



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
GELEŽINKELIŲ TRANSPORTO KATEDRA

Karolis Naktinskas

TRAUKOS RIEDMENŲ ENERGIJOS EFEKTYVUMO TYRIMAS
RESEARCH OF TRACTION ROLLING – STOCKS ENERGY EFFICIENCY

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62403T104

Geležinkelių transporto inžinerijos specializacija

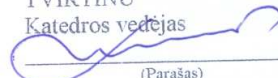
Transporto inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2011

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
GELEŽINKELIŲ TRANSPORTO KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas



(Parašas)

Leonas Povilas Lingaitis

(Vardas, pavardė)

2011-06-06

(Data)

Karolis Naktinskas

TRAUKOS RIEDMENŲ ENERGIJOS EFEKTYVUMO TYRIMAS
RESEARCH OF TRACTION ROLLING – STOCKS ENERGY EFFICIENCY

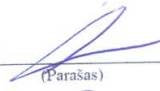
Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62403T104

Geležinkelių transporto inžinerijos specializacija

Transporto inžinerijos studijų kryptis

Vadovas doc. Dr. Gediminas Vaičiūnas
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)


(Parašas)

2011-06-01
(Data)

Konsultantas lekt. Angelika Petrėtienė
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)


(Parašas)

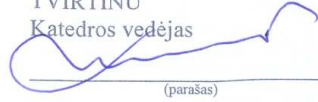
2011-05-27
(Data)

Vilnius, 2011

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
GELEŽINKELIŲ TRANSPORTO KATEDRA

Transporto inžinerijos studijų kryptis
Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62403T104
Geležinkelių transporto inžinerijos specializacija

TVIRTINU
Katedros vedėjas



(parašas)

Leonas Povilas Lingaitis
(Vardas ir pavardė)

2011-01-31
(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS

2011-01-31 Nr. 04
Vilnius

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

Baigiamojo darbo tema ***Traukos riedmenų energijos efektyvumo tyrimas***
patvirtinta 2010 m. lapkričio 18 d. dekanų potvarkiu Nr. 384ti.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2011 m. gegužės mėn. 16 d.

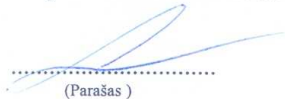
BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

1. Energijos panaudojimo riedmenyse galimybių tyrimas.
2. Lietuvių geležinkelio energinio sistemos tyrimas.
3. Silumnešio ir elektrinio energijos krautų sąnaudų palyginimas.
4. Silumnešio ir elektrinio energinio vektoriaus išvados.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai: lietuvių kalbos konsultantė, lektorė Angelika Petrėtienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas ir pavardė)

Vadovas

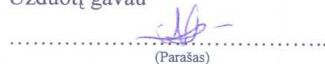


(Parašas)

doc. dr. Gediminas Vaičiūnas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas ir pavardė)

Užduotį gavau



(Parašas)

Karolis Naktinskas
(Vardas ir pavardė)

2011-01-31
(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Transporto inžinerijos fakultetas
Geležinkelių transporto katedra

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

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

Pavadinimas **Traukos riedmenų energijos efektyvumo tyrimas**

Autorius **Karolis Naktinskas**

Vadovas **doc. dr. Gediminas Vaičiūnas**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame darbe išanalizuotos energijos naudojimo geležinkelio traukos riedmenims galimybės. Išnagrinėta Lietuvos geležinkelių traukos riedmenų energetinė sistema. Atlikta prekinio šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų lyginamoji analizė. Ištirta šilumvežio ir elektrovežio traukos energijos sąnaudų priklausomybė nuo sąstato masės, ašinės apkrovos, traukinio vidutinio greičio, kelio profilio.

Atlikta ekonominė analizė, nustatytas elektrovežio VL80K ekonominis efektas pagal sutaupytą energijos kiekį, lyginant su šilumvežiu „Siemens ER20 CF“. Nustatyta parinktų ruožų elektrifikacijos išlaidos bei atsipirkimo laikas pagal elektrovežio sutaupytos energijos kiekį.

Išnagrinėta informacija apibendrinta išvadomis ir pasiūlymais, pateiktas literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 81 p. Teksto be priedų, 34 iliustr., 25 lent., 21 bibliografinių šaltinių.

Atskirai pridedami darbo priedai.

Prasminiai žodžiai

šilumvežis, elektrovežis, energijos sąnaudos, elektrifikacija, sutaupytos lėšos

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's Thesis
Title **Research of traction rolling-stocks energy efficiency**
Author **Karolis Naktinskas**
Academic supervisor **Assoc Prof Dr Gediminas Vaičiūnas**

Thesis language:
Lithuanian

Annotation

The paper analyzes the opportunities of the energy consumption of railway locomotives. The paper investigates the Lithuanian railway traction power grid. A comparative analysis of the traction energy consumption of locomotive „Siemens ER20 CF“ and electric locomotive VL80K is done. The traction consumption's dependence on the train mass, the axial load, the average train speed, track profile of diesel and electric lokomotives is investigated.

The economic analysis has been carried out, which determines the economic effect of the electric lokomotive with regard to the saved energy amount as compared to locomotive „Siemens ER20 CF“. The cost and payoff time of electrification for selected sections were found based on the energy savings of electric locomotive.

The volume of the paper is 81 pages, excluding appendices, 34 illustrations., 25 tables, 21 bibliography entries.

The appendices are given separately.

Keywords

diesel locomotive, electric locomotive, energy consumption, electrification, saved funds.

Vilniaus Gedimino technikos universiteto egzaminų
sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo bei gynimo
organizavimo tvarkos aprašo 2010–2011 m. m.
6 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Karolis Naktinskas 20055060

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

TRANSPORTO INŽINERIJOS

(Fakultetas)

TRANSPORTO INŽINERIJA, GTfm 9

(Studijų programa, akademinė grupė)

**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA**

2011 m. 05-30 d.
(Data)

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas (projektas) tema _____
Traukos riedmenų energijos efektyvumo tyrimas

patvirtintas 20 10 m. Lapkričio 18 d. dekanų potvarkiu Nr. 384 ti, yra
savarankiškai parašytas. Šiame darbe (projekte) pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar
netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Prenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą (projektą), mane konsultavo
mokslininkai ir specialistai: lekt. Angelika Petrėtienė, lekt. Lionginas Liudvinavičius

Mano darbo (projekto) vadovas doc. dr. Gediminas Vaičiūnas

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


(Parašas)

KAROLIS NAKTINSKAS
(Vardas ir pavardė)

TURINYS

IVADAS	14
1. ENERGIJOS NAUDOJIMO GELEŽINKELIO TRAUKOS RIEDMENIMS GALIMYBIŲ TYRIMAS.....	16
1.1. Degalų energija.....	16
1.1.1. Dyzelinas.....	16
1.1.2. Biodyzelinas.....	17
1.1.3. Dujos.....	18
1.1.4. Vandenis.....	20
1.2. Atominė energija.....	22
1.3. Elektros energija.....	23
2. LIETUVOS GELEŽINKELIŲ ENERGETINĖS SISTEMOS TYRIMAS.....	26
2.1. Šiluminės energijos, skirtos riedmenų traukai, energetinė sistema.....	26
2.2. Elektros energijos, skirtos riedmenų traukai, energetinė sistema.....	29
2.3. Galimi elektrifikacijos scenarijai.....	31
2.4. Lietuvos geležinkelių linijų elektrifikacijos scenarijų tikslingumo atrankos analizė.....	32
3. TYRIMUI PASIRINKTO GELEŽINKELIO RUOŽO ANALIZĖ.....	35
3.1. Prekinių šilumvežių krovinių apyvartos ir ridos analizė pagrindinėmis vežimo kryptimis...	35
3.2. Ruožo Vaidotai–Kybartai analizė.....	36
3.3. Prekinių traukinių sąstatų masės ruože Vaidotai–Kybartai.....	37
3.4. Ruožo Kybartai–Vaidotai profilio analizė.....	38
4. ŠILUMVEŽIO „SIEMENS ER20 CF“ IR ELEKTROVEŽIO VL80K TRAUKOS ENERGIJOS SĄNAUDŲ LYGINAMOJI ANALIZĖ.....	41
4.1. Pagrindiniai veiksniai, turintys įtakos lokomotyvo energijos traukai sąnaudoms.....	41
4.1.1. Sąstato masės įtaka lokomotyvo traukos energijos sąnaudoms.....	41
4.1.2. Sąstato ašies apkrovos įtaka lokomotyvo traukos energijos sąnaudoms.....	42
4.1.3. Kelio profilio įtaka traukos energijos sąnaudoms.....	42
4.1.4. Važiavimo greičio įtaka lokomotyvo traukos energijos sąnaudoms.....	43
4.1.5. Sustojimų ir stabdymo skaičiaus įtaka traukos energijos sąnaudoms.....	43
4.1.6. Lokomotyvo techninės būklės įtaka traukos energijos sąnaudoms.....	44
4.2. Įvertinamų veiksnių parinkimas.....	44
4.3. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K energijos sąnaudų tuščiaja eiga palyginimas.....	45
4.4. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų priklausomumo nuo sąstato ašies apkrovos tyrimas.....	47
4.4.1. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų priklausomumo nuo sąstato ašies apkrovos, važiuojant kryptimi Vaidotai–Kybartai, tyrimas....	47
4.4.2. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų	

priklausomumo nuo sąstato ašies apkrovos, važiuojant kryptimi Kybartai–Vaidotai, tyrimas....	50
4.5. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų priklausomumas nuo važiavimo greičio.....	53
4.5.1. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų priklausomumo nuo greičio, važiuojant kryptimi Vaidotai–Kybartai, tyrimas.....	53
4.5.2. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K energijos traukai sąnaudų priklausomumo nuo greičio, važiuojant kryptimi Kybartai–Vaidotai, tyrimas.....	55
4.6. Šilumvežio ir elektrovežio traukos energijos sąnaudų priklausomumo nuo kelio profilio tyrimas.....	56
4.7. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų priklausomumo nuo sąstato masės tyrimas.....	57
4.7.1. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų priklausomumo nuo sąstato masės, važiuojant kryptimi Vaidotai–Kybartai, tyrimas.....	57
4.7.2. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų priklausomumo nuo sąstato masės, važiuojant kryptimi Kybartai–Vaidotai, tyrimas.....	59
4.8. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K sąlyginio traukos energijos sąnaudų santykio nustatymas.....	61
4.9. Elektrovežio ir šilumvežio traukos energijos sąnaudų procentinis palyginimas.....	62
4.10. Elektrovežio traukos energijos sąnaudų sutaupyto procento priklausomumo nuo sąstato masės nustatymas.....	63
4.11. Elektrovežio VL80K ir šilumvežio „Siemens ER20 CF“ traukos energijos sąnaudų 1 km palyginimas.....	65
5. ŠILUMVEŽIO „SIEMENS ER 20 CF“ IR ELEKTROVEŽIO VL80K EKONOMINIS ĮVERTINIMAS.....	70
5.1. Ekonominio įvertinimo metodika.....	70
5.2. Sutaupytų lėšų per 10 000 tkm apskaičiavimas.....	70
5.3. Sutaupytų lėšų traukos energijai priklausomumas nuo sąstato masės.....	72
5.4. Metinio sutaupytos traukos energijos kiekio nustatymas.....	73
5.5. Sąnaudų elektrifikacijai prognozė.....	76
5.5.1. Išlaidos infrastruktūrai.....	76
5.5.2. Išlaidos riedmenims.....	77
5.5.3. Išlaidos depams.....	77
5.6. Elektrifikacijos atsipirkimo laiko pagal sutaupytą lėšų kiekį traukos energijai nustatymas..	78
IŠVADOS.....	82
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	83
PRIEDAI.....	85

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. „Quantum“ bendrovės gaminami slėginiai indai vandeniliui laikyti esant iki 100 MPa slėgiui.....	21
2 pav. Lietuvos geležinkelių šiluminės traukos riedmenų parko pasiskirstymas.....	27
3 pav. Lietuvos geležinkelių dyzelinių degalų energetinė schema.....	28
4 pav. Vilniaus lokomotyvų depo ir Radviliškio lokomotyvų depo sunaudotų degalų kiekiai per 2009 ir 2010 metų I ketvirtį.....	29
5 pav. Elektrifikuotas ruožas Naujoji Vilnia–Kaunas.....	30
6 pav. Scenarijus: IX B, D koridorius, įskaitant Kyviškės–Vaidotai–Paneriai, Lentvaris–Trakai, Palemonas–Rokai–Jiesia, Palemonas–Gaižiūnai ir Kužiai–Mažeikiai–Bugeniai ruožų elektrifikacija.....	31
7 pav. Visų europinių IX ir I koridorių bei 11, 12, 21, 22, 23, 25 linijų elektrifikacija.....	32
8 pav. Krovinių vežimo Lietuvos geležinkelių linijomis analizė.....	33
9 pav. Krovinių srautai 2010 metais vežant pagrindinėmis krovinių vežimo kryptimis.....	35
10 pav. Lietuvos geležinkelių schema.....	37
11 pav. Ruožo Kybartai–Vaidotai suminis ilgis važiuojant įkalne, nuokalne ir horizontaliu keliu.....	38
12 pav. Redukuotas kelio ruožas.....	39
13 pav. Dyzelinio variklio veikimo laiko procentinis pasiskirstymas.....	45
14 pav. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K energijos sąnaudų tuščiąja eiga grafinis palyginimas.....	47
15 pav. „Siemens ER20“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų kitimas priklausomai nuo ašių skaičiaus ruože Vaidotai–Kybartai, kai vežamo sąstato masė 4000 tonų.....	50
16 pav. „Siemens ER20“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų kitimas priklausomai nuo ašių skaičiaus ruože Kybartai–Vaidotai, kai vežamo sąstato masė 2500 tonų.....	51
17 pav. Elektrovežio ir šilumvežio vidutinių lyginamųjų traukos energijos sąnaudų kitimas priklausomai nuo vidutinės sąstato ašies apkrovos.....	52
18 pav. „Siemens ER20“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų kitimas priklausomai nuo vidutinio greičio ruože Vaidotai–Kybartai, kai vežamo sąstato masė 5000 tonų.....	54
19 pav. „Siemens ER20“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų kitimas	

priklausomai nuo vidutinio greičio ruože Kybartai–Vaidotai, kai vežamo sąstato masė 1500 tonų.....	55
20 pav. „Siemens ER20“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų kitimas priklausomai nuo vidutinio kelio profilio.....	57
21 pav. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K lyginamųjų traukos energijos sąnaudų palyginimas kg/10 000 tkm, ruože Vaidotai–Kybartai vežant skirtingų masių sąstatus.....	59
22 pav. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K lyginamųjų traukos energijos sąnaudų palyginimas kg/10 000 tkm, ruože Vaidotai–Kybartai vežant skirtingų masių sąstatus.....	61
23 pav. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų procentinis palyginimas.....	63
24 paveikslas. Sutaupyta energijos traukai procentas ruože Vaidotai–Kybartai esant skirtingai sąstato masei.....	64
25 paveikslas. Sutaupyta traukos energijos procentas ruože Kybartai–Vaidotai esant skirtingai sąstato masei.....	64
26 pav. Sunaudojamos traukos energijos kiekis vienam kilometrui, vežant įvairių masių sąstatus, ruože Vaidotai–Kybartai.....	65
27 pav. Sunaudojamos traukos energijos kiekis vienam kilometrui, vežant įvairių masių sąstatus, ruože Kybartai–Vaidotai.....	66
28 pav. Elektrovežio sutaupyta energijos kiekis ruože Vaidotai–Kybartai, esant skirtingai sąstato masei.....	67
29 pav. Elektrovežio sutaupyta energijos kiekis ruože Kybartai–Vaidotai, esant skirtingai sąstato masei.....	67
30 pav. Elektrovežio sutaupytų lėšų kiekis traukos energijai, ruože Kybartai–Vaidotai, esant skirtingai sąstato masei.....	71
31 pav. Elektrovežio sutaupytų lėšų kiekis traukos energijai, ruože Vaidotai–Kybartai, esant skirtingai sąstato masei.....	72
32 pav. Lėšų, skirtų traukos energijai, priklausomybė nuo vežtų krovinių kiekio per metus	74
33 pav. Sutaupytų lėšų kiekis, esant skirtingam vežtų krovinių kiekiui per metus.....	74
34 pav. Elektrifikacijos atsipirkimo laikas pagal sutaupytą energijos kiekį eksploatuojant skirtingą elektrovežių skaičių.....	79

LENTELIŲ SĄRAŠAS

2.1.1 lentelė. Lietuvos geležinkelių šiluminės traukos riedmenų parkas.....	26
2.1.2 lentelė. Sunaudotų degalų kiekis 2009–2010 metų I ketvirtyje.....	28
2.4 lentelė. Krovinių vežimo Lietuvos geležinkelių linijomis analizė.....	33
3.1 lentelė. Krovinių vežimo apimtys Kaliningrado srities link pagal jų rūšis.....	36
3.3 lentelė. Prekinių traukinių sąstatų masės ruože Vaidotai–Kybartai.....	38
4.3.1. lentelė. Elektrovežio ir šilumvežio pagalbiniai įrenginiai	45
4.3.2.lentelė. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K energijos sąnaudos tuščiosios eigos režime.....	46
4.4.1.1 lentelė. Elektrovežio VL80K elektros energijos traukai sąnaudos priklausomai nuo ašių skaičiaus ruože Vaidotai–Kybartai, kai vežamo sąstato masė 4000 tonų.....	48
4.4.1.3 lentelė. „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudos priklausomai nuo ašių skaičiaus ruože Vaidotai–Kybartai, kai vežamo sąstato masė 4000 tonų.....	49
4.4.2 lentelė. „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80k traukos energijos sąnaudos priklausomai nuo ašių skaičiaus ruože Kybartai–Vaidotai, kai vežamo sąstato masė 2500 tonų.....	49
4.5.1 lentelė. Elektrovežio VL80K bei prekinio šilumvežio „Siemens ER20“ traukos energijos sąnaudos priklausomai nuo greičio ruože Vaidotai–Kybartai, kai vežamo sąstato masė 5000 tonų.....	51
4.5.2 lentelė. „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudos priklausomai nuo traukinio vidutinio greičio ruože Kybartai–Vaidotai, kai vežamo sąstato masė 1500 tonų.....	54
4.6 lentelė. Prekinių šilumvežių faktinės degalų sąnaudos ruožuose Vaidotai–Kybartai, Kybartai–Vaidotai.....	55
4.7.1 lentelė. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudos ruože Vaidotai–Kybartai vežant skirtingų masių sąstatus.....	56
4.7.2 lentelė. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudos ruože Kybartai–Vaidotai vežant skirtingų masių sąstatus.....	58
4.11 lentelė. Sutaupytos energijos kiekis eksploatuojant elektrovežį VL80K lyginant su šilumvežiu „Siemens ER20 CF“ esant skirtingai sąstato masei.....	60
5.2.1 lentelė. Šilumvežio „Siemens ER20“ ir elektrovežio VL80K vidutinės traukos energijos sąnaudos kg/10 000 tkm (kW/10 000 tkm) ir vidutinis sunaudojamų lėšų kiekis eurai/10 000 tkm bruto.....	66
5.3 lentelė. Sutaupytų lėšų kiekis lyginant su šilumvežiu „Siemens ER20 CF“, esant skirtingai sąstato masei.....	69

5.4 lentelė. Lėšos traukos energijai kintant krovinių apyvartai.....	71
5.5.1 lentelė. Infrastruktūros sąnaudos.....	73
5.5.2 lentelė. Elektrovežių pirkimo išlaidos.....	75
5.5.3 lentelė. N. Vilnios depo įrengimo išlaidos.....	76
5.5.4 lentelė. Radviliškio depo įrengimo išlaidos.....	76
5.6.1 lentelė. Elektrovežio VL80K sutaupytų lėšų kiekis traukos energijai per metus.....	77
5.6.2 lentelė. Elektrifikacijos atsipirkimo pagal sutaupytą energijos traukai kiekį, esant skirtingam elektrovežių skaičiui.....	78

SANTRUMPOS

RME – rapsų metilo esteris

PM – kietosios dalelės

SGD – suslėgtos gamtinės dujos

NO_x – azoto oksidas

CO – anglies monoksidas

SO₂ – sieros dvideginis

LG – akcinė bendrovė „Lietuvos geležinkeliai“

LT-1 – Vilniaus lokomotyvų depas

LT-2 – Radviliškio lokomotyvų depas

IVADAS

Pagrindinis geležinkelių traukos riedmenims naudojamas energijos šaltinis Lietuvoje ir daugelyje kitų šalių yra naftos produktai. Tačiau nafta sparčiai senka, o iš jos pagaminama energija nuolat brangsta. Deginant iš žemės gaunamas iškasenas, ore sparčiai didėja anglies dvideginio koncentracija, o ji didina šiltnamio efektą.

Dėl aplinkosaugos problemų, dėl pasaulinių išteklių mažėjimo imta ieškoti efektyvesnių energijos naudojimo būdų bei alternatyvių energijos rūšių.

Pagrindinis geležinkelių transporto privalumas, lyginant su kitomis transporto rūšimis, yra palyginti nedidelės traukos energijos sąnaudos, tenkančios darbo vienetui (tkm). Siekiant šias sąnaudas dar sumažinti, traukos riedmenų parkas modernizuojamas ir naujinamas [3].

2004–2007 metais buvo atlikta 66 šilumvežio sekcijų remotorizacija, taip pat modernizuoti 26 prekiniai šilumvežiai. Šiuo metu eksploatuojami 44 naujai įsigyti „Siemens ER20 CF“ prekiniai šilumvežiai, kurių degalų sąnaudos per 10 000 tkm, 39 % mažesnės lyginant su senaisiais 2M62 šilumvežiais. Nepaisant šių investicinių projektų, didžiausią dalį prekinų šilumvežių sąnaudų struktūroje sudaro išlaidos degalams (84 %) [3].

Iki šiol galimybė naudoti kitas (alternatyvias) energijos rūšis nagrinėta nedaug. Pasaulinė patirtis rodo, kad geležinkelio traukos riedmenims gali būti naudojama: gamtinės dujos (pvz.: Vokietijoje, Indijoje, Brazilijoje), biodyzelinas, elektros energija. Taip pat atlikti vandenilio panaudojimo traukai tyrimai, sukurtas atominis lokomotyvas (Rusijoje) [19].

Pasaulinė praktika rodo, kad šiuo metu realiausią alternatyvą dyzelinui sudaro elektros energija. Dėl šios priežasties atliekamas dyzelinės ir elektrinės traukos riedmenų energijos tyrimas.

Darbo tikslas – įvertinti elektrifikacijos veiksmingumą traukos energijos sutaupymo požiūriu bei nustatyti dyzelinės ir elektrinės traukos riedmenų energijos sąnaudų skirtumo priklausomumą nuo lokomotyvų eksploatavimo sąlygų: sąstato masės, ašinės apkrovos, traukinio vidutinio greičio, kelio profilio.

Pirmojoje darbo dalyje pateiktas energijos naudojimo geležinkelio traukos riedmenims galimybių tyrimas.

Antrojoje dalyje išanalizuota Lietuvos geležinkelių energetikos sistema, pateikti energetikos plėtojimo scenarijai (pagrindinių ruožų elektrifikacija, visų Lietuvos geležinkelio ruožų elektrifikacija).

Trečiojoje dalyje aprašomas pasirinktas geležinkelio ruožas, kuriame atliekama prekinio šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų lyginamoji analizė.

Ketvirtojoje dalyje atliekama prekinio šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų pasirinktame geležinkelio ruože analizė.

Penktojoje dalyje atlikta ekonominė analizė, nustatytas elektrovežio VL80K ekonominis efektas pagal sutaupytą traukos energijos kiekį, lyginant su „Siemens ER20 CF“ šilumvežiu, kuris yra ekonomiškiausias šiuo metu Lietuvos geležinkelyje eksploatuojamas šilumvežis.

Nustatytas numatytos elektrifikacijos atsipirkimo laikas, pagal sutaupytą traukos energijos kiekį. Darbo pabaigoje pateikiamos išvados.

1. ENERGIJOS NAUDOJIMO GELEŽINKELIO TRAUKOS RIEDMENIMS GALIMYBIŲ TYRIMAS

Iš pasaulinės praktikos žinoma, kad geležinkelio riedmenų traukai užtikrinti gali būti naudojamos šios energijos rūšys:

- degalų energija;
- atominė energija;
- elektros energija.

Tiriant, kuri energijos rūšis yra šiuo metu ekonomiškai efektyviausia bei perspektyviausia, pirmiausia reikia nuodugniai išnagrinėti kiekvienos jų trūkumus bei privalumus.

1.1. Degalų energija

Degalų energija, kuri gali būti pritaikoma traukos riedmenims, gaunama iš šių energijos šaltinių:

- dyzelinas;
- biodyzelinas;
- dujos;
- vandenilis;

Norint atlikti išsamų degalų energijos efektyvumo traukos riedmenims tyrimą, reikia išanalizuoti degalų kaip energijos šaltinių privalumus ir trūkumus.

1.1.1. Dyzelinas

Dyzeliniai lokomotyvai pradėti gaminti Pirmojo pasaulinio karo metais ir sėkmingai gaminami iki šių dienų. Ši energijos rūšis vis dar viena iš populiariausių, nepaisant to, kad rimtą alternatyvą sudaro elektrinė trauka bei kitos energijos rūšys [15].

Per paskutinius dvidešimt metų pramonėje pasiekti aukšti techniniai – ekonominiai dyzelinių variklių rodikliai: šiuolaikinių dyzelių maksimalus degimo slėgis siekia 18,0–25,0 MPa, tai leidžia pasiekti indikatorinį terminį naudingumo koeficientą (n. k.) apie 0,55, tai atitinka santykinį degalų sunaudojimą 154 g/(kWh). Įvertinant, kad maksimalus mechaninis dyzelinių variklių naudingumo koeficientas (n. k.) gali būti 0,9, minimalios degalų sąnaudos būtų 170 g/kWh. Be mechaninių nuostolių, egzistuoja energijos nuostoliai aušinimui (4–6 %). Realiai

lokomotyvuose gali būti pasiektas maksimalus efektinis naudingumo koeficientas 0,47 (179 g/kWh).

Tolimesnis ciklo charakteristikų variklio rodikliams didinimas netikslingas dėl reikšmingų nuostolių, susijusių su kenksmingos aplinkos įtakos degimo kameroje augimu. Be to, išauga degalų mišinio padarymo (maišymo) sunkumai ir išmetamųjų dujų toksiškumas. Taigi atsiranda būtinybė įrengti valymo sistemas su išmetamųjų dujų pašildymu dalinių apkrovų režimu. Tai sumažina variklio naudingumo koeficientą dar 2–3 %.

Tokiu atveju galima teigti, jog perspektyvoje dyzelinio variklio ekonomiškumas neviršys 175 g/kWh. Tiesa, galimas dyzelinių variklių santykinės masės mažėjimas dėl jų greitaeigiškumo didėjimo. Tačiau visada išlieka būtinybė keisti aukšto slėgio purkštukus ir stūmoklių žiedus. Išlaidas dyzelių remontui ir priežiūrai sudaro 50 % visų šilumvežio remonto ir priežiūros išlaidų. Šios išlaidos susijusios ne tik su atsarginių dalių įsigijimu, bet ir sunkiu fiziniu darbu (mechanizacija, automatizacija) [16].

1.1.2. Biodyzelinas

Biodyzelinas – tai mineralinio dyzelino pakaitalas, gaminamas iš augalinių aliejų (rapsų, saulėgrąžų ir kt.) ar gyvulinių taukų.

Biodyzeliną galima naudoti įvairiuose dyzeliniuose varikliuose, pritaikytuose naudoti dyzeliną. Be to, jis gerai maišosi su dyzelinu ir nesisluoksniuoja, todėl gali būti naudojamas grynas arba bet kokių santykiu sumaišytas su mineraliniu dyzelinu.

Biodyzelinas gali būti saugojamas tose pačiose patalpose, kaip ir dyzelinas, tinka tie patys įpylimo įrenginiai, todėl pradedant naudoti šiuos degalus reikalingos minimalios investicijos infrastruktūrai pertvarkyti.

Biodyzelino privalumai lyginant su dyzelinu:

- geriau tepa siurblio bei variklio dalis, nes yra klampesnis, lyginant su dyzelinu;
- saugesnis naudoti, nes aukštesnė pliūpsnio temperatūra;
- netoksiškas, biologiškai gerai skaidomas mikroorganizmų (4 kartus greičiau nei dyzelinas) [14];
- variklių paleidimas teigiamose temperatūrose išlieka toks pats, kaip ir su dyzelinu;
- deginiuose nėra sieros dioksido ir halogenų, mažiau sieros rūgšties, per 60 % mažiau suodžių, daugiau kaip 35 % mažiau nesudegusių anglevandenilių ir 46 % – anglies viendeginio, 10–8 % mažiau azoto oksidų [14].

Biodyzelino trūkumai:

- tik masinės gamybos savikaina gali prilygti mineralinio dyzelino gamybos savikainai;
- žemoje temperatūroje virsta drebučiais, todėl gali būti naudojami tik iki -10 °C (išskyrus žieminį biodyzeliną);
- dėl rūgščių, esančių biodyzeline, trumpėja nepritaikytų variklio guminių dalių naudojimo laikas;
- dėl didesnės klampos blogėja degalų išpurškimas;
- dėl žemesnio šilumingumo padidėja degalų sąnaudos ir sumažėja variklio galia;
- didelė benzapireno grupės kancerogeninių junginių susidarymo deginiuose tikimybė.

Eksperimentiniai bandymai biodyzelino pritaikymui geležinkelio transporto priemonėmis atliekami ne tik užsienio šalyse, bet ir Lietuvoje. 2006 metais eksperimentas atliktas su vengrų gamybos dyzelinio traukinio D1 varikliu [14].

Pradžioje bandymai buvo atliekami su grynu dyzelinu skirtingais variklio režimais. Jų metu buvo matuojamos degalų sąnaudos, analizuojamos išmetamosios dujos, stebima variklio temperatūrinė būklė. Po to, į dyzeliną įmaišoma 10 % rapsų metilo esterio (RME) ir vėl atliekami bandymai. Taip kartojami bandymai didinant RME kiekį iki 40 %.

Esant nedidelei apkrovai (iki 50 %) degalų sąnaudos proporcingai didėja RME kiekiui mišinyje, tačiau labiau augant apkrovai – degalų sąnaudos tampa panašios į gryno dyzelino sąnaudas, o naudojant 40 % RME ir dyzelino mišinį, jos sumažėja daugiau kaip 2 %. Iš visų mišinių galima išskirti tik 20 % RME ir dyzelino mišinį, kurio sąnaudos vidutiniškai 4 % didesnės nei gryno dyzelino.

Išlaidoms už degalus nustatyti atliktas ekonominis skaičiavimas, įvertinantis taršos mokestį ir degalų sąnaudų pokytį, dėl mažesnio biodyzelino šilumingumo, parodė, kad didžiausios išlaidos bus naudojant 20 % RME (padidės vidutiniškai 1,48 %, lyginant su dyzelinu), o mažiausios – 40 % RME ir dyzelino mišinį (sumažės vidutiniškai 1,55 % lyginant su dyzelinu). Naudojant 30 % RME ir dyzelino mišinį išlaidos degalams sumažės vidutiniškai 1,14 %, lyginant su išlaidomis grynam dyzelinui.

1.1.3. Dujos

Gamtinės dujos, kaip variklių degalai, turi daug galimybių. Jos yra nebrangios ir švarios, turi aukštą oktaninį skaičių (130), dabartyje ir ateityje lengvai atitiks leistinas išmetamųjų dujų

normas. Gamtinės dujos naudojamos jau daugiau kaip 100 metų. Geležinkelio transporte panaudotos: Vokietijoje, Prancūzijoje (tramvajus), vėliau Indijoje pradėti darbai (2005 m), Švedijoje – naudojamas biometanas, Brazilijoje – dujinis-dyzelinis lokomotyvas [16].

Šis degalų tipas gali būti naudojamas kartu su benzininiais ar dyzeliniais degalais arba specialiuose dujiniuose varikliuose.

Naudojant alternatyvius degalus transporto priemonėje sumontuojama aukšto slėgio dujų talpa ir speciali degalų tiekimo sistema. Natūralios gamtinės dujos gali būti naudojamos suslėgtos (apie 20 MPa) arba suskystintos (esant -162°C). Šiuo metu aukšto slėgio alternatyva yra perspektyvesnė.

Technologijos, taikomos panaudojant gamtines dujas kaip degalus, yra iki pakankamai iširtos ir per daugelį metų patikrintos atliekant bandymus.

Praktinė patirtis rodo, kad transporto priemonės, naudojančios gamtines dujas, gamtosauginiu požiūriu turi tokių privalumų, palyginti su transporto priemonėmis su dyzeliniais varikliais [15]:

- kietųjų, sveikatai žalingų dalelių (PM), kuriose yra mutageninių ir kancerogeninių medžiagų, koncentracija yra gerokai mažesnė dyzelinėm transporto priemonėm.
- dujiniai varikliai beveik neišmeta tamsių dūmų.
- naudojant gamtines dujas sumažinamos ir kitos taršos (azoto oksidai (NO_x) ir anglies monoksidas (CO)).
- į aplinką mažiau išmetama non-metanų, aromatų, poliaromatinių angliavandenilių ir aldehydų.
- naudojant natūralias gamtines dujas mažinamas neigiamas poveikis ozono sluoksniui (vasarą tai pasireiškia kaip vasaros smogas).
- gamtinės dujos neturi kancerogeninių medžiagų.
- deginiuose nėra sieros dvideginio (SO_2).
- variklių, naudojančių gamtines dujas, sukiamas triukšmas yra 5–6 % mažesnis.
- gamtinės dujos neužteršia grunto.

Ekonomiškai efektyvus projektas būtų lokomotyvų pritaikymas veikimui su suslėgtomis gamtinėmis dujomis (SGD). Lokomotyvai važiuoja fiksuotais maršrutais, didelės įtakos neturi SGD balionų masė. SGD papildymo stotys būtų įrengtos geležinkelio stočių teritorijose.

Gamtinių dujų didžiausias trūkumas - šie degalai nėra iš atsinaujinančių energijos šaltinių, taip pat perspektyvoje gamtinių dujų kaina dėl išteklių mažėjimo nuolat didės.

1.1.4. Vandenilis

Vandenilis yra energijos šaltinis, kurio panaudojimas gali radikaliai pakeisti energijos gamybos, perdavimo ir vartojimo sritis. Tai atsilieptų ir geležinkelių energetikai. Ypač daug vilčių dedama kuriant visiškai švarias transporto sistemas, nes, naudojant vandenilį kaip degalus, degimo produktas yra vanduo arba vandens garai.

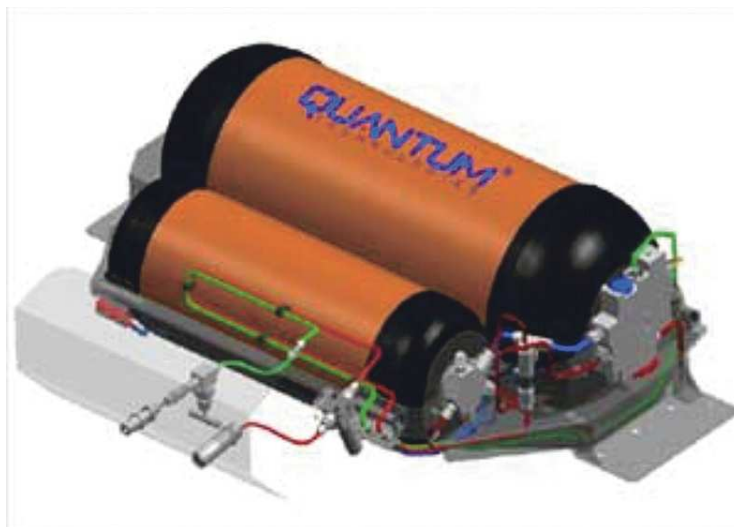
Vandenilis nėra pirminis energijos šaltinis kaip naftos produktai ar anglis. Jis, kaip ir elektros energija, turi būti pagamintas naudojant specialias technologijas ir kitus pirminius energijos šaltinius. Norint vandenilį panaudoti energetinėse sistemose, jis turi būti išskirtas iš minėtų cheminių junginių. O tam reikia turėti pirminės energijos šaltinį, kurio energija būtų naudojama vandenilio turinčioms medžiagoms skaidyti.

Numatoma, kad vandenilis leis daug efektyviau panaudoti tokius nestabilius energijos šaltinius kaip vėjas, saulė, bangų energija, nes jį galima kaupti ir panaudoti kada to prireikia. Dėl savo savybių šie šaltiniai yra sunkiai integruojami į dabartinę elektros tiekimo sistemą, kurioje pasiūla turi tiksliai atitikti paklausą. Vandenilio kaupyklų kūrimas ir tobulinimas galėtų padėti atsirasti rinkai, kuri šių vertingų šaltinių naudojimą padarytų ekonomiškai patrauklesnį.

Technologijos gaminti vandenilį (išskyrus paprastą elektrolizę) yra dar tik fundamentinių tyrimų stadijoje. Jų energetinis efektyvumas yra gana žemas. Todėl praeis dar daug laiko, kol bus sukurta vandenilio ekonomika, galinti konkuruoti su tradicine, organiniu kuru paremta ekonomika. Šios srities ekspertų nuomone vandenilis pradės užimti ryškesnę vietą energetikoje ir transporte tik tada, jei pradės aiškiai trūkti iškastinio organinio kuro ir jo kaina kelis kartus viršys dabartinę kainą. Todėl mažai tikėtina, kad šios perspektyvios technologijos paplistų per artimiausius 20 metų, išskyrus labai specifinius atvejus ir demonstracinius projektus.

Paprastai dujos laikomos suskystintos ir patalpintos aukšto slėgio balionuose. Todėl ir vandenilio atveju buvo bandoma atlikti tą patį. Jau sukurtos skysto vandenilio saugojimo technologijos. Teoriškai skysto vandenilio saugojimo sistemose vandenilis gali sudaryti arti 100 % masės. Tačiau vandenilio labai žemas virimo taškas ($-252,87\text{ }^{\circ}\text{C}$), todėl skysto vandenilio saugojimo sistemos turi būti komplektuojamos su papildoma šaldymo įranga kriogeninei temperatūrai palaikyti. Todėl šiuolaikinėse suskystinto vandenilio sistemose vandenilis tesudaro 10 % jų masės (likusią masės dalį t.y. 90 % sudaro konstrukcijos). Be to, suskystinto vandenilio sistemos turi dar du didelius trūkumus: jose egzistuoja neišvengiama vandenilio užvirimo, tuo pačiu ir jo praradimo, kuris naujausiose sistemose sudaro apie 1 % per dieną; vandenilio

suskystinimui sunaudojama 30–40 % visos energijos, kuri išgaunama sudeginus visą suslėgtą vandenilį.



1 pav. „Quantum“ kompanijos gaminami slėginiai indai vandeniliui laikyti esant iki 100 MPa slėgiui

O vandenilio laikymas aukšto slėgio balionuose (1 pav.) turi savų trūkumą, ypač dėl mažo dujinės būsenos vandenilio tankio, kuris, esant 0,1 MPa slėgiui, siekia vos 0,08988 g/l. Įprastiniai, sąlyginai pigūs plieniniai aukšto slėgio balionai yra išbandyti iki 30 MPa slėgio. Tačiau dėl saugumo reikalavimų daugeliu atveju užpildomi tik iki 20 MPa. Šiuose standartiniuose balionuose pasiekama, kad vandenilis sudarytų iki 1 % baliono masės. Toks vandenilio laikymo būdas dar turi ir didelio tūrio trūkumą, nes norint tokiomis sąlygomis išsaugoti 4 kg vandenilio, baliono talpa turi siekti 225 l, (pvz: šilumvežio 2M62M degalų bako tūris 6 t., tai vandeniliui reikėtų 97324779 l talpos baliono). Net ir pasinaudojus naujausiais mokslo pasiekimais bei pagaminus anglies pluoštu sutvirtintus balionus kur slėgis gali siekti daugiau kaip 70 MPa (laikomas vandenilis sudaro 4 % baliono masės), šios sistemos netenkina esamų poreikių, nes abejojama jų saugumu [16].

Apibendrinant galima pasakyti, kad ir aukšto slėgio balionai ir kriogeninės skysto vandenilio laikymo sistemos beveik pasiekė saugojamo vandenilio talpos ribas. Ir mažai tikėtina, kad bent viena šių sistemų galėtų pasiekti esminių proveržių siekiant šį energijos šaltinį pritaikyti geležinkelių traukos riedmenims.

1.2. Atominė energija

Atominis lokomotyvas – tai lokomotyvas su branduoliniu reaktoriumi, kuris naudojamas kaip nepriklausomas energijos šaltinis. Branduolinio reaktoriaus šiluminė energija yra paverčiama elektros energija turbogeneratoriuje, o traukos elektriniai varikliai energiją paverčia lokomotyvo aširačių mechaniniu darbu.

Lokomotyvams tinkamiausias yra greitųjų neutronų reaktorius [19]. Tačiau, pritaikant branduolinius reaktorių lokomotyvams, reikia išspręsti daug specifinių uždavinių: tai gabaritų apribojimai, žema šilumnešio temperatūra vandens–vandens reaktoriuose, radiacinės saugos problemos eksploatuojant, remontuojant šilumvežius, kintamas reaktoriaus veikimo režimas. Panaudoti laivų branduolinių reaktorių negalima dėl didelės jų masės ir matmenų. Lokomotyvo reaktoriaus masė neturėtų viršyti 100–120 t, geležinkelių gabaritas 1-T apriboja reaktoriaus skersmenį iki 3200 mm. Žema šilumnešio temperatūra vandens-vandens reaktoriuose (vandens garų temperatūra 300-320 °C) neleidžia jų naudoti geležinkelių transporte dėl mažo naudingumo koeficiento. Reikalingas kitas šilumnešis – skystasis metalas, kurio temperatūra 600-800 °C. Eksploatuojant ir remontuojant šilumvežius, reikalingos radiacinės saugos priemonės tiek lokomotyve, tiek depe, tiek ir asmeninės.

Šilumvežyje branduolinis reaktorius yra veikiamas dinaminių apkrovų. Tai reikalauja papildomų priemonių vamzdinių hermetizacijai, jų tvirtumo ir atsparumo užtikrinimui. Avarijos metu branduolinis reaktorius turi išlaikyti mechanines apkrovas be aktyviosios zonos suirimo. Kintamas lokomotyvo darbo režimas apsunkina energetinio įrenginio reguliavimą, nes šilumos nuvedimas nuo reaktoriaus turi būti nepertraukiamas. Atominį lokomotyvą būtų tikslingusia eksploatuoti tolimuose, sunkiai pasiekiamuose rajonuose. Taip pat toks lokomotyvas galėtų būti naudojamas kaip kilnojama elektros stotis.

1983-1985 metais VNITI (ВНИТИ), Kolomnos šilumvežių gamykla parengė atominio lokomotyvo su BOR-60 tipo greitųjų neutronų reaktoriumi konstrukcinę schemą. Parengti energetinės įrangos komponuotės variantai, kurie gali būti panaudoti lokomotyvui arba kilnojama elektros stočiai. Lokomotyvas yra sudarytas iš trijų sekcijų: vidurinė – reaktoriaus sekcija ant dviejų keturašių vežimėlių, galinės – traukos sekcijos serijinio 2TE116 šilumvežio bazėje.

BOR-60 tipo reaktoriai eksploatuojami nuo 1968 metų. Reaktoriaus techninės charakteristikos: šiluminė galia – 60 MW, branduolinis kuras – UO₂, pirmojo ir antrojo kontūrų šilumnešis – natris-kalis (Na-K), natrio temperatūra pirmojo kontūro įėjime 360-480°C, išėjime –

daugiau 600 °C, aktyviosios zonos skersmuo 400 mm. BOR-60 reaktoriaus šilumos nuvedimo sistema trijų kontūrų. Du pirmieji su Na-K šilumnešiu, trečiojo šilumnešis yra oras. Oras įkaista iki 600 °C. Dujų turbininis įrenginys – serijinis D-012T-3, kurio galia 5 MW, naudingumo koeficientas 24 %, jei oro temperatūra 820 °C. Kadangi lokomotyve šilumnešio oro temperatūra yra 600°C, tai dujų turbininio įrenginio galia 2,5-3 MW, o naudingumo koeficientas yra apie 20 %. Aplink aktyviąją zoną yra apsauginis ekranas iš UO₂, plieno ir neprisodrinto urano. Ateityje, panaudojant kito tipo šilumnešį, galima būtų padidinti trečiojo kontūro šilumnešio temperatūrą – iki 800 °C.

Branduolinio reaktoriaus šiluminė galia lokomotyve lygi 60 MW. Reaktoriaus masė su biologinės apsaugos įranga, šilumokaičiais ir valdymo sistemomis yra apie 140 t. Viso įrenginio matmenys neviršija 1-T gabarito. Biologinės apsaugos priemonės atitinka radiacinės saugos normas NRB-76 (HPB-76) prižiūrinčiam personalui. Gyventojų saugumui užtikrinti galima būtų reglamentuoti atominių lokomotyvų judėjimo greitį ir dažnį stotyse, taip pat mažinti lokomotyvų vardinę galią judėjimo stotyje metu.

Parengti jėgainės išdėstymo variantai. Reaktoriaus sekcijai galima būtų panaudoti šilumvežių TEM7 keturašius vežimėlius. Tuomet ašinė apkrova siektų 225 kN. Taip pat yra galimybė sukurti specialius keturašius vežimėlius panaudojant aštuonašių vagonų vežimėlius. Galinėse sekcijose sumontuoti jėgainės, turbogeneratoriai, kompresoriai, pagalbinis dyzelinis generatorius lokomotyvo judėjimui be branduolinio reaktoriaus, stabdžių kompresorius [19].

1.3. Elektros energija

Pirmas elektrovežis sukurtas 1879 m. Elektros energija traukai naudojama daugelyje šalių, nes tai ekologiškiausia, efektyviausia energijos sąnaudų atžvilgiu energijos rūšis. Lyginant su dyzelinu eksploatuojamais šilumvežiais, elektrovežių privalumai yra tokie [17]:

- vienos elektrovežio sekcijos galingumas (4475 – 7350) kW yra gerokai didesnis negu šilumvežio (2940 – 4475) kW (šilumvežiui galią riboja jėgainės gabaritai);
- 1,5 karto mažesnės energijos lyginamosios sąnaudos;
- rekuperacinio stabdymo įrenginiai stabdymo nuokalnėse grąžina **(15 – 18) %** traukos metu sunaudotos elektros energijos; mažesnis stabdymo trinkelio, bėgių ir aširačių ratlankių riedėjimo paviršių nusidėvėjimas;
- **(10 – 12) %** didesni eksploataciniai ir techniniai greičiai (trumpesnis pajudėjimo laikas);

- **(10 – 20) %** didesnis vienkelių ruožų pralaidumas;
- intervalą tarp traukinių galima sumažinti nuo 10 iki 7 minučių;
- **25 %** išauga maksimalus ruožo pralaidumas;
- **(2 – 3)** karto mažesnės elektrovežių remonto ir techninės priežiūros išlaidos (paprastesni įrenginiai, elektrovežyje nereikia vandens, tepalo sistemų); **(2,2 – 2,3)** karto mažesnės elektrovežių parko išlaikymo sąnaudos;
- mažesnis juodųjų ir spalvotųjų metalų sunaudojimas gaminant lokomotyvus;
- mažesnis triukšmo ir aplinkos užterštumo lygis;
- praktiškai neribojama sąstatų masė dėl traukos;
- mažesnė geležinkelių transporto priklausomybė nuo skystojo angliavandenilinio kuro ir tepalų.

Norint įsitikinti elektros energijos panaudojimo traukai efektyvumu, lyginant su populiariausia dyzelinių degalų energija pateikiama Rusijos geležinkelių eksploatuojamų elektrinių bei dyzelinių riedmenų energijos sąnaudų bei jas įtakančių veiksnių statistika [17]:

- Rusijoje elektrifikuotų kelių ilgis yra net 2,1 karto trumpesnis, nei šiluminės traukos kelių ilgis, tačiau net 77,7 % visų vežimų atlieka elektrovežiai;
- Vidutinė prekinio traukinio masė 1,2 karto didesnė elektrinės traukos riedmenų, nei dyzelinės traukos riedmenų;
- Vidutinis ruožo greitis 1,23 karto didesnis elektrinės trakos riedmenų, nei dyzelinės traukos riedmenų;
- Sąlyginio kuro sąnaudos 1,67 karto didesnės dyzelinės traukos riedmenų, nei elektrinės trakos riedmenų.

Iš minėtų statistinių duomenų matyti, kad dyzelinui realią alternatyvą sudaro elektros energija.

1 skyriaus išvados

Išanalizavus tyrimų rezultatus nustatyta, kad:

1. Perspektyvoje dyzelinio variklio ekonomiškumas neviršys 175 g/kWh, tai reiškia, kad dyzelinės traukos riedmenų sąnaudos ateityje sumažės tik minimaliai.
2. Biodyzelino (30 % rapsų metilo esterio ir dyzelino mišinio) sąnaudos bei išlaidos mažesnės tik 2 % lyginant su grynu dyzelinu, todėl ženklaus ekonominio efekto iš to planuoti negalima.

3. Gamtinės dujos jau yra pritaikytos geležinkelių traukos riedmenims, tačiau šie degalai nėra iš atsinaujinančių energijos šaltinių, taip pat perspektyvoje gamtinės dujos dėl išteklių mažėjimo nuolat brangs.

4. Technologijos gaminti vandenilį (išskyrus paprastą elektrolizę) yra dar tik fundamentinių tyrimų stadijoje. Jų energetinis efektyvumas yra gana žemas, net 40 % visos energijos sunaudojama vandenilio skystinimui. Todėl vandenilio pritaikymas traukos riedmenims kol kas yra netikslingas.

5. Atominį lokomotyvą būtų tiksliausia eksploatuoti tolimuose, sunkiai pasiekiamuose rajonuose, nes jį galima panaudoti kaip elektros stotį. Toks lokomotyvas turi atitikti daugybę saugumo reikalavimų. Dėl šių priežasčių eksploatuoti atominį lokomotyvą netikslinga.

6. Realią alternatyvą šiluminės energijos šaltiniams sudaro elektros energija, tai rodo praktika Rusijos geležinkeliuose – sąlyginio kuro sąnaudos 1,67 karto mažesnės nei dyzelinės traukos riedmenų, 2,2 karto mažesnės elektrovežių parko išlaikymo sąnaudos.

2. LIETUVOS GELEŽINKELIŲ ENERGETINĖS SISTEMOS TYRIMAS

Lietuvos geležinkeliuose eksploatuojami šiluminės bei elektrinės traukos riedmenys, todėl galima išskirti dvi energetines sistemas:

- Elektros energijos.
- Šiluminės energijos.

Nuo energetinių sistemų išplėtojimo priklauso, kokie lokomotyvai daugiau eksploatuojami. Kadangi Lietuvoje elektrifikuotų kelių ilgis yra tik 122 km (iš 1767 km), didžiąją dalį Lietuvos geležinkelio traukos riedmenų parko sudaro šiluminės traukos riedmenys su dyzeline trauka.

2.1 Šiluminės energijos, skirtos riedmenų traukai, energetinė sistema

Geležinkelių šiluminę energetinę sistemą sudaro: naftos perdirbimo-tiekimo įmonė, degalų bazės ir šiluminės traukos riedmenys.

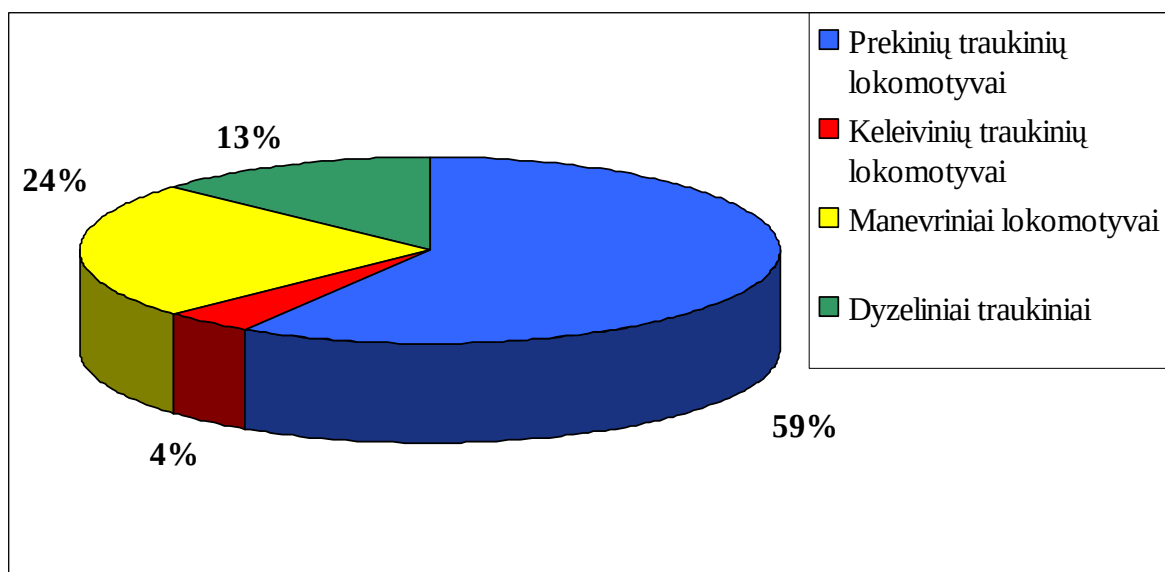
Šiluminės traukos riedmenys sudaro 95 % viso Lietuvos geležinkelių (LG) riedmenų parko. LG šiluminės traukos riedmenų parkas pateiktas 2.1.1 lentelėje [3].

2.1.1 lentelė. Lietuvos geležinkelių šiluminės traukos riedmenų parkas

Lokomotyvo, dyzelinio traukinio serija	Variklio galia, kW	Maksimalus greitis, km/val	Skaičius
M62, M62K, V-200	1470	100	40
2M62, 2M62K, 2M62M, 2M62UM	2·1470 2·1700	100	96
TEP-60	2205	160	4
TEP-70, TEP-70BS	2940	160	8
ER-20CF	2000	160	44
TE, L, SO	1520	80	4
TEM-2, TEM, TMH	882-1455	100	31
ČME-3, ČME-3M	970-1455	95	41
TGK-2	169	60	1
D-1	2·538	120	10
DR-1A	2·736	120	5

2.1.1 lentelės pabaiga			
DR-1AM	745	120	12
620 M	382	120	7
RA-2	2·360	100	4
AR-2	310	120	1

Iš 2.1.1 lentelės duomenų sudaromas Lietuvos geležinkelių šiluminės traukos riedmenų parko pasiskirstymo pagal paskirtį grafikas. Jis pavaizduotas 2 paveiksle.



2 pav. Lietuvos geležinkelių šiluminės traukos riedmenų parko pasiskirstymas pagal paskirtį

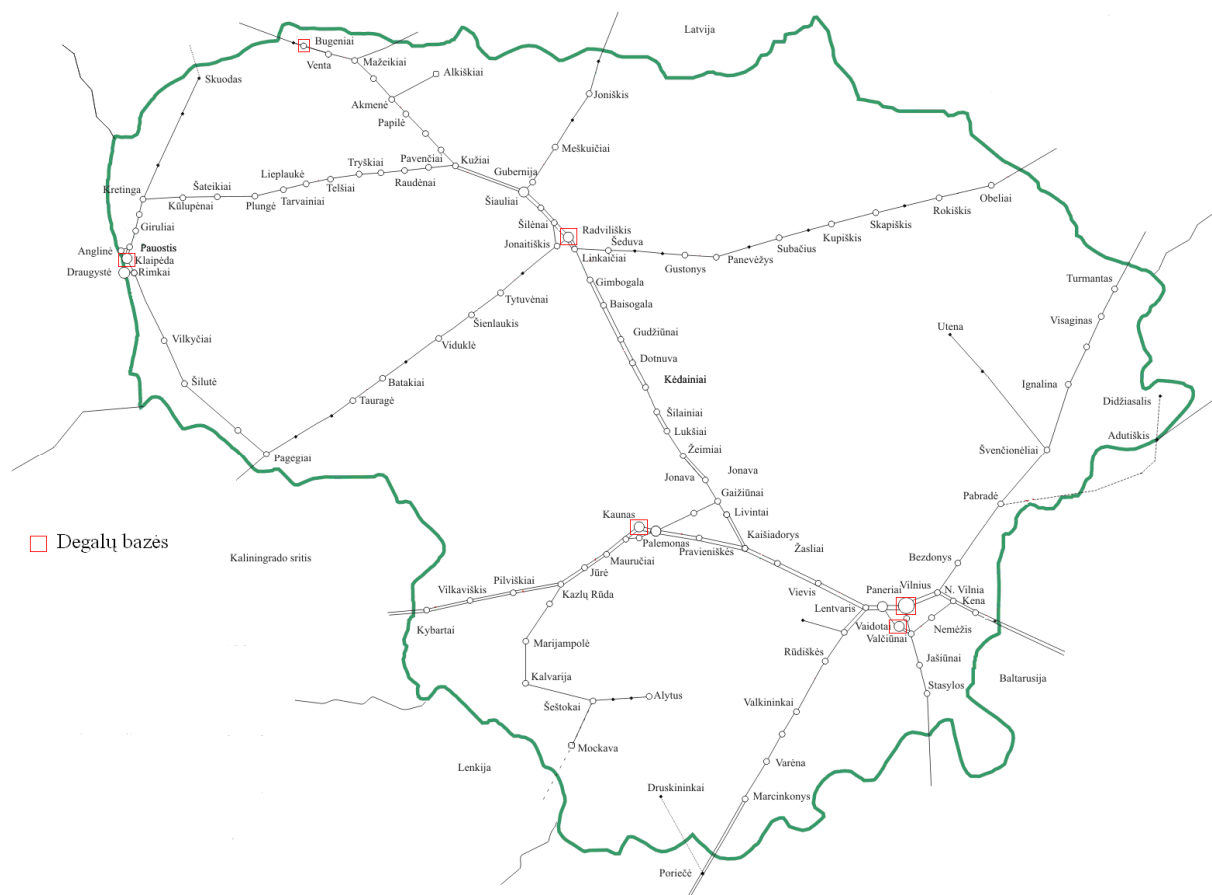
Iš 2 paveikslo matyti, kad didžiąją dalį šiluminės traukos riedmenų parko sudaro prekiniai šilumvežiai (59 %), likusiąją dalį sudaro manevriniai lokomotyvai 24 %, dyzeliniai traukiniai 13 % ir keleivinių traukinių lokomotyvai 4 %.

LG dyzeliną tiekia UAB „SBA naftos kompanija“.

Degalų bazės, kuriose lokomotyvams pilami degalai, yra šios:

- Vilnius;
- Vaidotai;
- Kaunas;
- Radviliškis;
- Klaipėda;
- Bugeniai.

Degalų bazės pavaizduotos 3 paveiksle.



3 pav. Lietuvos geležinkelių dyzelinių degalų energetinė schema

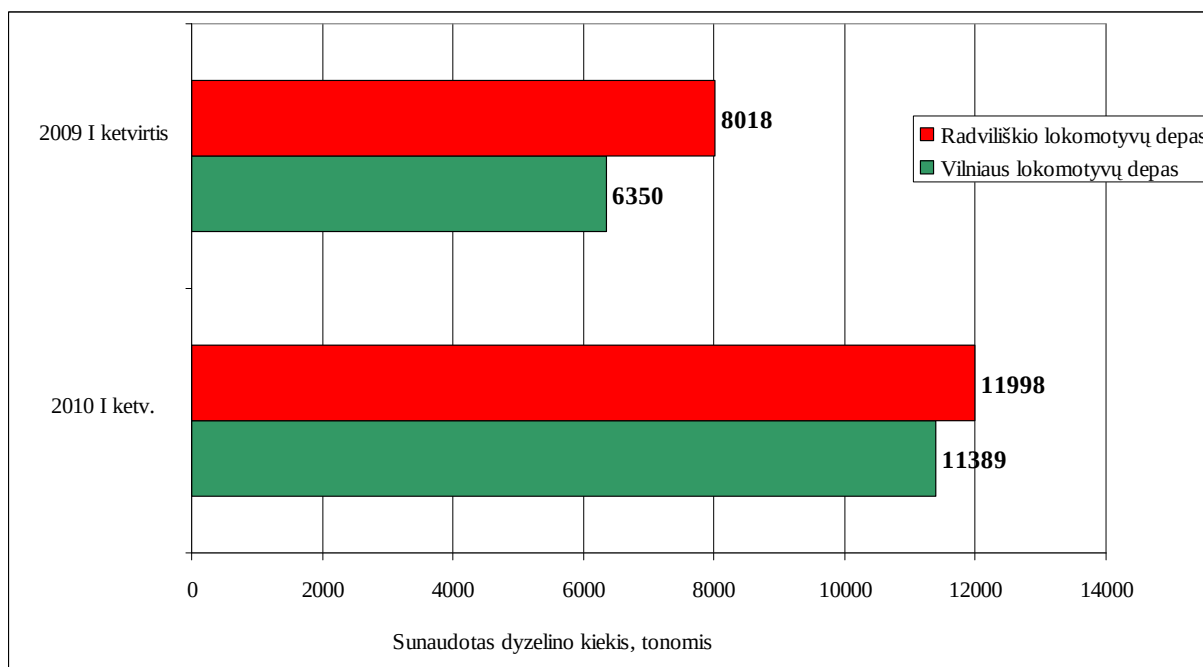
Šiuo metu degalų apskaitos dokumentuose yra registruojami Radviliškio lokomotyvų depo (LT-2) ir Vilniaus lokomotyvų depo (LT-1) bendros dyzelino sąnaudos. LT-1 degalų bazės yra Vilniuje, Vaidotuose, Kaune, o LT-2 – Radviliškyje, Bugeniuose ir Klaipėdoje.

Sunaudotų degalų kiekis 2009–2010 metų I ketvirtyje pateiktas 2.1.2 lentelėje [1]

2.1.2 lentelė. Sunaudotų degalų kiekis 2009–2010 metų I ketvirtyje

Degalų bazės	Degalų kiekis, tonomis	
	2009 I ketv.	2010 I ketv.
Vilniaus lokomotyvų depas (Vaidotai, Vilnius, Kaunas)	6350	11 389
Radviliškio lokomotyvų depas (Radviliškis, Klaipėda, Bugeniai)	8018	11 998

Pagal 2.1.2 lentelės duomenis gauname degalų sąnaudų per 2009 ir 2010 metų I ketvirtį grafiką. Jis pavaizduotas 4 paveiksle.



4 pav. Vilniaus ir Radviliškio lokomotyvų depų sunaudotų degalų kiekiai per 2009 ir 2010 metų I ketvirtį

Lyginant 2009 ir 2010 metų I ketvirčio dyzelino sąnaudas akivaizdžiai matyti, kad 2009 metais sąnaudos buvo mažesnės, to pagrindinė priežastis – vežtų krovinių kiekio padidėjimas nuo 42,7 iki 48,1 mln. tonų per metus.

Į visas kitas Lietuvoje stotis dyzeliną veža įmonės, kurios užsiima dyzelino gabenimu. Pvz.: Kauno infrastruktūros filialas (IF2) iš Kauno transportuoja degalus į Šeštokų stotį.

2.2 Elektros energijos, skirtos riedmenų traukai, energetinė sistema

Geležinkelio energetinė sistema yra sudėtingas valdymo objektas, sudarytas iš traukos pastočių, lygiagretaus maitinimo punktų, žeminančių transformatorinių pastočių, elektros energijos perdavimo linijų. Sistemos elementai išdėstyti toli (siekia dešimtis ir šimtus kilometrų) nuo valdymo centro, tačiau visus juos tarpusavyje susieja elektros energijos tiekimas ir vartojimas normaliais, sunkiais, avariniais, poavariniais ir remontiniais režimais.

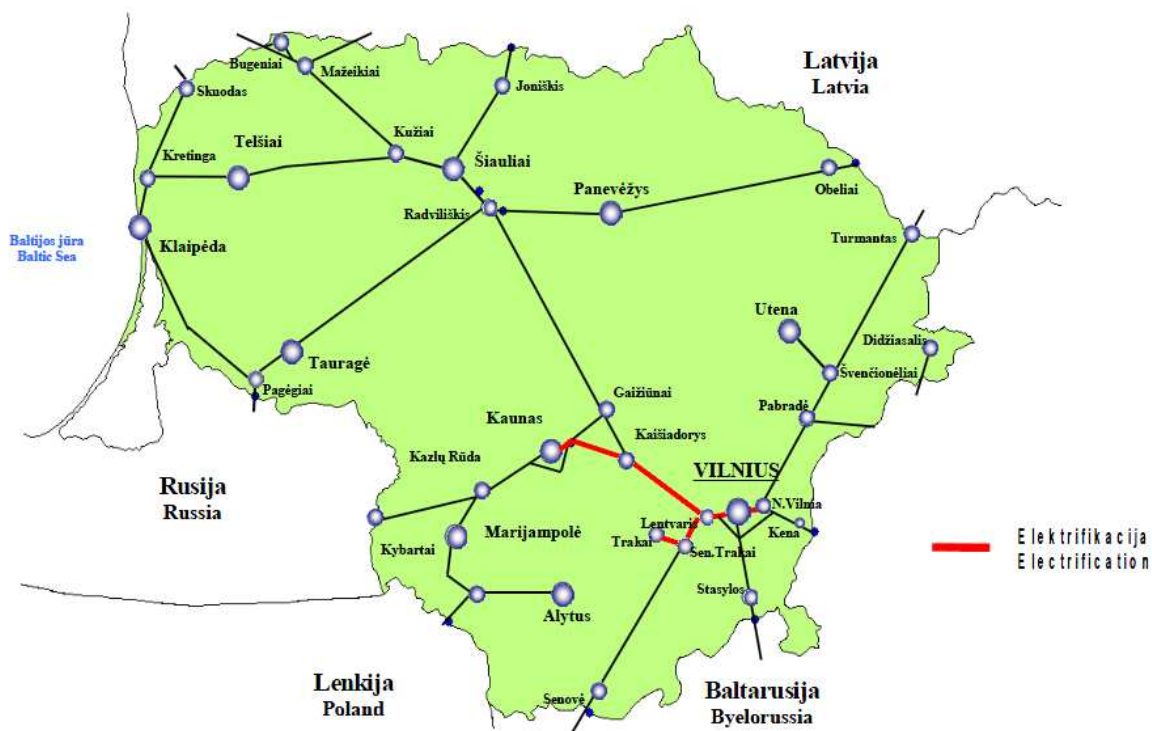
Geležinkelių elektrifikacijos sistemą sudaro: I – energetinės sistemos dalis (šiluminės elektrinės, hidroelektrinės, atominės elektrinės, rajoninės transformatorinės pastotės, elektros

energijos perdavimo oro linijos); II – traukos elektros įrenginių dalis, sudaryta iš traukos pastočių ir elektrinės traukos tinklo; III – elektrinės traukos riedmenys.

Bendras elektrifikuotų ruožų ilgis Lietuvoje yra tik 122 km (iš 1767 km), todėl ir šiuo metu eksploatuojamų elektrinės traukos riedmenų yra nedaug.

Elektrinių traukinių parką sudaro 12 ER-9M keleivinių traukinių ir nuo 2008 metų pradėti eksploatuoti 4 EJ 575 keleiviniai traukiniai [3].

Elektrifikuotas ruožas Naujoji Vilnia–Kaunas, bei Lentvaris–Trakai pavaizduotas 5 paveiksle.



5 pav. Elektrifikuotas ruožas Naujoji Vilnia–Kaunas

Traukos tinklą maitina keturios 110/27,5/10 kV traukos pastotės, kurios yra pastatytos ir pridurtos į eksploataciją 1975 metais. Dauguma elementų yra senesni nei 30 metų, morališkai ir techniškai pasenę, todėl padidėja rizika juos eksploatuoti. Traukos pastočių tinklą sudaro:

- Naujosios Vilnios 110/27,5/10 kV traukos pastotė;
- Lentvario 110/27,5/10 kV traukos pastotė;
- Žaslių 110/27,5/10 kV traukos pastotė;
- Palemono 110/27,5/10 kV traukos pastotė.

Visos traukos pastotės yra maitinamos iš 110 kV AB „Lietuvos energijai“ priklausančio elektros energijos perdavimo tinklo.

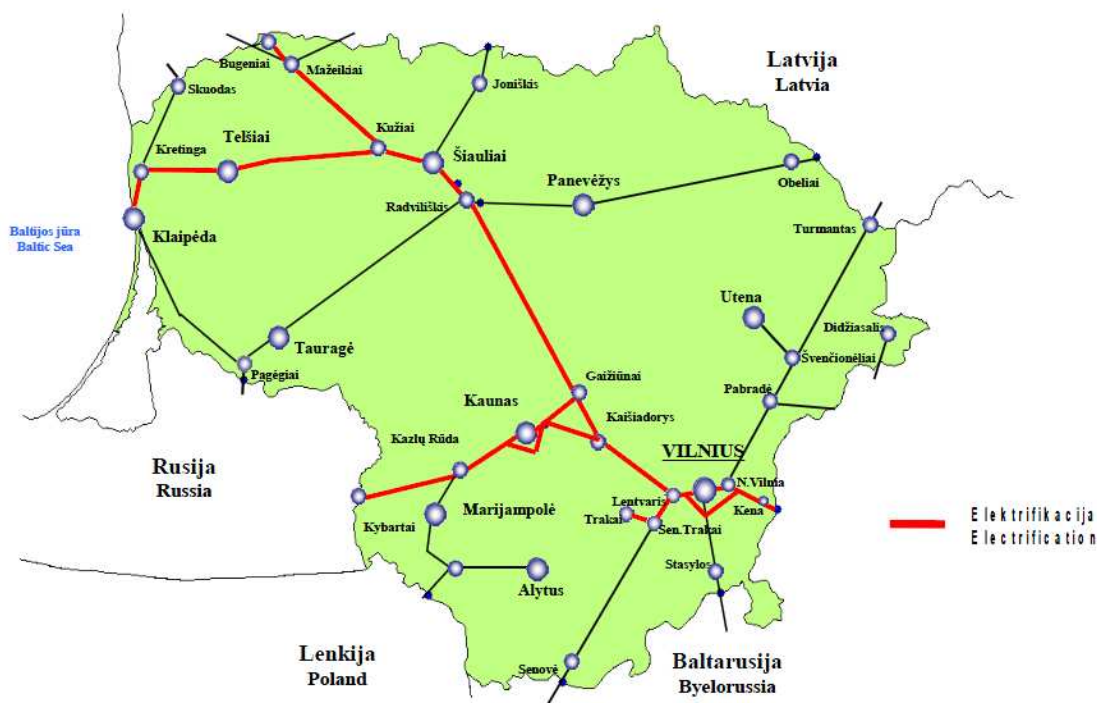
2.3. Galimi elektrifikacijos scenarijai

Galimi elektrifikacijos scenarijai yra šie:

- IX B, D koridorius, įskaitant Kyviškės–Vaidotai–Paneriai, Lentvaris–Trakai, Palemonas–Rokai–Jiesia, Palemonas–Gaižiūnai ir Kužiai–Mažeikiai–Bugeniai ruožų elektrifikacija;
- viso geležinkelių tinklo elektrifikacija.

Scenarijus: IX B, D koridorius, įskaitant Kyviškės–Vaidotai–Paneriai, Lentvaris–Trakai, Palemonas–Rokai–Jiesia, Palemonas–Gaižiūnai ir Kužiai–Mažeikiai–Bugeniai ruožų elektrifikacija

Elektrifikuoto ruožo Naujoji Vilnia–Kaunas, įskaitant Lentvaris–Trakai modernizacija, linijos Kena–Naujoji Vilnia–Vaidotai elektrifikacija, linijos Kaunas–Kybartai–Rusijos siena elektrifikacija, ruožo Kaišiadorys–Klaipėda, IX koridoriaus B2 ir B3 linijų elektrifikacija, I koridoriaus 1 linijos Šiauliai–Joniškis–Latvijos siena ir 3 linijos Kazlų Rūda–Mockava elektrifikacija pavaizduota 6 paveiksle.

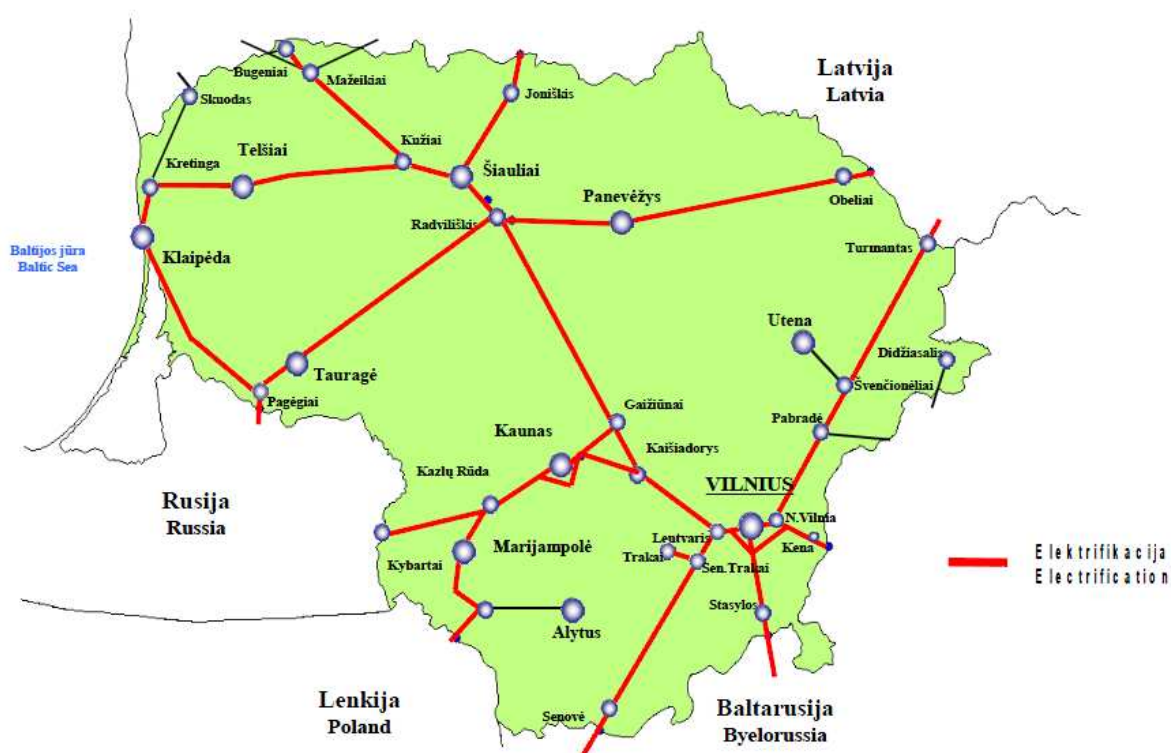


6 pav. Scenarijus: IX B, D koridorius, įskaitant Kyviškės–Vaidotai–Paneriai, Lentvaris–Trakai, Palemonas–Rokai–Jiesia, Palemonas–Gaižiūnai ir Kužiai–Mažeikiai–Bugeniai ruožų elektrifikacija

Iš 6 paveikslo matyti, kad siūloma elektrifikuoti pagrindines geležinkelių transporto krovinių vežimo kryptys (Kaliningrado sritis, Klaipėdos Jūrų uostas). Šiame scenarijuje planuojamas didžiausias krovinių augimas.

Scenarijus: viso geležinkelių tinklo elektrifikacija

Elektrifikuoto ruožo Naujoji Vilnia–Kaunas, įskaitant Lentvaris–Trakai modernizacija, visų Europinių IX ir I koridorių bei 11, 12, 21, 22, 23, 25 ruožų elektrifikacija pavaizduota 7 paveiksle.



7 pav. Visų Europinių IX ir I koridorių bei 11, 12, 21, 22, 23, 25 linijų elektrifikacija

Dėl geležinkelio tinklo linijų krovinių vežimo apimčių ženklų skirtumų, šio scenarijaus ekonominę naudą galima planuoti tik ištyrus visų ruožų krovinių srautus.

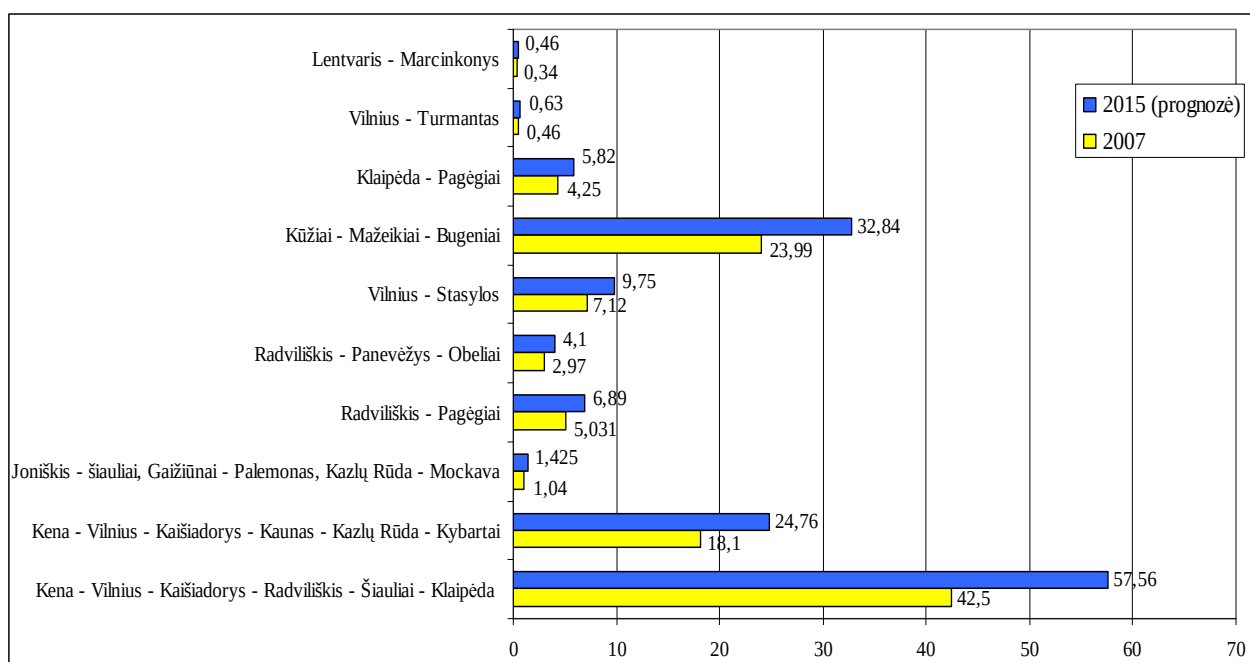
2.4. Lietuvos geležinkelių linijų elektrifikacijos scenarijų tikslingumo atrankos analizė

Norint pasirinkti ekonomiškai efektyviausią scenarijų reikia atlikti krovinių vežimo Lietuvos geležinkelių linijomis analizę. Ji pateikta 2.4 lentelėje [4].

2.4 lentelė. Krovinių vežimo Lietuvos geležinkelių linijomis analizė

Eil. Nr	Linijos pavadinimas	Linijos ilgis, km	Krovinių vežimo apimtys mln. tonų 2007/2015 (prognozė)
1	Kena–Vilnius–Kaišiadorys–Radviliškis–Šiauliai–Klaipėda	441	42,045/57,56
2	Kena–Vilnius–Kaišiadorys–Kaunas–Kazlų Rūda–Kybartai	203	18,092/24,76
3	Joniškis–Šiauliai, Gaižiūnai–Palemonas, Kazlų Rūda–Mockava	144,8	1,041/1,425
4	Radviliškis–Pagėgiai	142,7	5,031/6,887
5	Radviliškis–Panevėžys–Obeliai–	165,0	2,968/4,063
6	Vilnius–Stasylos	40,1	7,124/9,753
7	Kūžiai–Mažeikiai–Bugeniai	77,2	23,99/32,842
8	Klaipėda–Pagėgiai	86,1	4,254/5,824
9	Vilnius–Turmantas	147,6	0,463/0,634
10	Lentvaris–Marcinkonys	81,5	0,336/0,460

Iš 2.4 lentelės duomenų sudaromas krovinių vežimo apimčių Lietuvos geležinkelių linijomis grafikas. Jis pavaizduotas 8 paveiksle.



8 pav. Krovinių vežimo apimtys Lietuvos geležinkelių linijomis

Pagrindinių Lietuvos geležinkelių linijų elektrifikacijos tikslingumo atrankos analizės metu nustatyta, kad tik tų geležinkelių linijų, kuriomis atliekama 85 % visų AB „Lietuvos geležinkeliai“ vykdomų krovinių pervežimų, elektrifikavimas yra tikslingas. Tai yra šios linijos:

- Kena–Vilnius–Kaišiadorys–Radviliškis–Šiauliai–Klaipėda (Draugystė)
- Kena–Vilnius–Kaišiadorys–Kaunas–Kazlų Rūda–Kybartai
- Kūžiai–Mažeikiai–Bugeniai
- Gaižiūnai–Palemonas (kaip IX koridoriaus B ir D atšakų jungtis)

Šiomis geležinkelio linijomis naudojasi didžioji dalis tarptautinių ir vietinių verslo klientų, kas sudaro teorines palankias prielaidas linijoms elektrifikuoti.

2. Skyriaus išvados

1. Šiluminės traukos riedmenys sudaro 95 % viso Lietuvos geležinkelių traukos riedmenų parko, likusiuosius 5 % sudaro elektrinės traukos riedmenys. Elektrinės traukos riedmenimis vežami keleiviai, o šiluminės traukos riedmenimis vežami ne tik keleiviai, bet ir kroviniai.

2. Tolimesniems tyrimams tikslinga pasirinkti naujausią Lietuvos geležinkeliuose eksploatuojamą šilumvežį „Siemens ER20 CF“, kurio degalų sąnaudos yra mažiausios lyginant su kitais šilumvežiais (degalų sąnaudos per 10 000 tkm., 39 % mažesnės lyginant su senaisiais 2M62 šilumvežiais)[3]. Elektrovežiai Lietuvoje neeksploatuojami, tačiau teoriniams tyrimams galima pasirinkti iš gerai ištirtų Rusijoje pagamintų lokomotyvų pvz: VL80K.

3. Atlikus Lietuvos geležinkelių linijų elektrifikacijos galimybių tikslingumo atrankos analizę paaiškėjo jog 85 % visų AB „Lietuvos geležinkeliai“ krovinių rvežimų atliekama šiais geležinkelio ruožais: Kena–Vilnius–Kaišiadorys–Radviliškis–Šiauliai–Klaipėda (Draugystė); Kena–Vilnius–Kaišiadorys–Kaunas–Kazlų Rūda–Kybartai; Kūžiai–Mažeikiai–Bugeniai; Gaižiūnai–Palemonas. Todėl tikslingas elektrifikacijos scenarijus būtų: IX B, D koridorius, įskaitant Kyviškės–Vaidotai–Paneriai, Lentvaris–Trakai, Palemonas–Rokai–Jiesia, Palemonas–Gaižiūnai ir Kužiai–Mažeikiai–Bugeniai–v.s ruožų elektrifikacija.

4. Norint įvertinti šiluminės ir elektrinės traukos riedmenų panaudojimo galimybes, reikia pasirinktą elektrifikavimui ruožą ištirti smulkiau.

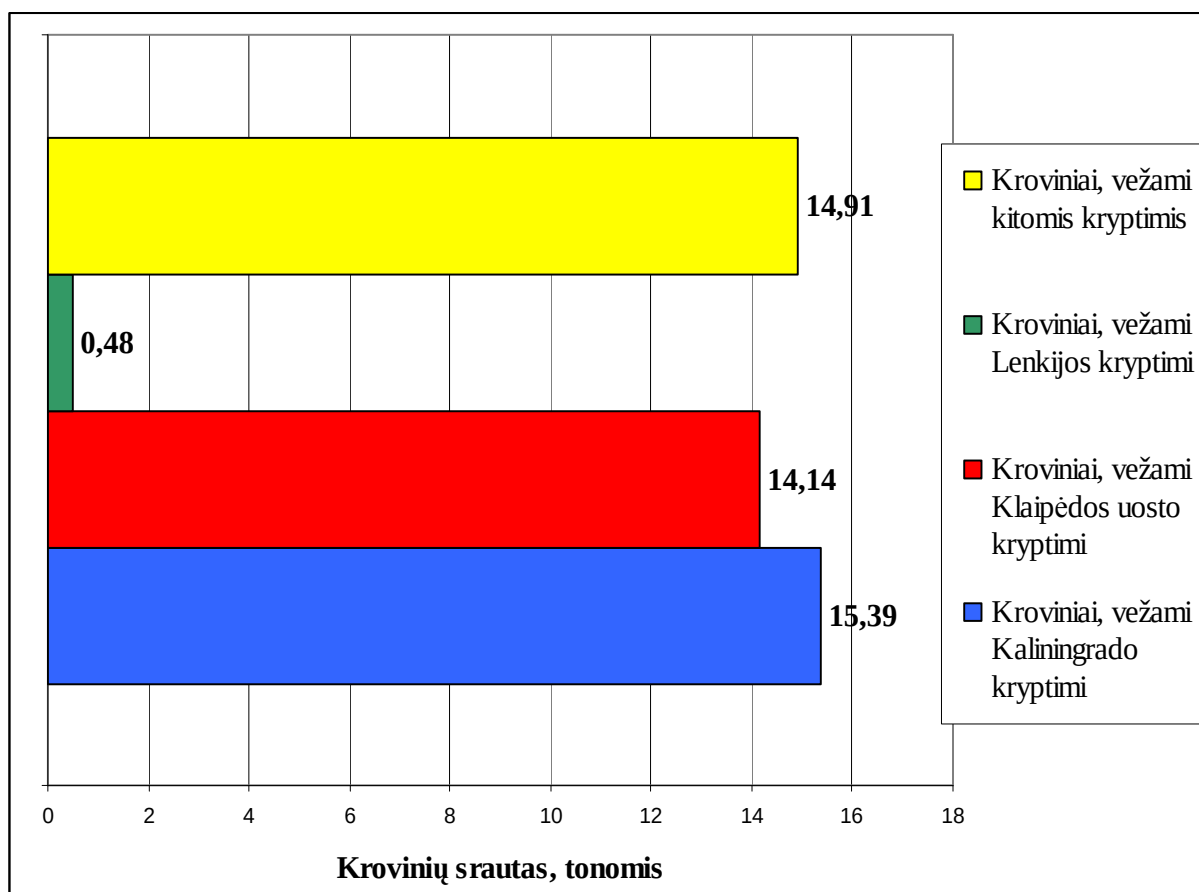
3. TYRIMUI PASIRINKTO GELEŽINKELIO RUOŽO ANALIZĖ

3.1. Prekinių šilumvežių krovinių apyvartos ir ridos analizė pagrindinėmis vežimo kryptimis

Pagal Lietuvos geležinkelių linijų elektrifikacijos galimybių tikslingumo atrankos analizę matyti, kad pagrindinės geležinkelių transporto krovinių vežimo kryptys:

- Kaliningrado sritis;
- Klaipėdos jūrų uostas;
- Lenkija;
- Kiti.

Krovinių srautai, 2010 metais vežami pagrindinėmis krovinių vežimo kryptimis, pateikti 9 paveiksle.



9 pav. Krovinių srautai 2010 metais pagal kryptis

Iš visų vežamų krovinių (48,1 mln. tonų) apie 32 % sudaro vežimai Kaliningrado srities link.

Krovinių vežimo apimtys Kaliningrado srities link pagal jų rūšis pateiktos 3.1 lentelėje [3].

3.1 lentelė. Krovinių vežimo apimtys Kaliningrado srities link pagal jų rūšis

Krovinių rūšys	Iš viso vežta	
	2009 m.	2010 m.
Iš viso mln. tonų	13,65	15,39
Iš to skaičiaus:		
Nafta ir naftos produktai	7,2	7,88
Juodieji metalai	1,47	1,46
Akmens anglis ir koksas	1,09	1,12
Statybiniai kroviniai	0,9	1,09
Miško medžiagos	1,09	1,04
Grūdai ir miltai	0,5	0,78
Greitai gendantys produktai	0,42	0,5
Cheminės ir mineralinės trąšos	0,51	0,38
Maisto produktai	0,23	0,38
Popierius	0,22	0,17
Kiti kroviniai	1,56	0,58

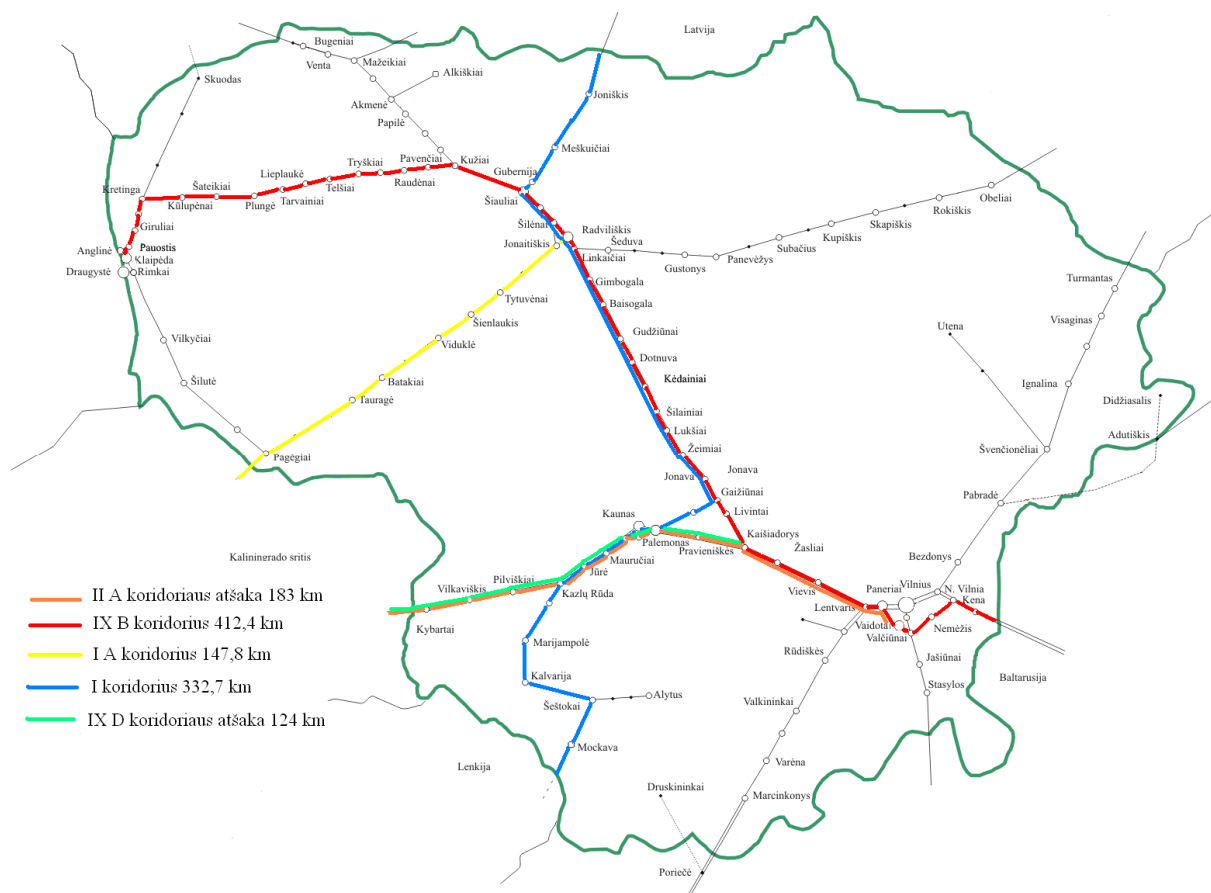
Iš 3.1 lentelės matyti, kad Kaliningrado srities link daugiausiai vežama nafta ir naftos produktai (7,88 iš 15,39 mln. tonų per 2010 metus).

Vežant krovinius iš Kenos Kaliningrado srities link, didžiausią maršruto dalį Lietuvos teritorijoje sudaro ruožas Vaidotai–Kybartai (183 iš 203 km).

3.2. Ruožo Vaidotai–Kybartai analizė

Per Lietuvos Respublikos teritoriją eina I tarptautinis geležinkelio transporto koridorius Mockava–Kaunas–Šiauliai ir IX tarptautinio geležinkelio transporto koridoriaus dvi atšakos (IX B Kena–Vilnius–Klaipėda bei IX D Kaišiadorys–Kaunas–Kybartai). Taip pat per Lietuvos teritoriją eina vienas iš pagrindinių maršrutų nuo Vaidotų skirstymo stoties iki Kybartų, IIA koridorius Kaliningrado srities link.

Geležinkelio ruožas Vaidotai–Kybartai (II A koridorius) pateikiamas mūsų šalies geležinkelių schemeje (10 pav.) [3].



10 pav. Lietuvos geležinkelių schema

Geležinkelio ruožas Vaidotai–Kybartai yra Lietuvos geležinkelių koridorius. Juo kroviniai gabenami Kybartų link. Lietuvos geležinkelių scheme jis pažymėtas oranžine linija (žr. 7 pav.). Vaidotų skirstymo stotyje kroviniai yra pakraunami ir vežami į Kybartus. Ten atgabenti sąstatai išformuojami, prikabinami prie kito šilumvežio, ir krovinsys keliauja į Kaliningradą. Atgal į skirstymo stotį šilumvežis grįžta su mažesnės masės traukiniais arba tuščiais vagonais.

3.3. Prekinių traukinių sąstatų masės ruože Vaidotai–Kybartai

Lyginant šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K energijos traukai sąnaudas geležinkelio ruože, būtina žinoti, kokių masių sąstatus lokomotyvas gali vežti tame ruože (kadangi vežamo sąstato masę gali riboti įkalnės arba atvykimo-išvykimo kelių ilgis). Prekinių traukinių sąstatų masės ruože Vaidotai–Kybartai pateiktos 3.3 lentelėje.

3.3 lentelė. Prekinių traukinių sąstatų masės ruože Vaidotai–Kybartai

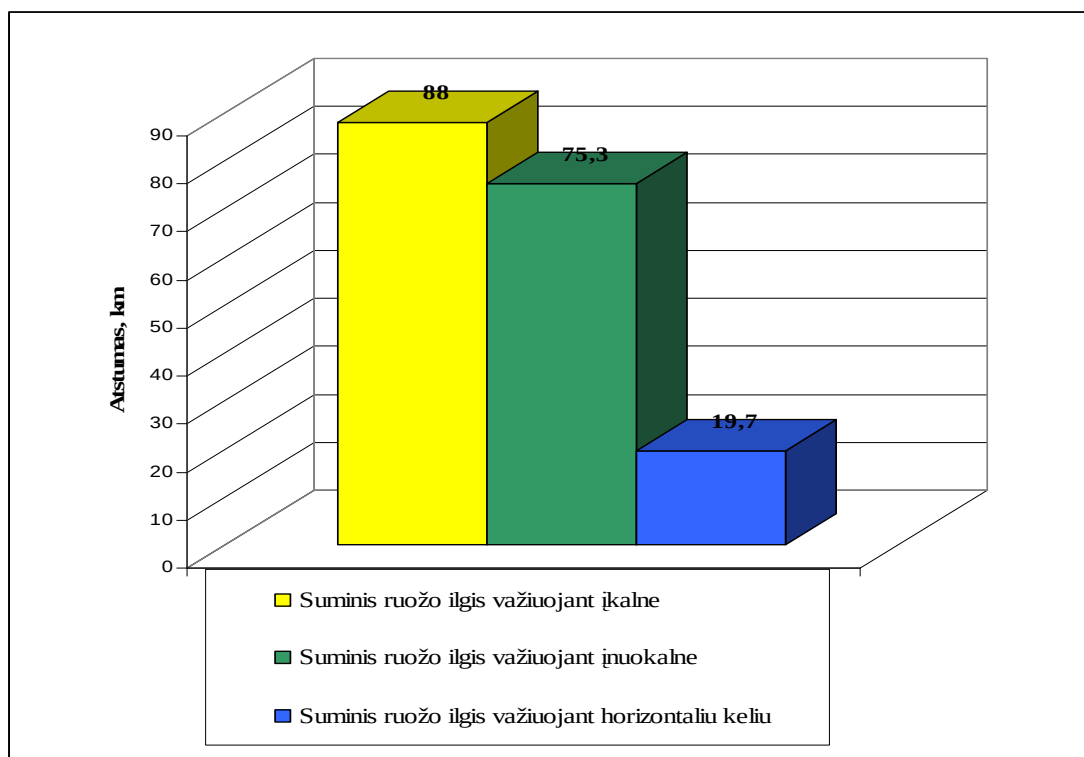
Prekinio šilumvežio serija	Sąstato masė, t	
	Ruožas	
	Kybartai–Vaidotai	Vaidotai–Kybartai
ER20 CF	4900	2500

Iš 3.3 lentelės matome, kad važiuojant kryptimi Vaidotai–Kybartai „Siemens ER20 CF“ šilumvežiais vežami 4900 tonų masės traukiniai (sąstato ilgį riboja atvykimo – išvykimo kelių ilgiai). Važiuojant iš Kybartų vežamų krovinių masė yra mažesnė – 2500 tonų, nes sąstato masę riboja dėl įkalnės (Rokai–Palemonas, kurios ilgis siekia 1 kilometrą, o statumas – 14,8 ‰.)

3.4. Ruožo Kybartai–Vaidotai profilio analizė

Kelio profilis turi didelę įtaką lokomotyvo energijos traukai sąnaudoms. Atlikus ruožo Kybartai–Vaidotai grafinės diagramos analizę nustatytas vidutinis įkalnės ir nuokalnės statumas, bendras važiavimo atstumas važiuojant įkalne, nuokalne ir horizontaliu keliu.

Minėto ruožo suminis ilgis važiuojant įkalne, nuokalne ir horizontaliu keliu pavaizduotas 11 paveiksle.



11 pav. Ruožo Kybartai–Vaidotai suminis ilgis važiuojant įkalne, nuokalne ir horizontaliu keliu

Iš 11 paveikslo matyti, kad bendras važiavimas horizontaliu keliu visame geležinkelio ruože sudaro tik 19,7 km, nuokalne – 75,3 km., o važiavimas įkalne net 88 km. Traukinys važiuodamas iš Kybartų Vaidotų link įveikia 245 įkalnes, o nuokalnių skaičius – 186.

Norint sužinoti bendrą ruožo nuolydį reikia atlikti kelio redukavimą. Kelio redukavimas – tai kelių, gretimų, panašių pagal nuolydį tikrojo profilio elementų pakeitimas vienu fiktyvaus nuolydžio ruožu, kurio ilgis lygus redukuotų elementų ilgių sumai.

Bendras kelio nuolydis važiuonat lygine ir nelygine kryptimis apskaičiuojamas redukavus nuolydžius pagal (1) formulę:

$$i_r = \frac{i_1 \cdot S_1 + i_2 \cdot S_2 + i_3 \cdot S_3 + \dots i_n \cdot S_n}{S_1 + S_2 + S_3 + \dots S_n}, \quad (1)$$

čia:

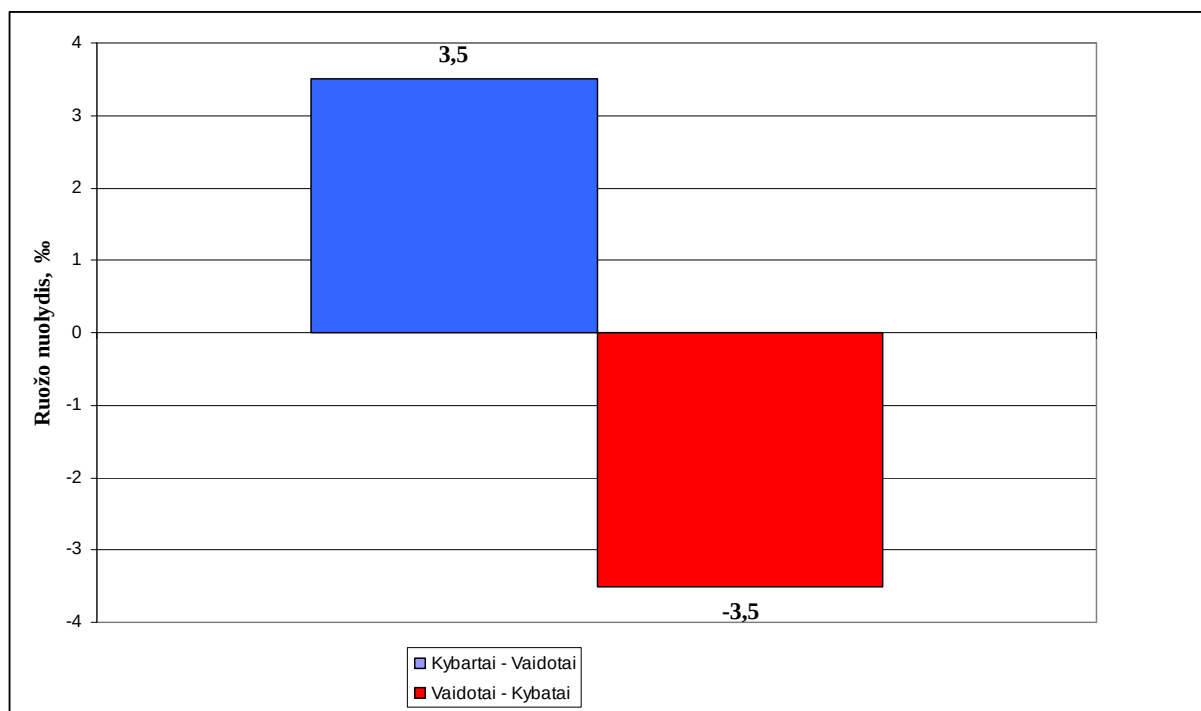
i_r – redukuotas kelio nuolydis, ‰;

$i_1, i_2 \dots i_n$ – redukuojamo ruožo elementų nuolydis, ‰;

$S_1, S_2 \dots S_n$ – redukuojamų elementų ilgis, m.

Duomenys analizuojamo ruožo iš 1 ir 2 priedo.

Redukavus kelio nuolydį gauname rezultatą, kuris pavaizduotas 12 paveiksle



12 pav. Redukuotas kelio ruožo nuolydis

Iš 12 paveikslo matyti, kad važiuojant iš Kybartų Vaidotų link sąlyginai važiuojame įkalnė (3,5 ‰), o ruože Vaidotai–Kybartai sąlyginai važiuojame nuokalnė (pliusas reiškia įkalnė, o minusas nuokalnė).

Lokomotyvas važiuodamas iš Kybartų Vaidotų link sunaudoja daugiau energijos traukai, nei važiuodamas iš Vaidotų Kybartų link, nes įveikti įkalnes reikalinga daugiau galios. Daugiausia įtakos tam turi nuolydis.

Nagrinėjant kelio profilį reikėtų atsižvelgti į kreives, kurios taip pat turi didelę įtaką energijos traukai sąnaudoms, bet skaičiavimuose priimame, kad važiuojant abiem kryptimis kreivių įtaka vienoda.

3 skyriaus išvados

1. Geležinkelio ruožas Vaidotai–Kybartai šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų analizei pasirinktas dėl to, kad yra vienas iš pagrindinių maršrutų Lietuvos teritorijoje, kuriuo juo vežama apie 32 % (15,39 mln. tonų) visų krovinių.

2. Bendra įkalnė visame geležinkelio ruože Kybartai–Vaidotai sudaro 88 km, nuokalnė – 75,3 km. Redukavus šio ruožo kelio profilį nustatyta, kad važiuojant iš Kybartų Vaidotų link, ruožo kelio įkalnė $i_{redukuota} = 3,5 \text{ ‰}$, o važiuojant iš Vaidotų Kybartų link nuokalnė $i_{redukuota} = -3,5 \text{ ‰}$.

3. Važiuojant abiem kryptimis kreivių įtaka vienoda.

4. ŠILUMVEŽIO „SIEMENS ER20 CF“ IR ELEKTROVEŽIO VL80K TRAUKOS ENERGIJOS SĄNAUDŲ LYGINAMOJI ANALIZĖ

4.1. Pagrindiniai veiksniai, turintys įtakos lokomotyvo traukos energijos sąnaudoms

Traukos energijos sąnaudos sąstatui traukti priklauso nuo šių veiksnių:

- sąstato masės;
- sąstato ašių skaičiaus;
- kelio profilio;
- važiavimo greičio;
- sustojimų skaičiaus;
- geležinkelių transporto priemonės galios;
- geležinkelių transporto priemonės ekonomiško;
- geležinkelių transporto priemonės valdymo režimo.

Mažesnę įtaką turintys veiksniai, lemiantys energijos traukos energijos sąnaudas – techninės priežiūros ir remonto kokybė, aplinkos temperatūra, mašinisto kvalifikacija.

Toliau pagrindiniai veiksniai išnagrinėti detaliau.

4.1.1. Sąstato masės įtaka lokomotyvo traukos energijos sąnaudoms

Sąstato masė – veiksnys, turintis įtakos lokomotyvo traukos energijos sąnaudoms. Lokomotyvas, vežantis krovinius, sunaudoja ženkliai daugiau traukos energijos, nei važiuodamas vienas arba traukdamas tuščius vagonus.

Minėtas veiksnys turi įtaką traukos energijos sąnaudoms dėl ratų sankibio su bėgiais. Pagrindinė jėga, veikianti visą laiką judant vagonui, yra trinties jėga į bėgius. Trinties jėgos dydis priklauso nuo vežamos sąstato masės, t. y. kuo didesnė vežamo sąstato masė, tuo didesnė trinties jėga F . Trinties jėgai įveikti reikalingos papildomos traukos energijos sąnaudos.

Lokomotyvo traukos energijos sąnaudos priklausomai nuo sąstato masės apskaičiuojamos pagal 2 formulę [20]:

$$A = 1000 \cdot (P + Q) \cdot (\omega_0 + i_e) \cdot L \quad (2)$$

čia:

P – lokomotyvo masė, t;

Q – sąstato masė, t;

ω_0 – traukinio judėjimo varža, kg/t;

i – kelio nuolydis, ‰.

Iš 2 formulės matyti, kad didėjant sąstato masei lokomotyvo traukos energijos sąnaudos taip pat didėja.

4.1.2. Sąstato ašies apkrovos įtaka lokomotyvo traukos energijos sąnaudoms

Lokomotyvo traukos energijos sąnaudos priklauso ir nuo sąstato ašies apkrovos. Mažėjant sąstato ašies apkrovai lyginamosios sąnaudos didėja. Esant vienodai sąstato masei, vidutinė ašies apkrova mažėja didėjant ašių skaičiui. Kuo daugiau vagonų, tuo didesnė trintis. Mažinant sąstato ašies apkrovą (esant tai pačiai masei) padidėja trintis, todėl padidėja traukos energijos sąnaudos [13].

4.1.3. Kelio profilio įtaka traukos energijos sąnaudoms

Kelio profilį sudaro – įkalnės, nuokalnės, tiesės, kreivės. Didelę įtaką padidėjusioms sąnaudoms turi įkalnės. Važiuojant įkalne traukiniui reikia suteikti potencinę energiją E_p , kuri lygi:

$$E_p = m \cdot g \cdot h; \quad (3)$$

čia:

m – sąstato masė, t;

g – laisvo kritimo pagreitis, $9,8 \text{ m/s}^2$;

h – įkalnės aukštis, m.

Traukinio potencinei energijai didinti naudojama elektros arba degalų energija, todėl įkalnese traukos energijos sąnaudos padidėja.

Taip pat nemažą įtaką traukos energijos sąnaudų padidėjimui turi kelio kreivės. Kuo geležinkelio ruože daugiau kreivių ir kuo mažesni jų spinduliai, tuo antbriaunio trintis su bėgiais didesnė. Tai lemia traukos energijos sąnaudų padidėjimą.

4.1.4. Važiavimo greičio įtaka lokomotyvo traukos energijos sąnaudoms

Didėjant traukinio važiavimo greičiui, didėja ir traukos variklių išvystomas galingumas, todėl ir traukos energijos sąnaudos didėja. Variklio galios, kai sąstatas juda, reikia kelio varžai R , oro varžai R nugalėti. Didėjant kelio varžai reikalinga didesnė išvystoma galia nugalėti pasipriešinimą, taip pat didėjant greičiui oro varža padidėja pagal kvadratinę priklausomybę, tai taip pat lemia padidėjusias traukos energijos sąnaudas.

4.1.5. Sustojimų ir stabdymo skaičiaus įtaka traukos energijos sąnaudoms

Dar vienas veiksnys, lemiantis traukos energijos sąnaudų padidėjimą, – sustojimų bei stabdymų skaičius. Kadangi daugiausia traukos energijos sunaudojama traukiniui įsibėgėjant, nes tuo momentu sąstato masei įsibėgėti reikia didžiausios jėgos, todėl traukinio sustojimų skaičius turi įtakos traukos energijos sąnaudų padidėjimui. Žinoma, kad sąstatui judant vidutiniu greičiu, vienas papildomas stabdymas kiekvienam 100 km padidina santykinės traukos energijos sąnaudas 2–3 %. 90 % šių nuostolių susidaro, mažinant vidutinį greitį iki pusinės jo reikšmės [21].

Įsibėgėjant sąstatui dalis energijos suvartojama sąstato kinetinei energijai didinti, kartu didėja bendrosios traukos energijos sąnaudos [13].

Riedmenų kinetinė energija apskaičiuojama pagal 4 formulę:

$$E = \frac{I \cdot \omega^2}{2} + \frac{mv^2}{2}; \quad (4)$$

čia:

E – traukinio kinetinė energija, J;

I – besisukančio kūno inercijos momentas ašies atžvilgiu kgm^2 ;

ω – besisukančio kūno kampinis greitis, rad/s;

m – sąstato masė;

v – traukinio greitis.

Iš 4 formulės matyti, kad didėjant sąstato masei ir traukinio greičiui šilumvežio kinetinė energija didėja, todėl ir degalų sąnaudos jai suteikti didėja.

4.1.6. Lokomotyvo techninės būklės įtaka traukos energijos sąnaudoms

Šilumvežio variklio ekonomiškumas, visų pirma, priklauso nuo jo techninės būklės. Jei tinkamai nereguluojama dyzelinio variklio degalų tiekimo sistema, degalai pereikvojami (apie 20–30 %). Didelę reikšmę degalų sąnaudoms turi variklio šiluminis režimas. Peršildyti ir perkrauti varikliai taip pat sunaudoja daugiau degalų. Netinkamai sureguliuoti transmisijos arba važiuoklės agregatai (tiek šilumvežių, tiek vagonų) taip pat didina degalų sąnaudas [21].

Taip pat būtina pažymėti, kad šilumvežių degalų sąnaudos priklauso ir nuo variklio tuščiosios eigos sąnaudų. Kadangi dalį laiko variklis veikia tuščiąja eiga, todėl kuo variklis sunaudoja mažiau degalų tuščiąja eiga, tuo jis yra ekonomiškesnis.

4.2. Įvertinamų veiksnių parinkimas

Tiriant, kiek elektrovežis VL80K sutaupo traukos energijos lyginant su šilumvežiu „Siemens ER20 CF“, būtina atlikti minėtų geležinkelių transporto priemonių traukos energijos sąnaudų palyginimą, esant adekvačiomis sąlygoms.

Atliekant tyrimą naudojami faktiniai bei teoriniai traukos energijos sąnaudų rezultatai. VL80K traukos energijos sąnaudos apskaičiuojamos teoriškai, o „Siemens ER20 CF“ dauguma tyrimo etapų (išskyrus kintant traukinio vidutiniam važiavimo greičiui ir ruožo nuolydžiui) remiamasi faktiniais rezultatais, kurie gauti bandomųjų kelionių metu ruože Vaidotai–Kybartai.

Traukos energijos sąnaudos analizuojamos tokiais etapais:

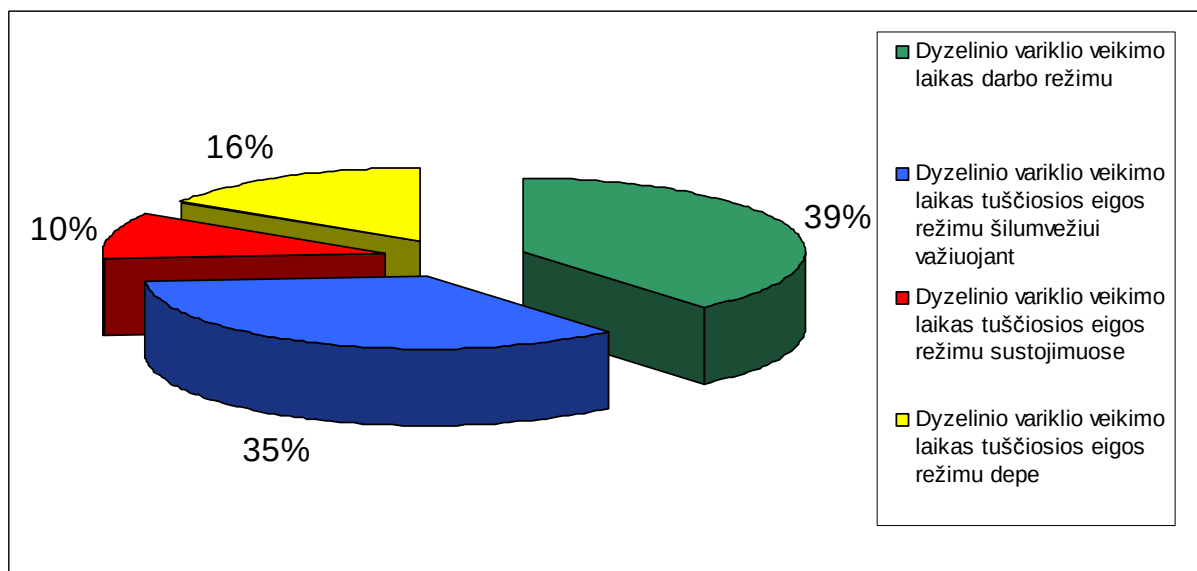
1. Tuščiąja eiga.
2. Kintant sąstato ašies apkrovai, ašių skaičiui.
3. Kintant traukinio vidutiniam važiavimo greičiui.
4. Kintant ruožo nuolydžiui.
5. Kintant sąstato masei.

Visi kiti anksčiau nagrinėti veiksniai nevertinami dėl šių priežasčių:

- Nėra statistinių duomenų, įvertinančių energijos sąnaudas pagal minėtus veiksnius.
- Nėra metodikos, kaip juos teoriškai įvertinti.

4.3. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K energijos sąnaudų tuščiaja eiga palyginimas

Šilumvežio dyzelinio variklio veikimo laiko procentinis pasiskirstymas pavaizduotas 13 paveiksle.



13 pav. Dyzelinio variklio veikimo laiko procentinis pasiskirstymas

Iš 13 paveikslo matyti, kad tuščiosios eigos režimu šilumvežio dyzelinis variklis veikia apie 61 % viso laiko. 35 % laiko tuščiosios eigos režimu dyzelinis variklis veikia važiuojant šilumvežiui, 10% – sustojimuose, 16–17 % – depe.

Tuščiosios eigos energija naudojama lokomotyvo pagalbiniais įrenginiais, kurie palaiko lokomotyvo bendrą funkcionalumą. Elektrovežio VL80K ir šilumvežio „Siemens ER20 CF“ pagalbiniai įrenginiai pateikti 4.3.1. lentelėje.

4.3.1. lentelė. Elektrovežio ir šilumvežio pagalbiniai įrenginiai

	VL80K	ER20 CF
Pagalbiniai įrenginiai	Kompresorius	Kompresorius
	Ventiliatoriai (traukos varikliams apipūsti)	Aušintuvas
	Ventiliatoriai (lygintuvams aušinti)	Ventiliatoriai (traukos varikliams apipūsti)
	Transformatorinės alyvos siurblys	El. mašininiai keitikliai
	El. mašininiai keitikliai	

VL80K pagalbinių įrenginių funkcionavimui užtikrinti reikalinga galia 181 kW [18], o „Siemens ER20 CF“ – 100 kW [8]. Tačiau minėta galia ne visada iki galo panaudojama, nes ne visi pagalbiniai įrenginiai nuolatos veikia (pvz., kompresorius). Dėl šios priežasties taikomas koeficientas, kurio reikšmė lygi 0,8.

Elektrovežio energijos sąnaudos tuščiosios eigos režimu apskaičiuojamos pagal 5 formulę:

$$S_E = \left(\frac{S_{Pl}}{\eta_E} \right) \cdot 0,8 \quad (5)$$

čia:

S_E – elektrovežio energijos sąnaudos tuščiosios eigos režimu, kWh;

S_{Pl} – pagalbinių įrenginių sunaudojama energija, kWh;

η_E – elektrovežio elektrinių įrenginių naudingumo koeficientas.

Šilumvežio energijos sąnaudos tuščiosios eigos režimu apskaičiuojamos pagal 5 formulę:

$$S_S = \left(\frac{S_{Pl}}{\eta_S} \right) \cdot 0,8 \quad (6)$$

čia:

S_S – šilumvežio energijos sąnaudos tuščiosios eigos režimu, kWh;

S_{Pl} – pagalbinių įrenginių sunaudojama energija, kWh;

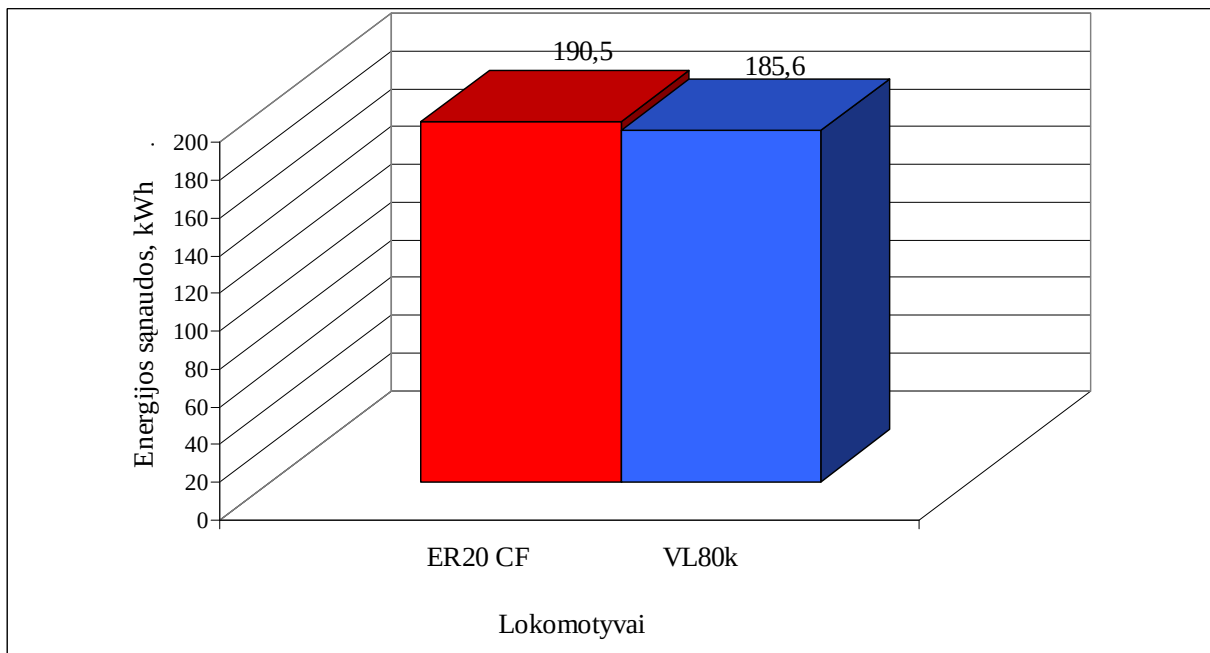
η_S – šilumvežio naudingumo koeficientas.

Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K energijos sąnaudos tuščiosios eigos režimu pateiktos 4.3.2. lentelėje.

4.3.2.lentelė. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K energijos sąnaudos tuščiosios eigos režimu

Lokomotyvai	„Siemens ER20 CF“	VL80K
Energijos sąnaudos tuščiosios eigos režimu, kW/h	190,5	185,6

Pagal 4.3.2. lentelės duomenis padaromas šilumvežio ir elektrovežio energijos sąnaudų tuščiaja eiga grafinis palyginimas. Jis pavaizduotas 14 paveiksle.



14 pav. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K energijos sąnaudų tuščiaja eiga grafinis palyginimas

Iš 14 paveikslo matyti, kad šilumvežio „Siemens ER20 CF“ energijos sąnaudos tuščiaja eiga yra 3% didesnės nei elektrovežio VL80K. Tačiau reikėtų atkreipti dėmesį į sąnaudas reikalingas palaikyti pagalbinių įrenginių funkcionavimui, kurių skirtumas yra 1,81 karto. Tai rodo, kad elektrovežio naudingumas kur kas didesnis ($\eta_s = 0,75$).

4.4. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų priklausomumo nuo sąstato ašies apkrovos tyrimas

4.4.1. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų priklausomumo nuo sąstato ašies apkrovos, važiuojant kryptimi Vaidotai–Kybartai, tyrimas

Panagrinėkime, kaip traukos energijos sąnaudos kinta esant skirtingai vidutinei sąstato ašies apkrovai. Iš pradžių panagrinėkime, kaip kinta prekinio šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudos priklausomai nuo sąstato ašių skaičiaus.

Elektrovežio VL80K elektros energijos traukai sąnaudos priklausomai nuo ašių skaičiaus ruože Vaidota–Kybartai, kai vežamo sąstato masė 4000 tonų, o sąstato ašių skaičius 284, 224 ir 164 ašys apskaičiuojamos pagal žemiau pateiktą formulę [20].

Elektros energijos traukai sąnaudos apskaičiuojamos pagal 7 formulę:

$$e = \frac{27,25}{\eta Q} \left[Q \left(a + \frac{b}{q_0} + \frac{c}{q_0} \cdot v + \frac{d}{q_0} \cdot v^2 \right) + P(m + nv + pv^2) \right] \cdot k_i \cdot 0,71 \quad (7)$$

čia:

e – elektros energijos traukai sąnaudos, kWh/10000 tkm; Q – traukinio masė, t; P – elektrovežio masė, t; v – vidutinis traukinio greitis, km/h; q_0 – vidutinė traukinio vagonų ašies apkrova, t; a, b, c, d – krovinių vagonų judėjimo varžas įvertinantys koeficientai; m, n, p – elektrovežio VL80K judėjimo varžas įvertinantys koeficientai, k_i – ruožo nuolydio (įkalnės) koeficientas.

Ruožo nuolydžio (įkalnės) koeficientas apskaičiuojamas pagal 8 formulę:

$$k_i = 1 + 100 \cdot (0,705 - 4,52 \cdot 10^{-3} \cdot v) \cdot i; \quad (8)$$

čia: i – ekvivalentus ruožo nuolydis (įkalnė), ‰.

Elektrovežio VL80K elektros energijos traukai sąnaudos priklausomai nuo ašių skaičiaus ruože Vaidotai–Kybartai, kai vežamo sąstato masė 4000 tonų, o sąstato ašių skaičius 284, 224 ir 164 ašys, pateikiamos 4.4.1.1 lentelėje.

4.4.1.1 lentelė. Elektrovežio VL80K elektros energijos traukai sąnaudos priklausomai nuo ašių skaičiaus ruože Vaidotai–Kybartai, kai vežamo sąstato masė 4000 tonų

Sąstato ašių skaičius	Lyginamosios traukos energijos sąnaudos kWh/10000 tkm
164	59
224	67,2
284	75,5

Prekinio šilumvežio „Siemens ER20 CF“ degalų sąnaudos priklausomai nuo ašių skaičiaus ruože Vaidotai–Kybartai, kai vežamo sąstato masė 4000 tonų, o sąstato ašių skaičius 284, 224 ir 164 ašys, pateikiamos 4.4.1.2 lentelėje.

4.4.1.2 lentelė. „Siemens ER20 CF“ degalų sąnaudos priklausomai nuo ašių skaičiaus ruože Vaidotai–Kybartai, kai vežamo sąstato masė 4000 tonų

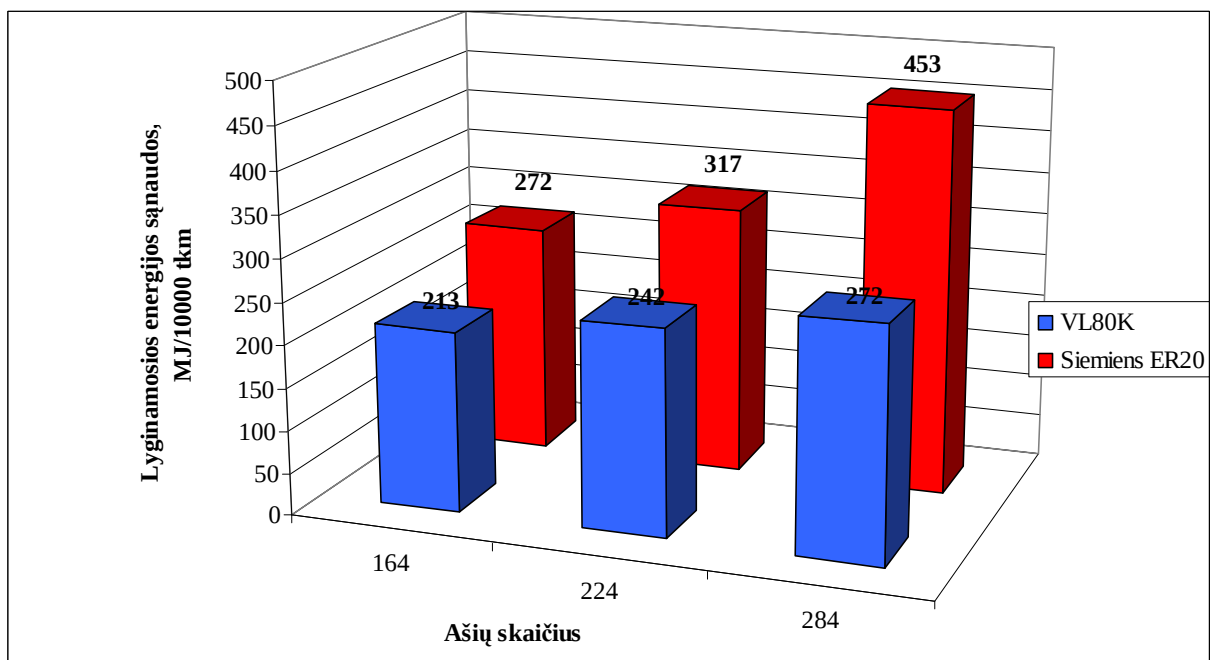
Sąstato ašių skaičius	Lyginamosios traukos energijos sąnaudos kg/10000 tkm
164	6
224	8
284	10

Elektrovežio ir šilumvežio traukos energijos sąnaudų palyginimui priimama bendra dimensija MJ (1kg dyzelino energetinė vertė 45,3 MJ, 1 kWh energetinė vertė 3,6 MJ). Taigi elektrovežio VL80K bei prekinio šilumvežio „Siemens ER20 CF“ traukos energijos sąnaudos priklausomai nuo ašių skaičiaus ruože Vaidotai–Kybartai (kai vežamo sąstato masė 4000 tonų) pateikiamos 4.2.1.3 lentelėje.

4.4.1.3 lentelė. „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudos priklausomai nuo ašių skaičiaus ruože Vaidotai–Kybartai, kai vežamo sąstato masė 4000 tonų

Sąstato ašių skaičius	Lyginamosios traukos energijos sąnaudos MJ/10000 tkm	
	„Siemens ER20 CF“	Elektrovežio VL80K
164	271,8	212,5
224	362,4	242
284	453	272

Iš 4.4.1.3 lentelės duomenų sudaromas grafikas, kuris parodo „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų kitimą priklausomai nuo ašių skaičiaus ruože Vaidotai–Kybartai, kai vežamo sąstato masė 4000 tonų. Grafikas pavaizduotas 15 paveiksle.



15 pav. „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų kitimas priklausomai nuo ašių skaičiaus ruože Vaidotai–Kybartai, kai vežamo sąstato masė 4000 tonų

Iš 15 paveikslo matyti, kad didėjant sąstato ašių skaičiui, esant tokiai pačiai sąstato masei, traukos energijos sąnaudos didėja. Kai sąstato ašių skaičius 224 vnt., lyginant elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudas su „Siemens ER20 CF“ prekinio šilumvežio traukos energijos sąnaudomis, sutaupoma apie 33% daugiau energijos. Kai sąstato ašių skaičius 284 vnt., traukiant elektrovežiu sutaupoma 39% daugiau traukos energijos sąnaudų.

Ašių skaičiui padidėjus 1,7 karto (nuo 164 iki 284) energijos sąnaudų skirtumas padidėjo 3 kartus (nuo 59 iki 181 MJ).

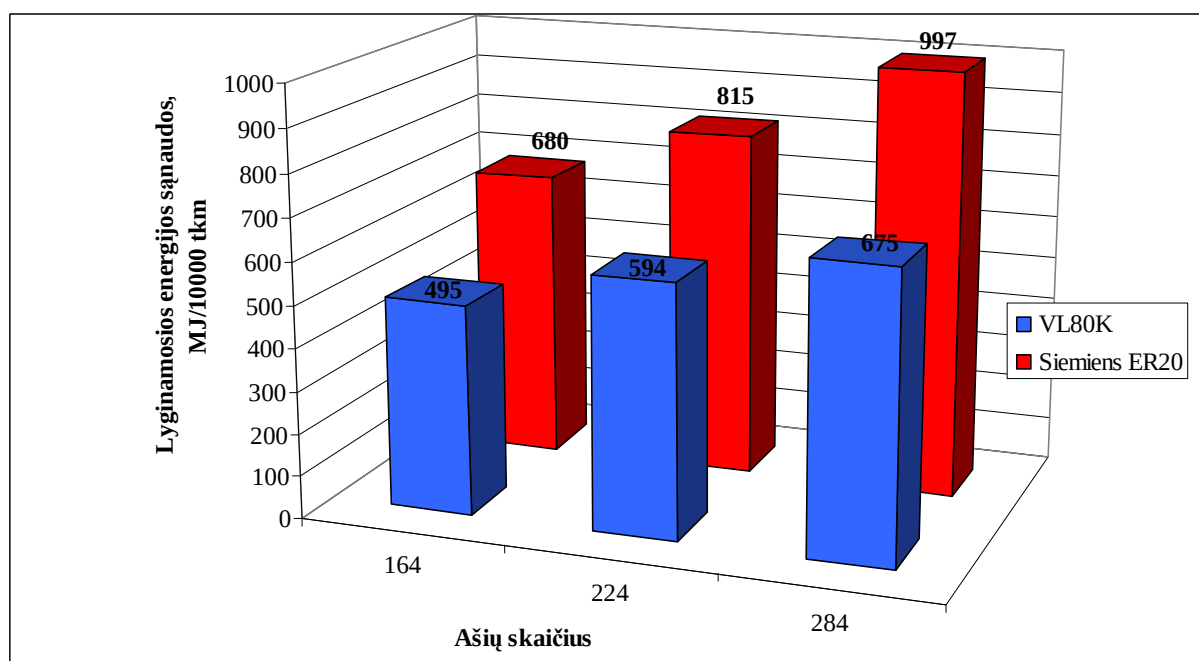
4.4.2. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų priklausomumo nuo sąstato ašies apkrovos, važiuojant kryptimi Kybartai–Vaidotai, tyrimas

Elektrovežio VL80K bei prekinio šilumvežio „Siemens ER20 CF“ traukos energijos sąnaudos priklausomai nuo ašių skaičiaus ruože Kybartai–Vaidotai, kai vežamo sąstato masė 2500 tonų, o sąstato ašių skaičius 284, 224 ir 164 ašys, pateikiamos 4.2.2 lentelėje.

4.4.2 lentelė. „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudos priklausomai nuo ašių skaičiaus ruože Kybartai–Vaidotai, kai vežamo sąstato masė 2500 tonų

Sąstato ašių skaičius	Lyginamosios traukos energijos sąnaudos MJ/10000tkm	
	„Siemens ER20 CF,,	Elektrovežio VL80K
164	680	495
224	815	594
284	997	675

„Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų kitimas priklausomai nuo ašių skaičiaus ruože Kybartai–Vaidotai, kai vežamo sąstato masė 2500 tonų, pavaizduotas 16 paveiksle.



16 pav. „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų kitimas priklausomai nuo ašių skaičiaus ruože Kybartai–Vaidotai, kai vežamo sąstato masė 2500 tonų

Iš 15, 16 paveikslų matyti, kad kuo didesnis sąstato ašių skaičius, tuo elektrovežio VL80K ir šilumvežio ER20 CF traukos energijos sąnaudų skirtumas didesnis. Sąstatui sudarytam iš 284 ašių (esant 2500 t) (žr. 16 pav.), elektrovežio lyginamosios traukos energijos sąnaudos sumažėja apie 32%, o esant didesnei masei t.y. 4000 t traukos energijos sąnaudos sumažėja 39%.

Ašių skaičiui padidėjus 1,7 karto (nuo 164 iki 284) energijos sąnaudų skirtumas padidėjo taip pat 1,7 karto (nuo 185 iki 322 MJ).

Žinodami sąstato ašių skaičių ir sąstato masę, pagal (9) formulę galima apskaičiuoti ir vidutinę traukinio ašies apkrovą.

Vidutinė traukinio ašies apkrova apskaičiuojama pagal 9 formulę:

$$V_{AA} = \frac{Q}{n}; \quad (9)$$

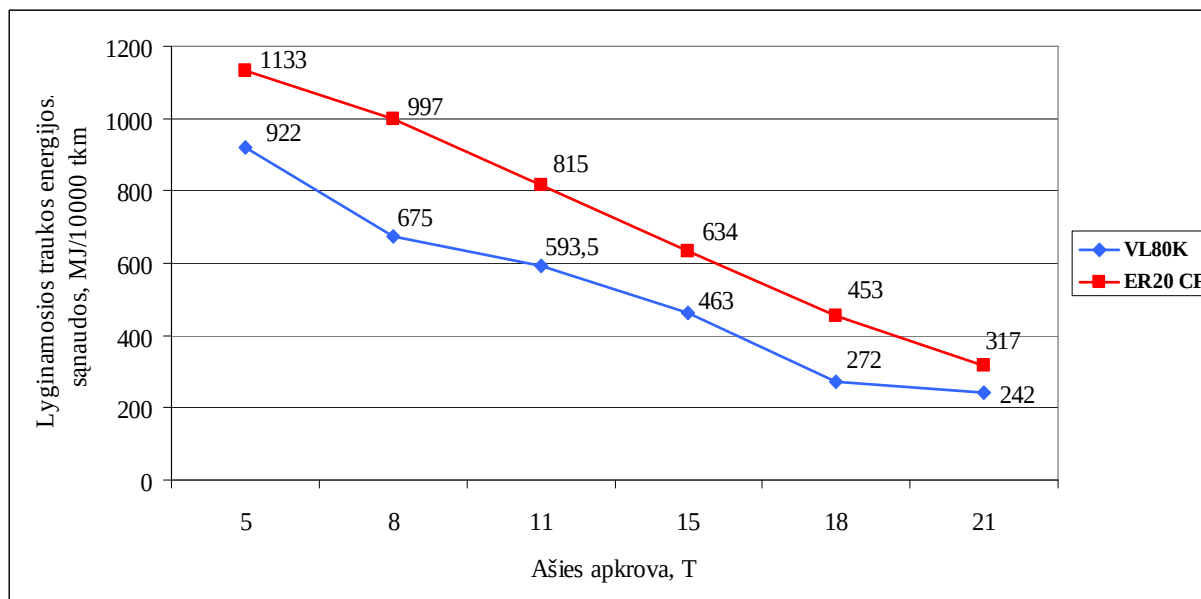
čia:

V_{AA} – vidutinė traukinio ašies apkrova, T;

Q – sąstato bruto masė, t;

n – sąstato ašių skaičius;

Apskaičiavus vidutinę traukinio ašies apkrovą nustatome vidutinės šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudas, esant skirtingai traukinio ašies apkrovai. Vidutinių lyginamųjų traukos energijos sąnaudų kitimas priklausomai nuo vidutinės prekinų traukinių ašies apkrovos pavaizduotas 17 paveiksle .[9]



17 pav. Elektrovežio ir šilumvežio vidutinių lyginamųjų traukos energijos sąnaudų kitimas priklausomai nuo vidutinės sąstato ašies apkrovos

Iš 17 paveikslo matyti, kad traukos energijos procentas lyginant elektrovežį su šilumvežiu yra apytiksliai pastovus, tačiau sutaupyta jos kiekis (MJ/10 000 tkm) mažėja (kadangi mažėja sąnaudos, tai tas pats jų procentas sudaro mažesnę sumą).

4.5. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų priklausomumas nuo važiavimo greičio

4.5.1. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų priklausomumo nuo greičio, važiuojant kryptimi Vaidotai–Kybartai, tyrimas

Energijos sąnaudos priklauso nuo greičio. Traukinių važiuojančių ruožu Vaidotai–Kybartai vidutinis greitis iki 50km/h. Teorinės elektrovežio VL80K bei prekinio šilumvežio Siemens ER20 traukos energijos sąnaudos priklausomai nuo greičio ruože Kybartai–Vaidotai, kai vežamo sąstato masė 5000 tonų, palyginamos esant greičiams 30, 40, 50 km/h.

Elektrovežio VL80K teorinės traukos energijos sąnaudos apskaičiuojamos pagal 4.4.1 skyriaus 7 ir 8 formules.

„Siemens ER20 CF“ traukos energijos sąnaudos apskaičiuojamos pagal 10 formulę [10]:

$$e = \left(1,017 \cdot \frac{10^3}{(Q+P)} \left[Q \cdot \left(0,7 + \frac{8}{q_0} + \frac{0,1}{q_0} \cdot v + 2,5 \cdot \frac{10^3}{q_0} \cdot v^2 \right) + P \cdot (1,2 + 2,5 \cdot 10^{-2} \cdot v + 1,6 \cdot 10^{-4} \cdot v^2) \right] \cdot s \cdot ki \cdot L \cdot Q + \frac{1}{6000} \cdot Q \cdot v^2 \cdot n + t \cdot nt \right) \cdot 0,66 \quad (10)$$

čia:

Q – traukinio svoris, T;

P – šilumvežio svoris, T;

v – vidutinis traukinio greitis, km/h;

q_0 – vidutinė traukinio vagonų ašies apkrova, T;

i – ekvivalentus ruožo nuolydis (ikalnė) tūkstantosiomis;

s – koeficientas įvertinantis šilumvežio sekcijų skaičių;

L – ruožo ilgis;

n – išibėgėjimų skaičius;

t – prastovos su įjungtu varikliu laikas, h;

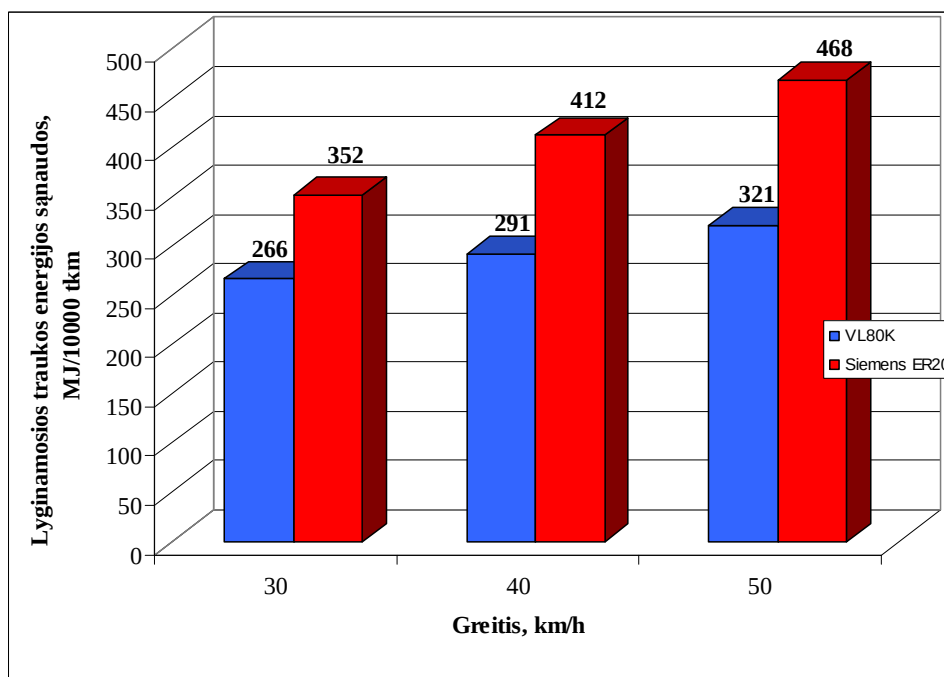
nt – prastovos su įjungtu varikliu dyzelino sąnaudų norma, kg/h.

Kaip ir pirmame skyriuje elektrovežio ir šilumvežio traukos energijos sąnaudų palyginimui priimama bendra dimensija MJ. Taigi elektrovežio VL80K bei prekinio šilumvežio „Siemens ER20 CF“ traukos energijos sąnaudos priklausomai nuo greičio ruože Vaidotai–Kybartai, kai vežamo sąstato masė 5000 tonų, o traukinio greitis 30, 40 ir 50 km/h, pateikiamos 4.5.1 lentelėje.

4.5.1 lentelė. Elektrovežio VL80K bei prekinio šilumvežio „Siemens ER20 CF“ traukos energijos sąnaudos priklausomai nuo greičio ruože Vaidotai–Kybartai, kai vežamo sąstato masė 5000 tonų

Greitis, km/h	Traukos energijos sąnaudos, MJ/10000tkm	
	„Siemens ER20 CF“	VL80K
30	352	266
40	412	290,88
50	468	321

„Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų kitimas priklausomai nuo vidutinio greičio ruože Vaidotai–Kybartai, kai vežamo sąstato masė 5000 tonų, pavaizduotas 18 paveiksle.



18 pav. „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų kitimas priklausomai nuo vidutinio greičio ruože Vaidotai–Kybartai, kai vežamo sąstato masė 5000 tonų

Iš 18 paveikslo matyti, kad kuo didesnis vidutinis traukinio greitis, tuo elektrovežio VL80K ir šilumvežio ER20 CF traukos energijos sąnaudų skirtumas didesnis. Traukiniui važiuojant 30 km/h greičiu elektrovežis VL80K sutaupo apie 15 % traukos energijos, lyginant su šilumvežiu „Siemens ER20 CF“. Greičiui padidėjus iki 50 km/h sutaupomos energijos kiekis padidės iki 31 %.

Padidėjus greičiui 1,7 karto energijos sąnaudų skirtumas padidėja taip pat 1,7 karto (nuo 86 MJ iki 147 MJ).

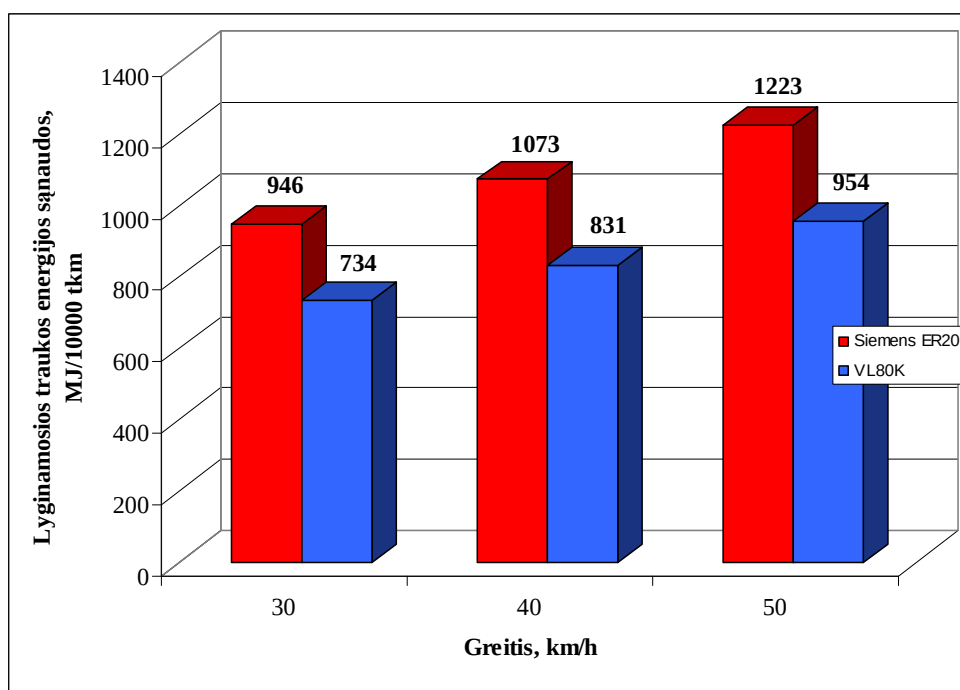
4.5.2 Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų priklausomumo nuo greičio, važiuojant kryptimi Kybartai–Vaidotai, tyrimas

Elektrovežio VL80K bei prekinio šilumvežio „Siemens ER20 CF“ traukos energijos sąnaudos ruože Kybartai–Vaidotai, kai vežamo sąstato masė 1500 tonų, o traukinio važiavimo vidutinis greitis 30, 40 ir 50 km/h, pateikiamos 4.5.2 lentelėje.

4.5.2 lentelė. „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudos priklausomai nuo traukinio vidutinio greičio ruože Kybartai–Vaidotai, kai vežamo sąstato masė 1500 tonų

Greitis, km/h	Traukos energijos sąnaudos, MJ/10000 tkm	
	„Siemens ER20 CF“	VL80K
30	946	734
40	1073	831
50	1223	954

„Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų kitimas priklausomai nuo vidutinio greičio ruože Kybartai–Vaidotai, kai vežamo sąstato masė 1500 tonų, pavaizduotas 19 paveiksle.



19 pav. „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų kitimas priklausomai nuo vidutinio greičio ruože Kybartai–Vaidotai, kai vežamo sąstato masė 1500 tonų

Iš 19 paveikslo matyti, kad didėjant traukinio važiavimo greičiui (esant 1500 t sąstato masei), elektrovežio VL80K ir šilumvežio ER20 CF traukos energijos sąnaudų skirtumas apytiksliai vienodas. Elektrovežio lyginamosios traukos energijos sąnaudos mažesnės apie 22 %.

Padidėjus greičiui 1,7 karto energijos sąnaudų skirtumas padidėjo 1,3 karto (nuo 212 MJ iki 269 MJ).

4.6. Šilumvežio ir elektrovežio traukos energijos sąnaudų priklausomumo nuo kelio profilio tyrimas

Tiriant traukos energijos sąnaudas pagal ašies apkrovą, greitį pastebėta, kad didelę įtaką padidėjusioms energijos sąnaudoms turi kelio profilis. Ruožo Vaidotai–Kybartai nuolydis -3,5 ‰, todėl ruožo Kybartai–Vaidotai įkalnė 3,5 ‰.

Elektrovežio energijos sąnaudos apskaičiuojamos pagal 4.4.1 skyriuje esančias 7 ir 8 formules, o šilumvežio – pagal 4.5.1. skyriuje esančią 10 formulę.

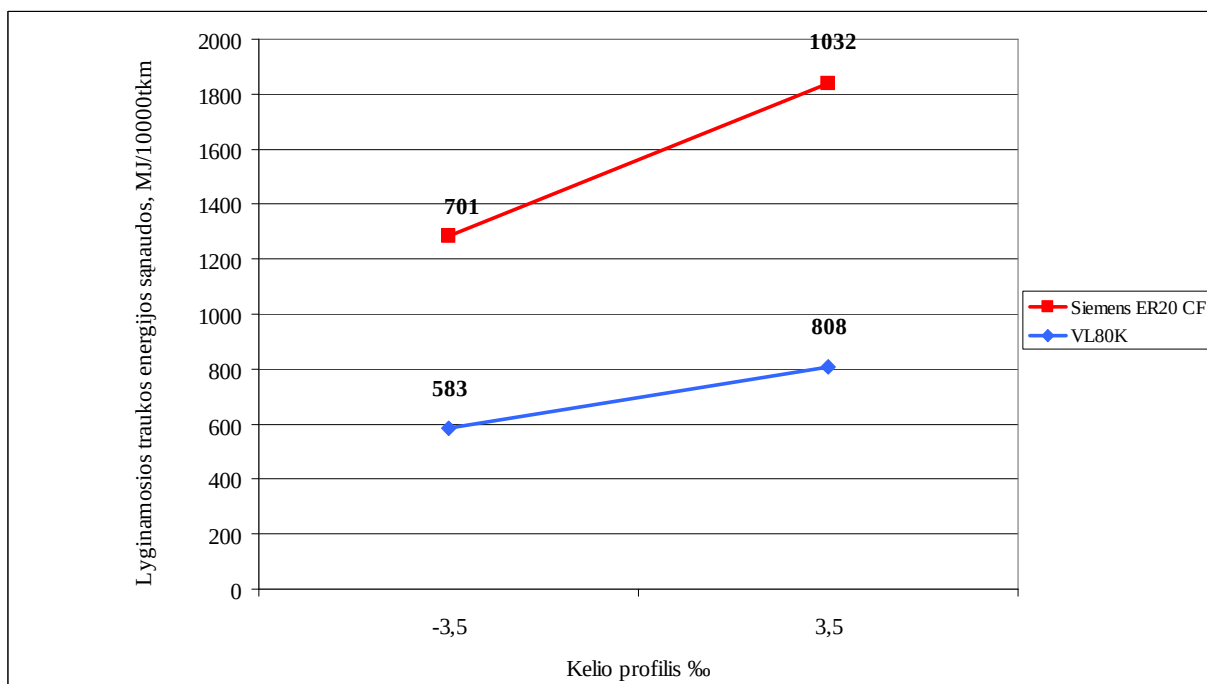
Palyginama elektrovežio ir šilumvežio traukos energijos sąnaudos minėtuose geležinkelio ruožuose, vežant 2000 t masės sąstatus vidutiniu 50 km/h greičiu.

Teorinės traukos energijos sąnaudos ruožuose Vaidotai–Kybartai, Kybartai–Vaidotai, esant 2000 t sąstato masei, pateikiamos 4.6 lentelėje.

4.6 lentelė. Teorinės šilumvežio ir elektrovežio traukos energijos sąnaudos ruožuose Vaidotai–Kybartai, Kybartai–Vaidotai

Ruožas	Traukos energijos sąnaudos, MJ/10000 tkm	
	Elektrovežis	Šilumvežis
Vaidotai–Kybartai	583	701
Kybartai–Vaidotai	808	1032

„Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K energijos traukai sąnaudų kitimas priklausomai nuo vidutinio kelio profilio, kai vežamo sąstato masė 2000 tonų, pavaizduotas 20 paveiksle.



20 pav. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų kitimas priklausomai nuo vidutinio kelio profilio

Iš 20 paveikslo matyti, kad traukos energijos sąnaudoms didelę įtaką daro kelio profilis. Važiuojant traukiniui į 3,5 ‰ įkalnę elektrovežio energijos sąnaudos lyginant važiavimą nuokalne (-3,5 ‰), padidėjo 28 %, o šilumvežio 32 %. Taip pat pastebima, kad elektrovežis VL80K lyginant su šilumvežiu „Siemens ER20 CF“ įkalnėse sutaupo 22 % energijos. Nuokalnėje sutaupoma 17 % energijos.

4.7. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų priklausomumo nuo sąstato masės tyrimas

4.7.1. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų priklausomumo nuo sąstato masės, važiuojant kryptimi Vaidotai–Kybartai, tyrimas

Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ bei elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudos ruože Vaidotai–Kybartai vežant skirtingų masių sąstatus pateiktos 4.7.1 lentelėje. Sąstato ašių skaičius – 240 vnt.

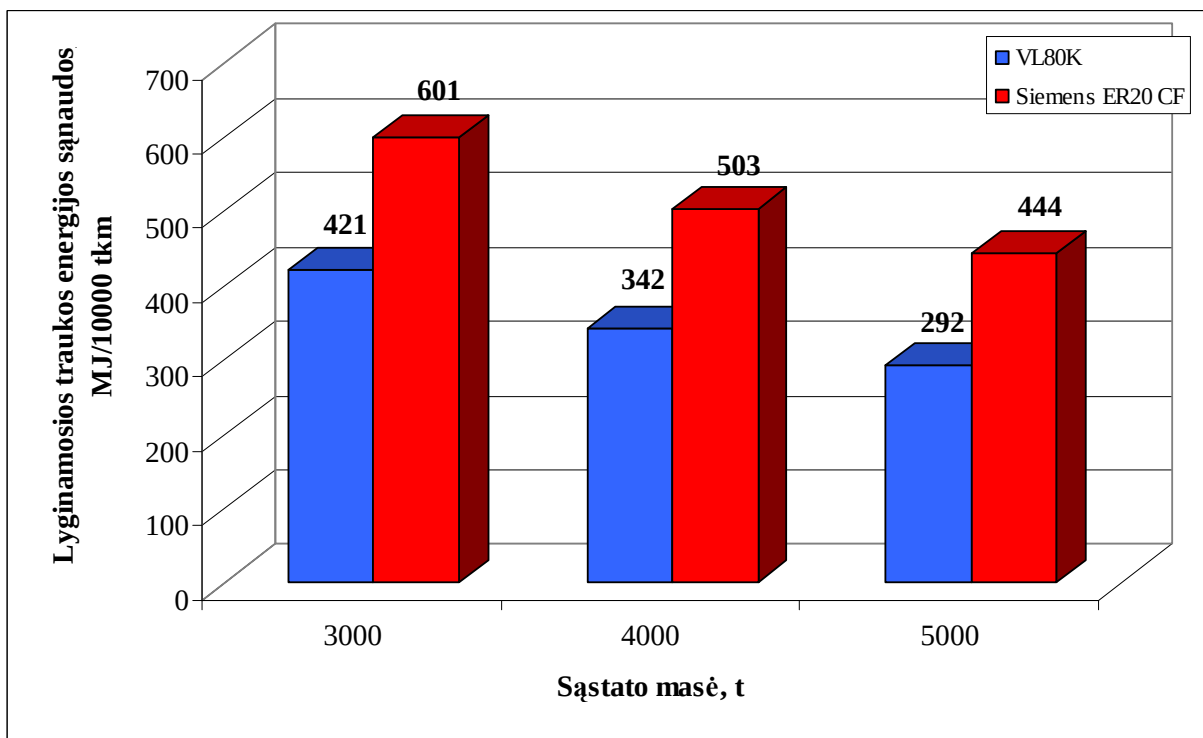
4.7.1 lentelė. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudos ruože Vaidotai–Kybartai vežant skirtingų masių sąstatus [11].

Šilumvežio serija ir numeris						
	3000		4000		5000	
	Faktinės traukos energijos sąnaudos, MJ	Lyginamosios traukos energijos sąnaudos, MJ/10000 tkm	Faktinės energijos traukai sąnaudos, MJ	Lyginamosios traukos energijos sąnaudos, MJ/10000 tkm	Faktinės traukos energijos sąnaudos, MJ	Lyginamosios traukos energijos sąnaudos, MJ/10000 tkm
	„Siemens ER20 CF“					
ER-20 0018	33114	603	36919	513	40815	446
ER-20 009	32389	589	38187	521	40317	440
ER-20 004	33204	604	36013	492	40905	447
ER-20 0019	32842	598	35651	487	41358	452
ER-20 001	33023	601	37327	509	39818	435
Vidutinės traukos energijos sąnaudos	32978	600	36828	502	40634	444
Elektrovežis	VL80K					
	22997	421	24897	342	26617	292

Pagal 4.7.1 lentelės duomenis gaunamos vidutinės prekinio šilumvežio „Siemens ER20 CF“ traukos energijos sąnaudos per kelionę, MJ. Važiuojant iš Vaidotų Kybartų link vežami nuo 3000 iki 5000 tonų sąstatai. Faktinės prekinio šilumvežių traukos energijos sąnaudos palyginamos su elektrovežio teorinėmis traukos energijos sąnaudomis, kurios apskaičiuojamos pagal 4.4.1 skyriuje esančias 7 ir 8 formules.

Iš 4.7.1 lentelės duomenų sudaromas grafikas, vaizduojantis kiek skiriasi prekinio šilumvežio ir elektrovežio lyginamosios traukos energijos sąnaudos vežant skirtingų masių sąstatus esant adekvačioms sąlygoms.

Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K lyginamųjų traukos energijos sąnaudų palyginimas kg/10 000 tkm, ruože Vaidotai–Kybartai vežant skirtingų masių sąstatus pateiktas 21 paveiksle.



21 pav. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K lyginamųjų traukos energijos sąnaudų palyginimas kg/10 000 tkm, ruože Vaidotai–Kybartai vežant skirtingų masių sąstatus

Iš 21 paveikslo matyti, kad padidėjus sąstato masei, lyginamosios energijos sąnaudos darbo vienetui (tkm) mažėja. Taip yra dėl to, kad energijos sąnaudos pačiam lokomotyvui vežti, esant didesnei sąstato masei, pasidalija ir vienai tonai (taip pat 1 tkm) jų tenka po mažiau.

Taip pat matyti, kad elektrovežio traukos energijos sąnaudos, lyginant su šilumvežio „Siemens ER20 CF“ traukos energijos sąnaudomis vežant 3000, 4000 ir 5000 tonų masės sąstatus ruože Vaidotai–Kybartai yra vidutiniškai 32 % mažesnės. Didėjant sąstato masei kas 1000 t šis procentas padidėja apie 2 %. Mažėjant lyginamosioms traukos energijos sąnaudoms šis procentas sudaro mažesnę sutaupomos traukos energijos kiekį MJ/10 000 tkm.

4.7.2 Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų priklausomumo nuo sąstato masės, važiuojant kryptimi Kybartai–Vaidotai, tyrimas

Traukos energijos sąnaudų analizei ruože kryptimi Kybartai–Vaidotai nagrinėjame 1000, 1500 ir 2500 tonų masių sąstatus. Su tokių masių sąstatais (tuščiais vagonais) prekiniai

šilumvežiai šiame ruože važiuoja dažniausiai. Dauguma krovinių vežami Kaliningrado srities link, o atgal šilumvežis grįžta su tuščiais ar dauguma tuščių vagonų.

Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ bei elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudos ruože Kybartai–Vaidotai vežant skirtingų masių sąstatus pateiktos 4.5.2 lentelėje. Sąstato ašių skaičius – 240 vnt.

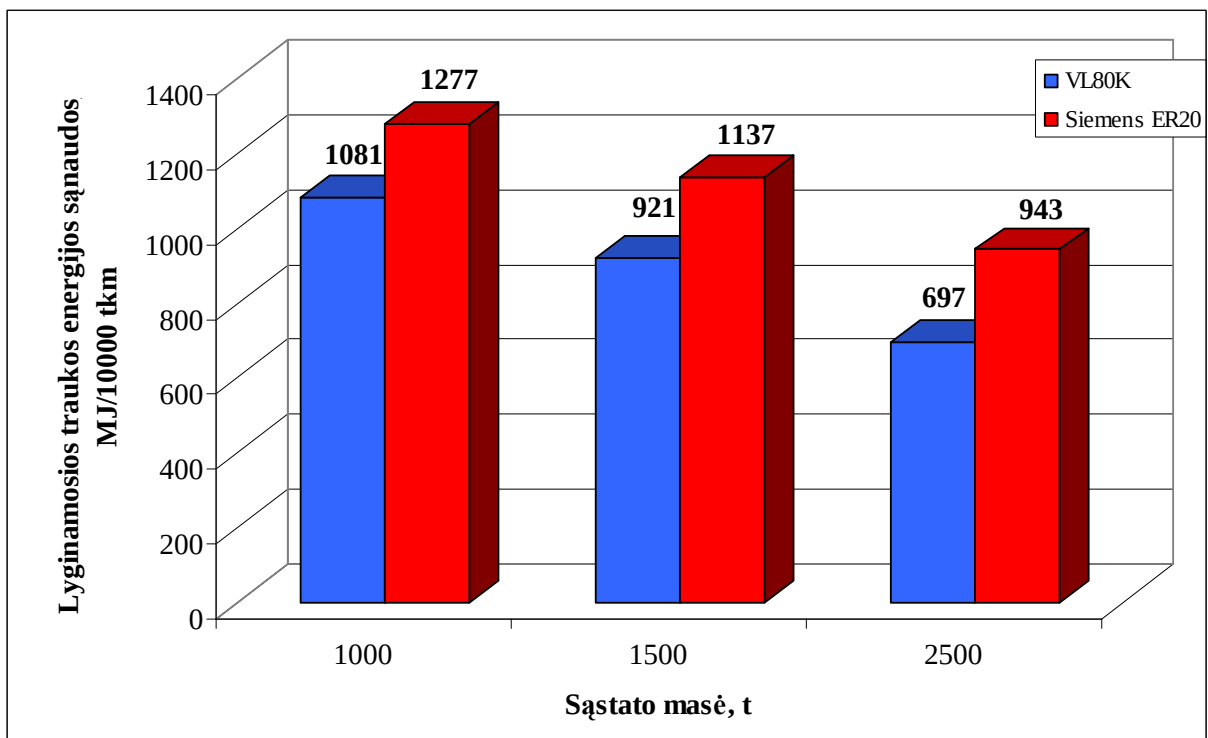
4.7.2 lentelė. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudos ruože Kybartai–Vaidotai vežant skirtingų masių sąstatus.

Šilumvežio serija ir numeris	1000		1500		2500	
	Faktinės traukos energijos sąnaudos, MJ	Lyginamosios traukos energijos sąnaudos, MJ/10000 tkm	Faktinės traukos energijos sąnaudos, MJ	Lyginamosios traukos energijos sąnaudos, MJ/10000 tkm	Faktinės traukos energijos sąnaudos, MJ	Lyginamosios traukos energijos sąnaudos, MJ/10000 tkm
	„Siemens ER20 CF“					
ER-20 0018	23193	1267	30486	1110	43850	941
ER-20 009	23691	1294	30894	1125	43714	955
ER-20 004	23238	1269	31302	1140	41766	912
ER-20 0019	23012	1257	31574	1150	43125	942
ER-20 001	23601	1289	31483	1146	43850	958
Vidutinės traukos energijos sąnaudos	23374	1277	31211	1137	43125	942
Elektrovežis	VL80K					
	19681	1081	25159	921	31713	697

Pagal 4.7.2 lentelės duomenis gaunamos vidutinės prekinio šilumvežio „Siemens ER20 CF“ traukos energijos sąnaudos per kelionę, MJ. Faktinės prekinio šilumvežių traukos energijos sąnaudos palyginamos su elektrovežio teorinėmis traukos energijos sąnaudomis, kurios apskaičiuojamos pagal 4.5.1 skyriuje esančias formules.

Iš 4.7.2 lentelės duomenų sudaromas grafikas, vaizduojantis kiek skiriasi prekinio šilumvežio ir elektrovežio lyginamosios traukos energijos sąnaudos vežant skirtingų masių.

Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K lyginamųjų traukos energijos sąnaudų palyginimas kg/10 000 tkm, ruože Kybartai–Vaidotai vežant skirtingų masių sąstatus pateiktas 22 paveiksle.



22 pav. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K lyginamųjų traukos energijos sąnaudų palyginimas kg/10 000 tkm, ruože Kybartai–Vaidotai vežant skirtingų masių sąstatus

Iš 22 paveikslo matyti, kad didėjant sąstato masei lyginamosios traukos energijos sąnaudos mažėja. Taip pat kaip ir 21 paveiksle dėsningumai tokie patys. Elektrovežio traukos energijos sąnaudos, lyginant su šilumvežio „Siemens ER20 CF“ traukos energijos sąnaudomis vežant 1000 tonų masės sąstatus ruože Kybartai–Vaidotai 15 % mažesnės, o vežant 2500 tonų masės sąstatus sutaupoma 26 % energijos.

4.8. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K sąlyginio traukos energijos sąnaudų santykio nustatymas

Norint palyginti, kiek sutaupoma traukos energijos lyginant elektrovežio ir šilumvežio vidutines traukos energijos sąnaudas, apskaičiuojamas sunaudotos traukos energijos vidurkis vežant įvairių masių sąstatus ruože Vaidotai–Kybartai, Kybartai–Vaidotai. Sunaudojamos traukos energijos vidurkis vežant įvairių masių sąstatus apskaičiuojamas pagal 11 formulę:

$$E_{vid} = \frac{e_1 + e_2 + e_3 + e_4 + e_5 + e_6}{6} \quad (11)$$

čia:

E_{vid} – vidutinės lokomotyvo traukos energijos sąnaudos MJ/10000 tkm. bruto;

$e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6$ – lyginamosios traukos energijos sąnaudos MJ/10000 tkm, vežant atitinkamos masės sąstatus (1000 t., 1500 t., 2500t., 3000 t., 4000t., 5000 t.).

Apskaičiavus vidutinės lyginamąsias traukos energijos sąnaudas nustatomas traukos energijos sąnaudų santykis k .

Traukos energijos sąnaudų santykis k , lyginant šilumvežį ir elektrovežį, apskaičiuojamas pagal 12 formulę:

$$k = \frac{E\check{S}_{vid}}{EE_{vid}}; \quad (12)$$

čia:

EE_{vid} - elektrovežio VL80K vidutinės lyginamosios traukos energijos sąnaudos MJ/10000 tkm. bruto;

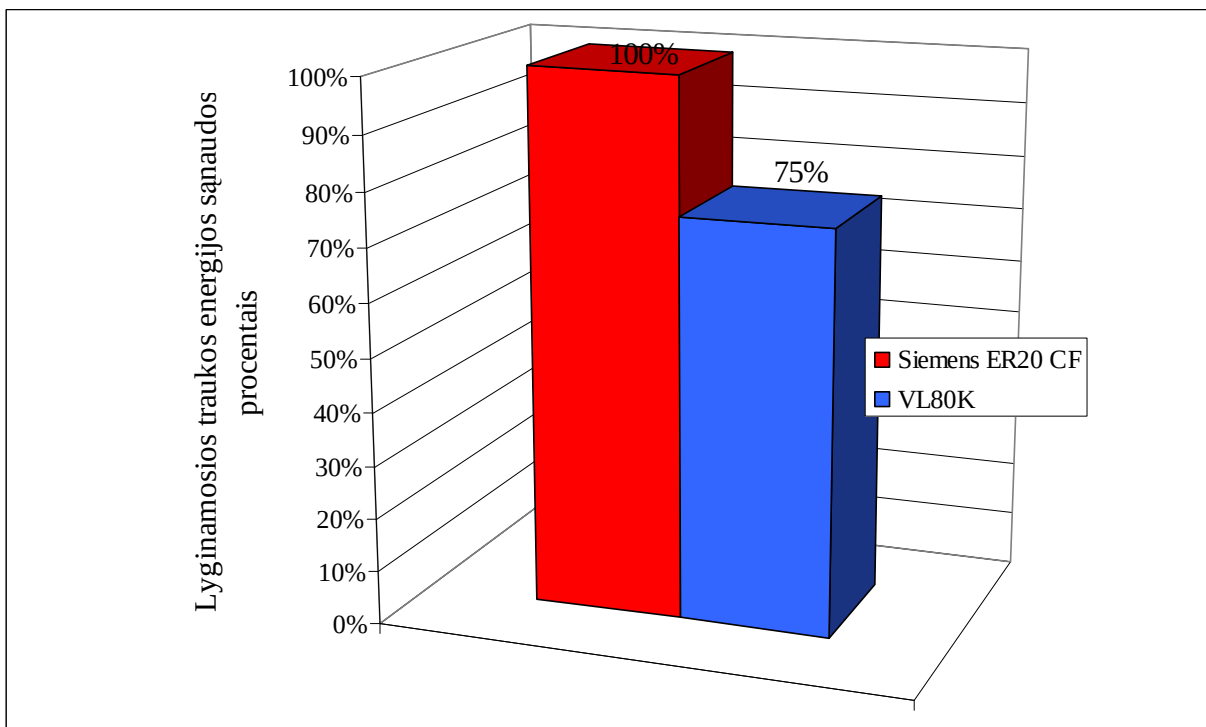
$E\check{S}_{vid}$ - šilumvežio „Siemens ER20 CF“ vidutinės lyginamosios traukos energijos sąnaudos MJ/10000 tkm. bruto;

Pagal skaičiavimus „Siemens ER20 CF“ šilumvežio traukos energijos sąnaudos 1,3 karto didesnės nei elektrovežio VL80K .

4.9. Elektrovežio ir šilumvežio traukos energijos sąnaudų procentinis palyginimas

Nustačius elektrovežio ir šilumvežio sąlyginių traukos energijos sąnaudų santykį galima nustatyti, kiek minėtų geležinkelio transporto priemonių traukos energijos sąnaudos skiriasi procentais.

Kiek traukos energijos sąnaudos sumažėjo procentais pasirinktame kelio ruože lyginant elektrovežį su šilumvežiu galima pamatyti 23 paveiksle.



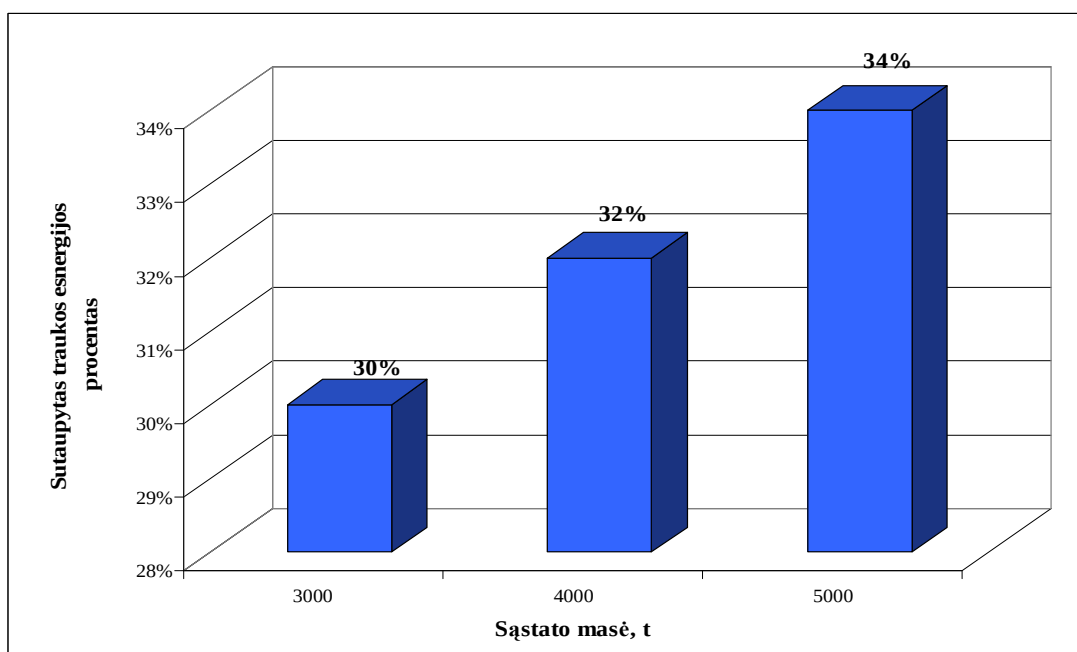
23 pav. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų procentinis palyginimas

„Siemens ER20 CF“ yra ekonomiškiausi šiuo metu eksploatuojami prekiniai šilumvežiai Lietuvos geležinkeliuose, tačiau lyginant traukos energijos sąnaudas su elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudomis matome, kad šiluminės traukos riedmenų sąnaudos pasirinktame ruože 25 % didesnės.

4.10. Elektrovežio traukos energijos sąnaudų sutaupyto procento priklausomumo nuo sąstato masės nustatymas

Važiuojant iš Vaidotų Kybartų link dažniausiai vežami nuo 3000 tonų masės sąstatai, todėl atliksime elektrovežio VL80K sutaupytos traukos energijos procentinį palyginimą lyginat su šilumvežio sąnaudomis, vežant 3000, 4000 ir 5000 masių sąstatus.

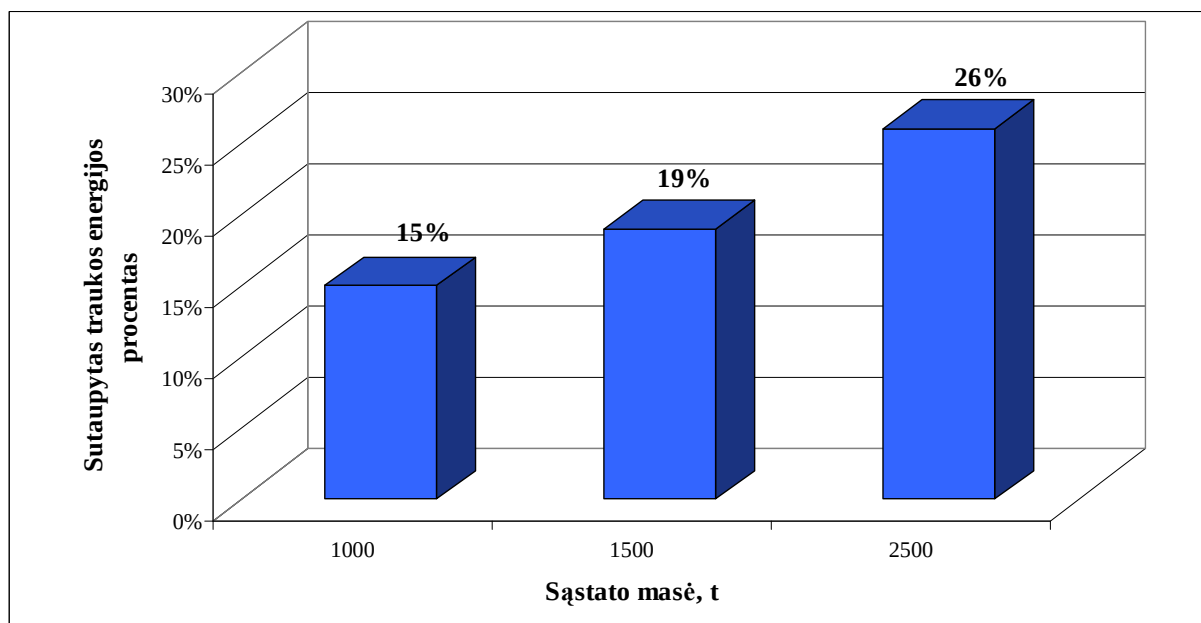
Elektrovežio VL80K sutaupytos traukos energijos procentas ruože Vaidotai–Kybartai esant skirtingai sąstato masei pateikiamas 24 paveiksle.



24 paveikslas. Sutaupyta traukos energijos procentas ruože Vaidotai–Kybartai esant skirtingai sąstato masei

Kadangi ruože Kybartai–Vaidotai dažniausiai vežami iki 2500 tonų masės sąstatai, todėl atliksime elektrovežio VL80K sutaupyta traukos energijos procentinį palyginimą su šilumvežio „Siemens ER20 CF“ sąnaudomis, vežant 1000, 1500 ir 2500 tonų sąstatus.

Elektrovežio VL80K sutaupyta energijos procentas ruože Kybartai–Vaidotai esant skirtingai sąstato masei pateikiamas 25 paveiksle.

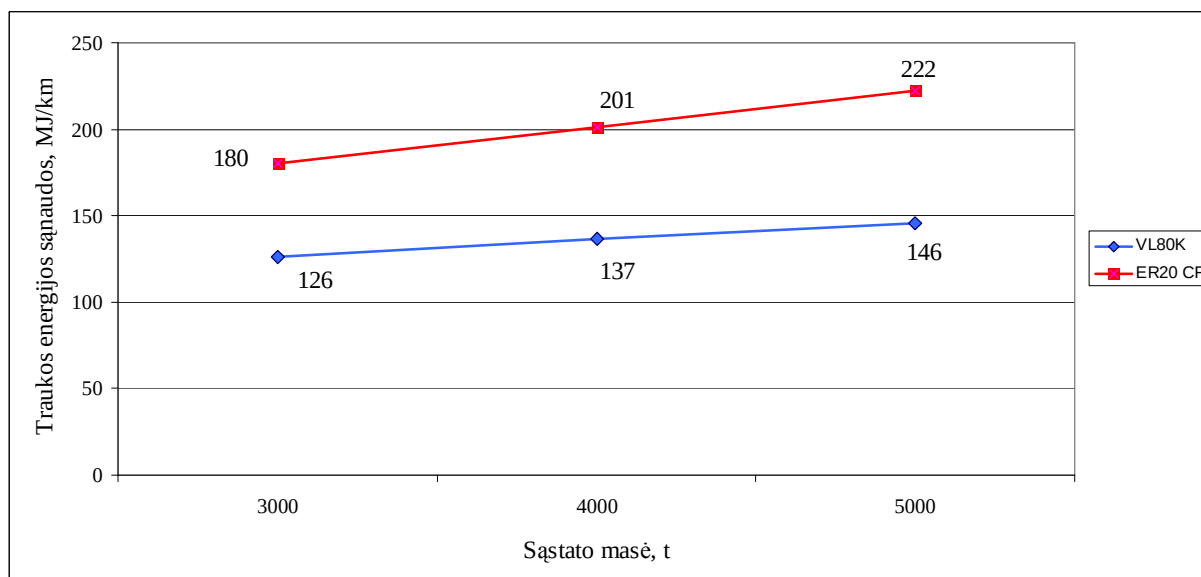


25 paveikslas. Sutaupyta traukos energijos procentas ruože Kybartai–Vaidotai esant skirtingai sąstato masei

Iš 24 ir 25 paveikslų matyti, kad sutaupomas energijos procentas, didėjant sąstato masei, didėja. Esant mažesnės masės sąstatams sutaupomos energijos procentas mažesnis, pastebimai padidėja vežant 3000 tonų ir didesnės masės sąstatus (apie 30 % energijos sutaupoma). Lyginant 3000, 4000 ir 5000 tonų masės sąstatus sutaupomos traukos energijos procentas didėja (kas 1000 tonų) apie 2 %.

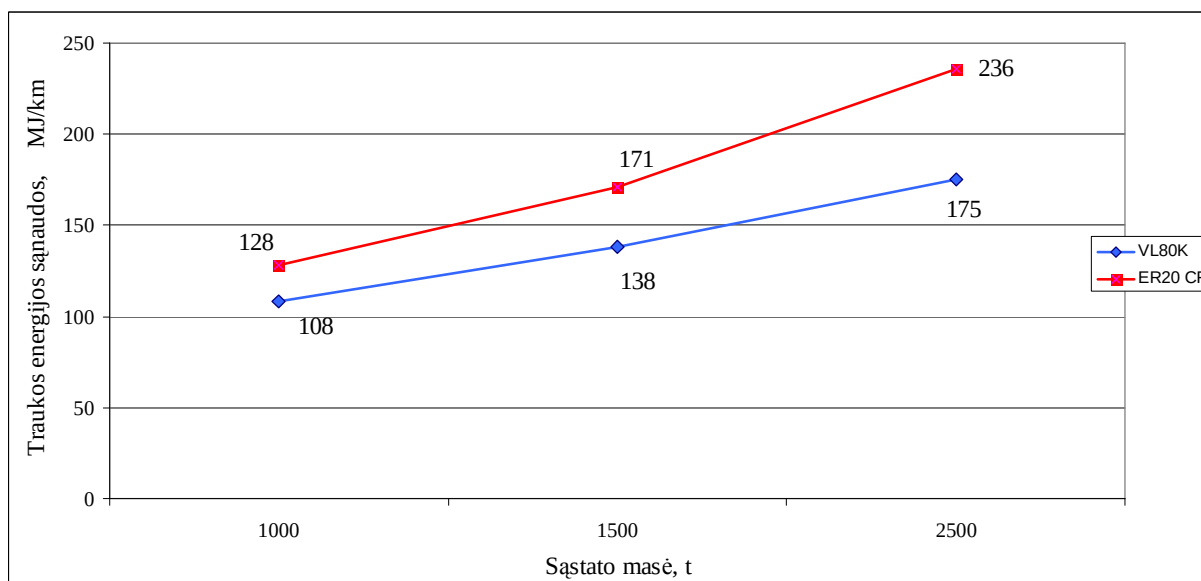
4.11. Elektrovezio VL80K ir šilumvezio „Siemens ER20 CF“ traukos energijos sąnaudų 1 km palyginimas

Sunaudojamos energijos kiekis vienam kilometrui, vežant įvairių masių sąstatus, vidutiniu 50 km/h greičiu, ruože Vaidotai–Kybartai pavaizduotas 26 paveiksle.



26 pav. Sunaudojamos energijos traukai kiekis vienam kilometrui, vežant įvairių masių sąstatus, ruože Vaidotai–Kybartai

Sunaudojamos energijos kiekis vienam kilometrui, vežant įvairių masių sąstatus, vidutiniu 50 km/h greičiu, ruože Kybartai–Vaidotai pavaizduotas 27 paveiksle.



27 pav. Sunaudojamos energijos traukai kiekis vienam kilometrui, vežant įvairių masių sąstatus, ruože Kybartai–Vaidotai

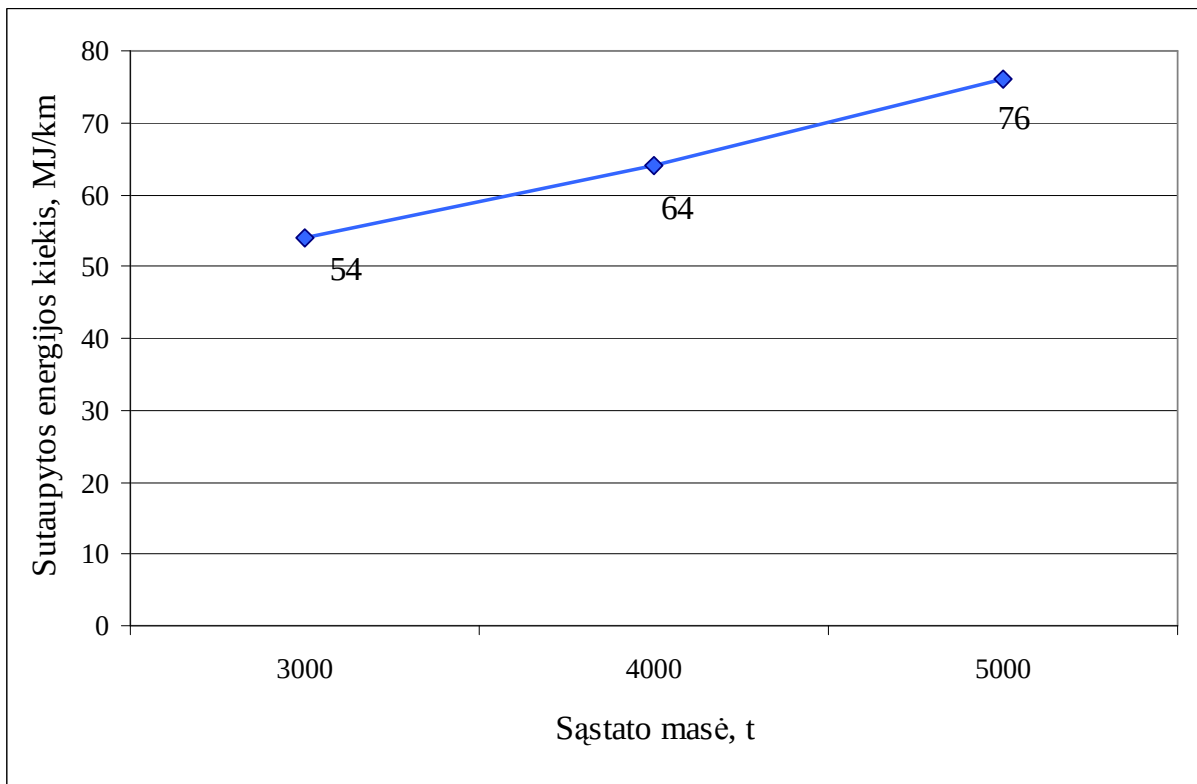
Nors iš 21 ir 22 paveikslų matyti, kad didėjant sąstato masei lyginamosios traukos energijos sąnaudos mažėja, tačiau iš 26 ir 27 paveikslų matyti, kad elektrovežio VL80K ir šilumvežio „Siemens ER20 CF“ traukos energijos sąnaudos 1 km didėjant sąstato masei didėja.

Sutaupytos energijos kiekis eksploatuojant elektrovežį VL80K lyginant su šilumvežiu „Siemens ER20 CF“ esant skirtingai sąstato masei pateiktas 4.11 lentelėje.

4.11 lentelė. Sutaupytos energijos kiekis eksploatuojant elektrovežį VL80K lyginant su šilumvežiu „Siemens ER20 CF“ esant skirtingai sąstato masei

Sąstato masė, t	Sutaupytos traukos energijos kiekis, MJ/km
	Lyginant elektrovežį VL80K su šilumvežiu „Siemens ER20 CF“
Vaidotai–Kybartai	
3000	54
4000	64
5000	76
Kybartai–Vaidotai	
1000	20
1500	32
2500	61

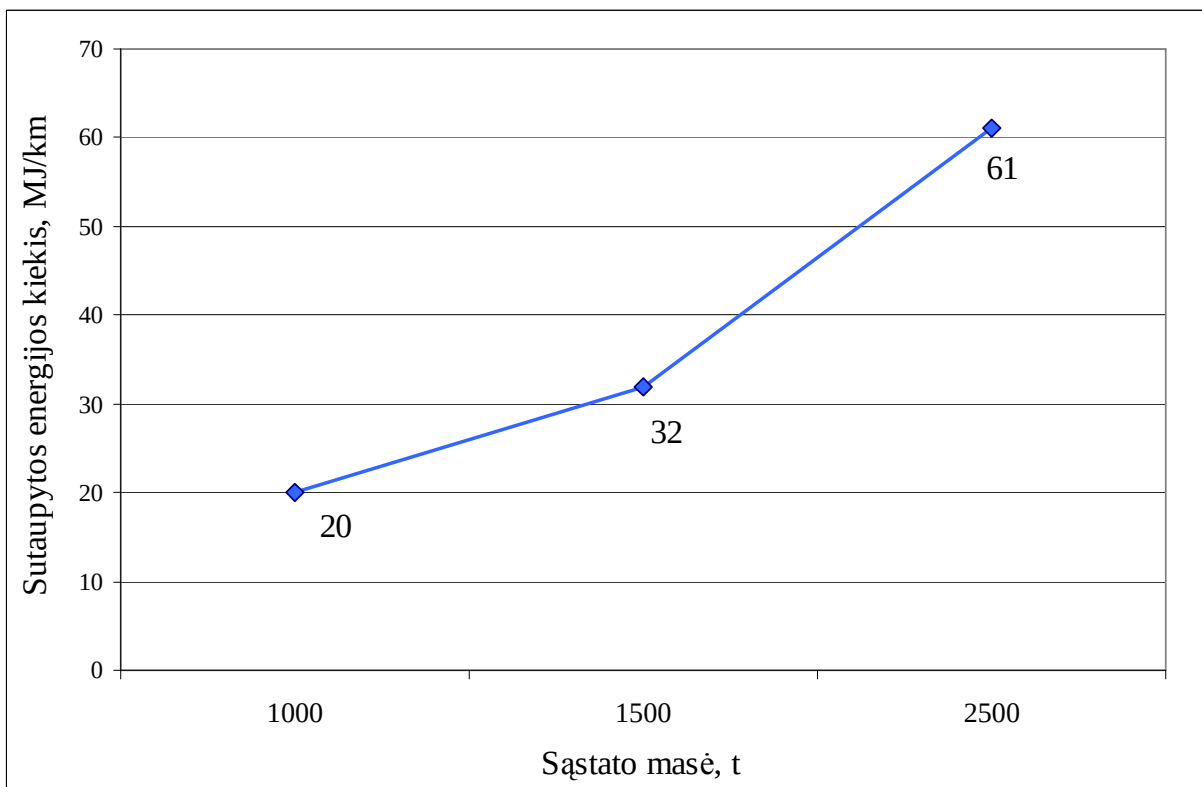
Pagal 4.11 lentelės duomenis gauname elektrovežio VL80K (lyginant su šilumvežio „Siemens ER20 CF“) sutaupyto traukos energijos grafiką esant skirtingai sąstato masei. Jis pavaizduotas 28 paveiksle.



28 pav. Elektrovežio sutaupyto energijos kiekis ruože Vaidotai–Kybartai, esant skirtingai sąstato masei

Iš 28 paveikslo matyti, kad didėjant sąstato masei elektrovežio sutaupomos energijos kiekis didėja. Padidėjus sąstato masei 1,7 karto sutaupyto energijos kiekis vienam kilometrui padidėjo 1,4 karto.

Ruože Kybartai–Vaidotai sutaupyto energijos traukai kiekis esant skirtingai sąstato masei, pavaizduotas 29 paveiksle.



29 pav. Elektrovezio sutaupyta energijos kiekis ruože Kybartai–Vaidotai, esant skirtingai sąstato masei

29 paveiksle matome, kad dėsningumai tokie patys kaip ir 28 paveiksle. Padidėjus sąstato masei 2,5 karto, sutaupyta energijos kiekis vienam kilometrui padidėjo 3 kartus.

4 skyriaus išvados

1. Elektrovezio VL80K energijos sąnaudos tuščiaja eiga yra 3 % mažesnės nei šilumvezio „Siemens ER20 CF“ energijos sąnaudos.
2. Didėjant sąstato ašių skaičiui elektrovezio VL80K ir šilumvezio „Siemens ER20 CF“ traukos energijos sąnaudų skirtumas taip pat didėja. Sąstatui sudarytam iš 284 ašių (esant 2500 t), elektrovezio lyginamosios traukos energijos sąnaudos mažesnės apie 32 %, o esant didesnei masei t.y. 4000 t traukos energijos sąnaudos mažesnės 39 %.
3. Didėjant vidutiniam traukinio greičiui elektrovezio VL80K sutaupomos energijos kiekis lyginant su šilumvežiu „Siemens ER20 CF“ didėja. Traukiniui važiuojant 30 km/h greičiu elektrovezis VL80K sutaupo apie 15 % traukos energijos, lyginant su šilumvežiu „Siemens ER20 CF“. Greičiui padidėjus iki 50 km/h sutaupomos energijos kiekis padidės iki 31 %.
4. Važiuojant traukiniui į 3,5 ‰ įkalnę elektrovezio energijos sąnaudos lyginant važiavimą nuokalne (-3,5 ‰), padidėjo 28 %, o šilumvezio 32 %. Taip pat pastebima, kad elektrovezis

VL80K lyginant su šilumvežiu „Siemens ER20 CF“ įkalnėse sutaupo 22 % energijos. Nuokalnėje sutaupoma 17 % energijos.

5. Esant mažesnės masės sąstatams elektrovežio sutaupomos energijos procentas mažesnis, pastebimai padidėja vežant 3000 tonų ir didesnės masės sąstatus (sutaupoma apie 30 % energijos). Lyginant 3000, 4000 ir 5000 tonų masės sąstatus sutaupomos traukos energijos procentas didėja (kas 1000 t) apie 2 %.

5. ŠILUMVEŽIO „SIEMENS ER 20 CF“ IR ELEKTROVEŽIO VL80K EKONOMINIS ĮVERTINIMAS

5.1. Ekonominio įvertinimo metodika

Lyginant šilumvežio „Siemens ER 20CF“ traukos energijos sąnaudas su elektrovežio VL80K energijos sąnaudomis konkrečiame geležinkelio ruože apskaičiuojama, kiek sutaupoma energijos nuvežant 10 000 tonų masės sąstatą vieną kilometrą, po to – lėšų, sutaupomų energijai, kiekį. Šios ekonominės įvertinimo metodikos esmė:

1. Apskaičiuoti vidutiniškai sutaupomą lėšų energijai kiekį per 10 000 tkm.
2. Apskaičiuoti lėšų energijai sutaupymą priklausomai nuo sąstato masės (183 km ridai).
3. Apskaičiuoti lėšų energijai sutaupymą kintant krovinių srautui.
4. Apskaičiuoti elektrifikacijos sąnaudas bei atsipirkimo laiką pagal sutaupytą lėšų kiekį traukos energijai.
5. Aprašyti ir pateikti gautus rezultatus. Skaičiavimai atliekami remiantis atlikta traukos energijos sąnaudų analize geležinkelio ruože Vaidotai–Kybartai ir Kybartai–Vaidotai.

5.2. Sutaupytų lėšų per 10 000 tkm apskaičiavimas

Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K vidutinės traukos energijos sąnaudos kg/10 000 tkm ir vidutinis sunaudojamų lėšų kiekis eurai/10 000 tkm bruto pateiktas 5.2.1 lentelėje.

5.2.1 lentelė. Šilumvežio „Siemens ER20“ ir elektrovežio VL80K vidutinės traukos energijos sąnaudos kg/10 000 tkm (kW/10 000 tkm) ir vidutinis sunaudojamų lėšų kiekis eurai/10 000 tkm bruto

Lokomotyvas	Vidutinės lyginamosios degalų sąnaudos, kg/10 000 tkm	Vidutinis sunaudojamų lėšų kiekis, eurai/10 000 tkm bruto
„Siemens ER20 CF“	18,05	19,75
	Vidutinės lyginamosios traukos energijos sąnaudos, kW/10 000 tkm	
VL80K	173,9	13,60

Pagal 5.2.1 lentelės duomenis nustatoma, kiek vidutiniškai sutaupoma lėšų, nuvežant 10 000 tonų vieną kilometrą lyginant šilumvežio ir elektrovežio traukos energijos sąnaudas. Pagal 11 formulę apskaičiuotas sunaudojamos traukos energijos vidurkis vežant įvairių masių sąstatus ruože Vaidotai–Kybartai ir Kybartai–Vaidotai.

Norint nustatyti šilumvežio vidutinį sunaudojamų lėšų kiekį, būtina sunaudotą degalų kiekį kilogramais išreikšti litrais. Žinant dyzelino tankį kg/l pagal 13 formulę apskaičiuojamas degalų kiekis litrais.

$$S_{\text{litrais}} = \frac{S_{\text{kg}}}{\rho_{\text{dyzelino}}}; \quad (13)$$

čia:

S_{litrais} – dyzelino sąnaudos, l;

S_{kg} - dyzelino sąnaudos, kg;

ρ_{dyzelino} – dyzelino tankis, (0,820-0,845 kg/l.)

Pagal 2010.04.21 ir 2010.04.26 dienų dyzelino kainų vidurkį pasirenkama, kad vidutinė dyzelino rinkos kaina mūsų šalyje yra 3,115 lito už litrą (0,9 EUR) [1].

Pagal 2010 duomenis pasirenkama, kad elektros energijos kaina traukai yra 0,27 lito už 1 kWh (0,078 EUR) [12].

Žinant šilumvežio sunaudojamų dyzelinių degalų kiekį litrais vežant 10 000 tkm bruto, padauginus iš vieno litro dyzelino kainos eurai, apskaičiuojamas vidutiniškai sunaudojamas lėšų kiekis, vežant vieną kilometrą 10 000 tonų ruože Vaidotai–Kybartai, Kybartai–Vaidotai. Atitinkamai apskaičiuojamos išlaidos ir elektrovežiui. Čia dauginama vidutinės energijos traukai sąnaudos kWh vežant 10000 tkm bruto iš vienos kilovatvalandės kainos eurai minėtame kelio ruože.

Sutaupomas lėšas eksploatuojant elektrovežį galima apskaičiuoti pagal 14 formulę:

$$e = E_E - E_{\xi}; \quad (14)$$

čia:

e – sutaupytos lėšos, EUR;

E_E – vidutinis elektrovežio sunaudojamų lėšų kiekis, EUR;

E_{ξ} – vidutinis šilumvežio sunaudojamų lėšų kiekis, EUR.

Pagal skaičiavimus, lyginant vidutines elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudas su šilumvežio „Siemens ER20 CF“ traukos energijos sąnaudomis, vežant 10 000 tkm sutaupoma 6,15 eurų.

5.3. Sutaupyty lėšų traukos energijai priklausomumas nuo sąstato masės

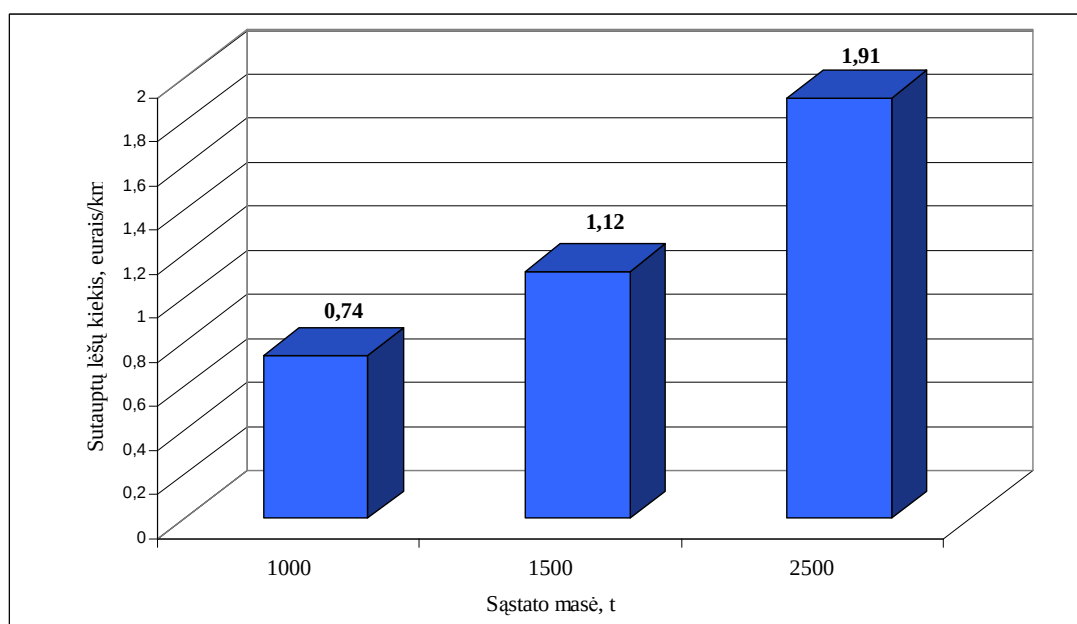
Nustatant sutaupytas lėšas vienam kilometrui pagal mases, įvertinami sutaupytos energijos kiekiai eksploatuojant elektrovežį VL80K lyginant su šilumvežiu „Siemens ER20 CF“ esant skirtingai sąstato masei (4.11 skyrius).

Sutaupomų lėšų kiekis geležinkelio ruože Vaidotai–Kybartai bei Kybartai–Vaidotai, esant skirtingai sąstato masei pateiktas 5.3 lentelėje.

5.3 lentelė. Sutaupyty lėšų kiekis lyginant su šilumvežiu „Siemens ER20 CF“, esant skirtingai sąstato masei

Kybartai–Vaidotai	
Sąstato masė tonomis	Sutaupyty lėšų kiekis eurai/km
1000	0,74
1500	1,12
2500	1,91
Vaidotai–Kybartai	
3000	1,62
4000	1,89
5000	2,19

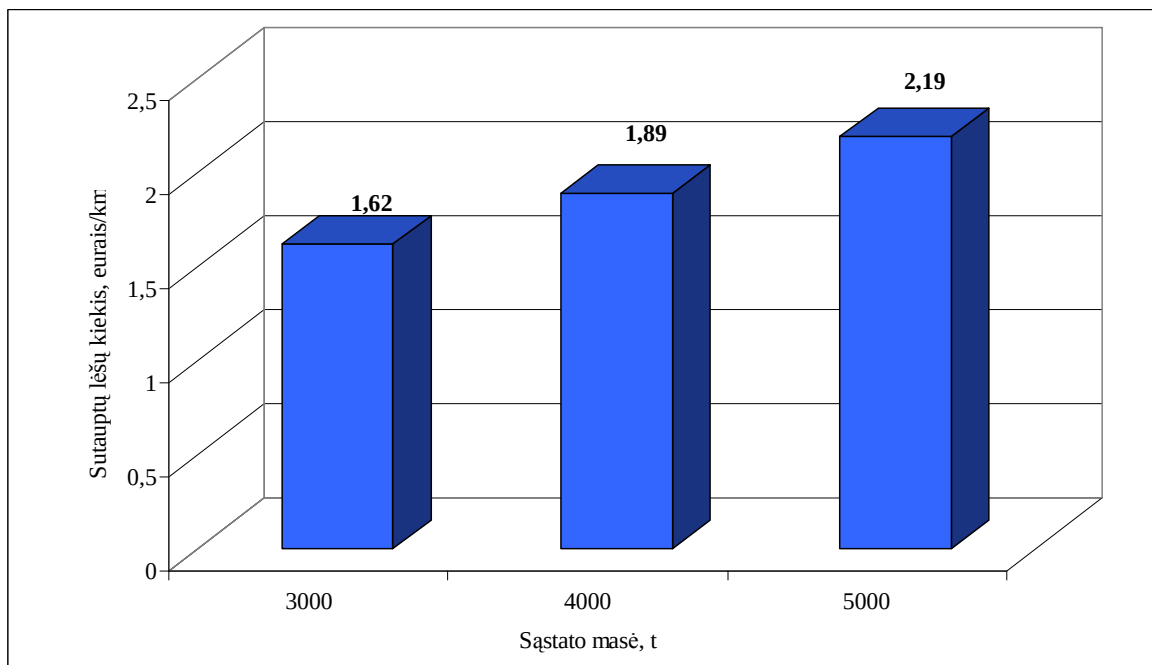
Kaip sutaupyty lėšų kiekis traukos energijai kinta priklausomai nuo sąstato masės ruože Kybartai – Vaidotai, pavaizduota 30 paveiksle.



30 pav. Elektrovežio sutaupyty lėšų kiekis traukos energijai, ruože Kybartai–Vaidotai, esant skirtingai sąstato masei

Iš 30 paveikslo matyti, kad sutaupoma daugiau lėšų vežant didesnių masių sąstatus. Padidėjus sąstato masei 1,7 karto, sutaupytų lėšų kiekis padidėjo 2,6 karto.

Sutaupytų lėšų kiekio traukos energijai kitimas, priklausomai nuo sąstato masės, ruože Vaidotai–Kybartai pavaizduotas 31 paveiksle.



31 pav. Elektrovezio sutaupytų lėšų kiekis traukos energijai, ruože Vaidotai–Kybartai, esant skirtingai sąstato masei

Iš 30 ir 31 paveikslų matyti, kad daugiau sutaupoma energijos vežant sunkesnius sąstatus: vežant 5000 tonų sąstatus ruože Vaidotai–Kybartai ir 2500 tonų sąstatus ruože Kybartai–Vaidotai.

Esant 5000 tonų sąstato masei elektrovezis sutaupo 2,19 eurus/km; Kybartai–Vaidotai ruože vežant 2500 tonų sąstatą – 1,91 eurų/km.

5.4. Metinio sutaupyto traukos energijos kiekio nustatymas

Metinės lėšos traukos energijai apskaičiuojamos pagal 15 formulę:

$$E = \frac{E_{\xi}}{l}; \quad (15)$$

čia:

E – lėšos traukos energijai, EUR;

E_{ξ} – lėšos šilumvezio „Siemens ER20 CF“ degalams, EUR;

l – elektrovežio vidutinio sunaudojamų lėšų kiekio santykis lyginant su „Siemens ER20 CF“ vidutiniu sunaudojamų lėšų kiekiu.

Žinodami kiek lokomotyvai „Siemens ER20 CF“ sunaudoja degalų [1], esant įvairioms krovinių apyvartoms per metus galima pagal 16 formulę apskaičiuoti reikalingą lėšų kiekį.

$$E = S_m \cdot k; \quad (16)$$

čia:

E – lėšos skirtos degalams, esant įvairioms krovinių apyvartoms per metus, EUR;

S_m – sunaudotas degalų kiekis esant įvairioms krovinių apyvartoms per metus, kg;

k – dyzelino kaina, EUR.

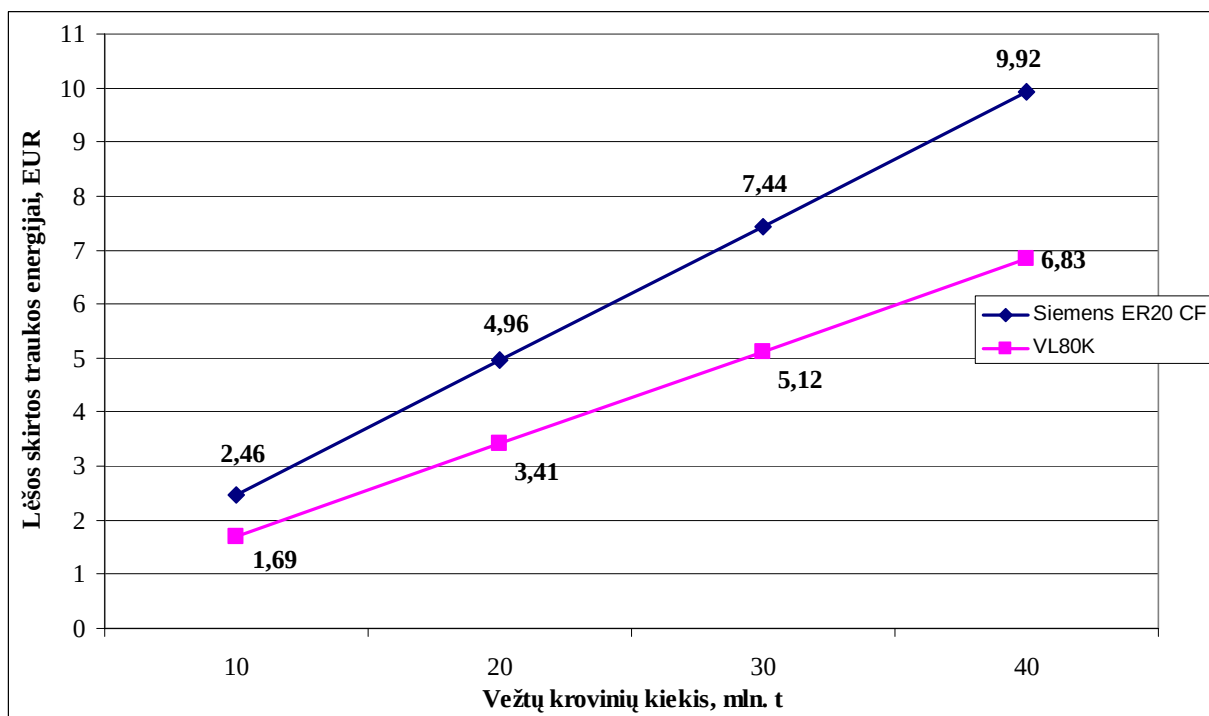
Apskaičiavus reikiamų lėšų kiekį degalams esant įvairioms krovinių apyvartoms per metus, pagal 16 formulę apskaičiuojame šias lėšas elektrovežiui VL80K.

Lėšos traukos energijai kintant krovinių apyvartai pateikiamos 5.4 lentelėje.

5.4 lentelė. Lėšos traukos energijai kintant krovinių apyvartai

Lokomotyvas	Krovinių kiekis per metus, mln. tonų	Išlaidos energijai - degalams, mln. eurų
ER20 CF	10	2,46
VL80K		1,69
ER20 CF	20	4,96
VL80K		3,41
ER20 CF	30	7,44
VL80K		5,12
ER20 CF	40	9,92
VL80K		6,83

Iš 5.4 lentelės duomenų sudaromas grafikas, kuris parodo kaip kinta lėšų kiekis traukos energijai, kintant krovinių vežimo kiekiui. Grafikas pavaizduotas 32 paveiksle.

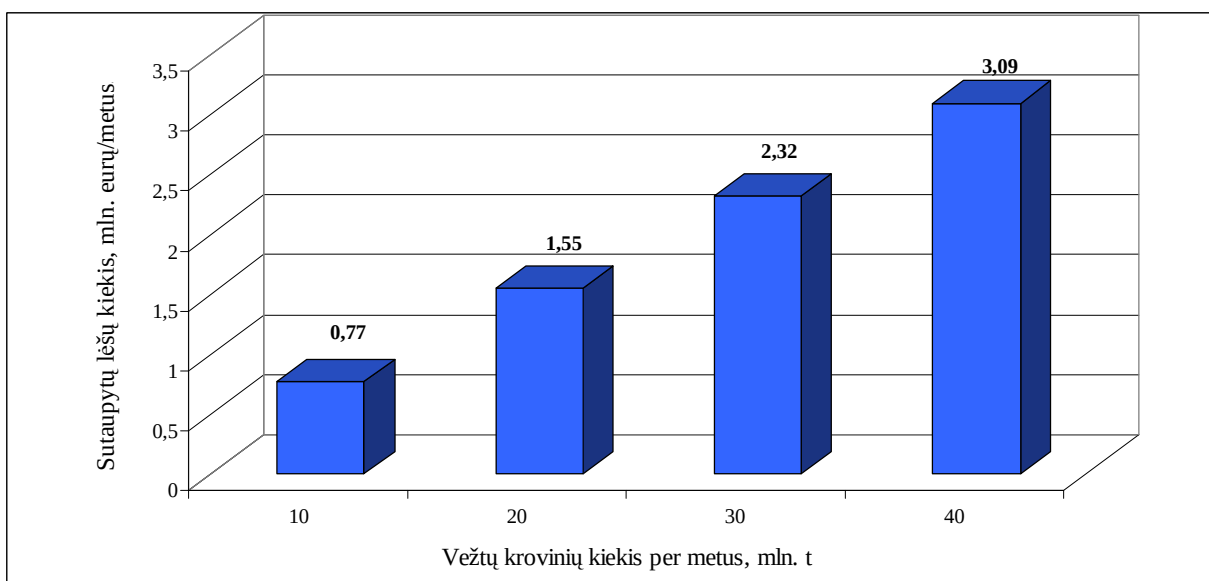


32 pav. Lėšų, skirtų traukos energijai, priklausomybė nuo vežtų krovinių kiekio per metus

Iš 32 paveikslo matyti, kad didėjant vežtų krovinių kiekiui, elektrovežio ekonomiškumas lyginant su šilumvežiu taip pat didėja.

Iš 5.4 lentelės duomenų gaunamas elektrovežio sutaupytų lėšų kiekis per metus, vežant skirtingus krovinių kiekius.

Sutaupytų lėšų kiekis per metus, esant įvairiam vežtų krovinių kiekiui per metus, pateiktas 33 paveiksle.



33 pav. Sutaupytų lėšų kiekis, esant skirtingam vežtų krovinių kiekiui per metus

Iš 33 paveikslo matyti, kad elektrovežis VL80K lyginant su šilumvežiu „Siemens ER20 CF“, kai vežtų krovinių kiekis 10 mln. tonų, sutaupo 0,77 mln. eurų, o vežant 40 mln. tonų 3,09 mln. eurų.

5.5. Sąnaudų elektrifikacijai prognozė

2 skyriuje atlikus Lietuvos geležinkelių linijų elektrifikacijos galimybių tikslingumo atrankos analizę buvo nustatyta ekonomiškai efektyviausia elektrifikacijos kryptis, kurios įgyvendinimas sąlygoja tokias investicijas: infrastruktūra, riedmenys, depai.

5.5.1. Išlaidos infrastruktūrai

Įgyvendinant alternatyvą numatyta elektrifikuoti šiuos ruožus: Kena–Vilnius–Kaišiadorys–Radviliškis–Šiauliai–Klaipėda (Draugystė), v.s.–Kena–Vilnius–Kaišiadorys–Kaunas–Kazlų Rūda–Kybartai–v.s., Kūžiai–Mažeikiai–Bugeniai, Gaižiūnai–Palemonas, Lentvaris–Sen.Trakai–Trakai (rekonstrukcija), Kyviškės–Vaidotai–Paneriai, Palemonas–Rokai–Jiesia

Infrastruktūros sąnaudos pateiktos 5.5.1 lentelėje [4]

5.5.1 lentelė. Infrastruktūros sąnaudos

Pavadinimas	Mato vnt.	Kiekis	Kaina, eurai	Suma, eurai
Pastotės	kompl.	14	4.875.201,08	68.252.815,12
Lauko įrenginiai	km	961	106.118,41	101.979.793,11
Montavimo darbai	kompl.	1		51.069.782,14
Projektavimas	%	0,05		8.511.630,36
Užsakovo rezervas	%	0,1		22.981.401,96
Galutinė suma				252.795.421,60

Iš 5.5.1 lentelės duomenų matome, kad didžiausią infrastruktūros išlaidų dalį sudaro lauko įrenginiai, pastotės bei montavimo darbai.

5.5.2. Išlaidos riedmenims

Siekiant užtikrinti saugų ir patikimą krovinių vežimą, įgyvendinant siūlomą elektrifikaciją, numatoma įsigyti naujus krovinius riedmenis, kurių įsigijimo išlaidos pateiktos 5.5.2 lentelėje.

5.5.2 lentelė. Elektrovežių pirkimo išlaidos [4].

Pavadinimas	Mato vnt	Skaičius	Vieno elektrovežio kaina, EUR	Suma, EUR
Elektrovežis	vnt.	100	2.500.000,0	250.000.000,0
		150		375.000.000,0

Pagal esamą krovinių vežimo apyvartą (žr. 2.4 skyrių) planuojama, kad reikės 100 elektrovežių, tačiau prognozuojama, kad iki 2015 krovinių vežimas padidės apie 1,3 karto, todėl ateityje reikės daugiau elektrovežių. Numatyta įsigyti 150 elektrovežių, jeigu krovinių srantai viršys 1,3 karto esamus krovinių srautus.

5.5.3. Išlaidos depams

Įgyvendinant alternatyvą elektrinių riedmenų eksploatacijai numatyta įrengti du depus:

- N.Vilnios depą;
- Radviliškio depą;

N.Vilnios depo įrengimo išlaidos pateiktos 5.5.3 lentelėje

5.5.3 lentelė. N.Vilnios depo įrengimo išlaidos

Pavadinimas	Mato vnt.	Kiekis	Išlaidos, EUR	Suma, EUR
Žemė	ha	10	-	-
Pastatai	vnt.	3	579.240,04	1.737.720,11
Keliai	km	6	289.620,02	1.737.720,11
Elektrifikuota linija	km	15	101.367,01	1.520.505,10
Valdymo centras	vnt.	1	579.240,04	579.240,04
Įrenginiai	kompl.	3	492.354,03	1.477.062,09
Galutinė suma				7.052.247,45

Radviliškio depo įrengimo išlaidos pateiktos 5.5.4 lentelėje

5.5.4 lentelė. Radviliškio depo įrengimo išlaidos

Pavadinimas	Mato vnt.	Kiekis	Kaina, eurai	Suma, eurai
Žemė	ha	25	579,24	14.481,00
Pastatai	vnt.	3	579.240,04	1.737.720,11
Keliai	km	10	289.620,02	289.6200,2
Elektrifikuota linija	km	10	101.367,01	1.013.670,1
Valdymo centras	vnt.	1	579.240,04	579.240,04
Įrenginiai	kompl.	3	492.354,03	1.477.062,09
Galutinė suma				7.718.373,49

Iš 5.5.3 ir 5.5.4 lentelių matyti, kad abiejų depų įrengimo išlaidos panašios (7 mln. eurų).

Galutinės elektrifikacijos t.y. infrastruktūros, riedmenų bei depų įrengimo išlaidos esant 100 elktrovežiams sudaro 518 mln. eurų, jeigu perkama 150 elektrovežių sudaro 583 mln. eurų.

5.6 Elektrifikacijos atsipirkimo laiko pagal sutaupytą lėšų kiekį traukos energijai nustatymas

Norint nustatyti elektrifikacijos atsipirkimo laiką reikia žinoti sutaupytų lėšų kiekį, pagal lokomotyvo atliktą darbą per metus.

Sutaupytų lėšų kiekis apskaičiuojamas pagal 17 formulę:

$$e_s = \frac{A}{10000} \cdot e; \quad (17)$$

čia:

e_s – sutaupytų lėšų kiekis, EUR;

A - šilumvežio „Siemens ER20 CF“ atliktų darbų apimtys per metus, tkm;

e – sutaupytas lėšų kiekis, EUR.

Duomenys imami iš 5.2.2 lentelės ir šilumvežių eksploatacijos ataskaitos [9].

Elektrovežio VL80K per metus sutaupytų lėšų kiekis traukos energijai pagal šilumvežio „Siemens ER20 CF“ atliktą darbą pateiktas 5.6.1 lentelėje.

5.6.1 lentelė. Elektrovežio VL80K sutaupytų lėšų kiekis traukos energijai per metus

Vieno elektrovežio atliktas darbas per metus, mlrd. tkm	Sutaupyta lėšų kiekis, EUR
0,4	246000
0,5	307500
0,6	369000
0,7	430500

Pagal sutaupytą lėšų kiekį vežant skirtingą krovinių kiekį per metus nustatoma elektrifikacijos atsipirkimo laikas.

Elektrifikacijos atsipirkimo laikas apskaičiuojamas pagal 18 formulę:

$$T_{ats} = \frac{E_{el}}{n \cdot e_s} \quad (18)$$

čia:

e_s – vieno elektrovežio sutaupytų lėšų kiekis per metus, EUR;

n – numatytas elektrovežių skaičius;

E_{el} – elektrifikacijos kaina, EUR.

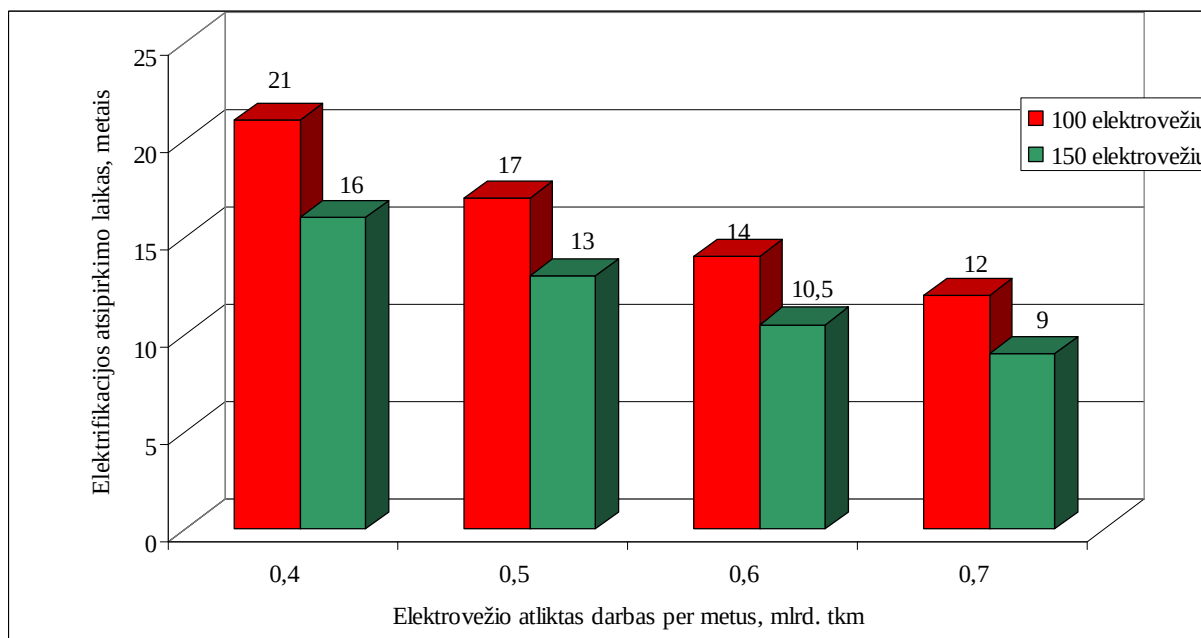
Per kiek aliko elektrifikacija atsipirks pagal sutaupytą traukos energijos kiekį, esant skirtingam elektrovežių skaičiui pateikiama 5.6.2 lentelėje.

5.6.2 lentelė. Elektrifikacijos atsipirkimo pagal sutaupytą traukos energijos kiekį, esant skirtingam elektrovežių skaičiui

Vieno elektrovežio atliktas darbas per metus, mlrd. tkm	Numatytas elektrovežių skaičius	Elektrifikacijos atsipirkimo laikas, metai
0,4	100	21
0,5		17
0,6		14
0,7		12
0,4	150	16
0,5		13
0,6		10,5
0,7		9

Pagal 5.6.2 lentelės duomenis sudaromas grafikas, vaizduojantis elektrifikacijos atsipirkimo laiką pagal sutaupytą energijos kiekį, eksploatuojant skirtingą elektrovežių skaičių.

Elektrifikacijos atsipirkimo laikas pagal sutaupytą energijos kiekį eksploatuojant skirtingą elektrovežių skaičių pavaizduotas 34 paveiksle.



34 paveikslas. Elektrifikacijos atsipirkimo laikas pagal sutaupytą energijos kiekį eksploatuojant skirtingą elektrovežių skaičių

Iš 34 paveikslo matyti, kad elektrifikacijos atsipirkimo laikas trumpėja, padidėjus elektrovežio atliktų darbų apimčiai (ar vežtų krovinių kiekiui) per metus: kuo daugiau vežama krovinių, tuo sutaupoma daugiau lėšų. Taip pat didelę įtaką atsipirkimo laiko trumpėjimui turi eksploatuojamų elektrovežių skaičius. Kai vieno elektrovežio darbas per metus siekia 0,4 mlrd. tkm bruto ir eksploatuojama 100 elektrovežių, elektrifikacija pagal sutaupytos traukos energijos kiekį atsiperka per 21 metus. Padinus eksploatuojamų elektrovežių kiekį iki 150, atsipirkimo laikas sutrumpėja iki 16 metų. Jeigu vieno elektrovežio darbas per metus siekia 0,7 mlrd. tkm bruto ir eksploatuojama 100 elektrovežių, elektrifikacija pagal sutaupytos traukos energijos kiekį atsiperka per 12 metų. Padinus eksploatuojamų elektrovežių kiekį iki 150, atsipirkimo laikas sutrumpėja iki 9 metų.

Reikia pabrėžti, kad :

- Degalų ir elektros kainų augimo nevienodumas gali įtakoti elektrifikacijos atsipirkimo laiką.
- Mažėjant krovinių vežimo apimtims atsipirkimo laikas ilgės, o didėjant trumpės.

- Elektrifikacijos atsipirkimo laikotarpis sąlyginai ilgas, nes įvertinta tik priklausomybė nuo sutaupytos traukos energijos kiekio (Neįvertinami elektrovežių galimi eksploataciniai ir techniniai greičiai, elektrovežių parko išlaikymo sąnaudos).

5 skyriaus išvados

1. Apskaičiuota, kad vežant 10 000 tkm, lyginant elektrovežio traukos energijos sąnaudas su šilumvežio traukos energijos sąnaudomis, vidutiniškai sutaupoma 6,15 eurų.

2. Eksploatuojant VL80K elektrovežius, kai krovinių kiekis per metus 40 mln. tonų, sutaupoma 3,09 mln. eurų, o kai krovinių kiekis per metus 10 mln. tonų 0,77 mln. eurų. Sumažėjus krovinių vežimo apimtims 4 kartus, sutaupytų lėšų kiekis sumažėja taip pat 4 kartus.

3. Kai eksploatuojama 100 elektrovežių ir kiekvieno jų darbas sudaro 0,4 mlrd. tkm bruto per metus, išlaidos geležinkelio elektrifikacijai pagal sutaupytas lėšas energijai atsipirks per 21 metus. Eksploatuojant 150 elektrovežių atsipirkimo laikas sumažėtų iki 16 metų.

Kai vieno elektrovežio darbas sudaro 0,7 mlrd. tkm bruto, tai eksploatuojant 100 elektrovežių jie atsipirks per 12 metų, o 150 elektrovežių – per 9 metus.

IŠVADOS

1. Šiluminės traukos riedmenys sudaro 95 % viso Lietuvos geležinkelių riedmenų parko, likusiuosius 5 % sudaro elektrinės traukos riedmenys. Elektrinės traukos riedmenimis vežami keleiviai, o šiluminės traukos riedmenimis vežami ne tik keleiviai, bet ir atliekami visi krovinių vežimai.

2. Nustatyta, kad elektrovežis VL80K lyginant su „Siemens ER20 CF“ šilumvežiu pagal vidutines lyginamąsias traukos energijos sąnaudas per 10 000 tkm sutaupo 195,7 MJ/10 000 tkm arba 25 % energijos.

3. Didėjant vidutiniam traukinio greičiui elektrovežio VL80K sutaupomos energijos kiekis lyginant su šilumvežiu „Siemens ER20 CF“ didėja. Traukiniui važiuojant 30 km/h greičiu elektrovežis VL80K sutaupo apie 15 % traukos energijos, lyginant su šilumvežiu „Siemens ER20 CF“. Greičiui padidėjus iki 50 km/h sutaupomos energijos kiekis padidės iki 31 %.

4. Važiuojant traukiniui į 3,5 ‰ įkalnę elektrovežio energijos sąnaudos lyginant važiavimą nuokalne (-3,5‰), padidėjo 28 %, o šilumvežio 32 %. Taip pat pastebima, kad elektrovežis VL80K lyginant su šilumvežiu „Siemens ER20 CF“ įkalnėse sutaupo 22 % energijos. Nuokalnėje sutaupoma 17 % energijos.

5. Apskaičiuota, kad vežant 10 000 tkm, lyginant elektrovežio traukos energijos sąnaudas su šilumvežio traukos energijos sąnaudomis, vidutiniškai sutaupoma 6,15 eurų.

6. Eksploatuojant VL80K elektrovežius, kai krovinių kiekis per metus 40 mln. tonų, sutaupoma 3,09 mln. eurų, o kai krovinių kiekis per metus 10 mln. tonų 0,77 mln. eurų. Sumažėjus krovinių vežimo apimtims 4 kartus, sutaupyto lėšų kiekis sumažėja taip pat 4 kartus.

7. Kai eksploatuojama 100 elektrovežių ir kiekvieno jų darbas sudaro 0,4 mlrd. tkm bruto per metus, išlaidos geležinkelio elektrifikacijai pagal sutaupytas lėšas energijai atsipirks per 21 metus. Eksploatuojant 150 elektrovežių atsipirkimo laikas sumažėtų iki 16 metų.

Kai vieno elektrovežio darbas sudaro 0,7 mlrd. tkm bruto, tai eksploatuojant 100 elektrovežių jie atsipirks per 12 metų, o 150 elektrovežių - per 9 metus.

8. Elektrovežio ir šilumvežio traukos energijos sąnaudos buvo vertinamos pagal vienodas sąstatų mases ir greičius su abiem lokomotyvais. Elektrovežio galimybės leidžia traukti didesnių masių sąstatus bei didesniais greičiais, todėl tolimesnių tyrimų kryptys - dar labiau sumažinti elektrifikacijos atsipirkimo laiką, išnaudojant galimybes vežti didesnius sąstatus ir didesniais greičiais.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. AB „Lietuvos geležinkeliai“. Naftos produktų, pirktų iš UAB „SBA naftos kompanija“ per 2009–2010 m. ataskaita.
2. L. P. Lingaitis, L. Liudvinavičius ir kt. Geležinkeliai. Bendras kursas. Vilnius. 2009, 280 p.
3. Interneto svetainė. <http://www.litrail.lt>.
4. A. Gaudry, J.M. Giely, C.Laloge. Techninė pagalba Lietuvos geležinkelių linijų elektrifikacijai. 2005. 311 p.
5. A. Šakalys. Lietuvos transporto ir tranzito plėtros strategija. Projektas. Vilnius, 2006.
6. AB „Lietuvos geležinkeliai“. Prekinių traukinių važiavimo grafinės diagramos. Vilniaus lokomotyvų depas. 2007-2008.
7. AB „Lietuvos geležinkeliai“. Radviliškio lokomotyvu depo lokomotyvų paros panaudojimo suvestinė (2009-2010 metai).
8. „Siemens“ AG. Vairuotojui skirta transporto priemonės instrukcija Euro Runner LG ER20 CF. 2008. 12 p.
9. AB „Lietuvos geležinkeliai“ „Eksplotacijos ataskaita“ forma T-10.
10. AB „Lietuvos geležinkeliai“. Bandomieji dyzelino normų skaičiavimai, taikant šilumvežių ir dyzelinių traukinių dyzelino normų nustatymo metodikos 16/T formules ir rekomendacijas. Vilnius. 2002.
11. AB „Lietuvos geležinkeliai“. Naftos produktų apskaitos žurnalas. Vilniaus lokomotyvų depas. 2007-2008, 245 p.
12. AB „Lietuvos geležinkeliai“. Elektros tiekimo ir elektrifikacijos įrengimų analizė. 2010.
13. G. Bureika. Riedmenų traukos teorija. Paskaitų tekstas. Vilnius, 1998. 64, 83 p.
14. L. P. Lingaitis. Biodyzelino naudojimo galimybių tyrimas. Ataskaita. 2008. 64 p.
15. Interneto svetainė www.transportlearning.net.
16. Interneto svetainė www.mokslasirtechnika.lt.
17. O. Konoplia. Elektrovežių panaudojimo Lietuvos geležinkeliuose techninių galimybių tyrimas. Magistro kvalifikacinio laipsnio baigiamasis darbas. 2006. 71 p.
18. С. И. Осипов, К. А. Миронов, В. И. Ревич. Основы локомотивной тяги. Транспорт, 1979. 440 с.
19. Н. С. Конарев. Большая энциклопедия транспорта. Железнодорожный транспорт. 2003. 1020 с.

20. В. С. Молярчук, Л. Г. Мурзин, Е. М. Юбаева, С. Д. Шварцман. Пособие теплоэнергетику железнодорожного транспорта. Транспорт, 1973. 392 с.

21. Р. В. Малов и др. Техничко – екологические характеристики тепловозов. Транспорт, 1981. 31-37 с.

1 PRIEDAS

Redukuoto ruožo Vaidotai–Kybartai skaičiavimai ir rezultatai

Redukavimas atliekamas pagal (1) formulę. Tarpstočių duomenys (įkalnės ilgis, statumas nuokalnės – ilgis, nuolydis) imami iš prekinių traukinių važiavimo grafinės diagramos [6].

Tarpstotis Kybartai–Vilkaviškis

$$\begin{aligned} i_r = & -1,9 \cdot 279 + (-2,8 \cdot 200) + (-6,0 \cdot 200) + (-3,9 \cdot 200) + (-5,9 \cdot 200) + (4,8 \cdot 500) + (5,4 \cdot 600) + \\ & + (-3,9 \cdot 203) + (0,0 \cdot 318) + (4,7 \cdot 839) + (2,3 \cdot 540) + (1,5 \cdot 200) + (0,0 \cdot 200) + (-2,0 \cdot 220) + (5,4 \cdot 480) + \\ & + (4,0 \cdot 200) + (0,0 \cdot 200) + (4,8 \cdot 1400) + (1,1 \cdot 300) + (0,0 \cdot 300) + (-0,9 \cdot 200) + (0,0 \cdot 500) + (-0,9 \cdot 400) + \\ & + (-3,0 \cdot 600) + (-4,5 \cdot 600) + (0,0 \cdot 318) + (-33,4 \cdot 200) + (-4,8 \cdot 300) + (4 \cdot 200) + (0,0 \cdot 200) + (0,6 \cdot 300) + \\ & + (2,2 \cdot 300) + (4,7 \cdot 400) + (2,6 \cdot 200) + (3,9 \cdot 500) + (2,4 \cdot 250) + (0,0 \cdot 217) + (-2,1 \cdot 433) + (-3,6 \cdot 450) + \\ & + (-2,1 \cdot 750) + (-2,8 \cdot 600) + (-1,2 \cdot 300) + (0,0 \cdot 481) + (3,4 \cdot 241) + (5,5 \cdot 278) + (2,8 \cdot 200) + (0,0 \cdot 500) + \\ & + (0,6 \cdot 1195) = \frac{-1990,7}{14175} = -0,14. \end{aligned}$$

Tarpstotis Vilkaviškis–Pilviškiai:

$$\begin{aligned} i_r = & -2,1 \cdot 210 + (4,9 \cdot 695) + (4,2 \cdot 500) + (2,3 \cdot 200) + (0,0 \cdot 400) + (-2,6 \cdot 500) + (5,4 \cdot 600) + (1,7 \cdot 300) + \\ & + (0,0 \cdot 300) + (0,0 \cdot 1000) + (0,3 \cdot 300) + (0,0 \cdot 700) + (-1,4 \cdot 200) + (-4,5 \cdot 500) + (-5,8 \cdot 600) + \\ & + (3,4 \cdot 200) + (-1,3 \cdot 400) + (-0,2 \cdot 300) + (-0,7 \cdot 200) + (-1,6 \cdot 200) + (-1,2 \cdot 900) + (-3,3 \cdot 300) + \\ & + (-4,3 \cdot 400) + (-3 \cdot 1000) + (-2,4 \cdot 400) + (1,6 \cdot 400) + (0,9 \cdot 200) + (0,0 \cdot 200) + (0,6 \cdot 300) + \\ & + (0,5 \cdot 300) = \frac{34023,5}{6035} = -5,64. \end{aligned}$$

Tarpstotis Pilviškiai–Kazlų Rūda:

$$\begin{aligned} i_r = & 1,2 \cdot 1000 + (3,4 \cdot 500) + (1,6 \cdot 700) + (1,0 \cdot 400) + (0,0 \cdot 400) + (0,6 \cdot 500) + (0,0 \cdot 570) + (0,2 \cdot 200) + \\ & + (1,3 \cdot 300) + (3,5 \cdot 200) + (1,9 \cdot 550) + (0,3 \cdot 664) + (-3,7 \cdot 886) + (1,6 \cdot 200) + (0,0 \cdot 250) + (1,1 \cdot 250) + \\ & + (1,2 \cdot 900) + (1,7 \cdot 1100) + (2,4 \cdot 500) + (1,8 \cdot 400) + (2,9 \cdot 900) + (1,8 \cdot 200) + (0,0 \cdot 1000) + (1,3 \cdot 200) + \\ & + (4,6 \cdot 700) + (3,8 \cdot 400) + (0,0 \cdot 300) + (2,8 \cdot 230) + (4,5 \cdot 770) + (-0,7 \cdot 1200) = \frac{17139}{23116} = 0,74. \end{aligned}$$

Tarpstotis Kazlų Rūda–Jūrė

$$\begin{aligned}i_r &= 0,3 \cdot 200 + (-1,1 \cdot 600) + (1,4 \cdot 800) + (1,0 \cdot 400) + (-0,6 \cdot 300) + (-1,6 \cdot 400) + (-2,3 \cdot 800) + \\&+ (-0,6 \cdot 300) + (0,0 \cdot 400) + (1,1 \cdot 200) + (3,0 \cdot 200) + (4,4 \cdot 700) + (4,9 \cdot 700) + (-3,1 \cdot 200) = \\&= \frac{4790}{7680} = 0,62.\end{aligned}$$

Trpstotis Jūrė–Mauručiai:

$$\begin{aligned}i_r &= 0,0 \cdot 400 + (-1,1 \cdot 200) + (0,0 \cdot 300) + (1,5 \cdot 400) + (2,1 \cdot 400) + (1,2 \cdot 300) + (0,0 \cdot 436) + (1,1 \cdot 264) + \\&+ (2,3 \cdot 700) + (1,8 \cdot 800) + (1,3 \cdot 400) + (2,1 \cdot 200) + (4,3 \cdot 400) + (5,9 \cdot 200) + (4,2 \cdot 300) + (5,3 \cdot 900) + \\&+ (5,0 \cdot 650) + (1,5 \cdot 550) + (0,0 \cdot 582) = \frac{6205,4}{10200} = 0,61.\end{aligned}$$

Tarpstotis Mauručiai–Jiesia:

$$\begin{aligned}i_r &= -2,3 \cdot 418 + (-4,7 \cdot 500) + (-5,6 \cdot 500) + (-4,8 \cdot 2320) + (-5,5 \cdot 980) + (-3,7 \cdot 200) + (-4,8 \cdot 600) + \\&+ (-5,2 \cdot 500) + (-4,2 \cdot 300) + (-6,0 \cdot 500) + (-4,2 \cdot 200) + (-5,0 \cdot 400) + (-3,6 \cdot 200) + (-5,5 \cdot 1100) + \\&+ (-2,5 \cdot 394) + (-1,2 \cdot 200) + (0,6 \cdot 200) = \frac{-42030}{12600} = -3,34.\end{aligned}$$

Tarpstotis Jiesia–Rokai:

$$\begin{aligned}i_r &= 0,0 \cdot 200 + (-1,0 \cdot 200) + (5,9 \cdot 100) + (3,4 \cdot 100) + (6,5 \cdot 200) + (7,1 \cdot 300) + (-8,3 \cdot 100) + \\&+ (5,6 \cdot 100) + (2,4 \cdot 100) + (6,7 \cdot 500) + (5,7 \cdot 300) + (7,1 \cdot 200) + (-6,4 \cdot 200) + (7,5 \cdot 400) + \\&+ (-6,0 \cdot 300) + (7,3 \cdot 200) + (3,7 \cdot 100) + (0,0 \cdot 600) = \frac{12360}{3400} = 3,65.\end{aligned}$$

Tarpstotis Rokai–Palemonas:

$$\begin{aligned}
 i_r = & (0,2 \cdot 200) + (-2,1 \cdot 500) + (-8,4 \cdot 200) + (-6,5 \cdot 200) + (-4,2 \cdot 100) + (-7,5 \cdot 200) + (0,4 \cdot 200) + \\
 & + (1,5 \cdot 100) + (0,4 \cdot 200) + (1,5 \cdot 100) + (0,4 \cdot 200) + (-6,6 \cdot 300) + (7,1 \cdot 200) + (-5,2 \cdot 300) + \\
 & + (6,3 \cdot 200) + (1,5 \cdot 100) + (1 \cdot 100) + (4,5 \cdot 300) + (1,5 \cdot 200) + (-14,8 \cdot 300) + (0 \cdot 200) + (-1,1 \cdot 200) + \\
 & + (0,4 \cdot 200) + (3,7 \cdot 100) + (6,6 \cdot 200) + (7,6 \cdot 200) + (5,5 \cdot 200) + (5,7 \cdot 300) + (6 \cdot 200) + (5,9 \cdot 200) + \\
 & + (6,3 \cdot 400) + (3,9 \cdot 100) + (0 \cdot 400) + (1 \cdot 200) + (1,2 \cdot 200) + (2,3 \cdot 300) + (4,1 \cdot 200) + (8,3 \cdot 200) + \\
 & + (7,5 \cdot 200) + (4,7 \cdot 400) + (-3,0 \cdot 400) + (2,6 \cdot 300) + (3,4 \cdot 400) + (0 \cdot 100) + (-0,8 \cdot 300) + \\
 & + (2,8 \cdot 200) + (-1,4 \cdot 189) = \frac{8669}{10989} = 0,79
 \end{aligned}$$

Tarpstotis Palemonas–Pravieniškės

$$\begin{aligned}
 i_r = & 1,5 \cdot 311 + (1,0 \cdot 300) + (0,0 \cdot 600) + (-0,8 \cdot 300) + (1,4 \cdot 400) + (0,5 \cdot 200) + (1,0 \cdot 500) + (0 \cdot 375) + \\
 & + (-1,6 \cdot 325) + (1,2 \cdot 900) + (0,0 \cdot 500) + (0,6 \cdot 366) + (1,5 \cdot 334) + (2,5 \cdot 456) + (0,0 \cdot 1000) + (0,9 \cdot 300) + \\
 & + (2,7 \cdot 1200) + (0,4 \cdot 400) + (0,0 \cdot 900) + (-1,0 \cdot 800) + (0,0 \cdot 1250) = \frac{3661}{5526} = 0,66.
 \end{aligned}$$

Tarpstotis Pravieniškės–Kaišiadorys

$$\begin{aligned}
 i_r = & -2,6 \cdot 550 + (-1,7 \cdot 400) + (0,0 \cdot 200) + (1,8 \cdot 300) + (5,3 \cdot 700) + (4,1 \cdot 300) + (0,0 \cdot 200) + (-1,0 \cdot 330) + \\
 & + (0,0 \cdot 200) + (-0,4 \cdot 400) + (4,4 \cdot 400) + (5,4 \cdot 400) + (4,2 \cdot 300) + (0,0 \cdot 300) + (2,1 \cdot 900) + (0,0 \cdot 200) + \\
 & + (3,2 \cdot 200) + (4,9 \cdot 600) + (5,4 \cdot 600) + (5,3 \cdot 800) + (4,4 \cdot 300) + (3,6 \cdot 700) + (4,3 \cdot 750) + (0,2 \cdot 200) + \\
 & + (-4,3 \cdot 850) + (-2,6 \cdot 300) + (1,5 \cdot 200) + (0,0 \cdot 263) + (-4,6 \cdot 237) + (-5,6 \cdot 400) = \frac{20689}{17250} = 1,20.
 \end{aligned}$$

Tarpstotis Kaišiadorys–Žasliai

$$\begin{aligned}
 i_r = & 0,0 \cdot 272 + (1,2 \cdot 200) + (5,7 \cdot 400) + (5,3 \cdot 300) + (4,8 \cdot 200) + (5,8 \cdot 800) + (4,0 \cdot 400) + (5,0 \cdot 1100) + \\
 & + (6,1 \cdot 600) + (4,4 \cdot 500) + (1,0 \cdot 200) + (-2,6 \cdot 200) + (0,0 \cdot 200) + (5,7 \cdot 800) + (0,2 \cdot 800) + \\
 & + (-0,7 \cdot 400) + (-1,8 \cdot 240) + (-1,5 \cdot 210) + (5,0 \cdot 450) + (2,6 \cdot 300) + (-0,6 \cdot 200) = \frac{28953}{8763} = 3,3.
 \end{aligned}$$

Tarpstotis Žaslai–Vievis

$$i_r = 0,8 \cdot 600 + (1,7 \cdot 200) + (4,3 \cdot 600) + (4,6 \cdot 300) + (4,0 \cdot 400) + (-2,0 \cdot 200) + (-4 \cdot 300) + (-5,0 \cdot 900) + \\ + (-4,7 \cdot 700) + (-5,6 \cdot 550) + (2,6 \cdot 250) + (2,6 \cdot 250) + (0,8 \cdot 200) + (2,8 \cdot 200) + (5,5 \cdot 300) + (5,0 \cdot 350) + \\ + (1,5 \cdot 250) + (0,0 \cdot 400) + (1,4 \cdot 200) + (1,7 \cdot 500) + (0,0 \cdot 300) + (1,7 \cdot 550) + (5,2 \cdot 950) + (4 \cdot 800) + \\ + (0,0 \cdot 600) + (-1,6 \cdot 200) + (1 \cdot 200) + (0,2 \cdot 800) + (2 \cdot 400) + (-0,6 \cdot 200) = \frac{12260}{13750} = 0,89.$$

Tarpstotis Vievis–Lentvaris

$$i_r = 1,2 \cdot 200 + (0,6 \cdot 400) + (-2,8 \cdot 200) + (-5,2 \cdot 300) + (-1,4 \cdot 200) + (-2,6 \cdot 300) + (-3,2 \cdot 400) + \\ + (-2,5 \cdot 200) + (-0,1 \cdot 300) + (2,4 \cdot 200) + (4,3 \cdot 300) + (3 \cdot 200) + (0,0 \cdot 300) + (-1,5 \cdot 200) + (5,0 \cdot 200) + \\ + (3,6 \cdot 230) + (0,3 \cdot 200) + (0,6 \cdot 200) + (0,4 \cdot 300) + (3,1 \cdot 400) + (4,7 \cdot 200) + (5,8 \cdot 400) + (5,1 \cdot 500) + \\ + (5,2 \cdot 400) + (4,5 \cdot 400) + (5,4 \cdot 500) + (4,4 \cdot 200) + (2,9 \cdot 300) + (0,7 \cdot 300) + (0,8 \cdot 200) + (0,0 \cdot 500) + \\ + (1,4 \cdot 500) + (2,8 \cdot 250) + (0,3 \cdot 220) + (3,6 \cdot 230) + (2,2 \cdot 200) + (5,2 \cdot 500) + (1,8 \cdot 300) + (3,0 \cdot 600) + \\ + (2,5 \cdot 200) + (0,0 \cdot 4,6) + (1,3 \cdot 200) + (5,0 \cdot 360) + (3,6 \cdot 200) + (5,5 \cdot 440) + (4,6 \cdot 200) + (6,6 \cdot 200) + \\ + (4,3 \cdot 300) + (1,8 \cdot 300) + (5,1 \cdot 300) + (4,2 \cdot 400) + (0,0 \cdot 300) + (2,1 \cdot 200) + (4,7 \cdot 200) + (6,4 \cdot 300) + \\ + (4,6 \cdot 200) + (6,0 \cdot 300) + (5,0 \cdot 300) + (3,7 \cdot 200) + (5,8 \cdot 300) + (5,0 \cdot 800) + (4,0 \cdot 200) + (1,6 \cdot 400) + \\ + (-1,0 \cdot 300) + (-3,4 \cdot 200) + (-4,3 \cdot 300) + (2,1 \cdot 300) + (0,0 \cdot 400) + (4,0 \cdot 200) + (5,8 \cdot 200) + \\ + (4,9 \cdot 200) + (6,2 \cdot 200) + (5,6 \cdot 200) + (-6,4 \cdot 200) + (5,2 \cdot 200) + (-3,0 \cdot 400) + (-1,6 \cdot 300) = \frac{30464}{19460} = \\ = 1,57.$$

Tarpstotis Lentvaris–Paneriai

$$i_r = -0,3 \cdot 148 + (-0,9 \cdot 200) + (-2,8 \cdot 400) + (-5,4 \cdot 500) + (5,4 \cdot 600) + (-4,3 \cdot 200) + (-4,7 \cdot 600) + \\ + (5,8 \cdot 200) + (-4,9 \cdot 800) + (-5,3 \cdot 700) + (-6,5 \cdot 300) + (-4,8 \cdot 200) + (-3,5 \cdot 300) + (6,7 \cdot 400) + \\ + (5,1 \cdot 300) + (0,0 \cdot 200) + (2,2 \cdot 200) + (1,4 \cdot 200) + (1,0 \cdot 300) + (0,0 \cdot 200) + (4,5 \cdot 300) + (2,5 \cdot 200) + \\ + (4,3 \cdot 156) + (0,0 \cdot 200) + (2,1 \cdot 300) = \frac{-4265}{8304} = -0,51.$$

Tarpstotis Paneriai–Pušynas

$$i_r = 3,9 \cdot 700 + (-0,2 \cdot 400) + (-5,9 \cdot 200) + (-0,5 \cdot 200) + (2,6 \cdot 500) + (-0,8 \cdot 200) + (0,1 \cdot 300) + \\ + (-0,6 \cdot 183) = \frac{59,8}{1383} = -0,043.$$

Tarpstotis Pužynas–Vaidotai

$$\begin{aligned} i_r = & -2,7 \cdot 400 + (-4,6 \cdot 200) + (-5,9 \cdot 200) + (-0,5 \cdot 200) + (2,6 \cdot 500) + (-0,8 \cdot 200) + (0,8 \cdot 100) + \\ & + (-1,5 \cdot 103) + (-2,0 \cdot 500) + (1,5 \cdot 300) + (-0,5 \cdot 200) + (0,9 \cdot 600) + (3,9 \cdot 100) + (6,1 \cdot 50) + (9,8 \cdot 350) + \\ & + (1,9 \cdot 100) + (-0,2 \cdot 300) + (1,2 \cdot 200) = \frac{4331}{4983} = -0,87. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i_{rb} = & (-0,14) + (-5,64) + 0,74 + 0,62 + 0,61 + (-3,34) + (-3,65) + 0,79 + 0,66 + 1,2 + 3,3 + 0,89 + \\ & + 1,57 + (-0,51) + (-0,043) + (-0,87) = 3,5\%_{\circ}. \end{aligned}$$

Ruožo ilgis 183000 metrų.

2 PRIEDAS

Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų skaičiavimai ir rezultatai

Elektrovežio traukos energijos sąnaudų priklausomumas nuo masės

Važiuojant ruožu Kybartai–Vaidotai

Kai sąstato masė $Q = 1000$ t.

$$e = \left[\frac{27,25}{0,75 \cdot 1000} \left[1000 \left(0,7 + \frac{8}{4,7} + \frac{0,1}{4,7} 50 + 2,5 \frac{10^{-3}}{4,17} 50^2 \right) + 368 (1 + 0,02 \cdot 50 + 0,0002 \cdot 50^2) \right] 1,19 \right] 3,6 \cdot 0,71 = 1081 \text{ MJ} / 10000 \text{ tkm.}$$

Kai sąstato masė $Q = 1500$ t.

$$e = \left[\frac{27,25}{0,75 \cdot 1500} \left[1500 \left(0,7 + \frac{8}{6,25} + \frac{0,1}{6,25} 50 + 2,5 \frac{10^{-3}}{6,25} 50^2 \right) + 368 (1 + 0,02 \cdot 50 + 0,0002 \cdot 50^2) \right] 1,19 \right] 3,6 \cdot 0,71 = 921 \text{ MJ} / 10000 \text{ tkm.}$$

Kai sąstato masė $Q = 2500$ t.

$$e = \left[\frac{27,25}{0,75 \cdot 2500} \left[2500 \left(0,7 + \frac{8}{10,42} + \frac{0,1}{10,42} 50 + 2,5 \frac{10^{-3}}{10,42} 50^2 \right) + 368 (1 + 0,02 \cdot 50 + 0,0002 \cdot 50^2) \right] 1,19 \right] 3,6 \cdot 0,71 = 698 \text{ MJ} / 10000 \text{ tkm.}$$

Važiuojant ruožu Vaidotai–Kybartai

Kai sąstato masė $Q = 3000$ t.

$$e = \left[\frac{27,25}{0,75 \cdot 3000} \left[3000 \left(0,7 + \frac{8}{12,5} + \frac{0,1}{12,5} 50 + 2,5 \cdot \frac{10^{-3}}{12,5} 50^2 \right) + 368 (1 + 0,02 \cdot 50 + 0,0002 \cdot 50^2) \right] 0,808 \right] 3,6 \cdot 0,71 = 421 \text{ MJ} / 10000 \text{ tkm.}$$

Kai sąstato masė $Q = 4000$ t.

$$e = \left[\frac{27,25}{0,75 \cdot 4000} \left[4000 \left(0,7 + \frac{8}{16,67} + \frac{0,1}{16,67} 50 + 2,5 \frac{10^{-3}}{16,67} 50^2 \right) + 368 (1 + 0,02 \cdot 50 + 0,0002 \cdot 50^2) \right] 0,808 \right] 3,6 \cdot 0,71 = 342 \text{ MJ} / 10000 \text{ tkm.}$$

Kai sąstato masė $Q = 5000$ t.

$$e = \left[\frac{27,25}{0,75 \cdot 5000} \left[5000 \left(0,7 + \frac{8}{20,83} + \frac{0,1}{20,83} 50 + 2,5 \cdot \frac{10^{-3}}{20,83} 50^2 \right) + 368 (1 + 0,02 \cdot 50 + 0,0002 \cdot 50^2) \right] 0,808 \right] 3,6 \cdot 0,71 = 292 \text{ MJ} / 10000 \text{ tkm.}$$

Traukos energijos sąnaudų priklausomumas nuo nuolydžio

Šilumvežio traukos energijos sąnaudos, vežant 2000 tonų masės sąstatą, ruožu Kybartai–Vaidotai

$$e = \left(\frac{1,017 \cdot \frac{10^{-3}}{(2000+272)}}{1 \cdot 1,19 \cdot 183 \cdot 2000 + \frac{1}{6000} \cdot 2000 \cdot 50^2 \cdot 2 + 1,8 \cdot 24} \left[2000 \cdot \left(0,7 + \frac{8}{8,93} + \frac{0,1}{8,93} \cdot 50 + 2,5 \cdot \frac{10^{-3}}{8,93} \cdot 50^2 \right) + 272 \cdot (4,2 + 2,5 \cdot 10^{-2} \cdot 50 + 1,6 \cdot 10^{-4} \cdot 50^2) \right] \right) 0,66 \cdot 45,3 = 1032 \text{ MJ} / 10000 \text{ tkm.}$$

Elektrovežio traukos energijos sąnaudos, vežant 2000 tonų masės sąstatą, ruožu Kybartai–Vaidotai

$$e = \left[\frac{27,25}{0,75 \cdot 2000} \left[2000 \left(0,7 + \frac{8}{8,93} + \frac{0,1}{8,93} \cdot 50 + 2,5 \cdot \frac{10^{-3}}{8,93} \cdot 50^2 \right) + 368 (1 + 0,02 \cdot 50 + 0,0002 \cdot 50^2) \right] 1,19 \right] 3,6 \cdot 0,71 = 808 \text{ MJ} / 10000 \text{ tkm.}$$

Šilumvežio traukos energijos sąnaudos, vežant 2000 tonų masės sąstatą, ruožu Vaidotai–Kybartai

$$e = \left(\frac{1,017 \cdot \frac{10^{-3}}{(2000+272)}}{1 \cdot 0,808 \cdot 183 \cdot 2000 + \frac{1}{6000} \cdot 2000 \cdot 50^2 \cdot 2 + 1,8 \cdot 24} \left[2000 \left(0,7 + \frac{8}{8,93} + \frac{0,1}{8,93} \cdot 50 + 2,5 \cdot \frac{10^{-3}}{8,93} \cdot 50^2 \right) + 272 (1,2 + 2,5 \cdot 10^{-2} \cdot 50 + 1,6 \cdot 10^{-4} \cdot 50^2) \right] \right) 0,66 \cdot 45,3 = 701 \text{ MJ} / 10000 \text{ tkm.}$$

Elektrovežio traukos energijos sąnaudos, vežant 2000 tonų masės sąstatą, ruožu Vaidotai–Kybartai

$$e = \left[\frac{27,25}{0,75 \cdot 2000} \left[2000 \left(0,7 + \frac{8}{8,93} + \frac{0,1}{8,93} \cdot 50 + 2,5 \cdot \frac{10^{-3}}{8,93} \cdot 50^2 \right) + 368 (1 + 0,02 \cdot 50 + 0,0002 \cdot 50^2) \right] 0,808 \right] 3,6 \cdot 0,71 = 583 \text{ MJ} / 10000 \text{ tkm.}$$

Traukos energijos sąnaudų priklausomumas nuo ašių skaičiaus

Elektrovežio traukos energijos sąnaudos, kai sąstato ašių skaičius 164, 224, 284 vnt., važiuojant ruožu Kybartai–Vaidotai.

Esant 164 ašims:

$$e = \left[\frac{27,25}{0,75 \cdot 2500} \left[2500 \left(0,7 + \frac{8}{15} + \frac{0,1}{15} \cdot 50 + 2,5 \cdot \frac{10^{-3}}{15} \cdot 50^2 \right) + 368 (1 + 0,02 \cdot 50 + 0,0002 \cdot 50^2) \right] 1,19 \right] 3,6 \cdot 0,71 = 495 \text{ MJ} / 10000 \text{ tkm.}$$

Esant 224 ašims:

$$e = \left[\frac{27,25}{0,75 \cdot 2500} \left[2500 \left(0,7 + \frac{8}{11} + \frac{0,1}{11} 50 + 2,5 \frac{10^{-3}}{11} 50^2 \right) + 368 \left(1 + 0,02 \cdot 50 + 0,0002 \cdot 50^2 \right) \right] 1,19 \right] 3,6 \cdot 0,71 = 594 \text{ MJ} / 10000 \text{ tkm.}$$

Esant 284ašims:

$$e = \left[\frac{27,25}{0,75 \cdot 2500} \left[2500 \left(0,7 + \frac{8}{9} + \frac{0,1}{9} 50 + 2,5 \frac{10^{-3}}{9} 50^2 \right) + 368 \left(1 + 0,02 \cdot 50 + 0,0002 \cdot 50^2 \right) \right] 1,19 \right] 3,6 \cdot 0,71 = 675 \text{ MJ} / 10000 \text{ tkm.}$$

Elektrovežio traukos energijos sąnaudos, kai sąstato ašių skaičius 164, 224, 284 vnt., važiuojant ruožu Vaidotai–Kybartai.

Esant 164 ašims:

$$e = \left[\frac{27,25}{0,75 \cdot 4000} \left[4000 \left(0,7 + \frac{8}{23} + \frac{0,1}{23} 50 + 2,5 \frac{10^{-3}}{23} 50^2 \right) + 368 \left(1 + 0,02 \cdot 50 + 0,0002 \cdot 50^2 \right) \right] 0,808 \right] 3,6 \cdot 0,71 = 213 \text{ MJ} / 10000 \text{ tkm.}$$

Esant 224 ašims:

$$e = \left[\frac{27,25}{0,75 \cdot 4000} \left[4000 \left(0,7 + \frac{8}{18} + \frac{0,1}{18} 50 + 2,5 \frac{10^{-3}}{18} 50^2 \right) + 368 \left(1 + 0,02 \cdot 50 + 0,0002 \cdot 50^2 \right) \right] 0,808 \right] 3,6 \cdot 0,71 = 242 \text{ MJ} / 10000 \text{ tkm.}$$

Esant 284ašims:

$$e = \left[\frac{27,25}{0,75 \cdot 4000} \left[4000 \left(0,7 + \frac{8}{14} + \frac{0,1}{14} 50 + 2,5 \frac{10^{-3}}{14} 50^2 \right) + 368 \left(1 + 0,02 \cdot 50 + 0,0002 \cdot 50^2 \right) \right] 0,808 \right] 3,6 \cdot 0,71 = 272 \text{ MJ} / 10000 \text{ tkm.}$$

Traukos energijos sąnaudų priklausomumas nuo vidutinio greičio

Lokomotyvų traukos energijos sąnaudos priklausomai nuo greičio ruože Kybartai–Vaidotai, kai vežamo sąstato masė 1500 tonų, esant greičiams 30, 40, 50 km/h.

Šilumvežio sąnaudos:

Esant 30 km/h greičiui

$$e = \left(\frac{1,017 \cdot 10^{-3}}{(1500 + 272)} \left[1500 \left(0,7 + \frac{8}{6} + \frac{0,1}{6} 30 + 2,5 \frac{10^{-3}}{6} 30^2 \right) + 272 \left(1,2 + 2,5 + 10^{-2} \cdot 30 + 1,6 \cdot 10^{-4} \cdot 30^2 \right) \right] \right) \cdot 0,66 \cdot 45,3 = 946 \text{ MJ} / 10000 \text{ tkm.}$$

$$1 \cdot 1,19 \cdot 183 \cdot 1500 + \frac{1}{6000} 1500 \cdot 30^2 \cdot 2 + 1,8 \cdot 24$$

Esant 40 km/h greičiui:

$$e = \left(\frac{1,017 \cdot \frac{10^{-3}}{(1500 + 272)}}{1 \cdot 1,19 \cdot 183 \cdot 1500 + \frac{1}{6000} 1500 \cdot 40^2 \cdot 2 + 1,8 \cdot 24} \left[1500 \left(0,7 + \frac{8}{6} + \frac{0,1}{6} 40 + 2,5 \frac{10^{-3}}{6} 40^2 \right) + 272 (1,2 + 2,5 + 0^{-2} \cdot 40 + 1,6 \cdot 10^{-4} \cdot 40^2) \right] \right) 0,66 \cdot 45,3 = 1074 \text{ MJ / 10000 tkm.}$$

Esant 50 km/h greičiui:

$$e = \left(\frac{1,017 \cdot \frac{10^{-3}}{(1500 + 272)}}{1 \cdot 1,19 \cdot 183 \cdot 1500 + \frac{1}{6000} 1500 \cdot 50^2 \cdot 2 + 1,8 \cdot 24} \left[1500 \left(0,7 + \frac{8}{6} + \frac{0,1}{6} 50 + 2,5 \frac{10^{-3}}{6} 50^2 \right) + 272 (1,2 + 2,5 + 10^{-2} \cdot 50 + 1,6 \cdot 10^{-4} \cdot 50^2) \right] \right) 0,66 \cdot 45,3 = 1223 \text{ MJ / 10000 tkm.}$$

Elektrovežio sąnaudos

Esant 30 km/h greičiui:

$$e = \left[\frac{27,25}{0,75 \cdot 1500} \left[1500 \left(0,7 + \frac{8}{6} + \frac{0,1}{6} 30 + 2,5 \frac{10^{-3}}{6} 30^2 \right) + 368 (1 + 0,02 \cdot 30 + 0,0002 \cdot 30^2) \right] 1,19 \right] 3,6 \cdot 0,71 = 734 \text{ MJ / 10000 tkm.}$$

Esant 40 km/h greičiui:

$$e = \left[\frac{27,25}{0,75 \cdot 1500} \left[1500 \left(0,7 + \frac{8}{6} + \frac{0,1}{6} 40 + 2,5 \frac{10^{-3}}{6} 40^2 \right) + 368 (1 + 0,02 \cdot 40 + 0,0002 \cdot 40^2) \right] 1,19 \right] 3,6 \cdot 0,71 = 831 \text{ MJ / 10000 tkm.}$$

Esant 50 km/h greičiui:

$$e = \left[\frac{27,25}{0,75 \cdot 1500} \left[1500 \left(0,7 + \frac{8}{6} + \frac{0,1}{6} 50 + 2,5 \frac{10^{-3}}{6} 50^2 \right) + 368 (1 + 0,02 \cdot 50 + 0,0002 \cdot 50^2) \right] 1,19 \right] 3,6 \cdot 0,71 = 954 \text{ MJ / 10000 tkm.}$$

Lokomotyvų traukos energijos sąnaudos priklausomai nuo greičio ruože Vaidotai–Kybartai, kai vežamo sąstato masė 5000 tonų, esant greičiams 30, 40, 50 km/h.

Šilumvežio sąnaudos

Esant 30 km/h greičiui:

$$e = \left(\frac{1,017 \cdot \frac{10^{-3}}{(5000 + 272)}}{1 \cdot 0,808 \cdot 183 \cdot 1500 + \frac{1}{6000} 1500 \cdot 30^2 \cdot 2 + 1,8 \cdot 24} \left[5000 \left(0,7 + \frac{8}{17,6} + \frac{0,1}{17,6} 30 + 2,5 \frac{10^{-3}}{17,6} 30^2 \right) + 272 (1,2 + 2,5 + 10^{-2} \cdot 30 + 1,6 \cdot 10^{-4} \cdot 30^2) \right] \right) 0,66 \cdot 45,3 = 352 \text{ MJ / 10000 tkm.}$$

Esant 40 km/h greičiui:

$$e = \left(\frac{1,017 \cdot \frac{10^{-3}}{(5000 + 272)}}{1 \cdot 0,808 \cdot 183 \cdot 1500 + \frac{1}{6000} 1500 \cdot 40^2 \cdot 2 + 1,8 \cdot 24} \left[5000 \left(0,7 + \frac{8}{17,6} + \frac{0,1}{17,6} 40 + 2,5 \frac{10^{-3}}{17,6} 40^2 \right) + 272 (1,2 + 2,5 + 10^{-2} \cdot 40 + 1,6 \cdot 10^{-4} \cdot 40^2) \right] \right) 0,66 \cdot 45,3 = 412 \text{ MJ / 10000 tkm.}$$

Esant 50 km/h greičiui:

$$e = \left(\frac{1,017 \cdot 10^{-3}}{(5000 + 272)} \left[5000 \left(0,7 + \frac{8}{17,6} + \frac{0,1}{17,6} 50 + 2,5 \frac{10^{-3}}{17,6} 50^2 \right) + 272 \left(1,2 + 2,5 + 10^{-2} \cdot 50 + 1,6 \cdot 10^{-4} \cdot 50^2 \right) \right] \right. \\ \left. 1 \cdot 0,808 \cdot 183 \cdot 1500 + \frac{1}{6000} \cdot 1500 \cdot 50^2 \cdot 2 + 1,8 \cdot 24 \right) \cdot 0,66 \cdot 45,3 = 468 \text{ MJ} / 10000 \text{ tkm}.$$

Elektrovežio sąnaudos

Esant 30 km/h greičiui:

$$e = \left[\frac{27,25}{0,75 \cdot 5000} \left[5000 \left(0,7 + \frac{8}{6} + \frac{0,1}{6} 30 + 2,5 \frac{10^{-3}}{6} 30^2 \right) + 368 \left(1 + 0,02 \cdot 30 + 0,0002 \cdot 30^2 \right) \right] 0,808 \right] 3,6 \cdot 0,71 = 266 \text{ MJ} / 10000 \text{ tkm}.$$

Esant 40 km/h greičiui:

$$e = \left[\frac{27,25}{0,75 \cdot 5000} \left[5000 \left(0,7 + \frac{8}{6} + \frac{0,1}{6} 40 + 2,5 \frac{10^{-3}}{6} 40^2 \right) + 368 \left(1 + 0,02 \cdot 40 + 0,0002 \cdot 40^2 \right) \right] 0,808 \right] 3,6 \cdot 0,71 = 291 \text{ MJ} / 10000 \text{ tkm}.$$

Esant 50 km/h greičiui:

$$e = \left[\frac{27,25}{0,75 \cdot 5000} \left[5000 \left(0,7 + \frac{8}{6} + \frac{0,1}{6} 50 + 2,5 \frac{10^{-3}}{6} 50^2 \right) + 368 \left(1 + 0,02 \cdot 50 + 0,0002 \cdot 50^2 \right) \right] 0,808 \right] 3,6 = 321 \text{ MJ} / 10000 \text{ tkm}.$$

3 PRIEDAS

