



BIOSKAIDAUŠ PLASTIKO MAIŠELIŲ KOMPOSTAVIMO NAMUDINĖMIS SĄLYGOMIS GALIMYBIŲ TYRIMAS

Monika Urbelytė¹, Aušra Zigmontienė²

*VGTU Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra
El. p. ¹monika.urbelyte@stud.vgtu.lt; ²ausra.zigmontiene@vgtu.lt*

Anotacija. Pastaruoju metu rinkoje pasirodo nemažai įvairių maišelių, kurių tam tikra dalis gamintojų ir pardavėjų yra deklaruojama kaip bioskaidaus plastiko gaminiai. Bioskaidaus plastiko maišelių gamyba bei vartojimas sparčiai auga. Tačiau tyrimų, kurie parodytų ar tikrai rinkoje naudojami gaminiai yra bioskaidūs ir tinkami kompostuoti namudinėmis sąlygomis, nėra. Eksperimentiniais tyrimais siekiama išsiaiškinti, rinkoje naudojamų bioskaidžių maišelių bioskaidumą, taikant namudinius kompostavimo metodus. Kompostavimas atliekamas dviem skirtingais kompostavimo būdais – vermikompostavimo ir kompostavimo krūvose metodu. Siekiant išlaikyti C:N santykį 20–30:1, į kompostą atitinkamais kiekiais sumaišomi ir sudedami šie komponentai: sodo atliekos, lapai, vejų nuopjovos, galvijų mėšlas. Kompostavimo procesas vykdytas 221 parą, laikantis esminių kompostavimo procesui tinkamų sąlygų. Kompostavimo metu matuotos temperatūros rezultatai parodė, kad temperatūra perėjo tris pagrindines fazes: temperatūros kilimą, aukštos temperatūros ir temperatūros kritimą. Atlikus pagaminto komposto kokybės tyrimus nustatyta: drėgmės kiekis vidutiniškai siekė 56,1±2,24 %; organinės anglies kiekis apie 14,3±1,04 %; didžiąją dalį pagaminto komposto sudaro 2–10 mm dydžio dalelės; pH_{H2O} vidurkis siekė 7,4±0,37; vidutinis visų mėginių elektrinis laidis buvo apie 0,53±0,03 mS/cm. Maišelių degradacijos tyrimais nustatyta, kad maišelių bioskaidymas vyksta, tačiau šis procesas yra lėtas, t. y. kompostavimosi procesas įvyksta greičiau nei maišelių suirimo procesas.

Reikšminiai žodžiai: biologinis skaidymas, bioskaidus plastikas, namudinis kompostavimas, atliekų apdorojimas, bioskaidūs maišeliai.

Įvadas

Per keletą pastarųjų dešimtmečių pasaulinė plastiko gamyba sparčiai išaugo – nuo 2 mln. tonų 1950 metais iki 360 mln. tonų 2018 metais. Kartu padidėjo ir susidariusių plastiko atliekų kiekis. Europoje dar vis išlieka esminė tendencija, kai plastiko atliekos dažniausiai naudojamos energijai gauti, o antras pagal populiarumą – šių atliekų šalinimas sąvartynuose. Tik trečdalis plastiko atliekų yra perdirbama. Padidinti šį kiekį būtų galima ieškant naujų perdirbimo ir plastiko atliekų panaudojimo būdų. (European Bioplastics, 2018).

Vienas iš būdų, galinčių padidinti plastikų perdirbimą – gaminti bei naudoti biologiškai skaidžias polimerines medžiagas, kurios turėtų neprastesnes mechanines savybes nei kitos įprastos polimerinės medžiagos, tačiau lengviau būtų perdirbamos, greičiau suirtų ir darytų mažesnę poveikį aplinkai. Remiantis *European Bioplastics* duomenimis, plastikinė medžiaga apibrėžiama kaip bios-

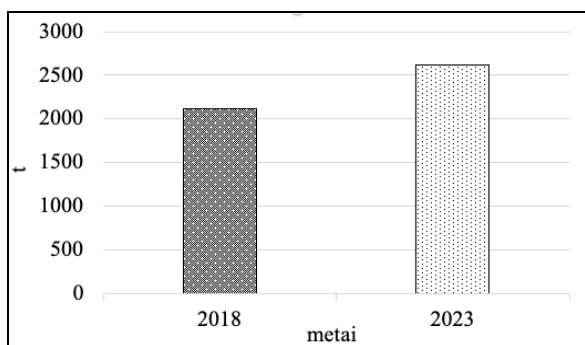
kaidi, jei ji susideda iš biologiškai skaidžių medžiagų ir yra biologiškai skaidoma (European Bioplastics, 2018).

Šiuo metu yra pastebimas didelis biopolimerų poreikis maisto pakavimo srityje, todėl vykdoma labai daug tyrimų, kurie yra skirti biopolimerų pritaikomumo paieškoms būtent šioje srityje. Biopolimerų tyrimus ir jų taikymą pakuočių gamybos srityje skatina ir Europos Sąjungos 2020 metams išsikeltas strateginis tikslas – pereiti iš neatsinaujinančių išteklių (tradicinės linijinės) paremtos ekonomikos į bioekonomiką (Siracusa ir kt., 2008).

Dabartiniu metu bioskaidaus plastiko pakuotės dažniausiai naudojamos pakuoti produktams, kurių galiojimo laikas trumpas (švieži vaisiai, daržovės ir kt.), rečiau jos naudojamos pakuoti ilgo galiojimo laiko produktams (makaronams, kruopoms ir kt.). Tokia tendencija susijusi su pakuotės deguonies ir (arba) vandens barjerinėmis

savybėmis. Biologiškai skaidžios plastikinės pakuotės yra alternatyva pakeisti sintetinių plastikų pakuotes, tačiau prieš pradėdant jas naudoti būtina nuodugnai įvertinti biologinės medžiagos funkcines savybes (Siracusa ir kt., 2008).

Prognozuojama, kad artimiausiu metu pasaulio bioplastiko gamybos pajėgumai padidės nuo maždaug 2,11 mln. tonų 2018 metais iki maždaug 2,62 mln. tonų 2023 m. (1 paveikslas) (European Bioplastics, 2018).



1 paveikslas. Pasaulio bioplastiko gamybos augimas 2018 m. ir 2023 m. (European Bioplastics, 2018)

Pagrindinė bioskaidaus plastiko savybė, kuri sąlygoja jo gamybos augimą yra bioskaidumas, kuris mažina atliekų patekimą į sąvartynus (Marc, 2007).

Tačiau bioskaidus plastikas kai kuriomis savybėmis neprilygsta tradiciniams plastikams, todėl mokslininkai stengiasi patobulinti šias savybes. Dažniausiai susiduriama su šiais bioskaidžių plastikinių medžiagų trūkumais – plastiko standartų neatitinkančios jų eksploatacinės savybės, didelė kaina ir apdorojimas. Todėl nuolat kuriamos ir tobulinamos biopolimerinės medžiagos, kurios atitiktų įprastų polimerų savybes, kainą ir pritaikymo galimybes (Wong ir Bronzino, 2007).

Šiuo metu pakuočių gamyboje jau pritaikytos ir plačiai naudojamos šios biopolimerinės medžiagos: PLA (polilaktido rūgštis), PBS (polibutileno sukcinatas), PHA (polihidrooksialkanoatai), PEF (polietilenfuranoatai), bio-PET (polietilentereftalatas) ir bio-PE (polietilenas) (European Bioplastics, 2018). Taip pat naudojami naujos kartos celiuliozės, polimerų – krakmolo kompozitai (European Bioplastics, 2018).

Biologinius ir (arba) biologiškai skaidžius plastiko gaminius, dėl savo panašios išvaizdos, nėra lengva atskirti nuo įprastų plastikų (biologiškai neskaidomų). Tačiau remiantis ženkliniu galima nustatyti jų biologines ir (arba) kompostavimo savybes. Logotipai ir etiketės gali būti naudojami vartotojui paaiškinant, ar plastikas yra biologinis ir (arba) kompostuojamas, o dar svarbiau, kaip plastiką sunaikinti po naudojimo. Tokie logotipai ir (arba)

etiketės turėtų būti susieti su sertifikavimo sistema (Oever ir kt., 2017).

Biomassės pagrindu pagaminti biopolimerai sudaryti dalinai iš augalinės kilmės žaliavos (cukranendrės, celiuliozė, kukurūzai ir kt.). Pagal *European Bioplastics* apibūtinimą, biopolimerų gamyba pagrįsta cheminiu procesu, kurio metu mikroorganizmai, esantys aplinkoje gali suskaidyti polimerus iki natūralių medžiagų kaip vanduo, anglies dioksidas ar kompostas. Šių biopolimerų suskaidymas priklauso nuo aplinkos sąlygų (vietos ar temperatūros) ir nuo pačio polimero struktūros (European Bioplastics, 2018).

Nagrinėjant bioskaidžias medžiagas reikia suprasti patį bioskilimo procesą. Bioskilimas – tai medžiagos skilimas biologinėje aplinkoje. Terminas biologinis skilimas gali turėti daugybę prasmų. Jis apima reakcijas, kurios įvyksta ir per keletą minučių, ir per daugelį metų. Polimerinių medžiagų skilimą gali sukelti mechaninis poveikis, šiluma, šviesa, hidrolizė, aktyvios biodalelės – laisvieji radikalai ir fermentai (Wong ir Bronzino, 2007).

Terminas biologinis skaidumas nesuteikia aiškios informacijos apie irimo proceso sąlygas ir laiką, todėl šalia šio termino yra naudojamas kompostavimo terminas. Kompostavimo procesas turi atitikti specifines aplinkos sąlygas ir kompostavimo ciklo laikotarpį (Sikorska ir Janeczek, 2014).

Biodegradacija gali vykti abiotinėmis ir biotinėmis sąlygomis, ir susideda iš dviejų pagrindinių etapų – fragmentacijos ir mineralizacijos. Pirmasis biodegradacijos etapas yra fragmentacija, kurio metu plastikai suyra iki labai mažų dalelių. Mineralizacija – procesas, einantis po fragmentacijos, kurio metu plastiko dalelės suyra iki neorganinių medžiagų, organinė anglis virsta neorganine. Biodegradacija yra visiškai mikrobiologinis fragmentuotų medžiagų įsivavinimas kaip maisto šaltinis mikroorganizmams (Kjeldsen ir kt., 2019).

Metodika

Tyrimo metu naudojami du skirtingi maišeliai, naudojami populiariausiuose Lietuvos prekybos centruose. Dėl komercinės paslapties maišelių sudėtis nėra žinoma, tačiau visi maišeliai yra paženklinėti (2 paveikslas), kaip bioskaidūs.



2 paveikslas. Bioskaidžių maišelių ženklavimas (Oever ir kt., 2017)

Papildomai tyrimui naudoti du mažo tankio polietileninginiai maišeliai bei vienas popierinis maišelis.

Remiantis Mohee atliktais maišelių kompostavimo tyrimais, maišeliai sukarpomi 2,54×15,24 cm dydžio skiautėmis (Mohee ir Unmar, 2006) ir sumaišomi kartu su kompostavimui naudojamomis medžiagomis.

Vienas iš pasirinktų kompostavimo būdų – vermi-kompostavimas. Šiam kompostavimui naudojami Kalifornijos raudonieji sliškai (*Eisenia foetida anderei*).

Kitas pasirinktas būdas – klasikinis kompostavimas krūvose. Suformuojami nedideli trikampio formos kaupai, kurie yra reguliariai maišomi, taip prisotinant terpę tam tikru oro kiekiu. Maišymas atliekamas praėjus keturioms savaitėms po kaupų suformavimo.

Siekiant išlaikyti C:N santykį 20–30:1, į kompostą atitinkamais kiekiais sumaišomi ir sudedami šie komponentai:

- sodo atliekos (anglies šaltinis);
- lapai (anglies šaltinis);
- vejos nuopjovos (azoto šaltinis);
- galvijų mėšlas (azoto šaltinis).

Į visą komposto mišinį įterpiami bioskaidaus plastiko maišeliai. Papildomai vermikompostavimui įdedami sliškai.

Atsižvelgus į meteorologines sąlygas kompostavimas pradėtas 2019 metų gegužės 24 dieną, kai vidutinė paros temperatūra siekė 19 °C.

Kompostuojamos bioskaidžios atliekos laikomos medinėse dėžėse, kurių dydis: plotis 50 cm, aukštis 55 cm, ilgis 30 cm. (50×55×30) (3 paveikslas). Dėžės pagamintos su tarpeliais, kad lengvai galėtų cirkuliuoti oras. Kompostuojamos atliekos, prieš sukraunant į dėžes, gerai sumaišomos. Dėžėse atliekos sukraunamos į kaupo formos krūvas. Pastarosios nekraunamos labai aukštos, kad neprasidėtų puvinimo procesas, oras galėtų lengvai cirkuliuoti.



3 paveikslas. Kompostavimo dėžės (autorius nuotrauka)

Pirmąją savaitę dėžės uždengiamos orui ir vandeniui pralaidžia agroplėvele tam, kad greičiau prasidėtų kompostavimo procesas, kurio pradžia esminė sąlyga – temperatūros pakėlimas. Tolimesniuose kompostavimo etapuose, priklausomai nuo meteorologinių sąlygų, dėžės uždengiamos. Kompostas periodiškai kas 27 paros permaišomas.

Komposto temperatūra matuota įsmeigiamuoju dirvožemio termometru (matavimo ribos – 0–120 °C; matavimo skyra 0,1 %).

Komposto mėginiai imami iš kaupo vidurio apie 2 kg ir sudedami į užsegamus plastikinius maišelius. Kompostuojamų maišelių mėginiai imami iš skirtingų komposto vietų po 6 vnt. iš kiekvieno dėžės.

Pagaminto komposto kokybei nustatyti buvo atlikti šie tyrimai:

- drėgmės kiekio (drėgnio) nustatymas (remiantis LST EN 13040:2008);
- anglies kiekio nustatymas (remiantis LSD EN 10694);
- pH nustatymas (remiantis LST EN 13037:2012);
- savitojo elektrinio laidžio nustatymas (remiantis LST EN 13038:2012);
- granulimetrinės sudėties (remiantis LST EN ISO 14688-2:2018).

Maišelių susikompostavimo (suirimo) laipsniui buvo atliekami šie tyrimai:

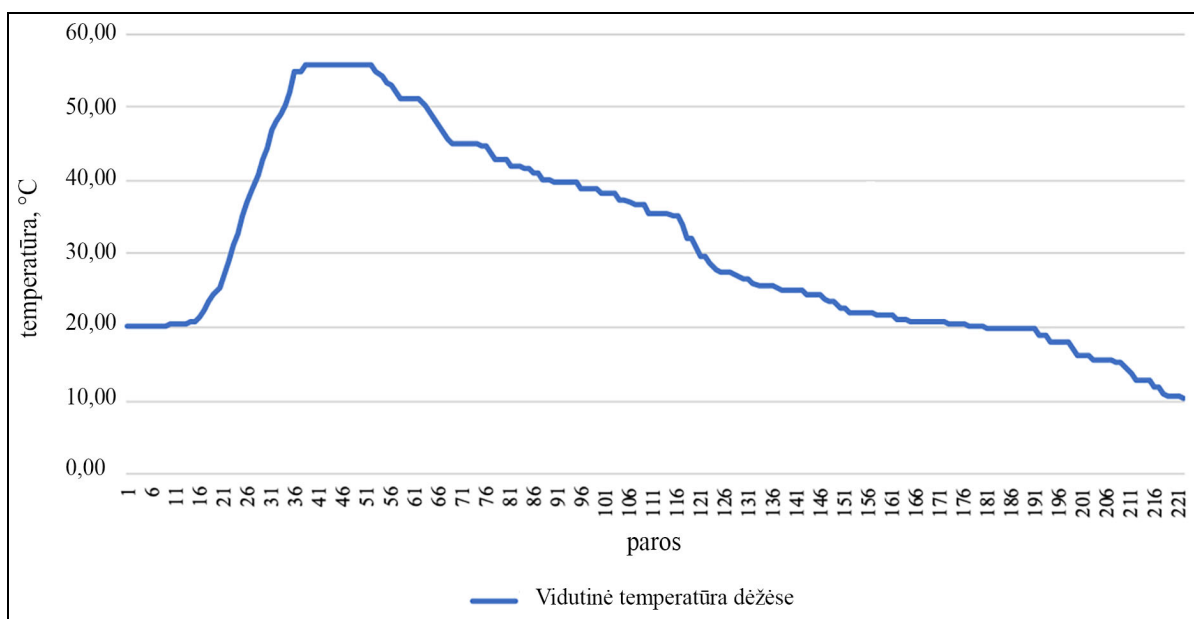
- maišelių masės pokyčio nustatymas;
- biodestrukcinių pažaidų maišeliuose nustatymas;

Rezultatai ir jų analizė

Kompostavimo procesas bei pagaminto komposto kokybė priklauso nuo šių parametrų: dalelių dydžio, maistinių medžiagų kiekio (tai rodo anglies ir azoto santykis), drėgmės kiekio, elektrinio laidžio, temperatūros ir rūgštingumo/šarmingumo (pH). Bet kokie šių veiksnių pokyčiai yra tarpusavyje susiję, nes, pasikeitus vieniems parametrams, dažnai gali pakisti kiti. (EPA, 1994). Todėl šiame tyrime buvo stebimi ir nustatomi šie parametrai ir jų reikšmės.

Norit įvertinti ar įvyko kompostavimosi procesas nuolat matuojama temperatūra, kurios kitimas yra pagrindinis faktorius, parodantis kompostavimosi proceso eigą.

Kompostavimo metu visose kompostavimo dėžėse ryškiai išsiskyrė trys pagrindinės kompostavimo procesui būdingos fazės: 1) temperatūros kilimas (mezofilinio proceso fazė); 2) aukšta temperatūra (termofilinio proceso fazė); ir 3) temperatūros kritimas (komposto bendimas).



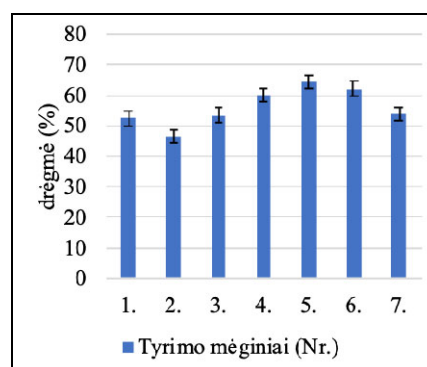
4 paveikslas. Kompostavimo metu matuotos temperatūros rezultatai (°C)

Atlikus tyrimus nustatyta, kad mezofilinio proceso fazė (staigus temperatūros kilimas) visose kompostavimo dėžėse buvo pastebėtas praėjus 17 parų nuo kompostavimo pradžios (4 paveikslas). Aukščiausia temperatūra per visą kompostavimo laikotarpį buvo fiksuota birželio 30 dieną $55,8 \pm 0,84$ °C, praėjus nuo proceso pradžios 37 paroms. Ši temperatūra nekito 9 paras, tai parodo, kad būtent tuo laikotarpiu vyko intensyviausias kompostavimosi procesas. Po šio stabilios temperatūros laikotarpio komposto kaube temperatūra pradėjo kristi $10 \pm 0,84$ °C per mėnesį. Nuo kompostavimo technologinių procesų parametru tyrimo pradžios praėjus 5 mėnesiams, nustatytas žymus temperatūros kritimas – nuo $55,80$ °C iki $25,06 \pm 0,48$ °C.

Iš tyrimo duomenų matyti, kad kompostavimo metu visuose matavimo taškuose, temperatūrų kitimas perėjo visa tris kompostavimo procesui būdingas fazes: temperatūros kilimą, aukštos temperatūros laikotarpį bei temperatūros kritimą. Taigi galima teigti, kad buvo sudarytas tinkamas temperatūrinis režimas mezofilinėms ir termofilinėms bakterijoms veikti kompostavimo procesus.

Tyrimo metu kompostuotų skirtingų mėginių rezultatai pateikti 5 paveiksle.

Atliktas tyrimas parodė, kad komposto drėgmė vidutiniškai visose dėžėse siekė $56,1 \pm 2,24$ %. Sausiausias dirvožemis buvo pagamintas kompostuojant krūvoje bioskaidų maišelį (Nr. 2) drėgnumas – 46 %. Drėgniausias dirvožemis buvo pagamintas kompostuojant vermikopostavimo būdu HDPE maišelį (Nr. 5), kurio drėgnis siekė – 65 %.

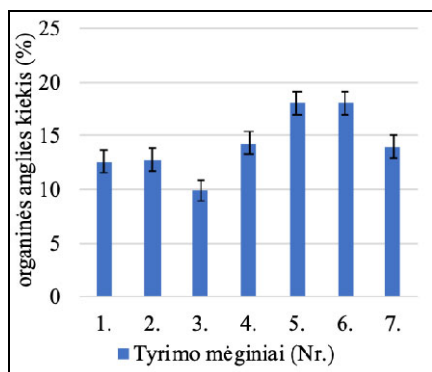


5 paveikslas. Pagaminto komposto drėgmės kiekio rezultatai (%) mėginiuose: Nr. 1; Nr. 3 – bioskaidus maišelis vermikopostavimas; Nr. 2, Nr. 4 – bioskaidus maišelis kompostavimas krūvoje; Nr. 5 – HDPE maišelis vermikopostavimas; Nr. 6 – HDPE maišelis kompostavimas krūvoje; Nr. 7 popierinis maišelis vermikopostavimas (sudaryta autoriaus)

Remiantis LST EN 13040:2008 standartu, kuriame nurodyta, kad komposto drėgmė neturėtų būti mažesnė nei 50 %, galime daryti išvada, kad kompostavimo procese pagamintas kompostas atitinka aukštos kokybės kompostui keliamus reikalavimus.

Eksperimento metu tirtuose komposto mėginiuose nustatytas organinės anglies kiekis buvo apie $14,3 \pm 1,04$ % (6 paveikslas). Remiantis atlikta literatūrinė analize namudinio žaliųjų atliekų komposto anglies kiekis įprastai siekia apie $13,5 \pm 1,17$ % (Kögel-Knabner, 2017). Didžiausias – 18 % organinės anglies kiekis nustatytas kompostuose, kuriuose buvo skaidomi iš sintetinio plastiko HDPE pagaminti maišeliai (Nr. 5 ir Nr. 6). Mažiausias organinės anglies kiekis buvo nustatytas komposte, kuris buvo gaminamas naudojant vermikopostavimo metodą,

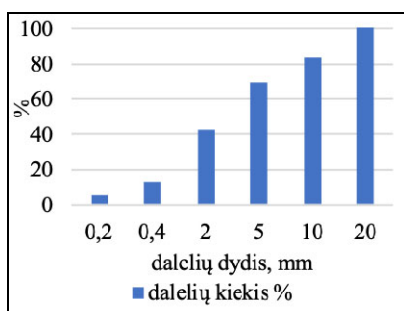
bei kuriame buvo skaidomi bioskaidus maišelis (Nr. 3) – 10 %.



6 paveikslas. Pagaminto komposto organinės anglies kiekio rezultatai (%) Nr. 1; Nr. 3 – bioskaidus maišelis vermikompostavimas; Nr. 2, Nr. 4 – bioskaidus maišelis kompostavimas krūvose; Nr. 5 – HDPE maišelis vermikompostavimas; Nr. 6 – HDPE maišelis kompostavimas krūvose; Nr. 7 – popierinis maišelis vermikompostavimas (sudaryta autoriaus)

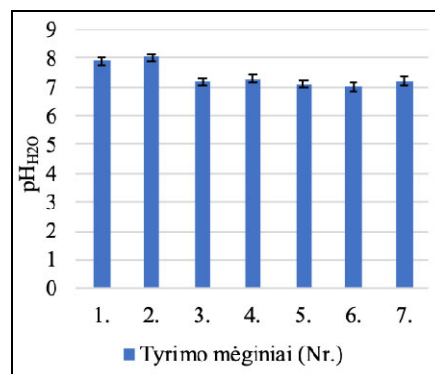
ISO 10694:1995 standarte, nurodoma, kad žaliųjų atliekų komposto organinės anglies kiekis netūrėtų būti mažesnis nei $9,3 \pm 1,17$ %. Remiantis šio standarto nustatytomis komposto kokybės reikšmėmis, pagamintas kompostas priskiriamas aukščiausiai komposto rūšiai.

Remiantis dalelių dydžio rezultatais (7 paveikslas), galima teigti, kad didžiąją dalį pagaminto komposto sudaro 2–10 mm dydžio dalelės. Pro 0,2 mm sietą praėjo 6 % viso mėginio masės, o pro 0,4 mm sietą – 13 %. 2 mm dydžio dalelės sudarė 45 %, o 5 mm – 69 %.



7 paveikslas. Komposto dalelių dydis (%) (sudaryta autoriaus)

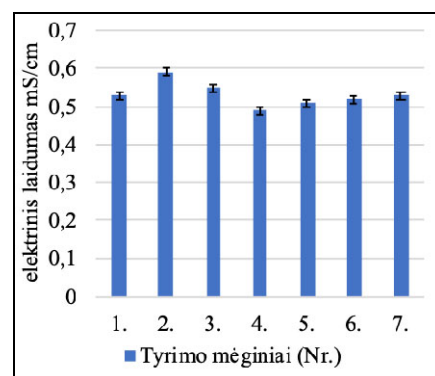
Tyrimo metu buvo nustatytas iš biologiškai skaidžių atliekų pagaminto komposto pH_{H_2O} . Vandens ir komposto tirpalo pH_{H_2O} vidurkis siekė $7,4 \pm 0,37$, didžiausias pH buvo pasiektas naudojant kompostavimą krūvose ir skaidant bioskaidų maišelį (Nr. 2) 8,03 (šarminis), o mažiausias – 7,03 (neutralus) kompostuojant krūvose HDPE maišelį (Nr. 6) (8 paveikslas).



8 paveikslas. Pagaminto komposto rūgštingumo rezultatai su vandens tirpalu (pH_{H_2O}): Nr. 1; Nr. 3 – bioskaidus maišelis vermikompostavimas; Nr. 2, Nr. 4 – bioskaidus maišelis kompostavimas krūvose; Nr. 5 – HDPE maišelis vermikompostavimas; Nr. 6 – HDPE maišelis kompostavimas krūvose; Nr. 7 – popierinis maišelis vermikompostavimas (sudaryta autoriaus)

Atlikti tyrimai rodo, kad pagamintas kompostas atitinka kokybės standartus, remiantis jais žaliųjų atliekų kompostas laikomas paruoštu ir tinkamu naudojimui, kai jo pH siekia $7,4 \pm 0,22$ (t. y. neutralios arba silpnai šarminės reakcijos).

Elektrinis laidis parodo komposte ištirpusių druskų koncentraciją ir pagal tai galima pasakyti ar jame yra pakankamai augalams reikiamų maisto medžiagų. Jei komposto elektrinis laidis yra mažiau 0,2 mS/cm, tai jame maisto medžiagų nėra daug, o komposto sudėtis nedaug skiriasi nuo vidutinio derlingumo žemės. Tuo tarpu kai šis rodiklis didesnis nei 2,0 arba net 3,0 mS/cm, tai komposte esama druskų koncentraciją gali apdegti jautrius augalus. Atlikus elektrinio laidumo tyrimus, paaiškėjo, kad vidutinis visų mėginių elektrinis laidis buvo apie $0,53 \pm 0,03$ mS/cm (9 paveikslas). Didžiausias

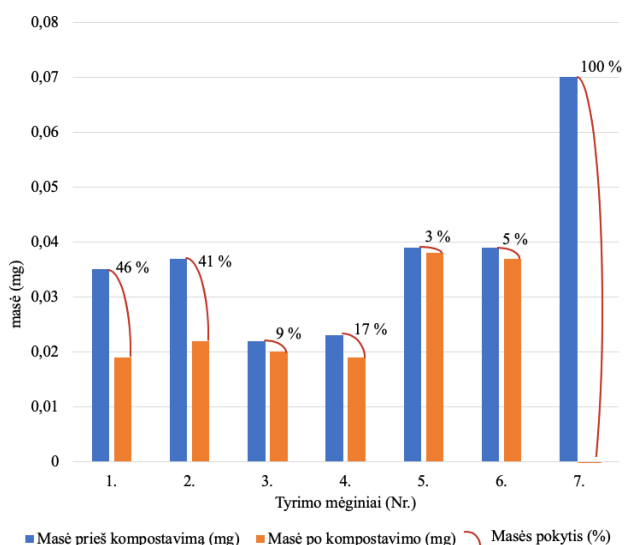


9 paveikslas. Pagaminto komposto elektrinio laidžio rezultatai (mS/cm): Nr. 1; Nr. 3 – bioskaidus maišelis vermikompostavimas; Nr. 2, Nr. 4 – bioskaidus maišelis kompostavimas krūvose; Nr. 5 – HDPE maišelis vermikompostavimas; Nr. 6 – HDPE maišelis kompostavimas krūvose; Nr. 7 – popierinis maišelis vermikompostavimas (sudaryta autoriaus)

elektrinis laidis buvo nustatytas komposte pagamintame naudojant kompostavimo krūvose metodą ir skaidant bioskaidų maišelį (Nr. 2) – 0,59 mS/cm, o mažiausias – 0,49 mS/cm naudojant tokį pat kompostavimo metodą, tačiau skaidant kitos rūšies bioskaidų maišelį (Nr. 4).

Pagirdins parametras parodantis maišelio degradacija yra masės praradimas.

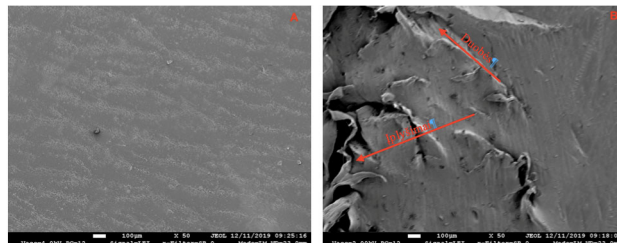
Maišelių suirimo laipsniui nustatyti analizuojamas maišelių svorio pokytis prieš ir po kompostavimo. Iš grafiko (10 paveikslas.) matome, kad visiškai susikompostavo popierinis maišelis (Nr. 7), kuris buvo kompostuojamas pasitelkiant sliokus, 100 % svorio pokytis. Mažiausias svorio pokytis buvo nustatytas iš sintetinio plastiko HDPE pagamintuose maišeliuose (Nr. 5 ir Nr. 6) atitinkamai 5 % ir 3 % masės praradimas, šį rezultatą galėjo įtakoti tai, jog šie maišeliai pagaminti ne iš bioskaidžių medžiagų. Iš bioskaidaus plastiko pagamintų maišelių didžiausias svorio pokytis buvo pastebėtas pirmame maišelyje (Nr. 1) 41 %, šiam svorio praradimui įtakos galėjo turėti tai jog maišelis buvo kompostuojamas pasitelkiant sliokus (vermikompostavimas).



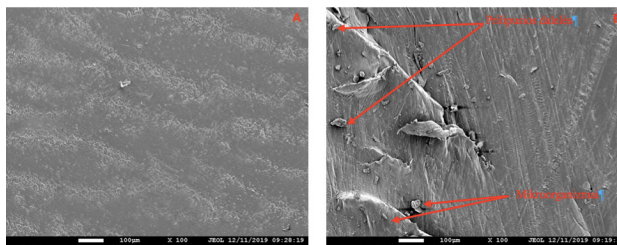
10 paveikslas. Maišelių masės pokytis prieš ir po kompostavimo proceso (mg) (%): Nr. 1; Nr. 3 – bioskaidus maišelis vermikompostavimas; Nr. 2, Nr. 4 – bioskaidus maišelis kompostavimas krūvose; Nr. 5 – HDPE maišelis vermikompostavimas; Nr. 6 – HDPE maišelis kompostavimas krūvose; Nr. 7 popierinis maišelis vermikompostavimas (sudaryta autoriaus)

Mikroskopinei analizei buvo pasirinktas bioskaidus maišelis, kurio masės pokytis buvo pats didžiausias Nr. 1 jis buvo kompostuojamas pasitelkiant sliokus. Vizualiai apžiūrėjus maišelio skiautes buvo matomi įtrūkimai bei suraižymai didesnių pokyčių nebuvo pastebėta. Tačiau pasitelkus SEM mikroskopą buvo nustatytos įvairesnės pažaidos. Iš paveikslėlių (11 paveikslas; 12 paveikslas;

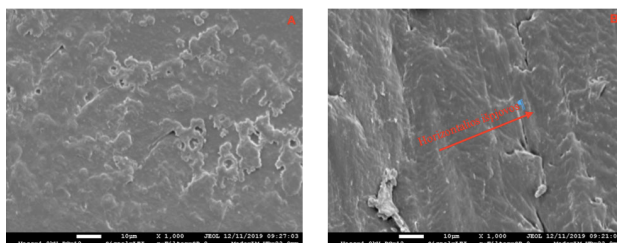
13 paveikslas) aiškiai matomi paviršiuje atsiradę įvairūs įplyšimai, sukuriantys tarpą patekti įvairiems mikroorganizmams ir misti bioplastiku. Mechaniniai lūžiai, duobės, horizontalios išpjovos, gilūs įtrūkimai mikroorganizmų sankaupos patvirtina vykusią bioplastiko degradaciją.



11 paveikslas. Maišelio nuotraukos atliktos pasitelkiant SEM skenuojantį mikroskopą A – maišelis prieš kompostavimo procesą; B – po kompostavimo proceso (autoriaus nuotrauka)



12 paveikslas. Maišelio nuotraukos atliktos pasitelkiant SEM skenuojantį mikroskopą A – maišelis prieš kompostavimo procesą; B – po kompostavimo proceso (autoriaus nuotrauka)



13 paveikslas. Maišelio nuotraukos atliktos pasitelkiant SEM skenuojantį mikroskopą A – maišelis prieš kompostavimo procesą; B – po kompostavimo proceso (autoriaus nuotrauka)

Iš atliktų skenuojančio SEM mikroskopo nuotraukų matome, kad maišelio degradacija vyko, tačiau maišelis per 221 parą visiškai nesikompostavo, buvo pastebėti tik pirminiai destrukcijos reiškiniai.

Išvados

1. Atlikti tyrimai parodė, kad kompostavimo metu visose komposto vietose (krūvoje viršutinėje ir apatinėje trapecijos dalyje bei trapecijos žemiausiose vietose) temperatūrų kitimas perėjo visas tris kompostavimo procesui būdingas fazes: temperatūros kilimą, aukštos temperatūros laikotarpį bei temperatūros kritimą. Galima teigti, kad buvo sudarytas tin-

kamas temperatūrinis režimas mezofilinėms ir termofilinėms bakterijoms veikti kompostavimo procesus bei kompostuojamus maišelius.

2. Pagaminto komposto kokybei sekti atlikti drėgmės kiekio, organinės anglies kiekio, pH, elektrinio laidumo bei granulimetrinės sudėties tyrimų rezultatai parodė, kad pagamintas kompostas atitinka aukščiausios kokybės komposto reikalavimus. Tai dar kartą įrodo, kad biologiškai skaidiems maišeliams buvo sukurtos idealios namudinės sąlygos jiems kompostuoti.
3. Maišelių svorio pokyčio tyrimai, skenuojančio mikroskopo nuotraukose užfiksuotos pažaidos rodo, kad bioskaidžių maišelių yrimas vyksta, tačiau šiam procesui reikalingas ilgesnis laikotarpis, nei bioskaidžių atliekų suskaidymui.

Literatūra

- Environmental Protection Agency (EPA). (1994). *Composting yard trimmings and municipal solid waste*. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/10000S77.PDF?Dockey=10000S77.PDF>
- European Bioplastics. (2018). *Bioplastics facts and figures*. https://docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP_Facts_and_figures.pdf
- Kjeldsen, A., Price, M., Lilley, C., & Guzniczak, E. (2019). *A review of standards for biodegradable plastics*. IBioIC. 12–16. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/817684/review-standards-for-biodegradable-plastics-IBioIC.pdf
- Kögel-Knabner, I. (2017). The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter: fourteen years on. *Journal of Soil Biology and Biochemistry*, 105, 3–8. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.08.011>
- Lietuvos standartizacijos departamentas. (2008). *Dirvožemio gerinimo medžiagos ir auginimo terpės. Mėginių paruošimas cheminiam ir fizikiniam tyrimams, sausųjų medžiagų kiekio, drėgno ir laboratorijoje tankinto piltinio tankio nustatymas* [Soil improvers and growing media – Sample preparation for chemical and physical tests, determination of dry matter content, moisture content and laboratory compacted bulk density] (LST EN 13040:2008).
- Lietuvos standartizacijos departamentas. (2008). *Dirvožemio kokybė. Organinės ir bendrosios anglies kiekio nustatymas po sauso degimo (pradinė analizė)* [Soil quality – Determination of organic and total carbon after dry combustion (elementary analysis)] (LSD EN 10694).
- Lietuvos standartizacijos departamentas. (2012). *Dirvožemio gerinimo medžiagos ir auginimo terpės. pH nustatymas*. [Soil improvers and growing media – Determination of pH] (LST EN 13037:2012).
- Lietuvos standartizacijos departamentas. (2012). *Dirvožemio gerinimo medžiagos ir auginimo terpės* [Soil improvers and growing media – Determination of electrical conductivity] (LST EN 13038:2012).
- Lietuvos standartizacijos departamentas. (2018). *Geotechniniai tyrinėjimai ir bandymai. Gruntų identifikavimas ir klasifikavimas. 2 dalis. Klasifikavimo principai* [Geotechnical investigation and testing – Identification and classification of soil – Part 2: Principles for a classification] (LST EN ISO 14688-2:2018).
- Marc, J. E. (Ed.). (2007). *Physical properties of polymers handbook* (2nd ed.). Springer.
- Mohee, R., & Unmar, G. (2006). Determining biodegradability of plastic materials under controlled and natural composting environments. *Waste Management*, 27(11), 1486–93. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.07.023>
- Oever, M. V. D., Molenveld, K., Zee, M. V. D., & Bos, H. (2017). *Bio-based and biodegradable plastics – Facts and Figures*. Rapport nr. 1722. Wageningen Food & Biobased Research. <https://doi.org/10.18174/408350>
- Sikorska, W., & Janeczka, H. (2014). *Techniques useful in biodegradation tracking and biodegradable polymers characterization*. http://www.plastice.org/fileadmin/files/EN_Analyses.pdf
- Siracusa, V., Rocculi, P., Romani, S., & Rosa, M. D. (2008). Biodegradable polymers for food packaging: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 19(12), 634–643. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.07.003>
- Wong, J. Y., & Bronzino, J. D. (Eds.). (2007). *Biomaterials* (1st ed.). CRC Press: Boca Raton. <https://doi.org/10.1201/9780849378898>

THE STUDY OF COMPOSTING BIODEGRADABLE PLASTIC BAGS IN HOME CONDITIONS

M. Urbelytė, A. Zigmontienė

Summary

Recently there has been an influx of various plastic bags introduced into the market, some of which manufacturers and sellers are proclaiming to be biodegradable plastic products. The production and usage of biodegradable plastic bags is growing rapidly. However, there was no research to confirm if the products offered in the market are actually biodegradable and suitable for composting in home conditions. The experimental research conducted aimed to determine the biodegradability of the biodegradable bags when applying home-based composting methods. Composting was executed by two different methods – vermicomposting and open air composting. In order to maintain C:N ratio 20–30:1, the following components in appropriate quantities were mixed and added to the compost: garden waste, leaves, lawn trimmings, cattle manure. The composting process was carried out for 221 days, under essential conditions suitable for the composting process. The results of the temperature measured during composting process demonstrated that the temperature passed through three main phases: temperature rise, sustained high temperature and temperature drop. Studies of the quality of the compost produced have shown that: the moisture content averaged $56.1 \pm 2.24\%$; organic carbon content was about $14.3 \pm 1.04\%$; most of the compost produced consisted of particles with a size of 2–10 mm; pH_{H2O} average was 7.4 ± 0.37 ; the average of electrical conductivity of all samples was about 0.53 ± 0.03 mS/cm. Research has shown that plastic bag biodegradation is happening, however the process is slow, i.e. composting process occurs faster than the bag disintegration process.

Keywords: biodegradation, biodegradable plastic, composting in home conditions, waste processing, biodegradable bags.