

ANTRINIŲ ŽALIAVŲ SURINKIMO LOGISTIKOS TEORINĖ ANALIZĖ IR TOBULINIMO PERSPEKTYVOS

Radvilė BŪDVYTYTĖ, Vytauto didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Bioekonomikos plėtros fakultetas, el. paštas: radvile.budvytyte@vdu.lt

Milita VIENAŽINDIENĖ, Vytauto didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Bioekonomikos plėtros fakultetas, el. paštas: milita.vienazindiene@vdu.lt

Santrauka

Spartus naujų verslų kūrimasis didina ne tik prekių ir paslaugų pasiūlą, bet kartu sukelia ir neigiamas pasekmes, susijusias su augančiais antrinių žaliavų kiekiais. Dėl to vis aktualesne problema tampa efektyvios antrinių žaliavų surinkimo logistikos užtikrinimas. Ši problema yra nuolatinis iššūkis atliekų tvarkymo sektoriaus subjektams, kurie privalo operatyviai prisitaikyti prie didėjančios atliekų frakcijų įvairovės bei nuosekliai tobulinti atliekų surinkimo darbų organizavimą. Straipsnio tikslas – teoriškai identifikuoti antrinių žaliavų surinkimo logistikos tobulinimo galimybes. Išanalizavus mokslinius šaltinius, išskirtos pagrindinės teorinės antrinių žaliavų surinkimo logistikos tobulinimo kryptys: technologinių sprendimų diegimas (dirbtinio intelekto taikymas maršrutų optimizavimui, surinkimo apimčių prognozavimui ir procesų stebėsenai), vadybinių ir organizacinių sprendimų tobulinimas (efektyvesnis darbo paskirstymas, tinkamas ir informatyvus konteinerių ženklavimas, aiškiai pateikiant reikšmingą informaciją apie aptarnaujamą įmonę ar kitus objektus), visuomenės švietimas (mokymo įstaigose bei organizuojant projektines veiklas rūšiavimo temomis, pateikiant aiškias rūšiavimo instrukcijas, įskaitant QR kodus su nuorodomis į papildomą informacinę medžiagą) bei visuomenės skatinimas (finansinių paskatų, nuolaidų taikymas ir informacijos apie išrūšiuotus kiekius pateikimas).

Reikšminiai žodžiai: antrinės žaliavos, surinkimo logistika, tobulinimas.

Įvadas

Logistika apima ne tik krovinių, žaliavų, paslaugų, prekių ar informacijos judėjimo planavimą, įgyvendinimą nuo kilmės taško iki galutinio vartotojo, siekiant efektyvaus išteklių panaudojimo (Rushton et al., 2022). Logistika ypatingai svarbi ir atliekų surinkimo sektoriuje. Čia ji įgyja papildomą reikšmę – apima ne tik transportavimo bei surinkimo procesus, bet ir vairuotojų darbo planavimą, maršrutų generavimą, konteinerių išdėstymą ir paskirstymą, galutinį surinktų atliekų nukreipimą į rūšiavimo, utilizavimo, kompostavimo ar perdirbimo vietas, vadybos struktūrą.

Viena iš atliekų rūšių – antrinės žaliavos. Tai atliekos, kurios surenkamos po pirminio naudojimo ir grąžinamos į gamybos ciklą. Taip pat tai tos atliekos, kurios išrūšiuojamos atliekų tvarkymo proceso metu ir yra tinkamos perdirbimui (popierius/kartonas, plastikas, stiklas, metalas). Antrinės žaliavos susidaro namų ūkiuose, verslo ir pramonės veiklose, kuriose naudojama pakuotė transportavimo, prekių apsaugos, marketingo tikslams.

Žmogaus veikla ir suvartojimas neišvengiamai susijęs su atliekų susidarymu. Didėjant vartojimo mastams, auga ir atliekų kiekiai, lygiagrečiai juntama žala – didėja aplinkos tarša, išskiriama vis daugiau šiltnamio efektą sukeliančių dujų, darančių tiesioginę žalą gyvybei. Prognozuojama, kad pasaulyje susidarančių atliekų kiekis išaugs iki 2,2 milijardų tonų per ateinančius 30 metų (Mohammadi et al., 2023). Dėl šios priežasties visoms šalims svarbu maksimaliai modernizuoti atliekų tvarkymo procesus. Lietuva viena iš jų, tačiau vis dar vyrauja daug politinių ir ekonominių spragų, kurias būtina ištaisyti, norint tvarkyti atliekas taip, kad būtų kuo mažesnis poveikis aplinkai – esminė aplinkos apsaugos sritis. Šiandieniniame pasaulyje tvarumo ir gamtos saugojimo aspektai išaugo ir tapo būtinybe. Literatūroje yra daug indeksų, vertinančių atliekų tvarkymo efektyvumą. 2024 m. aplinkosaugos veiksmingumo indekse (EPI) pirmaujančios šalys: Liuksemburgas, Austrija, Šveicarija. Lietuva pagal atliekų tvarkymą užima 16 vietą (pakilo iš 23 vietos), tačiau trūksta kompleksinio sisteminio požiūrio. Modernizuota ir efektyvi atliekų tvarkymo sistema gali ne tik sumažinti aplinkos taršą, bet ir sukurti naujų verslo galimybių bei prisidėti prie žiedinės, tvaresnės ekonomikos plėtros (Činčkaitė, 2024). Tam, kad organizacijos sėkmingai prisitaikytų prie nuolat didėjančių atliekų kiekių, būtina ieškoti sprendimų, leidžiančių gerinti atliekų surinkimo logistikos procesus. Straipsnyje siekiama teoriškai pagrįsti antrinių žaliavų surinkimo logistikos tobulinimo kryptis ir pasiūlyti galimus sprendimus, kurie būtų orientuoti į integruotą atliekų surinkimo valdymo sistemą, surinkimo logistikos optimizavimą ir didesnę dėmesį tvarumo siekiams.

Straipsnio tikslas – teoriškai identifikuoti antrinių žaliavų surinkimo logistikos tobulinimo galimybes.

Iškeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Argumentuoti antrinių žaliavų surinkimo logistikos svarbą ir antrinių žaliavų surinkimą lemiančius veiksnius.
2. Iškirti galimus sprendimus antrinių žaliavų surinkimo logistikos tobulinimui.

Tyrimų objektas ir metodai

Tyrimo objektas – antrinių žaliavų surinkimo logistika.

Tyrimo metodas – mokslinės literatūros analizė ir sintezė. Mokslinės literatūros paieška vykdyta naudojantis Web of Science, Scopus, Google Scholar duomenų bazėmis. Mokslinių šaltinių paieška vykdyta raktinių žodžių pagalba anglų

kalba: *waste management, recycling waste, sustainable innovation management, waste separations, waste collection logistics, circular economy*. Iš viso rasti 26 straipsniai, pasirinkta analizuoti 19 straipsnių. Straipsniai pasirinkti pagal iš anksto nustatytus kriterijus (metodologijos kokybė ir išsamumas, aktualumas temai, publikavimo, teorinis indėlis). Pasirinktuose straipsniuose nagrinėjamos temos, tiesiogiai susijusios su atliekų surinkimo logistikos procesais, didžioji dalis straipsnių publikuoti tinkamu laikotarpiu pagal naujumą ir aktualumą, atspindintys šiuolaikinį požiūrį į atliekų tvarkymą ir to būtinybę, pateikiantys išsamų teorinį pagrindimą. Paieška vykdyta 2025 m. gruodžio mėn. Mokslinių straipsnių paskelbimo metai apima 2020–2025 m. laikotarpį.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Itin didelį dėmesį antrinių žaliavų surinkimui ir rūšiavimui skiria atliekų tvarkymo organizacijos. Tai lemia atsakingas požiūris į aplinkosaugą, prisidėjimą prie žaliajo kurso tikslų, aplinkos taršos mažinimo ir biologinės įvairovės išsaugojimo. Dėl to viena svarbiausių sričių yra atliekų rūšiavimo tobulinimas ir surinkimo apimčių didinimas. Kaip teigia mokslinių šaltinių autoriai, antrinių žaliavų kiekiai ypatingai išaugo pandemijos metu, kada iškilo didelis polinkis apsipirkti internetu ir apskritai išaugo naudojimas, kuris lemia didesnę aplinkos taršą (De Oliveira et al., 2021). Antrinių žaliavų surinkimas yra svarbus tiek aplinkosauginiu pavyzdžiu, tiek ekonomine nauda (žr. 1 lentelę).

1 lentelė. Antrinių žaliavų surinkimo aplinkosauginė ir ekonominė nauda (sudaryta autorės, Burinskiene A. ir kt., 2026)

Table 1. Environmental and economic benefits of collecting secondary raw materials (compiled by the author, based on Burinskiene A. et al.2026)

Aplinkosauginė nauda <i>Environmental benefits</i>	Ekonominė nauda <i>Economic benefits</i>
Mažinamas atliekų kiekis sąvartynuose <i>Reducing the amount of waste in landfills</i>	Sukuria naujas darbo vietas <i>Creates new jobs</i>
Taupomi gamtos ištekliai <i>Saving natural resources</i>	Mažina gamybos energijos kaštus <i>Reduces production energy costs</i>
Mažėja energijos sunaudojimas ir CO ₂ emisija <i>Reducing energy consumption and CO₂ emissions</i>	Skatina žiedinę ekonomiką <i>Promotes the circular economy</i>

Atliekų patekimą į sąvartynus svarbu mažinti dėl poveikio aplinkai – kuo daugiau perdirbama atliekų, tuo mažiau teršiamas dirvožemis, oras, vanduo. Perdirbant antrines žaliavas (pavyzdžiui: popierių, plastiką, stiklą), sumažėja poreikis išgauti naujas žaliavas. Atliekų rūšiavimas ir perdirbimas turi tiesioginę įtaką mažesniai energijos sunaudojimui ir mažesniai CO₂ emisijos išskiriamam kiekiui, nes perdirbti medžiagas dažniausiai reikia mažiau energijos nei naujos žaliavos gamybai. Moksliniuose šaltiniuose taip pat akcentuojama, kad pakuočių atliekų perdirbimas gali paversti popierių ir plastiką vertingais ištekliais, kurie sumažintų žaliavų ir energijos suvartojimą (Tejaswini et al., 2022). 2024 m. publikuotame tyrime atskleidžiama, kad jeigu visos pakuočių atliekos būtų perdirbamos, būtų galima išvengti daugiau nei 60 proc. visų šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo ir apie 80 proc. likusių atliekų tvarkymo išorinių sąnaudų (Qiang et al., 2024).

Ekonominės naudos atžvilgiu, sukuriama naujos darbo vietos, kadangi rūšiavimas, perdirbimas ir inovacijų paieškos reikalauja papildomų žmogiškųjų išteklių. Dažnai gamybos kaštai sumažėja naudojant jau perdirbtas žaliavas nei pirmines, pavyzdžiui, perdirbto popieriaus gamyba reikalauja 40–60 proc. mažiau medienos, o perdirbtas aliuminis reikalauja apie 95 proc. mažiau energijos nei gamybai (Oliveira et al., 2023). Žiedinės ekonomikos skatinimas taip pat yra siektinas tikslas, sukuriantis ilgalaikę ir visapusišką naudą. Žiedinės ekonomikos svarba aprašoma ir Europos Parlamento dokumentuose. Akcentuojama, kad žiedinė ekonomika yra gamybos ir vartojimo modelis, kuris apima esamų medžiagų ir gaminių dalijimąsi, pakartotinį naudojimą, atnaujinimą ir perdirbimą kiek įmanoma ilgiau (Europos Parlamentas, 2023).

Remiantis Lietuvos oficialiu statistinių rodiklių portalu, išanalizuoti surenkamų antrinių žaliavų – stiklo, plastiko, kartono/popieriaus – kiekiai Lietuvoje nuo 2020 m. iki 2024 m. pabaigos (žr. 2 lentelę).

2 lentelė. Atliekų susidarymas tonomis 2020-2024 m. Lietuvoje (sudaryta autorės remiantis Lietuvos oficialiosios statistikos portalo duomenimis, 2026)

Table 2. Waste generation in tons in 2020-2024 in Lithuania (compiled by the author based on data from the Lietuvos oficialiosios statistikos portalas, 2026)

	Atliekų susidarymas, tonomis <i>Waste generation, tons</i>				
	2020 m.	2021 m.	2022 m.	2023 m.	2024 m.
	Surinkta <i>Collected</i>				
Stiklo <i>Glass</i>	58 836,29	62 229,40	69 897,66	78 733,06	82 941,15
Popieriaus/kartonas <i>Paper/cardboard</i>	149 569,50	161 637,42	157 596,10	150 079,13	152 660,89
Plastiko <i>Plastic</i>	69 960,62	91 685,04	88 672,85	78 861,10	88 194,50

Pagal gautus duomenis matomas ženklus stiklo surinkimo augimas. Nuo 2020 m. iki 2024 m. surenkamo stiklo atliekų kiekis pakilo per 24 104, 86 t. Popieriaus ir kartono atliekų surinkimas nežymiai svyruoja. Didžiausias kilimas pastebimas 2021 m., mažėjo iki 2024 m., tačiau intervale nuo 2020 m. iki 2024 m. kiekis išaugo 3 091, 39 t. Plastiko atliekų kiekis nuo 2020 m. iki 2024 m. išaugo 18 233, 88 t.

Surenkamų antrinių žaliavų kiekiui tiesioginės įtakos turi kintantis gyventojų skaičius Lietuvoje. Analizuojant statistinius rodiklius, nuo 2020 m. iki 2024 m. matomas nuolatinis gyventojų augimas (žr. 3 lentelę).

3 lentelė. Gyventojų skaičius Lietuvoje 2020–2024 m. (sudaryta autorės remiantis Lietuvos oficialiosios statistikos portalo duomenimis, 2025)

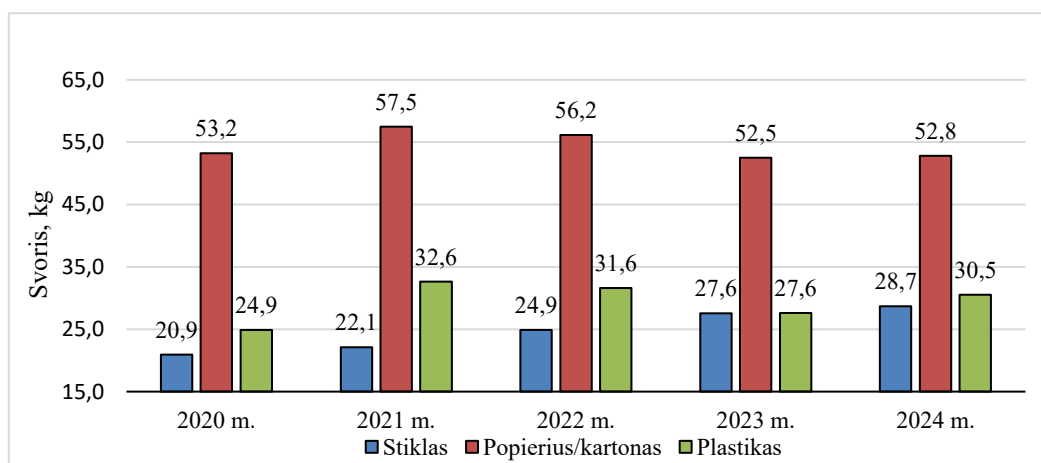
Table 3. Population in Lithuania 2020–2024 (compiled by the author based on data from the Lithuanian Official Statistics Portal, 2025)

Metai Year	Gyventojų skaičius, mln. Population, million
2020	2 809 977
2021	2 810 761
2022	2 805 998
2023	2 857 279
2024	2 889 601

Naudojant naujausius rastus duomenis apie gyventojų skaičius Lietuvoje bei antrinių žaliavų – stiklo, popieriaus, kartono, plastiko – atliekų surenkamus kiekius, per capita rodiklio skaičiavimo formulę pateiktas kaip skaičiavimų pavyzdys, siekiant nustatyti stiklo kiekį, tenkantį vienam gyventojui per 2020 m. kilogramais (žr. (1) formulę).

$$\text{Per capita (kg/žmogui)} = \frac{\text{Stiklo kiekis per 2020 m.}}{\text{Gyventojų skaičius 2020 m.}} = \frac{58836,29}{2809977} = 20,9\text{kg} \quad (1)$$

Tokiu būdu apskaičiuoti visų antrinių žaliavų frakcijų kiekiai, tenkantys vienam Lietuvos gyventojui ketverius paskutinius metus (2020–2024 m.). Tai leidžia stebėti pokyčius per pasirinktus laikotarpius ir įvertinti kintančius antrinių žaliavų srautus, kurie turi tiesioginės įtakos surinkimo logistikai. Skaičiavimai pateikti žemiau (žr. 1 pav.).



Šaltinis: sudaryta autorės remiantis Lietuvos oficialiosios statistikos portalo duomenimis (2026)

Source: compiled by the author based on data from the Lietuvos oficialiosios statistikos portalo (2026)

1 pav. Antrinių žaliavų kiekis, tenkantis vienam Lietuvos gyventojui

Fig. 1. Amount of secondary raw materials per capita in Lithuania

Pagal atliktą analizę matoma, kad nuo 2020 m. iki 2024 m. stiklo atliekų skirtumas siekė 7,8 kg/žmogui. Popieriaus/kartono atliekų skaičiai didėjo nuo 2020 m. iki 2022 m., 2023 m. matomas nežymus sumažėjimas, tačiau 2024 m. vėl fiksuojamas augimas. Plastiko 2024 m. susidarė 5,6 kg/žmogui daugiau nei 2020 m. Šie pokyčiai rodo, kad susiduriama su augančiu antrinių žaliavų srautu, kuris kelia papildomus iššūkius atliekų tvarkymo sistemoje. Augantis žaliavų surinkimo kiekis Lietuvoje tampa ne tik tvarumo rodikliu, bet ir reikšmingu sistemos valdymo iššūkiu. Vienas jų – antrinių žaliavų perdirbimo įrenginiai, kurie technologiniu požiūriu pasenę (Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, 2023). Remiantis aplinkos ministerija, modernizavimas ir tobulinimas prisidėtų prie Nacionalinio pažangos plano „Mažinti susidarančių atliekų kiekį ir efektyviai jas tvarkyti“. Siekiant užtikrinti efektyvumą, taip pat turėtų būti peržiūrimi atliekų surinkimo maršrutai, konteinerių išdėstymas, surinkimo dažnumas.

Įgyvendinant reglamentuotą ES atliekų tvarkymo politiką, Lietuvoje susiduriama su įvairiais veiksniais, įtakančiais antrinių žaliavų surinkimo logistikos procesus. Antrinių žaliavų surinkimas yra kompleksinis procesas, jis apima antrinių žaliavų tvarkymo organizacijų, gyventojų, klientų elgseną, operatyvius maršrutų organizavimo sprendimus, darbuotojų kompetencijas, veikiančių informacinių sistemų veiksmingumą ir pritaikymą (žr. 4 lentelę).

4 lentelė. Antrinių žaliavų surinkimą lemiantys veiksniai (sudaryta autorės, 2025)

Table 4. Factors that determine the collection of secondary raw materials (compiled by the author, 2025)

Vidiniai veiksniai <i>Internal factors</i>	Išoriniai veiksniai <i>External factors</i>
Darbuotojų kompetencija (Botchway, 2023) <i>Employee competence (Botchway, 2023)</i>	Klientų sąmoningumas (Hess ir kt., 2024) <i>Customer awareness (Hess et al., 2024)</i>
Informacinių sistemų veiksmingumas ir integracija (Krupova ir kt., 2025) <i>Information systems efficiency and integration (Krupova et al., 2025)</i>	Didėjantys antrinių žaliavų kiekiai (Prata ir kt., 2025) <i>Increasing quantities of secondary raw materials (Prata et al., 2025)</i>
Informacijos tikslumas (Harris ir kt., 2024) <i>Accuracy of information (Harris et al., 2024)</i>	-
Modernus transportas (Bouleff ir kt., 2023) <i>Modern transport (Bouleff et al., 2023)</i>	-
Organizacinės darbų struktūra (Bobinaitė ir kt., 2025) <i>Organizational structure of work (Bobinaitė et al., 2025)</i>	-
Klientams sąlygų sudarymas rūšiavimui (Reingewertz ir kt., 2025) <i>Creating conditions for sorting (Reingewertz et al., 2025)</i>	-

Minėti veiksniai pasirinkti kaip svarbiausi dėl literatūros analizėje pasikartojančių veiksnių dažnumo, kuris leidžia interpretuoti, kad tai labiausiai įtaką darantys veiksniai antrinių žaliavų surinkimui. Aptariant vidinius organizacijos veiksnius, lemiančius antrinių žaliavų surinkimo logistikos procesą, išskirti šeši pagrindiniai veiksniai:

1. Darbuotojų kompetencija. Vadybos vaidmuo yra vienas svarbiausių įmonės sudedamųjų dalių. Į tai įeina tiek operacinės (vairuotojai, surinkimo komandos), tiek vadybinės (planuotojai, vadybininkai, IT specialistai) dalys. Kompetencija – žinių, įgūdžių ir savybių, galinčių paveikti individo darbo rezultatus, visuma. E. A. Botchway (2023) pabrėžia, kad kompetencijų ir įgūdžių ugdymas pagerina atliekų surinkimo našumą ir leidžia greičiau ir geriau pritaikyti technologijas bei patobulinti operacinius logistikos procesus nuo užsakymo gavimo iki galutinio paslaugos suteikimo klientui.

2. Informacinių sistemų veiksmingumas ir integracija (efektyvus maršrutų planavimas). Integruotos technologijų inovacijos suteikia galimybę valdyti operacijas, stebėti veiklos rodiklius, tačiau technologijų sėkmė priklauso nuo organizacijos duomenų tikslumo, gebėjimo apjungti sistemas ir logistikos procesus. Išmaniųjų sistemų integravimas yra esminis žingsnis link tvaraus ir organizuoto veikimo (Krupova et al., 2025). Tai ypatingai svarbu maršrutų sudarymui.

3. Informacijos tikslumas. Fragmentuota ar klaidinanti informacija apie konteinerių stovėjimo vietą, netikslų konteinerių ženklimą, sudėtingą patekimą į kliento teritoriją ir gaunamos informacijos šaltai lemia tuščiai pravažiuotų kilometrų rodiklius, mažesnius atliekų tonažus, taršos didėjimą mieste. Atliekami tyrimai išryškina informacijos dalijimosi mechanizmų ir standartų svarbą, ypatingai tuomet, kai procese dalyvauja keli dalyviai, t.y. klientai ir organizacijos darbuotojai, organizuojantys antrinių žaliavų surinkimo logistiką (Harris et al., 2024).

4. Modernus transportas. Vis daugiau atliekų tvarkymo sistemų orientuojasi į modernius sprendimus – daugiaviečių šiukšliavežių su svėrimo bei atskirų atliekų frakcijų bunkerų sistema vienoje transporto priemonėje. Tokios šiukšliavežės vienu metu gali surinkti kelias skirtingas atliekų frakcijas (plastikas, popierius, stiklas), taip išvengiant dvigubo važiavimo į tą pačią lokaciją su įprastomis vieno bunkerio transporto priemonėmis (Bouleff et al., 2023).

5. Organizacinė darbų struktūra. Organizacinės struktūros, naudojančios duomenimis grįstus sprendimų priėmimus (KPI, GIS/sekimo telemetrija, periodinė kokybės kontrolė), suteikia galimybę greitai koreguoti maršrutus, grafikus, reaguoti į realiu laiku kylančias problemas ir taip gerinti paslaugų aptarnavimo lygį (Dawar et al., 2025). Nors pagrindiniais sėkmingo rūšiavimo rodikliais laikomos technologijos ir logistika, svarbi ir organizacinė struktūra ir jos valdymas. Pavyzdžiui, Lietuvoje atlikta analizė per pastaruosius kelerius metus rodo, kad komunalinių mišrių atliekų sumažėjo apie 5 proc., o surenkamų rūšiuotų atliekų išaugo iki 26 proc. tai rodo, kad atliekų surinkimo politikos ir kontrolės mechanizmu, infrastruktūros parinkimu pastebimas matomas rezultatų pokytis (Bobinaitė ir kt., 2025).

6. Klientams sąlygų sudarymas rūšiavimui. Optimalus konteinerių kiekio suteikimas, jų įvairovė (plastiko, popieriaus, stiklo, buitinių, organinių atliekų) bei vietos parinkimas yra svarbi sąlyga. Jeigu konteineriai per daug nutolę nuo atliekų susidarymo vietos, nėra visų frakcijų reikalingų konteinerių arba trūksta informacijos ant konteinerių apie rūšiavimą – motyvacija rūšiuoti mažėja (Reingewertz et al., 2025).

Aptariant išorinius veiksnius, lemiančius antrinių žaliavų surinkimo logistikos procesą, išskirti du pagrindiniai veiksniai:

1. Klientų sąmoningumas. Kuo didesnis klientų sąmoningumas, tuo našesnis antrinių žaliavų surinkimo šaltas ir mažesnė tarša. Klientų (ypatingai juridinių asmenų) vengimas laiku pranešti apie pripildytus konteinerius yra dažna praktika, kai norima išvengti išvežimo mokesčio (priklausomai nuo sudarytos sutarties tipo). Taip pat dažnai nėra užtikrinamas tinkamas privažiavimas prie konteinerių su sunkiasvore šiukšliaveže. Tai didina neplanuotų maršrutų skaičius, išbalansuoja dienotvarkę, prisideda prie aplinkos teršimo. Dėl šių priežasčių, juridinių asmenų laiku pateikiama informacija apie išvežimo poreikį yra būtina, kad būtų užtikrintas efektyvus antrinių žaliavų surinkimo logistikos procesas (Hess et al., 2024).

2. Didėjantys antrinių žaliavų kiekiai. Vis didėjantys atliekų šaltai padidina ir poreikį dažniau surinkti atliekas, o tam reikia didesnių pajėgumų. Siekiant išvengti perpildytų konteinerių, būtina pertvarkyti, koreguoti surinkimo tvarkaraščius, sutelkti papildomas pajėgas, įdarbinti daugiau vairuotojų, įsigyti daugiau transporto. Siekiant suvaldyti

didėjančius atliekų srautus, kyla poreikis diegti realaus laiko stebėjimo sistemas, programinę optimizavimo įrangą, tačiau tai reikalauja papildomų investicijų, žmogiškųjų išteklių, laiko (Prata et al., 2025).

Atlikta antrinių žaliavų surinkimo logistikos procesus lemiančių veiksnių analizė atskleidžia, kad daugiausiai vyrauja vidiniai veiksniai, kurie sukelia iššūkius atliekų surinkimo organizavime. Tokie veiksniai, kaip darbuotojų kompetencija, informacinių sistemų integravimas ir naujų kūrimas, informacijos tikslumas, organizacinė valdymo struktūra, modernus transportas bei klientams sąlygų sudarymas rūšiavimui gali turėti tiesioginės įtakos sklandžiam surinkimo logistikos veikimui. Tai sudaro prielaidas teigti, kad siekiant veiksmingų logistikos procesų būtina investuoti į darbuotojų kvalifikacijos kėlimą, informacinių sistemų diegimą ir integraciją, modernaus transporto įsigijimą.

Mokslinėje literatūroje atliekų surinkimo logistikos tobulinimas daugiausia siejamas su organizacinių ir vadybinių gebėjimų stiprinimu, efektyviu maršrutų ir surinkimo grafikų planavimu, patikimos ir savalaikės informacijos užtikrinimu, taip pat atliekų darytojų sąmoningumo didinimu, skatinant tikslingą rūšiavimą ir pagrįstų sprendimų priėmimą, pridudant sukauptas atliekas jų tvarkytojui (Hess, 2023).

Atlikus mokslinėje literatūroje nagrinėtų atvejų analizę, kurie taiko technologinius sprendimus, pastebima, kad inovatyvus atliekų tvarkymas, tobulinamas surinkimas yra vyraujanti nuolatinė procedūra įvairiuose pasaulio miestuose. Tai galime pastebėti išnagrinėjus atvejus Ispanijoje, Pietų Korėjoje, Nyderlanduose, Jungtiniuose Arabų Emyratuose (žr. 5 lentelę).

5 lentelė. Technologijų taikymo praktikos analizė keturių miestų atliekų tvarkymo sektoriuje (sudaryta autorės remiantis Krupova ir kt., 2025)

Table 5. Analysis of technology application practices in the waste management sector of four cities (compiled by the author based on Krupova et al., 2025)

Atvejo analizės šalis <i>Case study country</i>	Taikomos technologijos <i>Applied technologies</i>
Ispanija (Barselona) <i>Spain (Barcelona)</i>	• Daiktų interneto (IoT) jutikliai konteinerių užpildymui stebėti. <i>Internet of Things (IoT) sensors to monitor container filling.</i> • Algoritmai atliekų susidarymui prognozuoti ir maršrutams optimizuoti. <i>Algorithms for predicting waste generation and optimizing routes.</i> • Atliekų duomenų centras. <i>Waste Data Center.</i>
Pietų Korėja (Seulas) <i>South Korea (Seoul)</i>	• Požeminė atliekų transportavimo vamzdynų sistema. <i>Underground waste transportation pipeline system.</i> • Išmanūs jutikliai ir valdikliai atliekų transportavimui stebėti. <i>Smart sensors and controls to monitor waste transportation.</i> • Automatizuota atliekų rūšiavimo ir transportavimo sistema. <i>Automated waste sorting and transportation system.</i>
Nyderlandai (Amsterdamas) <i>Netherlands (Amsterdam)</i>	• Išmanūs jutikliai, interneto pagalba siunčiami užimtumo lygį konteineriuose. <i>Smart sensors, using the Internet, send occupancy levels in containers.</i> • Didieji duomenys ir nuspėjamoji analizė maršrutų stebėjimui. <i>Big data and predictive analytics for route monitoring.</i> • „Išmanusis miestas“ („City data“) platforma duomenų integravimui ir analizei. <i>Smart city (City data) platform for data integration and analysis.</i>
Jungtiniai Arabų Emyratai (Dubajus) <i>United Arab Emirates (Dubai)</i>	• Išmanūs jutikliai, interneto pagalba siunčiami užimtumo lygį konteineriuose. <i>Smart sensors, using the Internet, send occupancy levels in containers.</i> • Debesų duomenų bazė. <i>Cloud database.</i> • Dirbtinis intelektas prognozėms ir maršrutų optimizavimui. <i>Artificial intelligence for predictions and route optimization.</i> • Išmanioji maršrutų planavimo programinė įranga. <i>Smart route planning software.</i>

Atlikus mokslinės literatūros analizę, išskiriami pagrindiniai sprendimo būdai, kuriuos pritaikius galimas antrinių žaliavų surinkimo logistikos tobulinimas:

Technologiniai sprendimai:

- Išmanieji jutikliai, nustatantys konteinerių užsipildymo lygį.
- Duomenų bazės su algoritmais, DI prognozėms ir maršrutų optimizavimui.
- Automatizuotos atliekų rūšiavimo sistemos.

Vadybiniai ir organizaciniai sprendimai:

- Atliekų logistikos planavimo optimizavimas (pagal jutiklių duomenis).
- Konteinerių išdėstymo organizavimas.
- Tinkamas konteinerių ženklavimas.
- Vadybininkų kvalifikacijos kėlimas.

Komunikaciniai sprendimai:

- Informacijos apie rūšiavimą platinimas.
 - Švietimo skatinimas mokymosi įstaigose, organizacijose, verslo įmonėse.
- Atliekų surinkimas tampa būtinybe pažangių organizacijų veikloje, siekiant išvengti neigiamo poveikio aplinkai.

Išvados

1. Atlikta mokslinės literatūros ir statistinių duomenų analizė pabrėžia, kad antrinių žaliavų surinkimo logistika yra svarbi tiek aplinkosauginiu, tiek ekonominiu aspektu. Didėjant vartojimui, auga atliekų kiekiai, kurie reikalauja surinkimo logistikos tobulinimo, kad būtų efektyviau tvarkomos atliekos, mažinamas poveikis aplinkai.
2. Išanalizavus mokslinės literatūros šaltinius ir vienus didžiausių pasaulio valstybių praktikų, nustatyta svarbiausias antrinių žaliavų surinkimo logistikos tobulinimo kryptis – plėsti informacinių sistemų diegimą. Efektyviausi sprendimai apima išmaniųjų jutiklius, DI diegimą maršrutų optimizavimui ir prognozių kūrimui. Be technologinių sprendimų, viena svarbiausių tobulinimo krypčių išlieka visuomenės švietimas siekiant pagerinti surenkamų atliekų kiekį ir kokybę.

Literatūra

1. Bobinaitė, V., Naujokas, G. (2025). Effectiveness of municipal waste collection and management policy in Lithuania. *Sustainability*, 17(10), 4623. <https://doi.org/10.3390/su17104623>
2. Botchway, E. A., Asare, S. S., Agyekum, K., Salgin, B., Pittri, H., Kumah, V. M. A., & Domphey, A. M. A. (2023). Competencies driving waste minimization during the construction phase of buildings. *Buildings*, 13(4), 971.
3. Bouleft, Y., & Elhilali Alaoui, A. (2023). Dynamic multi-compartment vehicle routing problem for smart waste collection. *Applied System Innovation*, 6(1), 30.
4. Burinskienė, A., Lingaitienė, O., Byčenkaitė, G. (2025). Dynamics of trade of recycled raw materials and the connection with the circular economy. *Discover Sustainability* 6(680). <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01502-4>
5. Činčikaitė, R. (2024). Assessment of sustainable waste management: A case study in Lithuania. *Sustainability*, 17(1), 120. <https://doi.org/10.3390/su17010120>
6. Dawar, I., Srivastava, A., Singal, M. Dhyani N., Rastogi S. (2025). A systematic literature review on municipal solid waste management using machine learning and deep learning. *Artificial intelligence review*, 58(183). <https://doi.org/10.1007/s10462-025-11196-9>
7. De Oliveira, WQ, de Azeredo, HMC, Neri-Numa, IA ir Pastore, GM (2021). Food packaging wastes amid the COVID-19 pandemic: Trends and challenges. *Trends Food Science & Technology*. 116, 1195–1199. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.027>
8. Europos parlamentas (2023). Circular economy: definition, importance and benefits. *European Parliament*. <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20151201STO05603/circular-economy-definition-importance-and-benefits>
9. Harris, I., Bermudez Bermejo, D. E., Crowther, T., & McDonald, J. (2024). Factors affecting truck payload in recycling operations: Towards sustainable solutions. *Logistics*, 8(4), 118 <https://doi.org/10.3390/logistics8040118>
10. Hess, C., Dragomir, A.G., Doerner, K.F. (2024). Waste collection routing: a survey on problems and methods. *Central European journal of operations research*, 32, 399–434. <https://doi.org/10.1007/s10100-023-00892-y>
11. Krupova S., Koman G. (2025). Integrating logistics and information systems in urban waste management: The road to a sustainable smart city. *LOGI – Scientific journal on transport and logistics*, 16,(1), 25-36 <https://doi.org/10.2478/logi-2025-0003>
12. Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija (2023). Atliekų perdirbimui ir antrinių žaliavų naudojimui skatinti – beveik 100 mln. Eurų. <https://am.lrv.lt/lt/naujienos/atlieku-perdirbimui-ir-antriniu-zaliavu-naudojimui-skatinti-beveik-100-mln-euru/>
13. Mohammadi, M., Rahmanifar, G., Hajiaghahi-Keshteli, M., Fusco, G., & Colombaroni, C. (2023). Industry 4.0 in waste management: An integrated IoT-based approach for facility location and green vehicle routing. *Journal of industrial information integration*, 36, 100535. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2023.100535>
14. Oficialios statistikos portalas. Stiklo, popieriaus ir plastiko atliekų susidarymas ir tvarkymas 2020-2024 m. laikotarpyje (2026). Prieiga per internetą: <https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize#/> (žiūrėta 2026-01-24).
15. Oliveira Neto, G. C. de, Correia, A. de J. C., & Lucato, W. C. (2023). Economic and environmental benefits by means of recycling processes grounded in the circular economy: Case studies in the metal mechanical sector. *Waste Management*, 164, 250-259. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.03.017>
16. Prata, J., Simões, C. L., & Simoes, R. (2025). Improvements to municipal solid waste collection systems using real-time monitoring. *Sustainability*, 17(4), 1405. <https://doi.org/10.3390/su17041405>
17. Qiang Z, Nan Q, Chi W, Qin Y, Yang S, Zhu W, Wu W. (2024). Recycling packaging waste from residual waste reduces greenhouse gas emissions. *Journal of environmental management*, 371, 123028. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123028>
18. Reingewertz, Y., Ayalon, O. (2025). The effect of the intensive margin on waste separation behavior: a discrete choice experiment. *Environment, development and sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05886-7>
19. Rushton, A., Croucher, P., Baker, P. (2022). The Handbook of Logistics and Distribution Management. *Understanding the supply chain*.

20. Tejaswini, M.S.S.R., Pathak P., Ramkrishna S., Ganesh P.S. (2022). A comprehensive review on integrative approach for sustainable management of plastic waste and its associated externalities. *Science of the total environment*, 825, 153973. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153973>

THEORETICAL ANALYSIS OF THE LOGISTICS OF SECONDARY RAW MATERIALS COLLECTION AND PROSPECTS FOR IMPROVEMENT

Abstract

The rapid creation of new businesses not only increases the supply of goods and services, but also causes negative consequences associated with the growing amounts of secondary raw materials. As a result, ensuring effective logistics for the collection of secondary raw materials is becoming an increasingly urgent problem. This problem is a constant challenge for entities in the waste management sector, which must quickly adapt to the increasing diversity of waste fractions and consistently improve the organization of waste collection work. The aim of the article is to theoretically identify the possibilities for improving the logistics of the collection of secondary raw materials. After analyzing scientific sources, the main theoretical directions for improving the logistics of collecting secondary raw materials were identified: implementation of technological solutions (application of artificial intelligence for route optimization, forecasting collection volumes and monitoring processes), improvement of managerial and organizational solutions (more efficient distribution of work, appropriate and informative labeling of containers, clearly providing significant information about the companies or other objects served), public education (in educational institutions and by organizing project activities on sorting topics, providing clear sorting instructions, including QR codes with links to additional information material) and public promotion (application of financial incentives, discounts and provision of information about sorted quantities).

Keywords: secondary raw materials, collection logistics, improvement.