

BIOPLASTIKO PERDIRBIMAS ANAEROBINIAME BIODUJŲ REAKTORIJE

Augustas ŽELVYS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: augustas.zelvys@stud.vdu.lt

Mantas RUBEŽIUS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: mantas.rubezius@vdu.lt

Santrauka

Bioplastikas yra nauja alternatyva, pasižyminti mažesnės taršos ir greito irimo savybėmis, kuri gali sumažinti kylančius taršos lygius ir yra galimas atsinaujinančios energijos šaltinis. Darbo tikslas yra išanalizuoti bioplastikų savybes ir tyrimais pagrįsti namų sąlygomis kompostuojamo bioplastiko perdirbimo potencialą anaerobiniame biodujų reaktoriuje. Iš biomasės pagaminti bioskaidūs bioplastikai mažina anglies pėdsaką, suteikia geresnes atliekų tvarkymo galimybes ir sumažina priklausomybę nuo iškastinio kuro, o tai gali padėti apriboti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją. Ištyrus įvairius PLA bioplastiko gaminius (kurjerinis vokas, šiukšlių maišas) matyti, kad po 30 dienų kurjerinio voko apdoroto karščiu biodujų potencialas išaugo iki 139,48 l/kg M. Tiriant šiukšlių maišą pastebėta, kad mažiausias biodujų potencialas po 60 dienų buvo apdorojus HCl – 86,67 l/kg M., toliau ėjo kontrolinė grupė – 125,17 l/kg M. Didžiausias potencialas buvo aptiktas apdorojus karštu vandeniu – 184,17 l/kg M. Autoklavuojant šiukšlių maišą išeiga padidėjo 66 % (223,48 l/kg M), lyginant su kontroline grupe (154,45 l/kg M).

Reikšminiai žodžiai: bioplastikas, polilaktido rūgštis (PLA), biodujų potencialas.

Įvadas

Pagrindinis polimeras, naudojamas kasdieniniame gyvenime, yra iš naftos gaminamas plastikas. Dėl jo mažos kainos ir universalumo plastiko paklausa ir gamyba kiekvienais metais nuolat auga, dėl ko kyla didelė našta iškastiniam kurui ir naftos sunaudojimui (Bhatia ir kt., 2021; Folino ir kt., 2020). Apskaičiuota, kad metinė įprastinio (naftos chemijos) plastiko gamyba gali viršyti 350 milijonų tonų. Tačiau tik iki 10 % visame pasaulyje pagaminto plastiko yra perdirbama, o didžioji dalis plastiko yra išmetama į sąvartynus (Bhatia ir kt., 2021; Folino ir kt., 2020; Geyer, Jambeck, and Law 2017; Bilo ir kt., 2018). Toks platus įprastinio plastiko naudojimas ir jo ilgalaikis poveikis kelia rimtų pasaulinio masto problemų tiek dėl aplinkos taršos, tiek dėl grėsmės žmonių sveikatai (Bilo ir kt., 2018; Edaes and de Souza, 2021). Todėl dėl šių priežasčių privaloma dėti visas pastangas į novatoriškų, ekonomiškai efektyvių, biologiškai skaidžių ir aplinkai draugiškų medžiagų integravimą ir paklausos didinimą.

Tvari alternatyva naftos pagrindu gaminamam plastikui yra bioplastikai, kurie yra gaminami iš biomasės. Iš biomasės pagaminti bioskaidūs bioplastikai mažina anglies pėdsaką, suteikia geresnes atliekų tvarkymo galimybes ir sumažina priklausomybę nuo iškastinio kuro, o tai gali padėti apriboti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją (Vardar, Demirel, and Onay, 2022; Shrestha, van-Eerten Jansen, Acharya, 2020). Tačiau nors bioplastikas sulaukia didelio susidomėjimo kaip tvari alternatyva įprastiniam plastikui, pasibaigus jo eksploatavimo laikui jis taip pat turi būti atitinkamai sutvarkomas (Shrestha, van-Eerten Jansen, Acharya, 2020). Atliekų su bioplastiku susijusias problemas galima išspręsti naudojant tinkamas eksploatavimo pabaigos valdymo strategijas. Biologinis skaidumas bioplastikui leidžia grįžti į natūralų medžiagų ciklą, taip susidaro minimalus poveikis aplinkai (Abraham ir kt., 2021).

Bioplastiko atliekas galima tvarkyti įvairiais metodais, pavyzdžiui, kompostuojant ir anaerobiškai perdirbant, tai leidžia ne tik efektyviai valdyti susidariusių atliekų srautą, bet ir gauti pridėtinę vertę. Energijos atgavimas anaerobiniu skaidymu naudojant bioplastiką yra daug žadantis pridėtinės vertės pasirinkimas kuriant žiedinę bioekonomiką, tačiau sudėtinga įvairių bioplastinių polimerų cheminė struktūra turi įtakos biologinio perdirbimo potencialui (Abraham ir kt., 2021). Nors tyrimai parodė veiksmingą bioplastiko biologinį skaidumą biodujų gamybos metu, vis dar trūksta žinių apie rinkoje egzistuojančių bioplastikų perdirbimą biodujų reaktoriuje, apie jų pirminį apdorojimą siekiant padidinti biodujų gamybos efektyvumą.

Darbo tikslas – tyrimais pagrįsti biodujų gamybos perspektyvumą iš PLA (polilaktido rūgšties) bioplastiko.

Išsikeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Iširti PLA bioplastiko perdirbimą anaerobiniame reaktoriuje.
2. Pateikti įžvalgas apie biodujų gamybos procesą anaerobiniame reaktoriuje, perdirbant PLA bioplastiką.

Tyrimo objektas – PLA bioplastiko perdirbimas anaerobiniame reaktoriuje.

Metodika

Tiriamąjį darbo programą sudaryta iš 5 etapų. Pirmojo etapo metu buvo atitinkamai paruoštas bioplastikas, kuris vėliau naudotas tolesniuose etapuose. Antrojo etapo metu apdorotas bioplastikas pagal pasirinktus bandymo scenarijus

(žr. 1 lentelę). Trečiojo etapo metu atlikti biodujų potencialo tyrimai (BP). Ketvirtąjį etapo metu buvo atliekama biodujų sudėties analizė. Penktojo etapo metu buvo statistiškai apdoroti vykdytų tyrimų gauti rezultatai.

Mėginių paruošimas. Tyrimo metu buvo naudojami dviejų rūšių bioplastiko gaminiai: kurjerinis vokus (T1) ir šiukšlių maišas (T2, T3). Abu pasirinkti gaminiai atitinka PLA (polilaktidinė rūgštis) bioplastikų klasifikaciją, yra pagaminti iš kukurūzų krakmolo ir yra kompostuojami namų sąlygomis. Kiekvienas pasirinkto bioplastiko mėginys buvo smulkinamas iki 1–3 cm dydžio dalelių. Pirmojo tyrimo metu (T1) buvo naudojami 5 gramai pasirinkto bioplastiko, antrojo (T2) ir trečiojo (T3) tyrimo metu – 10 g. Mėginiai buvo sveriami naudojant KERN EG4200-2NM svarstyklės (maks. 4200 g, min. 0,5 g) („Kern & Sohn GmbH“, Vokietija).

Mėginių apdorojimas. Siekiant paspartinti bioplastiko irimą ir padidinti biodujų išeią buvo pritaikyti 3 skirtingi išankstinio apdorojimo metodai – apdorojimas karščiu (T1.K-V; T2.Š-V), apdorojimas rūgštimi (T2.Š-R) ir apdorojimas autoklave (T3-A) (žr. 1 lentelę). Paruoštas mėginys užlietas verdančiu vandeniu (100 ± 2 °C) ir jame išlaikytas 10 min. Apdorojimas rūgštimi atliktas panaudojus 20 g 1,8 % HCl tirpalą. Apdorojimas autoklave atliktas naudojant CV-EL L GS autoklavą (CertoClav Sterilizer GmbH Austrija), palaikant 140 °C temperatūrą ir 4 bar. slėgį. Apdorojimas autoklave truko 1 val.

1 lentelė. Bioplastiko apdorojimo scenarijai

Table 1. Bioplastic processing scenarios

Ekspimento kodas	Bioplastiko gaminys	Apdorojimo metodas	BP tyrimo trukmė
T1.K-K	Namų sąlygomis kompostuojamas kurjerinis vokus (PLA), 5 g.	Pirminis apdorojimas nebuvo taikomas.	30 d.
T1.K-V	Namų sąlygomis kompostuojamas kurjerinis vokus (PLA), 5 g.	Apdorojimas verdančiu vandeniu (100 ± 2 °C)	30 d.
T2.Š-K	Namų sąlygomis kompostuojamas šiukšlių maišas (PLA), 10 g.	Pirminis apdorojimas nebuvo taikomas.	60 d.
T2.Š-V	Namų sąlygomis kompostuojamas šiukšlių maišas (PLA), 10 g.	Apdorojimas verdančiu vandeniu (100 ± 2 °C)	60 d.
T2.Š-R	Namų sąlygomis kompostuojamas šiukšlių maišas (PLA), 10 g.	Apdorojimas rūgštimi (1,8 % HCl tirpalas)	60 d.
T3.Š-K	Namų sąlygomis kompostuojamas šiukšlių maišas (PLA), 10 g.	Pirminis apdorojimas nebuvo taikomas.	30 d.
T3.Š-A	Namų sąlygomis kompostuojamas šiukšlių maišas (PLA), 10 g.	Apdorojimas autoklave (140 °C, 4 bar., 1 val.)	30 d.

Biodujų potencialo tyrimas ir biodujų kokybės analizė. Biodujų potencialo tyrimas atliekamas siekiant įvertinti biodujų susidarymo potencialą iš tiriamų žaliavų anaerobinėmis sąlygomis. Metano gamybai buvo naudojami 1 l tūrio reaktoriai, kurių efektyvusis tūris 800 ml (790–795 g inokulianto ir 5–10 g bioplastiko). Reaktoriai buvo prijungti prie 100 ml buteliukų, kurių paskirtis – kondensato surinkimas. Toliau iš kondensato surinkimo bloko dujos nukreipiamos į dujų srauto matavimo bloką. Dujų srauto matavimo bloke susidariusios dujos matuotos per vandens išstūmimą, naudojant kalibruotus srauto elementus, kurie duodavo signalą kiekvienam 5 ml pagamintų dujų. Signalas buvo registruojamas programuojamame valdiklyje.

Inokuliacijai buvo panaudotas digestatas iš veikiančio anaerobinio reaktoriaus. Inokuliatas 3 dienas prieš panaudojimą buvo laikomas 19 l anaerobiniame reaktoriuje, esant mezofilinei temperatūrai (37 °C), kad būtų užtikrinamas digestato deaktyvinimas ir degazavimas.

BP tyrimo trukmė – 30 (T1, T3) ir 60 (T2) dienų. Atlikti 3 grupės pakartojimai. Patobulinus metodiką ir pašalinus dujų surinkimo trikdžius, T3 tyrimuose papildomai buvo atlikta susidariusių dujų analizė. T3 tyrimų metu susidariusios dujos buvo surenkamos tiesiogiai iš reaktorių į sandarius 25 l maišus (RESTEK 22967, JAV). Surinktos dujos buvo analizuojamos naudojant „AwiFLEX“ dujų analizatorių („Awite Bioenergie GmbH“, Vokietija) (CH_4 0–100 Vol. %, $\pm 0,2$ %; CO_2 0–100 Vol. %, $\pm 0,2$ %; O_2 0–25 Vol. %, $\pm 0,1$ %; H_2S 0–10,000 ppm, $\pm 1,0$ %).

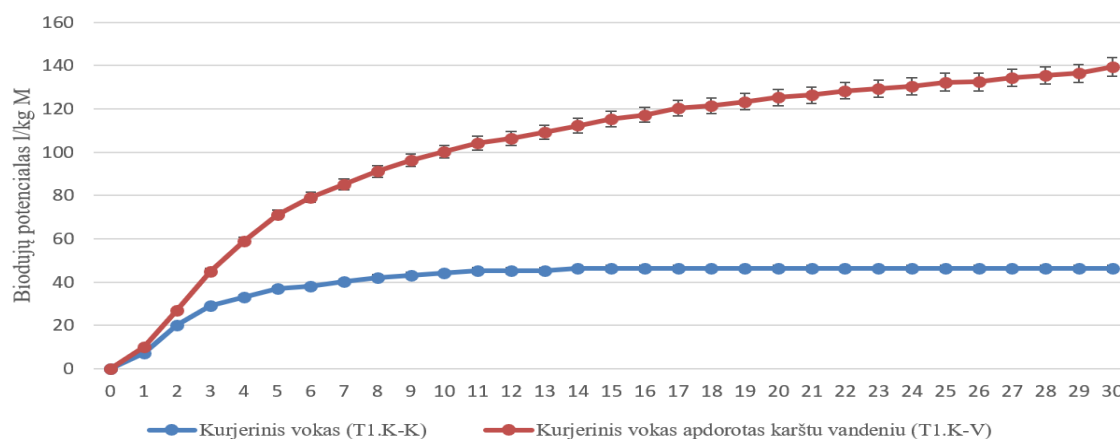
Biologinio skaidumo įvertinimas buvo atliktas pritaikius svorio sumažėjimo metodą, kai buvo išmatuotas mėginių svoris po anaerobinio perdirbimo. Prieš matavimą mėginiai buvo kruopščiai nuplauti ir išdžiovinti. Džiovinimui paruošti mėginiai buvo dedami į „Memmert Model 100-800“ džiovintuvą („Memmert GmbH + Co. KG“, Vokietija) ir džiovinamas 24 val. 105 °C temperatūroje. Mėginiai buvo sveriami naudojant KERN EG4200-2NM svarstyklės (maks. 4200 g, min. 0,5 g) („Kern & Sohn GmbH“, Vokietija).

Tyrimų statistinis apdorojimas. Statistiniai duomenys apdoroti naudojantis programine įranga „Microsoft Excel 2023“, „Statistica 10“ (StatSoft®, Vokietija). Tyrimo rezultatų vidurkis buvo lyginamas taikant t-test kriterijų. Buvo priimta, kad skirtumai laikomi reikšmingais, kai p vertės mažesnės nei 0,05.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

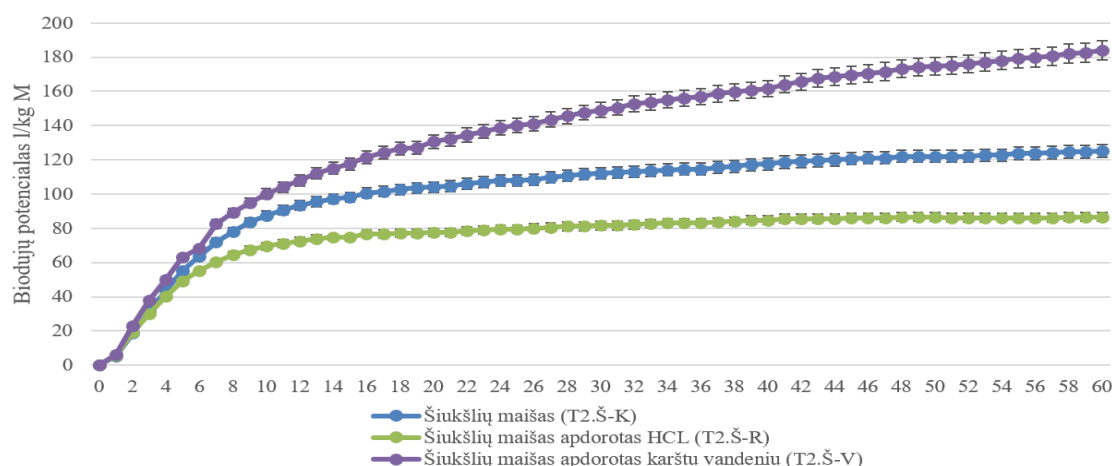
Pirmojo tyrimo rezultatai rodo, kad kurjerinio voko kontrolinės grupės masė sumažėjo apie 9 % (5,00 g → 4,56 g), o apdorojimas karščiu irimą padidino iki 14,5 % (5 g → 4,28 g). 1 paveiksle matyti, kad po 30 dienų apdorojimo karščiu biodujų potencialas išaugo iki 139,48 l/kg M. Tai yra apie 3 kartus daugiau nei kontrolinė grupė – 46,34 l/kg

M. Statistinė duomenų analizė parodė, kad tarp tiriamų grupių yra statistiškai reikšmingas skirtumas ($p < 0,05$).



1 pav. Kurjerinio voko (T1.K-K) ir kurjerinio voko apdoroto karštu vandeniu (T1.K-V) biodujų potencialo palyginimas
Fig. 1. Comparison of biogas potential of courier envelope (T1.K-K) and courier envelope treated with hot water (T1.K-V)

Antrojo tyrimo metu buvo tiriama šiukšlių maišas. Gauti tyrimų rezultatai rodo, kad šiukšlių maišo kontrolinės grupės suirimas buvo apie 14 % nuo pirminės masės (10 g → 8,58 g), apdorojimas HCl padidino suirimą iki 17 % nuo pirminės masės (10 g → 8,27 g), o apdorojimas karščiu suirdino 25,7 % masės, lyginant nuo pirminės masės (10 g → 7,43 g). Gauti rezultatai rodo, kad mažiausias biodujų potencialas po 60 dienų buvo apdorojus HCl – 86,67 l/kg M., toliau ėjo kontrolinė grupė – 125,17 l/kg M. Didžiausias potencialas buvo aptiktas bioplastiką apdorojus karštu vandeniu – 184,17 l/kg M (žr. 2 pav.). Statistinė duomenų analizė parodė, kad tarp visų tiriamų grupių yra statistiškai reikšmingas skirtumas ($p < 0,05$).



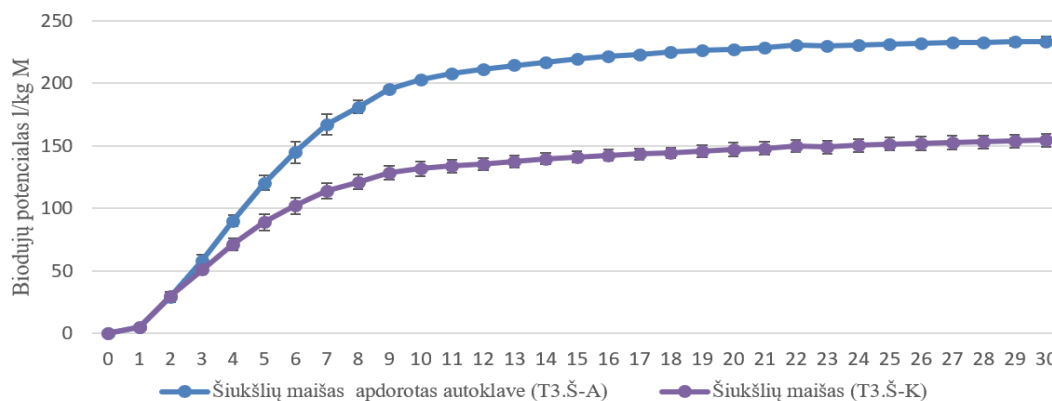
2 pav. Šiukšlių maišo (T2.Š-K), šiukšlių maišo apdoroto HCl (T2.Š-R) ir šiukšlių maišo apdoroto karštu vandeniu (T2.Š-V) biodujų potencialo palyginimas
Fig. 2. Comparison of biogas potential of garbage bag (T2.Š-K), garbage bag treated with HCl (T2.Š-R) and garbage bag treated with hot water (T2.Š-V)

Apdorojimas HCl biodujų potencialą sumažino 1,4 karto. Battista, Frison ir Bolzonella (2021) tyrimai taip pat atskleidė, kad rūgštinis išankstinis PLA apdorojimas slopino vėlesnį anaerobinį procesą, o specifinė metano gamyba sumažėjo maždaug 20 %. Ankstesnis Yu, Plackett ir Chen (2005) tyrimas taip pat, patvirtina išankstinio apdorojimo sieros rūgštimi neveiksmingumą metano gamybai iš PLA, kai nebuvo pastebėtas organinių medžiagų tirpumo padidėjimas. Todėl remiantis šiais ir aptartų autorių tyrimais PLA apdorojimo rūgštimis strategijos reikėtų atsisakyti.

Antrojo tyrimo metu buvo prailgintas anaerobinio perdirbimo laikas. Pasak šiukšlių maišo gamintojo, kompostuojant pasirinktą PLA gaminį namų sąlygomis jis turėtų suirti per 60 d. Tačiau gauti biologinio skaidumo įvertinimo rezultatai atskleidė, kad mezofilinėmis sąlygomis (37 °C) anaerobinėje sistemoje visiškai suirimui 60 dienų nepakanka. Taip pat, vertinant biodujų išėigą antrojo tyrimo metu, galima matyti (žr. 2 pav.), kad rezultatų kreivė suplokštėja tik T2.Š-R atveju, likusiais atvejais rezultatų kreivės palaiptai kyla. Todėl, remiantis T2.Š-K ir T2.Š-V atvejais, galima daryti prielaidą, kad anaerobinis procesas nėra visiškai užbaigtas. Vargas ir kt. (2009) atlikti tyrimai atskleidė, kad neapdorotas PLA skaidosi tik termofilinėmis (58 °C) sąlygomis. Svorio sumažėjimas anaerobinėmis mezofilinėmis sąlygomis buvo nereikšmingas. Tačiau apdorotas PLA skaidosi tiek mezofilinėmis, tiek termofilinėmis sąlygomis ir buvo jautresnis biodegradacijai, nustatytas didesnis svorio praradimas ir metano išėiga. Esant termofilinėms sąlygoms, gama spinduliais apšvitintas PLA per 180 dienų prarado 45 % savo svorio, o garu apdorotas PLA per 56 dienas

pagamino 225 cm³CH₄/g (Vargas ir kt., 2009). Panašūs rezultatai gauti ir Vasmarai bei Marchetti (2016) tyrimuose, kurie atskleidė, kad PLA biologinis suskaidymas neįvyko per 90 dienų 35 °C temperatūroje, tačiau 55 °C temperatūroje PLA BMP (biocheminis metano potencialas) siekė 282 NmL/g lakiųjų kietųjų medžiagų. Taigi, gryno PLA biologinis skilimas padidėja termofilinėmis sąlygomis. Kylant temperatūrai, didėja hidrolizės reakcijos greitis ir mikrobu aktyvumas (Thakur ir kt., 2018; Kale ir kt., 2007; Ronsse, n. d.; Afshar ir kt., 2024). Todėl ateityje rengiant naujus tyrimus būtina gerai apsvarstyti temperatūrinio režimo pasirinkimą.

Trečiajame tyrime atliktas šiukšlių maišo apdorojimas autoklave. Gauti tyrimų rezultatai rodo, kad šiukšlių maišo kontrolinės grupės suirimas buvo apie 24 % nuo pirminės masės (10 g → 7,61 g), taip pat ir apdorojimas karščiu autoklave suardė apie 24 % masės, lyginant nuo pirminės masės (10 g → 7,57 g). Iš gautų rezultatų matyti, kad išeiga padidėjo 66 % (223,48 l/kg M), lyginant su kontroline grupe (154,45 l/kg M). Statistinė duomenų analizė parodė, kad tarp tiriamų grupių yra statistiškai reikšmingas skirtumas (p<0,05).



3 pav. Šiukšlių maišo apdoroto autoklave (T3.Š-A) ir šiukšlių maišo (T3.Š-K) biodujų potencialo palyginimas
Fig. 3. Comparison of the biogas potential of garbage bag treated in an autoclave (T3.Š-A) and garbage bag (T3.Š-K)

Taip pat 2 lentelėje matyti, kad apdorojimas autoklave padidina ne tik biodujų išeigą, bet ir metano koncentraciją. Metano koncentracija T3.Š-A atveju artima metano koncentracijai biodujose, kai jos gaminamos iš kukurūzų siloso (50–55 %). Išanalizavus susidariusias dujas nustatyta, kad apdorojimas autoklave metano kiekį padidino 10,10 tūrio % punktu. Tačiau vandenilio sulfido kiekis išaugo per 116,85 ppm, bet tai nesukelia problemų įrenginių eksploatacijai, nes šis kiekis yra sąlyginai mažas. Autoklavuojant anglies dioksido kiekis pamažėjo 7 tūrio % punktais.

2 lentelė. Dujų kokybės įvertinimas

Table 2. Assessment of gas quality

Eksperimento kodas	Dujų kokybė			
	CH ₄ , %*	CO ₂ , vol.%*	O ₂ , vol. %*	H ₂ S, ppm
T3.Š-K	40,60 ± 0,57	39,25 ± 8,41	2,44 ± 1,39	6,65 ± 9,40
T3.Š-A	50,70 ± 5,09	32,35 ± 15,91	2,05 ± 1,48	123,5 0 ± 4,10

*% – tūrio procentai

Visuose tyrimuose buvo taikomas pirminis apdorojimas karščiu. T1 ir T2 tyrimuose buvo pritaikytas apdorojimas karštu vandeniu, o T3 tyrime PLA bioplastikas buvo apdorotas autoklave. Visais tyrimų atvejais nustatytas teigiamas apdorojimo karščiu efektas. T1 atveju biodujų išeiga padidėjo 3 kartus (žr. 1 pav.), T2 ir T3 – 1,5 karto (žr. 2 ir 3 pav.). Panašias išvadas padarė ir kiti tyrėjai. Mu ir kt. (2021) PLA plastiko biologinio skilimo rezultatai atskleidė, kad PLA beveik nebuvo biologiškai skaidomas mezofilinėmis sąlygomis. Tačiau hidroterminis išankstinis apdorojimas žymiai padidino PLA plastiko hidrolizės greitį anaerobiniame procese. Subalansavus biodujų gamybos efektyvumą, energijos ir reagentų sąnaudas, praktikoje PLA plastiko atliekų hidroterminiam išankstiniam apdorojimui buvo parekomenduotos 200 °C 10 min. ir be šarmų sąlygos. Optimizuotomis hidroterminio išankstinio apdorojimo sąlygomis per mažiau nei 30 dienų buvo pasiekta 460,1 ± 25,0 ml/g biometano lakiųjų kietųjų medžiagų išeiga. Taigi, remiantis šiais ir kitų tyrėjų rezultatais, galima teigti, kad išankstinis apdorojimas karščiu yra veiksminga priemonė, siekiant pagerinti PLA bioplastiko skaidumą ir padidinti biodujų gamybos efektyvumą.

Išvados

1. Priklausomai nuo PLA bioplastiko kilmės, perdirbimo laiko anaerobiniame reaktoriuje ir išankstinio bioplastiko apdorojimo būdo galima generuoti nuo 46 iki 233 l/kg M biodujų.

2. Tyrimai atskleidė, kad PLA bioplastikas anaerobinėmis mezofilinėmis sąlygomis sunkiai biologiškai yra ir nekeičia vizualinių fizinių savybių. 60 dienų perdirbimo laikotarpyje masės pokytis siekė apie 26 %. Tai indikuoja, kad mezofilinės sąlygos nėra optimalios tolimesniam bioplastiko irimo procesui ir geresnei biodujų išeigai.

3. Nustatyta, kad apdorojimas karščiu turi reikšmingos teigiamos įtakos biodujų išeigai ir jų kokybei. Karščio apdorojimas skatina polimerinių grandinių skilimą ir išmetamųjų organinių junginių išsiskyrimą. Išankstinis bioplastiko apdorojimas karščiu biodujų išeigą padidina 1,5–3 kartus, metano kiekio koncentracija biodujose išauga 10 % punktų.

Literatūros šaltiniai

1. Abraham, A., Park, H., Okkyoung, C., Sang, B. 2021. Anaerobic Co-Digestion of Bioplastics as a Sustainable Mode of Waste Management with Improved Energy Production – A Review. *Bioresource Technology*, Vol. 322, 124537. doi:10.1016/j.biortech.2020.124537.
2. Afshar, Sevil V., Alessio Boldrin, Thomas F. Astrup, Anders E. Daugaard, and Nanna B. Hartmann. 2024. Degradation of Biodegradable Plastics in Waste Management Systems and the Open Environment: A Critical Review. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 434, 140000. doi:10.1016/j.jclepro.2023.140000.
3. Battista, F., Frison, N., Bolzonella, D. 2021. Can Bioplastics Be Treated in Conventional Anaerobic Digesters for Food Waste Treatment? *Environmental Technology & Innovation*, Vol. 22, 101393. doi:10.1016/j.eti.2021.101393.
4. Bhatia, S. K., Otari, S. V., Jeon, J. M., Gurav, R., Choi, Y. K., Bhatia, R. K., Pugazhendhi, A. et al. 2021. Biowaste-to-Bioplastic (Polyhydroxyalkanoates): Conversion Technologies, Strategies, Challenges, and Perspective. *Bioresource Technology*, Vol. 326, 124733. doi:10.1016/j.biortech.2021.124733.
5. Fabjola, B., Pandini S., Sartore, L., Depero, L. E., Gargiulo, G., Bonassi, A., Federici, S., Bontempi, E. 2018. A Sustainable Bioplastic Obtained from Rice Straw. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 200, p. 357–68. doi:10.1016/j.jclepro.2018.07.252.
6. Edaes, Felipe, S., Cleide, B. de Souza. 2021. Conventional Plastics' Harmful Effects and Biological and Molecular Strategies for Biodegradable Plastics' Production. *Current Biotechnology*, Vol. 9(4), p. 242–54. doi:10.2174/2211550109999201113102157.
7. Folino, A., Karageorgiou, A., Calabrò, P. S., Komilis, D. 2020. Biodegradation of Wasted Bioplastics in Natural and Industrial Environments: A Review. *Sustainability*, Vol. 12(15) 6030. doi:10.3390/su12156030.
8. Geyer, R., Jenna, R. Jambeck, Law, K. L. 2017. Production, Use, and Fate of All Plastics Ever Made. *Science Advances*, Vol. 3(7). doi:10.1126/sciadv.1700782.
9. Gaurav, K., Kijchavengkul, T., Auras, R., Rubino, M., Selke, S. E., Singh, S. P. 2007. "Compostability of Bioplastic Packaging Materials: An Overview." *Macromolecular Bioscience*, Vol. 7(3), p. 255–77. doi:10.1002/mabi.200600168.
10. Vargas, L. F., Welt, B. A., Teixeira, A., Pullammanappallil, P., Balaban, M., Beatty, C. 2009. Biodegradation of Treated Polylactic Acid (PLA) under Anaerobic Conditions. *Transactions of the ASABE*, Vol. 52(3), p. 1025–30. doi:10.13031/2013.27371.
11. Lan, M., Zhang, L., Ma, J., Zhu, K., Chen, C., Li, A. 2021. Enhanced Biomethanization of Waste Polylactic Acid Plastic by Mild Hydrothermal Pretreatment: Taguchi Orthogonal Optimization and Kinetics Modeling. *Waste Management*, Vol. 126, p. 585–96. doi:10.1016/j.wasman.2021.03.044.
12. Ronsse, F. n.d. Biochar Production. In *Biochar*, edited by Viktor J. Bruckman, Esin Apaydin Varol, Başak B. Uzun, and Jay Liu, 199–226. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781316337974.011.
13. Shrestha, A., van-Eerten Jansen, M. C. A. A., Acharya, B. 2020. Biodegradation of Bioplastic Using Anaerobic Digestion at Retention Time as per Industrial Biogas Plant and International Norms. *Sustainability*, Vol. 12(10), 4231. doi:10.3390/su12104231.
14. Thakur, S., Chaudhary J., Sharma, B., Verma, A., Tamulevicius, S., Thakur, V. K. 2018. Sustainability of Bioplastics: Opportunities and Challenges. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, Vol. 13, p. 68–75. doi:10.1016/j.cogsc.2018.04.013.
15. Suat, V., Demirel, B., Onay, T. T. 2022. Degradability of Bioplastics in Anaerobic Digestion Systems and Their Effects on Biogas Production: A Review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, Vol. 21(1), p. 205–23. doi:10.1007/s11157-021-09610-z.
16. Vasmara, C., Marchetti, R. 2016. biogas production from biodegradable bioplastics. *Environmental Engineering and Management Journal*, Vol. 15(9), p. 2041–48. doi:10.30638/eemj.2016.220.
17. Yu, J., Plackett, D., Chen, L. X. L. 2005. Kinetics and Mechanism of the Monomeric Products from Abiotic Hydrolysis of Poly[(R)-3-Hydroxybutyrate] under Acidic and Alkaline Conditions. *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 89(2), p. 289–99. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2004.12.026.

PROCESSING OF BIOPLASTIC IN AN ANAEROBIC BIOGAS REACTOR

Summary

Bioplastics are a new alternative with lower pollution and rapid degradability that can reduce rising pollution levels and are a potential source of renewable energy. The aim of the work is to analyze the properties of bioplastics and to base the research on the potential of compostable bioplastic processing at home in an anaerobic biogas reactor. Biodegradable bioplastics made from biomass reduce the carbon footprint, provide better waste management options and reduce dependence on fossil fuels, which can help limit greenhouse gas emissions. After examining various bioplastics (courier envelope, garbage bag), we can see that after 30 days, the biogas potential of the heat-treated courier envelope increased

to 139.48 l/kg M. When examining the garbage bag, we noticed that the lowest biogas potential after 60 days was treated with HCl - 86, 67 l/kg M. followed by the control group - 125.17 l/kg M. and the highest potential was detected after treatment with hot water - 184.17 l/kg M. Autoclaving the garbage bag increased the yield by 66% (223.48 l/ kg M) compared to the control group (154.45 l/kg M).

Keywords: bioplastic, polylactic acid (PLA), biogas potential.