

PREKINIŲ ŠILUMVEŽIŲ MAGISTRALEI „RAIL BALTICA“
PARINKIMO ALGORITMASStasys Steišūnas¹, Gintautas Bureika²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas:¹s.steisunas@gmail.com; ²gintautas.bureika@vgtu.lt

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjami šiuo metu AB „Lietuvos geležinkeliai“ kroviniams vežti naudojami traukos riedmenys: analizuojami ir lyginami techniniai duomenys, vertinamos eksploatacinių sąnaudų. Įvertinus krovinių srautų prognozes tiesioje „Rail Baltica“ geležinkelio magistralėje, pasiūlytas traukos riedmenų kroviniams vežti parinkimo algoritmas. Šilumvežių šioje magistralėje naudojimo efektyvumas nustatomas trimis daugiakriterio įvertinimo metodais: vietų sumos metodu, rodiklių įvertinimo metodu ir geometrinio vidurkio metodu. Šilumvežiai vertinami techniniais, ekonominiais ir ekologiniais aspektais. Keičiant kriterijų svarbos koeficientų reikšmes, nustatyti skirtingi riedmenų panaudojimo efektyvumo rezultatai.

Reikšminiai žodžiai: geležinkelio traukos riedmenys, magistralė „Rail Baltica“, eksploatacinių sąnaudų, daugiakriterio vertinimo metodai, eksploatacinių efektyvumas.

Įvadas

„Rail Baltica“ magistralės sėkmės pagrindas bus jos gebėjimas perimti svarbią dalį tarptautinės Baltijos valstybių ir aplink esančių šalių prekybos, ypač visą prekybos dalį, apimančią šiaurės pietų kryptį. Didžiausią AB „Lietuvos geležinkeliai“ (LG) pajamų dalį (apie 90 %) sudaro pajamos, gautos už krovinių vežimą. Taigi LG Krovinių vežimo direkcijos ekonominė veikla daro didžiulę įtaką visos įmonės galutiniam pelningumui, todėl ypač svarbu efektyviai naudoti traukos riedmenų parką (Bureika *et al.* 2009). Kadangi keleivių vežimas Lietuvos geležinkeliais yra nuostolingas, todėl ypač svarbu įmonei turėti pakankamo dydžio prekinį lokomotyvų ir vagonų parką, kad bendrovė sugebėtų visiškai patenkinti klientų poreikį vežti krovinius (Vaičiūnas 2001). Ne mažiau aktualu, kad traukos riedmenys visuomet būtų techniškai tvarkingi ir patikimi (retai gendantys) eksploatuoti ir užtikrintų traukai reikiamą šilumvežių galingumą.

Parenkant traukos riedmenis tam tikram ruožui, labai svarbu yra prekinį šilumvežių dyzelino sąnaudų įvertinimas, važiavimo greitis, traukos jėga, aplinkos tarša. Vertinant ekonominiu aspektu būtina atsižvelgti į remonto sąnaudas, lokomotyvo ir lokomotyvo brigados darbų komercinę savikainą, didžiausią įmanomą vežti traukinio masę ir šilumvežio kainą. Nuo 2003 m. LG pradėjo įgyvendinti turimų prekinį lokomotyvų atnaujinimo modernizavimo programą: motorizavimas pakeičiant tik dyzelį (toliau tekste – modernizavimas M1) ir modernizavimas

pakeičiant dyzelį su pagrindiniu traukos generatoriumi ir pagalbinę įrangą (toliau tekste – modernizavimas M2). Iki 2007 metų pagal M1 apimtį modernizuoti 22 vienetai 2M62 serijos, 16 vienetų M62 serijos šilumvežių, o pagal M2 apimtį modernizuota 20 vienetų 2M62 serijos šilumvežių. Tai užtikrino nepertraukiamą prekinį traukos riedmenų parko darbą, kasmet sėkmingai buvo vežama vis daugiau krovinių (kasmet vežimų apimtys didėjo apie 20 %), mažinant eksploatacinių išlaidas, visų pirma degalams ir variklio alyvai (Bučinskas *et al.* 2006). Modernizuotų pagal M1 apimtį lokomotyvų lyginamosios degalų sąnaudų yra mažesnės apie 19 %, o modernizuotų pagal M2 apimtį – net 33 %. Įvertinus LG metinę vežamų krovinių apyvartą ir prekinį šilumvežių degalų sąnaudų pokytį, per metus galima sutaupyti apie 40 milijonų litų. Be to, modernizuoti lokomotyvai yra galingesni: jais galima vežti 5000 t masės sąstatais, t. y. 20 % sunkesnius nei senaisiais šilumvežiais. Tai padidina Lietuvos geležinkelių pralaidumą (taip pat ir našumą) apie 10 %.

2M62 serijos šilumvežių tarša išmetamosiomis dyzelio dujomis maždaug 66 % didesnė nei 2M62K, 2M62M ir ER20CF serijų šilumvežių (Lingaitis, Bureika 2005). Kita vertus, VGTU Geležinkelių transporto katedros mokslininkai atliko bandymus su šilumvežiais, kurie naudoja biodyzeliną (Lingaitis, Pukalskas 2007, 2008) kaip alternatyvius atsinaujinančius degalus.

Turint šią patirtį, naujų prekinų lokomotyvų įsigijimas – tai dar vienas būdas LG kuo efektyviau ir racionaliau vežti krovinius. Eksploatuojant naujos kartos „Siemens ER20CF“ serijos šilumvežius, dyzelino sąnaudos yra 40–45 % mažesnės negu nemodernizuoto 2M62 šilumvežio, traukiamo sąstato masė padidėjo nuo 4200 t iki 6000 t, sumažėjo techninės priežiūros ir remonto darbų apimtys, pagerėjo mašinistų darbo ir ergonomikos sąlygos.

Siekiant tai apibendrinti ir gauti optimaliausią rezultatą buvo atlikti bandymai. Pasitelkiant specialią programinę įrangą modeliuojamas skirtingų šilumvežių naudojimas „Rail Baltica“ magistralės ruože Kaunas–Šeštokai, formuojant skirtingų masių sąstatus. Gauti rezultatai ir šilumvežių techniniai duomenys apdoroti trimis daugiakriterio įvertinimo metodais.

Daugiakriterio vertinimo metodai

Dauguma metodų taiko pradinių duomenų (rodiklių reikšmės) skirtingą normalizavimą arba duomenų transformavimą. Kiekybinių metodų pagrindą sudaro rodiklių, apibūdinančių lyginamus objektus, statistinių duomenų arba ekspertų vertinimų matrica ($R = [r_{ij}]$, $i = 1, \dots, m$; $j = 1, \dots, n$), čia m – rodiklių skaičius, n – lyginamų objektų (alternatyvų) skaičius). Faktiškai nė vieno metodo negalima pritaikyti formaliai iš karto. Kiekvienas metodas turi savo privalumų ir savą specifiką.

Taikant kiekybinius daugiakriterius įvertinimo metodus reikia nustatyti, kokio pavidalo, maksimizuojamo arba minimizuojamo, yra kiekvienas rodiklis. Maksimizuojamųjų (mažoritarinių) rodiklių geriausios reikšmės yra didžiausios, minimizuojamųjų rodiklių geriausios reikšmės yra mažiausios. Dauguma metodų taiko pradinius duomenis (rodiklių reikšmės), skirtingą specifinę normalizaciją arba duomenų transformaciją. Metodai skiriasi pagal sudėtingumą. Šiame tyrime taikomi trys daugiakriterio įvertinimo metodai:

- 1) vietų sumos (angl. *Sum of Ratings* – SoR) metodas;
- 2) rodiklių įverčio (angl. *Simple Additive Weighting* – SAW) metodas;
- 3) geometrinio vidurkio (angl. *Geometrical Means* – GM) metodas.

Visų rodiklių vietų sumos metodas

Visų rodiklių vietų suma (angl. *Sum of Ratings* – SoR) V_j kiekvienam j -ajam objektui, kuri nustatoma pagal formulę:

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

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

Metodo taikymo būtina sąlyga – maksimizuojamųjų arba minimizuojamųjų rodiklių pobūdžio išankstinis nustatymas. Arba, pavyzdžiui, minimizuojamųjų rodiklių pertvarkymas į maksimizuojamuosius pagal šią formulę:

$$r_{ij} = \frac{\min r_{ij}}{r_{ij}}, \quad (2)$$

čia: r_{ij} – i -ojo rodiklio reikšmė j -ajam objektui, tada pati mažiausia rodiklio reikšmė įgis didžiausią reikšmę, lygią vienetui.

Skaičiavimai rodo, kad šis metodas yra pats paprasčiausias ir jį taikyti tikslinga tik pradiniam apytikriam įvertinimui.

Rodiklių įverčių metodas

Skaičiuojama visų rodiklių įverčių (SAW) normalizuotų reikšmių suma S_j kiekvienam j -ajam objektui. Ji nustatoma pagal formulę:

$$S_j = \sum_{i=1}^m \omega_i r_{ij}, \quad (3)$$

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

Pradiniai duomenys šiuo atveju normalizuojami pagal šią formulę:

$$r_{ij}' = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}}, \quad (4)$$

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

Apytikriai skaičiuojant galima tarti, kad visų rodiklių įverčiai vienodi, t. y. $\omega_i = \frac{1}{16} = 0,0625$. Geriausios kriterijaus S_j reikšmė yra tada, kai ji didžiausia.

Geometrinių vidurkių metodas

Visų rodiklių normalizuotų reikšmių geometrinis vidurkis Π_j (metodas *GV*) nustatomas pagal šią formulę:

$$\Pi_j = \sqrt[m]{\prod_{i=1}^m \omega_i r_{ij}'}. \quad (5)$$

Objektų prioritetų seka, nustatyta remiantis (5) formule, nepriklauso nuo rodiklių įverčių ω_i , todėl šis dydis į formulę gali būti neįtraukiamas. Geriausios kriterijaus Π_j reikšmė ta, kuri didžiausia (Bureika 2011).

Prekinių šilumvežių naudojimo efektyvumo kriterijų apskaičiavimas

Šilumvežius galima vertinti ekonominiu ir ekologiniu aspektais.

Ekonominiam vertinimui taikomi šie nagrinėjamų LG prekinų šilumvežių vertinimo kriterijai:

- 1) didžiausia įmanoma vežti sąstato masė, t;
- 2) dyzelinių lyginamosios degalų sąnaudos, g/kWh;
- 3) metinės remontų sąnaudos, Lt;
- 4) šilumvežio ir šilumvežio brigados darbų komercinė savikaina, Lt;
- 5) lyginamoji oro tarša, kg/t (sudeginus toną dyzelino).

Kriterijų svarbos koeficientai r_y nustatomi šie:

- 1) didžiausia įmanoma vežti traukinio masė – 0,10;
- 2) lyginamosios degalų sąnaudos – 0,30;
- 3) kitiems kriterijams nustatomas vienodas svarbos koeficientas, lygus 0,20, t. y. visi likusieji kriterijai yra vienodai svarbūs.

Tiriamųjų šilumvežių serijos pažymimos alternatyvomis A_i : 2M62 žymimas A_1 ; 2M62K – A_2 ; 2M62M – A_3 ir ER20CF – A_4 .

Šilumvežių serijų vertinimo kriterijai pažymimi rodikliais R_j : didžiausia įmanoma vežti sąstato masė – R_1 ; lyginamosios degalų sąnaudos – R_2 ; remontų sąnaudos – R_3 ; šilumvežio ir šilumvežio brigados darbų komercinė savikaina – R_4 ; lyginamoji oro tarša – R_5 . $R = 1$ laikomi geriausiais rodikliais iš visų LG prekinų šilumvežių. Šio tyrimo tikslo funkcija yra: $R_j \rightarrow 1$.

Šilumvežių vertinimo kriterijų ir svarbos koeficientų reikšmės pateiktos 1 lentelėje.

Atlikus turimų duomenų skaičiavimus gauti rezultatai apibendrinti 2 lentelėje. Kaip matome, „Siemens ER20CF“ šilumvežis turi visus geriausius rodiklius vertinant trimis daugiakriterio vertinimo metodais, kai svarbos koeficientų reikšmės parinktos ekonominiu aspektu. Kitų šilumvežių vietos 2-oje lentelėje keičiasi priklausomai nuo įvertinimo metodo, todėl buvo būtina išvesti užimamų vietų vidurkį.

1 lentelė. Šilumvežių vertinimo kriterijų ir svarbos koeficientų reikšmės

Table 1. Values for estimation criteria of locomotives and weight coefficients

Kriterijai	Alternatyva				r_y
	A_1	A_2	A_3	A_4	
R_1	0,633	0,633	0,833	1,00	0,10
R_2	0,86	0,89	0,97	1,00	0,30
R_3	0,89	0,63	0,62	1,00	0,20
R_4	1	0,98	0,84	0,76	0,20
R_5	0,32	0,36	0,35	1,00	0,20

Vertinti ekologiniu aspektu gali būti taikomi tie patys nagrinėjamų LG prekinų šilumvežių vertinimo kriterijai, kaip ir vertinant ekonominiu aspektu, tik nustatomi kiti kriterijų svarbos koeficientai r_y :

- 1) didžiausia įmanoma vežti traukinio masė yra 0,10;
- 2) lyginamosios degalų sąnaudos – 0,20;
- 3) remontų sąnaudos – 0,10;
- 4) šilumvežio ir šilumvežio brigados darbų komercinė savikaina – 0,10;
- 5) lyginamoji oro tarša – 0,50.

Atlikus analogiškus skaičiavimus, gauti rezultatai surašomi į 3 lentelę. „Siemens ERC20CF“ šilumvežis ir šiuo atveju surinko aukščiausius įvertinimus. Antrąją vietą kaip ir 1 lentelėje užėmė 2M62M šilumvežis. Būtina pažymėti, kad nepakeitus vertinimo kriterijų, o tik jų svarbos koeficientų reikšmes, šilumvežis 2M62K pakilo iš ketvirtos vietos į trečią.

Kyla sudėtingas ekonominis finansinis klausimas, ar geriau apsimoka modernizuoti 2M62 šilumvežius, ar įsigyti naujos kartos „Siemens ER20CF“ prekinus šilumvežius. Prieš tai atliekant skaičiavimus nebuvo įvertinta šilumvežio pradinė vertė ar modernizavimo kaina, taip pat eksploatacinės sąnaudos ir techninės galimybės atitinkamame „Rail Baltica“ magistralės ruože. Norint apskaičiuoti šiuos kriterijus buvo panaudota VGTU Geležinkelių transporto katedros laboratorijos turima speciali programinė įranga.

2 lentelė. Suvestiniai tyrimo rezultatai, kai svarbos koeficientų reikšmės parinktos vertinant ekonominiu aspektu

Table 2. Summarised results of research deciding on the values of weight coefficients considering an economical point of view

Šilumvežiai	Metodo pavadinimas						Vietų vidurkis	Vieta
	SoR		GM		SAW			
	vietą	reikšmė	vietą	reikšmė	vietą	reikšmė		
2M62	4	14,5	2	0,23	3	0,23	3	3
2M62K	2	13,5	4	0,22	4	0,22	3,33	4
2M62M	3	14	3	0,22	2	0,23	2,67	2
ER20CF	1	8	1	0,31	1	0,32	1	1

3 lentelė. Suvestiniai tyrimo rezultatai, kai svarbos koeficientų reikšmės parinktos ekologiniu aspektu

Table 3. Summarised results of research deciding on the values of weight coefficients considering ecology

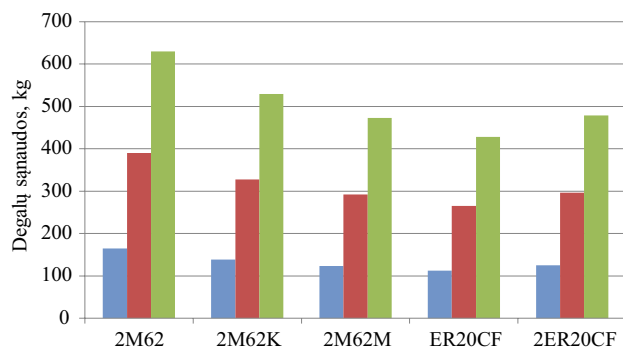
Alternatyvos	Metodo pavadinimas						Vietų vidurkis	Vieta
	SoR		GM		SAW			
	vieta	reikšmė	vieta	reikšmė	vieta	reikšmė		
2M62	4	14,5	2	0,226	4	0,202	3,33	4
2M62K	2	13,5	4	0,217	3	0,205	3	3
2M62M	3	14	3	0,223	2	0,207	2,67	2
ER20CF	1	8	1	0,311	1	0,385	1	1

Buvo modeliuojamas skirtingų šilumvežių naudojimas ruože Kaunas–Šeštokai, parenkami skirtingų masių sąstatai, fiksuojamas kelionės laikas, degalų sąnaudos, atsižvelgiant į kelio profilio ypatumus ir greičio apribojimus.

Apskaičiuotų skirtingų šilumvežių degalų sąnaudų, vežant 1100 t, 2600 t ir 4200 t sąstatus ruožu Kaunas–Šeštokai (atstumas 93,76 km), palyginimas pateiktas 1 paveiksle.

Atsižvelgdami į ankstesnius skaičiavimų rezultatus, toliau nagrinėsime 2M62M ir ER20CF šilumvežius, nes jie atrodė geriausi. Parenkami šie vertinimo kriterijai, kai vežamo sąstato ruožu Kaunas–Šeštokai (atstumas 93,76 km) masė yra 3000 t:

- 1) vidutinis techninis šilumvežio greitis, km/h – R_1 ;
- 2) degalų sunaudojimas, kg – R_2 ;



1 pav. Bendras degalų sunaudojimas pagal LG normas traukiant skirtingos masės sąstatus ruožu Kaunas–Šeštokai (atstumas 93,76 km)

Fig. 1. Total fuel consumption (according to the standards of AB Lietuvos Geležinkeliai) pulling trains of different weight along the route Šeštokai–Kaunas (distance – 93.76km)

3) šilumvežio kainos ir naudojimo metų santykinė reikšmė, Lt/metai – R_3 ;

4) šilumvežio ir jo brigados darbų savikaina, Lt – R_4 , lyginamoji oro tarša, kg/t – R_5 .

Parametų svarbos koeficientai r_y :

- 1) vidutinis techninis šilumvežio greitis km/h – 0,10;
- 2) degalų sunaudojimas, kg – 0,30;
- 3) šilumvežio kainos ir naudojimo metų santykinė reikšmė, Lt/metai – 0,30;
- 4) šilumvežio ir jo brigados darbų savikaina – 0,2;
- 5) lyginamoji oro tarša – 0,1.

Naujos šilumvežių 2M62M ir ER20CF vertinimo kriterijų reikšmės pateikiamos 4 lentelėje.

4 lentelė. 2M62M ir ER20CF serijos šilumvežių vertinimo kriterijų ir svarbos koeficientų reikšmės

Table 4. Values of the coefficients of estimation criteria and weights regarding locomotives 2M62M and ER20CF

Kriterijai	Šilumvežiai		r_y
	2M62M	ER20CF	
R_1	0,81	1,00	0,10
R_2	0,91	1,00	0,30
R_3	1,00	0,98	0,30
R_4	1,00	0,75	0,20
R_5	0,35	1,00	0,10

Apdorojus turimus duomenis trimis daugiakriterio vertinimo metodais, gauti rezultatai apibendrinti 5 lentelėje. Pirmąją vietą užėmė „Siemens ER20CF“ serijos šilumvežis.

5 lentelė. Skirtingais vertinimo metodais gauti suvestiniai tyrimo rezultatai

Table 5. Summarised results of research obtained applying different multi-criterion estimation methods

Šilumvežiai	Metodo pavadinimas						Vietų vidurkis	Vieta
	SoR		GM		SAW			
	vieta	reikšmė	vieta	reikšmė	vieta	reikšmė		
2M62M	2	8	2	0,44	2	0,48	2,00	2
ER20CF	1	7	1	0,54	1	0,52	1,00	1

Išvados

1. Atlikta AB „Lietuvos geležinkeliai“ turimų traukos riedmenų analizė trimis daugiakriteriais vertinimo metodais (SoR, SAW ir GM). Keičiant vertinimo kriterijų svarbos koeficientų reikšmes ir pačius vertinimo kriterijus, prekiniai šilumvežiai buvo vertinami techniniais, ekonominiais ir ekologiniais aspektais.
2. Nustatyta, kad kroviniams vežti magistrale „Rail Baltica“ racionaliausia naudoti ER20CF šilumvežius, antroje vietoje yra 2M62M, trečioje – 2M62K ir ketvirtoje – 2M62 serijos šilumvežiai.
3. Modeliuojant skirtingų prekinų šilumvežių naudojimą „Rail Baltica“ magistralės atkarpoje Kaunas–Šeštokai ir formuojant skirtingų masių sąstatus, gauti rezultatai lyginami atsižvelgiant į šilumvežių įsigijimo arba modernizavimo kainą, jų eksploatacines išlaidas ir ekologinius rodiklius.
4. Nustatyta, kad vertinant visais ankščiau minėtais aspektais, tinkamiausias šilumvežis kroviniams vežti „Rail Baltica“ magistrale būtų „Siemens ER20CF“ serijos šilumvežis.

Literatūra

- Bučinskas, V.; Subačius, R.; Mokšins, V.; Vekteris, V. 2006. Investigation of quality change in locomotive lubricants, in *Solid State Phenomena: Mechatronic Systems and Materials: a Collection of Papers from the 1st International Conference (MSM 2005)* 113: 420–424.
- Bureika, G. 2011. Multicriteria evaluation of operation effectiveness of freight Diesel locomotives on Lithuanian railways, *Transport* 26(1): 61–68.
<http://dx.doi.org/10.3846/16484142.2011.561947>
- Bureika, G.; Subačius, R.; Kumara, M. 2009. Research on energy efficient of rolling-stock operation, in *Proceedings of the 6th International Scientific Conference “TRANSBALTICA – 2009”*, 28–32.
- Lingaitis, L. P.; Bureika, G. 2005. The study of the environmental pollution produced by internal combustion engines of locomotives, in *The 6th International Conference Environmental Engineering* 1: 159–163.
- Lingaitis, L.P.; Pukalskas, S. 2007. Determining the consumption of biodiesel by locomotive engines, in *Proceedings of the 11th International Conference “Transport Means – 2007”*, 194–197.
- Lingaitis, L. P.; Pukalskas, S. 2008. Ecological aspects of using biological diesel oil in railway transport, *Transport* 23(2): 138–143.
<http://dx.doi.org/10.3846/1648-4142.2008.23.138-143>
- Vaičiūnas, G. 2001. *Optimalus traukos riedmenų naudojimas Lietuvos geležinkelyje*: daktaro disertacija. Vilnius. 108 p.

ALGORITHM FOR CHOOSING TRACTION ROLLING-STOCK FOR RAILWAY LINE RAIL BALTICA

S. Steišūnas, G. Bureika

Abstract

The article analyses traction rolling-stock for freight transportation presently used by AB *Lietuvos geležinkeliai*. The paper explores and compares technical data on the above mentioned rolling-stock and estimates exploitation expenses. Following an assessment of forecasting freight flows on the future railway line *Rail Baltica*, an algorithm for selecting traction rolling-stock is proposed. The efficiency of locomotives operating on the railway is determined taking into account three multi-criteria evaluation methods: the sum of ratings, simple additive weighting and geometric mean method. Locomotives are estimated in accordance with technical, economic and ecological aspects. The results of possible performance efficiency of rolling stock have been determined changing weight coefficient values of the criteria.

Keywords: rolling-stock, railway line *Rail Baltica*, exploitation expenses, multi-criteria evaluation methods, efficiency of rolling-stock exploitation.