

NETRADICINIŲ ŽOLINIŲ AUGALŲ PANAUDOJIMAS BIODUJŲ GAMYBOJE

Viktorija BUINAUSKIENĖ, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: viktorija.buinauskiene@gmail.com

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

Santrauka

Ieškant alternatyvių šaltinių atsinaujinančiai energetikai, vis labiau siūloma panaudoti žolinius augalus. Dideliam biomasės kiekio išauginimui pasirenkami daugiamečiai augalai. Tarp plačiai naudojamų augalų išsikrovoti vietą rinkoje gali tokie netradiciniai augalai, pavyzdžiui, pluoštinės dilgėlės, kurios savybėmis ir energetiniu atžvilgiu mažai atsilieka nuo tradicinių kultūrų. Straipsnyje analizuojama biodujų gamyba iš dilgėlių, rinktų keturiais skirtingais mėnesiais. Tyrimo tikslas – nustatyti biodujų išeigas ir energetines vertes. Atlikus tyrimą kiekvienai grupei žaliavų nustatytos biodujų išeigos. Didžiausia biodujų išeiga – $863,4 \pm 12,1$ l/kg – gauta birželio mėnesį rinktoje dilgėlių žaliavoje. Nustatyta, kad energetiškai efektyviausios yra rugpjūčio mėnesio dilgėlės – $20,16 \pm 0,07$ MJ/m³. Mažiausias energetinis potencialas – $18,89 \pm 0,03$ MJ/m³ – gautas tiriant birželio mėnesio augalus. Biodujose nustatyta metano koncentracija – $57,1 \pm 1,2$ % rugpjūčio mėnesį rinktose dilgėlėse.

Reikšminiai žodžiai: biodujos, dilgėlės, biomasė, biodujų išeiga, energinis potencialas, atsinaujinanti energija

Įvadas

Pastaruoju metu daugiausia naudojamas iškastinis kuras, t. y. gamtinės dujos, akmens anglis, nafta, durpės ir kt. (Upskuvienė, 2020). Deginant iškastinį kurą, išmetamas didelis šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis, kuris skatina klimato kaitą. Tai svarbus iššūkis, kurį reikia įveikti, siekiant pereiti prie aplinkai draugiškesnių energijos šaltinių. Atsinaujinantys išteklių iš vėjo, saulės, aeroterminių ar geoterminių išteklių, vandens ir biomasės plėtra yra būtina. Vienas iš šių šaltinių yra biodujos, susidaranti iš įvairiems mikroorganizmams skaidant biomasę (Kalenska ir kt., 2013; Koonaphaddeert ir kt., 2019). Europoje pagaminama 21 mlrd. m³ biodujų ir biometano. Iki 2030 m. gamyba gali padvigubėti iki 35–45 mlrd. Iki 2050 m. gamyba gali padidėti bent penkis kartus, palyginti su dabartiniais gamybos lygiais, iki 167 mlrd. Taigi, 2050 m. potencialas sudarys iki 40 % dujų suvartojimo Europos Sąjungoje 2021 m. (European Biogas Association, 2024). Ieškant alternatyvių šaltinių atsinaujinančiai energetikai, vis labiau siūloma panaudoti žolinius augalus. Nors įprasta energetiniams tikslams panaudoti grūdines kultūras, šakniavaisius, būtina atsižvelgti į tai, kad pasaulyje yra nemažai gyventojų, patiriančių badą. Tuomet tokių žaliavų panaudojimas gali būti traktuojamas kaip maisto švaistymas. Kur kas geresnis variantas būtų žolių biomasės panaudojimas energetiniams tikslams. Be to, tai padėtų išspręsti apleistų žemių panaudojimo problemas (Ausilion, 2009). Dideliam biomasės kiekio išauginimui pasirenkami daugiamečiai augalai (Makarevičienė, Sendžikienė, 2013).

Lietuvoje yra žemės plotų, kurie yra apleisti, netvarkomi. Tokie plotai gausiai apaugę laukiniais augalais, tokiais kaip paprastosios dilgėlės. Tai sparčiai plintantis žolinis augalas, formuojantis tankias grupes vejose, nedirbamuose laukuose, pakelėse ar palei geležinkelius (Makarevičienė, Sendžikienė, 2013). Literatūros duomenų apie dilgėlių panaudojimą biodujoms gaminti nėra daug, todėl kad dilgėlės nėra plačiai naudojamos biodujų gamyboje. Tokiose šalyse kaip, pavyzdžiui, Lietuva mažą dilgėlių (*Urtica*) panaudojimą biodujoms gaminti lemia platus kitų žolinių kultūrų pasirinkimas. Vietoje tokių netradicinių kultūrų renkamos pluoštinės kanapės ir kiti energetiškai efektyvūs augalai. Daugelis tradicinių augalų yra lengvai auginami ir išaugina didelius biomasės kiekius. Dilgėlių auginimo poveikis aplinkai yra potencialiai palankus, tai daugiamečiai mažo poreikio pasėlis (su mažomis sąnaudomis gali pasiekti apie 3–12 t/ha sauso stiebo derlių) (Di Virgilio, 2015). Pluoštinėms dilgėlėms tinkami dirvožemiai, kuriuose daug organinių medžiagų, kuriuose yra daug maistingų medžiagų (ypač azoto) ir pakankamai vandens. Reikėtų vengti blogai nusaesintų ir rūgščių dirvožemių. Histozoliai yra ypač tinkami dilgėlių auginimui. Dilgėlės gali būti dauginamos tiek sėklomis, tiek vegetatyviniu būdu (Bacci ir kt., 2009). Kadangi dilgėlė yra daugiametis augalas, kuris kiekvienais metais išaugina palyginti daug biomasės, ūkininkavimo atveju ypač svarbus azoto tiekimo būdas. Norint sėkmingai integruoti ankštinius augalus ir žoleles dilgėlių plotuose būtinas platus atstumas tarp eilių – 150 cm. Svarbu atlikti pakartotiną dirvos įdirbimą tarpueiliuose pavasarį ir naudoti greitai augančių ankštinių augalų rūšis, pavyzdžiui, paprastąjį vikį ar raudonąją dobilą. Siekiant išvengti konkurencijos su dilgėlėmis dėl vandens ir maistingų medžiagų neturėtų būti naudojamas dvimetės ir daugiamečės žolių rūšys (Vogl, 2003). Dilgėlių derliaus nuėmimo technologija tobulinama, tačiau yra sukurta speciali mašina dilgėlių derliui nuimti. Kadangi dilgėlių stiebų aukštis ir morfologinės savybės yra panašios į kanapių, tai derliaus nuėmimui naudojama tokia pati technika kaip ir kanapių. Pirmaisiais augimo metais derliaus kiekis biodujoms gaminti netinkamas, nepasiekia tinkamo tankumo. Tinkamas dilgėlių pluoštas gaunamas iš antrų metų dilgėlių derliaus. Subrendusios dilgėlės nuimamos liepos–rugpjūčio mėnesiais. Derlius nuimamas kartą per metus. Dėl gausaus masės derliaus dilgėlės panaudojamos energetinėms reikmėms, kaip biodujų gamybai (Žukaitė, 2020).

Tyrimų tikslas – ištirti dilgėlių biomasės perdirbimo į biodujas galimybes ir nustatyti biodujų potencialą.

Išsikeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Atlikti dilgėlių biomasės cheminės sudėties analizę.
2. Atlikti eksperimentinius biomasės perdirbimo į biodujas tyrimus.
3. Nustatyti metano koncentraciją biodujose.
4. Nustatyti dilgėlių biomasės energinį potencialą.

Tyrimų objektas ir metodai

Eksperimentiniai tyrimai atliekami Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos (VDU ŽŪA) Biodujų laboratorijoje. Tyrimams atlikti naudojamos didžiosios dilgėlės (*Urtica, dioica*). Augalai rinkti 2021 m. gruodžio mėn., 2022 m. birželio, liepos ir rugpjūčio mėn. Žaliava išdžiovinta ir laikyta kambario temperatūros sąlygomis iki tyrimo pradžios. Išdžiovinti dilgėlių stiebai pateikti 1 pav.



1 pav. Sudžiovintos dilgėlės: a – gruodžio mėn.; b – birželio mėn.; c – liepos mėn.; d – rugpjūčio mėn.

Fig. 1. Dried nettles: a – December; b – June; c – July; d – August

Smulkinimui pasirinkta smulkintuvas (TS 12 FTS127). Panaudotas smulkinimo sietelis, kurio skylučių skersmuo 4,5 mm. Smulkinamos visos augalo antžeminės dalys: žiedai, lapai, stiebai. Visų keturių rūšių žaliava buvo pasverta „EXCEL LBH – 300“ svarstyklėmis. Biodujų gamybos tyrimams atlikti naudojamas laboratorinis biodujų potencialo nustatymo reaktorių stendas. Buvo taikoma vienkartinės įkrovos metodika ir palaikoma mezofilinė temperatūra ($37,0 \pm 0,2$ °C). Tyrimai atlikti trimis pakartojimais. Visi bioreaktoriai (kiekvieno tūris 0,5 l) užpildyti tokiu pat kiekiu (400 g) mišiniu. Tyrimui naudota 8 g smulkintų dilgėlių masės ir 392 g inokuliumo. Papildomai buvo tiriamas inokoliumas kaip kontrolinis tyrimas. Pagamintos biodujos iš kiekvieno bioreaktoriaus buvo nukreiptos į dujų debitomatį (Ritter MilliGascounter MGC-1 PMMA). Biodujų gamybos proceso sistemos aprašymas ir metodika pateikta kitų autorių publikacijose (Venslauskas ir kt., 2024).

Remiantis gautais eksperimentinio tyrimo rezultatais, apskaičiuojamos biodujų išeigos iš perdirbamos biomasės (b_M), sausosios medžiagos (b_{SM}) ir sausosios organinės medžiagos (b_{SOM}), remiantis pateikta metodika (Genutis ir Navickas, 2008, Navickas ir kt., 2007).

$$b_M = \frac{b_{dt}}{m}, \quad (1)$$

$$b_{SM} = \frac{b_{dt}}{m_{SM}}, \quad (2)$$

$$b_{SOM} = \frac{b_{dt}}{m_{SOM}}, \quad (3)$$

čia: b_{dt} – pagamintų biodujų kiekis per laikotarpį dt , l;

m – perdirbamos biomasės masė, kg;

m_{SM} – sausųjų medžiagų masė perdirbamoje biomasėje, kg;

m_{SOM} – sausųjų organinių medžiagų masė perdirbamoje biomasėje, kg.

Biomasės energinė vertė e_M , e_{SM} , e_{SOM} apskaičiuojama pagal formules (Venslauskas, 2009):

$$e_M = b_M \cdot e_b, \quad (4)$$

$$e_{SM} = b_{SM} \cdot e_b, \quad (5)$$

$$e_{SOM} = b_{SOM} \cdot e_b, \quad (6)$$

čia: e_b – biodujų energinė vertė (MJ/l), priklausanti nuo metano koncentracijos C_M .

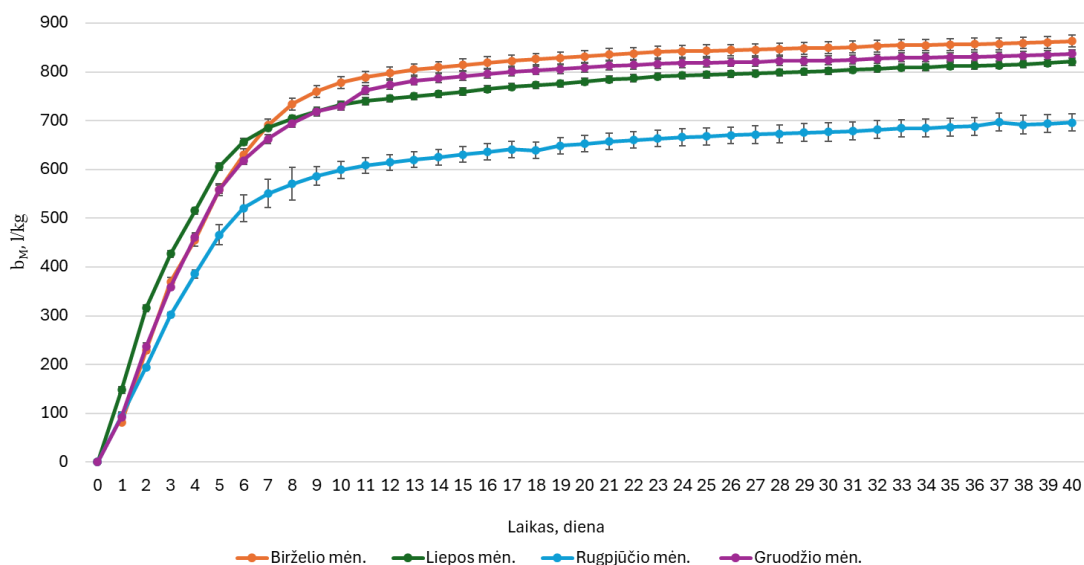
Biodujų energinė vertė, apskaičiuojama pagal formulę:

$$e_b = 0,0353 \cdot \frac{C_M}{100}, \quad (7)$$

čia: C_M – metano koncentracija biodujose, %.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

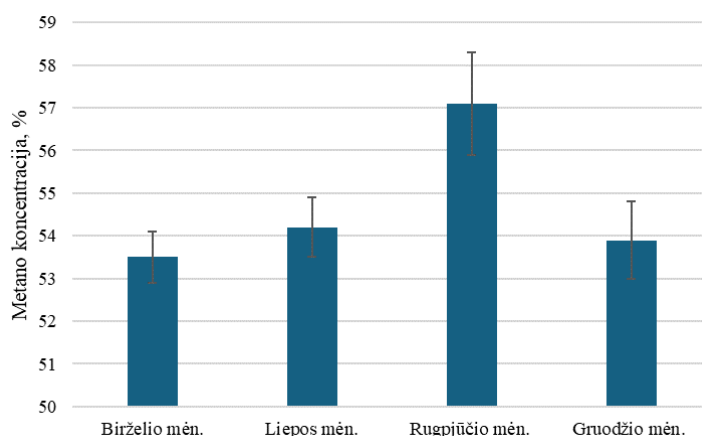
Tyrimo pradžioje nustatyta tyrimams naudotų dilgėlių sausosios medžiagos koncentracija, kuri buvo apie 92 %. Naudojant bakterinį inokuliatą, biodujų gamyba pradėta nuo pirmos eksperimentų dienos (žr. 2 pav.). Nuo eksperimento pradžios didžiausia biodujų gamybos išeiga nustatyta liepos mėnesio žaliavoje ir tai tęsėsi iki penkioliktos tyrimų dienos. Tuomet didžiausias biodujų kiekis kiekvieną dieną iki tyrimo pabaigos buvo gaunamas birželio mėnesio substrate. Didžiausi gautų biodujų kiekiai nustatyti po vieno mėnesio proceso eigos. Mažiausios viso tyrimo metu gautos biodujų išeigos per parą tiriant rugpjūčio mėnesio žaliavą, o tai rodo, kad jų labai kieti lignoceliuliozės audiniai mikroorganizmų yra lėtai skaidomi. Didžiausia biodujų išeiga – $863,4 \pm 12,1$ l/kg gauta birželio mėnesį rinktoje žaliavoje (žr. 2 pav.). Mažiausia biodujų išeiga nustatyta iš rugpjūčio mėnesį pjautų dilgėlių – $696,5 \pm 18,3$ l/kg. Liepos mėnesį rinktos žaliavos galutinis rezultatas siekė $820,8 \pm 7,0$ l/kg. Gruodžio mėnesio žaliavos biodujų kiekis buvo $836,8 \pm 9,54$ l/kg. Šio tyrimo metu gauti biodujų kiekiai atitinka teorines biodujų išeigas. 2018 m. Fardad atliktuose tyrimuose nustatytas 680 l/kg biodujų kiekis (Fardad ir kt., 2018). Dudrovskio gautas didžiausias biodujų kiekis buvo 709 l/kg (Dubrovskis ir kt., 2018).



2 pav. Komuliatyvioji biodujų gamyba iš dilgėlių mėginių.

Fig. 2. Cumulative biogas production from nettle samples.

Metano koncentracijos biodujose rezultatai atliekant tyrimus su skirtingais substratais pateikti 3 pav.



3 pav. Metano koncentracija biodujose.

Fig. 3. Methane concentration in biogas.

Didžiausia metano koncentracija gauta rugpjūčio mėnesio mėginyje – $57,1 \pm 1,2\%$. Kitų mėnesių substratuose iš gautų biodujų metano koncentracijos mažesnės ir labai panašios $53,5 \pm 0,6\%$ – $54,2 \pm 0,7\%$. Gauta metano koncentracija tyrimo metu yra didesnė nei 50 %, o tokios biodujos laikomos tinkamos energijos konversijos įrenginiams. Metano koncentracija biodujose priklauso nuo perdirbamos biomasės mišinio sudėties, temperatūros, apkrovos, išlaikymo trukmės (Liubarskis, Navickas, 2007). Fardad mokslinio eksperimento metu gauta metano koncentracija buvo didesnė ir siekė 58 % (Fardad ir kt., 2018), o Dubrovskio tyrimuose metano koncentracija buvo mažesnė – 45,85 % (Dubrovskis ir kt., 2018). Vandenilio sulfido koncentracija biodujose svyravo nuo 123 ppm iki 365 ppm.

Biodujų sudėties pagrindiniai rodikliai nustatyti tyrimo metu pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Biodujų sudėtis

Table 1. Biogas composition

Komponentas	Birželio mėn.	Liepos mėn.	Rugpjūčio mėn.	Gruodžio mėn.
CH ₄ , %	53,5±0,6	54,2±0,7	57,1±1,2	53,9±0,9
CO ₂ , %	39,1±0,8	37,6±0,9	33,5±1,4	36,7±1,1
H ₂ S, ppm	0	123±5	133±12	365±32

Biodujų energetinė vertė yra vienas pagrindinių rodiklių vertinant biodujas. Didžiausia biodujų energetinė vertė nustatyta vertinant rugpjūčio mėnesio žaliavą – 20,16±0,07 MJ/m³. Tuo tarpu mažiausiu efektyvumu 18,89±0,03 MJ/m³ pasižymi birželio mėnesį rinktos žaliavos.

Išvados

1. Atlikus tyrimą nustatytos biodujų išeigos kiekvienai grupei žaliavų. Didžiausia biodujų išeiga – 863,4±12,1 l/kg gauta birželio mėnesį rinktoje dilgėlių žaliavoje.
2. Tyrimo metu išgautose biodujose nustatyta 57,1±1,2% metano koncentracija rugpjūčio mėnesio žaliavoje, kuri rodo, kad dilgėlės tinkamos panaudoti energetinėms reikmėms, o iš jų pagamintos biodujos tampa vertingu kuru. Šiose biodujose buvo 365 ppm sieros vandenilio koncentracija.
3. Nustatytas ir įvertintas gautų biodujų energinis potencialas tiriant substratus, kurių žaliava buvo rinkta keturiais etapais. Gautas rugpjūčio mėnesio energinis potencialas – 20,16±0,07 MJ/m³, gruodžio – 19,03±0,02 MJ/m³ liepos mėnesio – 19,13±0,01 MJ/m³ birželio – 18,89±0,03 MJ/m³. Energetiniu požiūriu vertingiausias yra rugpjūčio mėnesio dilgėlės.

Literatūra

1. Ausilion, B., Goran, B., Martin, J., Marc, L., Francois, V. 2009. Bioenergy-a sustainable and reliable energy source; IEA Bioenergy. *International Energy Agency*.
2. Bacci, L., Baronti, S., Predieri, S., di Virgilio, N. 2009. Fiber yield and quality of fiber nettle (*Urtica dioica* L.) cultivated in Italy. *Industrial crops and products*, Vol. 29, p. 2–3, 480–484.
3. Di Virgilio, N., Papazoglou, E. G., Jankauskiene, Z., Di Lonardo, S., Praczyk, M., Wielgusz, K. 2015. The potential of stinging nettle (*Urtica dioica* L.) as a crop with multiple uses. *Industrial Crops and Products*, Vol. 68, p. 42-49..
4. Dubrovskis, V., Plume, I., Straume, I. 2018. Suitability of Common nettle (*Urticadioica*) and Canadian goldenrod (*Solidagocanadensis*) for methane production.
5. European Biogas Association. 2024. Prieiga per internetą: <https://www.europeanbiogas.eu/european-biomethane-week-2024/> (žiūrėta 2024 03 06).
6. Fardad, K., Najafi, B., Faizollahzadeh Ardabili, S., Mosavi, A., Shamshirband, S., Rabczuk, T. 2018. Biodegradation of Medicinal Plants Waste in an Anaerobic Digestion Reactor for Biogas Production. *Computers, Materials & Continua*, Vol. 55(3)..
7. Genutis, A, Navickas, K. 2008. Kietojo biokuro ir biodujų inžinerija: laboratorinių darbų metodiniaiurodymai.
8. Kalenska, S., Rachmetov, D., Kalenskij, V., Junik, A., Kačura, E., Makarevičienė, V., Vainiūnaitė, R 2013. Biodujos: augalinės žaliavos ir gamybos technologijos.
9. Koonaphapdeelert, S., Aggarangsi, P., Moran, J. 2019. Biomethane: production and applications. Springer Nature.
10. Liubarskis, V, Navickas, K. 2007. Biodujos-galimybės ir perspektyvos:[studija].
11. Makarevičienė, V., Sendžikienė, E. 2013. Biodujos ir jų panaudojimo galimybės. *Mano ūkis*, 2013, birželis.
12. Navickas K., Župerka V., Venslauskas K. 2007. Gyvūninės kilmės šalutinių produktų anaerobinis perdirbimas į biodujas / Lietuvos žemės ūkio universiteto žemės ūkio inžinerijos institutas, mokslo darbai. Nr. 39(4), p. 63–66.
13. Venslauskas, K. 2009. Aplinkos taršos mažinimas perdirbant žemės ūkio organines atliekas į biodujas: daktaro disertacija. Lietuvos žemės ūkio universitetas. Akademija, p.94.
14. Venslauskas, K., Navickas, K., Rubežius, M., Žalys, B., Gegeckas, A. 2024. Processing of Agricultural Residues with a High Concentration of Structural Carbohydrates into Biogas Using Selective Biological Products. *Sustainability*, Vol. 16, 1553. <https://doi.org/10.3390/su16041553>.
15. Vogl, C. R., Hartl, A. 2003. Production and processing of organically grown fiber nettle (*Urtica dioica* L.) and its potential use in the natural textile industry: A review. *American Journal of Alternative Agriculture*, Vol. 18(3), p.119–128.
16. Žukaitė, V. 2020. Netradicinių žolinių augalų biokuro granulių ruošimas ir jų savybių tyrimas. PhD Thesis.
17. Upskuvienė, D. 2020. Aukso nanodalelių sintezė, apibūdinimas ir savybių tyrimas. PhD Thesis. Vilniaus universitetas.

USE OF NON-TRADITIONAL HERBAL PLANTS IN BIOGAS PRODUCTION

Summary

In the search for alternative sources of renewable energy, it is increasingly suggested to use herbaceous plants. Perennial plants are chosen for the production of large amounts of biomass. Among the widely used plants, non-traditional plants such as fibrous nettles, which are not far behind traditional crops in terms of properties and energy, can gain a place in the market. The paper analyzes the production of biogas from nettles collected in four different months. The aim of the study is to determine the biogas yields and energy values. The study determined biogas yields for each group of raw materials. The highest biogas yield of 863.4 ± 12.1 l/kg was obtained in the nettle raw material collected in June. It was determined that the most energetically effective are the nettles of August – 20.16 ± 0.07 MJ/m³. The lowest energy potential - 18.89 ± 0.03 MJ/m³ was obtained during the study of June plants. The methane concentration in biogas was determined to be 57.1 ± 1.2 % in nettles collected in August.

Keywords: biogas, nettles, biomass, biogas yield, energy potential, renewable energy.