



20-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos  
**TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA**,  
vykusios 2017 m. gegužės 12 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 20th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'  
**TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT**, 12 May 2017, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 20-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»  
**ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК**, 12 мая 2017 г., Вильнюс, Литва

## PAŽEISTO AŠIRAČIO IR BĖGIO SAŲVEIKOS KONTAKTINĖS JĖGOS TYRIMAS

Evaldas Vinickas, Marijonas Bogdevičius

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Transporto technologinių įrenginių katedra*  
*El. paštas: evaldas.vinickas@gmail.com; marijonas.bogdevicius@vgtu.lt*

**Santrauka.** Geležinkelio eismo sauga – tai viena iš prioritetinių geležinkelio transporto sričių, kurios pagrindinė užduotis yra keleivių ir krovinių saugumo užtikrinimas. O pažeidimai, susiję su riedmenų ašidėžėmis ir aširačio mazgais, yra viena iš daugelio pagrindinių problemų, nuo kurių priklauso eismo sauga. Kadangi aširačio ratas yra pagrindinis elementas, kontaktuojantis su bėgiais, todėl yra svarbu žinoti aširačių pažaidų tipus, jų atsiradimo priežastis bei tinkamai jas diagnozuoti. Šiame straipsnyje naudojant matematinį modelį yra nagrinėjamas vagono su kroviniu ir be krovinio kontaktinių jėgų atsiradimas aširačio ir bėgio kontakto zonoje, kai vagono ratas pažeistas ištrupos.

**Reikšminiai žodžiai:** ištrupa, kontaktinė jėga, vagonas, aširatis, pažaida.

### Įvadas

Aširačio ratas yra vienintelis ir pagrindinis elementas, kuris liečiasi savo paviršiumi su bėgiais, o visas vagono svoris ir apkrovos per aširačio ratą yra perduodamos bėgiams. Todėl labai svarbu, kad ratas kontakto zonoje su bėgio galvute patirtų kuo mažesnę kontaktinę jėgą. Atsiradus aširačio pažaidoms, tokioms kaip iščiuoža ar ištrupa, kontakto zonoje atsiranda normaliniai įtempiai bei didėja kontaktinė jėga, dėl kurių gali atsirasti bėgių defektai. Būtent todėl vagonai su didesnėmis nei leistina aširačio pažaidomis turi būti siunčiami į einamąjį remontą, kur aširačiai bus pakeisti naujais arba aptekinti. Labai svarbu aširačio defektus pamatyti kuo anksčiau, nes jiems didėjant, atsiranda didesnės kontaktinės jėgos ir taip gali būti labai stipriai pažeisti bėgiai, kurių remontas pareikalaus didelių išlaidų. Sąstatai, prieš išvykstant iš pakrovos stoties, yra patikrinami geležinkelių darbuotojų, kurie įvertina, ar nėra jokių vagonų defektų.

### Aširačių pažaidos, jų atsiradimas bei tyrinėjimas

Aširačio defektai turi įtakos ne tik riedmenų bet ir bėgių būklei. Yra daug įvairių priežasčių, kurios lemia aširačio rato pažaidų atsiradimą.

Pagrindinės priežastys, kodėl atsiranda aširačių pažeidimai, yra nuolat aširačius veikiančios įvairios jėgos, tokios kaip tangentiniai įtempimai, normaliniai įtempiniai, kontaktinės jėgos ir virpesiai. Normaliniai įtempimai susidaro kontakto zonoje tarp rato ir bėgio; tangentiniai įtempimai taip pat skaičiuojami kontakto zonoje; o kon-

taktinės jėgos yra tiesiogiai susijusios su apkrova. Vibracijos taip pat labai svarbus aspektas kalbant apie aširačio rato pažeidimus. Šios vibracijos veikia tiek vagoną, tiek bėgį, taip sukeldamos techninius gedimus (Žygienė *et al.* 2014).

Kita didžiausia problema yra stabdymo procesas, kuris lemia aširačio ratų ir bėgių paviršių defektų pasireiškimą, kai ratai yra užblokuojami ir čiuožia bėgiu. Taip gali nutikti dėl įvairių priežasčių, tokių kaip neteisingai sureguliuoti stabdžiai, o žiemą ir dėl prišalusių stabdžių, taip pat įtakos turi ir aplinkos sąlygos.

Norminiuose dokumentuose yra aprašomos šios pažaidos: iščiuožos, ištrupos, sąslankos, tolygi nuodyla, netolygi nuodyla bei žiedinė išdyla. Dažniausiai pasitaikančios ir aprašomos literatūroje yra iščiuožos bei ištrupos (Techninė vagonų... 2011; Techninio geležinkelių... 1996).

Dažniausiai dėl rato čiuožimo bėgiu ir plastinės deformacijos atsiranda greitesnis dilimas rato paviršiuje ir susidaro iščiuožos, kurių ilgių ribos prasideda nuo 20 mm ir gali būti ilgesnės nei 100 mm.

Kai ratas su pažaidos vieta kontaktuoja su bėgiu, dinaminės jėgos didėja ir tai neigiamai veikia ir aširatį, ir bėgius. Dėl padidėjusių dinaminės jėgos kaista ašidėžės guoliai, lūžta ratai ir atsiranda bėgių defektų, dėl atsiradusių vibracijų, kurios sukelia didesnes jėgas už leistinas ir perduoda jas vežimėliams, pažeidžiama pakabos sistema, vežimėlio rėmas (Vyas *et al.* 2006; Brizuela *et al.* 2012).

Dėl didesnės trinties rato paviršiaus temperatūra pakyla ir greitai pradeda kristi, todėl susidaro temperatūrų

skirtumai, dėl kurių gali pradėti formuotis įvairūs metalo trupėjimai iščiuožoje. Tai gali būti įvairių įtrūkimų ir įskilimų pradžia, kuriems didėjant prarandama santykinai daug metalo (Vyas *et al.* 2006; Brizuela *et al.* 2012). Įvairiuose moksliniuose darbuose nagrinėjamos dažniausiai aptinkamos pažaidos – iščiuožos. Bian ir kiti tyrėjai savo straipsnyje nagrinėjo, kokios jėgos veikia pabėgį, bėgiu važiuojant riedmeniui su iščiuoža skirtingais greičiais bei skirtingomis apkrovomis. Žygienė taip pat tyrinėjo aširačio rato su iščiuoža sąveiką su bėgiu (Žygienė *et al.* 2014; Bian *et al.* 2013). Tačiau laikui bėgant iščiuožos ilgėja ir gylėja, taip susidarant pavojingesnėms pažaidoms – ištrupoms.

Ištrupa – aširačio rato riedėjimo paviršiaus metalo ištrupėjimo vieta (1 pav.). Norminiuose dokumentuose ištrupos yra klasifikuojamos pagal gylį. Vagonai su ištrupomis ilgesnėmis už 50 mm tuščiuose vagonuose ir 70 mm krautuose vagonuose bei gilesnėmis už 1 mm yra siunčiami į einamąjį remontą, o su ištrupomis iki 1 mm gylio, neatsižvelgiant į ilgį nėra siunčiami į einamąjį remontą.



1 pav. Ištrupa (100 × 1,56 mm)

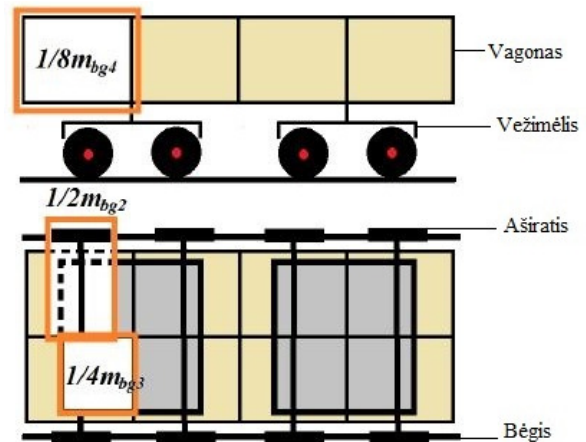
Apžvelgtuose kitų autorių moksliniuose straipsniuose dar nebuvo tirtas kontaktinės jėgos veikimas, vagonui esant be krovinio, kai bėgiu važiuojantis riedmuo yra su ištrupa. Todėl šis tyrimas yra vienas pirmųjų, leidžiantis palyginanti skirtingos apkrovos sąryšį su kontaktine jėga.

### Dinaminis modelis „Riedmuo–Kelias“

Šį dinaminį modelį sudaro keturios masės: 1/8 vagono masės  $m_{bg4}$ , 1/4 vežimėlio masės  $m_{bg3}$ , 1/2 aširačio masės  $m_{bg2}$ . Aširačio masę sudaro dvi dalys:  $m_{bg2}$  ir  $m_{bg1}$  – rato dalies masė, kuri tiesiogiai kontaktuoja su bėgiu.  $e_{bg34}$ ,  $e_{bg23}$ ,  $e_{bg12}$ ,  $e_{bg0}$  – tamprumo ir slopinimo elementai (2 pav.).

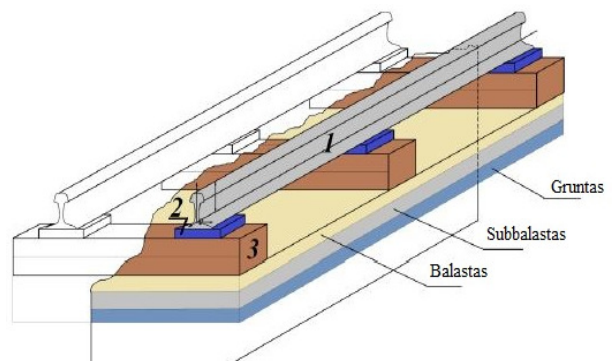
Sistemos „Riedmuo–Kelias“ matematinis modeliavimas atliekamas su „FORTRAN“ programavimo pakečiu. Programa sumodeliuota taip, kad bėgiu rieda riedmens ratas su ištrupos tipo pažaida. Panašus modelis jau buvo naudotas ir kitų tyrėjų darbuose (Liang *et al.* 2013; Žygienė *et al.* 2014; Bian *et al.* 2013), tačiau, kitaip nei

ankščiau naudotuose modeliuose, šiame tyrime rato kampinis greitis nuolat kinta, priklausomai nuo trinties bei riedmens judėjimo greičio.



2 pav. Sistemos „Riedmuo–Kelias“ masių dalys (modifikuota pagal Žygienė *et al.* 2015)

Ši sistema susideda ir iš kelio elementų: bėgio, pabėgio, balasto, subbalasto ir grunto sluoksnių. (3 pav.).



3 pav. Sistemos „Riedmuo–Kelias“ kelio elementai: 1 – bėgis; 2 – tarpinė; 3 – pabėgis (modifikuota pagal Žygienė *et al.* 2015)

Šio tyrimo tikslas – nustatyti, kokios kontaktinės jėgos veikia bėgį, juo važiuojant aširačiui su pažaida, priklausomai nuo greičio, kai vagonas yra su kroviniumi ir be krovinio.

Skaičiuojamoji rato ištrupa yra 100 mm ilgio ir 1,56 mm gylio. Greitis kinta nuo 30 km/h iki 100 km/h. Parinktas vagono svoris kai vagonas yra su kroviniumi  $m_{bg4} = 8743$  kg. Be krovinio –  $m_{bg4} = 1243$  kg. Programos modeliavimo laikas kinta nuo 0,5 s iki 1,0 s priklausomai nuo greičio.

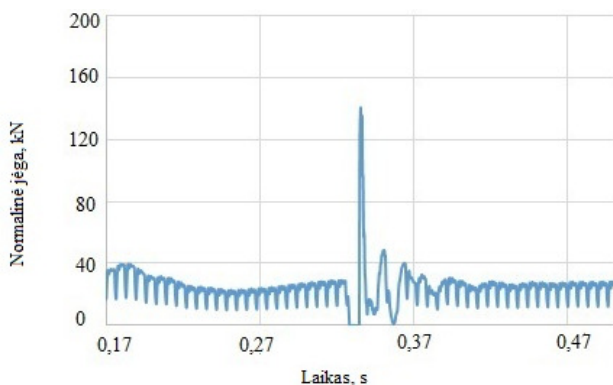
### Rezultatai

Geležinkelio riedmenų ir bėgio sąveikai tirti, kai ratas turi ištrupos tipo pažaidą, kurios ilgis 100 mm, o gylis 1,56 mm, buvo naudojamas „Riedmuo–Kelias“ dinaminis modelis.

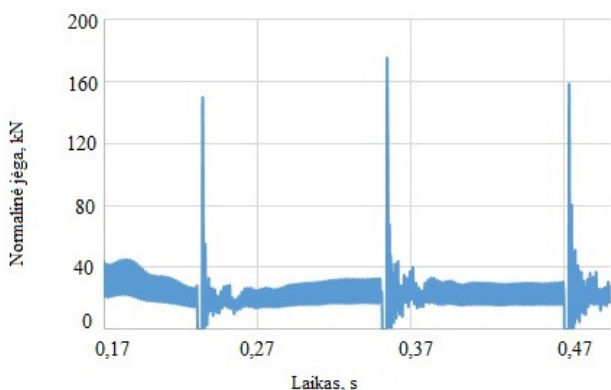
Gavus rezultatus, galima daryti išvadas kaip kinta kontaktinė jėga priklausomai nuo greičio ir apkrovos. Buvo gauti rezultatai skirtingomis sąlygomis, t. y. skir-

tingais greičiais ( $v = 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100$  km/h) važiuojant vagonui su krovinium ( $m_{bg4} = 8743$  kg) ir be krovinio ( $m_{bg4} = 1243$  kg).

Rato ištrupos vieta kontaktuodama su bėgiu sugadina pastovų ir ramų rato judesį dėl trūkstamos metalo dalies, o prariedėjus ištrupai, ratas vėl grįžta į ramų judesį bėgiu. Smūgis į bėgį atsiranda kiekvieną kartą, kai ratas su pažaidos vieta rieda bėgio galvute, todėl važiuojant skirtingais greičiais tą patį laiko intervalą skiriasi atsitrenkimų skaičius (4 ir 5 pav.).



4 pav. Rato su ištrupa ir bėgio sąveika, kai vagonas be krovinio, greitis  $v = 30$  km/h

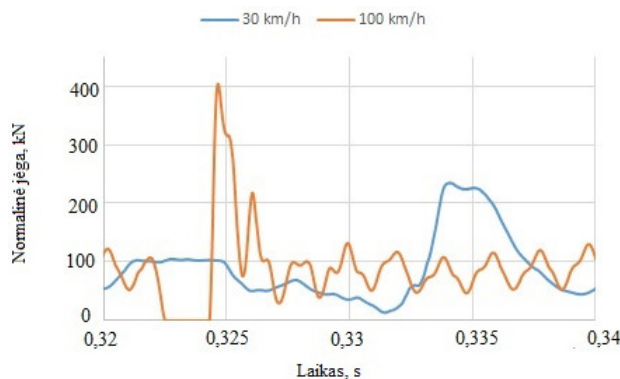


5 pav. Rato su ištrupa ir bėgio sąveika, kai vagonas be krovinio, greitis  $v = 100$  km/h

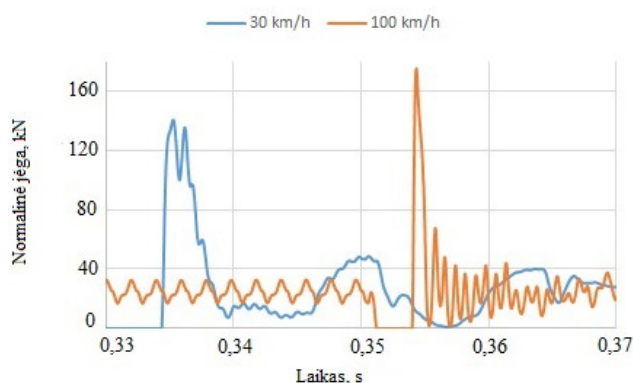
Žemiau esančiuose paveikslėliuose yra palygintos gautos kontaktinės jėgos važiuojant 30 ir 100 km/h. 6 pav. vagonas su krovinium ( $m_{bg4} = 8743$  kg), matome, kad kontaktinė jėga esant 100 km/h greičiui yra 404 kN, 30 km/h – 235 kN. 7 pav. vagonas be krovinio ( $m_{bg4} = 1243$  kg), kontaktinė jėga, kai greitis 100 km/h yra 175 kN, 30 km/h – 141 kN.

8 ir 9 pav. pavaizduotos kontaktinių jėgų palyginimas, kai vagonas važiuoja be krovinio ( $m_{bg4} = 1243$  kg) ir su krovinium ( $m_{bg4} = 8743$  kg),  $v = 30, 100$  km/h. Tai maksimalūs kontaktinių jėgų skirtumai. Važiuojant 30 km/h greičiu, maksimali kontaktinė jėga, vagono su krovinium yra 235 kN, be krovinio – 141 kN (8 pav.).

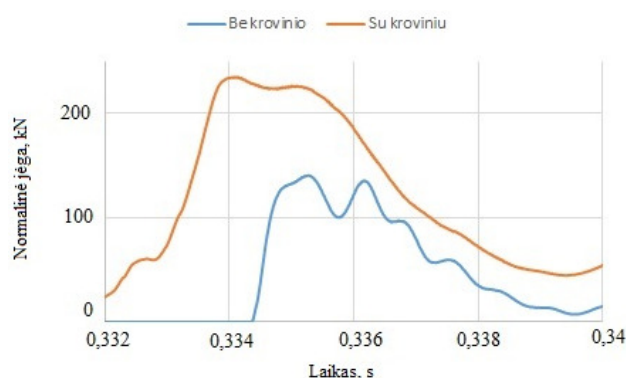
Važiuojant 100 km/h greičiu, maksimali kontaktinė jėga, vagono su krovinium yra 404 kN, be krovinio – 175 kN (9 pav.).



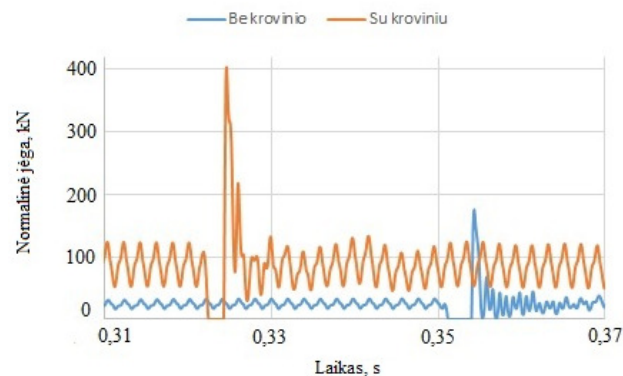
6 pav. Kontaktinių jėgų palyginimas, esant greičiams 30 ir 100 km/h, kai vagonas su krovinium



7 pav. Kontaktinių jėgų palyginimas, esant greičiams 30 ir 100 km/h, kai vagonas be krovinio



8 pav. Kontaktinės jėgos veikiančios bėgį, kai greitis – 30 km/h

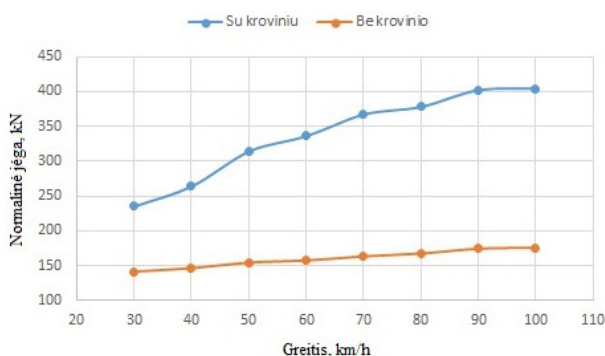


9 pav. Kontaktinės jėgos veikiančios bėgį kai greitis – 100 km/h

**1 lentelė.** Kontaktinės jėgos (kN) gautos važiuojant skirtingais greičiais su kroviniu ir be krovinio

Kontaktinės jėgos	Km/h 30	40	50	60	70	80	90	100
Su kroviniu (kN)	235	264	314	336	367	378	402	404
Be krovinio (kN)	141	146	154	157	163	167	174	175
Skirtumas (kN)	94	118	160	179	204	211	228	229
Skirtumas kartais ( $n$ )	1,667	1,808	2,039	2,140	2,251	2,263	2,310	2,308

Kontaktinių jėgų kitimo priklausomybė nuo skirtingų greičių pavaizduota 10 pav. Vagonui su kroviniu važiuojant nuo 30 iki 100 km/h greičiu, kontaktinės jėgos kinta intervale nuo 235 iki 404 kN. Vagonui važiuojant be krovinio, esant tiems patiems greičiams, kontaktinės jėgos kinta nuo 141 iki 175 kN.

**10 pav.** Kontaktinių jėgų priklausomybė nuo greičio,  $v = 30 \dots 100$  km/h, kai vagonas su kroviniu ir be krovinio

1 lentelėje galima matyti tiksliai kontaktinių jėgų reikšmes. Važiuojant vagonui su kroviniu, kontaktinės jėgos pokytis yra 169 kN, be krovinio 34 kN.

Važiuojant 100 km/h greičiu, kontaktinių jėgų skirtumas – 2,308 kartų, o 30 km/h – 1,667.

## Išvados

„Riedmuo–Kelias“ matematinis modelis buvo pritaikytas tirti kontaktinės jėgos kitimą, bėgiu važiuojant

## Literatūra

- Bian, J.; Gu, Y.; Murray, M. 2013. Numerical study of impact forces on railway sleepers under wheel flat, *Advances in Structural Engineering* 16(1): 127–134.
- Bogdevičius, M.; Žygienė, R. 2014. Geležinkelio vagono aširačio rato su iščiuoža sąveikos su bėgiu tyrimas, *Technologijos mokslo darbai Vakarų Lietuvoje* 9: 34–39.
- Bogdevičius, M.; Žygienė, R.; Bureika, G.; Dailydka, S. 2016. An analytical mathematical method for calculation of the dynamic wheel–rail impact force caused by wheel flat, *Vehicle System Dynamics* 54(5): 689–705.
- Brizuela, J.; Ibáñez, A.; Fritsch, C. 2012. New Ultrasonic Techniques for Detecting and Quantifying Railway Wheel-Flats, *INTECH Open Access Publisher*, p. 399–418.
- Liang, B.; Iwnicki, S. D.; Zhao, Y.; Crosbee, D. 2013. Railway wheel-flat and rail surface defect modelling and analysis by time–frequency techniques, *Vehicle System Dynamics* 51(9): 1403–1421.
- Techninė vagonų priežiūros instrukcija 66/V*. AB „Lietuvos geležinkeliai“ generalinio direktoriaus 2011 m. kovo 21 d. įsakymu Nr. Į-252. Vilnius, 2011.
- Techninio geležinkelių naudojimo nuostatai*. Lietuvos Respublikos susisiekimo ministro 1996 m. rugsėjo 20 d. įsakymu Nr. 297. Vilnius, 1996.

riedmeniui su ištrupa. Modeliavimo metu gauti rezultatai važiuojant skirtingais greičiais  $v = 30 \dots 100$  km/h, kurių kontaktinės jėgos kito nuo 141 iki 175 kN. važiuojant vagonui be kroviniu ( $m_{bg4} = 1243$  kg) ir nuo 235 iki 404 kN vagono su kroviniu ( $m_{bg4} = 8743$  kg).

Bėgiu riedant riedmens ratui su ištrupa, gautos greičio ir kontaktinių jėgų priklausomybės – kontaktinės jėgos dydis tiesiogiai priklausomas nuo greičio ir apkrovos. Bian bei kitų tyrėjų eksperimente taip pat aprašomos šios priklausomybės. Žygienės moksliniame darbe aprašomos kontaktinės jėgos priklausomybės nuo greičio ir pažaidos ilgio. Tačiau nei viename darbe nebuvo nagrinėtos kontaktinės jėgos, bėgiu važiuojant riedmeniui be krovinio.

Šiame tyrime didžiausia kontaktinė jėga (404 kN) veikia bėgį, juo važiuojant riedmeniui su apkrova ( $m_{bg4} = 8743$  kg) didžiausiu greičiu –  $v = 100$  km/h. Mažiausia kontaktinė jėga (141 kN) veikia bėgį, juo važiuojant riedmeniui be apkrovos ( $m_{bg4} = 1243$  kg) mažiausiu greičiu –  $v = 30$  km/h.

Masės skirtumas tarp riedmens be krovinio ( $m_{bg4} = 1243$  kg) ir su kroviniu ( $m_{bg4} = 8743$  kg) yra 7 kartai. Važiuojant 100 km/h greičiu kontaktinių jėgų skirtumas tarp riedmens su kroviniu ir be jo yra 2,308 kartų, o važiuojant 30 km/h – 1,667 kartai.

Kontaktinės jėgos pokytis bėgiu važiuojant riedmeniui su kroviniu yra 169 kN, be krovinio – tik 34 kN. Tai įrodo, kad bėgiu važiuojant pakrautam riedmeniui dideliu greičiu, smarkiai išauga bėgį veikianti kontaktinė jėga, taip padidindama riziką bėgio pažeidimams atsirasti.

Vyas, N. S.; Gupta, A. K. 2006. Modeling rail wheel-flat dynamics, In *Engineering Asset Management*. Springer London, p. 1222–1231.

Žygienė, R. 2015. *Geležinkelio riedmenų ratų su pažaidomis ir bėgių sąveikos dinaminį procesų tyrimas*. Daktaro disertacija.