



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Elektrinės riedlentės projektavimas ir tyrimai

Baigiamasis magistro projektas

Martynas Vrašinskas
Projekto autorius

Doc. dr. Paulius Griškevičius
Vadovas

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Elektrinės riedlentės projektavimas ir tyrimai

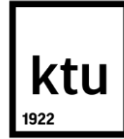
Baigiamasis magistro projektas
Mechanikos inžinerija (6211EX009)

Martynas Vrašinskas
Projekto autorius

Doc. dr. Paulius Griškevičius
Vadovas

Dr. Gintautas Dundulis
Recenzentas

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Martynas Vrašinskas

Elektrinės riedlentės projektavimas ir tyrimai

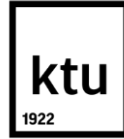
Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, *Martyno Vrašinsko*, baigiamasis projektas tema „*Elektrinės riedlentės projektavimas ir tyrimai*“ 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.

(Vardas, Pavardė įrašomi ranka)

(parašas)



Kauno technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Studijų programa – MECHANIKOS INŽINERIJA 6211EX009

Magistrantūros studijų baigiamojo projekto užduotis

Studentui(-ei) – Martynas Vrašinskas

1. Baigiamojo projekto tema –

Elektrinės riedlentės projektavimas ir tyrimai

(Lietuvių kalba)

Electric skateboard design and analysis

(Anglų kalba)

2. Baigiamojo projekto tikslas ir uždaviniai –

Nustatyti elektrinės riedlentės prototipą veikiančias apkrovas, panaudoti gautus duomenis projektuojant naują elektrinės riedlentės prototipą.

- Atlikti literatūros apžvalgą apie esamą rinkos produktų pasiūlą, jų konstrukcinius ypatumus, gamybai naudojamus medžiagas.
- Pagaminti elektrinės riedlentės prototipą skirtą atlikti apkrovų analizę realiomis eksploatacijos sąlygomis.
- Sukurti ir sukalibruoti matavimo sistemą, leidžiančią atlikti mobilius matavimus,
- Eksperimentiškai nustatyti riedlentę veikiančias apkrovas eksploatacijos metu.
- Remiantis apkrovų matavimo rezultatais, suprojektuoti elektrinės riedlentės konstrukcijos prototipą, bei sudaryti ir įvertinti skaitinį modelį.

3. Pradiniai baigiamojo projekto duomenys –

4. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos –

Tyrimus atlikti pagal Lietuvos Respublikos standartų reikalavimus. Projektavimui taikyti saugius ir pažangius metodus.

Projekto autorius

Martynas Vrašinskas

(Vardas, Pavardė)

(parašas)

(data)

Baigiamojo projekto vadovas

Doc. dr. Paulius Griškevičius

(Vardas, Pavardė)

(parašas)

(data)

Krypties studijų programos vadovas

Doc, dr. Kęstutis Pilkauskas

(Vardas, Pavardė)

(parašas)

(data)

Vrašinskas, Martynas. Elektrinės riedlentės projektavimas ir tyrimai. Magistro baigiamasis projektas / vadovas Paulius Griškevičius; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų sritis (studijų krypčių grupė), studijų kryptis: Technologijos mokslai, Mechanikos inžinerija

Reikšminiai žodžiai: elektrinė, riedlentė, konstrukcija, projektavimas, tyrimai.

Kaunas, 2020. 61 p.

Santrauka

Atliktame magistro baigiamajame projekte apžvelgta su gaminiu susijusi literatūra – apžvelgtos elektrinių riedlenčių konstrukcijos, nustatyti konkurencingų gamintojų naudojami konstrukciniai sprendimai, šiems sprendimams įgyvendinti naudojamos medžiagos ir technologijos. Taip pat apžvelgtas pagamintas pirmasis prototipas, jo trukumai ir siūlomi patobulinimai. Sekančiame skyriuje atliktas elektrinės riedlentės prototipo konstrukcijos tyrimas. Šiam tyrimui panaudotas pagamintas prototipas ir sukurta tenzorezistorių matavimo įranga. Pagaminta matavimo įranga sukalibruota išbandant prototipą dinamikos laboratorijoje, naudojant „Tinius Olsen H10KT“ bandymų mašiną. Atliktas elektrinę riedlentę veikiančių apkrovų tyrimas eksploatacijos sąlygomis. Gauti rezultatai toliau buvo naudojami naujo prototipo projektavimo etape, atliekant baigtinių elementų analizę. Suprojektuota sekančio prototipo konstrukcija, atlikta stiprumo analize, palygintas gautas standumas ir sutaupyta konstrukcijos svoris.

Vrašinskas, Martynas. Electric skateboard design and analysis. Master's Final Degree Project / supervisor Paulius Griškevičius; The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study area (study field group), study field: Technological Sciences, Mechanical Engineering

Key words: electric, skateboard, structure, design, analysis.

Kaunas, 2020. 61 p.

Summary

The completed master's thesis reviews the literature related to the product - reviews of electric skateboard constructions, identifies construction solutions used by competitive manufacturers, materials and technologies used to implement these solutions. Also the first prototype was produced, its shortcomings and proposed improvements are also reviewed. In the next section, a study of the design of an electric skateboard prototype is performed. The manufactured prototype was used for this research and tensor resistor measuring equipment was developed. The manufactured measurement equipment was calibrated by testing the prototype in a dynamics laboratory using a Tinius Olsen H10KT test machine. An investigation of the loads acting on an electric skateboard under operating conditions was performed. The obtained results were further used in the design phase of a new prototype for finite element analysis. The construction of the next prototype was designed, strength analysis was performed, the obtained stiffness and the weight of the construction saved was compared to the first prototype.

Turinys

Lentelių sąrašas	9
Paveikslų sąrašas	10
Įvadas.....	12
1. Su gaminiu susijusios informacijos apžvalga.....	13
1.1. Pirminio elektrinės riedlentės prototipo tobulinimo aktualumas.....	13
1.2. Rinkos apžvalga.....	14
1.3. Kompozitinės medžiagos.....	16
1.3.1. Medžio laminatas.....	17
1.3.2. Anglies pluoštas.....	17
1.3.3. Stiklo pluoštas	18
1.3.4. Palyginimas	19
1.4. Stiprumo ir ilgaamžiškumo vertinimai	20
1.5. Apžvalgos apibendrinimas	21
2. Elektrinės riedlentės prototipą veikiančių jėgų dydžio ir pobūdžio tyrimas	22
2.1. Tyrimo objektas.....	22
2.2. Tyrimo tikslas	24
2.3. Tyrimo įranga	24
2.3.1. Matavimo sistemos kūrimas	30
2.3.2. Matavimo sistemos kalibracijai naudota bandymų mašina.....	31
2.4. Matavimo sistemos kalibracija	33
2.4.1. Kalibracijos bandymo rezultatai.....	34
2.5. Eksperimentinių duomenų palyginimas su duomenimis gautais skaitiniais metodais	38
2.6. Kojų pastatymo pozicijos įtaka gaunamiems rezultatams.....	39
2.7. Tyrimo eiga	42
2.8. Tyrimo rezultatai	43
2.9. Apibendrinimas	47
3. Projektavimas	49
Išvados	57
Literatūra	58

Lentelių sąrašas

1.1 lentelė. Susidomėjimas naudoti lengvosiomis elektrinėmis transporto priemonėmis [2]	13
1.2 lentelė. Kompozitinių medžiagų bazinių parametrų pageidavimai	19
2.1 lentelė. Bandymų mašinos techninė specifikacija [60]	32

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Didžiausių gamintojų produktai [5, 6, 7, 8]	14
1.2 pav. Mano pagamintame prototipe matomi atsiradę korpuso ir variklio tvirtinimo detalių pažeidimai.....	15
2.1 pav. Suprojektuoto ir pagaminto prototipo surinkimo brėžinys.....	22
2.2 pav. Tyrimui naudotas pagamintas elektrinės riedlentės prototipas.....	23
2.3 pav. Tenzometriniai jutikliai ir jų taikymas [57].	24
2.4 pav. Valkšnumo kreivė [58].....	25
2.5 pav. Tenzorezistoriaus histerizės kilpa prie skirtingų deformacijų [59].....	26
2.6 pav. Tyrimo metu naudota tenzorezistorių jungimo schema Vitstono tilteliu su temperatūrine kompesacija	27
2.7 pav. Nupirktų tenzorezistoriu rinkinys.....	28
2.8 pav. HX711 skaitmeninis stiprintuvas	29
2.9 pav. Suprojektuoto ir pagaminto matavimo prietaiso elektroninių komponentų jungimo schema	30
2.10 pav. Suprojektuotas korpusas ir komponentų išdėstymas jame.....	31
2.11 pav. Pagamintas matavimo prietaisas	31
2.12 pav. Bandymų mašinos „Tinius Olsen H10KT“ ir joje įtvirtintos el. riedlentės prototipo nuotrauka	32
2.13 pav. Elektrinės riedlentės prototipo kalibracijos bandymo įtvirtinimo schema.....	33
2.14 pav. Teisingos tenzorezistoriaus tvirtinimo vietos patikrinimo simuliacija.....	33
2.15 pav. Ant elektrinės riedlentės priklijuotas tenzorezistorius	34
2.16 pav. Bandymo mašinos rezultatai bandymo nr.1 metu (kai nuo konstrukcijos nuimta važiuoklė), kai apkrovimo greitis 100 mm/min	34
2.17 pav. Sukurtos tenzorezistorių matavimo sistemos išmatuoti rezultatai bandymo nr.1 metu, kai apkrovimo greitis 100 mm/min	35
2.18 pav. . Bandymo mašinos rezultatai bandymo nr. 2 metu (kai nuo konstrukcijos nuimta važiuoklė), kai apkrovimo greitis 500 mm/min	36
2.19 pav. Tenzorezistoriaus išmatuoti rezultatai bandymo nr.2 metu, kai apkrovimo greitis 500 mm/min.....	36
2.20 pav. Bandymo mašinos rezultatai, bandymų nr. 2 be važiuoklės ir bandymo nr. 3 su važiuokle metu, kai apkrovimo greitis 500 mm/min	37
2.21 pav. Lentos formos, plokštumos tipo konstrukcijai priskiriamos kompozitinės medžiagos savybės	38
2.22 pav. Konstrukcijos poslinkis apkraunant 2052 N jėga.....	39
2.23 pav. Elektrinės riedlentės važiuotojo stovimo pozicija [63]	39
2.24 pav. Simuliacijos skirtingi apkrovimo tipai (0, 200, 400 mm)pagal kojų pastatymą	40
2.25 pav. Konstrukcijos įlinkio priklausomybė nuo kojų pastatymo.....	40
2.26 pav. Konstrukcijos lenkimo momento diagrama	41
2.27 pav. Išskiriamų kelio dangų tipai: 1.Susidėvėjusiu kvadratinų betono plokštelių šaligatvis; 2.Standartinių trinkelų šaligatvis; 3. Prastos būklės asfaltuota kelio danga; 4. Geros būklės asfaltuota kelio danga;	42
2.28 pav. Rezultatai gauti važiuojant susidėvėjusiu kvadratinų betono plokštelių šaligatviu	43
2.29 pav. Rezultatai gauti važiuojant standartine trinkelų šaligatvio danga.....	44
2.30 pav. Rezultatai gauti važiuojant prastos būklės asfaltuota kelio danga	45

2.31 pav.	Rezultatai gauti greitėjant ir stabdant geros būklės asfaltuota kelio danga.....	46
2.32 pav.	Rezultatai gauti šokinėjant suglaudus kojas ant centrinės konstrukcijos dalies.....	47
3.1 pav.	Elektrinės riedlentės prototipo konstrukcijos gabaritų mažinimas	49
3.2 pav.	Konstrukcijos galų praplatinimas patogiam kojų pastatymui	50
3.3 pav.	Gautas sekančio prototipo konstrukcijos šoninis ir izometrinis vaizdas.....	51
3.4 pav.	Konstrukcijos ir elektrinių komponentų korpuso vaizdas	51
3.5 pav.	Įvesti ortotropiniai stiklo pluošto kompozitinės medžiagos parametrai [64]	52
3.6 pav.	Apkrovos ir įtvirtinimo pridėjimo vietos	53
3.7 pav.	Kevalo parametrų pasirinkimas	53
3.8 pav.	Tsai-Hill kriterijaus atsargos koeficiento simuliacijos rezultatai	54
3.9 pav.	Atsargos nepakankamumo vieta nekritiniame konstrukcijos taške.....	55
3.10 pav.	Simuliacijoje gautos konstrukcijos deformacijos.....	55
3.11 pav.	Masės parametrai naujosios konstrukcijos kairėje ir senojo prototipo dešinėje	56

Ivadas

Išpopuliarėjus elektrinėms transporto priemonėms, didelio susidomėjimo sulaukė ir elektrinės riedlentės. Ši transporto priemonė nuo kitų išsiskiria savo kompaktiškumu, kuris leidžia įveikus didžiulius atstumus nešiotis ir saugoti transporto priemonę su savimi, taip padidinant vietų įvairovę kur galima keliauti šia transporto priemone. Taip pat šis kompaktiškumas lemia žemesnę kainą ir didesnę prieinamumą vartotojams, todėl yra aktualus šios transporto priemonės tobulinimas.

Šio darbo tikslas – nustatyti elektrinės riedlentės prototipą veikiančias apkrovas, panaudoti gautus duomenis projektuojant naują elektrinės riedlentės prototipą. Šio tikslo įgyvendinimui suformuluoti šie uždaviniai:

1. Atlikti literatūros apžvalgą apie esamą rinkos produktų pasiūlą, jų konstrukcinius ypatumus, gamybai naudojamas medžiagas.
2. Pagaminti elektrinės riedlentės prototipą skirtą atlikti apkrovų analizę realiomis eksploatacijos sąlygomis.
3. Sukurti matavimo sistemą, leidžiančią atlikti mobilius matavimus,
4. Eksperimentiškai nustatyti riedlentę veikiančias apkrovas eksploatacijos metu.
5. Remiantis apkrovų matavimo rezultatais, suprojektuoti elektrinės riedlentės konstrukcijos prototipą, bei sudaryti ir įvertinti skaitinį modelį.

1. Su gaminiu susijusios informacijos apžvalga

1.1. Pirminio elektrinės riedlentės prototipo tobulinimo aktualumas

Didelė dalis šio baigiamojo projekto semiasi įkvėpimo iš sukauptų žinių gaminant pirmąjį elektrinės riedlentės prototipą. Tačiau kyla klausimas, ar reikalingas gaminių tobulinimas ir ar kas pasikeitė per tą laiką, gaminant pirmąjį prototipą. Elektrinės riedlentės jau bakalauro projekto rašymo metu buvo pakankamai ištobulintos, tačiau inžineriniai sprendimai aplenkė informacijos bei rinkodaros sklaidą vartotojų pasaulyje, todėl pasiektas privalumas, kai produktas rinką plačiu mastu išvysta jau pakankamai stabilios ir išdirbtos formos.

1.1 lentelė. Susidomėjimas naudotis lengvosiomis elektrinėmis transporto priemonėmis [2]

Lengvoji elektrinė transporto priemonė	Naudojasi, tęs priemonės naudojimą	Planuoja įsigyti, naudoti netolimoje ateityje	Galbūt pirks, naudosis vėliau	Norėtų išbandyti	Neketina naudotis	Iš viso
Elektriniai dviračiai	1	1	28	32	38	100
Riedžiai (Segway)	0	0,3	8	35	57	100
Elektriniai triračiai, keturračiai	0,1	0	13	7	80	100
Elektriniai mopedai	0	0,1	6	13	81	100
Elektrinės riedlentės	0,2	0,1	2	15	83	100
Elektriniai mikro automobiliai	0,2	0	3	10	87	100

Kalbant apie tobulinimo aktualumą tokio produkto paklausa yra pakankamai stipri, kad reikalautų inžinerinių tobulinimo sprendimų ne tik funkcinių parametrų, tokių kaip greitis, pravažumas ar nuvažiuojama distancija, bet ir gaminių optimizacijos efektyvių resursų panaudojimo, gamybos supaprastinimo. Todėl šio projekto aktualumas kyla iš noro padidinti kainos ir funkcionalumo santykį, taip pateisinant vartotojų apklausoje, kurią matome lentelėje, reikiamą susidomėjimą[2]. Šis susidomėjimas nors ir nėra pats didžiausias iš visų apklausiamų lengvųjų transporto priemonių, tačiau žada didžiulį potencialą, kadangi yra pigiausia ir daugiausiai žadanti alternatyvi transporto priemonė[3], kuri siūlo tam tikrų privalumų, kurių neturi kitos elektrinės transporto priemonės, pvz., mobilumas – skirtingai nei dviratis ar kita stambesnė transporto priemonė, elektrinė riedlentė gali būti nešama su savimi į patalpas ar kitas sunkiau pasiekiamas vietas, taip užtikrinant nuolatinę didelio susisiekimo galimybę[4].

Apibendrinus, elektrinių riedlenčių paklausa yra pakankamai didelė, tačiau norint pateisinti vartotojų lūkesčius ir atsverti galimus trūkumus, reikėtų didinti naudojamų aukštųjų technologijų prieinamumą šio elektrinio transporto priemonių gamyboje jas atpiginant, supaprastinant gamybos procesą ir konstrukcinį sudėtingumą. Šių uždavinių nepavyko įgyvendinti bakalauro baigiamajame projekte, kadangi buvo susikoncentruota į kuo didesnį parametrų gerinimą, neatsižvelgiant į to pasekmes produkto gyvavimui rinkoje.

1.2. Rinkos apžvalga

Siekiant patenkinti praeitame skyriuje aptartas pigumo ir aukštųjų technologijų prieinamumo aktualijas yra verta apžvelgti rinkoje esančių produktų pasiūlą. Galiojant ekonomikos principams rinkoje jau esantys produktai ir jų savybės turėtų nusakyti esančią vartotojų paklausą – kokių funkcijų ieško pirkėjas. Pagal tai galima spręsti kurie aspektai yra svarbiausi, ir kurie iš šių aspektų yra pakankamai svarbūs ir kartu prieinami tolimesniam tobulinimui.

Pagrindiniai gamintojai jau įsitvirtinę rinkoje: Boosted, Evolve, Meepo, Trampa.

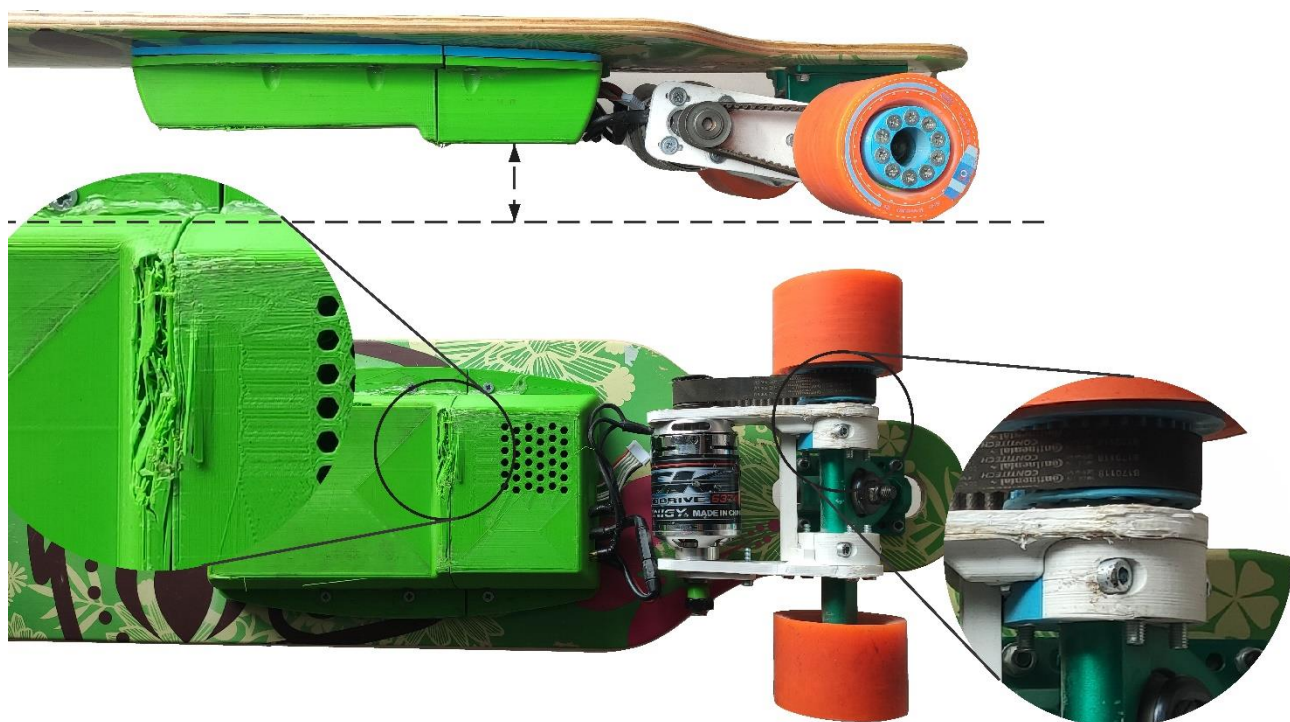


1.1 pav. Didžiausių gamintojų produktai [5, 6, 7, 8]

Paveikslėlyje matomi pagrindiniai siūlomi produktai. Pirmasis gamintojas, „Boosted“, yra seniausias ir sėkmingiausias komercinis elektrinių riedlenčių projektas, pasižymintis vidutine kaina, išskirtiniu, ilgai tobulintu dizainu. Atkreipiant dėmesį į magistro projekto pagrindinį tyrimo objektą – konstrukcijos elementą, riedlentės lentą, matome medžio laminato gaminį su dviem plastikiniais

korpusais. Viršutiniame korpuse laikomos baterijos, bei belaidžio valdymo įranga, o apatiniame, elektriniams varikliams skirtas dažnio keitiklis. Šie komponentai išskirti į atskirus korpusus, kadangi gamintojo pasirinktas medžio laminatas yra labai lankstus (užtikrina važiavimo komfortą, mažesnes apkrovas važiuoklei), o plastikiniai korpusai labai standūs, todėl jų tvirtinimas reikalauja kuo mažesnių deformacijų susilietimo vietoje. Elektrinių komponentų veikimui kartu, medžio laminato viduje, trasuojami elektros laidai. Gamintojas „Meepo“ taip pat pasirinko analogišką konstrukcijos konfigūraciją, tačiau yra pigesnis, dėl prastesnių parametrų, bei funkcionalumo stokos.

Kitokį problemos sprendimą pasirinko gamintojas „Trampa“. Didelį modelių, bei detalių joms pasirinkimą turintis riedlenčių gamintojas konstrukcinį elementą „lentą“ gamina iš anglies pluošto. Šį standartinį gaminį pritaiko savo elektrinių riedlenčių gamybai, prie jo, per visą ilgį tvirtinant anglies pluošto korpusą, su visais reikalingais elektronikos komponentais. Gamintojas tokį sprendimą sau gali leisti, kadangi abi konstrukcijos detalės yra pagamintos iš anglies pluošto, kuris konstrukcijai suteikia didžiulį standumą. Nuotraukoje, šalia apverstos elektrinės riedlentės, matome nuo „lentos“ nuimtą, su elektronikos komponentais korpusą, taip pat pagamintą iš anglies pluošto. Jame kompaktiškai išdėstytos raudonos ličio baterijos celės, belaidis valdymas prie geltonų sujungimų, bei du mėlynos spalvos elektrinių variklių greičio valdikliai. Naudojant anglies pluoštą, kuris padidina konstrukcijos standumą, galime išnaudoti visą „lentos“ plotą ir taip sutalpinti didesnės talpos bateriją, kuri taip pat bus žemesnio profilio. Žemesnis konstrukcijos profilis padidina pravažumą, bei sumažina korpuso pažeidimų tikimybę, dėl važiuojamosios dangos nelygumų ar kitų ant jos pasitaikančių kliučių.



1.2 pav. Mano pagamintame prototipe matomi atsiradę korpuso ir variklio tvirtinimo detalių pažeidimai

„Trampa“ gamintojo sprendimas jau pakankamai artimas magistro projekto tobulinimo, bei inovacijos siekiamybei. Kadangi transporto priemonė yra varoma elektra, yra siekiama apsaugoti gaminio pagrindinę funkciją nuo funkcinių ir parametrinių gedimų. Ši apsauga apima ne tik mechaninius pažeidimus, bet ir ne mažiau svarbų aplinkos poveikį elektronikos komponentams –

vandenį, bei dulkes. „Trampa“ gamintojo atveju dvi atskiros konstrukcijos detalės sukuria iššūkį sąlyčio vietoje sudaryti sandarumą, neleisiantį vandeniui ir dulkėms patekti į elektronikos komponentų skyrių ir sukelti trumpą jungimą, ar kai kuriais atvejais pabloginti elektros variklių valdiklių aušinimą. Toks iššūkis atsiranda dėl skirtingo „lentos“ ir korpuso standumo, kuris veikiant apkrovoms, sąlyčio vietoje, sukuria ne vienodą paviršių judėjimą, kuris neleidžia sandarikliui užtikrinti reikiamos apsaugos.

Šį dizaino trūkumą, pilnai panaikina „Evolve“ gamintojo sprendimas, elektronikos komponentams skirtą vietą integruoti į pačią „lentos“ konstrukciją. Šis elementas tampa viena detale, kuri neturi atsirandančių plyšių, nes yra vienalytė, taip pat toks sprendimas pakeičia apkraunamo profilio storį, kuris padidina konstrukcijos standumą. Tai neleidžia „lentai“ išlinkti ir taip pasiekti važiuojamosios dalies ar kliūčių pasitaikančių ant jos. Esant šiam storesniam profiliui, taip pat sutaupoma medžiagų, kurios šio gamintojo atveju yra brangios, nes naudojamas anglies pluoštas.

1.3. Kompozitinės medžiagos

Polimerų matricų kompozitai yra naudojami beveik visose inžinerijos srityse kaip konstrukcinių komponentų medžiaga. Įvairių formų pluoštai, tokie kaip trumpi pluoštai, ilgi pluoštai, pinti pluošto audiniai, naudojami kaip armatūra kompozituose ir sulaukė tyrėjų dėmesio dėl jų pagrindinio pranašumo mažinant svorį, palyginti su įprastomis medžiagomis. Be to, jie pasižymi puikiu atsparumu korozijai ir nuovargiui, o priežiūros išlaidos yra mažos. Tai padėtų elektrinės riedlentės konstrukcijai atlaikyti nuolat kintamas dinamines apkrovas, bei leistų lengvai įgyvendinti prieš tai minėtą konstrukcinį sprendimą – sumažinti konstrukcijos profilį ir taip išvengti kompozitams žalingų mechaninių poveikių, bei suteikti ilgaamžį atsparumą nuo vandens ir kito aplinkos poveikio.

Kompozitai yra apibrėžiami kaip medžiagos, susidedančios iš dviejų ar daugiau atskirų dedamųjų. Matricos dedamoji yra atsakinga už pluoštų erdvinį išdėstymą ir jų apsaugą nuo aplinkos poveikių. Pluoštai iš prigimties yra tvirtesni už birias medžiagas, nes kritinių defektų tikimybė mažėja atsižvelgiant į matmenis (tūrį). Armatūrinių pluoštų, įskaitant anglies pluoštą, standumas ir stipris yra akivaizdžiai didesni nei polimerinių matricų [9]. Matrica perduoda apkrovą pluoštams ir paskirsto įtempius tarp pluoštų. Taigi, būtina sąlyga, kad vyktų efektyvus šlyties perkėlimas veikiant apkrovai, yra tinkamas pluošto ir matricos sukibimas [10]. Sąvoka „tarpfazė“, reiškianti baigtinį pluošto ir matricos tarp sluoksnį, pasižymintį išskirtinėmis fizikinėmis ir cheminėmis savybėmis, buvo įvesta aštuntajame dešimtmetyje [11]. Tarpfazės apkrovos perkėlimo galimybės priklauso nuo pluošto / matricos sukibimo, kuris gali būti fizikinis-cheminis, trinties ar abiejų rūšių [12]. Fizikiniai ir cheminiai indėliai apima cheminius ryšius, tarp molekulinę sąveiką, paviršiaus sukeltą kristalizaciją, fazių atskyrimo reiškinį ir kt.. Polimerų pagrindu sudarytuose kompozituose paprastai laikoma, kad fizikiniai ir cheminiai indėliai yra svarbesni nei trintiniai.

Automobilių pramonėje plačiai naudojami polimerų matricos kompozitai įvairiems konstrukciniams automobilių komponentams, nes nustatyta, kad sumažinus automobilio svorį 25%, galima sutaupyti beveik 250 milijonų barelių naftos žaliavos [13]. Tai ženkliai sumažintų elektrinės riedlentės svorį ir leistų efektyviau išnaudoti baterijos resursą, taip dar labiau padidinant ekologinę gaminio įtaką. Taip pat tai padidintų vartotojo prieinamumą naudotis šia transporto priemone visur, kadangi lengvą ir kompaktišką daiktą patogiau nešiotis, bei saugoti daugelyje reikalingų atvejų.

Fizinės ir cheminės savybės, kurias demonstruoja pluoštu sustiprinti kompozitai, skiriasi mikro ir makroskopiniu mastu, todėl tai sukėlė susidomėjimą inžinerijos srityje. Tačiau pluoštu sustiprintų

kompozitų naudojimo trūkumas yra jo remontas. Jį veikiant ar eksploatuojant smūgio apkrova yra labai sunku atstatyti ir suremontuoti.[14, 15]. Todėl jau minėtas profilio sumažinimas padeda išvengti šių apkrovų, tačiau reikalingas ir tinkamas jų įvertinimas, bei pačio kompozito medžiagų pasirinkimas.

1.3.1. Medžio laminatas

Prieš tai aptarti gamintojai „Boosted“ ir „Meepo“ savo elektrinių riedlenčių konstrukcijų gamybai naudoja medžio laminato kompozitines medžiagas, dėl jų pigumo ir palankių savybių. Medžio laminato kompozitinė medžiaga, tai skirtingų savybių sudedamųjų komponentų visuma, kuriai išskirtines stiprumo savybes suteikia medienos lukštas, sudarytas iš ilgų, viena kryptimi orientuotų ir suklijuotų celiuliozes ląstelių. Ši medienos lukšto medžiaga yra stipri viena kryptimi, todėl yra sluoksniuojama suklijuojant lakštus karbamido-formaldehido dervomis. Šis ortotropiškas (medžiagos savybės priklauso nuo apkrovimo krypties) lakštų surišimas kartu su dervomis, sumažina anizotropiją plokštėje. Medienos savybės turi esminės įtakos šios faneros savybėms. Fizinės ir mechaninės medienos faneros savybės dešimtmečiais buvo intensyviai tiriamos [16]. Pavyzdžiui, Tsai ir Ansell išsamiai apžvelgė literatūrą apie medžio nuovargį ir eksperimentinį darbą. Be to, faneros jungimosi linijos savybės turi lemiamą reikšmę fizinėms ir mechaninėms faneros savybėms. Iš eilės einančios jungties linijos daro didelę įtaką faneros atsparumui vandeniui ir matmenų stabilumui. Li ir kt. pranešė, kad jungimosi linijų įtaka fizinėms faneros savybėms gali skirtis esant dinamiškoms drėgmės sąlygoms [17,18]. Norint geriau panaudoti fanerą, įdomi tyrimo tema buvo suprasti sukibimo stiprio poveikį mechaninėms savybėms. Mckinley ir jo kolegos ištyrė medienos plokščių sukibimo stiprumą eksploatuojant [19].

Ryšio stiprumą tarp fanerų daugiausia lemia dervų savybės. Šiuo metu faneros gamyboje plačiai naudojamos sintetinės dervos, tokios kaip karbamido formaldehidas ir fenolio formaldehidas, dėl mažos kainos, aukšto sukibimo stiprumo ir pageidaujamo atsparumo vandeniui. Difenilmetano diizocianatas galėtų būti naudojamas gaminant fanerą, tačiau ji plačiai naudojama medžio drožlių plokštėse, o ne faneros pramonėje. Buvo pranešta, kad iš atsinaujinančių biomasių pagamintos dervos gali pakeisti esančias dervas gaminant fanerą, kurioje nėra formaldehido [20]. Tačiau neekonomiškos kainos ir mažas atsparumas vandeniui apribojo jų platų pritaikymą pramonėje. Be dervų savybių, faneros sukibimo stiprumas yra glaudžiai susijęs su karšto presavimo būdais. Tyrėjai stengėsi optimizuoti karšto presavimo metodus, kad pagerintų sukibimo stiprumą [21, 22]. Be to, sukibimo stiprumui gali būti naudinga plėtojant funkcines modifikavimo technologijas, kurios apima ir medienos, ir klijų modifikavimą [23, 24]. Fanera, pagaminta iš termiškai hidrohidro-mechaniškai modifikuotų faneruočių, yra geresnio patvarumo nei pirminės faneros [25].

Akivaizdu, kad norint tinkamai parinkti medžio laminatą elektrinės riedlentės konstrukcijai, reikalinga įvertinti ir parinkti nemažą kiekį kintamųjų, kurie užtikrintų reikiamas konstrukcijos specifikacijas. Standartiniai faneros gaminiai šiuo atveju netenkina reikalavimų, todėl gamintojas „boosted“ savo elektrinių riedlenčių konstrukcijas gamina patys, parenkant dervas, bei komponuojant keletą medienos rūšių [26].

1.3.2. Anglies pluoštas

Įrodyta, kad anglies pluoštas yra tvirtas; beveik tris kartus tvirtesnis nei stiklo pluoštas, apjungia mažą tankį, mažą šiluminio plėtimosi koeficientą, atsparumą korozijai, didelį stiprumą ir atsparumą

liepsnai su standumu [27, 28]. Anglies pluoštas yra tinkama medžiaga polimerinei medžiagai sutvirtinti dėl šių priežasčių; didelis stiprumo ir svorio santykis, didelis tvirtumas, atsparumas korozijai ir nuovargiui, didelis atsparumas tempimui, mažas šiluminio plėtimosi koeficientas, didelis standumas ir stiprumas, mažas tankis, nenuodingas pobūdis, puikus ekrano atsparumas elektromagnetiniams trikdžiams, biologiškai inertiškas ir puikus pralaidumas, galimybė rentgeno spinduliams [29-31].

Nors anglies pluoštas turi daug svarbių pranašumų, palyginti su kitomis medžiagomis, jo trūkumai yra trapumas ir didelė kaina. Taip pat kontaktas su metalu gali sukelti koroziją, jei nenaudojama epoksidinė derva [32,33]. Anglies pluoštai yra standžiausi ir stipriausi polimerinių kompozitų armatūriniai pluoštai, dažniausiai naudojami vietoje stiklo pluošto [34–37]. Jie turi aukštą elastingumo modulį, atsirandantį dėl to, kad anglies sluoksniai yra linkę būti lygiagretūs pluošto ašiai ir yra labai stiprūs [38, 39]. Anglies pluoštu sustiprinti polimerai pasižymi puikiu atsparumu korozijai, aukšto stiprumo ir svorio santykiu, o kryptinis stiprumas priklauso nuo anglies pluošto, naudojamo kaip armatūra, išdėstymo, taip pat padidėja didinant jo proporciją polimerinei matricai [40]. Tačiau galutines anglies pluoštu sustiprinto polimero savybes lemia polimerinės matricos ir armatūros savybės, priedų pobūdis ir gamybos būdas. Al-Zubaidy ir kt. [41] nustatė normaliojo modulio, sustiprinto anglies pluoštu, polimeru ir epoksidinėmis dervomis, mechaninę elgseną veikiant smūgio tempimo apkrovoms. Tyrimų rezultatai parodė, kad anglies pluoštu sustiprinti polimerai turi puikų stiprumą ir tvirtumą, esant mažam jų svoriui. Adeodu ir kt. [42] taip pat nustatė, kad kietosiomis dalelėmis sustiprinto polimero matricos kompozitai pasižymi puikiomis mechanikos ir mikrostruktūros savybėmis, todėl jie tinkami naudoti inžinerijos ir aukštųjų technologijų srityse [43].

Vadovaujantis tuo pačiu principu, kaip ir medžio laminato kompozitinėje medžiagoje, pakeitus naudojamą pluošto, bei matricos medžiagą galime sudaryti stipresnius ir lengvesnius kompozitus. Vietoje iš klijuoto medžio lukšte esančių, viena kryptimi orientuotų, celiuliozės ląstelių, panaudojus anglies pluošta ir jam dažniausiai naudojamą rišančiąją medžiagą, epoksidinę dervą gauname didžiuliu stiprumu ir svorio santykiu, bei standumu pasižyminčią medžiagą, kuri leidžia „Trampa“ ir „Evolve“ gamintojams pasiekti žemo profilio, mažo svorio, kompaktiškas elektrinių riedlenčių konstrukcijas.

1.3.3. Stiklo pluoštas

Tarp pluoštu sustiprintų kompozitinių medžiagų dažnai naudojamos įvairių tipų stiklo pluoštu armuotos kompozicinės medžiagos dėl jų gero standumo ir tankio santykio, mechaninių, šiluminių, akustinių savybių, nuovargio, smūgio, korozijos atsparumo, ilgaamžiškumo, lengvos gamybos ir kt., palyginti su tradicinėmis inžinerinėmis medžiagomis [44-46]. Stiklo pluošto laminato kompozicija gali būti pagaminta iš skirtingų stiklo pluošto sutvirtinimų, vienakrypčio, austo, daugiaašio ir supjaustyto pluošto audinio pavidalu, įvairiose matricose, tokiose kaip epoksidinė, poliesterinė ar fenolinė [47]. Termolaminuota, austa stiklo pluošto/epoksidinė medžiaga, kaip viena iš stiklo pluošto laminato medžiagų, yra pagaminta iš austinio stiklo pluošto audinio, įmirkyto epoksidinės dervos rišikliu, kuris gaminamas esant slėgiui ir šilumai. Stiklo laminato privalumai yra didelis mechaninis stiprumas, atsparumas korozijai, akustiniam poveikiui, liepsnai, drėgmei ir t.t.. Šio tipo laminato kompozitas gali būti naudojamas įvairiais tikslais, įskaitant izoliacines, konstrukcines dalis elektros įrangoje, transporto priemonėse (pvz. valtys konstrukciją), slėgio vožtuvai, dujų tiekimas, kosmoso pramonė ir kt. inžinerinės konstrukcijos [48]. Eksploatavimo metu stiklo pluošto ir epoksidinės

laminato dangos arba konstrukcijos, sutvirtintos stiklo pluošto ir epoksidinės laminato atliekomis, gali būti veikiamos dinaminės apkrovos, tokios kaip smūgis ar pūtimas[49].

Stiklo pluošto kompozitinės medžiagos atstovauja tarpinį savybių variantą, tarp prieš tai minėtų medžiagų. Stiklo pluoštas yra gerokai pigesnis, nei anglies pluoštas. Jis taip pat stiprumu neženkliai nusileidžia anglies pluoštui, kai yra kombinuojamas su tinkamomis dervomis. Mažesnis standumas stiklo pluošto kompozitui leidžia sėkmingiau sugerti aukštas apkrovas, taip suteikiant konstrukcijai ilgaamžiškumą.

1.3.4. Palyginimas

Renkantis tinkamą medžiagą elektrinės riedlentės konstrukcijai siekiama išrinkti ne tik geresnes savybes turinčią medžiagą, bet taip pat stengiamasi atrasti tinkamą santyki tarp produkto pasisėkimą įtakosiančių kriterijų. Pagal svarbą, eilės tvarka kompozitinės medžiagos pasirinkimui iškeliami šie kriterijai:

- medžiaga turi užtikrinti inovatyvų produkto dizainą, kuris būtų patrauklus vartotojui.
- inovatyvaus dizaino patrauklumas vartotojui ir pasirinktos medžiagos kainos santykis turi išlaikyti vartotojo susidomėjimą produktu.
- užtikrinamas produkto ilgaamžiškumas – atsparumas mechaniniams pažeidimams, susidėvėjimui, bei aplinkos poveikiui.
- bazinių parametrų atitikimas.

1.2 lentelė. Kompozitinių medžiagų bazinių parametrų pageidavimai

Savybė	Pageidaujamas dydis
Tankis ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	Kuo žemesnis, tuo geriau.
Stiprumo riba (MPa)	Kuo didesnis, tuo geriau.
Jungo modulis (GPa)	Tarpinis dydis
Kaina ($\text{Eur}\cdot\text{Kg}^{-1}$)	Kuo žemesnis, tuo geriau.
Standumas	Tarpinis dydis

Pagal aptartus medžiagos kriterijus bei parametrų pageidavimus medžio laminato kompozitinė medžiaga atrodytų tinkamiausia, nes yra itin pigi, pakankamai stipri, bei lengvai apdirbama. Tačiau norint apsaugoti elektronikos komponentus, reikalingas papildomas korpusas, greičiausiai plastikinis, kurio gamyba yra sudėtinga ir branginanti gamybos ir projektavimo kaštus. Galimas storo, vientiso profilio medžio laminato konstrukcijos variantas, tačiau tai taip pat reikalauja specialaus apdirbimo ir didesnio žaliavos kiekio, kas didina gamybos kaštus. Verta paminėti, kad medžio laminatas nėra tokia atspari medžiaga aplinkos poveikiams, kaip anglies ar stiklo pluošto kompozitinės medžiagos, todėl reikalauja papildomų apsauginių priemonių. Pažeidus šias priemones, aplinkos poveikis – vanduo, kardinaliai keičia medžiagos parametrus. Ir galiausiai norint išsiskirti tarp rinkoje esančių produktų, reikalingi aukštesnių technologijų privalumai, kuriuos būtų galima reklamuoti vartotojams. Todėl šios medžiagos pasirinkimas atmetamas.

Anglies pluošto kompozitinės medžiagos išsprendžia medžio laminato keliamas problemas tačiau pagrindinis medžiagos trūkumas yra jos kaina. Lyginant su stiklo pluošto kompozitinėmis medžiagomis, anglies pluošto pintas audinys yra septynis kartus brangesnis[50], nei stiklo pluošto

audinys. Tai lemia žymiai didesnės stiklo pluošto kompozitų panaudojimo galimybes, kurios reikalauja didelių gamybos pajėgumų. Taip pat anglies pluošto gamyba yra sudėtingesnis procesas, kuris trunką didesnę laiko dalį, o stiklo pluošto ištempimas yra pakankamai paprastas ir greitas procesas.

Stiklo pluoštas taip pat neženkliai nusileidžia stiprumu, bei standumu anglies pluoštui, tačiau tą patį stiprumą galime pasiekti šiek tiek didesniu medžiagos kiekiu, paaukojus dalį sutaupyto svorio. Kalbant apie standumo praradimą renkantis stiklo pluoštą, galima būtų teigti, kad tai sumažintu konstrukcijos apkrovas (tai didina konstrukcijos ilgaamžiškumą), bei padidintų elektrinės riedlentės komforto lygį važiuojant. Pasirinkus tik stiklo pluošto kompozitinę medžiaga, gali nukentėti produkto patrauklumas vartotojams, kadangi anglies pluoštas turi tam tikrą prabangos ir funkcionalumo statusą, todėl galima stiklo pluošto kompozitinės medžiagos konstrukcija, kombinuota su estetiniu paviršiaus padengimu anglies pluoštu, tačiau ši galimybė bus apsvarstyta tolimesniuose projektavimo darbuose, dėl nevienodo standumo medžiagų kombinavimo.

Pagal aptartus kriterijus preliminarus pasirinkimas atitenka stiklo pluošto kompozitinėms medžiagoms. Ši medžiaga yra pigi, pakankamai stipri, leidžia išgauti reikiamą elektrinės riedlentės konstrukcijos formą, kuri galėtų talpinti elektronikos komponentus, suteikia tarpinį standumą, taip padidinant komforto ir ilgaamžiškumo lygį, taip pat padidina riedlentės valdymo atsako greitį prie didesnių greičių.

1.4. Stiprumo ir ilgaamžiškumo vertinimai

Nors kompozicinės medžiagos yra priskiriamos kaip nejautrios nuovargiui, ypač lyginant jas su metalais, jos taip pat suyra veikiant nuovargio apkrovoms. Pagrindinė kompozitinių medžiagų nuovargio samprata nesiskiria nuo metalų, tačiau yra kiek sudėtingesnė [51]. Kompozitinių medžiagų platus pritaikymas įpareigojo tyrėjus atsižvelgti ir į nuovargį tiriant kompozicinę medžiagas, o inžinieriai suprato, kad nuovargio poveikis yra svarbus ir į jį reikia atsižvelgti atliekant skaičiavimus ir projektavimo darbus. Iš pradžių kompozitinės medžiagos buvo naudojamos kaip ankstesnių „įprastų“ medžiagų, tokių kaip plienas, aliuminis ar medis, pakaitalui, vėliau - kaip „pažangiausios“ medžiagos, leidžiančios inžinieriams pasirinkti kitaip spręsti projektavimo problemas, siūlyti alternatyvias projektavimo koncepcijas (remiantis laisvu formavimu ir kompozitinių medžiagų lengvo svorio charakteristikomis) ir konstrukcijų pertvarkymus. Deja, nors nuovargio fizika yra tokia pati, kompozitinių medžiagų nuovargio elgsena skiriasi nuo metalų [52,53]. Kompozitinių medžiagų nuovargio nepakankamumą sudėtinga išanalizuoti, nes sąveikauja daugybė žalos mechanizmų. Tai galioja ne tik daugiakrypčiams ir tekstilės kompozitams, bet ir vienkrypčiams laminatams [54]. Todėl jau sukurti ir patvirtinti „įprastų“ medžiagų nuovargio modeliavimo ir numatymo metodai negali būti tiesiogiai taikomi kompozicinėms medžiagoms. Be to, dėl daugybės skirtingų pluoštų, matricų, gamybos metodų, laminavimo klojimo sekų ir t.t., dėl daugybės skirtingų medžiagų konfigūracijų, sunku sukurti visuotinai priimtą metodą, kuris apimtų visus šiuos variantus.

Vienas iš būdų, kaip kovoti su kompozicinės medžiagos nuovargiu - vykdyti išplėstines eksperimentines programas ir tada kurti analitines, matematinės išraiškas, kad būtų galima modeliuoti nuovargio laiką ir sugebėti atkurti eksperimentinius rezultatus. Techniniuose užrašuose iš 1948 m. atliktų tyrimų darbų [55], kurioje buvo palygintos penkių laminuotų plastikų savybės ir padarytos išvados, kad stiklo audinio laminatas pasižymėjo geidžiamiausiomis iš visų išmatuotų savybių (įskaitant kvazistatinį tempimo, suspaudimo, sukimo, ilgalaikės šlyties bandymus, esant įvairiems įtempimams, įpjautų ir nepjautų pavyzdžių nuovargis, lenkimo nuovargis esant skirtingomis sąlygoms,

kai temperatūra - -60°C , 25°C , 70°C ir nuovargio bandymai sukimo metu). Šie darbai apima kompozicinių laminatų, pagamintų iš daugybės dervų (epoksidinės, poliesterinės, fenolinės) su įvairiais sutvirtinimais (asbesto arba stiklo kilimėliu, stiklo audiniu, neaustiniais stiklo pluoštais) skirtingomis orientacijomis, eksperimentinius nuovargio rezultatus, parodžiusius S-N kreives (grafikas rodantis atlaikomų ciklų skaičių priklausantį nuo kintamos apkrovos dydžio) be akivaizdžios nuovargio ribos. Per pastaruosius 70 metų buvo pristatyta daugybė publikacijų apie polimerinių kompozicinių medžiagų nuovargio savybes, kiekvienais metais didėjant naujų leidinių skaičiui. Nepaisant to, padidėjus turimam eksperimentinių duomenų logaritminiam skaičiui ir dėl išsamesnių mašinų, matavimo prietaisų ir įrangos tobulėjimo galimų išsamesnių ir sudėtingesnių eksperimentinių kampanijų, mokslo ir inžinerijos bendruomenės dar nepasiekė susitarimo dėl tinkamiausių duomenų rinkimo nuovargio nustatymui[56]. Dėl šios priežasties yra svarbus apkrovų nustatymas eksperimentinio tyrimo būdu, realiomis sąlygomis. Tyrimo rezultatai būtų lyginami su ankstesniais kompozitinių medžiagų tyrimais priimant ilgaamžiškumo sprendimus su atsargos koeficientu.

1.5. Apžvalgos apibendrinimas

Atlikus su gaminiu susijusios informacijos apžvalgą, pateikiami pagrindiniai teiginiai, priimti sprendimai, bei kita tolimesniam gaminio vystymuisi svarbi informacija:

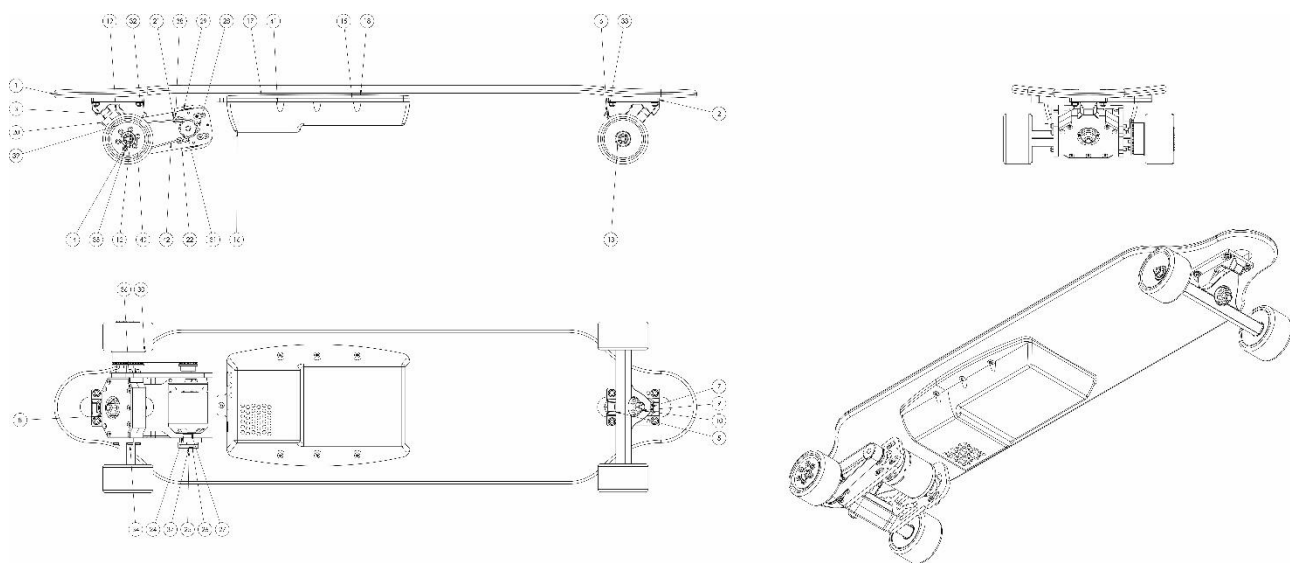
1. Aptarti įvairūs bakalauro baigiamojo projekto metu priimti sprendimai. Pagrindinis - naudoti kalnų riedlentės konceptą su inovatyvaus dizaino sprendimu – elektrinės riedlentės „lentos“ konstrukcijos elementą panaudoti kaip korpusą elektronikos komponentams talpinti, gaminant jį iš anglies pluošto. Nustatyti įvykdyti projekto tikslai, bei galimi trūkumai ir aktualijos šio projekto tobulinimui.
2. Apžvelgtas pagamintas pirmasis prototipas, jo konstrukcija ir pasiektas funkcionalumas. Nustatyti trūkumai, kuriuos bus siekiama pašalinti tolimesniuose baigiamojo magistro darbo projektavimo stadijose.
3. Papildomai nustatytas aktualumas toliau tęsti bakalauro baigiamojo projekto tobulinimą, apžvelgiant vartotojų susidomėjimą šia elektra varoma transporto priemone, bei jos privalumus ir pranašumą prieš kitas tos pačios klasės transporto priemones.
4. Atlikta rinkos apžvalga, kur nustatyti keturi pagrindiniai elektrinių riedlenčių gamintojai, kurie naudoja skirtingus konstrukcijos dizaino sprendimus. Nustatyti šių sprendimų privalumai ir trūkumai, bei aktualumas magistro baigiamojo projekto tolimesniems projektavimo darbams.
5. Aptartos galimos kompozitinių medžiagų panaudojimas. Išskirtos medžio laminato, anglies pluošto ir stiklo pluošto kompozitinės medžiagos. Nustatyti ir palyginti pagrindiniai šių medžiagų privalumai ir trūkumai gaminant elektrinės riedlentės konstrukcija su norimais dizaino sprendimais.
6. Baigiamojo projekto tiksluose iškeltas elektrinės riedlentės konstrukcijos ilgaamžiškumo tikslas, kurio parametrams nustatyti, apžvelgti ilgaamžiškumo tyrimų ypatumai. Nustatyta eksperimentinio tyrimo svarba.

2. Elektrinės riedlentės prototipą veikiančių jėgų dydžio ir pobūdžio tyrimas

Siekiant įgyvendinti apžvalgoje minėtas pigumo ir aukštųjų technologijų prieinamumo aktualijas reikia rasti būdų, kaip kitaip sumažinti gamybos kaštus. Šiai problemai spręsti palankiausia yra tinkamai parinkti reikiamus parametrus užtikrinančias medžiagas ir tinkamai atlikti projektavimo darbus, pasitelkiant projektavimo įrankius kurie leistų kuo arčiau priartėti prie realaus rezultato sunaudojant kuo mažiau resursų. Šiems projektavimo darbams įgyvendinti reikalingi pradiniai duomenys. Bakalauro darbe buvo apskaičiuotos veikiančios dinaminės apkrovos, tačiau siekiant sumažinti galimų paklaidų dydį, taip sumažinant gamybos kaštus, bei įvertinti labai plačią apkrovimo būdų įvairovę, reikalinga atlikti eksperimentinį tyrimą. Šis tyrimas bus tikslesnis ir naudingesnis būdas gauti pradinis duomenis tolimesniam projektavimui, bei gaminio ilgaamžiškumo nustatymui.

2.1. Tyrimo objektas

Atlikti elektrinės riedlentės pirminio prototipo gamybos darbai, tačiau dėl laiko ir finansų stokos, buvo nuspręsta apsiriboti standartiniais gaminiais. Pagal bakalauro baigiamąjį projektą išliko pasirinkti elektros pavaros komponentai, tai el. variklis, dažnio keitiklis, baterijos, belaidžio valdymo įranga. Pirmojo prototipo gamybai buvo nupirktas standartinis ilgosios riedlentės tipo gaminys su važiuokle. Šiai važiuoklei buvo suprojektuota konstrukcija skirta pritvirtinti el. varikliui ir dirželio pavarai, korpusas elektros komponentams.



2.1 pav. Suprojektuoto ir pagaminto prototipo surinkimo brėžinys

Šioms dalims pagaminti buvo pritaikytos greitai prototipų gamybai skirtos technologijos - trimatis spausdinimas. Naudojant PETG plastiką, atspausdintos suprojektuotos detalės ir surinktas visiškai veikiantis pirmasis prototipas. Pagal bakalauro darbo metu sudarytą specifikaciją, šis prototipas įgyvendino beveik visus svarbiausius kriterijus, tačiau neapsieita be trūkumų:

- Važiuklė esant dideliems greičiams, kuriuos gali pasiekti elektrinė riedlentė, yra nestabili, kadangi nebuvo pritaikyta šiai modifikacijai.
- Važiuklės ratukų skersmuo yra per mažas, kadangi pasiekiamas važiuoklės bazės aukštis yra per mažas, kad sėkmingai pervažiuotų smulkius akmenukus ir kitas kelyje esančias kliūtis.

- Riedlentės konstrukcija yra per daug liauna, kadangi esant didelėms apkrovoms elektronikos komponentų korpusas liečia kelio dangą.

Pasiekus užduotus parametrus tokius kaip: greitis, valdymas, pravažumas ir kt., prototipas, tiksliau jo konstrukcijos elementas „lenta“, gali būti naudojamas, kaip tyrimo objektas.



2.2 pav. Tyrimui naudotam pagamintam elektrinės riedlentės prototipui

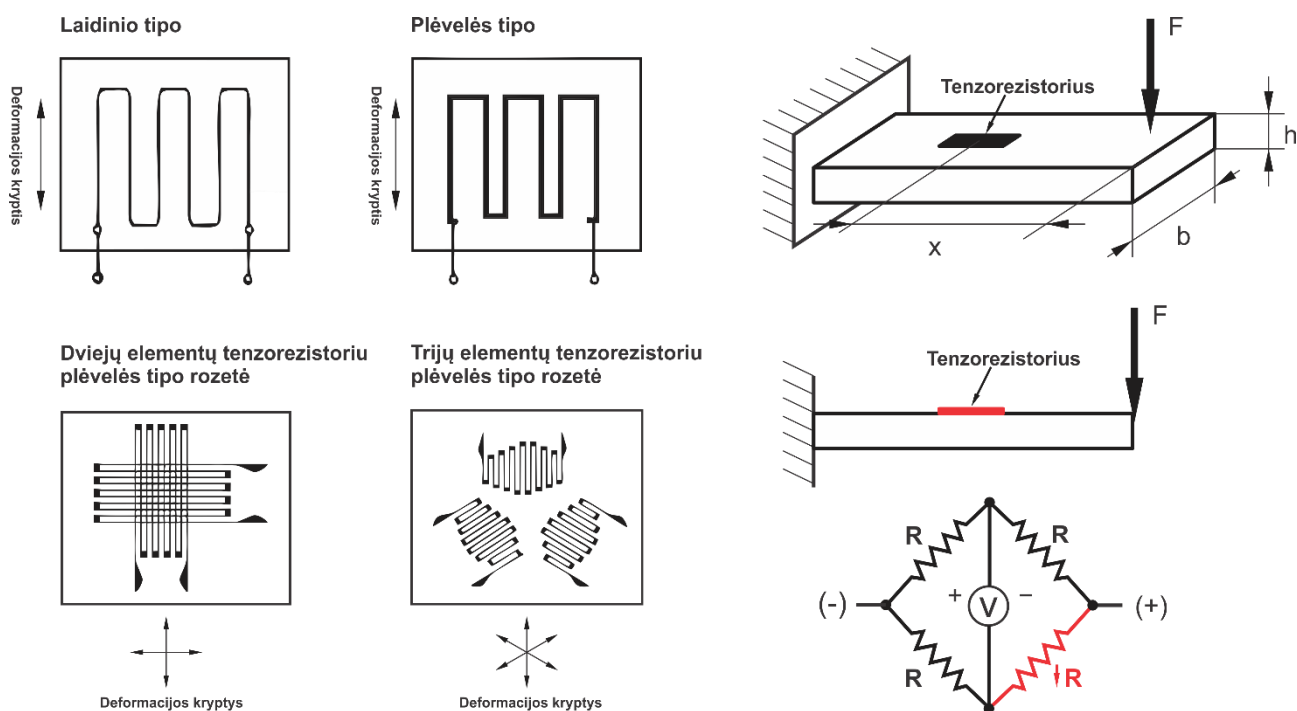
2.1 paveikslėlyje matomas pagamintas tyrimo objektas – elektrinės riedlentės prototipas su ant važiuoklės pritvirtintu elektriniu varikliu ir diržine pavara. Ant riedlentės konstrukcijos pritvirtintas elektriniams komponentams skirtas korpusas, taip pat sumontuota matavimo įranga.

2.2. Tyrimo tikslas

Šio tyrimo tikslas yra nustatyti elektrinės riedlentės prototipo konstrukciją veikiančias jėgas, jų pobūdį bei konstrukcijoje atsirandančias deformacijas. Šie duomenys yra skirti sekančio prototipo projektavimui, kadangi siekiama sumažinti produkto kainą neprarandant patrauklumo vartotojams bei produkto funkcionalumo. Produkto gamybos ir reikiamų medžiagų kaštai gali būti mažinami užtikrinant neperteklinį konstrukcijos stiprumą ir ilgalaikiškumą su tam tikru atsargos koeficientu. Kuo tiksliau apskaičiuojamos konstrukciją veikiančios jėgos, tuo labiau galima pasitikėti konstrukcijos projektavimo simuliacijų rezultatais ir mažinti atsargos koeficientą, taip mažinant reikiamos medžiagos kiekį, bei sudėtingų projektavimo mazgų ir sprendimų kiekį.

2.3. Tyrimo įranga

Kūnų deformacijai matuoti naudojami specialūs jutikliai, kurie deformuodamiesi, kartu su apkrautu kūnu, keičia savo parametrus. Vienas iš tokių parametrų gali būti įtampa, kurią matuojant galima spręsti apie kūną veikiančią jėgą. Iš tokių deformacijų jutiklių pažymėtini yra tenzometriniai rezistoriai. Keletas jų modifikacijų pavaizduoti 2.2 paveiksle.



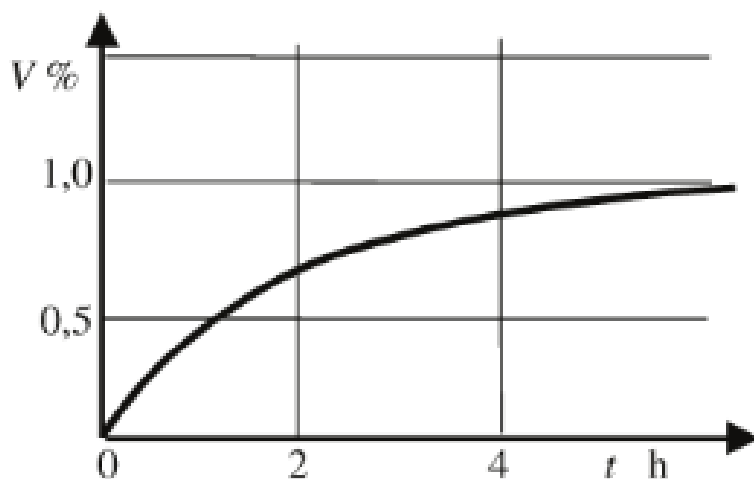
2.3 pav. Tenzometriniai jutikliai ir jų taikymas [57].

Varžiniai deformacijos jutikliai tai plokščios ritės formos elementai, kurių varža nedeformuotoje būsenoje yra įvairi – dažniausiai naudojama 120 Ω , 350 Ω , 1000 Ω . Tokių plokščiųjų ričių konstrukcijos pavaizduotos 2.2 paveiksle. Tokie elementai klijuojami prie deformuojamo kūno paviršiaus abipusiai izoliuojant juos nuo paviršiaus. Po to gali būti išdžiovinami, pakaitinant iki 90 $^{\circ}\text{C}$ temperatūros. Deformuojantis kūnui, taip pat deformuojasi ir pats varžinis elementas, keičiasi jo vijos skerspjūvio plotas, kartu ir elemento varža. Šis varžos pokytis labai mažas (neviršija 0,5 %), todėl jam fiksuoti reikalingi tikslūs matavimo metodai. Tam pasitelkiamas Vitstono (Wheatstone) tiltelio tenzorezistorių jungimo metodas. Tokių jutiklių taikymo sijos apkrovai matuoti schema

pateikta tame pačiame paveiksle. Siekiant didesnio jautrumo galimas keturių tenzovaržinių elementų panaudojimas – du tenzorezistoriai klijuojami prie viršutinio sijos paviršiaus, o kiti du prie apatinio. Siją veikiant apkrovai, ji išlinksta, viršutiniai jutikliai yra ištempiami, o apatiniai suspaudžiami. Vienujū jutiklių varža didėja, o kitų mažėja. Sudarius iš šių tenzorezistorių Vitstono tiltelį ir matuojant, dėl kelių tenzorezistorių panaudojimo, ženkliai didesnė įtampą jo išėjime, galima spręsti apie apkrovos dydį.

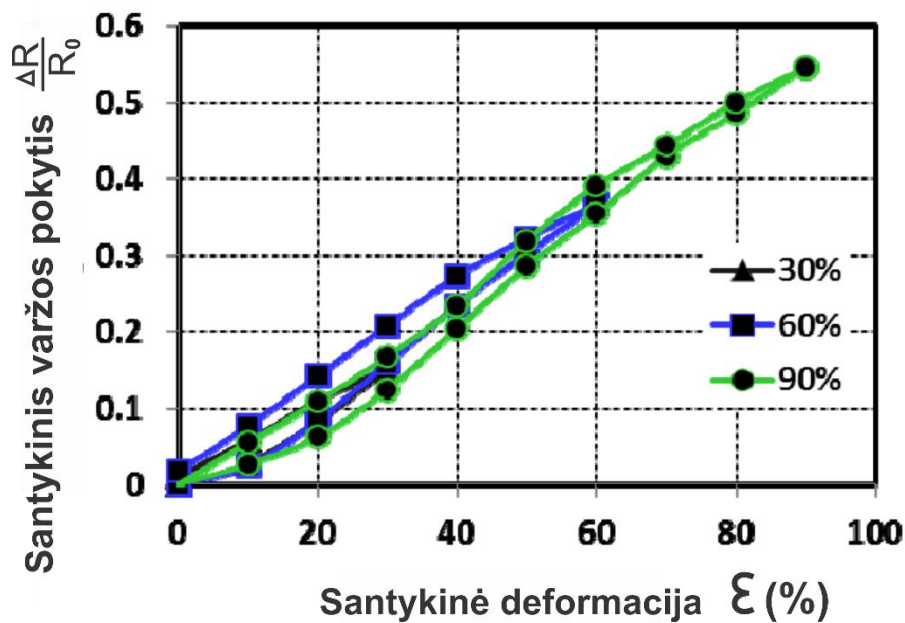
Svarbiausia tenzorezistoriaus savybė yra jo **tenzojautris**, kuris apibrėžiamas kaip santykinio varžos pokyčio santykis su santykinė deformacija. Todėl tenzorezistoriaus įėjimo dydis yra deformacija. Išėjimo dydis yra varžos pokytis, sukeliantis įtampos skirtumą tiltelio grandinėje, kurį galime išmatuoti [58].

Bazės ilgis. Svarbus tenzorezistoriaus parametras yra jo gardelės arba bazės ilgis, kadangi tenzorezistorius išmatuoja vidutinę bazės ilgio deformaciją. Jei deformacijos skirtinguose objekto taškuose smarkiai skiriasi, reikalingas mažo bazės ilgio tenzorezistorius panaudojimas. Tokių tenzorezistorių signalas silpnesnis ir matavimo neapibrėžtis didesnė. Mažiausias tenzorezistoriaus bazės ilgis būna apie 1 mm, tačiau paprastai naudojami tenzorezistoriai, kurių bazės ilgis būna nuo 5 mm iki 20 mm.



2.4 pav. Valkšnumo kreivė [58]

Valkšnumas - asimptotiškai užgęstantis jutiklio varžos kitimas laikui bėgant, kai jis yra deformuotoje būsenoje. Valkšnumas priklauso nuo deformacijos dydžio, deformavimo greičio, tvirtinimo klijų savybių bei aplinkos sąlygų — temperatūros ir drėgmės. Jis išreiškiamas procentais.



2.5 pav. Tenzorezistoriaus histerizės kilpa prie skirtingų deformacijų [59]

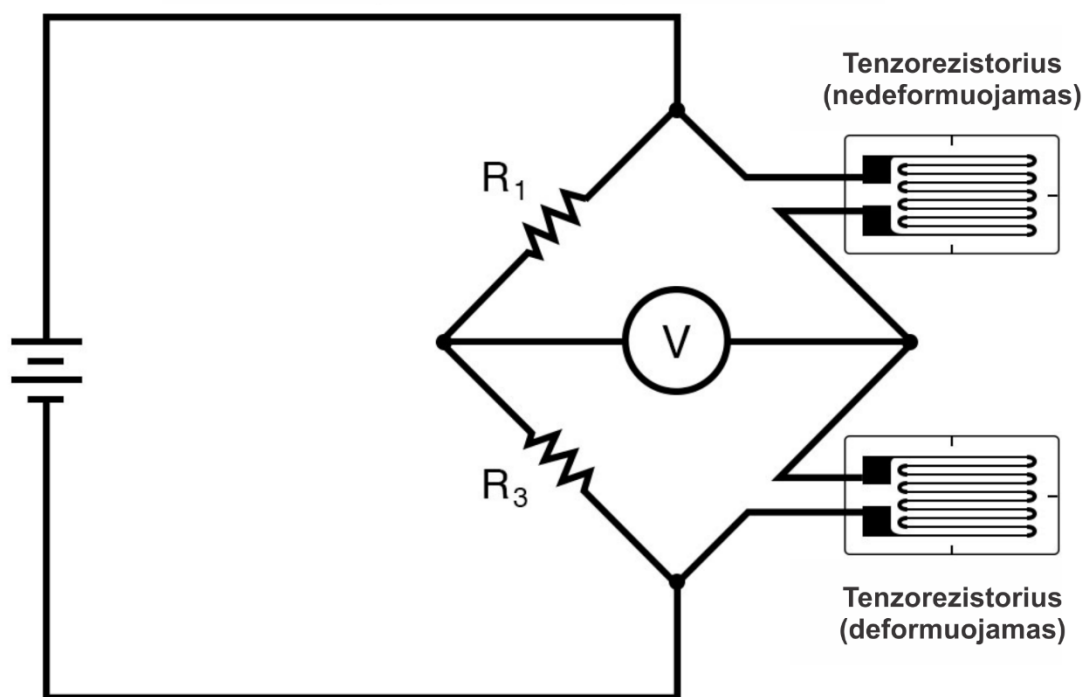
Histerizė - apkrovimo ir nukrovimo kreivių nesutapimas apkraunant tenzometrinius jutiklius cikliškai. Tenzorezistoriaus koordinatėse deformacija — santykinis varžos pokytis ir santykinė deformacija. Histerizė taip pat išreiškiama procentais nuo maksimalaus santykinės varžos pokyčio. Serijiniu būdu gaminamų tenzorezistorių histerizė būna nuo 0,5 % iki 5,0 %. Šio parametro dydis priklauso nuo tų pačių veiksnių, kaip ir valkšnumas.

Temperatūrinės tenzorezistorių charakteristikos - matavimo neapibrėžtis priklauso nuo temperatūros. Pakitus temperatūrai, pasikeičia tenzorezistoriaus varža net jo nedeformuojant. Pusiaidininčio tenzometriniai jutikliai turi ypač didelį temperatūrinį koeficientą. Temperatūrinių paklaidų mažinimas yra svarbiausias neapibrėžties mažinimo būdas matuojant tenzorezistoriais. Šias paklaidas galima sumažinti keliais metodais. Parenkant tenzorezistoriaus gardeles medžiagą galima pagaminti termokompensuotus tenzorezistorius tik konkrečiai objekto medžiagai. Be minėto efekto, temperatūra gali pasireikšti ir kitaip: dėl temperatūros pokyčių atsiranda temperatūrinis nulio slinkis ir temperatūrinis (padidintas) valkšnumas.

Tenzorezistoriaus gardeles izoliacijos varža. Jeigu izoliacijos varžaa mažesnė nei 100 k Ω , tai matavimo grandinėje atsiranda trukdžiai. Sklandžiam tenzometriniu prietaiso darbui, tenzorezistoriaus izoliacijos varža turi būti nuo 1 M Ω iki 100 M Ω .

Dinaminės apkrovos bangos ilgis - matuojant dinaminias apkrovas, objektu sklinda tampriosios bangos, todėl reikia įvertinti šį dydį, jis neturėtų būti mažesnis už dvigubą gardelės ilgį, priešingu atveju signalas gali labai susilpnėti. Dauguma tenzorezistorių gali registruoti iki 50 kHz dažnio procesus, bet jų darbo laikas sumažėja dėl atsisluoksniavimo ir jautrio pokyčių.

Ketvirčio Vitstono tiltelio schema su temperatūrine kompensacija



2.6 pav. Tyrimo metu naudosisma tenzorezistorių jungimo schema Vitstono tilteliu su temperatūrine kompesacija

Tenzorezistoriai yra parametriniai jutikliai. Jie jungiami į nuolatinės arba kintamosios srovės tiltelio grandinę. Kadangi tenzorezistoriaus varžos pokytis yra labai mažas, gamintojai tiekia ne tik pačius tenzorezistorius, bet ir komplektinę aparatūrą - stiprintuvus, duomenų įrašytuvus. Šiuo metu tenzorezistoriai yra vieni iš plačiausiai naudojamų jutiklių matavimų technikoje dėl jų pranašumų: jie yra maži, pigūs, pakankamai jautrūs, lengvai pritaikomi įvairiems matavimo uždaviniams spręsti, pvz., jais galima matuoti jėgas, momentus, mažus poslinkius, slogius. Jiems reikia gana sudėtingos antrinės aparatūros. Tačiau toks trūkumas nėra esminis [58].

Pasirinktas tenzorezistorių metodas puikiai tinka esamam tyrimui, kadangi eksperimentas bus atliekamas įrenginiui eksploatuojant, todėl reikalingas kompaktiškas, sudėtingos įrangos nereikalaujantis metodas konstrukcijos stiprumui įvertinti, kuris yra tikslus ir patikimas. Taip pat šis metodas lengvai pritaikomas kompozitinių medžiagų konstrukcijoms, kadangi jų deformacijos nėra didelės.

Tyrimo tenzorezistoriai – tyrimui įsigytas matavimo tenzorezistorių rinkinys.



2.7 pav. Nupirktų tenzorezistoriu rinkinys

Tipas: BF350-3AA

Varža: $349.8 \pm 0.1 \Omega$

Jautrumo koeficientas(gauge factor): 2.0 - 2.20

Tikslumo klasė: 0.02

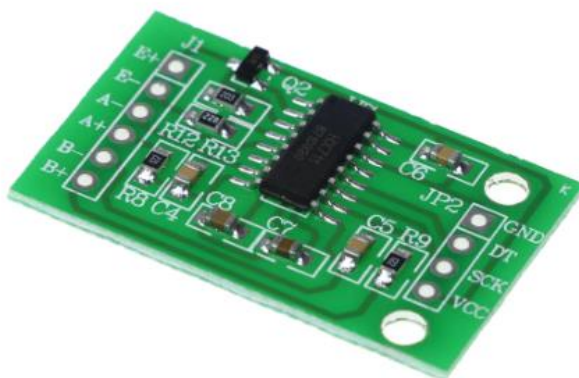
Santykinio pailgėjimo riba: 2.0% (2000 microstrain)

Gabaritai: 7.1mm * 4.5mm

Laidininko medžiaga: Konstantanas, vario-nikelio lydinys 55% varis/ 45% nikelis (pastovi varža prie temperatūros pokyčių)

Plėvelės medžiaga: modifikuota fenolio dervos folija

Stiprintuvas - tyrimui įsigytas analoginių duomenų keitiklis į skaitmeninius.



2.8 pav. HX711 skaitmeninis stiprintuvas

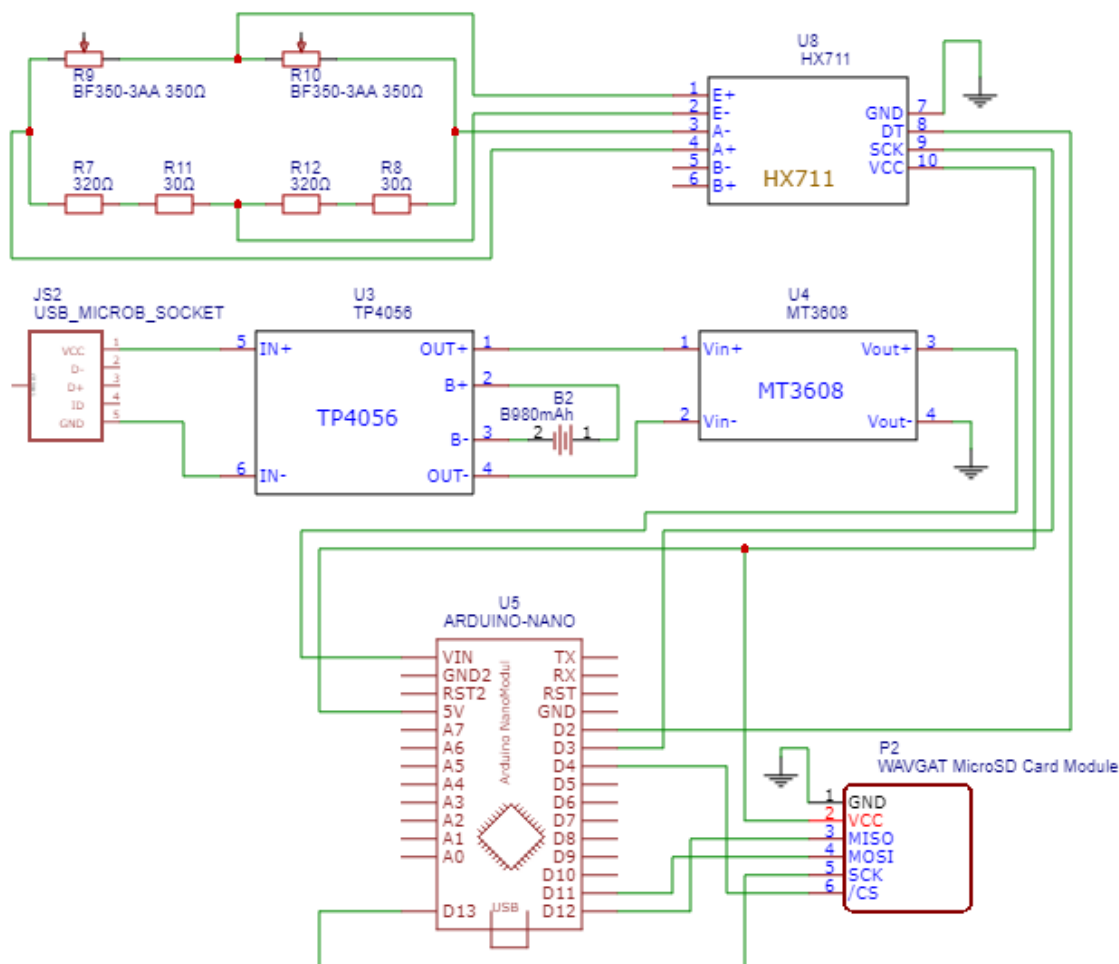
Šis modulis skirtas Vitstono tiltelio įtampos pokyčio matavimams. Stiprintuvas naudoja 24 bitų didelio tikslumo Analoginį/Skaitmeninį keitiklių lustą hx711. Tai specialiai sukurtas modulis didelio tikslumo elektroninėms svarstyklėms/apkrovos celėms, su dviem analoginiais įvesties kanalais, vidine 128 kartų programuojamo stiprintuvo integracija. Įėjimo grandinė gali būti sukonfigūruota, kad būtų sukurta tilto tipo grandinė. Modulis yra labai tikslus, mažos kainos yra idealus stiprintuvo modulio pavyzdys:

- Du pasirinktiniai diferencialiniai įvesties kanalai
- On-chip aktyvus mažo triukšmo PGA(programuojamas stiprintuvas) su pasirinktiniu didinimu 32, 64 ir 128
- Įkrovos ir ADC analoginio maitinimo šaltinio reguliatorius
- On-chip-osciliatorius, kuriam nereikia išorinio komponento su papildomu kristalu
- On-chip lizdas
- Paprastas skaitmeninis valdymas ir nuosekioji sąsaja: valdomi valdikliai, nereikalaujama programavimo
- Pasirinktinai 10SPS arba 80SPS išėjimo duomenų dažnis (SPS – samples per second – duomenų nuskaitymai per sekundę)
- Srovės suvartojimas, įskaitant analoginį analoginį maitinimo reguliatorių: normalus veikimas <1,5mA, išjungus <1uA
- Veiklos maitinimo įtampos diapazonas: 2,6 ~ 5,5V
- Veikimo temperatūra: -20 laipsnių ~ +85 laipsnių

Duomenų apdorojimui ir perdavimui, bus naudojamas „Arduino“ mikrovaldiklis, sujungtas su duomenų kortelių skaitytuvu, mobiliam informacijos rinkimui, kuris leis atlikti elektrinės riedlentės tyrimą realiomis sąlygomis.

2.3.1. Matavimo sistemos kūrimas

Dėl brangaus mobilių matavimo sistemų pobūdžio, reikalingam tyrimui atlikti yra kuriama mobili matavimo sistema pritaikyta dinaminių apkrovų matavimams. Šiai sistemai reikalingas maitinimas, duomenų įrašymas, bei apdorojimas. Šiai sistemai pagaminti, pradedamas elektrinių komponentų sujungimo projektavimas.

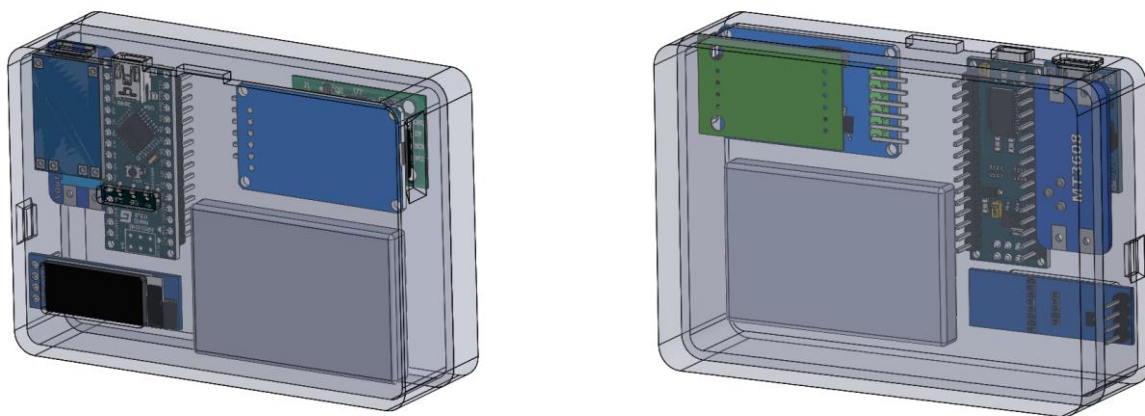


2.9 pav. Suprojektuoto ir pagaminto matavimo prietaiso elektrinių komponentų jungimo schema

Prie parinkto „Arduino Nano“ mikrovaldiklio jungiamas „HX711“ stiprintuvas. Stiprintuvas turi du Vitstono tiltelio maitinimo kontaktus bei du įtampos skirtumui matuoti skirtus kontaktus. Pačiame Vitstono tiltelyje matome R9 temperatūrinį pokytį kompensuoti skirtą tenzorezistorių, kuris nebus deformuojamas, ir R10 tenzorezistorių, kuris bus pritvirtintas prie elektrinės riedlentės prototipo konstrukcijos. Taip pat Vitstono tiltelio likusiuose dviejuose ketvirčiuose matome parinktus R7, R11 ir R12, R8 aušto tikslumo rezistorius sujungtus nuosekliai, kiekviename ketvirtyje sudarančius 350Ω varžą – tokią pat nominalią varžą kaip ir parinktų tenzorezistorių.

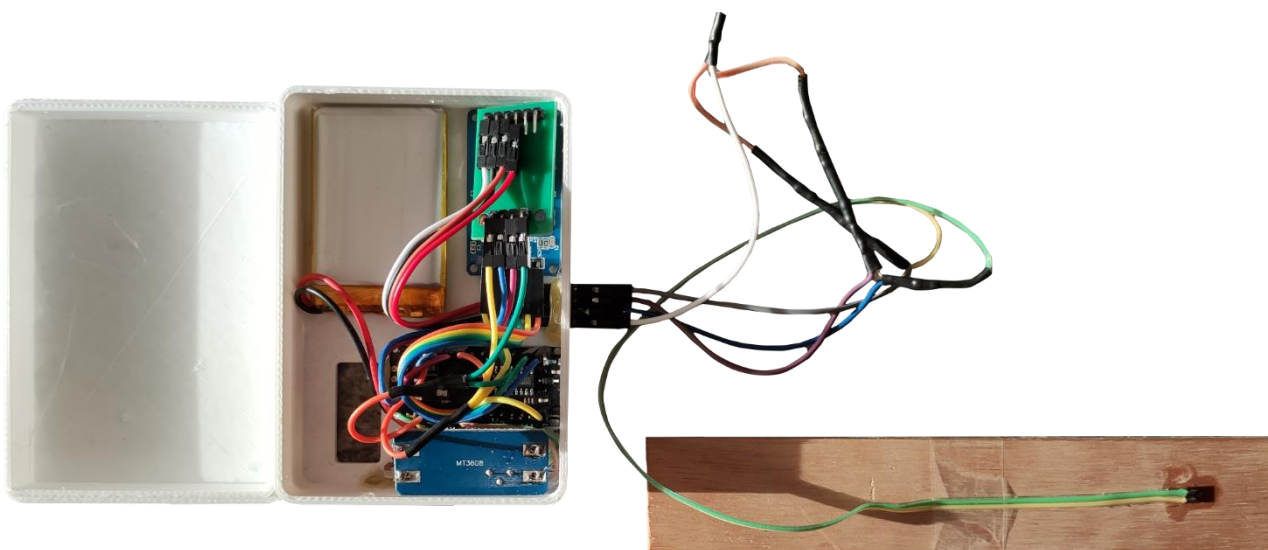
Kadangi elektrinės riedlentės tyrimą norima atlikti kuo realesnėmis sąlygomis šią mikrovaldiklio sistemą reikia mobilizuoti. Tam reikalingas „Arduino Nano“ mikrovaldiklio maitinimas – B2 980 mAh vienos celės ličio baterija jungiama prie U3 „TP4056“ elemento, celės krovimo modulio su integruota iškrovimo/perkrovimo apsauga (JS2 elementas tai micro USB type B kištukas patogiam

krovilkio prijungimui prie energijos šaltinio). Tačiau „Arduino Nano“ mikrovaldiklio minimali maitinimo įtampa yra 6V, todėl reikalingas U4 „MT3608“ elementas – reguliuojamas įtampos stiprintuvas, kuris vienos ličio celes 3,7V įtampą stiprina iki mikrovaldikliui reikiamos įtampos. Taip pat šio mobilizavimo tikslui pasiekti, prie mikrovaldiklio prijungtas P2 „WAVGAT“ MicroSD kortelių skaitytuvas, leidžiantis matavimo duomenis įrašyti į tekstinį failą. Išeksportavus juos bus galima braižyti grafikus, bei analizuoti gautas reikšmes.



2.10 pav. Suprojektuotas korpusas ir komponentų išdėstymas jame

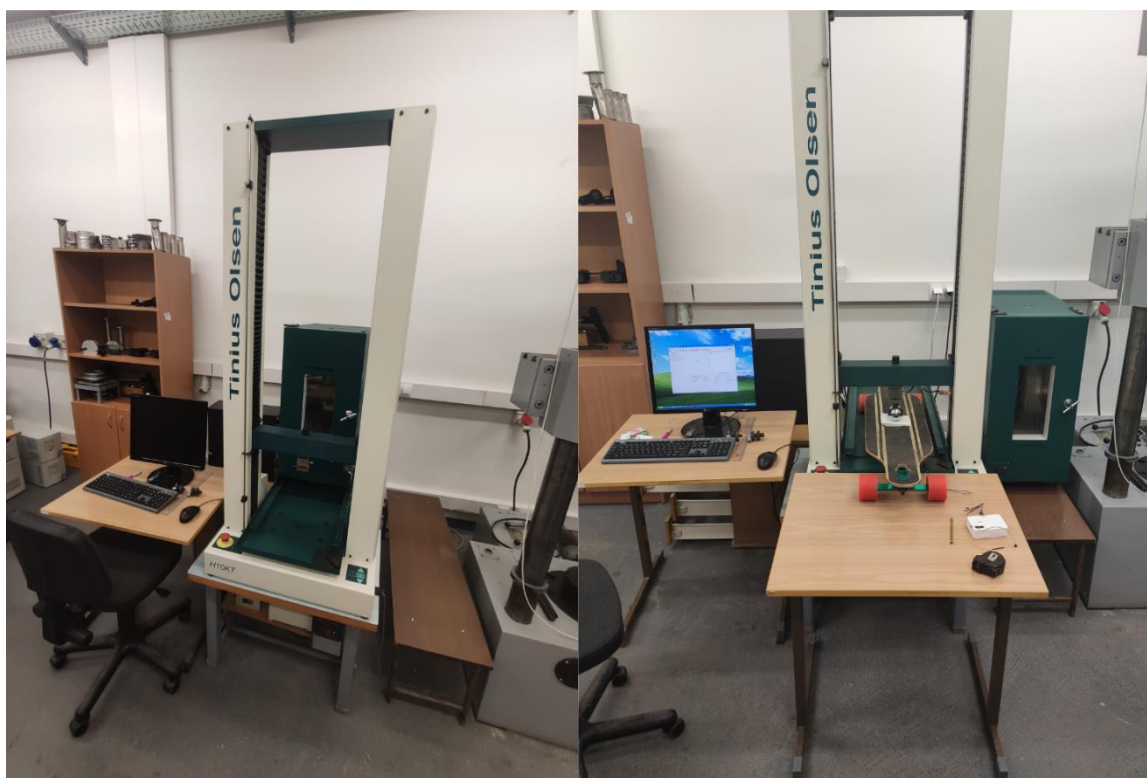
Visi reikalingi elementai kompaktiškai išdėstyti korpuse, kuris suprojektuotas patogiam naudojimui su visomis jungiklių, kištukų bei indikatorių ertmėmis. Šis korpusas atspausdintas 3D spausdintuvo pagalba iš PETG plastiko.



2.11 pav. Pagamintas matavimo prietaisas

2.3.2. Matavimo sistemos kalibracijai naudota bandymų mašina

Naudojamas HX711 skaitmeninis matavimų stiprintuvas, kurio duomenų išvestis neturi matavimo vienetų, todėl reikia įsivesti koeficientus, leisiančius paversti stiprintuvo skaitmeninę išvestį, kuri yra nuo 1 iki 1600000, į reikšmingą dydį – veikiančios jėgos, bei atsirandančių deformacijų dydį. Tai įgyvendinti, reikalinga bandymu mašina, kuri tiksliai apkrauna konstrukciją, pavojingoje vietoje.



2.12 pav. Bandymų mašinos „Tinius Olsen H10KT“ ir joje įtvirtintos el. riedlentės prototipo nuotraukos

Šiam tikslui buvo naudojama bandymų mašina „Tinius Olsen H10KT“. Prietaisas yra dviejų kolonų universali bandymo mašina. Šis aparatas yra skirtas išbandyti daugybę medžiagų, įskaitant metalus, laminuotus kompozitus, standųjį plastiką, plėveles, popierių, ploną lakštinį metalą, klijus ir folijas, esant tempimui, gniuždymui, lenkimui, šlyties ir atsiskuksniavimo bandymams. Mašina turi aplinkos kamerą, suprojektuotą veikti esant ne aukštesnei kaip 300° C temperatūrai, naudojant elektrinius kaitinimo elementus, kuri suteikia galimybę bandyti pavyzdžius šildant ir tiriant aukštesnėje temperatūroje [60].

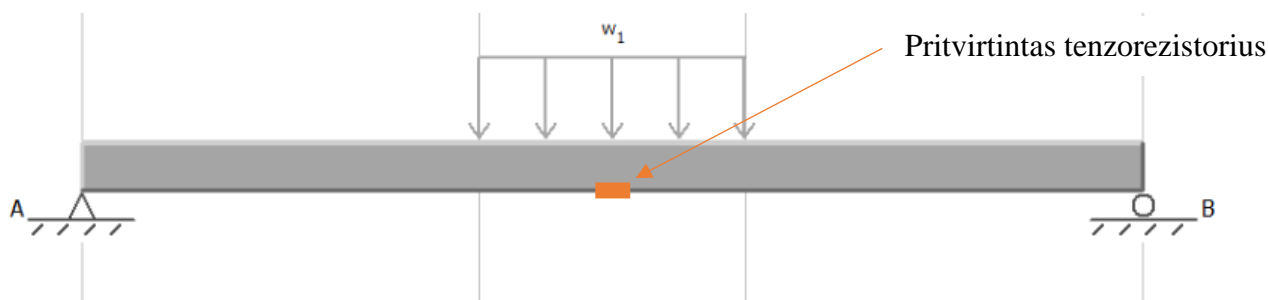
2.1 lentelė. Bandymų mašinos techninė specifikacija [60]

Maksimali apkrova	10 kN
Maksimali „galvos“ eiga	1100 mm
Bandymo greičio diapazonas	0,001–1000 mm / min
Maksimalus vertikalus galvos greitis esant 5 kN	500 mm / min
Krypties kitimo greitis	0,001–1000 mm / min
Grįžimo greitis	0,001–750 mm / min
Rėmo standumas	100kN / mm
Išmatavimai (H × W × D)	1600 mm × 650 mm × 450 mm
Svoris	115 kg

Apkrovos matavimo tikslumas: +/- 0,5% nurodytos apkrovos nuo 2% iki 100%. Padėties matavimo tikslumas: +/- 0,01% rodmens arba 0,001 mm, atsižvelgiant į tai, kuris yra didesnis. Greičio tikslumas: +/- 0,005% nustatyto greičio.

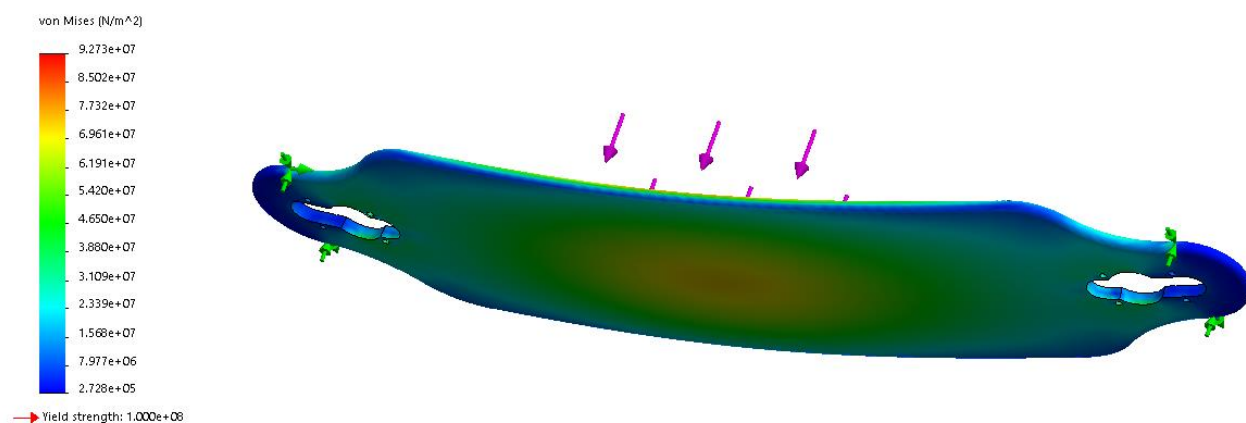
2.4. Matavimo sistemos kalibracija

Eksperimento bandinys yra elektrinės riedlentės konstrukcija, kuri iš esmės yra sija įtvirtinta šarnyriškai. Taip supaprastinus modelį, gauname:



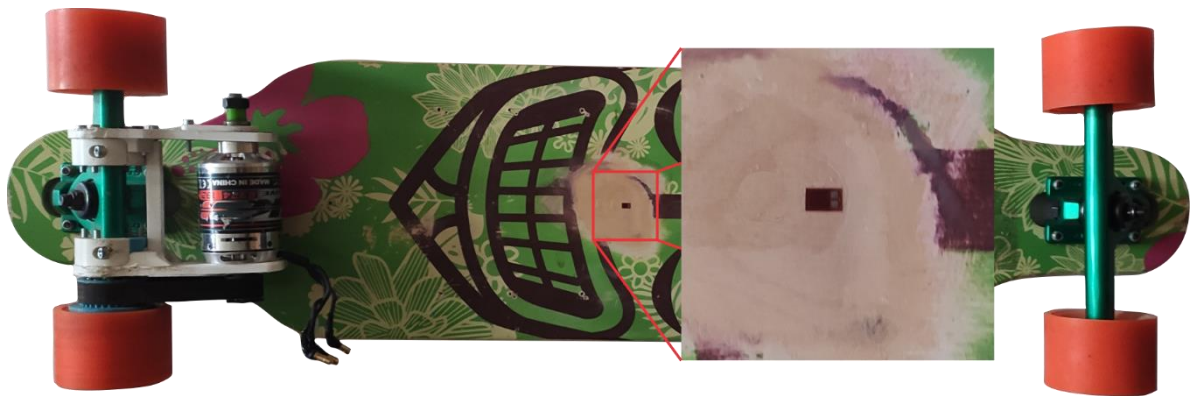
2.13 pav. Elektrinės riedlentės prototipo kalibracijos bandymo įtvirtinimo schema

Numatomoje pavojingiausioje vietoje, kur atsiras didžiausia deformacija ir veiks didžiausi įtempiai, ant elektrinės riedlentės prototipo klijuojamas tenzorezistorius.



2.14 pav. Teisingos tenzorezistoriaus tvirtinimo vietos patikrinimo simuliacija

Teisingos tenzorezistoriaus tvirtinimo vietos parinkimo patikrinimui, „SolidWorks“ programinės įrangos pagalba, atlikta supaprastinta simuliacija įtvirtinus prototipo konstrukciją šarnyriškai bei parinkus supaprastintas beržo faneros izotropinės medžiagos parametrus [61].

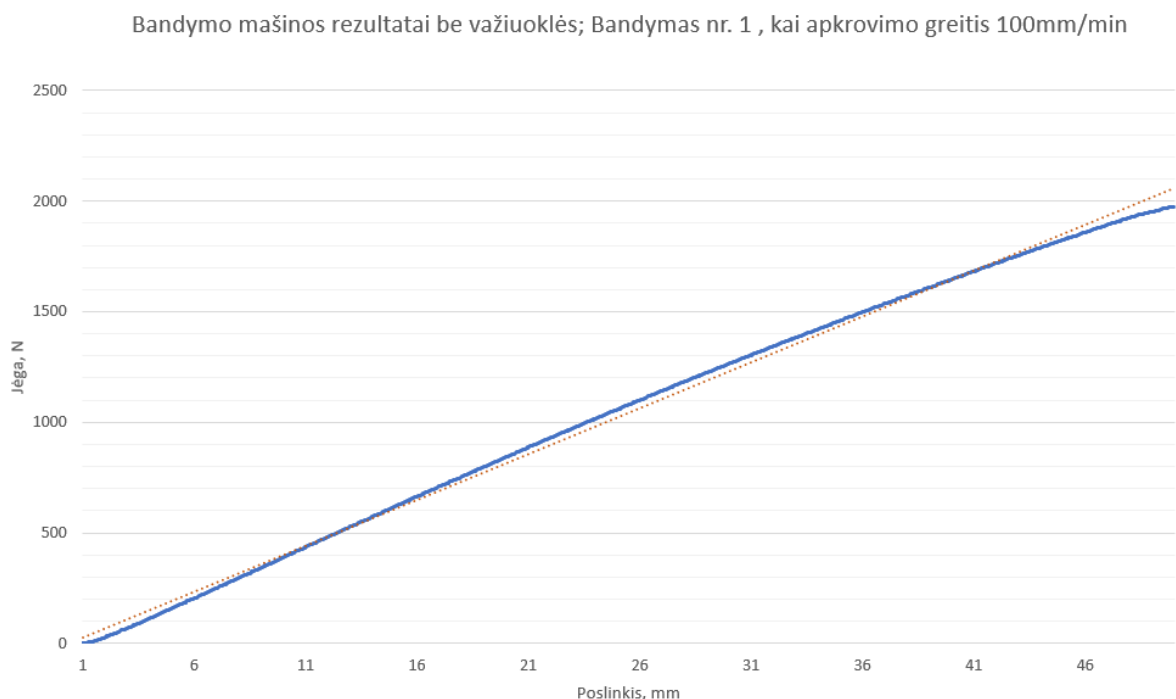


2.15 pav. Ant elektrinės riedlentės priklijuotas tenzorezistorius

Paruošus konstrukcijos paviršių, atsargiai cianoakrilo kliais priklijuojamas tenzorezistorius. Kljams leidžiama išdžiūti, tada prie kontaktų prilituojami laidai, kurie jungiami prie Vitstono tiltelio grandinės, taip pat riedlentės elektronikos komponentų korpuse pritvirtinamas temperatūrinio kompensavimo rezistorius.

2.4.1. Kalibracijos bandymo rezultatai

Įtvirtinus elektrinės riedlentės prototipą bandymų mašinoje, parinkti pagrindiniai bandymo nustatymai – apkrovimo greitis, bei maksimali deformacija, kuri gaunama išmatavus atstumą nuo kelio dangos, kuria važiuoja prototipas, ir per centrą esančio plastikinio korpuso žemiausio taško, kuris sieks važiuojamą kelio dangą esant maksimaliai deformacijai.



2.16 pav. Bandymo mašinos rezultatai bandymo nr.1 metu (kai nuo konstrukcijos nuimta važiuoklė), kai apkrovimo greitis 100 mm/min

Pirmame elektrinės riedlentės prototipo konstrukcijos bandyme su bandymo mašina, kai apkrovimo greitis 100 mm/min, gauti rezultatai, kad konstrukcijai deformuoti 50 mm pasiekta 1974 N jėga.

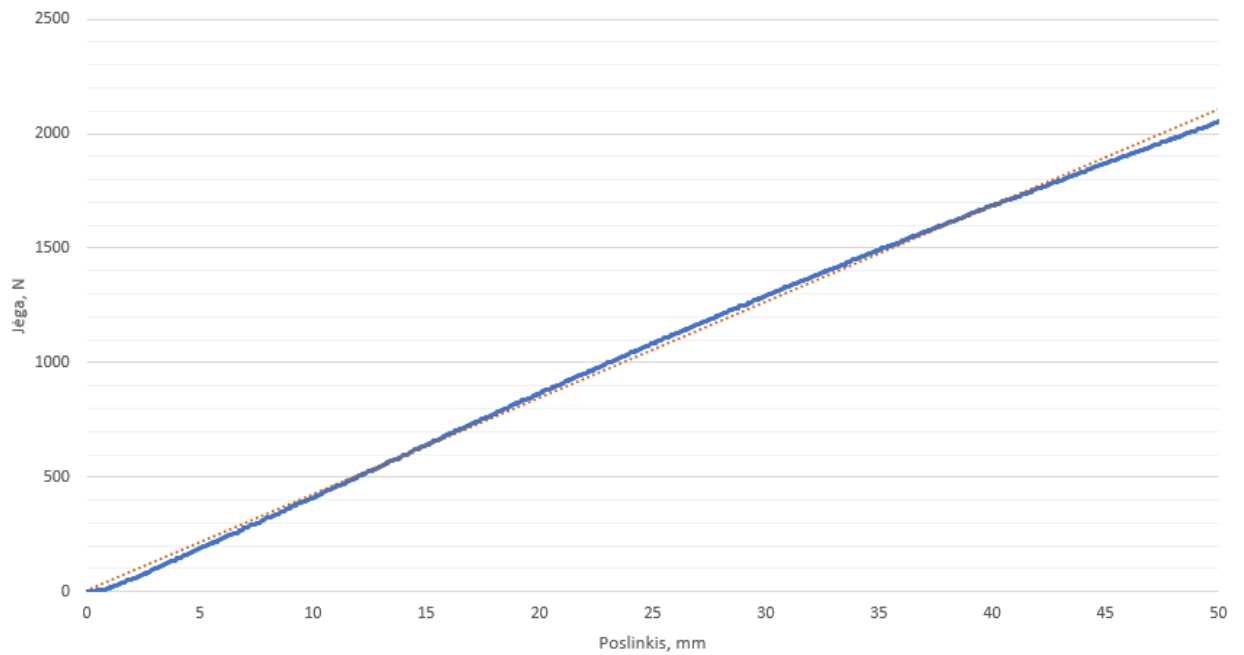


2.17 pav. Sukurtos tenzorezistorių matavimo sistemos išmatuoti rezultatai bandymo nr.1 metu, kai apkrovimo greitis 100 mm/min

Pagaminta matavimo įranga gauti duomenys matomi 2.16 pav. ir atitinka matavimo mašina gautus rezultatus. Pastebėtas nulio dreifas – tenzorezistoriaus matavimo rezultatai neapkrautoje padėtyje pasislinko/padidėjo, net programoje nustačius taravimo po dviejų minučių nuo prietaiso įjungimo. Tai reikės būtinai įvertinti atliekant realų tyrimą.

Taip pat, siekiant artimesnių rezultatų būsimoms dinaminėms apkrovoms, elektrinės riedlentės konstrukciją apkraunama didesniu, 500 mm/min greičiu.

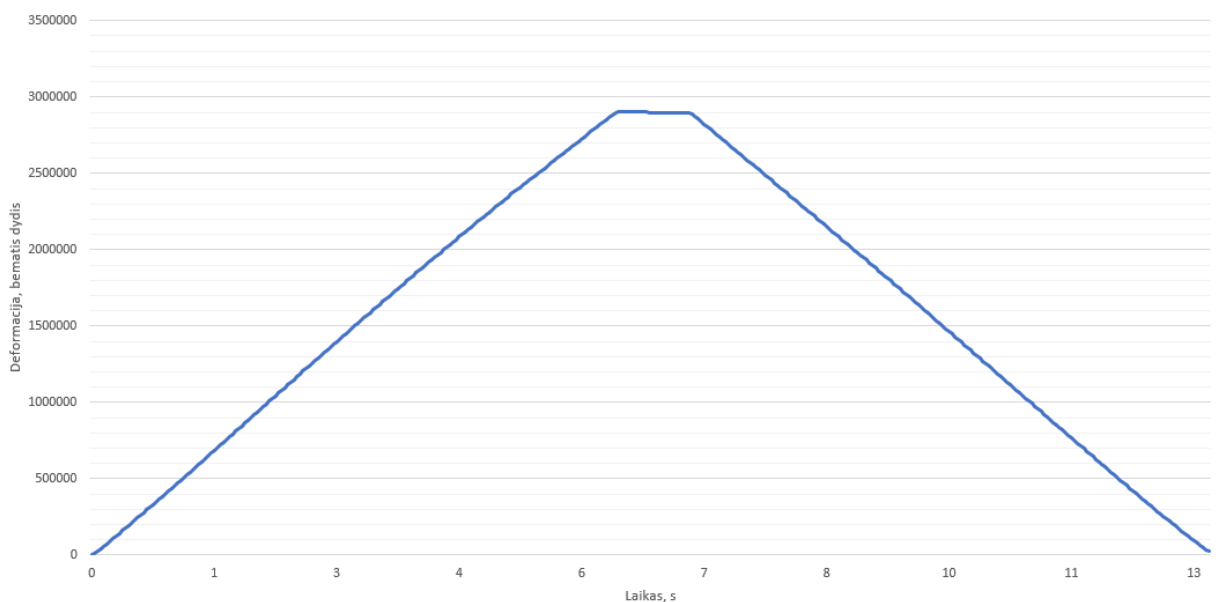
Bandyto mašinos rezultatai be važiuoklės; Bandymas nr. 2 , kai apkrovimo greitis 500mm/min



2.18 pav. . Bandyto mašinos rezultatai bandymo nr. 2 metu (kai nuo konstrukcijos nuimta važiuoklė), kai apkrovimo greitis 500 mm/min

Antrame elektrinės riedlentės prototipo konstrukcijos bandyme su bandymo mašina, kai apkrovimo greitis buvo padidintas iki 500 mm/min, gauti rezultatai, kad konstrukcijai deformuoti 50 mm pasiekta 2052 N jėga, 76 N didesnė, nei 100 mm/min apkrovimo greičio režime. Toks bandymas yra artimesnis realaus tyrimo metu esančioms dinaminėms apkrovoms.

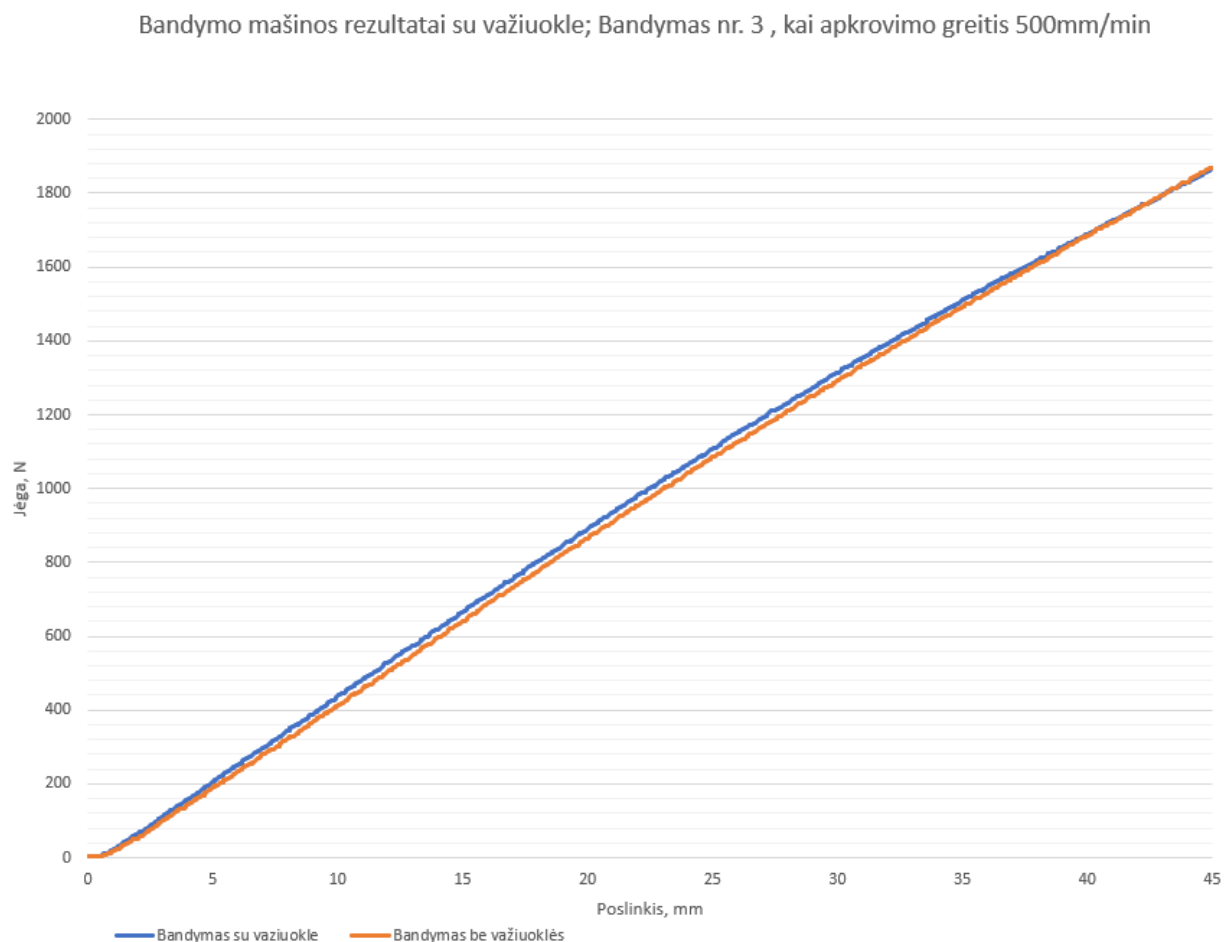
Matavimo sistemos rezultatai be važiuoklės; Bandymas nr. 2 , kai apkrovimo greitis 500mm/min



2.19 pav. Tenzorezistoriaus išmatuoti rezultatai bandymo nr.2 metu, kai apkrovimo greitis 500 mm/min

Pagaminta matavimo įranga gauti duomenys matomi 2.18 pav. ir atitinka matavimo mašina gautus rezultatus. Matomas beveik tiesinis deformacijos pokytis ir ištaisytas nulinis dreifas. Taip pat gautas bematis deformacijos dydis yra didesnis nei pirmame bandyme.

Šie matavimai atlikti kai tyrimo objektas yra elektrinės riedlentės konstrukcija nuo kurios nuimta važiuoklė – lenta ant kurios pritvirtintas tik elektrinių komponentų korpusas. Tačiau realiai važiuojat elektrine riedlente, jos standumą sudaro, tiek jos konstrukcija, tiek prie jos tvirtinama važiuoklė. Šios važiuoklės plieno detales taip pat deformuojasi, kartu su prie jos pritvirtintais, iš pakankamai minkštos gumos pagamintais ratais. Tai reikalauja papildomo standumo palyginimo.



2.20 pav. Bandymo mašinos rezultatai, bandymų nr. 2 be važiuoklės ir bandymo nr. 3 su važiuokle metu, kai apkrovimo greitis 500 mm/min

Palyginime, pav. 2.19, matome nedidelį kreivių išsiskyrimą esant 200 – 1600 N apkrovai. Esant didžiausiai apkrovai, rezultatai sutampa, todėl galima teigti, kad važiuoklės standumas elektrinės riedlentės prototipo konstrukcijos tyrimui neturės didelės įtakos.

Norint matavimo prietaisu gautus rezultatus, kurie yra stiprintuvo skaitmeninio signalo bemačiai dydžiai, paversti realiais matuojamos jėgos ir poslinkio dydžiais, reikia rasti koeficientą. Padauginus bematį dydį šiais koeficientais, gautos reikšmės būtų paverstos atitinkamai apkrovos jėga ir poslinkiu. Koeficientų gavimui naudojamas antras bandymas, kadangi jis artimesnis elektrinės riedlentės prototipą veikiančioms jėgoms važiavimo metu. Šių koeficientų gavimo supaprastinimui, gautas

matavimų funkcijas laikome tiesinėmis. Maksimalią pagamintu matavimo prietaisu gautą reikšmę daliname iš atitinkamai maksimalios bandymu mašina gautos jėgos ir poslinkio reikšmės. Jėgos koeficientas:

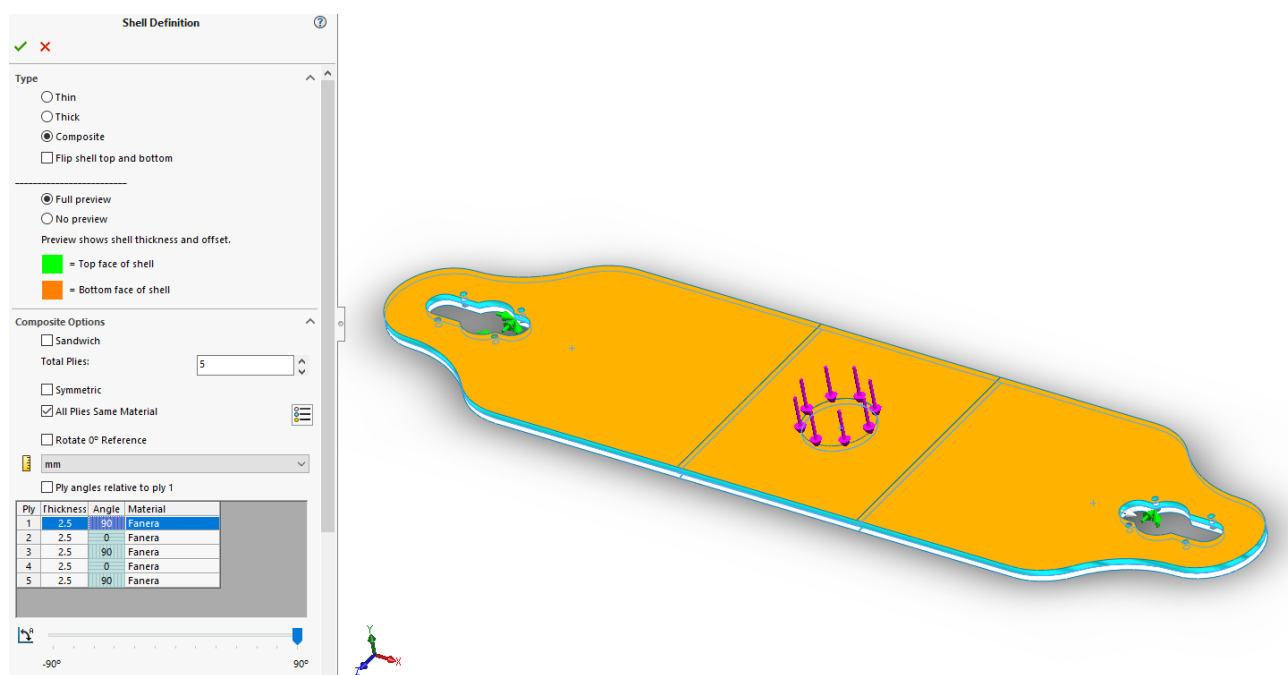
$$a = \frac{2052}{2903717} = 7,0668 * 10^{-4} N \quad (1)$$

Poslinkio koeficientas:

$$b = \frac{50}{2903717} = 1,7219 * 10^{-5} mm \quad (2)$$

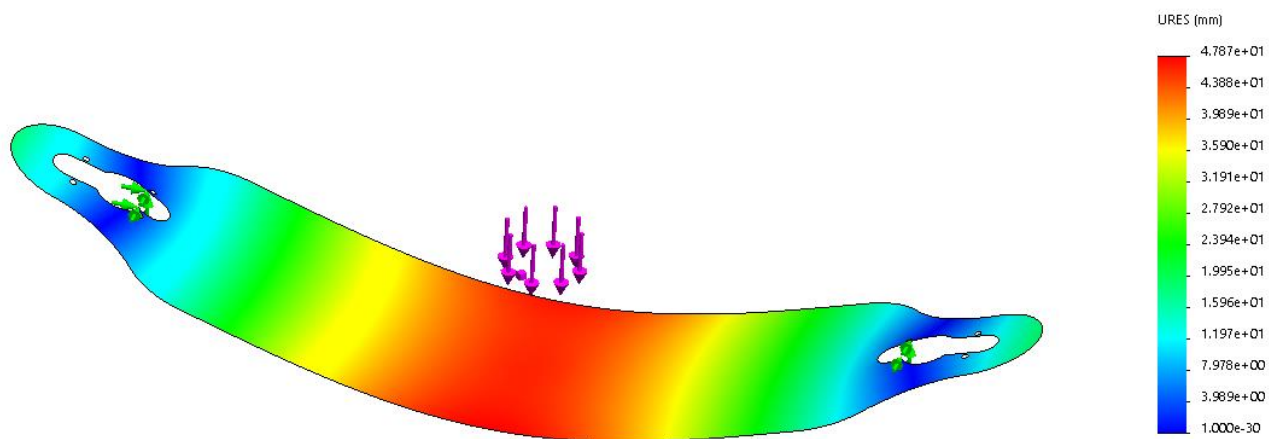
2.5. Eksperimentinių duomenų palyginimas su duomenimis gautais skaitiniais metodais

Atliekant tolimesnį projektavimą bus įvertintas gauto baigtinių elementų modelio stiprumas ir standumas, naudojant „Solidworks“ programinę įrangą. Todėl reikalingas šios programinės įrangos eksperimentinių duomenų palyginimas su gaunamais skaitiniais duomenimis, siekiant nustatyti rezultatų, gaunamų su programine įranga, tikslumą.



2.21 pav. Lentos formos, plokštumos tipo konstrukcijai priskiriamos kompozitinės medžiagos savybės

Nusibraižoma lentos formos plokštuma, šiai plokštumai priskiriama kompozitinės medžiagos struktūra – 5 sluoksnių beržo faneros ortotropinės savybės [62], iš kurių du tarpiniai sluoksniai yra pasukti 90° kampu, kitų trijų sluoksnių atžvilgiu.



2.22 pav. Konstrukcijos poslinkis apkraunant 2052 N jėga

Gautą konstrukcijos modelį apkrovus, matavimo sistemos kalibracijos bandymo metu gauta didžiausia 2052 N jėga, pasiektas 47,9 mm vertikalus poslinkis. Lyginant rezultatus, yra pasiekiamas 4,26 % skirtumas tarp eksperimento metu nustatyto poslinkio ir skaitinio modelio pagalba gauto poslinkio.

2.6. Kojų pastatymo pozicijos įtaka gaunamiems rezultatams

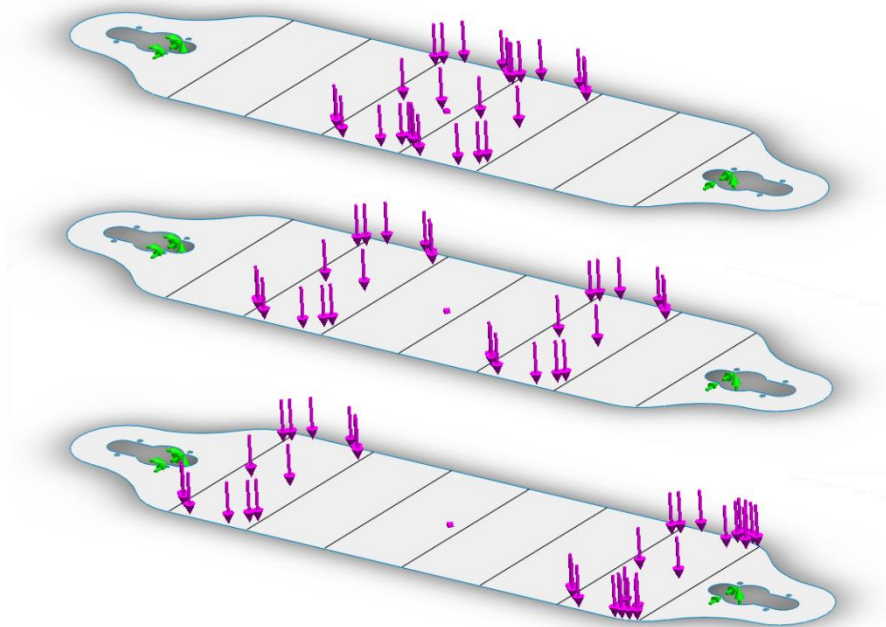
Kalibracijos metu apkraunama centrinė riedlentės dalis, o važiavimo metu, važiuojančio vartotojo pozicija yra kiek kitokia.



2.23 pav. Elektrinės riedlentės važiuotojo stovima pozicija [63]

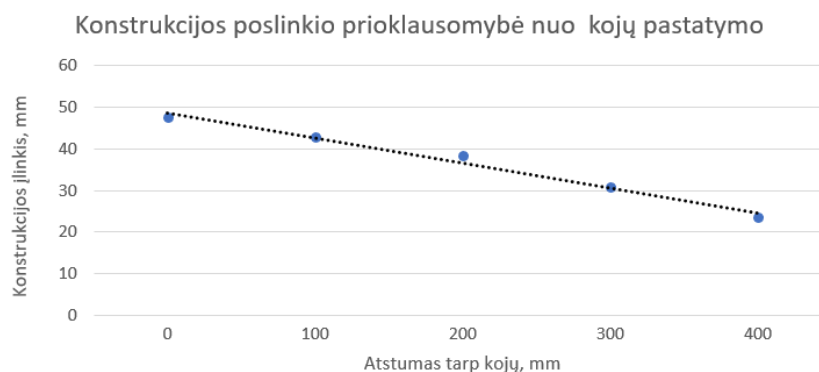
Važiavimo metu stovima kojomis plačiai padėtomis riedlentės konstrukcijos galuose, arčiau važiuoklės elementų. Taip didesnė apkrovos dalis, konstrukcijos standumu, perduodama važiuoklei, o konstrukcija yra mažiau apkraunama lenkimu.

Šiam apkrovimo pobūdžiui įvertinti skaitinis modelis apkraunamas penkiais skirtingais kojų pastatymais: 0mm, 100mm, 200mm, 300mm 400mm atstumas tarp kojų.



2.24 pav. Simuliacijos skirtingi apkrovimo tipai (0, 200, 400 mm) pagal kojų pastatymą

Gautų simuliacijų rezultatai rodo, kad statant kojas plačiau konstrukcijos įlinkis mažėja.

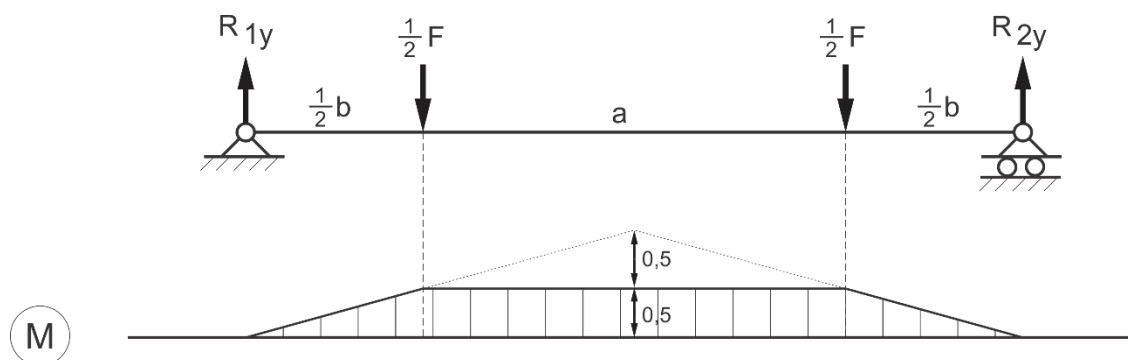


2.25 pav. Konstrukcijos įlinkio priklausomybė nuo kojų pastatymo

Pagal simuliacijų rezultatus priimu, kad konstrukcijos įlinkis, priklausomai nuo atstumo tarp kojų, mažėja tiesiškai, todėl siekiant gauti ekvivalentines jėgas veikiančias elektrinės riedlentės prototipo centre, gautą jėgos kalibracijos koeficientą, kuris yra tiesiogiai susijęs su konstrukcijos poslinkio koeficientu reikia daugini iš papildomo koeficiento įvertinančio šios jėgos sumažėjimą skirtinguose kojų pastatymuose. Gaunamas koeficientas:

$$c = \frac{47,52}{23,53} = 2,022 \quad (3)$$

Koeficientas rodo, kad kojas pastačius 400 mm atstumu, matavimais gaunama jėga bus 2,022 karto mažesnė, nei apkrovus konstrukcija kai atstumas tarp kojų 0 mm.



2.26 pav. Konstrukcijos lenkimo momento diagrama

Diagramoje matoma pavaizduota lenkimo momento priklausomybė nuo kojų pastatymo, kuri remiasi skirtingų kojų pastatymų simuliacijų gautais įlinkio rezultatais. Kai kojų pastatymo atstumas didžiausias $a = 400\text{mm}$, lenkimo momento diagrama siekia 0,5 savo didžiausios vertės, lyginant su kojų pastatymu, kai $a = 0\text{ mm}$ ir jėga F konstanta. Lenkimo diagramos dydį galima vertinti kaip perkrovos koeficientą r , kuris lygus:

$$r = -\frac{x}{800} + 1 \quad (4)$$

čia x - atstumas tarp kojų.

Kai atstumas tarp kojų lygus 0 mm, perkrovos koeficientas lygus 1, apkrova sutelkta ties konstrukcijos centru ir yra lygi tiesiogiai tenzorezistoriaus išmatuotam dydžiui padaugintam iš kalibracijos koeficiento. Kai elektrinės riedlentės prototipo konstrukcija yra eksploatuojama natūraliai - kojos pastatytos 400 mm atstumu viena nuo kitos, perkrovos koeficientas r lygus 0,5, t.y. tenzorezistoriaus kalibracinio koeficiento pagalba matuojamos jėgos vertė yra lygi tik puses reakcijos jėgų gaunamos reikšmės dydžiui. Todėl pilną apkrovos reakcijos jėga įvertinantis kalibracijos koeficientas apskaičiuojamas:

$$R_{1y} + R_{2y} = y * \frac{\frac{2052}{2903717}}{-\frac{x}{800} + 1} \quad (5)$$

čia x - atstumas tarp kojų, y – gauta skaitinė matavimo sistemos reikšmė.

Pagal konstrukcijos įlinkio priklausomybę nuo kojų pastatymo koeficiento perskaičiuotas kalibracinis jėgos koeficientas:

$$a = \frac{2052}{2903717} * 2,022 = 14,2890 * 10^{-4} N \quad (6)$$

2.7. Tyrimo eiga

Elektrinės riedlentės prototipo tyrimas yra atliekamas važiuojant realiomis sąlygomis, dažniausiai sutinkamomis kelio dangomis. Siekiant kontroliuoti šio tyrimo sąlygas, išskiriami keli scenarijai, kuomet numanoma jog elektrinės riedlentės prototipo konstrukciją veiks didžiausios jėgos.



2.27 pav. Išskiriamų kelio dangų tipai: 1. Susidėvėjusiu kvadratinėmis betoninėmis plytelėmis šaligatvis; 2. Standartinių trikampinių šaligatvis; 3. Prastos būklės asfaltuota kelio danga; 4. Geros būklės asfaltuota kelio danga;

Visais atvejais bandoma pasiekti maksimalų leistiną 25 km/h greitį važiuojant šiomis dangomis, tačiau dėl važinėjimo įgūdžių ir pavojingumo, kai kuriomis iš šių dangų to padaryti neįmanoma, todėl išlaikomas kiek galima didesnis greitis, kuris užtikrina saugumą ir transporto priemonės valdymą. Taip pat kiekvieno atvejo metu atliekama daugelis važinėjimų ir pateikiami rezultatai su didžiausiai pasiektais duomenimis, kai važinėjimo greitis didžiausias, tam, kad būtų žinomi didžiausių apkrovų dydžiai, kurie projektuojant leistų užtikrinti saugią elektrinės riedlentės prototipo konstrukciją.

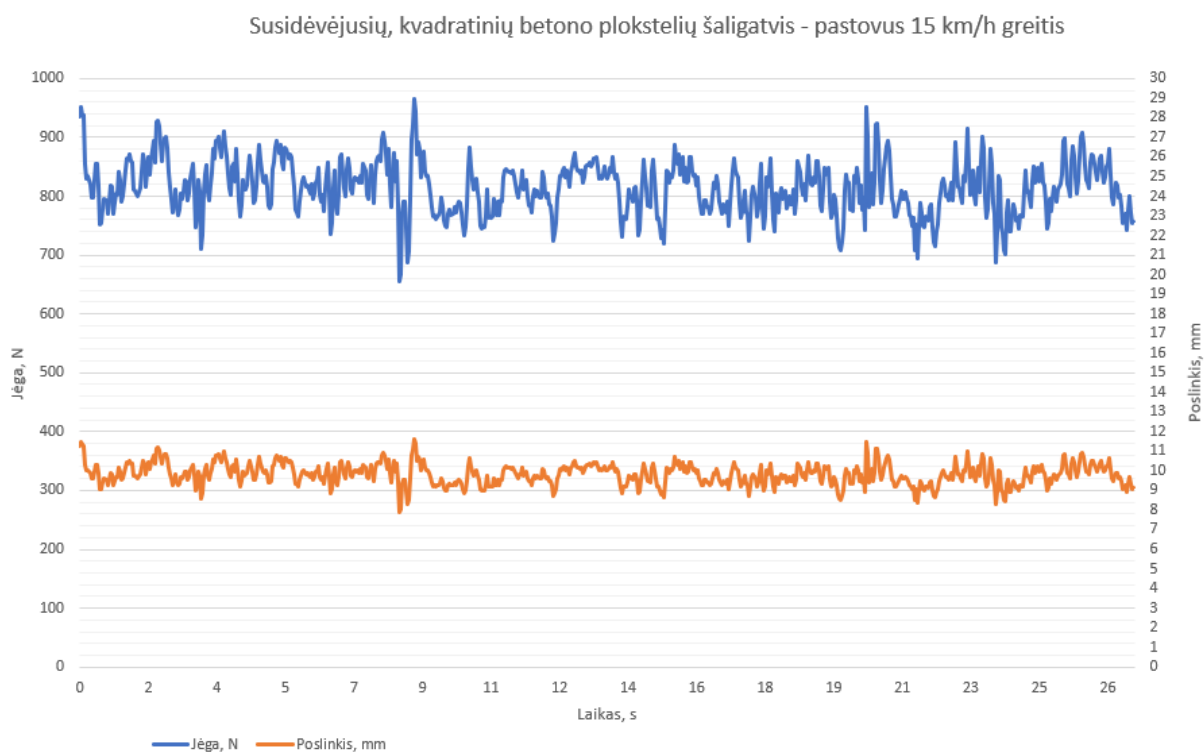
Taip pat įvertinti skirtingos masės vartotojams skaičiuojamas perkrovos koeficientas:

$$r = \frac{F}{m \cdot g} = \frac{F}{794} \quad (7)$$

čia F - išmatuota reakcijos jėga, $m \cdot g$ – mano sunkio jėga, kai sveriu 81 kg.

2.8. Tyrimo rezultatai

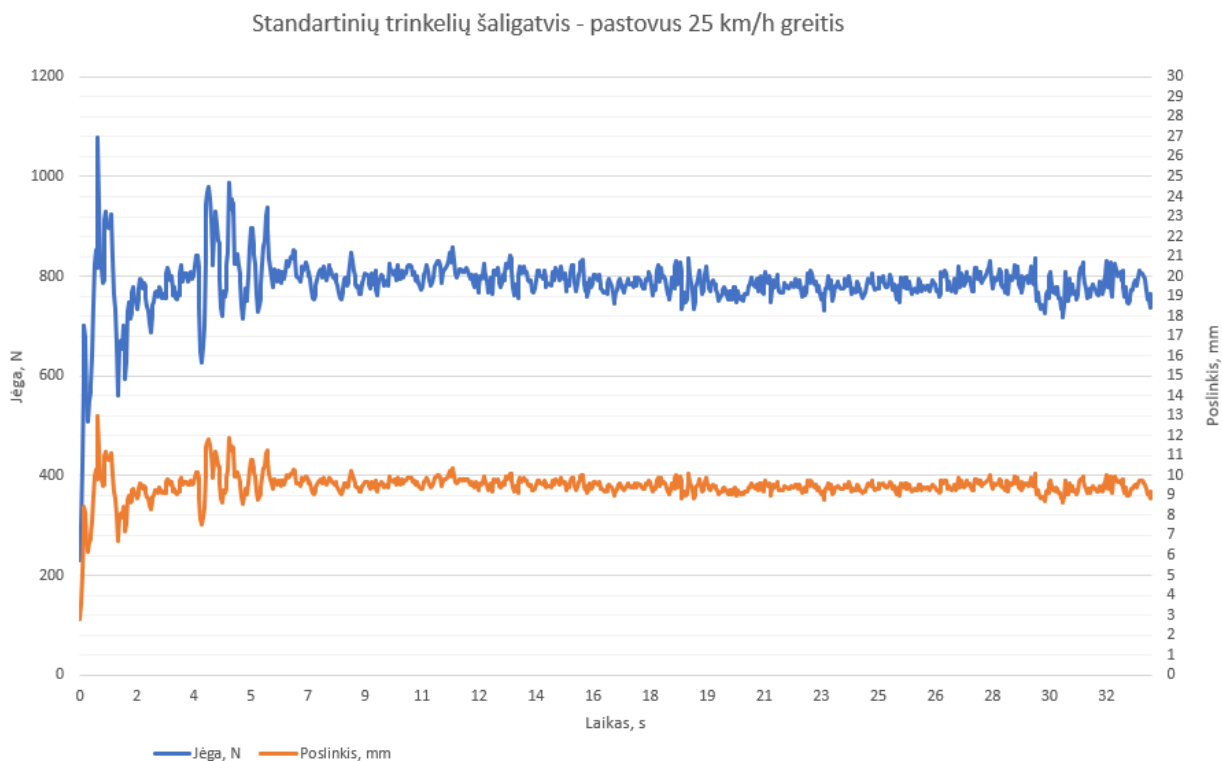
Pirmieji tyrimo rezultatai gauti važiuojant elektrinės riedlentės prototipu ant pasirinktos kelio dangos (2.20 pav. 1 numeriu pažymėta nuotrauka). Parinkta kelio šaligatvio danga atitinka daugelio Lietuvos miestų šaligatviuose sutinkamus pravažumo apribojimus.



2.28 pav. Rezultatai gauti važiuojant susidėvėjusiu kvadratinių betono plokštelių šaligatviu

Iš matavimo sistemos gauti bemačiai matavimo rezultatai dauginami iš gautų koeficientų a , b ir atitinkamai gaunama elektrinės riedlentės prototipą, laiko momentu, veikiančios jėgos dydis niutonais ir konstrukcijos poslinkis milimetrais. Bandymo metu gaunama didžiausia jėga – 965 N, perkrovos koeficientas 1,22. Didžiausias poslinkis – 11 mm. Tokia kelio danga sunku važiuoti greitai ir saugiai, todėl pasiektas tik 15 km/h greitis.

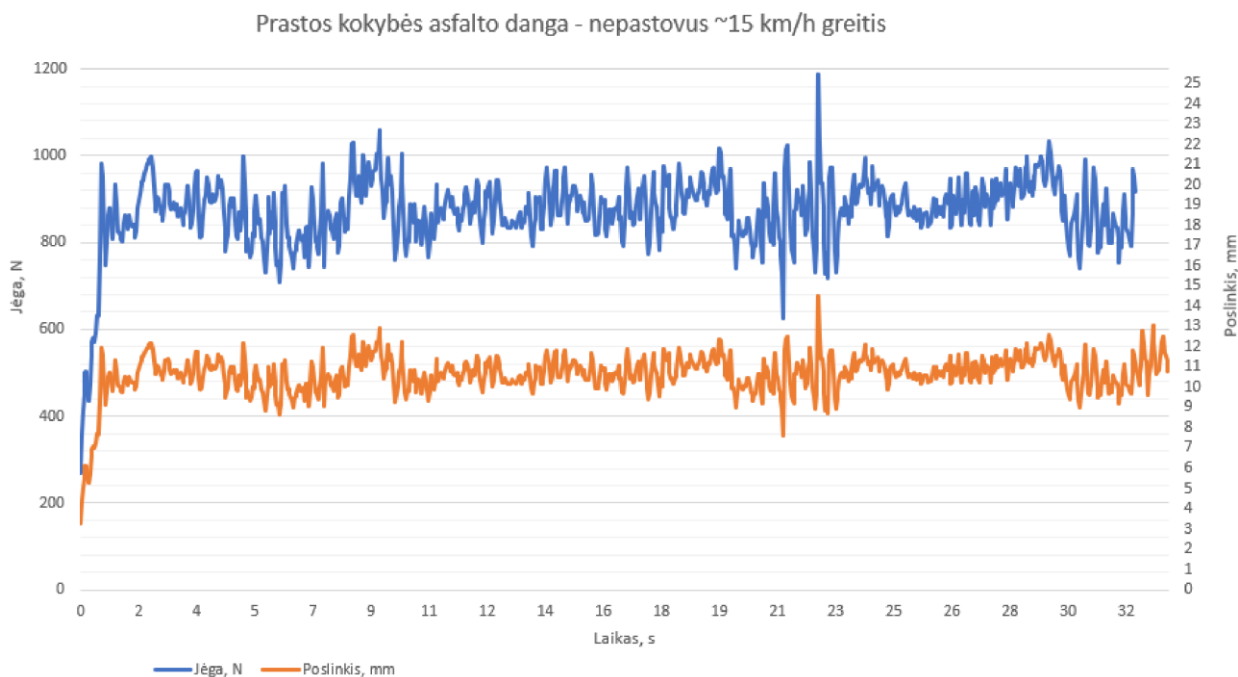
Antroji bandyta kelio dangą, tai dažnai sutinkamas trinkelėlių klojinys (2.20 pav. 2 numeriu pažymėta nuotrauka). Ši kelio dangą pasirinkta, nes teoriškai turėtų sukelti dideles vibracijas.



2.29 pav. Rezultatai gauti važiuojant standartine trinkelėlių šaligatvio dangą

Bandymo metu, įsibėgėjus iki 25 km/h greičio (grafike 7-33 sekundės) gaunama didžiausia jėga – 857 N, perkrovos koeficientas 1,08. Didžiausias poslinkis – 10,3 mm. Taip pat grafiko pradžioje palikta (0-7 sekundės) užlipimo ant riedlentės, atsispyrimo pirminiam greičiui įgauti, stovimos pozicijos pasitaisymai ir įsibėgėjimo iki reikiamo greičio, duomenys. Kaip matoma, tuo metu pasiekama 1077 N jėga, 1,36 perkrovos koeficientas ir 13 mm konstrukcijos poslinkis.

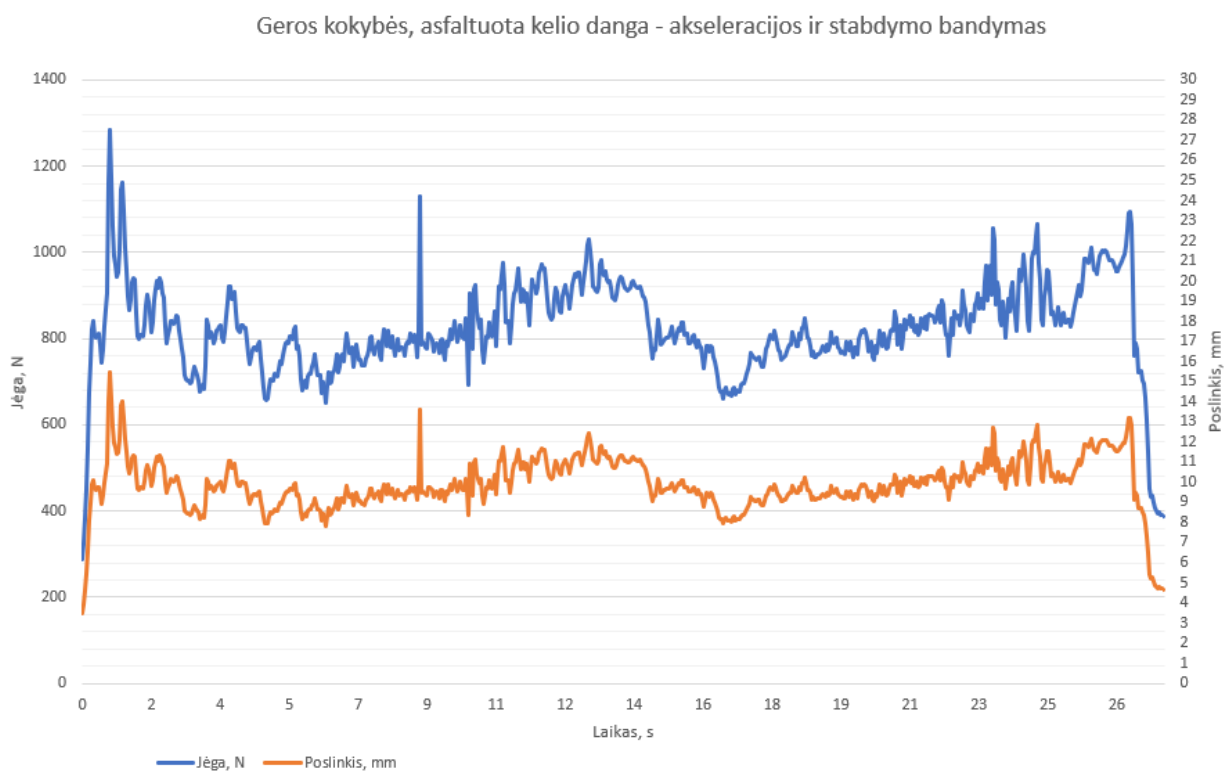
Trečioji bandyta kelio danga, tai kiek rečiau sutinkama, tačiau miesto infrastruktūroje dar kol kas neišvengiama (2.20 pav. 3 numeriu pažymėta nuotrauka) sena, grublėta, duobėta, vietomis suskilinėjusi, asfalto kelio danga. Ši kelio danga pasirinkta, nes teoriškai yra prasčiausia vartotojui galimai pasitaikanti danga, kuri turėtų sukelti didžiausias apkrovas ir konstrukcijos vertikalų poslinkį eksploatuojant elektrinę riedlentę.



2.30 pav. Rezultatai gauti važiuojant prastos būklės asfaltuota kelio danga

Bandymo metu, palaikant kiek galima didesnę, nepastovų ~15 km/h greitį (grafike 5-21 sekundės) gaunama didžiausia jėga – 1064 N, 1,34 perkrovos koeficientas. Su didesnės duobės pervažiavimu ties 23 sekunde, pasiekiam 1194 N jėga. Didžiausias pasiektas poslinkis važiuojant per minėta duobę – 15 mm. Taip pat grafiko pradžioje palikta (0-5 sekundės) užlipimo ant riedlentės, atsispyrimo pirminiam greičiui įgauti, stovimos pozicijos pasitaisymai ir išibėgėjimo iki reikiamo greičio, duomenys. Šios kelio dangos įtaka, kaip ir buvo numanyta, sukelia didžiausias apkrovas elektrinės riedlentės prototipo konstrukcijai.

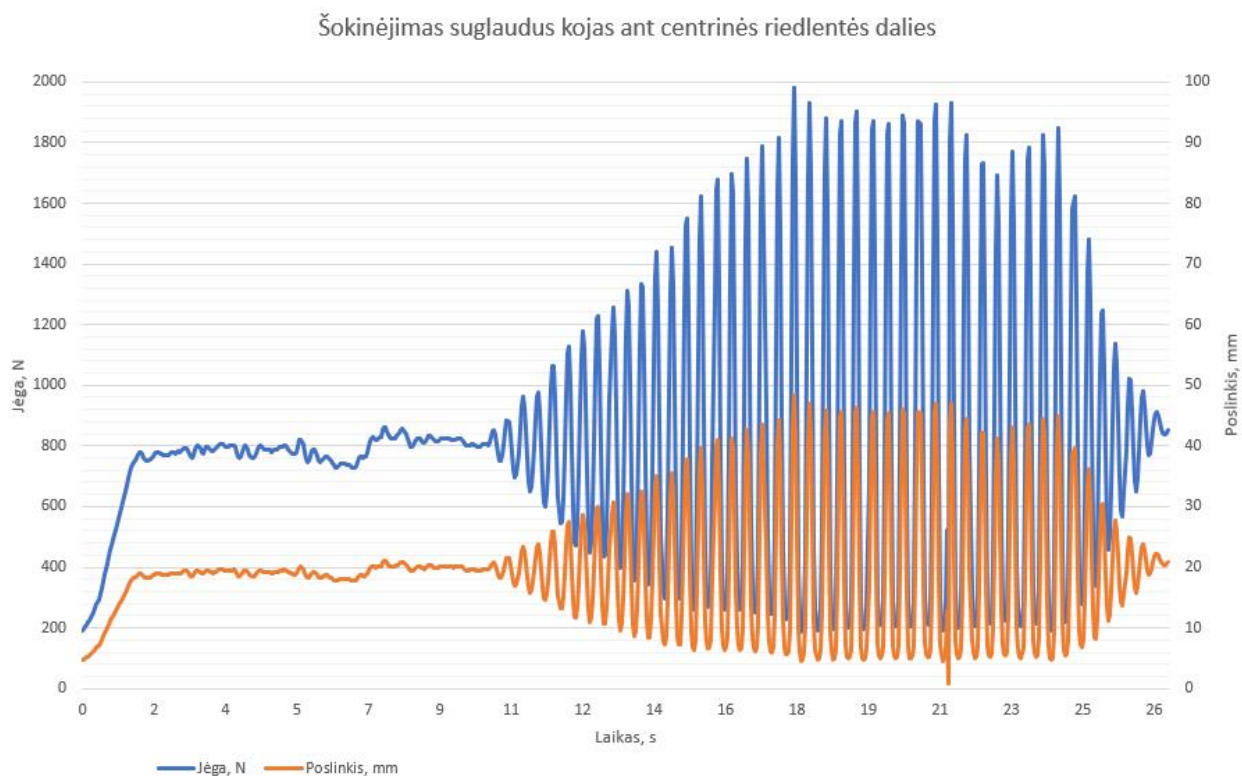
Ketvirtoji bandyta kelio danga, tai dažniausiai sutinkama (2.20 pav. 4 numeriu pažymėta nuotrauka) asfaltuota kelio danga. Ši kelio danga pasirinkta, nes teoriškai yra palankiausia važiavimui danga – tai netūrėtų sukelti didelių apkrovų elektrinės riedlentės prototipo konstrukcijai, tačiau šios palankios sąlygos, leidžia vartotojui žymiai agresyviau valdyti riedlentę. Todėl ant šios kelio dangos atlikti greitėjimo ir stabdymo bandymai.



2.31 pav. Rezultatai gauti greitėjant ir stabdant geros būklės asfaltuota kelio danga

Kaip ir ant kitų kelio dangų, pradžioje (2.24 pav. pirmos 2 sek.) matomas važiotojo staigus užlipimas/atšispyrimas. Per 2-5 grafike pavaizduotas sekundes surandama patogi stovėseną ir nuo 5 iki 10 sekundžių agresyviai greitėjama iki 25 km/h greičio. Tuomet, nuo 10 iki 16 sekundžių, pamažu stiprinimas stabdymas. Beveik sustojus, bandymas pakartotas (16-26 sekundės) Greitėjimo ir stabdymo metu pasiekama 1031 N jėga, 1,3 perkrovos koeficientas bei 12,5 mm vertikalus konstrukcijos poslinkis, neįskaitant 8 važiavimo sekundę pasitaikiusio akmenuko ar kitos šiukšlės sukeltas apkrovos šuolis – 1128 N, 1,42 perkrovos koeficientas ir 13,5 mm poslinkis. Viso bandymo metu pasiekta didžiausia apkrova, užlipant/atšispiriant nuo riedlentės siekia 1284 N, 1,62 perkrovos koeficientas, o poslinkis 15,5 mm.

Maksimalioms, retoms apkrovoms nustatyti reikalinga atlikti dirbtinį apkrovimą, kuriuo riedlentę eksploatavimo metu bus retai apkraunama, bet vartotojas vis tik gali tokių būdu apkrauti riedlentę ir pasiekti blogai parinktus maksimalius įtempius. Tokiai apkrovai įvertinti ant riedlentės konstrukcijos centrinės dalies šokinėjama suglaudus kojas.



2.32 pav. Rezultatai gauti šokinėjant suglaudus kojas ant centrinės konstrukcijos dalies

Atlikus minėtą bandymą, 2.26 pav. matomi gauti rezultatai. Nuo pradžios matomas užlipimas ant riedlentės ir kojų suglaudimas su centravimu ant elektrinės riedlentės prototipo konstrukcijos. Gaunama ~800 N, kuri apytiksliai rodo teisingą mano masę - 81 kg. Tuomet nuo 10 sekundės pamažu pradeda siūbuoti/šokinėti ant riedlentės kol saugiai pasiekiamos fizinės galimybių ribos. Šio šokinėjimo metu pasiekama 1981 N jėga, 2,5 perkrovos koeficientas bei 48 mm vertikalus konstrukcijos poslinkis. Tokia jėga, vidutinės masės vartotojas gali apkrauti riedlentės konstrukciją.

2.9. Apibendrinimas

Įvykdytas užsibrėžtas tyrimo tikslas nustatyti elektrinės riedlentės prototipo konstrukciją veikiančias jėgas, jų pobūdį bei konstrukcijoje atsirandantį poslinkį, esant įvairioms kelio dangoms, bei apkrovimo tipams:

1. Didžiausia jėga buvo pasiekta važiuojant prastos būklės asfaltuota kelio danga (2.20 pav. 3 nuotrauka) – 1194 N. Tuo pačiu metu pasiektas ir didžiausias konstrukcijos poslinkis – 15 mm.
2. Apkrovos tipas važiavimo metu – dominuoja dinaminė lenkimo jėga, kurios didžiausia amplitudė yra 420 N. Didelės vibracijos įtakos nepastebėta, dėl mažo elektrinės riedlentės prototipo konstrukcijos ir važiuoklės standumo bei galimai per mažo matavimo sistemos duomenų rinkimo dažnio.

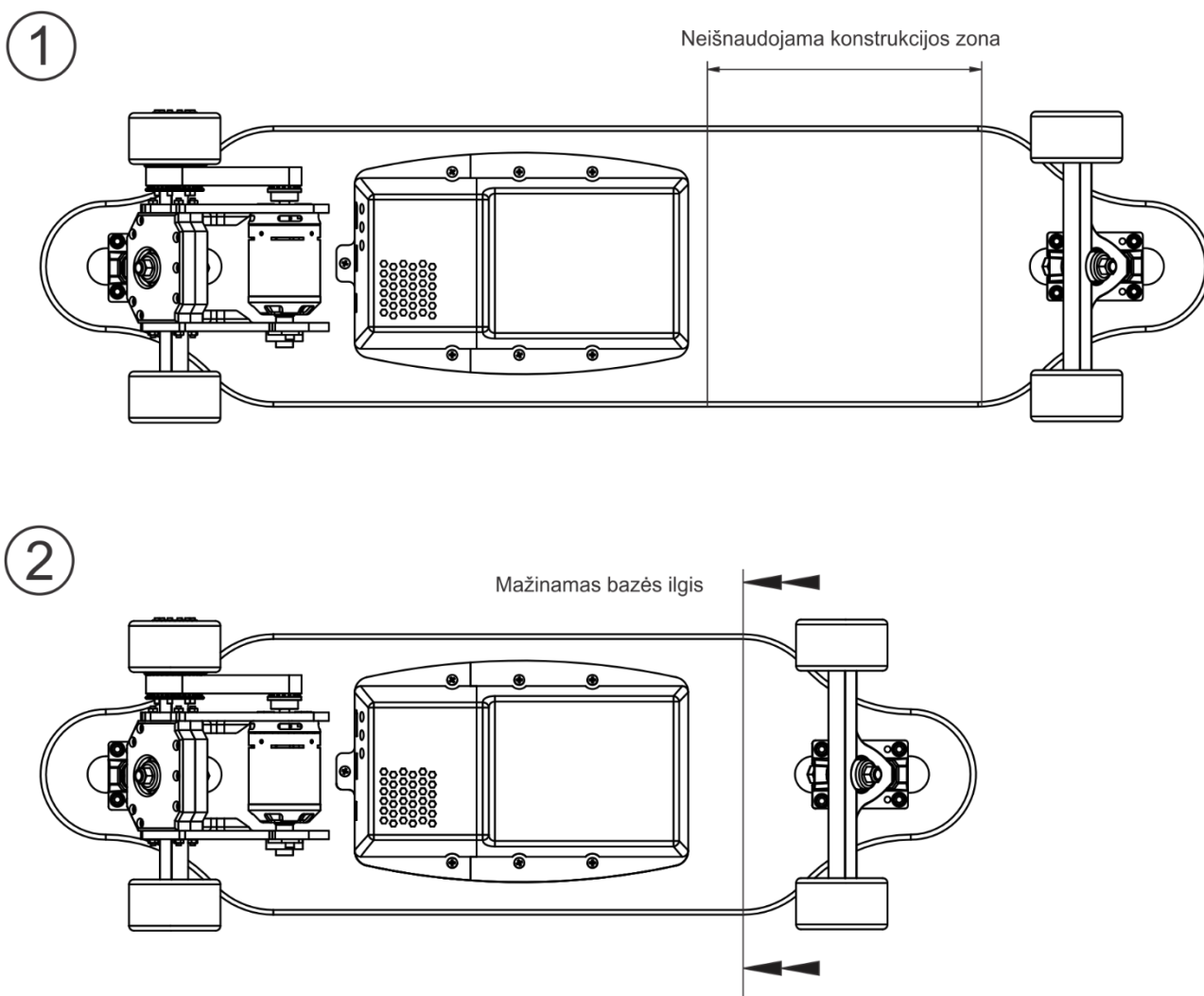
3. Važiotojo stovėseną įtakoja apkrovos dydį. Kalibracija atlikta konstrukciją apkraunant centrinėje dalyje, tačiau važiotojo stovėseną ant šios konstrukcijos skiriasi – važiotojo kojos yra nutolusios nuo centrinės dalies ir dalis kūno masės konstrukcija lenkia, kita gniuždo konstrukciją ir važiuoklę vertikalia kryptimi. Todėl maksimalioms galimoms jėgoms nustatyti atliktas papildomas bandymas šokinėjant, kurio metu pasiekta 1981 N jėga ir 48 mm vertikalus konstrukcijos poslinkis.
4. Esant pakankamai tiksliai apkrovų nustatymui, galima sumažinti atsargos koeficientą. Važiuojant įprastai vartotojas sudarytų apie 65 % šokinėjimo metu pasiektos maksimalios apkrovos, o šokinėjimo apkrova yra neįprastas apkrovimo būdas, todėl toks koeficiento parinkimas yra saugus.

Šie duomenys bus skirti sekančio prototipo projektavimui, kadangi siekiama sumažinti produkto kainą. Produkto gamybos ir reikiamų medžiagų kaštai gali būti mažinami užtikrinant neperteklinę konstrukcijos stiprumą ir ilgaamžiškumą su tam tikru atsargos koeficientu. Kuo tiksliau apskaičiuojamos konstrukciją veikiančios jėgos, tuo labiau galima pasitikėti konstrukcijos projektavimo simuliacijų rezultatais ir mažinti atsargos koeficientą, taip mažinant gamybai reikiamų medžiagų kiekį.

3. Projektavimas

Pagal informacijos apžvalgoje aptartus tikslus ir tyrimo metu gautus duomenis Atliekamas naujo elektrinės riedlentės konstrukcijos prototipo projektavimas. Kaip ir minėta apžvalgoje siekiama šių tikslų:

- Padidinti elektrinės riedlentės naujo prototipo konstrukcijos standumą, nes senasis yra per mažas, kad šokinėjant ant jo konstrukcijos apatinė dalis neliestų važiuojamosios kelio dalies.
- Integruoti elektronikos komponentų korpusą į riedlentės konstrukciją, taip užtikrinant apsaugą nuo aplinkos mechaninio ir cheminio poveikio.
- Padidinti riedlentės ekonomiškumą ir mobilumą sumažinant jos gabaritus, svorį, parenkant stiklo pluošto kompozitinę medžiagą jos gamybai.
- Atlikto tyrimo pagalba, kiek galima labiau sumažinti gamybai sunaudojamos medžiagos kiekį bei užtikrinti šios gamybos ir konstrukcijos paprastumą.

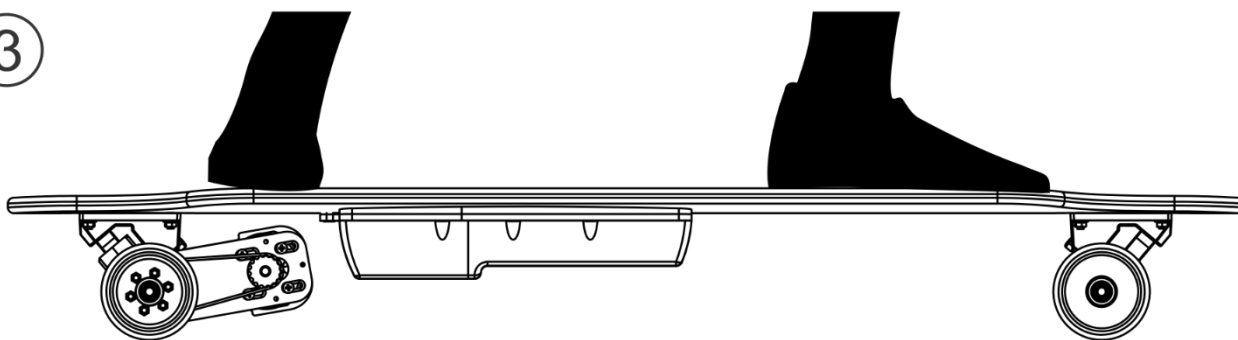


3.1 pav. Elektrinės riedlentės prototipo konstrukcijos gabaritų mažinimas

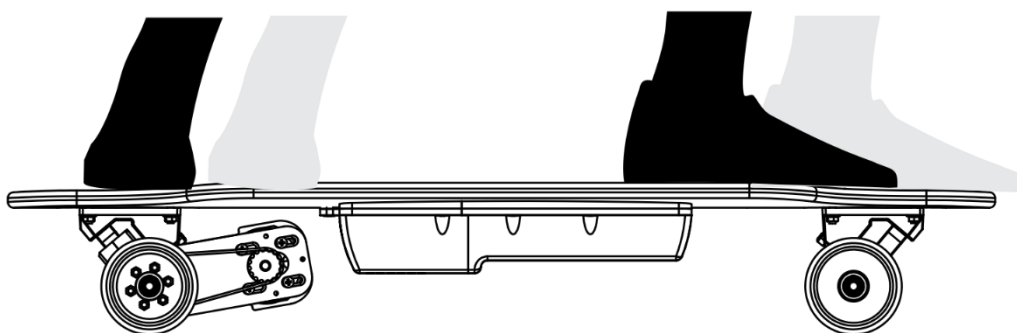
Siekiant padidinti konstrukcijos standumą, ekonomiškumą ir mobilumą mažinami jos gabaritai. Taip sumažinamas lenkiamos konstrukcijos dalies ilgis, sumažinamas gamybai sunaudojamų medžiagų

kiekis ir pačio gaminio gabaritiniai matmenys leidžiantis vartotojui lengviau nešiotis transporto priemonę.

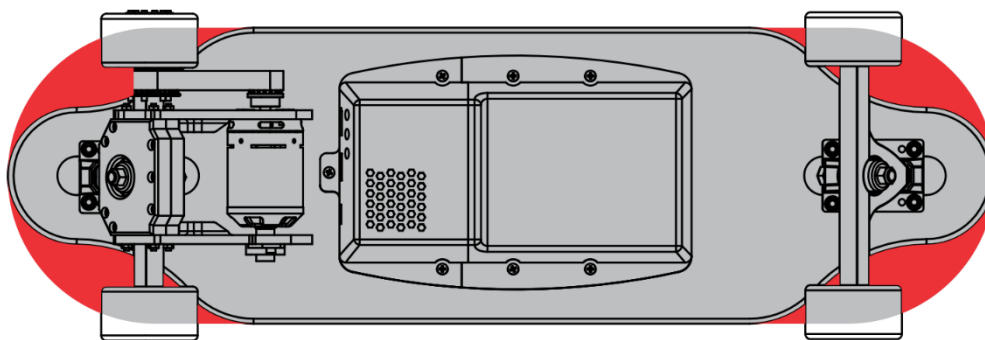
3



Stovėsenos pozicija persistumia atgal ir dėl susiaurintų konstrukcijos galų nebelieka vietos kojų pastatymui.

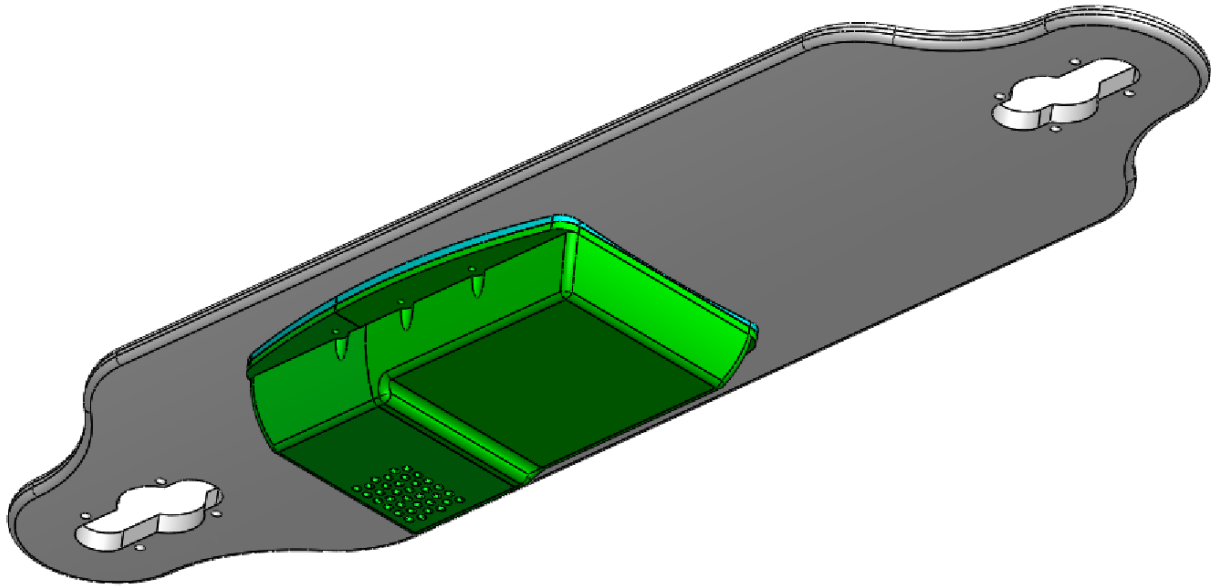


Galai praplatinami sukuriant aikšteles kojoms pastatyti.



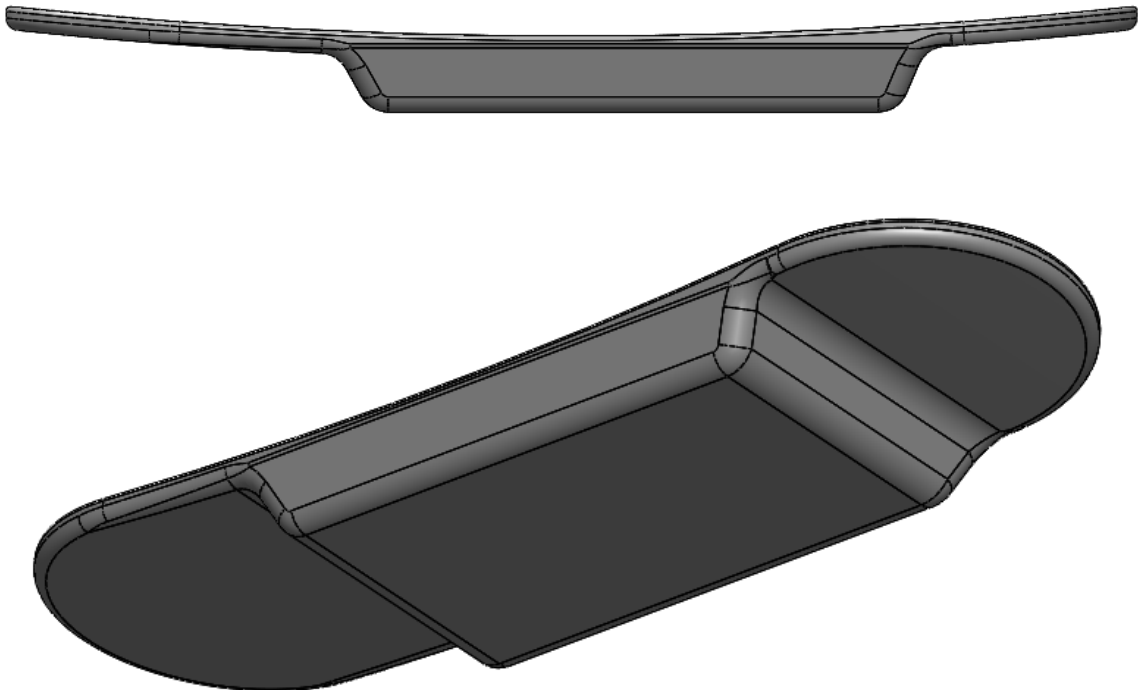
3.2 pav. Konstrukcijos galų praplatinimas patogiam kojų pastatymui

Sumažinus bazės ilgį, neįmanoma patogiai pastatyti kojų ir saugiai perkeltant svorį ant konstrukcijos kraštų, valdyti elektrinę riedlentę, todėl šie kraštai praplatinami, taip panaikinant minėtą trūkumą.



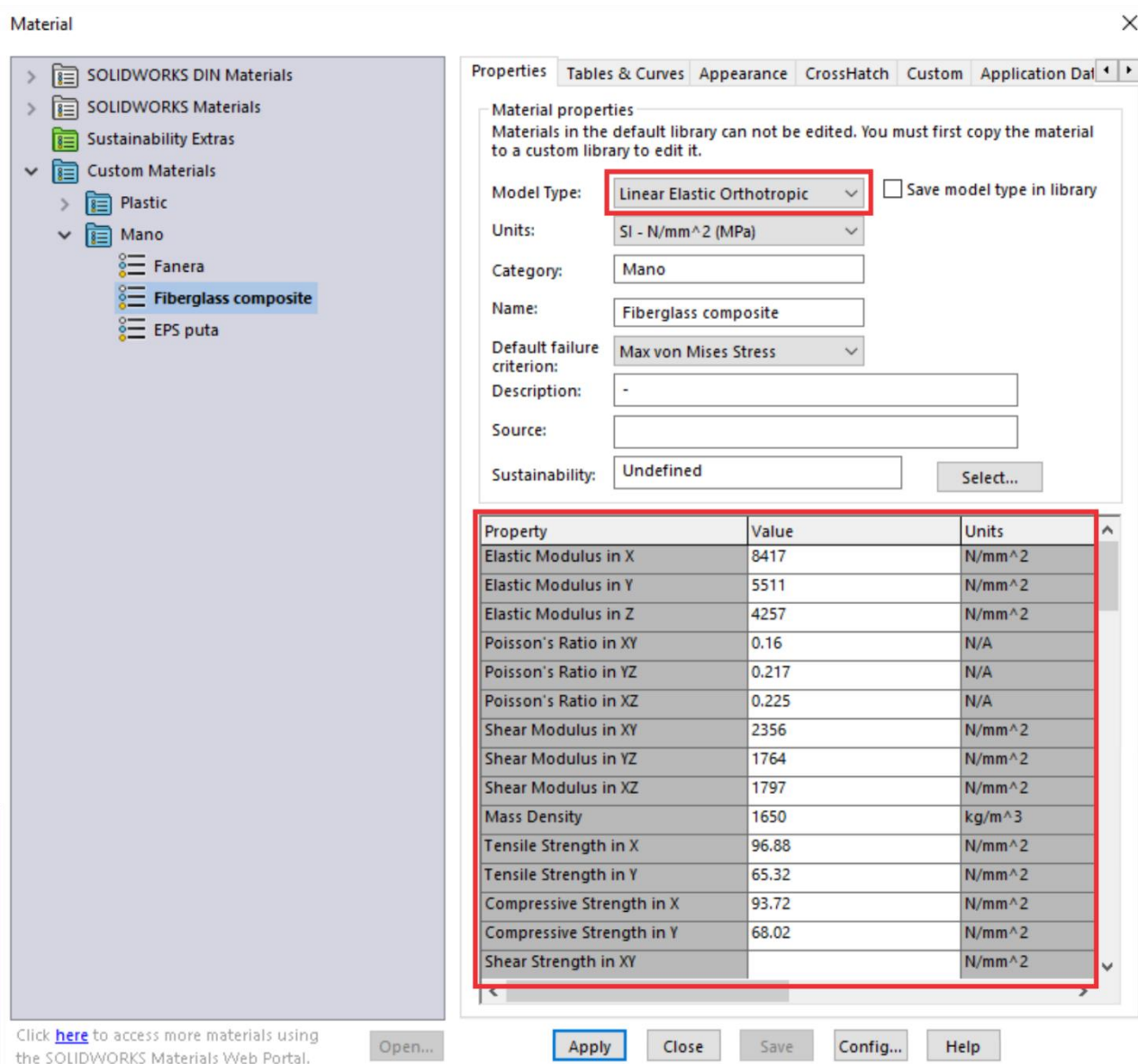
3.4 pav. Konstrukcijos ir elektrinių komponentų korpuso vaizdas

Elektrinės riedlentės prototipo konstrukcijos elementas „lenta“ sujungiama su elektrinių komponentų korpusu, taip padidinant konstrukcijos profilio aukštį, kartu ir standumą. Taip pat elektronikos komponentai apsaugomi nuo aplinkos mechaninių ir cheminių poveikių.



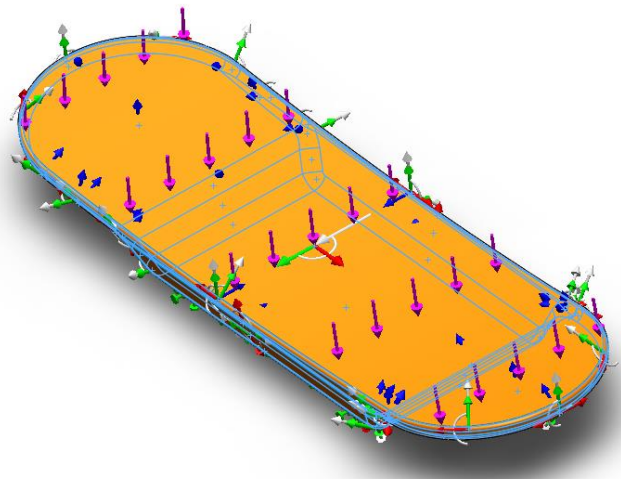
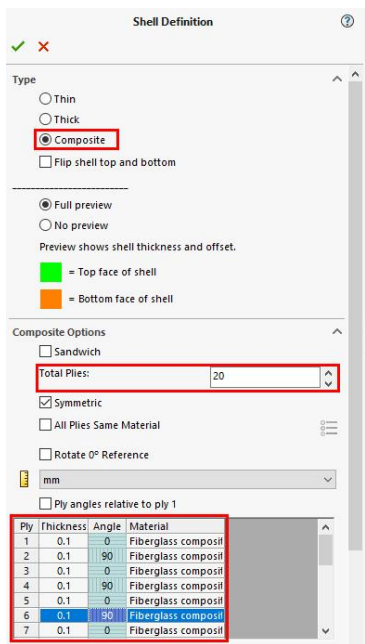
3.3 pav. Gautas sekancio prototipo konstrukcijos šoninis ir izometrinis vaizdas

Projektuojamai konstrukcijai atliekama baigtinių elementų analizė. Kadangi konstrukcija bus gaminama iš stiklo pluoštu susitiprintos kompozitinės medžiagos, „Solidworks“ programinis paketas leidžia įvertinti šios medžiagos ortotropines savybes.



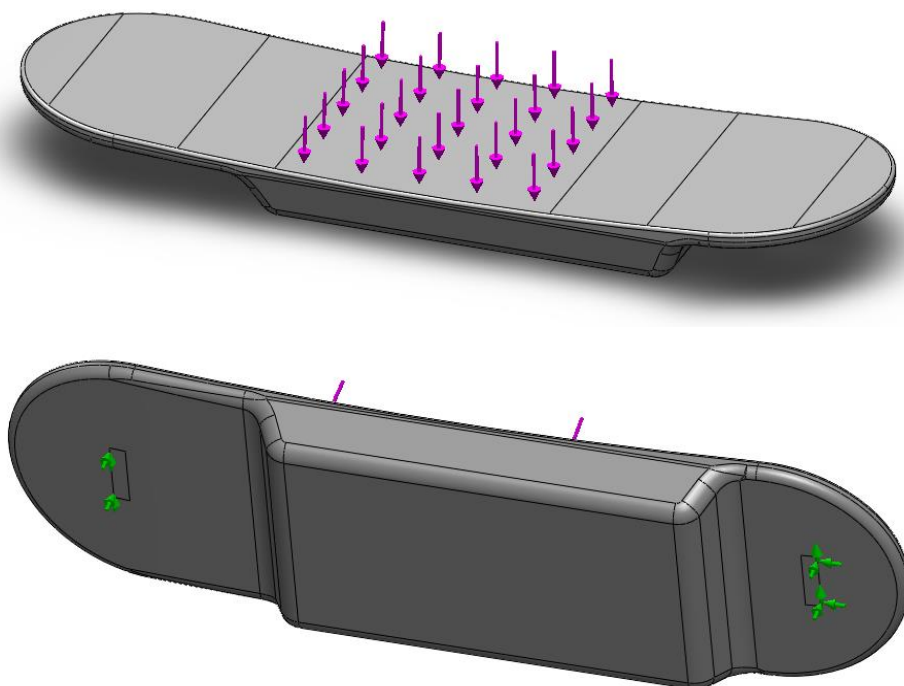
3.5 pav. Įvesti ortotropiniai stiklo pluošto kompozitinės medžiagos parametrai [64]

Paruoštas modelis yra verčiamas į kevalo tipo elementą. Šiam kevalo tipo elementui, priskiriama kompozitinės medžiagos struktūra, kuri įvertina audinio kryptines savybes.



3.7 pav. Kevalo parametrų pasirinkimas

Kevalas bus sudarytas iš daugelio sluoksnių pasirinktos stiklo pluošto kompozitinės medžiagos, todėl kevalo elementui priskiriamas preliminarus šios medžiagos sluoksnių skaičius, bei jų kryptingumas.

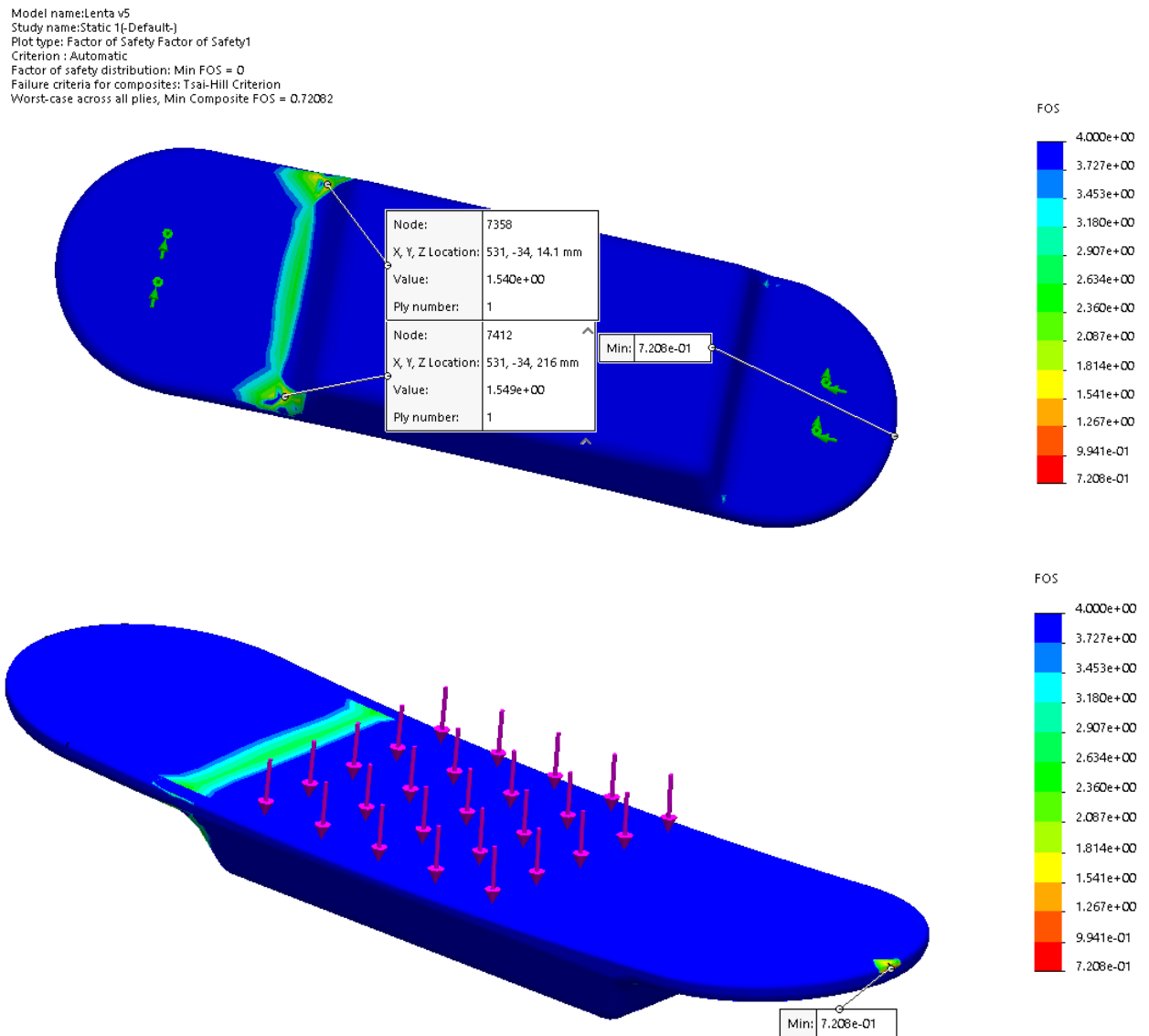


3.6 pav. Apkrovos ir įtvirtinimo pridėjimo vietos

Konstrukcija apkraunama per jos centrinę dalį, taip pat kaip per tyrimą buvo šokinėjama ant elektrinės riedlentės prototipo. Apkrovos dydis lygus per tyrimą gautai 1981 N jėgai. Įtvirtinimai

parinkti artimi važiuoklės pozicijoms, vienas iš jų apribotas poslinkiui trimis ašimis ir neįtvirtintas sukimuisi, kitas identiškas išskyrus leidžiamą poslinkį išilgine konstrukcijos kryptimi.

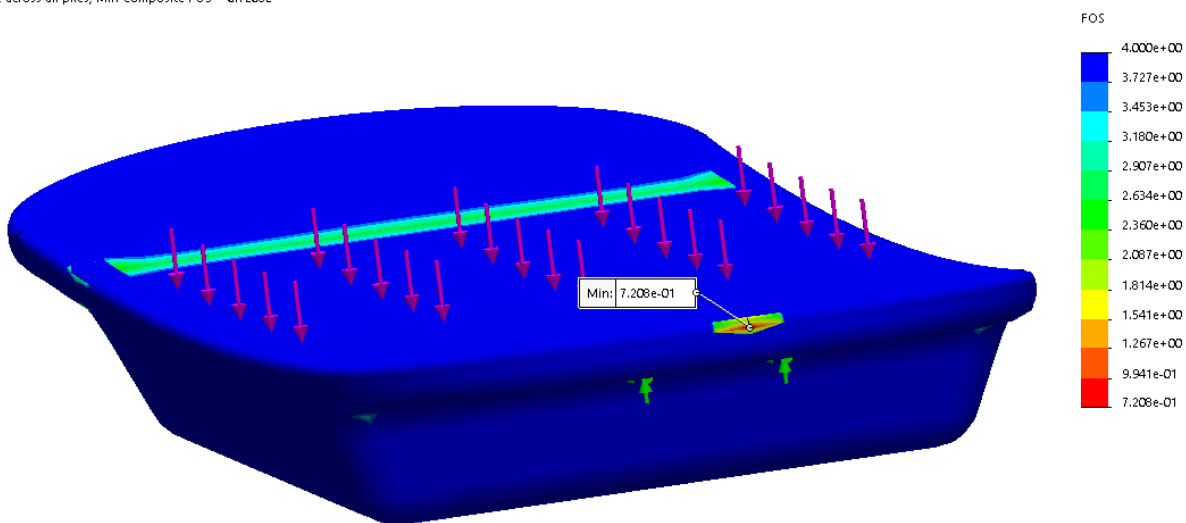
Šio prototipo gamyboje bus naudojama didesnio tankio polistireno puta, iš kurios bus pagamintas gaminio šablonas, todėl kevalo modelio vidus užpildomas jos savybių medžiaga. Visa konstrukcija baigtiniu elementu būdu, „Solidworks“ simuliacijų paketo pagalba simuliuojama statinė apkrova.



3.8 pav. Tsai-Hill kriterijaus atsargos koeficiento simuliacijos rezultatai

Atlikus simuliacija pavojingose vietose gaunamas mažiausias 1,54 atsargos koeficientas, kai modelyje simuliuojamas polistireno putos šerdis su 15 0,1 mm (gaunamas 1,5 mm kevalo storis) sluoksnių, 200g/m³ stiklo pluošto audiniu, surištu epoksidine derva.

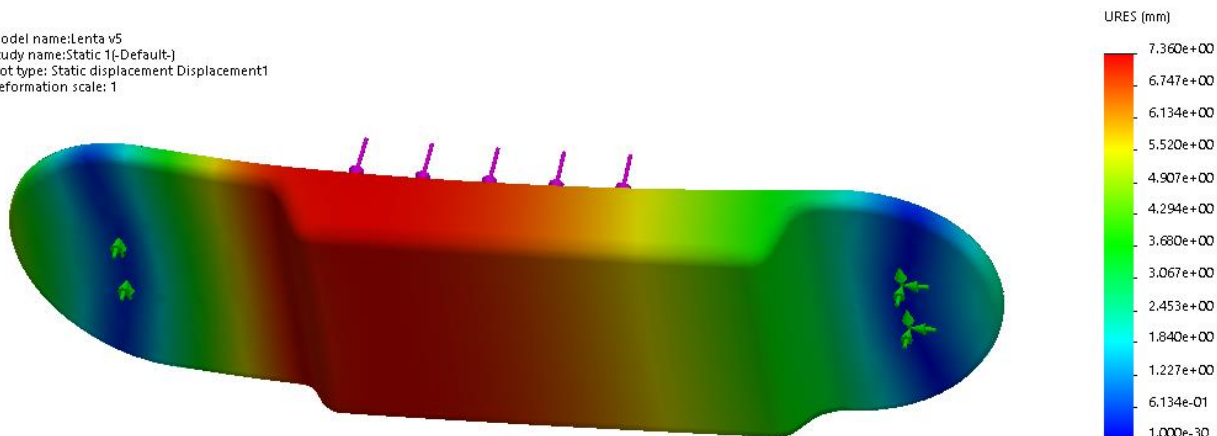
Model name:Lenta v5
Study name:Static 1(-Default-)
Plot type: Factor of Safety Factor of Safety1
Criterion : Automatic
Factor of safety distribution: Min FOS = 0
Failure criteria for composites: Tsai-Hill Criterion
Worst-case across all plies, Min Composite FOS = 0.72082



3.9 pav. Atsaigos nepakankamumo vieta nekritiniame konstrukcijos taške

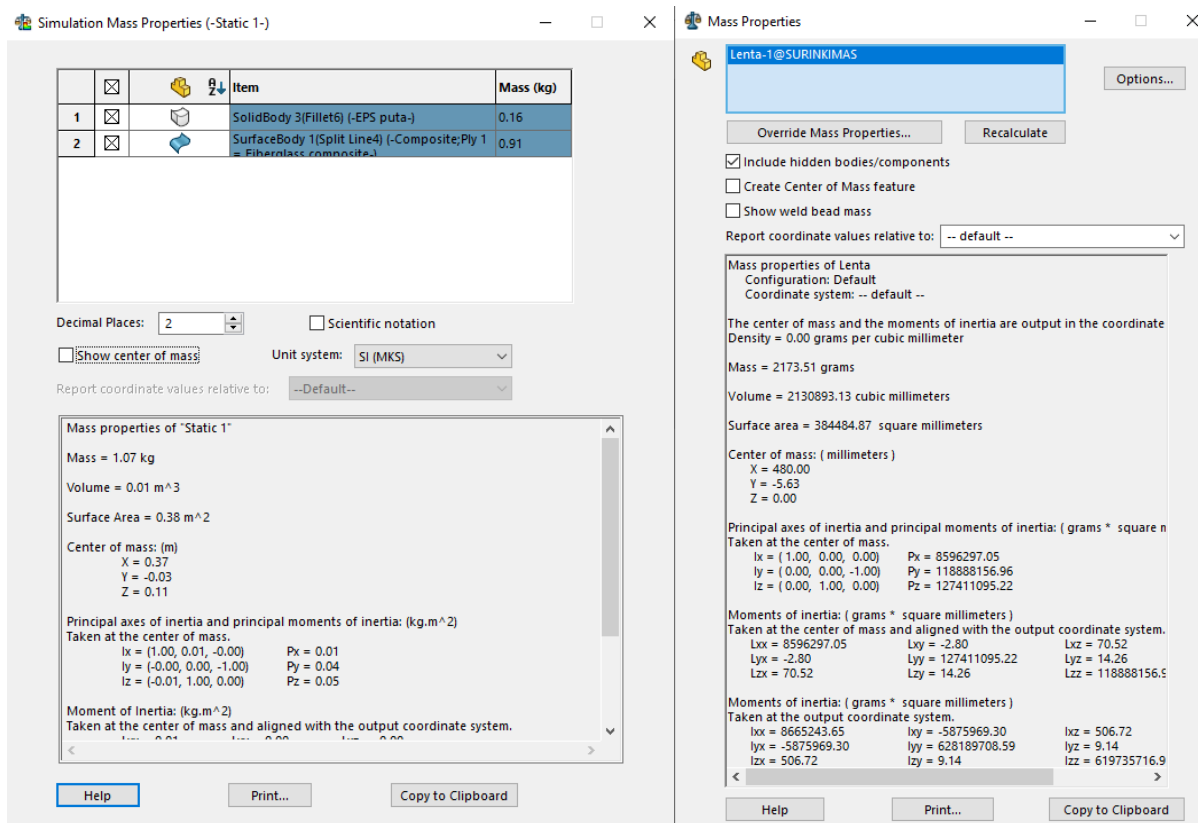
Taip pat konstrukcijos dalyje matoma anomalija kur atsaigos koeficientas tesiekia 0,72. Sutvirtinus šią vietą, vietoj polistireno putas panaudojus tvirtesnę medžiaga, išvengiama nepakankamumo toje vietoje.

Model name:Lenta v5
Study name:Static 1(-Default-)
Plot type: Static displacement Displacement1
Deformation scale: 1



3.10 pav. Simuliacijoje gautos konstrukcijos deformacijos

Simuliacijoje gaunama bendra deformacija siekia 7,36 mm. Tikslas padidinti konstrukcijos standumą pasiektas, kadangi deformacija sumažinta 6,5 karto, lyginant su tyrimo metu gautu 48 mm poslinkiu.



3.11 pav. Masės parametrai naujosios konstrukcijos kairėje ir senojo prototipo dešinėje

Tikslas padidinti elektrinės riedlentės mobilumą ir ekonomiškumą pasiektas – konstrukcijos masė sumažinta daugiau nei du kartus, o konstrukcijos ilgio matmuo sumažintas 25%. Vertinant konstrukcijos ilgaamžiškumą stiklo pluošto kompozitinės medžiagos yra itin atsparios nuovargiui[65], taip pat suprojektuota konstrukcija turi aukštą atsargos koeficientą, todėl eksploatacijos metu įtempiai neviršys proporcingumo ribos ir bus žymiai mažesni už leistinuosius, todėl apkrovimo ciklų skaičius išauga ir užtikrina planuojama vienerių metų garantini produkto ilgaamžiškumo užtikrinimą.

Išvados

1. Atlikus literatūros apžvalgą nustatyti konkurencingų gamintojų konstrukcijų sprendimai naudoti kompozitines medžiagas, siekiant sumažinti gaminio svorį, padidinti standumą. Priimtas sprendimas produktui naudoti stiklo pluoštu sustiprintą kompozitinės medžiagos konstrukciją su inovatyviu sprendimu – elektronikos komponentų korpuso integracija į riedlentės konstrukciją. Lyginant su anglies pluoštu, stiklo pluoštas tokį sprendimą atpigintų 7 kartus.
2. Parinkus ir nupirkus važiuoklės, konstrukcijos, elektronikos komponentų standartinius gaminius suprojektuotas ir pagamintas elektros variklio tvirtinimas, elektronikos komponentų korpusas bei pilnai funkcionuojantis elektrinės riedlentės prototipas, užtikrinantis 25 km/h greitį ir 12 km nuvažiuojamą atstumą vienu baterijos įkrovimu ir leidžiantis atlikti apkrovų analizę realiomis eksploatacijos sąlygomis.
3. Apkrovų matavimui sukurta ir sukalibruota nauja, mobili matavimo sistema, susidedanti iš dviejų tenzorezistorių, „Arduino“ mikrovaldiklio ir duomenų apdorojimo programos, leidžianti nuskaityti skaitmeninius 24 bitų matavimo rezultatus 80 Hz dažniu.
4. Atlikus pagaminto prototipo apkrovų analizę realiomis eksploatacijos sąlygomis nustatyta, kad perkrovos koeficientas siekia 1,62, o ekstremaliomis sąlygomis (užšokimas, važiavimas nuo paaukštinimo) siekia iki 2,5.
5. Įvertinus apkrovų analizės ribines reikšmes suprojektuota stiklo pluošto kompozitinė konstrukcija, turinti atsargos koeficientą 1,54, du kartus sumažintą konstrukcijos masę, 6,5 karto padidėjusį standumą, bei 25% sumažintą ilgio matmenį lyginant su pirminiu prototipu.

Literatūra

1. Martynas Vrašinskas, Karolis Inčiūra. Elektrinės riedlentės projektavimas. Kauno technologijos universitetas, Mechanikos ir dizaino fakultetas, Mechanikos inžinerijos katedra 2018. [žiūrėta 2019-06-13]. Prieiga per internetą: https://elaba.lvb.lt/primo-explore/fulldisplay?docid=ELABAETD29046743&context=L&vid=ELABA&lang=lt_LT&search_scope=eLABa&adaptor=Local%20Search%20Engine&tab=default_tab&query=any,contains,elektrine%20riedlente&offset=0
2. KAARINA, Hyvönen, PETTERI, Repo, MINNA, Lammi. Light electric vehicles: substitution and future uses. International Scientific Conference on Mobility and Transport Transforming Urban Mobility. University of Helsinki, Consumer Society Research Centre. 2016. ISSN 2352-1465. [žiūrėta 2020-05-01].
3. YAZID, Mat, ISMAIL, R., ATIQ, R.. The use of non-motorized for sustainable transportation in Malaysia. The 2nd international building control conference. 2011. ISSN 1877-7058.
4. SIERZCHULA, W., BAKKER, S., MAAT, K., van WEE, B., 2014. The influence of financial incentives and other socio-economic factors on electric vehicle adoption, Energy Policy 68, 183-194. [žiūrėta 2020-05-01].
5. Boosted 2nd Gen Dual+ Standard Range Electric Skateboard [interaktyvus]. 2020. [žiūrėta 2020-05-01]. Prieiga per internetą: <https://www.amazon.com/Boosted-Standard-Range-Electric-Skateboard/dp/B071ZJGT2W>
6. Evolve skateboards GTR Carbon Street [interaktyvus]. 2020. [žiūrėta 2020-05-01]. Prieiga per internetą: <https://www.evoveskateboards.co.uk/collections/gtr-carbon-series/products/gtr-carbon-street-1>
7. Meepo electric skateboards Meepo V3 [interaktyvus]. 2020. [žiūrėta 2020-05-01]. Prieiga per internetą: <https://www.meepoboard.com/collections/electric-skateboards/products/meepo-v3>
8. TRAMPA BOARDS LTD 2002-2020. New in: TRAMPA's Orrsum longboard with 6.5 inch urban treads. Electric skateboard builders forum [interaktyvus]. 2018. [žiūrėta 2020-05-01]. Prieiga per internetą: <https://electric-skateboard.builders/t/new-in-trampas-orrsum-longboard-with-6-5-inch-urban-treads/52667/68>
9. KARGER-KOCSIS, Jozsef, MAHMOOD, Haroon, PEGORETTI, Alessandro. All-carbon multi-scale and hierarchical fibers and related structural composites: A review. Composites Science and Technology. 2020. [žiūrėta 2020-05-01].
10. NETRAVALI, A.N., MITTAL, K.L.. Fiber surface treatment: relevance to interfacial characteristics, in: L. Nicolais, A. Borzacchiello (Eds.). Wiley Encyclopedia of Composites, second ed.. Hoboken, NJ, USA, 2012. [žiūrėta 2020-05-02].
11. KIM, J.-K., MAI, Y.-W.. Engineered Interfaces in Fiber Reinforced Composites. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. 1998. [žiūrėta 2020-05-02].
12. TZE, W.T.Y., GARDNER, D.J., TRIPP, C.P., O'NEILL, S.C.. Cellulose fiber/polymer adhesion: effects of fiber/matrix interfacial chemistry on the micromechanics of the interphase. Sci. Technol. 2006. ISSN 1649-1668. [žiūrėta 2020-05-02].
13. SAFRI A, THARIQ M, SULTAN H, JAWAID M. Impact behaviour of hybrid composites for structural applications: A review. Compos Part B. 2018. [žiūrėta 2020-05-02].
14. MAHESH, V., JOLADARASHI S., KULKARNI, SM.. A comprehensive review on material selection for polymer matrix composites subjected to impact load, Defence Technology (2020), [žiūrėta 2020-05-02].

15. SELVER, E., POTLURI, P., SOUTIS, C., HOGG, P.. Healing potential of hybrid materials for structural composites. *Compos Struct* 2015. [žiūrėta 2020-05-02].
16. TSAI, KT, ANSELL MP. The fatigue properties of wood in flexure. *J. Mater Sci.* 1990. [žiūrėta 2020-05-02].
17. LI, W., VAN DEN BULCKE, J., MANNES, D., LEHMANN, E., DE WINDT, I., DIERECK, M., VAN ACKER J.. Impact of internal structure on water-resistance of plywood studied using neutron radiography and X-ray tomography. *Constr Build Mater.* 2014. [žiūrėta 2020-05-01].
18. LI W., VAN DEN BULCKE, J., DE WINDT, I., DHAENE, J., VAN ACKER, J.. Moisture behavior and structural changes of plywood during outdoor exposure. *Eur J Wood Prod.* 2016. [žiūrėta 2020-05-05].
19. MCKINLEY, P., SINHA, A., KAMKE, FA.. Understanding the effect of weathering on adhesive bonds for wood composites using digital image correlation. *Holzforschung.* 2019. [žiūrėta 2020-05-05].
20. LI, J., ZHANG, B., LI, X., YI, Y., SHI, F., GUO, J., GAO, Z.. Effects of typical soybean meal type on the properties of soybean-based adhesive. *Int J Adhesion Adhes.* 2019. [žiūrėta 2020-05-05].
21. GAO, Q., LIU, C., LUO, J., LI, X., CHEN, L., WANG, W., LI, J.. Effects of resin open time and melamine addition on cold pre-pressing performance of a urea–formaldehyde resin. *J For Wood Prod.* 2018. [žiūrėta 2020-05-05].
22. OZSAHIN, S., AYDIN, I.. Prediction of the optimum veneer drying temperature for good bonding in plywood manufacturing by means of artificial neural network. *Wood Sci Technol.* 2014. [žiūrėta 2020-05-05].
23. LEI, H., DU, G., WU, Z., XI, X., DONG, Z.. Cross-linked soy-based wood adhesives for plywood. *Int J Adhesion Adhes.* 2014. [žiūrėta 2020-05-05].
24. AYDIN, I.. Activation of wood surfaces for glue bonds by mechanical pre-treatment and its effects on some properties of veneer surfaces and plywood panels. *Appl Surf Sci.* 2004. [žiūrėta 2020-05-06].
25. WANZHAO, Li, ZHENG, Zhang, GUOJIANG, Zhou, WEIGI, Leng, CHANGTONG, Mei. Understanding the interaction between bonding strength and strain distribution of plywood. *International journal of adhesion and adhesives.* 2020. [žiūrėta 2020-05-08].
26. LEVI, Jacob. Love getting there. Personal blog. 2012. [žiūrėta 2020-05-08]. Prieiga per internetą: <http://www.levijacobprice.com/boosted>.
27. MINUS, M.L., KUMAR, S.. Carbon Fibre. *J. Mater Sci.* 2005. [žiūrėta 2020-05-08].
28. MINUS, M.L., KUMAR, S.. Carbon Fibre. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology.* 2007. [žiūrėta 2020-05-08].
29. PERRET, B., SCHARTEL, B., STOB, K., CIESIELSKI, M., DIEDRICHS, J., DORING, M., KRAMER, J., ALTSTADT, V.. Novel DOPO-based Flame-retardants in high-performance carbonfibre epoxy composites for aviation. 2011. [žiūrėta 2020-05-08].
30. QUINTIERE, J.G., WALTERS, R.N., CROWLEY, S.. Flammability properties of aircraft carbon-fiber structural composite. *Tech. Rep. Document.* 2007. [žiūrėta 2020-05-08].
31. STOLIAROV, S.I., WALETRS, R.N., LYON, R.E.. Determination of heats of gasification of polymers using differential scanning calorimetry. *52nd Intl. SAMPE Symposium & Exhibition, Baltimore.* 2007. [žiūrėta 2020-05-08].
32. CAMPUS, B., ROURE, B.. Use of composite materials in railway applications. *Centre d'Ingénierie du Matériel.* 2005. [žiūrėta 2020-05-08].

33. ADEODU, A.O., DANIYAN, I.A., AZEEZ, T.M., OMOHIMORIA, C.U.. Effect of microwave curing on the tensile property of particulate reinforced polymer matrix composites. 2015. [žiūrėta 2020-05-10].
34. SCHAWALLER, D., CLAU, B., BUCHMEISTER, M.R.. Ceramic filament fibers – A Review, *Macromol. Mater. Eng.* 2012. [žiūrėta 2020-05-10].
35. CHEE-HO, K.K., QIAN, H., BISMARCK, A.. Carbon fiber: surface properties. *Wiley Encycl. Compos.* 2011. [žiūrėta 2020-05-10].
36. KOERBER, H., XAVIER, J., CAMANHO, P.P.. High strain rate characterisation of unidirectional carbon-epoxy IM7-8552 in transverse compression and inplane shear using digital Image correlation. *Mech. Mater.* 2010. [žiūrėta 2020-05-10].
37. REIS, J.M.L., COELHO, J.L.V., MONTEIRO, A.H., COSTA MATTOS, H.S.. Tensile behaviour of glass/epoxy laminates at varying strain rates and temperatures. 2012. [žiūrėta 2020-05-10].
38. BHATT, P., GOEL, A.. Carbon fibres: Production, properties and potential use. *Mater. Sci. Res. India.* 2017. [žiūrėta 2020-05-10].
39. PRASHANTH, B., SHIVANADA, H.. Preparation and characterization of the carbon fiber reinforced epoxy resin composites. *OSR J. Mech. Civil Eng.* 2012. [žiūrėta 2020-05-10].
40. ELANCHEZHIAN, C., RAMNATH, B.V., HEMALATHA, J.. Mechanical behaviour of glass and carbon fibre reinforced composites at varying strain rates and temperatures. *Proc. Mater. Sci.* 2014. [žiūrėta 2020-05-10].
41. AL-ZUBAIDY, H., ZHAO, X.-L., AL-MIHAIDI, R.. Mechanical behaviour of normal modulus carbon Fibre Reinforced Polymer (CFRP) and epoxy under impact tensile loads. *Procedia Eng.* 10, 2011. [žiūrėta 2020-05-10].
42. ADEODU, A.O., ANYAECHE, C., OLUWOLE, O.O., ALO, O.. Effect of microwave and conventional autoclave post-curing on the mechanical and micro-structural properties of particulate reinforced polymer matrix composites. *Adv. Mater.* 4. 2015. [žiūrėta 2020-05-10].
43. DANIYAN, I.A., MPOFU, K., ADEODU, A.O., ADESINA, O.. Development of carbon fibre reinforced polymer matrix composites and optimisation of the process parameters for railcar applications. *Materials today: proceedings.* 2020. [žiūrėta 2020-05-10].
44. RAMAN BHARATH, V.R., VIJAYA RAMNATH, B., MANOHARAN, N.. Kenaf fibre reinforced composites: a review. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences.* 2015. [žiūrėta 2020-05-10].
45. ALKBIR, M.F.M, SAPUAN, S.M., NURAINI, A.A., ISHAK, M.R.. Fibre properties and crashworthiness parameters of natural fibre-reinforced composite structure: a literature review. *Compos. Struct.* 2016. [žiūrėta 2020-05-10].
46. SUBADRA, P. S., YOUSEF, Samy, GRIŠKEVIČIUS, Paulius, MAKAREVIČIUS, Vidas. High-performance fiberglass/epoxy reinforced by functionalised CNTs for vehicle applications with less fuel consumption and greenhouse gas emissions. *Polymer testing.* 2020. [žiūrėta 2020-05-10].
47. BARRE, S., CHOTARD, T., BENZEGGAGH, M.. Comparative study of strain rate effects on mechanical properties of glass fibre-reinforced thermoset matrix composite. *Compos. A Appl. Sci. Manuf.* 1996. [žiūrėta 2020-05-10].
48. REIS, J.M.L., COELHO, J.L.V., MONTEIRO, A.H., COSTA MATTOS, H.S.. Tensile behavior of glass/epoxy laminates at varying strain rates and temperatures. *Compos. B Eng.* 2012. [žiūrėta 2020-05-10].

49. CHEN, Wensu, MENG, Qingfei, HAO, Hong, CUI, Jian, SHI, Yanchao. Quasi-static and dynamic tensile properties of fiberglass/epoxy laminate sheet. *Construction and building materials*. 2017. [žiūrėta 2020-05-10].
50. Composite24. Audiniai ir pluoštai [interaktyvus]. 2020. [žiūrėta 2020-05-11]. Prieiga per internetą: <https://composite24.lt/audiniai-ir-pluostai/page-4>
51. BOLLER KH.. Fatigue fundamentals for composite materials. *Composite materials, testing and design*. American Society for Testing and Materials. 1969. 217–235. [žiūrėta 2020-05-11].
52. SALKIND MJ. Fatigue of composites. In: *Composite materials, testing and design, 2nd conference*. 1972. 143–169. [žiūrėta 2020-05-11].
53. BOLLER KH. Fatigue tests of glass-fabric-base laminates subjected to axial loading. *Forest products lab.*. 1952. [žiūrėta 2020-05-11].
54. FINDLEY, WN., WORLEY, WJ.. Mechanical properties of five laminated plastics. National advisory committee for aeronautics, technical note. 1948. [žiūrėta 2020-05-11].
55. HARRIS, B.. Fatigue and accumulation of damage in reinforced plastics. *Composites*. 1977. [žiūrėta 2020-05-11].
56. VASSILOPOULOS, Anastasios P.. The history of fiber-reinforced polymer composite laminate fatigue. *International journal of fatigue* 134. 2020. [žiūrėta 2020-05-11].
57. John. Uniaxial/Wire strain gauge. *Instrumentation today*. 2011. [žiūrėta 2020-05-11]. Prieiga per internetą: <http://www.instrumentationtoday.com/strain-gauge/2011/08/>
58. SAULIUS, Kaušinis, EITUTIS, Andrius. *Mechaninių dydžių matavimai*. Kauno technologijos universitetas. 2008. [žiūrėta 2020-05-11].
59. AMJADI, Morteza, PARK, INKYU. Carbon nanotubes-Ecoflex nanocomposite for strain sensing with ultra-high stretchability. *Proceedings of the IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS)*. 2015. [žiūrėta 2020-05-11].
60. Universal testing machines – Tinius olsen H10KT. Structures & material characterisation lab. [žiūrėta 2020-05-15]. Prieiga per internetą: <https://www.iitk.ac.in/smc/universal-testing-machines>
61. ZALCMANIS, Agris, ZUDRAGS, Kaspars, JAPINŠ, Guntis. Birch plywood sample tension and bending property investigation and validation in solidworks environment. *Research for rural development, Volume 1*. 2018. [žiūrėta 2020-05-15].
62. ALAM, Ashraful, YADAMA, Vikram, COFER, William, ENGLUND, Karl. Analysis and evaluation of a fruit bin for apples. *Association of food scientists and technologists*. 2012. [žiūrėta 2020-05-15].
63. BRIAN. How to pick out the most appropriate electric skateboard for you – A Buyer’s Guide. *Future Sports*. 2020. [žiūrėta 2020-05-15]. Prieiga per internetą: <https://futuresport.co/best-off-road-electric-skateboards/>
64. NEKLIUDOVA, E.A., SEMENOV, A.S., MELNIKOV, B.E., SEMENOV, S.G.. Experimental research and finite element analysis of elastic and strength properties of fiberglass composite material. Saint-Petersburg state polytechnical university. 2014. [žiūrėta 2020-05-15].
65. ZAKARIA, K.A, JIMIT, R.H., RAMIL, S.N.R., AZIZ, A.A., BAPOKUTTY, O., ALI, M.B.. Study of fatigue life and fracture behaviour of fiberglass reinforced composites. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*. 2016. [žiūrėta 2020-05-20].