



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

Lukas Gintauskas

**IZOLIUOTOSIOS BĖGIŲ SANDŪROS STIPRUMO PARAMETRŲ
TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Prof. dr. Žilvinas Bazaras

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

**IZOLIUOTOSIOS BĖGIŲ SANDŪROS STIPRUMO PARAMETRŲ
TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Transporto priemonių inžinerija (621E20001)

Vadovas

(parašas) Prof. dr. Žilvinas Bazaras
(data)

Recenzentas

(parašas) Habil. dr. Algimantas Bubulis
(data)

Projektą atliko

(parašas) Lukas Gintauskas
(data)

KAUNAS, 2016



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

Lukas Gintauskas

(Studento vardas, pavardė)

Transporto priemonių inžinerija, 621E20001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Izoliuotosios bėgių sandūros stiprumo parametrų tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 16 m. _____ d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Luko Gintausko**, baigiamasis projektas tema „Izoliuotosios bėgių sandūros stiprumo parametrų tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS KATDERA

Suderinta:

2015 m. vasario mėn. 10 d.

MAGISTRO BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota studentui: *Lukas Gintauskas*

1. Projekto tema: Izoliuotosios bėgių sandūros stiprumo parametrų tyrimas

Patvirtinta: 2016 m. gegužės mėn. 3 d. dekanų įsakymu Nr. V25-11-7

2. Projekto tikslas:

Išanalizuoti izoliuotosios sandūros stiprumo parametrus, keičiantis ilgabėgių temperatūrai ir balasto standumui, esant skirtingiems aširačio judėjimo greičiams.

3. Projekto uždaviniai ir reikalavimai:

Apžvelgti besandūrio kelio konstrukciją, priežiūros ir remonto darbų ypatumus, išanalizuoti bėgių grandinėse aptinkamus gedimus ir jų atsiradimo priežastis, analitiškai apskaičiuoti aplinkos temperatūros poveikį ilgabėgiams bei jėgas, veikiančias bėgius dėl riedmenų apkrovų. Sudaryti izoliuotosios sandūros CAD modelį, o skaitiniu būdu gautus rezultatus išanalizuoti ir palyginti.

4. Projekto konsultantai (nurodant projekto skyrius)¹:

5. Užduoties išdavimo terminas: 2015 m. vasario mėn. 5 d.

Užbaigto projekto pateikimo terminas: 2016 m. gegužės mėn. 20 d.

Vadovas: Žilvinas Bazaras

(vardas, pavardė)

(parašas)

Užduotį gavau: Lukas Gintauskas

(studento vardas, pavardė)

(parašas)

¹ Esant reikalui, suderinus su katedros vedėju

Gintauskas, Lukas. Izoliuotosios bėgių sandūros stiprumo parametrų tyrimas. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas prof. dr. Žilvinas Bazaras; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Mokslų kryptis ir sritis: Technologijos mokslai, Transporto inžinerija (03T)

Reikšminiai žodžiai: ilgabėgis, izoliuotoji sandūra, temperatūrinė apkrova, vertikalioji apkrova, tvarslė, tarpiklis, įtempiai, deformacijos.

Kaunas, 2016. 69 p.

SANTRAUKA

Pirmajame skyriuje apžvelgti besandūrį bėgių kelią sudarantys elementai, remonto darbai, kurių reikia imtis norint pašalinti temperatūrinius įtempius ilgabėgiuose ir priežiūros ypatumai šiems įtempiams reguliuoti. Išanalizuota izoliuotoji sandūra ir ją sudarantys elementai. Išnagrinėta izoliuotosios sandūros paskirtis naudojant automatinę kelio blokuotę ir jos svarba užtikrinant saugų geležinkelių transporto eismą.

Antrajame darbo skyriuje atlikta 2014–2015 metų AB „Lietuvos geležinkeliai“ aptiktų bėgių grandinių gedimų analizė bei išnagrinėtos visų gedimų atsiradimo priežastys. Parenkama metodika analitiniams ilgabėgius veikiančios temperatūrinės jėgos ir riedmenų apkrovų skaičiavimams.

Trečiajame skyriuje sudarinėjamas skaitinis izoliuotosios sandūros modelis. Skaitinis izoliuotosios sandūros modelis paruoštas *SolidWorks* programos aplinkoje, visi stiprumo skaičiavimai atlikti *ANSYS WorkBench* paketo aplinkoje. Parenkamos medžiagos, kurios bus naudojamos modelyje. Apskaičiuojamos ilgabėgius veikiančios temperatūrinės jėgos, riedmenų apkrovos į bėgius bei parenkamas balasto standumas. Pagal antrajame skyriuje atliktą bėgių grandinių gedimų analizę sudaromos skaičiuojamosios schemas skaitiniam modeliavimui. Rato – bėgio kontaktas apibrėžiamas naudojant H. R. Herco kontakto teoriją.

Paskutiniame darbo skyriuje analizuojami ir palyginami skaitinio modeliavimo rezultatai. Nustatinėjama, kuriuose izoliuotosios sandūros elementuose, esant skirtingoms aplinkos bei kelio sąlygoms, gaunami didžiausi įtempiai ir deformacijos, keičiantis aširačio judėjimo greičiui.

Nagrinėjant rezultatus nustatyta, kad didžiausi įtempiai gaunami glemžiamuose bėgių ir tvarslių kiaurymių paviršiuose bei kerpamuose sandūrinių varžtų skerspjūviuose, dėl ilgabėgius veikiančių temperatūrinių apkrovų. Bėgių galvutėse, tarpiklyje ir lenkiamuose tvarslės paviršiuose, įtempius bei deformacijas labiausiai įtakoja rato apkrova ir balasto standumas.

Gintauskas, Lukas. *Research of Strength Parameters of Insulated Rail Joint: Master's thesis* /supervisor prof. dr. Žilvinas Bazaras. The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Technological Science, Transport Engineering (03T)

Key words: Continuously welded rail, insulated joint, thermal load, vertical load, fishplate, endpost, stress, deformation.

Kaunas, 2016. 69 p.

SUMMARY

The first section covers the elements of continuously welded rails, repair works to be taken in order to remove thermal stress in rails and maintenance peculiarities to control these stresses. Insulated rail joint and its elements are analyzed as well as its purpose of using the automatic road block and the importance of ensuring the safety of rail traffic.

The second section reviews causes of detected track circuit failures in 2014–2015 “Lithuanian Railways” SC. Methodology for vertical wheel and thermal loads were chosen.

In the third section numerical model of insulated rail joint is compiled. Numerical model of insulated rail joint designed in SolidWorks software, while all strength calculations are carried out in ANSYS Workbench environmental package. Materials that will be used in the model are chosen. Thermal forces of continuously welded rails and vertical wheel loads are calculated also ballast stiffness are chosen. According to the analysis of the second chapter calculating schemes for numerical modeling are concluded. Wheel - rail contact is defined using the H. R. Hertz contact theory.

In the last chapter obtained results are analyzed and compared. It was examined how different environmental and road conditions change maximum stresses and strains in insulated rail joint elements at different train speeds. The examination results showed that operating thermal forces causes maximum stresses in the bolt holes because of their tension and maximum shearing stresses in the cross section of the bolts. Railhead stresses, endpost deformations bending stresses of the fishplate are mostly influenced by the vertical wheel loads and ballast stiffness.

TURINYS

IVADAS.....	9
1.1. Besandūrio kelio konstrukcija.....	10
1.1.1. Sankasa, hidroterminis jos režimas.....	10
1.1.2. Balastas.....	12
1.1.3. Pabėgiai.....	13
1.1.4. Bėgių sąvaržos su pabėgiais.....	14
1.1.5. Ilgabėgiai.....	15
1.2. Besandūrio kelio priežiūra ir remontas.....	17
1.2.1. Bendrosios nuostatos.....	17
1.2.2. Ilgabėgių postūmio ir temperatūrinio režimo pokyčio tikrinimas.....	17
1.2.3. Ilgabėgių vientisumo ir temperatūrinio režimo atnaujinimas.....	20
1.2.4. Temperatūrinių įtempių ilgabėgiuose naikinimas.....	22
1.3. Tarpstočių signalizacijos įrenginiai.....	23
1.3.1. Automatinė kelio blokuotė.....	23
1.3.2. Izoliuotoji sandūros sąvarža.....	24
1.3.3. Ilgabėgių sujungimas.....	26
2. TYRIMŲ DALIS.....	28
2.1. 2014-2015 metais užfiksuotų bėgių grandinių gedimų analizė.....	28
2.2. Skaičiavimų metodika.....	35
2.2.1. Leistinos ilgabėgių temperatūros pakilimo ar nukritimo skaičiavimas, atsižvelgiant į jų stiprumą ir stabilumą.....	35
2.2.2. Ilgabėgių pritvirtinimo temperatūros intervalų skaičiavimas.....	38
2.2.3. Ilgabėgių veikiančios temperatūrinės jėgos skaičiavimas.....	38
2.2.4. Vertikaliosios jėgos veikiančios ilgabėgių nustatymas.....	38
3. PROJEKTINĖ DALIS.....	41
3.1. Modelyje naudojamas medžiagas.....	41
3.2. Izoliuotąją sandūrą veikiančių apkrovų skaičiavimas.....	43
3.2.1. Ilgabėgių veikiančios temperatūrinės jėgos skaičiavimas.....	43

3.2.2. Vertikaliosios rato apkrovos skaičiavimas	44
3.3. Izoliuotosios sandūros CAD modelis	47
3.3.1. Modeliavimui naudotos taikomosios kompiuterinės programos	47
3.3.2. Skaičiuojamosios schemos	47
3.3.3. CAD modelio sudarymas.....	48
4. REZULTATŲ ANALIZĖ.....	50
4.1. Įtempių pasiskirstymas izoliuotosios sandūros elementuose	50
4.2. Didžiausių deformacijų pasiskirstymas izoliuotosios sandūros elementuose	58
4.3. Bėgių įlinkiai ir poslinkiai	62
DARBO APIBENDRINIMAS IR REZULTATŲ PALYGINIMAS	64
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI.....	65
INFORMACINIŲ ŠATINIŲ SĄRAŠAS	66

IVADAS

Darbo tikslas – išanalizuoti izoliuotosios sandūros stiprumo parametrus, keičiantis ilgabėgių temperatūrai ir balasto standumui, esant skirtingiems aširačio judėjimo greičiams.

Pagrindiniai darbo uždaviniai:

- apžvelgti besandūrio kelio konstrukciją, priežiūros ir remonto darbų ypatumus;
- išanalizuoti bėgių grandinėse aptinkamus gedimus ir jų atsiradimo priežastis;
- analitiškai apskaičiuoti aplinkos temperatūros poveikį ilgabėgiams bei jėgas, veikiančias bėgius dėl riedmenų apkrovų;
- sudaryti izoliuotosios sandūros CAD modelį;
- skaitiniu būdu gautus rezultatus išanalizuoti ir palyginti.

Automatinė kelio blokuotė – tai traukinių eismo tvarkymo pagal tarpstočių šviesoforus įranga. Kai eismas tvarkomas naudojant automatinę blokuotę, tarpstotis dalijamas į blokuojamuosius ruožus. Blokuojamuosiuose ruožuose įrengiama elektrinė bėgių grandinė, kuri yra traukinio buvimo ar nebuvimo joje informacijos jutiklis. Dvi gretimos bėgių grandinės atskiriamos izoliuotomis sandūromis. Bėgių grandinės skirtos nuolat kontroliuoti tarpstočio kelio ar stoties kelio laisvumą, bėgių vientisumą, užtikrinti nuolatinį važiuojančio traukinio sąryšį su tarpstočio blokuotės signalais ir apsaugoti nuo iešmo perjungimo po važiuojančiais riedmenimis bei traukinio priėmimo į užimtą kelią. Taip pat bėgių grandinės turėtų praleisti grįžtamąją traukos srovę keliuose su elektros trauka. Automatinė kelio blokuotė naudojama dabar plačiai naudojamame besandūriame kelyje [2, 3, 4, 38].

Pagrindinis skirtumas tarp besandūrio kelio ir paprasto sandūrinio kelio yra tas, kad veikia didesnė išilginė jėga, atsirandanti dėl temperatūros pakyčių. Besandūris kelias – tai kelias, kuriame naudojami suvirinti ilgabėgiai. Besandūriame kelyje sandūros yra rengiamos ant tiltų, ir automatinės blokuotės ruožuose. Besandūris kelias, lyginant su sandūrinium, yra paprastesnės konstrukcijos. Ilgabėgių keliu be sandūrų traukiniai važiuoja sklandžiau, pratęsimas viršutinės kelio konstrukcijos elementų naudojimo laikas, sumažinamos išlaidos traukinių traukai, padidinamas elektros grandinių patikimumas, sumažinamas traukinio važiavimo metu keliamas triukšmas. Tam, kad signalinės ir traukinių apsaugos sistemos veiktų, bėgių kelyje turi būti grandinė. Dėl šios priežasties yra būtina pertraukti šią elektros grandinę sudarančius ilgus suvirintus geležinkelio bėgių ruožus, iešmus bei kryžmes ir įrengti izoliuotas bėgių sandūras [2, 4, 38].

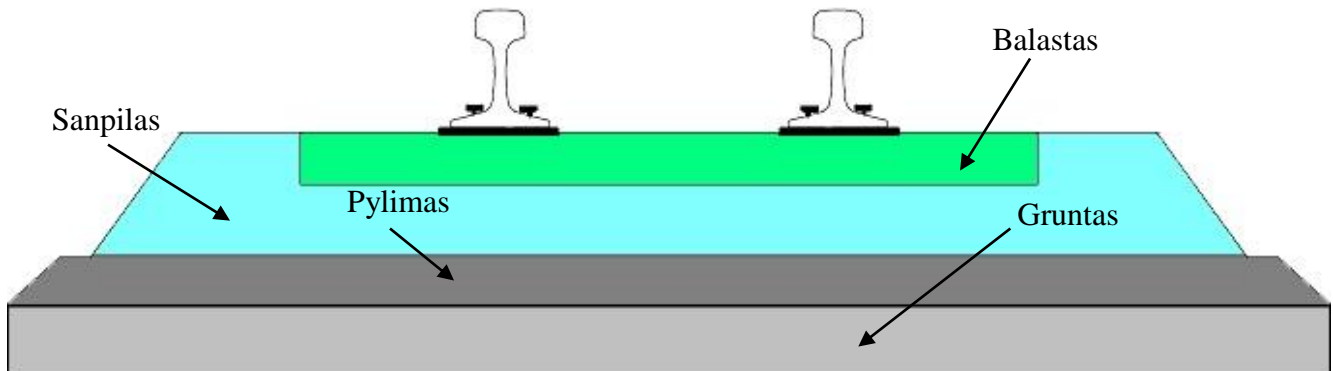
Šiuo metu yra galimos kelių rūšių izoliuotos bėgių sandūros. Tai plieninės nailonu dengtos sandūros, klijuotinės sandūros ir stiklo pluoštu armuotos dervos sandūros. Klijuotines sandūras būtina sumontuoti ceche, esant kontroliuojamoms sąlygoms. Jų įrengimui reikia užimti bėgių kelią, pats montavimas trunka ilgai, reikalinga papildoma bėgių suvirinimo įranga, o taip pat kvalifikuotas personalas [2, 4].

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Besandūrio kelio konstrukcija

1.1.1. Sankasa, hidroterminis jos režimas

Sankasa yra bėgių kelio konstrukcijos apatinė dalis, įrengta iš kokybiško grunto. Atsižvelgiant į kelio išilginį ir skersinį profilį, sankasa rengiama iš pylimo, iškasos, pusiau pylimo, pusiau iškasos ir nulinio aukščio formų. Kad ji perimtų riedmenų apkrovas ir atlaikytų neigiamą aplinkos veiksnių poveikį, sankasoje rengiama daug tam tikrų formų elementų. 1.1 pav. parodyti sankasą sudarantys sluoksniai [2, 4, 8, 9].



1.1 pav. Sankasos sluoksniai [22]

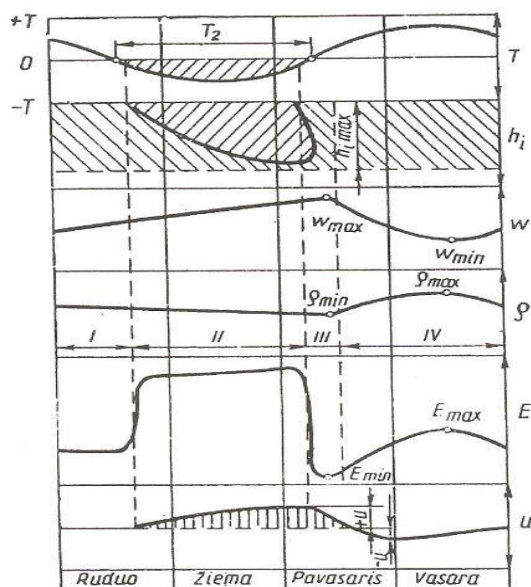
Projektuojant ir ruošiant sankasą visų pirma norima, kad ji būtų stipri ir stabili. Norint patenkinti šiuos svarbiausius reikalavimus, reikia sankasos gruntus tinkamai priderinti prie vietos sąlygų. Dažniausiai šiems tikslams mūsų šalyje naudojami priesmėlio ir priemolio gruntai, rečiau žvyro ir molio gruntai ar jų mišiniai [2, 5, 8, 9].

Priesmėlio gruntai laikomi pačiais tinkamiausiais sankasai supilti. Jie atsparūs jėgų poveikiui, gerai praleidžia vandenį, sudrėkę nesuslūgsta ir nepraranda rišlumo. Šiuos gruntus pagal jų grūdinimą galima padalyti į keturias grupes: žvyringieji, rupiojo smėlio, vidutinio rūpumo smėlio ir smulkiojo smėlio. Žvyringaisiais laikomi tokie priesmėlio gruntai, kurių dalelių, stambesnių kaip 2 mm, yra daugiau kaip 25 % jų bendrosios masės; rupiojo smėlio – kai dalelių, stambesnių kaip 0,50 mm, yra daugiau nei 50 %; vidutinio rūpumo smėlio – kai dalelių, stambesnių kaip 0,25 mm, yra per 50 %; smulkiojo smėlio – kai dalelių, stambesnių kaip 0,10 mm, daugiau nei 75 % [2, 5, 9].

Sankasa turi būti patvari ir stabili, todėl neužtenka vien geros kokybės grunto. Pilant gruntą gerai jį sutankinus galima išvengti galimų liekamųjų deformacijų, pasiekti gerą šlaitų stovumą ir užtikrinti gerą vandens filtraciją. Tiesti besandūrį kelią ant deformuotos ir su defektais sankasos draudžiama, todėl sankasa turi būti iširta dar prieš kelio tiesimą [2, 5, 9].

Hidroterminiu režimu vadinama dėsninga drėgmės ir temperatūros kaita skirtingose sankasos masyvo vietose. Ši kaita vyksta nuolatos per visus metus. Ji daug priklauso nuo klimato sąlygų: kritulių kiekio, oro drėgmės, temperatūros svyravimo, sankasos gruntų bei jos įrengimo kokybės.

Hidroterminis režimas ypač svarbus aktyvioje sankasos zonoje, t.y. iki tokio gylio, kur apkrovų įtempiai gerokai juntami. Šioje zonoje, kurios gylis siekia iki 1,5 m, grunto drėgmė w , tankis ρ , tamprumo modulis E ir sankasos pagrindinės aikštelės deformacijos u yra labai susiję. Šių parametru kaita skirtingais metų periodais parodyta 1.2 paveiksle.



1.2 pav. Hidroterminio režimo įtaka sankasos charakteristikoms [9]: I, II, III, IV – hidroterminio režimo periodai; T_1 ir T_2 – temperatūrų vertės, °C; h_i – grunto išalimo gylis, m; h_{max} – didžiausias išalimo gylis, m; w – grunto drėgmė, %; w_{min} – mažiausia grunto drėgmė, %; w_{max} – didžiausia grunto drėgmė, %; ρ – grunto tankis, kg/m³; ρ_{min} – mažiausias grunto tankis, kg/m³; E – tamprumo modulis, kPa; E_{max} – didžiausias tamprumo modulis, kPa; E_{min} – mažiausias tamprumo modulis, kPa; u – sankasos pagrindinės aikštelės deformacijos, mm

Pirmasis periodas prasideda rudenį ir trunka iki grunto išalimo pradžios. Sankasą labai intensyviai drėkina krituliai, joje vyksta aktyvi vandens garų difuzija, didėja grunto drėgmė, mažėja tankis ir tamprumo modulis. Antrasis periodas tęsiasi visą šaltąjį laikotarpį iki žiemos pabaigos. Tuo metu didėja išalo gylis ir dangos drėgnumas būna didžiausi. Palankiomis sąlygomis gali pradėti formuotis iškylos, mažėti grunto tankis. Trečiasis periodas trumpas, jis prasideda kartu su grunto atšilimo pradžia ir baigiasi išalui ištirpus. Šiuo periodu sankasoje labai nevienodai pasiskirsto drėgmė, nes ji susikaupia atšilusiose linzėse ir toliau negali migruoti, todėl susidaro permirkusio grunto zonos. Šio periodo viduryje sankasos tankis ir stiprumas būna mažiausi, ir ji lengvai deformuojasi. Ketvirtas periodas – tai šiltasis metų laikotarpis. Jo metu sankasos sluoksniai džiūsta, didėja jų tankis, gerėja stiprumo charakteristikos.

Daugiausia rūpesčių kelia trečiasis periodas. Drėgmės perteklius, maža jos migracijos sparta gali labai sumažinti sankasos stiprumą, dėl to atsiranda įvairių deformacijų ir nelygumų, kurių gali atsirasti ir kelio viršutinėje konstrukcijoje.

Reguliuojant hidroterminį režimą sankasos aktyvioje zonoje gruntas stabilizuojamas, ir taip sumažėja deformacijų atsiradimo pavojus. Ypač svarbu hidroterminį režimą reguliuoti tose vietose, kur gali atsirasti iškylą.

Iškylos paprastai atsiranda tada, kai sankasa įrengta iš blogos granulimetrinės sudėties grunto, kai yra nepalankios vietovės hidrologinės bei vandens nuotėkio sąlygos ir vyrauja neigiamojo oro

temperatūra. Jei pavyksta bent vieną ar kelis veiksnius pašalinti, iškylų galima išvengti ar bent sumažinti jų žalingą poveikį.

Sankasoje iškylų gali atsirasti nebūtinai neigiamoje temperatūroje. Jos susiformuoja brinkstant gruntams. Brinkimo laipsnis priklauso nuo grunto rūšies, jo tankumo ir drėgmės [9].

1.1.2. Balastas

Balastas – tai biri drenuojamoji medžiaga, perduodanti pabėgių jėgas pagrindinei žemės sankasos aikštelei.

Balasto prizmė – tai prizmės formos pylimas, supiltas iš balasto tarp sankasos viršaus kelio konstrukcijos, kuris amortizuoja riedmenų sukeltus smūgius ir reaguoja į prizmę patenkančio vandens režimą. Dažniausiai balastu būna: skalda, žvyras ar smėlis.

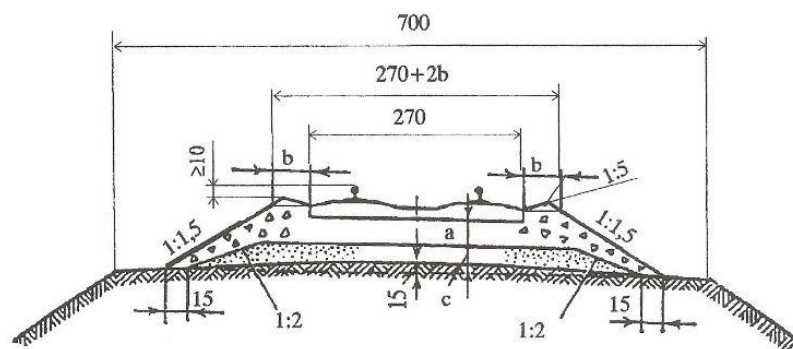
Skaldos balastas. Skalda – tai skaldyto akmens produktas, kurio grūdėliai 5(3)–70 mm. Pagrindiniams bėgių keliams naudojama skalda, kurios atsparumas smūgiams turi būti ne mažesnis kaip 50 sutartinių vienetų bandymams smūgiui. Nudilimas (masės netektis) – ne daugiau kaip 30 % pradinės masės, vandens įgeriamumas – ne daugiau kaip 1,5 % sausos skaldos masės. Atsparumas šalčiui – 25, 20 ir 15 užšalimo ciklų atitinkamai atšiauraus, vidutinio ir minkšto klimato sąlygomis.

Pagrindiniuose keliuose, kuriuose eismas nėra labai intensyvus, taip pat keliuose, kurie neužteršiami anglimi, rūda ir kitokiais biriais krovniais, besandūrį kelią leidžiama tiesti ant smulkios (5–25) mm frakcijos skaldos.

Ne plonesnis kaip 55 cm balasto sluoksnis po gelžbetoniniu pabėgiu sudaromas iš 35 cm storio skaldos sluoksnio ir 20 cm storio smėlio sluoksnio [2, 4, 5, 8, 9].

Pabėgių tarpai užpildomi lygiai su gelžbetoninio pabėgio vidurio viršumi. Kai pabėgiai mediniai, elektrifikuotuose ruožuose su automatine blokuote, balasto sluoksnio viršus turi būti 3 cm žemiau pabėgio viršaus, o kituose ruožuose – viename lygyje su pabėgių viršumi [2, 4, 5, 9].

Skersinis bėgių gardės standumas priklauso nuo balasto prizmės storio ir jos peties dydžio 1.3 pav.



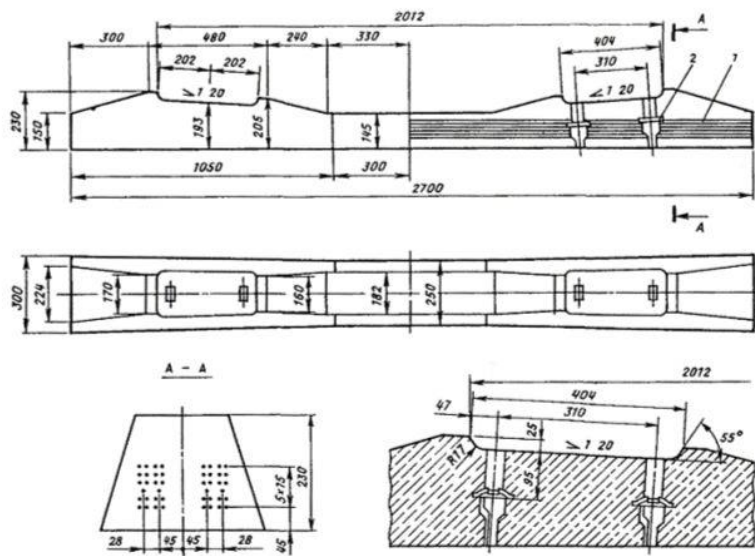
1.3 pav. Balasto prizmė [9]

Kuo didesnis petys, tuo didesnis atsparumas skersiniam bėgių gardės postūmiui. Padidėjus prizmės pečiui nuo 35 iki 45 mm, atsparumas skersiniam bėgių gardės postūmiui padidėja 25–35 %. Kai bėgių keliuose greitis yra iki 160 km/h ir daugiau, ant balasto prizmės peties įrengiami kaupai, kurie padidina skersinį bėgių gardės standumą [9].

1.1.3. Pabėgiai

Pabėgis – viršutinės kelio konstrukcijos elementas, dedamas skersai kelio bėgiams tvirtinti ir jų apkrovas perduoti balastui. Besandūrio kelio ruožuose klojami gelžbetoniniai pabėgiai pateikti 1.4 pav., jų techniniai reikalavimai pateikti 1.1 lentelėje.

Pagrindinė pabėgių paskirtis yra priimti vertikaliąsias, šonines ir išilgines bėgių apkrovas ir perduoti jas balastui, išlaikyti nuolatinį bėgio kelio vėžės plotį ir bėgio posvyrį. Pagrindiniai pabėgiams keliami reikalavimai – jie turi būti tamprūs ir patikimi, atsparūs mechaniniams poveikiams ir patvarūs [2, 4].



1.4 pav. Gelžbetoninis pabėgis (matmenys pateikti mm) [40]

1.1 lentelė

Reikalavimai gelžbetoniniams pabėgiams [40]

Eil. nr.	Techniniai reikalavimai	Norma
1	Svoris, kg	270
2	Betono tūris, m ³	0,108
3	Betono atsparumo šalčiui markė	F200

Pagrindiniai gelžbetoninių pabėgių privalumai yra didelė masė, kuri gali užtikrinti kelio stabilumą, pakankamai lengva gamyba, tačiau trūkumas tas, kad nuo smūgių yra didelė rizika, jog atsiras defektų.

Pabėgių skaičius kilometro ruože vadinamas epiūra. Pabėgių epiūra priklauso nuo kelio tipo ir jo kategorijos. Standartinių pabėgių skaičius viename kilometre besandūrio kelio tarpstočiuose ir pagrindiniuose stočių keliuose, tiesiuose ruožuose ir kreivėse, kurių spindulys 1201 m ir didesnis, turi būti 1840 vienetų, kreivėse, kurių spindulys 1200 m ir mažesnis 2000 vienetų, atvykimo ir išvykimo keliuose viename kilometre turi būti ne mažiau kaip 1600 vienetų pabėgių, kaupiamuosiuose bei kituose stoties keliuose 1440 vienetų. Ruožuose, kuriuose eismas yra neintensyvus ir maža vežamų krovinių

gausa, tiesiame kelyje ir didesnio kaip 650 m spindulio kreivėje viename kilometre gali būti klojama 1600 pabėgių vienetų, mažesnio spindulio kreivėse ne mažiau kaip 1840 vienetų. Kai traukinių važiavimo greitis didesnis kaip 140km/h, kreivėse, kurių spindulys 2000 m ir mažesnis, viename kilometre kelio klojama 2000 pabėgių [2, 4, 5, 7].

1.1.4. Bėgių sąvaržos su pabėgiais

Bėgių sąvaržos sujungia bėgius su pabėgiais. Pagrindinės bėgių sąvaržų funkcijos yra patikimas bėgių ir pabėgių sujungimas, elastingas apkrovų perėmimas nuo bėgių ir jų perdavimas pabėgiui, vibracijų ir smūgių slopinimas. Turi būti išlaikomas vėžės plotis ir bėgio pokrypis bei atlikti izoliacinės medžiagos funkcijas tarp bėgių ir pabėgių.

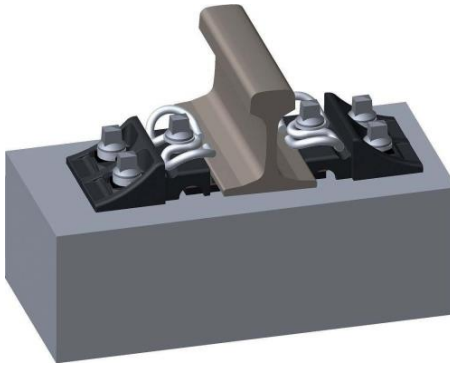
Atsižvelgiant į sąvaržų konstrukciją, jas galima skirstyti į paprastas ir sudėtingas. Paprastą bėgio sąvaržą bėgis tvirtinamas prie pabėgio kartu su padėklu, sudėtinga bėgis tvirtinamas prie padėklo, o padėklas tvirtinamas prie pabėgio. Taip pat yra bėgių sąvaržų konstrukcijų, kuriose padėklas nenaudojamas.

Bėgių sąvaržos su pabėgiais (tarpinės sąvaržos) turi užtikrinti pasipriešinimą išilginiam gardės poslinkiui (25–30 kN/m) ir vėžės stabilumą. Jų konstrukcija turi būti tokia, kad galima būtų ilgabėgius greitai pritvirtinti prie pabėgių ir greitai atleisti remontuojant kelią, keičiant ilgabėgius ar naikinant įtempius [2, 4, 5, 7].

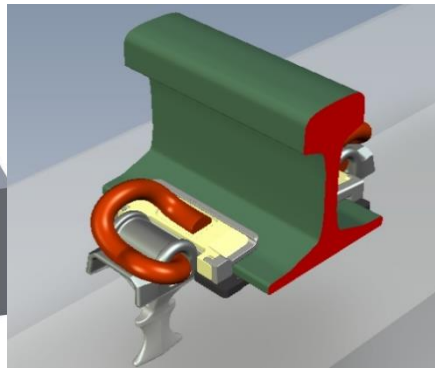
Suvirinti ilgabėgiai ir protarpio bėgiai prie pabėgių tvirtinami KB tipo tarpinėmis sąvaržomis (1.5 pav.). Tvirtinimui naudojama: padėklas, gnybtas, varžtai, tarpikliai, poveržlės. Leistini ir kitokie tarpinių sąvaržų tipai, užtikrinantys pakankamą pasipriešinimą išilginiam gardės poslinkiui ir vėžės stabilumą: *Vossloh KS* (1.6 pav.), *Pandrol e-clip* (1.7 pav.), *Pandrol Fastclip* (1.8 pav.) ir kt.



1.5 pav. KB tipo sąvarža [41]: 1- padėklas; 2 – gnybtas; 3 – varžlė; 4 – tarpinė po bėgio padu; 5 – tarpinė po padėklu; 6 – spyruoklinė poveržlė; 7 – įdedamasis varžtas



1.6 pav. Vossloh KS tipo sąvarža [41]



1.7 pav. Pandrol e-clip tipo sąvarža [41]



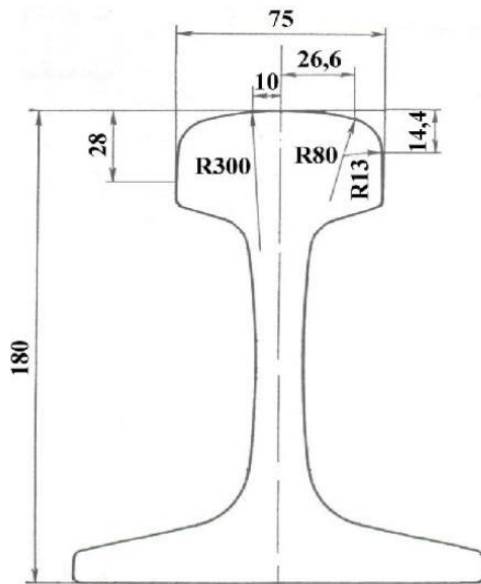
1.8 Pandrol Fastclip tipo sąvarža [41]

Siekiant užtikrinti reikiamą pasipriešinimą išilginiam poslinkiui, bėgio prispaudimo prie sąvaržos pagrindo norma turi būti 20 kN. Ši norma, esant KB tipo sąvaržoms, atitinka bėgvaržčių veržlių sukimo momentą 150 Nm ir padėklo varžtų veržlių sukimo momentą 120 Nm, jei varžtas ir veržlė patepti tepalu.

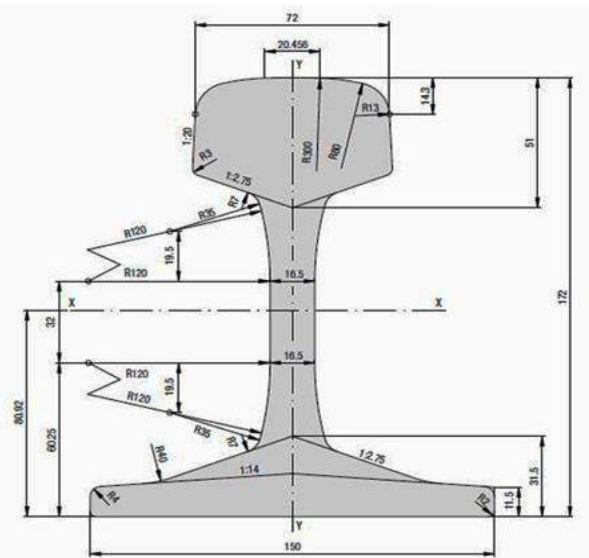
Kad būtų užtikrinta veržlių prispaudimo jėgos atsarga, tiesiant besandūrį kelią ir eksploatacijos metu reikia jų veržles prisukti momentu: bėgvaržčių – 200 Nm, padėklo varžtų – 150 Nm; kitų tipų tarpinių sąvaržų – pagal tų sąvaržų naudojimo technines sąlygas. Siekiant išvengti besandūrio kelio ilgabėgių postūmio visų bėgvaržčių veržlių prisukimo momentų vidurkis turi būti ne mažesnis kaip 100 Nm, o padėklo varžtų – 70 Nm [2, 4].

1.1.5. Ilgabėgiai

Viršutinei besandūrio kelio konstrukcijai naudojami termiškai apdirbti (sustiprinti) R65 (1.9a pav.) arba pirmos rūšies UIC60 (1.9b pav.) bėgiai. Jų charakteristikos pateiktos 1.2 lentelėje.



1.9a pav. R65 tipo bėgio profilis [5]



1.9 b pav. UIC60 tipo bėgio profilis [5]

R65 ir UIC60 tipo bėgių charakteristikos [5]

Charakteristikos	Bėgių tipai	
	R65	UIC60
Bėgio aukštis, mm	180,0	172,0
Galvutės aukštis, mm	45,0	51,0
Pado plotis, mm	150,0	150,0
Galvutės plotis, mm:		
viršutinės	73,0	72,0
apatinės	75,0	74,3
Kaklelio storis, mm	18,0	16,5
Galvutės ir kaklelio sujungimo spinduliai, mm	7/15	7/35
Kiaurymių skersmuo, mm	36	30
Vieno metro bėgio masė, kg	64,72	60,34

Besandūrio kelio bėgiai suvirinami paprastai iš pavienių 25 m ilgio bėgių, kuriuose nėra skylių sąvaržų varžtams. Gaunami trumpieji iki 800 m ilgio ilgabėgiai.

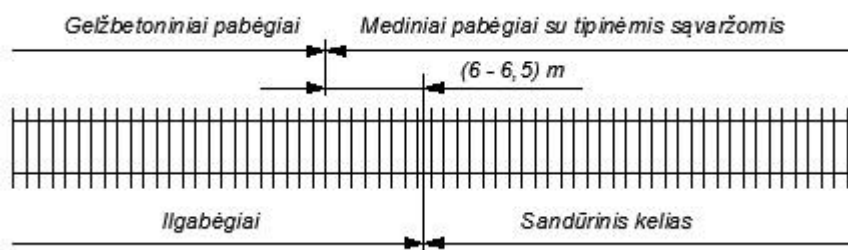
Labiausiai paplitęs ilgabėgių gamybos būdas – kontaktinis suvirinimas stacionariomis sąlygomis įmonėse ar bazėse [2, 4, 5].

Į bėgių klojimo vietas ilgabėgiai atvežami specialiais traukiniais. Kraunant suvirintus ilgabėgius į sąstatą, būtina juos saugoti nuo pernelyg didelio išlinkimo, susikraipymo ir smūgių. Ilgabėgiams įtvirtinti ant platforminių vagonų sąstato ir jiems ištraukti ilgabėgių galuose 100 mm atstumu nuo skersgalio išgręžiamos 30 mm skylės arba specialiai bėgių sąvaržoms skirtos skylės.

Suvirinti ilgabėgius iš antros rūšies bėgių ar trumpesnių kaip 25 m galima tik tuose ruožuose, kurių krovinių srautas iki 40 mln. t per metus ir tik leidus Kelių skyriaus viršininkui. Negalima ilgabėgių suvirinti ir komplektuoti grūdintus protarpių bėgius su negrūdintais bėgiais.

Siekiant, kad kelio kreivėje, kurios spindulys mažesnis kaip 500 m, išorinis vėžės bėgis turi būti padidinto atsparumo dilimui (R65K ir pan.).

Paklojus trumpuosius ilgabėgius jų galai suvirinami į besandūrio kelio ilgabėgius, kurių ilgis atitinka blokuojamojo ruožo ilgį arba tarpstočio ilgį.



1.10 pav. Besandūrio kelio ant gelžbetoninių pabėgių sujungimo su sandūriniu keliu schema [2]

Ilgabėgių galuose ir protarpių bėgiuose turi būti trys skylės varžtams, pagal dydį ir išsidėstymą skylės turi atitikti K/111 *Geležinkelio kelio priežiūros taisyklės* reikalavimus. Šių bėgių skersgaliuose galvutės viršuje ir apačioje daromos 2 mm 45° kampu nuosklembos.

Suvirintų ilgabėgių ilgis nustatomas projekte, atsižvelgiant į vietos sąlygas: iešmų išdėstymą, izoliuotąsias sandūras, tiltus ir viadukus (kai geležinkelio kelias viršuje) be balasto dangos, tunelius, pervažas, kreives, kurių spindulys mažesnis kaip 350 m, ratstabdžių mestuvus, vagonų stabdiklius, sankasos gedimus ir t.t. ir turi būti ne trumpesnis kaip 400 m. Kelių skyriaus viršininkui leidus, galima kloti 250 m ilgio ilgabėgius, o stoties keliuose – 150 m ilgio. Ruožuose su toninio dažnio bėgių grandinėmis, kur nereikia izoliuotųjų sandūrų, ar naudojant aukštos kokybės klijuotines izoliuotąsias sandūras, ilgabėgiai, esant palankioms sąlygoms, gali būti tarpstočio ilgio. Dar trumpesni ilgabėgiai, bet ne trumpesni kaip 100 m, gali būti klojami stotyse tarp iešmų. Tokių ilgabėgių galai turi būti atskirti nuo iešmų: dviem poromis 12,5 m ilgio protarpio bėgių, o gardžių ir protarpio bėgių galai turi būti suveržti stipriaisiais varžtais, jei nėra stipriųjų varžtų, ilgabėgiai turi būti ne trumpesni kaip 150 m. arba specialios konstrukcijos sandūromis, skirtomis kompensuoti temperatūrinius įtempimus [2].

1.2. Besandūrio kelio priežiūra ir remontas

1.2.1. Bendrosios nuostatos

Besandūrio kelio priežiūra ir remontas yra atliekami esant leistinam skirtumui tarp bėgių temperatūros atliekant darbus ir temperatūros ilgabėgių pritvirtinimo metu.

Darbų vadovas privalo nustatyti bėgių temperatūrą, palyginti ją su ilgabėgio pritvirtinimo temperatūra t_r , nustatyti, kokia bus bėgių temperatūra baigiant darbus ir nuspręsti, ar galima atlikti planuojamus priežiūros ar remonto darbus. Atliekant darbus būtina nuolat tikrinti bėgių temperatūrą.

Geležinkelių ruožų viršininkai turi pasirūpinti, kad paros ir ilgalaikės temperatūros prognozės būtų praneštos darbų vadovams ir meistrams, kad būtų galima planuoti darbus ir imtis reikiamų saugumo priemonių, kai bėgių temperatūra yra ekstremali.

Vasarą, kai atitinkamoje vietovėje oro temperatūra būna artima aukščiausiai, o žiemą, kai oro temperatūra lyginant su bėgių pritvirtinimo temperatūra nukrinta 60 °C ir daugiau arba esant oro temperatūrai minus 30 °C ir žemesnei, besandūrio kelio priežiūrai turi būti skiriama daugiau dėmesio. Besandūrio kelio apžiūros ir patikrinimo tvarką ir terminus nustato geležinkelio ruožo viršininkas.

Karštomis vasaros dienomis ypač atidžiai reikia stebėti kelio būklę plane. Pastebimi nukrypimai nuo taisyklingos padėties plane (8–15) m kelio ilgyje gali būti kelio išmetimo pradžios požymis [2, 4, 7].

1.2.2. Ilgabėgių postūmio ir temperatūrinio režimo pokyčio tikrinimas

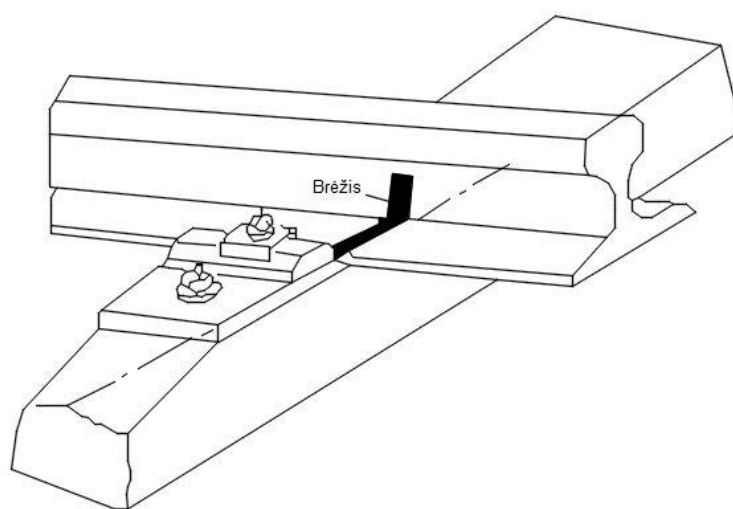
Besandūrio kelio būklė pradedama stebėti ir tikrinti nuo pat jo įrengimo pradžios. Kelio meistrai ir brigadininkai turi turėti faktinius duomenis apie ilgabėgių ilgius ir jų pritvirtinimo temperatūrą.

Didelį dėmesį prižiūrint besandūrį kelią reikia skirti tam, kad nebūtų kelio postūmio, dėl ko gali būti pažeistas nustatytas ilgabėgių temperatūrinių įtempimų režimas ir sukeltos pavojingos tempimo arba

gniuždymo įtempių koncentracijos. Kelio postūmis dažniausiai būna tuomet, kai silpnai priveržtos bėgvaržčių ir padėklų varžtų veržlės.

Nuo patiestų ilgabėgių pritvirtinimo pradžios turi būti nuolat tikrinamas bėgvaržčių ir padėklų varžtų veržlių priveržimas ir ilgabėgių padėtis (ar nėra kelio postūmio). Postūmį parodo gnybtų žymės ant bėgio pado, padėklų ant pabėgių postūmis, kauburiais pakeltas arba nepriglundęs prie pabėgių šonų balastas ir persikreipę pabėgiai.

Postūmis tikrinamas pagal ilgabėgių kontrolinių pjūvių ant „žyminių“ pabėgių poslinkį. Kontroliniai ilgabėgių pjūviai ženklinami 10 mm pločio skersiniais brūkšniais (brūkšnys brėžiamas ant bėgio pado ir kakliuko vėžės vidinėje pusėje pagal padėklo kraštą šviesias nenuplaunamais dažais). Papildomai pagal padėklo kraštą žymekliu ant bėgio pado įkalamos duobutės arba smailiu metaliniu brėžikliu brėžiama plona linija (1.11 pav.).



1.11 pav. Brėžio sutapimas su „žyminio“ pabėgio padėklo briauna [2]

„Žyminiu“ pabėgiu parenkamas pabėgis, esantis priešais šimtmetro (piketo) stulpelį. Šio pabėgio viršaus dalis prie bėgio nudažoma ryškiais dažais. Kad „žyminis“ pabėgis nepasislinktų kartu su ilgabėgiais, po ja visuomet turi būti gerai pamuštas balastas, bėgvaržčių veržlės priveržtos, tipiniai gnybtai turi būti pakeisti gnybtais su nupjautomis pėdelėmis, o guminės arba gumuotojo kordo tarpinės pakeistos polietileninėmis ar kitos medžiagos (kurios mažas trinties koeficientas) tarpinėmis.

„Žyminiai“ pabėgiai paženklinami iškart pritvirtinus ilgabėgius nuolatinei eksploatacijai. Jei nėra gnybtų su nupjautomis pėdelėmis, išimties tvarka leidžiama ant „žyminių“ pabėgių visai nedėti gnybtų.

Pastebėjus ant „žyminių“ pabėgių kontrolinių žymių pasislinkimus iki 5 mm, būtina toje atkarpoje patikrinti sąvaržas, pakeisti defektinius elementus, patepti sriegius, priveržti bėgvaržčių ir padėklo varžtų veržles. Jei pasislinkimas didesnis kaip 5 mm, reikia nustatyti atstumo tarp gretimų kontrolinių pjūvių pakitimus, įskaitant pasislinkimo dydį ir kryptį. Jeigu pakitimai (pailgėjimai arba sutrumpėjimai) 100 m ilgio kelio ruože ne didesni kaip 10 mm, galima apsiriboti išvardytomis priemonėmis. Jeigu nuo to laiko, kai ilgabėgis paskutinį kartą buvo pritvirtintas nuolatiniam režimui, atstumas tarp kontrolinių pjūvių pasikeitė daugiau kaip 10 mm, tai rodo, kad faktinė ilgabėgių temperatūra labai skiriasi nuo

pradinės, kuri buvo pritvirtinant ilgabėgius nuolatiniam eksploatavimui. Šiuo atveju reikia reguliuoti įtempius esant ilgabėgių temperatūrai, ne aukštesnei kaip pritvirtinimo temperatūra t_t .

Jeigu atpalaidavus atkarpą ruožas tarp „žyminių“ pabėgių pailgėja arba sutrumpėja ne daugiau kaip 5 mm, tai ta ilgabėgio atkarpa vėl pritvirtinama laikant, kad temperatūriniai įtempiai sumažinti ir ilgabėgių pritvirtinimo temperatūrinis režimas atitinka faktinį jų pritvirtinimo temperatūrinį režimą.

Jeigu atpalaidavus atkarpą kontrolinės žymės ant „žyminių“ pabėgių pasislenka daugiau kaip 5 mm, o bendras ilgabėgių ilgis tarp žymių pasikeičia daugiau kaip 10 mm, tai tokių ilgabėgių temperatūriniai įtempiai turi būti panaikinami, įvedant juos į optimalų pritvirtinimo temperatūrinį intervalą. Ilgesnių kaip 800 m visų tipų ilgabėgių atkarpoje tarp „žyminių“ pabėgių pritvirtinimo faktinės temperatūros nuokrypis nuo pritvirtinimo temperatūros $^{\circ}\text{C}$ nustatomas pagal formulę [2]:

$$\Delta t = \pm 85 \frac{\Delta l}{l}; \quad (1.1)$$

čia:

Δl – išmatuotas faktinis ilgabėgio pailgėjimas („+“) arba patrumpėjimas („-“) milimetrais;

l – atstumas tarp „žyminių“ pabėgių metrais.

Faktinė pritvirtinimo temperatūra $^{\circ}\text{C}$ nustatoma pagal formulę [2]:

$$t_0 = t_t \pm \Delta t; \quad (1.2)$$

čia:

t_t – ankstesnio pritvirtinimo temperatūra (tiesiant ilgabėgį arba reguliuojant temperatūrinius įtempius jame), $^{\circ}\text{C}$.

Jeigu t_0 dydis yra ilgabėgio pritvirtinimo skaičiuojamosios temperatūros intervalo ribose, tai jį užrašoma į Besandūrio kelio pasą, kuriuo vadovaujama toliau eksploatuojant ilgąjį ilgabėgį.

Jeigu t_0 dydis yra už ilgabėgio pritvirtinimo skaičiuojamosios temperatūros ribų, tai temperatūriniai įtempiai naikinami perpjaujant ilgabėgį ir po to jį vėl suvirinant.

Norint išvengti kelio postūmio, būtina užtikrinti, kad sandūros, padėklo varžtų ir bėgvaržčių veržlės būtų nuolat priveržtos pagal nustatytas normas. Veržlių priveržimas tikrinamas dinamometriniu raktu (laikinais, kol visi, besandūrį kelią prižiūrintys, darbuotojai bus aprūpinti dinamometriniais raktais, leidžiama veržlių priveržimą tikrinti padaužant plaktuku). Paprastai veržlės turi būti papildomai paveržiamos, kai priveržimo momentas sumažėja: bėgvaržčių – 100 Nm, o padėklo varžtų – iki 70 Nm.

Dinamometriniu raktu padėklo varžtų ir bėgvaržčių veržlių priveržimas (priveržimo momentas) tikrinamas abiejų vėžės bėgių, ištiesai ant 10-15 pabėgių, esančių besandūriame kelyje, kai gardės:

- trumpųjų ilgabėgių (iki 800 m) – trijose zonose: gardės galuose (100 m ruože nuo gardės galo) ir gardės viduryje;
- ilgųjų ilgabėgių – gardės galuose ir kas 400 m gardės ilgio.
- Pagal tikrinimo rezultatus nustatomas priveržimo momento vidurkis ir, jeigu jis mažesnis už leistiną dydį, tai būtina priveržti visų padėklo varžtų ir bėgvaržčių veržles.

- Jei panaudotos KB tipo tarpinės sąvaržos, tai priveržimo momentas tikrinamas:
- kai vežamų krovinių gausis iki 25 mln. t·km bruto/km per metus – vieną kartą per metus (rudeni) priveržiant sandūros, padėklo varžtų ir bėgvaržčių veržles ir patepti sriegius;
- kai vežamų krovinių gausis didesnis kaip 25 mln. t·km bruto/km per metus – ištiesai veržlės priveržiamos ir patepami sriegiai du kartus per metus (pavasari ir rudeni) [2].

Jeigu besandūris kelias pritvirtintas bėgvinėmis – būtina užtikrinti, kad priešštūmiai būtų visiškai prispausti prie pabėgių. Reikia periodiškai sukalti bėgvines ir taisyti priešštūmius, prireikus netinkamus pakeisti.

Atliekant kelio apžiūras (pavasari ir rudeni), reikia pasirinktinai padaužyti plaktuku sandūros, bėgvaržčių bei padėklo varžtų veržles. Radus atsilaisvinusias veržles – priveržti jas. Jei padaužant plaktuku bus nustatyta, kad daugiau kaip 10 % patikrintų veržlių yra atsilaisvavusios, tai per savaitę reikia dinamometriniu raktu patikrinti jų priveržimą [2, 4, 7].

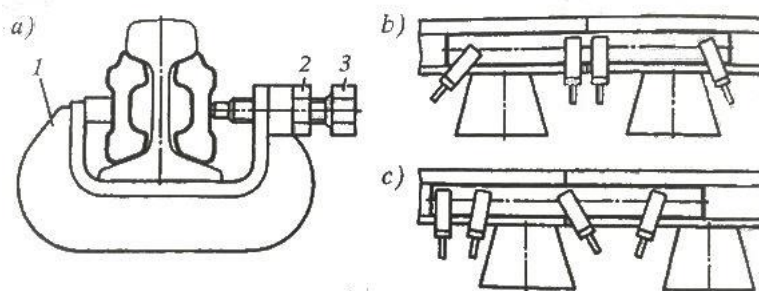
1.2.3. Ilgabėgių vientisumo ir temperatūrinio režimo atnaujinimas

Aptikus ilgabėgyje pavojingą defektą, būtina imtis priemonių defektui pašalinti ir sutvarkyti bėgį taip, kad būtų užtikrintas saugus traukinių eismas.

Defektinis ilgabėgis taisomas dviem arba trimis etapais:

- trumpalaikis sutaisymas;
- laikinas sutaisymas;
- galutinis sutaisymas.

Esant vidiniam skersiniam įskilimui, jei jo ribos yra už bėgio galvutės vidurio arba įskilimas siekia bėgio paviršių, taip pat jei bėgis visiškai nutrūkęs ir susidarė mažesnis kaip 25 mm tarpas, atliekamas trumpalaikis ilgabėgio sutaisymas, siekiant praleisti keletą traukinių. Taisant ilgabėgį pažaidos vietoje dedamos šešių skylių tvarslės, suspaustos veržtuvais, kurių konstrukcija ir suveržimo schema parodyta 1.12 pav. Traukiniai ne ilgiau kaip 3 valandas šia atkarpa praleidžiami ne didesniu kaip 25 km/h greičiu, atidžiai stebint specialiai paskirtam darbuotojui. Per šį nurodytą laiką turi būti organizuotas laikinas ilgabėgio sutaisymas arba galutinis atnaujinimas.



1.12 pav. Tvarslių suveržimo veržtuvas esant ilgabėgio lūžiui [2]

a – bendras veržtuvo vaizdas; b – veržtuvų išdėstymo schema, kai lūžis yra tarp bėgių; c – veržtuvų išdėstymo schema, kai lūžis yra ant pabėgio

1 – apkaba; 2 – veržlė M27; 3 – varžtas M27

Jeigu bėgis įskilo ar išlūžo jo dalis arba aptikti du ar daugiau vidiniai skersiniai įskilimai tarp dviejų suvirintų sandūrų, t. y. ant vieno bėgio, arba visai nutrūkus bėgiui susidarė didesnis kaip 25 mm tarpas, draudžiama montuoti ant defektinės vietos tvarsles ir suspausti veržtuvais. Šio pobūdžio defektas parodytas 1.13 pav. Tokiais atvejais reikia iš karto atlikti laikinąjį ilgabėgio sutaisymą arba galutinį atnaujinimą [2, 4].



1.13 pav. Išlūžęs bėgis [42]



1.14 pav. Nutrūkęs bėgis (tarpas mažesnis nei 25 mm) [43]

Jeigu vidinis įskilimas nesiekia paviršiaus, o jo ribos neužsiekia už galvutės vidurio, galima ant pažeistos vietos sumontuoti šešių skylių tvarsles su keturiais varžtais taip, kad tvarslės vidurys sutaptų su defekto vieta. Skylių dviem viduriniams varžtams negrežiamos, kad defektas neplistų į jų pusę. Taip sustiprinus ilgabėgį, traukiniai praleidžiami nustatytu greičiu. Norint labiau priveržti sandūros varžtus ir užtikrinti sandūros stabilumą, rekomenduojama naudoti stipriuosius varžtus.

Kai bėgis yra kiaurai lūžęs (nutrūkęs), kad tarpas nedidėtų ir nebūtų nupjauti tvarslių varžtai, ypatingas dėmesys turi būti skiriamas tam, kad bėgvaržčiai ir padėklo varžtai 50 m atkarpose į abi puses nuo defektinės vietos būtų gerai priveržti. Tvarslemis sustiprintą defektinę vietą būtina apžiūrėti kiekvieną kartą tikrinant kelią, bėgvaržčius, sandūros ir padėklo varžtus reikia padaužyti plaktuku, o bėgius reikia patikrinti defektoskopais.

Laikinais sutaisant iš ilgabėgio turi būti išpjauta defektinė vieta ir jos vietoje turi būti įdėtas (8–11) m ilgio bėgis. Mažiausias atstumas nuo defekto krašto arba nuo įskilimo galo iki artimiausios bėgio įpjovos, arba iki artimiausios suvirintos sandūros turi būti ne mažesnis kaip 3 m. Įdedamo bėgio galai su nupjautais ilgabėgio galais sujungiami šešių skylių tvarslėmis.

Galutinai atnaujinant į ilgabėgį vietoje laikinojo bėgio įvirinimas iš anksto paruoštas bėgis be skylių varžtams. Bėgis įvirinamas elektriniu kontaktiniu būdu naudojant bėgių suvirinimo mašiną arba termitu.

Galutinai atnaujinant ilgabėgio vientisumą būtina atkurti ir jo temperatūrinį režimą. Todėl galutinis atnaujinimas įvirinant bėgį galimas esant pritvirtinimo temperatūrai ± 5 °C. Jeigu ilgabėgio atnaujinimas įvirinant bėgį atliekamas, kai bėgių temperatūra žemesnė už ilgabėgio tvirtinimo optimalią temperatūrą daugiau kaip 5 °C, tai suvirinus būtina atnaujinti ilgabėgių darbo režimą esant tvirtinimo temperatūrai.

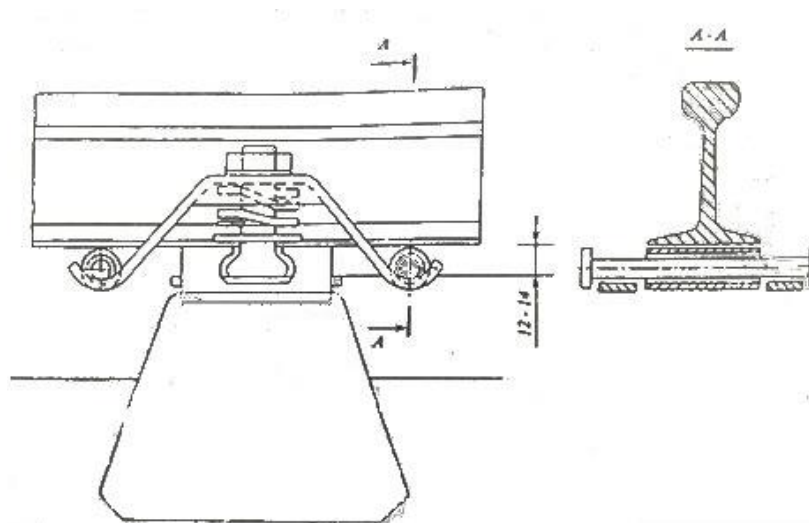
Atnaujinant kelią po išmetimo, ilgabėgių atkarpos didžiausias likutinio išsikreivavimo vietoje, 25 m bėgių atkarpos turi būti išpjautos ir pakeistos atitinkamo nusidėvėjimo bėgiais, kurie su ilgabėgiais jungiami tvarslėmis arba privirinami [2, 7].

1.2.4. Temperatūrinių įtempių ilgabėgiuose naikinimas

Besandūrio kelio konstrukcija turi būti tokia, kad pavasarį ir rudenį nereikėtų atlikti sezoninių temperatūrinių įtempių naikinimo darbų. Temperatūrinių įtempių naikinimo darbai atliekami šiais išimties atvejais:

- iš naujo tvirtinant ilgabėgius nuolatiniam eksploatavimui po to, kai jie buvo laikinai pritvirtinti esant temperatūrai, kuri skyrėsi nuo optimalios temperatūros, arba būtiniais atvejais prieš suvirinant trumpuosius ilgabėgius į ilguosius ilgabėgius;
- prireikus atlikti kelio remonto darbus, kai temperatūra viršija leistiną, taip pat šalinant susidariusį kelyje staigų kampą plane;
- galutinai atnaujinant ilgabėgio vientisumą, jeigu jis buvo suvirintas esant temperatūrai už apskaičiuoto temperatūros intervalo ribų ir t.t.

Temperatūrinių įtempių panaikinimui atpalaiduojamos ilgabėgių tarpinės ir sandūrų sąvaržos, ant kiekvieno 15 – o pabėgio bėgiai paguldomi ant ritininių atramų (1.15 pav.) arba slidžių plokštelių porų [2].



1.15 pav. Ritininė ilgabėgio atrama [2]

Ritininių atramų ritinėliai turi būti (20 – 22) mm skersmens. Tose vietose, kuriose jie sumontuoti, laikinai turi būti išimami tarpinių sąvaržų padėklai. Ritinėlių konstrukcija turi užtikrinti saugų ir greitą jų sumontavimą ir nuėmimą, taip pat jie turi būti statmeni bėgio ašiai.

Pakeliant ilgabėgius ant ritininių atramų reikalinga eismo pertrauka. Naudojant slidžias plokšteles traukinių eismas nenutraukiamas, o jų greitis ribojamas 25 km/h.

Įtempių mažinimo kokybė tikrinama pagal ilgabėgio kontrolinių pjūvių pasislinkimą ant „žyminių“ pabėgių ir kas 50 m tarp jų padarytų papildomų žymių, taip pat pagal ilgabėgio galų poslinkius. Įtempiai panaikinti, jei žymės (brūkšniai) ant bėgių sutampa su padėklų kraštais [2, 4].

1.3. Tarpstočių signalizacijos įrenginiai

1.3.1. Automatinė kelio blokuotė

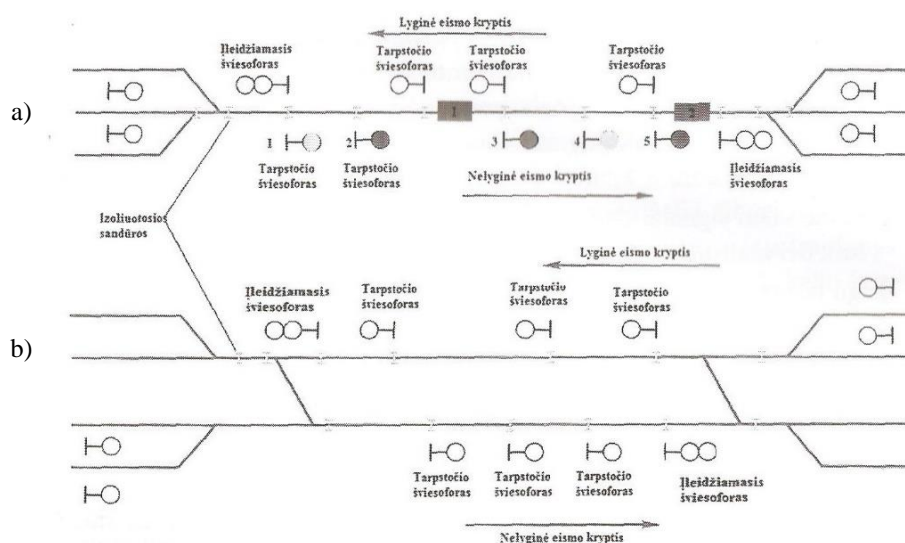
Automatinė kelio blokuotė – tai traukinių eismo tvarkymo pagal tarpstočių šviesoforus įranga. Kai eismas tvarkomas naudojant automatinę blokuotę, tarpstotis dalijamas į blokuojamuosius ruožus, kurių ilgis gali siekti 1000–2600 m. Blokuojamieji ruožai atitveriami tarpstočio šviesoforais. Blokuojamuosiuose ruožuose įrengiama elektrinė bėgių grandinė, kuri yra traukinio buvimo ar nebuvimo joje informacijos jutiklis. Bėgių grandinė – tai geležinkelio ruožų bėgio linijos ir prie jos prijungtos aparatūros visuma, skirta signalams perduoti. Dvi gretimos bėgių grandinės atskiriamos izoliuotomis sandūromis [2, 3, 4, 7].

Stotyse esančiose ruožuose, kuriuose įrengta automatinė arba pusiau automatinė kelio blokuotė, turi būti suprojektuoti įrenginiai, neleidžiantys įjungti įleidžiamąjo šviesoforo leidžiamąjo signalo, kai maršrutas parengtas į užimtą kelią, bei įrenginiai, garantuojantys iešmų ir kelių laisvumo kontrolę.

Ruožuose, kuriuose įrengta automatinė blokuotė, traukinių eismo stebėtojai traukinių tvarkdariui turi rodyti nustatytą eismo kryptį (vienkeliuose ruožuose), blokuojamųjų ruožų, pagrindinių ir atvykimo bei išvykimo kelių užimtumą stotyse, kartoti įleidžiamųjų ir išleidžiamųjų šviesoforų signalus.

Eismo kontrolės įrenginiai eismo tvarkdario švieslentėje turi signalizuoti apie blokuojamų ruožų, pagrindinių, o tarpinėse stotyse ir atvykimo bei išvykimo kelių užimtumą, įleidžiamųjų šviesoforų leidžiamąjo signalo įjungimą, išleidžiamųjų šviesoforų leidžiamąjo signalo įjungimą, dvipusės automatinės blokuotės nustatyta eismo kryptį ir stotyse, bei tarpstočiuose įvykusius signalizacijos įrenginių veikimo sutrikimus [3].

Vienkelės ir dvikelės automatinės kelio blokuotės šviesoforų išdėstymo schema pavaizduota 1.16 paveikslėlyje.



1.16 pav. Automatinės kelio blokuotės [3]: a – vienkelė; b – dvikelė

Šioje schemoje traukiniai 1 ir 2 vienu metu važiuoja nelygine kryptimi. Tokiu konkrečiu momentu šviesoforai 2 ir 5 signalizuoja raudonu žiburiu, kadangi traukiniai užėmę blokuojamąjį ruožą. Šviesoforai 1 ir 4 šiuo momentu signalizuos geltonu žiburiu, ir tai reikš, kad priekyje laisvas vienas blokuojamasis ruožas. Šviesoforas 3 signalizuos žaliu žiburiu, nes priekyje laisvi ne mažiau kaip du blokuojamieji ruožai.

Lyginant su pusiau automatinėmis blokuočių sistemomis, automatinės blokuotės sistemos užtikrina didesnę ruožų saugumą ir pralaidumą. Sumažėjęs laiko intervalas tarp pravažiuojančių traukinių užtikrina didesnę pralaidumą, nes tuo pačiu metu vienu tarpstočių gali važiuoti daugiau nei vienas traukinys. Traukinių eismo saugumas, naudojant automatinę blokuotę, padidėja, nes kiekvienas blokuojamas ruožas turi elektrinę bėgių grandinę, kuri kontroliuoja ne tik blokuojamo ruožo užimtumą ir atlaisvinimą, bet ir bėgių, esančių tame ruože, vientisumą. Jei toks kelio ruožas yra užimtas arba jame įvyksta gedimas, automatiškai įsijungia draudžiamasis signalas, saugantis šį blokuojamą ruožą [2, 3, 4].

1.3.2. Izoliuotoji sandūros sąvarža

Bėgių sandūros sąvarža jungia bėgius tarpusavyje. Jai keliami trys pagrindiniai reikalavimai:

- perimti lenkimo momentą ir skersinę jėgą sandūroje. Šis reikalavimas lemia tai, kad sandūra turi būti vientisa ir stipri (standi), kad sandūros elementai būtų stiprūs ir nejudėtų vienas kito atžvilgiu;
- leisti bėgių galams judėti išilgine kryptimi sandūroje, kai bėgių ilgis keičiasi dėl temperatūros svyravimų;
- užtikrinti, kad sandūros elementus būtų galima gaminti unifikuotai: liejant, presuojant, valcuojant. Be to, turi būti garantuota, kad tvarslė gerai priglustų prie bėgio galvutės apačios ir bėgio pado viršaus [4, 5].

Bėgiai tarpusavyje gali būti jungiami įvairiai: bėgiai jungiami tarp dviejų pabėgių ir sandūra pakimba ore 1.17a pav.; bėgiai jungiami ant suporintų pabėgių 1.17b pav. [9].



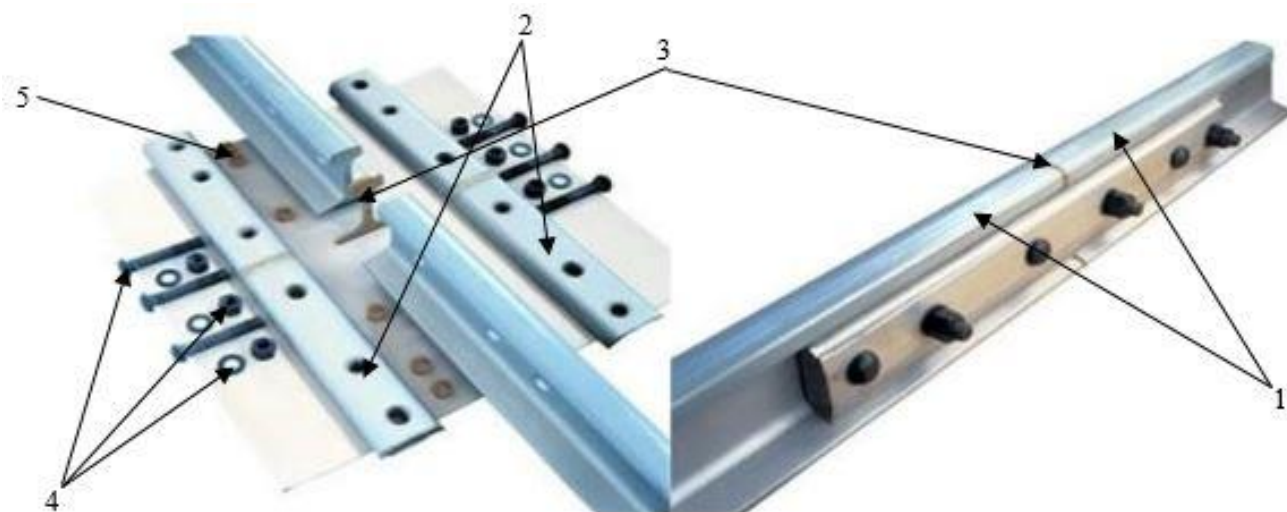
1.17a pav. Bėgių sujungimas, kai sandūra tarp dviejų pabėgių [44]



1.17b pav. Bėgių sujungimas ant suporintų pabėgių [45]

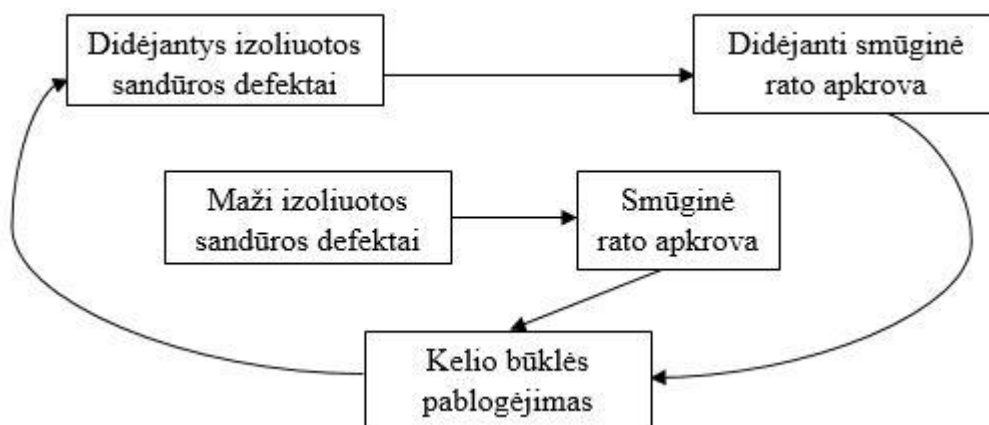
Izoliuotoji sandūra (1.18 pav.) sujungia ilgabėgius, todėl iš jų perima ir išilgines apkrovas, atsirandančias, kai ilgabėgių temperatūra skiriasi nuo jų neutralios temperatūros (pritvirtinimo arba

paskutinio remonto metu buvusios temperatūros). Todėl ją veikia ne tik vertikaliosios riedmenų sukeltos apkrovos, bet ir dėl temperatūros skirtumo atsirandančios temperatūrinės jėgos ilgabėgiuose [12, 17, 20, 25, 26].



1.18 pav. Klijuotinė izoliuotoji sandūra [46]: 1 – 6,25 m ilgio bėgiai; 2 – šešių skylių tvarslės; 3 - tarpiklis; 4 – sandūriniai varžtai; 5 – izoliuojančios įvorės

Laisvi bėgių galai yra vienodame lygyje sujungti tvarslėmis (2), tarpiklis (3) yra įstatytas tarp bėgių (1), kad juos vieną nuo kito izoliuotų. Izoliuojančios įvorės (5) įstatomos į bėgių kakliuke esančias skylės, kad nebūtų kontakto su sandūriniais varžtais (4). Sandūroje bėgių vientisumas nutrūksta, jie sujungiami tvarslėmis. Tvaršlių atsparumas lenkimui yra žymiai mažesnis nei bėgių, todėl traukiniui važiuojant per sandūrą joje atsiranda didelės apkrovos. Dėl šių apkrovų blogėja kelio kokybė, o blogėjant kelio kokybei pradeda didėti ir dinaminės riedmenų apkrovos. Tokia apkrovų, veikiančių sandūrą, bei kelio kokybės tarpusavio sąveika gali būti pavaizduota kaip ciklas, pavaizduotas 1.19 paveiksle [13, 15, 21, 23].



1.19 pav. Apkrovų veikiančių sandūrą bei kelio kokybės tarpusavio sąveikos ciklas [22]

Didėjant traukinių svoriams ir srautams bei dėl mažo sandūros sąvaržos atsparumo lenkimui, jos elementų eksploataavimo laikas yra nedidelis palyginus su kitais bėgių kelyje esančiais elementais. Taip

pat dėl specifinės izoliuotųjų sandūrų svarbos (izoliuoti blokuojamus kelio ruožus) eksploataavimo laikotarpiu reikalinga nuolatinė priežiūra [16, 22, 24].

Tarpiklio įstatymas tarp bėgių, jo storis, mechaninės savybės turi didelę įtaką riedmenų ir sandūros tarpusavio sąveikai. Kai tarpiklis įstatytas statmenai, aširačiui judant per sandūrą, apkrovą perima tik tvarslės, jų atsparumas lenkimui mažesnis nei bėgių, todėl tarpelio plotis turi labai didelę reikšmę. Šio tarpelio (tarpiklio) plotis gali būti nuo 5 mm iki 10 mm [18, 28].

Trys dažniausiai izoliuotųjų sandūrų zonoje aptinkami defektai:

- bėgio galvutės defektai;
- lūžusios tvarslės ar nutraukti sandūriniai varžtai;
- tarpiklio defektai.

Sandūros sąvaržos atsparumas lenkimui yra trečdaliu mažesnis negu bėgio [25]. Tai yra didelis izoliuotų sandūrų trūkumas. Sandūros sąvaržų atsparumą lenkimui įtakoja keletas faktorių: tvarslių atsparumas lenkimui, sandūrinių varžtų užveržimas bei kaip gerai tvarslės priglunda prie bėgio. Kita izoliuotų sandūrų silpnybė yra palyginti silpna izoliuojančio tarpiklio medžiaga. Ši medžiaga žymiai silpnesnė už bėgiams naudojamą plieną, todėl aširačiams riedant per sandūrą juose atsiranda vertikalūs pagreitis, kuris ir sukelia dinamines jėgas bėgių kelyje [22, 27, 29].

1.3.3. Ilgabėgių sujungimas

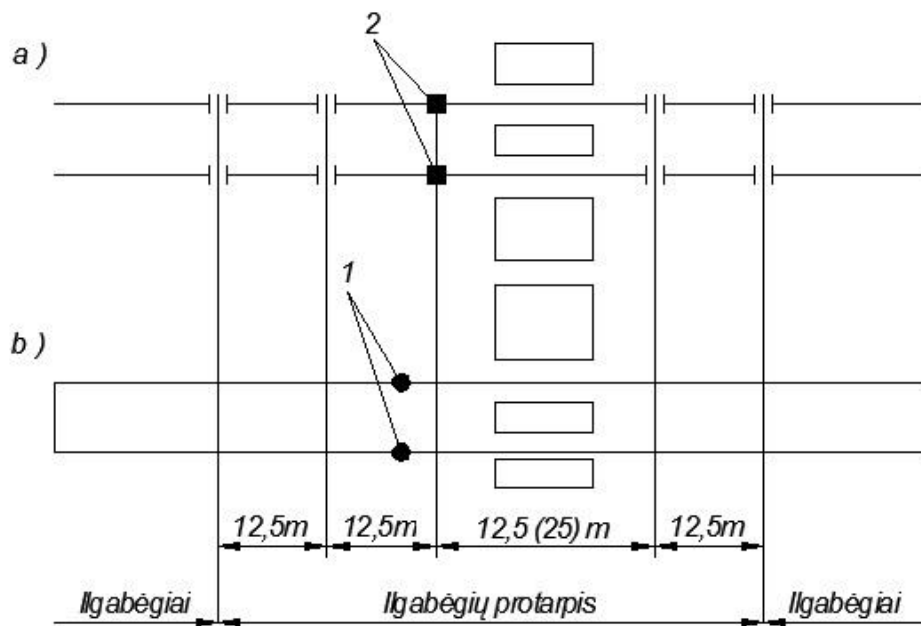
Tarp ilgabėgių, neatsižvelgiant į jų ilgį, kai nėra izoliuotųjų sandūrų, reikia pakloti dvi arba tris 12,5 m ilgio protarpio bėgių poras (jų skaičius nustatomas pagal projektą).

Ilgabėgių protarpuose įtaisant surenkamas izoliuotąsias sandūras, tarp jų klojamos keturios poros protarpio bėgių su izoliuotosiomis sandūromis per vidurį arba trys poros protarpio bėgių montuojant izoliuotąsias sandūras antrosios viduryje; tokia sandūra neturi nutrūkti tempiant 1,5 MN jėga.

Naudojant paprastas klijuotines sandūras (kurių pasipriešinimas trūkimui mažesnis nei 2 MN) klojamos trys poros protarpio bėgių (12,5 m arba 25,0 m), viduriniuose bėgiuose yra izoliuotosios sandūros. Naudojant didelio atsparumo (stipriąsias) klijuotines sandūras, kurios išlaiko ne mažesnę kaip 2,5 MN tempimo jėgą, protarpio bėgių galima nekloti. Ilgabėgių sujungimui su sandūriniu keliu, iešmais, standžiais ratstabdžių mestuvais, vagonų stabdikliais naudojamos dvi poros 12,5 m ilgio protarpio bėgių.

Ruožuose, kuriuose nėra toninės automatinės blokuotės, tarpstočio ilgio ilgabėgiai sujungiami privirintais prie ilgabėgių galų bėgių intarpais su stipriąja izoliuotąja sandūra.

Negalima daryti sandūrų pervažos klojinio ribose (1.25 pav.).



1.20 pav. Ilgabėgių protarpių pervažoje schemas [2]

a – su surenkamosiomis izoliuotosiomis sandūromis; b – su stipriosiomis izoliuotosiomis sandūromis;

1 – stiprioji izoliuotoji sandūra; 2 – surenkamoji izoliuotoji sandūra.

Visų tipų protarpių bėgiai tarpusavyje su suvirintais ilgabėgiais sujungiami šešių skylių tvarslėmis; srovės praleidžiamumui padidinti sandūrose negalima naudoti grafitinio tepalo. Paprasto plieno sandūrinių varžtų veržlės užveržiamos sukimo momentu, ne mažesniu kaip:

- kai bėgiai R75 ar R65 tipo – 600 Nm;
- kai bėgiai UIC 60 tipo – 550 Nm.

Stipriųjų varžtų veržlės užveržiamos:

- -kai bėgiai R75 ar R65 tipo – 1100 Nm;
- -kai bėgiai UIC 60 tipo – 1000 Nm.

Lengvesnio R50 ir UIC54 tipo bėgių tvarslių varžtų veržlės užsukamos ne mažesniu kaip 400 Nm sukimo momentu [2, 4].

2. TYRIMŲ DALIS

2.1. 2014-2015 metais užfiksuotų bėgių grandinių gedimų analizė

Darbe analizuojami 2014–2015 metais AB „Lietuvos geležinkeliai“ užfiksuoti bėgių grandinių gedimai, kurie daugiau ar mažiau turėjo įtakos sklandžiam traukinių eismui. Į duomenis įeina pagrindiniai izoliuotosios sandūros zonoje aptinkami gedimai ir smulkūs defektai. 2.1 lentelėje pateiktas kiekvienoje infrastruktūroje aptiktų atskirų gedimų skaičius. Šie duomenys toliau analizuojami, siekiant išsiaiškinti jų atsiradimo priežastis.

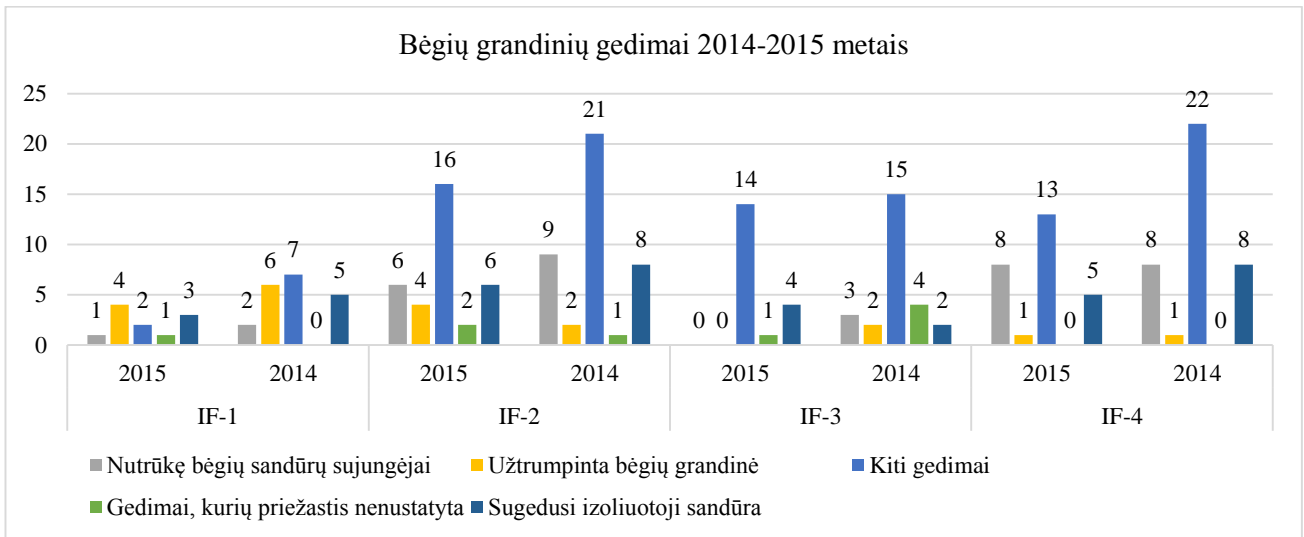
2.1 lentelė

Bėgių grandinių gedimai 2014–2015 metais

BG gedimo pavadinimas	IF-1		IF-2		IF-3		IF-4		IF viso:	
	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014
Nutrūkę bėgių sandūrų sujungėjai	1	2	6	9	0	3	8	8	15	22
Užtrumpinta bėgių grandinė	4	6	4	2	0	2	1	1	9	11
Kiti gedimai	2	7	16	21	14	15	13	22	45	65
Gedimai, kurių priežastis nenustatyta	1	0	2	1	1	4	0	0	4	5
Sugedusi izoliuotoji sandūra	3	5	6	8	4	2	5	8	18	23
Viso:	11	20	34	41	19	26	27	39	91	126

2.1 lentelėje pateiktų trumpinių reikšmės: IF-1 – Vilniaus geležinkelių infrastruktūra; IF-2 – Kauno geležinkelių infrastruktūra; IF-3 – Šiaulių geležinkelių infrastruktūra; IF-4 – Klaipėdos geležinkelių infrastruktūra.

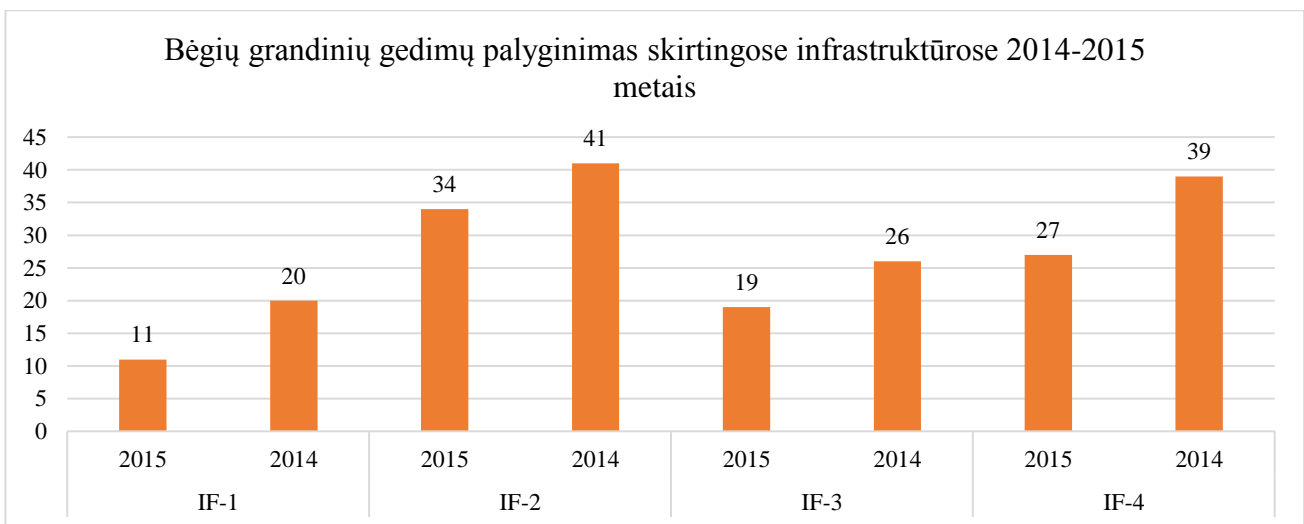
2014 metais užfiksuoti 126, 2015 metais 91 bėgių grandinių gedimas. Tokiam aptiktų gedimų skirumui įtakos turi tai, kad daugiau dėmesio skiriama izoliuotųjų sandūrų eksploatavimui, kelio kokybės gerinimui. Gamintojams keliami aukštesni reikalavimai gaminant izoliuotąsias sandūras, reikalaujama didinti jose naudojamų elementų patvarumą. 2.1 paveikslėlyje grafiškai pavaizduotas aptiktų gedimų pasiskirstymas.



2.1 pav. Bėgių grandinių gedimai 2014-2015 metais

Nors tobulinamos tiek medžiagos, tiek izoliuotų sandūrų konstrukcija, pagrindinio jų trūkumo t.y. tarpelio tarp bėgių galų išvengti neįmanoma, todėl neišvengiami ir gedimai sandūros zonoje.

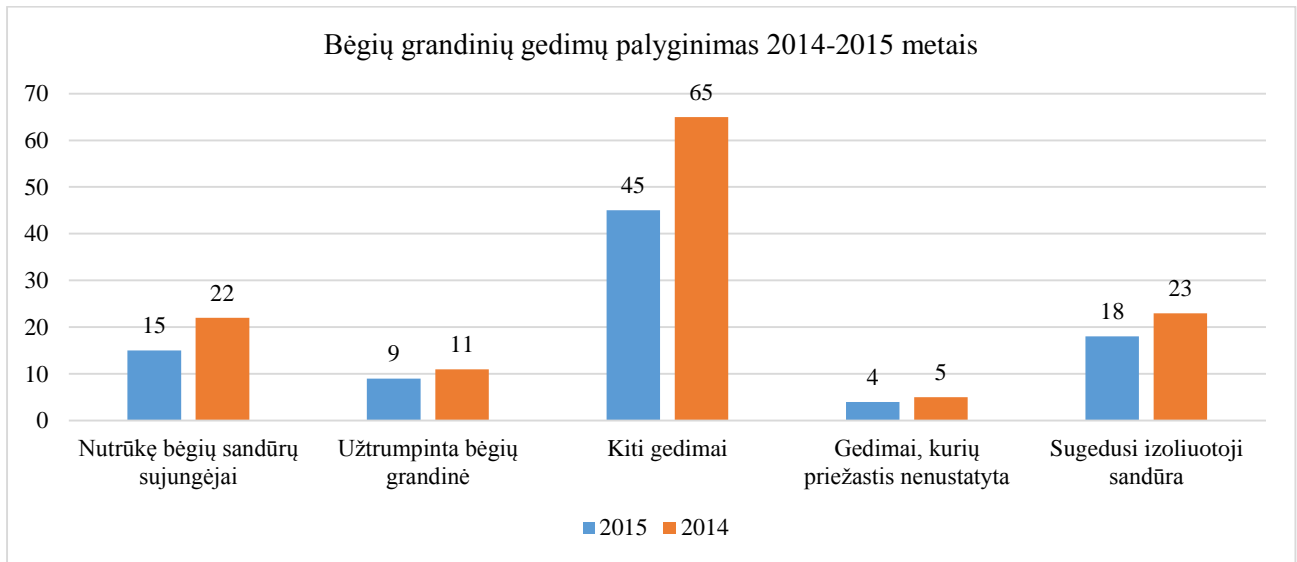
2.2 paveikslėlyje parodytas aptiktų gedimų pasiskirstymas AB „Lietuvos geležinkeliai“ infrastruktūrose 2014-2015 metais.



2.2 pav. Bėgių grandinių gedimų palyginimas skirtingose infrastruktūrose 2014-2015 metais

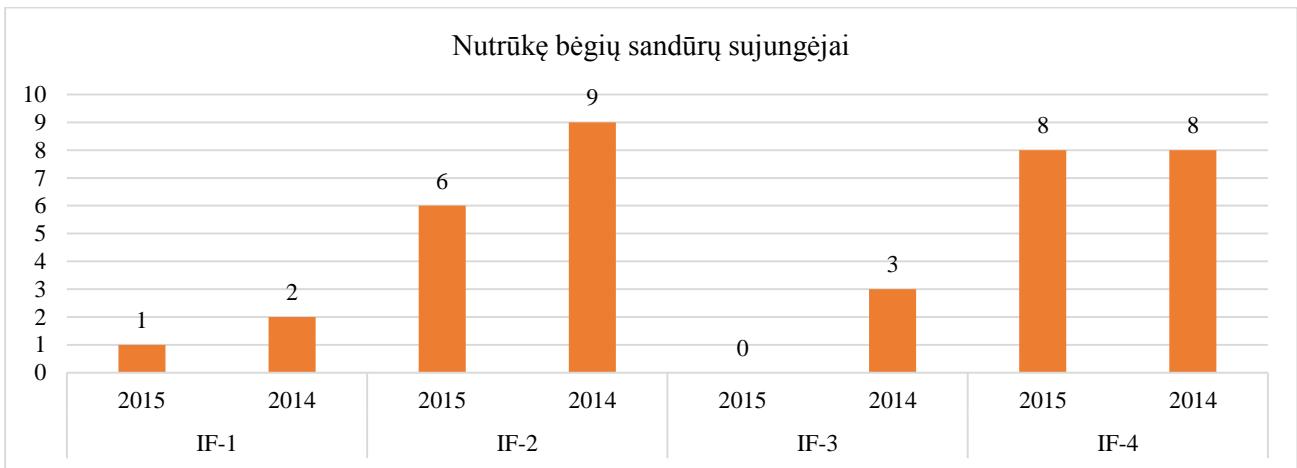
Galima pastebėti, kad daugiausiai gedimų aptikta Kauno geležinkelių infrastruktūroje, kuri pagal administracinį paskirstymą turi plačią aptarnavimo zoną, besitęsiančią nuo Vievio iki Radviliškio, nuo Kaišiadorių iki Rusijos pasienio Kybartų stotyje ir nuo Kazlų Rūdos iki Lenkijos pasienio. Filialas aptarnauja 692,4 km pagrindinio kelio, iš šio skaičiaus – 21,9 km (šiuo metu) europinės 1435 mm geležinkelių vėžės. Didžioji dalis šių kelių yra pagrindiniame IX transporto koridoriuje Vilniaus–Klaipėdos ir Kaišiadorių–Kybartų kryptyse, kurios yra vienos iš intensyviausių pagal pervežamų krovinių apimtis visuose Lietuvos geležinkeliuose [39].

Pagal 2.3 paveikslėlyje pateiktus duomenis, matyti, kad 2015 metais aptiktų gedimų skaičius mažėjo lyginant su 2014 metais, tačiau išliko gana didelis.



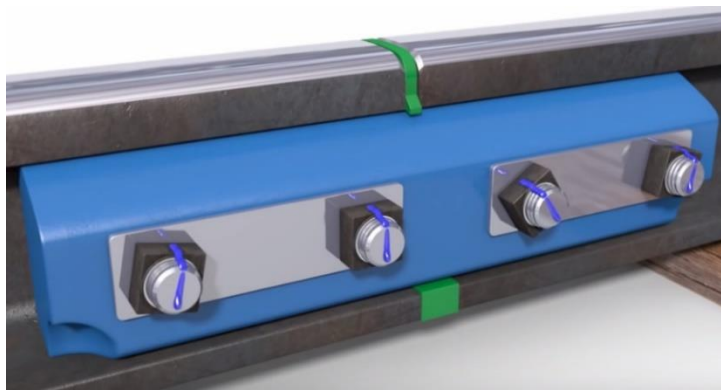
2.3 pav. Bėgių grandinių gedimų palyginimas 2014-2015 metais

Toliau kiekvienas aptiktas bėgių grandinės gedimas bus nagrinėjamas atskirai. 2.4 paveikslėlyje pateiktas nutrūkusių bėgių sandūrų sujungėjų palyginimas.



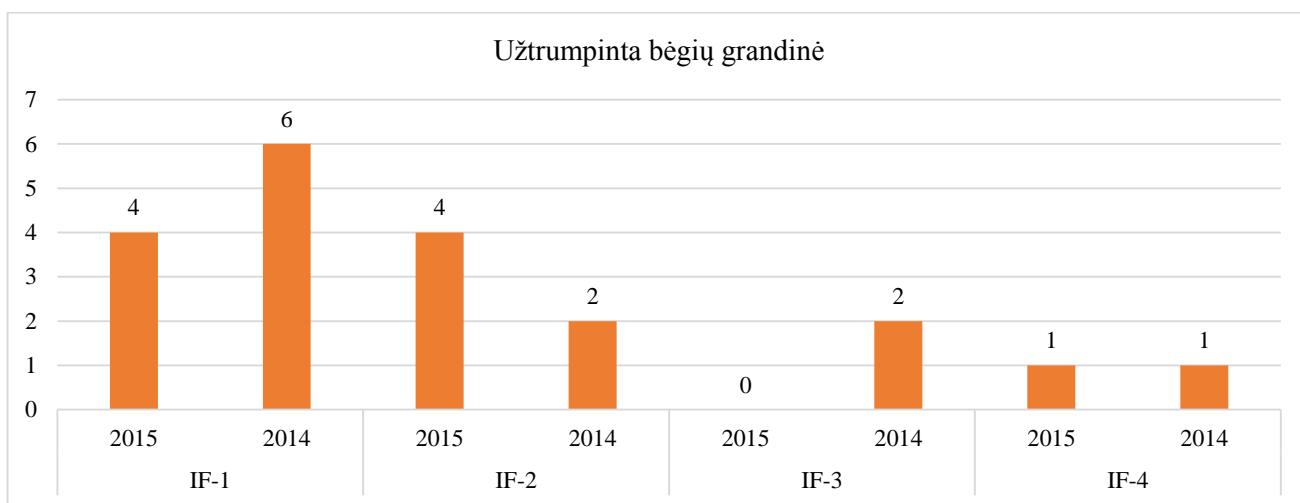
2.4 pav. Nutrūkę bėgių sandūrų sujungėjai

Šio pobūdžio gedimai dažniausiai aptinkami šaltuoju metų laikotarpiu. Aplinkos temperatūrai smarkiai pasikeitus nuo bėgių pritvirtinimo temperatūros, ilgabėgius pradeda veikti didelės temperatūrinės jėgos, dėl kurių gali būti nupjauti ar stipriai deformuoti sandūriniai varžtai. Besideformuodami varžtai pažeidžia izoliacines įvoves, atsiranda kontaktas tarp bėgių grandinių. Tokie gedimai taip pat gali pradėti vystytis netinkamai užveržus veržles ar laiku nepastebėjus, kad jos atsilaisvino. Varžtų užveržimas tikrinamas kelio apeiviui tikrinant kelio būklę, padaužant plaktuku. Jei reikia varžtai turi būti užveržiami dinamometriniu raktu. Kad būtų lengviau vizualiai pastebėti atsilaisvinusius sandūrinius varžtus, jų veržlių galvutės ir išsikišę smeigių galai pažymimi specialia, drėgmei atsparia medžiaga, kaip parodyta 2.5 paveikslėlyje.



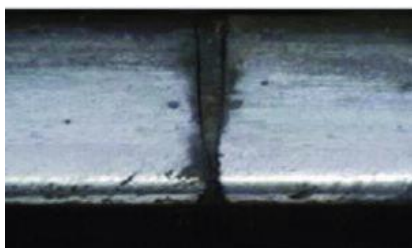
2.5 pav. Sandūrinių varžtų pradinio užveržimo žymėjimas [47]

Kitas svarbus bėgių grandinėse aptinkamas gedimas yra bėgių grandinės užtrumpinimas, šių gedimų pasiskirstymas parodytas 2.6 paveikslėlyje.



2.6 Bėgių grandinės užtrumpinimo pasiskirstymas

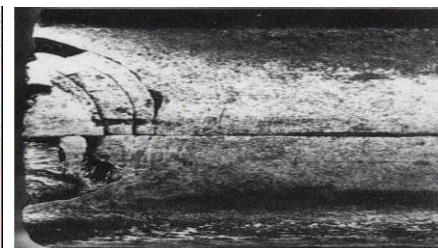
Šiuo atveju bėgių grandinė užtrumpinama dėl bėgių galvučių nudilimo. Tokie defektai bėgio galvutėje atsiranda dėl metalo plastiškumo (metalo tekėjimo 2.7 pav.) sandūros zonoje. Toliau tokie defektai gali progresuoti ir atsiranda bėgio galvutės ištrupėjimai (2.8 pav.) ar pradeda vystytis atsisluoksniavusių plokštelių pavidalo pažeidimai (2.9 pav.) [1].



2.7 Metalo tekėjimas [22]



2.8 Bėgio galvutės ištrupėjimas [22]



2.9 Atsisluoksniavusios plokštelės [22]

Aptikus gedimą parodytą 2.7 paveikslėlyje atliekami nesudėtingi, tačiau eismo pertraukos reikalaujantys remonto darbai. Pirmiausia kampiniu šlifuoekliu iš sandūros zonos iki reikiamo gylio pašalinamas bėgio metalas (2.10 pav.), po to sandūros vieta išvaloma, kol nelieka jokių metalo drožlelių,

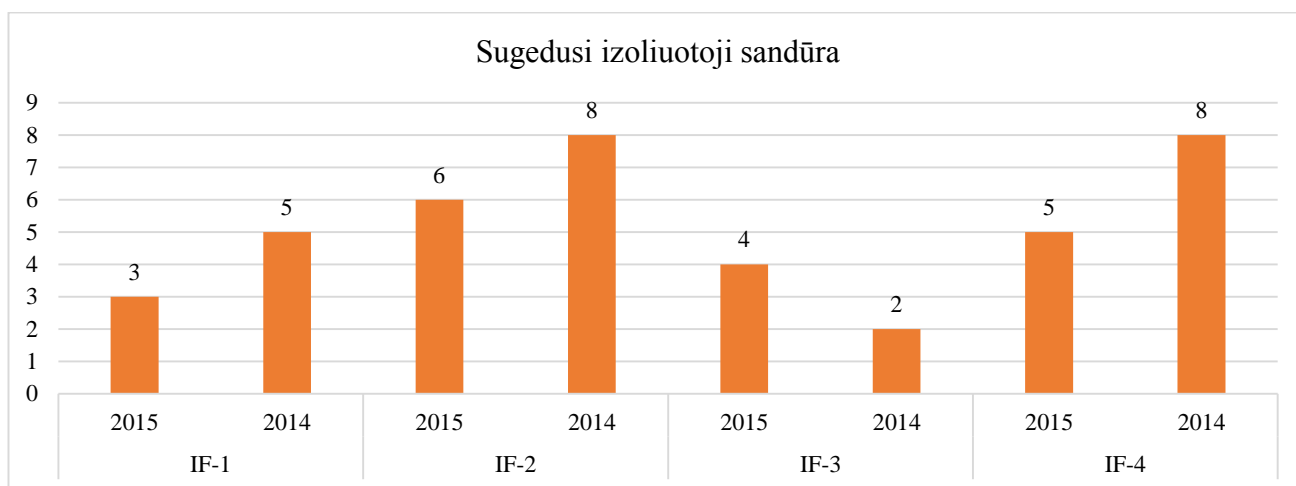
kad nebūtų trumpinama bėgių grandinė. Išvalius sandūros zoną paruoštas tarpelis užpildomas izoliuojančia medžiaga (2.11 pav.) [48].



2.10 pav. Bėgio metalo pertekliaus šalinimas iš sandūros zonos kampiniu šlifuokliu [48]

2.11 pav. Tarpelio užpildymas izoliuojančia medžiaga [49]

Kita bėgių grandinėse aptinkamų gedimų kategorija yra sugedusios izoliuotosios sandūros. Tokie gedimai užfiksuojami, kai nutrūksta ar skyla tvarslės (2.13 pav.). Šių gedimų pasiskirstymas 2014-2015 metais parodytas 2.12 paveikslėlyje. Per 2014-2015 metų laikotarpį iš viso užfiksuotas 41 toks gedimas.



2.12 pav. Izoliuotoje sandūroje aptiktų gedimų pasiskirstymas

Tvarslių atsparumas lenkimui yra žymiai mažesnis nei bėgių, todėl traukiniui važiuojant per sandūrą jose atsiranda dideli lenkimo įtempiai, o pradėdant veikti pagrindo reakcijai į bėgį prasideda tvarslės paviršių kirpimas. Tokia atsirandančių įtempių kaita ir nulemia galimus tvarslių trūkimus ar skilimus. Taip pat reikėtų atkreipti dėmesį į tai, kad tvarslės gali skilti ir dėl didelių temperatūros pokyčių ilgabėgiuose, kurie sukelia dideles jėgas juose, taip apkraudami sandūrinius varžtus, o šie stipriai deformuoja tvarslių skyles.



2.13 pav. Lūžusi tvarslė [50]

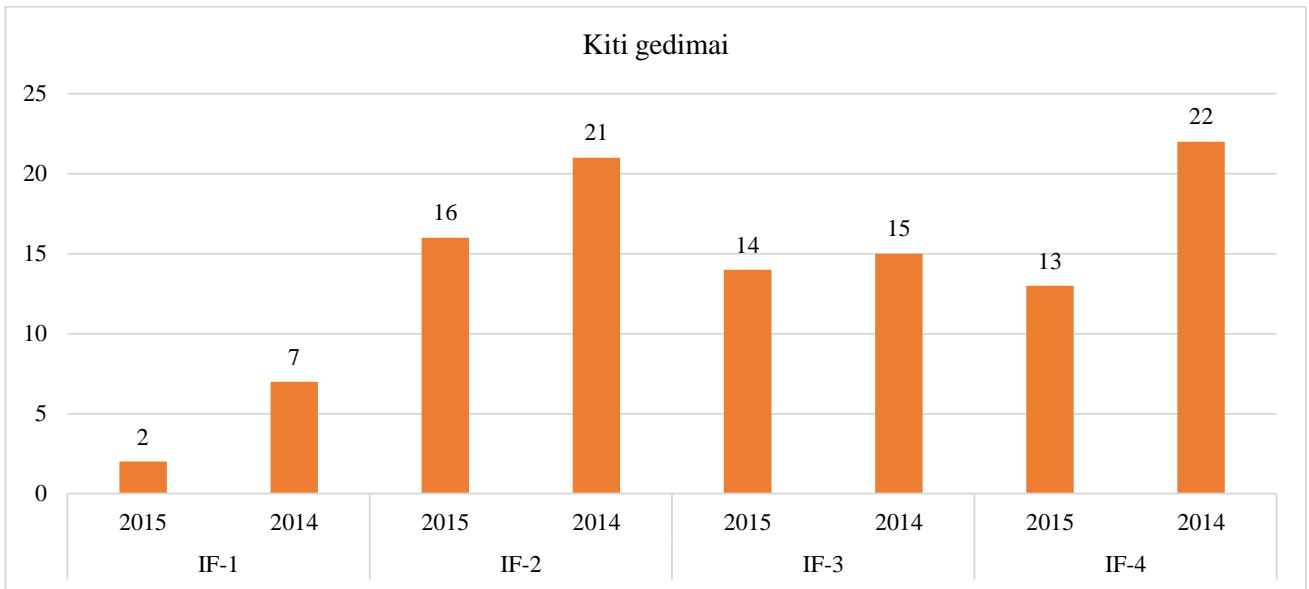
Kadangi tvarslių atsparumas lenkimui yra mažesnis nei bėgių, jų eksploataavimo laiką stipriai įtakoja kelio standumas. Jei atliekant kelio būklės remonto darbus balastas buvo netinkamai pamuštas ties izoliuota sandūra, gali atsirasti jo tankio nevienodumas, dėl šios priežasties kaip jau minėta anksčiau gali pradėti vystytis kirpimo įtempiai tvarslėje.

Tokio tipo gedimai yra ypač pavojingi, nes nutrūkus tvarslėms gali labai padidėti tarpas tarp bėgių galų, dėl to įmanomas ir traukinio nuriedėjimas nuo bėgių. Tačiau tokie gedimai dažniausiai aptinkami dar prieš jiems įvykstant. Pastebėjus galimus tvarslės įtrūkimus, jei naudojama klijuotinė sandūra, ją reikia pakeisti visą iškart. Tokie darbai reikalauja eismo pertraukos, kvalifikuotų darbuotojų brigados, nes remontuojant neišardomas klijuotines sandūras (2.14 pav.), skirtingai nei surenkamąsias, reikia jas išpjauti kartu su bėgiais iš abiejų pusių 6,25 m atstumu nuo tarpelio vidurio, o po to įvirinti atgal naują klijuotinę sandūrą. Jei darbai atliekami ne bėgių neutralios tvirtinimo temperatūros intervale, tenka naudoti hidraulinis spaustuvus norint pašalinti temperatūrinius įtempius ilgabėgiuose [2].



2.14 pav. Neišardoma izoliuotoji klijuotinė sandūra [51]

2014-2015 metais bėgių grandinėse buvo užfiksuoti 110 kiti gedimai. Jų pasiskirstymas parodytas 2.15 paveikslėlyje.



2.15 pav. Kitų gedimų pasiskirstymas bėgių grandinėse 2014-2015 metais

Tokie gedimai fiksuojami, jei aptinkami atsilaisvinę sandūriniai varžtai, deformuotas tarp bėgių galų esantis izoliuojantis tarpiklis (2.16 pav.), mažas skaldos kiekis po pabėgiais ir jei izoliuotosios sandūros zonoje pastebima korozija (2.17 pav.) [17, 25].



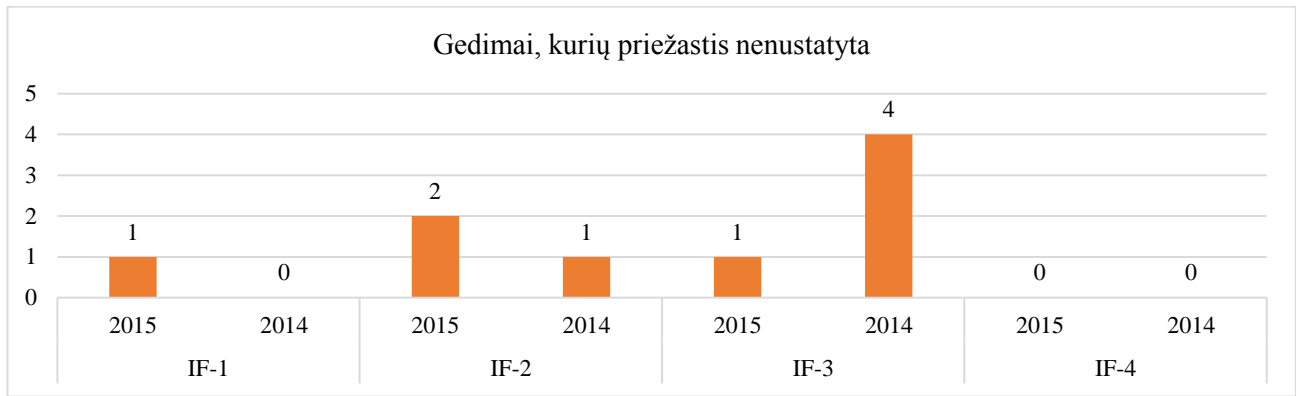
2.16 pav. Deformuotas tarpiklis [17]



2.17 pav. Korozija izoliuotoje sandūroje [17]

Korozijos atsiradimas sandūros zonoje gali priversti prie bėgių grandinės užtrumpinimo. Taip pat aptikta korozija rodo tai, kad tvarslėje gali būti pradėję formuotis mikro įtrūkimai, kurie gali progresuoti toliau ir tvarslė gali nutrūkti [25].

Gedimai, kurių priežastis nenustatyta užfiksuojami rečiausiai. Per 2014-2015 metų laikotarpį užfiksuoti 9 tokie gedimai. Jų pasiskirstymas parodytas 2.18 paveikslėlyje.



2.18 pav. Gedimų, kurių priežastis nenustatyta pasiskirstymas

Šie gedimai nesusiję su gedimais aptinkamais izoliuotųjų sandūrų zonoje. Toks gedimas gali būti užfiksuotas nutrūkus ilgabėgiui tarpstočio ruože šaltuoju metų laikotarpiu. Ilgabėgis gali nutrūkti staigiai pasikeitus aplinkos temperatūrai, jei buvo netinkamai užveržti bėgių sąvaržų bėgvaržčiai ar nepakankamai sutankinta skalda po pabėgiais, dėl ko nebuvo užtikrinamas pakankamas gardės pasipriešinimas poslinkiams [2].

2.2. Skaičiavimų metodika

Kadangi darbe analizuojami izoliuotosios sandūros sąvaržos stiprumo parametrai, būtina žinoti tokius kelio parametrus: kelio konstrukcijos tipą; važiavimo greičius; klimato sąlygas. Izoliuotosios sandūros stiprumo parametrai tiriama esant skirtingoms apkrovoms, dėl riedmenų, temperatūros ir kelio kokybės poveikio. Bėgių kelio konstrukcija apibrėžiama G. M. Šachuniano, M. F. Verigo ir A. J. Kogano teiginiais ir prielaidomis [1, 7, 9]:

- taikomi statiniai metodai;
- išilginės jėgos vertinamos tik nuo temperatūros poveikio;
- bėgių kelio konstrukcijos charakteristikos pasirenkamos apibrėžtos.

2.2.1. Leistinos ilgabėgių temperatūros pakilimo ar nukritimo skaičiavimas, atsižvelgiant į jų stiprumą ir stabilumą

Atliekant izoliuotos sandūros stiprumo skaičiavimus svarbu žinoti kokiomis konkrečiomis sąlygomis yra galimybė tiesti besandūrį kelią. Ši galimybė nustatoma palyginus toms konkrečioms sąlygoms leistinąją temperatūros amplitudę T su faktiškai stebėta konkrečios vietovės temperatūrų svyravimų amplitude T_A .

Jeigu $T_A \leq T$, tai besandūrį kelią galima tiesti ir eksploatuoti neatliekant temperatūrinių įtempių ilgabėgiuose naikinimo.

Dydis T_A nustatomas kaip algebrinis skirtumas tarp aukščiausios $t_{max\ max}$ ir žemiausios $t_{min\ min}$, bėgių temperatūros, stebimos konkrečioje vietovėje (atkreipti dėmesį, kad atviroje vietovėje bėgio temperatūra 20°C aukštesnė už aukščiausią oro temperatūrą) [2]:

$$T_A = t_{max\ max} - t_{min\ min}, \quad (2.1)$$

Skaičiuojamosios aukščiausios ir žemiausios bėgių temperatūros įvairiose vietovėse nurodytos 2.2 lentelėje:

2.2 lentelė

Skaičiuojamosios bėgių temperatūros [2]

Geležinkelio stotis	Bėgių temperatūra, °C		Skaičiuojamosios temperatūros amplitudė T_A , °C
	vasaros $t_{max\ max}$	žiemos $t_{min\ min}$	
Druskininkai	56	-39	95
Kaunas	55	-36	91
Klaipėda	54	-35	89
Panevėžys	54	-37	91
Šiauliai	54	-36	90
Vilnius	55	-37	92

Leistina bėgių temperatūros pakitimo amplitudė skaičiuojama pagal formulę [2]:

$$T = \Delta t_p + \Delta t_n - \Delta t_t; \quad (2.2)$$

čia:

Δt_p – leistinas bėgių temperatūros pakilimas lyginant su pritvirtinimo temperatūra, nustatytas, kad veikiant išilginėms suspaudimo jėgoms būtų išsaugotas kelio stabilumas (nebūtų kelio išmetimo);

Δt_n – leistinas ilgabėgių temperatūros nukritimas lyginant su pritvirtinimo temperatūra, nustatytas, kad nebūtų pažeistas bėgių stiprumas veikiant išilginėms tempimo jėgoms;

Δt_t – minimalus temperatūrų intervalas, kuriame galutinai tvirtinami ilgabėgiai; pagal darbų atlikimo sąlygas skaičiavimuose priimamas lygiu 10 °C, tačiau, jei būtina, jį galima sumažinti iki 5 °C, jei numatoma ilgabėgius tvirtinti rudenį, kai bėgių temperatūra jų pritvirtinimo metu kinta lėtai [2].

Leistinas ilgabėgio temperatūros pakilimas Δt_p nustatomas atlikus teorinius ir eksperimentinius kelio stabilumo tyrimus. Duomenys pateikti 2.3 lentelėje:

Leistinas ilgabėgio (R65) temperatūros pakilimas atsižvelgiant į kelio stabilumo sąlygas [2]

Bėgio tipas	Pabėgių epiūra	Ilgabėgio temperatūros pakilimas Δt_p , °C, atsižvelgiant į kelio stabilumo sąlygas								
		Tiesiame ruože	kreivėse, kurių spindulys, m							
			2000	1200	1000	800	600	500	400	350
Uolienos skalda										
R65	2000	58	53	51	49	47	43	41	38	35
	1840	54	50	47	46	44	41	39	36	33
	1600	47	43	41	40	38	36	33	-	-

Pagal ilgabėgių stiprumą leistinas temperatūros Δt_n nukritimas lyginant su pritvirtinimo temperatūra, termiškai apdirbtų nenaudotų (naujų, nekeistų) bėgių, kurie pakloti ant gelžbetoninių pabėgių, kai viršutinė kelio konstrukcija su skaldos balastu, atsižvelgiant į naudojamus lokomotyvus ir jų važiavimo greičius, parodyta 2.4 lentelėje:

Leistinas temperatūros nukritimas atsižvelgiant į bėgių stiprumą [2]

Bėgio tipas	Greitis, km/h	Leistinas temperatūros Δt_n (°C) nukritimas atsižvelgiant į bėgių stiprumą								
		tiesiame kelio ruože	kreivėje, kurios spindulys							
			2000	1200	1000	800	600	500	400	350
Šilumvežis 2TE10M										
R65	60	111	110	108	107	105	101	99	97	95
	80	104	103	101	100	97	93	91	88	87
	100	97	96	94	93	89	85	82	-	-
	120	89	89	86	85	81	-	-	-	-
	K140	81	81	78	77	-	-	-	-	-
*K – gamyklos nustatytas konstrukcinis greitis kilometrais per valandą, atsižvelgiant į lokomotyvo konstrukcijos tvirtumą										

2.2.2. Ilgabėgių pritvirtinimo temperatūros intervalų skaičiavimas

Ilgabėgių pritvirtinimo temperatūros intervalas Δt_t skaičiuojamas pagal formulę [2]:

$$\Delta t_t = \Delta t_p + \Delta t_n - T_A; \quad (2.3)$$

Pritvirtinimo temperatūros intervalo ribos, tai yra pati mažiausia $\min t_t$ ir pati didžiausia $\max t_t$ pritvirtinimo temperatūros, nustatomos pagal formules [2]:

$$\min t_t = t_{\max \max} - \Delta t_p; \quad (2.4)$$

$$\max t_t = t_{\min \min} + \Delta t_n; \quad (2.5)$$

Įvairaus ilgio ilgabėgių pritvirtinimas esant bet kokiai temperatūrai apskaičiuoto intervalo ribose, turėtų užtikrinti jų eksploatavimo patikimumą [2].

2.2.3. Ilgabėgių veikiančios temperatūrinės jėgos skaičiavimas

Ilgabėgių veikianti temperatūrinė jėga N_t niutonais apskaičiuojama pagal formulę [2]:

$$N_t = \alpha EF \Delta t; \quad (2.6)$$

čia:

α – bėgio metalo ilgėjimo koeficientas, lygus 0,0000118;

E – bėgio metalo tamprumo modulis, lygus $2,1 \cdot 10^5$ MPa ($2,1 \cdot 10^7$ N/cm²);

F – bėgio skerspjūvio plotas kvadratiniais centimetrais (R65 bėgiui 82,56 cm²)

Optimalios ilgabėgių pritvirtinimo temperatūros intervalas Lietuvoje yra 25 ± 5 °C ir apskaičiuotų intervalų ribų skirtumai $\Delta t_{v\acute{e}stant}$ ir $\Delta t_{\acute{s}ylant}$ nustatomi pagal formulę [2]:

$$\Delta t_{v\acute{e}stant} = 25 - \min t_t; \quad (2.7)$$

$$\Delta t_{\acute{s}ylant} = \max t_t - 25. \quad (2.8)$$

2.2.4. Vertikaliosios jėgos veikiančios ilgabėgių nustatymas

Statinis riedmenų ratų poveikis bėgiui yra nuolatinis, o visi kiti poveikiai yra atsitiktiniai arba statistiniai dydžiai. Skaičiavimas atliekamas didžiausiajai dinaminės apkrovos atsiradimo tikimybei.

Vertikalioji skaičiuojamoji rato apkrova [7]:

$$F_{sk.} = F_{vid.} + \lambda_p \sqrt{\sum \sigma_i^2}, \quad (2.9)$$

čia

$F_{vid.}$ – vidutinė vertikalioji rato apkrova bėgiui, N;

σ_i - vidutinis kvadratinis nuokrypis nuo dinaminių jėgų vidurkio;

λ_p – daugiklis, kuris skaičiavimams imamas lygus 2,5, nes tada skaičiuojama esant 0,994 patikimumui.

Vidutinė vertikaloji bėgio apkrova nuo rato, N, skaičiuojama formule [7]:

$$F_{vid.} = F_{st.} + \bar{F}_{din.}, \quad (2.10)$$

čia

$F_{vid.}$ – vidutinė dinaminė rato apkrova bėgiui skaičiuojamajame pjūvyje;

$F_{st.}$ – statinė bėgio apkrova nuo rato, N.

Vidutinė rato apkrova bėgiui skaičiuojama formule [7]:

$$\bar{F}_{din.} = 0,75 \cdot F_{din.}, \quad (2.11)$$

$$F_{din.} = U_{spyr} \cdot y_{max}, \quad (2.12)$$

čia

y_{max} – didžiausias spyruoklės įlinkis, m;

U_{spyr} – spyruoklių standumas vienam ratui, N/m.

Vidutinis kvadratinis vertikalsios dinaminės jėgos nuokrypis skaičiuojamas pagal formulę [7]:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + 0,95 \cdot \sigma_3^2 + 0,05 \cdot \sigma_4^2}, \quad (2.13)$$

čia

σ_1 – vidutinis kvadratinis dinaminės apkrovos nuo ratų bėgiams nuokrypis dėl vežimėlio vertikaliųjų svyravimų, N;

σ_2 – vidutinis kvadratinis dinaminės apkrovos nuokrypis dėl inercijos jėgų atsirandančių dėl to, kad ratas įveikia vietinius kelio nelygumus, N;

σ_3 – vidutinis kvadratinis dinaminės apkrovos nuokrypis dėl to, kad ratas turi riedėjimo plokštumos nelygumu, N;

σ_4 – vidutinis kvadratinis dinaminės apkrovos nuokrypis nuo inercijos jėgų, atsirandančių dėl ratų geometrinių parametrų neatitikimo;

0,05 – skaičiuojamojo tipo traukinio kiekis ratų, kurie turi nelygumų lyginant su bendroju ratų kiekiu; 0,95 – kiekis ratų, kurie turi nelygumų.

2.5 lentelė

Kelio skaičiuojamosios charakteristikos [7]

Pabėgių epiūra, pab/km	E_{pagr} , MPa	k , m ⁻¹	$I_h \cdot 10^{-8}$, m ⁴	$I_v \cdot 10^{-8}$, m ⁴	$W_0 \cdot 10^{-6}$, m ³	α_0	$\omega \cdot 10^{-4}$, m ²	$\Omega \cdot 10^{-4}$, m ²	$b \cdot 10^{-2}$, m ²	$\alpha \cdot l$
1840	100	1,338	550	3208	435	0,403	518	2975	27	0,7

Riedmenų skaičiuojamosios charakteristikos [7]

Sąstato tipas	F_{st} , kN	q_k , kN	U_{spyr} , MN/m	y_{st} , m	D , m	l_l , m	v_k , m/s	f
2TE10M	115,0	22,30	1,09	0,102	1,05	2,10+2,10	33,3	1,17

Vidutinis kvadratinis dinaminės jėgos F_{din} nuokrypis dėl vertikalųjų vežimėlio svyravimų σ_1 skaičiuojamas pagal formulę [7]:

$$\sigma_1 = 0,08 \cdot F_{din}. \quad (2.14)$$

Vidutinis kvadratinis dinaminės apkrovos nuokrypis σ_2 dėl inercijos jėgų, atsirandančių dėl to, kad ratas įveikia vietinius kelio nelygumus, skaičiuojamas pagal formulę [7]:

$$\sigma_2 = 2,034 \cdot 10^{-5} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot l_{pab} \cdot \sqrt{\frac{E_{pagr} \cdot q_k}{k}} \cdot F_{vid} \cdot v, \quad (2.15)$$

čia

f_1 - koeficientas, įvertinantis kelio svyravimus (kai kelias su gelžbetoniniais pabėgiais $f_1 = 0,931$); f_2 - koeficientas, įvertinantis kelio standumą (esant gelžbetoniniams pabėgiams – 0,322); f_3 - koeficientas, priklausantis nuo bėgių tipo (R65 tipo bėgiams jis lygus 0,87); f_4 - koeficientas, įvertinantis balasto rūšį (skaldos balastas – 1,0); l_{pab} - atstumas tarp pabėgio ašių (kai pabėgių epiūra 1840 pab/km, l_{pab} atitinkamai lygus 0,55 m); E_{pagr} , q_k , k (iš 2.5 ir 2.6 lentelių); v - traukinio važiavimo greitis, m/s.

Vidutinis kvadratinis dinaminės apkrovos nuokrypis σ_3 , dėl inercijos jėgų, atsirandančių dėl to, kad ratas turi riedėjimo plokštumos nelygumų, skaičiuojamas pagal formulę [7]:

$$\sigma_3 = 0,5 \cdot 10^6 \cdot y_0 \cdot \frac{E_{pagr}}{k} \cdot \alpha_0 \cdot c_0, \quad (2.16)$$

čia

y_0 - didžiausias papildomas bėgio išlinkis, išreikštas nelygumo vienetui (bedimensis dydis). Šis išlinkis lygus $y_0 = 1,47$;

α_0 imamas iš 2.4 lentelės;

c_0 - skaičiuojamasis nelygumų gylis imamas 2/3 rato iščiuožos.

Vidutinis kvadratinis dinaminės jėgos nuokrypis σ_4 nuo inercijos jėgų, atsirandančių dėl ratų geometrinių parametrų neatitikimo, skaičiuojamas pagal formulę [7]:

$$\sigma_4 = \frac{6,739 \cdot 10^{-3} \cdot E_{pagr} \cdot v^2 \cdot \alpha_0 \cdot \sqrt{q_k}}{d^2 \cdot \sqrt{k \cdot E_{pagr} - 326 \cdot k^2 \cdot q_k \cdot 10^{-6}}}, \quad (2.17)$$

čia

d – rato spindulys, m (2.6 lentelė).

3. PROJEKTINĖ DALIS

3.1. Modelyje naudojamas medžiagas

Izoliuotos sandūros CAD modelyje naudojamos medžiagos: konstrukcinis plienas S355JR, bėgių plienas R260Mn, plienas 45 ir poliuretanas. Medžiagos naudojamos izoliuotoje sandūroje parodytos 3.1 lentelėje:

3.1 lentelė

Naudojamos medžiagos [4, 6, 10]

Detalės pavadinimas	Medžiagos pavadinimas
Bėgis	plienas R260Mn
Tvarslė	plienas S355JR
Varžtas	plienas 45
Padėklas	plienas S275JR
Tarpiklis	nailonas 6/6

Plienas yra geležies ir anglies lydinys, kuriam skirtingos priemaišos suteikia skirtingas charakteristikas. Papildomų cheminių elementų kiekis plienuose 45, S355JR, S275JR ir R260Mn, kurie naudojami izoliuotose sandūrose:

Bėgių plienas R260Mn - turi nuo 0,53 iki 0,62 % C; 0,65-1,1 % Mn; 0,8-1,3 % Cr; 0,05-0,11 % Mo; 0,05-0,11 % V ir $\leq 0,02$ % P [31].

Plienas S355JR – turi 0,24 % C; 1,60 % Mn; 0,55 % Si; 0,040 % S; 0,012 % N; 0,55 % Cu [37].

Plienas S275JR – turi 0,21 % C; 1,50 % Mn; 0,040 % S; 0,012 % N; 0,55 % Cu [37].

Plienas 45 – turi apie 0,45 % C; 0,70-1,20 % Mn; 0,05-0,35 % Si; 0,05 % S ir 0,04 % P [6].

Plienas S355JR: Karšto valcavimo nelegiruotas konstrukcinis plienas pagal DIN EN 10025 - 2:2004. Markės pabaigoje rašomos raidės: J – rodo smūginį tįsumą, R raidė arba skaičiai rodo, kuriai temperatūrai esant buvo atliktas smūginio tįsumo bandymas. Iš jų detalės gaminamos karštuoju būdu (kalamos, štampuojamos) ir termiškai apdirbamos (nes, žinant cheminę sudėtį, galima tiksliai parinkti karštojo apdirbimo režimus ir gauti pageidaujamas mechanines savybes). Iš šių plienų gaminami valcuoti gaminiai: skarda, viela, kniedės, varžtai veržlės, velenai, žvaigždutės ir t.t. [6, 33, 37].

Plienas S275JR: nuo plieno S355JR skiriasi savo mechaninėmis savybėmis ir tuo, kad cheminėje sudėtyje nėra silicio [6, 32, 37].

Plienas 45: Šis plienas priskiriamas prie anglinių geros kokybės konstrukcinių plienu (GOST 1050 – 74). Mašinų ir prietaisų gamyboje gaminamos termiškai neapdirbamos detalės. Jų cheminė sudėtis griežtai reglamentuota, o žalingųjų priemaišų kiekis yra minimalus. Šie plienai tiekiami karštai valcuoti, kalti, kalibruoti įvairios formos strypų pavidalo. Skaičius 45 rodo, kad pliene yra 0,45 % anglies [6].

Iš plieno 45 gaminamos termiškai neapdirbamos arba normalizuojamos detalės (vamzdžių sujungimai, antvamzdžiai, šakutės, varžtai), cementuojamos, cianuojamos detalės, kurių paviršius turi būti kietas, o šerdis taši [6].

Bėgių plienas R260Mn: Pagal DIN EN 13674-1 šis plienas yra išskirtinai perlitinės struktūros. Raidės Mn reiškia padidintą mangano kiekį pliene. Manganas labai reikalingas elementas, didinantis atsparumą nusidėvėjimui, taip pat mažina bėgių trapumą. Silicis padidina bėgių kietumą ir atsparumą nusidėvėjimui. Anglis padidina kietumą, o kartu ir atsparumą nusidėvėjimui, tačiau anglies kiekiui padidėjus iki 0,89 %, atsparumas nusidėvėjimui nebedidėja, atsiranda neleistinas bėgių trapumas [31].

Kiekvienas plienas turi skirtingas mechanines charakteristikas, kurios apsprendžia kokias apkrovas gali atlaikyti skirtingų tipų plienai. Akivaizdu, kad parinkus blogas medžiagas, sumažėja patikimumas, stiprumas, padidėja remonto išlaidos net atrodytų tobulų geometrinių parametru detalėms. Plienu naudojamų modelyje mechaninės charakteristikos parodytos 3.2 lentelėje, kur: σ_y – takumo riba; σ_u – stiprumo riba; E – tamprumo modulis; ρ – medžiagos tankis.

3.2 lentelė

Plienu mechaninės charakteristikos [4, 6, 10]

Plieno markė	σ_y , MPa	σ_u , MPa	E , 10^{11} Pa	ρ , kg/m^3
45	580	750	2,1	7800
S355JR	345	620		
S275JR	235	400		
R260Mn	390	470		

Plastikų pagrindinė sudedamoji dalis yra sintetinė derva, gaunama kaip nesudėtingų cheminių junginių – monomerų sintezės produktas. Plastikų savybės labai skiriasi, kadangi jie gaunami įvairiais sintezės būdais: polimerizacijos būdu; vykstant polikondensacijos reakcijai; chemiškai modifikuojant monomerus. Plastikai yra lengvi, mechaniškai stiprūs ir netrapūs, atsparūs korozijai, pasižymi geromis dielektrinėmis savybėmis, mažu šiluminiu laidumu ir virpesių slopinimu, todėl plačiai taikomi kaip izoliuojančios medžiagos geležinkelių transporte ir t. t. [10, 35].

Poliuretanas yra termoplastikas, kurio kaip ir visų termoplastikų savybė yra minkštėti aukštesnėje temperatūroje ir sukietėti esant aukštesnei temperatūrai. Nailono 6/6 sudėtyje yra 30 % stiklo pluošto dėl kurio padidėja atsparumas tempimui ir lenkimui, sumažėja šiluminis laidumas. Skaičiai prie pavadinimo nurodo anglies atomų skaičių diamine ir dvibazės rūgšties monomere juos gaminant. Anglies atomų skaičius ir suteikia kiekvienam nailonui skirtingas charakteristikas. Nailono 6/6 mechaninės charakteristikos pateiktos 3.3 lentelėje [10, 34, 36].

3.3 lentelė

Nailono 6/6 mechaninės charakteristikos [34, 36]

Pavadinimas	σ_{yt} , MPa	σ_{ut} , MPa	E , 10^{11} Pa	ρ , kg/m^3
Nailonas 6/6	100	125	0,28	1140

3.2. Izoliuotąją sandūrą veikiančių apkrovų skaičiavimas

3.2.1. Ilgabėgi veikiančios temperatūrinės jėgos skaičiavimas

Skaičiuojant priimta, kad naudojami R65 tipo ilgabėgiai ant gelžbetoninių pabėgių ir skaldos balasto, kelio ruože nėra kreivių, naudojamas šilumvežis 2TE10M, maksimalus greitis 140 km/h. Skaičiuojamoji bėgių temperatūra priimta iš 2.2 lentelės Kauno geležinkelio stotyje [2].

$$t_{max\ max} = 55\text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$t_{min\ min} = -36\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_A = t_{max\ max} - t_{min\ min} = 55 - (-36) = 91\text{ }^{\circ}\text{C},$$

Pagal formulę 2.2 nustatyta leistina bėgių temperatūrų pokyčių amplitudė:

$$T = \Delta t_p + \Delta t_n - \Delta t_t;$$

čia:

$$\Delta t_p = 54\text{ }^{\circ}\text{C (žr. 2.3 lentelę);}$$

$$\Delta t_n = 81\text{ }^{\circ}\text{C (žr. 2.4 lentelę)}$$

$$\Delta t_t = 10\text{ }^{\circ}\text{C (žr. 2.2.1. p.).}$$

Apskaičiavus gaunama, kad dydis T yra lygus:

$$T = 54 + 81 - 10 = 125\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Kadangi $T_A < T$, duomenys parinkti teisingai ir tokį besandūrį kelią tiesi galima. Pritvirtinimo temperatūros intervalo ribos, pati mažiausia $\min t_t$ ir pati didžiausia $\max t_t$ nustatomos pagal 2.4 ir 2.5 formules:

$$\min t_t = t_{\max \max} - \Delta t_p = 55 - 54 = 1 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\max t_t = t_{\min \min} + \Delta t_n = 81 - 36 = 45 \text{ }^\circ\text{C};$$

Įvairaus ilgio ilgabėgių pritvirtinimas esant bet kokiai temperatūrai apskaičiuoto intervalo ribose, turėtų užtikrinti jų eksploataavimo patikimumą.

Ilgabėgį veikianti temperatūrinė jėga N_t Niutonais apskaičiuojama pagal 2.6 formulę:

$$N_{t_{\text{vėstant}}} = \alpha EF \Delta t_{\text{vėstant}} = 0,0000118 \cdot 2,1 \cdot 10^7 \cdot 82,56 \cdot 61 = 1,25 \text{ MN};$$

$$N_{t_{\text{šylant}}} = \alpha EF \Delta t_{\text{šylant}} = 0,0000118 \cdot 2,1 \cdot 10^7 \cdot 82,56 \cdot 30 = 614 \text{ kN}.$$

Optimalios ilgabėgių pritvirtinimo temperatūros (priimame $25 \text{ }^\circ\text{C}$) ir aukščiausios $t_{\max \max}$ bei žemiausios $t_{\min \min}$ bėgių temperatūrų skirtumai $\Delta t_{\text{vėstant}}$ ir $\Delta t_{\text{šylant}}$ nustatomi pagal 2.7 ir 2.8 formules:

$$\Delta t_{\text{vėstant}} = 25 - t_{\min \min} = 25 - (-36) = 61 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{\text{šylant}} = t_{\max \max} - 25 = 55 - 25 = 30 \text{ }^\circ\text{C}.$$

3.2.2. Vertikaliosios rato apkrovos skaičiavimas

Skaičiuojant vidutinę vertikaliąją bėgio apkrovą nuo rato priimta, kad naudojamas šilumvežis 2TE10M. Didžiausi spyruoklės įlinkiai randami pagal 3.4 lentelės duomenis, esant keturiems skirtingiems šilumvežio važiavimo greičiams [7].

3.4 lentelė

Riedmenų skaičiuojamosios charakteristikos

Sąstato tipas	U_{spyr} , MN/m	$y_{\max, \min}$, (v, m/s)	v_1 , m/s	v_2 , m/s	v_3 , m/s	v_4 , m/s
2TE10M	1,09	$7,9 + 8,0 \cdot 10^{-4} \cdot v^2$	8,3	16,7	25	33,3

Didžiausi spyruoklės įlinkiai apskaičiuojami esant 8,3 m/s greičiui, likę rezultatai pateikti 3.5 lentelėje:

$$y_{\max 1} = (7,9 + 8,0 \cdot 10^{-4} \cdot 8,3^2) 10^{-3} = 7,96 \cdot 10^{-3} \text{ m}.$$

Vidutinė dinaminė rato bėgiui apkrova skaičiuojama esant 8,3 m/s greičiui 2.11 ir 2.12 formulėmis, likę rezultatai pateikti 3.5 lentelėje:

$$F_{\text{din1}} = 1,09 \cdot 10^6 \cdot 7,96 \cdot 10^{-3} = 8671 \text{ N};$$

$$\bar{F}_{din1} = 0,75 \cdot 8671 = 6503 \text{ N.}$$

Vidutinė vertikalioji bėgio apkrova nuo rato skaičiuojama esant 8,3 m/s greičiui pagal 2.10 formulę, likę rezultatai pateikti 3.5 lentelėje:

$$F_{vid.1} = 115000 + 6503 = 121503 \text{ N.}$$

3.5 lentelė

Vidutinės vertikaliosios bėgio apkrovos skaičiavimo rezultatai

Greitis v , m/s	y_{max} , m	F_{din} , N	\bar{F}_{din} , N	$F_{vid.}$, N
8,3	0,0080	8671	6503	121503
16,7	0,0081	8853	6640	121640
25,0	0,0084	9156	6867	121867
33,3	0,0088	9578	7183	122183

Skaičiuojant vidutinį kvadratinį vertikaliosios dinaminės jėgos nuokrypį priimta, kad naudojamas šilumvežis 2TE10M, tiesus kelias, gelžbetoniniai pabėgiai, pabėgių epiūra 1840 pab/km. Visi skaičiavimams reikalingi duomenys paimti iš 2.5 ir 2.6 lentelių.

Vidutinis kvadratinis dinaminės jėgos F_{din} nuokrypis dėl vertikaliųjų vežimėlio svyravimų σ_1 skaičiuojamas pagal 2.14 formulę esant 8,3 m/s greičiui, likę rezultatai pateikti 3.6 lentelėje:

$$\sigma_1 = 0,08 \cdot 8671 = 694 \text{ N.}$$

Vidutinis kvadratinis dinaminės apkrovos nuokrypis σ_2 dėl inercijos jėgų, atsirandančių dėl to, kad ratas įveikia vietinius kelio nelygumus, skaičiuojamas pagal 2.15 formulę esant 8,3 m/s greičiui, likę rezultatai pateikti 3.6 lentelėje:

$$\sigma_2 = 2,034 \cdot 10^{-5} \cdot 0,931 \cdot 0,322 \cdot 0,87 \cdot 1,0 \cdot 0,55 \cdot \sqrt{\frac{100 \cdot 22,3 \cdot 10^3}{1,338}} \cdot 121503 \cdot 8,3 = 3799 \text{ N.}$$

Vidutinis kvadratinis dinaminės apkrovos nuokrypis σ_3 , dėl inercijos jėgų, atsirandančių dėl to, kad ratas turi riedėjimo plokštumos nelygumų, skaičiuojamas pagal 2.16 formulę, rezultatai pateikti 3.6 lentelėje:

$$\sigma_3 = 0,5 \cdot 10^6 \cdot 147 \cdot \frac{100}{1,338} \cdot 0,403 \cdot 0,467 = 10338 \text{ N.}$$

Vidutinis kvadratinis dinaminės jėgos nuokrypis σ_4 nuo inercijos jėgų, atsirandančių dėl ratų geometrinių parametrų neatitikimo, skaičiuojamas pagal 2.17 formulę esant 8,3 m/s greičiui, likę rezultatai pateikti 3.6 lentelėje:

$$\sigma_4 = \frac{6,739 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 8,3^2 \cdot 0,403 \cdot \sqrt{22,3 \cdot 10^3}}{1,05^2 \cdot \sqrt{1,338 \cdot 100 - 326 \cdot 1,338^2 \cdot 22,3 \cdot 10^3 \cdot 10^{-6}}} = 231 \text{ N.}$$

3.6 lentelė

Apskaičiuoti vidutiniai kvadratiniai dinaminės apkrovos nuokrypiai

Greitis v , m/s	σ_1 , N	σ_2 , N	σ_3 , N	σ_4 , N
8,3	694	3799	10338	231
16,7	708	7638	10338	930
25,0	732	11476	10338	2092
33,3	766	15326	10338	3712

Vidutinis kvadratinis vertikaliosios dinaminės jėgos nuokrypis skaičiuojamas pagal 2.13 formulę esant 8,3 m/s greičiui, likę rezultatai pateikti 3.7 lentelėje:

$$\sigma = \sqrt{694^2 + 3799^2 + 0,95 \cdot 10338^2 + 0,05 \cdot 231^2} = 10791 \text{ N.}$$

Vertikaloji skaičiuojamoji rato apkrova skaičiuojama pagal 2.9 formulę esant 8,3 m/s greičiui, likę rezultatai pateikti 3.7 lentelėje:

$$F_{sk.} = 121503 + 2,5 \cdot 10791 = 148482 \text{ N.}$$

3.7 lentelė

Vidutinių vertikaliųjų jėgų nuokrypių ir skaičiuojamųjų vertikaliųjų rato apkrovų skaičiavimo rezultatai

Greitis v , m/s	σ , N	$F_{sk.}$, N
8,3	10791	148482
16,7	12666	153304
25,0	15297	160109
33,3	18376	168124

3.3. Izoliuotosios sandūros CAD modelis

3.3.1. Modeliavimui naudotos taikomosios kompiuterinės programos

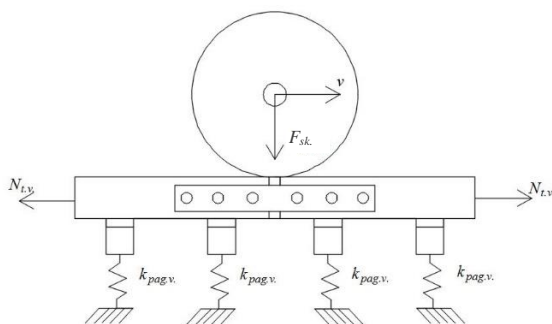
Baigtinių elementų metodas (BEM) plačiai paplitusi analizės priemonė leidžianti tiksliai ir greitai įvertinti konstrukcijų stiprumo savybes. BEM galima atlikti įtempimų būvio, deformacijų, šilumos mainų analizes bei daugelį kitų uždavinių. Šis metodas pagrįstas lygčių sistemų sudarymu ir jų sprendimu naudojant kompiuterines programas. Sprendimų tikslumas ir sprendimo trukmė priklauso nuo modelio sudėtingumo [11].

Siekiant patikrinti ir įvertinti izoliuotosios bėgių sandūros elementų stiprumą, remtasi dviem kompiuterinėmis taikomosiomis programomis. ANSYS Workbench programos aplinkoje atlikti visi inžineriniai skaičiavimai. Tuo tarpu SolidWorks 2015 programos aplinkoje sumodeliuoti struktūrinių dalių eskizai.

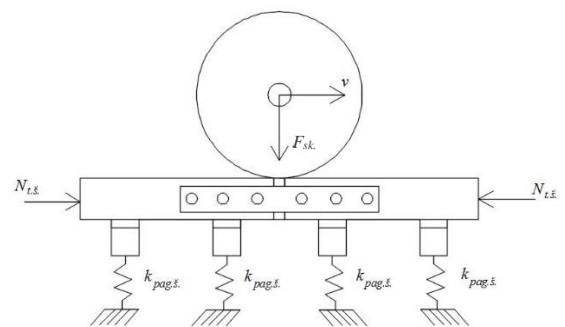
3.3.2. Skaičiuojamosios schemas

Izoliuotosios sandūros stiprumo parametrai skaičiuojami parinkus penkias skirtingas sąlygas pagal 2.1 skyrelyje išanalizuotus bėgių grandinių gedimus:

- ratas juda per izoliuotąją sandūrą, kai ilgabėgius veikia temperatūrinė jėga šaltuoju metų laikotarpiu, po pabėgiais esantis balastas sušalęs (3.1 pav.);
- ratas juda per izoliuotąją sandūrą, kai ilgabėgius veikia temperatūrinė jėga šiltuoju metų laikotarpiu, po pabėgiais esančio balasto standumas sumažėjęs (3.2 pav.);
- ratas juda per izoliuotąją sandūrą esant normaliam balasto standumui (3.3 pav.);
- ratas juda per izoliuotąją sandūrą, kai po pirmuoju bėgiu balastas sutankintas labiau nei po antruoju (3.4 pav.);
- ratas juda per izoliuotąją sandūrą, kai po antruoju bėgiu balastas sutankintas labiau nei po pirmuoju (3.5 pav.).



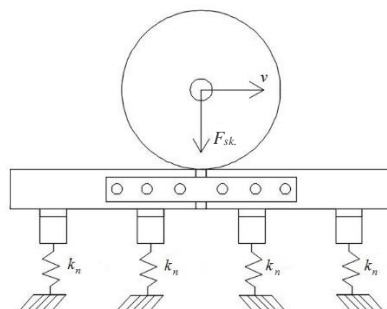
3.1 pav. Modelio skaičiuojamoji schema šaltuoju metų laikotarpiu



3.2 pav. Modelio skaičiuojamoji schema šiltuoju metų laikotarpiu

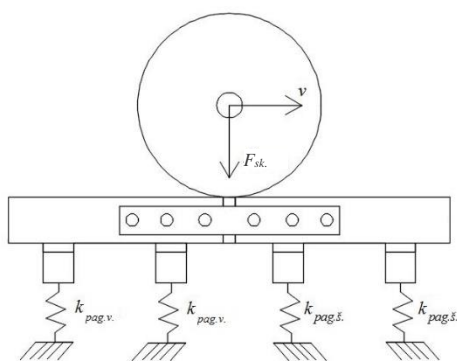
3.1 ir 3.2 paveikslėliuose parodytos skaičiuojamosios schemas sudarytos taip, kad būtų imituojamas sušalęs (didesnio standumo nei normaliomis sąlygomis) balastas, o ilgabėgius veiktų 3.2.1. skyrelyje apskaičiuota temperatūrinė tempimo jėga, atsirandanti dėl temperatūrų skirtumo tarp ilgabėgių

pritvirtinimo ir aplinkos temperatūrų. Šiltuoju laikotarpiu imituojamas mažesnis standumas balastas, o ilgabėgius veikia temperatūrinės gniuždymo jėgos.

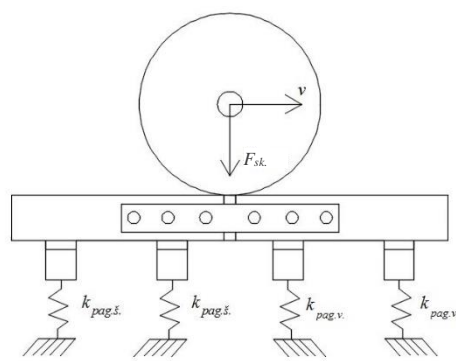


3.3 pav. Modelio skaičiuojamoji schema normaliomis sąlygomis

3.3 paveikslėlyje pavaizduotoje skaičiuojamojoje schemoje imituojamas rato judėjimas ant geros kokybės kelio, kai ilgabėgių neveikia temperatūrinės jėgos, o balastas gerai sutankintas.



3.4 pav. Modelio skaičiuojamoji schema, kai po pirmuoju bėgiu balastas sutankintas labiau nei po antruoju



3.5 pav. Modelio skaičiuojamoji schema, kai po antruoju bėgiu balastas sutankintas labiau nei po pirmuoju

3.4 ir 3.5 paveikslėliuose esančiose skaičiuojamosiose schemose tiriami atvejai, kai atliekant kelio remonto darbus izoliuotosios sandūros zonoje nevienodai sutankinamas balastas.

Rato apkrovos į ilgabėgius imamos iš 3.7 lentelės rezultatų. Balasto standumo reikšmės šaltuoju laikotarpiu $k_{pag.v.}$, šiltuoju laikotarpiu $k_{pag.š.}$ ir normaliomis sąlygomis $k_{pag.n}$ yra:

- $k_{pag.v.} = 800 \text{ MN/m [30]}$;
- $k_{pag.š.} = 150 \text{ MN/m [30]}$;
- $k_{pag.n} = 350 \text{ MN/m [30]}$.

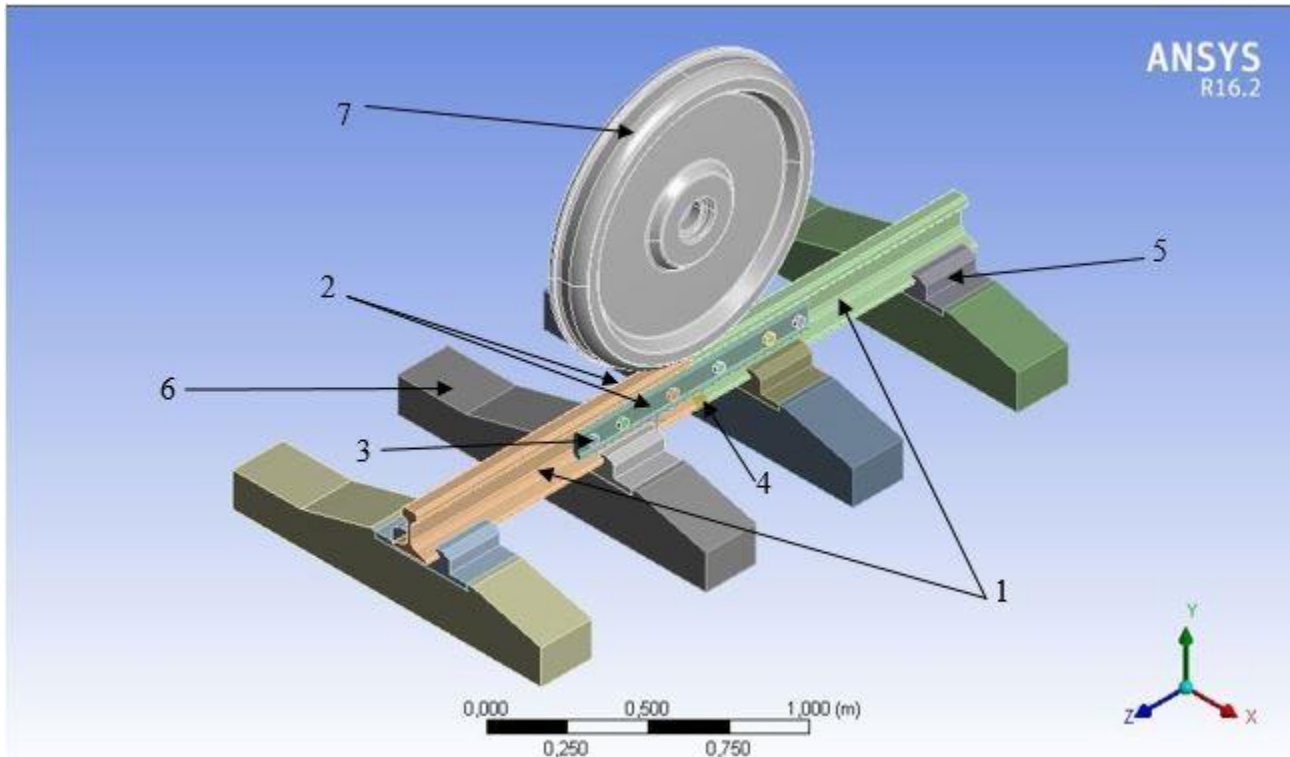
3.3.3. CAD modelio sudarymas

Riedmenų ratų ir bėgių kelio sąveika izoliuotosios sandūros zonoje sukelia sudėtingus procesus, kurių tiksliai apskaičiuoti kol kas neįmanoma, todėl tenka naudoti apytikslio skaičiavimo metodus. Skaitinis modelis kuriamas remiantis keliomis prielaidomis ir teiginiais. Rato ir bėgio kontaktas apibrėžiamas taikant H. R. Herco kontakto teoriją [15, 16, 19, 20, 21, 29], laikantis tokių prielaidų:

- kontaktiniame rato – bėgio plote trinties koeficientas lygus nuliui;

- ratų ir bėgių plienas yra tamprus;
- bandažų riedėjimo paviršiaus profilis priartėjęs prie bėgių galvutės profilio [1, 9].

Izoliuotosios sandūros CAD modelis ANSYS Workbench aplinkoje parodytas 3.6 paveikslėlyje.



3.6 pav. Izoliuotosios sandūros CAD modelis: 1 – R65 tipo bėgiai; 2 – šešių skylių tvarslės; 3 – sandūriniai varžtai; 4 – tarpiklis; 5 – padėklai; 6 – gelžbetoniniai pabėgiai; 7 – šilumvežio 2TE10M aširatis

Siekiant sutrumpinti skaičiavimų laiką izoliuotosios sandūros elementų geometrija buvo supaprastinta. Tiesiame kelio ruože bėgių kelias simetriškas, o traukinio aširačiai abu bėgius veikia vienodai, todėl skaitiniame modelyje užtenka pusės bėgių kelio.

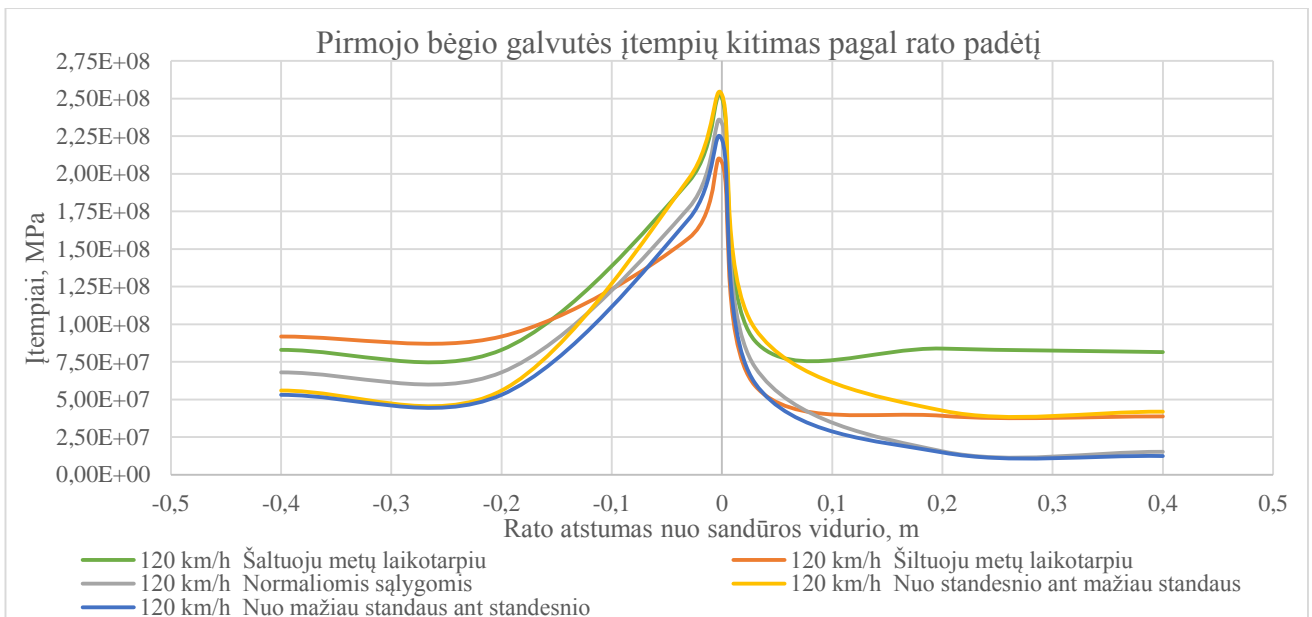
Pabėgiai su padėklais tarpusavyje sujungti nejudamai, bėgių pado su padėklų paviršiais kontakto zona su trintimi, kad būtų įmanomas ilgabėgių judėjimas išilgine kryptimi dėl temperatūrinių jėgų poveikio. Tvarslių paviršių kontakto zonoje su bėgiais ir tarpikliu trintis taip pat įvertinama, kad nereiktų papildomai užveržti sandūrinių varžtų taip dar labiau apsunkinat skaičiavimus. Rato – bėgio, rato – tarpiklio kontaktas kaip jau buvo minėta anksčiau – be trinties. Pabėgiams suteikiamas elastingas pagrindas, kurio standumas keičiamas pagal anksčiau nurodytas sąlygas, laisvi bėgių galai apkraunami temperatūrinėmis jėgomis. Apskaičiuotos vertikaliosios bėgių veikiančios apkrovos pridedamos rato stebulėje [14, 17, 19, 20, 26, 29].

4. REZULTATŲ ANALIZĖ

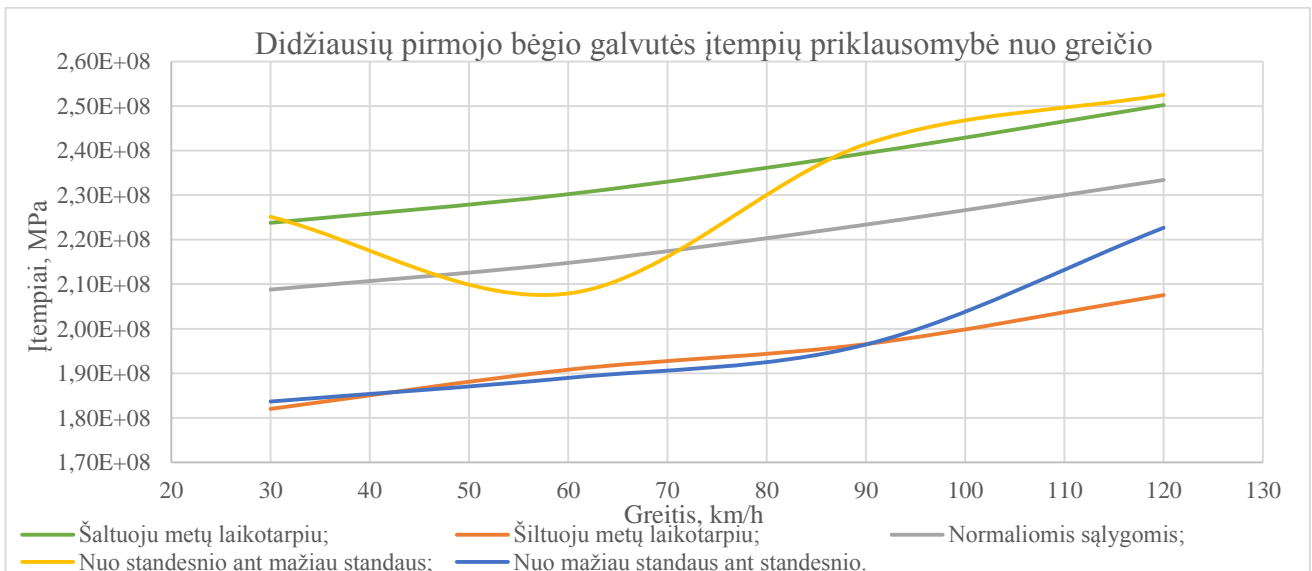
4.1. Įtempių pasiskirstymas izoliuotosios sandūros elementuose

Šiame skyrelyje nagrinėjamas įtempių pasiskirstymas izoliuotosios sandūros elementuose 3.2.2. skyrelyje aptartomis sąlygomis.

4.1 paveikslėlyje parodytas įtempių kitimas ant pirmojo bėgio galvutės paviršiaus priklausomai nuo rato padėties, 4.2 paveikslėlyje parodyta didžiausių pirmojo bėgio galvutės įtempių priklausomybė nuo rato greičio.



4.1 pav. Pirmojo bėgio galvutės įtempių kitimas pagal rato padėtį

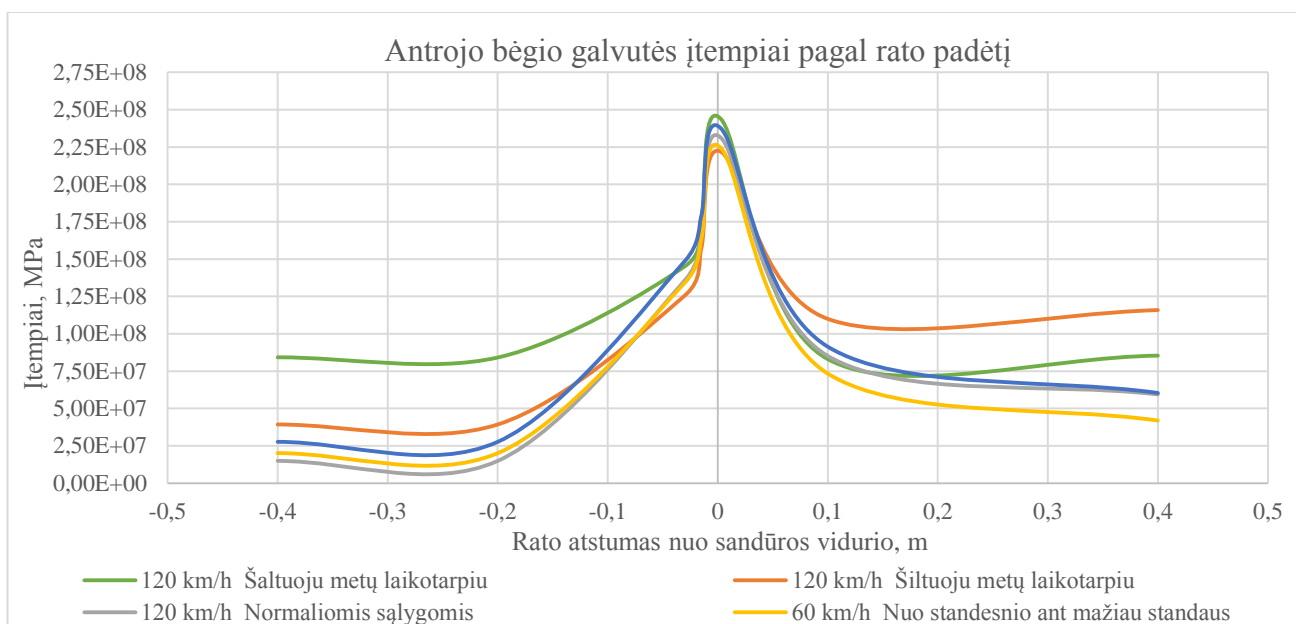


4.2 pav. Didžiausių pirmojo bėgio galvutės įtempių priklausomybė nuo greičio

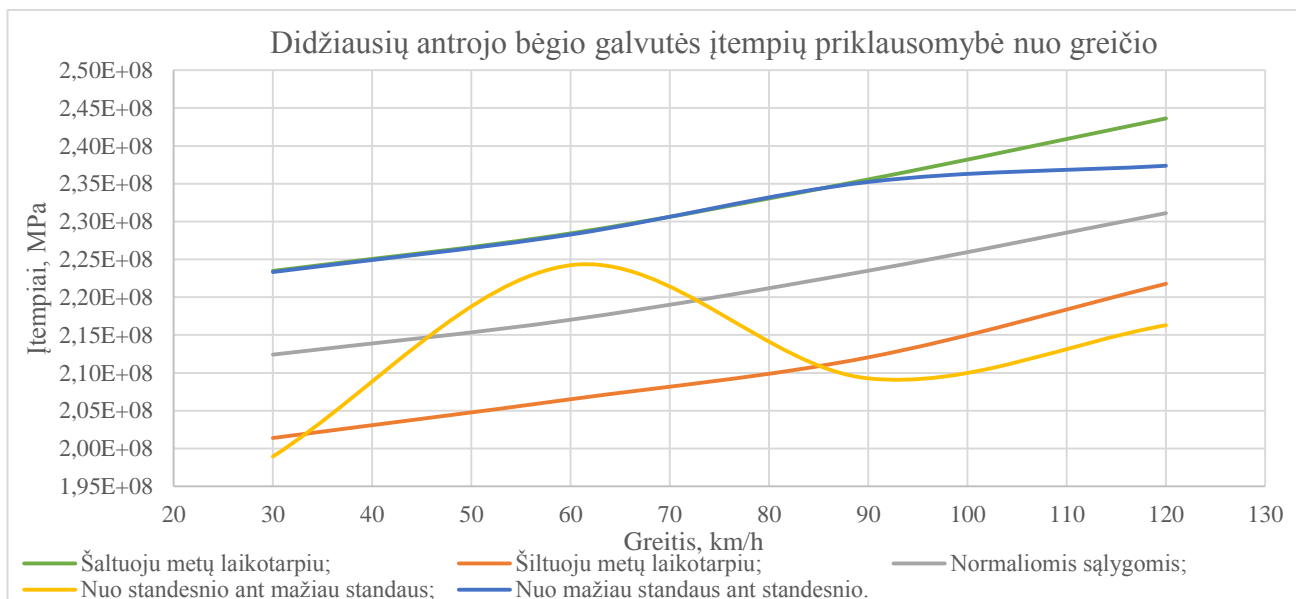
Didžiausi įtempiai pirmojo bėgio galvutės paviršiuje gaunami ratui atsidūrus ties tarpiklio viduriu, kai po pirmuoju bėgiu balastas sutankintas labiau nei po antruoju, esant 120 km/h greičiui. Šie didžiausi įtempiai siekia 253 MPa. Tačiau iš 4.2 paveikslėlyje pateiktų rezultatų galima pastebėti, kad esant tokioms pat sąlygoms tik 60 km/h greičiui, įtempiai galvutės paviršiuje sumažėja. Tai reiškia, kad esant

tokioms sąlygoms susidaro palankiausias nelygumas rato poveikio bėgiui atžvilgiu, o įtempiai tokiu atveju siekia 208 MPa. Šaltuoju laikotarpiu didžiausi įtempiai didėja, didėjant rato judėjimo greičiui ir jie siekia 250 MPa. Didžiausi įtempiai bėgio galvutės paviršiuje prieš prasidedant bėgio lenkimui (ratas ties pabėgiu) siekia 92 MPa esant šiltojo metų laikotarpio sąlygoms. Tuo tarpu, kai ratas pradeda judėti antruoju bėgiu, didžiausi įtempiai pirmojo bėgio galvutėje atsiranda šaltuoju metų laikotarpiu, esant 120 km/h greičiui. Šie įtempiai siekia 89 MPa, o juos įtakoja temperatūrinė ilgabėgius veikianti jėga.

4.3 paveikslėlyje parodytas įtempių kitimas ant antrojo bėgio galvutės paviršiaus priklausomai nuo rato padėties, 4.4 paveikslėlyje parodyta didžiausių antrojo bėgio galvutės įtempių priklausomybė nuo rato greičio.



4.3 pav. Antrojo bėgio galvutės įtempių kitimas pagal rato padėtį

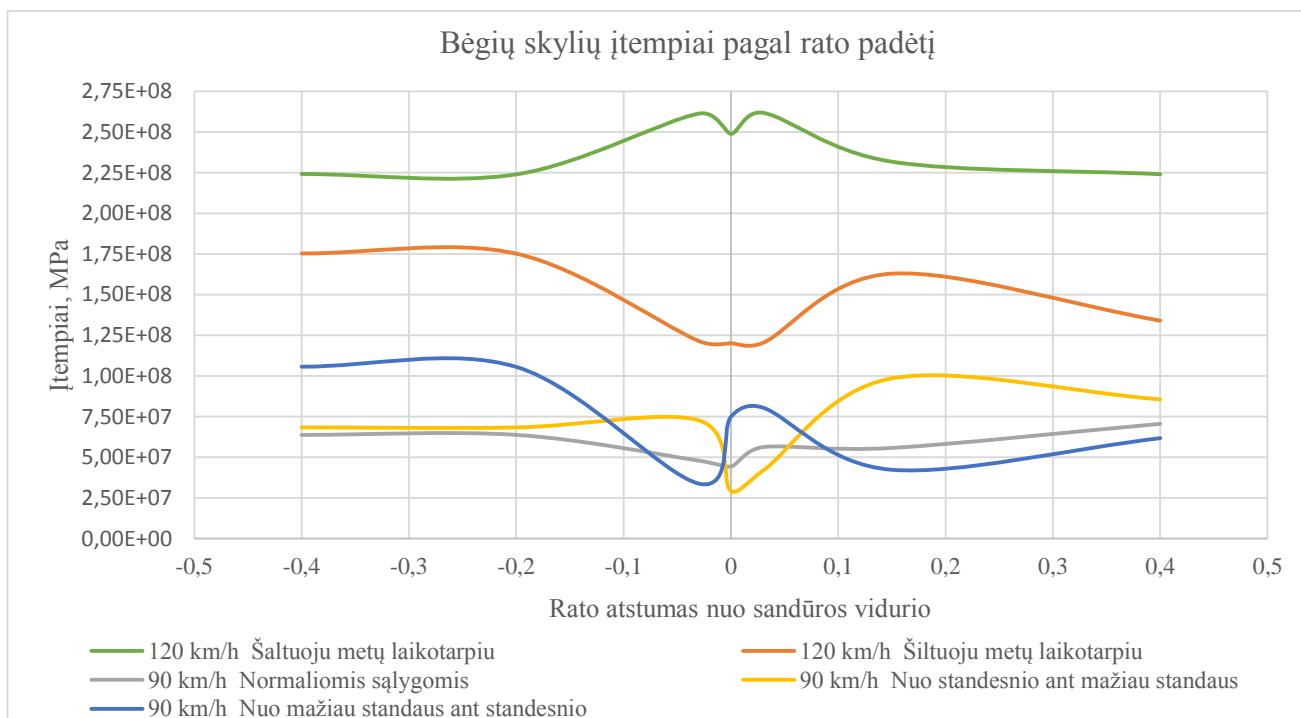


4.4 pav. Didžiausių antrojo bėgio galvutės įtempių priklausomybė nuo greičio

Didžiausi įtempiai antrojo bėgio galvutės paviršiuje gaunami ratui judant nuo tarpiklio ant galvutės, kai ilgabėgius veikia temperatūrinė jėga šaltuoju metų laikotarpiu esant 120 km/h greičiui, jie

siekia 244 MPa. Ratui judant nuo mažiau standaus ant standesnį pagrindą turinčio bėgio didžiausi įtempiai siekia 237 MPa. Antrojo bėgio galvutėje rato judėjimas nuo standesnio ant mažiau standų pagrindą turinčio bėgio 60 km/h greičiu, sukelia nepalankiausią nelygumą rato poveikio bėgiui atžvilgiu, skirtingai nei pirmojo bėgio galvutėje, šiuo atveju įtempiai siekia 224 MPa. Ratui judant dar pirmuoju bėgiu šaltuoju metų laikotarpiu 120 km/h greičiu, antrojo bėgio galvutėje įtempiai siekia 84 MPa. Ratui esant už tarpelio, didžiausi įtempiai gaunami šiltuoju metų laikotarpiu, jie siekia 116 MPa. Šie įtempiai atsiranda dėl rato – bėgio kontakto, juos dar labiau padidina lenkimo įtempiai bėgyje.

4.5 ir 4.6 paveikslėliuose analizuojami bėgių skylėse atsirandantys įtempiai.

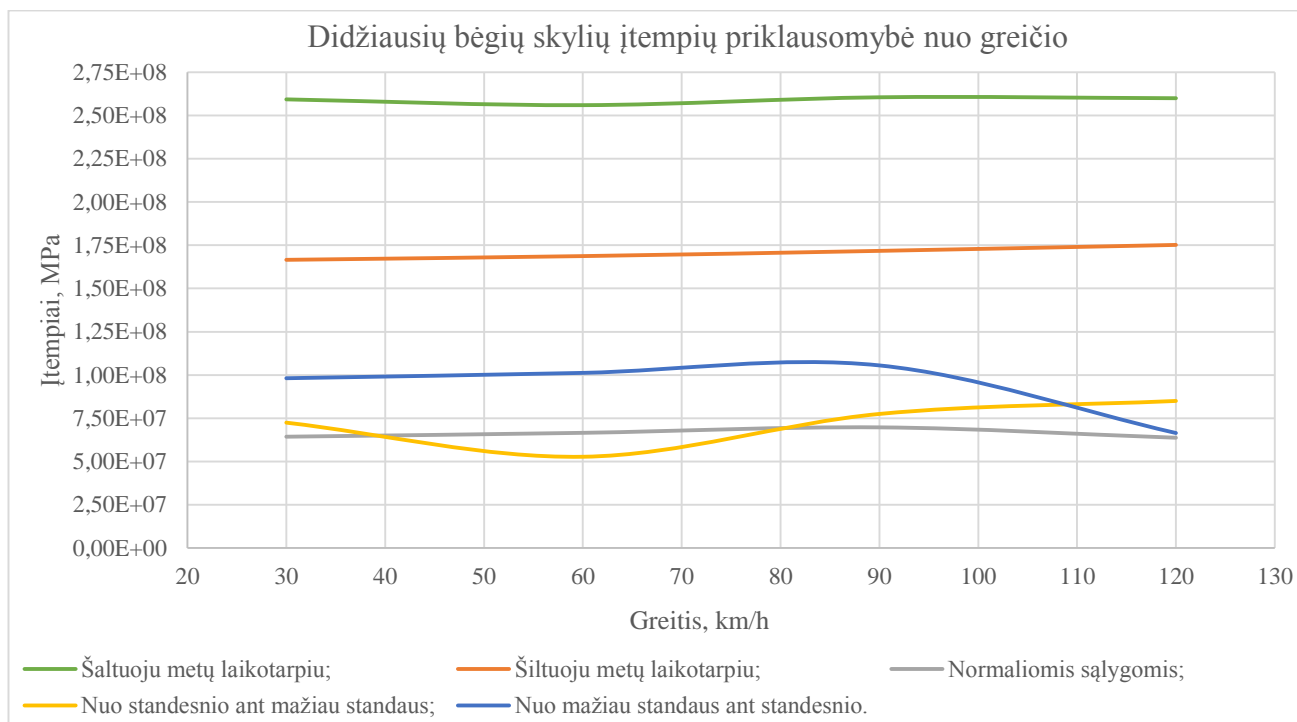


4.5 pav. Bėgių skylių įtempių kitimas pagal rato padėtį

Didžiausi įtempiai bėgių skylėse siekia 261 MPa šaltuoju metų laikotarpiu, kai rato judėjimo greitis 120 km/h. Šiltuoju laikotarpiu, kai ilgabėgiai plečiasi didžiausi įtempiai siekia 175 MPa. Šie įtempiai koncentruojasi glemžiamuose skylių paviršiuose.

Kaip matyti 4.5 paveikslėlyje, ratui artėjant prie sandūros viduriu skirtingomis sąlygomis, pastebimas ženklus įtempių pasiskirstymo kitimas. Šaltuoju laikotarpiu, kai balastas sušalęs, įtempiai bėgių skylėse pradeda didėti ratui artėjant prie sandūros vidurio, kai tuo tarpu šiltuoju laikotarpiu, atvirkščiai, įtempiai mažėja. Šaltuoju metų laiku ilgabėgius veikia temperatūrinė tempimo jėga, sandūriniai varžtai atsiremia į bėgių skylių paviršius, prasideda jų glemžimas. Ratui artėjant prie sandūros vidurio pradeda didėti bėgių įlinkiai. Besilenkdami bėgiai, be to, kad tvarslėms perduoda lenkimą, pradeda jas ir tempti. Tvarslės šį tempimą perduoda sandūriniams varžtams, o šie dar labiau pradeda glemžti bėgių skyles. Šiltuoju laikotarpiu vyksta atvirkštinis procesas ir bėgių įlinkių sukeltas tvarslių tempimas mažina bėgių skylių glemžimo įtempius.

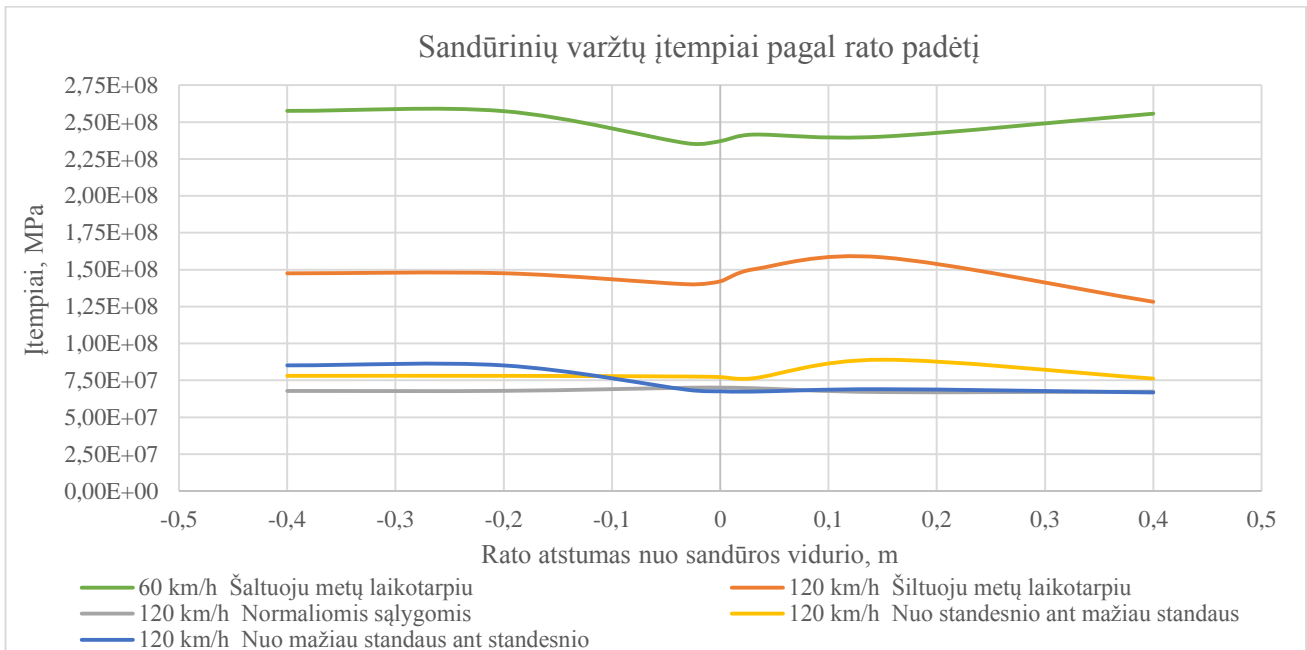
Ratui judant nuo mažiau standaus ant standesnę pagrindą turinčio bėgio, pirmasis bėgis linksta labiau, o antrąjį bėgį veikianti pagrindo reakcija jį tiesina, taip tvarslė pradedama stipriau tempti pirmojo bėgio atžvilgiu, todėl ir įtempiai iš pradžių didesni pirmojo bėgio skylėse. Ratui artėjant prie sandūros vidurio labiau linksta ir antras bėgis, įtempiai mažėja. Tuo metu, kai visa rato apkrova atsiduria tik ant antrojo bėgio, veikia didžiausia pirmojo bėgio pagrindo reakcija ir didžiausi glemžimo įtempiai atsiduria antrojo bėgio skylėse, o ratui tostant nuo sandūros vidurio įtempiai pradeda mažėti. Ratui judant nuo standesnę ant mažiau standų pagrindą turinčio bėgio vyksta atvirkštinis procesas.



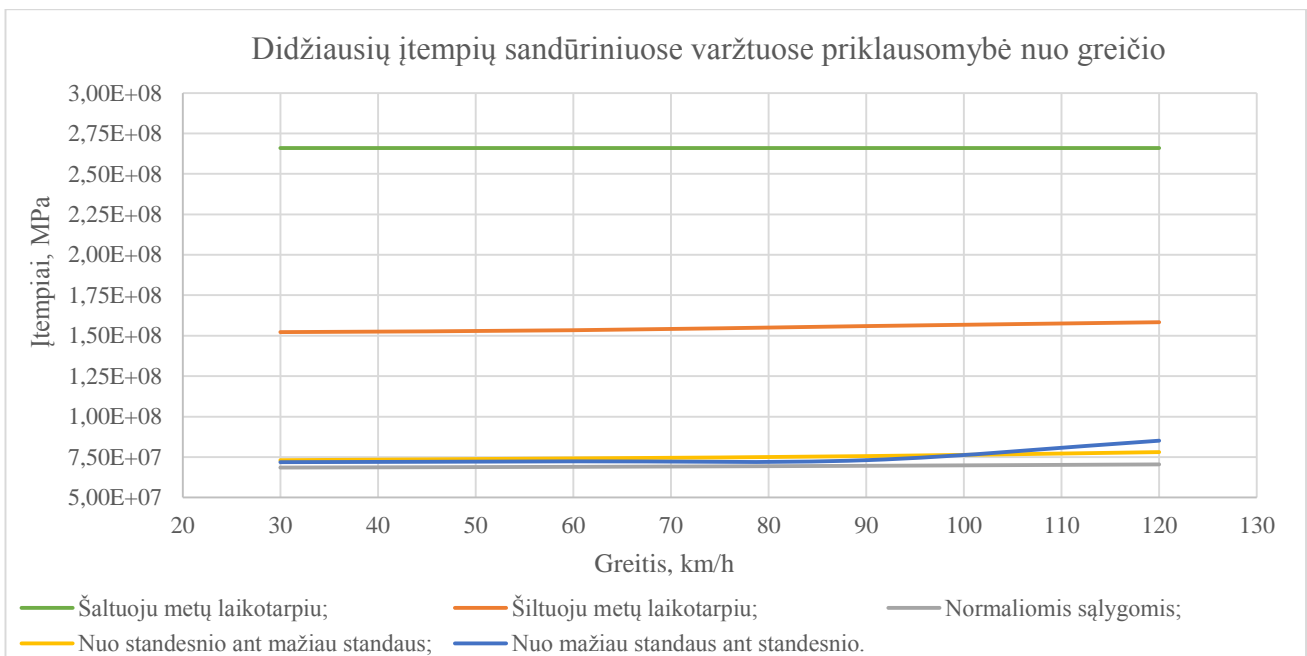
4.6 pav. Didžiausių įtempių bėgių skylėse priklausomybė nuo greičio

Kaip matyti iš 4.6 paveikslėlio greitis skylėse atsirandantiems įtempiams įtakos beveik neturi. Dideli įtempiai glemžiamuose paviršiuose formuojasi tada, kai ilgabėgiai traukiasi dėl žemos arba plečiasi dėl karštos aplinkos temperatūros bei keičiantis pagrindo standumui.

4.7 ir 4.8 paveikslėliuose parodytos sandūrinių varžtų įtempių reikšmės priklausomai nuo rato padėties ir greičio.



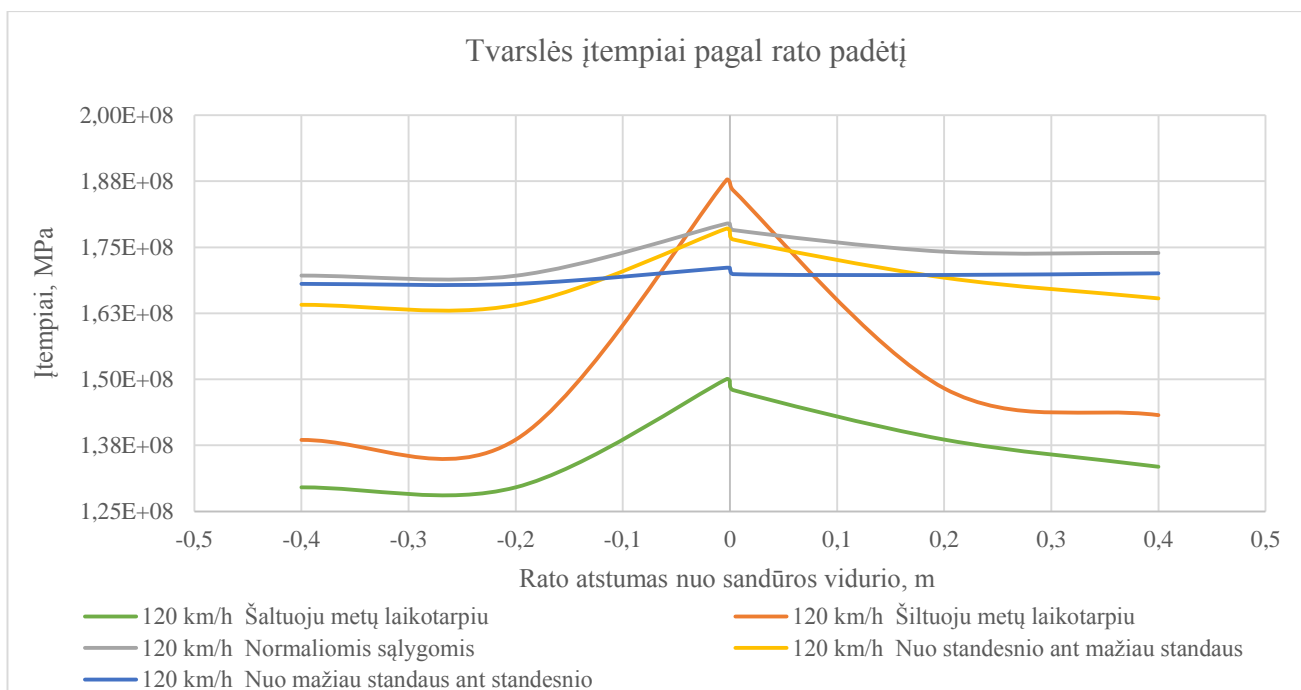
4.7 pav. Sandūrinių varžtų įtempimų kitimas pagal rato padėtį



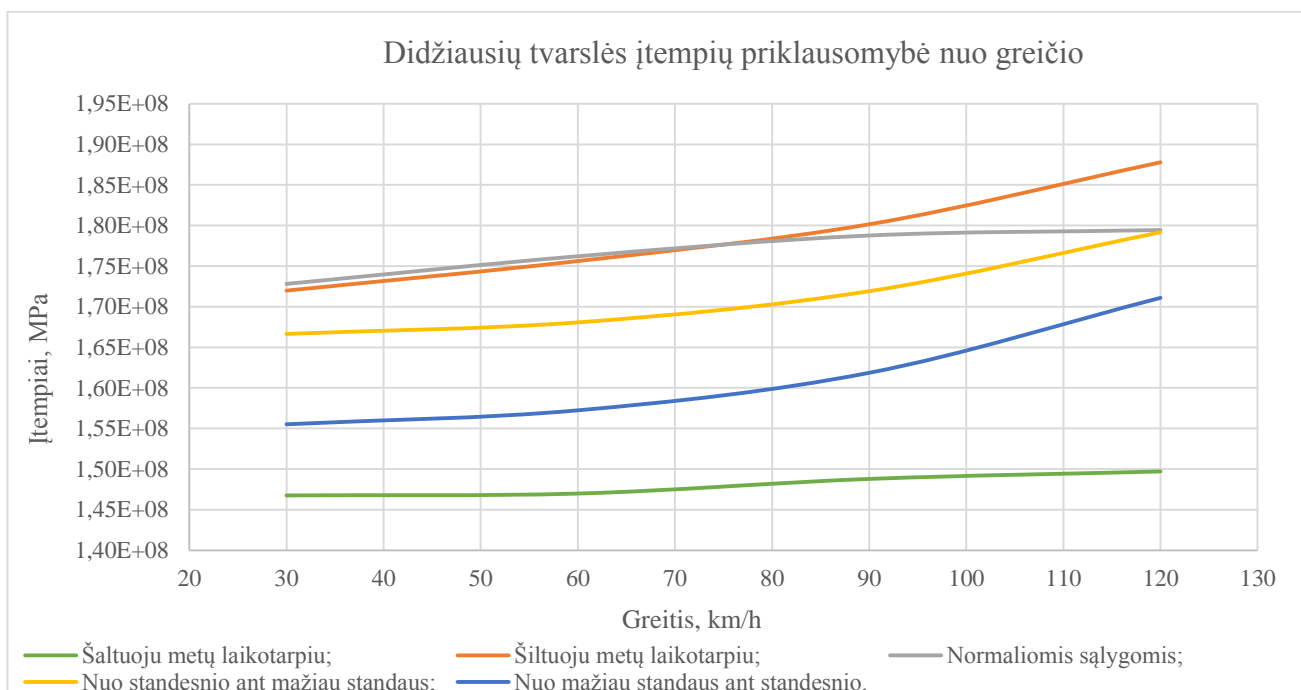
4.8 pav. Didžiausių įtempimų sandūriniuose varžtuose priklausomybė nuo greičio

Didžiausi įtempiai sandūriniuose varžtuose atsiranda kerpamuose skerspjūviuose, jie siekia 258 MPa šaltuoju metų laikotarpiu. Iš 4.7 paveikslėlyje esančio grafiko, matyti, kad ratui artėjant prie sandūros vidurio įtempiai varžtuose pradeda mažėti. Ratui judant bėgio galvute, tvarslė per jos lietimosi paviršius su bėgio galvutės apačia ir bėgio pado viršumi pradeda gniuždyti, o ratui artėjant prie sandūros vidurio padidėja ir jos lenkimas, todėl sumažėja apkrova tenkanti sandūriniams varžtams. Šiltuoju metų metu, esant mažesniai kelio standumui, bėgiai įlinksta labiau, dėl šių įlinkių atsiradęs tvarslės tempimas, kaip ir bėgių skylėse atveju, daro didesnę įtaka, nei rato apkrova bėgiui, todėl ir įtempiai sandūriniuose varžtuose didėja.

4.9 ir 4.10 paveikslėliuose analizuojami tvarslės paviršiuose atsirandantys įtempiai.



4.9 pav. Tvarslės įtempių kitimas pagal rato padėtį

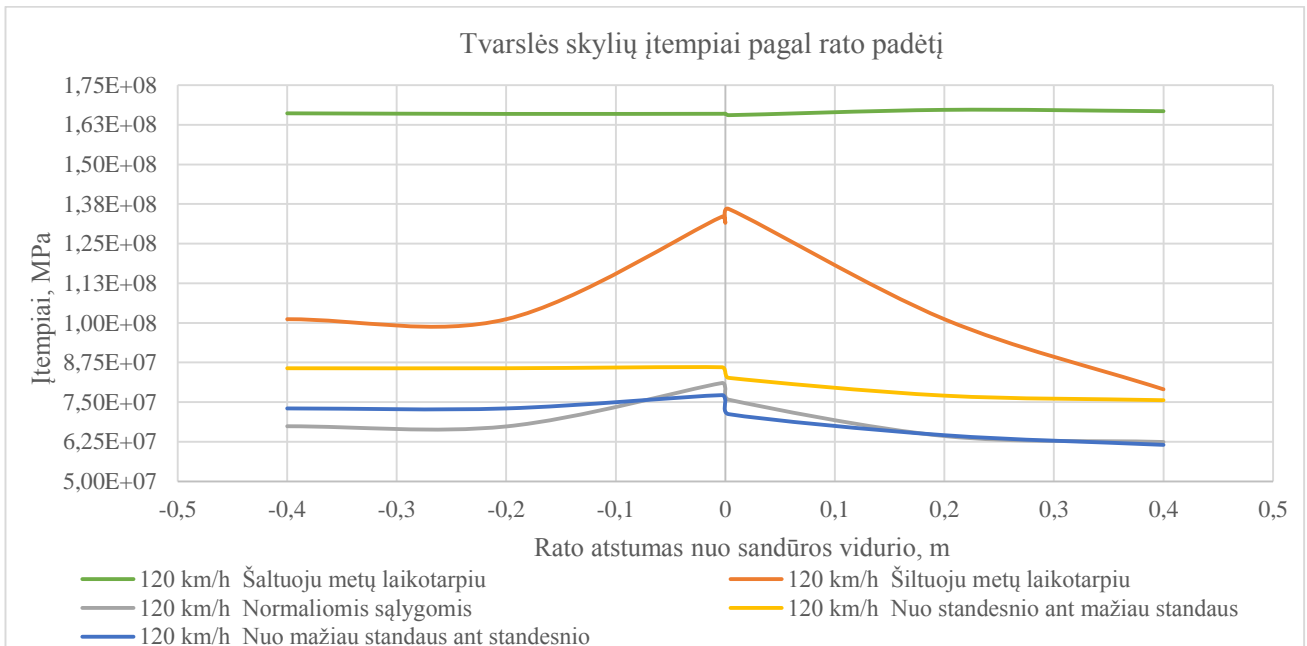


4.10 pav. Didžiausių tvarslės įtempių priklausomybė nuo greičio

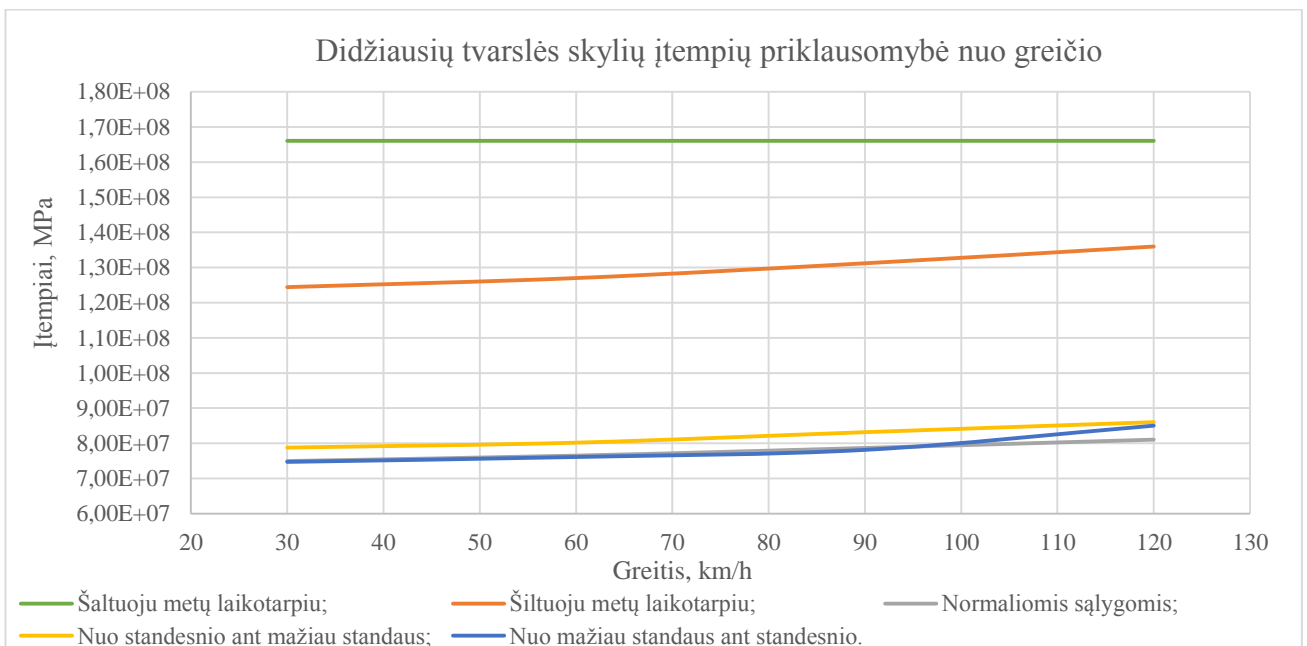
Didžiausi įtempiai tvarslėse atsiranda šiltuoju metų laikotarpiu, esant mažiausiam bėgių pagrindo standumui, kai rato judėjimo greitis 120 km/h. Jie siekia 187 MPa. Šaltuoju metų metu įtempiai mažesni ne tik dėl didesnio pagrindo standumo, bet ir dėl to, kad ilgabėgius veikianti temperatūrinė jėga mažina bėgių įlinkius, taip sumažindama ir tvarslių lenkimą. 4.9 paveikslėlyje esančiame grafike, kai rato padėtis yra ties sandūros viduriu, galima pastebėti staigų įtempių pakitimą. Staigus įtempių pasikeitimas rodo tai, kad be lenkimo įtempių, tvarsles veikia ir kirpimo įtempiai, atsirandantys, kai pradeda veikti

vieno iš bėgių pagrindo reakcija (priklausomai ant kurio bėgio tuo metu yra ratas). Visais atvejais, įtempiai tvarslėse didėja, didėjant rato greičiui.

4.11 ir 4.12 paveikslėliuose parodyti tvarslių skylėse atsirandančių įtempių kitimo grafikai.



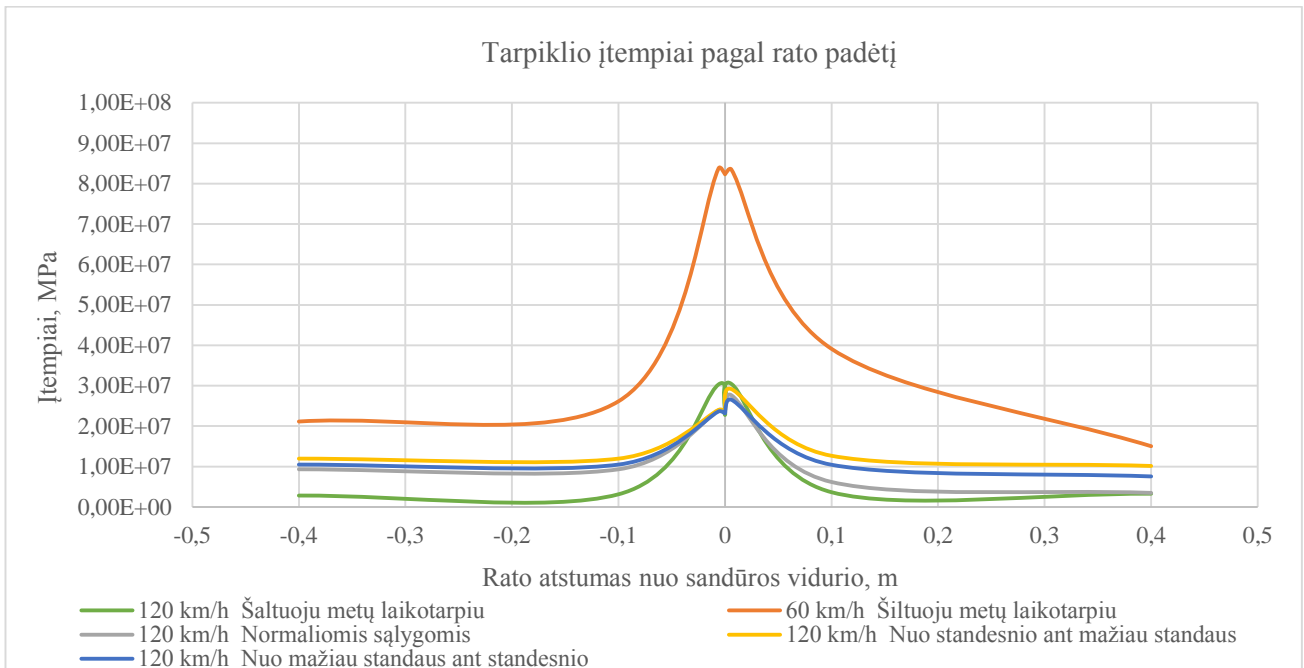
4.11 pav. Tvarslės skylių įtempių kitimas pagal rato padėtį



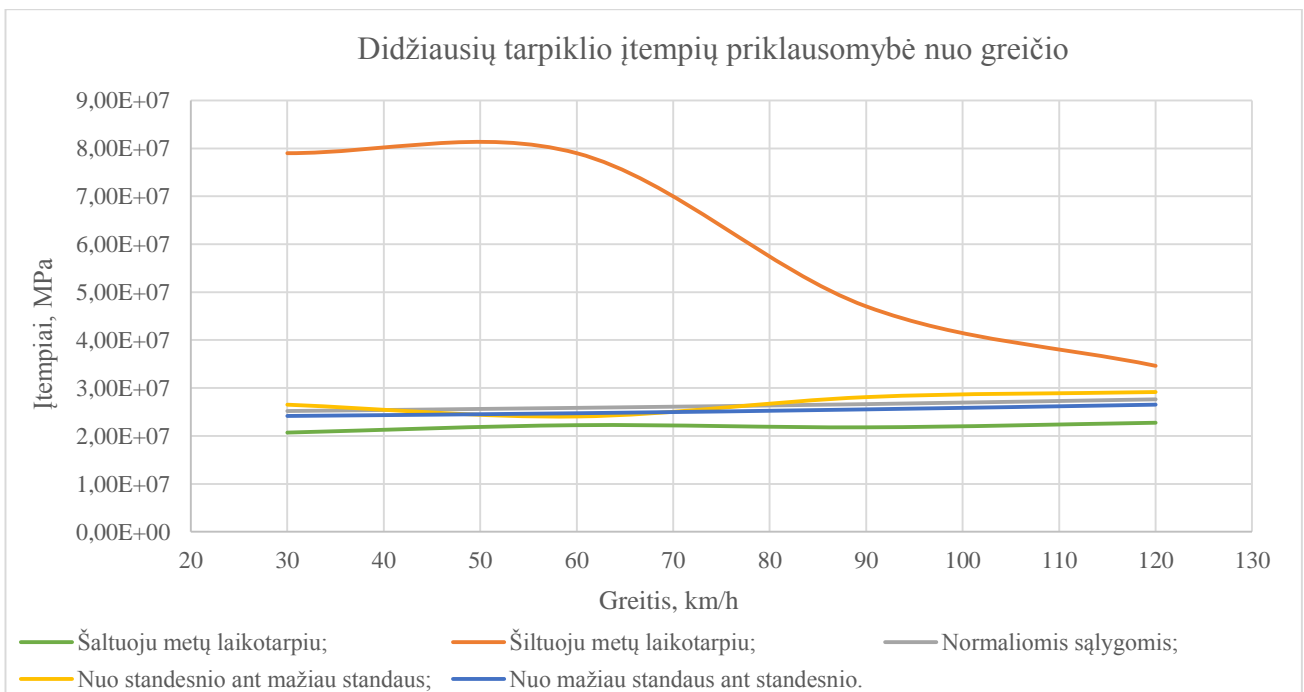
4.12 pav. Didžiausių tvarslės skylių įtempių priklausomybė nuo greičio

Didžiausi įtempiai glemžiamuose tvarslių skylių paviršiuose atsiranda šaltuoju metų laikotarpiu, jie siekia 167 MPa. Šiltuoju laikotarpiu be to, kad skylių paviršius glemžia sandūriniai varžtai, dar prisideda ir dideli tvarslės lenkimo įtempiai bei bėgio galvutės perduodami gniuždymo įtempiai. Kaip, matyti, iš 4.12 paveikslėlyje pateikto grafiko, greitis tvarslės skylių įtempiams įtakos beveik neturi.

4.13 paveikslėlyje pavaizduotas tarpiklio įtempių pasiskirstymas pagal rato padėtį, 4.14 paveikslėlyje parodyta kaip keičiasi didžiausi tarpiklio įtempiai pagal greitį.



4.13 pav. Tarpiklio įtempių kitimas pagal rato padėtį



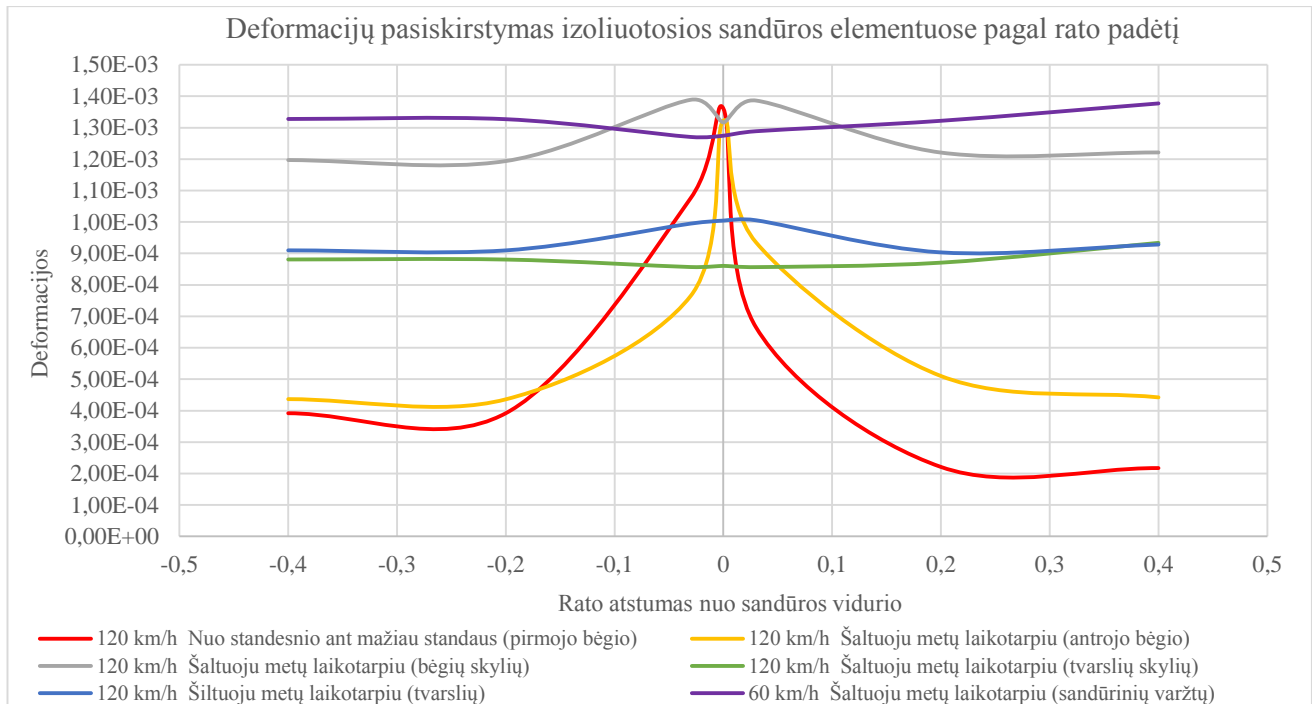
4.14 pav. Didžiausių tarpiklio įtempimų priklausomybė nuo greičio

Įtempiai tarpiklyje didėja ratui artėjant prie sandūros vidurio. Didžiausi įtempiai tarpiklyje atsiranda, kai ratas nuo pirmojo bėgio galvutės pradeda judėti ant tarpiklio ir ratui pradedant judėti nuo tarpiklio ant antrojo bėgio, jie siekia 84 MPa. Šiems įtempiams didžiausią įtaką turi bėgių įlinkimas, nes lenkdamiesi bėgiai pradeda tarpiklį gniuždyti, todėl nepalankiausios sąlygos yra šiltuoju metų laikotarpiu, kai ilgabėgius veikia temperatūrinė jėga, o kelio pagrindo standumas sumažėjęs. Didžiausi įtempiai gaunami esant 30 ir 60 km/h rato judėjimo greičiams, nes tuomet rato apkrova sandūros zonoje veikia ilgiausiai.

4.2. Didžiausių deformacijų pasiskirstymas izoliuotosios sandūros elementuose

Šiame skyrelyje nagrinėjamas didžiausių deformacijų pasiskirstymas izoliuotosios sandūros elementuose 3.2.2. skyrelyje aptartomis sąlygomis.

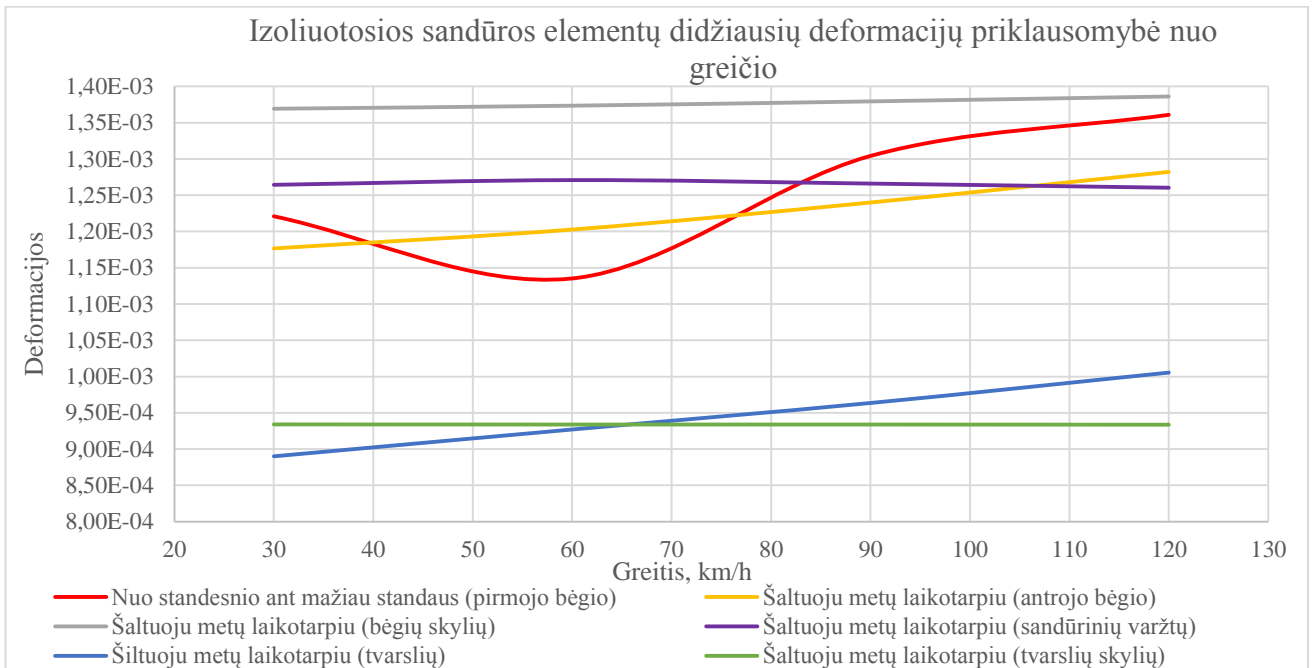
4.15 paveikslėlyje esančiame grafike parodyta prie kokių sąlygų ir greičių gautos didžiausios kiekvieno izoliuotosios sandūros elemento deformacijos priklausomai nuo rato padėties.



4.15 pav. Didžiausių deformacijų pasiskirstymas izoliuotosios sandūros elementuose pagal rato padėtį

Pagal 4.15 paveikslėlyje pateiktą grafiką, matyti, kad deformacijų pasiskirstymas atitinka įtempių pasiskirstymą pagal rato padėtį kiekviename izoliuotosios sandūros elemente, esant sąlygoms, kai buvo užfiksuoti didžiausi kiekvieno elemento įtempiai. Visuose elementuose, išskyrus tvarslių skyles ir sandūrinius varžtus, deformacijos didėja ratui artėjant prie sandūros vidurio. Tokių reiškinių atsiradimas paaiškintas prie kiekvieno elemento įtempių grafikų.

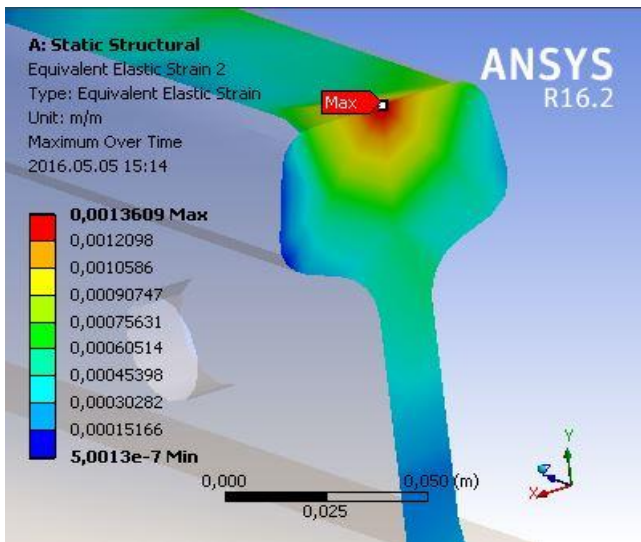
4.16 paveikslėlyje esančiame grafike parodyta didžiausių kiekvieno izoliuotosios sandūros elemento deformacijų priklausomybė nuo rato greičio, kai buvo užfiksuotos didžiausios deformacijos. Didžiausios deformacijos atsiranda glemžiamuose bėgių skylių paviršiuose, kai juos veikia ilgabėgius veikianti temperatūrinė jėga šaltuoju metų laikotarpiu. Pirmojo bėgio galvutėje didžiausios deformacijos formuojasi ratui judant nuo standesnį ant mažiau standų pagrindą turinčio bėgio, kai ratas juda 120 km/h greičiu. Mažiausios deformacijos gaunamos tvarslėse bei jų skylėse. Tvarslių lenkimo sukeltos deformacijos didėja, didėjant rato greičiui šiltuoju metų laikotarpiu. Didelės antrojo bėgio galvutės deformacijos gaunamos šaltuoju metų laiku bei ratui judant nuo mažiaus standaus ant standesnį pagrindą turinčio bėgio. Sandūrinių varžtų deformacijas labiausiai įtakoja ilgabėgius veikianti temperatūrinė jėga.



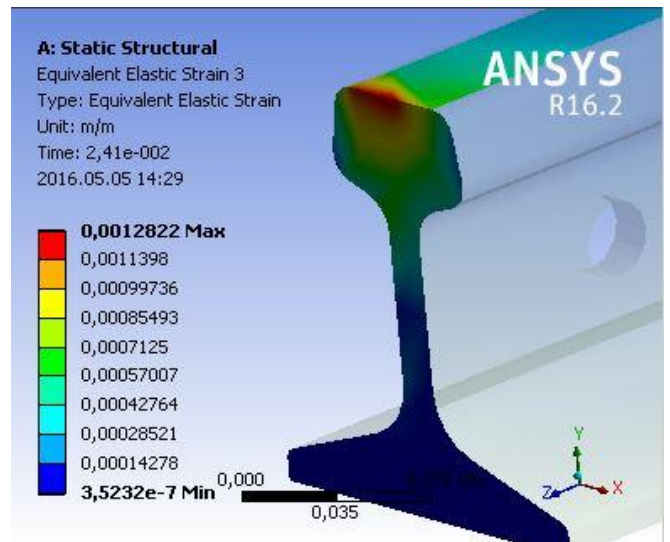
4.16 pav. Izoliuotosios sandūros elementų didžiausių deformacijų priklausomybė nuo greičio

Taip pat reikėtų pastebėti, kad pirmojo bėgio galvutės deformacijos, kai ratas juda nuo standesnį ant mažiau standų pagrindą turinčio bėgio rato greičiui esant 60 km/h, dėl palankaus nelygumo atsiradimo rato poveikio bėgiui atžvilgiu, sumažėja.

4.17–4.22 paveikslėliuose parodyta kur izoliuotosios sandūros elementuose koncentruojasi didžiausios deformacijos.

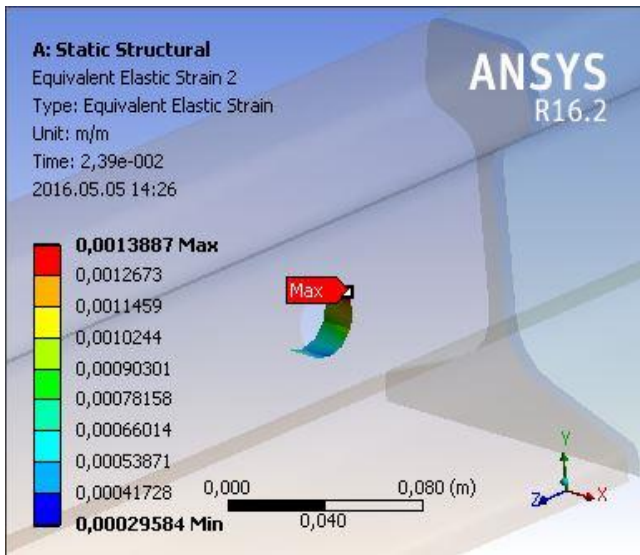


4.17 pav. Didžiausios deformacijos pirmojo bėgio galvutėje

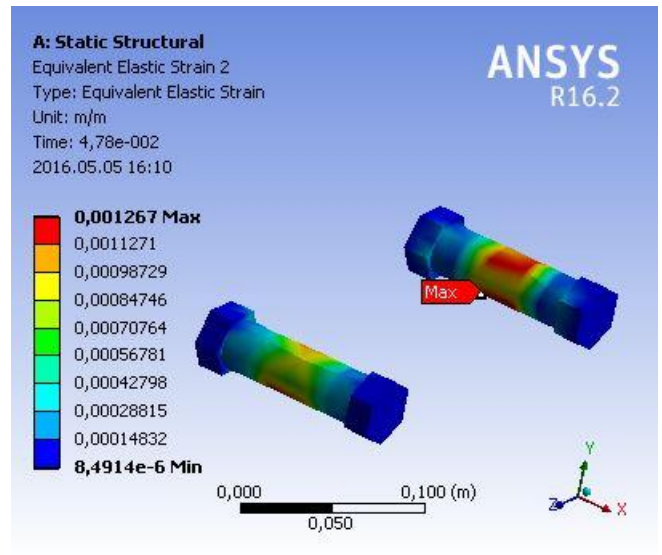


4.18 pav. Didžiausios deformacijos antrojo bėgio galvutėje

Didžiausių deformacijų dydis pirmojo bėgio galvutėje siekia 0,00136, antrojo bėgio galvutėje 0,00128. Šios deformacijos keturis kartus didesnės, nei deformacijos, kai ratas juda bėgiu iki sandūros zonos (žr. 4.15 pav.). Bėgio galvutėje šioms deformacijoms kartojantis pradeda vystytis nuovarginio charakterio pažeidimai aptarti 2.1. skyrelyje.

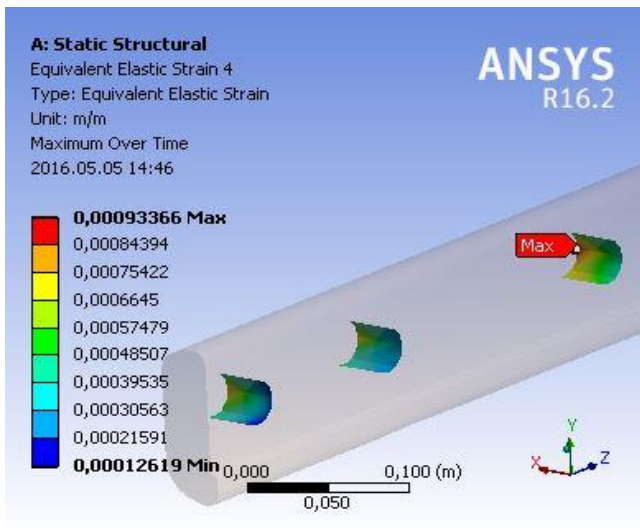


4.19 pav. Didžiausios deformacijos bėgių skylėse

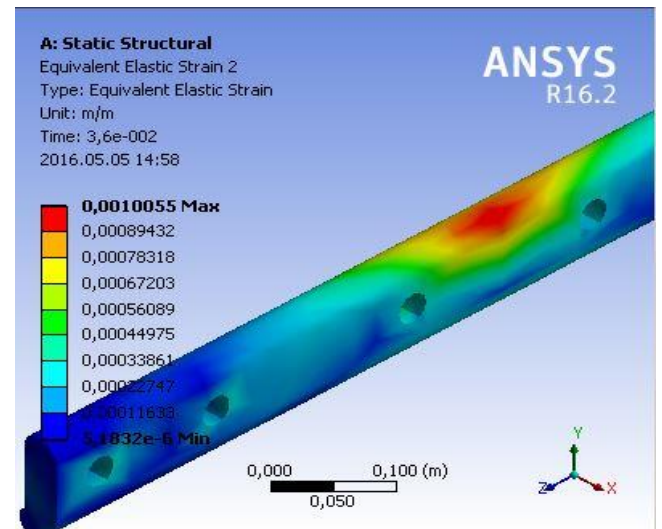


4.20 pav. Didžiausios deformacijos sandūrinuose varžtuose

Bėgių skylėse didžiausios deformacijos gaunamos glemžiamuose paviršiuose, šios deformacijos siekia 0,00139. Be to, kad bėgių skylės veikia temperatūrinių jėgų tempiamų ilgabėgių paveikti sandūriniai varžtai, skylės papildomai deformuoja ir rato apkrova į bėgį. Sandūriniai varžtai labiausiai deformuojasi jų kerpamuose skerspjūviuose ir paviršiuose, kuriais jie glemžia bėgių kakliuke esančias skylės. Didžiausios sandūrinių varžtų deformacijos siekia 0,00127.



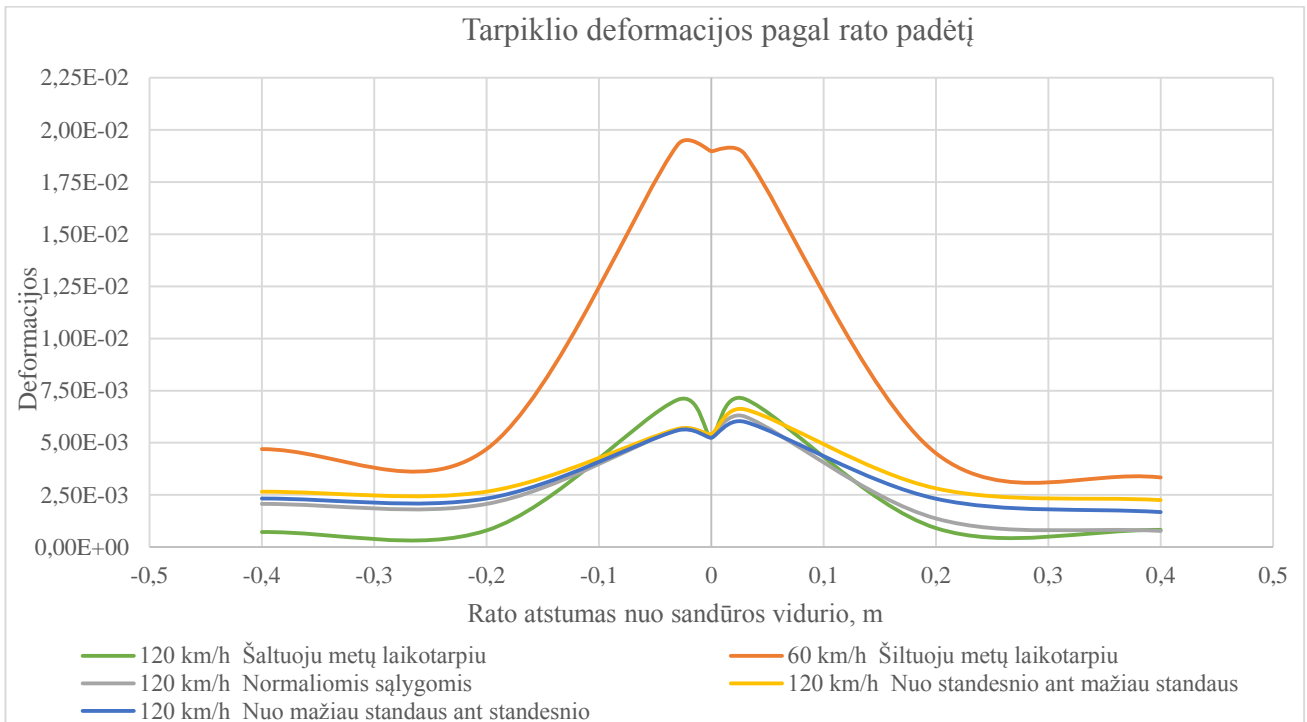
4.21 pav. Didžiausios tvarslės deformacijos



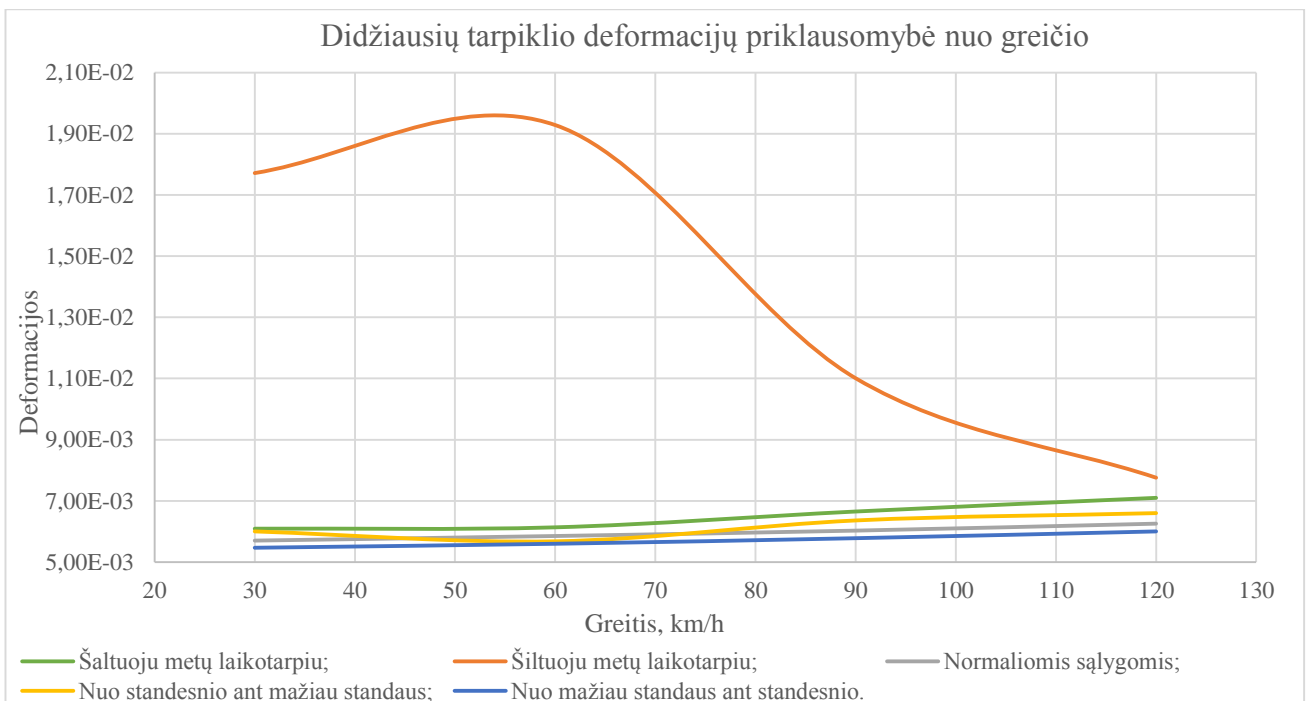
4.22 pav. Didžiausios tvarslės skylių deformacijos

Nagrinėjant tvarsles, reikia atkreipti dėmesį į du jos komponentus: lenkimo metu gniuždomus viršutinius tvarslės paviršius ir skylės sandūriniai varžtams. Didžiausios deformacijos lenkiamuose tvarslės paviršiuose siekia 0,001, šiltuoju metų laiku, kai balasto standumas mažiausias ir ilgabėgius veikia temperatūrinė gniuždymo jėga. Tvarslių skylėse, kaip ir bėgių skylėse, didžiausios deformacijos gaunamos, kai jas glemžia sandūriniai varžtai šaltuoju metų laikotarpiu, šių deformacijų dydis – 0,00093. Bėgių skylėse deformacijos didesnės dėl mažo bėgio kakliuko pločio.

4.23 paveikslėlyje pavaizduotas tarpiklio deformacijų pasiskirstymas pagal rato padėtį, 4.24 paveikslėlyje parodyta kaip keičiasi didžiausios tarpiklio deformacijos pagal greitį.



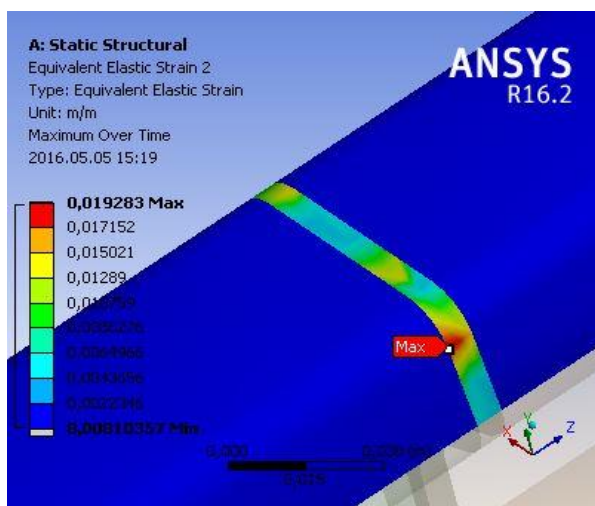
4.23 pav. Tarpiklio deformacijos pagal rato padėtį



4.24 pav. Didžiausių tarpiklio deformacijų priklausomybė nuo greičio

Tarpiklis – labiausiai besideformuojantis izoliuotosios sandūros elementas. Didžiausios deformacijos gaunamos šiltuoju metų laikotarpiu, kai dėl mažo balasto standumo ir dėl ilgabėgius veikiančių temperatūrinių jėgų, jis labiausiai gniuždomas. Esant 60 km/h greičiui didžiausios deformacijos siekia 0,0193. Didelės deformacijos tarpiklyje gaunamos dėl silpnos, palyginti su plienu, jo medžiagos.

Didžiausios tarpiklio deformacijos parodytos 4.25 paveikslėlyje.

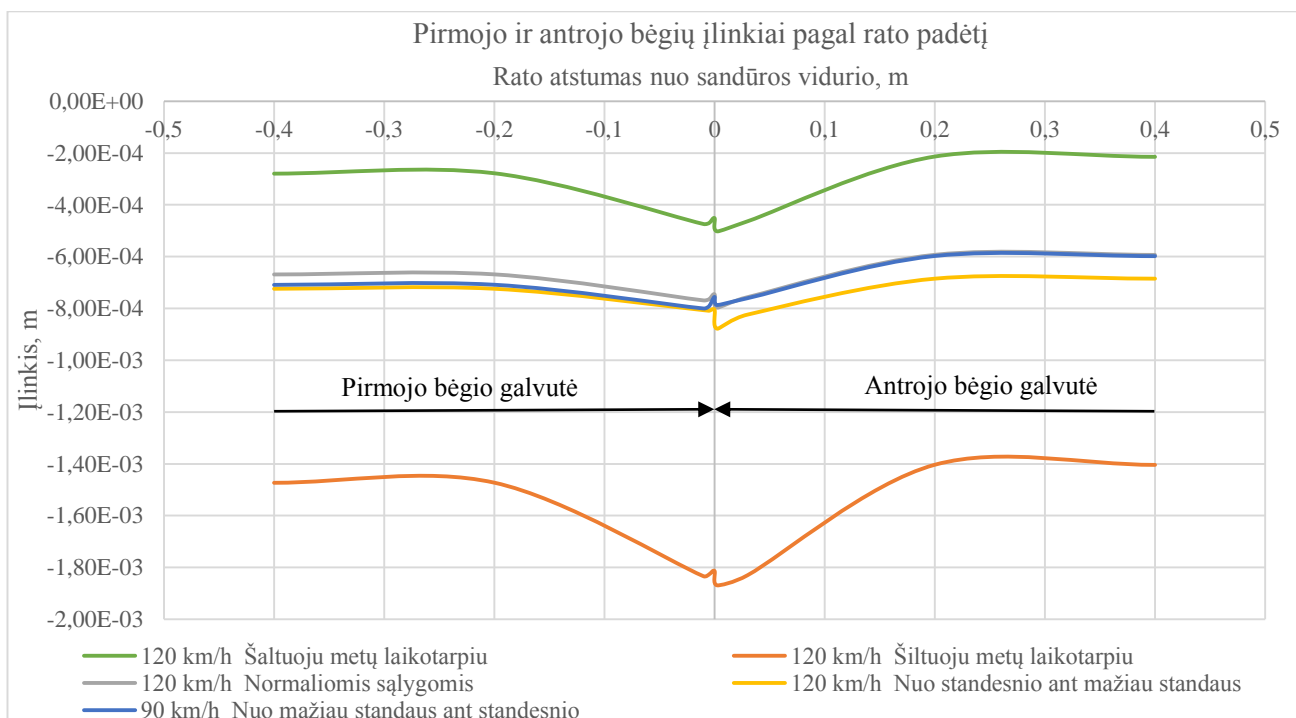


4.25 pav. Didžiausios tarpiklio deformacijos

Iš 4.25 paveikslėlio, matyti, kad tarpiklis labiausiai deformuojamas ten, kur jį gniuždo lenkiamos ir temperatūrinės jėgos veikiamos, abiejų bėgių galvutės.

4.3. Bėgių įlinkiai ir poslinkiai

4.26 paveikslėlyje parodyti pirmojo ir antrojo bėgių galų įlinkiai priklausomai nuo rato padėties. Neigiamoje abscisių ašies pusėje parodyti pirmojo bėgio įlinkiai, teigiamoje – antrojo.

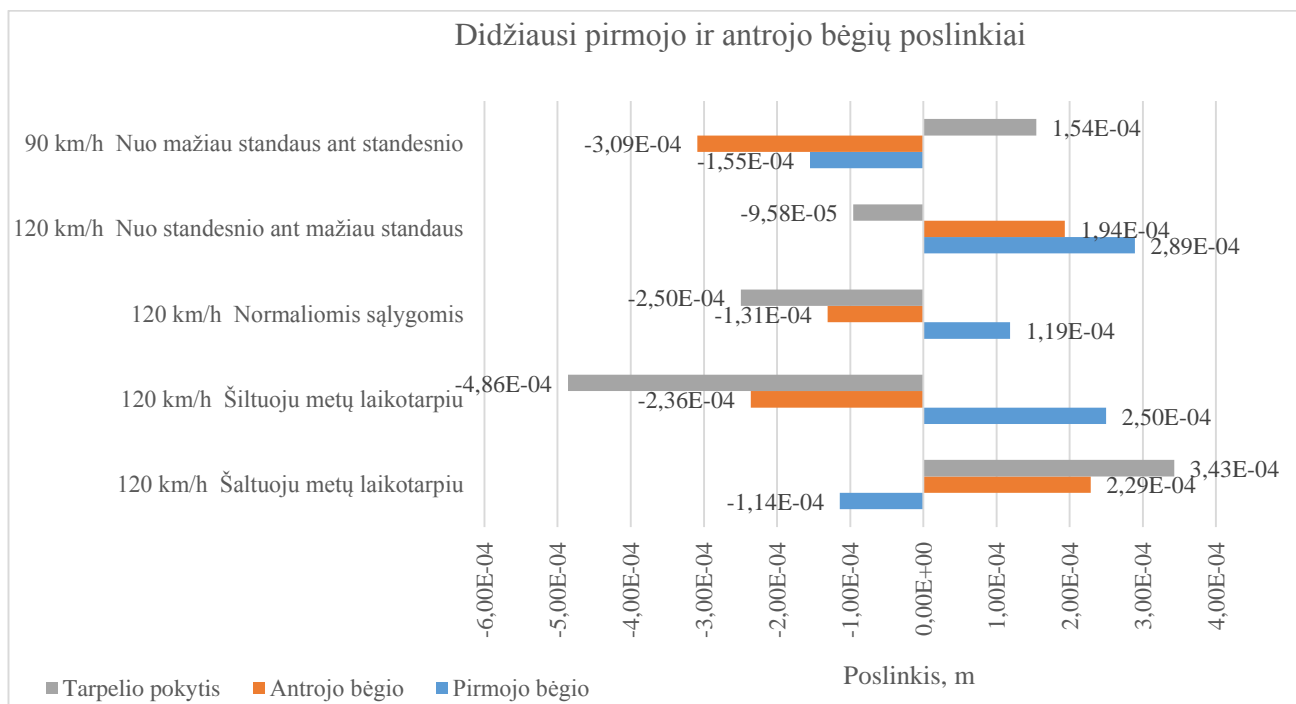


4.26 pav. Pirmojo ir antrojo bėgių galų įlinkiai pagal rato padėtį

Didžiausi bėgių įlinkiai gaunami esant mažiausiam balasto standumui t. y. šiltuoju metų laikotarpiu. Didžiausi pirmojo bėgio įlinkiai siekia 1,83 mm, antrojo 1,87 mm. Šaltuoju metų laikotarpiu bėgiai įlinksta mažiausiai dėl didelio balasto standumo ir jie tesiekia 0,5 mm. Bėgių įlinkiai, kaip jau

išsiaiškinta anksčiau, sukelia didelius įtempius lenkiamuose tvarslės paviršiuose, bei dideles deformacijas tarpiklyje.

4.27 paveikslėlyje parodyti pirmojo ir antrojo bėgio poslinkiai bei bendras tarpelio pokytis.



4.27 pav. Pirmojo ir antrojo bėgių poslinkiai

4.27 paveikslėlyje esančioje diagramoje parodyta prie kokių sąlygų ir greičių buvo gauti didžiausi pirmojo ir antrojo bėgių poslinkiai. Teigiamos pirmojo bėgio poslinkių reikšmės reiškia bėgio pailgėjimą, neigiamos – patrupėjimą, antrojo bėgio atvirkščiai. Teigiamos tarpelio pokyčio reikšmės rodo tarpelio praplatėjimą, neigiamos siaurėjimą. Tarpelis labiausiai susiaurėja šiltuoju metų laikotarpiu, kai ilgabėgius veikia temperatūrinės gniuždymo jėgos, o didžiausias praplatėjimas atsiranda šaltuoju laikotarpiu, kai ilgabėgiai traukiasi. Didžiausias praplatėjimas siekia 0,343 mm, o susiaurėjimas 0,486 mm. Bėgių judėjimą išilgine kryptimi riboja juos su tvarslėmis jungiantys sandūriniai varžtai bei pasipriešinimą išilginiams poslinkiams užtikrinantis jų kontaktas su padėklais. Tačiau dėl šios priežasties bėgių ir tvarslių skylėse gaunami dideli glemžimo įtempiai, kerpami sandūriniai varžtai, ypač šaltuoju metų laikotarpiu. Šiltuoju laikotarpiu dar labiau apkraunami bėgių lenkimą perimantys tvarslės paviršiai, bei dar labiau deformuojamas tarpiklis.

DARBO APIBENDRINIMAS IR REZULTATŲ PALYGINIMAS

Darbe išanalizuoti AB „Lietuvos geležinkeliai“ 2014–2015 metais užfiksuoti bėgių grandinių gedimai, nustatytos šiuos gedimus sukėlusios priežastys. Pagal šios analizės rezultatus sudarytos skaičiuojamosios schemos skaitiniam modeliavimui. Skaitinės analizės rezultatai įrodė, kad ilgabėgius veikiančios temperatūrinės jėgos labiausiai veikia glemžiamus bėgių ir tvarslių skylių paviršius bei kerpamus sandūrinių varžtų paviršius. Taip pat pastebėta, kad dėl temperatūrinių tempimo jėgų, padidėjus tarpui tarp bėgių, ima didėti ir bėgių galvučių įtempiai bei deformacijos, o pradėjus veikti gniuždymo jėgoms stipriai deformuojamas tarpiklis.

Balasto standumas turi didelę įtaką bėgių galvutėms ir tvarslėms. Didėjant balasto standumui pradeda didėti bėgių galvučių, tačiau sumažėja tvarslės įtempiai. Priešingai veikia mažėjantis balasto standumas. Pavojingiausias atvejis tvarslės lenkimo atveju yra esant skirtingiems balasto standumams po bėgiais, nes tuomet jas pradeda veikti ne tik joms bėgių perduodamas lenkimas, tačiau ir dėl bėgius veikiančių pagrindo reakcijų prasidedantis kirpimas.

Yra atlikta daugybė tyrimų nagrinėjančių rato – bėgio sąveiką. Pastaruoju metu ypatingas dėmesys skiriamas šios sąveikos tyrimams izoliuotosios sandūros zonoje. Nutrūkęs bėgių vientisumas šioje zonoje sukelia eilę problemų. Pirmiausia laisvi bėgių galai sujungiami tvarslėmis, kurių atsparumas lenkimui gerokai mažesnis nei bėgių. Dėl palyginti silpnos tarpiklio medžiagos, galima teigti, kad tarp bėgių susidaro tarpelis, kurio ir buvo stengiamasi išvengti pradėjus tiesti besandūrį kelią. Dauguma tyrėjų imasi tirti tik rato poveikį bėgiui ar tvarslės lenkimą, dažniausiai neįvertindami kelio būklės, aplinkos poveikio ar net riedmenų greičio. Tokiu atveju nėra išnagrinėjama bendra izoliuotosios sandūros elementų elgsena. Kaip parodė šio darbo rezultatai, skirtingos sąlygos vienus elementus veikia labiau nei kitus arba sukelia juose priešingus efektus, todėl nagrinėjant izoliuotąją sandūrą nėra tikslinga išskirti vieną jos elementą.

Darbe nagrinėjamas statinis rato apkrovos poveikis izoliuotajai sandūrai. Taip nėra įvertinama smūginė apkrova tenkanti bėgio galvutei, tačiau tokios analizės užtenka norint išsiaiškinti kaip izoliuotosios sandūros elementai reaguoja į ilgabėgius veikiančios temperatūrinės jėgos, balasto standumo ir riedmenų greičio pakitimus. Taip pat iš statinių skaitinio modeliavimo rezultatų galima gauti naudingų rezultatų, norint atlikti dinaminę analizę. Statinės analizės pagalba gavus rato masės centro judėjimo trajektoriją, būtų galima surasti pagreičius, atsirandančius rate, kai jis juda per susidariusį nelygumą. Žinant šių pagreičių reikšmes labai palengvėtų dinaminio rato poveikio bėgiui analizė, nes užtektų paprastesnio skaitinio modelio, būtų galima atsisakyti keleto prielaidų apsunkinančių skaičiavimus.

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

1. Atlikus 2014–2015 bėgių grandinių gedimų analizę nustatyti dažniausiai izoliuotosios sandūros elementuose aptinkami gedimai. Nustatyta, kad pagrindiniai faktoriai darantys įtaką sklandžiam izoliuotosios sandūros elementų eksploatavimui yra ilgabėgius veikiančios temperatūrinės jėgos bei kelio kokybė t. y. balasto standumas. Pagal šios analizės rezultatus parenkama skaičiavimų metodika, sudaromos skaičiuojamosios schemos skaitiniam modeliavimui.
2. Išanalizavus skaitinio modeliavimo rezultatus nustatyta, kad didžiausius įtempius ir deformacijas bėgių galvutėse labiausiai įtakoja didėjantis balasto standumas bei rato apkrova. Kartojantis rato apkrovai yra didelė tikimybė, kad bėgių galvutėje pradės vystytis nuovarginio pobūdžio pažeidimai.
3. Didžiausi įtempiai ir deformacijos glemžiamuose bėgių ir tvarslių skylių paviršiuose bei kerpamuose varžtų skerspjuvniuose atsiranda, kai ilgabėgius veikia temperatūrinės tempimo jėgos. Dėl didelių kirpimo įtempių sandūriniai varžtai gali būti nupjauti, o dėl skylių glemžimo, gali būti pažeidžiamos izoliuojančios įvorės, kurios neleidžia sandūriniams varžtams kontaktuoti su bėgiu.
4. Analizuojant paviršius, kuriais tvarslė kontaktuoja su bėgiu nustatyta, kad mažėjant kelio pagrindo standumui pradeda didėti tvarslės lenkimo įtempiai. Riedmenims judant per izoliuotąją sandūrą, kartojantis šiems įtempiams bei deformacijoms, tvarslėje gali pradėti vystytis mikro įtrūkimai, kurie toliau gali progresuoti ir tvarslė gali lūžti.
5. Tarpiklis – labiausiai besideformuojantis izoliuotosios sandūros elementas. Didžiausios deformacijos gaunamos esant mažam balasto standumui bei tada, kai ilgabėgius veikia temperatūrinės gniuždymo jėgos. Smarkai deformuotas tarpiklis gali sukelti bėgių grandinės užtrumpinimą.
6. Didžiausi bėgių įlinkiai gaunami esant mažiausiam balasto standumui. Didžiausi pirmojo bėgio įlinkiai siekia 1,83 mm, antrojo 1,87 mm. Šaltuoju metų laikotarpiu bėgiai įlinksta mažiausiai dėl didelio balasto standumo ir jie tesiekia 0,5 mm.
7. Didžiausi bėgių poslinkiai gaunami, kai ilgabėgius veikia temperatūrinės jėgos. Tarpelis tarp bėgių labiausiai susiaurėja šiltuoju metų laikotarpiu, kai ilgabėgius veikia temperatūrinės gniuždymo jėgos, o didžiausias praplatėjimas atsiranda šaltuoju laikotarpiu, kai ilgabėgiai traukiasi. Didžiausias praplatėjimas siekia 0,343 mm, o susiaurėjimas 0,486 mm.

INFORMACINIŲ ŠATINIŲ SĄRAŠAS

1. Bazaras Ž. Geležinkelio sąstato dinamika. Vilnius: Edukologija, 2013. 211 p.
2. Besandūrio kelio tiesimo ir priežiūros instrukcija, 145/K. Vilnius: UAB „Gelspa“, 2003.
3. Gailienė I. Geležinkelių valdymas ir eismo organizavimas. Vilnius: Technika, 2014. 168 p.
4. Geležinkelio kelio priežiūros taisyklės. Vilnius: „Lietuvos geležinkeliai“ leidybos centras, 1999. 214 p.
5. Lingaitis L. P. Geležinkeliai. Bendras kursas. Vilnius: Technika, 2009. 280 p.
6. Pavaras A., Žvinys J. Plienai. Kaunas: Technologija, 1995. 415 p.
7. Podagėlis I., Povilaitienė I. Geležinkelių inžinerija. Viršutinė bėgių kelio konstrukcija. Vilnius: Technika, 2006. 112 p.
8. Sakalauskas K. Geležinkelių projektavimas. Vilnius: Technika, 2012. 176 p.
9. Sakalauskas K., Laurinavičius A., Padogėlis P. Geležinkelių inžinerija 2. Konstrukcija. Priežiūra. Technologija. Vilnius: Technika, 2000. 276 p.
10. Ščemeliovas J. Inžinerinės medžiagos ir jų gamybos bei apdorojimo technologijos. Vilnius: Technika, 2008. 116 p.
11. Žiliukas P., Palionis A., Liutkevičius M., Eidukynas V. Mašinų elementai: analizė, konstravimas ir taikymas. Kaunas: Technologija, 1999. 133 p.
12. Hossein Askarinejad, Manicka Dhanasekar, Colin Cole. Assessing Effects of Track Input to the Response of Insulated Rail Joints through Field Experiments. Centre for Railway Engineering, Central Queensland University, Australia. 25 October, 2015. [žiūrėta 2016-03-12]. Prieiga per internetą: <http://www.researchgate.net/publication/264325856>
13. U.S. Department of Transportation. Effects of Track Parameters on Rail Joint Stresses and Crack Growth. April, 2013. [žiūrėta 2016-03-12]. Prieiga per internetą: http://ntl.bts.gov/lib/44000/44800/44820/Effects_of_Track_Parameters_on_Rail_Joint_Bar_Stresses_and_Crack_Growth.pdf
14. Huan Feng. 3D-models of Railway Track for Dynamic Analysis. Division of Highway and Railway Engineering Department of Transport Science. Stockholm, November, 2011. [žiūrėta 2016-03-12]. Prieiga per internetą: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:467217/FULLTEXT01.pdf>
15. Wu Cai, Zefeng Wen, Xuesong Jin, Wanming Zhai. Dynamic stress analysis of rail joint with height difference defect using finite element method. 26 January, 2007. [žiūrėta 2016-03-12]. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/245161739_Dynamic_stress_analysis_of_rail_joint_with_height_difference_defect_using_finite_element_method
16. Sunil Patel, Veerendra Kumar, Raji Nareliya. FATIGUE ANALYSIS OF RAIL JOINT USING FINITE ELEMENT METHOD. International Journal of Research in Engineering and Technology. ISSN: 2319-1163. [žiūrėta 2016-03-22]. Prieiga per internetą: <http://esatjournals.net/ijret/2013v02/i01/IJRET20130201016.pdf>

17. Jemil Degife. FATIGUE ANALYSIS OF AALRT BOLTED RAIL JOINT. School of Mechanical and Industrial Engineering. March, 2015. [žiūrėta 2016-03-22]. Prieiga per internetą: <http://esatjournals.net/ijret/2013v02/i01/IJRET20130201016.pdf>
18. Nannan Zong, Manicka Dhanasekar. Experimental Studies on the Performance of Rail Joints with Modified Wheel-Railhead Contact. 26 October, 2015. [žiūrėta 2016-03-22]. Prieiga per internetą: <http://www.ejse.org/Archives/Fulltext/2013sp/Structural%20and%20Material%20Characterisation%20of%20Insulated%20Rail%20Joints.pdf>
19. Tao Pang. Dynamic Finite Element Analysis Of The Wheel – Rail Interaction Adjacent To The Insulated Rail Joints. Central Queensland University, QLD 4702, Australia. September 24-26, 2006. [žiūrėta 2016-02-14]. Prieiga per internetą: <http://acquire.cqu.edu.au:8080/vital/access/manager/Repository/cqu:363>
20. Anne K. Himebaugha, Raymond H. Plauta, David A. Dillardb. Finite element analysis of bonded insulated rail joints. International Journal of Adhesion & Adhesives 28 (2008) 142–150. 11 October, 2007. [žiūrėta 2016-02-14]. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014374960700070X>
21. Yung-Chuan Chen, Li-Wen Chen. Effects of insulated rail joint on the wheel/rail contact stresses under the condition of partial slip. Department of Vehicle Engineering, National Pingtung University of Science and Technology, Hseuh Fu Rd., Nei Pu Hsiang, Pingtung 91201, Taiwan. 19 September, 2005. [žiūrėta 2016-04-07]. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043164805004291>
22. Nirmal Kumar Mandal, Brendan Peach. An Engineering Analysis of Insulated Rail Joints: A General Perspective. Centre for Railway Engineering Faculty of Sciences, Engineering and Health CQUniversity, Rockhampton Queensland 4702, Australia. 26 October, 2015. [žiūrėta 2016-03-18]. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/50346113_An_Engineering_Analysis_of_Insulated_Rail_Joints_A_General_Perspective
23. E. Kabo, J. C. O. Nielsen, and A. Ekberg. Prediction of dynamic train-track interaction and subsequent material deterioration in the presence of insulated rail joints. Vehicle System, 44:718–729, 2006. [žiūrėta 2016-04-01]. Prieiga per internetą: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00423110600885715>
24. Akhtar, M.N. and Davis, D.D. (2008) Preliminary results of prototype insulated joint tests at the Facility for Accelerated Service Testing, U.S. Department of Transportation, Federal Railroad Administration, RR08-11. [žiūrėta 2016-03-12]. Prieiga per internetą: <http://ntl.bts.gov/lib/42000/42800/42892/rr0811.pdf>

25. Igwemezie J., Nguyen A. Anatomy of joint bar failures. Railway Track and Structures. July, 2009: 31-37. [žiūrėta 2016-03-16]. Prieiga per internetą:
<http://www.nxtbook.com/nxtbooks/sb/rts1009/index.php?startid=43#/48>
26. Nirmal Kumar Mandal. Plastic ratchetting of railhead material in the vicinity of insulated rail joints with wheel and thermal loads. Central Queensland University. Centre for Railway Engineering, Rockhampton 4702, Australia. [žiūrėta 2016-02-22]. Prieiga per internetą:
https://www.researchgate.net/publication/264425374_Ratchetting_of_railhead_material_of_insulated_rail_joints_IRJs_with_reference_to_endpost_thickness
27. Anne K. Himebaugh. Finite Element Analysis of Insulated Railroad Joints. November 28, 2006. Blacksburg, Virginia. [žiūrėta 2016-03-15]. Prieiga per internetą:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014374960700070X>
28. Daniel Peltier. Evaluating Epoxy Debonding In Bonded Insulated Rail Joints. University of Illinois at Urbana-Champaign. 54 p. [žiūrėta 2016-03-15]. Prieiga per internetą:
http://railtec.illinois.edu/CEE/pdf/PPT's/fall08/Peltier_8-29-08.pdf
29. Saeed Mohammadzadeh, Majeed Sharavi, Hassan Keshavarzian. Reliability analysis of fatigue crack initiation of railhead in bolted rail joint. ENGINEERING FAILURE ANALYSIS. April, 2013. [žiūrėta 2016-03-15]. Prieiga per internetą:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350630712002580>
30. David Davis, Jay Baillargeon, Luis Maal. Effects of Track Parameters and Maintenance on Joint Bars. Federal Railroad Administration. 2012. [žiūrėta 2016-04-12]. Prieiga per internetą:
http://ntl.bts.gov/lib/44000/44800/44820/Effects_of_Track_Parameters_on_Rail_Joint_Bar_Stresses_and_Crack_Growth.pdf
31. http://vddb.laba.lt/fedora/get/LT-eLABa-0001:E.02~2010~D_20100628_093343-86974/DS.005.0.01.ETD
32. <http://www.railway-fasteners.com/tie-plate.html>
33. <http://www.oakleysteel.co.uk/thick-steel-plates/steel-information/guide-en-10027-steel-names>
34. <http://www.rtpcompany.com/products/product-guide/nylon-66-pa-polyamide-66/>
35. <http://www.plastic-products.com/spec1.htm>
36. <http://www.polymerprocessing.com/polymers/PA66.html>
37. <http://www.metalurgija.lt/s275jr-plieno-marke-mechanines-charakteristikos-chemine-sudetis>
38. www.gelsistemas.lt/wp-content/uploads/2009/10/SM_GET.doc
39. <http://www.litrail.lt/>
40. Gelžbetoninis pabėgis ir reikalavimai gelžbetoniniams pabėgiams. [žiūrėta 2016-04-01]. Prieiga per internetą: http://www.iae.lt/static/pirkimai/pabegiu_pirkimo_specifikacija_2012.pdf
41. Bėgių sąvaržos. [žiūrėta 2016-04-01]. Prieiga per internetą:

<http://drogizelazne.org/przytwierdzenia.html>

42. Išlūžęs bėgis. [žiūrėta 2016-04-05]. Prieiga per internetą:
<http://i3.examiner.co.uk/incoming/article10470836.ece/ALTERNATES/s615b/JS76994453.jpg>
43. Nutrukęs bėgis. [žiūrėta 2016-04-01]. Prieiga per internetą:
<http://www.networkrail.co.uk/assets/0/72/4294967297/2147483713/30064774167/30064774191/d410e7df-6c01-429d-b5eb-54c9190f2454.jpg>
44. Bėgių sujungimas, kai sandūra tarp dviejų pabėgių. [žiūrėta 2016-04-05]. Prieiga per internetą:
<http://www.ansto.gov.au/cs/groups/corporate/documents/stillimage/mdaw/mda1/~edisp/acs015411.jpg>
45. Bėgių sujungimas ant suporintų pabėgių. [žiūrėta 2016-04-20]. Prieiga per internetą:
<http://www.nonstopsystems.com/radio/img-hell/hell-brnhrd-rail-joint-A.jpg>
46. Klijuotinė izoliuotoji sandūra. [žiūrėta 2016-04-20]. Prieiga per internetą:
<http://www.rdb.lt/index.swf>
47. Sandūrinių varžtų pradinio užveržimo žymėjimas. [žiūrėta 2016-03-20]. Prieiga per internetą:
<https://www.youtube.com/watch?v=vbjPLKWJ24>
48. Bėgio metalo pertekliaus šalinimas iš sandūros zonos kampiniu šlifukuokliu. [žiūrėta 2016-03-20]. Prieiga per internetą: <https://www.youtube.com/watch?v=vbjPLKWJ24>
49. Tarpelio užpildymas izoliuojančia medžiaga. [žiūrėta 2016-03-20]. Prieiga per internetą:
<https://www.youtube.com/watch?v=vbjPLKWJ24>
50. Lūžusi tvarslė. [žiūrėta 2016-03-20]. Prieiga per internetą: http://interfacejournal.com/wp-content/uploads/2013/10/fig3_600x415.jpg
51. Neišardoma izoliuotoji klijuotinė sandūra. [žiūrėta 2016-04-20]. Prieiga per internetą:
<http://wiki.ircen.gov.in/doku/lib/exe/fetch.php?media=811:6gluedirjoint.pdf>