ISSN 2669-0330 (online)
ĮŽVALGOS
2025 Nr. 2, p. 27-39

TVARUMO SPRENDIMAI VIDINĖJE LOGISTIKOJE

Akvilė Čibinskienė, Jūratė Aksomitienė, Žilvinas Zaviša
Utenos kolegija
Maironio g. 7, Utena, Lietuva

Anotacija

Dabartiniu laikotarpiu tvarumo klausimai yra aktualūs ir gamybinėje veikloje, ir paslaugų teikime, o taip pat ir vartojime. Transporto ir logistikos veiklose labai didelis dėmesys yra skiriamas transporto taršos mažinimui. Logistikoje – kuri bendrai apima ne tik prekių pervežimus, tačiau visą gamybos medžiagų ir produktų judėjimą – svarbi yra įmonių viduje vykstanti vidinė logistika. Ji yra neatsiejama tiekimo grandinės dalis, kurios efektyvumas daro poveikį visai grandinei, o taip pat ir visoms joje dalyvaujančioms įmonėms. Vidinės logistikos moksliniuose tyrimuose dominuoja pažangių technologijų, automatizuotų bei robotizuotų sistemų pritaikymo galimybių vertinimai. Siekiant tvarumo visoje tiekimo grandinėje, svarbu įvertinti vidinės logistikos tvarumo sprendimų poveikį įmonių veiklai. Vykdant tyrimą buvo atlikta vidinės logistikos sampratos ir tvarumo sprendimų vidinėje logistikoje teorinė analizė bei nustatyti vidinės logistikos tvarumo sprendimai gamybos procesų valdyme Lietuvos gamybinių įmonių pavyzdžiu. Tyrime dalyvavo Utenos rajono gamybinės įmonės.

Reikšminiai žodžiai: vidinė logistika, tvarumo sprendimai, procesų optimizavimas, atliekų mažinimas, tiekimo grandinės tvarumas.

Įvadas

Vidinė įmonės logistika (angl. *Internal Logistics*) apima visumą prekių, medžiagų, informacijos ir žmogiškųjų išteklių valdymo bei judėjimo procesų, vykstančių įmonės viduje, siekiant užtikrinti veiklos efektyvumą ir sklandumą. Šie procesai apima tiek žaliavų tiekimo, tiek gamybos, sandėliavimo, prekių paskirstymo bei tiekimo grandinės koordinavimo veiklas, kurios apima integraciją ir tarpusavio sąveiką tarp įvairių įmonės struktūrinių padalinių. Tinkamai suvaldoma vidinė logistika leidžia optimaliai paskirstyti išteklius, mažinti veiklos kaštus bei užtikrinti produktyvumą ir operatyvų atsako laiką į įmonės viduje vykstančius pokyčius.

Tyrimo problema. Tvarumo sprendimų diegimas vidinėje logistikoje yra ne tik atsakas į klimato kaitos ir aplinkosaugos iššūkius, bet ir galimybė organizacijoms didinti savo efektyvumą bei kurti pridėtinę vertę. Pasigendama mokslinėje literatūroje vidinės logistikos tvarumo sprendimų tyrimų, kurie analizuotų ir vertintų sprendimus, galinčius tapti praktiniais įrankiais tvariai plėtrai skatinti. Tvarumo sprendimai paveikia gamybos procesų valdymą, išlaidų mažinimą ir aplinkosauginių tikslų įgyvendinimą.

Tyrimo objektas. Šio tyrimo objektas yra Utenos rajono gamybinių įmonių vidinės logistikos procesų valdymą užtikrinantys tvarumo sprendimai.

Tyrimo tikslas – išanalizuoti ir nustatyti vidinės logistikos tvarumo sprendimus gamybos procesų valdyme Lietuvos gamybinių įmonių pavyzdžiu.

Tyrimo uždaviniai.

1. Atlikti vidinės logistikos sampratos ir tvarumo sprendimų vidinėje logistikoje analizę teoriniu aspektu.
2. Išanalizuoti Utenos rajono gamybinių įmonių tvarumo sprendimų taikymą vidinėje logistikoje.

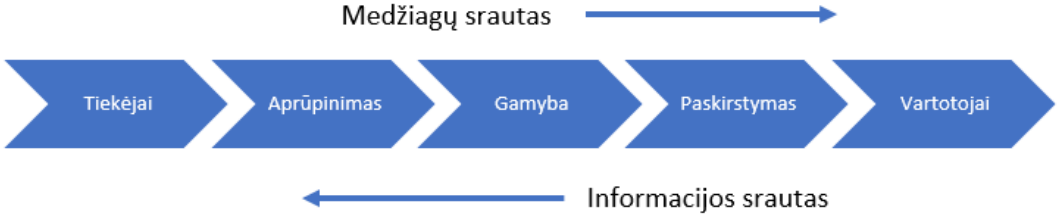
Tyrimo metodai: straipsnyje naudota mokslinės literatūros šaltinių analizė, ekspertų anketinė apklausa, anketinių duomenų apibendrinimas. Sudarytas kiekybinio tyrimo instrumentas – anketa, kuri buvo platinama Utenos rajono gamybinėms įmonėms .

Tyrimo imtis. Apklausoje dalyvavo 10 Utenos gamybinių įmonių ekspertų, turinčių ne mažiau kaip dešimt metų vadovaujančio darbo patirtį ir atstovaujančių įvairiems įmonių vidinės logistikos procesams, nuo gamybos ir sandėliavimo iki logistikos ir pirkimų.

1. Vidinės logistikos sampratos ir tvarumo sprendimų vidinėje logistikoje teorinė analizė

Bernardo ir kt. (2022) teigia, jog kiekvieną dieną pastebima, kad didėja naujų produktų paklausa, gamybos sistema tampa sudėtingesnė. Didėjant diferencijuotų produktų kiekiui, gamyba turi prisitaikyti, kad gamybos įmonės taptų konkurencingos. Norint patenkinti pasaulinės rinkos poreikius, reikalingas didesnis gamybos sistemų lankstumas. Pasak Rocha ir kt. (2010) įprastai gamyboje vertinami tokie konkurenciniai veiksniai kaip laikas, kaina ir kokybė, tačiau vis dažniau gamyba pritaikoma individualiems poreikiams, dėl to mažėja partijų dydžiai, didėja produktų įvairovė, gaminant specifinius gaminius per trumpą laiką. Kitas šiuolaikinės gamybos ypatumas yra didėjantis gaminių sudėtingumas. Tuo būdu aktualus tampa gamybos bei ją aprūpinančių logistinių operacijų lankstumas.

Šiandien **logistikos terminas** dažnai vartojamas pramonėje ir apibūdina daiktų transportavimo, sandėliavimo ir tvarkymo būdus (Jaekel, 2019). Logistika – tai procesas, užtikrinantis medžiagų srautą, organizacijos ir jos veiklos rezultatų pateikimą klientui. Jis gali būti pavaizduotas schematiškai, kaip parodyta 1 paveiksle (Kain ir Verma, 2018)



1 pav. Logistikos procesas
(Kain ir Verma, 2018)

Amr ir kt. (2019) **šiuolaikinę logistiką** apibūdina kaip veiksmingo ir efektyvaus prekių, paslaugų ir informacijos srauto judėjimo proceso planavimą, įgyvendinimą ir kontrolę nuo gamybos iki vartojimo, siekiant kuo geriau patenkinti klientų poreikius. Logistika skirstoma į išorinę ir vidinę. **Išorinė logistika** apibūdinama kaip prekių gabenimas, saugojimas ir pristatymas klientams ar kitoms įmonėms (Amr ir kt., 2019).

2. Vidinės logistikos esmė ir funkcijos

Vidinė logistika apibūdinama kaip pagalbinės operacijos ir medžiagų judėjimas įmonės viduje (Fabri ir kt., 2020, de Lima ir kt., 2020). Sharma ir Cupek (2023) savo straipsnyje vidinę logistiką apibrėžia kaip „medžiagų, informacijos ir žmonių valdymą organizacijoje tokiu būdu, kuris palaiko organizacijos strateginius tikslus. Tai apima medžiagų užsakymą, atsargų valdymą ir transportavimą, kas užtikrina efektyvų prekių ir medžiagų judėjimą įmonėje (Sharma ir Cupek, 2023). Pasak Christopher (2016) vidinės logistikos valdymas yra tiekimo grandinės valdymo dalis, apimanti medžiagų, prekių ir informacijos srautų judėjimą. Vidinė logistika (gamybos logistika) apima planavimą, įgyvendinimą, kontrolę ir efektyvų medžiagų, pusgaminių ir gatavų produktų srautą ir saugojimą gamybos procesuose ir gamybos aplinkoje teigia Štaffenová, Rakyta ir Biňasová (2023). Pagrindinės vidinės logistikos operacinės funkcijos yra manipuliavimas, sandėliavimas, vidinis transportavimas įmonės viduje (sandėlis, gamyba ir kt.), atrinkimas ir pakavimas (Martin, 2012). Pasak Bernardo ir kt. (2022), pagrindinis vidinės logistikos sistemos uždavinys – medžiagų tiekimas skirtingiems gamybos procesams.

Šiandien vidinė logistika užima vis svarbesnį vaidmenį pramonėje (Baptista ir Pinto, 2019). Anot Štaffenová ir kt. (2023), įmonės vidinė logistika yra viena iš svarbiausių sričių, kurią nuolat reikia tobulinti ir optimizuoti. Vidinės logistikos valdymo procesas gali būti sudėtingas ir daug laiko

reikalaujantis procesas, nes tenka koordinuoti ir valdyti daugybę užduočių ir sistemų. Pagal Bučková ir kt. (2020), tiekimas įmonės viduje turi būti pakankamai lankstus ir tuo pačiu tinkamai suplanuotas, taip pat siekiant išvengti netikėtų prastovų ir nepageidaujamų sustojimų. Gamybos logistika yra vienas iš aktyvių veiksnių, didinančių bendrą gamybos našumą, nes vidinė logistika daro tiesioginę įtaką išteklių naudojimo optimizavimui, gamybos produkcijos laiko mažinimui, produkcijos atsargų optimizavimui, sandėlių panaudojimui ir produkcijos kokybės gerinimui (Filipová ir kt., 2021). Vidinės logistikos ateities iššūkius pirmiausia lemia auganti individualizavimą visose įmonės srityse ir didėjantys klientų reikalavimai logistikos paslaugoms. Tai reikalauja lankstumo ir pritaikomų vidinės logistikos sistemų bei skaidraus ir nuolatinio keitimosi informacija (Günthner ir Ten Hompel, 2010). Furmannová ir kt. (2021) bei Štaffenova ir kt. (2023) teigia, kad didėjant bendram gamybos procesų sudėtingumui, didėjant įrangos, darbuotojų, taip pat žaliavų ir pusgaminių kiekiui įmonėje, vidaus logistikos sistemų valdymas tampa vis reiklesnis. Nuolat didėjantis gaminamos produkcijos kintamumas, spaudimas mažinti gamybos laiką ir optimizuoti veiklos sąnaudas verčia įmones modernizuoti nusistovėjusius vidinės logistikos procesus, kad galėtų lanksčiau reaguoti tiek į gamybos aplinkos, tiek į rinkos pokyčius (Pekarčíková ir kt., 2021; Štaffenova ir kt., 2023).

3. Vidiniai logistikos procesai ir sistemos

Logistikos procesas apima prekių, paslaugų ir informacijos, susijusios su prekių ir paslaugų judėjimu, srautą, vadinamą logistine informacija (Pascu ir kt., 2021). Vidinis logistikos procesas gamybos organizacijoje apima logistikos srautus, įskaitant medžiagų judėjimą, vykdomą veiklą ir galutinius produktus (Pascu ir kt., 2021). Logistikos sistema apima visumą priemonių, kurios įgalina visas gamybos, transportavimo, bet ir sandėliavimo operacijas, kurių pagalba iš žaliavų pagaminti produktai pasiekia jų vartotojus. Logistikos sistemos vykdo tiekimo, transportavimo, tvarkymo, sandėliavimo, kontrolės ir paskirstymo veiklas bei procesus. Taip užtikrinamas žaliavų ir medžiagų tiekimas, gaminio gamyba ir gatavo produkto paskirstymas (Ghiani ir kt., 2013).

Pagal Rocha ir kt. (2010) vidinės logistikos sistema labai priklauso nuo gamybos sistemos tipo ir apimties, taip pat nuo santykių su klientu (pvz., gamyba pagal užsakymą arba į atsargas orientuoti gamybos procesai).

Pagal darbuotojo įsitraukimo laipsnį vidinės logistikos sistemos skirstomos į (Pascu ir kt., 2021):

- klasikines sistemas: tai sistemos, kuriose visas operacijas atlieka žmogus;
- mechanizuotas sistemas: tai sistemos, kuriose darbuotojas sistemą valdo rankiniu būdu;
- automatizuotas sistemas: sistemos, kuriose visas funkcijas atlieka sistemos.

4. Pramonė 4.0 ir technologijos vidinėje logistikoje

Mokslinėje literatūroje vidinė logistika pastaruoju metu dažnai yra nagrinėjama Pramonė 4.0 kontekste, vertinant automatizuotų transporto priemonių, robotų, robotizoutų sistemų pritaikymą (Bernardo ir kt., 2022, Rocha ir kt., 2010, Sharma ir Cupek, 2023, Steclik ir kt., 2022, Knoll ir kt., 2019, Štaffenova ir kt., 2023, Pascu ir kt., 2021). Štaffenova ir kt. (2023) teigia, jog daugėja robotizuotų darbo vietų, žmogus ir robotas bendradarbiauja, mažinamos atsargos ir vyksta gamyba „just-in-time“. Čia iškyla vidinės logistikos ir autonominių transporto priemonių klausimas. Gamyklose, kuriose dirba žmonės, tai taip pat reiškia aukštus saugos ir susidūrimų prevencijos reikalavimus. Transporto priemonių apsaugos nuo susidūrimo sistemos taip pat svarbios siekiant apsaugoti turtą ir užkirsti kelią susidūrimams su kitomis transporto priemonėmis. Štaffenova (2021) teigia, jog tam, kad vidinė logistika būtų efektyvi, būtina diegti naujas ir automatizuotas technologijas, gerinančias logistikos srautą. Daugeliui įmonių sunku rasti ir įdiegti tinkamą automatizuotą sprendimą su teigiama investicijos grąža. Automatizuotos transporto priemonės yra paprastas sprendimas vidaus logistikai pagerinti, tačiau šis sprendimas turi būti parinktas tinkamai konkrečiai įmonei ir turi atitikti nustatytą jos logistikos strategiją. Jau 2010 metais Rocha ir kt. (2010) atliktos atvejų analizės įrodė, kad automatizuotai valdomomis transporto priemonėmis pagrįstos vidinės logistikos sistemos didina veiklos efektyvumą ir mažina išlaidas. Pascu ir kt. (2021) savo tyrimu nustatė, jog dažniausiai tiriamuose straipsniuose taikomi tokie su inovatyvių vidinių

logistikos procesų ir sistemų kūrimu susiję metodai ir technikos: logistikos srautų optimizavimas, autonominės logistikos įrangos kūrimas ir papildyta / virtualia realybe pagrįstų technikų panaudojimas. Optimizuojant logistikos srautus, dažniausiai naudojamas modeliavimas su atskirais įvykiais, viena iš dažniausiai naudojamų programinės įrangos yra Plant Simulation. Kuriant autonominę logistikos įrangą, dažniausiai naudojamos technologijos, pagrįstos navigacijos sistemomis ir artumo jutikliais. Virtualios ir papildytos realybės atveju jie yra pagrįsti realaus pasaulio deriniu su virtualaus pasaulio elementais. Šiuose metoduose naudojami regos, klausos ir uoslės jutikliai, siekiant sukurti naujoviškus vidinius logistikos procesus ir sistemas. Steclik ir kt. (2022) skaitmeninių technologijų mokslo tyrime nagrinėjo vidinės logistikos sistemas, paremtas automatizuotai valdomomis transporto priemonėms. Sharma ir Cupek (2023) nagrinėjo robotizuotų procesų automatizavimo ir bendradarbiaujančių robotų naudojimo transporto valdyme privalumus ir iššūkius. Winkelhaus ir Grosse (2020) teigia, jog šių priemonių derinys gali supaprastinti procesus, sumažinti klaidas ir padidinti našumą, tačiau tokios technologijos diegimas yra susijęs su iššūkiais ir sąnaudomis. Bernardo ir kt. (2022) atliko išsamią mokslinės literatūros, nagrinėjančios robotų panaudojimą vidinės logistikos planavime ir vidinės logistikos sistemose.

Zoubek ir Šimon (2020) tvirtina jog vidinė logistika yra viena svarbiausių įmonės veiklos sričių ir turi didelį potencialą Pramonės 4.0 koncepcijoje. Jų manymu, pagrindinė išmaniosios gamybos prielaida – turėti pilną visų produktų logistikos judėjimo apžvalgą, t. y. nuo įvežimo, gamybos iki išsiuntimo. Be to, būtent tai leidžia vidinės logistikos skaitmenizavimas. Skaitmenizavimu ir automatizavimu pagrįstos pramonės 4.0 kūrimas ne tik kelia puikių iššūkių logistikai ir suteikia tolimesnio augimo bei plėtros galimybių bet ir prisideda prie tvarumo tikslų – mažinant resursų švaistymą, optimizuojant energijos vartojimą bei mažinant anglies dvideginio pėdsaką, atveria galimybes kurti aplinkai draugiškesnius, tvaresnius sprendimus bei užtikrinti ilgalaikę plėtrą. Įmonės turėtų optimizuoti, automatizuoti ir skaitmeniniu būdu transformuoti vidinę logistiką į savarankiškesnę ir lankstesnę formą. Tačiau įmonė turi būti pasiruošusi šiai „Pramonė 4.0“ koncepcijai ir žinoti savo brandos lygį šioje srityje (Zoubek ir Šimon, 2020). Judri vidinė logistika yra vienas pramonės 4.0 (Stock ir Seliger, 2016, Steclik ir kt., 2022) veiksnių, o AGV (Automated Guided Vehicles) yra pagrindiniai komponentai, būtini kuriant lanksčias ir efektyvias vidines transporto sistemas (Andreasson, 2015). Logistinės užduotys turi būti atliekamos paskirstytai, dinamiškai ir autonomiškai. Kitas svarbus aspektas yra kelių kriterijų optimizavimo palaikymas. (Steclik ir kt., 2022).

5. **Tvarumo sprendimai**

Šiuolaikinės vidinės logistikos sistemos vis dažniau orientuojamos į tvarumą, siekiant sumažinti aplinkos poveikį, optimizuoti išteklių vartojimą ir užtikrinti ilgalaikį ekonominį efektyvumą. Tvarumas apima tris dimensijas: aplinkosauginę (CO_2 pėdsako mažinimas), socialinę (darbo sauga) ir ekonominę (išlaidų optimizacija). Pasak Zoubek ir Šimon (2020), Pramonės 4.0 technologijos leidžia vidinėje logistikoje sumažinti resursų švaistymą iki 40 procentų, integruojant skaitmenizaciją ir autonomines sistemas.

Vienas pagrindinių tvarumo sprendimų – AGV. Štaffenova ir kt. (2023) tyrime Slovakijos gamybos įmonėje nustatyta, kad AGV diegimas sumažina energijos sąnaudas 25-30 procentų, lyginant su tradiciniais krautuvais, ir CO_2 emisijas iki 20 procentų, nes naudoja efektyvius elektros variklius ir optimizuoja maršrutus. Be to, AGV mažina sužalojimų darbe riziką 50 procentų, gerinant socialinį tvarumą (De Ryck ir kt., 2020). Šios priemonės reikalauja investicijų, kurios atsiperka per 2-3 metus dėl mažesnių eksploatacinių išlaidų.

Kitas sprendimas – skaitmeninė transformacija – realaus laiko duomenų analizė ir daiktų internetas leidžia optimizuoti atsargas, maršrutus, mažinant atliekas. Winkelhaus ir Grosse (2020) išanalizavo daugiau nei 50 tyrimų ir nustatė, kad logistikos 4.0 sistemos (pvz. Plant simulation modeliavimas) sumažina tuščią ridą 35 procentais ir energijos suvartojimą 15-25 procentais. Zoubek ir Šimon (2020) pabrėžia, kad pilna logistikos srauto vizualizacija Pramonė 4.0 kontekste leidžia pasiekti nulines CO_2 emisijas vidutinio dydžio įmonėse.

Žiedinė ekonomika vidinėje logistikoje apima grįžtamąją logistiką. Bučkova ir kt. (2020) analizavo automobilių pramonę ir nustatė, kad grąžinimo procesų integracija sumažina atliekas 40 procentų, perdirbant pakavimo medžiagas ir optimizuojant pusgaminių srautus. Bubenik ir kt. (2021) siūlo žaliąsias IT sistemas, kurios prognozuoja gedimus ir mažina atliekas 20 procentų.

Tvarumo sprendimai vidinėje logistikoje ne tik atitinka ES žaliojo kurso tikslus (CO_2 neutralumas iki 2050m), bet dar ir didina konkurencingumą 15-30 procentų (Stock ir Seliger, 2016).

6. Vidinės logistikos tvarumo veiksniai

Efektyvus atsargų valdymas yra vienas iš svarbiausių tvarumo sprendimų vidinėje logistikoje, nes perteklinės atsargos didina energijos sąnaudas ir CO_2 emisijas. Pagal Pan ir kt. (2013), tiekimo grandinių sujungimas (pooling) leidžia sumažinti krovininio transporto šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas iki 20-30 procentų, optimizuojant atsargų lygį ir transporto maršrutus. Huang ir kt. (2020) analizavo atsargų valdymą tiekimo grandinėse, atsižvelgdami į žaliąsias investicijas ir skirtingas anglies emisijų mažinimo politikos priemones ir nustatė, kad tokie modeliai leidžia sumažinti emisijas iki 15 procentų, būtent derinant logistikos išlaidas su aplinkos rodikliais. Tokie metodai kai „tiksliai laiku“ (just in time) ne tik mažina atsargų apimtis, bet ir optimizuoja bendrą energijos vartojimą visoje vidinės logistikos sistemoje.

Žmogiškojo veiksnio svarba tvarumo iniciatyvose

Žmogiškasis veiksnys – darbuotojų mokymai ir motyvacija – lemiamas tvarumo iniciatyvų sėkmės veiksnys logistikoje. Klumpp ir Ruiner (2022) akcentuoja, kad dirbtinio intelekto bei robotų integracija reikalauja specifinių žinių iš personalo, o tinkami mokymai didina efektyvumą ir 35 procentais sumažina klaidas skaitmeninėse logistikos sistemose. Cimini ir kt. (2021) tyrimas rodo, kad žmogiškieji aspektai, tokie kaip ergonomika, mokymai, formuoja operatorių užduočių evoliuciją Logistika 4.0 kontekste, padidinat tvarumo iniciatyvų efektyvumą iki 40 procentų dėl geresnio technologijų pritaikymo. Be pakankamo kompetencijų ugdymo pažangios technologijos negali išnaudoti viso savo potencialo, todėl struktūruotos mokymo programos tampa būtinos užtikrinti tvarų jų pritaikymą.

Strateginis koordinavimas ir valdymas

Tvarumo pasiekimai vidinėje logistikoje priklauso nuo strateginio koordinavimo ir holistinio požiūrio. Charłampowicz ir kt. (2024) siūlo daugiakriterinį sprendimų priėmimo modelį aplinkos tvarumui integruoti į vidaus vandenų logistikos strategija, nustatydami, kad koordinuotos grupės pasiekia 2-3 kartus geresnius emisijų mažinimo rezultatus. Tetteh ir kt. (2024) tyrimas patvirtina, kad žaliosios logistikos praktikos – įskaitant žaliąjį transportą, sandėliavimą, pakavimą, dalijimąsi informacija ir tvarius atliekų tvarkymo metodus – ženkliai pagerina CO_2 mažinimo rezultatus. Šiame tyrime įvertinta tai, jog tiekimo grandinės dalyvių spaudimas veikia kaip moderatorius, gerinant taršos mažinimo rezultatus. Tai rodo, jog ne tik techniniai sprendimai, tokie kaip žaliosios transporto priemonės, bet ir organizacinių procesų pertvarka ir tvarumo kultūros suformavimas užtikrina ilgalaikę dekarbonizaciją.

Tvarumo KPI ir matavimo sistema

Tvarumo stebėsena vidinėje logistikoje reikalauja aiškių, pritaikytų KPI rodiklių. Isaksson ir kt. (2019) pateikė integruotą procesą logistikos tvarumo našumui valdyti tarp pirkėjų ir 3PL tiekėjų, įtraukiant pagrindinius rodiklius, tokius kaip energijos suvartojimas, atliekų kiekis, CO_2 emisijos, kurie leidžia realiu laiku optimizuoti veiklą. Pajić ir kt. (2023) taikė SWARA-QFD metodą KPI atrankai tiekimo ir paskirstymo logistikoje, išskirdami penkis esminius rodiklius: energijos sąnaudas, tenkančias produkcijos vienetui, atliekų generavimą, užsakymų ciklo trukmę, atsargų apyvartos koeficientą ir darbuotojų saugumo indeksą. Laiko duomenų analizė realiuoju laiku padeda greitai aptikti neatitikimus ir didinti procesų efektyvumą.

Tvarumo iniciatyvų diegimo kliūtys

Pagrindiniai iššūkiai tvarumo sprendimų taikyme yra susiję su finansiniais, techniniais ir organizaciniais aspektais. Govindan ir kt. (2014) analizavo žaliosios tiekimo grandinės valdymo kliūtis Indijoje ir nustatė, kad didžiausią iššūkį kelia pradinės investicijos (40 procentų atvejų), po to

seka technologinių kompetencijų trūkumas (30 procentų) ir organizacinio palaikymo stoka (25 procentai).

Mokslinės literatūros analizė atskleidžia tai, jog vidinė logistika tampa vis svarbesne gamybos įmonių veiklos sritimi, tiesiogiai lemiančia jų lankstumą, efektyvumą bei gebėjimą prisitaikyti prie kintančių rinkos sąlygų. Didėjantis produktų individualizavimas, gamybos sudėtingumas ir mažėjančios gamybos partijos reikalauja dinamiškų, gerai koordinuotų vidinės logistikos sprendimų. Vidinė logistika mokslinėje literatūroje apibrėžiama kaip organizacijos viduje vykstančių medžiagų, informacijos ir žmonių srautų valdymas, užtikrinantis efektyvų gamybos palaikymą bei strateginių tikslų įgyvendinimą. Vidinės logistikos procesai apima tiek fizinių prekių judėjimą (transportavimą, sandėliavimą, pakavimą), tiek ir logistinę informaciją, o jų valdymas priklauso nuo gamybos pobūdžio, įmonės struktūros ir technologinio pasirengimo.

Šiuolaikinėje aplinkoje vidinės logistikos tvarumas apima ne tik aplinkosauginius aspektus, bet ir ekonominius bei socialinius komponentus. Efektyvus atsargų valdymas gali sumažinti CO_2 emisijas iki 25 procentų, o žmogiškojo veiksnio ugdymas didina tvarumo iniciatyvų sėkmę iki 40 procentų. Strateginis koordinavimas ir partnerystės tiekimo grandinėje užtikrina sistemingą tvarumo principų įgyvendinimą. Sparčiai besivystančios technologijos, ypač susijusios su Pramonės 4.0 – automatizuotos transporto priemonės, robotizuoti procesai, virtualios realybės taikymas – lemia iš esmės naują požiūrį į logistikos optimizavimą. Įmonėms tenka spręsti sudėtingus technologinio diegimo, investicijų grąžos ir darbo saugos klausimus. Tradiciniai konkurenciniai veiksniai, tokie kaip kaina, kokybė ir laikas išlieka svarbūs, tačiau vis didesnį vaidmenį vaidina lankstumas ir gebėjimas prisitaikyti prie rinkos pokyčių.

Tvarumo aspektas šiuolaikinėje logistikoje tampa integralia veiklos dalimi, orientuota į išteklių taupymą, atliekų mažinimą ir procesų skaitmeninimą. Tai sudaro prielaidas ne tik efektyvumui didinti, bet ir aplinkosauginiams tikslams pasiekti. Vidinė logistika yra esminė gamybos efektyvumo didinimo ir konkurencingumo užtikrinimo sritis, kurios plėtra reikalauja nuolatinio technologijų diegimo, procesų optimizavimo ir prisitaikymo prie rinkos reikalavimų. Dėl šių priežasčių modernios vidinės logistikos sistemos turi būti ne tik lanksčios ir efektyvios, bet ir suderintos su ilgalaikiais tvarumo siekiais.

7. Įmonių tvarumo iniciatyvų įgyvendinimas vidinėje logistikoje: apklausos rezultatai ir analizė

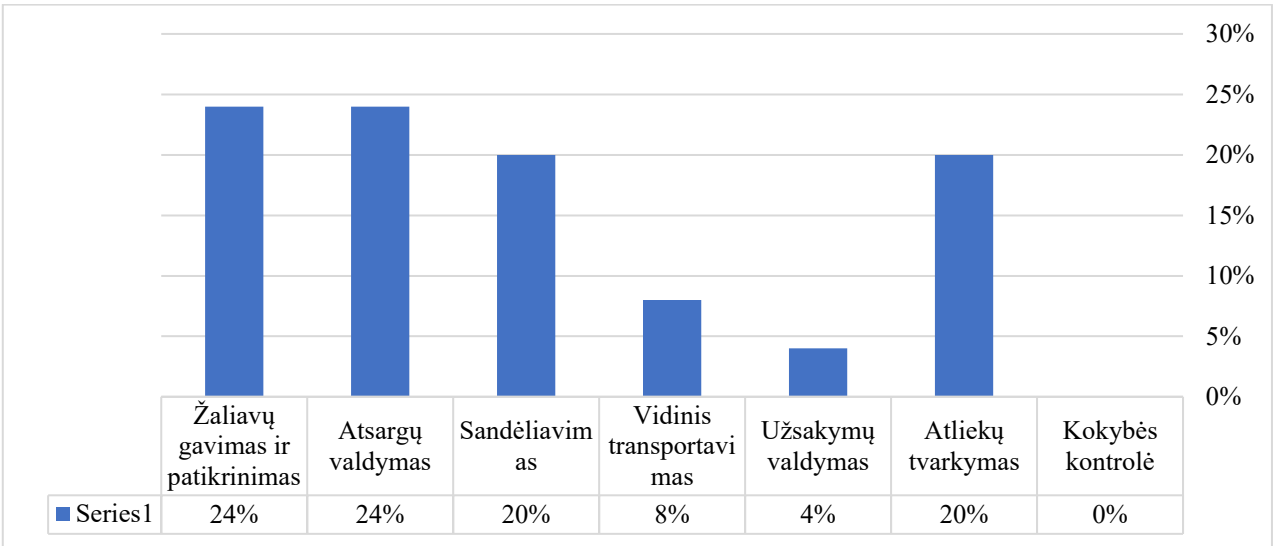
Siekiant pagilinti supratimą kaip tvarumo sprendimai yra realizuojami ir suvokiami vidinėje logistikoje, buvo atlikta ekspertų apklausa. Šio empirinio tyrimo tikslas – įvertinti tvarumo sprendimų poveikį vidinei logistikai, išskiriant esminius prioritetus, įgyvendintas technologijas ir iniciatyvas bei jų poveikį efektyvumui. Tikslui pasiekti suformuluoti keturi uždaviniai, kurių santrauka pateikiama 2 pav.

2 pav. Tyrimo uždaviniai
Šaltinis: sudaryta autorių

Šis tyrimas, atliktas 2024 m. Utenos apskrities didžiausiose gamybinėse įmonėse, atskleidė tvarumo sprendimų poveikį vidinės logistikos efektyvumui. Apklausta dešimt ekspertų, turinčių ne mažiau kaip dešimt metų vadovaujančio darbo patirtį ir atstovaujančių įvairiems įmonių vidinės logistikos procesams, nuo gamybos ir sandėliavimo iki logistikos ir pirkimų. Ekspertų atrankos kriterijai leido užtikrinti, kad respondentai gerai išmano įmonės vidinės logistikos specifiką, yra susidūrę su tvarumo iniciatyvų taikymu ir tiesiogiai dirba su įvairiais procesais, susijusiais su prekių srautų valdymu. Respondentai atsakė į dvylika uždarų ir tris atvirus klausimus, padedančius identifikuoti dabartines ir potencialias tvarumo iniciatyvas, įvertinti jų reikšmę veiklos efektyvumui ir atskleisti galimas kliūtis, galinčias kilti diegiant naujus sprendimus. Šioje apklausoje gauti atsakymai buvo apdoroti pasitelkiant aprašomąją statistiką, vizualiai pavaizduoti lentelėmis ir diagrama, kartu išskiriant svarbiausias įžvalgas iš atvirų klausimų. Tyrimas suteikė vertingų žinių apie sėkmingas tvarumo praktikas, jų poveikį įmonės veiklos rodikliams bei santykiams su klientais ir partneriais ir atskleidė sritis, kuriose dar galima tobulėti.

Gauti apklausos duomenys atskleidė, kad vidinės logistikos tobulinimas tvarumo kontekste didžiausią reikšmę teikia efektyviam atsargų ir žaliavų valdymui, atliekų tvarkymo gerinimui, taip pat sandėliavimo ir vidinių transportavimo procesų optimizavimui. Tyrimo dalyviai pabrėžė, jog minėtuose procesuose pastebima ryški galimybė sumažinti sąnaudas, sutrumpinti užsakymų vykdymo trukmę ir kartu mažinti neigiamą poveikį aplinkai. Didžioji apklaustųjų dalis sutiko, kad atsargų valdymas – svarbiausias prioritetas, nes per didelis žaliavų ar gatavų prekių kiekis sandėlyje tiesiogiai didina kaštus ir apsunkina tvarumo tikslų pasiekimą. Taip pat svarbu atliekų tvarkymas, nes efektyvi perdirbimo ar pakartotinio panaudojimo sistema padeda taupyti išteklius ir gerina įmonės įvaizdį. Trečiasis, tik nežymiai mažiau minimas prioritetas – sandėliavimo ir vidinio transportavimo modernizavimas bei automatizavimas, leidžiantis didinti procesų greitį, mažinti rankinių operacijų kiekį ir išvengti klaidų.

3 pav. pateikiamas ekspertų pateiktas pagrindinių vidinės logistikos prioritetų pasiskirstymas tvarumo kontekste. Kaip matyti trečiame paveiksle, atsargų ir žaliavų valdymas bei atliekų mažinimas laikomi pagrindiniais aspektais, užtikrinančiais ne tik sąnaudų optimizavimą, bet ir pozityvų poveikį aplinkai. Sandėliavimo ir transportavimo efektyvumo didinimas, nors kiek mažesnio svorio, vis tiek pripažįstamas būtinu toliau siekiant sisteminio veiklos tobulinimo.



3 pav. Pagrindinių vidinės logistikos prioritetų pasiskirstymas tvarumo kontekste, nurodyti ekspertų
Šaltinis: sudaryta autorių

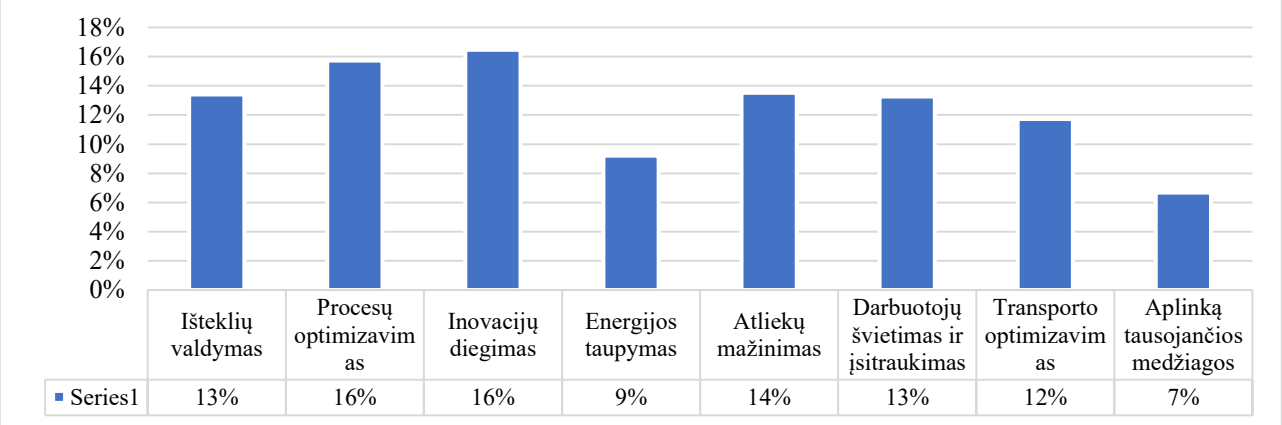
Šiuo tyrimo etapu išryškėjo, kad atsargų bei žaliavų valdymo efektyvumas labiausiai siejamas su procesų skaitmenizavimu, prognozavimo algoritmais ir darbuotojų kompetencijomis. Atliekų tvarkymo gerinimą apklaustieji įvardijo kaip vieną greičiausių būdų demonstruoti tvarumo siekius, tačiau tam būtini atitinkami technologiniai sprendimai (atliekų rūšiavimas, pakartotinio naudojimo sistemos) ir įdiegta motyvacinė sistema darbuotojams. Sandėliavimo ir transportavimo tobulinimas

papildo visą grandinę, suteikdamas galimybę pagreitinti užsakymų įvykdymą ir sumažinti energijos sąnaudas, o tai tampa svarbiu konkurenciniu pranašumu kintančioje rinkoje.

Apklausa atskleidė, kad didžiausią tvarumo reikšmę, anot respondentų, vidinėje logistikoje turi žaliavų gavimas ir patikrinimas (24 %) bei atsargų valdymas (24 %), o trečią vietą užima sandėliavimas (20 %). Atliekų tvarkymą taip pat minėjo 20 % apklaustųjų, tuo tarpu vidinio transportavimo (8 %) ir užsakymų valdymo (4 %) reikšmė šiek tiek mažesnė, bet išlieka aktuali efektyvumo siekiančioms įmonėms. Kokybės kontrolė šioje apklausoje nebuvo išskirta kaip prioritetinė . Žemiau pateiktame paveikslėlyje (4 pav.) matomas procentinis prioritetų išsidėstymas.

3 pav. atvaizduota prioritetų seka rodo didelį respondentų dėmesį žaliavų ir atsargų efektyviam naudojimui, kuris tiesiogiai susijęs su kaštų valdymu bei gamybos proceso užtikrintumu. Nors vidinis transportavimas ir užsakymų valdymas surinko mažesnį procentą, gauti duomenys rodo, kad įmonės vis aktyviau ieško būdų šiems procesams modernizuoti, ypač tobulindamos operacijų stebėseną ir skaitmeninį duomenų valdymą.

Apklausa atskleidė, kad dauguma ekspertų tvarumo iniciatyvas vertina teigiamai: beveik 90 % nurodė, jog pastaruosius metus diegiami sprendimai jau davė apčiuopiamą naudą ne tik sumažinant sąnaudas, bet ir efektyviau valdant vidinius procesus. 4 pav. pateiktos populiariausios priemonės apima energijos taupymą (pvz., LED apšvietimo diegimą, efektyvesnes šilumos panaudojimo sistemas), atliekų mažinimą (rūšiavimas, perdirbimo skatinimas) bei darbuotojų švietimą. Didelė dalis respondentų minėjo, kad šiuose srityse pasiektus rezultatus pastebėjo per 6–12 mėn. nuo iniciatyvų įgyvendinimo, kas leidžia motyvuoti ne tik vadovybę, bet ir kitus padalinius imtis dar platesnių iniciatyvų.



4 pav. Vidinės logistikos tvarumo prioritetai, nurodyti ekspertų

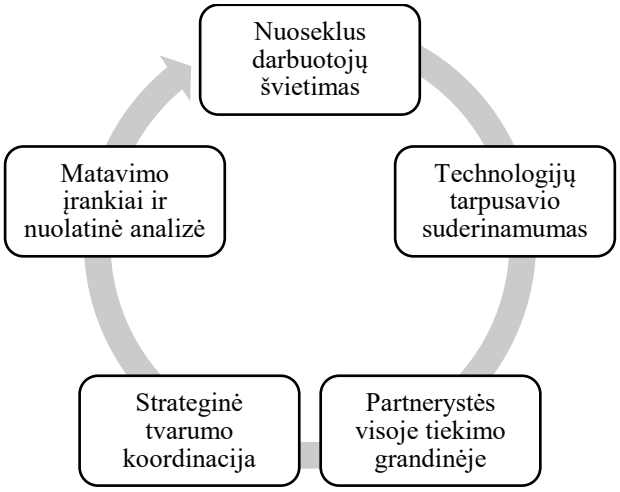
Šaltinis: sudaryta autorių

Nepaisant to, ekspertai pastebėjo ir specifinių kliūčių. Daugiausia sunkumų sukelia aukštos diegimo bei infrastruktūros priežiūros sąnaudos, reikalingos moderniems sprendimams (pvz., robotizacijai ar daiktų interneto sistemoms) palaikyti, taip pat kompetencijų stoka darbuotojų lygmeniu. Kai kurie respondentai pabrėžė, kad patys vadovai ne visada turi reikiamų žinių kompleksiškai įvertinti tvarumo iniciatyvų naudą, todėl organizacijoje gali trūkti palaikymo ilgalaikiams projektams, net jeigu juos siūlantieji turi aiškias projekto kaštų ir naudos prognozes. Nemaža dalis dalyvių išsakė nuomonę, jog būtina intensyviau bendradarbiauti su žaliavų tiekėjais, skatinant juos prisidėti prie bendrų, visoje tiekimo grandinėje veikiančių, tvarumo sprendimų. Tai ypač aktualu mažesnėms įmonėms, siekiančioms naudoti ekologiškas arba perdirbtas žaliavas.

Apžvelgus ekspertų atsakymus, akivaizdu, kad sprendimų poveikis vidinei logistikai bei bendriems įmonės tikslams priklauso nuo to, kaip efektyviai pavyksta spręsti kompetencijų didinimo, finansavimo ir organizacinio palaikymo klausimus. Net ir nedidelės investicijos gali turėti reikšmingą teigiamą poveikį, jeigu jas lydi reguliarūs mokymai, vidinis komunikavimas apie laukiamus rezultatus bei aiškus vadovybės įsipareigojimas ilgalaikei tvarumo strategijai.

8. Praktinės įžvalgos ir taikomosios rekomendacijos

Apibendrinus apklausos rezultatus, ryškėja keli esminiai tvarumo sprendimų sėkmės veiksniai. Svarbiausia matyti juos kaip vientisą sistemą, todėl penktojoje dalyje siūlome ne tik konkrečius žingsnius, bet ir pateikiame vizualizaciją (5 pav.), kurioje pavaizduotas rekomenduojamas tvarumo sprendimų modelis vidinėje logistikoje. Šias penkias sritis galima vaizdžiai parodyti glaustame modelyje, kur kiekviena dedamoji tvarumo sprendimų modelio vidinėje logistikoje tampa vientisos tvarumo sistemos dalimi.



5 pav. Rekomenduojamas tvarumo sprendimų modelis vidinėje logistikoje
Šaltinis: sudaryta autorių

Modelyje pateikiama ciklinė tvarumo iniciatyvų įgyvendinimo sistema vidinėje logistikoje, apimanti penkias pagrindines dimensijas, užtikrinančias ilgalaikį veiklos efektyvumą ir darnų vystymąsi.

Pirmasis ciklo žingsnis yra nuoseklus darbuotojų švietimas, kuris laikomas svarbiu` elementu, užtikrinančiu, kad organizacijos nariai suprastų tvarumo principų reikšmę ir jų tiesioginį poveikį kasdienėms operacijoms. Efektyviausi švietimo metodai – praktiniai mokymai, pritaikyti prie specifinių gamybos, sandėliavimo ir transportavimo iššūkių. Tai leidžia darbuotojams tiesiogiai įgyvendinti tvarumo strategijas savo atsakomybės ribose.

Antrasis žingsnis – technologijų tarpusavio suderinamumas, kuris užtikrina, kad naujos inovacijos derės su jau veikiančiomis sistemomis. Tai itin svarbu sandėliavimo, transporto valdymo ir duomenų analizės kontekste, kur technologijų fragmentacija gali lemti procesų trikdžius. Šiuolaikinės logistikos skaitmenizacijos kontekste būtina iš anksto vertinti technologijų integracijos galimybes, ypač robotikos, dirbtinio intelekto (AI) ir daiktų interneto (IoT) sprendimų srityje.

Trečiasis tvarumo modelio žingsnis – partnerystės visoje tiekimo grandinėje. Tvarumo sprendimų efektyvumas didėja, kai bendradarbiaujama su tiekėjais, tarpininkais ir klientais, siekiant sukurti „žaliąją“ tiekimo grandinę. Tokia strategija leidžia ne tik mažinti riziką ir optimizuoti tarpusavio išteklius, bet ir skatinti rinkos dalyvius imtis atsakingesnių veiksmų aplinkosaugos srityje.

Ketvirtoji dedamoji – strateginė tvarumo koordinacija, apimanti vidinės tvarumo valdymo grupės steigimą įmonėje. Toks struktūrinis vienetas galėtų būti atsakingas už ilgalaikių strateginių iniciatyvų įgyvendinimą, įmonės darbuotojų įsitraukimą, tvarumo tikslų komunikaciją bei sėkmės rodiklių stebėseną. Tai leidžia užtikrinti, kad tvarumo iniciatyvos nebūtų fragmentiškos, o jų įgyvendinimas taptų sistemingas ir nuoseklus.

Penktoji ciklo dalis – matavimo įrankiai ir nuolatinė analizė, kurie užtikrina, kad priimti sprendimai būtų grįsti objektyviais duomenimis. Energijos sąnaudų mažinimas, atliekų srautų optimizavimas ar efektyvesnis sandėlių valdymas – visa tai turi būti vertinama naudojant skaitmeninius stebėsenos įrankius. Duomenimis grįstas požiūris padeda prognozuoti investicijų grąžą ir priimti pagrįstus sprendimus dėl tolesnių tvarumo veiksmų.

Šių penkių dimensijų sąveika modelyje sukuria ciklinį procesą, kuriame kiekvienas veiksnys palaiko ir stiprina kitą. Nuoseklus darbuotojų švietimas skatina atsakingesnį technologijų diegimą, jų suderinamumas palengvina bendradarbiavimą tiekimo grandinėje, o strateginis valdymas leidžia sistemingai integruoti tvarumo iniciatyvas. Tuo tarpu nuolatinė stebėsena suteikia organizacijai galimybę adaptuoti sprendimus, remiantis realiais duomenimis ir rezultatais. Toks ciklinis požiūris užtikrina ne tik trumpalaikį veiklos efektyvumą, bet ir ilgalaikę organizacinę tvarumo kultūrą, kuri tampa įmonės konkurencinio pranašumo dalimi.

Apibendrinant, tvarumo iniciatyvų vidinės logistikos procesuose sėkmė pirmiausia priklauso nuo holistinio požiūrio – nuo darbuotojų švietimo iki tarpusavio suderinamų technologijų diegimo. Ekspertų apklausos rezultatai skatina įmones aktyviai dalintis patirtimi, bendradarbiauti su skirtingais tiekimo grandinės partneriais, vertinti projektų naudą ne tik ekonominiu, bet ir socialiniu bei aplinkosauginiu požiūriu. Tokiu būdu ilgalaikė tvarumo strategija tampa pamatine įmonės konkurencingumo ir augimo varomąja jėga.

Išvados

1. Atlikta teorinė analizė parodė, kad vidinė logistika yra strategiškai svarbi gamybos įmonių veiklos sritis, tiesiogiai lemianti jų efektyvumą lankstumą ir konkurencingumą. Ji apima medžiagų, informacijos ir išteklių srautų planavimą, valdymą ir kontrolę organizacijos viduje. Didėjantis gamybos sudėtingumas, produktų individualizavimas ir mažėjantys partijų dydžiai didina poreikį lanksčioms vidinės logistikos sistemoms. Pramonės 4.0 technologijos, tokios kaip automatizuotos transporto priemonės, robotizacija ir skaitmenizavimas sudaro prielaidas procesų optimizavimu ir sąnaudų mažinimui. Tvarumo požiūriu, vidinė logistika apima aplinkosauginius, ekonominius ir socialinius aspektus, o efektyvus atsargų valdymas, automatizavimas ir darbuotojų kompetencijų ugdymas prisideda prie ilgalaikio įmonių konkurencingumo. Ši teorinė analizė įgyvendino pirmąjį tyrimo uždavinį ir suformavo aiškius vertinimo kriterijus empirinei apklausai (prioritetai, įgyvendintos iniciatyvos, poveikis efektyvumui, diegimo kliūtys).
2. Empirinės ekspertų apklausos rezultatai atskleidžia kad dominuojančiais vidinės logistikos prioritetais laikomi žaliavų gavimas ir patikrinimas bei atsargų valdymas; toliau rikiuojasi sandėliavimas ir atliekų tvarkymas, o vidinis transportavimas ir užsakymų valdymas vertinami kaip mažesnės svarbos sritys. Didžiausią poveikį efektyvumui turėjo procesų optimizavimas, po jo – inovacijų diegimas ir energijos vartojimo mažinimas; išteklių valdymas ir atliekų mažinimas priskiriami reikšmingiems, nors nuosaikesnio poveikio veiksniams. Dažniausiai diegtos iniciatyvos apima darbuotojų švietimą, energijos taupymą ir atliekų mažinimą, taip pat aplinkai palankių medžiagų taikymą ir CO_2 pėdsaką mažinančius sprendimus, pavyzdžiui, daugkartinės taros naudojimą. Pastebėtas poveikis pasireiškė mažesnėmis veiklos sąnaudomis, sklandesniu procesų organizavimu, stiprėjančia reputacija ir didesniu darbuotojų įsitraukimu. Pagrindinės kliūtys sietinos su didelėmis pradinėmis investicijomis, infrastruktūros priežiūros našta ir technologinių kompetencijų stoka.
3. Remiantis gautais rezultatais, ciklinė tvarumo iniciatyvų įgyvendinimo sistema vidinėje logistikoje atskleidžia, jog ilgalaikio organizacijos veiklos efektyvumo ir darnaus vystymosi pagrindas yra penkių esminių dimensijų — darbuotojų švietimo, technologijų tarpusavio suderinamumo, partnerystės tiekimo grandinėje, strateginės tvarumo koordinacijos ir duomenimis grįstos analizės — sąveika. Kiekviena iš šių dimensijų modelyje atlieka neatsiejamą vaidmenį, o jų ciklinis ryšys užtikrina nuolatinį tvarumo iniciatyvų tęstinumą, adaptaciją bei praktinę integraciją į organizacijos vidinius procesus. Toks sisteminis, duomenimis pagrįstas ir ilgalaikę vertę kuriantis požiūris leidžia organizacijai ne tik didinti veiklos efektyvumą, bet ir formuoti konkurencinį pranašumą, grįstą tvarumo kultūros puoselėjimu. Parengtos taikomosios rekomendacijos: stiprinti darbuotojų kompetencijas, užtikrinti technologinę integraciją (AGV/robotika/IoT), plėtoti „žaliąsias“ partnerystes su tiekėjais, įtvirtinti vidinę koordinavimo struktūrą ir sistemingai matuoti KPI (energijos sąnaudos, atliekų kiekis, užsakymų ciklo trukmė), kas leidžia tiesiogiai spręsti nustatytas kliūtis ir užtikrinti rezultatų tvarumą.

Literatūros sąrašas

1. Amr, M., Ezzat, M., & Kassem, S. (2019). Logistics 4.0: Definition and historical background. In *2019 Novel Intelligent and Leading Emerging Sciences Conference (NILES)* (pp. 46–49). IEEE. https://doi.org/10.1109/NILES.2019.8909366
2. Andreasson, H., Bouguerra, A., Cirillo, M., Dimitrov, D. N., Driankov, D., Karlsson, L., Lilienthal, A. J., Pecora, F., Saarinen, J. P., Sherikov, A., & Stoyanov, T. (2015). Autonomous transport vehicles: Where we are and what is missing. *IEEE Robotics & Automation Magazine, 22*(1), 64–75. https://doi.org/10.1109/MRA.2014.2379951
3. Baptista, F., & Pinto, G. (2019). Intralogistics and Industry 4.0: Designing a novel shuttle with picking system. *Procedia Manufacturing, 38*, 1801–1832. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.170
4. Bernardo, R., Sousa, J. M., & Gonçalves, P. J. (2022). Survey on robotic systems for internal logistics. *Journal of Manufacturing Systems, 65*, 339–350. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.09.006
5. Bubeník, P., Rakyta, M., & Biňasová, V. (2021). Application of the principles of green information technologies in the company. *Technológ,* 13(3), 53–57.
6. Bučková, M., Gašo, M., & Pekarčíková, M. (2020). Reverse logistics. In *InvEnt 2020: Industrial engineering—invention for enterprise* (pp. 36–39). Wydawnictwo Akademii Techniczno-Humanistycznej.
7. Charłampowicz, J., Mańkowski, C., & Saikouk, T. (2024). Strategic integration of environmental sustainability in inland logistics: A multi-criteria decision-making approach. *Business Strategy and the Environment, 33*(2), 1–15. https://doi.org/10.1002/bse.3542
8. Christopher, M. (2016). *Logistics and supply chain management* (5th ed.). Pearson.
9. Cimini, C., Lagorio, A., Pirola, F., & Pinto, R. (2021). How human factors affect operators' task evolution in Logistics 4.0. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries, 31*(1), 98–114. https://doi.org/10.1002/hfm.20869
10. de Lima, O. P., Santiago, S. B., Taboada, C. M. R., Rodríguez, J. L. M., Rodríguez, M. B. R., & Maduro, M. R. (2020). Conceptualization, definition, and assessment of internal logistics through different approaches using artificial intelligence. In *Operations management: Emerging trends in the digital era*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.90234
11. De Ryck, M., Versteyhe, M., & Debrouwere, F. (2020). Automated guided vehicle systems: State-of-the-art control algorithms and techniques. *Journal of Manufacturing Systems, 54*, 152–173. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.01.003
12. Fabri, M., Ramalhinho, H., Oliver, M., & Muñoz, J. C. (2020). Internal logistics flow simulation: A case study in the automotive industry. *Journal of Simulation, 14*(4), 265–277. https://doi.org/10.1080/17477778.2020.1745203
13. Filipová, I., Dulina, Ľ., Bigošová, E., & Plinta, D. (2021). Modern possibilities of patient transport aids. *Transportation Research Procedia, 55*, 510–517. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.07.045
14. Furmannová, B., Gabajová, G., & Matys, M. (2021). Training centers in industry. *Technológ, 13*(4), 15–19.
15. Ghiani, G., Laporte, G., & Musmanno, R. (2013). *Introduction to logistics systems management* (2nd ed.). Wiley.
16. Govindan, K., Kaliyan, M., Kannan, D., & Haq, A. N. (2014). Barriers analysis for green supply chain management implementation in Indian industries using analytic hierarchy process. *International Journal of Production Economics, 147*(Part B), 555–568. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.08.018
17. Günthner, W., & Ten Hompel, M. (Eds.). (2010). *Internet der Dinge in der Intralogistik*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-8348-8503-6
18. Huang, Y.-S., Fang, C.-C., & Lin, Y.-A. (2020). Inventory management in supply chains with consideration of logistics, green investment and different carbon emissions policies. *Computers & Industrial Engineering, 139*, Article 106118. https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106118
19. Isaksson, M. P., Hulthén, H., & Forslund, H. (2019). Environmentally sustainable logistics performance management process integration between buyers and 3PLs. *Sustainability, 11*(11), Article 3061. https://doi.org/10.3390/su11113061

20. Jaekel, F. (2019). *Fundamentals of logistics systems*. Springer.
21. Kain, R., & Verma, A. (2018). Logistics management in supply chain: An overview. *Materials Today: Proceedings, 5*(Part 2), 3811–3816. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.076
22. Klumpp, M., & Ruiner, C. (2022). Artificial intelligence, robotics and logistics employment: The human factor in digital logistics. *Journal of Business Logistics, 43*(3), 368–372. https://doi.org/10.1111/jbl.12307
23. Knoll, D., Waldmann, J., & Reinhart, G. (2019). Developing an internal logistics ontology for process mining. *Procedia CIRP, 79*, 427–432. https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.073
24. Martin, H. (2012). *Transport- und Lagerlogistik: Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik* (2nd ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-24815-2
25. Pajić, V., Andrejić, M., & Kilibarda, M. (2023). Evaluation and selection of KPI in procurement and distribution logistics using SWARA-QFD approach. *International Journal for Traffic and Transport Engineering, 13*(1), 1–15. https://doi.org/10.7708/ijtte2021.11(2)
26. Pan, S., Ballot, E., & Fontane, F. (2013). The reduction of greenhouse gas emissions from freight transport by pooling supply chains. *International Journal of Production Economics, 143*(1), 86–95. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.10.023
27. Pascu, I. G., Neacsu, G. C., Nitu, E. L., & Gavriluta, A. C. (2021). A brief review of the methods and techniques used in the innovative internal logistics processes and systems. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1018*(1), Article 012023. https://doi.org/10.1088/1757-899X/1018/1/012023
28. Pekarčíková, M., Trebuňa, P., Kliment, M., Edl, M., & Rosocha, L. (2021). Transformation of logistics to digital logistics: Theoretical approach. *Acta Logistica, 7*(4), 93–102. https://doi.org/10.22306/al.v7i4.174
29. Rocha, L. F., Moreira, A. P., & Azevedo, A. (2010). Flexible internal logistics based on AGV systems: A case study. *IFAC Proceedings Volumes, 43*(17), 248–255. https://doi.org/10.3182/20100915-3-US-2017.00044-5
30. Sharma, N., & Cupek, R. (2023). Real-time control and optimization of internal logistics systems with collaborative robots. *Procedia Computer Science, 225*, 248–258. https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.10.032
31. Steclik, T., Cupek, R., & Drewniak, M. (2022). Automatic grouping of production data in Industry 4.0: The use case of internal logistics systems based on automated guided vehicles. *Journal of Computational Science, 62*, Article 101693. https://doi.org/10.1016/j.jocs.2022.101693
32. Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of sustainable manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP, 40*, 536–541. https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.129
33. Štaffenová, K. (2021). *Zlepšenie dispozičného riešenia výrobnej haly* [Diploma thesis, University of Žilina].
34. Štaffenová, K., Rakyta, M., & Biňasová, V. (2023). The use of automated guided vehicles in the internal logistics of the production company. *Transportation Research Procedia, 74*, 458–464. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.039
35. Tetteh, F. K., Owusu, K. B., & Antwi, E. (2024). Enhancing carbon neutral supply chain performance: Can green logistics and pressure from supply chain stakeholders make any differences? *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal, 15*(2), 521–548. https://doi.org/10.1108/SAMPJ-10-2022-0507
36. Winkelhaus, S., & Grosse, E. H. (2020). Logistics 4.0: A systematic review towards a new logistics paradigm. *International Journal of Production Research, 58*(1), 18–43. https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1707970
37. Zoubek, M., & Šimon, M. (2020). Methodology for evaluating the readiness of internal logistics processes for Industry 4.0. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 947*, Article 012005. https://doi.org/10.1088/1757-899X/947/1/012005

SUSTAINABLE SOLUTIONS FOR INTERNAL LOGISTICS

Akvilė Čibinskienė, Jūratė Aksomitienė, Žilvinas Zaviša
Utenos kolegija Higher Education Institution,
Maironio str. 7, Utena, Lithuania

Summary

This article examines how sustainability initiatives are implemented in internal logistics and how they influence operational performance. The study combines a focused literature review with an expert survey conducted in major manufacturing firms in 2024. Ten senior practitioners responded to a structured instrument comprising closed and open questions. The findings show that the most salient priorities in sustainable internal logistics are raw-material receiving and inspection and inventory management, followed by warehousing and waste handling, whereas internal transport and order management are less central. Initiatives perceived to deliver the strongest performance gains include process optimisation, innovation adoption and energy saving, with resource stewardship and waste reduction also contributing. The most frequently implemented measures are employee education, energy-saving interventions, waste-reduction schemes, the use of environmentally preferable materials and reusable packaging to curb carbon emissions. Reported effects include lower operating costs, smoother process organisation, stronger corporate reputation and higher employee engagement, while the principal barriers relate to up-front investment, infrastructure upkeep and skills gaps. Building on these results, the paper proposes a cyclical implementation model linking continuous employee education, interoperable technologies, supply-chain partnerships, strategic coordination and KPI-based monitoring. The study clarifies where to concentrate effort in internal logistics to secure durable environmental and economic gains.

Keywords: internal logistics, sustainable solutions, process optimization, waste reduction, supply chain sustainability.