



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

Simas Sargūnas

BĖGIŲ DEFEKTŲ ĮTAKOS BĖGIO IR RATO SAŲVEIKAI TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas
Doc. dr. Robertas Keršys

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

BĖGIŲ DEFEKTŲ ĮTAKOS BĖGIO IR RATO SAŲVEIKAI TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Transporto priemonių inžinerija (621E20001)

Vadovas

(parašas) Doc. dr. Robertas Keršys
(data)

Recenzentas

(parašas) Doc. dr. Ramūnas Skvireckas
(data)

Projektą atliko

(parašas) Simas Sargūnas
(data)

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS KATDERA

Suderinta:

2015 m. rugsėjo mėn. 5 d.

MAGISTRO BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota studentui: *Simas Sargūnas*

1. Projekto tema: Bėgių defektų įtakos bėgių ir rato sąveikai tyrimas

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

2. Projekto tikslas: Ištirti bėgių defektų įtaką bėgio ir rato sąveikai.

3. Projekto uždaviniai ir reikalavimai: Apžvelgti pagrindinius bėgių defektus, jų aptikimo būdus, jų ženklinimą bei remonto darbus. Nustatyti pavojingiausias bėgių defektus bei jų pagrindines atsiradimo priežastis. Naudojantis SolidWorks programa sudaryti rato ir bėgių su defektais skaitinius modelius. ANSYS 16.2 „Student edition“ programos aplinkoje ištirti bėgių defektų įtaką bėgio ir rato sąveikai. Nustatyti bėgiuose susidarančius įtempius, esant įvairiems bėgių defektų parametrams.

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: Robertas Keršys

(vardas, pavardė)

(parašas)

Užduotį gavau: Simas Sargūnas

(studento vardas, pavardė)

(parašas)

¹ Esant reikalui, suderinus su katedros vedėju



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas 621E20001

(Fakultetas)

Simas Sargūnas

(Studento vardas, pavardė)

Transporto priemonių inžinerija

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Bėgių defektų įtakos bėgių ir rato sąveikai tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 16 m. _____ d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Simo Sargūno**, baigiamasis projektas tema „Bėgių defektų įtakos bėgio ir rato sąveiklos 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)

Sargūnas, Simas. Bėgių defektų įtakos bėgio ir rato sąveikai tyrimas. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Robertas Keršys; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: *defektas, bėgis, gedimas, defektų kontrolė.*

Kaunas, 2016. 53 p.

SANTRAUKA

Darbe apžvelgta viršūtinė bėgio kelio konstrukcija, atsirandantys defektai ir jų aptikimo būdai. Su SolidWorkds programa buvo sumodeliuoti trys pagrindiniai defektų tipai, su pasirinktomis jų variacijomis, pasitaikantys bėgiuose. Skaičiavimai atlikti ANSYS „Student edition“ programos aplinkoje. Gauti rezultatai buvo palyginami, nustatyta, kad didėjant greičiui ir esant pavojingesniems defektams, įtempiai bei deformacijos didėja.

Sargūnas, Simas. *Research of Rail Defects Influences on Interaction of Wheel and Rail: Master's thesis/ supervisor assoc. prof. Robertas Keršys*. The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Research area and field: *defect, rail, deterioration, control of the defects*.

Key words: Technological Science, Transport Engineering (03T)

Kaunas, 2016. 53 p.

SUMMARY

This paper is focused on defects which occur in rail constructions and on the ways of finding them. Three main types of railway defects were designed using SolidWorks programme, with some differences to each other. Calculations were carried out in ANSYS „Student edition“ programme. After carried out analysis the results were established that according to increased speed and dangerous railway defects the stresses and deformations become bigger.

Turinys

Įvadas	13
1. Viršutinė bėgių kelio konstrukcija.....	7
1.1 Bėgiai, jų tipai ir charakteristikos.....	7
1.2 Sąvaržos.....	9
1.3 Pabėgiai	12
1.4 Balastas.....	13
1.5 Bėgių kelio vėžė ir vėžės plotis.....	13
1.6 Viršutinės bėgių kelio konstrukcijos stiprumo įvertinimas.....	14
1.7 Jėgos veikiančios bėgį nustatymas	14
1.8 Bėgių defektai, jų atsiradimo priežastys, aptikimas	15
1.9 Defektnių ir itin defektnių bėgių ženklinimas.....	16
1.9 Defektų aptikimas.....	18
1.10 Bėgių gedimų profilaktika.....	20
2. Analitiniai skaičiavimai	21
2.1 Vidutinės vertikaliosios bėgio apkrovos skaičiavimas.....	21
3. Bėgio ir rato skaičiuojamojo modelio analizė.....	22
3.1 Rato modelio sudarymas	22
3.2 Bėgio modelio sudarymas	23
3.3 Modelio analizė ANSYS programa.....	24
4. Rezultatų analizė	25
4.1 Skersiniai įtrūkimai bėgio galvutėje.....	25
4.2 Paviršiniai bėgio defektai galvutėje.	36
4.3 Metalų ištrupėjimas galvutėje.	44
Darbo apibendrinimas ir rezultatų palyginimas	49
Išvados	50
Literatūros sąrašas.....	51

Įvadas

Bėgių priežiūra privalo užtikrinti tvarkingą jų būklę, garantuojančią saugų ir sklandų traukinių eismą nustatytais greičiais. Pagrindinis bėgių priežiūros tikslas yra, kad jie atitiktų leistinas nuokrypas, kad būtų užtikrintas ilgalaikis naudojimas, kad laiku būtų pašalinti bėgių defektai.

Pagrindinis šio baigiamojo darbo tikslas - ištirti bėgių defektų įtaką bėgio ir rato sąveikai.

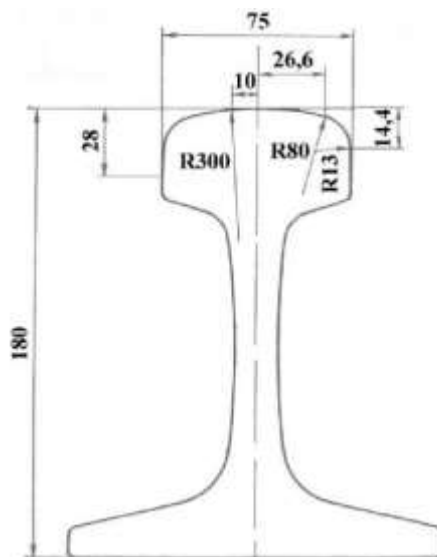
Pagrindiniai darbo uždaviniai šiame darbe buvo:

- Išanalizuoti pagrindinius bėgių defektus;
- Apžvelgti jų aptikimo būdus ir remonto darbus;
- Parinkti pagrindinius tris, pavojingiausius defektus ir su jais atlikti skaičiavimus ir nustatyti kokie susidaro įtempiai, kuris iš defektų turi didžiausią įtaką bėgiui ar ratui. Darbe buvo analizuojami realūs duomenys gauti iš Lietuvos geležinkelių;
- Su SolidWorks 2015 programa sumoduliuoti tiriamąjį modelį ir juos įvertinti su ANSYS 16.2 „Student edition“ programa.

1. Viršutinė bėgių kelio konstrukcija

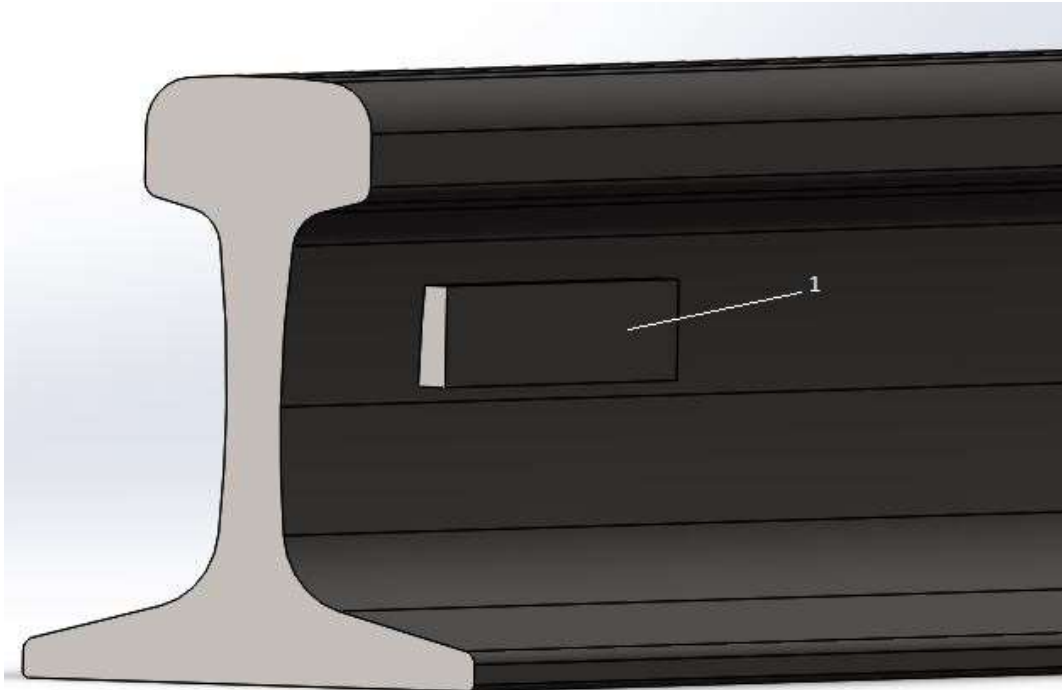
1.1 Bėgiai, jų tipai ir charakteristikos

Viršutinė bėgių kelio konstrukcija – tai dalis, esanti virš sankasos, pagrindinė viršutinės bėgių kelio konstrukcijos paskirtis – išlaikyti riedmenis ir paskirstyti apatines konstrukcijas veikiančias apkrovas. Ši konstrukcija susideda iš daugelio elementų, kurių vieni iš pagrindinių yra: bėgiai, balastas, iešmai, pabėgiai, sankasa ir kt. Bėgiai – tai plieninės valcuotos specifinio dvitėjinio profilio sijos, kreipiančios ir laikančios ratus. Bėgiai skirti perimti ir tarpiai perduoti apkrovas nuo ratų į atramas (pabėgius) ir reikiama kryptimi nukreipti riedmenų ratus. Bėgiai turėtų būti ilgaamžiški, patikimi eksploatuojant, turi būti atsparūs dilimui, kieti ir kartu netrapūs, nes jie turi atlaikyti dideles apkrovas. Bėgį sudaro galvutė, kakliukas ir padas (1.1.1 pav.). Bėgio galvutė, tai viršutinė bėgio dalis, kurios paviršiumi važiuoja riedmens ratai ir kurioje dažniausiai susidaro defektai. Bėgio kakliukas, tai bėgio dalis, kuri jungia galvutę ir padą. Bėgio padas, tai dalis kuri remiasi į pabėgį ir perduoda apkrovas į apatinę bėgio kelio konstrukcija. [1,2]



1.1.1 pav. R75 bėgio skersinis profilis. Visi matmenys pateikti milimetrais, mm. [4]

Bėgių tipas, tai charakteristika, kuri nusako 1 metro masę, pvz: bėgio sveriantis 65 kg, bus R65 tipo bėgis. Daugiausiai Lietuvoje yra naudojami 50-65 kg masės bėgiai (R50, R60, R65.), jų standartinis ilgis būna 25 m, dar yra naudojami trumpi, kurių ilgis 12,5 m bei ilgabėgiai, kurių ilgis gali varijuoti, priklausomai nuo tiesiosios ilgio, bei reikalingumo. Kokybinės charakteristikos ant bėgių pažymėtos ant pačio bėgio 1.1.2 pav.



1.1.2 pav. Kaklelyje esančioje lentelėje 1 yra pažymėtas gamyklos indeksas, gaminimo data ir bėgio tipas.

1.1.1 lentelė [1]

Rodikliai	Bėgių tipas		
	R 50	R 65	UJC 60E1
1 m masė, kg	51,67	64,72	60,21
Bendras aukštis, mm	152,00	180,00	172,00
Galvutės aukštis, mm	42,00	45,00	51,00
Galvutės plotis, mm	72,00	75,00	72,00
Pado plotas, mm	132,00	150,00	150,00
Pjūvio plotas, cm ²	65,99	82,65	-
Inercijos momentas, cm ⁴	2011,00	3540,00	-

1.1.1 lentelėje pateiktos pagrindinės bėgių charakteristikos pateiktos

Bėgių paviršius yra labai lygus ir turi mažą trintį. Bėgiai palyginus su kitomis kelio rūšimis užima mažiau vietos. Bėgiams keliami tokie reikalavimai: jie turi būti pakankamai stiprūs, ilgaamžiški, patikimi eksploatuojant, atsparūs dilimui, kieti ir kartu pakankamai netrapūs, nes bėgiai turi atlaikyti dideles dinamines apkrovas vertikaliąja, išilgine ir skersine kryptimis [1].

Bėgiai gaminami iš geležies rūdos, kurioje yra plieno sudaryto iš anglies C (0,67% - 0,82%), mangano Mn (0,75% - 1,05%), silicio Si (0,13% - 0,28%) ir kitų elementų kaip fosforo bei sieros. Anglis padidina bėgių kietumą, o kartu ir atsparumą nusidėvėjimui. Padidėjus anglies kiekiui, padidėja ir atsparumas nusidėvėjimui apie du kartus, tačiau negalima per daug didinti anglies kiekio, nes tada atsparumas padidėja nežymiai ir atsiranda bėgių trapumas. Vienas iš naudojamų elementų manganas yra labai reikalingas, nes jis didina atsparumą nusidėvėjimui. Fosforas ir siera yra kenksmingi priedai, bet jų negalima panaikinti, nes jie įeina į geležies rūdos, iš kurios gaminamas plienas bėgiams. Fosforas ir siera didina plieno trapumą ir jų kiekis neturi viršyti 0,035% ir 0,045% [2].

1.2 Sąvaržos

Bėgiai tarpusavyje yra jungiami ir prie pabėgių tvirtinami sąvaržomis. Sąvaržos yra skirstomos į bėgio sąvaržas ir sandūros sąvaržas. Sandūros yra skirstomos į bėgio sąvaržas ir sandūros sąvaržas. Sandūros sąvaržos jungia bėgius tarpusavyje, bėgio sąvaržos jungia bėgius su pabėgiais [3].

Bėgiai tarpusavyje jungiami antšovomis (tvarslėmis). Tvarslės konstrukcijai keliami trys pagrindiniai reikalavimai:

- Perimti lenkimo momentą ir skersinę jėgą sandūroje. Šis reikalavimas lemia tai, kad sandūra turi būti vientisa ir stipri, kad sandūros elementai būtų pakankamai 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.
- Bėgio sąvaržos sujungia bėgius su pabėgiais. Pagrindinės bėgių sąvaržų funkcijos:
- Patikimai sujungti bėgius su pabėgiais, t.y. kad būtų užtikrintas bėgių stabilumas poslinkiui skersine ir išilgine kryptimis;
- Elastingai perimti apkrovas nuo bėgių ir perduoti jas pabėgiui;
- Slopinti vibraciją ir smūgius, kuriuos sukelia riedmenų eismas;
- Išlaikyti vėžės plotį ir bėgio pokrypį neviršijant leistinųjų nuokrypių;
- Atlikti izoliacinės medžiagos funkcijas tarp bėgių ir pabėgių, ypač jei yra gelžbetoniniai arba metaliniai pabėgiai.

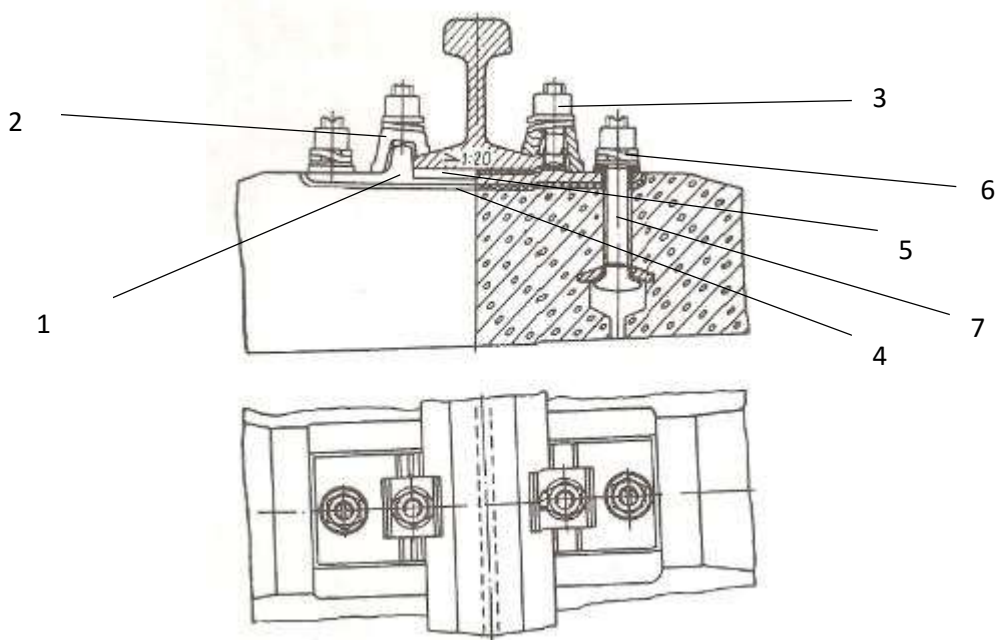
Sąvaržas galima skirstyti į paprastas, sudėtingas ir mišrias. Paprastąją bėgio sąvaržą bėgis tvirtinamas prie pabėgio kartu su padėklu, sudėtinga – bėgis tvirtinamas prie padėklo, o padėklas tvirtinamas prie pabėgio, mišriąją – bėgis tvirtinamas prie pabėgio mišriuoju būdu: yra paprastojo ir sudėtinio tvirtinimo elementų [3].

Paprasciausias bėgių tvirtinimo prie pabėgių (medinių) būdas pavaizduotas 1.2.1 pav.

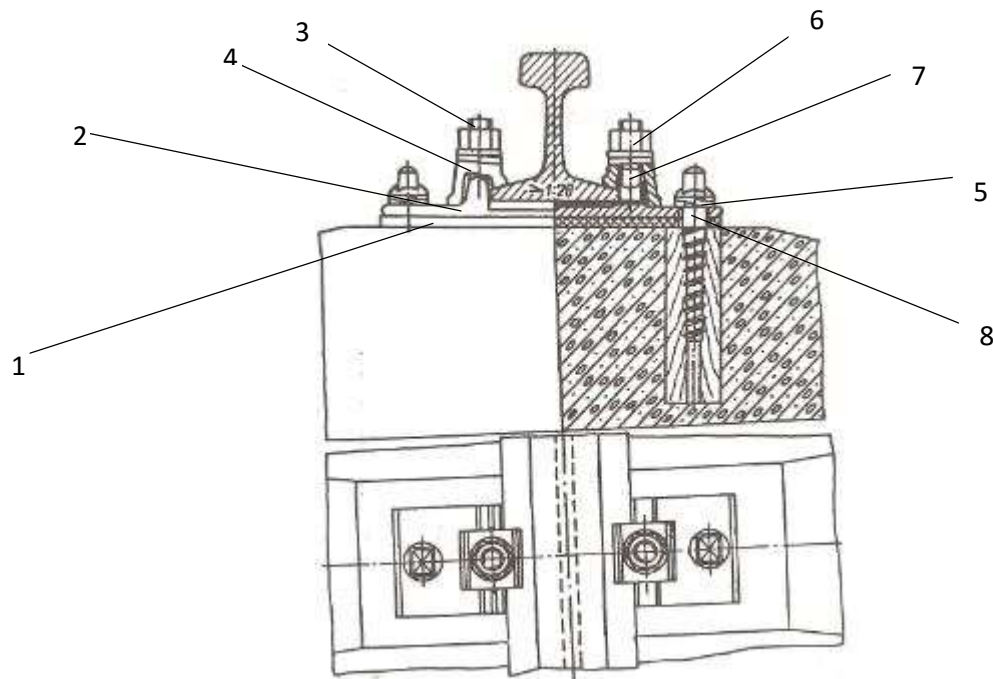


1.2.1 pav.

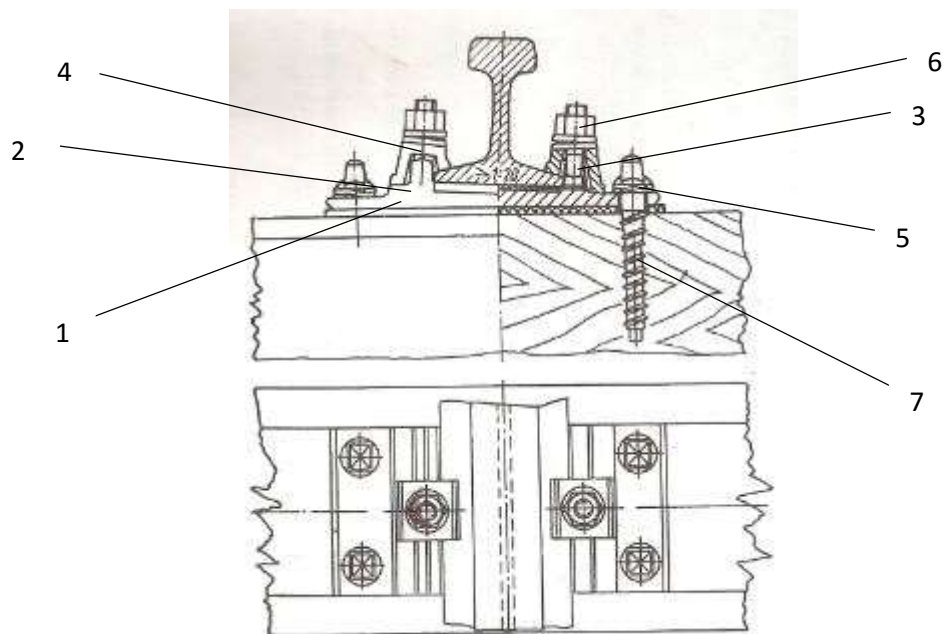
Mišriosios sąvaržos naudojamos esant gelžbetoniniams ir mediniams pabėgiams. Tokios sąvaržos pritvirtina bėgį prie padėklo kiekviename pabėgio gale dviem standžiais arba tampriaisiais gnybtais ir dviem bėgvaržčiais. Padėklas tvirtinamas prie medinio pabėgio keturiais sraigtais, prie gelžbetoninio pabėgio – dviem sraigtais arba dviem padėklo varžtais. Po bėgio padu, taip pat ir tarp pabėgio ir padėklo dedami amortizuojantieji ir izoliuojantieji tarpikliai (1.2.2 pav.) [3].



1.2.2 pav. Mišrioji KB tipo sąvarža: 1 – padėklas; 2 – gnybtas; 3 – veržlė; 4 – tarpinė po padėklu; 5 – tarpinė po bėgio padu; 6 – poveržlė; 7 – įdedamas varžtas [4]



1.2.3 pav. Mišrioji K2 tipo sąvarža: 1 – tarpinė; 2 – padėklas; 3 – varžtas; 4 – gnybtas; 5 – spyruoklinė poveržlė; 6 – veržlė; 7 – gnybto varžtas; 8 – plastikinis kaištis [4]



1.2.4 pav. Mišrioji D2 tipo sąvarža: 1 – tarpinė; 2 – padėklas; 3 – varžtas; 4 – gnybtas; 5 – spyruoklinė poveržlė; 6 – veržlė; 7 – gnybto varžtas [4]

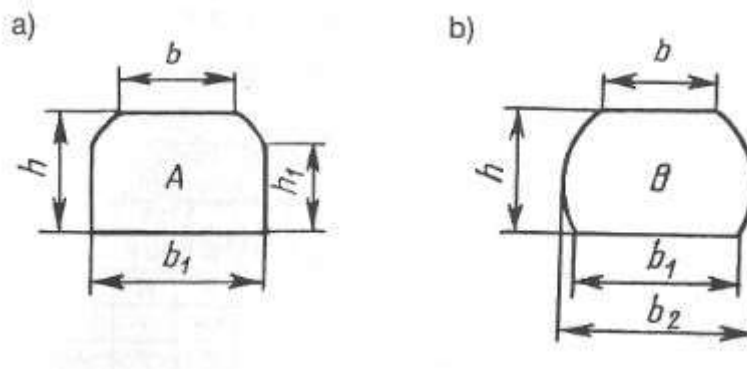
Vis daugiau geležinkelio keliuose naudojant besandūrį bėgių kelią, dažniau naudojamos elastingės sąvaržos. Itin šių sąvaržų naudojimas aktualus naudojant gelžbetoninius pabėgius [4].

1.3 Pabėgiai

Bėgio atramomis gali būti pabėgiai, puspabėgiai, gelžbetoninės plokštės, rėmai ir kitos konstrukcijos. Iš visų išvardintų bėgio atramų plačiausiai naudojami pabėgiai. Dabar dažniausiai naudojami gelžbetoniniai ir mediniai pabėgiai. Metaliniai pabėgiai labai retai naudojami dėl greitos jų korozijos, sąlygiškai aukštos kainos.

Pabėgis, tai viršutinės kelio konstrukcijos elementas, dedamas skersai kelio bėgiams tvirtinti ir jų apkrovoms perduoti antpilui. Pagrindinės pabėgių funkcijos yra šios – užtikrinti galimybę pritvirtinti prie jų bėgius, priimti vertikaliąsias, šonines ir išilgines bėgiams apkrovas ir perduoti jas balastui, išlaikyti nuolatinį bėgio kelio vėžės plotį ir bėgio posvyrį, užtikrinti elektros izoliaciją tarp dviejų bėgio juostų [1,2,3].

Pabėgiai turi būti tamprūs ir patikimi, atsparūs mechaniniams poveikiams ir ilgaamžiški. Mediniai pabėgiai gali būti gaminami iš minkštos medienos arba kietmedžio. Kietmedžio pabėgiai yra stipresni, atsparesni dilimui, todėl dažniausiai naudojami iešmuose, mažo spindulio kreivėse, ten, kur įrengiamos sąvaržos be padėklo. Vidutinis medinių pabėgių, apdorotų antiseptikais, paklotų kelyje, naudojimo laikas yra 15 metų (kietmedžio pabėgių – iki 50 metų). Mediniai pabėgiai skirstomi į du tipus, apipjauti iš keturių pusių ir apipjauti iš dviejų pusių 1.3.1 pav [1,2,3].



1.3.1 pav. Medinių pabėgių tipai: a – apipjautiniai, b – neapipjautiniai [4]

Medinių pabėgių storis apipjautinių ir neapipjautinių pabėgių vyrauja nuo 150 iki 180 mm, plotis nuo 150 iki 165 mm, nuopjovos aukštis b_1 nuo 230 iki 250 mm, neapipjautinių nuo 250 iki 280 mm, apipjautinių h_1 nuo 105 iki 150 mm.

Kita pabėgių rūšis yra gelžbetoniniai pabėgiai, kurie buvo pradėti naudoti po Antrojo pasaulinio karo, atsiradus medienos trūkimui, pradėjus naudoti besandūrį kelią. Jų privalumui yra tokie, kad yra sunkūs (200-300 kg), šis svoris užtikrina gerą kelio stabilumą; ilgaamžiskumas ir lengva gamyba. Pagrindinis defektas gelžbetoninių bėgių yra tas, kad nuo smūgių gali atsirasti pabėgių defektų, nes yra mažiau tamprūs, nei mediniai pabėgiai [1,2,3].

1.4 Balastas

Balastas – tai ant sankasos pilamos birios rupios mineralinės medžiagos sluoksnis, skirtas sankasos paviršiui drenuoti ir per ją perduodamomis pabėgių apkrovoms amortizuoti. Pagal medžiagą yra skaldos, žvyro, smėlio ar kitoks antpilas. Medžiagos, naudojamos balastui, turi būti patikimos, netrupėti, būti tamprios žiemą be vasarą, gerai praleisti vandenį, nedulkėti.

Pagrindiniai reikalavimai keliami balastui yra šie: perimti apkrovas nuo pabėgių ir tampa jas perduoti į sankasos pagrindinę aikštelę; priešintis šoniniams ir išilginiams pabėgių poslinkiams veikiant riedmens apkrovoms; neleisti, kad paviršinis vanduo būtų ant kelio ir neleisti kapiliariniam vandeniui pakilti iki pabėgių; amortizuoti riedmenų ratų smūgius, atsirandančius dėl kelio ir ratų nelygumo. [1,4]

1.5 Bėgių kelio vėžė ir vėžės plotis

Bėgių kelio vėžė – tai geležinkelio bėgiai, pritvirtinti prie pabėgių tam tikru atstumu vienas nuo kito ir sudarantys kelią. Geležinkelio vėžė apibūdinama jos pločiu S ir bėgių išdėstymu pagal lygį. Tam, kad riedmenų važiavimas kreive būtų paprastesnis, geležinkelio vėžė kreivėse yra platinama.

Vėžės plotis, jos paplatėjimas ir leistinosios nuokrypos priklauso nuo riedmenų važiuoklės, ir tai daro įtaką jų konstrukcijai, dydžiams ir leistiniams nuokrypiams. Riedmenų važiuoklės svarbiausi ypatumai: ratai yra kūgio formos ir turi antibriaunius, atstumus tarp vidinių ratų briaunų yra pastovus, ašys yra lygiagrečios. Vėžės plotis tiesėje yra pastovus dydis, lygus 1520 mm. Esant tokiam vėžės pločiui, atstumas tarp ratų vidinių briaunų yra 1440 mm. Ašių lygiagretumas reikalingas tam, kad ašys neišsikreivintų ir ratai neįkristų į vėžės vidų. Tiesiuose geležinkelio kelio ruožuose visada yra bėgių galvučių vidinių briaunų ir riedmenų ratų antibriaunių tarpelis yra:

$$\delta = \delta_1 + \delta_2$$

Taip užtikrinamas laisvas riedmenų važiavimas, esant mažiausioms rato ir bėgio sąveikos jėgoms. Vagonams, kai traukinių greitis yra iki 120 km/h maksimalus δ yra 37 mm, kai greitis nuo 120 iki 140 km/h – 29 mm.

Vėžės plotis – atstumas tarp vieną kelią sudarančių bėgių galvučių viršutinių vidinių briaunų.

Vėžės plotis nustatomas ne visose šalyse vienodai, Lietuvoje vėžės plotis matuojamas 13mm žemiau rato ir bėgio sąlyčio taško. Lietuvoje ir NVS šalyse iki 1985 m. vėžės plotis buvo 1524mm, o neužilgo, tais pačiais metais siekiant pagerinti riedmenų ir bėgių eksploatacines savybes vėžės plotis buvo pakeistas į 1520mm. [1,4]

1.6 Viršutinės bėgių kelio konstrukcijos stiprumo įvertinimas

Konstrukcijos stiprumas – tai konstrukcijos savybė nesuirti dėl mechaninių veiksnių. Nagrinėjant geležinkelio kelio konstrukciją, stiprumas – tai geležinkelio kelio konstrukcijos savybė nesuirti dėl traukinio ir temperatūrinių apkrovų. [1,3]

Stiprumo įvertinimas, atsižvelgiant į viršutinės kelio konstrukcijos tipą, traukinio apkrovą, traukinių važiavimo greitį, leidžia nustatyti: įtempius bėgiuose; įtempius po padėklais bei įtempius balaste po pabėgiais.

Gautus skaičiavimo rezultatus lyginant su leistinaisiais dydžiais, įvertinama kelio įtempių ir deformacijų būseną, jo stiprumo atsarga, traukinių eismo saugumas. [3]

1.7 Jėgos veikiančios bėgį nustatymas

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

Dinaminė skaičiuojamojo rato apkrova [3]:

$$F_{sk.din} = F_{vid.} + \lambda_p \sqrt{\Sigma \sigma_i^2}, \quad (1.1)$$

Čia $F_{vid.}$ – vidutinė vertikaloji 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:

$$F_{vid.} = F_{st.} + \bar{F}_{din}, \quad (1.2)$$

Čia $F_{vid.}$ – vidutinė dinaminė rato apkrova bėgiui skaičiuojamajame pjūvyje; $F_{st.}$ – statinė bėgio apkrova nuo rato, N.

Vidutinė dinaminė rato bėgio apkrova skaičiuojama formule:

$$\bar{F}_{din} = 0,75 \cdot F_{din.}; \quad (1.3)$$

$$F_{din} = U_{spyr} \cdot y_{max}; \quad (1.4)$$

Čia y_{max} – didžiausias spyruoklės įlinkis, m; U_{spyr} – spyruoklių standumas vienam ratui, N/m.

Vertikaliosios apkrovos lenkimo įtempiai bėgių galvutėse ir pado skaičiuojami pagal formulę [3]:

$$\sigma_g = \frac{M}{W_g}; \quad (1.5)$$

$$\sigma_g = \frac{M}{W_p} f \cdot 10^{-6} = \frac{f \cdot 10^{-6}}{4kW_p} (F_{sk.din.} + \sum F_{vid} \cdot \mu), \quad (1.6)$$

Čia W_g, W_p - bėgio skerspjūvio atsparumo momentai pado ir galvutės atžvilgiu.

Vidutiniai gniuždymo įtempiai po padėklais, esant mediniams pabėgiams ir tarpinėse, kai pabėgiai gelžbetoniniai σ_g, σ_m , Mpa, ir įtempiai balaste po kiekvienu pabėgių σ_b , Mpa skaičiuojami pagalv formules:

$$\sigma_{pab.med.} = \sigma_{pab.gb.} = \frac{k \cdot l_{pab} \cdot 10^{-6}}{2\omega} \cdot (F_{sk.din.} + \sum F_{vid} \cdot \eta) \leq [\sigma_{pab.med.}, \sigma_{pab.gb.}], \quad (1.7)$$

$$\sigma_b = \frac{k \cdot l_{pab} \cdot 10^{-6}}{2\Omega} \cdot (F_{sk.din.} + \sum F_{vid} \cdot \eta) \leq [\sigma_b.], \quad (1.8)$$

Čia ω – padėklo plotas, m; Ω – atraminio puspabėgio plotas, m. [3]

1.8 Bėgių defektai, jų atsiradimo priežastys, aptikimas

Eksplatacijos metu dėl bėgiais praleisto didelio tonažo krovinių, bėgiuose atsiranda pažeidimų ir susidaro defektų. Bėgis laikomas defektiniu, kai jo geometriniai matmenys neatitinka nustatytų normų reikalavimų, kurio kokybė yra pablogėjusi, bet dar jais galimas saugus traukinių eismas, tačiau, kai kuriais atvejais, reikalingas traukinio greičio apribojimas. Bėgių defektais laikomi: išlaužos, įtrūkiai, bėgio metalo atsisluoksniavimai ir ištrupėjimai, visų tipų nuodylos, plastinės glemžimo deformacijos, bėgio galvutės metalo nuoslankos, korozija, mechaniniai pažeidimai, kurių dydžiai didesni už norminiu dydžius. Bėgis laikomas netinkamu, kai juo negalimas traukinių eismas (visiškai netinkamas, kai bėgis lūžta) arba kai ribojamas traukinių greitis dėl pažeidimu. Bėgių pažeidimai klasifikuojami į ID (itin defektinis) – tai bėgis, dėl kurio kyla pavojus saugiam traukinių eismui dėl galimo iširimo po traukiniu arba ratų nuriedėjimo dėl šio bėgio. Aptiktą itin defektinį bėgį, reikia pašalinti iš kelio. DP (defektinis bėgis) – tai bėgis, kurio kokybė yra pablogėjusi, bet juo galimas saugus traukinių eismas, tačiau yra galimybė, kad jis gali pereiti į itin defektinį bėgį. Defektinį bėgį galima eksploatuoti tik apribojus traukinio greitį. DP bėgis gali būti priskirtas defektiniai (D1, D2, D3) kategorijai, atilikus defektų šalinimo darbus, be defekto pašalinimo (aplydymas, šlifavimas ir pan.). D1, D2, D3 – tai bėgiai, kurių savybės eksploatacijos metu neatitinka normų reikalavimų, bet jais dar galima saugiai važiuoti, tačiau kai kuriais atvejais reikalingas traukinio greičio apribojimas. Tokie bėgiai keičiami planine tvarka. Jų eksploatacijos režimas, iki bus pašalintas defektas arba pakeistas, nustatomas atsižvelgiant į konkrečias sąlygas. [4]

Pagrindiniai požymiai, pagal kuriuos bėgiai priskiriami prie itin defektinių bėgių keliuose: skersiniai, išilginiai arba įstriži, matomi ar vidiniai (aptinkami defektoskopijos priemonėmis) įtrūkiai galvutėje, nepaisant jų dydžio. Bet kurio dydžio įtrūkiai ir išlaužos, esantys galvutės perėjimo į kakliuką vietoje, prasidedantys nuo bėgio skersgalio iš vienos ar iš dviejų kakliuko pusių, taip pat bėgiai su daline galvutės išlauža arba panašiais įtrūkiais. Apžiūrint bėgius ypatingą dėmesį reikia kreipti į tas vietas, kur dažniausi įtrūkimai: bėgio kakliuką, ypač jo viršutinę dalį, į bėgio galvutės paviršių ir bėgio galus. Bėgių defektai gali būti surasti pagal tokius požymius: vietinis galvutės paplatėjimas, tamsios išilginės juostos ant riedėjimo paviršiaus, parudavimas po galvute, ploni išilginiai arba skersiniai įtrūkimai bėgio galvutės viršutiniame arba šoniniame paviršiuose, rūdžių arba mėlynos spalvos juostos kakliuko susijungimo su padu vietose ir pado vietose ir pado lentynoje, atplaišos bėgio galvutėje. [4]

1.9 Defektinių ir itin defektinių bėgių ženklėjimas

Itin defektiniai ir defektiniai bėgiai, aptikti defektoskopu ar kitu tikrinimo būdu, ženklėjami šviesiais aliejjiniais, užrašomas defekto kodas, defekto dydžiai ir pavojingumo laipsnis. Ant kakliuko greta defekto, iš tos pusės, iš kurios matomas defektas, užrašomas defekto kodas, numeris [6]:

- Po defekto kodo dedamas brūkšnelis
- Po brūkšnelio surašomi defekto dydžiai
- Po defekto dydžio užrašomas brūkšnelis

Po brūkšnelio žymimas pavojingumo laipsnis (defektiniai bėgiai žymimi vienu įstrižu kryžiumi, itin defektiniai bėgiai – dviem įstrižais kryžiais).

Jeigu defektas išplitęs per visą bėgio ilgį, defekto dydžiai ir pavojingumo laipsnis užrašomas su brūkšneliais iš abiejų pusių (-45.0-12/9-X3-). Keičiant netikėtai aptiktą itin defektinį bėgį jis ženklėjamas tuoj pat išėmus jį iš kelio. Aptikus defektą sandūros ribose kairėje pusėje ženklėjama 1m atstumu nuo protarpio. Aptikus defektą tarp sandūrų, pavojingumo laipsnio ženklėjimas kartojamas 1m atstumu nuo kairiosios sandūros protarpio. Aptikus defektą sandūros ribose dešinėje pusėje ženklėjama 1m atstumu nuo dešinėsios sandūros protarpio ir papildomai pavojingumo laipsnis žymimas 1m atstumu nuo kairiosios sandūros [6].

Itin defektiniais bėgiais, kuriuose yra įtrūkių (be lūžio) ir plyšių, galima leisti važiuoti atskiriems traukiniams ne didesniu kaip 15 km/h greičiu, prireikus su palydovu. R65 tipo bėgiais su neišplitusiais į paviršių vidiniais įtrūkiais, traukiniams leidžiama važiuoti ne didesniu kaip 25 km/h greičiu. Per skersai lūžusį bėgį arba galvutės dalies išlaužą, nepanaudojus specialių priemonių, traukinių eismas yra uždraudžiamas. Jei traukinys sustabdytas prie lūžusio bėgio, tai traukiniui galima važiuoti tik 5 km/h greičiu, jei bėgis lūžęs ant tilto arba tunelyje, traukiniui važiuoti draudžiama. Kai besandūriame kelyje yra vidinis skersinis įtrūkis, jeigu pagal defektoskopo parodymus jo ribos už bėgio galvutės vidurio, arba jei jis išplinta į bėgio paviršių, taip pat esant serksiniam ilgabėgio lūžiui, kai susidaręs mažesnis kaip 25mm protarpis, iki defektinė vieta bus išpjauta, leidžiama ilgabėgį sujungti tvarslėmis su specialiais

veržtukais. Šiuo atveju 3 valandas leidžiama traukiniams važiuoti ne didesniu kaip 25 km/h greičiu. Kai protarpis nuo 25mm iki 35mm, nuolat stebint paskirtam darbuotojui greitis yra ribojamas iki 15 km/h [6].

Defektai, pažeidimai ir lūžiai ženklina skaitmeniniu kodu. Defektų kodas gali būti iš trijų arba keturių skaičių. Nustatant defekto kodą, pirmasis kodo skaičius parodo defekto vietą, jo reikšmes. Tai parodyta 1.9.1 lentelėje.

1.9.1 lentelė

Pirmasis skaičius	Reikšmė
1	Defektai bėgio gale
2	Defektai vidurinėje bėgio dalyje
3	Defektai, atsirandantys dėl bėgių pažeidimų
4	Defektai suvirintose siūlių, aplydymų ir jungių privirinimo vietose

- Defektai gali būti bėgių galuose, vidurinėje bėgio dalyje arba suvirinimo siūlių zonoje.
- Bėgio galas – bėgio dalis, sutvirtinta tvarslėmis (tik sandūriniam kelyje);
- Vidurinė bėgio dalis – bėgio ilgis tarp jo galų arba tarp suvirinimo siūlių zonų;
- Suvirinimo siūlės zona – 10 cm atstumu bėgio dalys į abi puses nuo suvirinimo siūlės ašies. Bet koks defektas toje zonoje laikomas suvirinimo siūlės defektu.

1.9.2 lentelė [4]

Pirmasis skaičius	Antrasis skaičius	Trečiasis skaičius	Ketvirtasis skaičius
Vieta bėgio ilgyje	Vieta bėgio skerspjūvyje	Defekto duomenys	Pastaba
Bėgio galas Vidurinė bėgio dalis	Visame skerspjūvyje Vidinė galvutės dalis Kakliukas Padas	Lūžis Skersinis įtrūkis Horizontalus įtrūkis Vertikalus išilginis įtrūkis Korozija Įtrūkis nuo kiaurymių Įtrūkis ne nuo kiaurymės Kiti įtrūkliai Metalų aplydymai šoninėje apvalumoje	Papildomi duomenys ir nustatymai
	galvutės paviršius	Nuodyla Paviršiniai defektai Atsisluoksniavimai Metalų užlankos Lokaliniai nelygumai Pažeidimai buksuojant	Papildomi duomenys ir nustatymai

Bet kurioje vietoje	Per visą skerspjūvį	Pažeidimai Defektai nuo apdirbimo	Be ketvirto skaičiaus
Suvirinimo siūlės, aplydymai ir privirinimai	Suvirinimo siūlė Suvirinimo siūlė, suvirinta elektrokontaktiniu būdu. Suvirinimo siūlė, suvirinta termitiniu būdu Suvirinimo siūlė, suvirinta elektrolankiniu metodu Aplydymas Bėgių jungių privirinimas	Skersiniai įtrūkiai Horizontalūs įtrūkiai	Papildomi duomenys ir nustatymai

Bėgių defektų klasifikacijos schema ir kodo pirmųjų trijų skaičių reikšmės nurodytos 1.9.2 lentelėje. Defekto, kuris atskirtas tašku po trečiojo skaičiaus arba neatskirtas tašku, ir ketvirtojo papildomo skaičiaus atsiradimo priežastis arba duomenys yra vienodi, bet skiriasi plėtimusi arba išsidėstymu. Ketvirtojo skaičiaus reikšmę visada lemia aprašytas defektas, atsižvelgiant į defektų katalogą, duomenys. [6]

1.9 Defektų aptikimas

Geležinkelio bėgių būklės diagnostikai bei vidiniams įtrūkimams aptikti jau seniai naudojamos ultragarsinės diagnostikos priemonės, kurių veikimas yra pagrįstas ultragarso signalo impulso, pasiūsto į tiriamąjį objektą, atspindžio signalo fiksavimu. Taikomi keli ultragarsinės geležinkelio bėgio diagnostikos metodai [5,6]:

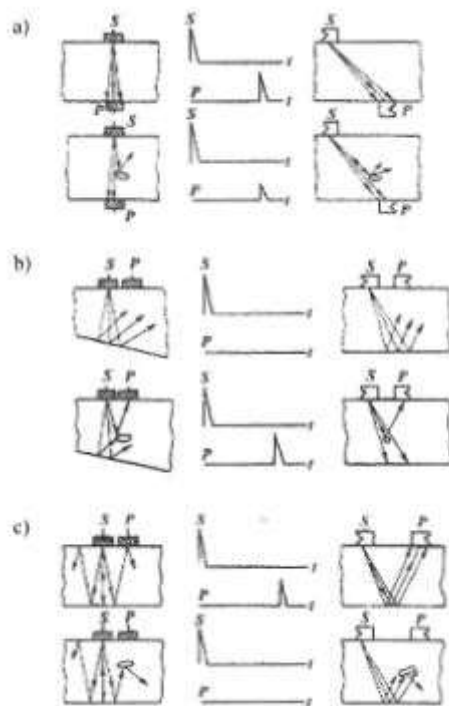
- Ultragarsinis defektų kontrolės aido metodas. Jis pagrįstas trumpų ultragarso impulsų siuntimu ir nuo defekto atsispindėjusio aido signalo registravimu. Metodo teigiamos savybės: vienpusis priėjimas (kontaktavimas) prie objekto, didelis jautrumas vidiniams defektams, didelis defekto koordinacių nustatymo tikslumas; trūkumai – mažas atsparumas paviršiaus atspindžių trukdžiams, aido signalo priklausomybė nuo defekto buvimo vietos [5,6].

- Šešėlinis ultragarsinis kontrolės metodas. Ultragarso bangų siūstuvai ir imtuvai, išdėstyti vienas priešais kitą priešingose tiriamojo objekto pusėse, sukuria „akustinį traktą“. Kontroliuojamo gaminio būklė nustatoma pagal priimamo signalo lygį. Jei ultragarso bangos sklaidymo kelyje nepasitaiko kliūčių (defektų), bangos atsispindėjimų ar sklaidos, tai priimamo signalo lygis maksimalus. Šis lygis smarkiai sumažėja ar net nukrinta iki nulio, jei gaminyje pasitaiko defektų [5,6].

- Veidrodinis-šešėlinis metodas. Taikant šį metodą, nereikia dvipusio priėjimo prie gaminio. Čia defekto aptikimo kriterijus yra nuo priešingo paviršiaus atsispindėjusio signalo amplitudės sumažėjimas. Naudojami du PE keitikliai: siūstuvai ir imtuvai. Net ir pačiuose moderniausiuose šiuo metu Lietuvos geležinkelių ūkyje naudojamuose defektoskopuose pagrindiai ultragarsinės diagnostikos metodai yra tie patys, kaip ir naudotieji prieš kelis dešimtmečius, kai analizuojamos tik atsispindėjusio fizinio signalo charakteristikos ir sprendimas apie bėgio būklę bei defekto koordinatės priimamas pagal tokius kriterijus kaip amplitudė ar atspindžio laikas. Tobulėjant duomenų įvedimo ir apdorojimo techninėms priemonėms, atsiveria naujos diagnostikos sistemų galimybės. Gautus signalus galima klasifikuoti priskiriant juos vienai iš gedimo grupių M_i naudojantis atsitiktinių procesų klasifikavimo teorija ar kitais klasifikavimo algoritmais. Norint gauti informatyvius tiriamojo signalo požymius ir išvengti sistemos priklausomybės nuo stiprinimo koeficiento, klasifikavimui naudojama vadinamoji kovariacinė metrika [5,6].

Priklausomai nuo atpažįstamų objektų (procesų ar situacijų) prigimties, taikomi įvairūs klasifikavimo metodai. Dažniausi yra šie:

- statistiniai klasifikavimo metodai (Bajeso klasifikatorius, koreliacinis klasifikatorius ir kt.);
- geometriniai klasifikavimo metodai (Euklido klasifikatorius, klasifikatorius nevienodo mastelio erdvėje ir kt.);
- neuroniniu tinklu pagrįsti klasifikavimo metodai;
- lingvistiniai klasifikavimo metodai. [6]



1.9.1 pav. Ultragarinio defektoskopo veikimo schema: a) šešėlinė; b) aidinė; c) šešėlinė – veidrodinė.

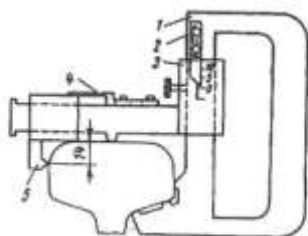
P – imtuvas, S – siūstuvai, t – sklidimo laikas. [4]

1.10 Bėgių gedimų profilaktika

Kelio būklė turi atitikti jų priežiūros technines sąlygas ir normas. Nukrypai nuo techninių sąlygų ir normų virš leistinų tolerancijų yra kelio gedimai. Gedimai, dėl kurių suyra kelias, atsiranda dėl šių pagrindinių priežasčių:

- Nepakankamas kelio tvirtinimas nuo postūmio;
- Nepatenkinama sankasos, vandens nuleidimo įrenginių, balasto sluoksnio priežiūra;
- Blogai ir ne laiku atlikti kelio darbai, ypač pabėgių ir tašų pamušimas, bėgių perkalimas, kelio tiesimas, protarpių reguliavimas, kelio taisymas iškilose, varžtų priveržimas.

Vėžės gedimų profilaktikai būtina: stebėti kelio padėtį plane ir neleisti staigių vėžės pločio skirtumų, perkalant bėgius naudoti impregnuotas sutvirtinimo plokšteles, tiesinti visada tą patį kelio bėgį (kreivėse išorinį), laiku reguliuoti protarpus, nuolat papildyti iki normos pagal aukštį ir plotį balasto prizmę. Ypatingą dėmesį reikia kreipti į sandūrų priežiūrą, nuolat tvirtinti sandūrinius ir padėklų varžtus, bėgvažčius, sraigtus, sukalti bėgvinius, laiku aplydyti nudilusius bėgių galus. Balasto lovelių po pabėgiais ir balasto iškylų atsiradimo profilaktikai būtina išplovų vietose pakeisti užterštą balastą, laiku valyti skaldą, šalinti nuo kelkraščio susikaupusį užterštą balastą, laiku valyti skaldą, šalinti nuo kelkraščio susikaupusį užterštą balastą. Siekiant pailginti bėgių naudojimo laiką ir gedimų bei defektų profilaktikai būtina laiku tasyti lygio nuokrypimus, bėgių padėtį kelio profilyje ir plane, laikyti protarpus nustatytų normų ribose, laiku keisti susidėvėjusias tvarsles, aplydyti nudaužytus bėgių galus, vengti smūgių iškraunant bėgius ir atliekant kitus darbus. Atsiradus defektams dėl nepakankamo bėgių metalo tvirtumo, dėl jų gamybos arba suvirinimo technologijos pažeidimų, nenormalaus riedmenų veikimo (ratų buksavimas, riedmenų su iščiuožomis važiavimas) būtina kuo skubiau keisti bėgius, keisti riedmenų ratus, tuo siekiant sumažinti defektų atsiradimą. Bėgių defektai klasifikuojami pagal jų rūšį, vietą, pagal bėgio aukštį ir ilgį, pagrindinę atsiradimo priežastį, o esant defektui suvirinimo siūlėje – nuo suvirinimo būdo. Bėgių galvutės nusidėvėjimai matuojami specialiais šablonais, jie tuo pačiu metu parodo ir vertikalius ir šoninius nuokrypius. [4]



1.10.1 pav. Šablonas bėgio galvutės deformacijom matuoti. 1 – rankena; 2 – vertikaliojo nusidėvėjimo skalė; 3 – slankiklis; 4 – šoninio nusidėvėjimo skalė; 5 – šoninio nusidėvėjimo fiksatorius. [4].

1.10.1 pav

Nematomi plika akim defektai, kurie atsiranda eksploatuojant bėgius, nustatomi defektoskopavimo metodu, naudojant specialius defektoskopus arba kelio kontrolė mašinas.

2. Analitiniai skaičiavimai

2.1 Vidutinės vertikaliosios bėgio apkrovos skaičiavimas

Tam, kad būtų galima sužinoti, ar konstrukcijos stiprumas yra pakankamas, reikia apskaičiuoti vidutinę vertikaliąją rato bėgiui apkrovą, N , kuri yra apskaičiuojama pagal formulę:

$$F_{vid.} = F_{st.} + \bar{F}_{din.};$$

Čia $F_{vid.}$ – vidutinė dinaminė rato apkrova bėgiui skaičiuojamajame pjūvyje; $F_{st.}$ – statinė bėgio apkrova nuo rato, N .

Vidutinė dinaminė rato bėgio apkrova skaičiuojama formule:

$$\bar{F}_{din.} = 0,75 \cdot F_{din.};$$

$$F_{din.} = U_{spyr} \cdot y_{max};$$

Čia y_{max} – didžiausias spyruoklės įlinkis, m ; U_{spyr} – spyruoklių standumas vienam ratui, N/m .

2.1 lentelė

Riedmenų skaičiuojamosios charakteristikos

Sąstato tipas	$y_{max,min}$ (v, m/s)
2TE116	$7,9 + 8,0 \cdot 10^{-4} v^2$

Didžiausias spyruoklės įlinkis, esant 27,8 m/s greičiui:

$$y_{max} = (7,9 + 8,0 \cdot 10^{-4} \cdot 27,8^2) 10^{-3} = 14,08 \cdot 10^{-3} \text{ m};$$

$$F_{din.} = 0,99 \cdot 10^6 \cdot 14,08 \cdot 10^{-3} = 13939,2 \text{ N};$$

$$\bar{F}_{din.} = 0,75 \cdot 13939,2 = 10454,4 \text{ N};$$

$$F_{vid.} = 107500 + 10454,4 = 117954,4 \text{ N}.$$

2.2 lentelė

Vidutinės vertikaliosios bėgio apkrovos skaičiavimo rezultatai

Greitis v, m/s	$F_{vid.}$, N
13,8	107569
19,4	115593
27,8	117954

3. Bėgio ir rato skaičiuojamojo modelio analizė

3.1 Rato modelio sudarymas

Šiuo metu Lietuvoje daugiausiai yra naudojami valcuoti ratai, šio rato masė yra 385 kg. Valcuoti ratai gaminami iš plieno, kurio sudėtis yra: anglies – 0,52 – 0,62 %, silicio - 0,42 %, sieros – ne daugiau nei 0,04 %.

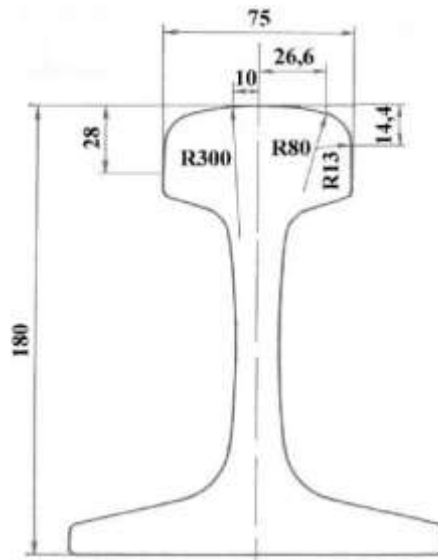
Rato antibriaunis neleidžia nuriedėti nuo bėgio. Jo posvyrio kampas yra 60°. Rato profilis yra ne cilindrinės, o kūginės formos, todėl jis tolygiai dyla.



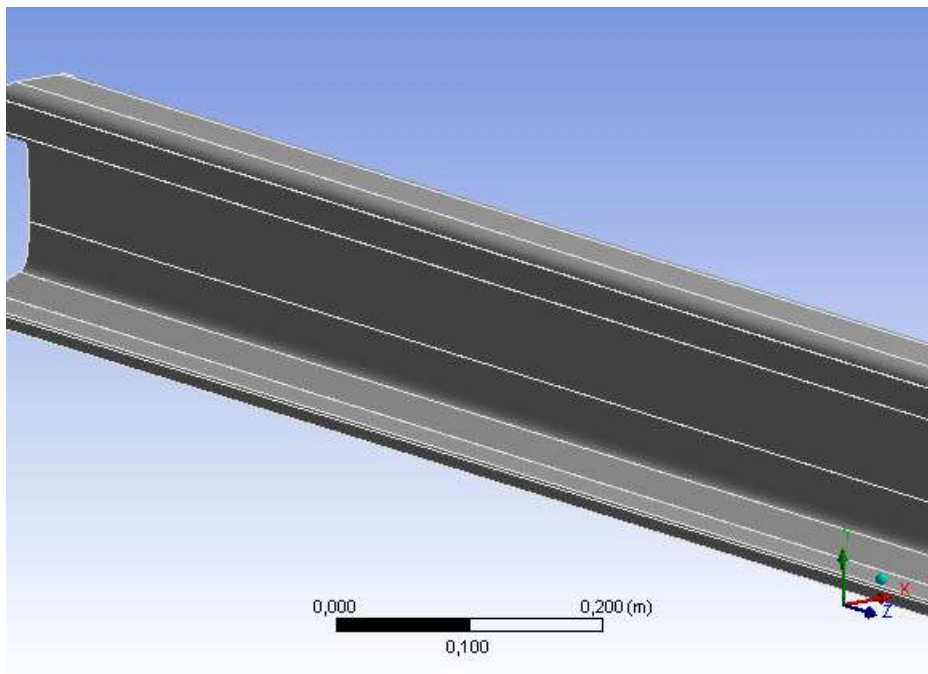
3.1.1 pav. Rato modelis ANSYS programoje.

3.2 Bėgio modelio sudarymas

Bėgiai – tai plieninės valcuotos specifinio dvitėjinio profilio sijos, kreipiančios ir laikančios ratus. Bėgiai skirti perimti ir tampriai perduoti apkrovas nuo ratų į atramas (pabėgius) ir reikiama kryptimi nukreipti riedmenų ratus. Modeliuojant buvo naudojamas R65 tipo bėgis (3.2.2 pav.)



3.2.1 pav. R65 bėgio skersinis profilis [4].

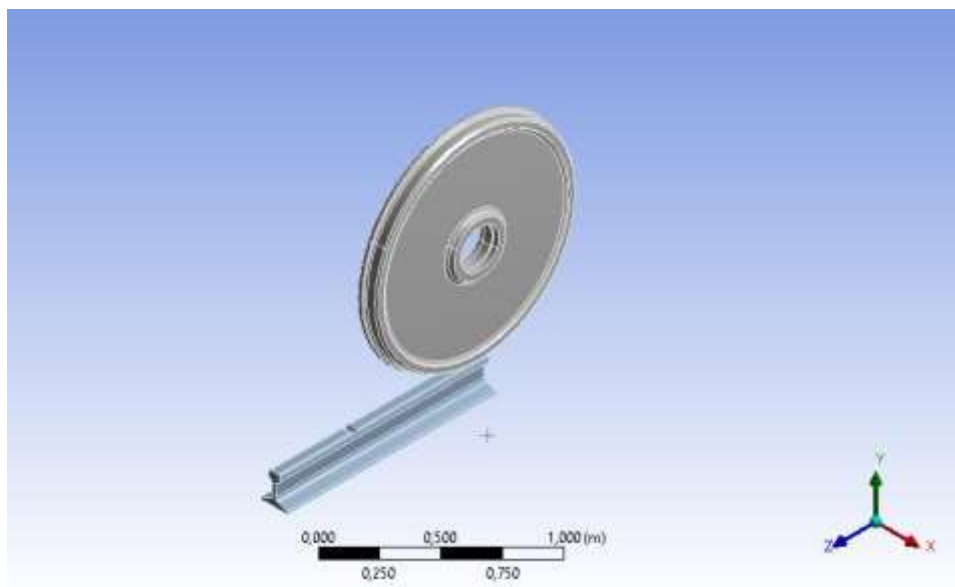


3.2.2 pav. Bėgio modelis ANSYS programoje.

3.3 Modelio analizė ANSYS programa

Skaitinis modelis kuriamas remiantis keliomis prielaidomis ir teiginiais. Rato ir bėgio kontaktas apibrėžiamas taikant H. R. Herco kontakto teoriją, 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.



3.3.1 pav. Skaičiuojamasis modelis

Baigtinių elementų metodas (BEM) plačiai paplitusi analizės priemonė leidžianti tiksliai ir greitai įvertinti konstrukcijų stiprumo savybes. BEM galima atlikti įtempimų būvio, deformacijų, 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. ANSYS Workbench programos aplinkoje atlikti visi inžineriniai skaičiavimai. Tuo tarpu SolidWorks 2015 programos aplinkoje sumodeliuoti struktūrinių dalių eskizai (3.3.1 pav).

4. Rezultatų analizė

Tyrimui atlikti buvo pasirinkti trys dažniausiai pasitaikantys defektai – metalo ištrupėjimas, paviršiniai bėgio defektai galvutėje, skersiniai įtrūkimai bėgio galvutėje.

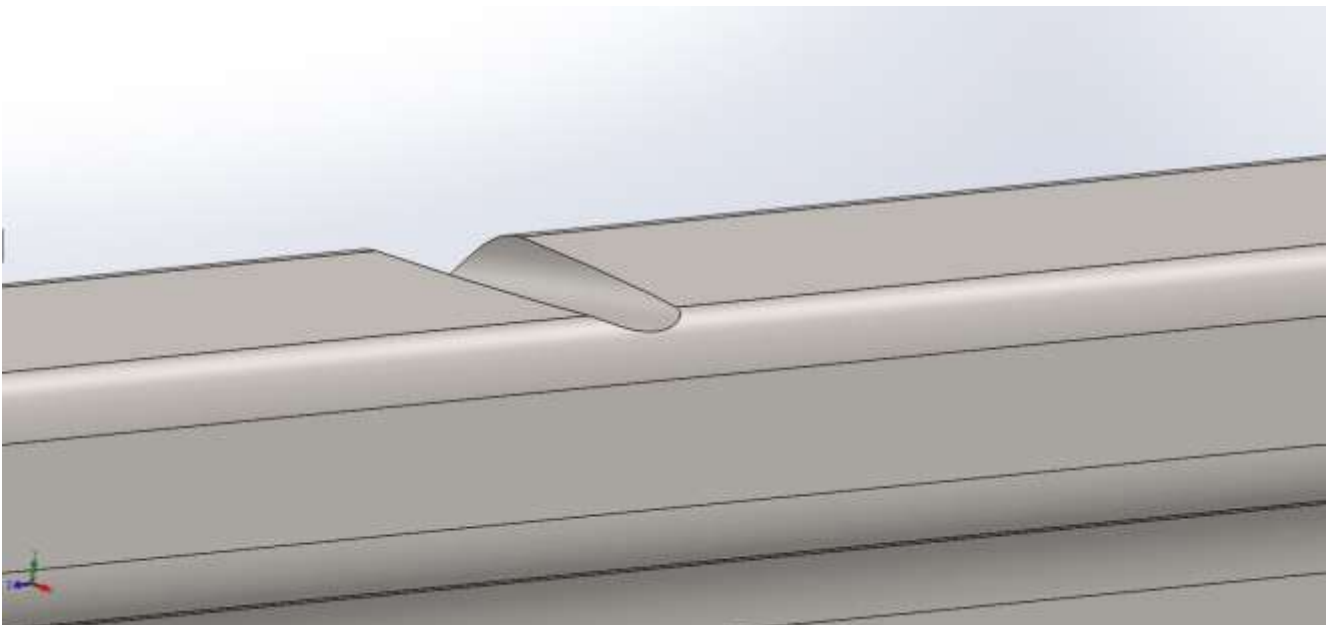
Visi šie trys defektai bus patikrinti ANSYS programa su skirtingomis, apskaičiuotomis vertikaliomis jėgomis.

4.1 Skersiniai įtrūkimai bėgio galvutėje.

Dėl mechaninių pažeidimų gali atsirasti įtempimų koncentratoriai, kurie lemia įtrūkių susidarymą. Dėl įtrūkių galimas bėgio lūžimas. Bėgis su skersiniu įtrūkiu (4.1 pav.) laikomas itin defektiniu ir jį reikia keisti kuo greičiau. Vykstant krovimo darbams ir eksploatuojant bėgius, reikia juos tausoti, vengti smūgių ir kitų pažeidimų.

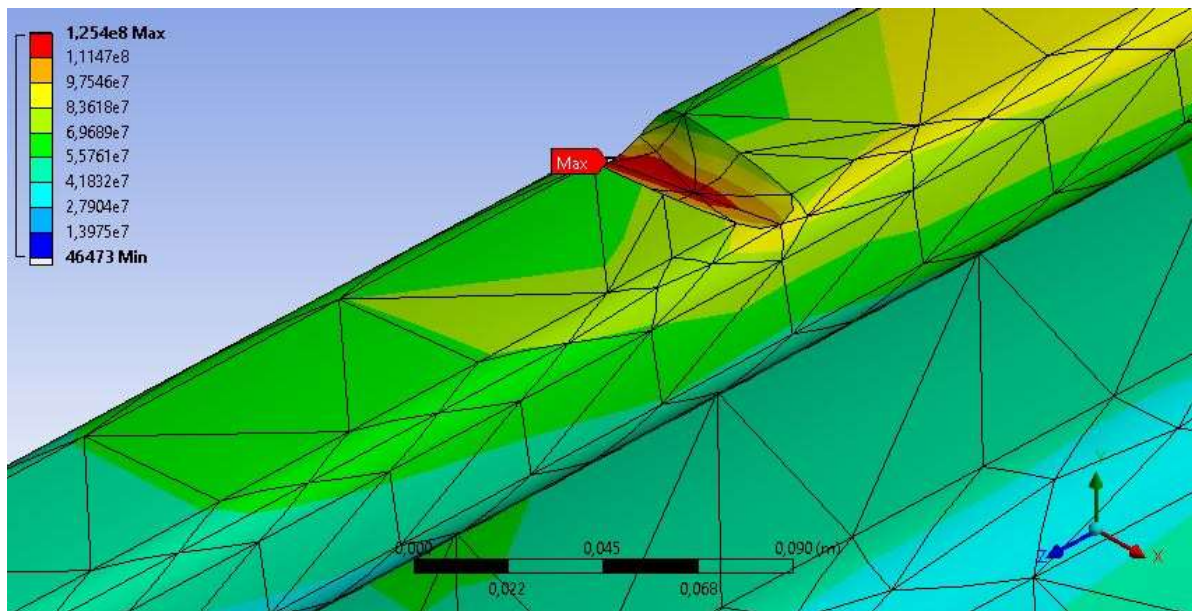
Šiam bandymui buvo pasirinkta 3 atvejai:

- 1) Kai defekto ilgis – 18 mm, gylis – 7 mm.
- 2) Kai defekto ilgis – 36 mm, gylis – 12 mm.
- 3) Kai defekto ilgis – 45 mm, gylis – 16 mm.

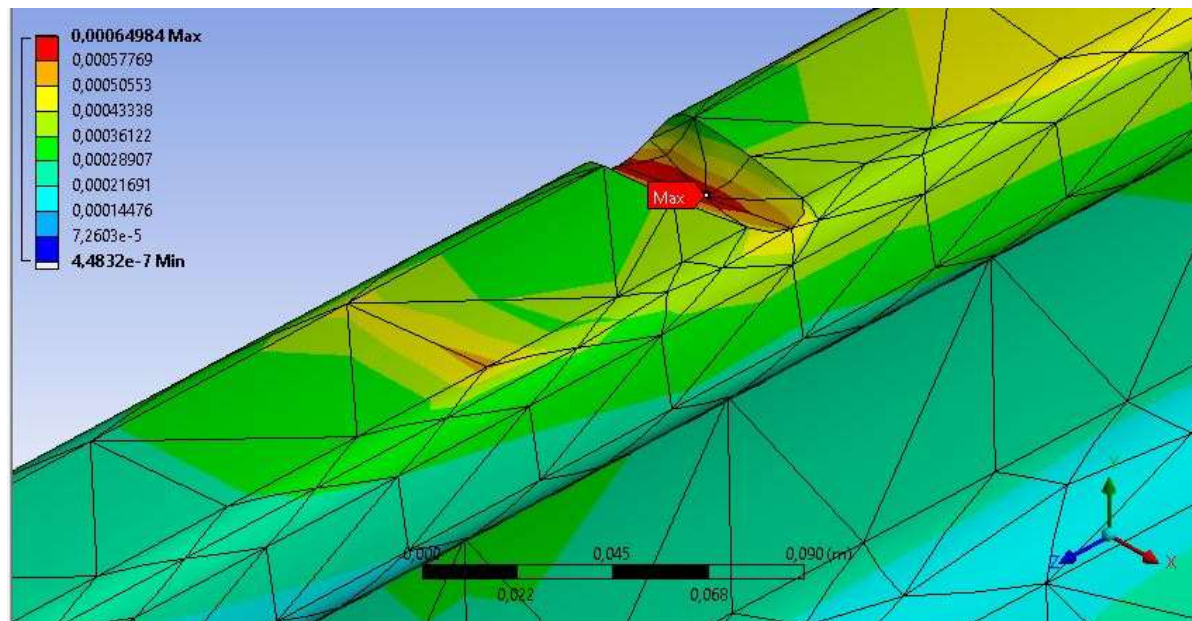


4.1 pav. Skersinio įtrūkio modelis.

Defekto ilgis – 18 mm, gylis – 7 mm:

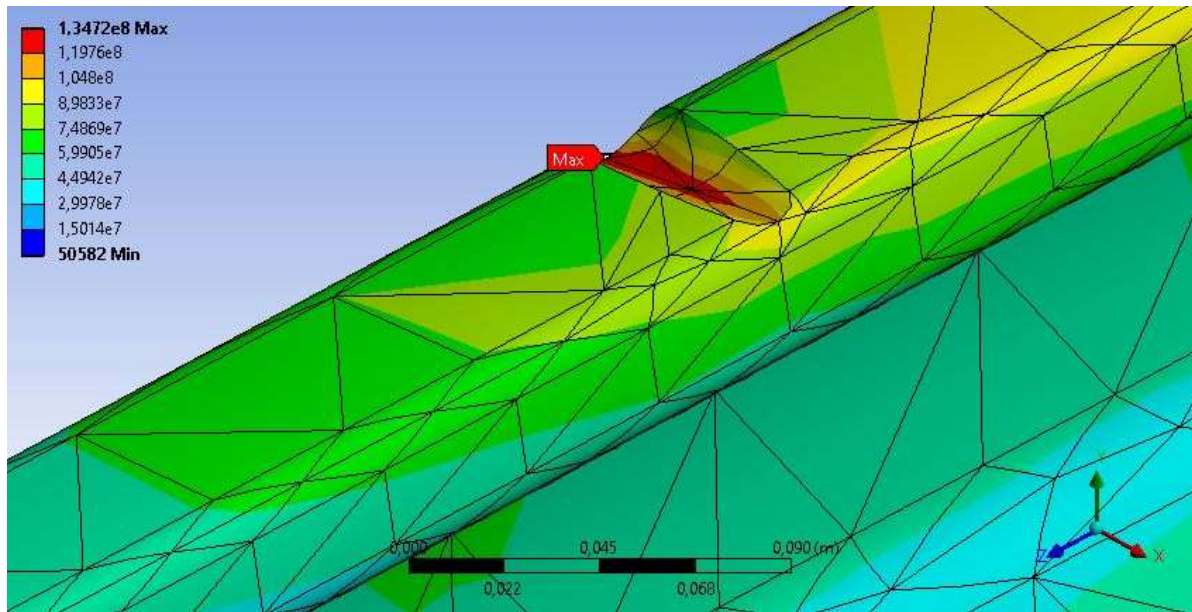


4.1.1 pav. Didžiausių įtempių pasiskirstymas esant 107569 N jėgai (13,8 m/s)

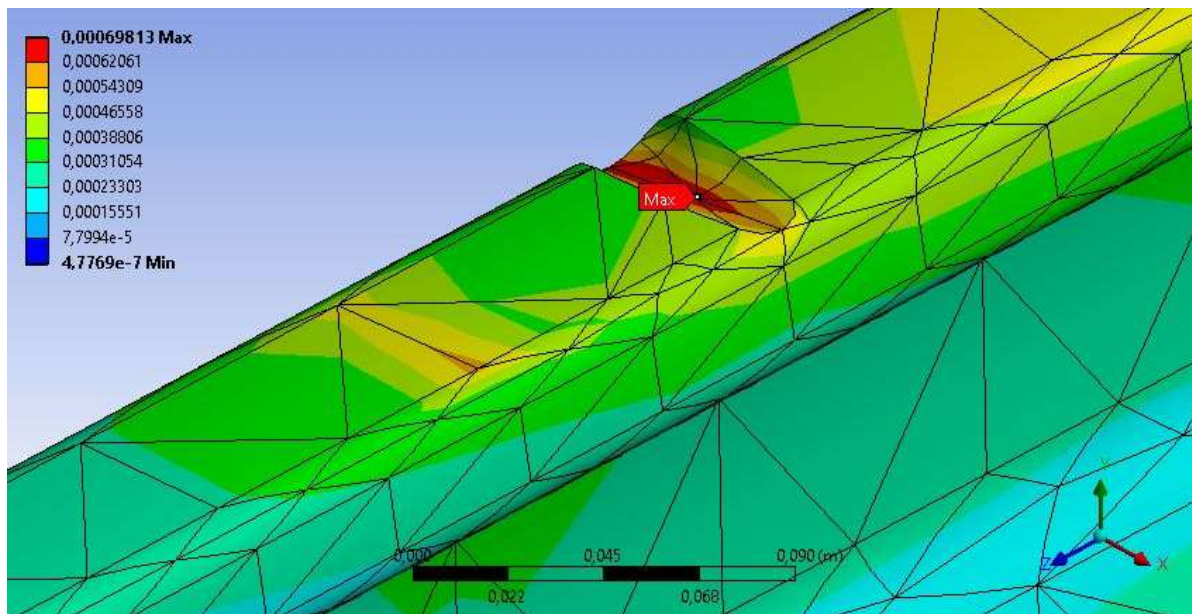


4.1.2 pav. Deformacijų pasiskirstymas esant 107569 N jėgai (13,8 m/s)

4.1.1 paveiksliuke matome, kad esant 107569 N jėgai įtemptai pasiskirsto defekto apačioje ir siekia 125 MPa. 4.1.2 paveiksliuke yra parodyti poslinkiai, kurie yra labai maži ir siekia 0,6 mm.

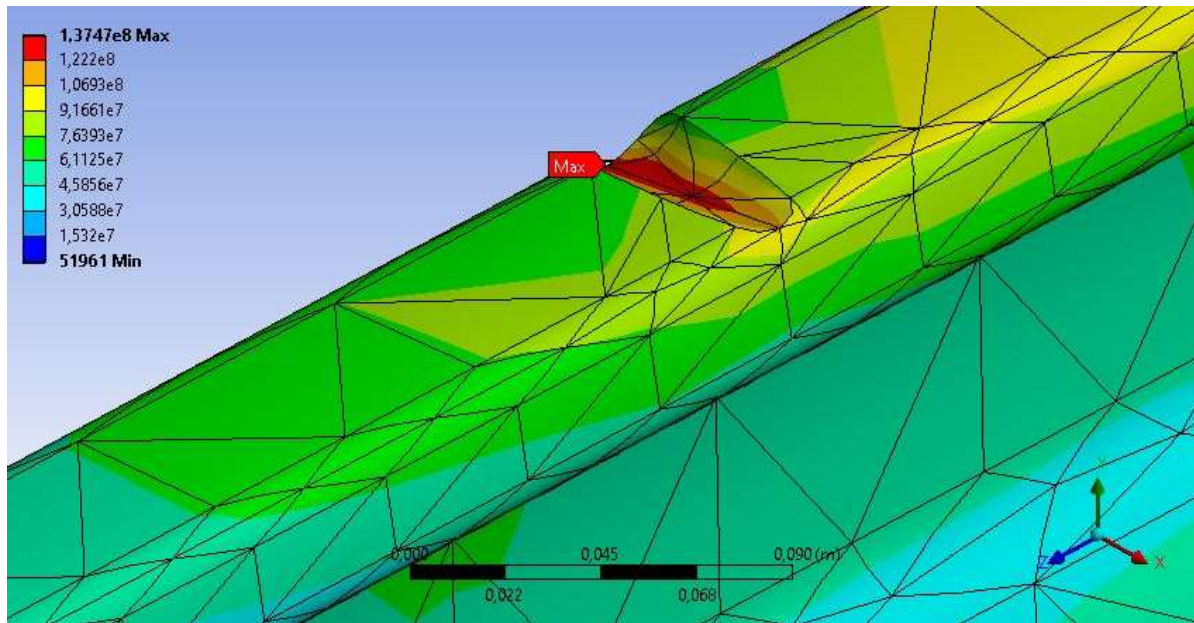


4.1.3 pav. Didžiausių įtempių pasiskirstymas esant 115593 N jėgai (19,4 m/s)

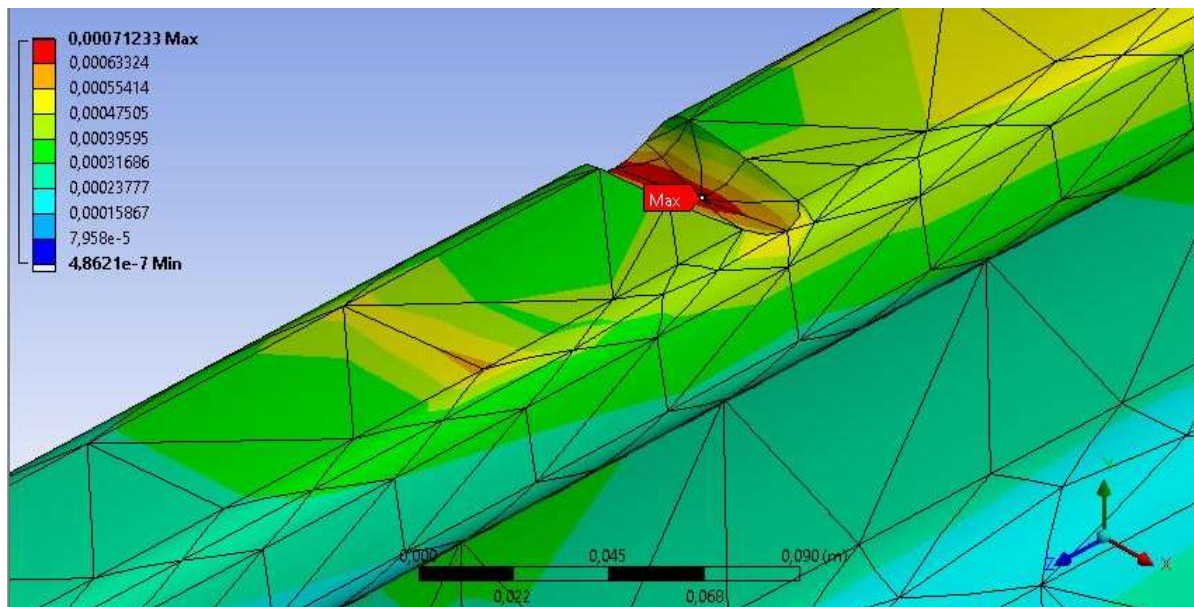


4.1.4 pav. Deformacijų pasiskirstymas esant 115593 N jėgai (19,4 m/s)

4.1.3 paveiksluke matome, kad esant 115593 N jėgai įtempiai pasiskirsto defekto apačioje ir pradeda kilti į defekto viršų ir siekia 135 MPa. 4.1.4 paveiksluke yra parodyti poslinkiai, kurie yra labai maži ir siekia 0,7 mm.



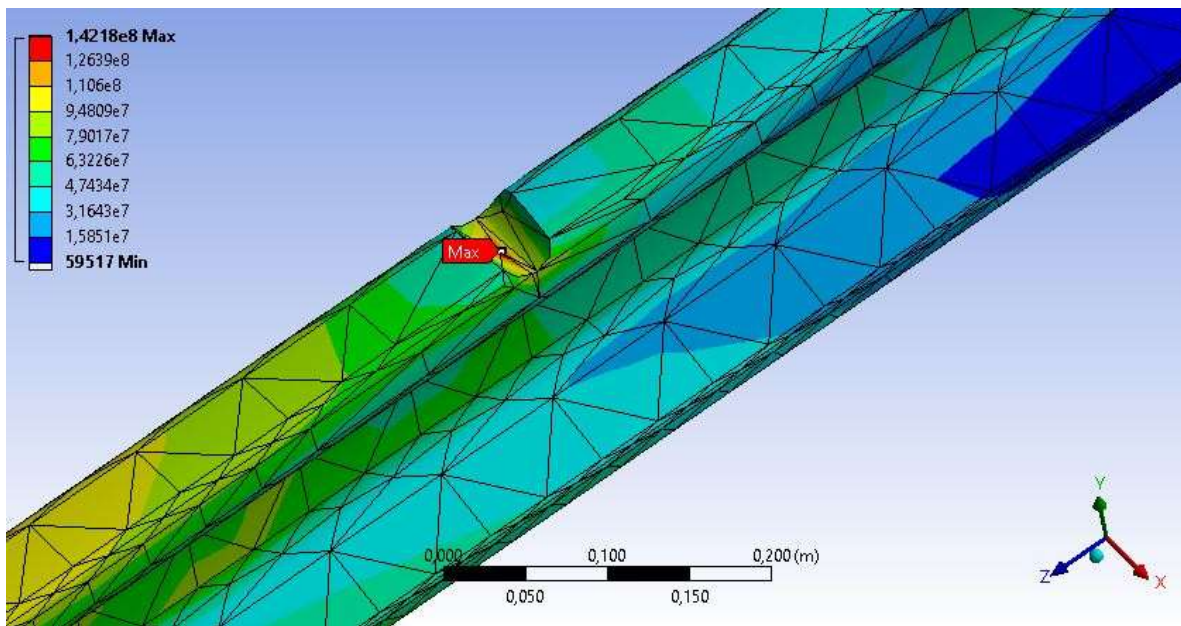
4.1.5 pav. Didžiausių įtempių pasiskirstymas esant 117954 N jėgai (27,8 m/s)



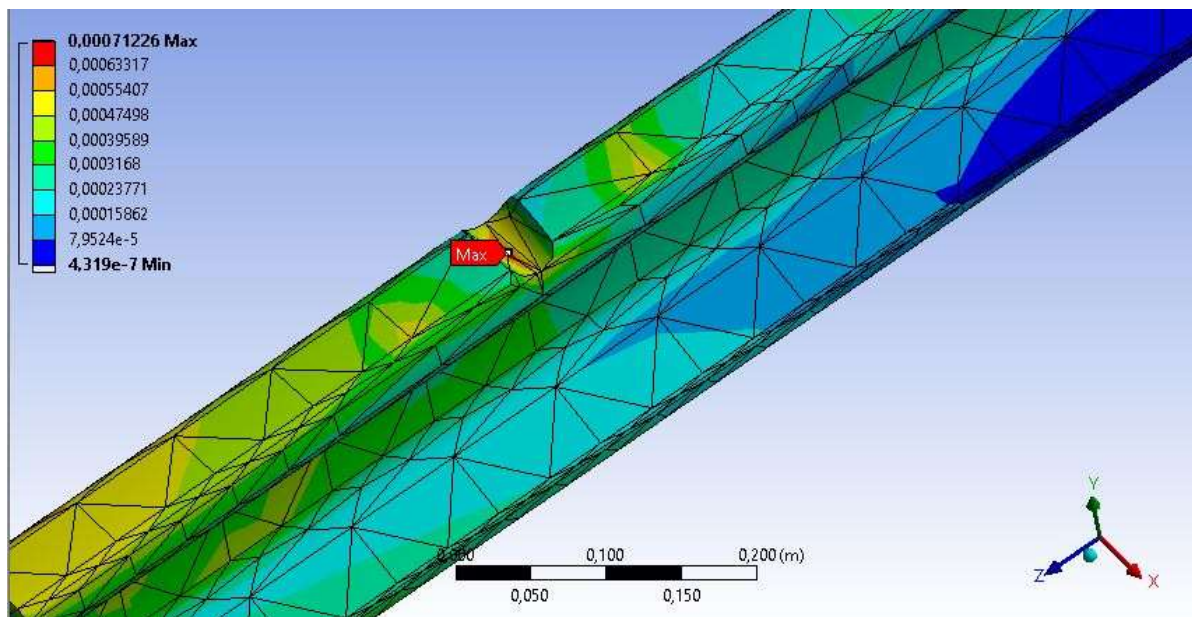
4.1.6 pav. Deformacijų pasiskirstymas esant 117954 N jėgai (27,8 m/s)

4.1.5 paveiksluke matome, kad esant 117954 N jėgai įtempiai gauti didžiausi ir siekia 137 MPa. 4.1.6 paveiksluke yra parodyti poslinkiai, kurie yra labai maži ir siekia 0,7 mm.

Defekto ilgis – 36 mm, gylis – 12 mm:

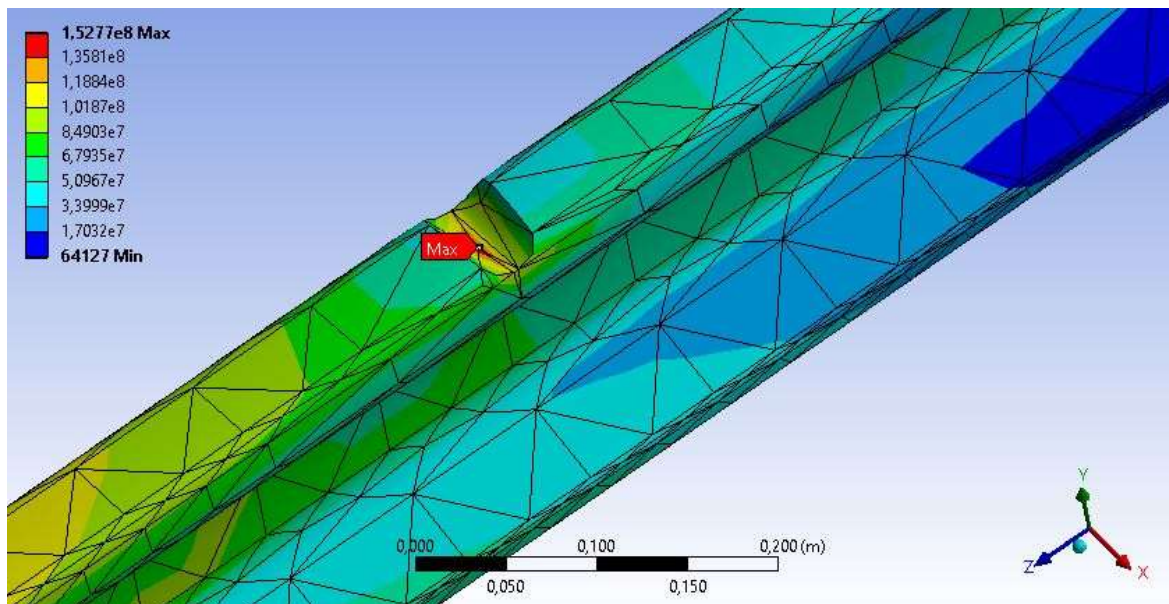


4.1.7 pav. Didžiausių įtempių pasiskirstymas esant 107569 N jėgai (13,8 m/s)

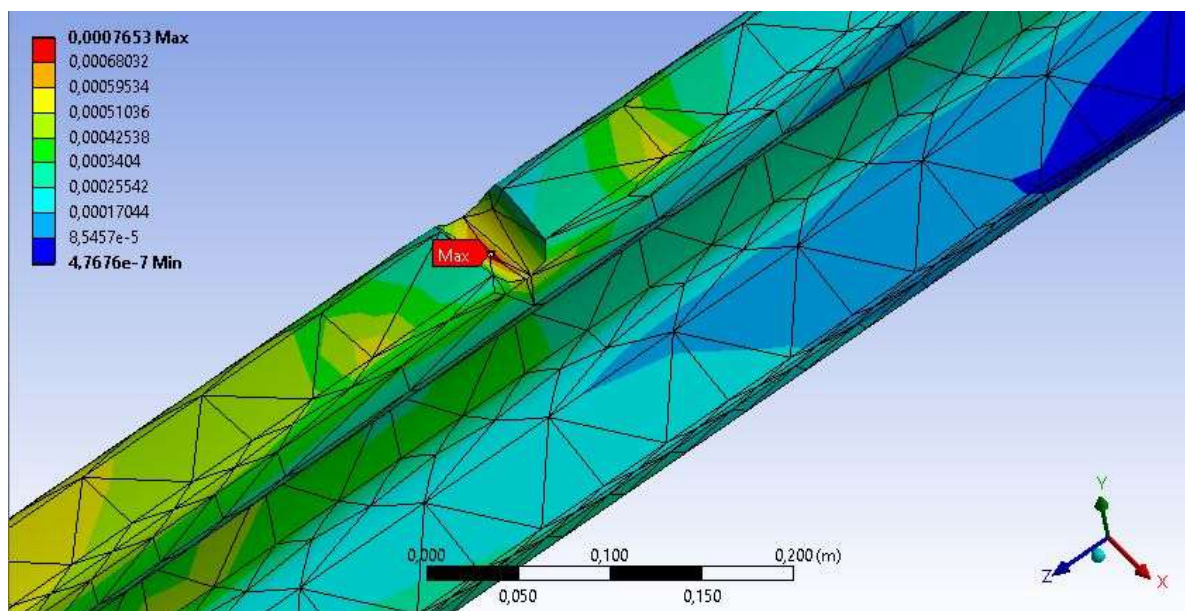


4.1.8 pav. Deformacijų pasiskirstymas esant 107569 N jėgai (13,8 m/s)

4.1.7 paveiksluke matome, kad esant 107569 N jėgai įtempiai siekia 142 MPa. Padidinus defekto ilgį ir plotį, įtempiai gaunami didesni. 4.1.8 paveiksluke yra parodyti poslinkiai, kurie yra labai maži ir siekia 0,7 mm.

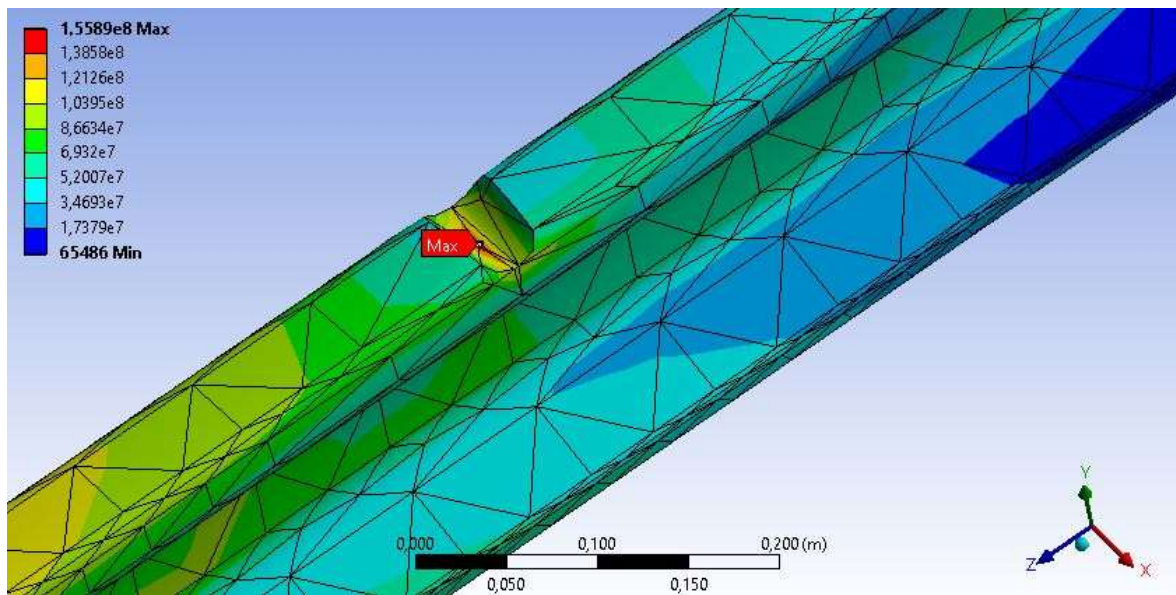


4.1.9 pav. Didžiausių įtempių pasiskirstymas esant 115593 N jėgai (19,4 m/s)

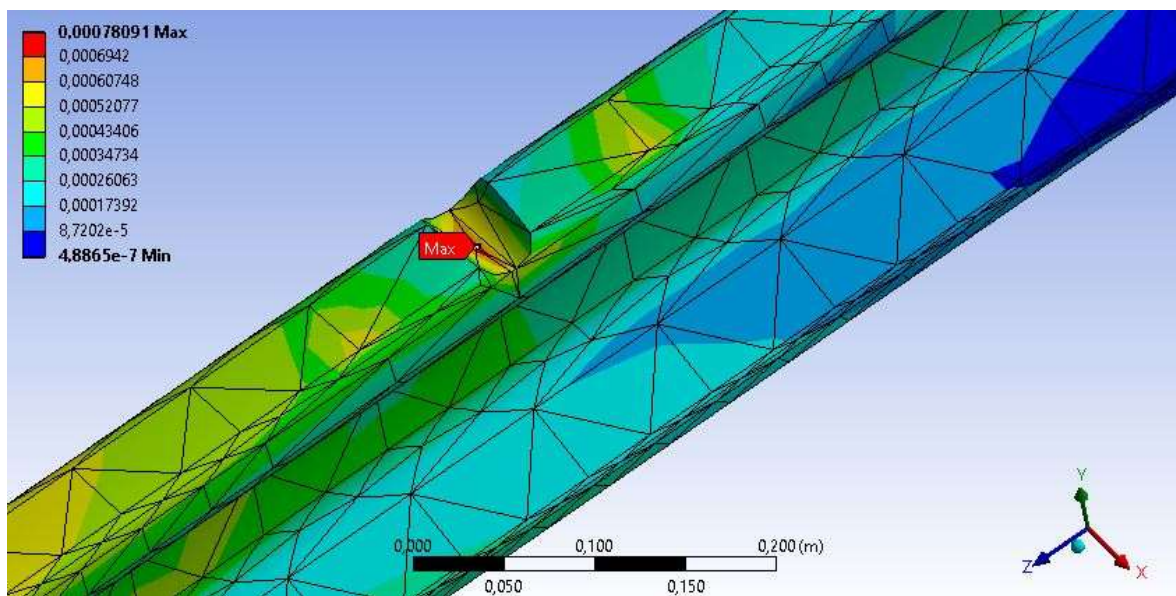


4.1.10 pav. Deformacijų pasiskirstymas esant 115593 N jėgai (19,4 m/s)

4.1.9 paveiksluke matome, kad esant 115593 N jėgai įtempiai siekia 153 MPa. Padidinus defekto ilgį ir plotį, įtempiai gaunami didesni. 4.1.10 paveiksluke yra parodyti poslinkiai, kurie yra labai maži ir siekia 0,8 mm.



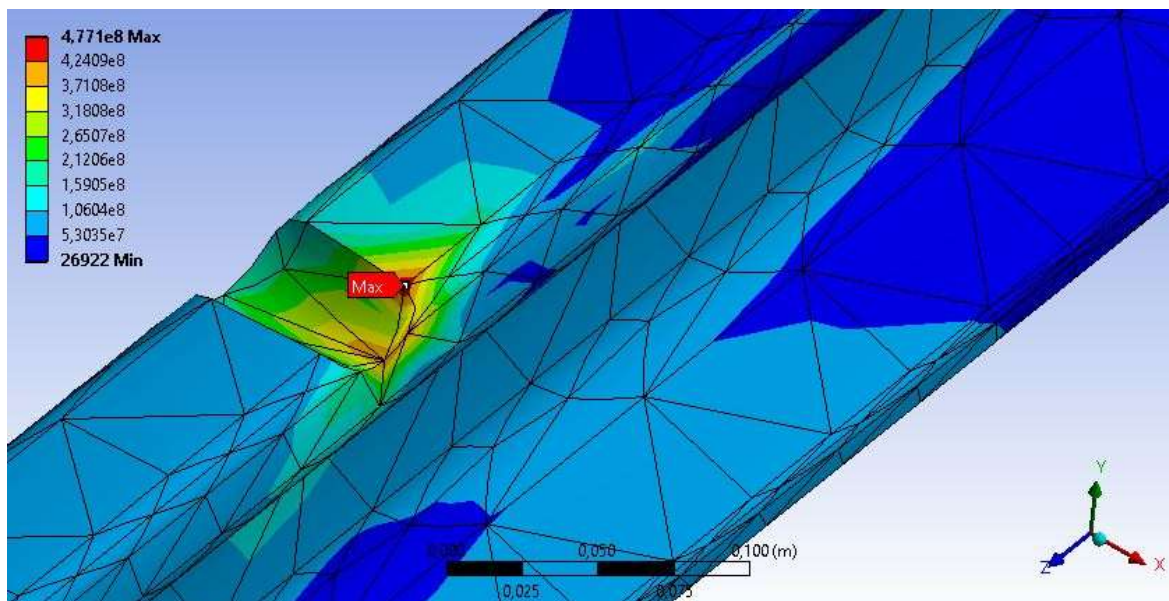
4.1.11 pav. Didžiausių įtempių pasiskirstymas esant 117954 N jėgai (27,8 m/s)



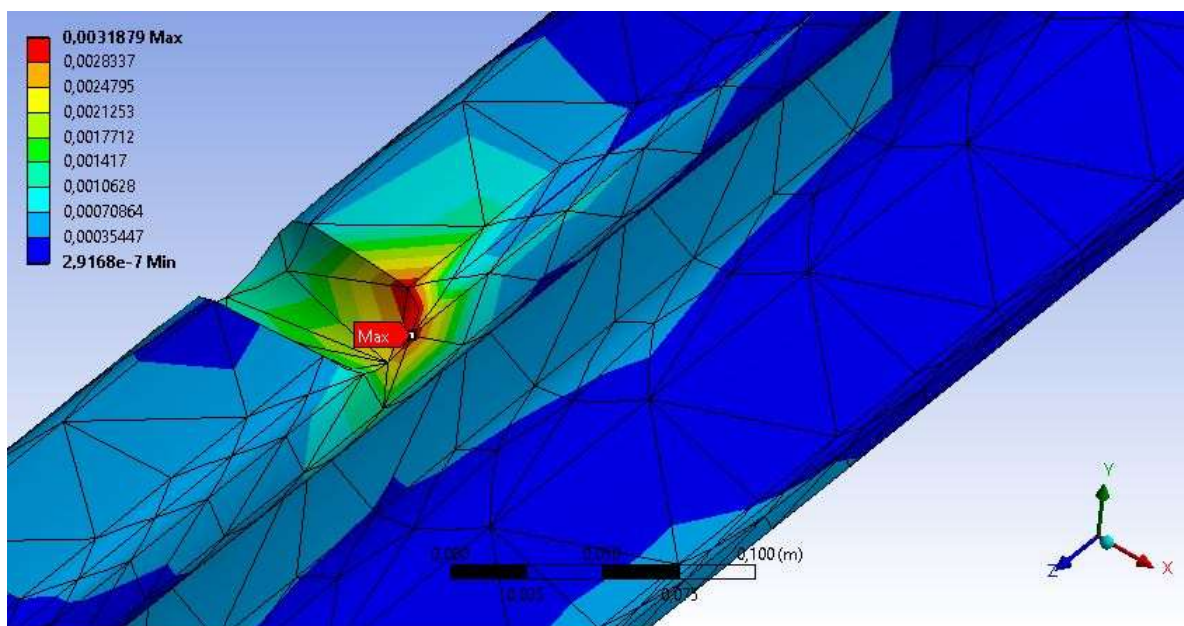
4.1.12 pav. Deformacijų pasiskirstymas esant 117954 N jėgai (27,8 m/s)

4.1.11 paveiksliuke matome, kad esant 117954 N jėgai įtempiai siekia 156 MPa. 4.1.12 paveiksliuke yra parodyti poslinkiai, kurie yra labai maži ir siekia 0,8 mm.

Defekto ilgis – 45 mm, gylis – 16 mm.

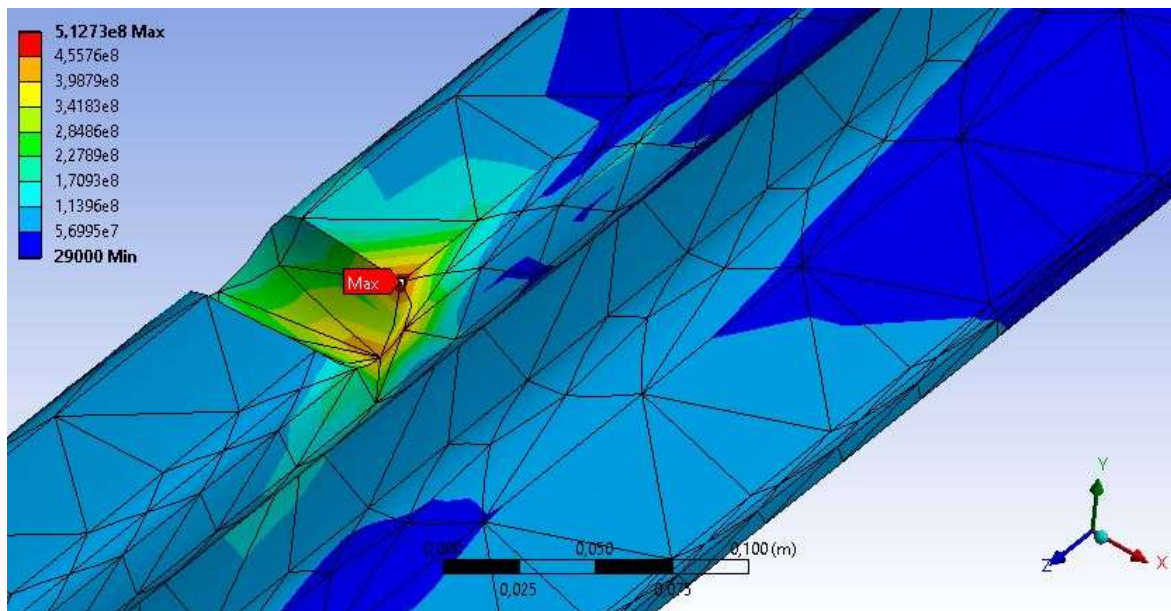


4.1.13 pav. Didžiausių įtempių pasiskirstymas esant 107569 N jėgai (13,8 m/s)

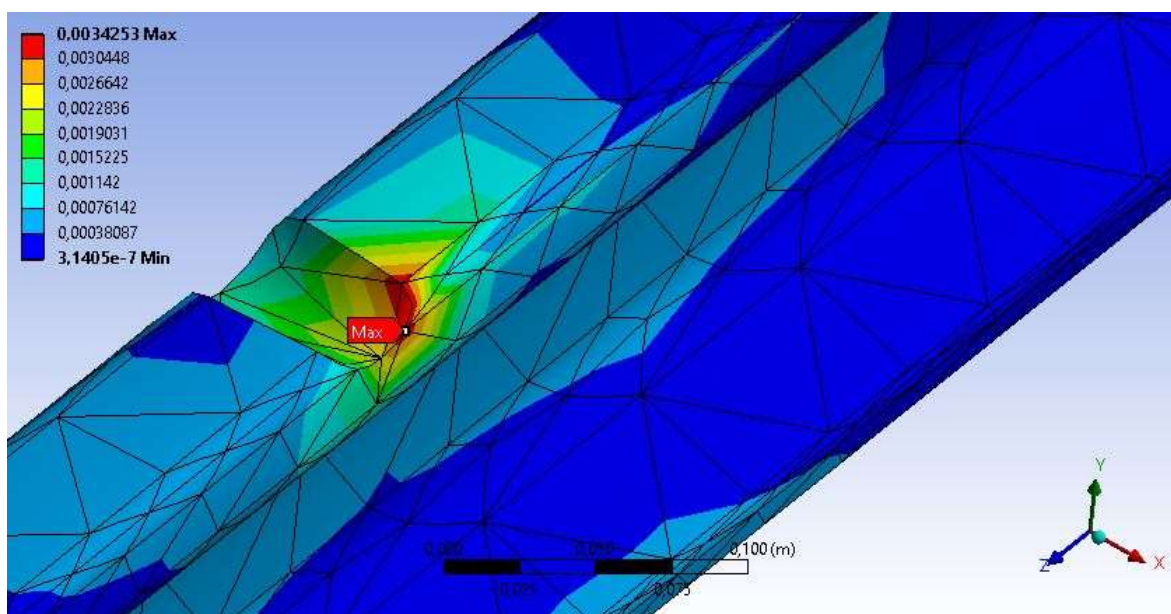


4.1.14 pav. Deformacijų pasiskirstymas esant 107569 N jėgai (13,8 m/s)

4.1.13 paveiksliuke matome, kad esant 107569 N jėgai įtempiai siekia 477 MPa. Pastebima, kad įtempiai išaugo beveik 3 kartus, taip pat įtempių koncentradoriai persikėlė į galvutės šoną, tai parodo, kad tokie defekto matmenys yra patys pavojingiausi. 4.1.14 paveiksliuke yra parodyti poslinkiai, kurie yra 3 mm. Poslinkiai palyginus su prieš tai atliktais skaičiavimais irgi išaugo.

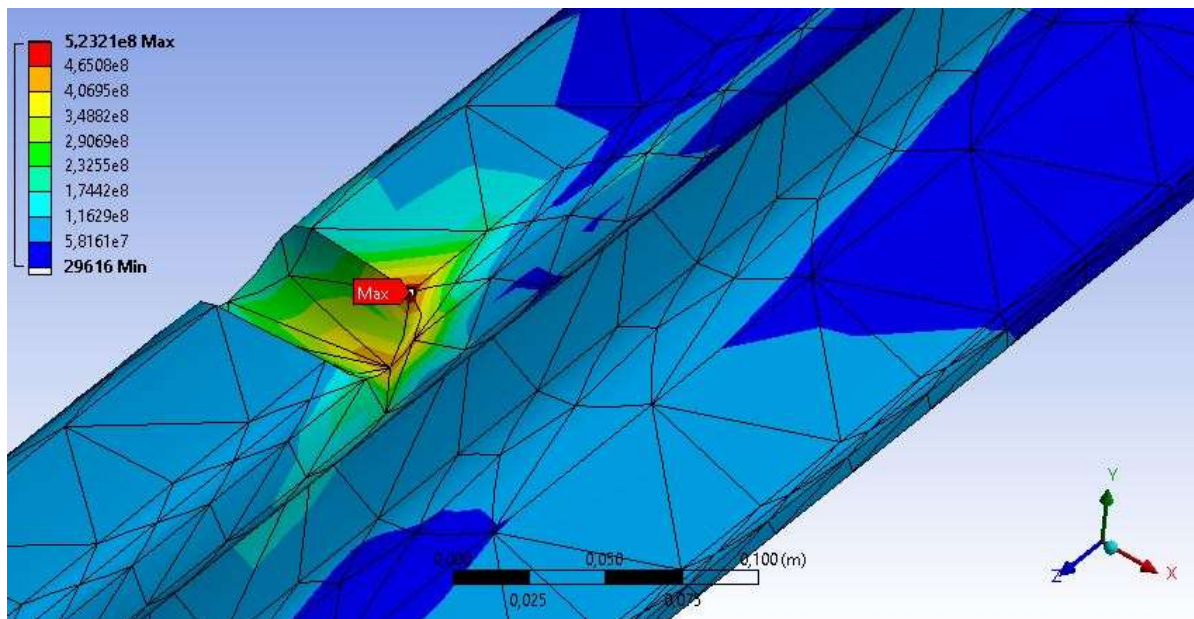


4.1.15 pav. Didžiausių įtempių pasiskirstymas esant 115593 N jėgai (19,4 m/s)

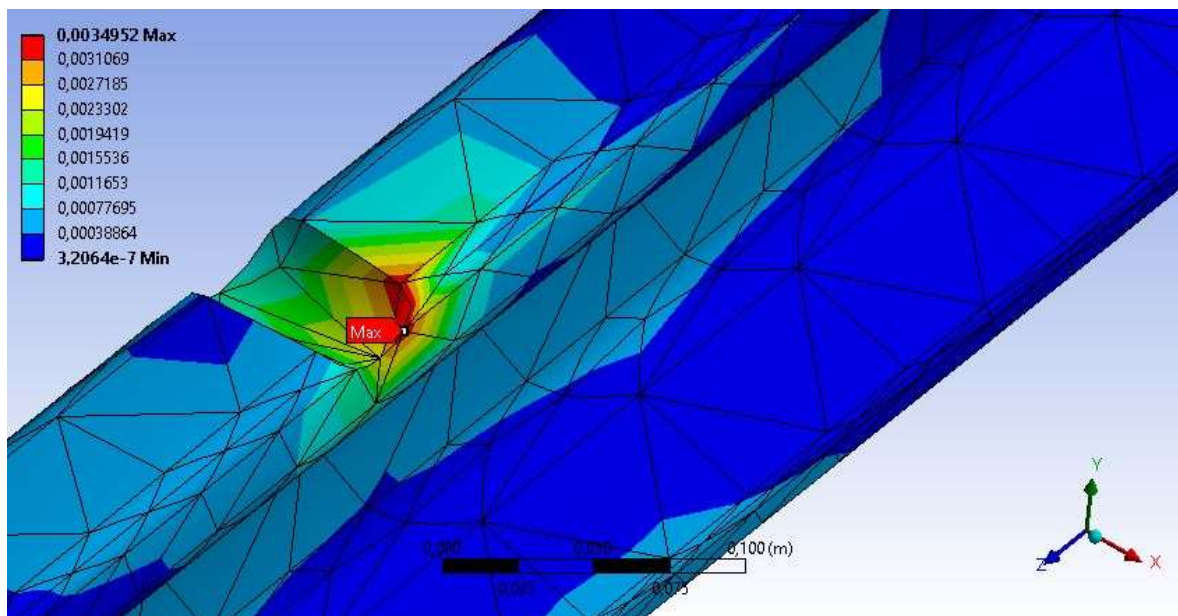


4.1.16 pav. Deformacijų pasiskirstymas esant 115593 N jėgai (19,4 m/s)

4.1.15 paveiksluke matome, kad esant 115593 N jėgai įtempiai siekia 513 MPa. 4.1.16 paveiksluke yra parodyti poslinkiai, kurie yra 3 mm.

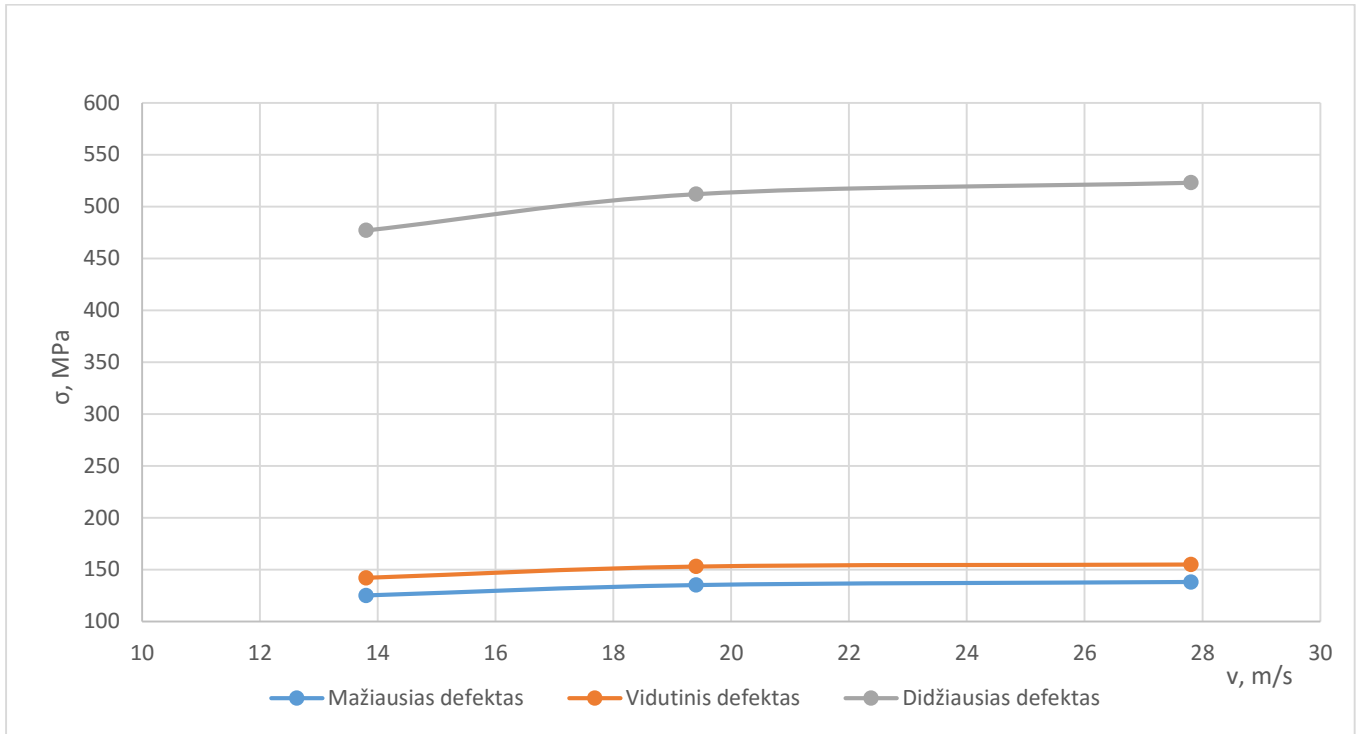


4.1.17 pav. Didžiausių įtempių pasiskirstymas esant 117954 N jėgai (27,8 m/s)



4.1.18 pav. Deformacijų pasiskirstymas esant 117954 N jėgai (27,8 m/s)

4.1.17 paveiksliuke matome, kad esant 117954 N jėgai įtempiai siekia 523 MPa. 4.1.18 paveiksliuke yra parodyti poslinkiai, kurie yra 4 mm.

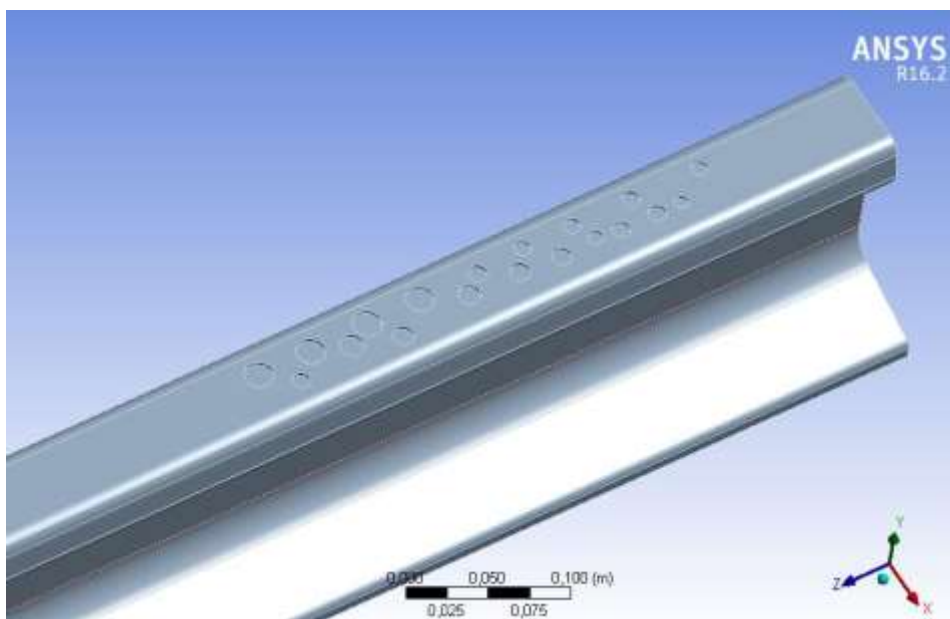


4.1.19 pav. Įtempių priklausomybė nuo greičio.

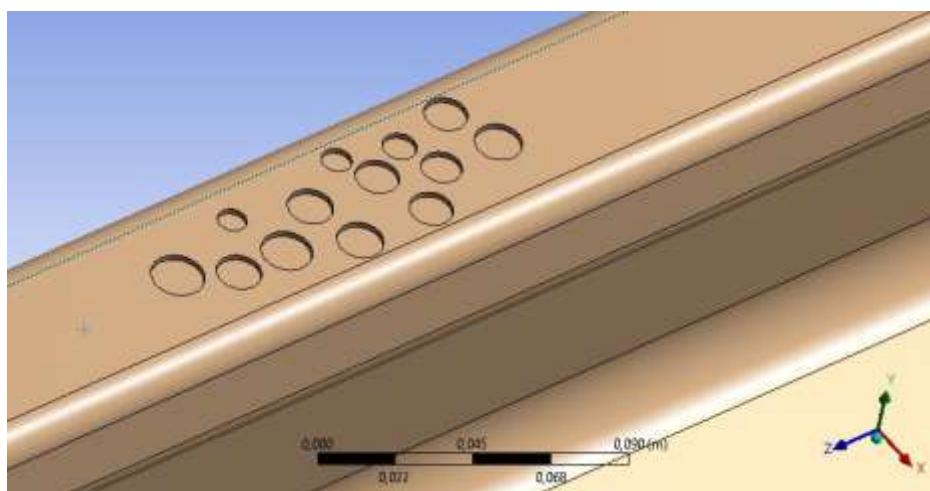
4.1.19 paveiksluke matome, kad kai defekto gylis nesiekė visos galvutės aukščio, įtempiai palyginus bėgyje gavosi maži. Kai defekto gylis buvo padidintas iki matmens, kuris yra didesnis, nei galvutės viršutinės dalies matmuo - 16 mm (galvutės viršutinės dalies aukštis siekia 14,4 mm), įtempiai labai išaugo, kas įtakotų labai didelę žalą bėgio galvutei. Galvutė toliau eksploatuojant galėtų nulūžti, kas galėtų sukelti nelaimingų atsitikimų. Didėjant defekto ilgiui taip pat yra pastebimas įtempių didėjimas, bet jis nėra toks ženklaus kaip didinant defekto gylį galvutėje.

4.2 Paviršiniai bėgio defektai galvutėje.

Defektas atsiranda dėl ratų ir bėgių kontakto. Defektas įtrūkiu pavidalu (1-5) mm atstumu vienas nuo kito atsiranda galvutės važiavimo paviršiuje arba vidinėje bėgio galvutės briaunoje. Įtrūkiai gali būti iki 2 mm gylio. Ilgai eksploatuojant bėgius, gali atsikilti metalas tarp atskirų įtrūkių ir tokiu būdu gali susidaryti gerokai ilgesnės įdubos. Defektas gali išsivystyti į skersinį įtrūkį, kuris greitai didėja ir bėgis gali lūžti. Bandymai atlikti pasirinkus du atvejus, kai įtrūkiai pasiskirstę ant bėgio galvutės (30 cm ilgyje buvo sumodeliuoti 20 defektų, kurių diametrai siekė nuo 5 iki 10 mm ir jų gyliai buvo 2 mm) ir kai defektai yra labiau susikoncentravę vienoje bėgio galvutės vietoje (11 cm ilgyje buvo sumodeliuoti 13 defektų, kurių diametrai siekė nuo 5 iki 10 mm ir jų gyliai buvo 2 mm).



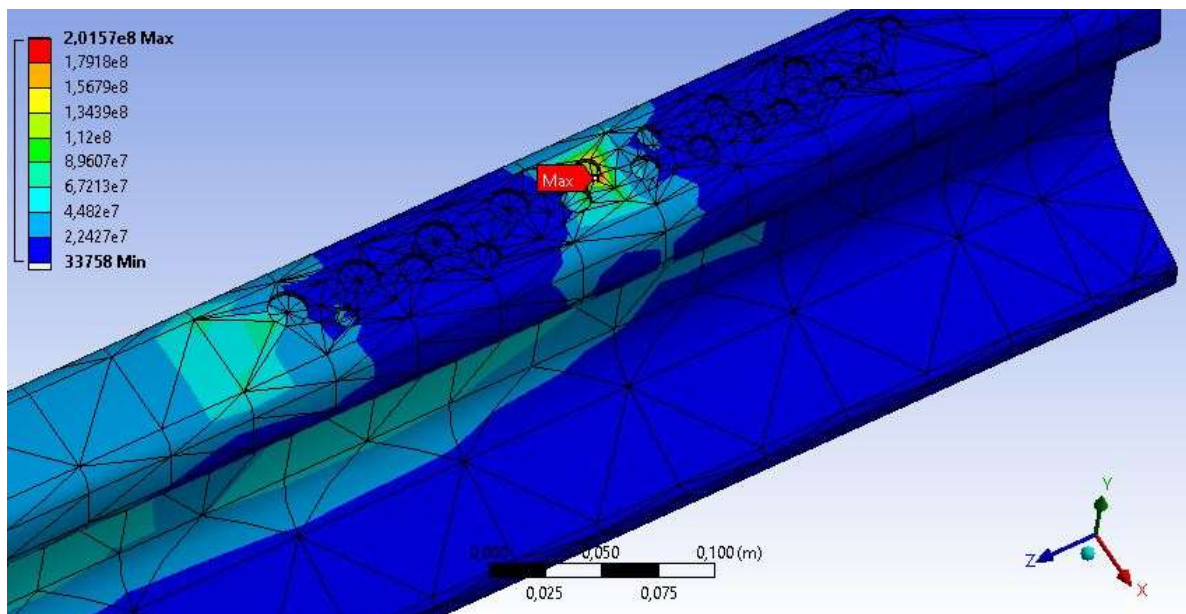
a)



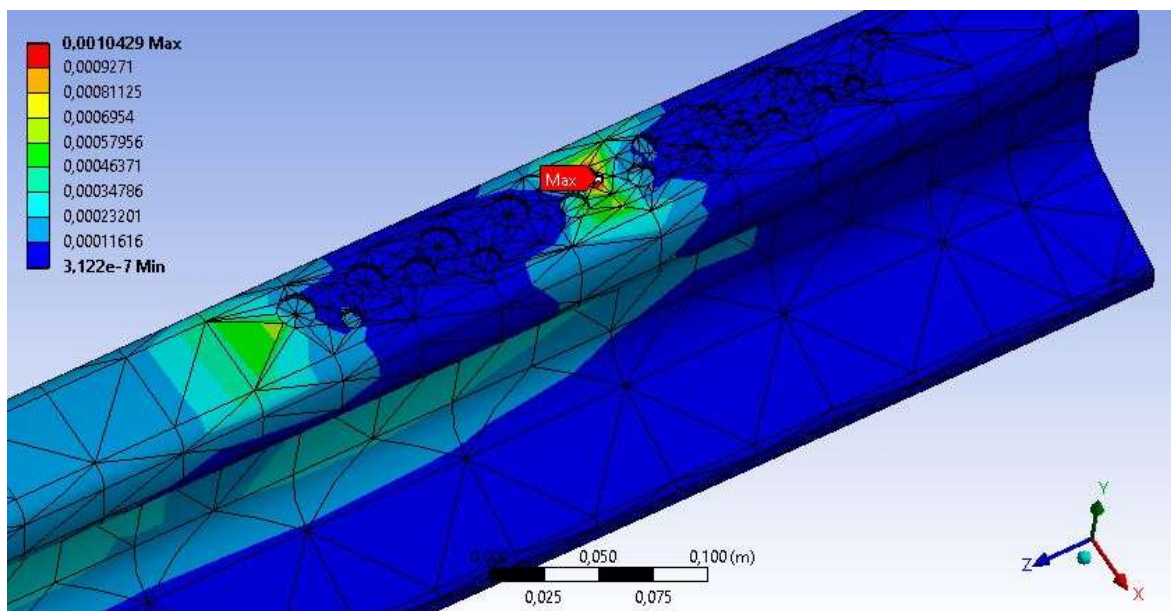
b)

4.2 pav. Paviršinių bėgio defektų modeliai. a) labiau išsidėstę po bėgio galvutę didesniame plote, b) labiau koncentruoti.

Rezultatai gauti, kai defektai yra pasiskirstę:

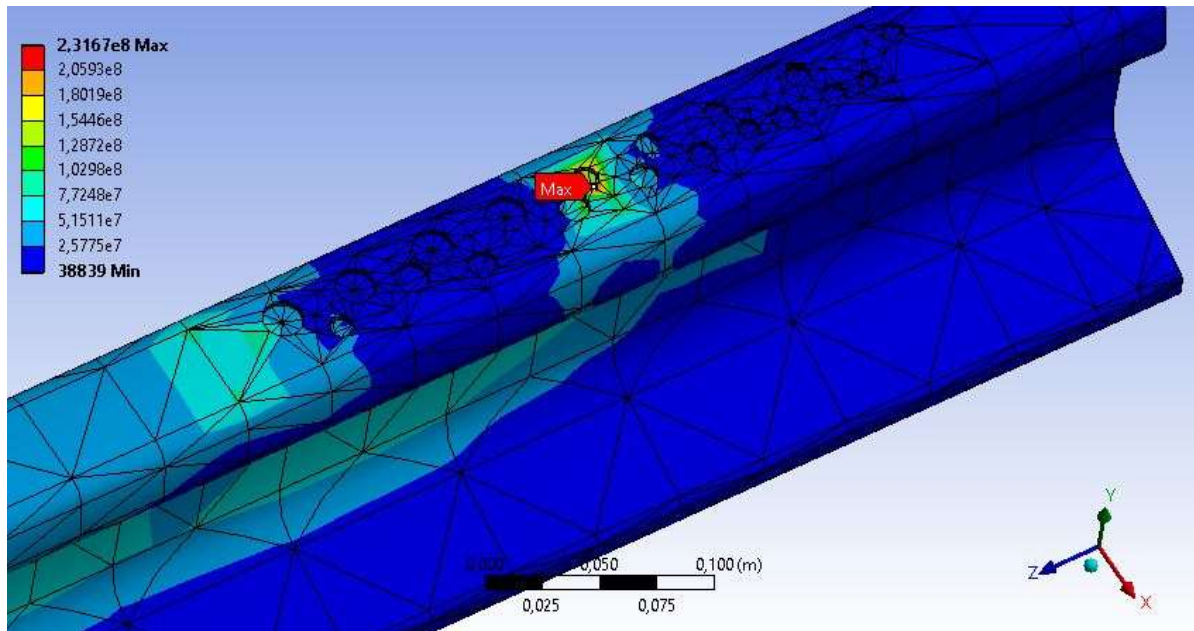


4.2.1 pav. Didžiausių įtempių pasiskirstymas esant 107569 N jėgai (13,8 m/s)

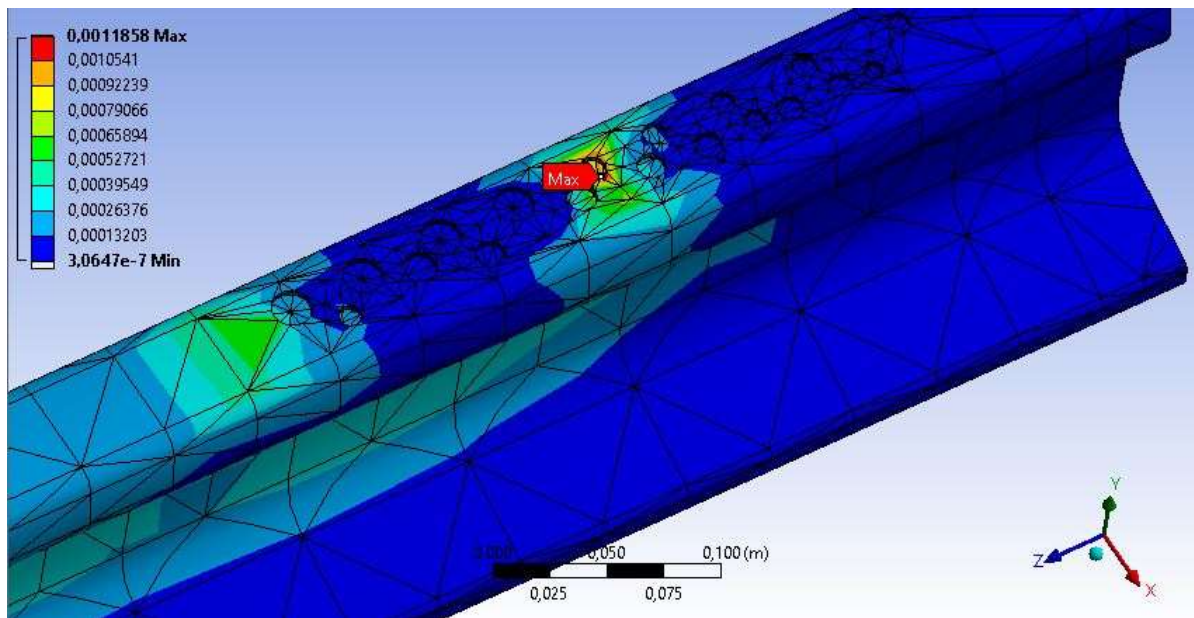


4.2.2 pav. Deformacijų pasiskirstymas esant 107569 N jėgai (13,8 m/s)

4.2.1 paveiksliuke matome, kad esant 107569 N jėgai įtempiai siekia 201 MPa. 4.2.2 paveiksliuke yra parodyti poslinkiai, kurie yra 1 mm.

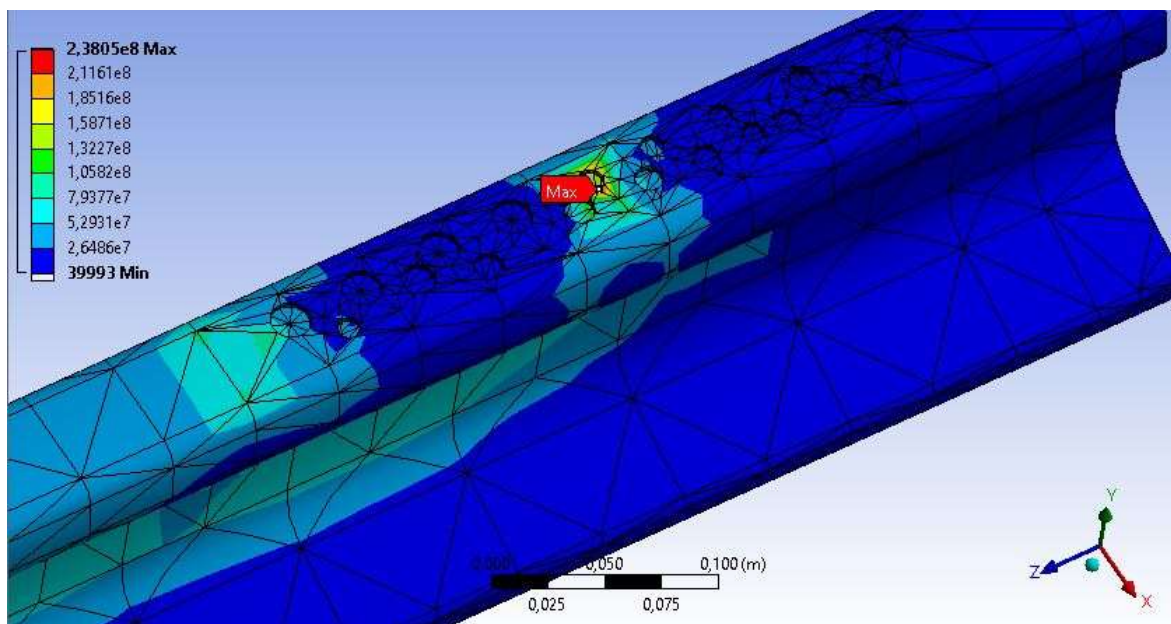


4.2.3 pav. Didžiausių įtempių pasiskirstymas esant 115593 N jėgai (19,4 m/s)

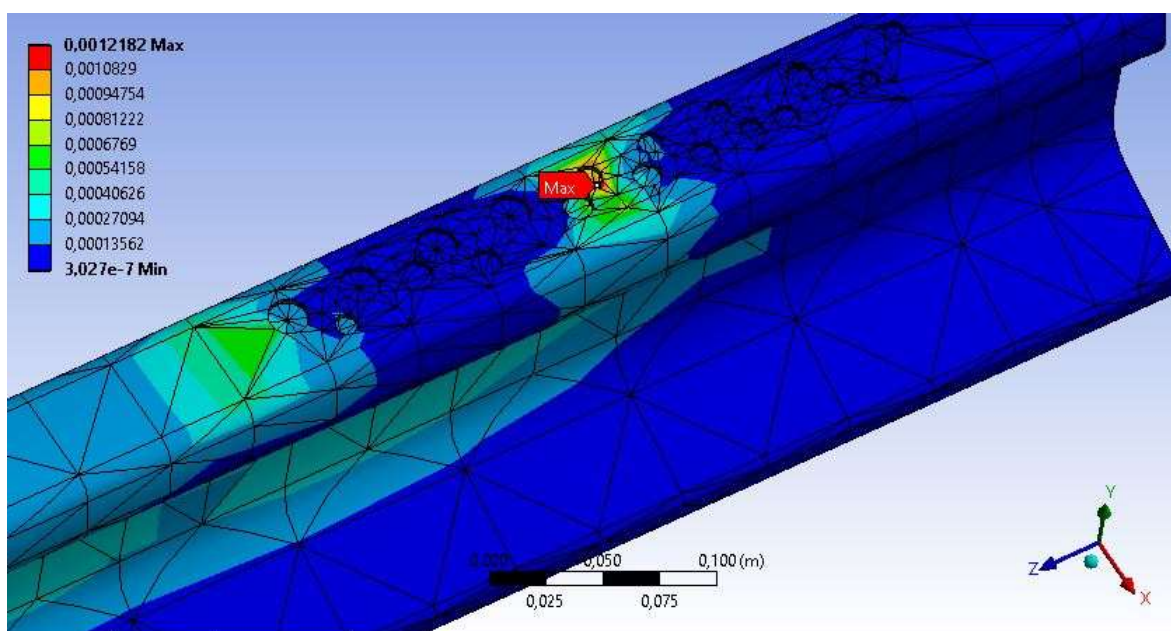


4.2.4 pav. Deformacijų pasiskirstymas esant 115593 N jėgai (19,4 m/s)

4.2.3 paveiksliuke matome, kad esant 115593 N jėgai įtempiai siekia 231 MPa. 4.2.4 paveiksliuke yra parodyti poslinkiai, kurie yra 1 mm.



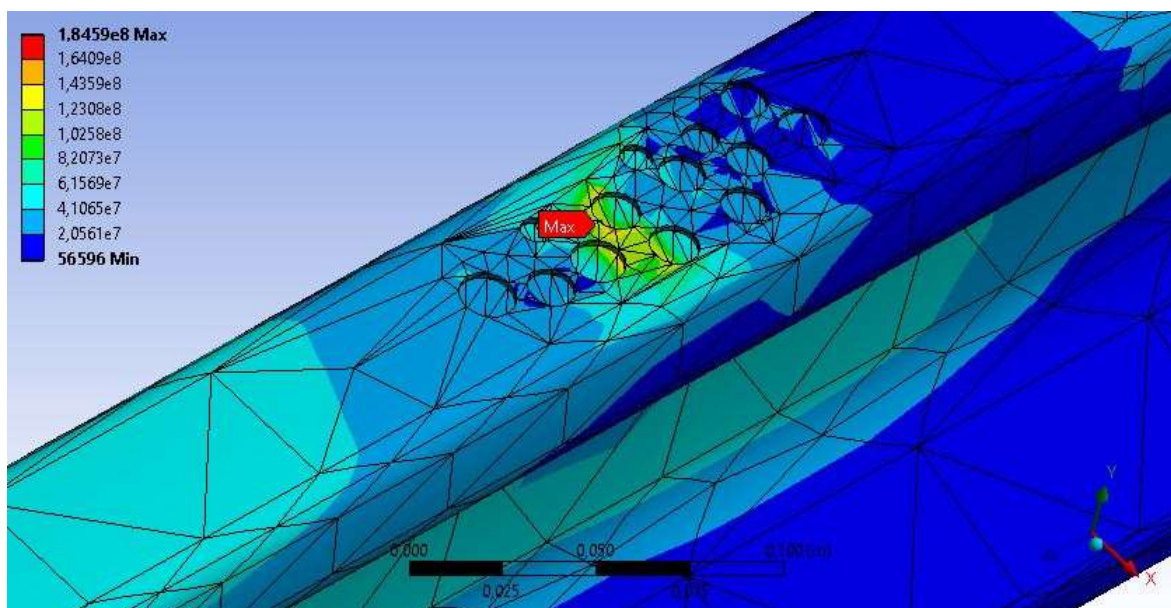
4.2.5 pav. Didžiausių įtempių pasiskirstymas esant 117954 N jėgai (27,8 m/s)



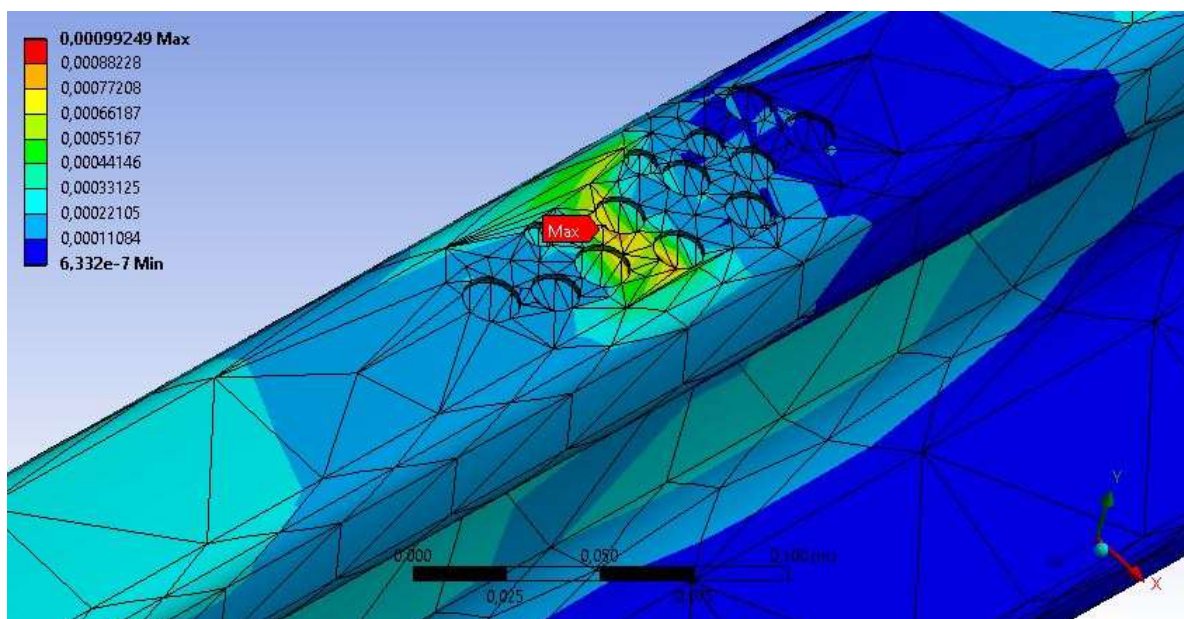
4.2.6 pav. Deformacijų pasiskirstymas esant 117954 N jėgai (27,8 m/s)

4.2.5 paveiksluke matome, kad esant 117954 N jėgai įtempiai siekia 281 MPa. 4.2.6 paveiksluke yra parodyti poslinkiai, kurie yra 1 mm.

Rezultatai, kai defektai yra labiau susikongravę:

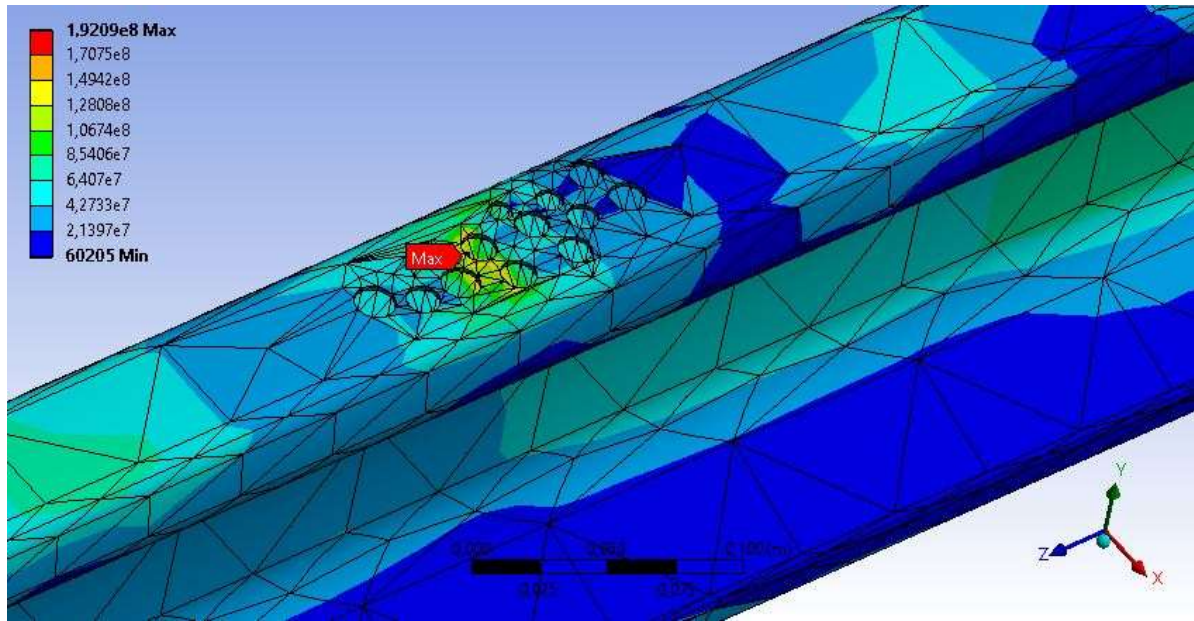


4.2.7 pav. Didžiausių įtempių pasiskirstymas esant 107569 N jėgai (13,8 m/s)

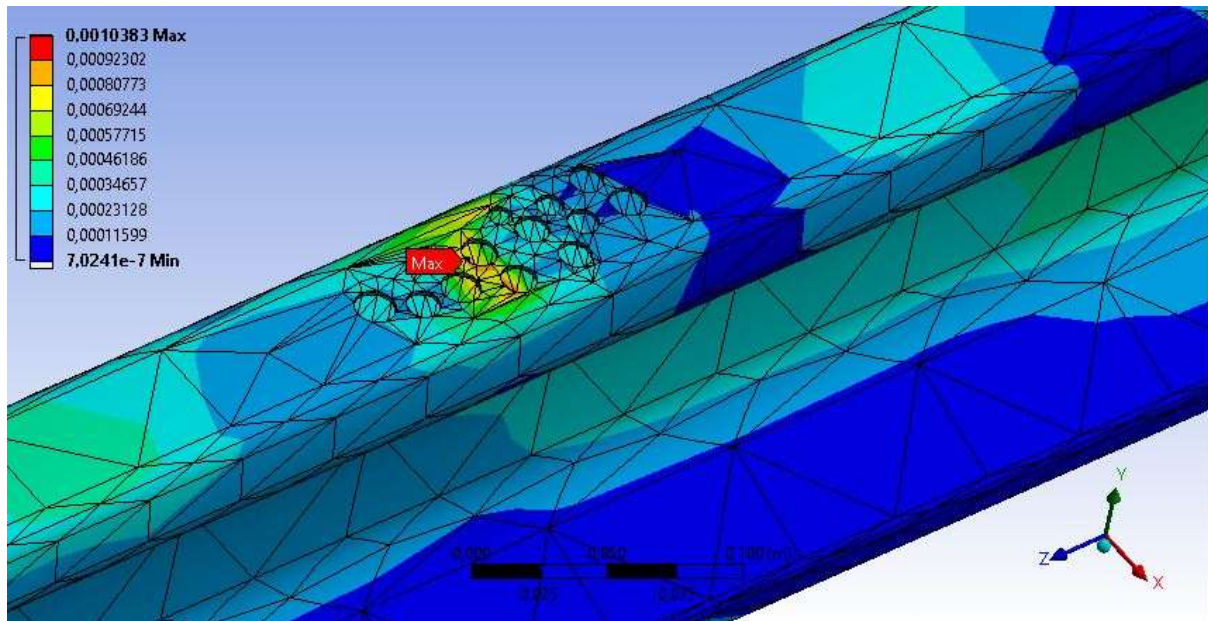


4.2.8 pav. Deformacijų pasiskirstymas esant 107569 N jėgai (13,8 m/s)

4.2.7 paveiksliuke matome, kad esant 107569 N jėgai įtempiai siekia 185 MPa. 4.2.8 paveiksliuke yra parodyti poslinkiai, kurie nesiekia 1 mm.

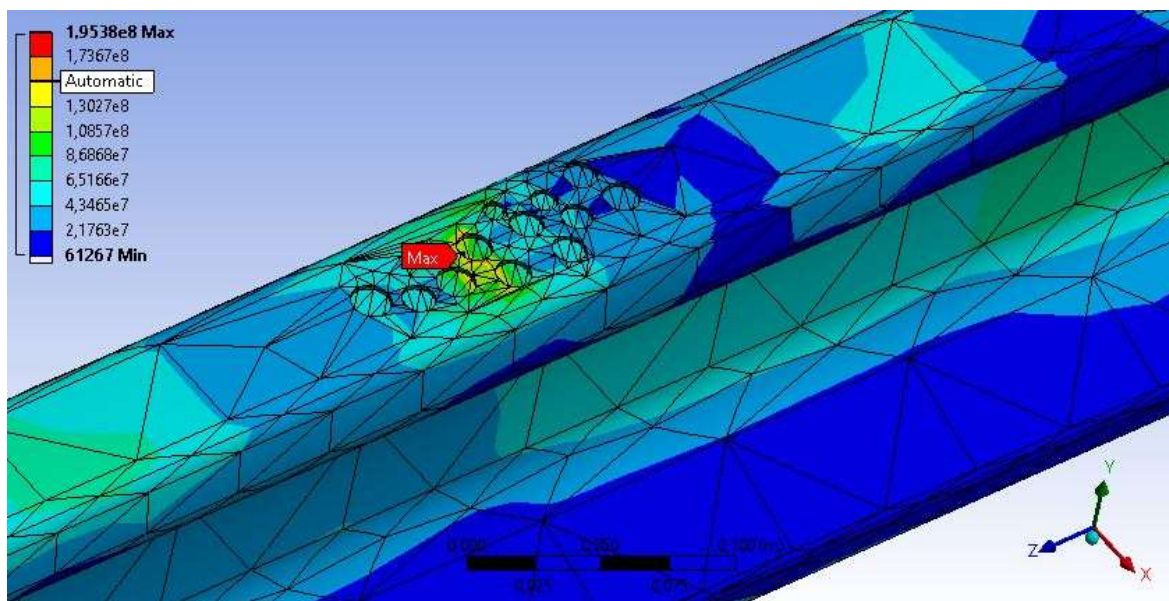


4.2.9 pav. Didžiausių įtempių pasiskirstymas esant 115593 N jėgai (19,4 m/s)

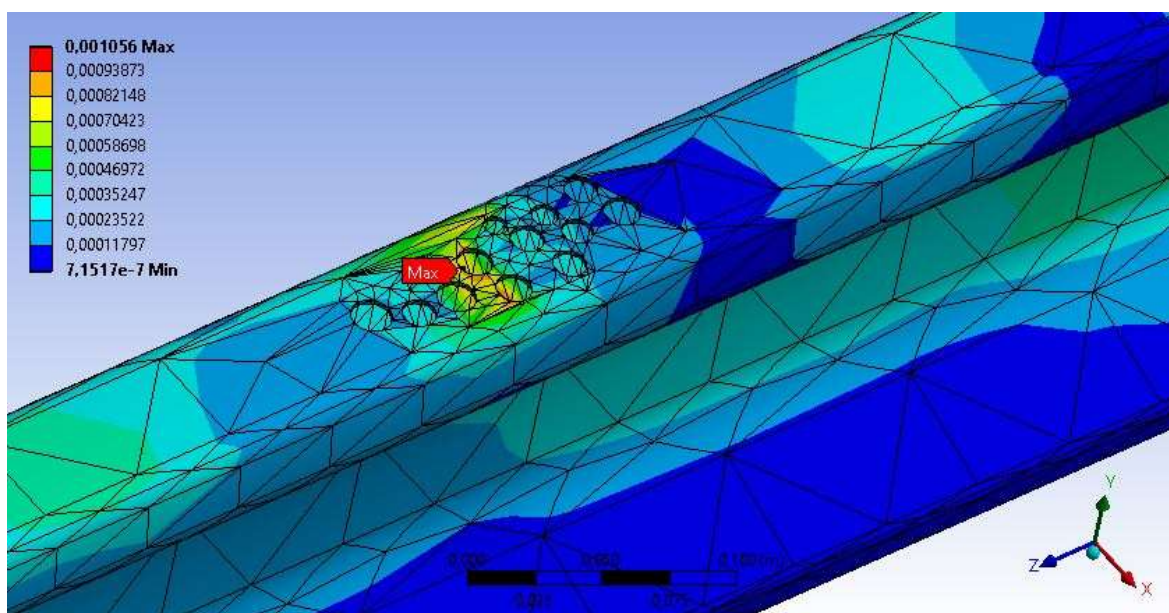


4.2.10 pav. Deformacijų pasiskirstymas esant 115593 N jėgai (19,4 m/s)

4.2.9 paveiksliuke matome, kad esant 115593 N jėgai įtempiai siekia 192 MPa. 4.2.10 paveiksliuke yra parodyti poslinkiai, kurie yra 1 mm.

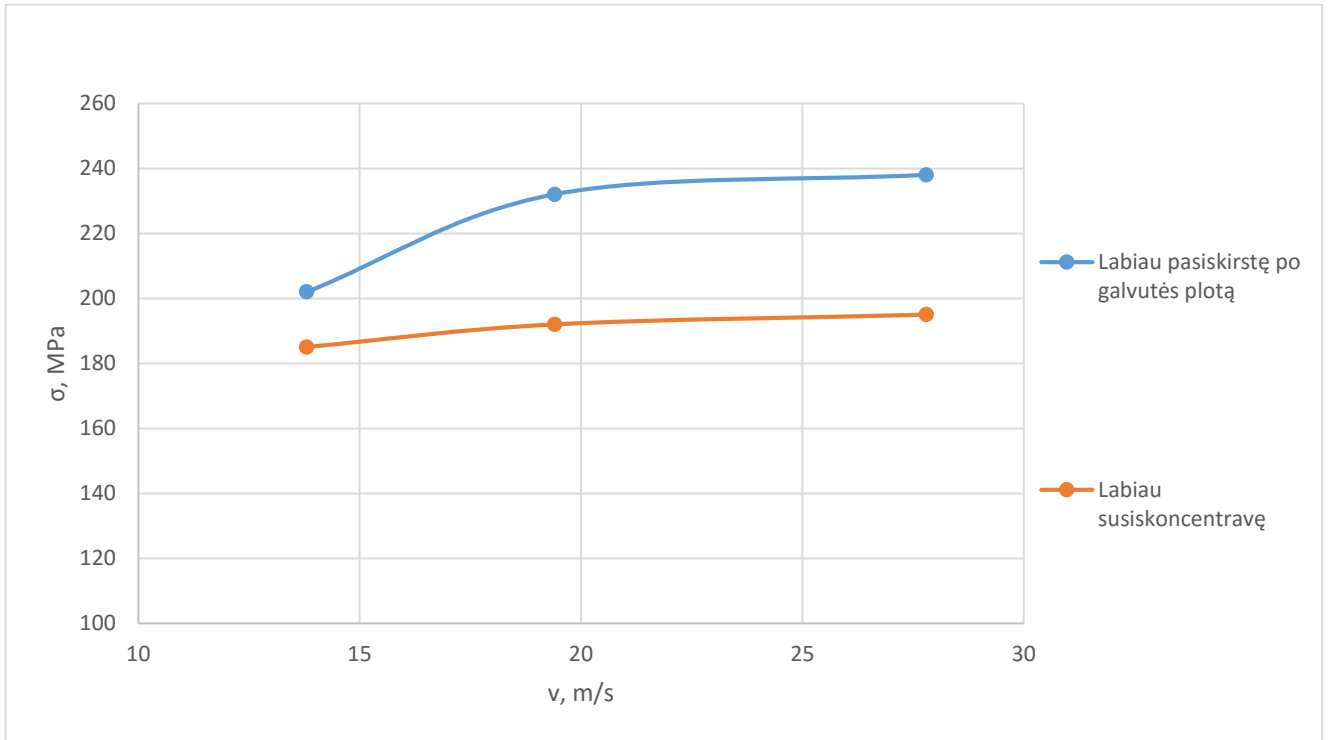


4.2.11 pav. Didžiausių įtempių pasiskirstymas esant 117954 N jėgai (27,8 m/s)



4.2.12 pav. Deformacijų pasiskirstymas esant 117954 N jėgai (27,8 m/s)

4.2.11 paveiksliuke matome, kad esant 117954 N jėgai įtempiai siekia 195 MPa. 4.2.12 paveiksliuke yra parodyti poslinkiai, kurie yra 1 mm.

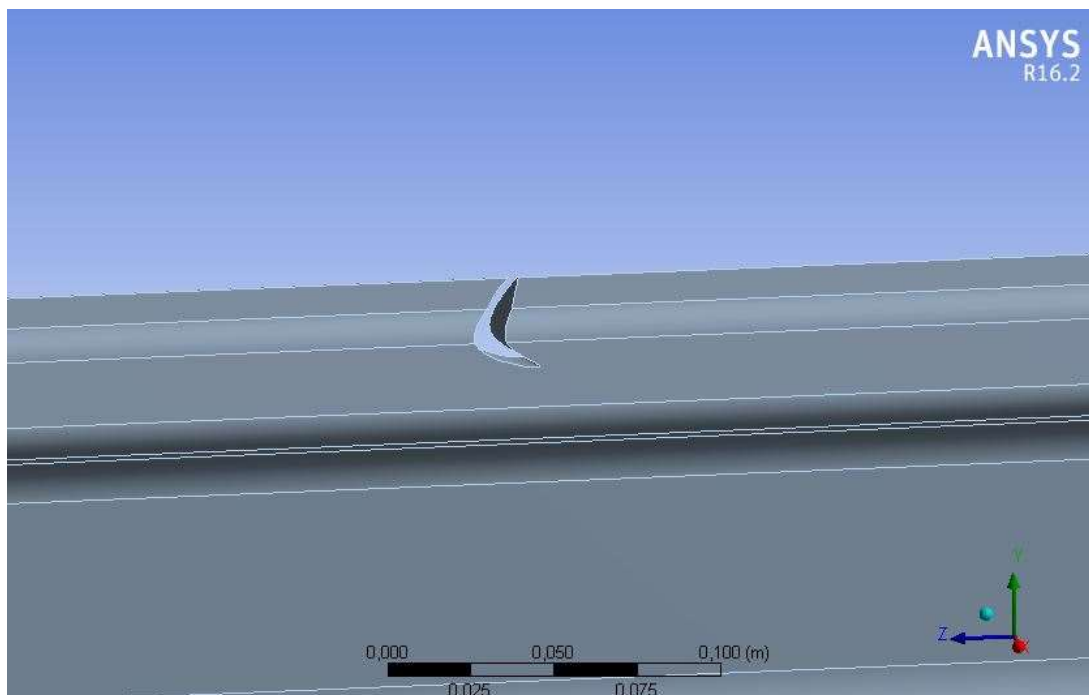


4.2.13 pav. Įtempių priklausomybė nuo greičio.

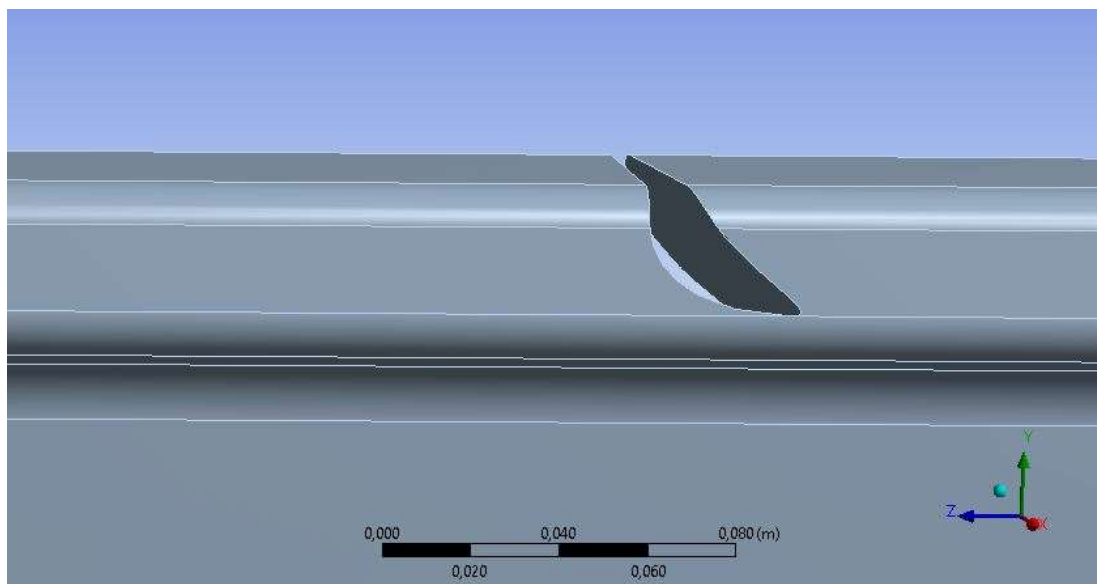
Iš įtempių grafiko matome, kad esant tankiau išsidėsčiusiems defektas įtempiai gaunami didesni, nes ilgesnį laiką ratui reikia pravažiuoti pro šiuos defektus, kas ir įtakoja įtempių didėjimus. Kai bėgyje yra labiau susikonstravusių defektų, įtempiai gaunami panašūs ir didėjant greičiui jų didėjimas nėra pastebimas, tai įvyksta dėl to, kad ratas greičiui pravažiuoja pro defekto vietą.

4.3 Metalo ištrupėjimas galvutėje.

Dėl bėgių užgrūdinimo technologijos pažeidimų metalo užterštumo nemetalinėmis priemaišomis galvutėje atsiranda ryškios skirtingo kietumo ribos. Šių ribų zonoje dėl smūginio riedmenų ratų poveikio metalas ištrupa. Analizei pasirinkti du atvejai, pirmas, kai ištrupėjimas siauresnis, jo plotis buvo parinktas 8 mm, antras kai ištrupėjimas platus, jo plotis buvo parinktas 17 mm.



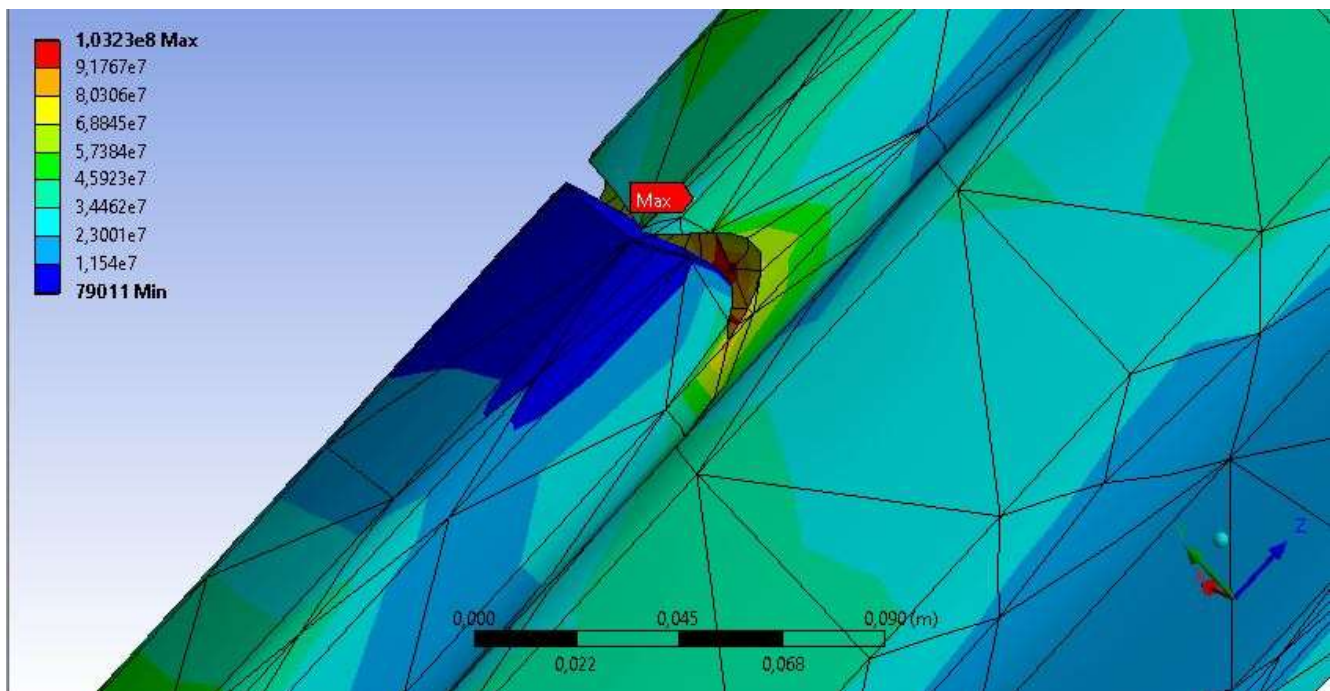
a)



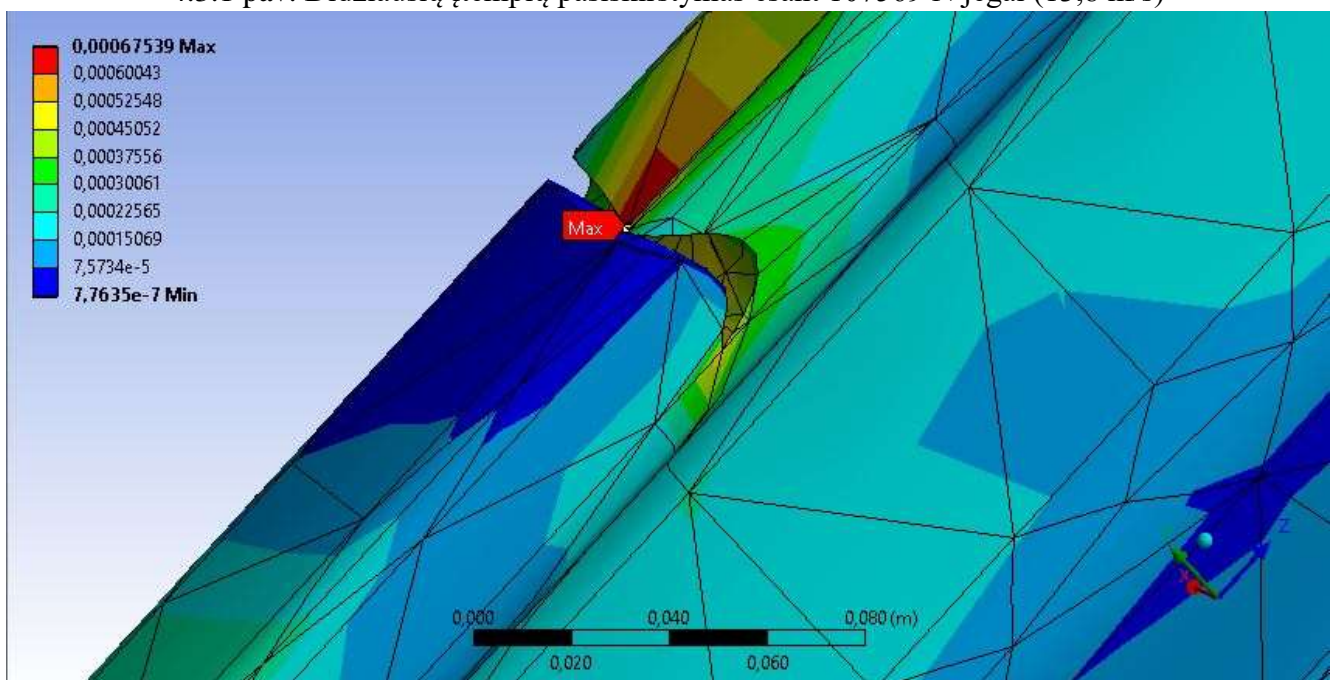
b)

4.3 pav. Metalo ištrupėjimo modelis. a) kai ištrupėjimas siauresnis (8mm) b) kai ištrupėjimas platesnis (17 mm).

Pirmas atvejis, kai ištrupėjimas siauresnis (8 mm pločio):

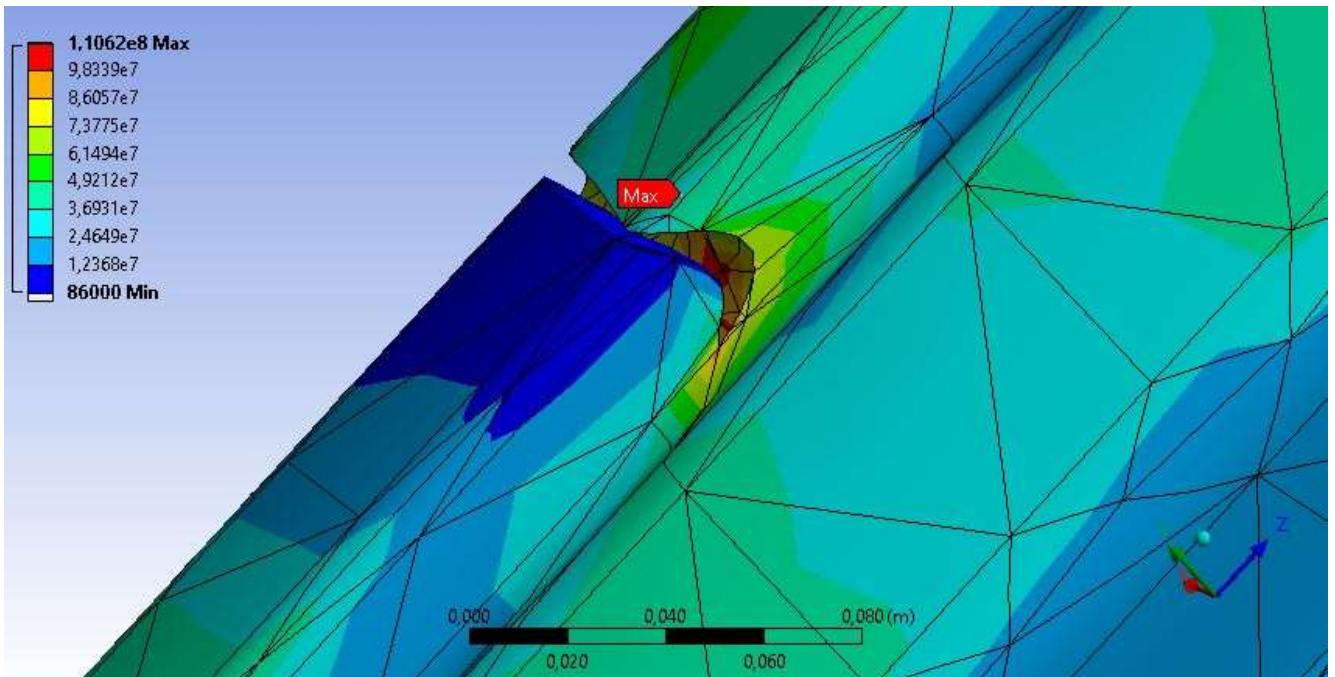


4.3.1 pav. Didžiausių įtempių pasiskirstymas esant 107569 N jėgai (13,8 m/s)

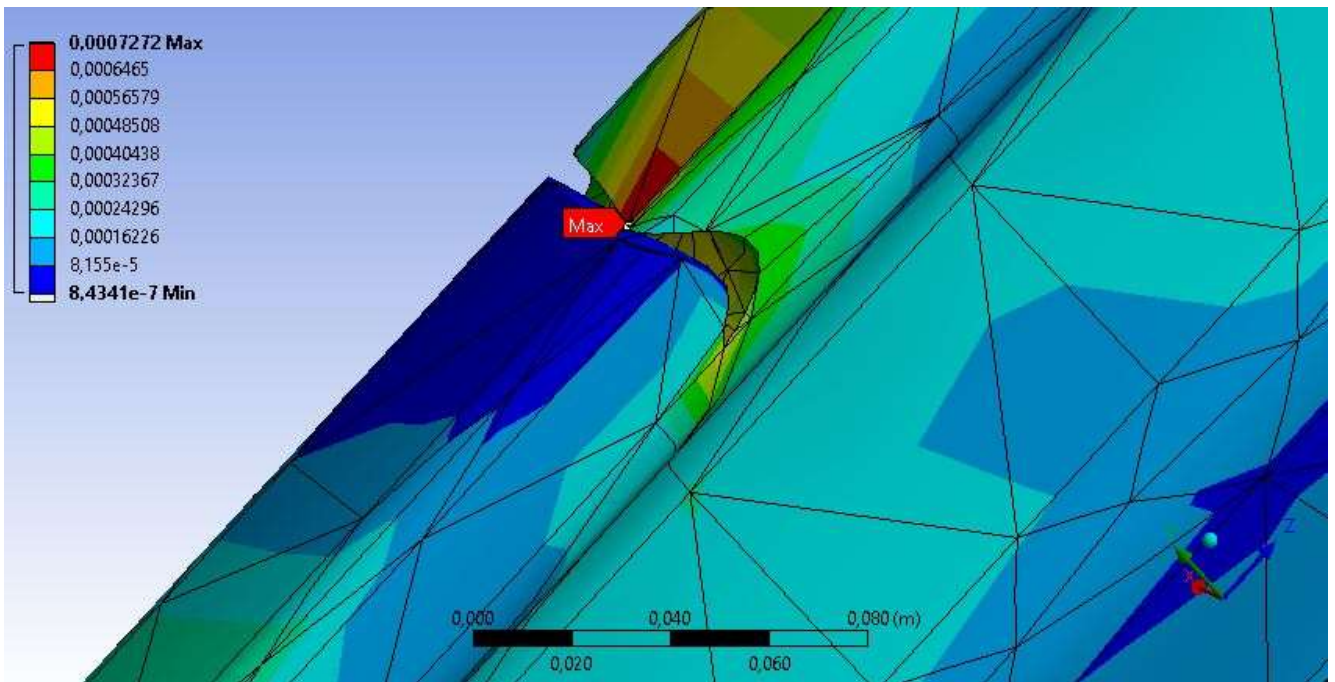


4.3.2 pav. Deformacijų pasiskirstymas esant 107569 N jėgai (13,8 m/s)

4.3.1 paveiksliuke matome, kad esant 107569 N jėgai įtempiai siekia 103 MPa. 4.3.2 paveiksliuke yra parodyti poslinkiai, kurie yra 0,1 mm.

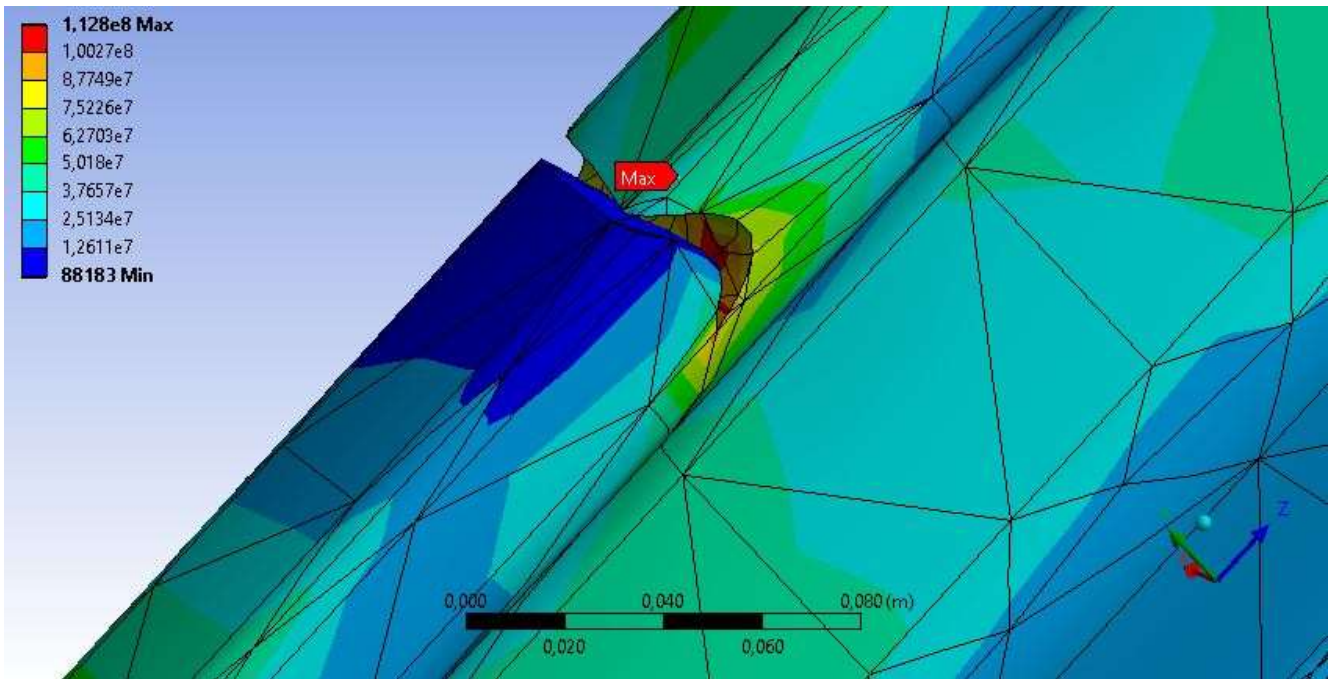


4.3.3 pav. Didžiausių įtempių pasiskirstymas esant 115593 N jėgai (19,4 m/s)

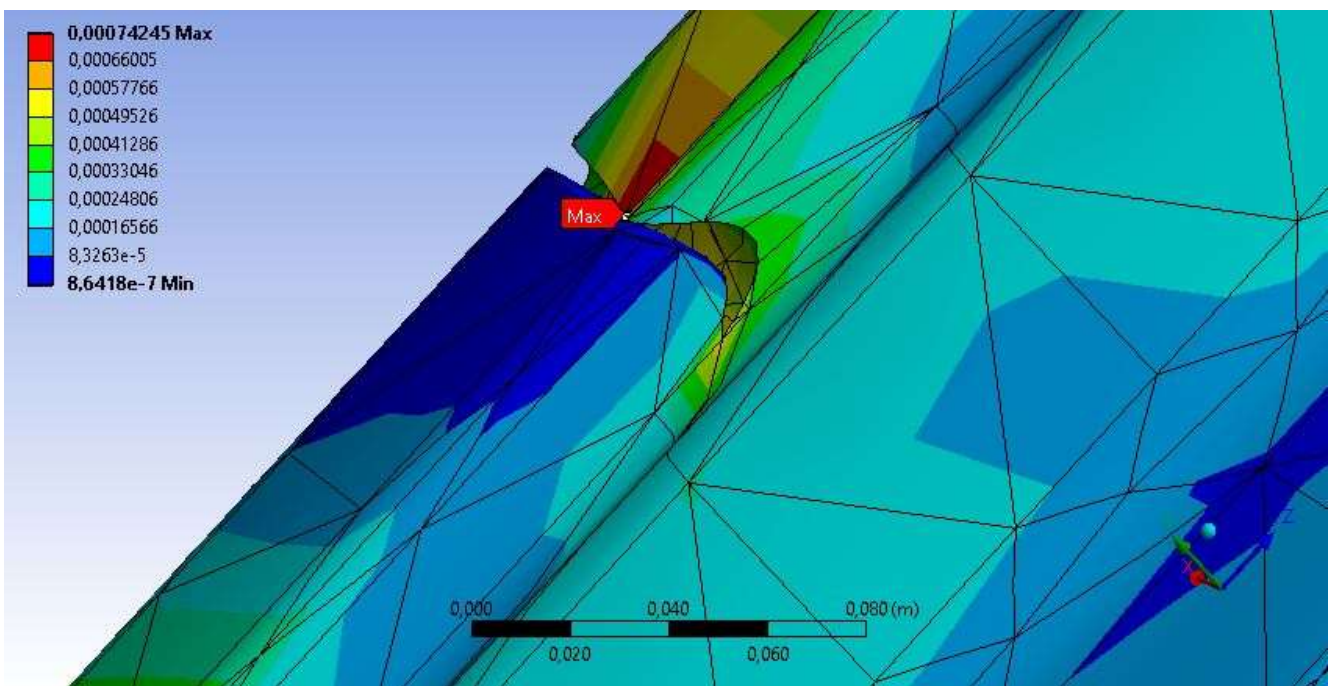


4.3.4 pav. Deformacijų pasiskirstymas esant 115593 N jėgai (19,4 m/s)

4.3.3 paveiksliuke matome, kad esant 115593 N jėgai įtempiai siekia 110 MPa. 4.3.4 paveiksliuke yra parodyti poslinkiai, kurie yra 0,1 mm.



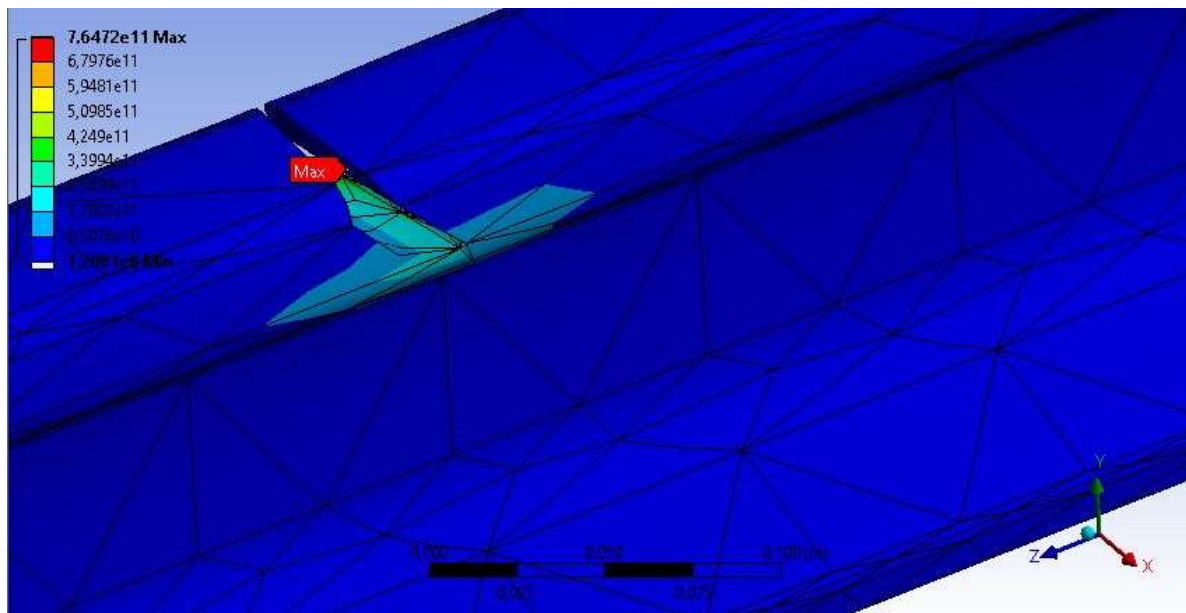
4.3.5 pav. Didžiausių įtempių pasiskirstymas esant 117954 N jėgai (27,8 m/s)



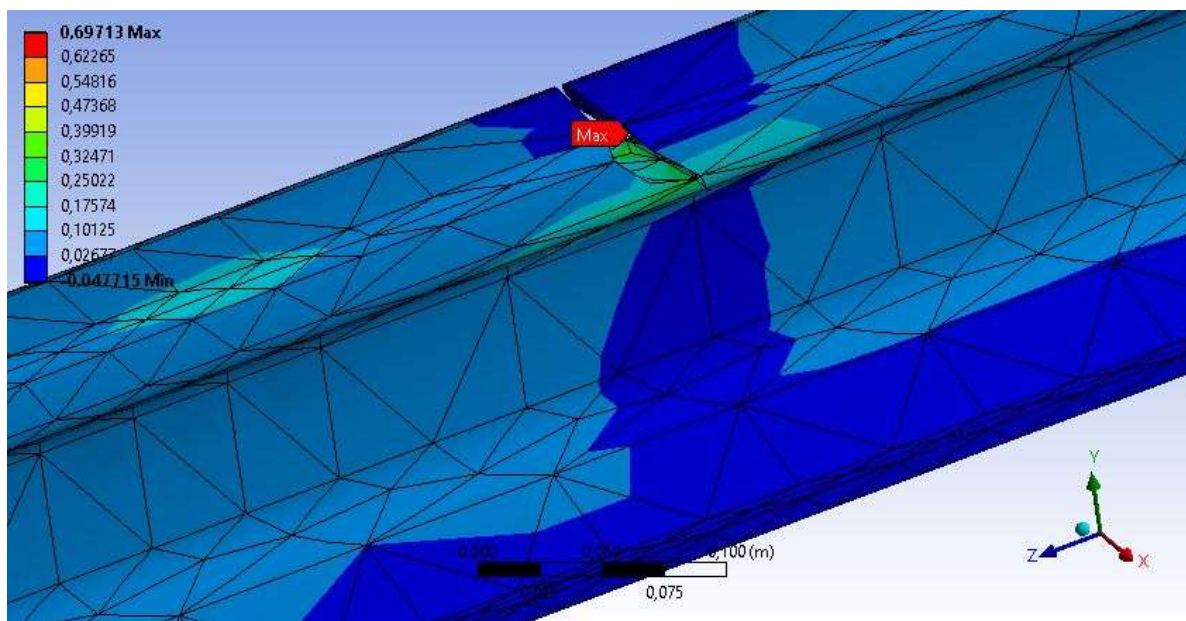
4.3.6 pav. Deformacijų pasiskirstymas esant 117954 N jėgai (27,8 m/s)

4.3.5 paveiksluke matome, kad esant 117954 N jėgai įtempiai siekia 113 MPa. 4.3.6 paveiksluke yra parodyti poslinkiai, kurie yra 0,1 mm.

Antras atvejis, kai ištrupėjimas platesnis (17 mm pločio):



4.3.7 pav. Didžiausių įtempių pasiskirstymas esant 107569 N jėgai (13,8 m/s)



4.3.8 pav. Deformacijų pasiskirstymas esant 107569 N jėgai (13,8 m/s)

Palyginus gautus rezultatus (4.3.7 pav. ir 4.3.8 pav) matome, kad esant platesniam defektui, kurio plotis buvo parinktas 17 mm ir esant pirmam greičiui, įtempiai gaunami labai dideli, kurie viršija leistiną normą, dėl to rato galvutė būtų negrįžtamai pažeista ir bėgis šioje vietoje iškarto lūžtų.

Darbo apibendrinimas ir rezultatų palyginimas

Darbe buvo išanalizuoti bėgiuose atsirandantys defektai, jų aptikimo metodai bei ženklėjimas. Buvo pasirinkti trys pagrindiniai, dažniausiai vyraujantys defektai eksploatuojant bėgius. Naudojant SolidWorks programą buvo sumodeliuoti dažniausiai bėgiuose vyraujantys pavojingiausi defektai. Atlikti tyrimai parodė, kad esant metalo ištrupėjimams, bėgiui yra daroma didžiausia žala. Tačiau atlikti skaičiavimai gali ir nesutapti, jei tokie patys bandymai būtų atlikti realiomis sąlygomis, nes skaičiavime nebuvo įvertintos visos galimos sąlygos, kurios gali pasitaikyti realiomis sąlygomis. Darbą būtų galima tęsti įvertinant daugiau kintamųjų, kurie patikslintų darbo rezultatus t.y. – įvertinti vėžimėlio įtaką, atlikti bandymus traukiniui stabdant, įvertinti įvairias aplinkos temperatūras, įvertinti defektų įtaką kreivėse ar esant sandūrom ir kt.

Išvados

1. Išanalizavus bėgiuose atsirandančius defektus, tyrimui buvo pasirinkti 3 pagrindiniai defektai, kurie buvo vertinami tiriant bėgių ir rato sąveiką.
2. Tiriant skersinių įtrūkių defektų įtaką, buvo pasirinktos 3 šio defekto variacijos, keičiant ilgį ir gylį. Didinant gylį iki matmens, artimo viršutinei galvutės daliai, įtempiai buvo gaunami nedideli, tačiau pakeitus gylį į matmenį, artimą viršutinės galvutės dalies aukščiui, įtempiai buvo gauti ženkliai didesni, kas parodo, kad kuo gilesnis defektas yra, tuo didesnė žala yra daroma bėgiui.
3. Didžiausi įtempiai tiriant skersinių įtrūkių defektų įtaką buvo gauti: pirmu atveju, kai defekto matmenys buvo pasirinkti mažiausi – 137 MPa, antru atveju – 156 MPa ir trečiu atveju, kai defektas buvo didžiausias – 523 MPa.
4. Tiriant paviršinių bėgių defektų įtaką, buvo pasirinkti įvairaus skersmens, įvairaus skersmens, bet vienodo gylio – 2 mm defektai. Taip pat buvo pasirinkti dviejų tipų defektai: kai defektai ant bėgio galvutės yra pasiskirstę 30 cm ilgyje; kai defektai ant bėgio galvutės yra pasiskirstę 11 cm ilgyje; Didžiausi įtempiai ir didžiausia daroma žala bėgiui buvo nustatyta pirmu atveju, nes defektai buvo pasiskirstę didesniame ilgyje ir važiuojant ratui, defektai veikė ilgesni laiką.
5. Didžiausi įtempiai gauti tiriant paviršinius bėgio defektus, kai defektai buvo labiau plačiau pasiskirstę po bėgio galvutę – 238 MPa; antru atveju, kai defektai buvo labiau koncentruoti – 195 MPa.
6. Tiriant metalo ištrupėjimų bėgių galvutėje įtaką buvo pasirinkti dviejų pločių 8 mm ir 17 mm pločio ištrupėjimai. Gauti tyrimų rezultatai parodė, kad šis defektas yra pats pavojingiausias iš visų tirtų. Tiriant 17 mm pločio ištrupėjimo atvejį, buvo gauta, kad esant mažiausiam pasirinktam greičiui – 13,8 m/s, bėgyje nustatyti didžiausi įtempiai, viršijantys leistinus. Dėl to bėgio galvutė gali lūžti.

Literatūros sąrašas

1. Lingaitis L. P. Geležinkeliai. Bendras kursas. Vilnius: Technika, 2009. 280 p.
2. Sakalauskas K. Geležinkelių projektavimas. Vilnius: Technika, 2012. 176 p.
3. Sakalauskas K., Laurinavičius A., Padogėlis P. Geležinkelių inžinerija 2. Konstrukcija. Priežiūra. Technologija. Vilnius: Technika, 2000. 276 p.
4. Podagėlis I., Povilaitienė I. GELEŽINKELIŲ INŽINERIJA. Viršutinė bėgių kelio konstrukcija. Vilnius: Technika, 2006. 112 p.
5. Geležinkelių kelio priežiūros taisyklės K/111. Parengė VGTU Lietuvos mokslininkų sąjungos skyrius „Technika“ (darbo vadovas Kazys Sakalauskas) ir SPAB „Lietuvos geležinkeliai“ Infrastruktūros valdybos Kelių skyrius (Alfonsas Povilanskas). Vilnius. 2006. 213 p.
6. Bėgių defektų ir pažeidimų klasifikatorius, 71/K. Vilnius: UAB „Gelspa“, 2003.
7. ISSN 1392 – 1215 ELEKTRONIKA IR ELEKTROTECHNIKA. 2004. Nr. 4(53). T 125 AUTOMATIZAVIMAS, ROBOTOTECHNIKA. „Geležinkelio bėgių diagnostika naudojant geometrinius klasifikatorius“ V. A. Buinevičius, V. Gargasas. Valdymo technologijų katedra, Kauno technologijos universitetas. 2004. 89 p.
8. The Interactions Between Railway Vehicle Dynamics And Track Lateral Alignment. Cencen Gong. Institute of Railway Research (IRR). University of Huddersfield.
9. The state of the art of the simulation of vehicle track interaction as a method for determining track degradation rates. Part 2 – High Resolution models and the level of validation generally 2009.
10. Vehicle Track Interacion (VTI). Research to Support Derailment Investigaions. Brain Marquis. 2012.
11. Effect of cracks on the dynamic response of a simple beam subject to a moving load. M. A. Mahmoud. 2001.
12. Surface cracks and wear of rail: a full scale test on a commuter train track. U. Olofsson, R. Nilsson. 2002.
13. ДЕФЕКТОСКОПИЯ КОЛЕСНЫХ ПАР В ПРОЦЕССЕ ПРОУЗБОДЦТВА. Железные дороги мира. 1993.
14. МЕХАНИКА РАЗРУШЕНИЯ ЦЕЛЬНОКАТАНЫХ КОЛЕС. К.-О ЗДЕЛЬ, М. ШАПЕР. 1994.
15. ПРОДЛЕНИЕ СПОКА СЛУЖБЫ ПЕРЛЫЦОБ И КОЛЕС. Железные дороги мира. 1993.
16. О ПРОБЛЕМЕ "КОЛЕСО - РЕЛЫЦ". Д. П. СЛИВЕЦ, 2001.