

## KELEIVIŲ VEŽIMO GELEŽINKELIAIS TOBULINIMAS: EKONOMINIAI ASPEKTAI

### *IMPROVEMENT OF THE PASSENGERS TRANSPORTATION BY RAIL: ECONOMIC ASPECTS*

*Stasys DAILYDKA*, dr.

*Vytautas LINGAITIS*, dr.

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

*Stanislovas NAIMOVIČIUS*, dr.

AB „Lietuvos geležinkeliai“

#### **Įvadas**

Keleivių vežimas geležinkeliais istoriškai turi didelę įtaką įvairių šalių ekonomikai, todėl geležinkelių transporto paslaugų plėtros strategija visada nukreipta į kokybiškų keleivių vežimo paslaugų užtikrinimą. Pastaruoju metu esminiu geležinkelių transporto reformų elementu tampa skaidraus ir veiksmingo verslo – keleivių vežimo modelio – sukūrimas. Keleivių vežimas geležinkeliais, ypač vietiniais, priemiestiniais maršrutais, tradiciškai vertinamas ne tik kaip verslo, bet ir kaip socialinė funkcija. Lietuvoje geležinkeliais vežama apie 4,8 mln. keleivių per metus. Tai dalis valstybės programos, užtikrinančios visuomenės susisiekimą, kurio reikia darbo, buitiniams, laisvalaikio ir turizmo poreikiams patenkinti. Todėl susisiekimas geležinkeliais dažniausiai yra iš dalies valstybės išlaikoma susisiekimo rūšis. Šios šakos konkurencingumas daugiausia priklauso nuo kryžminio finansavimo problemų sprendimo, geležinkelių transporto komplekso valstybinio subsidijavimo (Evaluation 2009; Öðððííâà 2009; Áðàçèà 2010). Kad keleivių vežimas būtų efektyvus, ypač svarbu tobulinti išlaidų ir pajamų, gautų iš keleivių vežimo geležinkelių transportu, valdymo sistemą. Ieškoma racionaliausių būdų, kaip padidinti iš šios veiklos gaunamas pajamas ir sumažinti nuostolius (Butkevičius 2011). Siekiant šios transporto šakos konkurencingumo, aukštos klientui teikiamų paslaugų kokybės ir integravimosi į tarptautines transporto sistemas, svarbu moksliskai įvertinti pajamų ir sąnaudų priklausomybę nuo įvairiausių veiksnių, parengti optimalių transporto priemonių parinkimo metodiką, optimizuoti technologinius keleivių vežimo procesus.

Esminė problema – keleivių vežimo geležinkeliais praktikoje sugebėti ekonomiškai pagrįstai spręsti atitinkamus optimizavimo uždavinius.

Šių uždavinių sprendimo klausimams ir skirtas šis straipsnis.

#### **Optimalus traukinio varianto pasirinkimas tobulinant keleivių vežimą geležinkeliais: problemos esmė**

Bet kuri naudojama technika – tiek geležinkelyje, tiek visame ūkyje – bus efektyviausia tik tada, kai bus naudojama maksimaliai. Teikiant keleivių vežimo geležinkeliais paslaugą svarbu, kad traukiniu važiuotų kuo daugiau keleivių, kitaip tariant, svarbus vietų užimtumo rodiklis (keleivių užimtų vietų ir turimų sėdimųjų vietų traukinyje santykis).

Tinkamoms keleivių vežimo proceso vertinimo priemonėms parinkti dažniausiai naudojamas integralinis šios veiklos rodiklis – finansinis rezultatas, pelnas ar nuostoliai, t. y. pajamų ir išlaidų skirtumas. Pagrindinės keleivių vežimo pajamos gaunamos iš parduotų bilietų, todėl jų dydį lemia vežamų keleivių skaičius. Su tuo susijusios išlaidos priklauso nuo naudojamų riedmenų tipo, vagonų skaičiaus, traukos rūšies. Didesnę jų dalį sudaro pastoviosios sąnaudos, nepriklausančios nuo keleivių skaičiaus. Todėl mažas ar mažėjantis tam tikru maršrutu vežamų keleivių skaičius lemia nevienodą atskirų ruožų apkrovą, dėl nepakankamo vagonų keleivių vietų užimtumo patiriama nuostolių (Lysenko 2006; Froidh 2006; Li 2009).

Pagrindiniai spręstiniai uždaviniai – įvertinus keleivių skaičiaus dinamiką ruožuose ir atstumus, parinkti racionaliausias atskirais maršrutais važiuojančias transporto priemones ir jų sąstatus, padidinti pajamas ir sumažinti išlaidas. Keleivių, važiuojančių skirtingomis kryptimis ir atskirais ruožais, skaičius yra labai įvairus – jis priklauso ne tik nuo keleivių traukos centrų išsidėstymo, bet ir nuo paros ar metų laiko.

Didėjant vietų užimtumo rodikliui vidutinės 1 kel. km sąnaudos proporcingai mažėja, ir atvirkščiai. Todėl kyla akivaizdus poreikis keisti tam tikru maršrutu važiuojančio traukinio vagonų skaičių. Siekiant palyginti apskaičiuotus rezultatus, keleivių vežimo efektyvumui įvertinti naudojama santykinės formos tikslo funkcija ( $E = P / I \rightarrow \max$ , čia  $E$  – keleivių vežimo santykinis efektyvumo rodiklis,  $P$  – pajamos, gautos tam tikru maršrutu vežant keleivius, Lt/trauk. km,  $I$  – sąnaudos, Lt/trauk. km). Jeigu  $E < 1$ , keleivių vežimas nuostolingas, jei  $E > 1$ , pelningas. Siekiant tiksliau identifikuoti patiriamas išlaidas, atliekami apskaičiavimai pagal kiekvieno tarpstočio duomenis.

Didžiausią išlaidų dalį (30–40 proc.) sudaro mokesčiai už naudojamą geležinkelių infrastruktūrą. Jį sudaro pajėgumų rezervavimo, traukinių eismo, keleivių tranzito, krovinių tranzito, krovinių vežimo ir kontaktinio elektros tinklo naudojimo įmokos. Likusias sudaro darbo užmokesčio, degalų, tepalų, remonto ir kitos išlaidos. Jei vagonų yra daugiau nei vienas, šių komponentų suma dauginama iš funkcijos, nusakančios išlaidų, priklausančių nuo vagonų skaičiaus, padidėjimą.

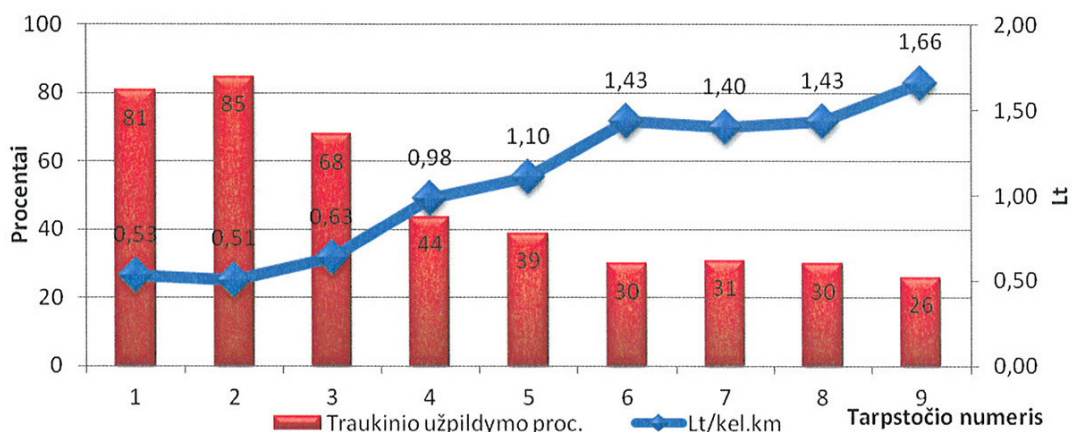
Kadangi keleivių skaičius reiso metu keičiasi ir kelionei įpusėjus dažnai tesiekia 50 proc., atitinkamai padidėja vienam keleivio vidutinės patiriamos sąnaudos. Situacijai suvienodinti siūloma optimizuoti keleivių vežimo priemones – vagonų skaičių, traukos priemones, jų derinius. Tam tikslui sudaromas matematinis modelis – optimalių sprendimų paieškai pritaikomas netiesinio programavimo metodas (Čiočys 1990), optimizuojamos visos išlaidų komponentės, parenkami ekonominiu požiūriu racionalūs maršrutai, keleivių vežimo priemonės, organizaciniai sprendimai.

Atlikti tyrimai parodė, kad, suformavus keleivinius traukinius pagal šio modelio optimizuotą variantą, keleivių vežimo atskirais maršrutais nuostolius galima sumažinti keturis kartus, o keleivius vežti reisais, kai važiuoja pilni traukiniai, gali būti pelningas (Dailydka 2011).

Analizuojant vieną iš „Lietuvos geležinkelių“ traukinių maršrutų matyti, kad reiso pradžioje traukinį turi sudaryti ne mažiau kaip du vagonai, o pusiaukelėje vietų traukinyje užimtumas mažėja beveik perpus. Dėl to, vežant vieną keleivį, atitinkamai didėja patiriamos sąnaudos (1 pav.).

Siekiant sumažinti patiriamus nuostolius, tikslinga išanalizuoti tam tikro maršruto traukos priemonių ir vagonų skaičiaus atskiruose ruožuose galimus derinius, įskaitant skirtingas traukos rūšis, ir taikant parinktą modeliui ekstremumo paieškos metodą parinkti riedmenis analizuojamam maršrutui.

2 pav. pateikiamos maršruto efektyvumo, naudojant skirtingus riedmenis, rodiklio  $E$



1 pav. Vieno maršruto keleivių ir sąnaudų dinamika

reikšmės (dvi automotrisės, viena automotrisė, vienas vagonas, traukiamas naudojant elektrinę trauką, ir du vagonai, traukiami atskiro šilumvežio). Riedmenų deriniai modeliuojamos atsižvelgiant į keleivių skaičių.

Iš pateiktų duomenų aišku, kad, naudojant automotrisių trauką ir atkabinant vieną automotrisę, ketvirtame tarpstotyje nuostolius galima sumažinti daugiau kaip 50 proc. (palyginus su tuo, jei būtų naudojama šilumvežio trauka). Jeigu paleistume dvi automotrisės neatkabindami vienos ketvirtame tarpstotyje, nuostoliai sumažėtų iki 12 proc., o jei nuo aštuntojo tarpstočio vagonas būtų traukiamas naudojant elektrinę trauką, pajamos padengtų sąnaudas. Šis pavyzdys labai aiškiai iliustruoja keleivių vežimo priemonių naudojimo lankstumą racionaliai formuojant sąstatus ir pasirenkant trauką, kai organizacinėmis priemonėmis (vagonų prikabinimas ir atkabinimas tarpstočiuose optimaliai naudojant turimas vietas ir t. t.) iki minimumo sumažinamas neužimtų vietų skaičius.

Iš pateikto grafiko matyti, kad, parenkant tinkamus riedmenų derinius, pajamų ir sąnaudų santykis labai pagerėja.

Detaliai atskleisto modelio pranašumas tas, kad galima varijuoti pajamų ir išlaidų sudedamosiomis dalimis, išryškinti silpniausias vietas (t. y. nustatyti, kada patiriama nuostolių daugiausia ir kada juos galima sumažinti) ir tiksliai, kryptingai prognozuoti techninius, organizacinius bei ekonominius keleivinio riedmenų parko parametrus, nuosekliai įgyvendinti pirmojo būtinumo priemones: įsigyti naujos technikos, parinkti keleivinių vagonų

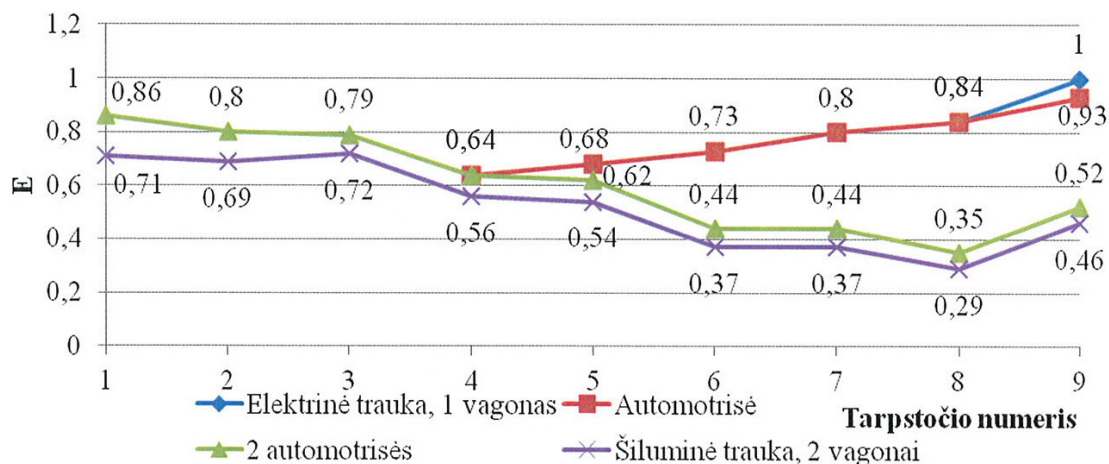
atkabinimo ir prikabinimo vietas, atitinkamus techninės priežiūros punktus, suderinti eismo grafikus ir pan. Svarbiausia, kad nebūtų pažeistas keleivio kelionės vientisumo principas. Atsižvelgiant į atliktos detalios tam tikrais maršrutais važiuojančių keleivių srautų analizės duomenis, šių srautų kaitos tendencijas, transporto priemonių poreikį, tikslinga įsigyti greitų ir lengvai transformuojamų keleivių vežimo priemonių, pvz., komfortinių modulinį traukinių, kurie ypač tinka, kai traukiniais važiuojančių keleivių yra mažai, o važiavimo atstumai nėra dideli.

### Techninės sąveikos optimizavimas sprendžiant keleivių vežimo geležinkeliais tobulinimo problemas

Svarbus keleivių vežimo proceso elementas yra techninės sąveikos reikalavimų taikymas geležinkeliuose. Tai labai aktualu transporto sistemų internacionalizacijos sąlygomis. Siekiant pagerinti viso 1520 mm geležinkelių tinklo techninę sąveiką su kitų ES valstybių geležinkeliais ir išlaikyti esamą regioninę Baltijos valstybių geležinkelių sistemų techninę sąveiką, daug dėmesio skiriama techninės sąveikos direktyvoms įgyvendinti.

Techninė sąveika – tai geležinkelių sistemos geba sudaryti efektyvaus eismo transeuropiniu geležinkelių tinklu sąlygas, užtikrinti saugų ir sklandų šio tinklo keliais važiuojančių traukinių eismą, kuris atitiktų technines, eismo, eksploatavimo ir teisinės sąlygas, pagrindinius geležinkelių sistemos sąveikos reikalavimus.

Geležinkelių infrastruktūros projektavimas, modernizavimas ir statyba, taip pat geležinkelio riedmenų konstravimas ir gamyba remiasi visoms



2 pav. Skirtingų traukinio sąstatų efektyvumo rodikliai

ES šalims narėms privalomomis techninės sąveikos specifikacijomis (TSS), kurių reikalavimai taikomi greitųjų geležinkelių ir paprastųjų geležinkelių sistemoms.

Plačiosios ir europinės vėžės geležinkelių sistemų techninę sąveiką, taip pat kito vėžės pločio sistemų Europos Sąjungos šalyse sąveiką reglamentuoja 2008 m. birželio 17 d. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2008/57/EB dėl geležinkelių sistemos sąveikos Bendrijoje. Šių direktyvų reikalavimai perkelti į Lietuvos Respublikos nacionalinius teisės aktus.

Geležinkelių transporto srities sąvoka *sąveika* atsirado pradėjus įgyvendinti Europos Sąjungos direktyvas, susijusias su keleivių ir krovinių vežimo geležinkeliais rinkos formavimu, ir padidėjus geležinkelių transporto priemonių kursavimo atskirų Europos Sąjungos valstybių geležinkeliais galimybėms (Europos... 2004; Europos... 2008; Dėl... 2011). Tačiau šios idėjos įgyvendinimą sunkina sudėtingos ir specifinės kiekvienos šalies sąlygos.

Pirmoji sąveikos sritis susijusi su sklاندus traukinių eismo užtikrinimu ir suprantama kaip traukinio važiavimas maršrutu sustojant tik (išskirtinai) dėl iš anksto numatytų veiksmų (stovėjimas stotyje išlaipinant ir įlaipinant keleivius, krovinių atidavimas į krovinių traukinį ir kt.). Traukinys negali būti sustabdomas dėl aprūpinimo, valdymo sistemos pokyčių arba prie vidinės ES administracinės (valstybės) sienos.

Kita sritis – traukinių eismo efektyvumo – susijusi su dideliu linijos pralaidumu ir net su sklاندus traukinių eismo užtikrinimu. Traukinių vėlavimo tikimybė turi būti tokia maža, kad, suartėjant geležinkelių linijoms, nekiltų traukinių eismo sutrikimų grėsmė (nebūtų nenumatytų traukinių važiavimo greičio sumažinimo ar net traukinio sustabdymo atvejų).

Trečioji sritis – pagrindinių reikalavimų, susijusių su eksploatavimo, eismo, techninių ir teisinių sąlygų pokyčiais, vykdymas. Pagrindiniai reikalavimai klasifikuojami pagal šias kategorijas: saugumą, patikimumą, suprantamumą, sveikatą, natūralios aplinkos apsaugą, techninį suderinamumą, išlaikymą ir eksploataciją.

Prie pagrindinių geležinkelių transporto sistemos suinteresuotų šalių galima priskirti:

- ◆ infrastruktūros valdytoją, atsakingą už struktūrinius posistemius, susijusius su geležinkelių transporto priemonių eismu;

- ◆ vežėjus, disponuojančius žmonių ir (arba) krovinių vežimo priemonėmis;
- ◆ keleivius arba subjektus, kurių kroviniai transportuojami;
- ◆ geležinkelių transporto priemonių ir įrenginių gamintojus.

Suinteresuotų šalių priimami sprendimai yra tarpusavyje susiję ir vienas kitam gali turėti teigiamą arba neigiamą įtaką.

*Infrastruktūros valdytojo* požiūriu, sprendimas dėl infrastruktūros išlaikymo ir eksploatavimo galimos modernizacijos pagrįstas tikėtinomis pajamomis, gaunamomis leidžiant naudoti geležinkelių infrastruktūrą susisiekimo geležinkeliais poreikiams tenkinti (Dėl... 2007).

*Vežėjo* požiūriu, sprendimas pirkti transporto priemonę ir pajėgumų šiai priemonei išpirkimas (kad traukinys pajudėtų) pagrįstas laukiamu pelnu, gaunamu vežant tam tikrą keleivių skaičių ar tam tikrą krovinių kiekį.

*Kliento* požiūriu, sprendimas pasirinkti geležinkelių transporto priemonę pagrįstas mintimi, kad transporto paslaugos išlaidos yra mažų mažiausiai lygios naudai, kurią turės paslauga pasinaudojęs klientas.

Numatoma techninės sąveikos šalių nauda pateikta 1 lentelėje (Jacyna 2013).

Techninės sąveikos procesų optimizavimo tikslo funkcijos:

- a) infrastruktūros valdytojo atveju:

$$\sum_i x_i / \sum_j x_j < 1,$$

čia  $x_i$  – modernizavimo, mokymų, eksploatacijos, transporto priemonių ir įrenginių įsigijimo, taip pat eismo įvykių išlaidos;  $x_j$  – infrastruktūros mokesčiai  $j$ -tajam traukiniui naudotis geležinkelių tinklu;

- b) vežėjo atveju:

$$\sum_k x_k / \sum_l x_l < 1,$$

čia  $x_k$  – infrastruktūros mokesčio, energinių išteklių, išlaikymo, transporto priemonių įrenginių įsigijimo, bandymų, mokymų, avarių likvidavimo išlaidos;  $x_l$  – pajamos iš keleivių vežimo;



1 lentelė. *Techninės sąveikos nauda*

Infrastruktūros valdytojas	Vežėjas	Klientas
Galimybė lengviau gauti ES finansavimą	Produktų unifikacija ir rinka, geresnis prieinamumas ir galimybė sumažinti įrenginio ir priemonės kainą	Daugiau galimybių pasirinkti vežėją ir pasiūlymų rūšį
Sklandus eismas ir geresnė kontrolė, didesnis greitis, trumpesnis traukinių atvykimo laikas	Sklandesnis traukinių eismas, galimybė padidinti greitį, trumpesnis važiavimo laikas	Didesnis greitis ir trumpesnis keleivių važiavimo laikas
Patrauklesnė linija, intensyvesnis eismas	Paslaugų, pasiūlymų dėl krovinių ir keleivių vežimo plėtra, mažesnis infrastruktūros mokestis	Mažesnė avarijų rizika, sklandus traukinio eismas, nauji ir modernizuoti traukiniai, atitinkantys kliento poreikius
Produktų unifikacija ir jų rinka, didesnis prieinamumas, galimybė sumažinti įrenginių kainas	Mažesnės energijos sąnaudos dėl traukinio eismo sklandumo pagerėjimo	
Didesnis eismo saugumo lygis		

c) kliento atveju:

$$\sum_m x_m / \sum_n x_n \leq 1,$$

čia  $x_m$  – kelionės išlaidos;  $x_n$  – laiko ekonomija, transporto patogumo, prieinamumo nauda.

Procesui reikalingas pereinamasis laikotarpis, kad likusi šalies geležinkelių infrastruktūra būtų pritaikyta pagal pagrindinius reikalavimus. Pagrindinis dalykas, nustatantis geležinkelių tinklo sąveikos reikalavimų įgyvendinimo apimtį ir laiką, yra tokiems pokyčiams reikalingų sąnaudų ir naudos nustatymas, atsižvelgiant į visų geležinkelių transporto sistemos suinteresuotų šalių sprendimus.

#### Socialinis kelionės efektyvumas vertinant keleivių vežimo geležinkeliais tobulinimo galimybes

Vienu svarbiausių keleivinio transporto ekonominio socialinio efektyvumo ir reikšmingumo rodiklių ekspertai laiko sutaupyto kelionės laiko naudą. Manoma, kad 30–80 proc. naudos, gautos įgyvendinus transporto projektus, yra sutaupytas kelionės laikas, per kurį keleivis nedalyvauja kuriant pridėtinę vertę. Sutrumpinus šį laiką sudaromos sąlygos bendrajam vidaus produktui padidinti, produktyviai naudoti keleivio laiką, dvasiniams, kultūriniais poreikiams patenkinti.

Dėl to greitesnis keleivių vežimo laikas laikomas svarbiu veiksniu parenkant investicinius keleivių vežimo efektyvumo rodiklius.

Traukinio keleivių sąnaudos susijusios su traukinio laukimu, pačiu važiavimu traukiniu, persėdimais, komfortu ir pan. Apibendrinus literatūroje analizuojamas keleivių sąnaudų komponentes, siūloma šio rodiklio optimizavimo matematinė išraiška kaip funkcija:

$$F(x_1, x_2, x_3, x_4) \rightarrow \min,$$

čia  $x_1$  –  $i$ -tojoje stotelėje įsėdusių keleivių kiekis;  $x_2$  – laiko intervalas tarp traukinių maršrute;  $x_3$  – vienos keleivio valandos vertė;  $V$  – vidutinis traukinio greitis, km/val.;  $x_4$  – vidutinis keleivio važiavimo atstumas (Áđàçèà 2010).

Formulėje naudojamas vidutinis vienos keleivio valandos finansinis ekvivalentas  $x_3$  apskaičiuojamas kaip bendrojo vidaus produkto dalis, tenkanti vienai dirbančių gyventojų valandai. Atliekant pradinius skaičiavimus gali būti naudojamas tam tikras šio rodiklio diapazonas, priklausantis nuo keleivių srauto socialinės struktūros.

Vienas pagrindinių veiksnių, turinčių įtakos keleivių vežimo geležinkeliais efektyvumui, yra keleivių skaičiaus didėjimas. Nuo šio skaičiaus priklauso gaunamų pajamų dydis. Besikeičianti regionų ekonominė padėtis, emigracija, automobilizacija

labai konkuruoja su viešuoju, taip pat ir geležinkelių transportu. Todėl ieškoma būdų, kaip padidinti geležinkeliais keliaujančių keleivių skaičių. Sunku tikėtis didelio gyventojų priaugio netolimoje perspektyvoje, tačiau taikant komforto gerinimo priemones nemažai keleivių galima pritraukti iš kitų transporto rūšių, pirmiausia iš automobilių transporto. Šis procesas siejamas ir su keleivių aptarnavimo kokybės korporatyvinės vadybos sistemos įdiegimu. Jos paskirtis – į klientą orientuotos ir efektyvios keleivių aptarnavimo technologijos sukūrimas bei įgyvendinimas.

Todėl kalbant apie keleivių vežimo proceso optimizavimą svarbu įvertinti socialinę naudą, gaunamą sukūrus didesnę komfortą ir pagerinus keleivių aptarnavimo kokybę.

Socialinę naudą, susijusią su keleivių aptarnavimu, siūloma įvertinti ekspertiniu būdu. Tam tikslui galima naudoti kokybinius kelionės laiko, kelionės saugumo, patikimumo, komforto, transporto priemonės pasiekiamumo, aptarnavimo stotyse kokybės, informacinio aptarnavimo rodiklius ir pan. Kelionės traukiniu kokybę rodo visuma kriterijų, priklausančių nuo geležinkelio kelio ir riedmenų (traukinio elementų) parametrų, keleivių vežimo organizavimo, technologijos proceso rodiklių ir kelionės traukiniu saugumo (Sivilevičius 2012; Maskeliūnaitė 2013). Eksperimentiniais metodais nustatytas kelionės traukiniu kokybės kriterijų reikšmingumas ir šių kriterijų grupių svarba (pirmumas), suformuluotas TKVG kompleksinis daugiakriterinis vertinimo modelis leidžia nustatyti traukinio, važiuojančio tam tikru maršrutu, vienareikšmį kiekybinį rodiklį, vertinimo metodologiją.

Keleivio patogumui nepaprastai svarbus yra mikroklimatas vagono viduje (Torunski 2009). Fizinė vagono tarša – tai netinkamas apšvietimas, vibracija, triukšmas, lėtėjimo ir greitėjimo pagreičiai. Traukinio važiavimas yra įvairių veikiančių jėgų padarinys. Traukinys, kartu ir vagonas, gali važiuoti tolygiai (pastoviu greičiu), lėtėdamas arba greitėdamas (išibėgėdamas). Nuo stabdymo ir išibėgėjimo efektyvumo priklauso dinaminės vagono savybės, kartu ir keleivių važiavimo patogumas. Vibracija ir triukšmas gali kelti pavojų didelės sveikatos rizikos grupės žmonėms. Keleiviai traukinyje būna palyginti neilgai, tad pirmiau minėti veiksniai negali paveikti jų sveikatos, tačiau gali erzinti (neleisti miegoti) vibracija ar bėgio ir rato sąveikos garsas.

Todėl detalai nagrinėjamas vienas iš komfortą lemiančių kriterijų – vibracijos poveikis traukiniu važiuojantiems keleiviams (Dailyska 2011). Keleivius veikianti vagono vibracija priklauso nuo kelio konstrukcijos būklės, naudojamų riedmenų pakabos gebėjimo palaikyti tokius kėbulo virpesius, kurie atitiktų žmogaus komforto sąlygas ir reikalavimus. Tobulėjant traukos priemonėms, didėjant greičiui ir griežtėjant saugos reikalavimams, vis daugiau dėmesio skiriama dinaminiam riedmenų procesams nagrinėti, optimalių pakabų parametrus parinkti. Vibracija įvertinama kaip judesio funkcija, priklausoma nuo pagreičio, greičio arba padėties.

Vibracija įvairiai veikia žmogaus organizmą. Jos poveikis priklauso nuo svyravimo proceso galios sąlyčio vietoje, poveikio laiko, sąlyčio vietos, vibracijos krypties, kūno slopinamųjų savybių, rezonanso veiksnių ir kitų savybių. Ypač žmogui kenksmingi virpesiai, kurių dažnis yra artimas skirtingų kūno dalių savajam (rezonansiniam) dažniui (Corbridge 1989; Howarth 2004; Komkin 2004; Mechaniniai... 2004; The method for... 2009; Rekomendacijos... 2009).

Keleivių, važiuojančių traukiniu, patogumui įtakos turi periodinė, atsitiktinė ar pereinamoji vibracija, kuri veikia žmogaus kūną kelionės metu. Įvertinant keleivių patogumą dažniausiai nagrinėjamas 0,5–80 Hz vibracijos diapazonas. Šio diapazono vibracija juntama keleivio sėdynės ašyse, sėdynės nugarėlėje ir sėdinčio žmogaus pėdose. Įvertinamas vibracijos dydžio, dažnio, krypties poveikis keleivių komfortui.

Egzistuoja keli vibracinio komforto vertinimo būdai. Daugelyje standartų ir metodikų matuojami vibracijos pagreičiai. Vibracija įvertinama apskaičiuojant svertinio pagreičio vidutinę kvadratinę reikšmę kaip dažnio ar laiko funkciją. Kai registruojamas nekoreguotas (nesvertinis) vibracijos pagreičio signalas, duomenims perskaičiuoti taikomi standarte pateikti svertiniai veiksniai, apskaičiuojamas bendras svertinis pagreitis.

Komforto kriterijus siejamas su ribomis, užtikrinančiomis patogias sąlygas, kai keleivis nejaučia trukdančio vibracijos poveikio arba jį jaučia minimaliai. Pirminis keleivio vietų komforto įvertinimas atliekamas šių parametrų spektrinės analizės metodu. Nustatomi trečdalis oktavos dažnių diapazone normuojamų signalų spektrai ir apskaičiuojami jų statistiniai rodikliai. Analizei patikslinti pateikiamos vibracijos svertinių pagreičių pasiskirstymo histogramos ir kumuliatyvinės kreivės.

Toliau apskaičiuojami E. Šperlingo tolygiosios eigos rodikliai, kuriais remiantis įvertinamas virpesių intensyvumas, jų spektras – pagreičių amplitudė, vibracijos kryptis, dažnis. Plečiant tyrimus tikslinga atlikti normuojamų parametru dažnio integralinę analizę. Siekiant šio tikslo vibracija, veikianti sėdintį keleivį, matuojama visomis jos slinkimo kryptimis, visuose taškuose, kurie turi įtakos keleivio patogumui.

Siekiant įvertinti riedmenų vibracinio komforto lygį, Lietuvos geležinkeliuose buvo atlikti EJ575 serijos dviaukščio elektrinio traukinio kompleksiniai vibracinio komforto rodiklių matavimai ir tyrimai. Traukiniui važiuojant skirtingomis kryptimis iki 120 km/h greičiu buvo atlikti priekinio, tarpinio ir motorinio vagonų, grindų ir keleivių sėdynių paviršių matavimai.

Rezultatai rodo, kad visose matavimo vietose visu dažnių diapazonu, tiek horizontalios, tiek vertikalios krypties, maksimalūs vibracijos pagreičio lygiai neviršija ir praktiškai nesiekia komforto ribą apibūdinančių rodiklių.

Statistinei analizei papildyti apskaičiuotos vibracijos pagreičio lygio tankio funkcijos – histogramos ir kumuliatyvinės kreivės. Rezultatai parodė, kad vibracijos pagreičių lygių intervaliniai pasiskirstymai taip pat skiriasi nedaug. Bendrosios vibracijos lygio dažniniai pasiskirstymai grafiškai palyginti su apskaičiuotais vidutiniais dydžiais ir taip nustatyti vibracijos dažnių intervalai, kuriuose vibracijos dydžiai viršija vidutines reikšmes, t. y. maksimaliai veikia keleivius.

Pagrindinis elementas, mažinantis kelio sukeliamus virpesius, yra vagonų vežimėlio pakaba. Naudojant tinkamą geležinkelio riedmenų pakabą ne tik gerinamas keleivinių traukinių komfortas, bet ir didinamas važiuoklių, visų riedmenų elementų patikimumas ir ilgaamžiškumas, taip pat ir geležinkelių saugumas. Sudarant skaičiavimo modelius, pakabų efektyvumas išreiškiamas įvairiais tampriųjų ir klampiųjų elementų deriniais, įvertinamas dinaminiais klamos koeficientais ir kitais parametrais.

Siekiant nustatyti optimalius vagono pakabos parametrus, sudaryta tikslo funkcija ir pateikta metodika, leidžianti apskaičiuoti tinkamiausius dinaminis rodiklius esant bet kokiam leidžiamajam važiavimo greičiui. Tyrimai parodė, kad nustatant optimalius važiuoklių pakabų parametrus pagrindiniu tikslo funkcijos rodikliu

reikia laikyti stovumo koeficientą, nes šis parametras pirmasis riboja važiavimo greitį. Tokiu būdu pagerinus vagonų komforto sąlygas galima tikėtis pritraukti daugiau traukinio keleivių. Tai puikiai iliustruoja komfortiško traukinio eksploatavimo Vilniaus–Kauno ruožu pirmaisiais metais pavyzdys – per metus šiuo ruožu važiavusių keleivių skaičius padidėjo 15 proc.

Skirtingi keleivių vežimo komforto lygiai susieti su nevienodomis sąnaudomis. Techninio komforto, taip pat keleivių vežimo paslaugų kokybės gerinimas susijęs su vežėjų, infrastruktūros valdytojo sąnaudų didėjimu ( $X_{n-1} < X_n$ ). Optimaliai padidinus šias išlaidas sumažės keleivių išlaidos

( $Y_{n-1} > Y_n$ ), nes padidinus važiavimo greitį, pagerinus aptarnavimo kokybę sutrumpėja kelionės laikas, sumažėja nelaimingų įvykių ir pan. Tačiau dar padidinus technologinio komforto lygį keleivių išlaidos taip pat padidės ( $Y_{n-1} < Y_n$ ), nes pabrangs bilietai, paslaugos. Būtent šių parametru dinamikos kryptingumo pasikeitimo taškas atitinka optimalų keleivių važiavimo kokybės lygį. Todėl labai svarbu tinkamai įvertinti ir optimaliai sumodeliuoti keleivių vežimo proceso dalyvių patiriamų išlaidų ir keleivių komforto lygio priklausomybę.

## Išvados

1. Keleivių vežimas geležinkeliais – ne tik verslas, bet ir socialinė valstybės funkcija, tenkinanti gyventojų darbo ir asmeninio gyvenimo poreikius. Šios veiklos modernizavimo rezultatas vertinamas atsižvelgiant į tai, kokią naudą iš to gauna keleiviai, vežėjai ir šalys (regionai), t. y. įvertinus, kiek sutrumpėjo kelionės laikas, sumažėjo kelionės sąnaudos, kaip tai padėjo užtikrinti eismo ir ekologinį saugumą, pagerinti kelionės komfortą, kokie yra regiono sanglaudos ir ekonominės plėtros pokyčiai.

2. Vienu svarbiausių keleivinio transporto ekonominio ir socialinio efektyvumo rodiklių laikoma kelionės laiko ir sąnaudų vertė. Jai įvertinti ir optimizuoti siūlomas vienu traukinio reisų važiuojančio keleivio ir jo vežėjo patiriamų sąnaudų matematinis modelis, remiantis kuriuo ir atsižvelgiant į tam tikru maršrutu važiuojančių keleivių skaičiaus pokyčius nustatoma, koks turi būti traukinio ilgis, trauka, kitos komponentės. Tyrimai parodė, kad tokiu būdu keleivių vežimo atskirais Lietuvos geležinkelių maršrutais

nuostolius galima sumažinti keturis kartus, o iš keleivių vežimo tais reisais, kuriais važiuoja pilni traukiniai, gauti teigiamą rezultatą.

3. Remiantis atliktos detalios keleivių vežimo tam tikrais maršrutais srautų analizės duomenimis ir atsižvelgiant į šių srautų kaitos tendencijas, transporto priemonių poreikį, buvo nustatyta, kad tikslinga riedmenų parką papildyti greitai ir lengvai transformuojamomis keleivių vežimo priemonėmis, pvz., komfortiniais moduliniiais traukiniais, kurie ypač tinka, kai yra mažas keleivių skaičius, o važiavimo atstumai nėra dideli.

4. Narystė Europos Sąjungoje įpareigoja Lietuvą prisitaikyti prie transeuropinių geležinkelių koridorių techninės sąveikos sąlygų. Nustatomas pereinamasis laikotarpis, per kurį likusi šalies geležinkelių infrastruktūra turi būti pritaikyta pagal pagrindinius reikalavimus. Pagrindinis dalykas, nustatantis geležinkelių tinklo sąveikos apimtį, yra tokiems pokyčiams reikalingų sąnaudų ir gaunamos naudos apskaičiavimas atsižvelgiant į visų geležinkelių transporto sistemos suinteresuotų šalių sprendimus.

5. Tikslinga sukurti tokį imitacinį modelį, kuris, atsižvelgiant į įvairias sąnaudų ir naudos sąlygas ir atskirų geležinkelių transporto sistemos suinteresuotų šalių sprendimų apribojimus, leis keliais būdais įvertinti transporto sistemos techninės sąveikos reikalavimų įgyvendinimo galimybes.

6. Parinkta kompleksinė statistinių rodiklių sistema ir metodika, leidžianti pateikti vibracijos pagreičių spektrinę duomenų analizę, vagono tolygios eigos rodiklius, apskaičiuoti integralinius parametrus ir įvertinti keleivių komfortą skirtingose traukinio vietose ir lygiuose, parengti pasiūlymus gerinti keleivių komfortą, optimizuoti keleivių vežimo proceso dalyvių sąnaudas. Keleivių vežimo geležinkeliais proceso gerinimas susijęs ir su keleivių aptarnavimo kokybės korporatyvinės vadybos sistemos įdiegimu. Jos paskirtis – sukurti ir įgyvendinti į klientą orientuotą ir efektyvią keleivių aptarnavimo technologiją. Keleivių vežimo paslaugų plėtra turi būti plėtojama atsižvelgiant į šio proceso ekonominį efektyvumą, ekologinį racionalumą ir socialinį pagrįstumą.

#### Literatūra

Butkevičius, J. 2011. *Research and Development of Passenger Transport by Lithuanian Railway*: monograph. Vilnius: Technika. 220 p.

Corbridge, C.; Griffin, M. J.; Harborough, P. R. 1989. Seat dynamics and passenger comfort. Institution of Mechanical Engineers, *J Rail and Rapid Transit* 203: 57–64.

Čiočys, V.; Jasilionis, R. 1990. *Mathematical Programming*, Vilnius: Mokslas. 302.

Dailydka, S. 2011. *A study on the Options of Means for Railway Passenger Transportation*: Doctoral Thesis. Vilnius: Technika.

*Dėl transeuropinės paprastųjų geležinkelių sistemos traukinių eismo organizavimo ir valdymo posisteminės techninės sąveikos specifikacijos*. 2011. Komisijos sprendimas (OL 2011 L 144, p. 1).

*Dėl transeuropinės paprastųjų ir greitųjų geležinkelių sistemos techninės sąveikos specifikacijos „Geležinkelių tunelių sauga“*. 2007. Komisijos sprendimas (OL 2008 L 64, p. 1).

*Dėl transeuropinės paprastųjų ir greitųjų geležinkelių sistemos techninės sąveikos specifikacijos „Žmonės su judėjimo negalia“*. 2007. Komisijos sprendimas (OL 2008 L 64, p. 72).

Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2008/57/EB (2008). Dėl geležinkelių sistemos sąveikos Bendrijoje (nauja redakcija) (OL 2008 L 191, p. 1).

Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2004/49/EB. 2004. Dėl saugos Bendrijos geležinkeliuose ir iš dalies pakeičianti Tarybos direktyvą 95/18/EB dėl geležinkelio įmonių licencijavimo bei Direktyvą 2001/14/EB dėl geležinkelio infrastruktūros pajėgumų paskirstymo, mokesčių už naudojimąsi geležinkelių infrastruktūra ėmimo ir saugos sertifikavimo (Saugos geležinkeliuose direktyva) (OL 2004 m. specialusis leidimas, 7 skyrius, 8 tomas, p. 227) su paskutiniais pakeitimais, padarytais 2008 m. gruodžio 16 d. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2008/110/EB (OL 2008 L 345, p. 62).

*EU Energy and Transport in Figures. Statistical Pocketbook*. 2010. Directorate general for Energy and Transport. Luxembourg.

*Evaluation of Losses Incurred Due to Negative Transport effect in the Urban Zones*. 2009. Final Report for the Ministry of the Republic of Lithuania, VGTU. Vilnius.

Froidh, O. 2006. Modelling operational costs of a future high-speed train, in *VII Congress of Transport Engineering (CIT)*, 14–16.

*High Speed Rail*. 2010. Fast track to sustainable. International Union of Railways (UIC).



Howarth, H. 2004). A comparison of standardized methods of evaluating rail vehicle vibration with respect to passenger discomfort, *Paper Presented at the 39th United Kingdom Conference on Human Response to Vibration*, Ludlow, England.

Jacyna, M.; Szkopiński, J. 2013. *Aspects of Changes in the Railway Transport System by Installing Interaction*. Politechnika Warszawska, praca naukowa, Transport z. 97. Warszawa.

Li, K. P.; Gao, Z. Y.; Mao, B. H.; Cao, C. X. 2009. Optimizing Train Network Routing Using Deterministic Search, *Journal of Networks and Spatial Economics (Infrastructure Modelling and Computation)* 9: 1–13.

Lysenko, Ī. A. 2006. *Functional Aspects of Control over Current Expenditure of Passenger Local Railway Companies*: author's summary of thesis for the degree of Ph D in Economics. Yekaterinburg.

Maskeliūnaitė, L. 2013. *The Model for Multicriteria Evaluation of the Quality of Passenger Transportation by International Trains*. Doctoral Thesis. Vilnius: Technika.

*Mechaniniai virpesiai ir smūgiai. Vibracijos, veikiančios visą žmogaus kūną, poveikio įvertinimas. 1 dalis. Bendrieji reikalavimai. LST ISO 2631-1*. 2004. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas.

Sivilevičius, H.; Maskeliūnaitė, L.; Petkevičienė, B.; Petkevičius, K. 2012. The model of evaluating the criteria, describing the quality of organization and technology of travel by international train, *Transport* 27(3): 307–319.

Torunski J. 2009. The quality of transport services in the carriage of passengers, *Zeszyty naukowe Akademii Podlaskiej W Siedlicach, seria: Administracja i zarządzenie*, No 82.

*The Method for Determining the Uniform Motion of the Passenger Carriages*.

*White Book, the Policy of European Transport 2010: time to decide*. 2001. Brussels, COM.

## Santrauka

Keleivių vežimas geležinkeliais istoriškai turi didelę įtaką įvairių šalių ekonomikai, todėl geležinkelių transporto paslaugų plėtros strategija visada nukreipta į kokybiškų keleivių vežimo paslaugų užtikrinimą. Keleivių vežimas geležinkeliais, ypač vietiniais, priemiestiniais

maršrutais, tradiciškai vertinamas ne tik kaip verslo, bet ir kaip socialinė funkcija. Dėl to ypač aktualus išlaidų ir pajamų, gautų keleivių vežimo geležinkelių transportu, valdymo tobulinimas, orientuotas į keleivių vežimo efektyvumą bei integravimąsi į tarptautines transporto sistemas.

Vienu svarbiausių keleivinio transporto ekonominio ir socialinio efektyvumo rodiklių laikoma kelionės laiko ir sąnaudų vertė. Jai įvertinti ir optimizuoti siūlomas vienu traukinio reisu važiuojančio keleivio ir jo vežėjo patiriamų sąnaudų matematinis modelis, kuriuo remiantis ir atsižvelgiant į tam tikru maršrutu važiuojančių keleivių skaičiaus pokyčius nustatoma, koks turi būti traukinio ilgis, trauka, kitos komponentės. Tyrimai parodė, kad tokiu būdu keleivių vežimo atskirais Lietuvos geležinkelių maršrutais nuostolius galima sumažinti keturis kartus, o iš keleivių vežimo tais reisais, kuriais važiuoja pilni traukiniai, gauti teigiamą rezultatą. Remiantis atliktos detalios keleivių vežimo tam tikrais maršrutais srautų analizės duomenimis ir atsižvelgiant į šių srautų kaitos tendencijas, transporto priemonių poreikį, buvo nustatyta, kad tikslinga riedmenų parką papildyti greitai ir lengvai transformuojamomis keleivių vežimo priemonėmis, pvz., komfortiškais moduliniais traukiniais, kurie ypač tinka, kai yra mažas keleivių skaičius, o važiavimo atstumai nėra dideli.

Narystė Europos Sąjungoje įpareigoja Lietuvą prisitaikyti prie transeuropinių geležinkelių koridorių techninės sąveikos sąlygų. Nustatomas pereinamasis laikotarpis, per kurį likusi šalies geležinkelių infrastruktūra turi būti pritaikyta pagal pagrindinius reikalavimus. Pagrindinis dalykas, nustatantis geležinkelių tinklo sąveikos apimtį, yra tokiems pokyčiams reikalingų sąnaudų ir gaunamos naudos apskaičiavimas, atsižvelgiant į visų geležinkelių transporto sistemos suinteresuotų šalių sprendimus.

Straipsnyje analizuojama keleivių vežimo proceso dalyvių patiriamų išlaidų ir keleivių komforto lygio priklausomybė. Parenkama kompleksinė statistinių rodiklių sistema ir metodika, leidžianti pateikti vibracinio komforto įvertinimą skirtingose traukinio vietose ir lygiuose, parengti siūlymus gerinti keleivių komfortą, optimizuoti keleivių vežimo proceso dalyvių sąnaudas. Keleivių vežimo geležinkeliais proceso gerinimas susijęs ir su keleivių aptarnavimo kokybės korporatyvinės vadybos sistemos įdiegimu. Jos paskirtis – sukurti ir įgyvendinti į klientą orientuotą ir efektyvią keleivių

aparnavimo technologiją. Keleivių vežimo paslaugų plėtra turi būti plėtojama atsižvelgiant į ekonominį šio proceso efektyvumą, ekologinį racionalumą ir socialinį pagrįstumą.

**Raktiniai žodžiai:** geležinkeliai, keleivių vežimas, tobulinimas, optimizavimas, ekonominiai aspektai

Straipsnis recenzuotas

---

**IMPROVEMENT OF THE PASSENGERS  
TRANSPORTATION BY RAIL: ECONOMIC ASPECTS**

**Stasys DAILYDKA**, Dr

**Vytautas LINGAITIS**, Dr

Vilnius Gediminas Technical University

**Stanislovas NAIMOVICIUS**, Dr

JSC „Lithuanian railways“

**Summary**

*Historically, passenger transportation by railway plays a significant role in national economies; therefore, the development of railway transport is always aimed at high-quality assurance of public transport operations. Passenger railway transportation, especially by local, suburban routes, is traditionally viewed not only as a business function, but also as a social government-supported one. For this reason, improvement of the management of expenses and incomes received from passenger transportation by railway aimed at passenger transportation efficiency as well as integration in international transport system is a matter of particular importance.*

*The value of the run time and costs is considered as one of the most important indicators of the economic and social efficiency of passenger transport. To evaluate and optimize this value, the article proposes a mathematical model of costs incurred by a passenger*

*and carrier for one train run, which evaluates the train length, traction and other components depending on the change in the number of passengers on the route. Studies show that in this way, it is possible to reduce passenger losses at separate Lithuanian railway routes by 4 times and to obtain a positive result at passenger-occupied routes. Having performed analysis and established trends of their changes and needs for transport vehicles, it is expedient to supplement the fleet of rolling stock with quickly and easily transformable passenger vehicles, e.g., with comfortable modular trains. It is especially appropriate when the number of passengers is low and transportation distances are not long. Membership in the European Union obligates the member states to adjust to the technical specifications for interoperability of trans-European railway corridors. The main aspect in establishing the scope and moment for introducing technical interoperability in the railway network is to determine the costs and benefit of such changes with regard to the solutions of all the concerned parties of the railway transport system.*

*The article analyses the dependency between the expenses incurred by participants of the passenger transportation process and passenger comfort level. An integrated system of statistical indicators and a methodology that allows providing a vibration comfort evaluation in different train seats/births and levels and preparing proposals for improvement of passenger comfort and optimization of costs of participants of the passenger transportation process are selected. The improvement of passenger railway transportation process is associated with the implementation of a passenger service quality corporate management system. Its purpose is to establish and implement a customer-oriented and effective passenger service technology. Passenger transport expansion should be well-balanced with regard to the economic efficiency, environmental rationality, and social reasonability of this process.*

**Keywords:** railway, passengers transportation, improvement, optimization, economic aspects

Copyright of Public Administration (16484541) is the property of Lithuanian Public Administration Training Association and its content may not be copied or emailed to multiple sites or posted to a listserv without the copyright holder's express written permission. However, users may print, download, or email articles for individual use.