

BIOREAKTORIAUS ORGANINĖS APKROVOS ĮTAKA BIODUJŲ JĖGAINĖS ENERGETINIAMS RODIKLIAMS

Žygmantas UBARTAS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: zygmantas.ubartas@vdu.stud.lt

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

Santrauka

Šio tyrimo tikslas – ištirti pieno nuoplovų ir miesto nuotekų dumblo mišinio anaerobinio perdirbimo reaktoriuje organinės apkrovos įtaka biodujų išeigai ir biodujų sudėčiai. Eksperimentinio tyrimo metu buvo taikomos nuo 2,419 t/para iki 3,387 t/para organinės apkrovos, kurios buvo pasiektos didinant pieno nuoplovų kiekį žaliavų mišinyje. Eksperimentinis tyrimas atliktas 2100 m³ talpos reaktoriuje, į kurį kasdien paduodamas miesto nuotekų dumblas ir pieno nuoplovos. Organinei apkrovai reguliuoti, pieno nuoplovos ir nuotekų dumblas buvo maišomi kartu. Bioreaktoriuje palaikoma 36,6±0,5 °C temperatūra. Eksperimentinio tyrimo metu nustatyta, kad didinant bioreaktoriaus organinę apkrovą nuo 2,419 iki 3,387 t per parą, vidutinė biodujų išeiga iš miesto nuotekų dumblo ir pieno nuoplovų padidėjo 52 % (nuo 20,5 m³/h iki 31,2 m³/h). Bioreaktoriaus organinės apkrovos didinimo metu vidutinė metano koncentracija biodujose sumažėjo nuo 63,2 % (esant 2,419 t per parą organinei apkrovai) iki 62,7 % (esant 3,399 t per parą organinei apkrovai).

Reikšminiai žodžiai: biodujos, organinė apkrova, nuotekų dumblas, pieno nuoplovos, metano koncentracija.

Įvadas

Organinių medžiagų irimas gamtoje yra natūralus procesas. Jis paprastai užbaigia biologinių subjektų egzistavimo ciklą, kai sudėtingi organiniai junginiai skaidosi į elementarius, galimus toliau naudoti (Kvasauskas, 2009). Biodujos tai kuras, kuris yra priskiriamas prie alternatyvios energijos šaltinių. Biodujų sudėtyje būna metano (40–75 %), anglies dioksido (25–50 %), azoto (6–7 %), deguonies, vandenilio, sieros vandenilio ir kitų junginių (Navickas, 2004). Svarbiausia biodujų savybė yra šiluminė vertė, kurią nulemia būtent metano koncentracija. Biodujas galima gaminti iš įvairios biomasės, tačiau vienos medžiagos yra sunkiai skaidomos ir iš jų gaunama mažiau biodujų, kitos – lengviau ir iš jų gaunamas didesnis biodujų kiekis su aukštesne metano koncentracija (Karellas, 2010). Centralizuotai valant nuotekas susidaro dideli dumblo kiekiai, kuriuose yra ir organinių medžiagų, o apdorojant dumblą metantankuose išsiskiria biodujos. Pastaruoju metu didelį susirūpinimą kelia organinės atliekos, kadangi jų šalinimas sąvartynuose yra nepageidautina ir draudžiama jų tvarkymo praktika. Lietuvoje jau pradėtos taikyti gerosios praktikos, skirtos nuotekų dumblo gražinimui į žiedinę ekonomiką. Pieno nuoplovos, susidarančios pieno perdirbimo įmonėje kaip nereikalingos nuotekos po įrenginių plovimo galėtų būti naudojamos nuotekų valyklų biodujų jėgainėse kaip papildoma žaliava biodujų gamybai. Reguluodami organinės apkrovos dydį, didindami arba mažindami organinę apkrovą biodujų reaktoriuje, galima valdyti biodujų gamybos procesą, o biodujų jėgaines paversti lanksčiais energijos gamybos šaltiniais (Theaker, Jensen, 2021). Šio tyrimo naujumas susijęs su papildomų pieno gamybos nuotekų naudojimu miesto nuotekų valyklos biodujų jėgainėje siekiant valdyti biodujų gamybos apimtį.

Tyrimo tikslas – nustatyti biodujų reaktoriaus organinės apkrovos įtaką biodujų jėgainės energetiniams rodikliams.

Išsikeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

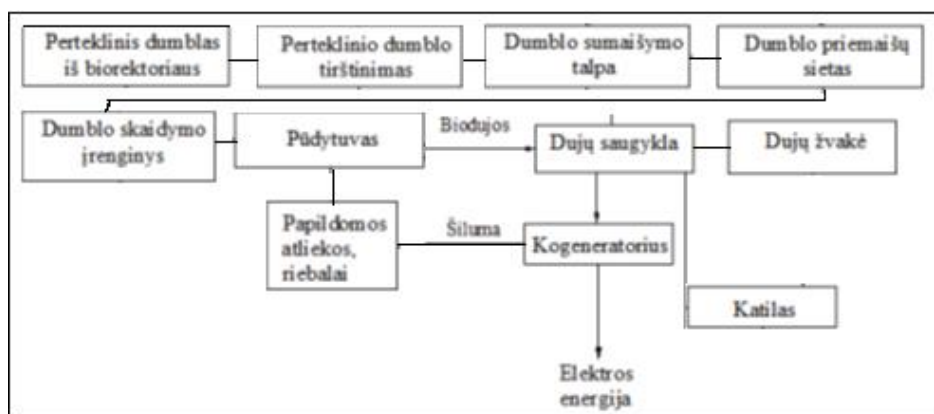
1. Ištirti miesto nuotekų valyklos biodujų jėgainės technologinius ir energetinius rodiklius.
2. Eksperimentiniu būdu nustatyti bioreaktoriaus organinės apkrovos įtaką biodujų gamybos procesui ir biodujų gavybai.
3. Nustatyti bioreaktoriaus organinės apkrovos įtaką biodujų jėgainės energetiniams rodikliams.

Tyrimų objektas ir metodai

Tyrimui naudotas miesto nuotekų valyklos dumblas ir pieno nuoplovos, surinktos iš pieno perdirbimo įmonės. Organinei apkrovai reguliuoti, pieno nuoplovos ir nuotekų dumblas buvo maišomi kartu. Eksperimentiniai tyrimai atlikti Telsių nuotekų valymo įrenginiuose. Eksperimentinių tyrimų metu nustatyta biodujų išeiga iš žaliavų mišinio, biodujų sudėtis ir jų energinė vertė.

Reaktoriaus sistemos schema pateikta 1 paveiksle.

Biodujų reaktoriaus, kurio darbinis tūris – 2100 m³, palaikoma temperatūra 36,6–37,2 °C. Pagamintų biodujų analizė atlikta biodujų analizatoriumi AwiFLEX (analizuota – CH₄, CO₂, O₂, H₂S). CH₄ matavimo ribos 0–100%, tikslumas ±2%, skiriamoji geba 0,1 %. H₂S matavimo ribos 0–3000 ppm, tikslumas ±2%, skiriamoji geba 1 ppm. Naudojant įmonėje esančią SCADA programą, visi duomenys perduodami į kompiuterį.



1 pav. Telšių NVĮ dumбло apdorojimo įrenginių schema.

Fig. 1. Sludge treatment equipment diagram of Telsiai WWTP.

Dozuojamų į pūdytuvą medžiagų laboratoriniais tyrimais nustatyta nuotekų dumбло ir papildomai tiekiamų pieno įmonės nuoplovų pH, azoto, fosforo, sausųjų ir sausųjų organinių medžiagų koncentracijos (žr. 1 lentelę).

1 lentelė. Miesto nuotekų dumбло cheminės analizės.

Table 1. Chemical analysis of urban sludge.

Eil. Nr.	Rodiklis	Rezultatas
1.	pH	7,3
2.	Bendrasis azotas, mg/kg sausųjų medžiagų	73693
3.	Bendrasis fosforas, mg/kg sausųjų medžiagų	29700
4.	Sausa medžiaga, %	2,68
5.	Organinė medžiaga, %	71,99

2 lentelė. Pieno perdirbimo įmonės nuoplovų cheminės analizės.

Table 2. Chemical analysis of milk processing plant runoff.

Eil. Nr.	Rodiklis	Rezultatas
1.	pH	4,0
2.	Bendrasis azotas, mg/kg sausųjų medžiagų	276
3.	Bendrasis fosforas, mg/kg sausųjų medžiagų	155
4.	Sausa medžiaga, %	2,66
5.	Organinė medžiaga, %	91,3

Biomosės energinis potencialas buvo įvertintas remiantis šiais rodikliais: biodujų gamybos išeiga iš perdirbamos biomasės masės vieneto (b_M), metano koncentracija biodujose C_M , biodujų energinė vertė e_B , atliekų mišinio energinė vertė e_M . Biodujų išeiga per tiriamąjį laikotarpį iš tiriamų atliekų mišinio masės vieneto b_M (l/kg), nustatyta remiantis pateikta lygtimi (Navickas ir kt. 2007):

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

čia b_{dt} – pagamintų biodujų kiekis per laikotarpį dt , l; m – tiriamų atliekų mišinio masė, kg.

Biodujų energinė vertė e_b ir atliekų mišinio energinė vertė e_M , apskaičiuotos pagal formules (Navickas ir kt. 2007):

$$e_b = 0,0353 \cdot \frac{C_M}{100}; \quad (2)$$

$$e_M = b_M \cdot e_b; \quad (3)$$

čia C_M – metano koncentracija biodujose, %; e_b – biodujų energetinė vertė MJ/m³.

3 lentelė. Nuotekų dumбло ir pieno nuoplovų kiekiai, naudojami tyrime.

Table 3. Amount of wastewater sludge and dairy runoff used in research.

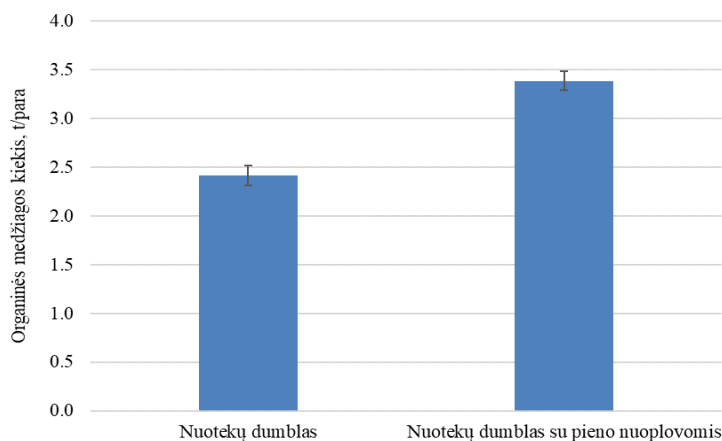
Rodiklis	Nuotekų dumblas	Pieno nuoplovas	Santykis
Žaliavos masė (t/para)	90,26±4,925	39,84±1,317	1:2,26
Organinės medžiagos masė (t/para)	2,419±0,132	0,968,±0,032	1:2,49

Tyrimas atliktas Telšių nuotekų valymo įrenginiuose, kuriuose rezultatai buvo fiksuojami 30 dienų laikotarpiu. Pieno nuoplovų masė viso tyrimo metu buvo maišomas su nuotekų dumбло santykiu 1:2,26, bet organinės medžiagos

masė dėl pieno nuoplovų didesnės organinės medžiagos koncentracijos siekė santykį 1:2,49. Pieno nuoplovų kiekis nebuvo keičiamas viso tyrimo metu.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

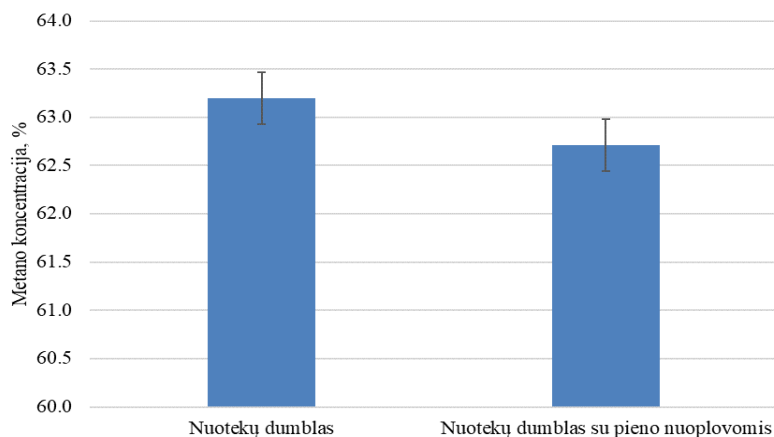
Atliktų tyrimų rezultatai rodo, kad tiekiant į biodujų reaktorių nuotekų dumblą kartu su pieno nuoplovomis organinės medžiagos kiekis padidėja nuo $2,419 \pm 0,132$ t/d iki $3,387 \pm 0,113$ t/d (žr. 2 pav.). Padidinus organinės medžiagos kiekio tiekimą į biodujų reaktorių per parą, padidėjo ir biodujų gamyba, t. y. nuo $20,5 \pm 2,5$ m³/val. iki $31,2 \pm 0,7$ m³/val. Atsižvelgiant į tai, kad tiekiant pieno nuoplovas kartu su nuotekų dumblu organinė medžiagos masė didėjo 31%, lyginant tik su nuotekų dumblo organine mase, biodujų gamyba padidėja 52 %.



2 pav. Organinės medžiagos kiekio pokytis naudojant nuotekų dumblą ir nuotekų dumblą su pieno nuoplovomis.

Fig 2. Change in organic matter quantity when using sewage sludge and sewage sludge with milk runoff.

Dozuojant pieno nuoplovas į bioreaktorių kartu su nuotekų dumblu mažėja metano koncentracija pagamintose biodujose (žr. 3 pav.).



3 pav. Metano koncentracijos (CH₄) priklausomybė nuo organinės medžiagos kiekio.

Fig 3. Dependence of methane concentration on organic matter

Kai dozuojamos pieno nuoplovas kartu su pertekliniu nuotekų dumblu, metano koncentracija biodujose šiek tiek mažesnė, t. y. $62,7 \pm 0,1$ %. Tačiau kai perdirbamas tik nuotekų dumblas, metano koncentracija būna didesnė ir siekia $63,2 \pm 0,3$ %.

Išvados

1. Didinant bioreaktoriaus organinę apkrovą nuo 2,419 iki 3,387 t per parą (organinės medžiagos kiekis didėjo 31%) vidutinė biodujų išeiga iš miesto nuotekų dumblo ir pieno nuoplovų padidėjo 52 % (nuo $20,5$ m³/val. iki $31,2$ m³/val.).

2. Bioreaktoriaus organinės apkrovos didinimas turėjo nežymią įtaką biodujų sudėčiai. Vidutinė metano koncentracija biodujose sumažėjo nuo 63,2 % (esant 2,419 t per parą organinei apkrovai) iki 62,7 % (naudojant 3,399 t per parą organinę apkrovą).

Literatūra

1. Kvasauskas, M. 2009. Mažų gabaritų bioreaktoriaus tyrimai ir kūrimas: daktaro disertacija. Vilnius: Technika.
2. Navickas, K. Biodujų jėgainės energetikai, ūkiui ir aplinkai. *Mano ūkis*, 2004/9.
3. Karellas, S., Boukis, I., Kontopoulos, G. 2010. Development of an investment decision tool for biogas production from agricultural waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 14(4), p. 1273-1282.
4. Theaker, H., Jensen, H. 2021 Effect of a variable organic loading rate on process kinetics and volatile solids destruction in synthetic food waste-fed anaerobic digesters. *Waste Management*, Vol. 134, p. 149-158.
5. Navickas, K., Župerka, V., Venslauskas, K. 2007. Gyvūninės kilmės šalutinių produktų anaerobinis perdirbimas į biodujas. *Žemės ūkio inžinerija*. Vol. 39 (4), p. 60-68.
6. Steponavičius, A. Pieno perdirbimo įmonių dumblas trąšai. *Mano ūkis*, 2004/7. Prieiga per internetą: <https://www.manoukis.lt/mano-ukis-zurnalas/2004/07/pieno-perdirbimo-imoniu-dumblas-trasai/> (žiūrėta 2024 03 05).

INFLUENCE OF ORGANIC LOADING OF BIOREACTOR ON ENERGY INDICATORS OF BIOGAS POWER PLANT

Summary

The aim of this research is to investigate the influence of organic load on biogas yield and biogas composition in a reactor for the anaerobic processing of a mixture of milk runoff and urban sewage sludge. During the experimental study, organic loadings of 2.419 t to 3.387 t were applied, which were achieved by increasing the amount of milk runoff in the raw material mixture. The experimental study was carried out in a reactor with a capacity of 2100 m³, into which city sewage sludge is fed daily. To control the organic load, milk runoff and sewage sludge were mixed together. The temperature of 36.6±0.5 °C is maintained in the bioreactor. During the experimental study, it was found that by increasing the organic load of the bioreactor from 2.419 to 3.387 t/day, the average yield of biogas from city sewage sludge and milk runoff increased by 52 % (from 20.5 m³/h to 31.2 m³/h). During the increase of the organic load of the bioreactor, the average concentration of methane in the biogas decreased from 63.2% (at 2.419 t/day organic load) to 62.7% (at 3.399 t/day organic load).

Keywords: biogas, organic load, sewage sludge, milk runoff, methane concentration.