



21-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos
TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,
vykusios 2018 m. gegužės 4-5 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 21th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'
TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT, 4-5 May 2018, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 21-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»
ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, 4-5 мая 2018 г., Вильнюс, Литва

GELEŽINKELIO KELIO REMONTO MAŠINŲ PARKO FORMAVIMO STRATEGIJA

Marius Ramanauskas, Gediminas Vaičiūnas

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Transporto inžinerijos fakultetas
El. paštas: m.ramanauskas4@gmail.com; gediminas.vaiciunas@vgtu.lt*

Santrauka. Formuojant arba reorganizuojant geležinkelio kelio remonto mašinų parką visuomet reikia išspręsti du esminius klausimus: kokias (arba kurias) mašinas parke naudoti ir kur tas mašinas išdėstyti infrastruktūroje. Atsakymas į šiuos klausimus: turime užtikrinti reikiamą mašinų suminį našumą, esant kuo mažesniai mašinų skaičiui ir kuo mažesnėms jų eksploataavimo sąnaudoms. Straipsnyje pateikti šių uždavinių sprendimo pavyzdžiai Lietuvos geležinkelių infrastruktūros pavyzdžiu. Mašinų parko sudėčiai nustatyti straipsnio autoriai naudoja daugiakriterinius optimizavimo metodus. Mašinų laikymo vietoms nustatyti autoriai siūlo remtis kelio remonto darbų apimčių išsidėstymo svorio (svertinio) centro principu, modeliujant mašinų išdėstymo schemą keletu galimų scenarijų, su įvairiu svorio centrų skaičiumi.

Reikšminiai žodžiai: geležinkelis, geležinkelio kelio remontas, mašinų parkas, parko formavimas, daugiakriterinis metodas.

Įvadas

Nepriklausomai nuo to, ar geležinkelio kelio remonto mašinų parkas formuojamas iš naujo, ar jis reorganizuojamas, bet kokių atveju reikia pirmiausia atsakyti į klausimus: kokias (arba kurias iš jau turimų) mašinas parke naudoti ir kur tas mašinas laikyti (tai yra išdėstyti infrastruktūroje). Šiais klausimais straipsnio autoriai pateikia keletą tyrimais pagrįstų idėjų, tačiau pirmiausia reikia apžvelgti minėtų mašinų parko tyrimo patirtis įvairiose šalyse.

Geležinkelio kelio remonto mašinų parko tyrimo patirčių apžvalga

Kelio remonto darbams atlikti reikalinga specializuota technika, tai yra planiravimo, pamušimo ir kitos mašinos, su apmokyta brigada bei reikiama įranga. Savaime suprantama, kad tokia įranga ir brigados yra brangiai kainuojančios ir turi būti kuo maksimaliau išnaudojamos (Liden 2015).

Vienas iš veiksmingiausių būdų lokalizuoti kelio priežiūros mašinas ir brigadas yra pagrindinėse stotyse ir pagrindinių transporto koridorių atsišakojusiuose keliuose, kad būtų užtikrinamas kuo mažesnis kelio užimtumas ir kuo didesnis krovinių pralaidumas. Šiam klausimui spręsti mokslininkai siūlo modelius. Murakami ir Turnquist siūlo daugiametį nelijinį kelio priežiūros modelį (Murakami, Turnquist 1985). Atskirų ruožų priežiūra sumažintų kelių

gedimų skaičių. Šį modelį jis apskaičiavo supaprastintu gradiento metodu naudodamas rekursines funkcijas. Šis modelis nustato vietas, kuriuose reikia bazuoti kelio pamušimo mašinas, tačiau skaičiavimai atlikti trikeliams ruožams (Liden 2014), todėl tiesioginiam taikymui ne tik Lietuvoje, bet ir daugelyje Europos šalių yra nelabai tinkamas.

Sudarytas kelio remonto ir priežiūros planas metams, kuris suskaidytas savaitėmis ir dienomis, padalintas kelio remonto brigadoms, suteikia galimybę teisingai lokalizuoti spec. mašinas ir brigadas, taip sumažindamas važiavimo kaštus. Nustatyti laikymo vietas galima ir hibridiniais, stochastiniais, patikimumo uždavinio sprendimo metodais (Liden 2014).

Šiaurės Amerikos, Japonijos, Švedijos ir Jungtinės karalystės geležinkelio tinklų išdėstymas bei nudėvėjimo lygis skirtingas, todėl užsienio patirčių apžvalgos autorių metodais, lokalizuoti kelio priežiūros mašinų Lietuvos geležinkelių tinkle tiesmukai negalima.

Mašinų parko sudėties nustatymo metodika

Norint išsirinkti tinkamiausias mašinas, jas galima įvertinti pagal daugiakriterinius vertinimo metodus:

- VS – vietų sumos metodą;
- GV – geometrinio vidurkio metodą;
- SAW – paprastų svorių sudėjimo metodą.

Pirmiausia reikia nustatyti, pagal kokius kriterijus bus vertinamos kelio mašinos, tuomet galima įvertinti objektų vietas. Atliekant įvairius bėgių kelių remontų darbus svarbiausia, kad kelio mašina būtų galinga, dirbtų našiai ir būtų nedidelės energijos sąnaudos.

Vertinimo kriterijai yra: R_1 – galia, kW; R_2 – energijos sąnaudos, kW/h; R_3 – darbo našumas, m/h.

1 lentelė. Geležinkelio kelio remonto mašinų vertinimo kriterijai

Mašinos	Mašinų paskirtis	Galin-gumas (kW)	Energi-jos sąnaudos (kW/h)	Darbo našumas (m/h)
AGRC-1200	Manevravimo ir kt. darbai	1	2	13
MPD-2	Manevravimo ir kt. darbai	2	1	18
UNIMAT 08475 4S	Taisyti ir lyginti kelią	3	17	4
09-32CSM	Taisyti ir lyginti kelią	4	18	1
BDS200	Atlikti kelio apdailos darbus	5	15	2
DGS 62N	Stabilizuoti kelią	6	9	3
OT-400	Atlikti grunto valymo darbus	7	11	8
09-16 CSM	Taisyti ir lyginti kelią	8	16	6
SSP-110SW	Atlikti kelio apdailos darbus	9	14	5
MPT-6	Manevravimo ir kt. darbai	10	7	16
MPT-4	Manevravimo ir kt. darbai	11	8	15
DGKu	Manevravimo ir kt. darbai	12	4	12
AGD-1M	Manevravimo ir kt. darbai	13	5	17
VPRS 500	Taisyti ir lyginti kelią	14	12	9
VPR-1200	Taisyti ir lyginti kelią	15	19	7
WM15S	Manevravimo ir kt. darbai	16	6	14
KDE-163	Atlikti kėlimo darbus	17	10	21
KŽDE-16	Atlikti kėlimo darbus	18	3	20
KRC-1600	Atlikti kėlimo darbus	19	13	19
MRT-2	Kloti ir nuimti pabėgius	20	21	10
LFT-4111	Fiksuoti paklotus pabėgius	21	20	11

Sudarius lentelę kelio mašinas pažymime alternatyvomis – A_x , kriterijus pasižymime rodikliais – R_y . Kai jau viskas įvertinta pradedami skaičiavimai.

Kiekvienai alternatyvai apskaičiuojama vietų suma:

$$A_x = R_1 + R_2 + R_3, \quad (1)$$

čia: A_x – alternatyvos; $R_{1,2,3}$ – alternatyvos vieta reitinge nagrinėjamo kriterijaus požiūriu. Kuo vietų suma mažesnė, tuo ta alternatyva gauna aukštesnę vietą galiniame reitinge. Rezultatai pateikiami 2 lentelėje.

2 lentelė. Geležinkelio kelio remonto mašinų vertinimas vietų sumos metodu

Alternatyva	R1	R2	R3	Vietų suma	Vieta galiniame reitinge
A ₁	1	2	13	16	1
A ₆	6	9	3	18	2
A ₂	2	1	18	21	3
A ₅	5	15	2	22	4
A ₄	4	18	1	23	5
A ₃	3	17	4	24	6
A ₇	7	11	8	26	7
A ₉	9	14	5	28	8
A ₁₂	12	4	12	28	9
A ₈	8	16	6	30	10
A ₁₀	10	7	16	33	11
A ₁₁	11	8	15	34	12
A ₁₄	14	12	9	35	13
A ₁₃	13	5	17	35	14
A ₁₆	16	6	14	36	15
A ₁₅	15	19	7	41	16
A ₁₈	18	3	20	41	17
A ₁₇	17	10	21	48	18
A ₂₀	20	21	10	51	19
A ₁₉	19	13	19	51	20
A ₂₁	21	20	11	52	21

Iš 2 lentelės duomenų matyti, kad aukščiausią vietą galiniame reitinge turi alternatyva A₁, tai yra mašina AGRC-1200.

Geometrinio vidurkio metodui duomenis reikia normalizuoti, tai yra įvertinti, kokią dalį tos alternatyvos rodiklio reikšmę sudaro nuo atitinkamų reikšmių sumos per visas alternatyvas. Naudojami duomenys iš 2 lentelės. Normalizuojant duomenis reikia imti kiekvieno stulpelio elementą ir jį padalinti iš to stulpelio elementų sumos:

$$A_{11} = \frac{A_1}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + \dots + A_n}, \quad (2)$$

čia: $A_{1,2,3,4,\dots,n}$ – rodiklių reikšmės.

Geometrinio vidurkio apibendrintas kriterijus GV_i randamas sudauginus visus stulpelio elementus ir ištraukus to laipsnio šaknį kiek yra rodiklių:

$$G_{1,\dots,n} = \sqrt[n]{R_1 * R_2 * R_3}, \quad (3)$$

čia: $G_{1,\dots,n}$ – geometrinis vidurkis; $R_{1,2,3}$ – vertinimo kriterijų rodikliai; n – šaknies laipsnis.

3 lentelė. Geležinkelio kelio remonto mašinų vertinimas geometrinio vidurkio metodu

Alternatyva	R1	R2	R3	Geometrinio vidurkio kriterijai	Vieta galiniame reitinge
r	0,34	0,33	0,33	–	–
A ₁	0,0043	0,0087	0,0563	0,0128	1
A ₂	0,0087	0,0043	0,0779	0,0143	2
A ₄	0,0173	0,0779	0,0043	0,0180	3
A ₅	0,0216	0,0649	0,0087	0,0230	4
A ₆	0,0260	0,0390	0,0130	0,0236	5
A ₃	0,0130	0,0736	0,0173	0,0255	6
A ₁₂	0,0519	0,0173	0,0519	0,0360	7
A ₁₇	0,0303	0,0476	0,0346	0,0368	8
A ₉	0,0390	0,0606	0,0216	0,0371	9
A ₈	0,0346	0,0693	0,0260	0,0397	10

3 lentelės pabaiga

A ₁₈	0,0779	0,0130	0,0866	0,0444	11
A ₁₃	0,0563	0,0216	0,0736	0,0447	12
A ₁₀	0,0433	0,0303	0,0693	0,0450	13
A ₁₁	0,0476	0,0346	0,0649	0,0475	14
A ₁₆	0,0693	0,0260	0,0606	0,0478	15
A ₁₄	0,0606	0,0519	0,0390	0,0497	16
A ₁₅	0,0649	0,0823	0,0303	0,0545	17
A ₁₇	0,0739	0,0433	0,0909	0,0662	18
A ₂₀	0,0866	0,0909	0,0433	0,0699	19
A ₂₁	0,0909	0,0856	0,0476	0,0721	20
A ₁₉	0,0823	0,0563	0,0823	0,0725	21

Iš 3 lentelės duomenų matyti, kad aukščiausią vietą galiniame reitinge turi alternatyva A₁, tai yra mašina AGRc-1200.

Skaičiuojant paprastų svorių sudėjimo metodu naudojami duomenys iš 3 lentelės. Imami normalizuoti duomenys. Normalizuotų duomenų kiekvienas narys dauginamas iš kriterijaus svarbos koeficiento r ir sudedamas su kitais alternatyvos nariais:

$$S_{1,2,3,\dots,n} = (R_1 \cdot r_1 + R_2 \cdot r_2 + R_3 \cdot r_3), \quad (4)$$

čia: $S_{1,2,3,\dots,n}$ – paprastų svorių sudėjimo metodu apskaičiuoto apibendrinto kriterijaus reikšmė; $R_{1,2,3}$ – vertinimo kriterijų rodikliai; $r_{1,2,3}$ – kriterijaus svarbos koeficiento reikšmės.

Skaičiavimui priimta, kad pastarosios pasiskirsto po lygiai (po 1/3). Kelio mašinų paprastų svorių sudėjimo metodo gauti rezultatai pateikiami 4 lentelėje.

4 lentelė. Geležinkelio kelio remonto mašinų vertinimas paprastų svorių sudėjimo metodu

Alternatyva	SAW kriterijai	Vieta galiniame reitinge
A ₁	0,0229	1
A ₆	0,0260	2
A ₂	0,0301	3
A ₅	0,0316	4
A ₄	0,0330	5
A ₃	0,0344	6
A ₇	0,0374	7
A ₉	0,0404	8
A ₁₂	0,0405	9
A ₈	0,0432	10
A ₁₀	0,0476	11
A ₁₁	0,0490	12
A ₁₄	0,0506	13
A ₁₃	0,0506	14
A ₁₆	0,0521	15
A ₁₅	0,0592	16
A ₁₈	0,0594	17
A ₁₇	0,0693	18
A ₂₀	0,0737	19
A ₁₉	0,0737	20
A ₂₁	0,0752	21

Iš 4 lentelės duomenų matyti, kad aukščiausią vietą galiniame reitinge turi alternatyva A₁, tai yra mašina AGRc-1200.

Skaičiavimų trimis daugiakriteriniais metodais rezultatai ir gautos galutinės alternatyvų vietos pateikiamos 5 lentelėje. Iš 5 lentelės matyti, kad kelio remonto maši-

nos DGS 62N, BDS200, 09-32CSM ir UNIMAT 08475 4S užima aukščiausias pozicijas.

5 lentelė. Skaičiavimų vietos sumų, geometrinio vidurkio ir paprastų svorių sudėjimo metodais rezultatų palyginimas

Kelio mašina	Metodo pavadinimas			Vietų vidurkis	Galutinė vieta
	Vietų sumos (VS)	Geometrinio vidurkio (GV)	Paprastųjų svorių sudėjimo (SAW)		
	Vieta	Vieta	Vieta		
AGRc-1200	1	1	1	1	1
MPD-2	3	2	3	2,6	2
DGS 62N	2	5	2	3	3
BDS200	4	4	4	4	4
09-32CSM	5	3	5	4,3	5
UNIMAT 08475 4S	6	6	6	6	6
OT-400	7	8	7	7,3	7
SSP-110SW	8	9	8	8,3	8
DGKu	9	7	9	8,3	9
09-16 CSM	10	10	10	10	10
MPT-6	11	13	11	11,6	11
MPT-4	12	14	12	12,6	12
AGD-1M	14	12	14	13,3	13
VPRS 500	13	16	13	14	14
WM15S	15	15	15	15	15
KZDE-16	17	11	17	15	16
VPR-1200	16	17	16	16,3	17
KDE-163	18	18	18	18	18
MRT-2	19	19	19	19	19
KRC-1600	20	21	20	20,3	20
LFT-4111	21	20	21	20,6	21

Mašinos su dideliu našumu, bei mažomis energijos sąnaudomis yra tinkamiausios naudoti svorio centro metodu apskaičiuotoje lokacijoje.

Mašinų parko išdėstymo metodika

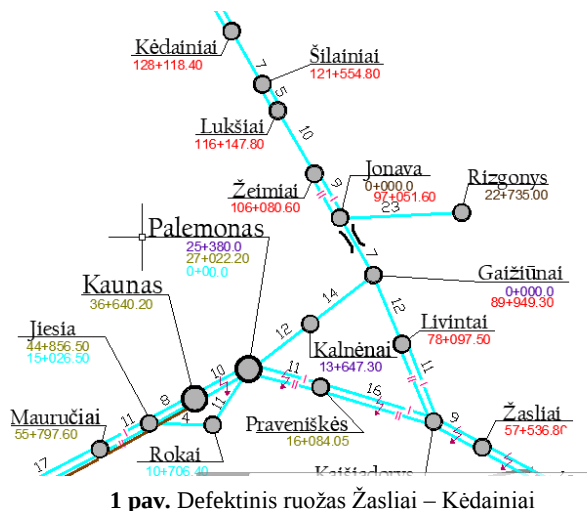
Remiantis 2016-2017 metų kelmačio vagono EM-140 rodmenimis bei ataskaitomis, nustatyta, kad defektingiausia yra IXB koridoriaus atkarpa Žasliai – Kėdainiai. Jos pavyzdžiu autoriai pateikia kelio mašinų parko išdėstymo metodiką. Defektinis ruožas Žasliai – Kėdainiai pavaizduotas 1 paveiksle.

Svorio centrus galima nesunkiai nustatyti pritaikius svorio centro koordinatžių skaičiavimo formules. Figūros centro koordinatės gali būti išreikštos per mechanikoje žinomas ir naudojamas kūno svorio centro nustatymo formules (Paliūnas 1997):

$$X_C = \sum G_i \cdot X_i / \sum G_i, \quad (5)$$

$$Y_C = \sum G_i \cdot Y_i / \sum G_i, \quad (6)$$

čia: G_i – elementarių kūno dalių svoris; X_c, Y_i – centrų koordinatės, koordinačių ašių x-y atžvilgiu; $\sum G_i$ – viso kūno svoris.



1 pav. Defektinis ruožas Žasliai – Kėdainiai

Nagrinėjamą objektą galima padalinti į keletą dalių, tuo būdu svorio centro metodu galima rasti daugiau nei vieną svorio centrą. Iš keleto padalinimo būdų galima išrinkti tinkamiausią variantą (pavyzdžiui daugiakriterinio vertinimo metodais).

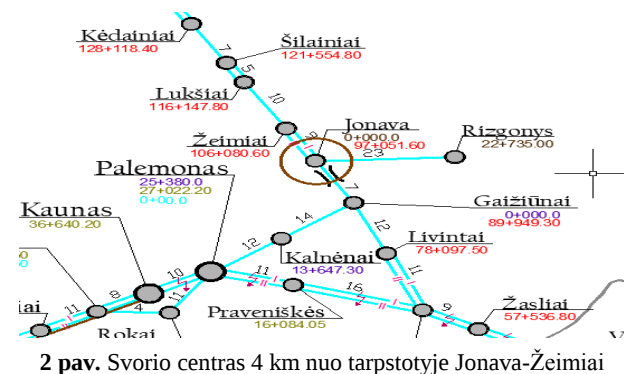
Skaičiavimui naudojama adaptuota formulė:

$$l_1 \cdot G_1 + l_2 \cdot G_2 + l_n \cdot G_n = l_v(G_1 + G_2 + G_n), \quad (7)$$

čia: $l_{1,2,n}$ – atstumas iki defekto, km nuo atskaitos taško (stotis Vilnius); $G_{1,2,n}$ – svoris (defektingumas – defektų skaičius kilometre), l_v – ieškomas svorio centras, km.

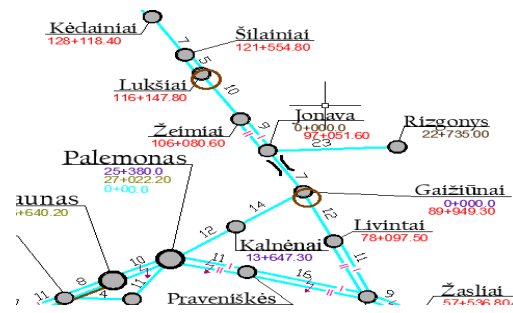
Atlikus skaičiavimus su vienu svorio centru, svorio centras yra 101-ame kilometre. Vieta yra nutolusi 4 kilometrus nuo Jonavos. Skaičiavimai su vienu svorio centru konkrečiame ruože faktinio darbo laiko nepadidins, nes bazuojamos kelio mašinos šiuo metu yra Kaune ir Jonavoje, o šiose lokacijos vietose remonto mašinų darbo veiksmingumas apskaičiuotas.

Lokacijos vieta su vienu svorio centru pavaizduota 2 paveiksle.



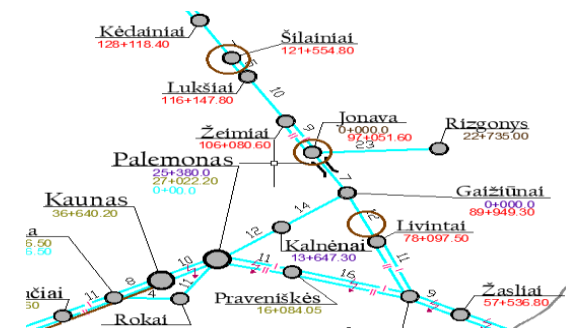
2 pav. Svorio centras 4 km nuo tarpstotyje Jonava-Žeimiai

Atlikus skaičiavimus su dviem svorio centrais, svorio centrai yra 87 - ame kilometre ir 116 - ame kilometre. Vietos nurodomos 3 paveiksle.



3 pav. Svorio centrai 116 km st. Lukšiai ir 87 km tarpstotyje Livintai - Gaižiūnai

Padalinus visą ruožą Žasliai – Kėdainiai į tris atkarpas pagal kilometražą ir panaudojus (7) formulę gaunama svorių centrų (lokacijų) vietas pavaizduotas 4 paveiksle.



4 pav. Svorio centrai 121 km st. Šilainiai, 102 km ir 121 km

Kurį scenarijų ir kuo remiantis pasirinkti, iš šių tyrimų rezultatų kol kas nėra aišku. Tačiau šį klausimą tolesniuose tyrimuose galima išspręsti, pavyzdžiui, naudojant daugiakriterinius optimizavimo metodus, jais vertinant minėtas alternatyvas, pasirinkus adekvačius vertinimo kriterijus.

Išvados

1. Formuojant arba reorganizuojant geležinkelio kelio remonto mašinų parką, mašinų parko sudėčiai nustatyti, straipsnio autoriai siūlo naudoti daugiakriterinius optimizavimo metodus, straipsnyje pateikia jų taikymo pavyzdžių.
2. Sprendžiant klausimą, kur mašinas išdėstyti infrastruktūroje, autoriai siūlo remtis kelio remonto darbų apimčių išsidėstymo svorio (svertinio) centro principu, modeliuojant mašinų išdėstymo schemą keletu galimų scenarijų, su įvairiu svorio centrų skaičiumi, pagal straipsnyje pateiktą pavyzdį.
3. Kurį scenarijų ir kuo remiantis pasirinkti, šio klausimo autoriai šiame tyrimo etape neišspėdė, tačiau jį tolesniuose tyrimuose galima išspręsti taip pat naudojant daugiakriterinius optimizavimo metodus, jais vertinant minėtas alternatyvas pagal pasirinkus kriterijus.

Literatūra

- Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2008. Daugiakriterinio vertinimo būdų suderinamumas, *Verslas: teorija ir praktika* 9(1): 73-80. [žiūrėta 2017-12-09] Prieiga per internetą: <http://dspace.vgtu.lt/handle/1/299>.
- Lidén, T., 2014. Survey of railway maintenance activities from a planning perspective and literature review concerning the use of mathematical algorithms for solving such planning and scheduling problems. *Technical Report*. Linköping University, Department of Science and Technology, 34-48. [žiūrėta 2017-12-15] Prieiga per internetą: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:754942/FULLTEXT01.pdf>
- Lidén, T. 2015. Railway Infrastructure Maintenance - A Survey of Planning Problems and Conducted Research. *Transportation Research Procedia*, 2-6 [žiūrėta 2017-12-15] Prieiga per internetą: https://ac.els-cdn.com/S2352146515001982/1-s2.0-S2352146515001982-main.pdf?_tid=53a61402-121c-11e8-b6fd-00000aacb361&acdnat=1518677530_aff7ca491f86a86f4f69bd4b8c7b113f .
- Murakami, K.; Turnquist, M. A. 1985. Dynamic model for scheduling maintenance of transport facilities. *Transportation Research Record*, 8-148 6 . Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856403001186>.
- Paliūnas, V. 1997. *Teorinė mechanika*. Kaunas: Technologija. 23-483.