

GYVULININKYSTĖS ŪKIO ENERGIJOS POREIKIŲ IR BIODUJŲ JĖGAINĖS ENERGINIO POTENCIALO TYRIMAS

Julius ZIKAS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas,
el. paštas: julius.zikas@vdu.lt

Kęstutis NAVICKAS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas,
el. paštas: kestutis.navickas@vdu.lt

Santrauka

Biodujų gamyba iš žemės ūkio ir gyvūninių atliekų gali būti perspektyvus sprendimas atsinaujinančiai bioenergetikai vystyti. Šiame darbe pristatytas tyrimas apie biodujų gamybos ir naudojimo galimybes mažame gyvulininkystės ūkyje. Pasirinktas tyrimo objektas – Telšių rajone esantis smulkus gyvulininkystės ūkis, kuriame auginamos 43 melžiamos karvės, 72 mėsiniai galvijai, 14 pieninių ir 23 vnt. mėsinų galvijų prieauglio. Vidutinės ūkio metinės elektros energijos sąnaudos siekia 28,4 MWh, o šiluminės energijos – apie 58,6 MWh. Biodujoms gaminti pasirinktos ūkyje nuolat susidaranti žaliavos – tirštas ir skystas galvijų mėšlas. Per tvartinio laikymo laikotarpį fermoje sukaupiama apie 543 tonos tiršto ir 538 tonos skystojo mėšlo. Pagamintos biodujos būtų skirtos padengti metines ūkio elektros ir šilumos energijos sąnaudas. Tyrimo metu atliktas vienkartinės įkrovos eksperimentas su pasirinktomis žaliavomis VDU Žemės ūkio akademijos Biodujų laboratorijoje ir nustatytos biodujų išeigos, metano koncentracijos ir dujų energinės vertės. Remiantis eksperimentinio tyrimo ir žaliavų srautų modeliavimo rezultatais, nustatyta, kad iš ūkyje sukaupiamų žaliavų gali būti išgaunama biodujų, kurių energinis potencialas siekia 295 MWh. Metinis energijos kiekis iš biodujų gaunamas ženkliai didesnis nei reikalingas ūkio energijos poreikiams patenkinti.

Reikšminiai žodžiai: biodujos, jėginė, energijos poreikis, energijos gamyba.

Įvadas

Nestabilios energijos išteklių kainos, pastarųjų metų įtampa dėl netvarių energijos tiekimo grandinių skatina ieškoti vietinių, atsinaujinančiųjų energijos išteklių. Biodujos yra vienas iš svarbių atsinaujinančiųjų energijos išteklių, kurių gamyba ir panaudojimas prisideda prie Europos Sąjungos (ES) ir nacionalinės politikos atsinaujinančios energijos strateginių tikslų. 2021 m. bendra biometano gamyba 27 ES valstybėse narėse siekė 3,5 mlrd. m³. ES atsinaujinančiosios energetikos plėtros programa REPowerEU biometaną laiko viena iš gamtinių dujų importui mažinti, didinant biometano gamybos apimtį iki 35 mlrd. m³ 2030 m. (LR ENMIN, 2023). Europos biodujų asociacijos (EBA) duomenimis, 2021 m. Lietuvoje pagaminta 0,04 mlrd. m³ biodujų 41 biodujų jėgainėje.

Pastaruoju metu daug diskusijų kyla dėl gyvulių mėšlo sukeltos taršos ir jo naudojimo energijai išgauti galimybių (Orlando and Borja, 2020). Netinkamai tvarkomos gyvūninės kilmės atliekos sukelia neigiamų padarinių aplinkai – skleidžia nemalonius kvapus, pritraukia vabzdžius, graužikus ir kitus kenkėjus, užteršia paviršinį ir požeminį vandenį (Sakar, 2009). Biodujų gamybos technologijos remiasi natūralia mikroorganizmų ir organinių atliekų sąveika, švarių ir energetiškai efektyvių dujų susidarymu. Siekiant optimizuoti anaerobinio skaidymo procesą ir maksimaliai padidinti biodujų gamybą, labai svarbu apgalvoti pasirinkti substratus ir atsižvelgti į tokius veiksnius, kaip organinių medžiagų kiekis, drėgmės lygis ir maistingumo balansas. Neperdirbtas biodujas sudaro metanas (60–65 proc.) ir anglies dioksidas (35–55 proc.) bei nedidelis kiekis vandenilio sulfido (0,1–3 proc.) (Sihlangu et al., 2024). Išgautos biodujos gali būti naudojamos ūkio energijos poreikiams tenkinti – elektros energijos, šilumos ir degalų gamybai.

Tyrimo tikslas – ištirti gyvulininkystės ūkio biodujų jėgainės energinį efektyvumą.

Iškeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Nustatyti gyvulininkystės ūkio ir ūkininko sodybos elektros ir šiluminės energijos poreikius.
2. Eksperimentiniu būdu nustatyti žaliavų biodujų išeigą ir jų sudėtį.
3. Nustatyti biodujų gamybai tinkamų žaliavų energinį potencialą ir galimybes patenkinti ūkio energijos poreikius.

Tyrimų objektas ir metodai

Atliekamo tyrimo objektas – Telšių rajone esantis smulkaus tipo gyvulininkystės ūkis. Ūkyje auginamos 43 melžiamos karvės, 72 mėsiniai galvijai, 14 pieninių ir 23 vnt. mėsinų galvijų prieauglio. Atliekamame tyrime pasirinktos ūkyje prieinamos biodujų gamybai žaliavos – tvartinio laikotarpio sukauptas skystas (apie 538 tonos) ir tirštas (apie 543 tonos) galvijų mėšlas. Pagamintos biodujos būtų naudojamos šilumos ir elektros energijai generuoti. Šilumos energiją numatoma naudoti biodujų gamybos procesui palaikyti, gyvenamojo namo šildymui, karšto vandens ruošai ir maisto gamybai. Elektros energija būtų naudojama gyvenamojo namo ir gyvulininkystės ūkio reikmėms.

Šiluminės energijos poreikis gyvenamųjų patalpų šildymui nustatomas remiantis šilumos nuostolių per atitvaras lygtimi (Gudzinskas ir kt., 2011):

$$Q_{n-a} = k \cdot F \cdot (t_v - t_{is}) \cdot \mu, W; \quad (1)$$

čia: K – šilumos laidumo koeficientas, $W/m^2 \cdot K$;
 F – atitvaros plotas, m^2 ;

t_v – patalpos vidaus temperatūra, °C;

$t_{i\bar{s}}$ – vidutinė išorės temperatūra, °C;

μ – pataiso koeficientas įvertinantis atitvarų kontaktą su išore.

Šilumos energijos poreikis patalpų šildymui, karšto vandens ruošimui, maisto gamybai ir biodujų gamybos procesui apskaičiuotas remiantis 2021–2023 m. Telšių rajono meteorologinės stoties duomenimis, pagal užfiksuotą kiekvieno mėnesio lauko temperatūros vidurkį °C:

$$E_p = E_{\bar{s}} + E_{kv} + E_{mg} + E_{bg}, \text{ kWh}; \quad (2)$$

čia: $E_{\bar{s}}$ – energijos poreikis patalpų šildymui, kWh;

E_{kv} – energijos poreikis karšto vandens ruošimui, kWh;

E_{mg} – energijos poreikis maisto gamybai, kWh;

E_{bg} – energijos poreikis biodujų gamybos procesui, kWh.

Biodujų energetinė vertė e_B gaunama iš tiriamų žaliavų, apskaičiuota pagal lygtį (Navickas ir kt., 2007):

$$e_B = \frac{e_{CH_4} CH_{4,K}}{100} \text{ kWh/m}^3 \quad (3)$$

čia: $CH_{4,K}$ – metano koncentracija biodujose, %;

e_{CH_4} – metano energetinė vertė (9,8 kWh/m³).

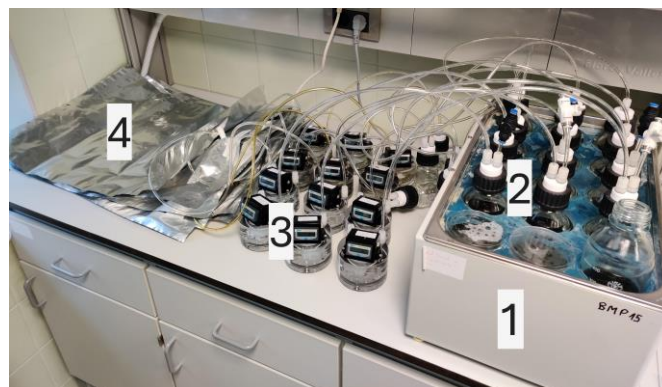
Skaiciuojamas biodujų energijos potencialas per metus:

$$E_{mB} = B_{met} \cdot e_B, \text{ kWh}; \quad (4)$$

čia: e_B – biodujų energetinė vertė, kWh/m³;

B_{met} – metinė biodujų gamyba, m³.

Eksperimentinis vienkartinės įkrovos biodujų potencialo tyrimas atliktas Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos (VDU ŽŪA) Biodujų laboratorijoje. Prieš tyrimą tirštas mėšlas susmulkintas laboratoriniu smulkintuvu. Pagal nustatytą organinės medžiagos koncentraciją žaliavų mėginiuose parinktas kiekvienos žaliavos mėginio dydis vienkartinės įkrovos tyrimui atlikti. Nustatant žaliavų įkrovos masę, naudotos elektroninės svarstyklės „KERN EG4200-2NM“, kurių matavimo ribos 0–4200 g, tikslumas ±0,02 g, o skiriamoji geba 0,01 g. Svėrimo nukrypimai neviršija ± 0,01 g. Paruošiant tyrimui skirtus mėginius, 27 g tiršto mėšlo žaliavos panaudota 400 g inokulianto, o 50 g skysto mėšlo – 400 g inokulianto. Siekiant gauti kuo tikslesnius rezultatus, visų žaliavų biodujų išėigos tyrimo bandymas kartotas po 3 kartus. Eksperimentui atlikti naudotas biodujų potencialo nustatymo stendas BMP (žr. 1 pav.) su jame esančiu vandens šildytuvu ir termostatu optimaliai 37±0,2 °C mezofilinei temperatūrai palaikyti.



Šaltinis: autoriaus nuotrauka
Source: author's photo

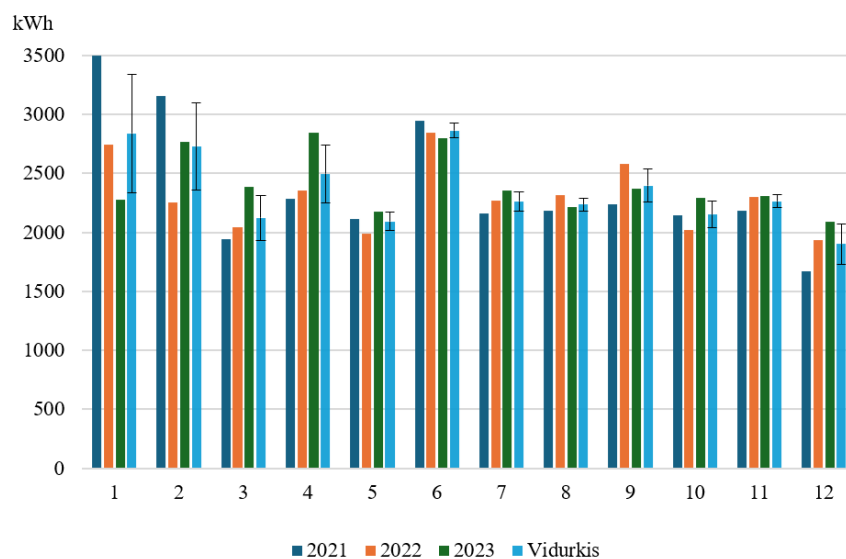
1 pav. Eksperimentinio tyrimo stendas BMP15 (1), laboratoriniai indai (2), dujų kiekio matuokliai (3), dujų surinkimo maišai (4).
Fig. 1. Experimental test bench BMP15 (1), laboratory vessels (2), gas meters (3), gas collection bags (4).

500 ml talpos laboratoriniai indai (2) su jau paruoštomis žaliavomis sudedami į stendą. Guminėmis žarnelėmis indai sujungiami su dujų kiekio matuokliais „MilliGascounter MGC-1 V3.4 PMMA“ (3), kurių matavimo srauto greitis nuo 1 – 1000 ml/h, o tikslumas ±3 proc. Matuokliai žarnelėmis prijungiami prie 25 l talpos dujų surinkimo maišų (4). Sukauptos dujos eksperimento pabaigoje buvo analizuotos biodujų analizatoriumi AWIFLEX, kurio metano matavimo ribos 0 – 100 %, o tikslumas ±0,1 %.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Tyrimo metu nustatyti tiriamo objekto šiluminės ir elektros energijos poreikiai. Elektros energijos poreikis nustatytas pagal 3 metų (2021–2023 m.) kiekvieno mėnesio gyvulininkystės ūkio ir ūkininko sodybos elektros tiekėjo

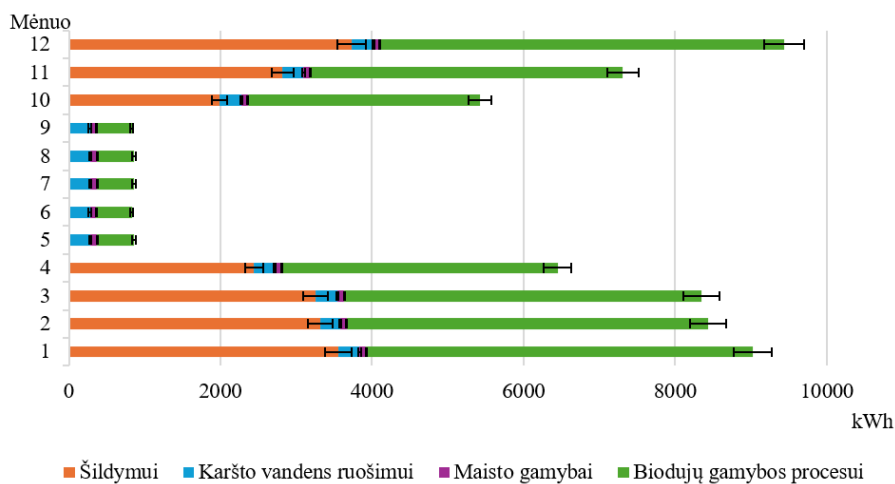
apskaitos duomenis (žr. 2 pav.). Daugiausiai elektros energijos per tiriamą laikotarpį suvartota 2021 m. sausio (3495 kWh) ir vasario (3158 kWh) mėnesiais. Remiantis 3 metų duomenimis, mažiausiai elektros energijos suvartojama kovo ir gruodžio mėnesiais, atitinkamai – 2123 ir 1900 kWh.



2 pav. Gyvulininkystės ūkio elektros energijos sąnaudos 2021–2023 m.

Fig. 2. Electricity consumption of livestock farm 2021–2023

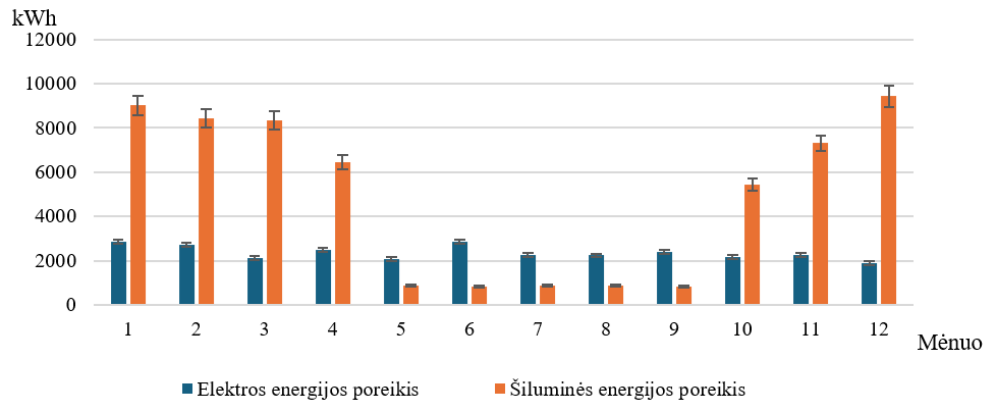
Šiluminės energijos poreikis apskaičiuotas prie gyvenamo namo patalpų šildymo poreikių pridėjus karšto vandens gamybai, maisto ruošai ir biodujų gamybos procesui reikalingą energijos kiekį (žr. 3 pav.). Gyvenamosiose patalpose šildymo metu yra palaikoma 22 °C temperatūra. Didžiausias šilumos poreikis nustatytas gruodžio (9434 kWh) ir sausio (9022 kWh) mėnesiais. Mažiausias šiluminės energijos kiekis reikalingas birželio ir rugsėjo mėnesiais – 828 kWh. Vidutiniškai 4 asmenų šeima kiekvieną mėnesį karšto vandens ruošimui sunaudoja 281 kWh, o maisto ruošai – 85 kWh energijos.



3 pav. Prognozuojamos gyvulininkystės ūkio metinis šiluminės energijos sąnaudos

Fig. 3. Forecasted annual thermal energy consumption of a livestock farm

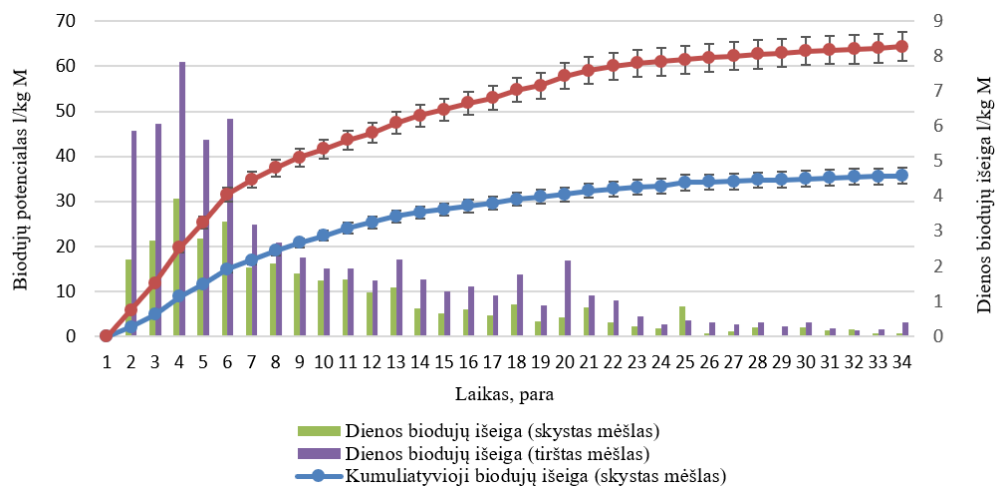
Atlikus gyvulininkystės ūkio energijos sąnaudų analizę, nustatytas prognozuojamas metinis elektros ir šiluminės energijos poreikis (žr. 4 pav.): šiluminės energijos poreikis – $58,6 \pm 3,7$ proc. MWh, o elektros energijos – $28,4 \pm 0,3$ proc. MWh. Didžiausias energijos poreikis prognozuojamas sausio (11,86 MWh), gruodžio mėn. (11,33 MWh) ir vasario mėn. – 11,16 MWh. Mažiausiai energijos tiriamas ūkis sunaudotų birželio–rugsėjo mėnesiais, nuo 2,95 MWh iki 3,23 MWh per mėnesį.



4 pav. Metiniai gyvulininkystės ūkio energijos poreikiai

Fig. 4. Annual energy needs of livestock farm

Biodujų išeigos ir žaliavų energijos potencialas nustatytas remiantis eksperimentiniu tyrimu, kuris atliktas vienkartinės įkrovos metodu. Tyrimai truko 34 dienas iki pilno tiriamų žaliavų mėginių suirimo. Stebint kumuliatyviąsias ir kiekvienos dienos biodujų išeigas iš tiriamų žaliavų, pirmas 6 dienas matomas žymus potencialo augimas: skysto mėšlo – nuo 2,2 iki 14,99 l/kg, o tiršto mėšlo – nuo 5,87 iki 31,58 l/kg (žr. 5 pav.). Nuo 7 iki 22 tyrimo dienos biodujų išeiga nebe tokia sparti: skysto mėšlo – nuo 16,96 iki 32,82 l/kg, o tiršto mėšlo – nuo 34,78 iki 60,06 l/kg. Paskutinę, 34 tyrimo dieną, gauti galutiniai biodujų išeigos iš tiriamos biomasės tyrimo rezultatai (žr. 1 lentelę): skysto – $35,67 \pm 3,54$ m³/t ir tiršto mėšlo – $64,39 \pm 6,79$ m³/t. Metano koncentracija biodujose iš tiršto mėšlo siekė $56,5 \pm 1,41$ proc., o skysto – $53,75 \pm 2,33$ proc.



5 pav. Tiriamų žaliavų biodujų kumuliatyviosios išeigos dinamika

Fig. 5. Dynamics of cumulative biogas yield of the studied feedstocks

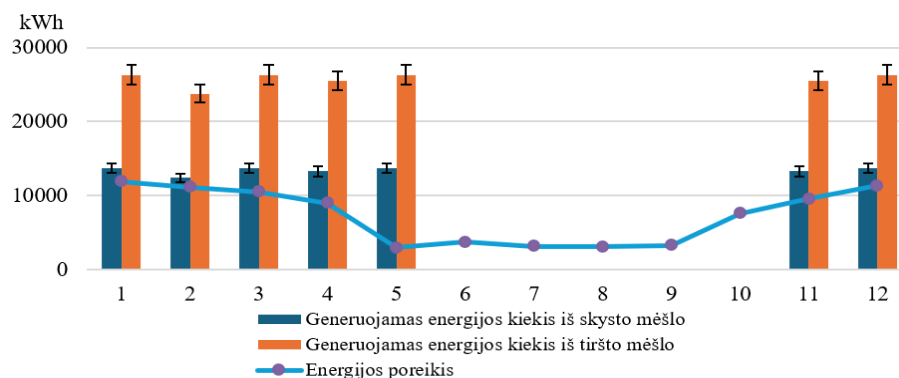
Remiantis susidarančių žaliavų srautais ir eksperimentinio tyrimo rezultatais, nustatyta potenciali metinė biodujų gamyba iš turimų žaliavų ir jos energinis potencialas. Tikėtina, kad iš ūkyje susidarančių žaliavų per metus galima pagaminti apie – 54,7 tūkst. m³ biodujų, kurių energinis potencialas siekia 295 MWh (žr. 1 lentelę).

1 lentelė. Biodujų ir energijos gamybos potencialas

Table 1. Biogas and energy production potential

Žaliavų charakteristika		Žaliavų kiekis M_m	Biodujų išeiga B_t	Metinė biodujų gamyba B_m	Metano koncentracija	Metinis energijos gamybos potencialas
Žaliavų rūšis	SOM, %	t / metus	m ³ /t Ž	tūkst. m ³ /metus	%	MWh
Tirštas mėšlas	14,81	543	$64,39 \pm 6,79$	$34,96 \pm 3,7$	$56,5 \pm 1,41$	$193,59 \pm 20,99$
Skystas mėšlas	8,00	537,5	$35,67 \pm 3,54$	$19,17 \pm 1,9$	$53,75 \pm 2,33$	$101,04 \pm 10,95$
Viso:	-	1080,5	-	$54,66 \pm 4,16$	-	$294,63 \pm 23,68$

Analizuojant energijos poreikį ūkyje ir energijos gamybos potencialą iš ūkyje susidarančių žaliavų (žr. 6 pav.), galima pastebėti, kad energijos gamybos potencialas yra ženkliai didesnis negu elektros ir šiluminės energijos poreikis. Tvartiniu galvijų laikymo laikotarpiu ūkio ir sodybos energijos poreikiams patenkinti pakanka vien iš skysto mėšlo generuojamų biodujų. Tvartiniu laikotarpiu išgaunamas energijos kiekis iš skysto mėšlo per mėnesį kinta 12,38–13,70 MWh ribose, o energijos poreikiai svyruoja nuo 2,9 iki 11,8 MWh. Siekiant panaudoti visą žaliavų potencialą, reikalingas papildomas tyrimas, kuriuo būtų įvertintos biometano gamybos ir jo naudojimo ūkio transportui galimybės.



6 pav. Metiniai energijos poreikiai ir energijos gamybos potencialas iš ūkyje susidarančių žaliavų
Fig. 6. Annual energy demand and energy production potential from on-farm raw materials

Ūkyje tirštas ir skystas mėšlas biodujų gamybai galimas tik 7 mėnesius – nuo lapkričio 1 iki gegužės 31 dienos. Birželio–spalio mėnesiais galvijai ganomi ganyklose, todėl tuo laikotarpiu biodujų jėgainę tektų stabdyti arba sumažinus jos galią naudoti kitas prieinamas žaliavas – pašarų likučius, pakelių ar pievų žolę ir pan.

Išvados

1. Tiriamo gyvulininkystės ūkio ir ūkininko sodybos metinis šilumos energijos poreikis siekia apie 58,6 MWh, o elektros energijos – apie 28,4 MWh.
2. Eksperimentiniu būdu nustatytos tyrimui pasirinktų žaliavų biodujų išeigos: skysto – $35,67 \pm 3,54$ m³/t ir tiršto mėšlo – $64,39 \pm 6,79$ m³/t, kurių metano koncentracija biodujose, atitinkamai $56,5 \pm 1,41\%$ ir $53,75 \pm 2,33\%$.
3. Nustatytas metinis biodujų energinis potencialas iš tiršto mėšlo siekia apie 194 MWh, o iš skysto apie – 101 MWh.
4. Metinis ūkio žaliavų energinis potencialas yra didesnis, negu gyvulininkystės fermos ir sodybos elektros ir šiluminės energijos poreikiai, todėl tikslinga įvertinti biometano gamybos ir naudojimo ūkio transporte galimybes.

Literatūra

1. Gudžinskas, J., Lukoševičius, V., Martinaitis, V., & Tuomas, E. (2011). Šilumos vartotojo vadovas. Vilnius: Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija.
2. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija (2023-04). Dėl klimato kaitos programos priemonės investicinė parama biometano gamybai ir (ar) biodujų išvalymui. Tekstas lietuvių k. Žiūrėta [2025-03-02], Prieiga per internetą: <https://eseimas.lrs.lt/portal/legalActPrint/lt?category=TAK&documentId=e4a82101e02c11eda305cb3bdf2af4d8&jfwid=la0o4xyr>
3. Navickas, K., Župerka, V., & Venslauskas, K. (2007). Gyvūninės kilmės šalutinių produktų anaerobinis perdirbimas į biodujas. *Žemės ūkio inžinerija*, Nr. 39 (4).
4. Orlando, M.-Q., & Borja, V.-M. (2020). Pretreatment of Animal Manure Biomass to Improve Biogas Production: A Review. *Energies*, 13(14), 3573. <https://doi.org/10.3390/en13143573>
5. Sakar, S., Yetilmezsoy, K., & Kocak, E. (2009). Anaerobic digestion technology in poultry and livestock waste treatment—a literature review. *Waste management & research*, 27(1), 3-18.
6. Sihlangu, E., Luseba, D., Regnier, T., Magama, P., Chiyanzu, I., & Nephawe, K. A. (2024). Investigating methane, carbon dioxide, ammonia, and hydrogen sulphide content in agricultural waste during biogas production. *Sustainability*, 16(12), 5145.

STUDY OF LIVESTOCK FARM ENERGY NEEDS AND BIOGAS POWER PLANT ENERGY POTENTIAL

Abstract

Biogas production from agricultural and animal waste can be a promising solution for the development of renewable bioenergy. Biogas production technologies are based on the natural interaction of microorganisms and organic waste, for the formation of clean and energetically active gases. This paper presents a study on the possibilities of biogas production and use in a small livestock farm. The selected object of the study is a small livestock farm located in Telšiai district, where 43 dairy cows, 72 beef cattle, 14 dairy and 23 beef cattle are raised. The raw materials constantly generated on the farm – thick and liquid cattle manure – were selected for biogas production. The farm accumulates around 543 tons of thick manure and 538 tons of liquid manure during the housing period. The biogas produced would be used to cover the farm's annual electricity and thermal energy consumption. The study carried out a single load experiment with selected feedstocks at the Biogas Laboratory of the VMU Academy of Agriculture and determined biogas yields, methane concentrations and gas energy values. Based on the results of the experimental study and the modelling of the feedstock flows, it was found that biogas with an energy potential of up to 280 MWh could be extracted from the feedstock stored on the farm. Annual energy yields from biogas are significantly higher than the energy needs of the farm.

Keywords: biogas, power plant, energy demand, energy production.