VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
GELEŽINKELIŲ TRANSPORTO KATEDRA

Karolis Baublys

PREKINIŲ TRAUKINIŲ EKSPLOATACINIŲ PARAMETRŲ LYGINAMOJI ANALIZĖ
COMPARABLE ANALYSIS OF FREIGHT TRAIN EXPLOITATION PARAMETERS

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621E20003
Geležinkelių transporto inžinerijos specializacija
Sausumos transporto inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2015

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
GELEŽINKELIŲ TRANSPORTO KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

_____
(Parašas)
Gediminas Vaičiūnas
(Vardas, pavardė)

_____
(Data)

Karolis Baublys

PREKINIŲ TRAUKINIŲ EKSPLOATACINIŲ PARAMETRŲ LYGINAMOJI ANALIZĖ
COMPARABLE ANALYSIS OF FREIGHT TRAIN EXPLOITATION PARAMETERS

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621E20003
Geležinkelių transporto inžinerijos specializacija
Sausumos transporto inžinerijos studijų kryptis

Vadovas dr. doc. Gintautas Bureika _____ 2015-05-27
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Lietuvių kalbos konsultantas lekt. dr. Petrėtienė _____ 2015-05-22
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Vilnius, 2015

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
GELEŽINKELIŲ TRANSPORTO KATEDRA

Sausumos transporto inžinerijos studijų kryptis

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621E20003

Geležinkelių transporto inžinerijos specializacija

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(parašas)

Gediminas Vaičiūnas
(Vardas ir pavardė)

2013-11-28
(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS
2013-11-27 Nr. 01
Vilnius

Studentui **KAROLIUI BAUBLIUI**
(Vardas ir pavardė)

Baigiamojo darbo tema ***Prekinių traukinių eksploatacinių parametrų lyginamoji analizė***

patvirtinta 2013 m. lapkričio 7 d. dekano potvarkiu Nr. 488ti.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2015 m. gegužės mėn. 15 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:
Įvadas. Literatūros šaltinių apžvalga. Problematikos ir tyrimo tikslo formulavimas. Prekinių traukinių eksploatacinių parametrų analizė. 100vinių apyvartos ir prekinių riedmenų parko kitimas. Prekinių traukinių eksploatacinių parametrų matematinis modeliavimas. Prekinių traukinių vardavimo parametrų palyginamoji analizė. Dangiakriterinis prekinių žilumvėžių eksploatacinio kokybės vertinos. Bendrosios išvados

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai: lietuvių kalbos konsultantė, lektorė Angelika Petrėtienė
(Pedag. vardas/moksl. laipsnis, vardas ir pavardė)

Vadovas ..... (Parašas)

doc. dr. Gintautas Bureika
(Pedag. vardas/moksl. laipsnis, vardas ir pavardė)

Užduotį gavau
..... (Parašas)

Karolis Baublys
(Vardas ir pavardė)

2013-11-28
(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Transporto inžinerijos fakultetas
Geležinkelių transporto katedra

ISBN ISSN
Egz. sk. .....
Data .....-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Transporto inžinerijos** programos magistro baigiamasis darbas

Pavadinimas **Prekinių traukinių eksploatacinių parametrų lyginamoji analizė**

Autorius **Karolis Baublys**

Vadovas **doc. dr. Gintautas Bureika**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame darbe nagrinėjami 2009–2014 metais AB „Lietuvos geležinkeliai" kroviniams vežti naudojami prekiniai riedmenys, analizuojami ir lyginami jų eksploatacijos duomenys, vertinamos jų eksploatavimo sąnaudos.

Atliktas LG turimų prekinių šilumvežių važiavimo modeliavimas traukiant parinktos masės prekinių vagonų sąstatus ruožu Vilnius–Kaišiadorys. Prekinių riedmenų naudojimo efektyvumas nustatomas daugiakriterio ir kompleksinio vertinimo metodais. Prekiniai traukiniai vertinami remonto darbų ir eksploatacijos sąnaudų aspektais. Keičiant vertinimo kriterijų svarbos koeficientų reikšmes, nustatytas prekinių riedmenų efektyvaus naudojimo reitingai.

Baigiamąjį darbą sudaro 5 pagrindinės dalys, išvados, siūlymai bei literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 80 p. teksto be priedų, 38 paveikslai, 20 lentelių, 23 literatūros šaltiniai.

Atskirai pridedami darbo priedai.

Prasminiai žodžiai: Kroviniai, šilumvežiai, vagonai, daugiakriterio vertinimo metodai, modeliavimas

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Transport Engineering
Department of Railway Transport

ISBN ISSN
Copies No. .....
Date .....-.....-.....

Master Degree Studies **Transport Engineering** study programme Master Graduation Thesis

Title	**Comparable analysis of freight train exploitation parameters**
Author	**Karolis Baublys**
Academic supervisor	**Assoc Prof Dr Gintautas Bureika**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

The paper describes Joint-Stock Company „Lietuvos geležinkeliai" freight rolling-stocks, rail freight transportation technical data. Also exploitation parameters from the 2009–2014 investigation period are analyzed and compared.

Further model of freight train exploitation parameters with different traction rail vehicles on Vilnius–Kaišiadorys stretch is defined. Freight trains are valued by repair work and exploitation expenditures aspects.

Efficiency of freight rolling-stocks usage is determined by three multi-criteria and complex evaluation methods. Results of freight rolling-stocks operative usage were obtained by changing the criteria for critical values of the coefficients.

The final work contains 5 basic charts, conclusions and references.

The scope of the work to 78 p. text without appendixes, 38 pictures, 20 tables, 23 bibliographical entries.

Separately, the appendixes

Keywords: Freight, locomotive, rolling-stocks, evaluation, comparison, multi-criteria, modeling

Vilniaus Gedimino technikos universiteto egzaminų, sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo bei gynimo organizavimo tvarkos aprašo 2011-2012 m. m.
1 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Karolis Baublys, 20093335
(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Transporto inžinerijos fakultetas
(Fakultetas)

Transporto inžinerija, GTfm-13
(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO) SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2015 m. gegužės 22 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Prekinių traukinių eksploatacinių parametrų lyginamoji analizė" patvirtintas 2013 m. lapkričio 7 d. dekano potvarkiu Nr. 488ti, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Mano darbo vadovas doc. dr. Gintautas Bureika.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).

(Parašas)

Karolis Baublys
(Vardas ir pavardė)

TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS....8
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS....9
SANTRUMPOS....10
ĮVADAS....11
1. LITERATŪROS ŠALTINIŲ APŽVALGA IR TYRIMO OBJEKTO ANALIZĖ....13
1.1. Publikacijų geležinkelio riedmenų matematinio modeliavimo tematika apžvalga....13
1.2. Publikacijų geležinkelio riedmenų eksploatacinių parametrų tyrimo tematika apžvalga....17
1.3. Publikacijų degalų normų tikslinimo ir mažinimo tematika apžvalga....21
1.4. Tyrimo objekto analizė ir problemos formulavimas....23
1.5. Skyriaus išvados....25
2. KROVINIŲ APYVARTOS DINAMIKA IR PREKINIŲ RIEDMENŲ PARKAS....26
2.1. AB „Lietuvos geležinkeliai“ pajamų ir išlaidų analizė....26
2.2. Krovinių vežimo apimčių kitimo analizė....27
2.3. Šilumvežių ir vagonų parko kitimo analizė....30
2.4. Nagrinėjamo kelio ruožo Vilnius–Kaišiadorys analizė....34
2.5. Skyriaus išvados....35
3. PREKINIŲ RIEDMENŲ TECHNINĖS EKSPLOATACIJOS ANALIZĖ....36
3.1. Remontai ir techninė priežiūra....37
3.2. Prekinių sąstatų eksploatacinio darbo analizė....37
3.3. Prekinių šilumvežių techninės būklės vertinimo rodikliai....41
3.4. Prekinių šilumvežių eksploatacijos parametrų analizė....42
3.5. Prekinių traukinių eksploatacinių parametrų kompleksinis vertinimas....47
3.6. Skyriaus išvados....49
4. PREKINIŲ TRAUKINIŲ EKSPLOATACINIŲ PARAMETRŲ MATEMATINIS MODELIAVIMAS....50
4.1. Traukinio judėjimo varžos....52
4.1.1. Pagrindinių traukinio judėjimo varžų apskaičiavimas....52
4.1.2. Papildomų traukinio judėjimo varžų apskaičiavimas....54
4.2. Traukinio stabdymo jėgos nustatymas....55
4.3. Šilumvežio traukos charakteristikos sudarymas....57
4.4. Traukinio sąstato masės nustatymas....60
4.5. Greičio apribojimų nustatymas ruože Vilnius–Kaišiadorys....63
4.6. Kelio išilginio profilio redukavimas....64
4.7. Traukinio važiavimo trukmė ir degalų sąnaudos pasirinktame kelio ruože....65
4.8. Traukos elektros variklių patikrinimas dėl perkaitimo....70
4.9. Skyriaus išvados....71
5. PREKINIŲ ŠILUMVEŽIŲ DAUGIAKRITERIS VERTINIMAS....72
5.1. Šilumvežių eksploatavimo kokybės vertinimas....72
5.2. Skyriaus išvados....75
BENDROSIOS IŠVADOS....76
LITERATŪRA....77
PRIEDAI....79

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Metinė prekinių šilumvežių degalų ekonomija ruože Vaidotai–Klaipėda 20
2.1 lentelė. Įvairių tipų vagonais gabenamų krovinių tipai 29
2.2 lentelė. Šilumvežių darbo rodikliai 2009–2014 metais 32
3.1 lentelė. Šilumvežių ridos ir periodiškumo nuo atlikto remonto iki kito remonto normos 42
3.2 lentelė. Prekinių šilumvežių atliktų bei planuojamų atlikti remontų skaičius.....43
3.3 lentelė. Prekinių šilumvežių TP-3 ir ER-1 atlikimo kainos 44
3.4 lentelė. Prekinių šilumvežių faktinės degalų sąnaudos 45
3.5 lentelė. Prekinių šilumvežių eksploatacinių parametrai ir jų reikšmės 46
3.6 lentelė. Prekinių traukinių eksploatacijos parametrų žymenys 48
3.7 lentelė. Prekinių traukinių eksploatacinių parametrų vertinimo duomenys 48
4.1 lentelė. Prekinių vagonų stabdžių trinkelių prispaudimo jėga 56
4.2 lentelė. Skaičiavimams naudojamų prekinių šilumvežių duomenys.....59
4.3 lentelė. Šilumvežių traukos jėga pajudant iš vietos, esant normalioms sąlygoms 62
4.4 lentelė. Šilumvežių ir vagonų ilgiai.....62
4.5 lentelė. Suminis kelio ruožo ilgis važiuojant įkalne, nuokalne bei horizontaliu keliu ruože Vilnius–Kaišiadorys ir Kaišiadorys–Vilnius.....65
4.6 lentelė. Sumodeliuoti prekinio traukinio važiavimo rodikliai kelio ruože Vilnius–Kaišiadorys .69
4.7 lentelė. Sumodeliuoti prekinio traukinio važiavimo rodikliai kelio ruože Kaišiadorys–Vilnius .70
5.1 lentelė. Daugiakriterio prekinių šilumvežių vertinimo kriterijai.....73
5.2 lentelė. Šilumvežių vertinimo kriterijai ir vertinimo svarbos koeficientų reikšmės 74
5.3 lentelė. Suvestiniai šilumvežių vertinimo rezultatai, kai vertinama remiantis skirtingais kriterijų svarbos koeficientais 75

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Bedimensė šilumvežio traukos charakteristika 14
2 pav. Išilginės dinamikos traukinio modelis.....14
3 pav. Šilumvežio 2TE116 principinė energetikos schema 15
4 pav. Traukinio važiavimo modelio schema.....16
5 pav. Traukinio modelių palyginimas.....16
6 pav. Šilumvežio, iš inercijos, pravažiuoto atstumo priklausomybė nuo įkalnės dydžio 17
7 pav. Šilumvežio pagreičio priklausomybė nuo judėjimo greičio 18
8 pav. Šilumvežio 2ER20CF greičio priklausomybė nuo kreivės spindulio.....18
9 pav. Šilumvežių galimos įveikti įkalnės dydžio priklausomybė nuo važiavimo greičio 19
10 pav. Šilumvežių degalų sąnaudos priklausomai nuo ašių apkrovos.....19
11 pav. Šilumvežių variklių degalų sąnaudos veikiant tuščiąja eiga (kg/h) ir nominalia galia (g/kW h).....20
12 pav. Prekinių šilumvežių degalų sąnaudų priklausomybė nuo sąstato ašių skaičiaus, kai traukiamo sąstato masė 4 000 tonų 21
13 pav. Traukinio greičio kitimo diagrama.....22
14 pav. Prekinių traukinių eksploatacinių parametrų analizės struktūrinė schema.....24
15 pav. AB „Lietuvos geležinkeliai“ pajamų ir sąnaudų kitimas 26
16 pav. 2012 m., 2013 m. ir 2014 metais AB „Lietuvos geležinkeliai“ vežtų krovinių kiekiai 27
17 pav. AB „Lietuvos geležinkeliai“ vežti kroviniai pagal nomenklatūrą.....28
18 pav. Prekinių šilumvežių parko kitimas 2009–2014 metais.....31
19 pav. Prekinių vagonų parko kitimas 2009–2014 metais. 33
20 pav. AB „Lietuvos geležinkeliai“ geležinkelio keliai ir stotys 34
21 pav. Prekinių traukinių priėmimo ir išleidimo iš priežiūros punktų kitimas.....38
22 pav. Patikros punktuose atkabintų vagonų skaičiaus kitimas 39
23 pav. Vagonų remonto apimčių kitimas 39
24 pav. 2014 metais ER punktuose suremontuotų vagonų dalis pagal rūšis.....40
25 pav. Riedmenų techninę būklę lemiantys techniniai veiksniai 41
26 pav. Prekinių šilumvežių remontų periodiškumas 43
27 pav. Prekinių šilumvežių TP-3 ir ER-1 laiko sąnaudos 44
28 pav. 2M62M serijos šilumvežio faktinės degalų sąnaudos, esant įvairiems variklio darbo režimams 45
30 pav. ER20CF serijos šilumvežio faktinės degalų sąnaudos, esant įvairiems variklio darbo režimams 46
31 pav. Prekinių traukinių eksploatacinių parametrų skaičiavimo modelio bendroji schema 50
32 pav. Tipinės pagrindinės lyginamųjų varžų priklausomybių nuo greičio kreivės.....53
33 pav. Apskaičiuotos šilumvežių sankibos traukos jėgos charakteristikos 60
34 pav. Supaprastintos traukinio greičio apribojimų priklausomybės nuo kelio nuolydžių 64
35 pav. Sumodeliuoti traukinių važiavimo greičiai kelio ruože Kaišiadorys–Vilnius.....67
36 pav. Sumodeliuoti traukinių važiavimo greičiai kelio ruože Vilnius–Kaišiadorys.....67
37 pav. Degalų sąnaudų kitimas priklausomai nuo šilumvežio serijos kelio ruože Vilnius–Kaišiadorys.....69
38 pav. Degalų sąnaudų kitimas priklausomai nuo šilumvežio serijos kelio ruože Kaišiadorys–Vilnius.....70

SANTRUMPOS

AB – akcinė bendrovė

CAT – „Caterpillar” vidaus degimo variklių gamintojas

ER – einamasis remontas

GM – geometrinių vidurkių įverčių metodas

JKTAP – jungtinis komercinės techninės apžiūros punktas

KR – kapitalinis remontas

LB – lokomotyvo brigada

LG – AB „Lietuvos geležinkeliai“

LR – Lietuvos Respublika

MTU – Vokietijos įmonė, gaminanti vidaus degimo variklius

NATO – Šiaurės Atlanto Sutarties Organizacija

PVM – pridėtinės vertės mokestis

RID – pavojingų krovinių tarptautinio vežimo geležinkeliais taisyklės

SAW – paprastųjų rodiklių įverčių metodas

SOR – rodiklių vietų sumos metodas

SSRS – Sovietų Sąjunga

TEV – traukos elektros variklis

TP – techninė priežiūra

TVPP – techninės vagonų priežiūros punktas

UAB – uždara akcinė bendrovė

VDV – vidaus degimo variklis

ĮVADAS

AB „Lietuvos geležinkeliai“ yra didžiausias krovinių vežėjas Lietuvoje. Kroviniams vežti naudojami krovinių vežimo vienetai – prekiniai traukiniai. Prekiniai traukiniai, jų eksploatacija ir krovinių vežimų kokybiniai bei kiekybiniai rodikliai yra itin svarbūs LG veikslo rezultatams. Didžioji dalis LG gaunamų pajamų, remiantis įvairiais literatūros šaltiniais ir LG viešai skelbiamomis veiklos ataskaitomis, iš krovinių vežimų sudaro apie 90 % visų pajamų. Dauguma mokslininkų – tyrėjų prekinius traukinius tiria nagrinėdami traukinius veikiančias išorines ir vidines jėgas arba kažkurio traukinio elemento (šilumvežio, vagonų, elektrinių traukinių ir t.t.) eksploatacinius rodiklius. Atsižvelgiant į tai, kad krovinių vežimų darbą atlieką prekinis traukinys, kaip elementų visuma, Lietuvos atveju visus prekinius sąstatus traukia tik dyzeliniai šilumvežiai. Tikslinga atlikti kompleksinę prekinių traukinių lyginamąją analizę.

LR statistikos departamento prie LRV duomenimis, krovinių vežimas geležinkelių tr. 2009–2014 metais sudarė apie 40 % visų transporto rūšių krovinių vežimų Lietuvoje. AB „Lietuvos geležinkeliai“ krovinių vežimo veiklą vykdo labai konkurencingoje aplinkoje, kur galima išskirti tokius LG pagrindinius konkurentus krovinių vežimo sektoriuje: kitų rūšių sausumos transportu teikiantys krovinių vežimo paslaugas vežėjai (ypač kelių tr.); kitų šalių (ypač kaimyninės Latvijos) geležinkelių tinklai kartu su krovinių vežimo infrastruktūra (uostais, terminalais); oro linijų bendrovės ir vidaus vandenų bendrovės.

Didžiąją krovinių srauto dalį tarptautinių vežimų rinkoje formuoja Rusijos ir Baltarusijos kroviniai, kurių vežimai 2009–2014 metais sudarė apie 40–45 % visų tarptautiniais maršrutais vežtų krovinių kiekio. Vietinėje eksporto ir importo rinkoje didžiausią įtaką krovinių vežimo apimtims turi Lietuvos įmonės – AB „OREN Lietuva“, AB „Lifosa“, AB „Achema“, AB „Akmenės cementas“ ir AB „Dolomitas“, nuo kurių gamybos apimčių priklauso ir krovinių vežimo apimtys. Minėtų bendrovių gamybos apimtys ir krovinių vežimų užsakymai 2009–2014 metais sudarė 26–35 % visų geležinkeliais vežtų krovinių kiekio ir apie 95 % vietinės vežimų rinkos. Svarbu išanalizuoti krovinių vežimų apimčių kitimą. Įmonės, labiausiai lemiančios krovinių vežimo geležinkeliais apimtis, dažniausiai užsako vienos rūšies krovinių vežimus, kuriems reikalingi tam tikri specialieji vagonai. Pavyzdžiui, nafta ir jos nefasuoti produktai vežami cisternomis, trąšos – dengtaisiais vagonais, konteineriai – konteinerinėmis platformomis ir pan. Šių tipų vagonai galimai yra intensyviau eksploatuojami negu kiti.

2009–2014 metais AB „Lietuvos geležinkeliai“ eksploatuojamų prekinių riedmenų tipai beveik nekito, išskyrus perdarytus prekinius vagonus vežti kitos paskirties kroviniams. AB „Lietuvos geležinkeliai“ Krovinių vežimo direkcijai priklausantį prekinių šilumvežių parką galima suskirstyti į dvi pagrindines grupes: prekinius-magistralinius ir prekinius ūkio darbų. Prekiniai-magistraliniai

šilumvežiai – tai 2M62, „remotorizuoti“ 2M62K, modernizuoti 2M62M ir SIEMENS šilumvežiai. M62 ir M62K dažniausiai naudojami privažiuojamuose keliuose, stotyse ir skirti atlikti ūkio darbus bei traukti nedidelius sąstatus. Vidutiniškai AB „Lietuvos geležinkeliai“ prekinių vagonų parką sudaro apie 9 000 prekinių vagonų. Šie skirstomi į penkias pagrindines grupes pagal paskirtį: dengtieji vagonai, platforminiai vagonai, pusvagoniai, cisterniai vagonai ir kitos paskirties vagonai. Taip pat prekinius vagonus galima suskirstyti pagal vėžės plotį – 1 520 mm ir 1 435 mm.

Šiame darbe išanalizavus prekinių traukinių eksploatacinius parametrus atlikti kompleksiniai vertinimai, kurių rezultatai pateikiami išvadose.

1. LITERATŪROS ŠALTINIŲ APŽVALGA IR TYRIMO OBJEKTO ANALIZĖ

Šios apžvalgos paskirtis yra susipažinti su aktualia informacija, magistrinio darbo tema „Prekinių traukinių eksploatacinių parametrų palyginamoji analizė“. Literatūros apžvalga yra apibendrinta informacija, kuri buvo surinkta naudojantis internetine prieiga, mokymosi įstaigos sukaupta mokslinių darbų, straipsnių ir kitų publikacijų duomenų bazėmis. Nagrinėjama visi panašūs, aktualūs mokslinės informacijos šaltiniai. Išskiriami raktiniai žodžiai (traukinys, lokomotyvas, šilumvežis, eksploatacija, analizė), kurie padeda greičiau surasti reikalingą informaciją ir ją panaudoti. Palyginamoji analizė reiškia, kad bus nagrinėjama jau, per tam tikrą laiką, sukaupta informacija apie tam tikrus tiriamuosius objektus – prekinius traukinius. Taip pat siekiant adekvačiai palygint prekinius traukinius apžvelgti literatūros šaltiniai, kurių tematika susijusi su eksploatacinių parametrų (degalų sąnaudų, važiavimo trukmės) matematiniu modeliavimu. Prekiniai traukiniai pasižymi dideliu įdirbiu per sąlyginai trumpą darbo laiką, labai svarbu, kad traukinys atliktų savo funkcijas be nenumatytų gedimų ir jų remonto.

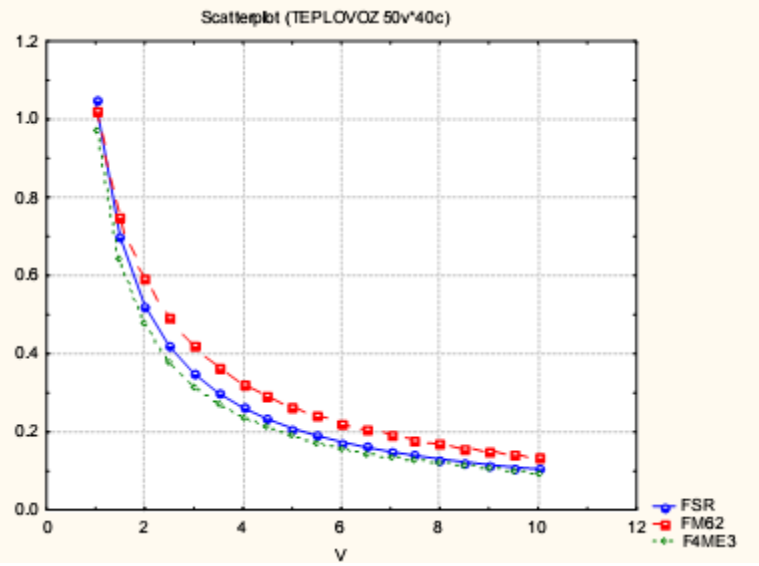
1.1. Publikacijų geležinkelio riedmenų matematinio modeliavimo tematika apžvalga

Šilumvežių išvystoma traukos jėga yra labai svarbus veiksnys eksploatuojant prekinius traukinius. Šilumvežiai turintys didžiausias traukos jėgas pajudant iš vietos ir kuo tolygiau kintančią traukos jėga didėjant važiavimo greičiui gali traukti didesnės masės sąstatus negu kiti. Įvairiuose literatūros šaltiniuose mokslininkai skirtingai nagrinėja šilumvežių trauką. Vienas iš būdų aprašyti šilumvežių traukos jėgą yra bedimensė traukos charakteristika. Siekiant apskaičiuoti bedimensę traukos charakteristiką priimama, kad traukos jėga apribojama rato ir bėgio sankiba bei šilumvežio galia (Босов *et al.* 2005). Teigiama, kad bedimensė traukos jėga apskaičiuojama taikant formulę:

$$f = 0,023 + \frac{0,996}{v}; \tag{1}$$

čia v – važiavimo greitis.

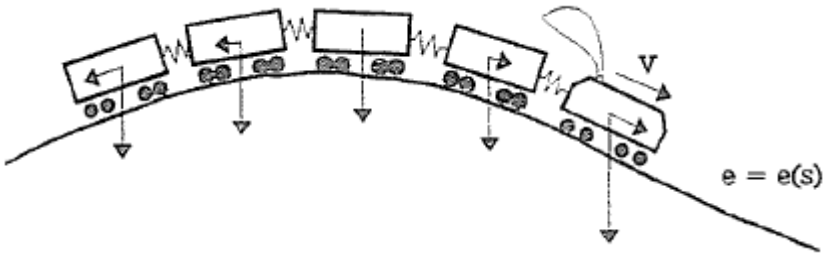
Grafinis šios bedimensės traukos jėgos atvaizdavimas pateiktas 1 pav.



1 pav. Bedimensė šilumvežio traukos charakteristika

1 pav. pateikta, pagal 1 formulę apskaičiuota, bedimensės traukos jėgos charakteristika gali būti taikoma tik M62 serijos šilumvežiams. Kitais atvejais reikia perskaičiuoti koeficientus esančius formulėje.

Daugelis pasaulio mokslininkų nagrinėja traukinio važiavimo metu vykstančius dinaminius procesus. Traukinio dinaminis modelis (2 pav.) yra supaprastinamas ir aprašomas kaip tamprių, slopinančių ir standžių elementų išilginis judėjimas (Zobory *et al.* 1994).

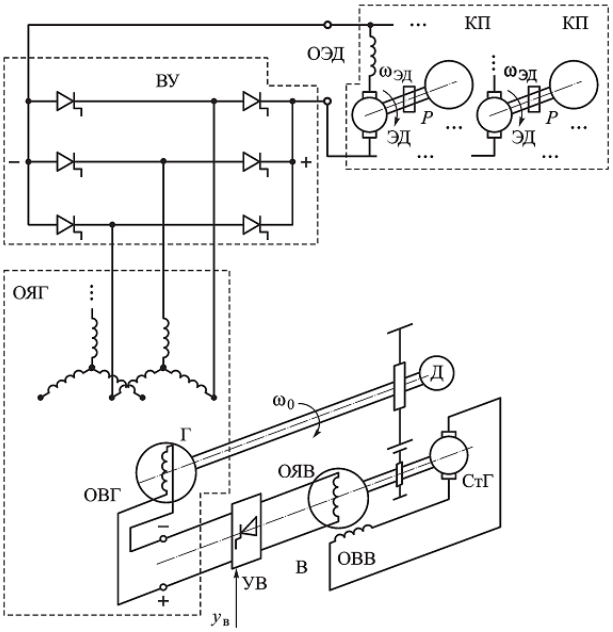


2 pav. Išilginės dinamikos traukinio modelis

Tolygiai kintanti šilumvežio traukos jėga aprašoma remiantis traukos charakteristika. Traukinys aprūpintas pneumatine stabdymo sistema. Judėjimo varžos charakterizuoja traukinio riedmenis, o geležinkelio kelią – kelio kreivių ir nuolydžių funkcijos. Traukinio judėjimo lygtys išsprendžiamos realaus laiko sąlygomis.

Prekinius šilumvežius galima nagrinėti sudarant jų matematinį energijos parametrų modelį. Matematinis šilumvežio elektros įrenginių modelis naudojamas kintančių procesų aprašymui ir šilumvežio judėjimui aprašyti. Šilumvežio energijos įrenginiai susideda iš mechaninės energijos šaltinio – dyzelinio variklio, įrenginių konvertuojančių mechaninę energiją į elektros energiją –

generatorių, perduodančių energiją į varančiuosius aširačius – traukos varikliai ir pagalbiniai įrenginiai – kompresoriai ir t.t. Norint aprašyti kintančius procesus, kurie atsiranda šilumvežio judėjimo metu, naudojamas šilumvežio energijos įrenginių dinaminis modelis (Кузнецов 2008).



3 pav. Šilumvežio 2TE116 principinė energetikos schema, čia: ВУ – srovės lygintuvas; ЭД – traukos variklis; ОЭД –traukos variklių žadinimo apvijos; КП – aširačiai; Р – reduktorius; ОЯГ – traukos variklio inkaro apvijos; ОВГ – generatoriaus žadinimo apvijos; ОЯВ – traukos variklio inkaro žadinimo apvijos; УВ – žadinimo srovės valdomas lygintuvas; В – kintamos srovės generatoriaus valdiklis; ОВВ – žadinimo apvijos; СтГ – starteris-generatorius; y_B – lygintuvo ОВГ valdymo signalas; $\omega_{ЕД}$ – traukos variklių kampinis greitis; Д – dyzelinis variklis; Г – kintamos srovės sinchroninis generatorius

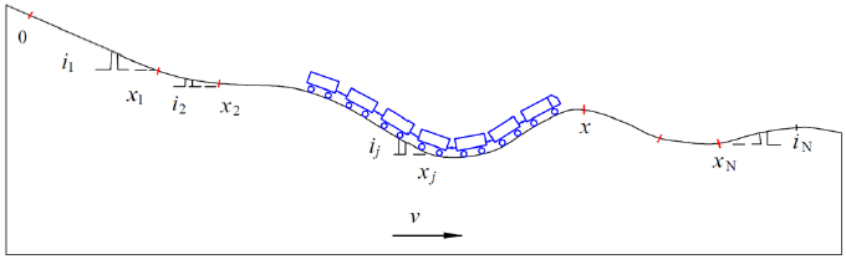
Nuolatinės ir kintamos srovės šilumvežio elektros srovės grandinė nagrinėjama kaip nuolatinės elektros srovės grandinė. Srovės pokytis šilumvežio elektros grandinėje (3 pav.) aprašomas vadovaujantis Kirchhofo dėsniu (Кузнецов 2008):

$$L_{ž}\frac{dI_{ž}}{dt}+L\frac{dI}{dt}+R_{ž}I_{ž}+RI=U-E_{TV}; \qquad (2)$$

čia: $L_{ž}$ – traukos variklių inkaro žadinimo apvijų induktyvumas; L – kintamos srovės generatoriaus žadinimo apvijų induktyvumas; $I_{ž}$ – traukos variklių žadinimo srovė; I – kintamos srovės generatoriaus žadinimo srovė; $R_{ž}$ – traukos variklių žadinimo apvijų varža; R – varža; U – įtampa; E_{EV} – elektrovaros jėga.

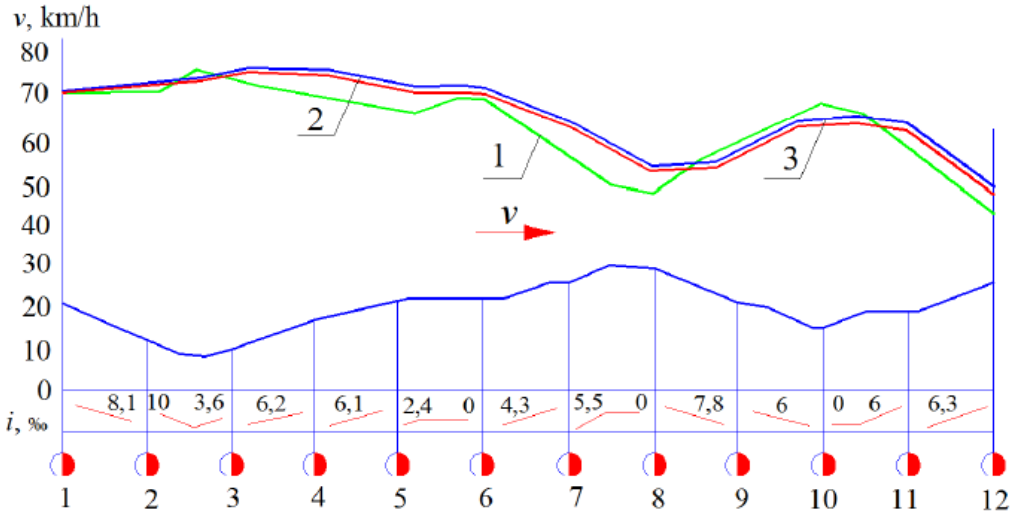
Autoriaus sukurtas šilumvežių energijos įrenginių modelis buvo panaudotas modeliuojant pusiau natūrinius procesus vykstančius keičiantis šilumvežio važiavimo režimams. Kas toliau gali būti panaudota šilumvežių valdymo sistemos tobulinimui (Кузнецов 2008).

Šilumvežių efektyvus naudojimas, optimizuojant jų valdymą išsamiai išnagrinėtas V. Jastremskio daktaro disertacijoje (2012). Disertacijoje nagrinėjamos ilgųjų traukinių važiavimo valdymo režimų nustatymas, siekiant taupyti degalus ir mažinant krovinių bei keleivių vežimo laiką. Pagrindiniai tyrimo objektai yra traukinio važiavimo valdymas ir eismo grafikų sudarymas (Jastremskas 2012). Autorius traukinio važiavimo dinamiką sumodeliavo priimdamas tezę, kad traukinį galima nagrinėti kaip neišsitempiantį L_n ilgio lankstųjį siūlą (4 pav.), o traukinio masė yra šilumvežio ir sąstato masių suma ($P + Q$).



4 pav. Traukinio važiavimo modelio schema

Autorius sudarė ilgojo traukinio judėjimo matematinį modelį, kurio pagalba galima nustatyti tarp atskirų vagonų esančias sukabinimo jėgas, kurios reikalingos optimizuojant sąstato valdymo režimus. Ilgojo traukinio išilginiam judėjimo aprašymui naudoti nesudėtingi matematiniai modeliai, nes toliau buvo sprendžiami optimizavimo uždaviniai, parinkti racionalūs modeliai užtikrinantys patikimus rezultatus. Sudaryta važiavimo tarpstočiais racionalios trukmės esant minimaliom degalų sąnaudom bei vertinant sąstato išilgines dinamines jėgas metodika (Jastremskas 2012).



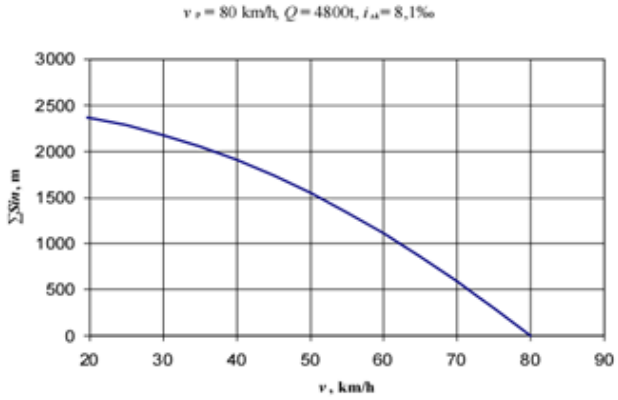
5 pav. Traukinio modelių palyginimas: 1 – traukinys kaip materialusis taškas; 2 – traukinys kaip lankstusis neišsitempiantis siūlas; 3 – traukinys kaip masių sistema

Autoriaus atlikta traukinio greičio trajektorijų analizė (5 pav.) parodė, kad didžiausia gaunama paklaida, kai traukinys laikomas materialiu tašku: paklaida vidutiniškai siekia 3–4 km/h, o skirtumas pagal funkcionalą – 3 %. Paklaida didėja, didėjant traukinio masei ir ilgiui. Tiksliausi

atitikimai gaunami lanksčiojo neišsitempiančio siūlo ir masių sistemos pavidalo modeliais. Didžiausias greičio skirtumas sudaro ne daugiau kaip 0,3–0,6 km/h pneumatinio stabdymo režimu ir ne daugiau kaip 0,1–0,3 km/h kitais režimais (Jastremskas 2012). Autorius modeliuodamas ilgųjų traukinių važiavimą bei optimizuodamas jų valdymą nustatė, kad pasirenkant ilgojo traukinio važiavimo režimą laikoma, kad funkcionalo atžvilgiu racionalus bus tas traukinio valdymas, kurio metu mažiausiai kartų keičiami traukos režimai, sąlygojami kelio išilginio profilio nuolydžiais ir greičio apribojimais (Jastremskas 2012).

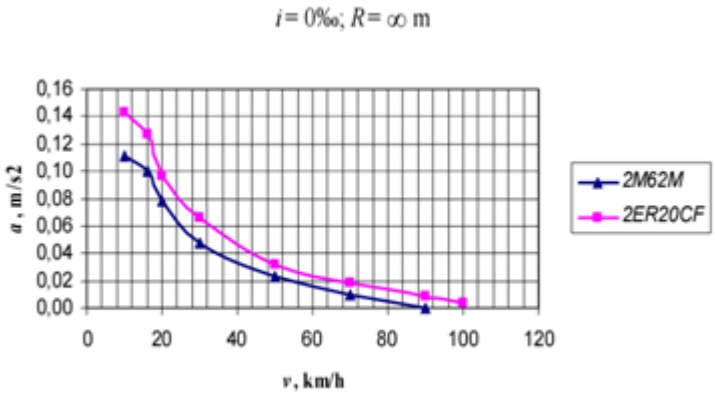
1.2. Publikacijų geležinkelio riedmenų eksploatacinių parametrų tyrimo tematika apžvalga

„Lietuvos geležinkeliai“ naudoja kelių rūšių šilumvežius, yra labai svarbu surinkti ir apdoroti informaciją apie jų eksploatacinius parametrus. Tam, kad būtų galima optimaliai naudoti turimus išteklius ir suplanuoti darbų apimtis. Šilumvežiai eksploatuojami sunkiomis sąlygomis, formuojami kaip galima didesni sąstatai. Tai daroma, kad būtų kuo labiau taupomi degalai ir alyva, tai atsiliepia šilumvežio ilgaamžiškumui. Degalų ir alyvos sąnaudos priklauso ne tik nuo sąstato masės, bet ir nuo kitų eksploatacijos ir aplinkos faktorių. Priklausomai nuo krovinio masės ir bėgių profilio, keičiasi sąstato judėjimo varža, vertinant sąstatą iš to, kokia jo judėjimo varža atsižvelgiama į optimalų judėjimo greitį ir į kelio profilį (kreives ir įkalnes). Nagrinėjama kokiu didžiausiu greičiu galima gabenti kuo sunkesnį, didesnį krovinį, ieškoma optimalios išeities (Bureika *et al.* 2009).



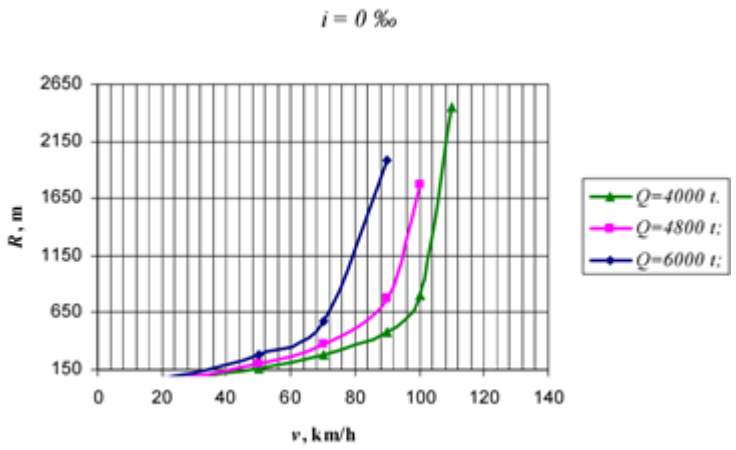
6 pav. Šilumvežio, iš inercijos, pravažiuoto atstumo priklausomybė nuo įkalnės dydžio

Vertinant prekinių šilumvežių eksploatacinius parametrus atsižvelgiama į didžiausią sąstato masę, didžiausią ir ilgiausią įkalnę, kurią gali įveikti šilumvežis, nenaudodamas traukos variklių (6 pav.)



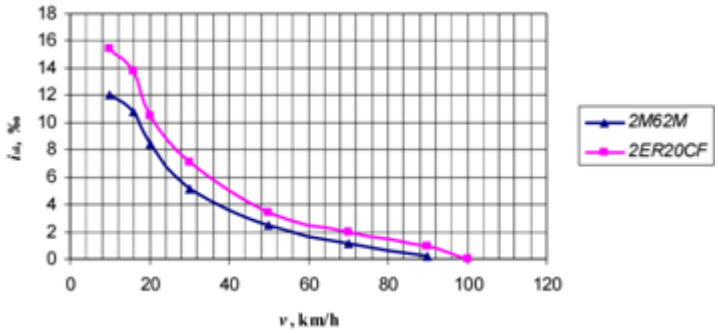
7 pav. Šilumvežio pagreičio priklausomybė nuo judėjimo greičio

Važiavimo greičio ir šilumvežio pagreičio priklausomybė yra svarbus eksploatacijai parametras. Mokslininkas tyrimo metu palygino dviejų serijų šilumvežius, kurie šiuo metu traukia didžiausios masės sąstatus. Šilumvežio pagreičio priklausomybė nuo važiavimo greičio (7 pav.) įvertina traukos jėgos rezervą, kuris gali būti panaudotas greičio padidinimui ar įkalnės įveikimui (Bureika *et al.* 2009).



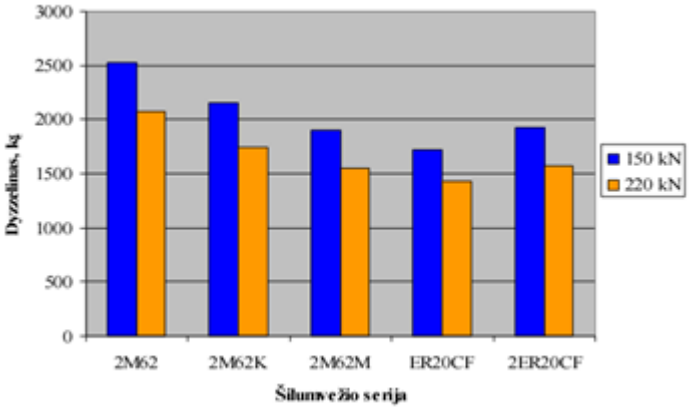
8 pav. Šilumvežio2ER20CF greičio priklausomybė nuo kreivės spindulio

Tiesus geležinkelio kelias realiomis sąlygomis dažniausiai būna tik stotyse. Kitais atvejais kelio ruožai susideda iš įkalnių, nuokalnių ir kreivių. Mažėjant kelio kreivės spinduliui didėja traukinio judėjimo varža. Svarbu nustatyti kaip keičiasi traukinio važiavimo greitis kreivėse. Iš 8 paveiksle pateiktos priklausomybės, kurioje skirtingų masių sąstatus traukia 2ER20CF serijos šilumvežis, matyti kokiu didžiausiu greičiu traukinys įveikia skirtingo spindulio kreives, esant skirtingoms traukinio masėms. Didžiausias 110 km/h greitis kreivėje pasiekiamas, kai sąstato masė yra 4 000 t, o kreivės spindulys 2 450 m. Kai sąstato masė yra 6 000 t didžiausias 90 km/h greitis pasiekiamas kreivės spinduliui esant 2 000 m (Bureika *et al.* 2009).



9 pav. Šilumvežių galimos įveikti įkalnės dydžio priklausomybė nuo važiavimo greičio

Eksploatuojant didelės masės prekinius traukinius susidaro sąlygos, kad traukinys tiesiog negali įvažiuoti į statesnes įkalnes. G. Bureika (2009) palygino 2M62M ir 2ER20CF serijos šilumvežių didžiausios galimos įveikti įkalnės dydžio priklausomybes nuo važiavimo greičio. Tyrimui parinktas techninis šilumvežių greitis ir 5 000 t sąstatas. Iš 9 paveikslo matyti, kad 2ER20CF serijos šilumvežis 16 km/h greičiu ir temdamas 5 000 t sąstatą gali įveikti didesnę įkalnę (iki 15,5 ‰) negu 2M62M šilumvežis. Tai paaiškina ne tik didesnė 2ER20CF šilumvežio galia, bet ir kintamos srovės traukos varikliai, kurie mažiau linkę perkaisti esant perkrovai negu 2M62M šilumvežio nuolatinės srovės varikliai (Bureika *et al.* 2009).



10 pav. Šilumvežių degalų sąnaudos priklausomai nuo ašių apkrovos

G. Bureika šilumvežių degalų sąnaudas nagrinėja atsižvelgdamas į AB „Lietuvos geležinkeliai“ nustatytas prekinių šilumvežių dyzelino normas sektoriuose Vaidotai–Radviliškis ir Radviliškis–Klaipėda. Iš 10 paveiksle pateiktų dyzelino sąnaudų matyti, kad traukiant 4 000 t sąstatą su pilnai pakrautais vagonais (kai ašies apkrova yra 220 kN) sutaupoma iki 18 % degalų palyginus su pusiau pakrautais vagonais (kai ašies apkrova 150 kN).

Autoriaus pasirinktame sektoriuje Vaidotai–Klaipėda įvertino galimą degalų ekonomiją lyginant su 2M62 serijos šilumvežiu. Remtasi statistiniais metiniais krovinių vežimo rezultatais,

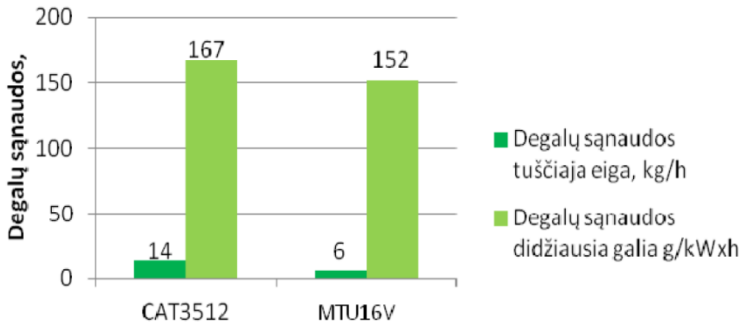
2008 metais šiame sektoriuje vežta maždaug 20 mln. tonų krovinių. Nustatytas šiame sektoriuje atliktas transporto darbas ir 1.1 lentelėje palyginta degalų ekonomija.

1.1 lentelė. Metinė prekinių šilumvežių degalų ekonomija ruože Vaidotai–Klaipėda

Šilumvežio serija	Transportinis darbas, mln. t km	Degalų sąnaudos, tūkst. tonomis	Degalų ekonomija, tūkst. tonomis
2M62	7680	11,50	0
2M62K		9,68	1,82
2M62M		8,69	2,81
ER20CF		7,84	3,66
2ER20CF		8,76	2,74

Iš 1.1 lentelės matyti, kad didžiausias dyzelinių degalų ekonomijos skirtumas traukiant 4 000 t sąstatą yra tarp šilumvežių serijomis2M62K ir SIEMENS ER20CF (Bureika *et al.* 2009).

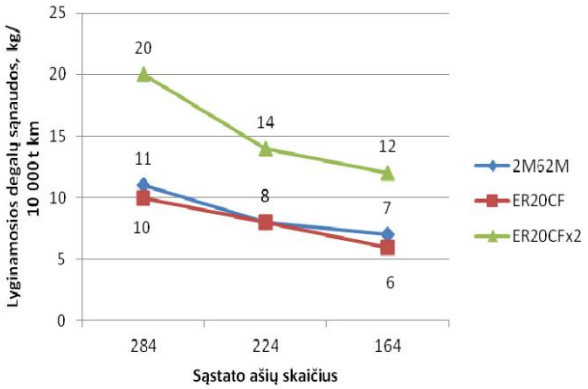
Kai kuriuose (Kosovski *et al.* 2013; Kolobuckis 2010) moksliniuose darbuose prekinių šilumvežių eksploatacija analizuojama atsižvelgiant į degalų sąnaudas. Šilumvežio degalų sąnaudos, kurių reikia sąstatui traukti, priklauso nuo šių veiksnių: kelio profilio, sąstato masės, sąstato ašių skaičiaus, važiavimo greičio, šilumvežio galingumo, valdymo režimo, ekonomiškumo, sustojimų skaičiaus. Šilumvežių degalų sąnaudos priklauso ir nuo variklio tuščiosios eigos sąnaudų (Kosovski *et al.* 2013).



11 pav. Šilumvežių variklių degalų sąnaudos veikiant tuščiąja eiga (kg/h) ir nominalia galia (g/kW h)

Autorius palygino šilumvežių serijų 2M62M ir ER20CF variklių degalų sąnaudas ir nustatė, kad mažiausiai degalų tuščiąja eiga sunaudoja SIEMENS ER20CF prekinis šilumvežis su „MTU 16V“ varikliu (6 kg/h) (11 pav.). Tai yra 2,3 kartų mažiau nei 2M62M prekinis šilumvežis su „CAT 3512“ varikliu ir mažiausiai degalų sunaudoja veikiant varikliui nominalia galia SIEMENS ER20CF prekinis šilumvežis su „MTU 16V“ varikliu (152 g/kW h) (11 pav.). Tai yra 1,09 kartų mažiau 2M62M prekinis šilumvežis su „CAT 3512“ varikliu. Modernizuoti 2M62M, turintys naujo tipo „CAT 3512“ variklį ir nauji SIEMENS ER20CF, turintys „MTU 16V“ variklį, šilumvežiai sutaupo net 19 kg/h (76 %) degalų (Kosovski *et al.* 2013).

Vienas iš svarbiausių prekinių traukinių palyginimo rodiklių yra lyginamosios degalų sąnaudos. Svarbu ne tik kaip efektyviai šilumvežio variklis dirba, bet ir kaip efektyviai šilumvežis atlieka transportinį darbą. Autorius palygino šilumvežių lyginamąsias degalų sąnaudas priklausomai nuo sąstato ašių skaičiaus, kai sąstato masė yra 4 000 t.



12 pav. Prekinių šilumvežių degalų sąnaudų priklausomybė nuo sąstato ašių skaičiaus, kai traukiamo sąstato masė 4 000 tonų

Didėjant sąstato ašių skaičiui, esant tokiai pačiai sąstato masei, degalų sąnaudos didėja (12 pav.). Padidinus sąstato ašių skaičių 60 vnt. (esant 4 000 tonų sąstato masei), sumažėja vidutinė traukinio ašies apkrova. SIEMENS ER20CF šilumvežio degalų sąnaudos yra mažesnės, negu 2M62M prekinio šilumvežio degalų sąnaudos, sutaupoma apie 10 % daugiau degalų. Padidėjus vidutinei traukinio ašies apkrovai 1 kN, degalų sąnaudos sumažėja 1–2 kg/10 tūkst. t km (priklausomai nuo šilumvežio serijos) (Kosovski *et al.* 2013).

1.3. Publikacijų degalų normų tikslinimo ir mažinimo tematika apžvalga

Dyzelinių degalų kainų padidėjimas ir krovinių vežimų sumažėjimas dabartinėje ekonominėje situacijoje gali neigiamai paveikti geležinkelio rentabilumą. Tokiomis sąlygomis energijos taupymo metodikos kūrimas ir naudojimas įgauna itin didelę svarbą. Vienas iš energijos taupymo metodų yra moksliniais tyrimais pagrįstas degalų normų tikslinimas. Sunaudojamų degalų kiekis priklauso nuo šilumvežio dyzelinio variklio techninių parametrų ir variklio darbo režimų, kuriuos lemia valdymas. Tokiu atveju patyręs šilumvežio mašinistas gali sutaupyti 5–10 % degalų nuo nustatytos normas, o tai byloja apie degalų ekonomijos rezervą (Омельяненко *et al.* 2009).

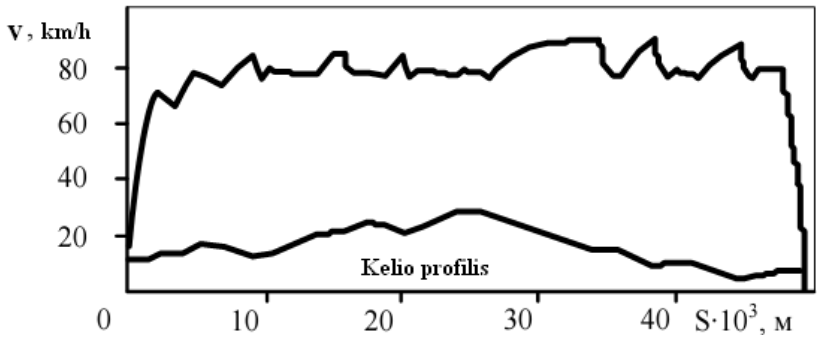
Straipsnyje „Šilumvežio degalų sąnaudų modeliavimas traukiniui važiuojant nustatytu kelio ruožu“ autorius traukinio važiavimą nagrinėja remdamasis turima degalų sąnaudų apskaičiavimo metodika ir sudaro patikslintą degalų normų apskaičiavimo metodiką traukiniui važiuojant nustatytu kelio ruožu su tam tikru profiliu. Riedmenų traukos skaičiavimais gaunamos greičio v =

$f(S)$ ir važiavimo laiko $t = f(S)$ diagramos. Autorius tyrime naudoja ir eksperimentinius šilumvežio degalų sąnaudų duomenis, gautus esant skirtingoms valdymo sąlygoms. Šilumvežio suminės degalų sąnaudos apskaičiuojamos taikant formulę (Омельяненко *et al.* 2009):

$$E = \sum_{i=1}^{n} G_i \Delta t_i + g_x \Delta t_x; \quad (2)$$

čia: $G_i = f(v,P_v)$ – degalų sąnaudos i-ajam važiavimo intervalui, kg/min; Δt_i – važiavimo trukmė i-oju elementu, min; $g_x \Delta t_x$ – šilumvežio dyzelinio variklio degalų sąnaudos tuščiąja eiga, kg; v – traukinio važiavimo greitis, km/h; P_v – valdiklio padėtis.

Šioje publikacijoje naudojamų degalų sąnaudų palyginimo metodika nėra tiksli, nes: vidutiniam traukinio važiavimo greičio nustatymui *i*-ajam kelio elementui greičio reikšmės imamos intervalo pradžioje ir pabaigoje; skaičiavimų supaprastinimui įvertinami ne visi valdiklio padėties pakeitimai; traukinio važiavimo greitis ir kontrolerio padėtis netiksliai apibūdina naudojamą dyzelinio variklio galią; neįmanoma įvertinti pereinamųjų procesų traukinio važiavime, kurie degalų sąnaudoms gali daryti iki 20 % įtaką (Омельяненко *et al.* 2009).



13 pav. Traukinio greičio kitimo diagrama

Šilumvežio degalų sąnaudų modeliavimui, traukiniui važiuojant nustatytu kelio ruožu, pasirinktas šilumvežis su dyzeliniu varikliu „1D80B“, nominali galia 2 080 kW. Šilumvežis traukia 14 vagonų keleivinį sąstatą 49 km ruože Charkovas–Kijevas, nustatytas 80 km/h greitis. Naudojant patikslintą degalų sąnaudų apskaičiavimo metodiką gauta, kad traukinys kelio ruožą nuvažiuoja per 37,9 min., kai vidutinis važiavimo greitis 77,8 km/h (13 pav.). Suminis degalų sunaudojimas 148,7 kg. Tas pats eksperimentas buvo atliktas naudojant įprastą degalų sąnaudų apskaičiavimo metodiką ir analogiškomis sąlygomis gautos 172,9 kg deglų sąnaudos. Tai rodo, kad šiame kelio ruože galima sutaupyti 24,2 kg arba 14 % degalų (Омельяненко *et al.* 2009).

Degalų sąnaudų mažinimas yra svarbus uždavinys visuose transporto sektoriuose. Mokslinių darbų autoriai nagrinėja netik AB „Lietuvos geležinkeliai“ veiklos rodiklius, bet stengiasi išanalizuoti kitose šalyse taikomas eksploatacinių išlaidų mažino kryptis. Per pastaruosius kelerius metus Rusijoje buvo sukurta daug versijų dyzelinių generatorių serijų, skirtų modernizuoti

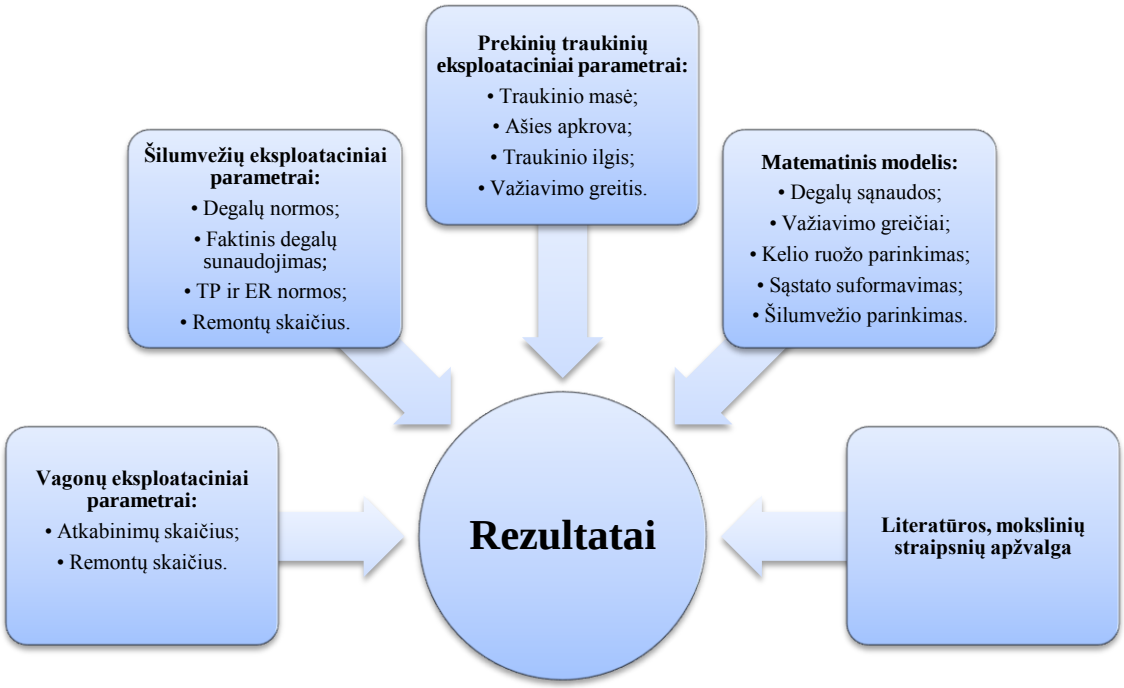
pasenusius šilumvežius, sumažinančių degalų sunaudojimą iki 12–25 %, alyvos – 2,5 karto ir bendrų eksploatacinių išlaidų iki 30 % (Kolobuckis 2010).

Lenkijoje 2006 metais atlikta pirmoji EM62 serijos šilumvežio modernizacija. Modernizacijos metu pakeičiami pagrindiniai šilumvežio komponentai į naujus, modernius. Sumontuojamas naujas 16 cilindrų, 2 233 kW galingumo „EMD-645E3C“ dyzelinis variklis, trifazis pagrindinis generatorius AR10. Šilumvežio dyzelinio variklio galingumas padidėjo 34 %, naujas variklis yra patikimesnis negu senasis, pagerėjo techninės bei saugumo charakteristikos, sumažėjo degalų sąnaudos bei pagerėjo mašinistų darbo sąlygos. Taip pat pagerėjo ir ergonomiškumas, šilumvežis sudarytas iš atskirų modulių, kurie nesunkiai gali būti demontuojami remonto metu (Kolobuckis 2010).

Latvijoje 1990-ųjų pradžioje, tuometiniuose Pabaltijo apygardos geležinkeliuose, didžioji dalis krovinių buvo vežama šilumvežiais M62 ir 2M62 bei 2M62U. Po SSRS žlugimo Latvijos geležinkeliui buvo palikti patys naujausi šilumvežiai iš viso tuometinio Pabaltijo geležinkelių šilumvežių parko, modernizacijos klausimas nebuvo labai opus. 2006 metais du 2M62U šilumvežiai buvo modernizuoti pakeičiant vidaus degimo variklius bei pagrindinius generatorius. Buvo sumontuotas 2 206 kW (3 000 AG) Kolomnos gamyklos dyzelis „12DM49M-01“, kuris sėkmingai eksploatuojamas Vokietijos geležinkelių šilumvežiuose. Kitam Šilumvežiui sumontuotas 16 cilindrų dyzelis „CAT 3516B“, kurios galingumas siekia 2 100 kW (2 850 AG).Tokiu būdu abiejų šilumvežių galia po modernizacijos išaugo 1,5 karto. Be to, šiuose šilumvežiuose buvo sumontuotos šiuolaikinės valdymo ir diagnostikos sistemos, pastebimai pasikeitė mašinisto kabinos, valdymo pultai ir kita (Kolobuckis 2010).

1.4. Tyrimo objekto analizė ir problemos formulavimas

Šiame darbe lyginami prekinių traukinių, t. y. prekinių šilumvežių ir prekinių vagonų eksploatacijos rodikliai, jų kitimas laikotarpiu nuo 2009 iki 2014 metų pabaigos bei krovinių vežimo apimčių kitimas. Prekinių traukinių eksploatacinių parametrų analizės struktūrinė schema pateikiama 14 paveiksle. Mokslinei problemai suformuluoti ir tyrimo struktūrai suformuoti išanalizuotos mokslinės publikacijos. Darbo uždaviniams spręsti panaudotas matematinis modeliavimas bei surinkti prekinių riedmenų eksploatacinių parametrų duomenys AB „Lietuvos geležinkeliai“. Matematiniam modeliavimui atrinkta keletas prekinių traukinių eksploatacinių parametrų, kurie palyginti su tikrąja traukinių eksploatacija ir nustatytas matematinio modelio adekvatumas.



14 pav. Prekinių traukinių eksploatacinių parametrų analizės struktūrinė schema

Kompleksinis prekinių traukinių eksploatacinių parametrų palyginimas sudarytas iš penkių posistemių, kurių visuma leis palyginti prekinius traukinius. Siekiant analizei suteikti didesnes pritaikymo galimybes (palyginti dar neeksploatuojamus šilumvežius pasirinktame kelio ruože ar parinkti didžiausios galimos masės sąstatus) sudarytas matematinis traukinio važiavimo modelis, kuris paremtas traukos teorija. Taikant matematinį modelį gaunamos šilumvežio lyginamosios degalų sąnaudos, važiavimo greičiai ir kiti parametrai. Duomenys, gauti iš realios prekinių traukinių eksploatacijos, ir skaičiavimo rezultatai palyginami ir įvertinami apskaičiuojant kompleksinio traukinio eksploatacijos rodiklį bei daugiakriterio vertinimo metodais. Rezultatai aptarti skyrių bei bendruosiuose išvadose.

AB „Lietuvos geležinkeliai“ krovinių vežimas sudaro nuo 80 % iki 90 % LG bendrųjų pajamų. Krovinių vežimo veiklos rodikliai turi didelę įtaką LG veiklos rezultatams. Šiuo metu LG tikslingai gerina prekinių traukinių eksploatacinius parametrus, investuodama į prekinių riedmenų parko atnaujinimą ir senų riedmenų modernizaciją. Išryškėja problema vertinant šių investicijų ilgalaikę ir trumpalaikę naudą, t. y. ar verta pirkti naujus riedmenis ir trumpinti seniausių riedmenų eksploatacijos laiką, ar modernizuoti potencialius riedmenis ir taip pailginti jų eksploatacijos laiką.

Darbo tikslas – nustatyti prekinių traukinių eksploatacinių parametrų kitimo tendencijas, palyginus prekinių traukinių eksploatacinius parametrus ir vadovaujantis gautais rezultatais nustatyti racionalią prekinių riedmenų naudojimo strategiją.

Darbo tikslui pasiekti iškelti tokie uždaviniai:

1. Prekinių riedmenų eksploatacinių parametrų analizės metodų apžvalga.

2. Prekinių traukinių svarbiausių eksploatacinių parametrų nustatymas bei jų kitimo palyginimas
3. Atlikti prekiniais traukiniais vežamų krovinių apimčių, krovinių vežimų įtakos veiklos rodikliams analizę.
4. Traukinio eksploatacinių parametrų skaičiavimo modelio, nustatant traukinio važiavimo trukmę ir šilumvežio degalų sąnaudas, sudarymas naudojant *Microsoft Office* programas.
5. Apskaičiuotų teorinių prekinių traukinių eksploatacinių parametrų palyginimas su realiais.

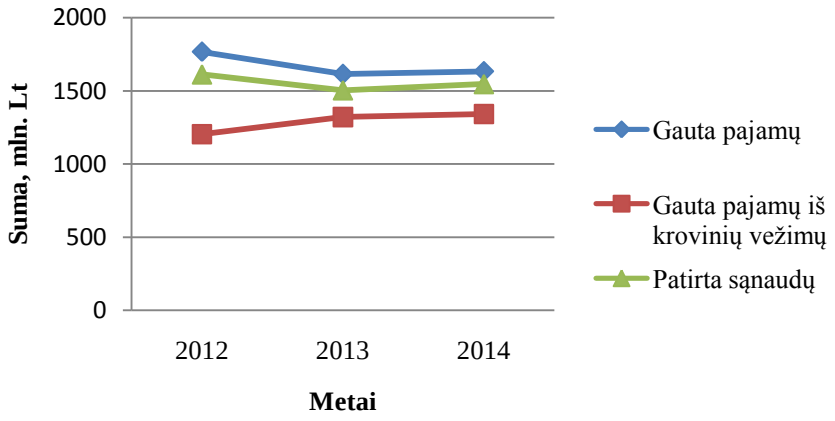
1.5. Skyriaus išvados

1. Atlikus literatūros šaltinių apžvalgą nustatyta, kad prekinių riedmenų eksploataciją nagrinėjama tiek modeliuojant traukinių važiavimą, tiek kaupiant ir analizuojant eksploatacijos rezultatus.
2. Dėl šilumvežio mašinisto valdymo (žmogiškojo faktoriaus) degalų sąnaudos gali kisti 5–10 %.
3. Prekinių šilumvežių degalų sąnaudas lemia kelio profilis, šilumvežio techniniai duomenys, traukiamo sąstato masė ir šilumvežio valdymas.

2.KROVINIŲ APYVARTOS DINAMIKA IR PREKINIŲ RIEDMENŲ PARKAS

2.1. AB „Lietuvos geležinkeliai“ pajamų ir išlaidų analizė

AB „Lietuvos geležinkeliai“ (toliau – LG) 2014 metais uždirbo 1 632 mln. Lt pajamų, t. y. 18,2 mln. Lt arba 1,1 % daugiau nei per 2013 metus. Iš krovinių vežimo veiklos LG uždirbo 1 340 mln. Lt arba 82,1 %. Šios veiklos pajamas, lyginant su 2013 metais vežimo apimtimis, padidėjo 1,5 % arba 20,0 mln. Lt. LG per 2014 metus patyrė 1 545 mln. Lt veiklos vykdymo sąnaudų, kas su daro 2,8 % arba 42,4 mln. Lt padidėjimą lyginant su 2013 metais. Sąnaudų padidėjimą lėmė sąnaudų darbo apmokėjimui išaugimas, 2014 m. vykdyta didesnė nei 2013 m. šilumvežių remonto programa. LG 2013 m. uždirbo 1 614 mln. Lt pajamų, kas sudarė 8,6 % arba 151,4 mln. Lt sumažėjimą lyginant su 2012 m. Iš krovinių vežimo veiklos gauta 1 320 mln. Lt arba 81,8 %visų pajamų. Krovinių vežimo pajamos lyginant su 2012 m. sumažėjo 8,1 % arba 116,8 mln. Lt. Šiam pajamų sumažėjimui labiausiai darė įtaką ženkliai sumenkę NATO krovinių vežimai. 2013 m. LG patyrė 1 503 mln. Lt veiklos vykdymo sąnaudų, t.y. 6,7 % arba 108,7 mln. Lt mažiau negu 2012 m. Tam labiausiai darė įtaką sumažėjusios tarptautinių krovinių vežimų apimtys, mažiau patirta sąnaudų degalams.



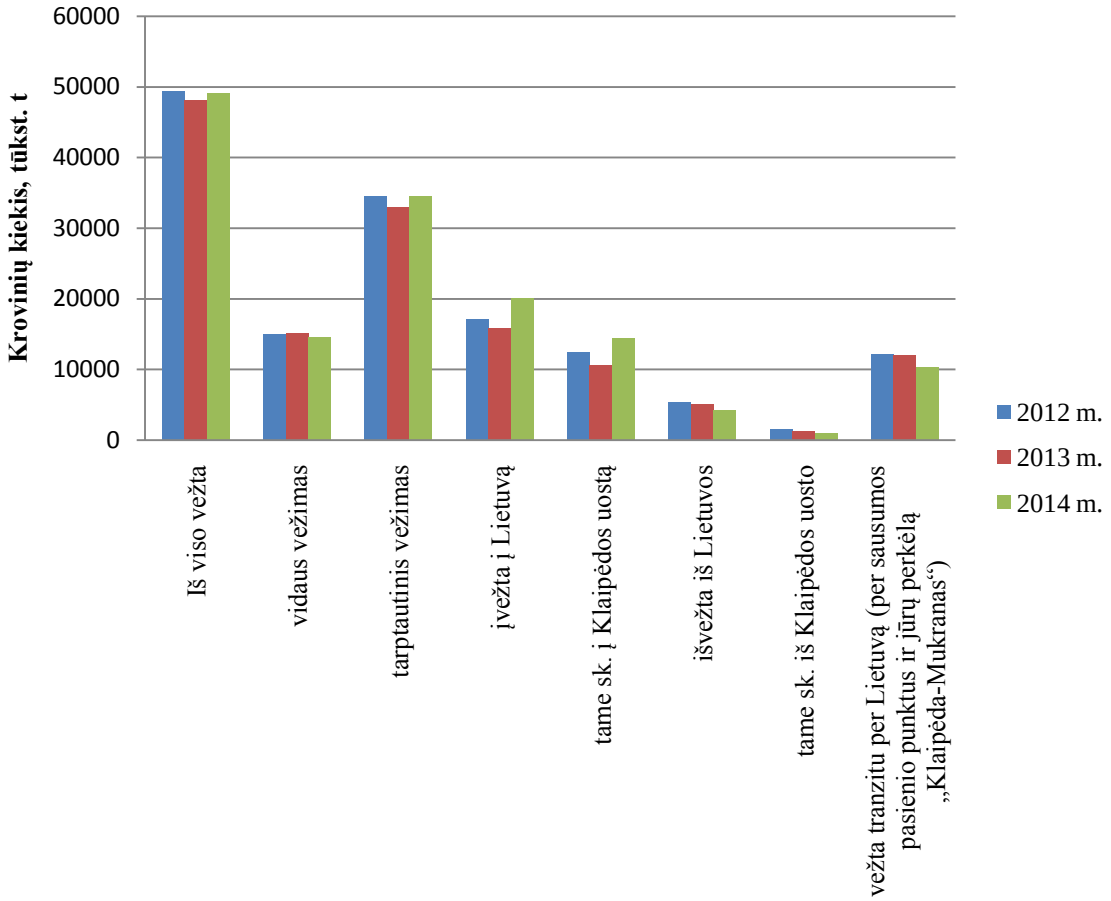
15 pav. AB „Lietuvos geležinkeliai“ pajamų ir sąnaudų kitimas

2012 metais LG gavo 1 766 mln. Lt pajamų ir patyrė 1 612 mln. Lt sąnaudų. Iš krovinių vežimų veiklos gauta 1 203 mln. Lt pajamų, kas sudaro 68,2 % visų LG pajamų.

Iš 15 paveiksle pateikto gautų LG pajamų iš krovinių vežimo kitimo matyti, kad šios pajamos turi tendenciją didėti nepriklausomai nuo to, ar bendros pajamos ir išlaidos mažėja, ar didėja. 2013 m. LG pajamos iš krovinių vežimo padidėjo 9,7 % (bendros pajamos sumažėjo 8,6 %), o 2014 m. pajamos iš krovinių vežimo padidėjo 1,5 % (bendros pajamos padidėjo 1,1 %).

2.2. Krovinių vežimo apimčių kitimo analizė

Nagrinėjant AB „Lietuvos geležinkeliai“ (toliau – LG) prekinių traukinių eksploatacinius parametrus yra svarbu atsižvelgti į pagrindinius krovinių vežimo rodiklius. Vienas iš pagrindinių krovinių vežimo rodiklių laikomas bendras per metus vežtas krovinių kiekis tūkst. tonomis. Šis vežtas krovinių kiekis apima šalies viduje vežtų krovinių kiekį ir tarptautiniais maršrutais vežtų krovinių kiekį, kas skirstoma į: įvežtus į Lietuvą krovinius, išvežtus iš Lietuvos krovinius ir vežtus tranzitu. LG krovinių vežimo apimtys nagrinėjamu laikotarpiu pateikiamos 16 paveiksle.

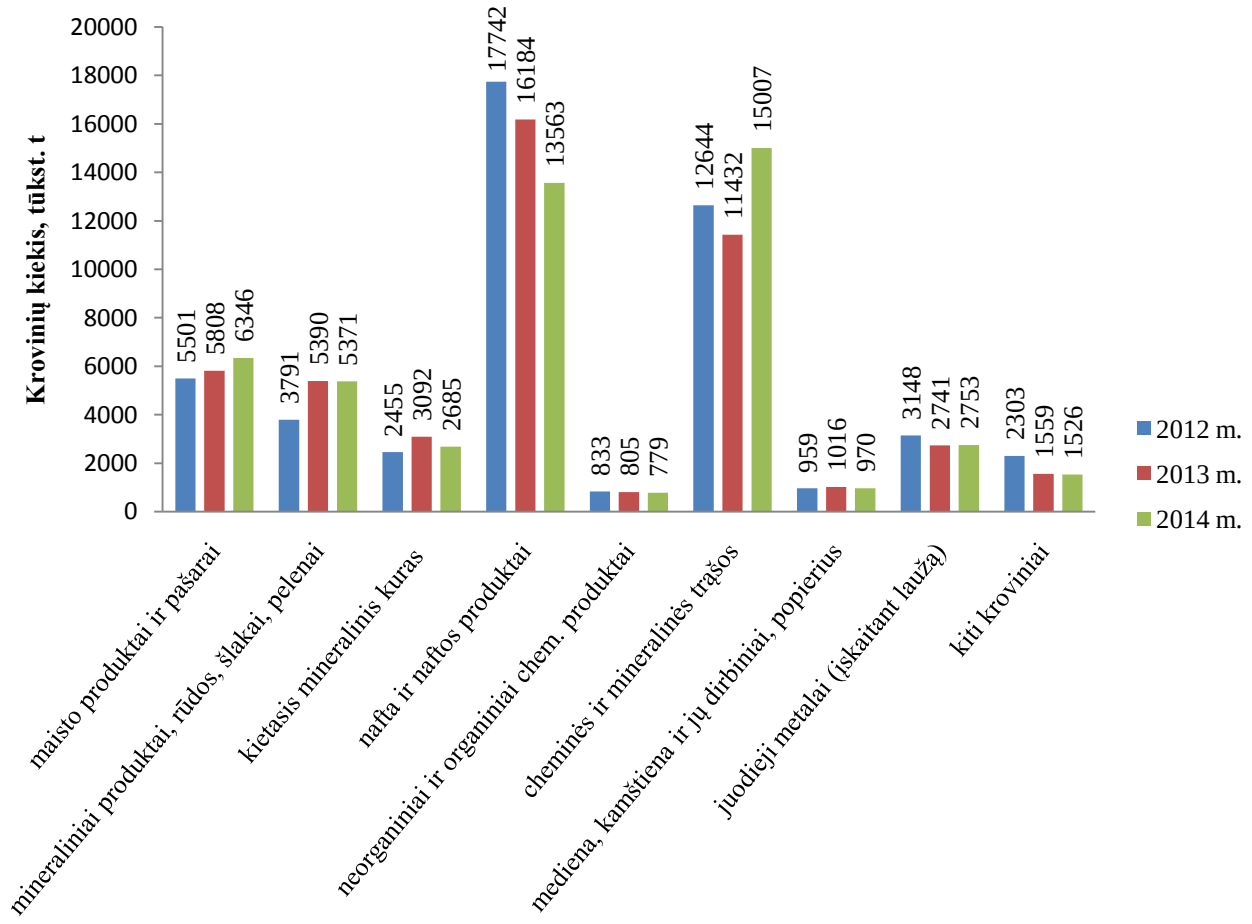


16 pav. 2012 m., 2013 m. ir 2014 metais AB „Lietuvos geležinkeliai“ vežtų krovinių kiekiai

Įvertinant AB „Lietuvos geležinkeliai“ trijų metų laikotarpyje (t.y. 2012, 2013 ir 2014 metai) vežtų krovinių gabenimo rodiklius, o tiksliau bendrą per metus vežtų krovinių kiekį tūkst. t galima nustatyti tam tikras tendencijas, pagal kurias kinta tam tikrų krovinių vežimų poreikis. Jeigu bendras vežtų krovinių kiekis per vertinamąjį laikotarpį kinta nežymiai, 2012 metais iš viso vežta 49 377 tūkst. t, o 2013 metais atitinkamai 48 028 tūkst. t, kas sudaro 2,74 % sumažėjimą. Tai 2014 metais iš viso vežtų krovinių kiekis yra 49 000 tūkst. t, kas sudaro 2,04 % padidėjimą lyginant su 2013 metais. Atsižvelgiant į tarptautinius vežimus pastebimi tam tikri pokyčiai, tiek vežtų krovinių

sumažėjimas, tiek padidėjimas. Vertinant tranzitu per Lietuvą vežtų krovinių kiekį laikotarpiu nuo 2012 iki 2013 metų pokytis nėra žymus ir sudaro 0,90 %, bet laikotarpiu 2013–2014 metais tranzitu vežtų krovinių kiekis sumažėjo net 14,9 % arba 1 796 tūkst. t, vertinant tai, kad krovinių vidaus vežimai nagrinėjamu laikotarpiu beveik nekinta, pokytis sudaro nuo 1,6 % iki 4,28 % arba nuo 238,1 tūkst. t iki 642,6 tūkst. t, toks krovinių vežimo sumažėjimas gali lemti visos veiklos rezultatus. Dėl padidėjusių vežimų į ir iš Klaipėdos jūrų uosto, 2013–2014 metais padidėjo 36,3 % arba 3828 tūkst. tonų. Tai kompensavo netekimus tranzitiniuose vežimuose ir bendras krovinių gabenimo metinis rezultatas už 2014 metus buvo didesnis negu 2013 metais, kas 2,04 % arba 972 tūkst. tonų padidėjimą.

Nagrinėjant AB „Lietuvos geležinkeliai“ krovinių vežimo metinius rodiklius, remiantis krovinių nomenklatūra nustatomi prioritetiniai krovinių tipai ir iš to atsižvelgiama į tolimesnius prekinių vagonų parko tobulino sritis. 2012, 2013 ir 2014 metais LG vežtų krovinių statistika, pagal jų nomenklatūrą pateikiama 17 paveiksle.



17 pav. AB „Lietuvos geležinkeliai“ vežti kroviniai pagal nomenklatūrą

Iš 17 paveiksle pateiktų krovinių vežimų apimčių kitimo, įvertinant krovinių nomenklatūrą matyti, kad tiriamuoju laikotarpiu daugiausiai vežta naftos produktų, trąšų bei maisto produktų.

Eksploatuojamas prekinių vagonų parkas turi net tik atitikti eismo saugos reikalavimus, bet ir tenkinti specifinių krovinių vežimo poreikius. Tai užtikrinama teisingai parenkant vagono tipą atitinkamam kroviniui.

Pagrindinė sąlyga, parenkant vagonų tipą – išsaugoti krovinius nepažeistais. Grūdai, tekstilės gaminiai, tabako gaminiai, popierius, vežami dengtuose vagonuose, o greitai gendančios prekės – izoterminiuose vagonuose. Kroviniai, kurie vadovaujantis išsaugojimo sąlygomis turi būti vežami nustatyto tipo vagonuose, vadinami būtinaisiais kroviniais. Kiti, nebūtinieji, kroviniai gali būti vežami įvairių tipų vagonais. Nebūtinieji kroviniai paskirstomi kitų tipų vagonams, atsižvelgiant į gabenimo savikainą ir kapitalinius įdėjimus. Kroviniai, kuriems vežti to tipo vagonais reikia mažiau išlaidų, vadinami tiems vagonams pageidaujamais kroviniais, o kroviniai, kurie gali būti vežami tokiais vagonais – galimaisiais kroviniais. Pageidaujamieji kroviniai vieno tipo vagonams kartu yra galimieji kito tipo vagonams (Bazaras *et al.* 1995). 2.1 lentelėje pateiktas gabenamų krovinių paskirstymas įvairių tipų vagonams.

2.1 lentelė. Įvairių tipų vagonais gabenamų krovinių tipai

Vagonai Kroviniai	**Dengtieji vagonai**			**Platforminiai vagonai**			**Pusvagoniai**		**Cisternos**	**Izoterminai vagonai**
	Būtinieji	**Pageidautini**	**Galimieji**	**Būtinieji**	**Pageidautini**	**Galimieji**	**Pageidaujamieji**	**Galimieji**	**Būtinieji**	**Būtinieji**
Akmens anglis	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-
Koksas	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Naftos produktai	+	-	-	-	-	+	-	+	+	-
Rūda	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-
Juodieji metalai	+	-	+	+	+	-	-	+	-	-
Mediena	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-
Statybinės medžiagos	+	+	+	-	+	-	-	+	-	-
Grūdai	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kiti kroviniai	+	-	+	+	+	-	-	+	+	+

Parenkant vagonų tipą, labai svarbu, kad būtų galima mechanizuoti ir automatizuoti krovimo darbus. Iš 2.1 lentelės analizės matoma, kad vagonų parkas turi būti sudarytas bent iš 5 pagrindinių tipų vagonų: dengtųjų vagonų, pusvagonių, platforminių vagonų, cisterninių vagonų ir izoterminių vagonų. Iš šių 5 tipų vagonų tiktai pusvagonis neturi būtinųjų krovinių. Daugumą krovinių vežti pusvagoniuose yra ekonomiškiau negu kito tipo vagonuose, juose gabenama apie pusė visų

galimųjų krovinių. Šių penkių tipų vagonuose gabenami įvairūs kroviniai. Juos galima laikyti universaliais. Universaliausi yra dengtieji vagonai. Be universaliųjų vagonų, taip pat naudojami ir specialieji vagonai, skirti tik tam tikriems kroviniams (pavyzdžiui cementui, rūgščiai, pienui, suskystintoms dujoms, gyvoms žuvims, sunkiems ir didelių matmenų kroviniams ir t.t.) vežti. Visų šių krovinių arba negalima vežti universaliuose vagonuose, arba tai neapsimoka. Vagonų parke yra transporterinių vagonų, cementovežių, vagonų galvijams vežti, specialių cisternų (Bazaras *et al.* 1995).

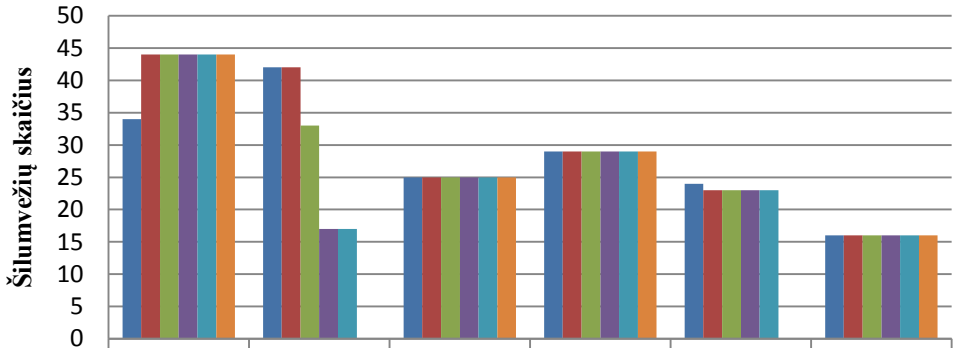
Remiantis AB „Lietuvos geležinkeliai“ oficialaus tinklapio duomenimis (AB „Lietuvos geležinkeliai“ Riedmenys, 2015), nustatyta, kad krovinių vežimo direkcija riedmenis, prekinius vagonus skirsto į 6 tipus. Dengtieji vagonai – vagonuose gabenami kroviniai, kuriuos reikia saugoti nuo atmosferos poveikio (kritulių, vėjo ar saulės spindulių). Dengtaisiais vagonais gali būti vežami labai skirtingų rūšių kroviniai (statybinės medžiagos, maistas, pašarai, technika, medienos gaminiai, trąšos maišuose ir kt.). Vagono krovumas – apie 68 tonų; pusvagoniai – dažniausiai vežami birūs kroviniai (pvz.: skalda, žvyras, akmens anglis, geležies rūda), pjauta arba apvali mediena, metalo gaminiai, statybinės medžiagos, kiti kroviniai, kurie nebijo atmosferinio poveikio. Vagono kruvumas – apie 68 tonų; cistertiniai vagonai – vežami skysti ir dujiniai kroviniai (nafta, žibalas, benzinas, tepalai, rūgštys, suskystintos dujos). Cisterinių vagonų krovumas – apie 60 tonų; platforminiai vagonai – vagonas (universalusis) skirtas didelių matmenų kroviniams (medienai, valcuotiems strypams ar technikai) vežti. Šiuose vagonuose ant rėmo yra grindys ir paprastai per visą jų perimetrą atverčiami bortai. Vagono krovumas – apie 70 tonų; izoterminiai vagonai – didelio tūrio, bet mažo krovumo dengti vagonai su pašiltintomis sienomis. Dėl tokios savo specifikos, šie vagonai puikiai tinkami vežti didelės apimties, bet mažos masės gaminius: daržoves, mėsą ir kt. Vagono krovumas – apie 46 tonų; automobilvežiai – specialūs vagonai lengvųjų automobilių vežimui.

2.3. Šilumvežių ir vagonų parko kitimo analizė

AB „Lietuvos geležinkeliai“ didelį dėmesį skiria riedmenų kokybiškam parengimui, modernizavimui ir riedmenų parko atnaujinimui. Nagrinėjamu šešių metų laikotarpyje, nuo 2009 iki 2014 metų, LG įsigijo naujų prekinių šilumvežių ir sumažino pasenusių, eksploatacijai netinkamų šilumvežių skaičių. Vagonų skaičius taip pat kito dėl įsigytų naujų vagonų, eksploatavimo laiko nepratęsimo ir kitų aplinkybių, kai vagonai yra perdaromi gabenti kitos paskirties krovinius, tokius kaip konteinerius.

Laikotarpiu nuo 2009 iki 2010 metų pabaigos bendras prekinių šilumvežių skaičius padidėjo nuo 170 iki 179, kas sudaro 9 vienetų arba 5,3 % padidėjimą. Šiuo laikotarpiu buvo gauti

paskutiniai 10 vienetų Siemens ER20CF šilumvežių ir atsisakyta vieno M62 serijos šilumvežio. Laikotarpiu nuo 2010 iki 2014 metų pabaigos naujų prekinių šilumvežių gauta nebuvo ir tarnavimo laikas nepratęstas dar 42 M62 ir 23 2M62 serijos šilumvežiams. Detalus prekinių šilumvežių parko kitimas pavaizduotas 18 pav.



	ER20CF	2M62	2M62K	2M62M	M62	M62K
2009	34	42	25	29	24	16
2010	44	42	25	29	23	16
2011	44	33	25	29	23	16
2012	44	17	25	29	23	16
2013	44	17	25	29	23	16
2014	44	0	25	29	0	16

18 pav. Prekinių šilumvežių parko kitimas 2009–2014 metais

Iš 18 paveiksle pateikto 2009–2014 metų prekinių šilumvežių parko kitimo matyti, kad didžiausi pasikeitimai buvo M62 ir 2M62 serijos šilumvežių skaičiuje. 2011 metais šių šilumvežių sumažėjo 9 vienetais, lyginant su 2010 ir 2009 metais, 2012 m. 2M62 šilumvežių skaičius sumažėjo dar 16 ir pasiekė 17 vienetų, o 2014 m. šių šilumvežių visiškai atsisakyta. Visi AB „Lietuvos geležinkeliai“ eksploatuojami šilumvežiai priskirti Vilniaus ir Radviliškio lokomotyvų depams su atskirais padaliniais Bugeniuose, Kaune ir Klaipėdoje. Traukos riedmenys įregistruoti Riedmenų ir konteinerių registre.

Vertinant tai, kad tiriamuoju laikotarpiu bendras prekinių šilumvežių skaičius sumažėjo, buvo atsisakyta 66 seno tipo šilumvežių ir įsigyti 10 naujų, svarbūs šilumvežių darbo rodikliai pagerėjo ir jeigu krovinių vežimų apimtys reikšmingai nesumažės, turi tendenciją šie rodikliai gerėti toliau. Svarbu atsižvelgti į tai, kad laikotarpiu nuo 2009 iki 2014 metų pabaigos vidutiniškai per parą eksploatuojamų šilumvežių skaičius didėja (nuo 49 vnt. 2009 m. iki 65 vnt. 2014 m., o 2011 m. ir 2012 m. atitinkamai 72 ir 68). Tokiam vidutiniškai eksploatuojamų šilumvežių skaičiaus augimui įtaką padarė lanksti LG krovinių vežimo politika ir padidėjęs bendras prekinių šilumvežių patikimumas, kas lėmė mažesnį laiko ir finansinių kaštų poreikį techninės priežiūros ir neplaninių remontų metu. Dar vienas svarbus šilumvežių darbo rodiklis – šilumvežių atliktas darbas, kuris nuo

2009 metų tik augo, išskyrus 2013 metų 5,6 % sumažėjimą. Analogiškai didėjo ir vidutinė šilumvežių paros rida. Detalūs metiniai šilumvežių darbo rodikliai pateikiami 2.2 lentelėje.

2.2 lentelė. Šilumvežių darbo rodikliai 2009–2014 metais

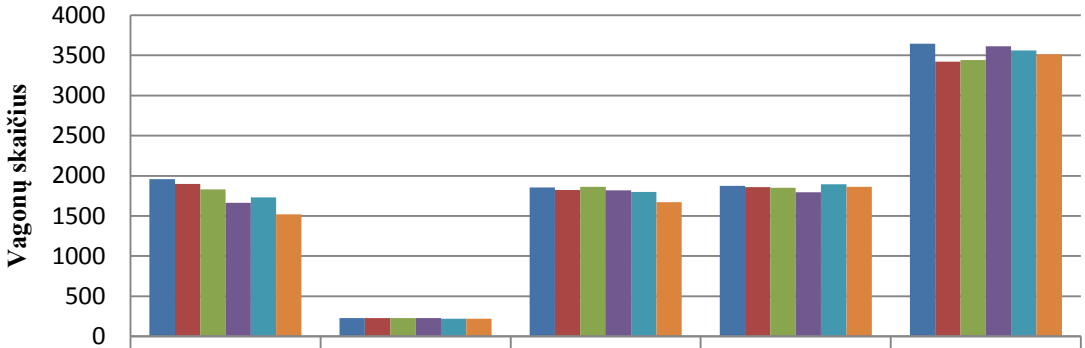
Metai / Rodikliai	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Vidutiniškai per parą eksploatuotų šilumvežių skaičius, vnt.	49	61	72	68	65	65
Šilumvežių atliktas darbas, mln. t km bruto	23 211	25 953	28 600	27 265	25 733	26 704
Vidutinis šilumvežių paros našumas, tūkst. t km bruto	1 258	1 126	1 093	1 104	1 093	1 124
Vidutinė šilumvežių paros rida, km	539,8	559,5	550,8	551,4	545,8	551,5
Vidutinė prekinio traukinio masė, t bruto	2 713	2 756	2 794	2 833	2 859	2 938
Techninis greitis, km/h	47,4	47,7	47,5	47,2	46,8	46,2
Dyzelino norma, kg/10 tūkst. t km bruto	20,85	20,49	23,4	21,7	21,3	20,8
Dyzelino suvartojimas, tūkst. t	48,4	53,2	68,3	59,4	54,7	55,5

AB „Lietuvos geležinkeliai“ daug dėmesio skiria prekinių vagonų parko atnaujinimui. Tam panaudojama kitų geležinkelių patirtis ir specializuotų mokslinių organizacijų žinios. Prekinių vagonų parko atnaujinimas atliekamas dviem kryptimis – naujų vagonų įsigijimas ir naudojamų vagonų eksploatavimo laiko pratęsimas. Vagonų planinius remontus atlieka AB „Lietuvos geležinkeliai“ Radviliškio prekinių vagonų depas. LG siekdama, kad prekiniai vagonai būtų naudojami efektyviai laikotarpiu nuo 2009 iki 2014 metų pabaigos atliko tokius darbus (AB „Lietuvos geležinkeliai“ 2015):

1. 2009 m. tarnavimo laikas buvo pratęstas 116 prekinių vagonų (iš jų: 87 cisterniniai vagonai, 16 platforminių vagonų, 10 pusvagonių ir 3 dengtieji vagonai), 108 platforminius vagonus pertvarkė į 9 platforminių vagonų junginius refrižeratoriniams konteineriams vežti, 20 refrižeratorinių sekcijų krovininių vagonų pertvarkė į dengtus vagonus su pašiltintu kėbulu. Buvo atliktas 500 cisterninių vagonų vertinimas pagal RID (Pavojingų krovinių tarptautinio vežimo geležinkeliais taisyklės) reikalavimus.

2. 2010 m. buvo pratęstas 146 prekinių vagonų tarnavimo laikas (iš jų – 2 platforminiai vagonai, 120 pusvagonių ir 24 dengtieji vagonai). LG, siekdami efektyviai panaudoti prekinius vagonus, 12 platforminių vagonų pertvarkė į vieną platforminių vagonų junginį refrižeratoriniams konteineriams vežti, 20 refrižeratorinių sekcijų krovinių vagonų – į dengtus vagonus su pašiltintu kėbulu. Buvo atliktas 1200 cisterninių vagonų vertinimas pagal RID reikalavimus.
3. 2011 m. eksploatavimo laikas buvo pratęstas 649 prekiniams vagonams, 26 refrižeratorinių sekcijų krovininiai vagonai perdaryti į dengtus vagonus su pašiltintu kėbulu.
4. 2012 m. buvo įsigyti 200 platforminių vagonų konteineriams vežti, 1802 prekiniams vagonams buvo pratęstas eksploatavimo laikas.
5. 2013 m. buvo įsigyta 390 prekinių vagonų, iš kurių – 100 dengtų vagonų, 140 pusvagonių ir 150 cisterninių vagonų. 1196 prekiniams vagonams buvo pratęstas eksploatavimo laikas.
6. 2014 m. nebuvo įsigyta naujų prekinių vagonų. 930 prekiniams vagonams buvo pratęstas eksploatacijos laikas.

Prekinių vagonų, pagal vagonų rūšis ir eksploatavimo metus, parko kitimas pateikiamas 19 pav. Šiuo atveju visi prekiniai vagonai skirstomi į penkias pagrindines grupes: dengtieji vagonai, platforminiai vagonai, pusvagoniai, cisterniniai vagonai ir kiti vagonai, kuriuos sudaro tiek specialieji, tiek universalieji vagonai.



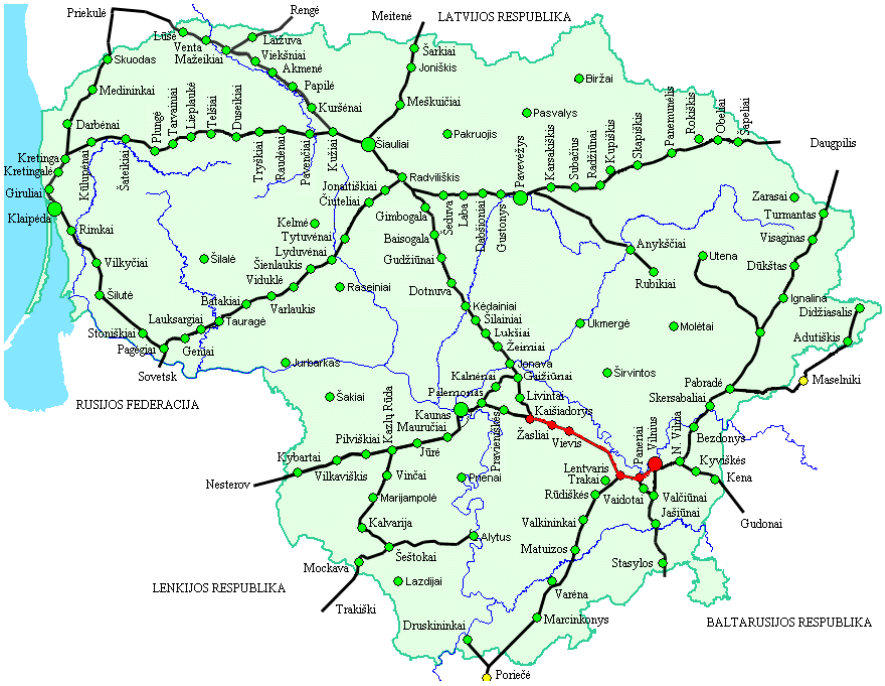
	Dengtieji vagonai	Platforminiai vagonai	Pusvagoniai	Cisterniniai vagonai	Kiti vagonai
2009	1958	228	1854	1876	3645
2010	1899	227	1823	1859	3420
2011	1830	227	1864	1849	3442
2012	1663	226	1817	1793	3613
2013	1729	219	1800	1894	3560
2014	1519	218	1670	1862	3515

19 pav. Prekinių vagonų parko kitimas 2009–2014 metais.

Iš 19 paveiksle pateikto vagonų parko kitimo bendras prekinių vagonų skaičius nuo 9 561 vnt. 2009 m. iki 8 784 vnt. 2014 m. sumažėjo 777. Didžiausią įtaką prekinių vagonų parko mažėjimui padarė senų vagonų tarnavimo laiko nepratęsimas ir vagonų pertvarkymas vežti kitos paskirties kroviniams.

2.4. Nagrinėjamo kelio ruožo Vilnius–Kaišiadorys analizė

Prekinių traukinių eksploataciniams parametrams palyginti pasirinktas kelio ruožas Vilnius–Kaišiadorys, kuris vadovaujantis dabartiniu LR Geležinkelio transporto kodeksu, priskiriamas magistraliniam keliui, kuris atitinka Europos transporto koridorius. Šiuo kelio ruožu vežami pagrindiniai krovinių srautai. Šalies geležinkelio tinklo ruožai yra labai nevienodai išnaudojami, dalis jų bendrovei „Lietuvos geležinkeliai“ yra nuostolingi. Lyginamiesiems rezultatams tikslinga pasirinkti tik rentabilų ruožą, kuriuo vyksta intensyvus traukinių eismas. Remianti ankstesniais tyrimais (Butkevičius *et al.* 2001) ruožas Vilnius–Kaišiadorys nėra nuostolingas. Traukinių eksploatacijos parametrų analizei parinktas kelio ruožas pažymėtas raudona spalva 20 paveiksle.



20 pav. AB „Lietuvos geležinkeliai“ geležinkelio keliai ir stotys

Kelio ruožas Vilnius–Kaišiadorys yra apie 67 km ilgio, ši magistralė yra IX B transporto koridoriaus (412,4 km) dalis. Kelio ruože Vilnius–Kaišiadorys traukinių eismas vyksta dviem kryptimis. Nagrinėjamame kelio ruože yra 265 nuolydžiai, kurių dydis yra nuo -7,8 ‰ iki 7,9 ‰. Šiame kelyje yra 68 kelio kreivės, kurių mažiausias spindulys yra 0,37 km, o didžiausias 7,62 km.

2.5. Skyriaus išvados

1. Tiriamuoju laikotarpiu prekinių šilumvežių parkas sumažėjo 56 vienetais. Atsisakyta seno tipo M62 ir 2M62 serijos šilumvežių. Prekinių vagonų parkas sumažėjo 777 vienetais. Didžiausi pokyčiai įvyko dengtųjų vagonų parke – sumažėjo 22 %, o pusvagonių – 10 %.
2. Prekinių vagonų skaičiaus sumažėjimą labiausiai paveikė vagonų eksploatacijos laiko nepratęsimas ir vagonų perdarymai vežti kito tipo krovinius.
3. Geležinkeliais vežami kroviniai turi labai įvairią nomenklatūrą. Vežami dideli kiekiai įvairių krovinių, kurių saugumui užtikrinti naudojami atitinkami prekiniai vagonai. Tinkamas vagonų parinkimas kroviniui vežti tiesiogiai veikia krovinių vežimų kokybę ir efektyvumą.
4. Pajamos gautos iš krovinių vežimų vidutiniškai sudaro apie 85 % LG pajamų. Analizuotame laikotarpyje gautos pajamos iš krovinių vežimų tik didėjo. Galima teigti, kad ši veikla yra itin svarbi ir veiklos rezultatai turi tendenciją gerėti.

3. PREKINIŲ RIEDMENŲ TECHNINĖS EKSPLOATACIJOS ANALIZĖ

Geležinkelių transporto plėtra pasaulinėje transporto sistemoje vyksta dėl dviejų pagrindinių priežasčių: geležinkelio riedmenys pasižymi sąlygiškai maža atmosferos oro taršą (ji sudaro tik apie 3 % visų transporto rūšių taršos) ir geležinkelių transporte yra mažiausi lyginamieji krovinių ir keleivių vežimo tarifai (Subačius *et al.* 2006).

Prekiniams riedmenims, kuriuos sudaro šilumvežiai ir prekiniai vagonai, tenka didžiausia eksploatacinių išlaidų dalis, o šilumvežių kainos skaičiuojamos milijonais ir dešimtimis milijonų litų. Labai svarbu tinkamai naudoti traukos riedmenis, užtikrinant racionalų eksploatacinių išlaidų ir krovinių vežimo atliktų darbų santykį. Geležinkelio riedmenų rentabilumo rodikliai didele dalimi priklauso nuo tinkamai parinktos riedmenų techninės priežiūros ir remontų sistemos bei jos principų (Subačius *et al.* 2006).

Įvertinant ilgametę daugelio šalių transporto priemonių eksploatavimo patirtį bene labiausiai pasiteisinusi yra planinė įspėjamoji techninių priežiūrų ir remontų sistema, kuri esant šiuolaikinėms diagnostikos priemonėms ir pakankamam jų kiekiui bei aukštai remonto darbuotojų kvalifikacijai gali sudaryti sąlygas pasiekti aukštus riedmenų eksploatacijos rodiklius. Darbų apimties charakteristikai, šilumvežių ir prekinių vagonų riedmenų naudojimo kokybės, vežimo išlaidoms planuoti ir finansuoti, taip pat šilumvežių ūkio ir linijinių įmonių eksploataciniams darbams įvertinti taikoma kiekybinių ir kokybinių rodiklių sistema (Subačius *et al.* 2006).

Prekinių šilumvežių darbo kiekybiniai rodikliai yra: šilumvežio rida – kilometrais; šilumvežio darbo laikas – valandomis; vežimų apimtys – tonkilometrais. Šilumvežio darbo kiekybiniai rodikliai priklauso nuo vežimų tipo ir apimties, eksploatacinių darbų organizavimo ir geležinkelių techninio aprūpinimo. Šių rodiklių dydžiai imami pagrindu nustatant šilumvežių parką, remonto programas, degalų ir energetinius poreikius, darbuotojų skaičių ir eksploatacines išlaidas.

Kokybiniams rodikliams, nusakantiems šilumvežių naudojimo laipsnį, priskiriama: skaičiuojamoji, vidutinė, unifikuota ir kritinė traukinio masė; techninis, ruožo, judėjimo ir maršruto greitis, vidutinė šilumvežio paros rida, visa ir eksploatacinė šilumvežio apyvarta, šilumvežio poreikio koeficientas. Šilumvežio naudojimo kokybės gerinimas turi didelę įtaką didinant lokomotyvų depų ir apskritai geležinkelių darbo efektyvumą. Tai leidžia mažinti vežimų savikainą ir didinti darbo našumą, didinti geležinkelio ruožo pralaidumą ir vežamąjį pajėgumą, mažinti riedmenų poreikį, darbuotojų skaičių ir t. t (Subačius *et al.* 2006).

3.1. Remontai ir techninė priežiūra

Remiantis pažangiausių depų patirtimi, taikant pažangiausius technologinius procesus, racionalius darbo organizavimo ir valdymo bei ūkininkavimo metodus, yra nustatyti šie techninių priežiūrų ir planinių įspėjamųjų remontų tipai (Subačius *et al.* 2006):

1. Techninė priežiūra (TP-1, TP-2, TP-3) – gedimų atsiradimo numatymas ir šilumvežių bei variklinių vagonų riedmenų geros būklės palaikymas, užtikrinantis jų nenutrūkstamą darbą ir eismo saugą. TP-1 atlieka šilumvežio brigada vadovaudamasi depo viršininko nustatyta tvarka, technologija, darbų apimtimis ir laiko normomis. Laiko normą tvirtina Krovinių vežimo direkcijos direktorius (Jusaitis *et al.* 2012);
2. Techninė priežiūra (TP-4) – aširačių ratlankių aptekinimas be jų išridenimo iš po šilumvežių ir vagonų siekiant išlaikyti optimalią ridą;
3. Einamasis remontas (ER-1, ER-2, ER-3) – šilumvežių ir variklinių vagonų pagrindinių eksploatacinių charakteristikų ir geros būklės atstatymas atitinkamais tarp remontiniais periodais patikros būdu, atliekant atskirų detalių, surinkimo vienetų ir agregatų remontą ir pakeitimą, reguliavimą ir bandymą, taip pat dalinę modernizaciją;
4. Kapitalinis remontas (KR-1) – eksploatacinių charakteristikų atstatymas, susidėvėjusių ir sugedusių agregatų, surinkimo vienetų, detalių remontas ir modernizavimas;
5. Kapitalinis remontas (KR-2) – eksploatacinių charakteristikų, tvarkingumo ir resurso (naudojimo laiko) atstatymas, susidėvėjusių ir sugedusių agregatų, surinkimo vienetų ir detalių, įskaitant bazinius, remontas bei keitimas, visų laidų ir kabelių keitimas, taip pat modernizavimas.

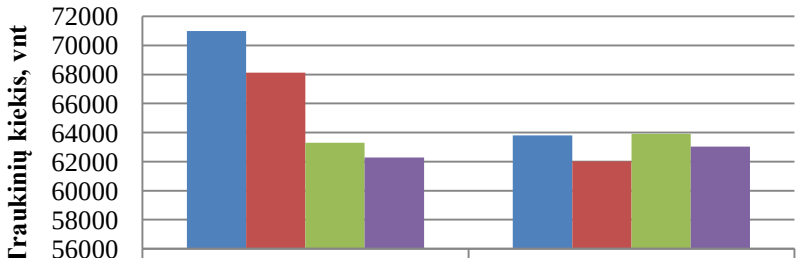
Techninė priežiūra (TP-3 ir TP-4) ir einamasis remontas (ER-1, ER-2, ER-3) atliekami pagrindiniuose lokomotyvų depuose. Kapitaliniai remontai (KR-1, KR-2) atliekami riedmenų remonto ir atsarginių detalių gamybos gamykloje.

3.2. Prekinių sąstatų eksploatacinio darbo analizė

Geležinkelio vagonų techninis eksploatavimas ypatingas tuo, kad traukinių sąstatai kerta kelių arba keliolikos valstybių sienas, vadinasi, vagonų techninę priežiūrą ir remontą atlieka įvairių valstybių tarnybos. Mūsų šalyje vienu metu naudojami kelių valstybių vagonai, kuriuos reikia techniškai prižiūrėti. Techninės priežiūros ir remonto ypatumas yra tas, kad vagonai gali būti remontuojami ir sąstatuose, ir atkabinti, išformavus sąstatą ir nukreipus į specialius vagonų remonto postus arba remonto įmones (Lingaitis 1999).

LG prekinių sąstatų eksploataciniai darbai – techninė priežiūra ir einamieji darbai atliekami techninės vagonų priežiūros punktuose. Šie punktai išdėstyti visoje Lietuvoje – Vaidotų TVPP, Kenos TVPP, Palemono JKTAP, Kybartų TVPP, Radviliškio TVPP, Bugenių TVPP, Klaipėdos JKTAP, Draugystės TVPP.

Tiriamuoju laikotarpiu, t.y. 2011 m., 2012 m., 2013 m. ir 2014 m. vagonų priežiūros punktuose vidutiniškai per metus buvo priimta 66 168 prekinių traukinių. Prekinių traukinių priėmimo ir išleidimo iš priežiūros punktų kitimas pavaizduotas 21 paveiksle.

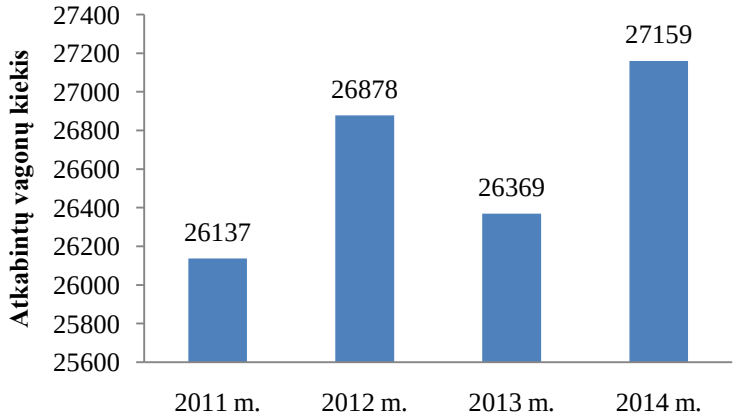


	Priimta prekinių traukinių	Išleista prekinių traukinių
2011 m.	70981	63811
2012 m.	68123	62020
2013 m.	63291	63918
2014 m.	62276	63027

21 pav. Prekinių traukinių priėmimo ir išleidimo iš priežiūros punktų kitimas

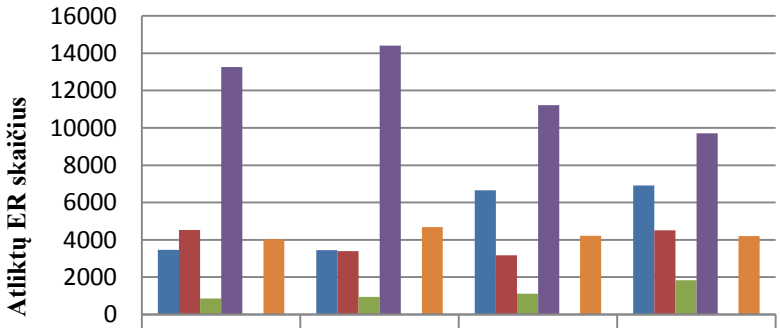
Tiriamuoju laikotarpiu priežiūros punktuose priimtų prekinių traukinių kiekis mažėja (21 pav.). Lyginant 2012 m. su 2011 m. priimtų prekinių traukinių kiekis sumažėjo 4,03 % arba 2858 vienetais. 2013 metais sumažėjo dar 7,09 % arba 4832 vienetais, o 2014 m. 1,60 % arba 1015 vienetais. Tuo tarpu išleistų prekinių traukinių kiekis tiriamuoju laikotarpiu kirto nepriklausomai nuo priimtų traukinių kiekio. 2012 m. išleistų prekinių traukinių kiekis sumažėjo 2,81 % arba 1791 vnt. 2013 m. padidėjo 3,06 % arba 1898 vnt., o 2014 m. vėl sumažėjo 1,39 % arba 891 vnt.

Atliekant prekinių traukinių patikrą nustatomi eismo saugumo reikalavimų neatitinkantys vagonai, kurie yra atkabinami nuo sąstato ir atliekami jų remontai. Dažnu atveju stengiamasi smulkius gedimus pašalinti neatkabinus vagono ir remontą atliekant patikrai skirto laiko metu, taip stengiamasi kuo mažiau užlaikyti krovinius. Vertinant vagono atkabinimo tikslingumą atsižvelgiama ir į vežamą krovinį, ekonomiškai naudingiausia yra atkabinti vagonus, kurie yra be krovinio. Tiriamuoju laikotarpiu priežiūros punktuose atkabintų vagonų kiekio kitimas pavaizduotas 22 pav.



22 pav. Patikros punktuose atkabintų vagonų skaičiaus kitimas

Iš 22 paveiksle pateiktų duomenų matyti, kad atkabinamų vagonų skaičius kiekvienais metais kinta, bet nežymiai. 2012 m. atkabintų vagonų skaičius padidėjo 2,84 % arba 741 vnt., 2013 m. sumažėjo 1,89 % arba 509 vnt., 2014 padidėjo 2,99 % arba 790. Tiriamuoju laikotarpiu didžiausias atkabintų vagonų pokytis yra lyginant 2011 m. ir 2014 m., kas sudarė 1 022 vnt. tai yra tik 3,84 % vidutiniškai atkabinamų vagonų skaičiaus. Verta paminėti, kad atkabinamų vagonų skaičius nevisiškai atspinti vagonų gedimų realią situaciją, nes dalis gedimų yra pašalinama patikros metu. Išsamiau vagonų gedimus galima nagrinėti remiantis remontų rūšimis (23 pav.), nes čia apibendrinta informacija apie ER ir vagonų patikros metu.



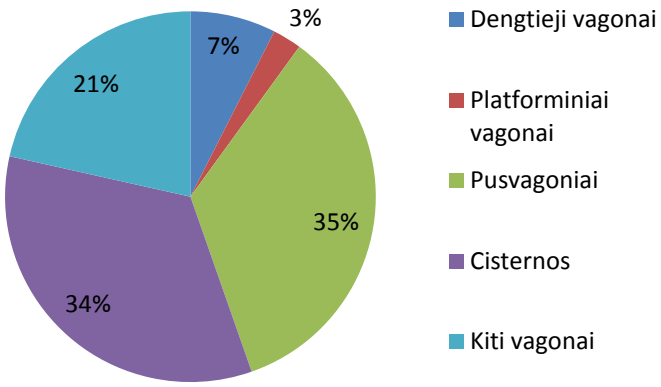
	2011 m.	2012 m.	2013 m.	2014 m.
Dėl aširačių gedimų	3458	3449	6647	6914
Dėl stabdžių gedimų	4531	3401	3175	4503
Dėl autosankabų gedimų	858	936	1117	1834
Dėl kėbulo gedimų	13251	14411	11209	9706
Dėl skysto krovinio lašėjimo	1	1	0	1
Dėl kitų gedimų	4038	4676	4226	4201

23 pav. Vagonų remonto apimčių kitimas

Vagonų patikros metu nustatyti gedimai dėl, kurių atliekamas einamasis remontas skirstomi į 6 pagrindines rūšis: aširačių gedimai, stabdžių gedimai, autosankabų gedimai, kėbulo gedimai, skysto

krovinio lašėjimas ir kiti gedimai. Šių gedimų prekiniuose vagonuose kitimas nurodytas 23 paveiksle. Didžiausią dalį, t.y. apie 45,6 % sudaro vagonų kėbulų gedimai. Šių gedimų pašalinimas tiesiogiai veikia krovinių vežimo kokybinius rodiklius, nes pažeistas vagono kėbulas gali lemti vežamo krovinių sugadinimą, kėbulo defektai taip pat gali daryti įtaką ir eismo saugumą. Stabdžių ir autosankabų gedimų pašalinimas yra ypač svarbus, nes tai tiesiogiai veikia eismo saugumą. Stabdžių gedimų vidutiniškai nustatoma apie 14,7 %, o autosankabų – 4,45 %. Tiriamuoju laikotarpiu aširačių gedimų skaičius didėja. 2013 m. nustatyta92,7 % arba 3198 gedimų daugiau negu 2012 metais, o 2014 m. 4,02 % arba 267 gedimų daugiau. Tai nebūtinai byloja apie smarkiai pablogėjusią vagonų aširačių būklę, bet gali reikšti ir sustiprintą jų kontrolę, nes prastos būklės aširačiai kenkia ne tik riedmenims, bet ir bėgimas. Galima teigti, kad padidėjusį aširačių gedimų kiekį nulėmė pablogėjusi riedmenų ir bėgių būklė. Tiriamuoju laikotarpiu skysto krovinio lašėjimų nustatyti nedaugiau negu 1 atvejis per metus. Kiti vagonų gedimai sudarė apie 16 % visų gedimų.

Atliktų einamųjų remontų analizei pagal vagonų rūšis pasirinkti 2014 metai. Suremontuoti 25 861 vagonai, remontuotų vagonų procentinė dalis pagal jų rūšis pateikta 24 pav.



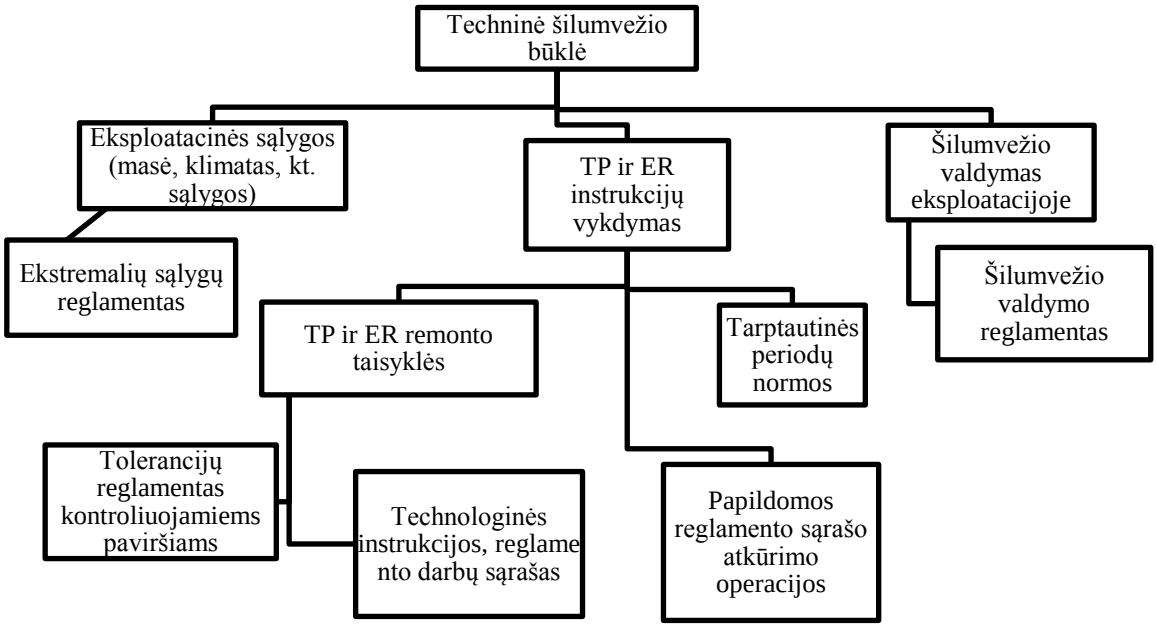
24 pav. 2014 metais ER punktuose suremontuotų vagonų dalis pagal rūšis

2014 metais daugiausiai ER buvo atlikta pusvagoniams ir cisternoms, atitinkamai 35 % ir 34 %. Dengtųjų vagonų ER punktuose suremontuota 21 %, o platformų ir kitų vagonų atitinkamai 3 ir 7 %.

3.3. Prekinių šilumvežių techninės būklės vertinimo rodikliai

Prekinių šilumvežių techninę būklę lemia eksploatacijos sąlygų ir techninių parametrų įtakų visuma. Eksploatuojamų šilumvežių techninė būklė blogėja dėl detalių ir mazgų dėvėjimosi. Šilumvežio eksploatacijos laikotarpiu dėl aplinkos ir atliekamo darbo poveikio, veikiančių jėgų ir įtempimų blogėja šilumvežio agregatų ir mazgų fizinės bei mechaninės savybės, kuo intensyviau eksploatuojamas šilumvežis tuo mažesnis jo patikimumas. Siekiant užkirsti kelią neplanuotiems gedimams, kurie gali lemti prastovas, pažeisti traukinių eismo grafiką ar sukelti avarijas, yra naudojama organizacinių priemonių visuma, skirta riedmenų techninei būklei palaikyti ir atkurti riedmenų darbingumą– techninės priežiūros ir einamųjų remontų sistema.

Pagrindiniai veiksniai (25 pav.), lemiantys šilumvežių techninę būklę yra eksploatavimo technologija ir jos sąlygos, taip pat techninių priežiūrų, einamųjų ir kapitalinių remontų periodiškumas, atliekamų remonto ir priežiūros darbų apimtys ir kokybė (Lingaitis 1997).



25 pav. Riedmenų techninę būklę lemiantys techniniai veiksniai

Šilumvežių eksploatacijos metu jų techninę būklę galima vertinti atsižvelgiant į šiuos vertinimo rodiklius:

1) degalų sąnaudos;
2) alyvos sąnaudos;
3) sąnaudos techninei priežiūrai, einamiesiems remontams ir neplaniniams remontams;
4) neplaninių remontų skaičius;
5) prastovų skaičius.

Siekiant palyginti prekinių šilumvežių technines būkles yra tikslinga naudoti kompleksinį techninės būklės vertinimo rodiklį.

3.4. Prekinių šilumvežių eksploatacijos parametrų analizė

Lietuvos geležinkelių linijose prekiniams riedmenims traukti naudojami šilumvežiai. Jų technines charakteristikas lemia traukos, eksploatacijos ir ekonominiai rodikliai. Pagrindinės traukos charakteristikos yra traukos jėga ir važiavimo greitis. Remiantis jomis nustatoma traukinių sąstatų masė ir traukos rodikliai, kuriais remiantis sudaromas traukinių eismo grafikas. Eksploatacinėms charakteristikoms priskiriamas patikimumas, galimybė dirbti daugine trauka, mobilumas, autonomiškumas, saugus eismas, valdymo automatizavimo lygis ir LB darbo sąlygų komfortiškumas (Lingaitis *et al.* 2009). Iš to, kokia yra prekinio sąstato masė ir kelio profilis šiuolaikiniai šilumvežiai gali nuvažiuoti tarp dviejų parangų nuo 500 iki 1 200 km, o tarp TP – nuo 1 200 iki 2 000 km.

Krovinių vežimo proceso patikimumą lemia tinkamai parinkta šilumvežių naudojimo tvarka, veiksmingas remontų ir techninės priežiūros taikymas, griežta darbo ir technologinė drausmė (Lingaitis *et al.* 2009). 3.1 lentelėje pateikta prekinių šilumvežių techninės priežiūros ir remontų periodiškumo normos. Leidžiamas šilumvežių faktinio periodiškumo nuokrypis nuo TP-2, TP-l techninės priežiūros iki kitos tos pačios rūšies techninės priežiūros normos – ±20%, kitų techninių priežiūrų ir remontų periodiškumo nuokrypis turi neviršyti ± 10 %.

3.1 lentelė. Šilumvežių ridos ir periodiškumo nuo atlikto remonto iki kito remonto normos

Šilumvežio serija	**Techninė priežiūra**		**Remontas**						
			Einamasis					**Kapitalinis**	
	TP-2	**TP-3**	**ER-1**			**ER-3**		**KR-1**	**KR-2**
M62, 2M62	60 val.	12000 km	60000 km			240000 km		720000 km	1440000 km
M62K, 2M62K	60 val.	15000 km	75000 km			300000 km		900000 km	1500000 km
2M62M	50 mh	500 mh	2000 mh			10000 mh		30000 mh	60000 mh
ER20CF	**VI**	**EI+OC**	**11+12**	**13**	**14**	**15+16**	**17**	**R1+R2**	**R3**
	500 mh	1000 mh	2000 mh	4000 mh	6000 mh	8000 mh	16000 mh	24000 mh	48000 mh

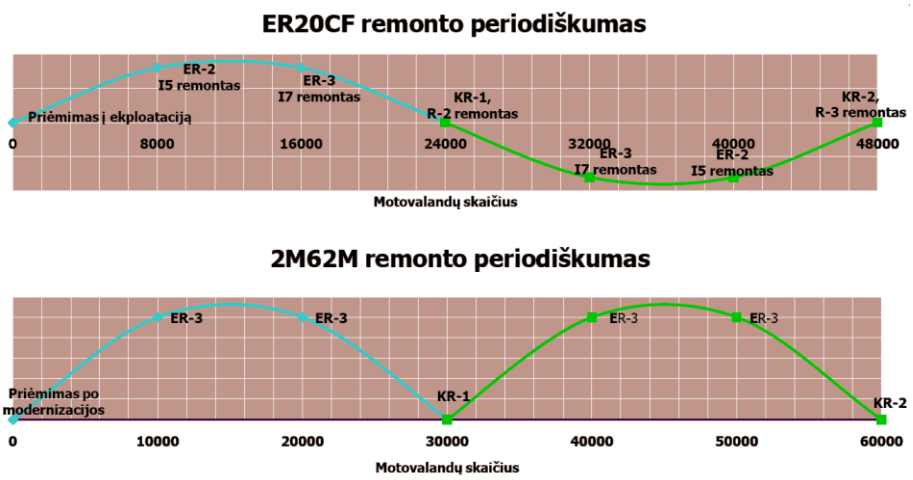
Pastabos: mh– moto valanda (rodiklis apibūdinantis vidaus degimo variklio veikimo trukmę); R1+R2 – SIEMENS šilumvežiams atliekami remontai.

3.1 lentelėje nenurodytos techninės priežiūros TP-4, TP-5 (šilumvežių parengimo į/iš kapitalinio remonto arba į/iš ilgalaikio rezervo darbai) bei techninė priežiūros TP-6 (kontroliniai reostatiniai šilumvežio bandymai), nes TP-4, TP-5, TP-6 periodiškumo normos nenustatomos. Šilumvežių techninės priežiūros ir remonto darbų apimtis bei jų metu sunaudojamų atsarginių dalių kiekius nustato darbų vykdytojo parengtos, su Riedmenų departamento direktoriumi suderintos, technologinių procesų kortos bei reikalingų atsarginių dalių, prietaisų ir medžiagų normos (Jusaitis

et al. 2012). Šilumvežių techninė priežiūra TP-2 atliekama kas 125 mh, bet nerečiau kaip kas 10 parų. Prastovos laikas su neveikiančiu vidaus degimo varikliu į TP-2 normą neįskaičiuojamas. Šilumvežiui stovėjusiam rezerve ilgiau kaip 5 paras iš eilės, prieš išvažiuojant iš depo, atliekamas TP-2. Vietoje KR-2 leidžiama atlikti remontą, kurio apimtis nustatoma vadovaujantis techninės sąlygomis, kurios parengiamos atlikus šilumvežio sudėtinių dalių defektavimą. Šilumvežio tarnavimo trukmę iki kito remonto ar nurašymo nustato AB "Lietuvos geležinkeliai" generalinio direktoriaus įsakymu sudaryta komisija (Jusaitis *et al*. 2012).

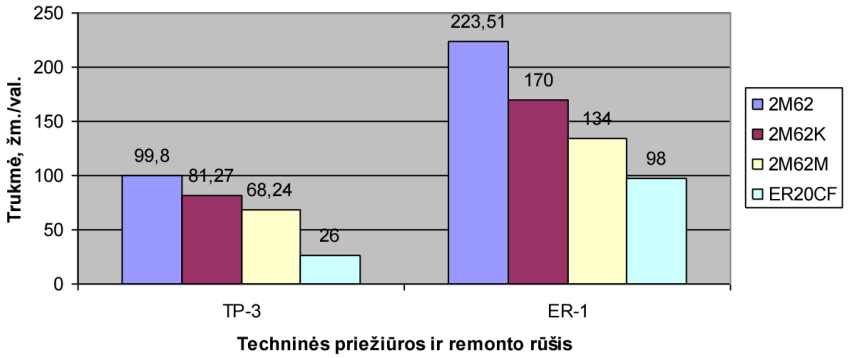
3.2 lentelė. Prekinių šilumvežių atliktų bei planuojamų atlikti remontų skaičius

Remonto rūšis	Šilumvežio serija	Remontuojamų šilumvežių skaičius, sekc.			
		2010 m.	2011 m.	2012 m.	2013–2015 m.
KR-1	2M62K	-	-	-	-
KR-1	2M62M	-	-	10	48
KR-1 (R1+R2)	ER20CF	-	-	-	44
ER-3	M62K	4	5	4	10
ER-3	2M62K	14	18	-	10
ER-3	2M62M	19	27	12	50
ER-3 (I5)	ER20CF	14	4	10	-
ER-3 (I7)	ER20CF	-	6	26	45
Viso:		81	69	74	247



26 pav. Prekinių šilumvežių remontų periodiškumas

Prekinių šilumvežių remontų periodiškumo palyginimui pasirinkti dviejų šilumvežių remontų periodiškumo grafikai. 26 paveiksle pateikta ER20CF ir 2M62M serijos šilumvežių remontų periodiškumo grafinis atvaizdavimas. ER20CF serijos šilumvežio remontų periodiškumas yra dažnesnis negu 2M62M serijos šilumvežio. Pirmasis einamasis remontas ER-2 atliekamas po 8 000 mh, o 2M62M po 10 000 mh, bet ER-3.



27 pav. Prekinių šilumvežių TP-3 ir ER-1 laiko sąnaudos

Siekiant palyginti techninės priežiūros ir remontų trukmes, tenkančias kiekvienai prekinių šilumvežių serijai, sudaryta laiko sąnaudų diagrama (27 pav.). Didžiausias techninės priežiūros ir remonto trukmes turi 2M62 serijos šilumvežis. Šio šilumvežio priežiūrai ir remontams reikia nuo 18 iki 74 % daugiau laiko negu kitų serijų šilumvežiams.

3.3 lentelė. Prekinių šilumvežių TP-3 ir ER-1 atlikimo kainos

Remonto rūšis	Šilumvežio serija	Matavimo vnt.	Kaina (su PVM), EUR
TP-3	2M62	Sekc.	2 305
	2M62K	Sekc.	1 954
	2M62M	Sekc.	1 685
	ER20CF	Šilum.	935
ER-1	2M62	Sekc.	5 187
	2M62K	Sekc.	3 965
	2M62M	Sekc.	3 596
	ER20CF	Šilum.	10 200
ER-3	2M62	Sekc.	-
	2M62K	Sekc.	98 408
	2M62M	Sekc.	80 466

Techninės priežiūros ir remontų darbų apimtis galima vertinti remiantis finansiniais rodikliais. Skirtingų serijų šilumvežiams atliekami techninių priežiūrų ir remontų įkainiai yra skirtingi. Atsižvelgiant į 27 paveiksle pateiktas darbo trukmes ir 3.3 lentelėje darbų kainas matyti, kad didžiausią aptarnavimo trukmę turinčio 2M62 serijos šilumvežio priežiūra yra brangiausia (TP-3 kaina 2 305 EUR). Atitinkamai naujausio ER20CF serijos šilumvežio aptarnavimas apie 60 % pigesnis.

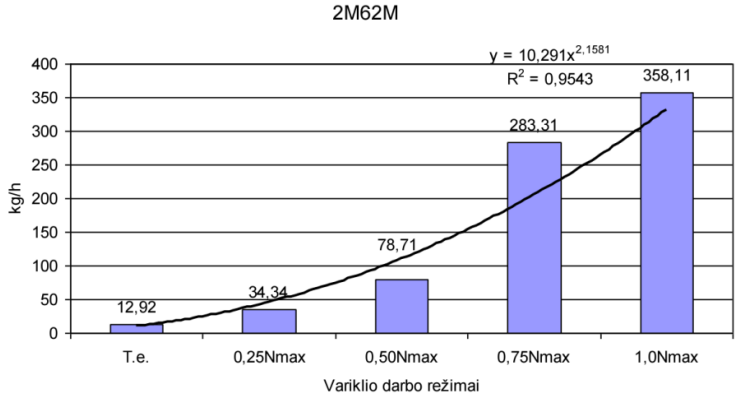
Ekonominiams rodikliams priskiriamas energijos imlumas, t. y. energijos kiekis vežamos krovinių apyvartos vienetui (t km), medžiagų kiekis šilumvežio galingumo vienetui, pirminė kaina, lyginamosios eksploatacijos ir remonto išlaidos (Lingaitis 1997). Prekinių šilumvežių faktinių degalų sąnaudų priklausomybės nuo atlikto transportinio darbo pateiktos 3.4 lentelėje.

3.4 lentelė. Prekinių šilumvežių faktinės degalų sąnaudos

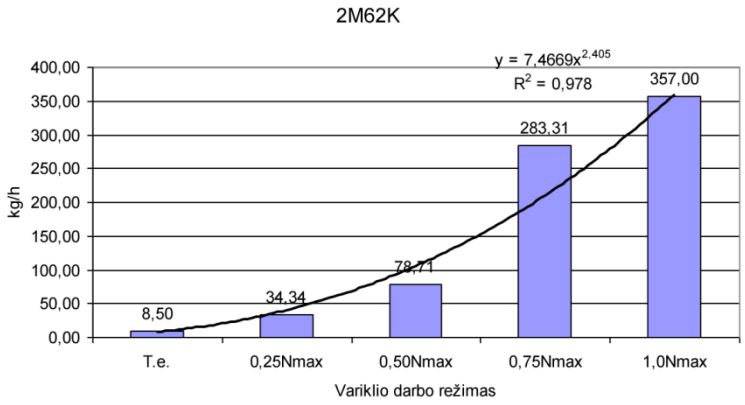
Šilumvežio serija	Atliktas darbas, mln. t km bruto	Dyzelino sąnaudos		
		Atliktam darbui, tūkst. l	l / 10 tūkst. t km bruto	kg / 10 tūkst. t km bruto
2M62	1 215	3 981	32,75	27,51
2M62K	161	443	27,52	23,11
2M62M	951	2 019	21,23	17,83
ER20CF	2 046	3 978	19,44	16,33

Iš 3.4 lentelėje pateiktų duomenų matyti, kad mažiausios degalų sąnaudos tenkančios transportinio darbo vienetui yra ER20CF serijos šilumvežio. Šis šilumvežis sunaudoja nuo 8 iki 41 % mažiau degalų negu kiti prekiniai šilumvežiai.

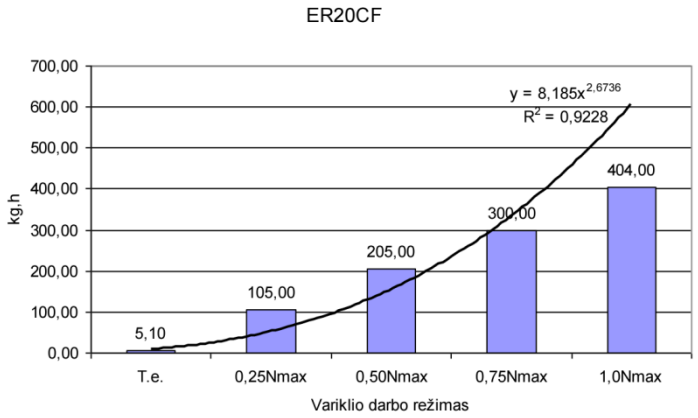
28, 29 ir 30 paveiksluose pateikti duomenys apie 2M62M, 2M62K ir ER20CF serijos šilumvežių reostatinių bandymų metu gautos faktinės degalų sąnaudas.



28 pav. 2M62M serijos šilumvežio faktinės degalų sąnaudos, esant įvairiems variklio darbo režimams



29 pav. 2M62K serijos šilumvežio faktinės degalų sąnaudos, esant įvairiems variklio darbo režimams



30 pav. ER20CF serijos šilumvežio faktinės degalų sąnaudos, esant įvairiems variklio darbo režimams

Pagrindinė šilumvežių ūkio užduotis – didinti vežimų proceso veiksmingumą. Tai galima pasiekti didinant traukinių greičius, masę ir gerinant šilumvežių eksploatacinius rodiklius (Lingaitis *et al.* 2009). Degalų sąnaudos kinta priklausomai nuo dyzelinio variklio galingumo panaudojimo lygio. Varikliui dirbant tuščiąja eiga mažiausiai degalų sunaudoja (kg/h) SIEMENS šilumvežis (apie 5,1 kg/h). Varikliams dirbant nominalia galia pasiekiamos didžiausios degalų sąnaudos. Norint palyginti skirtingų šilumvežių degalų sąnaudas reostatinių bandymu metu gautos faktinės degalų sąnaudos yra netinkamas rodiklis, nes neįvertinamas VDV efektyvumas. Prekinių šilumvežių degalų sąnaudas tikslinga lyginti remiantis lyginamosiomis degalų sąnaudomis (g/kW h), taip įvertinama kaip efektyviai degalus naudoja dyzeliniai varikliai. 3.5 lentelėje pateiktos ER20CF serijos šilumvežio lyginamosios degalų sąnaudos, kurios yra 44–55 % mažesnės negu kitų prekinių šilumvežių. Reiktų atkreipti dėmesį į tai, kad 3.5 lentelėje yra pateikti duomenys apie vienos sekcijos SIEMENS šilumvežio eksploatacinius parametrus, tuo tarpu kiti šilumvežiai yra dviejų sekcijų.

3.5 lentelė. Prekinių šilumvežių eksploatacinių parametrai ir jų reikšmės

Parametras	**Šilumvežio serija**			
	2M62	**2M62K**	**2M62M**	**ER20CF**
VDV pavadinimas	**14D40**	**5-26DG**	**CAT 3512B**	**MTU 16V4000R41**
VDV galingumas, kW	1 470		1 700	2 000
Didžiausia įmanoma traukti sąstato masė, t	3 800		5 000	6 000
VDV vidutinis išvystomas galingumas įvertinant apkrovos režimus, kW	410	480	550	650
Lyginamosios degalų sąnaudos, g/kW h	220	215	208	200,5
Degalų sąnaudos tuščiąja eiga, kg/h	25	8,5	12,9	5,1
Alyvos sunaudojimo dalis proc. nuo degalų	3,5	1,0	1,0	0,3
Valandinės alyvos sąnaudos, kg/h	3,34	1,08	1,13	0,39
Išlaidos VDV techninei priežiūrai, EUR/mh	5,36	4,77	3,33	2,77
TP-3 trukmė, žm./val.	99,80	81,27	68,24	26,00
ER-1 trukmė, žm./val.	223,5	170,0	134,0	98,0
Išlaidos šilumvežių brigadoms, EUR/mh	17,1		10,1	6,0

Didžiausią galingumą išvysto „MTU 16V4000R41“ dyzelinis variklis (3.5 lentelė). Atitinkamai šį variklį turintis SIEMENS šilumvežis gali traukti didžiausios masės sąstatus. Eksploatuojami prekiniai šilumvežiai vidutiniškai naudoja apie 25–35 % nominalios dyzelinio variklio galios.

3.5. Prekinių traukinių eksploatacinių parametrų kompleksinis vertinimas

Siekiant palyginti sąstatus traukiančių prekinių šilumvežių techninę būklę naudojamas kompleksinis traukos riedmenų kokybės įvertinimo rodiklis (Lt/10 tūkst. t km bruto). Šis kompleksinio vertinimo rodiklis įvertina pagrindinius šilumvežio techninius rodiklius, tokius kaip degalų ir alyvos sąnaudos, planinių ir neplaninių remontų skaičius bei išlaidos jiems, techninės priežiūros ir einamųjų remontų sąnaudos (Lingaitis 2003). Siekiant palyginti prekinių traukinių eksploatacinius parametrus neužtenka įvertinti tik šilumvežių ar prekinių vagonų eksploataciją, bet reikia vertinti prekinį traukinį kaip visumą elementų ir jų eksploatavimo rezultatus. Parametrai ir jiems suteikti žymenys, remiantis kuriais bus vertinami prekiniai traukiniai, pateikiami 3.6 lentelėje. Palyginimui parinkti parametrai turi skirtingus matavimo vienetus ir labai skiriasi savo absoliučiomis reikšmėmis. Kompleksiniam prekinių traukinių eksploatacijos įvertinimui naudojami eksploatacijos parametrų variacijos koeficientai (Raudonis 2008). Vertinimo parametrų variacijos koeficientai *C* apskaičiuojami taikant formulę:

$$C = \frac{\sigma}{\bar{x}}; \tag{3}$$

čia: σ – standartinis nuokrypis; $\bar{x}$ – aritmetinis vidurkis.

Standartinis nuokrypis apskaičiuojamas taikant formulę:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum\left(x - \bar{x}\right)^2}{n-1}}; \tag{4}$$

čia: x – parametro absoliuti reikšmė; n-1 – laisvės laipsnių skaičius.

Eksploatacijos parametrų absoliučių reikšmių aritmetinis vidurkis apskaičiuojamas taikant formulę:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i. \tag{5}$$

Prekinių traukinių eksploatavimą vertinant kokybiniais ir kiekybiniais parametrais būtina nustatyti kurie požymiai yra minimizuojami (degalų normos, patikros punktuose atkabintų vagonų skaičius ir t. t.), o kurie požymiai yra maksimizuojami (šilumvežių atliktas darbas, gautų pajamų suma ir t. t.). Eksploatacijos parametrus vertinant remiantis variacijos koeficientais– geriausi rezultatai įgyja mažiausias reikšmes.

3.6 lentelė. Prekinių traukinių eksploatacijos parametrų žymenys

Parametro pavadinimas	Parametro žymuo
Patikros punktuose atkabintų vagonų skaičius, vnt.	Z_1
Patikros punktuose priimtų prekinių traukinių skaičius, vnt.	Z_2
Patikros punktuose išleistų prekinių traukinių skaičius, vnt.	Z_3
Prekinių vagonų remonto apimtys, sk.	Z_4
Vidutiniškai per parą eksploatuotų šilumvežių skaičius, vnt.	Z_5
Šilumvežių atliktas darbas, mln. t km bruto	Z_6
Vidutinis šilumvežių paros našumas, tūkst. t km bruto	Z_7
Vidutiniška šilumvežių paros rida, km	Z_8
Vidutinė prekinio traukinio masė, t bruto	Z_9
Dyzelino norma, kg / 10 tūkst. t km bruto	Z_{10}
Dyzelino sunaudojimas, tūkst. t	Z_{11}
Viso gauta pajamų, mln. EUR	Z_{12}
Gauta pajamų iš krovinių vežimo, mln. EUR	Z_{13}
Vežta krovinių, tūkst. t neto	Z_{14}

Siekiant palyginti prekinių traukinių eksploatavimą apskaičiuojamas kompleksinis eksploatacijos parametrų įvertis *K*:

$$K = \sum_{i=1}^{n} C_i . \tag{6}$$

Prekinių traukinių eksploatacinių parametrų absoliučios reikšmės *x*, standartiniai nuokrypiai σ, variacijos koeficientai ***C*** ir aritmetiniai vidurkiai $\bar{x}$, pateikti 3.7 lentelėje.

3.7 lentelė. Prekinių traukinių eksploatacinių parametrų vertinimo duomenys

Parametras	Metai									Aritmetinis vidurkis
	2012			2013			2014			
	x	σ	*C*	*x*	σ	*C*	*x*	σ	*C*	
Z_1	26878	76	0,00284	26369	-433	-0,0162	27159	357	0,0133	26802
Z_2	68123	-3560	-0,0551	63291	1272	0,0197	62276	2287	0,0354	64563
Z_3	62020	968	0,0154	63918	-930	-0,0148	63027	-39	-0,00061	62988
Z_4	26874	72	0,00267	26374	-428	-0,0160	27159	357	0,0133	26802
Z_5	68	-2	-0,0303	65	1	0,0152	65	1	0,0152	66
Z_6	27265	-698	-0,0263	25733	834	0,0314	26704	-137	-0,0051	26567

3.7 lentelės pabaiga

Parametras	Metai									Aritmetinis vidurkis
	2012			2013			2014			
	x	σ	C	x	σ	C	x	σ	C	
Z_7	1104	3	0,00271	1093	14	0,0126	1124	-17	-0,0154	1107
Z_8	551	-2	-0,0033	546	4	0,00685	552	-2	-0,0035	550
Z_9	2833	44	0,0152	2859	18	0,00614	2938	-61	-0,0213	2877
Z_{10}	21.7	0	0,0204	21.3	0	0,00157	20.8	0	-0,0219	21
Z_{11}	59,4	3	0,0507	54,7	-2	-0,0324	55,5	-1	-0,0183	56.5
Z_{12}	511.4	-27	-0,0568	467.5	16	0,0339	472.8	11	0,0229	484
Z_{13}	348.5	24	0,0656	382.3	-9	-0,0250	388.1	-15	-0,0406	373
Z_{14}	49377	-575	-0,0118	48028	774	0,0159	49000	-198	-0,0041	48802
K	**-0,00821**			**0,0389**			**-0,0307**			-

Iš 3.7 lentelės duomenų 2012, 2013 ir 2014 metais eksploatuotų prekinių traukinių kompleksiniai įverčiai gaunami:

$$K_{2012} = \sum_{i=1}^{n} C_i = 0,00284 - 0,0551 + 0,0154 + 0,00267 - 0,0303 - 0,0263 + 0,00271 - 0,00334 +$$
$$+0,0152 + 0,0204 + 0,0507 - 0,0507 - 0,0568 + 0,0656 - 0,0118 = -0,0082;$$
$$K_{2013} = 0,0389;$$
$$K_{2014} = -0,307.$$

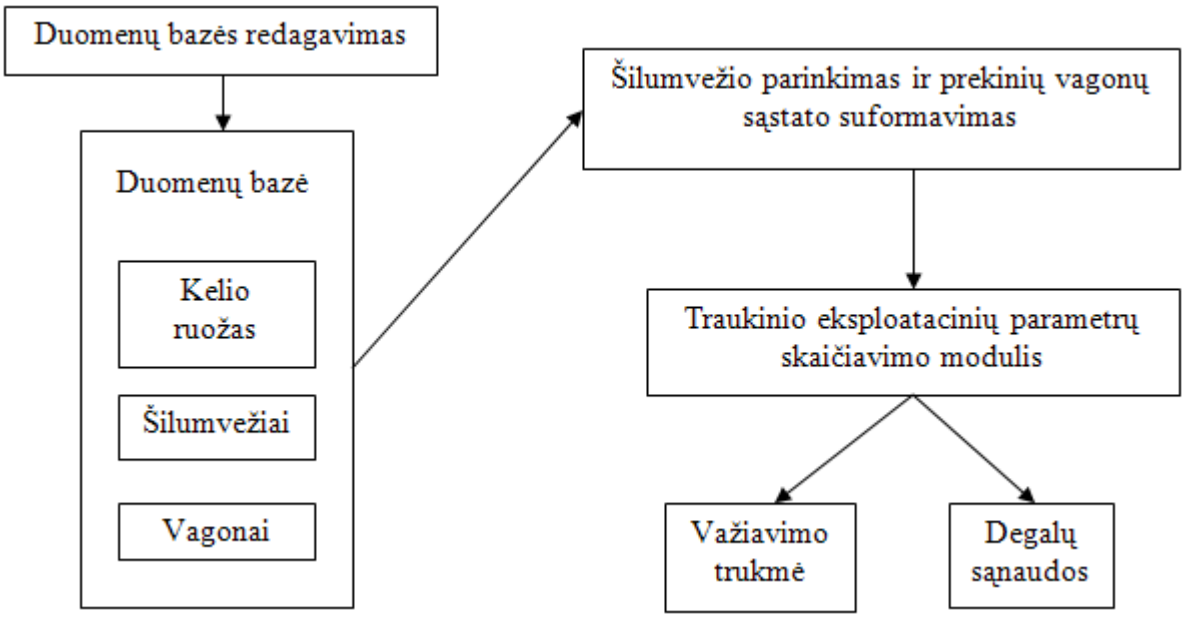
Mažiausią kompleksinio įvertinimo reikšmę turintys prekinių traukinių eksploatavimo metai atitinka geriausius rezultatus.

3.6. Skyriaus išvados

1. Kompleksiškai vertinant prekinių traukinių eksploataciją nustatyta, kad geriausi eksploatacijos rezultatai pasiekti 2014 metais, prastesni 2013 m. ir 2012 m. Galima teigti, kad vykdoma teisinga prekinių traukinių eksploatacijos strategija.
2. Patikros punktuose priimtų prekinių traukinių skaičius tiriamuoju laikotarpiu mažėja vidutiniškai 4 % kasmet.
3. Neplaniniam remontui daugiausiai vagonų atkabinti 2014 metais. Dažniausiai nustatomi vagonų kėbulo gedimai ir daugiausiai remontų darbų atliekama cisterniniams vagonams.

4. PREKINIŲ TRAUKINIŲ EKSPLOATACINIŲ PARAMETRŲ MATEMATINIS MODELIAVIMAS

Prekinių traukinių eksploatacinių sąnaudų skaičiavimo modelio pagrindą sudaro jo duomenų bazės bei traukinio važiavimo trukmės ir degalų sąnaudų apskaičiavimo modelis (31 pav.). Modelio duomenų bazę sudaro 3 dalys: geležinkelio kelio ruožo duomenų bazė; prekinių vagonų ir šilumvežių techninių duomenų bazės. Visose duomenų bazėse esančią informaciją galima peržiūrėti ir redaguoti.



31 pav. Prekinių traukinių eksploatacinių parametrų skaičiavimo modelio bendroji schema

Matematinio modelio duomenų bazėje yra ši informacija:

1. Pasirinkto kelio ruožo išilginis profilis. Kelio profilis aprašomas įvedant kreivių spindulius, jų pradžią ir pabaigą kelio ruože. Nuolydžiai aprašomi įvedant nuolydžio dydį promilėmis ir jo ilgį metrais. Vienu metu matematinio modelio duomenų bazėje gali būti aprašytas tik vienas kelio ruožas.
2. Šilumvežių techniniai parametrai. Šie duomenys įvedami tik vieną kartą ir papildomi norint praplėsti šilumvežių pasirinkimo galimybę formuojant prekinį traukinį. Pagrindiniai parametrai, kurie turi būti teikiami šioje duomenų bazėje yra šie: šilumvežio serija, galia, masė, ilgis, lyginamosios degalų sąnaudos, stabdžių trinkelių skaičius, trinkelių prispaudimo jėga, trinkelių tipas.
3. Vagonų techniniai parametrai. Šie duomenys įvedami tik vieną kartą ir papildomi norint praplėsti vagonų pasirinkimo galimybę formuojant prekinį traukinį. Pagrindiniai parametrai, kurie turi būti pateikti šioje duomenų bazėje, yra šie: vagono tipas, modelis,

masė, ašių skaičius, krovumas, stabdžių trinkelių skaičius, trinkelių prispaudimo jėga, trinkelių tipas.

Duomenų bazių informaciją naudotojas gali visiškai valdyti ir redaguoti, nes duomenys pateikiami *Microsoft Excel* atskirų lapų lentelėse.

Šiame darbe traukinių eksploatacijos parametrams apskaičiuoti naudojama riedmenų traukos teorija. Nagrinėjamas tik valdomas judėjimas, o į nevaldomus traukinį veikiančias jėgas neatsižvelgiama. Padarius prielaidą, kad nėra traukinį veikiančių nevaldomų jėgų, tuomet geležinkelio kelias traukiniui leidžia judėti tik išilgai bėgių. Vertinant prekinių traukinių eksploatacinius parametrus priimama, kad: traukinys turi tik vieną laisvės laipsnį; traukinio važiavimui aprašyti pakanka tik tų jėgų, kurių veikimo kryptis sutampa su traukinio važiavimo kryptimi arba yra jai priešingos; riedmenų automatinės sankabos nesideformuoja važiuojant traukiniui ir palaiko nekintantį atstumą tarp vagonų ir šilumvežio; traukinio važiavimas vertinamas kaip materialaus taško judėjimas.

Šilumvežio traukos skaičiavimai atlikti kompiuterinio modeliavimo metodais, naudojant *Microsoft Excel* programą (programos pavyzdys pateiktas 3 priede). Traukinio, kaip materialaus taško judėjimui iš anksto sumodeliuotas kelio ruožas (Vilnius–Kaišiadorys), kuriame aprašytos kelio ruožo įkalnės, nuokalnės ir kelio kreivės. Modeliavimui parinkti keturių ašių dengtieji vagonai turintys po 8 stabdžių trinkeles, vieno vagono stabdymo jėga priimamam 338,33 kN. Traukos skaičiavimai atliekami siekiant palyginti prekinių šilumvežių: 2M62, 2M62K, 2M62M, 2ER20CF eksploatacinius parametrus, kurių rezultatai pateikiami toliau. Modeliuojamame kelio ruože nenumatytos stotys ar kitokie sustojimai, važiavimo greitis prasideda nuo 0 km/h ir apribojamas tik sąstato sustojimo keliu, kuris turi neviršyti 300 metrų. Traukinį veikiančių jėgų atstojamoji:

$$F_{\Sigma} = F_{tr}^{sank}(v) - W_0^{'}(v) - W_0^{''}(v) - W_i(x) - W_R(x) - B_{papild}(v) - B_{stab}(v, K_{\Sigma}(t)); \quad (7)$$

čia: F_{tr}^{sank} – šilumvežio sankibos traukos jėga; $W_0^{'}$ – šilumvežio judėjimo varža; $W_0^{''}$ – sąstato judėjimo varža; $W_0^{''}$ – šilumvežio judėjimo varža; W_i – kelio nuolydžių varža; W_R – kelio kreivių varža; B_{papild} – elektrodinaminio stabdymo jėga; B_{stab} – pneumatinio stabdymo jėga.

Traukinį veikiančių jėgų atstojami (4-ta formulė) leidžia aprašyti traukinio važiavimą ir stabdymą. Priklausomai nuo judėjimo varžų ir traukos jėgos priklausomybių nuo važiavimo greičio gaunamas traukos jėgos rezervas, kuris panaudojamas važiavimo greičio padidinimui. Didžiausią traukos jėga turintys šilumvežiai turėtų pasiekti didžiausią važiavimo greitį.

4.1. Traukinio judėjimo varžos

Traukinio judėjimą varžo trys judėjimo varžos (Bureika 1998). Pagrindinė varža – jėgų visuma, kurios atsiranda, traukiniui važiuojant bėgiais. Jos veikia aširačius priešinga judėjimo kryptimi. Kai judama tolygiai, ši varža lygi judėjimo varžai. Papildomos varžos – laikinai veikiančios varžos, kurios atsiranda tik esant tam tikroms judėjimo sąlygoms. Šios judėjimo varžos atsiranda dėl važiavimo kelio kreivėmis. Pajudėjimo iš vietos varžos – veikia traukinį pradedant šilumvežiu ir baigiant paskutiniu vagonu, kai vyksta traukinio pajudėjimas iš vietos.

Traukinio judėjimo varža vertinama kaip visų nevaldomų jėgų visuma, atsirandančių judėjimo procese, pridėtų prie riedmens ratlankio priešinga judėjimui kryptimi.

4.1.1. Pagrindinių traukinio judėjimo varžų apskaičiavimas

Siekiant apskaičiuoti traukinį veikiančias judėjimo varžas (N/t) naudojamos eksperimentinių tyrimų metu gautos formulės ir konstantos. Šios formulės tinkamos naudoti, kai priimamos tam tikros aplinkos sąlygos. Aplinkos temperatūra nuo 10 ^{o}C iki 20 ^{o}C, o vėjo greitis nedidesnis negu 5 m/s. Tokiu atveju šilumvežio pagrindinė judėjimo varža $W_0^{'}$ priklauso nuo jo važiavimo greižio ir darbo režimo (traukos arba tuščiosios eigos). Pagrindinės judėjimo varžos traukos režimu $W_0^{'}$ ir tuščiosios eigos režimu $W_{0\text{te}}^{'}$, kurios skaičiuojamostaikant formules:

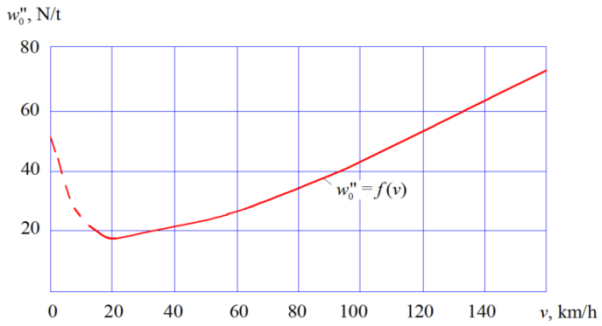
$$W_0^{'} = P \cdot w_0^{'}(v) \text{ ir } W_{0te}^{'} = P \cdot w_{0te}^{'}(v); \tag{8}$$

čia: $w_0^{'}$– šilumvežio lyginamoji judėjimo varža traukos režimu; $w_{0te}^{'}$ – šilumvežio lyginamoji judėjimo varža tuščiojoje eigoje; P – šilumvežio masė.

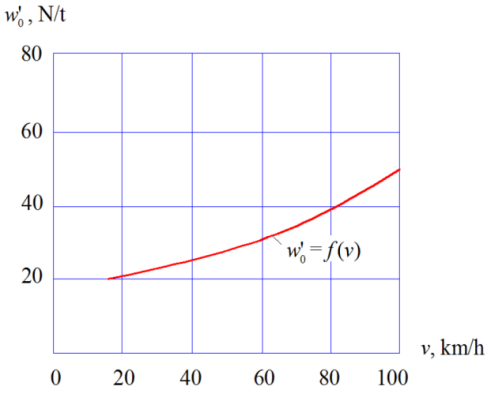
Lyginamųjų judėjimo varžų $w_0^{'}$ ir $w_{0te}^{'}$ priklausomybės nuo važiavimo greičio pateiktos 32 paveiksle. Prekinio sąstato važiavimo pagrindinė judėjimo varža $W_0^{''}$ priklauso nuo važiavimo greičio ir vagonų tipo bei nustatoma taikant formulę:

$$W_0^{''} = Q \cdot w_0^{''}(v). \tag{9}$$

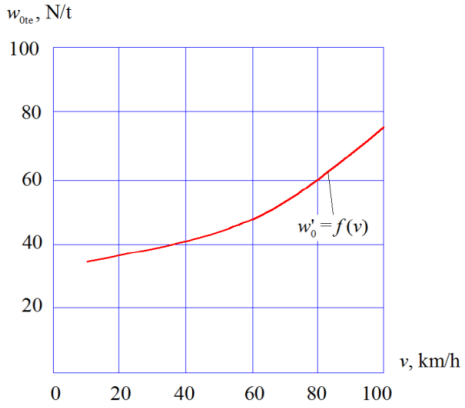
Keturių ašių vagono pagrindinė lyginamoji judėjimo varžos $w_0^{''}(v)$ priklausomybės nuo važiavimo greičio v kreivė pateikta 32 pav. (Jastremskas 2012). Priklausomybės $w_0^{'}(v)$, $w_{0te}^{'}(v)$, $w_0^{''}(v)$ apytiksliai aproksimuojamos atkarpų funkcijomis ir nustatomos mazgų taškų koordinatėmis.



a)



b)



c)

32 pav. Tipinės pagrindinės lyginamųjų varžų priklausomybių nuo greičio kreivės: a) keturių ašių vagono; b) šilumvežio traukos režimo; c) šilumvežio tuščiąja eiga

Prekinių vagonų pagrindinė judėjimo varža nustatoma atsižvelgiant į ašies apkrovą q_a, naudojamus guolius (slydimo, riedėjimo) ir kelio tipą (segmentiniai bėgiai, ilgabėgiai). Tokiu atveju, kai kelias sudarytas iš segmentinių bėgių, o ašies apkrova mažesnė negu 6 tf (tušti prekiniai vagonai) keturių ašių vagonų lyginamoji judėjimo varža apskaičiuojama taikant formulę:

$$w_0'' = 0,7 + \frac{8 + 0,1 \cdot v + 0,0025 \cdot v^2}{q_a}. \quad (10)$$

Kai bėgių kelias sudarytas iš ilgabėgių šių vagonų judėjimo varža apskaičiuojama taikant formulę:

$$w_0'' = 0,7 + \frac{8 + 0,08 \cdot v + 0,002 \cdot v^2}{q_a}. \quad (11)$$

Keturių ašių vagonų (su riedėjimo guoliais), ašies apkrova q_a > 6 tf, o bėgių kelias – iš segmentinių bėgių lyginamoji judėjimo varža nustatoma taikant formulę:

$$w_0'' = 0,7 + \frac{3 + 0,1 \cdot v + 0,0025 \cdot v^2}{q_a}. \quad (12)$$

4.1.2.Papildomų traukinio judėjimo varžų apskaičiavimas

Modeliuojant prekinio traukinio važiavimą kelio ruožu Vilnius–Kaišiadorys įvertintos papildomos traukinio judėjimo varžos. Šioms varžoms priskirti ne nuolatiniai veiksniai, kurie atsiranda traukinio važiavimo metu: kelio kreivės *R*, nuolydžiai *i*, žema temperatūra (mažiau negu + 10 °C) ir priešpriešinis vėjas (kai vėjo greitis didesnis negu 5 m/s).

Kelio nuolydžio $W_i(x)$ traukinio judėjimo varža nustatoma taikant formulę:

$$W_i(x) = \int_{x_p}^{x_g} i_r(x) \cdot (P+Q) \cdot (x) dx; \tag{13}$$

čia: x_p – nuolydžio pradžios koordinatė; x_g – nuolydžio pabaigos koordinatė.

Papildoma lyginamoji traukinio judėjimo varža, atsirandanti dėl važiavimo kelio kreivėmis, kai kelio kreivės spindulys $R \geq 300$ m apskaičiuojama taikant formulę:

$$w_R = \frac{700}{R}. \tag{14}$$

Papildoma lyginamoji traukinio judėjimo varža, atsirandanti dėl važiavimo kelio kreivėmis, kai kelio kreivės spindulys $R < 300$ m apskaičiuojama taikant formulę:

$$w_R = \frac{700}{100+R}. \tag{15}$$

11 ir 12 formulės naudojamos, kai kreivės ilgis l_R didesnis negu traukinio ilgis l_{trauk}. Kai kreivės ilgis $l_R < l_{trauk}$, papildoma pasipriešinimo jėga dėl kreivės sumažinama proporcingai nuo kreivės ilgio ir traukinio ilgio santykio. Koreguojant kelio profilį papildoma judėjimo varža dėl kreivės sumažinama proporcingai nuo kreivės ilgio ir koreguoto elemento profilio ilgio.

Kai traukinys pajuda į priekį, atsiranda papildoma judėjimo varža, kurią galima nustatyti taikant formulę:

$$w_{papild} = \left(0{,}15 + \frac{i}{1000}\right) \cdot w_0. \tag{16}$$

Kai judėjimas vyksta tuščiąja eiga vietoj w_0' formulėje naudojama lyginamoji judėjimo varža tuščiojoje eigoje w_{te}'.

Suminė traukinio judėjimo varža traukos režimu nustatoma kaip pagrindinių ir papildomų pasipriešinimo jėgų suma ir priklauso nuo važiavimo greičio ir padėties kelio ruože.

$$W_{sum} = w_0' \cdot P + w_0'' + (P+Q) \cdot (w_i + w_R + w_{papild}). \tag{17}$$

Kai judėjimas vyksta tuščiąja eiga, vietoj w_0' formulėje naudojama w_{te}'.

4.2. Traukinio stabdymo jėgos nustatymas

Modeliuojant prekinių traukinių važiavimą priimta, kad traukinio stabdymo jėga yra visuma valdomų jėgų, sukuriamų traukinio stabdymo įrenginiais, ratams sąveikaujant su bėgiais, ir pridėta prie ratlankio priešinga judėjimui kryptimi. Stabdymo jėga reguliuojama mašinisto arba automatiškai (Bureika 1998).

Stabdymui traukiniuose naudojami pneumatiniai (su stabdymo trinkelėmis) šilumvežių ir vagonų stabdymo įrenginiai. Taip pat esant elektriniai traukai įvertinta galimybė naudoti magnetinių bėgių ir elektroreostatinį stabdymą. Esant frikciniam (naudojant stabdymo trinkeles) stabdymui, stabdymo jėga gaunama dėl trinkelių trinties su ratu. Pilna stabdymo jėga, naudojant frikcinį stabdymą, gauta taikant formulę:

$$B_{stab} = \sum \varphi \cdot K; \tag{18}$$

čia: φ – trinkelių trinties koeficientas; K – stabdžių trinkelių prispaudimo jėga.

Skaičiuojant traukinio stabdymo jėgą panaudota suminė šilumvežio ir visų vagonų stabdymo jėga.

Atskira frikcinio stabdymo jėga gaunama taikant formulę:

$$b_{stab} = \frac{B_{stab}}{P + Q}; \tag{19}$$

čia: P – šilumvežio masė; Q – sąstato masė.

Trinties koeficientas φ, priklausomai nuo stabdžių trinkelių tipo nustatytos iš toliau pateiktų formulių. Kai prekinio traukinio stabdymui naudojamos standartinės ketaus trinkelės trinties koeficientas nustatomas taikant formulę:

$$\varphi = 0,6 \frac{0,016K + 100}{0,080K + 100} \cdot \frac{v + 100}{5v + 100}. \tag{20}$$

Kai prekinio traukinio stabdymui naudojamos ketaus trinkelės su fosforo priemaišomis (1,0–1,4 %) trinties koeficientas nustatomas taikant formulę:

$$\varphi = 0,5 \frac{0,016K + 100}{0,052K + 100} \cdot \frac{v + 100}{5v + 100}. \tag{21}$$

Išimtiniais atvejais, kai naudojamos kompozicinės stabdžių trinkelės (šios trinkelės yra sąlyginai brangesnės negu ketau ir dažniausiai naudojamos tik keleiviniuose traukiniuose), stabdžių trinkelių trinties koeficientas nustatomas taikant formulę:

$$\varphi = 0,44 \frac{0,001K + 20}{0,004K + 20} \cdot \frac{v + 150}{2v + 150}. \tag{22}$$

Prekinio traukinio stabdymo jėgos apskaičiavimui naudojami empiriniai duomenys. Stabdžių trinkelių trinties koeficientai apskaičiuoti pagal anksčiau pateiktas formules. Stabdžių trinkelių prispaudimo jėgos prekiniuose vagonuose pateiktos 4.1 lentelėje. Modeliuojant prekinio traukinio važiavimą suformuojamas sąstatas, parenkami vagonai. Pagal vagono techninius duomenis parenkama kokia yra stabdžių trinkelių prispaudimo jėga.

4.1 lentelė. Prekinių vagonų stabdžių trinkelių prispaudimo jėga

Vagono tipas	Ašių skaičius	Trinkelių skaičius	Trinkelių tipas	Stabdžių trinkelių prispaudimo jėga *K*, N		
				Pakrautas	Pusiau pakrautas	Tuščias
Atviras, cementovežis	4	8	Ketaus	3 800	2 300	1 260
			Kompozicinės	2 400	1 480	820
Platforma, dengtieji, cisternos	4	8	Ketaus	3 820	2 340	1 280
			Kompozicinės	2 500	1 540	850
Atviras	8	16	Ketaus	3 500	2 180	1 240
			Kompozicinės	2 200	1 350	750
Cisterna	8	16	Ketaus	3 700	2 300	1 300
			Kompozicinės	2 500	1 500	860

Sumodeliuotame prekinio traukinio važiavime didžiausia stabdymo jėga pasiekiama ne tą pačią akimirką, o palaipsniui. Stabdžių cilindrų palaipsninis pripildymas įvertintas apytikriai, remiantis stabdžių paruošimo veikimui laiku t_n, kuris apskaičiuojamas taikant formulę:

Kai prekinio traukinio sąstato ašių skaičius yra 200 ir mažesnis, stabdžių cilindrų pripildymo laikas apskaičiuojamas naudojant formulę:

$$t_n = 7 - \frac{10 \cdot n}{b_{stab}}; \tag{23}$$

čia: n – aširačių skaičius.

Kai prekinio traukinio sąstato ašių skaičius yra ašių skaičius didesnis negu 200, bet mažesnis negu 300, stabdžių cilindrų pripildymo laikas apskaičiuojamas naudojant formulę:

$$t_n = 10 - \frac{15 \cdot n}{b_{stab}}. \tag{24}$$

Kai prekinio traukinio sąstato ašių skaičius yra ašių skaičius didesnis negu 300, stabdžių cilindrų pripildymo laikas apskaičiuojamas naudojant formulę:

$$t_n = 12 - \frac{18 \cdot n}{b_{stab}}. \quad (25)$$

Prekiniams traukiniams (kai sąstato masė mažesnė negu 4 000 t ir ašių skaičius mažesnis negu 200), susidedančių iš kelių vagonų, stabdžių paruošimo laikas veikimui nustatomas taikant formules:

Kai priimama sąlyga, kad modeliuojamas prekinio traukinio važiavimas vyksta vasaros laikotarpiu. Tai stabdžių cilindrų pripildymo laikas apskaičiuojamas taikant formulę:

$$t_n = 3 - \frac{5 \cdot n}{b_{stab}}. \quad (26)$$

Kai priimama sąlyga, kad modeliuojamas prekinio traukinio važiavimas vyksta žiemos laikotarpiu (oro temperatūra žemesnė negu + 10 °C). Tai stabdžių cilindrų pripildymo laikas apskaičiuojamas taikant formulę:

$$t_n = 4 - \frac{6,5 \cdot n}{b_{stab}}. \quad (27)$$

Naudojant traukos variklius su magnetiniu stabdymu reikia įvertinama atsirandanti papildoma stabdymo jėgą B_{papild}. Ši šilumvežio stabdymo jėgą nustatoma iš empirinių formulių (RailBrainSystems TM 2008):

$$B_{papild} = 21940 \cdot e^{-0,0184 \cdot v}; \quad (28)$$

čia e – natūrinis skaičius.

Elektrinis reostatinis stabdymas naudojamas kaip papildomas važiuojant ilgais nuolydžiais ir šiame modeliavime nėra neįvertinamas.

4.3. Šilumvežio traukos charakteristikos sudarymas

Nestabilios sistemos praktiškai nedarbingos, jos negali užtikrinti nustatytų charakteristikų realizavimo ir yra pavojingos eismo saugumo pažiūriu. Nustatomas skaičiuojamasis sankibos koeficientas ψ_{sk}, kuris užtikrina judėjimo stabilumą. Skaičiuojamasis sankibos koeficientas nustatomas bandymų būdu, kaip santykis tarp didžiausios realizuojamos eksploatacijoje traukos jėgos F_{tr} su statine varančiųjų ratų apkrova į bėgius (Bureika 1998).

Šilumvežio traukos jėgos priklausomybė nuo važiavimo greičio turi ganėtinai sudėtingą charakteristiką ir nustatoma pagal valdiklio poziciją, traukos variklių pajungimo tipus ir iš aširačių sankibos su bėgiu koeficientų. Tyrimo tikslams naudojama apskaičiuota traukos jėga, degalų sąnaudos, kurios pateikiamos toliau.

Pradiniuose traukos diapazonuose, kai važiavimo greitis yra mažesnis negu v_{sk} – skaičiuojamasis greitis (4.2 lentelė), didžiausia traukos jėga dažniausiai apribojama rato ir bėgio sankiba (Постол *et al.* 2011).Šilumvežio sankibos koeficiento reikšmės taikant formulę:

$$\psi = 0{,}188 + \frac{5}{27{,}5 + v}. \tag{29}$$

Šilumvežiui judant kelio kreive sankibos koeficiento reikšmė sumažėja nuo ψ iki ψ_R, kuri nustatoma taikant formulę:

$$\psi_R = \psi \frac{250 + 1{,}55R}{500 + 1{,}1R}. \tag{30}$$

30 formulė rekomenduojama naudoti kai kreivės spindulys mažesnis negu 500 m, o kai kreivės spindulys mažesnis negu 800 m naudojama ši formulė:

$$\psi_R = \psi \frac{250 + 1{,}55R}{500 + 1{,}1R}. \tag{31}$$

Kai kreivės spindulys didesnės negu 800 m priimama, kad $\psi_R = \psi$.

Bendruoju atveju šilumvežio sankibos koeficiento sumažėjimas nuo ψ iki ψ_R, apskaičiuojamas taikant formulę:

$$\psi_R = \psi \frac{3{,}5 \cdot R}{400 + 3R}. \tag{32}$$

Šilumvežio traukos jėga atkarpose, apribojamuose sankibos koeficiento, apskaičiuojama taikant formulę:

Tiesiose kelio atkarpose:

$$F_{tr}^{sank} = 1000 \cdot P \cdot \psi. \tag{33}$$

Kelio kreivėse:

$$F_{tr}^{sank} = 1000 \cdot P \cdot \psi_R. \tag{34}$$

Šilumvežių eksploatacija vyksta esant greičiams, kurie didesnis negu greičiai automatinėse charakteristikose v_{sk}, ir nustatomi taikant formulę:

$$v_{sk} = \frac{\eta \cdot N}{\psi_T \cdot P}. \tag{35}$$

Normaliomis eksploatacijos sąlygomis traukos koeficientas ψ_T priimamas 0,14 – kai naudoja elektrinė transmisija ir 0,19 – kai naudojama hidraulinė transmisija, o esant idealioms sąlygoms atitinkamai 0,18 ir 0,25. Koeficientų šilumvežio traukos charakteristiką priartinančių prie realiosios η reikšmės, v_{sk} reikšmės atitinkančios N šilumvežiams, kurios gaunamos esant įprastomis sąlygomis pateikiamos lentelėje toliau.

4.2 lentelė. Skaičiavimams naudojamų prekinių šilumvežių duomenys

Šilumvežio serija	**Šilumvežio masė *P*, t**	**Koef. įvertinantis teorinę traukos jėgą *η***	**Skaičiuojamasis greitis v_{sk}, km/h**	**Šilumvežio galia *N*, kW**	**Konstrukcinis greitis v_{max}, km/h**
2M62	238	0,78	18,9	2×1470	100
2M62K	238	0,78	18,9	2×1470	100
2M62M	238	0,71	21,9	2×1700	100
M62K	119	0,75	18,9	1470	100
ER20CF	138	0,60	22,2	2000	120
2ER20CF	276	0,78	22,2	2×2000	120

Kai šilumvežių greičiai didesni negu v_{sk} traukos jėgos charakteristiką galima nustatyti taikant formulę:

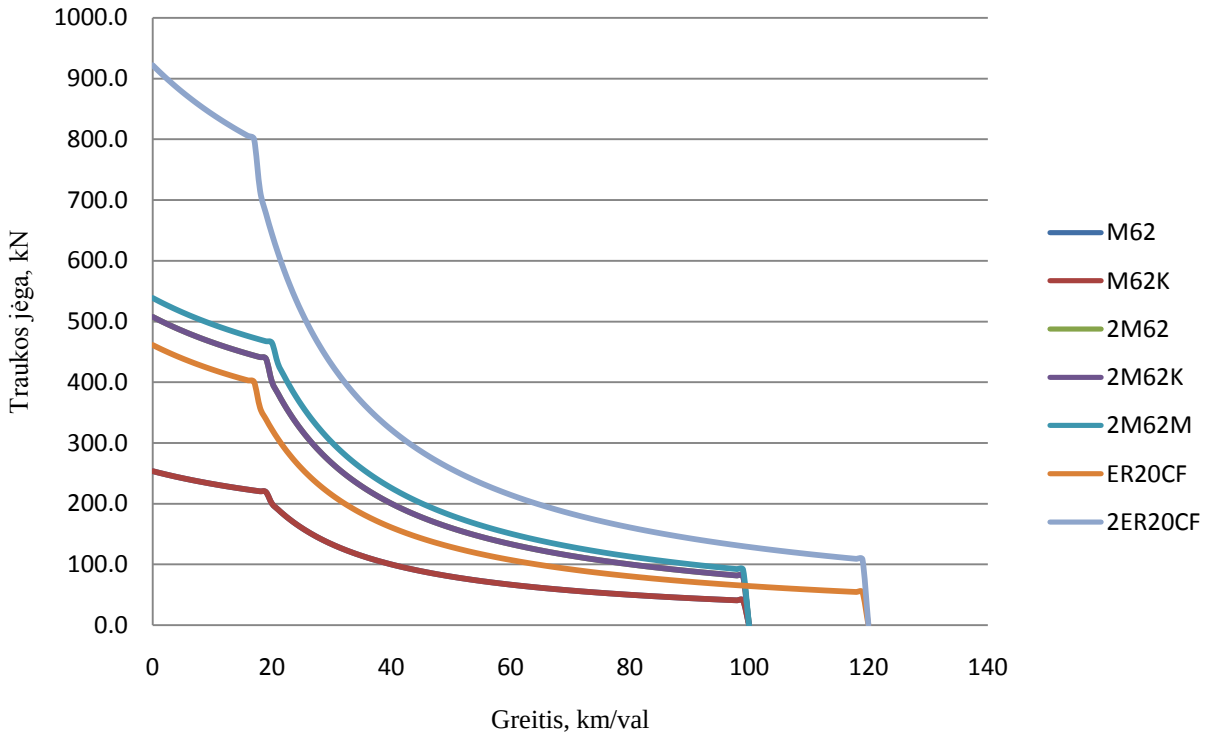
$$F_{tr} = \frac{\eta \cdot N}{v}; \tag{36}$$

čia: N – šilumvežio galia, kW.

Lyginamoji traukos jėga f_{tr} nustatoma taikant formulę:

$$f_{tr} = \frac{F_{tr}}{P + Q}; \tag{37}$$

čia: Q – sąstato masė, t.



33 pav. Apskaičiuotos šilumvežių sankibos traukos jėgos charakteristikos

Iš 33 paveiksle pateitų sankibos traukos charakteristikų matyti, kad didžiausią traukos jėgą 922 kN pajudant iš vietos išvysto SIEMENS ER20CF serijos sudvejintas šilumvežis, kas yra 41,6 % arba 384 kN daugiau negu modernizuotas 2M62M šilumvežio ir 45,0 % arba 415 kN daugiau negu 2M62 ir „remotorizuotas“ 2M62K.

4.4. Traukinio sąstato masės nustatymas

Palyginamojoje analizėje sąstato masė parenkama remiantis pasirinktame kelio ruože vidutiniškai vienai šilumvežio serijai tenkančia sąstato mase. Atitinkamai skirtingų serijų šilumvežiai gali traukti skirtingų masių sąstatus, nebūtinai didžiausios galimos masės. Kai kuriais atvejais būtina įsitikinti ar suformuotą sąstatą galės patraukti parinktas šilumvežis. Praktikoje išryškėja svarbus uždavinys – traukinio masės skaičiavimas: kokios masės sąstatą galima traukti, jeigu žinomos traukinį veikiančios jėgos ir judėjimo sąlygos (kelio vertikalus ir horizontalus profilis, atvykimo-išvykimo kelių ilgiai, eismo intensyvumas, judėjimo greičiai ir t.t.) (Bureika 1998).

Šiuo atveju visos sąstatų masės skaičiuojamos esant tai pačiai vienos serijos šilumvežio apskaičiuotai traukos jėgai, esant vienodai judėjimo varžai, kai traukinys važiuoja pastoviu mažiausiu greičiui v_{min} važiuojant įkalne i_{sk}. Tada skaičiuojamoji sąstato masė Q_{sk} turi atitikti šią sąlygą (Bureika *et al.* 2004):

$$Q_{sk} \le \frac{F_{tr} - \left(w_0^{'} + i_{sk}\right) \cdot P}{\left(w_0^{''} + i_{sk}\right)}; \tag{38}$$

čia: Q_{sk} – skaičiuojamoji sąstato masė, t; P – šilumvežio masė, t; F_{tr} – apskaičiuota šilumvežio traukos jėga, kN; $w_0^{'}$ – lyginamoji vagonų judėjimo varža, N/t;$w_0^{''}$ – lyginamoji šilumvežio judėjimo varža, N/t.

Šilumvežiams v_{min} reikšmė priimama ne mažesnė negu pirminė automatinėje charakteristikoje. Kiti dydžiai, kurie naudojami anksčiau minėtoje formulėje, priimami priklausomai nuo greičio v_{min}. Kadangi traukiniui judant kreivėmis atsiranda papildomos pasipriešinimo judėjimui jėgos ir taip sumažina traukos jėgą, reiktų įvertinti ne tik kelio profilio vertikalius nelygumus, bet ir horizontalius – kreives.

Galimybes naudoti didelės masės sąstatus ar galimybę įveikti dideles įkalnes naudojant traukinio kinetinę energiją reikia įvertinti atliekant traukos skaičiavimus.

Apskaičiuotą traukinio sąstato masę reikia patikrinti skaičiavimais traukinio pajudėjimui iš vietos, ar ašies apkrova neviršija leistinos ir dėl traukos elektrinio variklio perkaitymo.

Atliekant kompiuterinius skaičiavimus traukinio sąstato masė dėl pajudėjimo iš vietos patikrinama taikant formulę:

$$Q \le \frac{F_{tr}}{w_{paj} + i_{paj}} - P; \tag{39}$$

čia: w_{paj} – traukinio sąstato judėjimo varža pajudant iš vietos, N/t; i_{paj} – kelio įkalnė, kai vyksta pajudėjimas iš vietos, ‰.

Traukinio varža pajudant iš vietos žymiai didesnė, nei traukiniui judant nusistovėjusiu režimu. Pajudėjimo iš vietos varža priklauso nuo ašies apkrovos q_a ir ašidėžės guolių tipo, tepalo savybių. Lyginamoji pajudėjimo varža w_{paj} apskaičiuojama taikant empirinę formulę:

$$w_{paj} = \frac{28}{q_a + 7}; \tag{40}$$

Įkalnėje ši varža bus lygi $w_{paj} + i_{paj}$.

Bendruoju atveju traukinio sąstato masė dėl pajudėjimo iš vietos patikrinama taikant formulę:

$$Q \le \frac{F_{trpaj}}{110 \cdot a + w_0 + w_{paj} + i_{paj}} - P; \tag{41}$$

čia: a – traukinio pagreitis pajudant iš vietos, išvažiuojant iš stoties priimama, kad a = 0,05 m/s^2, o atliekant manevrinius darbus a = 0,1 m/s^2.

Apskaičiuota šilumvežio traukos jėga pajudant iš vietos ir esant normalioms sąlygoms nurodyta4.3lentelėje.

4.3 lentelė. Šilumvežių traukos jėga pajudant iš vietos, esant normalioms sąlygoms

Šilumvežio serija	**Traukos jėga pajudant iš vietos F_{trpaj}, kN**
2M62	507
2M62K	507
2M62M	538
M62	254
M62K	254
ER20CF	461
2ER20CF	922

Norint įvertinti ar stotyse esančių priėmimo kelių ilgiai pakankami, reikia nustatyti traukinio ilgį. Priėmimo kelio ilgis turi būti minimaliai 10 m ilgesnis negu traukinio ilgis.

4.4 lentelė. Šilumvežių ir vagonų ilgiai

Šilumvežis arba vagonas	**Elemento ilgis, m**
Keturių ašių cisternis vagonas	12,86
Aštuonių ašių cisternis vagonas	20,36
Keturių ašių dengtasis vagonas	16,69
Keturių ašių izoterminis vagonas	19,24
Keturių ašių platforma	16,14
Keturių ašių pusvagonis	13,71
Aštuonių ašių pusvagonis	17,87
2M62 serijos šilumvežis	35,1
2M62K serijos šilumvežis	35,1
2M62M serijos šilumvežis	35,1
M62K serijos šilumvežis	17,55
ER20CF serijos šilumvežis	19,28
2ER20CF serijos šilumvežis	38,56

Turi būti tenkinama tokia sąlyga:

$$l_{at-iš} \geq l_{trauk} = \Sigma l_{vag} + l_{šilum} + 10 \text{ m}; \quad (42)$$

čia: $l_{at\text{-}iš}$ – atvykimo-išvykimo kelio ilgis stotyje, m; l_{vag} – vagono ilgis, m; $l_{šilum}$ – šilumvežio ilgis, m.

Šilumvežių ir vagonų ilgiai pateikti 4.4 lentelėje.

4.5. Greičio apribojimų nustatymas ruože Vilnius–Kaišiadorys

Vertinant kelio nuolydžius, būtina nustatyti greičio apribojimus skirtinguose kelio ruožuose. Skaičiuojant šilumvežio trauką būtina įvertinti traukinio judėjimo greičio apribojimus, kurie nustatomi remiantis traukinio sąstato elementų konstrukciniais ypatumais, konstrukciniu ar leistinu kelio ruožo greičiu, bėgių iešmų tipais ir saugaus eismo reikalavimus. Saugaus eismo reikalavimuose didžiausias judėjimo greitis apribojamas atsižvelgiant į traukinio staigiojo stabdymo atvejus, kai stabdymo kelias turi neviršyti ribinių reikšmių. Priimama, kad modeliuojant traukinių važiavimą traukinių greitis ir traukinio stabdymo įranga turi užtikrinti traukinio stabdymo kelią, kuris yra ne ilgesnis negu 300 metrų.

Jeigu priimame, kad laiko intervale Δt = 1 s traukinį veikiančios jėgos nesikeičia, tai greičio sumažėjimą km/h stabdant galima nustatyti taikant formulę:

$$\Delta v = \frac{r}{30}; \tag{43}$$

čia: r – suminė traukinio stabdymo reikšmė, N; b_{stab} – stabdymo jėga naudojant stabdžių trinkeles, N; b_m – stabdymo jėga naudojant elektros traukos variklius, N. $r = b_{stab} + b_m$ priimamos esant judėjimo greičiui, iki stabdymo.

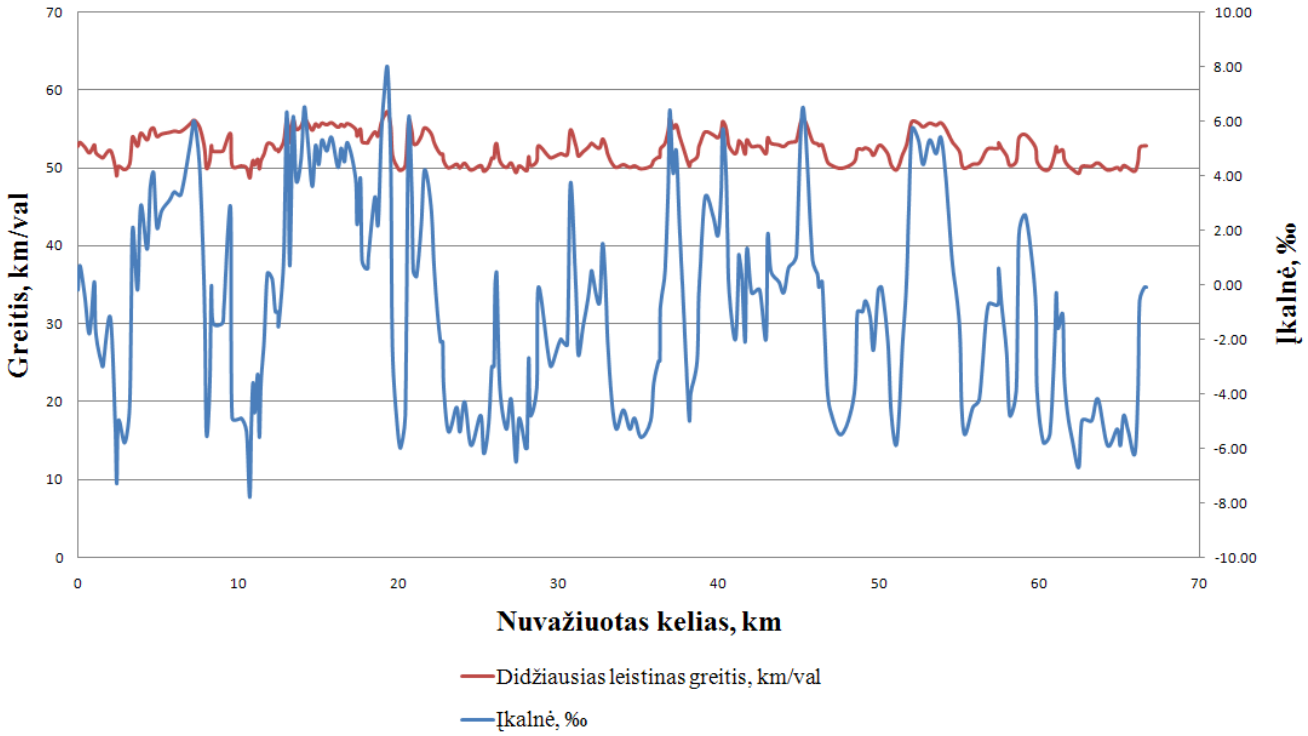
Kai nustatomas greičio pokytis Δv, apskaičiuojamas nuvažiuotas kelias ΔS:

$$\Delta S = \frac{\left(v - \frac{\Delta v}{2}\right)}{3,6}. \tag{44}$$

Skaičiavimas kartojamas, kol pasiekiamas momentas, kai $v - \Delta v = 0$, arba pasiekiamas greitis numatomas apribojimuose. Taip nustatomas kelias, kurį traukinys nuvažiuos iki visiško sustojimo. Keičiantis traukinio pradiniam greičiui, būtina įvertinti jo sustabdymo kelią, kuris neturi viršyti 300 metrų. Gauti rezultatai yra naudojami tolesniems traukos skaičiavimams aproksimuojant tiesines priklausomybes. Šiuo atveju gaunama tokia didžiausio leidžiamojo greičio išraiška:

$$v_{\lim} = a_{g\lim} \cdot i + b_{g\lim}; \tag{45}$$

čia: i – kelio įkalnė, ‰; a_{glim} ir b_{glim} – empiriniai koeficientai, įvertinantys traukinio judėjimą kelio nuolydžiais.



34 pav. Supaprastintos traukinio greičio apribojimų priklausomybės nuo kelio nuolydžių

Atliktų traukinio greičio apribojimų skaičiavimų rezultatai pateikti 34 paveiksle. Iš anksčiau minėtų traukinio sustojimo sąlygų nustatyta, kad kelio ruože Vilnius–Kaišiadorys modeliuojami prekiniai traukiniai neturėtų važiuoti greičiau negu 57,2 km/h. Šis greičio apribojimas įsigalioja 19-tame ruožo kilometre. Didžiausias greičio apribojimas yra 10-tame ruožo kilometre–leidžiama važiuoti iki 48,6 km/h greičiu.

4.6. Kelio išilginio profilio redukavimas

Palyginamiesiems prekinių traukinių eksploatacinių parametrų (degalų sąnaudų, važiavimo greičio) skaičiavimams parinktas kelio ruožas Vilnius–Kaišiadorys. Kelio profilio duomenys matematinio modelio duomenų bazėje (*Microsoft Excel* lentelė) aprašyti įvedant kreivių spindulius (m), jų pradžią ir pabaigą kelio ruože. Kelio nuolydžių duomenys įvesti įrašant nuolydį (‰) ir jo ilgį metrais. Vienu metu matematinio modelio duomenų bazėje gali būti aprašytas tik vienas kelio ruožas. Skaičiavimai atliekami abejomis kryptimis (Vilnius–Kaišiadorys ir Kaišiadorys–Vilnius). Prekinio sąstato ir šilumvežio eksploatavimo režimas ir sunaudotų degalų kiekis priklauso nuo kelio charakteristikų (kreivių ir nuolydžių). Išanalizavus kelio ruožo Vilnius–Kaišiadorys ir Kaišiadorys–Vilnius grafinę diagramą nustatytas vidutinis įkalnių ir nuokalnių statumas bei bendras važiavimo atstumas važiuojant įkalne ir nuokalne. Bendras važiavimo atstumas važiuojant kelio įkalnėmis, nuokalnėmis bei vidutinis jų dydis pateikiamas 4.5 lentelėje.

4.5 lentelė. Suminis kelio ruožo ilgis važiuojant įkalne, nuokalne bei horizontaliu keliu ruože Vilnius–Kaišiadorys ir Kaišiadorys–Vilnius

Ruožas	Kelio profilis	Suminis ruožo ilgis, km	Vidutinis nuolydis, ‰
Vilnius–Kaišiadorys	Įkalnė	25,7	2,97
	Nuokalnė	41,3	-3,15
Kaišiadorys–Vilnius	Įkalnė	41,3	3,15
	Nuokalnė	25,7	-2,97

Iš 4.5 lentelės matyti, kad kelio ruože Vilnius–Kaišiadorys važiavimas įkalne sudaro 25,7 km, o nuokalne 41,3 km, kas atitinka 38,6 % važiavimo įkalne ir 61,4 % važiavimo nuokalne. Analogiškai traukiniui važiuojant Kaišiadorys–Vilnius važiavimas įkalne sudarys 61,4 %, o nuokalne 38,6 % Traukinys važiuodamas Vilnius–Kaišiadorys nuvažiuos 15,6 km daugiau nuokalne negu įkalne, o Kaišiadorys–Vilnius 15,6 km daugiau nuvažiuos įkalne. Sąstatą traukiantis šilumvežis važiuodamas link Vilniaus sunaudos daugiau degalų negu važiuodamas link Kaišiadorių. To priežastis yra reikalingas didesnis lyginamasis šilumvežio galingumas(tenkantis masės vienetui) sąstatą traukiant įkalnėje.

Kelio kreivės kelio ruože atskirai nenagrinėjamos, nes bendras judėjimo varžų dydis dėl kreivių abejomis važiavimo kryptimis bus vienodos. Tikslūs kelio nuolydžių ir kreivių duomenys pateikti 1 ir 2 prieduose.

Tikslesnis kelio nuolydžių įtakos įvertinamas pateikiamas tolimesniuose šilumvežio degalų sąnaudų apskaičiavimo rezultatuose.

4.7. Traukinio važiavimo trukmė ir degalų sąnaudos pasirinktame kelio ruože

Skaičiavimai atliekami su *Microsoft Excel* programa. Skaičiuojama traukos režimu judant pirmyn ir sustabdymo režimu judant atgal. Jeigu traukinio judėjimas vyksta vagonais pirmyn ar didelio vėjo sąlygomis, tai šių veiksnių papildoma varža įskaičiuojama į bendrą sąstato varža (RailBrainSystems TM 2008). Kompiuteriniams skaičiavimams naudojamas integravimas, kai integravimo žingsnis yra pagal kelią ΔS. Traukinio važiavimo greičio pokytis traukos režimu:

$$\Delta v = \sqrt{v_n^2 + 0,24 \cdot \left(f_{tr} - w - i \right) \cdot \Delta S} - v_n . \tag{46}$$

$$v_k = v_n + \Delta v. \tag{47}$$

Traukinio važiavimo laiko pokytis:

$$\Delta t = \frac{60 \cdot \Delta S}{500 \cdot \left(v_n + v_k \right)}; \tag{48}$$

čia: Δv – greičio pokytis, km/h; v_{n} – traukinio greitis integracijos pirmame žingsnyje, km/h; v_{k} – traukinio greitis integracijos paskutiniame žingsnyje, km/h; Δt – laiko pokytis, min; w – trakinio judėjimo varža, N/t; i – įkalnės dydis, ‰.

Traukinio važiavimo greičio pokytis stabdymo režimu:

$$\Delta v = \sqrt{v_n^2 + 0,24 \cdot \left(k_{cg} \cdot b_{stab} + w + i \right) \cdot \Delta S - v_n}. \tag{49}$$

Traukinio važiavimo laiko pokytis stabdymo režimu:

$$\Delta t = \frac{60 \cdot \Delta S}{1000 \cdot \left(v_n + \frac{\Delta v}{2} \right)}; \tag{50}$$

čia: k_{cg} – koeficientas įvertinantis stabdžių naudojimą darbinio stabdymo metu, priimamas 0,5.

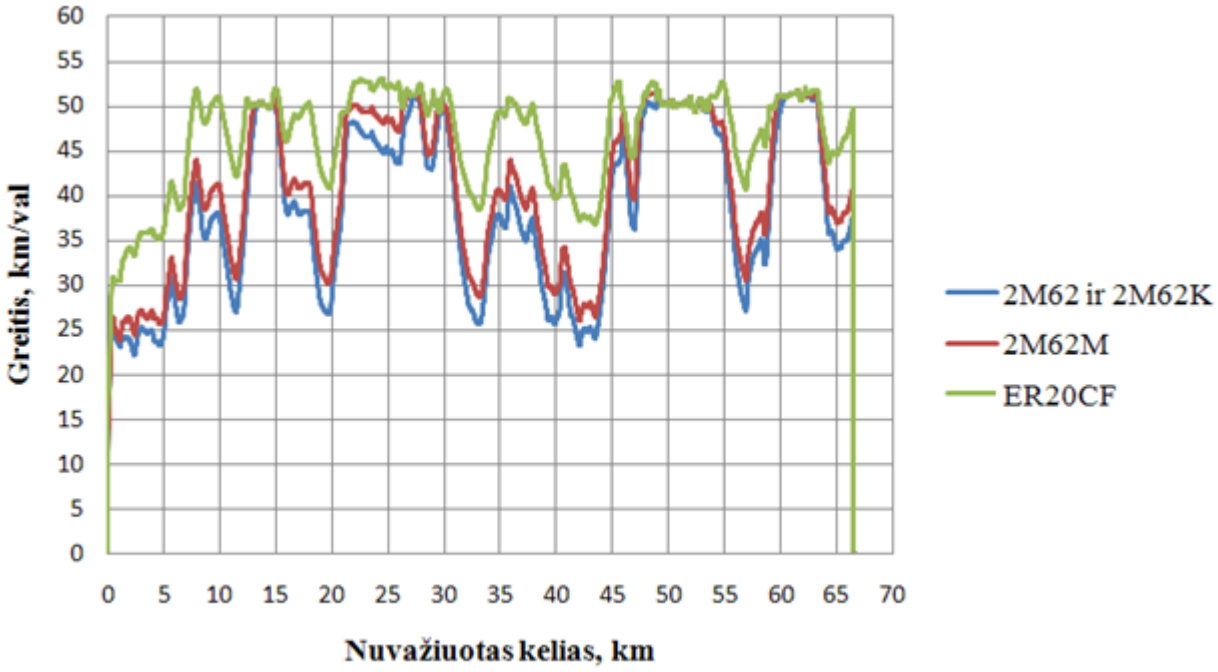
Jeigu greitis yra apribojamas, tada reikia nustatyti šiam greičiui reikalingą apribotą traukos jėgą F_{lim}:

$$F_{\text{lim}} = \left(P + Q \right) \cdot \left(w_0 + i \right); \tag{51}$$

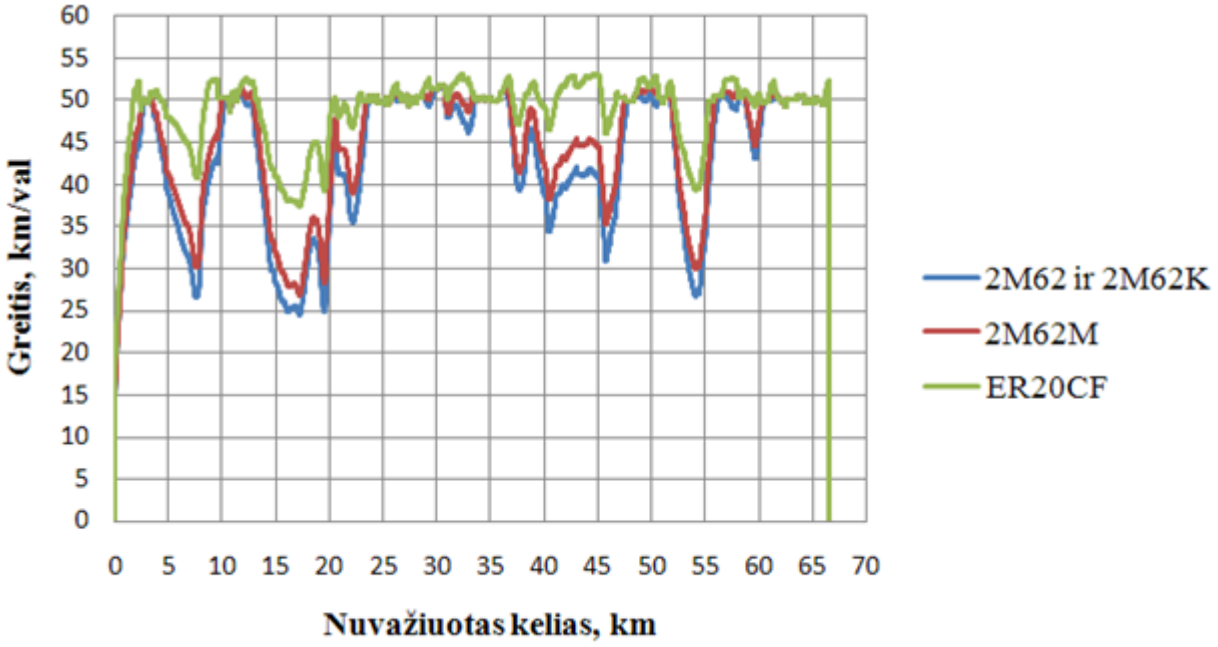
čia: w_0 – važiavimo varža traukos režimu, N/t.

PASTABA. Gaunamos neigiamos reikšmės priimamos kaip 0.

Modeliuojant prekinio traukinio važiavimą kelio ruože Vilnius–Kaišiadorys ir atgaline kryptimi Kaišiadorys–Vilnius apskaičiuoti traukinio važiavimo greičiai, kai sąstatą traukia 2M62, 2M62K, 2M62M ir ER20CF serijos šilumvežiai. Remiantis AB „Lietuvos geležinkeliai“ 2013 metais vidutine prekinių sąstatų mase – 2 859 t bruto (AB „Lietuvos geležinkeliai“ 2014), modeliavimui pasirinkta 2 860 t bruto sąstato masė. Tam parinktas 40 vagonų sąstatas (4-ašiai dengtieji vagonai modeliu 11-286), kurie pakrauti 1 764 t neto. Tokiu atveju vagonų krovumas vidutiniškai išnaudotas apie 65,8 %. Ašies apkrova q_a = 17,9 tf arba apie 176 kN. Gautos traukinių greičių diagramos pateiktos 35 ir 36 paveiksluose.



35 pav. Sumodeliuoti traukinių važiavimo greičiai kelio ruože Kaišiadorys–Vilnius



36 pav. Sumodeliuoti traukinių važiavimo greičiai kelio ruože Vilnius–Kaišiadorys

Iš gautų traukinių važiavimo greičių diagramų (35 ir 36 pav.) galima nustatyti kokiu vidutiniu greičiu važiavo traukiniai, kokį didžiausia greitį pasiekė ir per kiek laiko nuvažiavo numatytą kelio ruožą. Kryptimi Vilnius–Kaišiadorys 2M62 ir 2M62K serijos šilumvežiai, su numatytu sąstatu, važiavo vidutiniškai 43,1 km/h greičiu, 2M62M – 44,7 km/h, ER20CF – 48,6 km/h. Gauti rezultatai

rodo, kad šilumvežio ER20CF važiavimo laikas yra trumpiausias (4.6 lentelė). Šilumvežis ER20CF kelio ruožą nuvažiavo 9,3 min greičiau negu 2M62M ir 14 min greičiau negu 2M62 ir 2M62K.

Kryptimi Kaišiadorys–Vilnius vidutiniai traukinių važiavimo greičiai nurodyti 4.7 lentelėje. Šilumvežių 2M62 ir 2M62K vidutinis važiavimo greitis buvo 38,3 km/h, 2M62M – 40,5 km/h, ER20CF – 46,4 km/h. Šilumvežio ER20CF važiavimo trukmė 23,6 min trumpesnė negu šilumvežių 2M62 ir 2M62K bei 16,2 min negu 2M62M.

Prekinius sąstatus traukiant SIEMENS šilumvežiais važiavimo laiką galima sutrumpinti nuo 10 iki 21 %. Naudojant modernizuotus šilumvežius prekinių traukinių važiavimo laikas gali sutrumpėti nuo 5 iki 7 % lyginant su „remotorizuotais“ ir standartiniais 2M62 serijos šilumvežiais.

Nustatant degalų sąnaudas skaičiuojamos reikšmės kiekvienam kelio intervalui. Norint supaprastinti skaičiavimus (ypatingai atvejais kai traukos jėga naudojama ne didžiausia) galima naudoti apytikslius tendencijų metodus su *Microsoft Office Excel* nustatant linijines priklausomybes sunaudojamų degalų kiekio nuo traukos jėgos F_{tr} (N). Valandinės degalų sąnaudos g_m (kg/h), kai variklio galia pastovi, gaunamos praktiškai pastoviomis ir nustatomos iš žinynų. Kai traukos jėga naudojama ribotai, tai valandinės degalų sąnaudos gaunamos remiantis galia, kuri priklauso nuo kontrolerio padėties.

Degalų sąnaudos G (kg), esant traukos režimui, nustatomos sudedant sąnaudas kiekvienam integracijos intervale:

$$G = \frac{\sum g_m \cdot \Delta t}{60}. \tag{52}$$

Išsamiau šilumvežio darbo ekonomiškumą galima vertinti remiantis degalų sąnaudomis transportinio darbo vienetui (Lingaitis *et al*. 1999) – lyginamosios degalų sąnaudos g_{lyg} (kg/10 tūkst. t km):

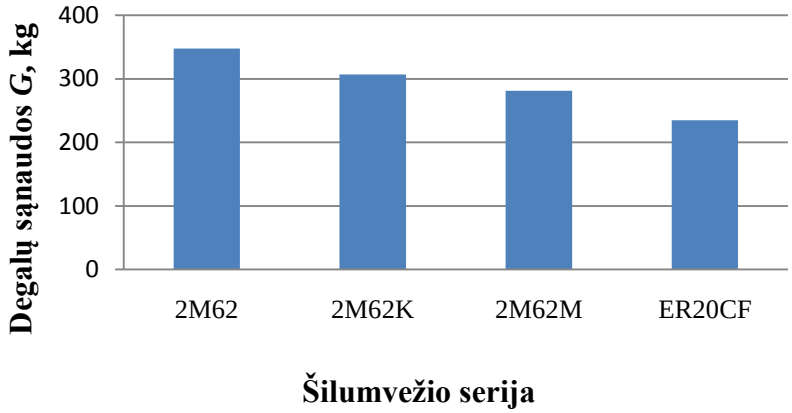
$$g_{lyg} = \frac{G}{Q \cdot S} \cdot 10^4. \tag{53}$$

Sumodeliavus šilumvežio važiavimą, su 2 860 t bruto masės sąstatu, gautos šilumvežių degalų sąnaudos kelio ruože Vilnius–Kaišiadorys. Siekiant modeliavimo rezultatus palyginti su realios eksploatacijos rezultatais ir normomis apskaičiuotos lyginamosios degalų sąnaudos. Skaičiavimų rezultatai pateikti 4.6 ir 4.7 lentelėse.

4.6 lentelė. Sumodeliuoti prekinio traukinio važiavimo rodikliai kelio ruože Vilnius–Kaišiadorys

Šilumvežio serija	Traukinio važiavimo laikas *t*, min	Didžiausias pasiektas greitis, km/h	Vidutinis važiavimo greitis, km/h	Degalų sąnaudos *G*, kg	Lyginamosios degalų sąnaudos g_{lyg}, kg/ 10 tūkst. t km
2M62	97,8	51,7	43,1	347,38	18,22
2M62K	97,8	51,7	43,1	306,79	16,09
2M62M	93,1	51,8	44,7	281,18	14,75
ER20CF	83,8	53,1	48,6	234,68	12,31

Iš modeliavimo rezultatų nustatyta, kad traukiniui važiuojant Vilnius–Kaišiadorys kryptimi mažiausiai degalų sunaudojo ER20CF serijos šilumvežis – apie 235 kg. Tai yra 46,51 kg mažiau negu 2M62M, 72,12 kg mažiau negu 2M62K ir 112,71 kg mažiau negu 2M62 serijos šilumvežis. Naudojant SIEMENS šilumvežius šiame ruože galima sutaupyti nuo 17 % iki 32% sunaudojamų degalų kiekio. Prekinius sąstatus traukiant modernizuotais šilumvežiais galima sutaupyti nuo 8 % iki 19 % sunaudojamų degalų kiekio. Taip pat „remotorizuoti“ šilumvežiai sutaupo iki 12 % sunaudojamų degalų kiekio. Degalų sąnaudų kitimas priklausomai nuo naudojamo šilumvežio pateiktas 37 paveiksle.



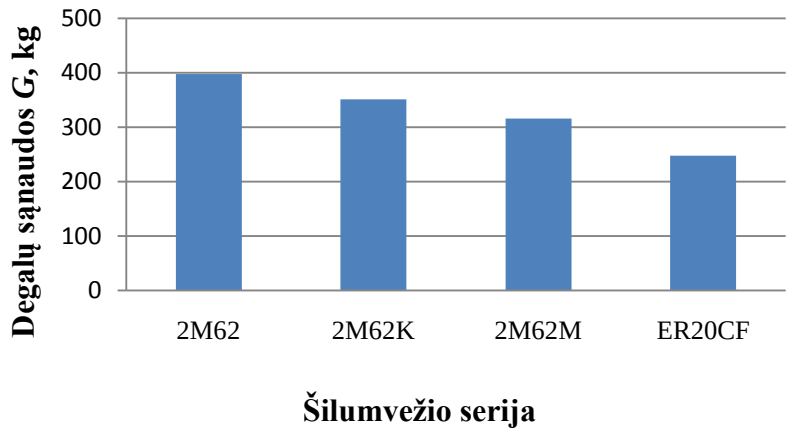
37 pav. Degalų sąnaudų kitimas priklausomai nuo šilumvežio serijos kelio ruože Vilnius–Kaišiadorys

Sumodeliavus prekinio traukinio važiavimą kryptimi Kaišiadorys–Vilnius gauti rezultatai analogiški kai važiavimo kryptis yra Vilnius–Kaišiadorys (4.7 lentelė). Absoliutus sunaudotų degalų kiekis tenkantis kiekvienos serijos šilumvežiui yra didesnis, nes važiuojant kryptimi Kaišiadorys–Vilnius vidutinė įkalnė 0,18 ‰ didesnė negu Vilnius–Kaišiadorys ir suminė įkalnė yra 15,6 km ilgesnė. Prekinius sąstatus traukiantys šilumvežiai turi panaudoti didesnį galingumą, kas daro įtaką degalų sąnaudų padidėjimą iki 14 % 2M62 serijos šilumvežiui ir iki 6 % ER20CF serijos šilumvežiui.

4.7 lentelė. Sumodeliuoti prekinio traukinio važiavimo rodikliai kelio ruože Kaišiadorys–Vilnius

Šilumvežio serija	Traukinio važiavimo laikas *t*, min	Didžiausias pasiektas greitis, km/h	Vidutinis važiavimo greitis, km/h	Degalų sąnaudos *G*, kg	Lyginamosios degalų sąnaudos g_{lyg}, kg/ 10 tūkst. t km
2M62	111,9	51,7	38,3	397,56	20,86
2M62K	111,9	51,7	38,3	351,12	18,43
2M62M	104,5	51,7	40,5	315,73	16,57
ER20CF	88,3	53,0	46,4	247,58	12,99

Šiuo maršrutu prekinius sąstatus traukiantys galingesni šilumvežiai įgyja dar didesnį pranašumą prieš senuosius 2M62 serijos šilumvežius. 38 paveiksle pavaizduotas degalų sąnaudų kitimas priklausomai nuo šilumvežio serijos kryptimi Kaišiadorys–Vilnius.



38 pav. Degalų sąnaudų kitimas priklausomai nuo šilumvežio serijos kelio ruože Kaišiadorys–Vilnius

Šiame kelio ruože kryptimi Kaišiadorys–Vilnius prekinius sąstatus traukiantys SIEMENS šilumvežiai sunaudoja nuo 21 % iki 38 % mažiau degalų negu kiti šilumvežiai. Modernizuoti 2M62M šilumvežiai sunaudoja nuo 10 % iki 20 % mažiau degalų negu 2M62K ir 2M62 serijos šilumvežiai. 2M62K serijos šilumvežis sunaudoja iki 12 % mažiau degalų negu 2M62.

4.8. Traukos elektros variklių patikrinimas dėl perkaitimo

Prieš pradedant prekinių traukinių važiavimo modeliavimą suformuojamas sąstatas ir parenkamas jį trauksiantis šilumvežis. Svarbu, kad parinktas šilumvežis su sąstatu galėtu nuvažiuoti visą kelio ruožą. Patikrinama ar sąstato masė nėra per didelė šilumvežiui pajudėti iš vietos ir ar šilumvežio traukos varikliai perkais važiavimo metu.

Norint kuo tiksliau apskaičiuoto variklių perkaitimo galimybę reikia įvertinti TEV apvijų perkaitimą, kas priklauso nuo sudėtingų priklausomybių. Apytiksliai įvertinant elektros variklių

perkaitimo galimybę galima naudotis supaprastinta metodika. Tada pačiame sudėtingiausiame kelio ruože reikia nustatyti variklio efektinę srovę:

$$I_e = \sqrt{\frac{\sum I_{ev}^2 \cdot \Delta t}{t}}; \tag{54}$$

čia: t – traukinio judėjimo laikas, min.; Δt – laiko pokytis integravimo žingsnyje, min.

Gauna srovės reikšmė palyginama su 15 arba 30 minučių traukos variklių srove I_t. Jeigu $I_e \le (0{,}85 \div 0{,}90) I_t$, tai galima priimti, kad perkaitimo nebus. Neturint atitinkamų TEV srovės reikšmių galima naudoti apskaičiuotas valandines srovės reikšmes.

4.9. Skyriaus išvados

1. Sudarytu prekinių traukinių eksploatacinių parametrų apskaičiavimo modeliu nustatytos prekinių traukinių važiavimo trukmės, greičiai ir degalų sąnaudas, sąstatus traukiant skirtingų serijų šilumvežiais.
2. Prekinių traukinių eksploatacinių parametrų modeliavimui parinktas 2 860 t bruto sąstatas. Patikrinta pajudėjimo iš vietos sąlyga ir TEV perkaitimo galimybė. Nustatyta, kad ER20CF, 2M62, 2M62K ir 2M62 serijos šilumvežiai su parinktos masės sąstatu gali nuvažiuoti visą nagrinėjamą kelio ruožą.
3. Modeliuojant traukinių važiavimą kelio ruožu Vilnius–Kaišiadorys įvertinta važiavimo kryptis. Nustatyta, kad kelio ruože Vilnius–Kaišiadorys prekinių šilumvežių degalų sunaudojimas skiriasi nuo 6 % iki 14 % priklausomai nuo važiavimo krypties.
4. Modeliuojant prekinio traukinio važiavimą apriboti važiavimo greičiai. Prekinių traukinių eksploatacinių parametrų modeliavimui nustatyta, kad prekiniai traukiniai kelio ruože Vilnius–Kaišiadorys turi važiuoti ne didesniu negu 57,2 km/h greičiu. Kitu atveju nebūtų įgyvendinama užduota greičio apribojimo sąlyga – visiškas traukinio sustojimas per 300 m stabdymo kelią.
5. Kelio ruože Vilnius–Kaišiadorys mažiausia apskaičiuota važiavimo trukmė yra 83,8 min. – SIEMENS ER20CF, 93,1min. – 2M62M serijos šilumvežis, 97,8 min. – 2M62 ir 2M62K šilumvežiai. Mažiausios apskaičiuotos lyginamosios degalų sąnaudos 12,31 kg/10 tūkst. t km – SIEMENS ER20CF. Didžiausios apskaičiuotos lyginamosios degalų sąnaudos 18,22 kg/10 tūkst. t km – 2M62 serijos šilumvežio.
6. Iš modeliavimo rezultatų nustatyta, kad ER20CF serijos šilumvežis sunaudoja apie 38 % mažiau degalų negu 2M62 serijos šilumvežis. Atitinkamai 2M62M serijos šilumvežis sunaudoja apie 21 % mažiau, o 2M62K serijos šilumvežis apie12 % mažiau negu 2M62 serijos šilumvežis.

5. PREKINIŲ ŠILUMVEŽIŲ DAUGIAKRITERIS VERTINIMAS

Taikant daugiakriterius vertinimo metodus traukos riedmenų palyginimui reikia nustatyti, kokio tipo yra kiekvienas parametras – maksimizuojamo arba minimizuojamo. Maksimizuojamųjų (mažoritarinių) rodiklių geriausios reikšmės yra didžiausios, minimizuojamųjų rodiklių geriausios reikšmės yra mažiausios. Dauguma metodų taiko pradinius duomenis (rodiklių reikšmės), skirtingą specifinę normalizaciją arba duomenų transformaciją. Metodai skiriasi savo sudėtingumu (Steišūnas *et al.* 2012). Prekinių traukos riedmenų daugiakriteriui palyginimui taikomi šie trys įvertinimo metodai: Vietų sumos (angl. *Sum of Ratings* – SOR) metodas; Rodiklių įverčių (angl. *Simple Additive Weighting* – SAW) metodas; geometrinio vidurkio (angl. *Geometrical Means* – GM) metodas.

Kiekybinių metodų pagrindą sudaro rodiklių, apibūdinančių lyginamus objektus, statistinių duomenų arba ekspertų vertinimų matrica. Faktiškai nė vieno metodo negalima pritaikyti formaliai iš karto, kiekvienas metodas turi savo privalumų ir savą specifiką (Steišūnas *et al.* 2012).

5.1. Šilumvežių eksploatavimo kokybės vertinimas

Daugiakriteriui prekinių šilumvežių vertinimui pasirinkti ekonominiai ir eksploataciniai parametrai, kurie išanalizuoti (2–4) skyriuose:

1. Didžiausia įmanoma traukti sąstato masė.
2. Apskaičiuotos šilumvežių lyginamosios degalų sąnaudos.
3. Traukinio važiavimo trukmė nagrinėjamu kelio ruožu.
4. Prekinių šilumvežių parko dydis.
5. Apskaičiuotų lyginamųjų degalų sąnaudų atitikimas degalų sunaudojimo normai.

Prekinių šilumvežių vertinimo kriterijai nurodyti 5.1 lentelėje. Prekinių šilumvežių apskaičiuotos lyginamosios degalų sąnaudos ir traukinio važiavimo trukmės panaudotos iš traukinio važiavimo modeliavimo rezultatų, kai važiuojama kelio ruožu Vilnius–Kaišiadorys. Siekiant įvertinti tai, kad dėl riboto šilumvežių skaičiaus, visų prekinių sąstatų negali traukti vien naujausi šilumvežiai įvertinamas prekinių šilumvežių parko dydis. Panaudoti 2013 metų prekinių šilumvežių parko duomenys, nes 2014 metais buvo atsisakyta seniausio modelio 2M62 serijos šilumvežių. Šio sprendimo teisingumas įvertinamas daugiakriterio vertinimo metodais. Prekinių šilumvežių eksploatavimo kokybės vertinimui priimta, kad 2M62 serijos šilumvežio dyzelino sunaudojimo norma (kai ašies apkrova yra nuo 17 iki 18 tf) kelio ruože Vilnius–Kaišiadorys yra 12 kg/10 tūkst. t km. Modernizuotam 2M62M serijos šilumvežiui dyzelino sunaudojimo norma priimta kaip ir 2M62 serijos šilumvežiui, tik taikant koeficientą 0,75. „Remotorizuotam“ 2M62K serijos šilumvežiui

dyzelino sunaudojimo norma priimta kaip ir 2M62 serijos šilumvežiui, tik taikant koeficientą 0,84. SIEMENS ER20CF serijos šilumvežiui dyzelino sunaudojimo norma priimta kaip ir 2M62 serijos šilumvežiui, tik taikant koeficientą 0,68.

5.1 lentelė. Daugiakriterio prekinių šilumvežių vertinimo kriterijai

Kriterijai	Šilumvežio serija			
	2M62	**2M62K**	**2M62M**	**ER20CF**
Didžiausia įmanoma traukti sąstato masė, t	3 800		5 000	6 000
Apskaičiuotos šilumvežių lyginamosios degalų sąnaudos, kg / 10 tūkst. t km	18,2	16,1	14,8	12,3
Traukinio važiavimo trukmė nagrinėjamu kelio ruožu, min	97,8	97,8	93,1	83,8
Šilumvežių skaičius parke, vnt.	17	25	29	44
Dyzelino sunaudojimo norma, kg / 10 tūkst. t km	12,0	10,2	9,0	8,2

Daugiakriterio šilumvežių vertinimo kriterijų apskaičiavimui šilumvežių serijos ir kriterijai pažymimi alternatyvomis, kurios bus naudojamos tolimesniems skaičiavimams. Šilumvežių serijos pažymimos D_i: 2M62 – D_1; 2M62K – D_2; 2M62M – D_3; ER20CF – D_4.Šilumvežių daugiakriterio vertinimo kriterijai pažymimi rodikliais K_j: didžiausia įmanoma traukti sąstato masė – K_1; lyginamosios degalų sąnaudos – K_2; važiavimo trukmė numatytu kelio ruožu – K_3; šilumvežių panaudojimo galimybė – K_4; apskaičiuotų lyginamųjų degalų sąnaudų atitikimas dyzelino sunaudojimo normai – K_5. Kriterijai K_2 ir K_3 yra minimizuojami, o kriterijai K_1, K_4 ir K_5maksimizuojami. Geriausias parametras iš lyginamų šilumvežių prilyginamas vienetui ($K_j = 1$) ir racionalaus parinkimo tikslo funkcija yra: $K_j \rightarrow 1$ (Steišūnas *et al*. 2012).

Atliekant kriterijų vertinimą SOR metodu, visų rodiklių vietų suma V_j nustatoma taikant formulę:

$$V_j = \sum_{i=1}^{m} m_{ij}; \tag{55}$$

čia: m_{ij} – j-ojo rodiklio vieta j-ajam objektui ($1 \leq m_{ij} \leq m$).

Atliekant kriterijų vertinimą SAW metodu, visų rodiklių įverčių normalizuotų reikšmių suma S_j nustatoma taikant šią formulę:

$$S_j = \sum_{i=1}^{m} \omega_i \cdot r_{ij}; \tag{56}$$

čia: ω_i – i-ojo rodiklio svarbos koeficientas; r_{ij} – i-ojo rodiklio normalizuota reikšmė j-ajam objektui.

Pradiniai duomenys šiuo atveju normalizuojami taikant šią formulę:

$$r_{ij} = \frac{r_{ij}^{'}}{\sum_{i=1}^{n} r_{ij}}; \tag{57}$$

čia: r_{ij}' – i-ojo rodiklio reikšmė j-ajam objektui.

Geriausia kriterijaus S_j reikšmė yra tada, kai ji didžiausia.

Atliekant kriterijų vertinimą GM metodu, visų rodiklių normalizuotų reikšmių geometrinis vidurkis Π_j nustatomas taikant formulę:

$$\Pi_j = \sqrt[m]{\prod_{i=1}^{m} \omega_i r_{ij}^{'}}. \tag{58}$$

Objektų prioritetų seka, nustatyta remiantis visų rodiklių normalizuotų reikšmių geometrinio vidurkio formule, nepriklauso nuo rodiklių įverčių ω_i, šis dydis į formulę gali būti neįtraukiamas. Geriausia kriterijaus Π_j reikšmė ta, kuri didžiausia (Steišūnas *et al*. 2012).

Kiekvieno vertinimo kriterijaus svarba įvertinama svarbos koeficientu r_i, kurio reikšmės parenkamos atsižvelgiant į prekinių šilumvežių vertinimo kriterijų svarbą atitinkamiems atvejams. Kriterijų svarbos koeficientai daro įtaką tik vertinimo rezultatams, gautiems naudojant rodiklių įverčių metodą, kitiems metodams šie koeficientai įtakos neturi. Šilumvežių serijos ir kriterijų alternatyvos bei jų vertinimo kriterijų reikšmės su svarbos koeficientais pateikiamos 5.2 lentelėje.

5.2 lentelė. Šilumvežių vertinimo kriterijai ir vertinimo svarbos koeficientų reikšmės

Šilumvežių alternatyvos	**Kriterijų alternatyvos**				
	***K*$_1$**	***K*$_2$**	***K*$_3$**	***K*$_4$**	***K*$_5$**
***D*$_1$**	0,633	0,676	0,857	0,148	0,517
***D*$_2$**	0,633	0,764	0,857	0,217	0,578
***D*$_3$**	0,833	0,834	0,900	0,252	0,644
***D*$_4$**	1,00	1,00	1,00	0,383	0,708
Kriterijų svarbos koef., r_1	0,05	0,3	0,3	0,05	0,3
Kriterijų svarbos koef., r_2	0,35	0,1	0,1	0,35	0,1
Kriterijų svarbos koef., r_3	0,2	0,3	0,1	0,3	0,1

Prekinių šilumvežių vertinimas atliktas atsižvelgiant į traukinių eksploatacijai iškeltus tikslus (4 priedas). Nagrinėjami du šilumvežių eksploatavimo scenarijai: kai siekiama kuo didesnės ekonominės naudos ir kai įvertinamas šilumvežių parko dydis. Pirma, kai siekiama didžiausios ekonominės naudos, tada svarbiausi kriterijai yra K_2, K_3 ir K_5. Šiems kriterijams suteikiamas didžiausios svarbos koeficientų r_1 reikšmės (0,3), o likusiems suteikiamas vienodas svarbos

koeficientas (0,05). Antra, kai įvertinamas šilumvežių parko dydis, didžiausios svarbos koeficientų reikšmės r_2 (0,3) suteikiamas K_1 ir K_4 kriterijams, likusieji kriterijai įvertinami vienodai (0,1).

Galima siekti kuo optimalesnio prekinių šilumvežių vertinimo, tokiu atveju didžiausią svarbos koeficientą r_3 įgauna K_2 ir K_5 (0,3), mažesnį K_1 (0,2), vienodus K_3 ir K_4 (po 0,1). Šių kriterijų ir svarbos koeficientų reikšmės pateikiamos 5.2 lentelėje.

5.3 lentelė. Suvestiniai šilumvežių vertinimo rezultatai, kai vertinama remiantis skirtingais kriterijų svarbos koeficientais

Šilumvežio serija	Metodo pavadinimas										Vietų vidurkis	**Vieta**
	SOR		SAW						GM			
	vieta	reikšmė	vieta, kai r_1	reikšmė, kai r_1	vieta, kai r_2	reikšmė, kai r_2	vieta, kai r_3	reikšmė, kai r_3	vieta	reikšmė		
ER20CF	1	5	1	0,929	1	0,771	1	0,802	1	0,317	1	**1**
2M62M	2	10	2	0,791	2	0,625	2	0,655	2	0,256	2	**2**
2M62K	3	16	3	0,727	3	0,526	3	0,573	3	0,225	3	**3**
2M62	4	19	4	0,674	4	0,485	4	0,518	4	0,198	4	**4**

Prekinių šilumvežio vertinimo kriterijų skaičiavimo rezultatai apibendrinti 5.3 lentelėje. Iš 5.3 pateiktų rezultatų matyti, kad SIEMENS ER20CF šilumvežiai turi geriausius vertinimo rezultatus remiantis visais vertinimo metodais, taip pat keičiant vertinimo kriterijų svarbos koeficientus. 2-oje ir 3-oje vietose modernizuotas šilumvežis 2M62M ir „remotorizuotas“ 2M62K. Remiantis visais vertinimo metodais 2M62 serijos šilumvežis lieka paskutinėje vietoje – jo eksploatacijos rodikliai yra prasčiausi. Visais atvejais vertinimo rezultatai, vietos priskirtos šilumvežių serijai nekito. Galima teigti, kad gauti rezultatai yra pagrįsti ir jais remiantis galima įvertinti prekinių šilumvežių eksploataciją, palyginti eksploatacinius parametrus.

5.2. Skyriaus išvados

1. Lietuvos geležinkelio linijose prekinius sąstatus traukiantys šilumvežiai skiriasi savo eksploataciniais rodikliais. Geriausius eksploatacinius rodiklius pasiekia naujausi SIEMENS ir modernizuoti 2M62M serijos šilumvežiai.
2. 2014 metais 2M62 serijos šilumvežių eksploatavimo laiko nepratęsimas buvo teisingas sprendimas, nes šie šilumvežiai remiantis visais palygintais eksploatacijos rodikliais neturi jokių pranašumų prieš „remotorizuotus“, modernizuotus ir naujus šilumvežius.

BENDROSIOS IŠVADOS

1. Ištyrus AB „Lietuvos geležinkeliai“ prekinių riedmenų parko kitimą nustatyta, kad 2009–2014 metais prekinių šilumvežių parkas sumažėjo nuo 170 iki 114 arba 33 %. Eksploatacijos laikas nepratęstas seniausiems M62 ir 2M62 serijos šilumvežiams. Prekinių vagonų parkas sumažėjo nuo 9 561 iki 8 794 arba 8 %. Daugiausiai prekinių vagonų eksploatacijos laikas nepratęstas dengtiesiems vagonams ir pusvagoniams. Dengtųjų vagonų sumažėjo 439 vnt., pusvagonių – 184 vnt.
2. Per 2009–2014 metus prekinių šilumvežių parko bendroji galia sumažėjo nuo 419 440 kW iki 280 680 kW. Tai sudaro 30 % bendrojo prekinių šilumvežių parko galingumo sumažėjimą. Nors prekinių šilumvežių parko bendroji galia sumažėjo, bet bendras šilumvežių atliktas darbas padidėjo nuo 23 211 mln. t km iki 26 704 mln. t km. Prekinių šilumvežių parkas naudojamas efektyviau.
3. Kelio ruože Vilnius–Kaišiadorys, priklausomai nuo važiavimo krypties, šilumvežių sunaudojamas degalų kiekis gali skirtis iki 14 %. Galingesniems šilumvežiams (2M62M, ER20CF) važiavimo kryptis kelio ruože Vilnius–Kaišiadorys degalų sąnaudas lemia iki 8 %, o silpnesniems šilumvežiams (2M62, 2M62K) važiavimo kryptis degalų sąnaudas lemia iki 14 %.
4. AB „Lietuvos geležinkeliai“ viena iš didžiausių patiriamų sąnaudų yra degalų sąnaudos. Kasmet, priklausomai nuo krovinių vežimų apimčių, sunaudojama nuo 48 000 t iki 55 000 t degalų, tai atitinka iki 15 % visų LG patirtų sąnaudų.
5. Panaudojant kompleksinio ir daugiakriterio vertinimo metodus buvo palyginti prekinių traukinių ir prekinių šilumvežių eksploataciniai parametrai. Nustatyta, kad 2014 metais buvo pasiekti geriausi prekinių traukinių eksploataciniai parametrai, o SIEMENS šilumvežiai pagal visus vertinimo kriterijus lenkia kitus šilumvežius.
6. Sukurtas prekinių traukinių eksploatacinių parametrų skaičiavimo modelis. Pasinaudojant šiuo modeliu, lyginant skirtingų serijų šilumvežius, nagrinėjamu kelio ruožu traukiančius įvairius prekinius vagonus ir skirtingų masių sąstatus nustatomi važiavimo greičiai, trukmės ir degalų sąnaudos.
7. Iš atliktų daugiakriterinio vertinimo skaičiavimų matyti, kad SIEMENSER20CF šilumvežis yra tinkamiausias traukti parinktą sąstatą Vilnius–Kaišiadorys kelio ruože.
8. Eksploatuojant 2M62K, 2M62M ir ER20CF serijos šilumvežius vietoje senųjų 2M62 sutaupoma nuo 12 % iki 38 % degalų.

LITERATŪRA

Bazaras, Ž.; Dundulis, R.; Kalpokas, J. 1995. *Geležinkelio riedmenys*. Kaunas: Technologija. 84p.

Bureika, G.; Subačius, R.; Kumara, M. 2009. Research on eneregy efficient of rolling-stockoperation, in *Proceedings of the 6th International Scientific Conference "TRANSBALTICA – 2009"*. Vilnius: Technika, 28–32.

Bureika, G.; Pikūnas, A.; Pukalskas, S. 2009. Анализ эксплуатационных параметров грузовых тепловозов на железных дорогах Литвы. *Technologies. Materials: international virtual magazine forscience, TECHNICS and innovations for the industry*. Sofia: Scientific-Technical Unionof Mechanical Engineering. 3–7.

Bureika, G. 1998. *Riedmenų traukos teorija*. *Paskaitų tekstas*. Vilnius „Technika". 1998. 97 p.

Butkevičius, J.; Sakalauskas, K.; Jaržemskis, V.; Rezgaitis, R. 2001. Lietuvos geležinkelio tinklo analizė, iš *Transportas – transport engineering*. *SPAB „Lietuvos geležinkeliai"*. Vilnius: Technika, 61–69.

Jastremskas, V. 2012. *Lokomotyvų efektyvaus naudojimo tyrimas vertinant vežimų apimčių dinamiką*. *Daktaro disertacija*. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius: Technika. 87 p.

Kolobuckis, A. 2010. *Prekinių lokomotyvų eksploatacinių išlaidų analizė ir jų mažinimo būdai*. *Baigiamasis magistro darbas*. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius. 77 p.

Kosovski, S.; Sivilevičius, H. 2013. Prekinių traukinių lokomotyvų techninių ir eksploatacinių parametrų analizė ir vertinimas, iš *16-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis" medžiaga. Transporto inžinerija ir vadyba*. Vilnius: Technika, 300–306.

Jusaitis, D; Bieliauskas, K. A.; J. Gaidys, J. 2012. TRAUKOS RIEDMENŲ EKSPLOATAVIMO IR VALDYMO TECHNOLOGINIŲ KOMPETENCIJŲ TOBULINIMO PROGRAMOS MOKYMO MEDŽIAGA. Ugdymo plėtros centras. 114 p.

Lingaitis, L. P. 1999. *Vagonų eksploatavimas*. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius: Technika. 273 p.

Lingaitis, L. P. 1997. *Lokomotyvų eksploatacija*. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius: Technika. 227 p.

Lingaitis, L. P. 2003. *Riedmenų patikimumas, riedmenų senėjimo kontrolė*. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius: Technika 58 p.

Lingaitis, L. P. 1999. Šilumvežio degalų sąnaudų patikslinta apskaičiavimo metodika, iš *Transportas – transport engineering*. Vilnius: Technika. 103–105.

Lingaitis, L. P.; Liudvinavičius, L.; Butkevičius, J.; Podagėlis, I.; Sakalauskas, K.; Vaičiūnas, G.; Bureika, G.; Gailienė, I.; Petrenko, V.; Subačius, R. 2009. *Geležinkeliai. Bendrasis kursas*. Vilnius: Technika. 280 p.

Metinė ataskaita 2013 [interaktyvus]. 2013. AB „Lietuvos geležinkeliai“. [žiūrėta 2015 m. kovo 3 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.litrail.lt/documents/10291/19071/LT_19.05_www.pdf/052d58f4-c7 04-4df5-b288-4e1a6d081295>.

Raudonis, S. 2008. Mokslinių tyrimų metodika. Lietuvos žemės ūkio universitetas. Akademija. 122 p.

RailBrainSystems TM. 2008. Методика выполнения тяговых расчетов и выбора оборудования (подвижног осостава) карьерного железно-дорожного транспорта [interaktyvus]. [žiūrėta 2015 vasario 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://brailsys.com/Files/Metod_Tjag.pdf>

Riedmenys [interaktyvus]. 2015. AB „Lietuvos geležinkeliai“. [žiūrėta 2015 m.balandžio10 d.]. Prieiga per internetą: <http://cargo.litrail.lt/riedmenys>.

Subačius, R.; Lingaitis, L. P.; Glėbus, S. 2006. *Riedmenų techninė eksploatacija*. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius: Technika. 162 p.

Steišūnas, S.; Bureika G. 2012. Prekinių šilumvežių magistralei „RAIL BALTICA“ parinkimo algoritmas, iš *Transportas – transport engineering*: 15-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“. Vilnius: Technika, 386–390.

Veikos ataskaitos [interaktyvus]. 2015. AB „Lietuvos geležinkeliai“. [žiūrėta 2015 m. balandžio 2 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.litrail.lt/veiklos-ataskaitos>.

Zobory, I.; Bekefi, E. 1994. *On real-time simulation of the longitudinal Dynamics of trains on a specified railway line*. [Traukinių išilginės dinamikos modeliavimas specifiniu geležinkelio keliu]. Departure of Railway Vehicles. Technical University of Budapest. Hungry, Budapest. 15 p.

Босов, А. А.; Таран, А. В. 2005. БЕЗРАЗМЕРНАЯ ТЯГОВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕПЛОВОЗОВ. [Šilumvežių bedimensė traukos charakteristika]. УДЛ 629.424. 4 p.

Кузнецов, А. Г. 2008. ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ТЕПЛОВОЗА. [Šilumvežio elektros įrenginių dinaminis modelis]. МГТУ им. Н. Э. Баумана. 49–56.

Омльяненко, В. И.; Калюжный, Н. Н.; Кривякин, Г. В.; Ерицян, Б. Х. 2009. *Моделирование расхода топлива тепловозом при ведении поезда по участку пути заданног опрофиля*. [Šilumvežio degalų sąnaudų modeliavimas traukiniui važiuojant nustatytu kelio ruožu]. Харьков. 54–57.

Постол, Б. Г.; Кузмичев, Е. Н. 2011. Тяга поездов. [Traukinių trauka]. Хабаровск: Издательство ДВГУПС. 79 p.

PRIEDAI

1 priedas

Kelio kreivių spinduliai kelio ruože Vilnius–Kaišiadorys

Kelio ruožas: Vilnius–Kaišiadorys			
Tarpstotė	**Kreivumo pradžia, km**	**Kreivumo pabaiga, km**	**Kreivės Spindulys, km**
Vilnius kel.–Vilnius P-2	943.55	943.62	0.37
Vilnius P-2–Paneriai	944.78	944.89	4.10
	945.19	945.27	1.06
	945.47	945.66	0.69
	945.96	946.96	0.89
	947.18	988.21	0.89
	948.46	948.83	1.70
	949.22	949.43	1.60
	950.00	950.40	0.61
	950.66	951.13	0.60
	951.64	952.05	1.01
Paneriai–Paneriai "L"	952.76	953.18	1.22
Paneriai "L"–Vokė	955.30	955.69	1.19
Vokė–Lentvaris	955.30	955.69	1.19
	956.35	956.56	1.26
	957.20	957.56	1.05
	958.20	958.37	1.51
	959.31	959.52	1.65
	959.95	960.28	1.16
	960.82	960.91	2.44
Lentvaris–Kariotiškės	961.35	961.70	0.71
	962.03	962.57	0.70
	963.45	964.09	1.05
	964.68	965.92	1.23
Kariotiškės–Sausiai	946.68	965.92	1.23
	966.15	966.46	1.25
	966.90	966.97	6.81
	966.97	967.04	1.38
	967.04	967.38	1.07
	967.38	967.75	1.18
	967.75	967.84	1.33
Sausiai–Rykantai	969.47	970.34	1.08
	970.65	971.40	1.05
Rykantai–Lazdėnai	Šioje tarpstotėje nėra kreivių.		

1 priedo pabaiga

Tarpstotis	Kreivumo pradžia, km	Kreivumo pabaiga, km	Kreivės Spindulys, km
Lazdėnai–Baltamiškis	975.59	976.26	1.07
	976.79	977.32	3.26
	977.51	978.32	3.18
Baltamiškis–Vievis	979.84	979.91	2.49
	979.91	980.04	0.90
	980.04	980.37	2.50
	980.37	980.43	4.34
	983.18	983.52	7.62
	983.52	983.74	1.99
Vievis–Kaugonys	984.74	984.87	1.40
	985.21	985.34	1.45
	986.50	988.25	3.35
	990.79	990.91	3.86
	990.91	991.32	3.00
	991.32	991.50	3.53
	991.50	991.54	2.90
	991.54	991.85	3.30
	991.85	992.02	2.94
Kaugonys–Žasliai	992.96	993.06	1.27
	993.06	993.17	1.00
	993.17	993.43	1.09
	993.43	993.77	1.04
	993.77	993.84	1.42
	994.04	994.55	2.16
	996.02	996.38	3.16
	999.72	999.89	2.56
	999.89	1000.32	6.74
Žasliai–Kaišiadorys	1000.99	1001.10	5.16
	1001.40	1001.88	2.13
	1005.47	1006.40	1.06
	1007.24	1007.50	1.04
	1007.89	1008.83	1.06
	1009.61	1009.77	0.89
	1009.92	1009.98	0.92

2 priedas

Kelio nuolydžiai kelio ruože Vilnius–Kaišiadorys

Tarpstotė	Įkalnės ilgis, km	Įkalnės dydis, ‰	Tarpstotė	Įkalnės ilgis, km	Įkalnės dydis, ‰
Vilnius kel.– Vilnius P-2	0.116	-0.200	**Lazdėnai– Baltaniškis**	0.463	0.500
	0.300	0.700		0.200	-0.700
	0.300	-0.400		0.200	1.500
	0.300	-1.800		0.100	-0.100
	0.100	0.100		0.200	-1.800
	0.400	-1.800		0.200	-3.700
	0.043	-3.000		0.200	-4.900
Vilnius P-2– Paneriai	0.457	-3.000		0.400	-5.300
	0.300	-1.200		0.400	-4.600
	0.100	-5.000		0.300	-5.300
	0.100	-7.300		0.400	-4.900
	0.400	-5.000		0.600	-5.600
	0.300	-5.800		0.200	-5.000
	0.100	-4.500		0.300	-3.600
	0.100	-1.100		0.080	-2.800
	0.300	2.100	**Baltaniškis– Vievis**	0.020	-2.800
	0.200	-0.200		0.100	-1.000
	0.400	2.900		0.200	-0.400
	0.200	1.300		0.200	0.500
	0.200	3.600		0.100	3.600
	0.200	4.100		0.200	6.400
	0.300	2.100		0.200	4.100
	0.500	2.700		0.200	4.900
	0.300	3.100		0.200	2.200
	0.400	3.400		0.400	-0.200
	0.600	3.300		0.100	-4.900
	0.200	5.200		0.400	-4.000
	0.200	6.000		0.100	-2.800
	0.200	5.400		0.100	-0.500
	0.200	4.000		0.300	0.600
	0.100	0.900		0.500	3.200
	0.100	-1.400		0.300	2.500
	0.200	-5.500		0.200	1.800
	0.100	-3.800		0.100	3.400
	0.100	-0.100		0.200	5.700
	0.612	-1.400		0.100	4.200
Paneriai– Paneriai "L"	0.088	-1.400		0.100	1.800
	0.400	-0.700		0.400	-0.300
	0.100	2.800		0.200	-2.000
	0.567	-4.900		0.010	1.100

Tarpstotė	Įkalnės ilgis, km	Įkalnės dydis, ‰	Tarpstotė	Įkalnės ilgis, km	Įkalnės dydis, ‰
Paneriai "L"–Vokė	0.330	-4.900	**Vievis–Kaugonys**	0.190	1.100
	0.200	-5.400		0.200	0.200
	0.100	-7.800		0.100	-2.100
	0.100	-5.200		0.300	1.300
	0.100	-3.600		0.500	-0.300
	0.200	-4.700		0.400	-0.200
	0.100	-3.300		0.100	-2.000
	0.100	-5.600		0.200	1.800
	0.200	-3.600		0.500	0.500
	0.200	-2.000		0.300	0.100
	0.300	0.400		0.300	-0.300
	0.200	0.200		0.300	0.600
	0.176	-1.000		0.200	0.800
Vokė–Lentvaris	0.024	-1.000		0.400	1.100
	0.300	-1.500		0.600	6.500
	0.100	0.700		0.300	0.900
	0.100	3.200		0.100	0.400
	0.100	6.300		0.200	-0.100
	0.100	4.800		0.300	0.100
	0.200	0.700		0.200	-3.700
	0.200	6.100		0.700	-4.600
	0.300	3.800		0.800	-5.500
	0.200	4.600		0.200	-4.000
	0.200	6.500		0.312	-1.000
	0.300	5.400	**Kaugonys–Žasliai**	0.188	-1.000
	0.200	3.600		0.300	-0.600
	0.200	5.100		0.200	-1.200
	0.200	4.400		0.300	-2.400
	0.300	5.300		0.200	-0.200
	0.300	4.900		0.400	-0.100
	0.400	5.400		0.200	-2.100
	0.200	4.300		0.300	-4.700
	0.200	5.000		0.200	-5.900
	0.200	4.500		0.200	-4.700
	0.500	5.200		0.200	-2.300
	0.100	3.900		0.100	-0.600
	0.200	2.200		0.100	0.700
	0.100	3.900		0.200	2.700
	0.200	0.900		0.400	5.700
	0.168	0.600		0.300	5.300

Tarpstotė	Įkalnės ilgis, km	Įkalnės dydis, ‰	Tarpstotė	Įkalnės ilgis, km	Įkalnės dydis, ‰
Lentvaris–Kariotiškės	0.032	0.600	**Kaugonys–Žasliai**	0.400	4.400
	0.400	1.000		0.400	5.300
	0.200	3.200		0.300	4.800
	0.200	2.200		0.300	5.400
	0.200	5.400		0.400	4.000
	0.200	7.100		0.300	0.900
	0.200	7.900		0.200	-0.500
	0.100	4.300		0.100	-1.900
	0.300	-2.300		0.200	-4.500
	0.200	-5.200		0.500	-5.500
	0.300	-6.000		0.400	-4.500
	0.200	-4.800		0.400	-4.200
	0.200	5.900		0.200	-1.400
	0.100	3.600		0.586	-0.700
	0.200	0.500	**Žasliai–Kaišiadorys**	0.014	-0.700
	0.300	0.300		0.200	0.600
	0.200	2.200		0.300	-0.800
	0.400	4.200		0.200	-2.500
	0.200	2.900		0.400	-4.800
	0.200	0.600		0.100	-3.900
	0.200	-1.000		0.100	-0.400
	0.133	-2.100		0.400	2.000
Kariotiškės–Sausiai	0.067	-2.100		0.600	2.500
	0.300	-3.800		0.100	-0.500
	0.500	-5.400		0.400	-3.900
	0.200	-4.500		0.400	-5.800
	0.300	-5.400		0.300	-5.500
	0.400	-4.300		0.100	-2.200
	0.600	-5.900		0.100	-0.300
	0.200	-4.800		0.300	-1.600
	0.300	-6.200		0.100	-1.100
	0.200	-5.100		0.200	-3.400
	0.135	-3.000		0.300	-4.700
Sausiai–Rykantai	0.065	-3.000		0.400	-5.700
	0.100	-0.100		0.200	-6.700
	0.200	0.400		0.600	-5.000
	0.400	-3.800		0.400	-5.000
	0.300	-5.300		0.600	-4.200
	0.300	-4.200		0.600	-5.900
	0.200	-6.500		0.200	-5.300
	0.400	-4.900		0.200	-5.900
	0.095	-6.000		0.300	-4.800

Tarpstotė	Įkalnės ilgis, km	Įkalnės dydis, ‰	Tarpstotė	Įkalnės ilgis, km	Įkalnės dydis, ‰
Rykantai–Lazdėnai	0.105	-6.000	**Žasliai–Kaišiadorys**	0.400	-5.400
	0.100	-2.700		0.200	-6.200
	0.400	-4.800		0.100	-3.900
	0.100	-3.800		0.300	-0.600
	0.600	-0.100		0.120	-0.100
	0.200	-2.500	–		
	0.600	-3.000			
	0.400	-2.000			
	0.200	-2.200			
	0.300	3.700			
	0.100	0.400			
	0.100	-1.100			
	0.300	-2.600			
	0.300	-1.500			
	0.200	-0.500			
	0.037	0.500			

3 priedas

Skaičiuojamosios programos aprašymas *Microsoft Excel* terpėje

Langelio pavadinimas	Parametro pavadinimas	Matavimo vienetai	Formulė arba reikšmė
A17	Kelio kreivės spindulys	m	VLOOKUP(C17;Kelias!$B$3:$C$102;2;TRUE)
B17	Integravimo žingsnis	m	įrašomas pasirinktas integravimo žingsnis
C17	Nuvažiuotas kelias	m	C16+B17
D17	Išlyginto kelio elemento dydis	‰	VLOOKUP(C17;Kelias!$E$3:$F$102;2;TRUE)
E17	Greitis integravimo žingsnio pabaigoje	km/h	Q16
F17	Didžiausias leistinas greitis	km/h	IF(($L$8*D17+$M$8)>$M$5;$M$5;$L$8*D17+$M$8)
G17	Greitis iš traukos charakteristikos, mažesnis negu stulpelyje E	km/h	VLOOKUP(E17;$AN$16:$AN$136;1;TRUE)
H17	Greitis iš traukos charakteristikos, didesnis negu stulpelyje E	km/h	CHOOSE(MATCH(G17;$AN$16:$AN$136;0)+1;$AN$16;$AN$17;$AN$18;$AN$19;$AN$20;$AN$21;$AN$22;$AN$23;$AN$24;$AN$25;$AN$26;$AN$27;$AN$28;$AN$29;$AN$30;$AN$31;$AN$32;$AN$33;$AN$34;$AN$35;$AN$36;$AN$37;$AN$38;$AN$39;$AN$40;$AN$41;$AN$42;$AN$43;$AN$44;$AN$45;$AN$46;$AN$47;$AN$48;$AN$49;$AN$50;$AN$51;$AN$52;$AN$53;$AN$54;$AN$55;$AN$56;$AN$57;$AN$58;$AN$59;$AN$60;$AN$61;$AN$62;$AN$63;$AN$64;$AN$65;$AN$66;$AN$67;$AN$68;$AN$69;$AN$70;$AN$71;$AN$72;$AN$73;$AN$74;$AN$75;$AN$76;$AN$77;$AN$78;$AN$79;$AN$80;$AN$81;$AN$82;$AN$83;$AN$84;$AN$85;$AN$86;$AN$87;$AN$88;$AN$89;$AN$90;$AN$91;$AN$92;$AN$93;$AN$94;$AN$95;$AN$96;$AN$97;$AN$98;$AN$99;$AN$100;$AN$101;$AN$102;$AN$103;$AN$104;$AN$105;$AN$106;$AN$107;$AN$108;$AN$109;$AN$110;$AN$111;$AN$112;$AN$113;$AN$114;$AN$115;$AN$116;$AN$117;$AN$118;$AN$119;$AN$120;$AN$121;$AN$122;$AN$123;$AN$124;$AN$125;$AN$126;$AN$127;$AN$128;$AN$129;$AN$130;$AN$131;$AN$132;$AN$133;$AN$134;$AN$135;$AN$136;0)

Langelio pavadinimas	Parametro pavadinimas	Matavimo vienetai	Formulė arba reikšmė
I17	Traukos jėga atitinkanti greitį stulpelyje G	N	VLOOKUP(E17;$AN$16:$AO$136;2;TRUE)
J17	Traukos jėga atitinkanti greitį stulpelyje H	N	CHOOSE(MATCH(I17;$AO$16:$AO$136;0)+1;$AO$16;$AO$17;$AO$18;$AO$19;$AO$20;$AO$21;$AO$22;$AO$23;$AO$24;$AO$25;$AO$26;$AO$27;$AO$28;$AO$29;$AO$30;$AO$31;$AO$32;$AO$33;$AO$34;$AO$35;$AO$36;$AO$37;$AO$38;$AO$39;$AO$40;$AO$41;$AO$42;$AO$43;$AO$44;$AO$45;$AO$46;$AO$47;$AO$48;$AO$49;$AO$50;$AO$51;$AO$52;$AO$53;$AO$54;$AO$55;$AO$56;$AO$57;$AO$58;$AO$59;$AO$60;$AO$61;$AO$62;$AO$63;$AO$64;$AO$65;$AO$66;$AO$67;$AO$68;$AO$69;$AO$70;$AO$71;$AO$72;$AO$73;$AO$74;$AO$75;$AO$76;$AO$77;$AO$78;$AO$79;$AO$80;$AO$81;$AO$82;$AO$83;$AO$84;$AO$85;$AO$86;$AO$87;$AO$88;$AO$89;$AO$90;$AO$91;$AO$92;$AO$93;$AO$94;$AO$95;$AO$96;$AO$97;$AO$98;$AO$99;$AO$100;$AO$101;$AO$102;$AO$103;$AO$104;$AO$105;$AO$106;$AO$107;$AO$108;$AO$109;$AO$110;$AO$111;$AO$112;$AO$113;$AO$114;$AO$115;$AO$116;$AO$117;$AO$118;$AO$119;$AO$120;$AO$121;$AO$122;$AO$123;$AO$124;$AO$125;$AO$126;$AO$127;$AO$128;$AO$129;$AO$130;$AO$131;$AO$132;$AO$133;$AO$134;$AO$135;$AO$136;0)
K17	Traukos jėga atitinkanti greitį stulpelyje E	N	(E17-G17)*(I17-J17)/(G17-H17)+I17
L17	Koeficientas įvertinantis sankibos koeficiento sumažėjimą kreivėse		IF(A17>=$T$2;1;($P$2+$Q$2*A17)/($R$2+$S$2*A17))
M17	Traukos jėga apribota sankibos koef.		1000*$B$2*L17*($K$2+$L$2/($M$2+$N$2*E17)-$O$2*E17)
N17	Traukos jėga, kuri gali būti realizuota	N	IF(M17<K17;M17;K17)
O17	Traukinio pasipriešinimas judėjimui	N/t	$N$5+$O$5*E17+$P$5*E17*E17
P17	Greičio pokytis integravimo žingsnio pabaigoje	km/h	SQRT(E17*E17+0.24*(N17/($B$2+$C$2)-O17-D17)*B17)-E17
Q17	Greitis integravimo žingsnio pabaigoje	km/h	IF((E17+P17)>F17;F17;E17+P17)
R17	Reikalinga traukos jėga	N	IF(Q17=E17;IF(($B$2+$C$2)*(O17+D17)>0;($B$2+$C$2)*(O17+D17);0);N17)
S17	Laiko pokytis integravimo žingsnio pabaigoje	min	60*B17/(500*(E17+Q17))
T17	Traukinio judėimo laikas	min	T16+S17

Langelio pavadinimas	Parametro pavadinimas	Matavimo vienetai	Formulė arba reikšmė
U17	Mechaninis lokomotyvo darbas	tūkst. N/km	U16+R17*B17/1000000
V17	Greitis integracijos pabaigoje, darbinio stabdymo metu	km/h	IF(AB18>=$M$5;$M$5;AB18)
W17	Pasipriešinimas judėjimui stabdymo metu	N/t	$Q$8+$R$8*V17+$S$8*V17*V17
X17	Pilna lokomotyvo stabdymo jėga	N	$B$5*$C$5*($D$5*$B$5/$A$5+$E$5)/($F$5*$B$5/$A$5+$G$5)/($H$5*V17+$I$5)/($J$5*V17+$K$5)
Y17	Pilna vagonų stabdymo jėga	N	$B$8*$C$8*($D$8*$B$8/$A$8+$E$8)/($F$8*$B$8/$A$8+$G$8)/($H$8*W17+$I$8)/($J$8*W17+$K$8)
Z17	Stabdymo jėga	N/t	(X17+Y17)/($B$2+$C$2)
AA17	Greičio pokytis integravimo žingsnio pabaigoje	km/h	SQRT(V17*V17+0.24*($L$5*Z17+W17+D17)*B17)-V17
AB17	Greitis darbinio stabdymo metu integravimo žingsnio pabaigoje	km/h	IF(B17=0;0;V17+AA17)
AC17	Laiko pokytis integravimo žingsnio pabaigoje	min	IF(B17=0;0;60*B17/(1000*(V17+AA17/2)))
AD17	Traukinio judėjimo laikas darbinio stabdymo režimu	min	AD18+AC17
AE17	Dėgalų sąnaudos integravimo intervale	kg/h	$S$10*R17+$T$10
AF17	Lyginamoji degalų sąnaudų reikšmė	kg	AE17*S17/60
AG17	Degalų sąnaudos	kg	AE17*S17/60
AH17	Integravimo intervalo projektinė pabaigos žyma	m	AH16+B17*D17/1000
AN17	Greitis traukos charakteristikoje	km/h	Nuo 0 iki lokomotyvo konstrukcinio greičio
AO17	Traukos jėga	N	IF(AN16<Sastatas!$C$4;IF(AN16<AS16;AW16*Sastatas!$H$4;(367*AT16*AU16/AN16)*Sastatas!$H$4);0)
AP17	Traukos jėga	kN	AO16/1000
AQ17	Greičių suma V+Va	km/h	AN16+AS16
AR17	Sankybos koeficientas		0.118+(5/(27.5+AQ16))

Langelio pavadinimas	Parametro pavadinimas	Matavimo vienetai	Formulė arba reikšmė
AS17	Skaičiuojamis greitis Va	km/h	(0.367*AT16*AU16)/(0.18*AV16)
AT17	Koef. įvertinantis teorinę traukos charakteritiką		Parenkamas iš žinynų
AU17	Lokomotyvo galia	kW	Iš lokomotyvo techninės charakteristikos
AV17	Lokomotyvo masė	t	Iš lokomotyvo techninės charakteristikos
AW17	Traukos jėga skaičiuojamuoju greičiu	N	1000*AV16*AR16
AX17	Traukos jėga važiuojant greičiau negu skaičiuojamasis greitis	N	(367*AT16*AU16/AQ16)

RACIONALIŲ GELEŽINKELIO TRAUKOS RIEDMENŲ PARINKIMAS PREKINIAMS SĄSTATAMS TRAUKTI

Karolis Baublys[1], Gintautas Bureika[2]
Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
el. p. [1]karolis.baublys@stud.vgtu.lt; [2]gintautas.bureika@vgtu.lt

Anotacija. Straipsnyje nagrinėjami AB „Lietuvos geležinkeliai“ naudojamų prekinių šilumvežių ir vagonų eksploataciniai parametrai, modeliuojami traukinio eksploataciniai parametrai esant skirtingiems sąstato traukos riedmenims. Palyginami skirtingų šilumvežių degalų lyginamųjų sąnaudų, traukinio važiavimo laiko ir atlikto transportinio darbo duotajame ruože skaičiavimo rezultatai. Nustatomas tinkamiausias šilumvežis prekiniams sąstatams traukti nagrinėjamu kelio profiliu, gauti rezultatai palyginami su AB „Lietuvos geležinkeliai“ nustatytomis normomis ir vidutiniais darbo apimčių rodikliais. Pabaigoje pateikiamos išvados ir pasiūlymai.

Reikšminiai žodžiai:prekiniai traukiniai, eksploataciniai parametrai, šilumvežis, trauka, lyginamųjų degalų sąnaudų palyginimas, parinkimas.

Įvadas

Didžiausią AB „Lietuvos geležinkeliai“ (toliau –LG) pajamų dalį (apie 90 %) sudaro pajamos, gautos už krovinių vežimą. Taigi LG Krovinių vežimo direkcijos ekonominė veikla daro didžiulę įtaką visos įmonės galutiniam pelningumui, todėl ypač svarbu efektyviai naudoti prekinių traukos riedmenų parką (Bureika*et al*. 2009).

Eksploatuojant prekinius geležinkelio riedmenis, taip pat plečiant perspektyvaus naudojimo sritis, iškyla daugybė praktinių uždavinių, kuriuos galimaspręsti naudojant geležinkelių traukos teoriją(Постол*et al*. 2011). Pradedant šį tyrimą buvo suformuluoti šie uždaviniai:

1. Traukinio važiavimogreičio nustatymas.
2. Šilumvežių degalų sąnaudų apskaičiavimas.
3. Traukinio didžiausio greičio nustatymas pagal sustabdymo kelią.
4. Atlikto transportinio darbo apskaičiavimas.

Parenkant traukos riedmenis tam tikram ruožui, labai svarbu yra prekinių šilumvežių dyzelino sąnaudų įvertinimas, važiavimo greitis, traukos jėga (Steišūnas*et al*. 2012). Racionaliems traukos riedmenims parinkti autorius naudoja daugiakriterio vertimo metodus.

Traukosriedmenųracionalausparinkimometodika

Ši metodika paremta geležinkelio riedmenų traukos teorijos taisyklėmis. Skaičiavimo rezultatai yra apytikrės reikšmės, netgi naudojant didelio tikslumo traukinio judėjimo integravimo funkcijas ir skaičiavimo programas. Pagal šią metodiką gautus rezultatus tikslinga palyginti su realiais eksploataciniais rodikliais. Norint pasiekti didžiausią skaičiavimų tikslumą naudojamos kompiuterines skaičiavimo programas, kurios įvertina traukinį veikiančias vidines ir išorines dinamines jėgas. Visgi vadovaujantis racionalumo principu palyginamiesiems teoriniams eksploatacijos parametrų skaičiavimams galima pasirinkti programas, kurios naudoja mažiau resursų, yra lengviau prieinamos. Šiuo atveju skaitiniam integravimui pasirinkta *Microsoft Office Excel* programa, kurią naudojant skaičiuojama šilumvežių trauka ir gauti palyginamieji traukinių eksploatacijos rezultatai.

Taikant daugiakriteriusvertinimo metodustraukos riedmenų palyginimui reikia nustatyti, kokio tipo yra kiekvienas parametras – maksimizuojamo arba minimizuojamo. Maksimizuojamųjų (mažoritarinių) rodiklių geriausios reikšmės yra didžiausios, minimizuojamųjų rodiklių geriausios reikšmės yra mažiausios. Dauguma metodų taiko pradinius duomenis (rodiklių reikšmės), skirtingą specifinę normalizaciją arba duomenų transformaciją. Metodai skiriasi pagal sudėtingumą (Steišūnas*et al*. 2012). Prekinių traukos riedmenų racionaliam parinkimui šiame tyrime taikomi šie trys daugiakriterio įvertinimo metodai: Vietų sumos (angl. *SumofRatings*– SoR) metodas, Rodiklių įverčio(angl. *SimpleAdditiveWeighting*– SAW) metodas ir Geometrinio vidurkio (angl. *GeometricalMeans*– GM) metodas.

Šilumvežių traukos charakteristikos sudarymas

Šilumvežio traukos jėgos priklausomybė nuo važiavimo greičio, turi ganėtinai sudėtingą charakteristiką ir nustatoma pagal valdiklio poziciją, traukos variklių pajungimo tipus ir pagal aširačių sankibos su bėgiu

koeficientą. Tyrimo tikslams naudojama teoriškai apskaičiuota traukos jėga ir degalų sąnaudos.

Pradiniuose traukos diapazonuose, kai važiavimo greitis yra mažesnis negu v_{sk}– skaičiuojamasis greitis, didžiausia šilumvežio traukos jėga dažniausiai apribojama rato ir bėgio sankiba (Постолет *al*. 2011).

Šilumvežio traukos jėga, ribojama sankibos koeficiento, apskaičiuojama pagal formulę:

$$F_{tr}^{sank} = 1000 \cdot P \cdot \psi, \quad (1)$$

čia: P – šilumvežio svoris, kN; ψ – sankibos koeficientas.

Šilumvežių eksploatacija vyksta esant greičiams, kurie didesnis negu greičiai v_{sk}, šis ribinis greitis nustatomas pagal formulę:

$$v_{sk} = \frac{\eta \cdot N}{\psi_{tr} \cdot P}, \quad (2)$$

čia: ψ_{tr} – traukos koeficientas, įvertinantis traukos jėgos santykį su šilumvežio svoriu; η – koeficientas priartinantis teorinę traukos charakteristiką prie realiosios; N – šilumvežio galia, kW; P – šilumvežio svoris, kN.

Kai šilumvežių greičiai didesni negu v_{sk} traukos jėgos charakteristiką galima nustatyti pagal formulę:

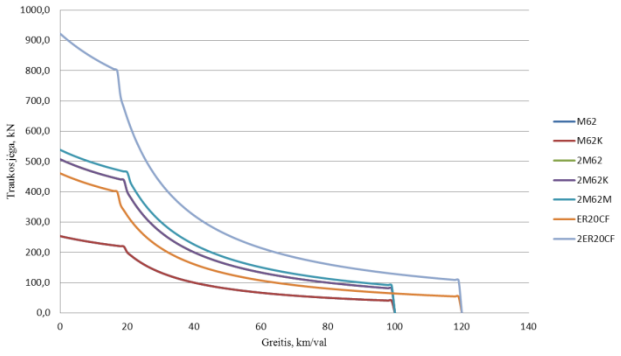
$$F_{tr} = \frac{\eta \cdot N}{v}, \quad (3)$$

čia: v – šilumvežio važiavimo greitis, m/s.

Lyginamoji traukos jėga f_{tr} nustatoma pagal formulę:

$$f_{tr} = \frac{F_{tr}}{P + Q}, \quad (4)$$

čia: Q – sąstato masė, t.



1 pav. LG eksploatauojamų šilumvežių apskaičiuotos traukos charakteristikos.

Pagal 1 pav. pateiktą traukos teorines charakteristikas matyti, kad didžiausią pajudėjimo iš vietos traukos jėgą F_{trpaj} išvysto dviejų sekcijų 2ER20CF serijos šilumvežis – iki 920 kN. Mažiausią pajudėjimo iš vietos traukos jėgą F_{trpaj} sukuria M62 ir M62K serijos šilumvežiai – iki 250 kN, t. y. apie 3,7 karto mažesnę.

Kelioprofilioirsąstatosudarymas

Šilumvežių traukos skaičiavimui ir gautų eksploatacinių parametrų palyginimui sudaryti, sumodeliuojama teorinė 32 km ilgio kelio atkarpa. Šia atkarpa sumodeliuojamas 2013 metais LG eksploatuotų 2M62, 2M62K, 2M62M, M62, ER20CF ir 2ER20CF (AB „Lietuvos geležinkeliai“ 2013) serijos šilumvežių judėjimas traukiant skirtingųmasių prekinių vagonų sąstatus. Remiantis 2013 metų duomenimis vidutinė sąstato masė buvo 2859 t bruto (AB „Lietuvos geležinkeliai“ 2013), todėl modeliavimo tikslams suformuojami tokių masių sąstatai: 2600 t bruto, 3100 t bruto ir 3600 t bruto. Modeliuojant kelio atkarpą priimama, kad kelio atkarpa sudaryta iš kelio ruožų, kuriuose yra kelio kreivės R, įkalnės ir nuokalnės i. Kelio nuolydžiai (įkalnės ir nuokalnės, atitinkamai teigiamos ir neigiamos reikšmės, išreiškiamos promilėmis). Skaičiavimo tikslams geležinkelio kelias parenkamas taip, kad riedmenų važiavimas vyktų optimaliomis sąlygomis, t. y. kelias sudarytas iš ilgabėgių, be sujungimų, bėgiai nėra apšalę, temperatūra 15 ^{o}C, bėgių bei aširačių nusidėvėjimas neįvertinamas.

Parenkama 40 vienodų 4-ašių degtųjų prekinių vagonų. Skaičiavimai atliekami keičiant šilumvežio seriją ir sąstato masę. Bendras sąstato ilgis 706,8 metrai.

Traukinio važiavimo greičio apribojimai

Vertinant kelio nuolydžius, būtina nustatyti greičio apribojimus skirtinguose kelio ruožuose. Skaičiuojant šilumvežio trauką būtina įvertinti traukinio judėjimo greičio apribojimus, kurie nustatomi pagal traukinio sąstato elementų konstrukcinius ypatumus, konstrukcinį ar leistiną kelio ruožo greitį, pagal bėgių iešmų tipus ir saugaus eismo reikalavimus. Saugaus eismo reikalavimuose didžiausias judėjimo greitis apribojamas atsižvelgiant į traukinio staigiojo stabdymo atvejus, kai stabdymo kelias turi neviršyti numatomų normatyvų. Traukinių greitis ir traukinio stabdymo įranga turi užtikrinti traukinio stabdymo kelią, kuris yra ne ilgesnis negu 300 metrų.

Jeigu priimame, kad laiko intervale Δt = 1 s traukinį veikiančios jėgos nesikeičia, tai greičio sumažėjimą km/h stabdant galima nustatyti pagal formulę:

$$\Delta v = \frac{r}{30}, \quad (5)$$

čia: r – suminė traukinio stabdymo reikšmė, N; b_g– stabdymo jėga naudojant stabdžių trinkeles, N; b_m – stabdymo jėga naudojant elektros traukos variklius, N. $r = b_g + b_m$ priimamos esant judėjimo greičiui, iki stabdymo.

Kai nustatomas greičio pokytis Δv, apskaičiuojamas nuvažiuotas kelias ΔS:

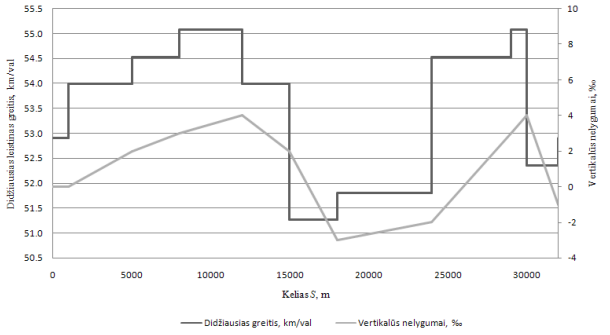
$$\Delta S = \frac{\left(v - \frac{\Delta v}{2}\right)}{3,6}. \quad (6)$$

Skaičiavimas kartojamas, kol pasiekiamas momentas, kai $v - \Delta v = 0$, arba pasiekiamas greitis numatomas apribojimuose. Taip nustatomas kelias, kurį

traukinys nuvažiuos iki visiško sustojimo. Keičiantis traukinio pradiniam greičiui, būtina įvertinti jo sustabdymo kelią, kuris neturi viršyti 300 metrų. Gauti rezultatai yra naudojami tolimesniems traukos skaičiavimams aproksimuojant tiesines priklausomybes. Šiuo atveju gaunama tokia didžiausio leidžiamo greičio išraiška:

$$v_{\lim} = a_{g\lim} \cdot i + b_{g\lim}, \quad (7)$$

čia: i – kelio įkalnė, ‰; a_{glim} ir b_{glim} – empiriniai koeficientai, įvertinantys traukinio judėjimą kelio nuolydžiais.



2 pav. Traukinio judėjimo greičio apribojimai priklausomai nuo vertikalių kelio nuolydžių

Apskaičiavus traukinio važiavimo didžiausius leidžiamus greičius nustatyta, kad nagrinėjamoje kelio atkarpoje didžiausios reikšmės 55,1 km/h, yra nuo 8 iki 12 kilometro, kur kelio įkalnė yra 4 ‰. Mažiausios greičio reikšmės yra 51,3 km/h, nuo 15 iki 18 kilometro, kur kelio nuokalnė yra -3 ‰.

Traukinio važiavimo trukmės ir degalų sąnaudų nustatymas pasirinktame kelio ruože

Skaičiavimus galima atlikti su *Microsoft Office Excel* programa. Skaičiuojama traukos režimu judant pirmyn ir sustabdymo režimu judant atgal. Jeigu traukinio judėjimas vyksta vagonais pirmyn ar didelio vėjo sąlygomis, tai šių veiksnių papildoma varža įskaičiuojama į bendrą sąstato varžą. Pasipriešinimas dėl kreivių įskaičiuojamas į redukuotą įkalnę i_c (RailBrainSystems TM 2008).

Kompiuteriniams skaičiavimams naudojama integravimas, kai integravimo žingsnis pagal kelią ΔS. Traukinio važiavimo greičio pokytis traukos režime:

$$\Delta v = \sqrt{v_n^2 + 0,24 \cdot \left(f_{\partial} - w - i_c \right) \cdot \Delta S} - v_n, \quad (8)$$

$$v_k = v_n + \Delta v, \quad (9)$$

čia: Δv – greičio pokytis, km/val; v_n – traukinio greitis integravimo pirmame žingsnyje, km/val; v_k – traukinio greitis integravimo paskutiniame žingsnyje, km/val; Δt – laiko pokytis, min; w – traukinio judėjimo varža, N/t; i_c - redukuotos įkalnės dydis, ‰.

Traukinio važiavimo trukmės pokytis:

$$\Delta t = \frac{60 \cdot \Delta S}{500 \cdot \left(v_n + v_k \right)}, \quad (10)$$

Stabdymo atveju:

$$\Delta V = \sqrt{V_n^2 + 0,24 \cdot \left(k_{cg} \cdot b_g + w + i_c \right) \cdot \Delta S} - V_n, \quad (11)$$

$$\Delta t = \frac{60 \cdot \Delta S}{1000 \cdot \left(V_n + \frac{\Delta V}{2} \right)}, \quad (12)$$

čia:k_{cg} – koeficientas įvertinantis stabdžių naudojimą sustabdymo metu. Priimamas 0,5.

Jeigu greitis yra apribojamas, tada reikia nustatyti šiam greičiui reikalingą apribotą traukos jėgą F_{lim}:

$$F_{lim} = \left(P + Q \right) \cdot \left(w_0 + i_c \right). \quad (13)$$

čia: w_0 – važiavimo varža traukos režime, N/t.

PASTABA. Gaunamos neigiamos reikšmės priimamos kaip 0.

Nustatant degalų sąnaudas skaičiuojamos reikšmės kiekvienam kelio intervalui. Valandinės degalų sąnaudos g_m (kg/h), kai variklio galia ir sūkiai pastovūs, yra nekintančios ir nustatomos pagal žinynus. Kai traukos jėga ribojama, tai valandinės degalų sąnaudos gaunamos pagal galią, kuri priklauso nuo valdiklio padėties.

Degalų sąnaudos g (kg), esant traukos režimu, nustatomos sudedant sąnaudas kiekvienam integracijos intervale:

$$G = \frac{\sum g_m \cdot \Delta t}{60}, \quad (14)$$

čia: g_m – valandinės degalų sąnaudos, kg/h, kg; Δt – laiko pokytis integracijos žingsnio pabaigoje, min.

Integracijos intervalas ΔS priimamas ne mažesnis negu 1 metras. Visos kintamųjų reikšmės perskaičiuojamos esant tokiam greičiui, kuris yra integravimo pradžioje. Rezultatai pateikiami pirmoje lentelėje.

1 lentelė. Skirtingos masės traukinio važiavimo nagrinėjamu kelio ruožu parametrų rezultatai

Šilumvežio serija	*t*, min	*g*, kg	*t*, min	*g*, kg	*t*, min	*g*, kg
Vagonų sąstato masė, t	2600		3100		3600	
M62	84,2	299	209	743	0	0
M62K	84,2	264	209	656	0	0
2M62	52,4	370	57,5	407	63,1	447
2M62K	52,4	327	57,5	359	63,1	395
2M62M	49,0	294	53,6	322	58,2	350
ER20CF	58,7	164	66,1	185	74,2	208
2ER20CF	41,7	232	44,8	250	48,0	268

t – traukinio važiavimo trukmė, *g* – degalų sąnaudos.

PASTABA. 0 įrašomas į rezultatus tuo atvejai, kai šilumvežis negali patraukti numatytos masės sąstato visą kelio ruožą.

Daug tiksliau šilumvežio darbo ekonomiškumą galima vertinti pagal degalų suvartojimą transportinio darbo vienetui (Lingaitis*et al.* 1999) – lyginamąsias degalų sąnaudas g_{lyg} (kg/10 tūkst. t km):

$$g_{lyg} = \frac{G}{Q \cdot S} \cdot 10^4. \quad (15)$$

Šilumvežių lyginamosios degalų sąnaudos patektos 2-oje lentelėje.

2 lentelė. Šilumvežių lyginamosios degalų sąnaudos traukiant skirtingus sąstatus nagrinėjamukelio ruožu

Šilumvežio serija	Vagonų sąstato masė, t		
	2600	3100	3600
	Lyginamosios degalų sąnaudos, kg/10 tūkst. t km		
	g_{lyg}	g_{lyg}	g_{lyg}
M62	35,94	74,90	nepatraukia
M62K	31,73	66,13	nepatraukia
2M62	44,47	41,03	38,80
2M62K	39,30	36,19	34,29
2M62M	35,34	32,46	30,38
ER20CF	19,71	18,65	18,06
2ER20CF	27,88	25,20	23,26

Pagal 2 lent. pateiktus duomenis matyti, kad mažiausias lyginamąsias degalų sąnaudas yra ER20CF serijos šilumvežio.

Prekinių šilumvežių racionalaus parinkimo kriterijai

Šiame tyrime prekiniai šilumvežiai vertinami pagal ekonominius ir eksploatacinius parametrus:

1. Prekinio sąstato masė.
2. Šilumvežių lyginamosios degalų sąnaudos.
3. Traukinio važiavimo trukmė nagrinėjamu kelio ruožu.
4. Prekinių šilumvežių parko dydis.

Racionalaus šilumvežių parinkimo kriterijų apskaičiavimui šilumvežių serijos ir kriterijai pažymimi alternatyvomis, kurios bus naudojamos tolimesniems skaičiavimams. Šilumvežių serijos pažymimos D_i: ER20CF žymimas D_1; 2ER20CF – D_2; M62 – D_3; 2M62 – D_4; M62K – D_5; 2M62K – D_6; 2M62M – D_7.Šilumvežių racionalaus parinkimo vertinimo kriterijai pažymimi rodikliais K_j: vežamo prekinio sąstato masė – K_1; lyginamosios degalų sąnaudos – K_2; važiavimo trukmė numatytu kelio ruožu – K_3; šilumvežių skaičius – K_4. Kriterijai K_2 ir K_3 yra minimizuojami, o kriterijai K_1 ir K_4 maksimizuojami. Geriausias parametras iš lyginamų šilumvežių prilyginamasvienetui (K_j = 1) ir racionalaus parinkimo tikslo funkcija yra: $K_j \rightarrow 1$ (Steišūnas*et al.* 2012).

Atliekant kriterijų vertinimą SoR metodu, visų rodiklių vietų suma $V_j$nustatoma pagal formulę:

$$V_j = \sum_{i=1}^{m} m_{ij}, \quad (16)$$

čia: m_{ij}– j-ojo rodiklio vieta j-ajam objektui($1 \le m_{ij} \le m$).

Atliekant kriterijų vertinimą SAW metodu, visų rodiklių įverčių normalizuotų reikšmių suma S_j nustatoma pagal šią formulę:

$$S_j = \sum_{i=1}^{m} \omega_i \cdot r_{ij}, \quad (17)$$

čia: ω_i– i-ojo rodiklio svarbos koeficientas; r_{ij}– i-ojo rodiklio normalizuota reikšmė j-ajam objektui.

Pradiniai duomenys šiuo atveju normalizuojami pagal šią formulę:

$$r_{ij} = \frac{r_{ij}'}{\sum_{i=1}^{n} r_{ij}}, \quad (18)$$

čia:r_{ij}' – i-ojo rodiklio reikšmė j-ajam objektui.

Geriausia kriterijaus $S_j$reikšmė yra tada, kai ji didžiausia.

Atliekant kriterijų vertinimą GM metodu, visų rodiklių normalizuotų reikšmių geometrinis vidurkis $\Pi_j$nustatomas pagal 19 formulę:

$$\Pi_j = \sqrt[m]{\prod_{i=1}^{m} \omega_i r_{ij}'}. \quad (19)$$

Objektų prioritetų seka, nustatyta remiantis visų rodiklių normalizuotų reikšmių geometrinio vidurkio formule, nepriklauso nuo rodiklių įverčių ω_i, todėl šis dydis į formulę gali būti neįtraukiamas. Geriausia kriterijaus $\Pi_j$reikšmė ta, kuri didžiausia (Steišūnas*et al.* 2012).

Kiekvieno vertinimo kriterijaus svarba įvertinama svarbos koeficientu r_i, kurio reikšmės parenkamos atsižvelgiant į racionalaus šilumvežių parinkimo kriterijų svarbą atitinkamiems atvejams. Kriterijų svarbos koeficientai įtakoja tik vertinimo rezultatus, gautus naudojant rodiklių įverčių metodą, kitiems metodams šie koeficientai įtakos neturi. Šilumvežių serijos ir kriterijų alternatyvos bei jų vertinimo kriterijų reikšmės su svarbos koeficientais pateikiamos 3-oje lentelėje.

3 lentelė. Šilumvežių racionalaus parinkimo kriterijai ir vertinimo svarbos koeficientų reikšmės

Šilumvežių alternatyvos	Kriterijai			
	Sąstato masė	Degalų sąnaudos	Važiavimo trukmė	Pasirinkimas
	K_1	K_2	K_3	K_4
D_1	1,00	1,00	0,677	0,286
D_2	1,00	0,741	1,00	0,143
D_3	0,667	0,249	0,214	0,149
D_4	1,00	0,455	0,779	0,110
D_5	0,667	0,282	0,214	0,104
D_6	1,00	0,515	0,779	0,162
D_7	1,00	0,575	0,836	0,188
Kriterijų	0,2	0,3	0,3	0,2

svarbos koef., r_1				
Kriterijų svarbos koef., r_2	0,3	0,2	0,2	0,3
Kriterijų svarbos koef., r_3	0,3	0,4	0,15	0,15

Prekinių šilumvežių racionalus parinkimas atliekamas atsižvelgiant į traukinių eksploatacijai iškeltus tikslus. Nagrinėjami du šilumvežių eksploatavimo scenarijai: kai siekiama kuo didesnės ekonominės naudos ir kai įvertinamas šilumvežių parko dydis. Pirma, kai siekiama didžiausios ekonominės naudos, tada svarbiausi kriterijai yra K_2 ir K_3. Šiems kriterijams suteikiamas didžiausios svarbos koeficientų r_1 reikšmės (0,3), o likusiems suteikiamas vienodas svarbos koeficientas (0,2). Antra, kai įvertinamas šilumvežių parko dydis, didžiausios svarbos koeficientų reikšmės r_2 (0,3) suteikiamas K_1 ir K_4 kriterijams, likusieji kriterijai įvertinami vienodai (0,2).

Galima siekti kuo optimalesnio prekinių šilumvežių parinkimo, tokiu atveju didžiausią svarbos koeficientą r_3 įgauna K_2 (0,4), mažesnį K_1 (0,3), vienodus K_3 ir K_4(po 0,15). Šių kriterijų ir svarbos koeficientų reikšmės pateikiamos 3-oje lentelėje.

4 lentelė. Suvestiniai šilumvežių vertinimo rezultatai, kai vertinama pagal skirtingus kriterijų svarbos koeficientus

Šilumvežiai	Metodo pavadinimas										Vietų vidurkis	**Vieta**
	SOR		SAW						GM			
	vieta	reikšmė	vieta, kai r_1	reikšmė, kai r_1	vieta, kai r_2	reikšmė, kai r_2	vieta, kai r_3	reikšmė, kai r_3	vieta	reikšmė		
ER20CF	1,5	7,2	1	0,205	1	0,205	1	0,212	1	0,199	1,1	**1**
2ER20CF	3	8,2	2	0,182	2	0,168	2	0,177	2	0,171	2,2	**2**
2M62M	1,5	7,2	3	0,165	3	0,164	3	0,160	3	0,164	2,7	**3**
2M62K	4	9,7	4	0,152	4	0,152	4	0,149	4	0,151	4	**4**
2M62	5	13,7	5	0,139	5	0,135	5	0,135	5	0,133	5	**5**
M62K	6	24	6	0,081	6	0,093	6	0,0844	6	0,0808	6	**6**
M62	7	26	7	0,076	7	0,083	7	0,0819	7	0,0762	7	**7**

Racionalaus šilumvežio parinkimo kriterijų skaičiavimo rezultatai apibendrinti 4-oje lentelėje. Pagal 4 lent. pateiktus rezultatus matyti, kad Siemens ER20CF ir 2ER20CF šilumvežiai turi geriausius vertinimo rezultatus pagal visus vertinimo metodus, taip pat keičiant vertinimo kriterijų svarbos koeficientus. 3-oje ir 4-oje vietose modernizuotas šilumvežis 2M62M ir „remotorizuotas“ 2M62K. Tik pagal vietų sumos metodą SoR gautus rezultatus šilumvežiai ER20CF ir 2M62M užėmė pirmą ir antrą vietą, nes vertinimo reikšmės buvo vienodos. Kitais atvejais vertinimo rezultatai, vietos priskirtos šilumvežių serijai nekito. Galima teigti, kad gauti rezultatai yra pagrįsti ir jais remiantis galima racionaliai parinkti šilumvežį numatytam vagonų sąstatui traukti.

Išvados

1. Apskaičiavus šilumvežių traukos teorinės charakteristikas, nustatyta, kad didžiausią traukos jėgą išvysto SIEMENS ER20CF šilumvežiai.
2. Palyginus šilumvežių lyginamąsiasdegalų sąnaudas transportinio darbo vienetui, gauta, kad mažiausios sąnaudos ER20CF serijos šilumvežio – 18,06 kg/10 tūkst. t km, o didžiausiosios šilumvežio M62– 74,90 kg/10 tūkst. km.
3. Pagal trijų daugiakriterio šilumvežių vertinimo metodų rezultatus sudaryta racionalaus traukos riedmenų parinkimo prioritetinė eilė: ER20CF; 2ER20CF; 2M62M; 2M62K; 2M62; M62K; M62.
4. Tobulinant prekinių šilumvežių parinkimo metodiką tolimesniuose tyrimuose numatoma įvertinti važiuojančio traukinio dinaminius procesus. Riedmenų traukos skaičiavimamsnumatyta sumodeliuoti realius kelio ruožus ir patobulintidaugiakriterį vertinimą, įvedant daugiau vertinimo kriterijų.

Literatūra

AB „Lietuvos geležinkeliai“. 2013. *Metinė ataskaita 2013* [interaktyvus]. [žiūrėta 2015 kovo 3 d.]. Prieiga per internetą:<http://www.litrail.lt/documents/10291/19071/LT_19.05_www.pdf/052d58f4-c704-4df5-b288-4e1a6d081295>

Bureika, G.; Subačius, R.; Kumara, M. 2009. Researchonenergyefficientofrolling-stockoperation,in*Proceedingsofthe 6th InternationalScientificConference “TRANSBALTICA – 2009”*, 28–32.

L. P. Lingaitis.1999. Šilumvežio degalų sąnaudų patikslinta apskaičiavimo metodika. *Transportas – transportengineering*. Vilnius: Technika, 103–105.

RailBrainSystems TM. 2008. *Методикавыполнениятяговыхрасчетов и выбораоборудования (подвижногосостава) карьерногожелезно-дорожноготранспорта* [interaktyvus]. [žiūrėta 2015 vasario 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://brailsys.com/Files/Metod_Tjag.pdf>

Steišūnas S., Bureika G. 2012. Prekinių šilumvežių magistralei „RAIL BALTICA“ parinkimo algoritmas, iš *Transportas*: *15-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ medžiaga.* Vilnius: Technika, 386–390.

Б.Г. Постол, Е. Н. Кузмичев. *Тягапоездов*. [Traukinių trauka]. Хабаровск:Издательство ДВГУПС. 2011. 79 p.

Choosing of rational traction rail vehicle for freight transportation by railways

K. Baublys, G. Bureika

Abstract

Rail freight transportation technical data and exploitation parameters, modeling of train exploitation parameters with different traction rail vehicles and loadsare analyzed in the article analyses. Calculated fuel comparative consumption of different locomotives, train movement duration and the train transportationwork done on consideredstretch are compared. The most rational locomotive was determined to pull freight train onconsideredstretch. Finally, basic conclusions are given.

Keywords:freight train, exploitation parameters, locomotive, tractive effort, fuel comparative consumption, determination.