

NUO KELIŲ ANT BĖGIŲ: GELEŽINKELIO IR KELIŲ TRANSPORTO SĄVEIKA INTERMODALINIUOSE TERMINALUOSE

Miglė DAUNORAVIČIŪTĖ, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Bioekonomikos plėtros fakultetas,
el. paštas: migle.daunoraviciute@vdu.lt

Audrius GARGASAS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Bioekonomikos plėtros fakultetas,
el. paštas: audrius.gargasas@vdu.lt

Santrauka

Straipsnyje nagrinėjamos intermodalinio transporto sampratos, kelių ir geležinkelių transporto sąveikos intermodaliniuose terminaluose vaidmuo ir reikšmė, siekiant atskleisti pagrindinius geležinkelio ir kelių transporto sąveikos iššūkius bei galimybes, optimizuojant krovinių judėjimą. Tyrimo tikslas – atskleisti pagrindinius geležinkelio ir kelių transporto sąveikos intermodaliniuose terminaluose iššūkius ir galimybes bei pagrįsti teorines terminalo veiklos tobulinimo kryptis. Tyrimo metodas – mokslinės literatūros analizė. Teoriniai šaltiniai pabrėžia, kad terminalo efektyvumas silpnėja, kai kelių transporto atvykimo srautai, geležinkelio transporto grafikai ir terminalo ištekliai valdomi atskirai. Tinkamai valdomi intermodaliniai terminalai sklandžiai integruoja kelių ir geležinkelio transportą, optimizuoja krovinių srautus ir prisideda prie CO₂ emisijų mažinimo, tačiau ribota infrastruktūra ir grafiko nepastovumas mažina terminalų efektyvumą. Tyrimo rezultatai padeda geriau suprasti, kokie veiksniai lemia intermodalinio terminalo veiksmingumą ir kokios kryptys galėtų prisidėti prie efektyvesnio bei tvaresnio jo veiklos organizavimo.

Reikšminiai žodžiai: intermodalinis terminalas, geležinkelio transportas, kelių transportas, transporto rūšių sąveika, krovos procesas, žaliąji logistika.

Ivadas

Didėjanti krovinių vežimo paklausa Europoje ir išliekantis kelių transporto dominavimas vis aiškiau išryškina poreikį ieškoti tokių logistikos organizavimo sprendimų, kurie leistų mažinti transporto sistemos sąnaudas, tačiau kartu išsaugotų tiekimo grandinių patikimumą. Europos aplinkos agentūra (2024) pažymi, kad krovinių vežimo aktyvumas Europoje toliau auga, o kelių transportas išlieka dominuojančia rūšimi, tuo pat metu būdamas ir didžiausiu transporto sektoriaus šiltnamio efektą sukeliančių dujų šaltiniu. Tokia situacija stiprina poreikį ieškoti sprendimų, leidžiančių dalį srautų perkelti į mažesnę poveikį aplinkai darančias transporto rūšis, ypač geležinkelį. Intermodalinis transportas vis dažniau traktuojamas kaip svarbi alternatyva kelių transportui. Europos Audito Rūmai (2023) intermodalinį krovinių transportą apibrėžia kaip prekių vežimą viename pakrovimo vienetu, naudojant kelių transporto kombinaciją, kai ilgiausia kelionės dalis vykdoma geležinkeliu, vandens keliais ar jūra, o kelių transportas paprastai naudojamas trumpiems atstumams ir ten, kur nėra infrastruktūros kitokioms transporto rūšims, todėl ypač svarbu efektyviai suderinti skirtingas transporto rūšis. Ypatinga reikšmė šiame procese tenka intermodaliniams terminalams. Naujausioje literatūroje jie vis dažniau suvokiami ne tik kaip fizinės krovinių perkrovimo vietos, bet ir kaip skirtingų krovos vienetų judėjimo koordinavimo centrai, kuriuose susiejami kelių transporto srautai, geležinkelio grafikai, terminalo infrastruktūra, bei valdymas. J. Monios ir R. Bergqvist (2025) pabrėžia, kad šiuolaikinių terminalų konkurencingumas priklauso ne vien nuo perkrovimo pajėgumų, bet ir nuo gebėjimo subalansuoti srautus bei palaikyti ekonomiškai nuoseklius geležinkelio maršrutus. M. Gleser ir R. Elbert (2024) išskiria technologinės pažangos svarbą ir teigia, kad intermodalinis terminalas šiandien turi būti vertinamas kaip strateginis logistikos mazgas, kuriame susijungia fizinis perkrovimas, operatyvinis koordinavimas ir skaitmeninis valdymas. Kelių ir geležinkelių transporto sąveikos reikšmė ypač atsiskleidžia terminale, nes būtent čia susiduria du skirtingi veikimo principai: kelių transporto lankstumas ir geležinkelio transporto ekonomiškumas. A. Karam ir kt. (2023) pažymi, kad pagrindiniai intermodalinių grandinių barjerai dažniausiai kyla ne atskiruose vežimo etapuose, o jų sandūroje, kur išryškėja infrastruktūros nepakankamumas, informacijos perdavimo nesuderinamumas, rinkos neapibrėžtumas ir koordinavimo stoka. W. Liu ir kt. (2024) rodo, kad mišrioje geležinkelio ir kelių transporto sąveikos operacijose vienas didžiausių iššūkių yra suderinti geležinkelio laiko langus su neapibrėžtu vilkikų atvykimu, nes priešingu atveju didėja tarpusavio trikdžiai, laukimo laikas ir mažėja terminalo pralaidumas. Tai pagrindžia nuostatą, kad terminalo veiklos kokybę lemia ne vien techninio perkrovimo atlikimas, tačiau ir pasirengimo, koordinavimo ir informacijos perdavimo kokybė viso proceso metu.

Tyrimo tikslas – remiantis naujausia mokslinė literatūra atskleisti pagrindinius geležinkelio – kelių transporto sąveikos intermodaliniuose terminaluose iššūkius ir galimybes, bei pagrįsti teorines terminalų veiklos organizavimo tobulinimo kryptis.

Iškeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Apibrėžti intermodalinio transporto ir terminalo vaidmenį šiuolaikinėje logistikos grandinėje.
2. Išanalizuoti kelių ir geležinkelių transporto sąveikos iššūkius bei galimybes intermodalinio terminalo veikloje, ir išskirti teorines veiklos organizavimo tobulinimo kryptis.

Tyrimų objektas ir metodai

Tyrimų objektas – intermodalinio terminalo veiklos organizavimas ir jį lemiantys geležinkelių ir kelių transporto sąveikos veiksniai.

Tyrimo metodai: mokslinės literatūros analizė. Mokslinė literatūra buvo imta iš šių svetainių: „MDPI - Publisher of Open Access Journals“, „Science Direct“, „Google Scholar“. Literatūra atrinkta pagal tris kriterijus: teminį atitikimą, naujumą ir tinkamumą kelių bei geležinkelių sąveikai intermodalinio terminalo kontekste analizuoti, duomenų prieinamumą. Naudoti naujausi tyrimai – šaltiniai publikuoti per pastaruosius penkerius metus.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Intermodalinio terminalo veiksmingumas literaturoje apibrėžiamas kaip kompleksinis reiškinys, kurį lemia infrastruktūros pajėgumų, transporto rūšių suderinamumo, procesų planavimo ir duomenų valdymo sąveika. J. Monios ir R. Bergqvist (2025) pabrėžia, kad terminalų veiklos rezultatyvumas tiesiogiai siejasi su logistine integracija, nes ji sudaro prielaidas subalansuoti geležinkelio maršrutų srautus ir palaikyti jų ekonominę gyvybingumą.

Intermodalinio transportavimas ir intermodalinių terminalų samprata

Intermodalinis transportavimas literatūroje aiškinamas kaip specifinė krovinių vežimo forma, kai visos kelionės metu keičiantis transporto rūšiai nėra perkraunamas pats kroviny. A. Karam ir kt. (2023) pabrėžia, kad intermodalumas reiškia tą pačią logistinę grandinę, kurioje nuo siuntėjo iki gavėjo išlaikomas tas pats pakrovimo vienetas.

1 lentelėje pateiktos sąvokų apibrėžtys rodo, kad intermodalumo esmę sudaro ne tik skirtingų transporto rūšių kombinacija, bet ir pastovus pakrovimo vieneto išlaikymas. Būtent dėl šios savybės mažėja papildomo perkrovimo metu galimų krovinio pažeidimo rizikų tikimybė.

1 lentelė. Intermodalinio transporto sąvokos

Table 1. Definitions of intermodal transport

Sąvoka / Concept	Autorius / Author
Intermodalinis krovinių transportas apibrėžiamas kaip prekių vežimas naudojant daugiau nei vieną transporto rūšį, nekeičiant pakrovimo vieneto visos transportavimo grandinės metu. <i>Intermodal freight transport is defined as the transportation of goods using more than one mode of transport without changing the loading unit throughout the transport chain.</i>	Kine et al. (2022)
Multimodalus vežimas apima bent dvi transporto rūšis, o intermodalinis transportas reiškia tokį multimodalumo atvejį, kai išlaikomas tas pats pakrovimo vienetas. <i>Multimodal transport involves at least two modes of transport, while intermodal transport refers to a form of multimodal transport in which the same loading unit is maintained throughout the journey.</i>	Karam et al. (2023)
Intermodalinis transportas apibrėžiamas kaip specifinis multimodalaus transporto tipas, kuriame tas pats pakrovimo vienetas išsaugomas visos kelionės metu. <i>Intermodal transport is defined as a specific type of multimodal transport in which the same loading unit is preserved throughout the entire journey.</i>	Goodarzi et al. (2024)
Intermodalinis transportas optimizuoja skirtingų transporto rūšių santykinius pranašumus ir mažina atskiro krovinio apdorojimo poreikį keičiantis vežimo būdui. <i>Intermodal transport optimizes the relative advantages of different transport modes and reduces the need for handling individual cargo when changing the mode of transport.</i>	European Court of Auditors (2023)
Efektyvus intermodalinio transporto prielaida yra tinkamai suplanuotas terminalas, leidžiantis sklandžiai perkelti ir saugoti intermodalinius transporto vienetus tarp transporto rūšių. <i>An essential prerequisite for efficient intermodal transport is a properly planned terminal that enables the smooth transfer and storage of intermodal transport units between transport modes.</i>	Krstic et al. (2023)

Šaltinis: sudaryta autorės, remiantis Kine et al. (2022), Karam et al. (2023), European Court of Auditors (2023), Krstic et al. (2023) ir Goodarzi et al. (2024).

Source: compiled by the author based on Kine et al. (2022), Karam et al. (2023), European Court of Auditors (2023), Krstic et al. (2023), and Goodarzi et al. (2024).



Šaltinis: sudaryta autorės, remiantis European Court of Auditors (2023) logistinės grandinės logika.

Source: compiled by the author based on the logistics chain logic of the European Court of Auditors (2023).

1 pav. Intermodalinio krovinių gabenimo proceso loginė schema

Fig. 1. Logical flow chart of the intermodal freight transport process

1 paveiksle pavaizduota, kad intermodalinio krovinių gabenimo logistinė grandinė yra nuosekli kelių ir geležinkelių transporto funkcijų seka. Kelių transportas aptarnauja pirmąją ir paskutinę visos logistikos grandinės dalį, o pagrindinis ilgojo nuotolio vežimas perduodamas geležinkeliui. Toks modelis leidžia derinti skirtingų transporto rūšių

pranašumus, tačiau kartu sukuria didelį priklausomumą nuo terminale vykstančio perdavimo kokybės. Jei perdavimo, saugojimo ar planavimo etapai terminale neveikia sklandžiai, visas intermodalumo pranašumas iš esmės sumažėja.

Kelių ir geležinkelių transporto sąveikos svarba intermodaliniame terminale

Kelių transporto ir geležinkelio sąveika intermodaliniame terminale yra neatsiejama nuo skirtingų šių transporto rūšių veikimo. Europos Audito Rūmai (2023) kelių transportą apibūdina kaip lankščiausią krovinių vežimo būdą, nes jis leidžia užtikrinti „nuo durų iki durų“ teikiamą paslaugą ir paprastai yra greičiausias būdas trumpuose ir daugelyje vidutinių maršrutų. Tačiau būtent ši lankstumo savybė kartu reiškia didesnę kelių infrastruktūros apkrovimą, didesnę priklausomumą nuo spūsčių, kuro sąnaudų ir aukštesnę emisijų lygį. Europos aplinkos agentūros (2024) duomenys rodo, kad kelių transportas ir toliau yra dominuojanti krovinių gabenimo rūšis Europos Sąjungoje, o tai reiškia, kad be efektyvaus intermodalumo neįmanoma pasiekti mažesnio emisijų lygio ilguose krovinių gabenimo maršrutuose. Geležinkelis šioje sistemoje vertinamas kaip didesnio pajėgumo, energiška ir efektyvesnė ir saugesnė alternatyva ilgesniuose maršrutuose. F. J. Lopez-Acevedo ir kt. (2024) teigia, kad perėjimas nuo vien tik kelių transporto prie kelių – geležinkelio derinio gali mažinti anglies dioksido emisijas.

Vis dėlto intermodalumo vertė atsiskleidžia tik tada, kai abi rūšys sąveikauja tarpusavyje. A. Karam ir kt. (2023) nurodo, kad pagrindiniai intermodalinių grandinių barjerai dažniausiai kyla ne iš vieno atskiro vežimo etapo, o iš ryšių tarp etapų: nepakankamo infrastruktūrinio suderinamumo, fragmentuotos ir sudėtingos informacijos perdavimo, rinkos neapibrėžtumo ir bendros procesų koordinavimo stokos. Tai reiškia, kad intermodalinės grandinės efektyvumą lemia ne vien atskiros transporto rūšies našumas, bet ir tai, kaip nuosekliai sujungiami terminalo procesai visos logistikos grandinės mastu. M. Gleser ir R. Elbert (2024), plėtodami šį požiūrį kombinuoto kelių ir geležinkelių transporto kontekste, parodo, kad sistemos konkurencingumas priklauso nuo kelių tarpusavyje susijusių sąlygų: skaitmeninių platformų diegimo bei bendros technologinės pažangos kelių ir geležinkelių transporte. Intermodaliniame terminale kelių ir geležinkelių sąveika turi būti suprantama kaip dviejų papildančių funkcijų integracija. Kelių transportas sukuria paslaugos prieinamumą ir operacinį lankstumą, o geležinkelis – ilgojo nuotolio efektyvumą, ir palankesnę aplinkosauginę efektą.

Taigi, terminalas tampa vieta, kur turi būti suderinti laiko langai, srautų atvykimas, saugojimo vietos, krovos įrangos pajėgumai ir duomenų srautai. Todėl būtent terminalas lemia, ar kelių ir geležinkelių derinys tampa konkurencingu sprendimu, ar lieka tik teorine alternatyva.

2 lentelėje pateikiamas kelių ir geležinkelio transporto palyginimas, išskiriant svarbiausius veiklos parametrus: kainą, paslaugos pobūdį, aptarnaujamo krovinio kiekį, laiko aspektą, lankstumą, ekologinį poveikį ir saugumą. Toks palyginimas leidžia pagrįsti, kad intermodalumo vertė kyla ne iš vienos transporto rūšies pranašumo, o iš jų sąveikos tarpusavyje visoje logistikos grandinėje.

2 lentelė. Kelių ir geležinkelio transporto palyginimas intermodalinio terminalo kontekste

Table 2. Comparison of road and rail transport in the intermodal terminal context

Transporto rūšis <i>Mode of transport</i>	Kaina <i>Cost</i>	Paslaugos pobūdis <i>Type of service</i>	Krovinio kiekis <i>Cargo volume</i>	Laikas <i>Time</i>	Lankstumas <i>Flexibility</i>	Ekologinis aspektas <i>Environmental aspect</i>	Saugumas <i>Safety</i>
Kelių transportas <i>Road transport</i>	Vidutinė <i>Medium</i>	Nuo taško iki taško <i>Point-to-point</i>	Vienas sunkvežimis <i>One truckload</i>	Trumpas ar vidutinis, bet jautrus eismo pokyčiams <i>Short or medium, but sensitive to traffic changes</i>	Didelis <i>High</i>	Didesnis CO ₂ ir didesnės išorinės sąnaudos <i>Higher CO₂ emissions and greater external costs</i>	Didesnė avarių rizika <i>Higher accident risk</i>
Geležinkelių transportas <i>Rail transport</i>	Mažesnė vieneto kaina ilguose maršrutuose <i>Lower unit cost on long-distance routes</i>	Nuo terminalo iki terminalo <i>Terminal-to-terminal</i>	Sąstatas su ~70 sutartinių vagonų <i>Train set with ~70 conventional wagons</i>	Ilgesnis, bet stabilesnis <i>Longer, but more stable</i>	Ribotas <i>Limited</i>	Žymiai mažesnės CO ₂ emisijos <i>Significantly lower CO₂ emissions</i>	Aukštesnis saugumo lygis <i>Higher level of safety</i>

Šaltinis: sudaryta autorės, pagal European Environment Agency (2024), European Court of Auditors (2023), Lopez Acevedo et al. (2024) bei Gleser ir Elbert (2024).

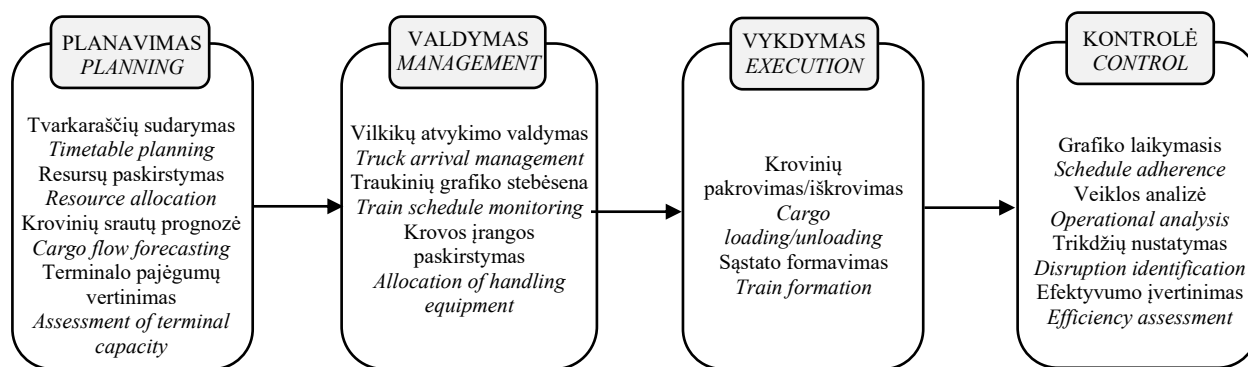
Source: compiled by the author based on European Environment Agency (2024), European Court of Auditors (2023), Lopez Acevedo et al. (2024), and Gleser and Elbert (2024).

2 lentelėje pateikti duomenys rodo, kad intermodalumo ekonominė ir aplinkosauginė vertė atsiskleidžia per kelių ir geležinkelio transporto tarpusavio papildomumą. Kelių transportas geriau prisitaiko prie išskaidytų srautų, pirmosios ir paskutinės grandinės dalių operacijų bei kintančių klientų poreikių, o geležinkelio transportas yra labiau tinkamas didesnes apimties ir ilgesnio nuotolio srautams, kai svarbus ekomoniškumo efektas, stabilesnis aptarnavimas ir mažesnis poveikis aplinkai. Todėl tinkama kelių ir geležinkelių transporto sąveika traktuojama kaip vienas svarbiausių intermodalinio terminalo veiklos kokybės kriterijų.

Intermodalinio terminalo krovos procesas ir jo valdymas

Intermodalinio terminalo krovos procesas turi būti vertinamas ne kaip pavienė perkrovimo operacija, o kaip kelių tarpusavyje susijusių sprendimų grandinė: informacijos gavimas iki atvykimo, vilkikų ir traukinių srautų suderinimas, saugojimo vietų priskyrimas, vagonų paskirstymas, pakrovimo seka ir išvykimo kontrolė. Kiekviename iš šių etapų kelių ir geležinkelių sąveika gali arba sustiprinti terminalo našumą, arba tapti vėlavimų šaltiniu. Pasak W. Liu ir kt. (2024), geležinkelio ir kelių transporto sąveikos operacijose vienas svarbiausių uždavinių yra sumažinti tarpusavio trikdžius, atsirandančius dėl geležinkelių transportui taikomų griežtų laiko langų ir tuo pat metu neapibrėžto vilkikų atvykimo. Autoriai pabrėžia, kad ši problema ypač išryškėja, kur tas pats krovybos pajėgumas turi vienu metu aptarnauti abi transporto rūšis, todėl net ir nedideli tvarkaraščio nuokrypiai gali lemti kranų užimtumo disbalansą, papildomą laukimo laiką ir mažesnį terminalo pralaidumą. Todėl efektyvi kelių ir geležinkelio sąveika terminale priklauso ne tik nuo infrastruktūros pasirengimo, bet ir nuo gebėjimo lanksčiai perplanuoti krovybos užduotis, perskirstyti operacijas tarp įrangos vienetų ir realiu laiku reaguoti į vilkikų atvykimo svyravimus. Kitaip tariant, terminalo veiklos kokybę lemia tai, kaip sėkmingai suderinami fiksuoti geležinkelio aptarnavimo reikalavimai ir dinamiškas kelių transporto srautas. T. Xia et al. (2024) taip pat akcentuoja, kad kelių ir geležinkelio operacijos neturi būti planuojamos atskirai: traukinių priskyrimas atskiriems krovybos vienetams ir kiekvieno traukinio tvarkymo pajėgumo paskirstymas turi būti sprendžiami kartu. R. Jachimowski ir M. Klodawski (2025) mano, kad konteinerių išdėstymas terminalo teritorijoje ir sandėliavimo sluoksnių skaičius tiesiogiai veikia išorinių transporto priemonių aptarnavimo laiką bei perkrovimo įrangos energijos sąnaudas. Tai reiškia, kad vėlesnio pakrovimo efektyvumas didele dalimi užprogramuojamas dar anksčiau – tada, kai atvykęs vienetas nukreipiamas į konkrečią terminalo vietą. Li ir kt. (2025) taip pat pabrėžia, kad skaitmeninis planavimas ir optimizavimo sprendimai didina vilkikų bei geležinkelio kranų veiklos suderinamumą, nes leidžia realiuoju laiku koreguoti operacijų seką, reaguojant į srautų pokyčius ir veiklos trikdžius. H. Z. Kine ir kt. (2022) pabrėžia, kad intermodalinio transporto veikimas yra neatsiejamas nuo intensyvių informacijos srautų, todėl skaitmeninimo ir automatizavimo sprendimai tampa esmine efektyvaus planavimo prielaida, kadangi tai padeda užtikrinti savalaikį informacijos judėjimą, geresnį matomumą ir tikslesnį operacijų koordinavimą. M. Zajac ir kt. (2025) papildo, kad skaitmeniniai planavimo įrankiai intermodaliniame transporte gali didinti veiklos efektyvumą, mažinti riziką ir stiprinti įmonių konkurencinį pranašumą, tačiau jų praktinį taikymą vis dar riboja fragmentuoti ir tarpusavyje nesuderinti sprendimai, duomenų stoka, organizacinio pasirengimo trūkumai. Todėl intermodalinio terminalo valdymo kokybė vis labiau priklauso ne tik nuo fizinių pajėgumų, bet ir nuo gebėjimo integruoti skirtingas informacines sistemas į vientisą planavimo ir sprendimų priėmimo aplinką.

Apibendrinant galima teigti, kad intermodalinio terminalo krovybos procesas turi būti valdomas kaip vientisa planavimo ir koordinavimo sistema. Jei terminale nėra aiškaus ryšio tarp numatomo traukinio sąstato, terminale esančių krovybos išdėstymo, vidaus transporto maršrutų ir išorinių vilkikų aptarnavimo langų, net ir gera infrastruktūra nesukuria norimo efektyvumo. Būtent todėl veiksmingas intermodalinis terminalas šiandien grindžiamas ne tik technika, bet ir duomenimis, prognozėmis bei išankstiniu pakrovimo planavimu.



Šaltinis: sudaryta autorės, remiantis Liu et al. (2024), Xia et al. (2024), Li et al. (2025), Kine et al. (2022).

Source: compiled by the author based on Liu et al. (2024), Xia et al. (2024), Li et al. (2025), and Kine et al. (2022).

2 pav. Intermodalinio terminalo krovybos proceso organizavimo schema

Fig. 2. Organization scheme of the intermodal terminal cargo handling process

2 paveiksle intermodalinio terminalo veikla apibendrintai vaizduojama kaip nuoseklus ir tarpusavyje susijęs valdymo ciklas, apimantis planavimo, valdymo, vykdymo ir kontrolės etapus. Toks scheminis vaizdavimas leidžia parodyti, kad terminalo veiklos efektyvumas priklauso ne nuo vieno atskiro perkrovimo veiksmo, bet nuo visos proceso sekos – nuo išankstinio pasirengimo ir sprendimų priėmimo iki operacijų įgyvendinimo ir jų rezultatų stebėsenos. Ši logika pagrindžia nuostatą, kad intermodaliniame terminale geležinkelio ir kelių transporto sąveika tampa efektyvi tik tada, kai duomenų srautai, planavimo sprendimai ir operaciniai veiksmai yra sujungiami į vientisą valdymo sistemą. Tokiu būdu kontrolė tampa ne galutiniu etapu, o svarbia grandimi, leidžiančia vertinti proceso kokybę ir užtikrinti tolesnį jo tobulinimą. Ši intermodalinio terminalo krovybos proceso organizavimo schema apima keturis etapus:

1. Planavimo etapas – pradiniam etape formuojami pagrindiniai operacijų planavimo sprendimai. Čia nustatomi krovinių judėjimo grafikai, planuojami traukinių atvykimo ir išvykimo laikai, vertinami terminalo pajėgumai bei paskirstomi turimi ištekliai. Šiame etape taip pat numatomas konteinerių ar kitų intermodalinių vienetų paskirstymas

terminalo teritorijoje, atsižvelgiant į planuojamus krovos procesus. Tinkamas planavimas leidžia sumažinti galimas prastovas ir užtikrinti efektyvų terminalo infrastruktūros panaudojimą.

2. Valdymo etapas – šiame etape užtikrinamas skirtingų transporto rūšių ir terminalo išteklių suderinamumas. Valdymo procesas apima vilkikų atvykimo srautų reguliavimą, geležinkelio sąstatų grafiko laikymosi stebėseną, krovos įrangos paskirstymą ir kiemo organizavimą. Tinkamas koordinavimas leidžia išvengti srautų konfliktų tarp kelių transporto ir geležinkelio operacijų bei sudaro prielaidas sklandžiam terminalo darbui.

3. Vykdyto etapas – šiame etape atliekamos pagrindinės terminalo funkcijos – krovinio perkrovimas iš vienos transporto rūšies į kitą. Operacijos apima konteinerių ar kitų intermodalinių vienetų iškrovimą iš vilkikų arba vagonų, jų saugojimą terminalo teritorijoje ir pakrovimą. Efektyvus operacijų vykdymas priklauso nuo techninės įrangos pajėgumų, personalo organizavimo ir aiškos darbo sekos.

4. Kontrolės etapas – galutinis proceso etapas skirtas operacijų rezultatų vertinimui ir galimų nukrypimų nustatymui. Kontrolės metu stebimas grafiko laikymasis, vertinamas terminalo pajėgumų išnaudojimas, identifikuojami galimi trikdžiai ir analizuojami veiklos efektyvumo rodikliai. Šis etapas svarbus siekiant užtikrinti nuolatinį terminalo veiklos tobulinimą ir optimizuoti ateities operacijų planavimą.

Kelių ir geležinkelių transporto sąveikos galimybės ir ribojantys veiksniai

Kelių ir geležinkelių transporto sąveika intermodaliniame terminale yra svarbus aspektas. Nuo jos priklauso, kaip sklandžiai vyksta krovinio judėjimas, kaip efektyviai išnaudojama terminalo infrastruktūra ir kaip greitai atliekamos krovos operacijos. Jeigu ši sąveika nėra tinkamai suderinta, gali didėti laukimo laikas, prastovos ir papildomos sąnaudos. Todėl šiame skyriuje aptariami pagrindiniai kelių ir geležinkelių transporto sąveikos galimybės ir ribojantys veiksniai.

3 lentelė. Kelių ir geležinkelių sąveikos intermodaliniame terminale galimybės ir iššūkiai

Table 3. Opportunities and challenges of road-rail interaction in an intermodal terminal

Kategorija / Category	Galimybės / Opportunities	Iššūkiai / Challenges
Operacinė <i>Operational</i>	Efektyvus terminalų valdymas, neskirstomų krovinio tvarkymas, trumpesnės perkrovos operacijos. <i>Efficient terminal management, handling of non-divisible cargo, shorter transshipment operations</i>	Ilgas gabenimo laikas, sudėtingas kelių ir traukinių srautų sinchronizavimas, eilių ir prastovų rizika, jautrumas tvarkaraščių nuokrypiams. <i>Long transport time, complex synchronization of road and train flows, risk of queues and downtime, sensitivity to timetable deviations</i>
Technologinė <i>Technological</i>	Skaitmeninės sekimo ir planavimo platformos, automatizuotas duomenų perdavimas geresnis proceso, matomumas ir greitesnis reagavimas į nuokrypius. <i>Digital tracking and planning platforms, automated data transmission, better process visibility, and faster response to deviations</i>	Standartizacijos stoka, nevienodas technologijų diegimo lygis tarp operatorių. <i>Lack of standardization, uneven level of technology implementation among operators</i>
Ekonominė <i>Economic</i>	Mažesnės vieneto sąnaudos koncentruotuose srautuose, galimybė plėtoti kombinuotas ir didesnės pridėtinės vertės paslaugas <i>Lower unit costs in concentrated flows, possibility to develop combined and higher value-added services</i>	Didelės pradinės investicijos, ilgesnis atsipirkimas, priklausomybė nuo pakankamos terminalo apkrovos. <i>High initial investments, longer payback period, dependence on sufficient terminal capacity utilization</i>
Aplinkosauginė-socialinė <i>Environmental-social</i>	Mažesnės emisijos ilgojo nuotolio vežime, galimybė mažinti kelių spūstis ir avaringumą <i>Lower emissions in long-distance transport, possibility to reduce road congestion and accident risk</i>	Reguliavimo kliūtys, priklausomybė nuo infrastruktūros modernizacijos greičio <i>Regulatory barriers, dependence on the speed of infrastructure modernization</i>

Šaltinis: sudaryta autorės pagal Gleser ir Elbert (2024).

Source: compiled by the author based on Gleser and Elbert (2024).

3 lentelėje pateikti duomenys rodo, kad intermodalinių terminalų kuriama vertė atsiskleidžia tik tada, kai vienu metu suderinami keli sistemos sluoksniai: infrastruktūra, operacinis planavimas, duomenų valdymas ir reguliacinė aplinka. Tai reiškia, kad terminalo modernizavimas negali būti apsiribojama vien į naujos krovos technikos diegimą ar aikštelių plėtrą. M. Gleser ir R. Elbert (2024) aiškiai parodo, kad kombinuoto kelių ir geležinkelių transporto konkurencingumą lemia ne vien atskiri terminalo pajėgumai, bet ir platesnės sąlygos. Kelių bei geležinkelių sąveika reikalauja išankstinio planavimo neapibrėžtumo sąlygomis. S. Rahiminia ir kt. (2025), nagrinėdami tvarių intermodalinių tinklų projektavimą mišraus neapibrėžtumo sąlygomis, parodo, kad strateginiai sprendimai dėl terminalų vietos, atsargų valdymo ir transporto planavimo turi būti priimami integruotai. Intermodalinio terminalo veiklos kokybė priklauso ne tik nuo terminalo vidaus operacijų, bet ir nuo jo vietos bei vaidmens platesniame logistikos tinkle. I. Jacyna-Golda ir kt. (2024) papildo šį požiūrį, teigdami, kad intermodalinio transporto tvarumas tiesiogiai susijęs su logistikos srautų integracija, infrastruktūros kokybe ir veiksmingu transporto bei paskirstymo kompleksų koordinavimu. R. Bergqvist ir kt. (2023) teigia, kad intermodalumo aplinkosauginė nauda formuojasi visos transporto grandinės mastu, o ne vien perkeliant ilgojo nuotolio vežimą nuo kelių prie geležinkelio. Autoriai atkreipia dėmesį, kad su intermodaliniais terminalais susijusios prieš ir po vežimo operacijos pasižymi pasikartojančiais maršrutais, trumpesniais atstumais ir aiškiai apibrėžtais aptarnavimo taškais, todėl būtent šiose grandyse atsiranda reikšmingas potencialas mažinti logistikos

sistemos poveikį aplinkai. Vadinasi, intermodalinis terminalas gali būti laikomas svarbiu tvaresnės transporto sistemos elementu, nes jo veiklos efektyvumas siejamas ne tik su perkrovimu, bet ir su visos aptarnavimo grandinės organizavimu.

4 lentelė. Kelių ir geležinkelių transporto sąveikos intermodaliniame terminale galimybės ir iššūkiai

Table 4. Opportunities and challenges of road-rail interaction in an intermodal terminal

Valdymo lygmuo / Management level	Pagrindinis turinys / Main content	Sąveikos taškas / Interaction point	Numanomas poveikis efektyvumui / Expected impact on efficiency
Išankstinis planavimas <i>Advance planning</i>	Traukinio grafiko, atvykimo langų, krovinių sąrašo ir pakrovimo plano suderinimas <i>Coordination of the train schedule, arrival time windows, cargo list, and loading plan</i>	Terminalo operatoriaus ir geležinkelio vežėjo planavimo sąsaja <i>Interface between the terminal operator and the railway carrier in the planning process</i>	Mažėja perplanavimo poreikis ir vėlavimų rizika <i>Reduces the need for replanning and the risk of delays</i>
Terminalo valdymas <i>Terminal management</i>	Saugojimo vietų priskyrimas pagal planuojamą traukinį ir operacijų seką <i>Allocation of storage locations according to the planned train and sequence of operations</i>	Ryšys tarp terminalo saugojimo aikštelės ir būsimo pakrovimo <i>Link between the terminal storage yard and the upcoming loading process</i>	Mažėja perstatymai ir kranų neproduktyvūs judesiai <i>Reduces rehandling and non-productive crane movements</i>
Krovos procesas <i>Handling process</i>	Vidaus vilkikų, kranų ir vagonų sekos koordinavimas realiu laiku <i>Real-time coordination of internal trucks, cranes, and wagon sequence</i>	Laiko langai tarp kelių ir geležinkelio operacijų <i>Time windows between road and rail operations</i>	Trumpėja laukimo ir pakrovimo laikas <i>Shortens waiting time and loading time</i>
Skaitmeninė stebėseną <i>Digital monitoring</i>	Krovinių sekimas, nukrypimų identifikavimas <i>Cargo tracking and identification of deviations</i>	Bendri duomenų mainai tarp proceso dalyvių <i>Shared data exchange among process participants</i>	Didėja proceso skaidrumas ir tikslėja sprendimai <i>Increases process transparency and improves decision accuracy</i>

Šaltinis: sudaryta autorės, remiantis Kine et al. (2022), Liu et al. (2024), Xia et al. (2024), Jachimowski ir Klodawski (2025), Li et al. (2025).

Source: compiled by the author based on Kine et al. (2022), Liu et al. (2024), Xia et al. (2024), Jachimowski and Klodawski (2025), and Li et al. (2025).

4 lentelėje matyti, kad procesą naudinga skaidyti į keturis tarpusavyje susijusius valdymo lygmenis. Tokia struktūra leidžia išvengti supaprastinto požiūrio, kai krovos našumas vertinamas tik pagal faktinį krano darbo greitį. Iš tikrųjų terminalo efektyvumą formuoja ankstesni sprendimai: ar laiku gauta informacija, ar konteineris padėtas tinkamoje vietoje, ar traukinio vagonai ir pakrovimo seka suformuoti iš anksto, ir ar visi proceso dalyviai mato tuos pačius duomenis.

Apibendrinant galima teigti, kad kelių ir geležinkelių transporto sąveikos galimybės intermodaliniame terminale atsiskleidžia per funkcijų papildomumą: kelių transportas suteikia tinklui lankstumo ir pasiekiamumo, o geležinkelis ekomoniškumo, didesnę efektyvumą ilgesniais atstumais ir geresnius aplinkosauginius rodiklius. Tačiau šis potencialas realizuojamas tik tada, kai mažinami operaciniai trikdžiai, stiprinami tinklo ryšiai, kuriamos skaitmeninės sistemos leidžiančios realiu laiku koreguoti informaciją.

Išvados

1. Intermodalinis transportas šiuolaikinėje logistikos grandinėje turi būti vertinamas ne kaip fizinė krovinių perkrovimo vieta, bet kaip integruota logistinė sistema bei strateginis krovinių srautų koordinavimo mazgas, kuriame sujungiami fiziniai, organizaciniai ir informaciniai procesai. Intermodalinių terminalų veiksmingumą lemia ne vien techniniai pajėgumai, bet ir gebėjimas užtikrinti sklandžią visų logistikos grandinės dalyvių sąveiką.

2. Geležinkelių ir kelių transporto sąveikos potencialas grindžiamas šių transporto rūšių funkciniu papildomumu: kelių transportas užtikrina tiekimo grandinės lankstumą, o geležinkelis – didesnę efektyvumą ilgesniais atstumais, ekonomiškumą ir užtikrina palankesnius aplinkosauginius rodiklius.

3. Pagrindiniai geležinkelio ir kelių transporto sąveiką ribojantys veiksniai išryškėja transporto sandūroje, kur pasireiškia infrastruktūros nesuderinamumas, netikslus grafikų pateikimas, nevientisi duomenų mainai ir nepakankama procesų koordinacija. Intermodalinių terminalų efektyvumą silpnina ne pavieniai techniniai trūkumai, o bendro valdymo ir planavimo spragos.

4. Teorinės veiklos tobulinimo kryptys siejamos su integruotu traukinių ir kelių transporto srautų planavimu, bendromis krovinių sekimo sistemomis, išankstiniu pakrovimo sekos ir saugojimo vietų pasirinkimu, skaitmeniniu planavimo sprendimų diegimu ir glaudesniu visų proceso dalyvių bendradarbiavimu. Teorinės analizės pagrindu siūloma intermodalinių terminalų veiklą tobulinti orientuojantis į integruotą traukinių ir kelių transporto srautų planavimą, bendras krovinių sekimo sistemas, išankstinį pakrovimo sekos ir saugojimo vietų parinkimą, skaitmeninių planavimo sprendimų diegimą. Tokios priemonės sudarytų prielaidas mažinti prastovas, geriau išnaudoti infrastruktūrą ir didinti terminalų konkurencingumą.

Literatūra

1. Bergqvist, R., Monios, J., & Jönsson, J. (2023). Potential for rapid adoption of battery-electric heavy-duty trucks for pre- and post-haulage at intermodal terminals. *Research in Transportation Business & Management*, 50, 101035. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2023.101035>

2. European Court of Auditors. (2023). *Special report 08/2023: Intermodal freight transport: EU still far from getting freight off the road*. European Court of Auditors. <https://www.eca.europa.eu/en/publications?ref=SR-2023-08> (žiūrėta 2026-02-25)
3. European Environment Agency. (2024). *Sustainability of Europe's mobility systems*. Europa.eu. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/sustainability-of-europes-mobility-systems> (žiūrėta 2026-02-25)
4. Gleser, M., & Elbert, R. (2024). Combined rail-road transport in Europe – A practice-oriented research agenda. *Research in Transportation Business & Management*, 53, 101101–101101. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2024.101101>
5. Goodarzi, A. H., Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B., & Paquet, M. (2024). Evaluating the sustainability and resilience of an intermodal transport network leveraging consolidation strategies. *Transportation Research Part E Logistics and Transportation Review*, 188, 103616–103616. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2024.103616>
6. Jachimowski, R., & Michał Kłodawski. (2025). The impact of container yard layout on the cargo handling time of external transport vehicles in an intermodal terminal. *Archives of Transport*, 73(1), 179–193. <https://doi.org/10.61089/aot2025.4f22k916>
7. Jacyna-Golda, I., Shmygol, N., Gavkalova, N., & Salwin, M. (2024). Sustainable Development of Intermodal Freight Transportation—Through the Integration of Logistics Flows in Ukraine and Poland. *Sustainability*, 16(1), 267. <https://doi.org/10.3390/su16010267>
8. Karam, A., Klejs, J., & Hussein, M. (2023). Analysis of the barriers to multimodal freight transport and their mitigation strategies. *European Transport Research Review*, 15(1). <https://doi.org/10.1186/s12544-023-00614-0>
9. Kine, H. Z., Gebresenbet, G., Tavasszy, L., & Ljungberg, D. (2022). Digitalization and Automation in Intermodal Freight Transport and Their Potential Application for Low-Income Countries. *Future Transportation*, 2(1), 41–54. <https://doi.org/10.3390/futuretransp2010003>
10. Krstić, M., Tadić, S., Elia, V., Massari, S., & Umar Farooq, M. (2023). Intermodal Terminal Subsystem Technology Selection Using Integrated Fuzzy MCDM Model. *Sustainability*, 15(4), 3427–3427. <https://doi.org/10.3390/su15043427>
11. Li, J., Chang, D., & Wen, F. (2025). Digital twin enhanced rescheduling based on hybrid strategy in intermodal container terminal. *Computers & Operations Research*, 180, 107053. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2025.107053>
12. Liu, W., Zhu, X., Wang, L., & Li, S. (2024). Flexible yard crane scheduling for mixed railway and road container operations in sea-rail intermodal ports with the sharing storage yard. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 190, 103714. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2024.103714>
13. López-Acevedo, F. J., Josefa Fernández, M., Escavy, I., & Bravo, J. G. (2024). Potential Reduction in Carbon Emissions in the Transport of Aggregates by Switching from Road-Only Transport to an Intermodal Rail/Road System. *Sustainability*, 16(22), 9871–9871. <https://doi.org/10.3390/su16229871>
14. Monios, J., & Bergqvist, R. (2025). Terminal-centric logistics for integrated and profitable intermodal transport networks. *Journal of Transport Geography*, 129, 104386. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2025.104386>
15. Rahiminia, S., Mehrabi, A., Jabbarzadeh, A., & Aghaee, M. P. (2025). A hybrid optimization approach for designing sustainable intermodal freight transport under mixed uncertainty. *Socio-Economic Planning Sciences*, 98, 102146. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2024.102146>
16. Xia, T., Wang, L., Liu, W., Zhang, Q., Dong, J.-X., & Zhu, X. (2024). Train assignment and handling capacity arrangement in multi-yard railway container terminals: An enhanced adaptive large neighborhood search heuristic approach. *Computers & Industrial Engineering*, 198, 110733. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110733>
17. Zajac, M., Rožic, T., Swieboda-Kutera, J., & Starčević, M. (2025). Digital Planning Tools in Intermodal Transport: Evidence from Poland. *Logistics*, 9(3), 94. <https://doi.org/10.3390/logistics9030094>

FROM ROAD TO RAIL: ROAD-RAIL INTERACTION IN INTERMODAL TERMINALS

Abstract

The article examines the concepts of intermodal transport, as well as the role and importance of road and rail transport interaction in intermodal terminals, in order to reveal the main challenges and opportunities of rail and road interaction in optimizing freight movement. The aim of the study is to identify the main challenges and opportunities of rail and road transport interaction in intermodal terminals and to substantiate theoretical directions for improving terminal operations. The research method is the analysis of scientific literature. Theoretical sources emphasize that terminal efficiency becomes lower when road transport arrival flows, rail transport schedules, and terminal resources are managed separately. Properly managed intermodal terminals ensure smooth integration of road and rail transport, optimize freight flows, and contribute to the reduction of CO₂ emissions; however, limited infrastructure and schedule instability reduce terminal efficiency. The findings help to better understand which factors determine the effectiveness of an intermodal terminal and which directions could contribute to a more efficient and sustainable organization of its operations.

Keywords: intermodal terminal, rail transport, road transport, interaction of transport modes, loading process, green logistics.