



18-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos

TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,

vykusios 2015 m. gegužės 6 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 18th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'

TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT, 6 May 2015, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 18-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»

ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, 6 мая 2015 г., Вильнюс, Литва

RACIONALIŲ GELEŽINKELIO TRAUKOS RIEDMENŲ PARINKIMAS PREKINIAMS SAŠTATAMS TRAUKTI

Karolis Baublys¹, Gintautas Bureika²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas,

El. paštas: ¹karolis.baublys@stud.vgtu.lt; ²gintautas.bureika@vgtu.lt

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjami AB „Lietuvos geležinkeliai“ naudojamų prekinųjų šilumvežių ir vagonų eksploataciniai parametrai, modeliuojami traukinio eksploataciniai parametrai esant skirtingiems sąstato traukos riedmenims. Palyginami skirtingų šilumvežių degalų lyginamųjų sąnaudų, traukinio važiavimo laiko ir atlikto transportinio darbo duotajame ruože skaičiavimo rezultatai. Nustatomas tinkamiausias šilumvežis prekiniams sąstatams traukti nagrinėjamo kelio profiliu. Pabaigoje pateikiamos išvados ir pasiūlymai.

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

Išvadas

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

Eksploduojant prekinuos geležinkelio riedmenis, taip pat plečiant perspektyvus naudojimo sritis, iškyla daugybė praktinių uždavinių, kuriuos galima spręsti naudojant geležinkelių traukos teoriją (Постол *et al.* 2011). Pradedant šį tyrimą buvo suformuluoti šie uždaviniai:

- Traukinio važiavimo greičio nustatymas.
- Šilumvežių degalų sąnaudų apskaičiavimas.
- Traukinio didžiausio greičio nustatymas pagal sustabdymo kelią.

- Atlikto transportinio darbo apskaičiavimas.

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

Traukos riedmenų racionalaus parinkimo metodika

Ši metodika paremta geležinkelio riedmenų traukos teorijos taisyklėmis. Skaičiavimo rezultatai yra apytikrūs

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

Taikant daugiakriterius vertinimo metodus traukos riedmenų palyginimui reikia nustatyti, kokio tipo yra kiekvienas parametras – maksimizuojamo arba minimizuojamo. Maksimizuojamųjų (mažoritarinių) rodiklių geriausios reikšmės yra didžiausios, minimizuojamųjų rodiklių geriausios reikšmės yra mažiausios. Dauguma metodų taiko pradinius duomenis (rodiklių reikšmės), skirtingą specifinę normalizaciją arba duomenų transformaciją. Metodai skiriasi pagal sudėtingumą (Steišūnas *et al.* 2012). Prekinųjų traukos riedmenų racionaliam parinkimui šiame tyrime taikomi šie trys daugiakriterio įvertinimo metodai: Vietų sumos (angl. *Sum of Ratings* – SoR) metodas, Rodiklių įverčio (angl. *Simple Additive Weighting* – SAW) metodas ir Geometrinio vidurkio (angl. *Geometrical Means* – GM) metodas.

Šilumvežių traukos charakteristikos sudarymas

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

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

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

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

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

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

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

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

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

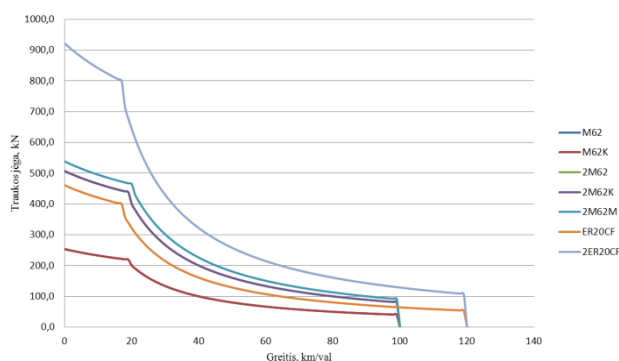
$$F_{tr} = \frac{\eta \cdot N}{v}, \quad (3)$$

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

Lyginamoji traukos jėga f_{tr} nustatoma pagal formulę:

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

čia: Q – sąstato masė, t.



1 pav. LG eksploatuojamų šilumvežių apskaičiuotos traukos charakteristikos

Pagal 1 pav. pateiktą traukos teorines charakteristikas matyti, kad didžiausią pajudėjimo iš vietos traukos

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

Kelio profilio ir sąstato sudarymas

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

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

Traukinio važiavimo greičio apribojimai

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

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

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

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

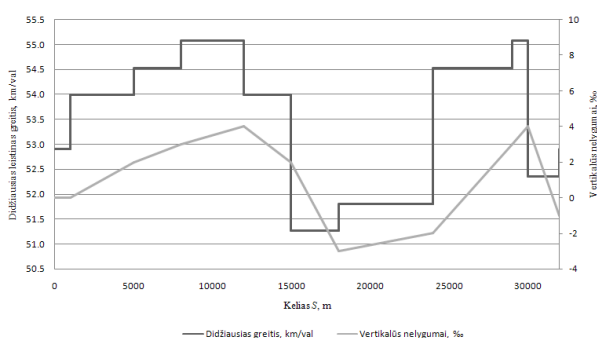
Kai nustatomas greičio pokytis Δv , apskaičiuojamas nuvažiuotas kelias ΔS :

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

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

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

čia: i – kelio įkalnė, ‰; $a_{g \text{ lim}}$ ir $b_{g \text{ lim}}$ – empiriniai koeficientai, įvertinantys traukinio judėjimą kelio nuolydžiais.



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

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

Traukinio važiavimo trukmės ir degalų sąnaudų nustatymas pasirinktame kelio ruože

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

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

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

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

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

Traukinio važiavimo trukmės pokytis:

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

Stabdymo atveju:

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

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

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

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

$$F_{\text{lim}} = (P + Q) \cdot (w_0 + i_c), \quad (13)$$

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

Pastaba. Gaunamos neigiamos reikšmės priimamos kaip 0.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

t – traukinio važiavimo trukmė, g – degalų sąnaudos.

Šilumvežių lyginamosios degalų sąnaudos patektos 2-oje lentelėje.

2 lentelė. Šilumvežių lyginamosios degalų sąnaudos traukiant skirtingus sąstatus nagrinėjamo kelio ruožu

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

Pagal 2 lentelės pateiktus duomenis matyti, kad mažiausias lyginamasis degalų sąnaudas yra ER20CF serijos šilumvežio.

Prekinių šilumvežių racionalaus parinkimo kriterijai

Šiame tyrime prekiniai šilumvežiai vertinami pagal ekonominius ir eksploatacinius parametrus:

- Prekinio sąstato masė.
- Šilumvežių lyginamosios degalų sąnaudos.
- Traukinio važiavimo trukmė nagrinėjamo kelio ruožu.
- Prekinių šilumvežių parko dydis.

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

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

$$V_j = \sum_{i=1}^m m_{ij} , \tag{16}$$

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

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

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

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

Pradiniai duomenys šiuo atveju normalizuojami pagal šią formulę:

$$r_{ij} = \frac{r'_{ij}}{\sum_{i=1}^n r_{ij}} , \tag{18}$$

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

Geriausia kriterijaus S_j reikšmė yra tada, kai ji didžiausia.

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

$$\Pi_j = \sqrt[m]{\prod_{i=1}^m \omega_i r_{ij}} . \tag{19}$$

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

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

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

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

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

Šilumvežių alternatyvos	Kriterijai			
	Sąstato masė	Degalų sąnaudos	Važiavimo trukmė	Pasirinkimas
	K_1	K_2	K_3	K_4
D_1	1,00	1,00	0,677	0,286
D_2	1,00	0,741	1,00	0,143
D_3	0,667	0,249	0,214	0,149
D_4	1,00	0,455	0,779	0,110
D_5	0,667	0,282	0,214	0,104
D_6	1,00	0,515	0,779	0,162
D_7	1,00	0,575	0,836	0,188
Kriterijų svarbos koef., r_1	0,2	0,3	0,3	0,2
Kriterijų svarbos koef., r_2	0,3	0,2	0,2	0,3
Kriterijų svarbos koef., r_3	0,3	0,4	0,15	0,15

Racionalaus šilumvežio parinkimo kriterijų skaičiavimo rezultatai apibendrinti 4-oje lentelėje. Pagal 4 lentelėje pateiktus rezultatus matyti, kad Siemens ER20CF ir 2ER20CF šilumvežiai turi geriausias vertinimo rezultatus pagal visus vertinimo metodus, taip pat keičiant vertinimo kriterijų svarbos koeficientus. 3-ioje ir 4-oje vietose

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

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

Literatūra

- AB „Lietuvos geležinkeliai“. 2013. *Metinė ataskaita 2013* [interaktyvus]. [žiūrėta 2015 m. kovo 3 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.litrail.lt/documents/10291/19071/LT_19.05_www.pdf/052d58f4-c704-4df5-b288-4e1a6d081295>.
- Bureika, G.; Subačius, R.; Kumara, M. 2009. Research on energy efficient of rolling-stock operation, in *Proceedings of the 6th International Scientific Conference "TRANSBALTICA – 2009"*, 28–32.
- Lingaitis, L. P. 1999. Šilumvežio degalų sąnaudų patikslinta apskaičiavimo metodika. *Transportas – transport engineering*. Vilnius: Technika, 103–105.
- Rail Brain Systems TM. 2008. *Методика выполнения тяговых расчетов и выбора оборудования (подвижного состава) карьерного железно- дорожногo транспорта* [interaktyvus]. [žiūrėta 2015 m. vasario 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://brailsys.com/Files/Metod_Tjag.pdf>.
- Steišūnas, S.; Bureika, G. 2012. Prekinų šilumvežių magistralei „RAIL BALTICA“ parinkimo algoritmas, iš *Transportas: 15-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ medžiaga*. Vilnius: Technika, 386–390.
- Постол, Б. Г.; Кузмичев, Е. Н. 2011. *Тяга поездов*. [Traukinių trauka]. Хабаровск: Издательство ДВГУПС. 79 p.

modernizuotas šilumvežis 2M62M ir „remotorizuotas“ 2M62K. Tik pagal vietų sumos metodą SoR gautus rezultatus šilumvežiai ER20CF ir 2M62M užėmė pirmą ir antrą vietą, nes vertinimo reikšmės buvo vienodos. Kitais atvejais vertinimo rezultatai, vietos priskirtos šilumvežių serijai nekito. Galima teigti, kad gauti rezultatai yra pagrįsti ir jais remiantis galima racionaliai parinkti šilumvežį numatytam vagonų sąstatui traukti.

Išvados

1. Apskaičiavus šilumvežių traukos teorinės charakteristikas, nustatyta, kad didžiausią traukos jėgą išvysto SIEMENS ER20CF šilumvežiai.

2. Palyginus šilumvežių lyginamąsias degalų sąnaudas transportinio darbo vienetai, gauta, kad mažiausios sąnaudos ER20CF serijos šilumvežio – 18,06 kg/10 tūkst. tkm, o didžiausiosios šilumvežio M62 – 74,90 kg/10 tūkst. km.

3. Pagal trijų daugiakriterio šilumvežių vertinimo metodų rezultatus sudaryta racionalaus traukos riedmenų parinkimo prioritetinga eilė: ER20CF; 2ER20CF; 2M62M; 2M62K; 2M62; M62K; M62.

4. Tobulinant prekinų šilumvežių parinkimo metodiką tolimesniuose tyrimuose numatoma įvertinti važiuojančio traukinio dinaminį procesą. Riedmenų traukos skaičiavimams numatyta sumodeliuoti realius kelio ruožus ir patobulinti daugiakriterį vertinimą, įvedant daugiau vertinimo kriterijų.