

KROVINIŲ SRAUTO ASIMETRIJOS ĮTAKA OPTIMALIAM TRAUKOS RIEDMENŲ PARINKIMUI

G. Vaičiūnas, L. P. Lingaitis

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

1. Įvadas

Atliekant tyrimus, susijusius su geležinkelio darbo specifika, visuomet susiduriama su optimalaus riedmenų naudojimo ir apskaitos klausimais. Analogiškus tyrimus atliekančios Vakarų valstybių įstaigos gautus rezultatus skelbia labai nenoriai. Dažnai apsiribojama ekologinių problemų ar pavienių techninių klausimų analize [1, 2]. Kai kurie optimalaus riedmenų naudojimo ir apskaitos klausimai sėkmingai sprendžiami. Tai leidžia padidinti riedmenų naudojimo efektyvumą, mažinti vežimų savikainą ir padidinti gaunamą pelną. Tačiau šiuo metu dar yra daug spęstinių dalykų ir vienas iš jų – optimalus traukos riedmenų parinkimas, atsižvelgiant į krovinių srautų priešingomis kryptimis netolygumą tranzitiniuose geležinkelio ruožuose.

2. Tikslų funkcija

Racionalaus riedmenų panaudojimo, laikantis saugaus eismo reikalavimų, pagrindinis tikslas yra ekonominio efektyvumo didinimas. Jam didžiausią įtaką daro pajamos už vežamus krovinius ir eksploatacinės išlaidos. Todėl apibendrintą ekonominę naudą galime apskaičiuoti taip:

$$E = E_a - E_e, \quad (1)$$

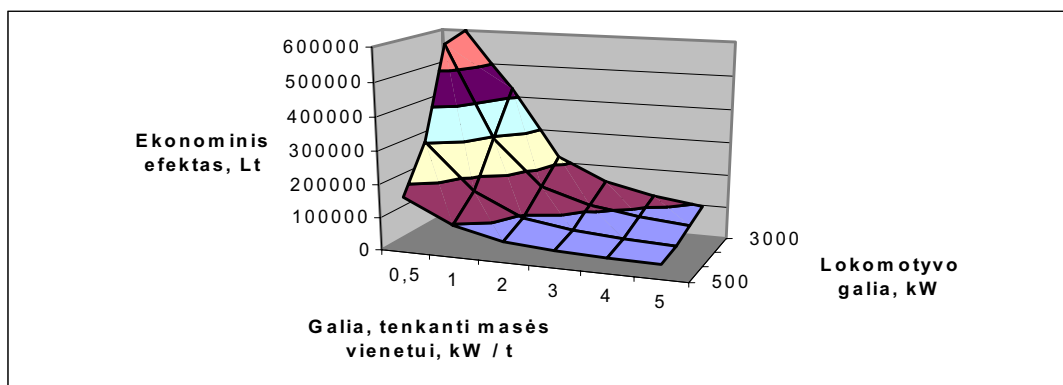
E_a – gautos pajamos, Lt; E_e – eksploatacinės išlaidos, Lt.

Įvertindami degalų sąnaudų ir važiavimo laiko priklausomumą nuo lokomotyvo galios ir nuo galios, tenkančios sąstato masės vienetui, gausime ekonominio efekto priklausomumą nuo lokomotyvo galios ir nuo galios, tenkančios sąstato masės vienetui [3]:

$$E = \frac{N}{N_t} \cdot p_a - ((0,0295 \cdot N + 0,946) \cdot N_t^{-0,333} \cdot k_d + 22,56 \cdot N^{0,31}_t \cdot k_l) \cdot L, \quad (2)$$

L – ruožo ilgis, km; N – lokomotyvo galia, kW; N_t – lokomotyvo galia, tenkanti sąstato masės vienetui, kW/t; k_d – išlaidos degalams, Lt/kg; k_l – sąlyginės laiko sąnaudos, Lt/min; p_a – pajamos už nuvežtą bruto toną, Lt/t.

Pritaikę (2) ruožui Kena – Klaipėda ($L=445$ km) gausime priklausomumą, kurio grafinė interpretacija parodyta 1 pav. Grafikas sudarytas remiantis 1999 m. ekonominiais rodikliais (masės vieneto vežimo kaina, išlaidos degalams, laiko sąnaudos), 1 bruto tonos vežimo tarifas 144 Lt [4]. Šie rodikliai laikui bėgant kinta. Jų kitimas gali turėti kiekybinės įtakos ekonominiam efektui. Tačiau kokybinio kitimo tendencijos išliks tokios pačios.



1 pav. Vidutinio paros vežimų ekonominio efekto priklausomybė ruože Kena – Klaipėda nuo lokomotyvo galios ir galios, tenkančios masės vienetui

Fig 1. The economic effect of one conditional race depending on the motor power and motor power per one unit mass

3. Apribojimų analizė

Kaip matome iš 1 pav., grafiškai išreikštas matematinis modelis ekstremumų neturi. Todėl optimalius taškus reikia parinkti pagal apribojimus. Kadangi riedėjimo varžai nugalėti reikia tam tikros galios, todėl egzistuoja apribojimai galiai, tenkančiai masės vienetui. Ją gausime atlikę leistinosios sąstato masės priklausomumo nuo lokomotyvo galios analizę. Skirtingiems kelio ruožams šis priklausomumas yra kitas. Remiantis daugiamečių statistinių tyrimų duomenimis, SPAB „Lietuvos geležinkeliai“ sudarė šių apribojimų suvestinę. Atlikus jos analizę nustatyta, jog lokomotyvo galia, tenkanti masės vienetui, priklauso nuo paties lokomotyvo galios. Taip yra dėl to, kad, didėjant lokomotyvo galinimumui, reikia mažesnio atsargos koeficiento. Aproximavę statistiniais duomenimis išreikštą priklausomumą, turime tokią lokomotyvo galios, tenkančios masės, vienetui, išraišką:

$$N_t = 8,783 \cdot N^{-0,3134} \quad (3)$$

Egzistuoja apribojimas ir dėl traukinio ilgio. Jeigu turime fiksuotą tam tikrą lokomotyvo galią ir traukinio ilgį, vadinasi, galia, tenkanti masės vienetui, taip pat yra ribojama. Ši ribojimą taip pat lemia ašies apkrova (nes esant didesnei ašies apkrovai, tam pačiam kelio ilgio vienetui tenka daugiau sąstato masės). Apribojimą išreiškę kaip lokomotyvo galios funkciją nuo ašies apkrovos ir galios, tenkančios masės vienetui, gauname:

$$N = (220,22M_{ašies} - 65,226) \cdot N_t \quad (4)$$

Toliau (3) ir (4) nagrinėsime kaip sistemą:

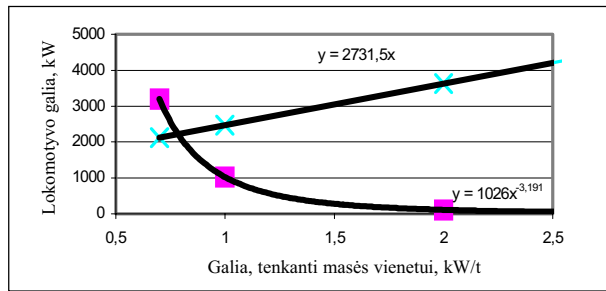
$$\begin{cases} N_t = 8,783 \cdot N^{-0,3134}, \\ N = (220,22 \cdot M_{ašies} - 65,23) \cdot N_t. \end{cases} \quad (5)$$

Pagal vidutinę ašies apkrovą 1999 m. (ji lygi 127 KN) gauname lygčių sistemą:

$$\begin{cases} N_t = 8,783 \cdot N^{-0,3134}, \\ N = 2731,5 \cdot N_t. \end{cases} \quad (6)$$

Lygčių sistemos (6) grafinė išraiška pateikta 2 pav.

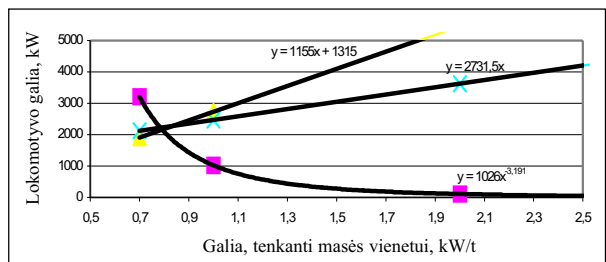
Kaip matyti iš 2 pav., rekomenduojamą lokomotyvo galios ir galios, tenkančios masės vienetui, santykį apibūdina tiesė $y=2731,5x$, o mažiausią galios, tenkančios masės vienetui, reikšmę riboja kreivė $y=1026x^{-3,191}$. Tai, kad ši kreivė apibūdina mažiausią leistiną galios, tenkančios masės vienetui, reikšmę, dar neįrodo, kad 2 pav. matomas grafikų susikirtimo taškas yra optimumas. Jei



2 pav. Lygčių sistemos (6) grafinė išraiška

Fig 2. Graphic form of system of equation

žvelgsime į 2 pav. pavaizduotus priklausomumus kaip į 1 pav. parodytų priklausomumų horizontalinę projekciją, nesunkiai įsitikinsime, kad ekonominis efektas didėja didėjant galiai ir mažėjant galiai, tenkančiai masės vienetui. Apibrėžtoje srityje egzistuoja aibė taškų, kuriuose ekonominis efektas yra vienodas. Sujungę tuos taškus gautume ekonominio efekto izolinijas. Šiuo atveju jos yra artimos tiesėms. Aproximavę tiesę, vieną iš jų nubrėšime šalia 2 pav. parodytų grafikų. Gauti rezultatai pateikti 3 pav.



3 pav. Izolinija, pavaizduota vienoje koordinatinių sistemoje su apribojimų kreivėmis

Fig 3. Isoline with equations of limits

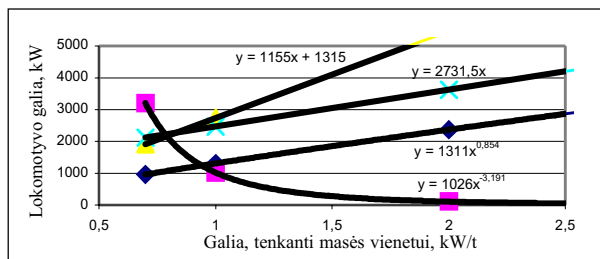
3 pav. atidėta izolinija rodo, kad ekonominis efektas į viršų nuo tiesės $y=1155x+1315$ yra didesnis nei į apačią nuo jos, t.y. pagal tiesę $y=2731,5x$ didėja žemyn, į dešinę. Tačiau ekonominis efektas didėja tik tuomet, kai krovinių apyvarta yra pakankama. Racionalios apyvartos priklausomumas nuo lokomotyvo galios ir galios, tenkančios masės vienetui, yra [3]:

$$A = 16,64 \cdot N \cdot N_t^{-0,854} \quad (7)$$

Apibendrinus 1999 m. duomenis (krovinių apyvartą, infrastruktūros pajėgumą) nustatyta, kad optimalus lokomotyvo galios ir galios, tenkančios masės vienetui, priklausomumas yra:

$$N = 1311 \cdot N_t^{0,854} \quad (8)$$

Grafinė šios lygties interpretacija kartu su apribojimais ir izolinija pateikta 4 pav.



4 pav. Optimalios lokomotyvo galios ir galios, tenkančios masės vienetui priklausomumas vienoje koordinacių sistemoje su apribojimų kreivėmis ir ekonominio efekto izolinija

Fig 4. Optimal motor power depending on motor power per one unit mass

Kaip matyti iš 4 pav., reikiamą lokomotyvo galią lemia priklausomumas, įvertinantis infrastruktūros ypatumus ir krovinių apyvartą. Todėl toliau tikslinga nagrinėti optimalios lokomotyvo galios priklausomumą nuo krovinių srauto. Iš (3) (7) ir (8) sudarome lygčių sistemą:

$$\begin{cases} N_t = 8,783 \cdot N^{-0,3134}, \\ N = 2731,5 \cdot N_t, \\ A = 16,64 \cdot N \cdot N_t^{-0,854}. \end{cases} \quad (9)$$

Išsprendę (9) lygtis gauname tašką (lokomotyvo galią ir galią, tenkančią masės vienetui), kuriame ekonominis efektas bus didžiausias.

4. Rekomenduojamos traukos riedmenų galios nustatymas pagal krovinių srautą

Analizuodami (9) lygčių sistemą gauname optimalios lokomotyvo galios priklausomumą nuo krovinių apyvartos. Jis pateiktas 1 lentelėje, o grafinė interpretacija – 5 pav.

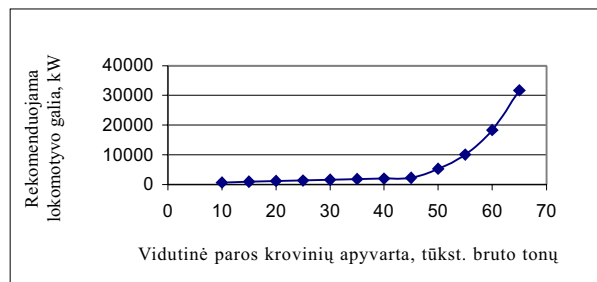
Kaip matyti iš 5 pav., kai krovinių apyvarta sudaro iki 45 000 t per parą, rekomenduojama lokomotyvo galia siekia apie 2500 kW. Vežti didesnį krovinių kiekį trukdo nepakankamas atvykimo ir išvykimo kelių ilgis. Todėl krovinių srautą padidinti iki 45 000 t per parą galima tik padidinus traukinių greitį. Tam reikėtų daug didesnės lokomotyvo galios. 1999 m. duomenimis, tranzitas sudarė 21 800 t per parą. Todėl tranzitiniams traukiniams tikslinga naudoti lokomotyvus, kurių galia yra nuo 1000

1 lentelė. Optimalios lokomotyvo galios priklausomumas nuo krovinių apyvartos

Table 1. Dependence of an optimum locomotive power on the freight turnover.

A, 10 ³ t	25	30	35	40	45	50	55	60
N, kW	1301	1387	1808	2008	2240	5253	10091	18313

A – prognozuojama apyvarta, tūkstančiais tonų per parą; N – rekomenduojama lokomotyvo galia, kW



5 pav. Optimalios lokomotyvo galios priklausomumas nuo krovinių apyvartos

Fig 5. Optimal motor power depending on evaluate difference of streams of loads

kW iki 1500 kW. Vidutinė tranzitinė apyvarta (21 800 t per parą) rytų kryptimi sudaro 8 720 t, o vakarų – 34 900 t per parą. Tai reiškia, jog rytų kryptimi racionali lokomotyvo galia būtų 700 kW, o vakarų kryptimi – 1900 kW. Vakarų kryptimi reikalinga lokomotyvo galia yra apie 2,7 karto didesnė nei rytų kryptimi. Tokie rezultatai gaunami tada, kai krovinių srautas per parą paskirstomas tolygiai, traukos riedmenys rytų ir vakarų kryptimis parenkami atskirai, t. y. nederinant jų galios ir reisų skaičiaus. Realiai Lietuvos sąlygomis pasinaudoti tokiais kriterijais neįmanoma. Ieškant optimalios galios abiem kryptimis negalima naudoti galios aritmetinio vidurkio dėl toliau aprašytų priežasčių. Krovinių apyvartai vakarų kryptimi $\Sigma A_{\text{vakarų}}$ realizuoti reikia tam tikros traukos riedmenų galios $\Sigma N_{\text{vakarų}}$. Kalbant apie $\Sigma A_{\text{vakarų}}$ ir $\Sigma N_{\text{vakarų}}$, kol kas neanalizuojame, kokio dydžio sąstatai formuojami ir kokia yra vieno ar kito lokomotyvo galia. Čia laikoma, kad krovinių apyvartos ir riedmenų galios sumos yra žinomos. Tam, kad būtų išlaikyta traukos riedmenų srautų pusiausvyra (pagal galią), traukos riedmenų srautas rytų kryptimi turi būti lygus traukos riedmenų srautui vakarų kryptimi: $\Sigma N_{\text{rytų}} = \Sigma N_{\text{vakarų}}$, nors krovinių apyvarta vakarų kryptimi yra apie 4 kartus didesnė: $\Sigma A_{\text{vakarų}} \cong 4 \Sigma A_{\text{rytų}}$. Tai reiškia, kad lokomotyvų srautą abiem kryptimis lems krovinių apyvarta vakarų kryptimi. Todėl būtų naudinga, kad suminis lokomotyvų srautas būtų kuo mažesnis. Tam reikia formuoti kuo didesnius sąstatus. Formuojant didesnius sąstatus mažesnės riedmenų galios, tenkančios masės vienetui, t. y. ir mažesnės suminės galios. Tai reiškia, kad 1900 kW riedmenų galia vienam reisui vakarų kryptimi nebus tinkama dėl eksploatacinių ypatybių. Galią ir sąstato masę reikia didinti, todėl reisų skaičius turi mažėti.

Todėl, įvertinę srautų asimetriją, matome, jog krovinių srauto tolygus paskirstymas per parą riedmenų naudojimo požiūriu nėra racionalus. Koncentruojant krovinių srautą galima apsieiti su mažesniu reisų skaičiumi ir reikalingu riedmenų galios suminiu srautu. Tokiu atveju būtų tikslinga nagrinėti galimybę gabenti tranzitu neperformuotus iš Baltarusijos atvykstančius sąstatus. Jų masė būna nuo 3800 t iki 4500 t. Lokomotyvo galia ir galia, tenkanti masės vienetui, būtų apskaičiuojamos iš lygčių sistemų (10) ir (11):

$$\begin{cases} 4500 \cdot N_r = N, \\ 1026 \cdot N_r^{-3,191} = N. \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} 3800 \cdot N_r = N, \\ 1026 \cdot N_r^{-3,191} = N. \end{cases} \quad (11)$$

Sistema (10) taikoma tada, kai sąstato masė yra 4500 t, o (11) – kai ji 3800 t. Abiem atvejais reikiama reisų skaičių randame pagal formulę:

$$R = A \frac{N_r}{N}. \quad (12)$$

Skaičiavimų rezultatai pateikti 2 lentelėje.

Kaip matyti iš 2 lentelės, vakarų kryptimi tikslinga

naudoti 3 M62 sekcijas, o rytų kryptimi – 1 M62 sekcija. Taigi vežant 4500 t masės sąstatus, reisų skaičius bus 10, o vežant 3800 t sąstatus jų bus 8. Kaip rodo suminis ekonominis efektas, riedmenų eksploatavimo požiūriu naudingiau vakarų kryptimi vežti 4500 t masės sąstatus. Vadinasi, ekonominio efekto skirtumas, palyginti su ekonominiu efektu, gaunamu taikant esamą metodiką, būtų 8924 Lt per parą. Tam, kad būtų galima vežti 4500 t sąstatus, trumpiausio atvykimo ir išvykimo kelio ilgis turi būti nustatomas pagal formulę:

$$L = L_{vag} \frac{4500}{84} + 54 + 10, \quad (13)$$

L_{vag} – vagono ilgis (čia jis yra 15 m); 84 – vagono masė, t (kai sąstato masė 4500 t); 54 – 3 M62 sekcijų ilgis, m; 10 – ilgio atsarga, m.

Kai vagono ilgis 15 m, gauname, jog trumpiausias atvykimo ir išvykimo kelio ilgis yra 870 m.

5. Išvados

1. Parenkant traukos riedmenis reikia įvertinti krovinių srautą bei galimą jo kitimą.

2 lentelė. Eksploatacinių ir ekonominių rodiklių skaičiavimo rezultatai

Table 2. Calculation results of maintenance and economic indicators

Pagal optimizavimo rezultatus		Taikant rezultatus esamiems lokomotyvams (M62 sekcijoms)		Pagal esamą metodiką	
vakarų kryptis					
M, t	3800	4500	3800	4500	3612
N_r , kW/t	0,732	0,703	1,16	0,98	0,8139
N, kW	2781	3163	4410 / 3528	4410 / 3528	2940 / 2352
R	10	8	10	8	10
E, Lt per parą	4 985 356	4 988 527	4 974 565	4 981 656	4 987 694
rytų kryptis					
M, t	872	1090	872	1090	1032
N_r , kW/t	0,732	0,703	1,685	1,349	2,849
N, kW	638	766	1470 / 1176	1470 / 1176	2940 / 2352
R	10	8	10	8	10
E, Lt per parą	1 244 979	1 245 571	1 238 614	1 241 288	1 226 326
ΣE, Lt per parą	6 230 535	6 234 098	6 213 179	6 222 944	6 214 020
ΔE, Lt per parą	16 515	20 078	-841	8924	0

Pastabos: M – sąstato masė, t; R – reisų skaičius. Kai pateikiamos dvi lokomotyvo galios per brūkšnelį (pvz., 1470 / 1176), pirmasis skaičius reiškia naujo (nesusidėvėjusio) lokomotyvo galią, o skaičius po brūkšnelio – faktinę lokomotyvo galią, įvertinant variklio susidėvėjimą. ΣE – ekonominio efekto rytų ir vakarų kryptimis suma, o ΔE – tos sumos skirtumas, palyginti su analogiška suma, gauta pagal dabar naudojamų 2M62 lokomotyvų duomenis (todėl paskutiniame stulpelyje ΔE=0).

2. Tiksliai nustatyti kasdienio krovinių srauto kitimo neišmanoma, tačiau įvertinti reikia ne tik jo vidurkį, bet ir svyravimo ribas.

3. Parenkant traukos riedmenis reikia įvertinti krovinių srauto asimetriją rytų ir vakarų kryptimis. Naudojant M62 serijos sekcijas, pagal 1999 m. krovinių apyvartą ekonomiškai tikslingiausia būtų vakarų kryptimi vežti 4500 t masės sąstatus ir tam naudoti 3 M62 sekcijas. Rytų kryptimi važiuojant pakaktų 1 M62 sekcijos. Tai, palyginti su dabar taikoma metodika, per parą duotų 8924 Lt ekonominę efektą.

4. Įvertinę krovinių srauto asimetriją rytų ir vakarų kryptimis matome, kad vakarų kryptimi racionali lokomotyvo galia yra 2,7 karto didesnė, nei būtų racionali rytų kryptimi.

5. Kadangi reikiamas M62 lokomotyvo sekcijų skaičius reisams rytų ir vakarų kryptimis yra skirtingas, tampa aktualus jų racionalaus gražinimo klausimas. Tam, kad šį klausimą išspręstume, reikia išnagrinėti aibę galimų M62 sekcijų gražinimo būdų ir parinkti ekonomiškai naudingiausią (pvz., gražinti M62 sekcijas tuo pačiu traukiniu, kuriuo jos atvyko, formuoti specialų sąstatą tik iš M62 sekcijų ar sudaryti sudėtingesnį gražinimo algoritmą).

Literatūra

1. European Consortium for Mathematics in Industry. Book of abstracts. Technical University of Denmark, 1996.
2. E. Anderson. Energy consumption and air pollution of electric Rail traffic. Railway technology department of vehicle engineering royal institute of technology. Stockholm, 1994.
3. L. P. Lingaitis, G. Vaičiūnas. Traukos riedmenų naudojimo optimizavimas //Transportas, XV t., Nr. 5. Vilnius: Technika, 2000, p. 209–214.
4. 1999 m. tranzitinių krovinių tarifai. Tarifų knyga TKT-LG/99. Vilnius: SPAB „Lietuvos geležinkeliai“, 1998. 30 p.

Įteikta 2001 10 17

THE INFLUENCE OF ASYMMETRY OF STREAMS OF LOADS ON THE CHOICE OF TRACTION ROLLING-STOCKS

G. Vaičiūnas, L. P. Lingaitis

Summary

Working with market terms and conditions, matters (issues or questions) regarding stocktaking (registration) of property (resources) and rational usage are very urgent. Economical effect is perceived as tax, the difference is got by the transportation of carriage and exploitation cost. The mathematical model is formed of three components. The receipts or income (affir-

mative and positive component), fuel cost and cost of time (negative component). The difference of streams of loads is very important.

This mathematical model is supposed to improve the transport income for each transported carriage unit, the cost of fuel and other exploitation costs and to evaluate the difference of streams of loads.

Deductions are made. Selecting traction rolling-stocks stream of loads and its change should be appraised. It is very difficult to appraise exactly the stream of loads every day. Selecting traction rolling-stocks the asymmetry of stream according to west and east direction should be appraised. This method allows to have about 8 – 9 thousand of Litas benefit per day. Because the number of locomotives M62 according to direction is different, the question of returning becomes actual. For the solution of this question we must analyze a lot of methods of returning and select profitable method.

GEDIMINAS VAIČIŪNAS

Master of Science, Railway Transport Department, Vilnius Gediminas Technical University (VGTU, formerly VTU), J. Basanavičiaus g. 28, LT-2009 Vilnius, Lithuania. E-mail: vaic@ti.vtu.lt

Master of Science (Transport Engineering), VGTU, 1997. Bachelor of Science (Transport Engineering), VTU, 1995. Research interests: rolling-stock registration and optimization of rolling-stock exploitation.

LEONAS POVILAS LINGAITIS

Doctor Habil, Professor of Department of Railway Transport, Dean of Transport Faculty, Vilnius Gediminas Technical University (VGTU, formerly VTU), J. Basanavičiaus g. 28, LT-2009 Vilnius, Lithuania. E-mail: leonasl@ti.vtu.lt

Doctor Habil of Science, Moscow Civil Engineering Institute, 1988. Doctor of Science, Leningrad Polytechnic Institute, 1971. Post-graduate degree study course. Leningrad Polytechnic Institute, 1969-1971. First degree in Mechanical Engineering, Kaunas Polytechnic Institute (KPI), 1964. Employment: Professor and head of Department of Railway Transport (1994), Professor (1990), Associate Professor (1978), lecturer (1972), VGTU (formerly VTU, VISI). Chief engineer of projects, Kaunas Radio Plant, 1964-1968. Publications: "Parameter Calculation of Rotary Soil Spreaders", 1988. "Determination of Rational Parameters of Rollers for Compacting Slope Ground", 1987. "The System of Machinery for Strengthening Slopes of Soil Structures", Vilnius, 1985. "Constructional Parameter Optimization of Multipurpose Land Levers", 1983. "Reduction of Energy Resources when Building Highway Embankments", 1983. Conferences: participant of international conferences "Mechanization of Earth-moving" (Budapest), "Developing Functional Possibilities of Earthmowing Machines" (Kiev, Ukraine), 1991, "Machines and Robots" (Moscow), 1965. Books: "Exploitation of locomotives"(1997), "Exploitation of wagons"(1998) and "Diagnostic of rolling-stocks"(2000). Research interests: rolling-stock operational improvement.