B_{mi} t^d (1 - 1/(p_i V_b)) (1 - w/100) \cdot \exp(a_1 c_i T - b_1) \exp(-\exp(a_2 c_i T - b_2)t)\} dt; \quad (8)$$

čia B_d – biodujų išeiga m^3 ; T – temperatūra $^{\circ}C$; V_b – bioreaktoriaus tūris m^3 ; B_{mi} – biomasė m^3 ; t – laikas; w – drėgnis %; a_1 ; a_2 ; b_1 ; b_2 – koeficientai: ($a_1 = 0,1087$; $a_2 = 0,0549$; $b_1 = 8,874$; $b_2 = 3,407$); d – laipsnio rodiklis ($d = 0, \dots, 99$); $x_0 = (0, \Delta j = p_i)$; $x_1 = (j = t_s)$, paros; $z_0 = (0, \Delta i = 1)$; $z_1 = (i = n)$, komponentai; t_s – biokonversijos ciklas paromis; p_i – intervalai tarp papildymų paromis; n – komponentų skaičius; k_i , c_i – koeficientai, priklausantys nuo medžiagų savybių.

Diferencijuodami biodujų išeigą laiko atžvilgiu gausime biodujų išeigos intensyvumą v m^3/s :

$$v = dB_d / dt. \quad (9)$$

Biokonversijos proceso matematiniam modeliui, kurį sudaro (8), (9) lygtys, realizuoti reikia nustatyti biomasę sudarančių medžiagų k_i ir c_i koeficientus. Šie koeficientai nustatyti pagal biodujų bendrosios išeigos ir jos intensyvumo kitimo perdirbimo metu laboratorinių tyrimų duomenis.

3.2. REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

Biokonversijos proceso matematiniam modeliui spręsti sudaryta kompiuterinė programa. Sprendžiant matematinį modelį gauti biodujų išeigos iš anaerobiniu būdu perdirbamos biomasės analitiniai rezultatai diskretiškai keičiant k_i ir c_i reikšmes. Taikant biodujų išeigos iš biomasės analitinių rezultatų ir laboratorinių duomenų sutapatavimo metodą nustatytos k_i ir c_i koeficientų reikšmės tirtoms medžiagoms. Koeficientų k_i ir c_i reikšmės įvairioms medžiagoms pateiktos 1 lentelėje.

1 lentelė. k_i ir c_i koeficientų reikšmės		
Medžiaga	k_i	c_i
Kiaulių ekskrementas	0,29	1,50
Pieno išrūgos	1,00	2,00
Miežiniai miltai	0,80	1,60
Rapso išspaudos	0,47	1,58
Alaus saladinas	0,30	1,50

Sprendžiant matematinį modelį, (8) ir (9) lygtys, naudojant 1 lentelėje nurodytų medžiagų koeficientų k_i ir c_i reikšmes, nustatėme biodujų lyginamosios išeigos intensyvumo v iš minėtų medžiagų analitinių skaičiavimų rezultatus, kurie pateikti 1(b) paveiksle.

Analitinių skaičiavimų ir eksperimentinių tyrimų duomenų atitikimui įvertinti apskaičiuotas koreliacinio ryšio koeficientas r .

Koreliacinis ryšys yra teigiamas, jeigu $r \geq 3m_r$, $m_r = (1-r^2)/n$; čia m_r – koreliacinio koeficiento paklaida, n – duomenų skaičius. Analitinių skaičiavimų rezultatai patikimi, jeigu tenkinama sąlyga $r/m_r \geq 3$.

1 lentelėje nurodytų medžiagų analitinių skaičiavimų rezultatų ir eksperimentinių tyrimų duomenų koreliacinio ryšio koeficiento r , jo paklaidos m_r ir patikimumo r/m_r reikšmės pateiktos 2 lentelėje.

2 lentelė. Koreliacinio ryšio koeficiento r , jo paklaidos m_r ir patikimumo r/m_r reikšmės			
Medžiaga	r	m_r	r/m_r
Alaus saladinas	0,958	0,0346	71,24
Kiaulių ekskrementas	0,965	0,0147	84,00
Rapso išspaudos	0,974	0,0083	116,50
Miežiniai miltai	0,985	0,0048	205,60
Pieno išrūgos	0,985	0,0048	203,79

Iš 2 lentelėje pateiktų duomenų matyti, kad visų analizuotų medžiagų analitinių skaičiavimų rezultatų ir eksperimentinių tyrimų duomenų analogiškumas atitinka statistinių parametrų patikimumą. Tai patvirtina galimybę biokonversijos procesą, priklausomai nuo veikiančių pagrindinių veiksnių, analizuoti matematinio modeliavimo būdu, sprendžiant matematinį modelį, sudarytą iš lygčių (8) ir (9). Matematinis proceso modeliavimas leidžia daug greičiau ir su mažesnėmis materialinėmis sąnaudomis analizuoti įvairių veiksnių įtaką biokonversijos procesui.

Naudojantis matematinio modeliavimo būdu atliktas biodujų išeigos iš įvairios biomasės, perdirbamos 60 m^3 bioreaktoriuje, matematinis modeliavimas ir gauti analitiniai rezultatai skirtingomis bioreaktoriaus eksploatacijos režimų sąlygomis. Modeliavimo rezul-

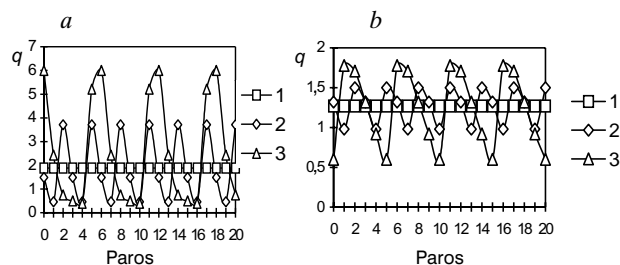
tatai pateikti dviems būdingesniems variantams: pirmasis variantas – kiaulių ekskrementas, antrasis variantas – pieno išrūgos.

Pirmojo varianto modeliavimo rezultatai, kai kiaulių ekskrementas 90% drėgnio, o įkrovos: kasdienė po 2,5 m³; kas trys dienos po 7,5 m³, kas penkios dienos po 12,5 m³, ir antrojo varianto modeliavimo rezultatai, kai pieno išrūgos 95% drėgnio, o įkrovos: kasdienė po 2,5 m³; kas trys dienos po 7,5 m³, kas penkios dienos po 12,5 m³, parodyti 2 paveiksle.

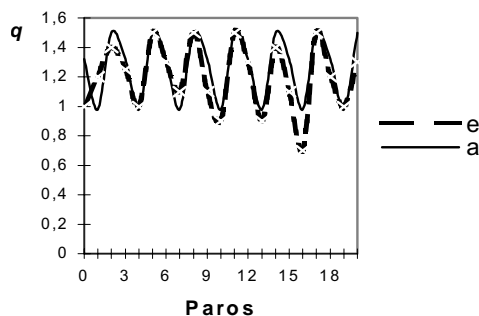
Analitinių rezultatų patikrinimui gamybiniame 60 m³ bioreaktoriuje atlikti bandymai kiaulių ekskremento, apie 90% drėgnio, pakraunamo kas trys dienos po 7,5 m³. Gauti eksperimentiniai duomenys ir analitiniai modeliavimo rezultatai parodyti 3 paveiksle.

Išanalizavus biodujų gamybos iš 1 lentelėje pateiktų medžiagų anaerobinio perdirbimo 60 m³ bioreaktoriuje matematinio modeliavimo rezultatus gauti suvestiniai skaičiavimo rezultatai apie biodujų lyginamąją vidutinę paros išėigą q (m³/m³ par.) ir biodujų išėigos amplitudės svyravimus (%) nuo vidutinės lyginamosios išėigos q priklausomai nuo įkrovų dažnio p (paros) ir įkrovos masės m (m³). Skaičiavimų rezultatai pateikti 3 lentelėje.

Iš 3 lentelėje pateiktų duomenų matyti, kad biodujų paros vidutinė išėiga nuo įkrovų dažnio prak-



2 pav. Lyginamosios biodujų iš kiaulių ekskremento išėigos q (m³/m³ par.) analitinių rezultatų grafikai: 1 – kasdienė 2,5 m³ įkrova; 2 – 7,5 m³ įkrova kas trečia diena; 3 – 12,5 m³ įkrova kas penkta diena. a – pieno išrūgos, b – kiaulių ekskrementas



3 pav. Lyginamosios biodujų iš kiaulių ekskremento – 5 m³ įkrova kas trečia diena – išėigos q (m³/m³ par.) a – analitiniai rezultatai, e – eksperimentiniai duomenys

Biomasaė	P paros	m m ³	q m ³ /m ³ p	%
Kiaulių ekskrementas	1	0,025	1,22	±0,0
	3	0,075	1,22	+18,8 –23,0
	5	0,125	1,22	+41,0 –52,5
Alaus saladinas	1	0,025	1,27	±0,0
	3	0,075	1,26	+19,2 –22,8
	5	0,125	1,27	+41,1 –52,2
Pieno išrūgos	1	2,5	1,88	±0,0
	3	7,5	1,90	+94,7 –76,3
	5	12,5	1,88	+215,8 –97,5
Rapso išspaudos	1	2,5	1,99	±0,0
	3	7,5	1,99	+25,0 –25,0
	5	12,5	1,99	+56,5 –62,1
Miežiniai miltai	1	2,5	3,39	±0,0
	3	7,5	3,38	+27,7 –30,6
	5	12,5	3,39	+62,2 –64,4

tiškai nekinta. Biodujų paros išėigos svyravimų amplitudė biodujų išėigos vidutinės reikšmės atžvilgiu priklausomai nuo įkrovų dažnio įvairioms medžiagoms yra skirtinga. Pavyzdžiui, perdirbant pieno išrūgas biodujų išėigos svyravimų amplitudė esant kasdieni įkrovai sudaro apytikriai ±0%, o papildant kas 5 paros – nuo +215,8 iki –97,5%. Bioreaktorių eksploatavimo analizė parodė, kad biodujų jėgainių eksploatacijai turi įtakos bioreaktoriaus darbo režimo parinkimas. Jeigu veikia kolektyvinė didelio galimumo biodujų jėgainė, kurią eksploatuoja etatiniai specialistai, tai bioreaktorių papildymo dažnis priklausys nuo biomasės tiekimo galimybių. Jeigu ūkininko sodyboje veikia nedidelio galimumo bioreaktorių, kurio eksploatacija pavesta darbininkui, atliekančiam daugiausia kitus darbus, susijusius su ūkio gamybine veikla, tai rentabilus bioreaktoriaus darbo režimas bus jį pakraunant šviežia biomase ne kasdien, o rečiau. Pavyzdžiui, kas trečia, ketvirta ar penkta para.

4. IŠVADOS

1. Sudarytas biokonversijos proceso matematinis modelis.

2. Biokonversijos proceso matematinis modeliavimas įgalina sumažinti materialines ir laiko sąnaudas optimizuojant bioreaktoriaus darbo režimą.

3. Matematinio modeliavimo rezultatai parodė, kad vidutinė biodujų paros išeiga nuo įkrovų dažnio nepriklauso arba kinta labai mažai.

4. Mažinant įkrovų dažnį biodujų išeigos svyravimų dažnis mažėja, o svyravimų amplitudė didėja.

5. Biodujų išeigos svyravimų dažnis ir svyravimų amplitudė taip pat priklauso nuo perdirbamos medžiagos savybių.

Gauta

2003 11 20

Literatūra

1. Jens Bo Holm, Teodorita Al Seadi. Biogas in Europe – a general overview // Alternat. Energy from waste and biomass, Tallinn, Estonia 9th–10th November, 1998.
2. The future of biogas in Europe. Proceedings. Edited by Jens Bo Holm – Nielsen. Risskov: Bio Press (Denmark), 1997. 125 p.
3. Thyselius L. Biogas ur vaxter. U.: Swedish Institute of Agricultural Engineering, 1990. 8 p.
4. Nordberg A., Edstrom M. Co – digestion of ley crop silage, straw and manure // The future of biogas in Europe. Herning, SUC, 1997. P. 82–89.
5. Projekt Energięgras/ Feldholz. Schlussbericht // Swiss Eidgenossische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik Tänikon, 15. Januar 1997. 79 p.
6. Biogas in der Landwirtschaft. Leitfaden für Landwirte und Investoren im Land Brandenburg // Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg, Referat Presse- und Öffentlichkeitsarbeit. Potsdam, August 2000. 16 p.
7. Income Annual Reporter 1993/94 // Swedish Institute of Agricultural Engineerin, Jordbrukstekniska institutet, 1994. 9 p.
8. Gomez C. C. Biogas – Reliable for German farmers. /www.biogas.org.
9. White Paper. An energy policy for the European Union' Official Journal C 362, 02/12/1996 p.
10. Biewinga E. E. Gert van der Bul. Assessing the ecological and economic sustainability of energy crops// Biomass and Bioenergy. 1998. Vol. 15. No. 4/5. P. 345–355.
11. Iširti ir pagrįsti tinkamiausias technologijas biodujoms iš mėšlo ir organinių atliekų gaminti ūkininkų fermose: Mokslinio darbo ataskaita / LŽŪMI. Raudondvaris, 1996.

Romualdas Juozas Janušauskas

BIOGAS PRODUCTION FROM WASTES OF AGRICULTURAL AND FOOD INDUSTRIES

Summary

Anaerobic treatment of biomass such as livestock manure in bioreactors is rather relevant for the solution of the problems of handling such waste on livestock farms. Research into the issues of anaerobic treatment of various wastes was started at the Lithuanian Institute of Agricultural Engineering in 1993. A mathematical model of the bioconversion process has been developed. Results of mathematical modelling have shown that the average comparative daily output of biogas q expressed in cubic meters per one cubic meter of the bioreactor volume per day (m^3/m^3day) does not depend on the frequency of loads or varies very inappreciably. When the loading frequency is reduced, the frequency of variation of comparative output of biogas declines, and the range of variation increases. The range of variation of biogas output depends on the processed material. The lowest average comparative biogas output was identified when pig excrement ($1.22 m^3/m^3par.$) was processed in the bioreactor, while the highest output was obtained when processing barley flour ($3.39 m^3/m^3day$). The highest daily biogas output variation range was identified when processing whey, where the variation ranged from $\pm 0\%$ from the average daily output at daily load up to $+218.6\%$ and -97.3% when loading every 5th day.

Key words: biogas, biomass, bioreactor, mathematical model

Ромуальдас Юозас Янушаускас

ПРОИЗВОДСТВО БИОГАЗА ИЗ ОТХОДОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Резюме

Анаэробная переработка биомассы (например, навоза в биореакторах) позволяет решать проблемы утилизации отходов животноводческих ферм. Работы в этой области в Литовском институте сельскохозяйственной инженерии проводятся с 1993 г.

Предложена математическая модель процесса биоконверсии. Ее реализация показала, что средний удельный суточный выход биогаза практически не зависит от частоты загрузки биореактора. С уменьшением частоты загрузки уменьшается частота колебаний удельного выхода биогаза, но увеличивается его амплитуда. Амплитуда изменения удельного выхода биогаза зависит и от свойств используемой биомассы. Наименьший суточный удельный выход биогаза получен при переработке свиного навоза ($1,22 m^3$ в расчете на $1 m^3$ объема биореактора), а наибольший – при переработке ячменной муки – $3,99 m^3$. При переработке молочной сыворотки амплитуда колебания удельного выхода биогаза при ежесуточной загрузке биореактора близка к нулю, а при загрузке каждые 5 суток она составляет от $+215,8$ до $-97,5\%$.

Ключевые слова: биогаз, биомасса, биореактор, математическая модель