

TRAUKOS RIEDMENŲ ENERGIJOS EFETYVUMO TYRIMAS

Karolis Naktinskas¹, Gediminas Vaičiūnas²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹karolis.naktinskas@inbox.lt; ²vaic.@vgtu.lt

Santrauka. Straipsnyje atlikta prekinio šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų lyginamoji analizė. Išnagrinėta Lietuvos geležinkelių energetinė sistema riedmenų parkui. Nustatytas elektrovežio VL80K ekonominis efektas pagal sutaupytą energijos kiekį, lyginant su šilumvežiu „Siemens ER20 CF“. Taip pat nustatyta parinktų ruožų elektrifikacijos išlaidos bei atsipirkimo laikas pagal elektrovežio sutaupytos energijos kiekį. Pateiktos išvados.

Reikšminiai žodžiai: šilumvežis, elektrovežis, energijos sąnaudos, elektrifikacija, sutaupytos lėšos

Išvadas

Pagrindinis geležinkelio 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 iškaskas, ore sparčiai didėja anglies dvideginio koncentracija, o ji didina šiltnamio efektą.

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

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

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 prekinį 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) [15].

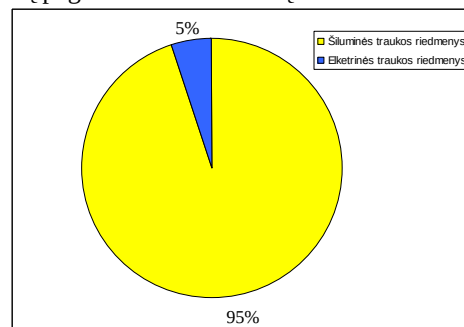
Pasaulinė praktika rodo, kad šiuo metu realiausią alternatyvą dyzelinui sudaro elektros energija. Dėl šios

priežasties atliekamas dyzelinės ir elektrinės traukos riedmenų traukos energijos tyrimas, kurį sudaro pagrindinės trys sritys – Lietuvos geležinkelių parko pasiskirstymas pagal energijos traukai rūšis, dyzelinės ir elektrinės traukos riedmenų energijos sąnaudų priklausomumas nuo lokomotyvų eksploatavimo sąlygų ir elektrifikacijos veiksmingumas energijos traukai sutaupymo požiūriu.

1. Lietuvos geležinkelių traukos riedmenų energetinė sistema

Lietuvos geležinkeliuose eksploatuojami šiluminės bei elektrinės traukos riedmenys, kurie yra energetinės sistemos dalis. Lietuvos geležinkeliuose (LG) galima išskirti dvi energetines sistemas: elektros energijos ir šiluminės energijos. Nuo minėtų energetinių sistemų išplėtojimo priklauso, kokie lokomotyvai daugiau eksploatuojami. Kadangi Lietuvoje elektrifikuotų kelių ilgis yra tik 122 km, didžiąją dalį LG riedmenų parko sudaro šiluminės traukos riedmenys, varomi dyzelinu.

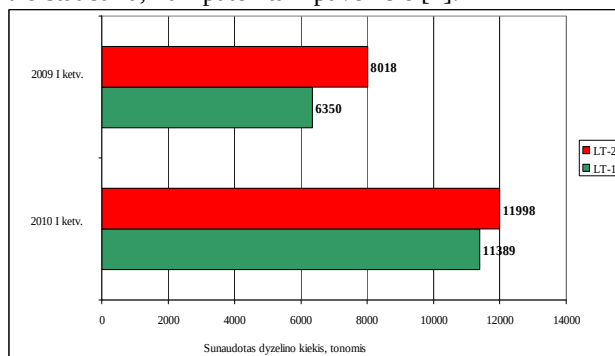
1 paveiksle matome LG riedmenų parko procentinę pasiskirstymą pagal traukos riedmenų rūšis.



1 pav. Lietuvos geležinkelių traukos riedmenų parko procentinis pasiskirstymas

Iš paveikslo matyti, kad net 95 % LG traukos riedmenų parko sudaro dyzelinės traukos riedmenys.

Pastaraisiais metais dyzelino sąnaudos padidėjo, tai rodo sunaudotų degalų kiekių 2009 – 2010 metų I ketvirčio statistika, kuri pateikta 2 paveiksle [1].



2. pav. Lietuvos geležinkelio traukos riedmenų sunaudotų degalų kiekis 2009 – 2010 metų I ketvirtyje

Iš 2 paveikslo matyti ženklus degalų sunaudojimo padidėjimas, to pagrindinė priežastis vežtų krovinių kiekio padidėjimas nuo 42,7 iki 48,1 mln. tonų per metus. Dyzelio brangimas verčia galvoti ne tik apie efektyvesnius energijos naudojimo būdus, bet ir apie alternatyvias energijos rūšis.

Pačią realiausią 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 (paprastiesni įrenginiai, elektrovežyje nereikia vandens, tepalo sistemų).

2. Lietuvos geležinkelių linijų elektrifikacijos galimybių tikslingumo atrankos analizė

Norint eksploatuoti elektrinės traukos riedmenis reikia esamą energetinę sistemą išplėtoti. Ruožų elektrifikacijai parinkti atliekama krovinių vežimo Lietuvos geležinkelių linijomis analizė, kuri pateikta 1 lentelėje [4].

1 lentelė. Krovinių vežimo Lietuvos geležinkelių linijomis analizė

Eil. Nr	Linijos pavadinimas	Linijos ilgis, km	Krovinių vežimas mln. Tonų 2007/2015
1	Kena–Vilnius–Kaišiadorys - Radviliškis–Šiauliai -	441	42,045/57,56

	Klaipėda		
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

Pagrindinių Lietuvos geležinėlių linijų elektrifikacijos galimybių 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.

3. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų lyginamoji analizė

Didžiausią dalį prekinį šilumvežių sąnaudų struktūroje sudaro išlaidos degalams, todėl svarbu įsitikinti kokios elektrinės traukos riedmenų energijos sąnaudos lyginant su šilumvežiu.

Atliekant šiluminės bei elektrinės traukos riedmenų lyginamąją analizę pagal sunaudotos energijos kiekį, pasirinkamas kelio ruožas Kybartai – Vaidotai.

Analizei pasirinktas šilumvežis „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežis VL80K. Atliekant tyrimą naudojami faktiniai bei teoriniai traukos energijos sąnaudų rezultatai. VL80K energijos sąnaudos apskaičiuojamos teoriškai, o „Siemens ER20 CF“ dauguma tyrimo etapų (išskyrus energijos sąnaudas pagal greitį ir įkalnę) remiamasi faktiniais rezultatais, kurie gauti bandomųjų kelionių metu ruože Vaidotai – Kybartai.

Sudarius lokomotyvų traukos energijos sąnaudų lyginimo metodiką, pagal (1) formulę apskaičiuojamos lyginamosios traukos energijos sąnaudos MJ/10000 tkm. šilumvežiui, o pagal (2) formulę elektrovežiui. Pagal gautus rezultatus atliktas prekinio šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K energijos sąnaudų santykis bei procentinis palyginimas.

$$D_{\text{ruože}} = \frac{D_f}{Q \cdot S} \cdot 10^4 \cdot 45.3 ; \quad (1)$$

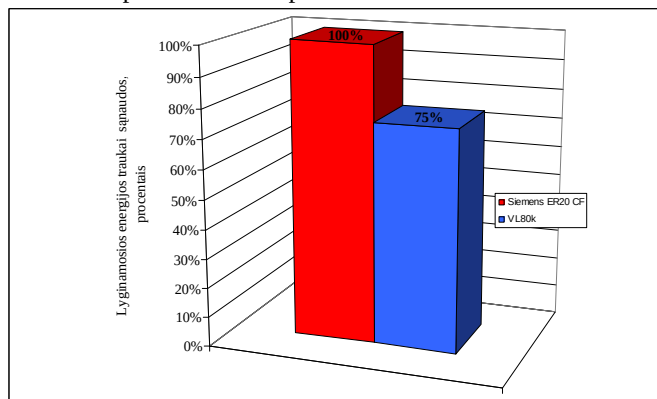
Čia: $D_{\text{ruože}}$ - lyginamosios degalų sąnaudos geležinkelio ruože, kg/10⁴ tkm bruto;
 Q – vežtų krovinių masė, t;
 S – ruožo ilgis, km;
 D_f – vidutinės faktinės degalų sąnaudos ruože, kg.

$$e = \frac{27,25}{\eta Q} \left[Q \left(a + \frac{b}{q_0} + \frac{c}{q_0} \cdot v + \frac{d}{q_0} \cdot v^2 \right) + P(m + nv + pv^2) \right] \cdot k_i \cdot 0,71 \cdot 3.6 \quad (2)$$

čia:

e – elektros energijos traukai sąnaudos, kWh/10000tkm; 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.

Elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų procentinis palyginimas lyginant su šilumvežiu „Siemens ER20 CF“ pavaizduotas 3 paveiksle:



3 pav. Elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudų procentinis palyginimas lyginant su šilumvežiu „Siemens ER20 CF“

„Siemens ER20 CF“ šilumvežiai yra ekonomiškiausi riedmenys Lietuvos geležinkeliuose, tačiau lyginant traukos energijos sąnaudas su elektrovežio VL80K energijos sąnaudomis matome, kad šiluminės traukos riedmenų sąnaudos pasirinktame ruože 25 % didesnės. Santykinai lyginamosios traukos energijos sąnaudos elektrovežio lyginant su šilumvežiu mažesnės 1,3 karto.

Remiantis elektrovežio ir šilumvežio energijos sąnaudų analize, kintant sąstato masei nustatyta, kad didėjant sąstato masei energijos sutaupymas per 10000 tkm didėja. Važiuojant iš Vaidotų link Kybartų, esant sąstato masei 5000 tonų sutaupoma 34 % arba 152 MJ/10000 tkm, o ruože Kybartai -Vaidotai esant sąstato masei 2500 tonų 26% arba 246 MJ/10000 tkm.

Taip pat nustatyta, kad traukiniui, kurio masė 5000 t. 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 %.

Dar vienas veiksnys įtakojantis energijos sąnaudas – kelio profilis. Apskaičiuota, kad 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. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K ekonominis įvertinimas

Norint nustatyti šilumvežio vidutinį sunaudojamų lėšų kiekį, būtina sunaudotą degalų kiekį kilogramais išreikšti litrais. Žinant dyzelino tankį kg/l pagal 3 formulę apskaičiuojamas degalų kiekis litrais.

$$S_{\text{litrais}} = \frac{S_{\text{kg}}}{\rho_{\text{dyzelino}}}; \quad (3)$$

Čia:

S_{litrais} – dyzelino sąnaudos litrais;

S_{kg} - dyzelino sąnaudos, kg;

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

Priimama, kad dyzelino 1 litro kaina 0,9 euro, o 1 kWh kaina 0,078 euro.

Šilumvežio Siemens ER20 ir elektrovežio VL80k vidutinės energijos traukai sąnaudos kg/10 000 tkm (kW/10 000 tkm) ir vidutinis sunaudojamų lėšų kiekis eurai/10 000 tkm bruto pateiktas 2 lentelėje.

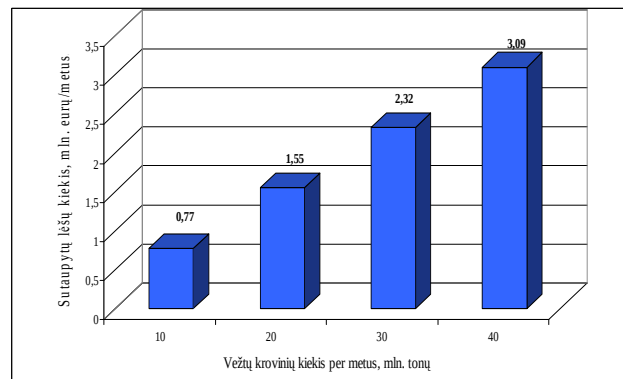
2 lentelė. Šilumvežio „Siemens ER20 CF“ ir elektrovežio VL80K vidutinės traukos energijos sąnaudos bei vidutinis sunaudojamų lėšų kiekis

Lokomotyvas	Vidutinės lyginamosios degalų sąnaudos, kg/10000 tkm	Vidutinis sunaudojamų lėšų kiekis, eurai/10 000 tkm bruto
Siemens ER20 CF	18,05	19,75
	Vidutinės lyginamosios energijos traukai sąnaudos, kW/10 000 tkm	
VL80k	173,9	13,60

Iš 2 lentelės duomenų nustatyta, kad lyginant vidutinės elektrovežio VL80K traukos energijos sąnaudas su šilumvežio „Siemens ER20 CF“ traukos energijos sąnaudomis, vežant 10 000 tkm. sutaupoma 6,15 eurų.

Pagal metines išlaidas degalams esant skirtingoms krovinių vežimų apimtims, nustatomas metinis ekonominis efektas.

Bendras sutaupytų lėšų kiekis per metus, esant skirtingoms krovinių vežimų apimtims pavaizduotas 4 paveiksle.



4 pav. Bendras sutaupytų lėšų kiekis per metus, esant skirtingoms krovinių vežimų apimtims.

Iš 4 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.

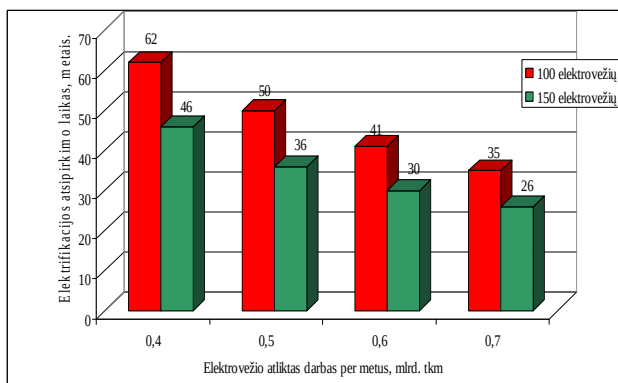
5. Elektrifikacijos atsipirkimo laiko pagal sutaupytą lėšų kiekį traukos energijai nustatymas

Norint nustatyti elektrifikacijos atsipirkimo laikotarpį pagal sutaupytų lėšų kiekį traukos energijai, reikia įvertinti pasirinktų ruožų elektrifikacijos išlaidas.

Pagal Lietuvos geležinkelių linijų elektrifikacijos galimybių tikslingumo atrankos analizę buvo nustatyta ekonomiškai efektyviausia elektrifikacijos kryptis: Kena–Vilnius–Kaišiadorys–Radviliškis–Šiauliai–Klaipėda, Kena–Vilnius–Kaišiadorys–Kaunas–Kazlų Rūda–Kybartai, Kūžiai–Mažeikiai–Bugeniai, Gaižiūnai –Palemonas, Lentvaris–Senieji Trakai–Trakai (rekonstrukcija), Kyviškės –Vaidotai–Paneriai, Palemonas–Rokai–Jiesia ruožų elektrifikavimas.

Įvertinus infrastruktūros, depų, bei elektrovežių išlaidas nustatyta, kad numatytos elektrifikacijos išlaidos 517mln. eurų [4]. Įvertinus elektrifikacijos išlaidas galima prognozuoti atsipirkimo laiką.

Elektrifikacijos atsipirkimo laikas pagal sutaupytą energijos kiekį eksploatuojant skirtingą elektrovežių skaičių pavaizduotas 5 paveiksle.



5 pav. Elektrifikacijos atsipirkimo laikas pagal sutaupytą energijos kiekį eksploatuojant skirtingą elektrovežių skaičių

Iš 5 paveikslą 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 eksploatuojamą elektrovežių skaičius. Kai vieno elektrovežio darbas per metus siekia 0,4 mlrd. tkm bruto ir eksploatuojama 100 elektrovežių, elektrifikacija pagal sutaupyto energijos traukai 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 sutaupyto energijos traukai kiekį atsiperka per 12 metų. Padinus eksploatuojamų elektrovežių kiekį iki 150, atsipirkimo laikas sutrumpėja iki 9 metų.

5. Išvados

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

2. Didėjant vidutiniui 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, o greičiu padidėjus iki 50 km/h sutaupomos energijos kiekis padidės iki 31%.

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

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

5. 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.

6. Kai eksploatuojama 100 elektrovežių ir kiekvieno jų darbas sudaro 0,4 mlrd. tkm bruto per metus, išlaidos geležinkelio elektrifikacijai pagal sutaupyto energijos kiekį atsiperks 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 atsiperks per 12 metų, o 150 elektrovežių – per 9 metus.

Literatūra:

- AB „Lietuvos geležinkeliai“. Naftos produktų, pirktų iš UAB „SBA naftos kompanija“ per 2009-2010 m. ataskaita. L.P.Lingaitis, L.Liudvinavičius ir kt. Geležinkeliai. Bendras kursas. Vilnius. 2009, 280 p.
- Interneto svetainė. <http://www.litrail.lt>.
- A. Gaudry, J.M. Giely, C.Lalogue. Techninė pagalba Lietuvos geležinkelių linijų elektrifikacijai. 2005. 311 p.
- A. Šakalys. Lietuvos transporto ir tranzito plėtros strategija. Projektas. Vilnius, 2006.
- AB „Lietuvos geležinkeliai“. Prekinių traukinių važiavimo grafines diagramas. Vilniaus lokomotyvų depas. 2007-2008.
- AB „Lietuvos geležinkeliai“. Radviliškio lokomotyvų depo lokomotyvų paros panaudojimo suvestinė (2009-2010 metai).
- „Siemens“ AG. Vairuotojui skirta transporto priemonės instrukcija Euro Runner LG ER20 CF. 2008. 12 p.
- AB „Lietuvos geležinkeliai“. „Eksploatacijos ataskaita“ forma T-10.
- AB „Lietuvos geležinkeliai“. Bandomieji dyzelino normų skaičiavimai, taikant šilumvežių ir dyzelinių traukinių dyzelino normų nustatymo metodikos 16/T formules ir rekomendacijas. Vilnius. 2002.
- AB „Lietuvos geležinkeliai“. Naftos produktų apskaitos žurnalas. Vilniaus lokomotyvų depas. 2007-2008, 245 p.
- AB „Lietuvos geležinkeliai“. Elektros tiekimo ir elektrifikacijos įrengimų analizė. 2010.
- O. Konoplia. Elektrovežių panaudojimo Lietuvos geležinkeliuose techninių galimybių tyrimas. Magistro kvalifikacinio laipsnio baigiamasis darbas. 2006. 71 p.
- С.И.Осипов, К.А.Миронов, В.И.Ревич. Основы локомотивной тяги. Транспорт, 1979. 440 с.
- Н. С. Конарев. Большая энциклопедия транспорта. Железнодорожный транспорт. 2003. 1020 с.
- В.С.Молярчук, Л.Г.Мурзин, Е.М.Юбаева, С.Д. Шварцман. Пособие теплоэнергетику железнодорожного транспорта. Транспорт, 1973. 392 с.

Research of traction rolling - stocks energy efficiency

Karolis Naktinskas , Gediminas Vaičiūnas

Abstract

The changes of energy consumption of the traction depending on conditions are analyzed in this article. Examination of the Lithuanian railway grid fleet. The comparative analysis of locomotive Siemens ER20 CF and electric locomotive VL80k energy consumption are described. The economic effect of electric locomotive VL80k according to energy savings, compared with the locomotive Siemens ER20 CF. Also, selected sections of the electrification costs and payback time for energy savings of electric locomotive. Finally, basic conclusions are given.

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