

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA**

Laimonas Starkevičius

**DVIRAČIO RĖMO STIPRUMO IR STANDUMO TYRIMAS
MAGISTRO DARBAS**

Magistro baigiamasis darbas

Šiauliai, 2011

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA**

**DVIRAČIO RĖMO STIPRUMO IR STANDUMO TYRIMAS
MAGISTRO DARBAS**

Magistro baigiamasis darbas

Autorius – Laimonas Starkevičius (MM – 9 gr.)

Vadovas – habil. dr. A. Bražėnas

Recenzentas – doc. dr. S. Rimovskis

Katedros vedėjas – dr. A. Sabaliauskas

Šiauliai, 2011

TURINYS

SANTRAUKA	4
SUMMARY	5
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	7
ĮVADAS	8
1. DVIRAČIO RĖMO BANDYMO METODIKA	10
1.2 Dviračio rėmo bandymai	10
1.2.2 Rėmo bandymas, naudojant pėdalu minamąją jėgą.....	12
2. MECHANINIŲ DYDŽIŲ MATAVIMO METODAI IR PRIEMONĖS	13
2.1 Matavimo metodų apžvalga.....	13
2.2 Matavimo sistemos sandara.....	15
2.3 Matuojamojo dydžio keitimo procesas.....	16
3. DVIRAČIO RĖMO STIPRUMO TYRIMAI.....	20
3.1 Deformuojamųjų metalų įtempių ir deformacijų būvis	20
3.2 Dviračio rėmo eksperimentiniai tyrimai.....	23
3.2.1 Dviračio šakės bandymai virtualaus modeliavimo sistema „SolidWorks“	23
3.2.2 Dviračio rėmo bandymai informacine matavimo sistema.....	28
3.2.3 Tenzodaviklių žymėjimas.....	31
3.2.4 Dviračio rėmo eksperimentinio tyrimo metodika.....	32
4. DVIRAČIO RĖMO STIPRUMO EKSPERIMENTINIŲ REZULTATŲ ANALIZĖ.....	36
4.1 Deformacijų ir įtempių skaičiavimai	36
4.2. Eksperimentinių rezultatų palyginimas	41
IŠVADOS	43
LITERATŪRA	44
PRIEDAI	46

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA**

Laimonas Starkevičius. DVIRAČIO RĖMO STIPRUMO IR STANDUMO TYRIMAS.
MAGISTRO DARBAS. Magistro baigiamasis darbas / vadovas habil. dr. A. Bražėnas.

SANTRAUKA

Mechanikos inžinieriaus magistro projekto tema yra aktuali uždarnosios akcinės bendrovės „Baltik vairas“ gaminamiems dviračių rėmų stiprumo ir standumo tyrimams. Kad išspręsti stiprumo problemas, Technologiame bandymų centre yra vykdomi konstrukcinių dviračio dalių statiniai ir dinaminiai bandymai.

Po rezultatų analizės, deformacijų ir įtempimų matavimui atlikti yra siūloma naudoti daugiau tikslesnį ir patikimesnį matavimo metodą, naudojančią tenzjutiklius bei „Spider 8“ matavimo sistemą, valdomą „Catman“ programinės įrangos. Šiame projekte analizuojami šios sistemos principai. Naudojant „Spider 8“ sistemą atlikti eksperimentiniai dviračio rėmo bandymai, pateikti ir aprašyti rezultatai.

Šis matavimo metodas yra siūlomas naudoti dviračio rėmo bandymams atliekamiems Technologiame bandymų centre.

Reikšminiai žodžiai:

Stiprumas, standumas, dviračio rėmas, „Spider 8“, „Catman“, tyrimas.

**ŠIAULIAI UNIVERSITY
FACULTY OF TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING**

Laimonas Starkevičius. BICYCLE FRAME STRENGTH AND RIGIDITY ANALYSIS.
Master thesis of mechanical engineer research / advisor habil. dr. A. Bražėnas.

SUMMARY

The theme of Master project of mechanical engineer is actual for the stock company „Baltik vairas” produced bicycle frames strength and rigidity analysis. To solve strength problems in Technological test center are making static and dynamic bicycle tests.

After results analysis, suggested more correctly and trusty testing method for measuring strain and stress, by using strain gages, Spider8 amplifier controlling by Catman software. In project analyzed principle of this system. Using Spider system made experimental testing of bicycle frame, introduced about testing method and given result analysis.

This test method suggested to use for „Baltik vairas” producing bicycles frames testing.

Meaning words:

Strength, solidity, bicycle frame, „Spider 8”, „Catman”, research.

LENTELIŲ SĄRAŠAS

3.1 lentelė	24
3.2 lentelė	24
3.3 lentelė	25
3.4 lentelė	25
3.5 lentelė	26
4.6 lentelė	36
4.7 lentelė	36
4.8 lentelė	36
4.9 lentelė	41
4.10 lentelė	42

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav.	11
1.2 pav.	12
2.3 pav.	14
2.4 pav.	15
2.5 pav.	17
2.6 pav.	18
2.7 pav.	19
3.8 pav.	23
3.9 pav.	26
3.10 pav.	27
3.11 pav.	27
3.12 pav.	28
3.13 pav.	29
3.14 pav.	30
3.15 pav.	32
3.16 pav.	33
3.17 pav.	34
3.18 pav.	34
3.19 pav.	35
3.20 pav.	35
4.21 pav.	40

ĮVADAS

Darbo aktualumas. Šiuolaikiniame pasaulyje susikūrė ir toliau plėtojasi galingi ekonominiai regionai. Europoje toks ekonominis regionas yra bendroji Europos Sąjungos (ES) rinka. Įstojus Lietuvai į ES, susidariusi naujoji situacija reikalauja garantuoti reikiamą šalies pramonės produkcijos kokybę ir konkurencingumą. Pasaulinė prekybos organizacija yra suinteresuota šalinti techninius prekybos barjerus pasauliniu mastu, suderinti pramonės produktų kokybės ir jų atitikties įvertinimo reikalavimus. Nuolat augantys visuomenės poreikiai, ekonomikos ir tarptautinių mainų plėtojimas reikalauja tobulinti matavimų technologijas, siekti, kad nacionalinė matavimų sistema atitiktų naujas rinkos reikmes. Viena iš ES nuostatų yra ta - analizės ar ekspertizės rezultatai, atlikti vienoje iš šalių, galioja ir kitose ES šalyse.

Šiauliuose esanti Akcinė bendrovė Baltik Vairas maždaug 95% pagamintų dviračių eksportuoja - apie 70% procentų produkcijos parduodama Vokietijoje, kita dalis — Skandinavijos šalyse, Estijoje, Latvijoje, Rusijoje [1], todėl norint išsilaikyti rinkoje, reikia pastoviai tobulinti gaminių kokybę. Šiaulių universiteto Technologijos fakultete veikiančiame Technologiniame bandymų centre (TBC) nuolat vykdomi gamybiniai - technologiniai bandymai, matavimai ir tyrimai pagal Baltik Vairas užsakymus. Šių vykdomų bandymų bei matavimų patikimumas ir tikslumas svarbus Baltik Vaire gaminamų dviračių kokybei.

Darbo objektas: Darbas skirtas Baltik Vaire gaminamų dviračių kokybės analizei.

Tyrimo tikslas: Išanalizuoti ir eksperimentiškai patikrinti dviračių rėmo stiprumo tyrimo metodą, naudojant plėvelinius tenzozjutiklius ir informacinę matavimo sistemą, valdoma Catman programine įranga.

Darbo uždaviniai:

1. Atlikti galiojančių standartų ir dviračių rėmų stiprumo matavimo metodų analizę.
2. Išnagrinėti informacinę matavimo sistemą „Spider 8“ ir jos taikymą dviračių rėmų stiprumo tyrimams.
3. Išanalizuoti dviračio rėmo konstrukcijos įtempių ir deformacijų būvį.
4. Atlikti dviračio rėmo stiprumo eksperimentinius tyrimus.
5. Atlikti gautų eksperimentinių rezultatų analizę.

Teorinė ir praktinė darbo reikšmė.

Išnagrinėtas deformacijų nustatymo metodas informacine matavimo sistema, kuri atlieka tokias pagrindines funkcijas - gauna, apdoroja ir pateikia vartotojui tiriamojo objekto informaciją, kuri svarbi

dviračių rėmų stiprumo tyrimams. Ši metodika gali būti taikoma bet kokios konstrukcijos dviračių rėmams.

Išnagrinėtas deformacijų matavimo metodas informacine matavimo sistema, kuri atlieka visas pagrindines funkcijas - gauna, apdoroja ir pateikia vartotojui tiriamojo objekto informaciją - bei jos taikymo metodika dviračių rėmų stiprumo tyrimams. Ši metodika gali būti taikoma bet kokios konstrukcijos dviračių rėmų ir kitų elementų stiprumo tyrimams ir leidžia iš gauti rezultatų spręsti apie tinkamumą gamybai arba apie reikalingus konstrukcinius pakeitimus.

Išnagrinėtoji matavimo sistema, valdoma programinio paketo Catman, pasiūlyta ir pritaikyta Technologiniame bandymų centre dviračių elementų bandymams.

1. DVIRAČIO RĖMO BANDYMO METODIKA

1.1 Tarptautinių standartų apžvalga

Kaip kiekvienas gaminys, taip ir dviratis bei atskiri jo mazgai turi atitikti tam tikrus reikalavimus, kurie nurodomi standartuose. Tarptautinius standartus tvarko TARPTAUNINĖ standartų organizacija ISO [2]. Atskirų sričių standartus kuria atitinkami moksliniai komitetai bei grupės. Baltik Vairas iki 2006 metų vadovavosi vokiečių standartu DIN 79100 [3]. Nuo 2006 metų šis standartas nustojo galioti. Šiuo metu vadovaujamosi standartu EN 14764 [4]. Ši Europos standartą parengė Europos standartizacijos Techninis komitetas ESK/TC 333 "Dviračiai". Europos standartas EN 14766:2005 turi Lietuvos standarto statusą. Europos standartą EN 1476:2005 Lietuvos standartizacijos departamentas patvirtinimo būdu perėmė kaip Lietuvos standartą LST EN 14766 [4], kuris galioja nuo 2006m. Vasario 28d. (Vokietijoje šio standarto reikalavimus atitinka DIN EN 14764:2006 [5]).

Šis Europos standartas buvo sudarytas atsižvelgiant į visos Europos poreikius, kad pagal jį gaminami dviračiai būtų kuo saugesni. Bandymų atlikimo taisyklės paremtos taip, kad būtų galima užtikrinti tiek atskirų dalių, tike ir viso dviračio stiprumą ir ilgaamžiškumą, siekiant aukštos kokybės ir saugumo reikalavimų laikymosi nuo projektavimo iki gaminio eksploatacijos.

Pagal ESK/EESK vidaus nuostatas, šio Europos standarto privalo laikytis šių šalių nacionalinių standartų organizacijos: Austrijos, Belgijos, Kipro, Čekijos Respublikos, Danijos, Estijos, Suomijos, Prancūzijos, Vokietijos, Graikijos, Vengrijos, Islandijos, Italijos, Latvijos, Lietuvos, Liuksemburgo, Maltos, Nyderlandų, Norvegijos, Lenkijos, Portugalijos, Slovakijos, Slovėnijos, Ispanijos, Švedijos, Šveicarijos ir Jungtinės Karalystės.

Standartai reikalauja iš gamintojo atlikti ne tik viso gaminio, bet ir atskirų jo elementų (rėmo, vairo ir pan.) tyrimus. Bandymų rezultatai laikomi teigiamais, jeigu po atliktų tyrimų nenustatomi lūžiai, įtrūkimai, įbrėžimai ar leistinus dydžius viršijantys konstrukcijos formos pakitimai.

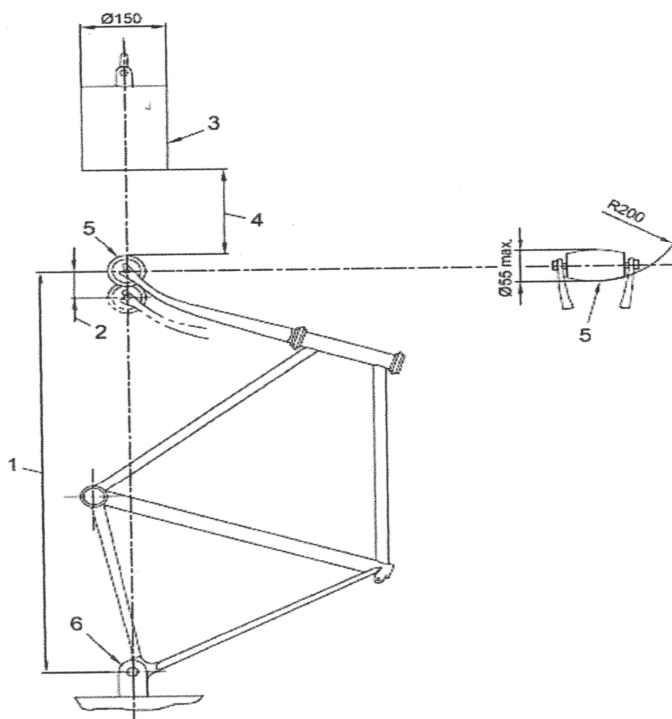
1.2 Dviračio rėmo bandymai

1.2.1 Rėmo agregato smūgio bandymas

Gamintojai atlieka surinkto dviračio rėmą, prie kurio pritvirtinta šakė, tikrinimą. Jeigu tai yra pakabos šakė, ji turi būti neapkrautu korpusu. Rėmų gamintojams leidžiama atlikti bandymą vietoje priekinės šakės, panaudojus standų plieninį strypą. Jeigu prie rėmo jungiam užpakalinė pakabos

sistema, pakaba įtvirtinama tokioje pozicijoje, kokia būtų ant dviračio sėdint 80 kg svorio dviratininkui. Bandymo atlikimo schema duota 1.1 pav.

Pilnai suremontuotų dviračių gamintojai atlieka bandymą su rėmu, prie kurio pritaisyta atitinkama šakė, o jeigu tai yra pakabos šakė, ji turi būti neapkrautu korpusu. Rėmų gamintojams leidžiama atlikti bandymą su tvirtu plieniniu strypu vietoje priekinės šakės. Jeigu prie rėmo jungiama užpakalinė pakabos sistema, pakaba įtvirtinama tokioje pozicijoje, kokia būtų ant dviračio sėdint 80 kg dviratininkui. Bandymo atlikimo schema 1.1 pav.



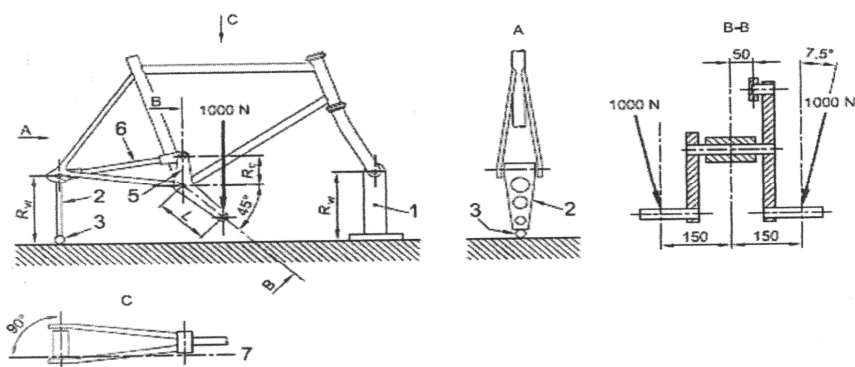
1.1 pav. Rėmo ir priekinės šakės agregato smūgio bandymo schema: 1 - važiuoklės bazė; 2 – liekamoji deformacija; 3 – 22.5 kg daužiklis; 4 – metimo aukštis 180 mm; 5 – mažo svorio volelis (iki 1 kg); 6 – užpakalinio veleno tvirtinimo pagrindas.

Atlikus bandymą ant tokio rėmo – šakės dalies neturi būti jokių matomų įtrūkimų ar lūžių, jokia pakabos sistemų dalis neturi atsiskirti. Liekamoji deformacija, matuojama tarp rato veleno ašių (1.1 pav.), neturi viršyti:

- a) 30 mm, kai pritvirtinta šakė;
- b) 15 mm, kai vietoj šakės yra pritaisytas tvirta plieninis strypas.

1.2.2 Rėmo bandymas naudojant pedalo minamąją jėgą

Bandymams naudojamas naujas rėmo – šakės įrenginys su standartiniais priekinio vamzdžio guoliais. Priekinę originalią šakę galima pakeisti tokio paties ilgio ir tvirtumo pakaitalu. Rėmo agregatas įmontuojamas pagrinde, šakė ar jos pakaitalas tvirtinamas ties ašimi į tvirtą pagrindą aukštyje R_w (rato – padangos agregato spindulys ± 30 mm), taip, kad stebulė laisvai suktųsi ant ašies. Užpakaliniai išsikišimai įtvirtinami prie kieto vertikalaus šarnyro tame pačiame aukštyje kaip ir priekinė dalis, o viršutinė šarnyro dalis gali laisvai sukintis apie veleno ašį (1.2 pav.).



1.2 pav. Rėmo bandymo, naudojant pedalo minamąją jėgą, schema: R_R – tvirto pagrindo aukštis ir vertikalus lankstas; R_w – vertikalaus alkūninio sveto ilgis (75 mm); L – alkūninio sveto pakaitalo ilgis; 1 – tvirtas pagrindas; 2 – vertikalus lankstas; 3 – rutulinis lankstas; 5 – vertikalusis svetas; 6 – jungiamoji trauklė; 7 – centrinė jungiamosios trauklės linija.

Kiekvieną pedalo ašį apkrauname 1000 N jėga (1.2 pav.). Apkrovimų ciklų skaičius $N= 10000$. Vieną ciklą sudaro dviejų bandomųjų jėgų panaudojimas ir nutraukimas [4].

Atlikus bandymą aprašytu metodu, ant rėmo dalies neturi būti matomų įtrūkimų ar lūžių, jokia pakabos sitemų dalis neturi atsiskirti. Naudojant anglies pluošto rėmus, didžiausiu nuokrypiai taškuose, į kuriuos buvo veikama bandomąja jėga, neturi padidėti daugiau kaip 20 % pradinių tikrinamųjų dydžių.

2. MECHANINIŲ DYDŽIŲ MATAVIMO METODAI IR PRIEMONĖS

2.1 Matavimo metodų apžvalga

Technikoje mechaninėms jėgoms, momentams, įtempiams ir deformacijoms matuoti plačiausiai taikomi vizualieji, mechaniniai, elektromechaniniai, optiniai, ultragarsiniai ir fototamprumo metodai [7,8].

Mechaniniai matavimo metodai pagrįsti metalinių plokštelių arba elementų deformavimu. Jie dažniausiai taikomi statinėms mechaninėms deformacijoms matuoti.

Optiniai matavimo metodai pagrįsti šviesos spinduliuotės intensyvumo pokyčio, susijusio su matuojamojo objekto poslinkio, matavimu. Šį pokytį registruoja fotoelektriniai keitikliai. Optiniai keitikliai taikomi labai tiksliais (iki $\pm 0,5 \mu m$) objektų poslinkiams matuoti.

Fototamprumo arba optinių įtempimų tyrimo metodu gali būti nustatomos statinės arba dinaminės deformacijos. Šių matavimo metodų esmė: iš optiškai aktyvios skaidrios medžiagos (dažniausiai iš organinio stiklo) pagaminamas modelis, jis pakraunamas tiriamąja medžiaga ir apšviečiamas poliarizuotojama šviesa. Ekране gaunamas interferencinis vaizdas, kuriame maksimumų ir minimumų išsidėstymas priklauso nuo modelio įtempimų būsenos. Analizuojant gautąjį vaizdą, galima nustatyti veikiančius įtempimus.

Ultragarsiniai arba akustiniai, matavimo metodai pagrįsti ultragarso bangų atspindžiu nuo dviejų aplinkų skiriamosios ribos. Šie metodai dažniausiai naudojami detalių matmenims išmatuoti ir gauti trimatį erdvinį vaizdą.

Elektromechaniniai matavimo metodai gali būti pagrįsti tenzometrijos principu (puslaidininkio arba metalinio rezistoriaus varža kinta, priklausomai nuo jos deformacijos), taip pat naudojami induktyvieji, talpiniai, pjezoelektriniai ir kt. keitikliai.

Elektromechaninių metodų pranašumas yra jų paprastumas, plati matuojamųjų dydžių sritis, didelis matuojamųjų dinaminių apkrovų dažnis, galimybė sustiprinti elektrinį signalą, jį registruoti ir padoroti kompiuteriais. Tai vieni plačiausiai taikomų metodų.

Mechaniniams dydžiams (jėgoms, momentams, deformacijoms) matuoti dažniausiai naudojami tenzorezistoriniai keitikliai (vieliniai, plėveliniai, puslaidininkiai) [7, 8, 9]. Tenzorezistoriaus jautrusis elementas (metalo juostelė arba siūlelis, puslaidininkio monokristalas), veikiamas tam tikro dydžio jėgos, deformuojasi. Jo varžos pokytis tamprumo ribose yra proporcingas santykinai deformacijai:

$$\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon,$$

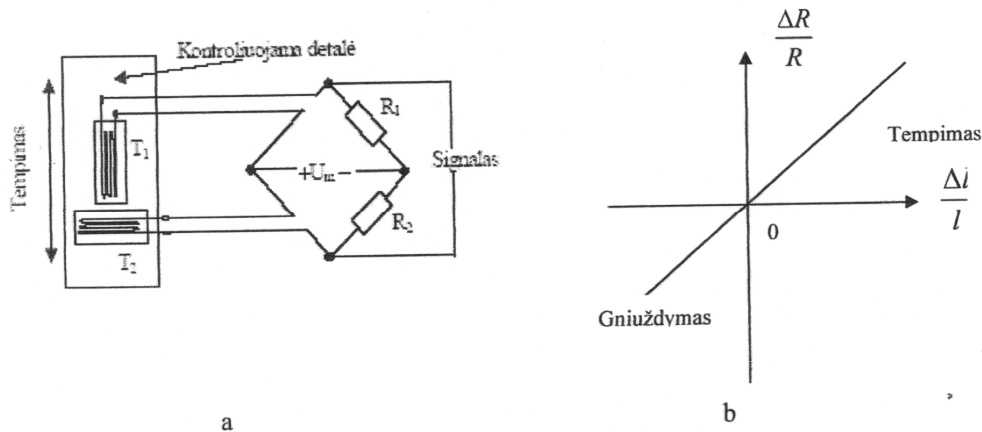
čia: $\frac{\Delta R}{R}$ - santykinis varžos pokytis; K – tenzorezistoriaus jautrio koeficientas (nustatomas eksperimentiškai); ε - santykinė deformacija.

Tenzorezistoriaus jautrio koeficientas kietiesiems kūnams:

$$K = (1 + 2\nu) + m,$$

čia: $\nu = -\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon}$ - Puasono koeficientas; $m = \frac{\Delta\rho/\rho}{\Delta l/l}$ (ρ - savitoji varža) – savtosios varžos pokytis, susijęs su medžiagos savybių kitimu. Metalams $K \approx 1 + 2\nu$, o puslaidininkiams, $K \approx m$ [7, 8, 9].

Pagrindinis jų pranašumas yra didelis jautris mechaninėms deformacijoms. Be to, šie keitikliai maži, nesudėtingai kalibruojami, prie tampriojo elemento priklijuojami arba priveržemi varžtais, jais galima tirti statinius bei dinامينius pokyčius, todėl plačiai naudojami įvairiuose moksliniuose tyrimuose ir technikoje [8, 9, 10]. Šiame darbe matuoti deformacijoms pasirinkti vieliniai tenzorezistoriniai jutikliai, kurių jungimo schemas pavyzdys (a) ir keitimo charakteristika (b) pateikti 2.3 pav.

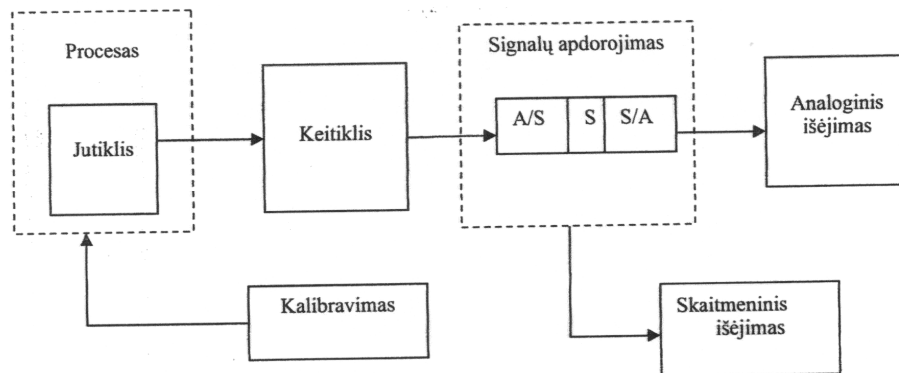


2.3 pav. Tenzorezistoriniai jutikliai: a – tenzozjutiklių jungimo schema; b – vielinių tenzozjutiklių charakteristika.

2.2 Matavimo sistemos sandara

Nagrinėjant įvairius matavimo prietaisus ir sistemas, galima išskirti tokias pagrindines matavimo sistemos dalis (2.4 pav.):

- jutiklis/keitiklis
- signalų norminimo blokas
- signalų (duomenų) apdorojimo blokas
- informacijos išvedimo blokas



2.4 pav. Funkcinė matavimo sistemos schema

Pirmasis bet kurios matavimo sistemos uždavinys yra pajauti matuojamąjį dydį. Šią funkciją atlieka jutiklis – matavimo prietaiso elementas, kuris panaudoja kokį nors fizikinį reiškinį tam, kad pajautų matuojamąjį dydį. Keitiklis pakeičia šį priimtą dydį elektriniu, optiniu, pneumatiniu, mechaniniu ar kitokiu signalu, tai yra suteikia signalui tokį pavidalą, kad jį būtų lengva įvertinti kiekybiškai. Visais atvejais pajautas dydis turi atkurti matuojamąjį dydį taip, kad gautą signalą būtų galima toliau apdoroti. Iš matavimo įrenginio matavimo signalas patenka į norminimo įrenginį. Matavimo signalas norminamas, norint unifikuoti įvairius dydžius. Pagrindinės signalų norminimo funkcijos yra tokios:

- teikti keitikliui maitinimo įtampą arba srovę
- subalansuoti keitiklio išėjimo signalą ar nustatyti šio signalo nulinę padėtį
- sustiprinti matavimo signalą ir atlikti su juo matematinės operacijas
- eliminuoti nereikalingas signalo dedamąsias.

Jeigu matavimo sistemoje yra kompiuteriai, tai į signalų norminimo funkcijas, įeina signalo formos pakeitimas iš analoginės į skaitmeninę [8]. Kiekvienas matavimo prietaisas dažniausiai atlieka kokią nors skaičiavimo operaciją. Atlikus šias operacijas gautos reikšmės naudojamos ne tik kaip

tiesiogiai išvedama informacija, bet (ypač mechaninių dydžių matavimuose) ši informacija įsimenama ir panaudojama tolimesniam skaitmeniniam apdorojimui. Kai matavimo informaciją toliau apdoroti nenumatoma ir ji pateikiama stebėtoji vizualiai, matavimas baigiamas informacijos atvaizdavimu. Tam naudojami tiek analoginiai, tiek skaitmeniniai metodai ir priemonės.

2.3 Matuojamojo dydžio keitimo procesas

Matuojant randama dydžio vertė, tačiau ne visada mato skalė atitinka matuojamojo dydžio verčių skalę, todėl matuojamieji dydžiai pakeičiami tokiais, kurių vertės galima išmatuoti tiesiogiai. Tai daroma ir tuo atveju, kai matuojamojo dydžio negalima perduoti arba užrašyti tokiu pavidalu, kokiu jis yra gaunamas, arba kai norima unifikuoti skirtingus dydžius, vartojamus, pavyzdžiui, kontrolės ar valdymo sistemose. Matavimo keitiklių įėjimo dydžiai yra labai įvairūs, o kaip išėjimo dydžiai matavimo prietaisuose dažniausiai vartojami įtampos, srovės arba slėgiai. Matuojamiems dydžiams pakeisti naudojami fizikiniai ar fizikiniai ir cheminiai efektai, suteikiantys galimybę pakeisti matuojamąjį dydį elektros srove ar įtampa.

Matavimo signalams keisti naudojami operaciniai elementai, atliekantys tam tikras matematinės operacijas (sudėti, atimti, daugybą, dalybą, diferencijavimą, integravimą ir pan.). Tokiems matavimo sistemų operaciniams elementams sudaryti dažniausiai naudojami operaciniai stiprintuvai [8, 14]. Tai didelio stiprinimo koeficiento (gali siekti 10^3 - 10^6) nuolatinės srovės stiprintuvai, turintys du įėjimus (tiesioginį ir invertuojantį). Jie paprastai naudojami su neigiamos įtampos grįžtamoju ryšiu.

Operacinis stiprintuvas priklausomai nuo to, kokie elementai įjungti į jo išėjimo ir grįžtamojo ryšio grandinę, gali atlikti skirtingas matematinės operacijas. Panaudojant grįžtamuosius ryšius, suformuojama norima signalo keitimo funkcija ir gaunamas reikiamas stiprinimo koeficientas [14].

Stiprintuvas nustato įėjimo signalo dydį pagal lygtį:

$$U_2(t)=h(U_1(t)),$$

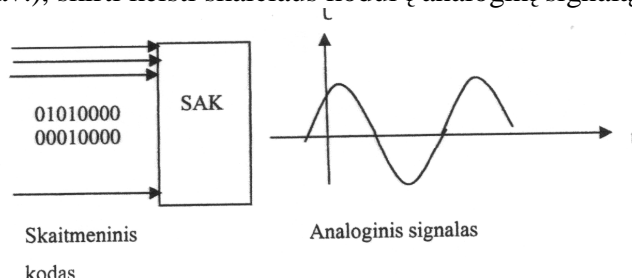
čia: $h(U_1(t))$ – tam tikra matematinė funkcija.

Iš dinaminio signalo nepageidaujamo dažnio informacijos šalinimui yra naudojami filtrai. Pasyviuosius analoginius filtrus sudaro rezistoriai, kondensatoriai ir induktyvinės ritės, aktyviuosiuose filtruose naudojami operaciniai stiprintuvai.

Skaitmeniniuose matavimo prietaisuose ir kituose įtaisuose naudojami įvairūs elementai, kurie susieja skaitmeninius prietaisus su analoginiais signalais. Analoginiams signalams įvesti į PK ar kitus skaitmeninius įtaisus bei jiems iš šių įtaisų išvesti yra naudojami skaitmeniniai analoginiai (SKA) ir analoginiai skaitmeniniai keitikliai (ASK) [8, 14]. Skaitmeniniai signalai yra diskretūs ir pagal

amplitudę, ir pagal laiką. Beveik visos skaitmeninės matavimo sistemos naudoja tam tikras dvejetainės skaičių sistemos variacijas signalų informacijai perduoti skaitmenine forma.

SAK – tai įtaisai (2.5 pav.), skirti keisti skaičiaus kodui į analoginį signalą (srovę arba įtampą).



2.5 pav. Skaitmeninis – analoginis keitimas

Apibendrinančioji SAK perdavimo funkcija:

$$U_{2x} = E_{et} (x_1 \cdot 2^{-1} + x_2 \cdot 2^{-2} + \dots + x_n \cdot 2^{-n}),$$

čia: U_{2x} – išėjimo analoginis signalas; E_{et} – etaloninio signalo šaltinio elektrovara; x_1, x_2, \dots, x_n – koeficientai, kurių reikšmės priklauso nuo įėjimo dvejetainio kodo ir gali būti 1 arba 0; n – keitiklio skilčių (įėjimų) skaičius.

Principinę SAK (2.6 pav.) schemą sudaro etaloninės įtampos šaltinis E , elektroninių jungiklių, kurie gali būti vienoje iš dviejų padėčių rinkinys, stabilių ir tikslių rezistorių R rinkinys ir operacinis stiprintuvas. Į keitiklį patenkantis dvejetainis skaičius talpinamas registre. Rezistoriaus, susijusio su registro vyriausios skilties bitu (VBR) varža R , kiekvienos jaunesnės skilties varža yra dvigubai didesnė. Jauniausios skilties (JS) rezistoriaus varža $2^{M-1} R$.

Keitiklio išėjimo įtampa:

$$U_{i\delta} = IR_0,$$

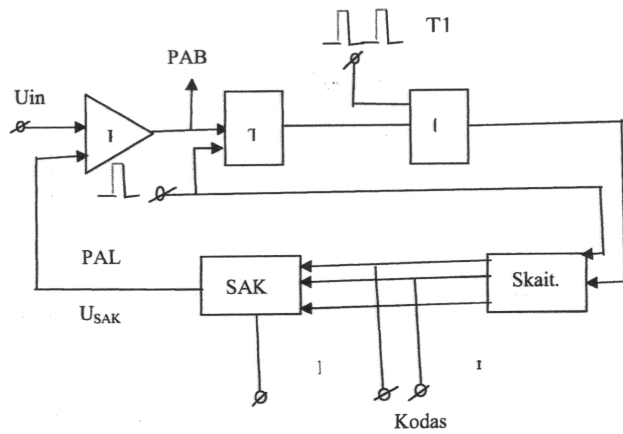
čia: $I = E \sum_{m=1}^M \frac{C_m}{2^{M-1} R}$ (C – yra skaičiai arba 1 arba 0, priklausomai nuo m -tosios registro skilties

būsenos.

Analoginiuose skaitmeniniuose keitikliuose analoginė įėjimo įtampa U_{in} išreiškiama etaloninės įtampos E_{et} dalimi taip, kad gautas išėjime kodas atitiktų dvejetainį skaičių:

$$Y = \frac{U_{in}}{E_{et}} = y_1 \cdot 2^{-1} + y_2 \cdot 2^{-2} + \dots + y_n \cdot 2^{-n},$$

čia: n – dvejetainių skilčių skaičius, y_1, y_2, \dots, y_n – skilčių koeficientai, kurie gali būti arba 0 arba 1.



2.7 pav. Funkcinė analoginio skaitmeninio keitiklio schema: K – komutatorius; T – trigeris; l – sutapimo schema; Skait. – skaitiklis; SAK – skaitmeninis analoginis keitiklis.

3. DVIRAČIO RĖMO STIPRUMO TYRIMAI

3.1 Deformuojamųjų metalų įtempių ir deformacijų būvis

Šiuo metu dviračių rėmai dažniausiai yra pagaminami iš metalo: plieno, aliuminio ir anglies pluošto. Šiame darbe eksperimentai atlikti su dviračiu, kurio rėmas pagamintas iš aliuminio lydinio 1060 – H14.

Panagrinėsime įtempių ir deformacijų būvius metaluose. Kietajame būvyje metalai yra polikristaliniai kūnai. Suartėjant atomams ir susidarant metaliniam ryšiui nuo atomų atitrūksta valentiniai elektronai, kurie gali laisvai judėti. Tokiu būdu metalai sudaryti iš kristalinės gardelės mazguose esančių teigiamų jonų ir laisvųjų laidumo elektronų. Laisvieji elektronai kompensuoja jonų elektrostazines stūmimo jėgas ir tuo pačiu suriša juos į kietąjį kūną. Tokios sistemos elektrostatinė energija susideda iš jonų tarpusavio sąveikos, elektronų sąveikos su jonais ir elektronų tarpusavio sąveikos energijų [15]:

$$U_s = \frac{e^2}{2r_s} \cdot \frac{1,8 - 3\beta^2 + 1,2\beta^5}{(1 - \beta^3)^2}, \quad (3.1)$$

Čia: e – elektrono krūvis, r_s – pusiausvyrinis tarpelektroninis atstumas, $\beta = \frac{r_{ion}}{r_s}$, kur r_{ion} – jono spindulys.

Šios sąveikos potencinės energijos dydis nulemia kristalinės gardelės matmenis ir formą, o tuo pačiu ir metalo mechanines savybes [11, 15].

Veikiant išorinėms mechaninėms jėgoms, elektriniams ir magnetiniams laukams, vykstant šiluminiam plėtimuisi kūnai deformuojasi – pasikeičia juos sudarančių dalelių padėtis, dėl ko pakinta kūnų matmenys ir forma ir juos sudarančių dalelių tarpusavio sąveikos jėgos, savo ruožtu sukeliančios įtempio atsiradimą. Apraunant kūną, didėja vidinė jėga, tenkanti vienai gardelei. Kai įtempis neviršija tam tikro dydžio, kūno tamprioji deformacija atsiranda dėl atstumų tarp kristalinės gardelės mazguose esančių dalelių padidėjimo. Nukraunant kūną, veikiančios vidinės sąveikos jėgos gražina daleles vėl į pusiausvyros padėtis. Padidėjus vidinėms jėgoms, gardelės pasilenka viena kitos atžvilgiu ir taip pasireiškia šlytis. Didėjant įtampiams gardelėse atsiranda negrįžtamų pokyčių – prasideda slydimas dislokacijų ir struktūros netobulumų išdėstymo plokštumose. Trapiose medžiagose kristalų sandūroje atsiranda mikroplyšiai [16].

Huko dėsnis [11, 12, 13]

$$\sigma = E\varepsilon, \quad (3.2)$$

Čia: σ - įtempimas, ε - santykinė deformacija, E – tamprumo modelis, teigia tiesinę sąryšį tarp kietojo kūno įtempių bei deformacijų. Be abejo, tiesinė priklausomybė pasireiškia tik silpnų įtempių atveju.

Daugelis inžinierinių konstrukcijų patiria mažas deformacijas ir jų ryšys su įtempiais yra tiesinis, todėl galima laikyti, kad įtempiai σ yra tiesiai proporcingi deformacijoms ε [9].

Bendruoju atveju deformacijos ir įtempiai sudaro tenzorius [11, 12, 13].

Įtempių krūvis bet kuriame kūno taške nustatomas įtempių tenzoriumi:

$$T_{\sigma} = \begin{pmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{pmatrix}, \quad (3.3)$$

čia: σ_{ij} - normalinių įtempių komponentės, τ_{ij} - tangetinių įtempių komponentės ($i = x, y, z$; $j=x,y,z$).

Įtempių tenzorių galima išskaidyti į sferinį tenzorių T_{σ}^0 ir tenzorių deviatorių D_{σ}^H :

$$T_{\sigma} = T_{\sigma}^0 + D_{\sigma}^H. \quad (3.4)$$

Sferinis tenzorius:

$$T_{\sigma}^0 = \begin{pmatrix} \sigma_v & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_v & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_v \end{pmatrix}. \quad (3.5)$$

Sferinio cenzoriaus įstrižainėje išdėstyti vidutiniai įtempiai σ_v ir jo komponentės sukelia tūrio deformacijas.

Tenzoriaus deviatorius:

$$D_{\sigma}^H = \begin{pmatrix} \sigma_x - \sigma_v & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y - \sigma_v & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z - \sigma_v \end{pmatrix}. \quad (3.6)$$

Įtempių deviatoriaus komponentės sukelia kūno formos pokyčius.

Kūno deformacijų būvis bet kuriame taške nustatomas deformacijų tenzoriumi [11, 12, 13]:

$$T_D = \begin{pmatrix} \varepsilon_x & 0,5\gamma_{xy} & 0,5\gamma_{xz} \\ 0,5\gamma_{yx} & \varepsilon_y & 0,5\gamma_{yz} \\ 0,5\gamma_{zx} & 0,5\gamma_{zy} & \varepsilon_z \end{pmatrix} \quad (3.7)$$

čia: ε - santykinė linijinė deformacija, γ - santykinė šlytis.

Deformacijų tenzorių taip pat galima išskaidyti į sferinį tenzorių T_D^0 , kurio įstrižainėje išdėstytos vidutinės deformacijos ε_v ir kuris įvertina izotropinę tūrio deformaciją (tolygų tūrio kitimą) ir tenzorių deviatorių D_D^H , kurio komponentės įvertina formos pokytį:

$$T_D = T_D^0 + D_D^H. \quad (3.8)$$

$$T_D^0 = \begin{pmatrix} \varepsilon_v & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_v & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_v \end{pmatrix}. \quad (3.9)$$

$$D_D^H = \begin{pmatrix} \varepsilon_x - \varepsilon_v & 0,5\gamma_{xy} & 0,5\gamma_{xz} \\ 0,5\gamma_{yx} & \varepsilon_y - \varepsilon_v & 0,5\gamma_{yz} \\ 0,5\gamma_{zx} & 0,5\gamma_{zy} & \varepsilon_z - \varepsilon_v \end{pmatrix} \quad (3.10)$$

Šiuo atveju ryšys tarp įtempių ir deformacijų išreiškiamas apibendrintuoju Huko dėsnio [11, 12]. Izotropiniam kūnui, kurio savybės apibūdinamos tamprumo moduliu E ir šlyties moduliu G , susietais Puasono koeficientu ν :

$$E = 2G(1 + \mu). \quad (3.11)$$

Huko dėsnis tenzorinėje formoje užrašomas tokiu būdu:

➤ tūrio kitimo

$$T_D = E_0 T_D^0. \quad (3.12)$$

➤ formos kitimo

$$D_D^H = 2GD_D^H. \quad (3.13)$$

čia: $E_0 = \frac{E}{1 - 2\nu}$ - tūrinis tamprumo modulis (charakterizuojantis medžiagos standumą).

Šį apibendrintąjį Huko dėsnį galima taikyti realiems izotropiniams kūnams, kai veikiantys įtempimai nesukelia plastinių deformacijų, kai deformacijos yra mažos lyginant su kūno matmenimis ir temperatūra visuose kūno taškuose yra vienoda.

3.2 Dviračio rėmo eksperimentiniai tyrimai

3.2.1 Dviračio šakės bandymai virtualaus modeliavimo sistema „SolidWorks“

Naujų gaminių stiprumas ir ilgaamžiškumas visada turi būti patikrinami bandymais. Tačiau atlikti šiuos bandymus dažniausiai brangiai kainuoja ir užtrunka nemažai laiko. Todėl suprojektavus naują gaminį, jo dar nepagaminus, galima jo stiprumą ir ilgaamžiškumą išbandyti virtualaus modeliavimo sistemomis, tokiomis kaip Inventor, SolidWorks ir kitomis. Atlikti šį modeliavimą tereikia turėti gaminio virtualų modelį. Šie virtualūs bandymai užtrunka tik keletą minučių, o gauti rezultatai yra pakankamai tikslūs. Gauti rezultatai parodo ar suprojektuotas gaminys atitinka jam keliamus reikalavimus. Taip yra sutaupoma daug laiko ir nepatiriama išlaidų realių bandomųjų gaminių gamybai. Be to paaiškėjus, kad konstrukcija yra netobula, ją nesunkiai galima pakeisti ir patobulinti ir dar kartą virtualiai išbandyti.

Todėl pirmiausia buvo nuspręsta dviračio sakę išbandyti virtualiai. Buvo pasirinkta virtualaus modeliavimo sistema SolidWorks. Buvo nubraižytas virtualus dviračio šakės modelis ir išbandytas virtualiai. Gauti rezultatai pateikti 3.8 – 3.12 pav., modelio informacija pateikta 3.1 – 3.5 lentelėse.



3.8 pav. Nagrinėjamo rėmo modelio vaizdas

3.1 lentelė. Medžiagos savybės (Material Properties)

Nr.	Kūno pavadinimas	Medžiaga	Masė	Tūris
1	Remas	1060-H14	1.82726 kg	0.000675513 m ³

Property Name	Vertė	Matavimo vienetas	Vertės tipas
Tamprumo modulis	6.9e+010	N/m ²	Konstanta
Puasono koeficientas	0.33	NA	Konstanta
Šlyties modulis	2.6e+010	N/m ²	Konstanta
Tankis	2705	kg/m ³	Konstanta
Stiprumo riba	9.5e+007	N/m ²	Konstanta
Takumo riba	9e+007	N/m ²	Konstanta
Šiluminio plėtimosi koeficientas	2.36e-005	/Kelvin	Konstanta
Šiluminis laidumas	230	W/(m.K)	Konstanta
Šiluminė talpa	900	J/(kg.K)	Konstanta

3.2 lentelė. Modelio apkrovos ir įtvirtinimai (Loads and restraints)

Įtvirtinimai (Fixtures)

Įtvirtinimo pavadinimas	Pasirinkimas	Apibūdinimas
Įtvirtinimas 1 <Dviračio rėmas>	3 nejudami paviršiai	

Apkrovos (Loads)

Apkrovos	Pasirinkimas	Apkrovos tipas	Apibūdinimas
Apkrova1 <Dviračio rėmas>	1 paviršiaus tolygiai pasiskirstanti apkrova 1125 N	Nuoseklus apkrovimas	
Apkrova2 <Dviračio rėmas>	2 paviršiaus tolygiai pasiskirstanti apkrova 380 N	Nuoseklus apkrovimas	
Apkrova3 <Dviračio rėmas>	3 paviršiaus tolygiai pasiskirstanti apkrova 1495 N	Nuoseklus apkrovimas	

3.3 lentelė. Tinklelio informacija (Mesh Information)

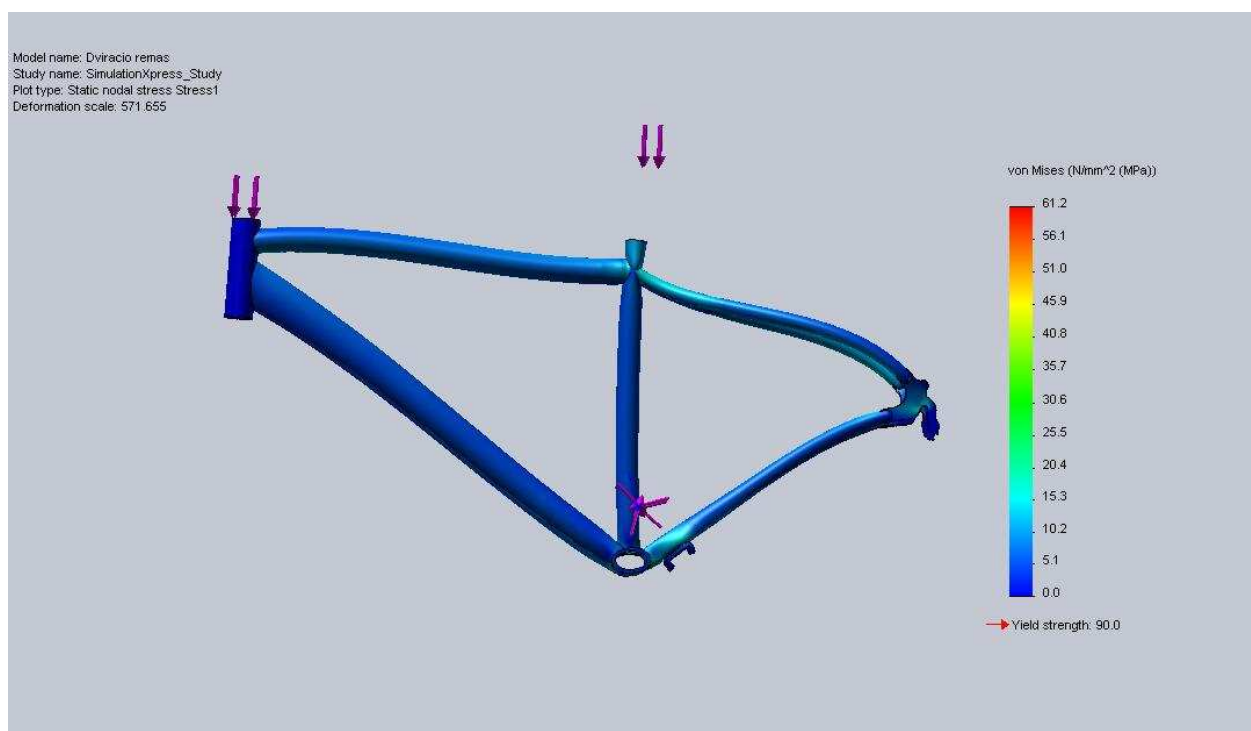
Tinklelio tipas:	Vientisas tinklelis
Automatinė moduliacija:	Išjungta
Vienodas paviršius:	Ijungta
Elemento dydis:	4.2303 mm
Tolerancija:	0.21151 mm
Kokybė:	Aukšta
Elementų skaičius:	119455
Mazgų skaičius:	233972
Tinklelio sudarymo laikas(hh:mm:ss):	00:10:45
Kompiuterio pavadinimas:	VARTOTOJAS

3.4 lentelė. Reakcijos jėgos (Reaction Forces)

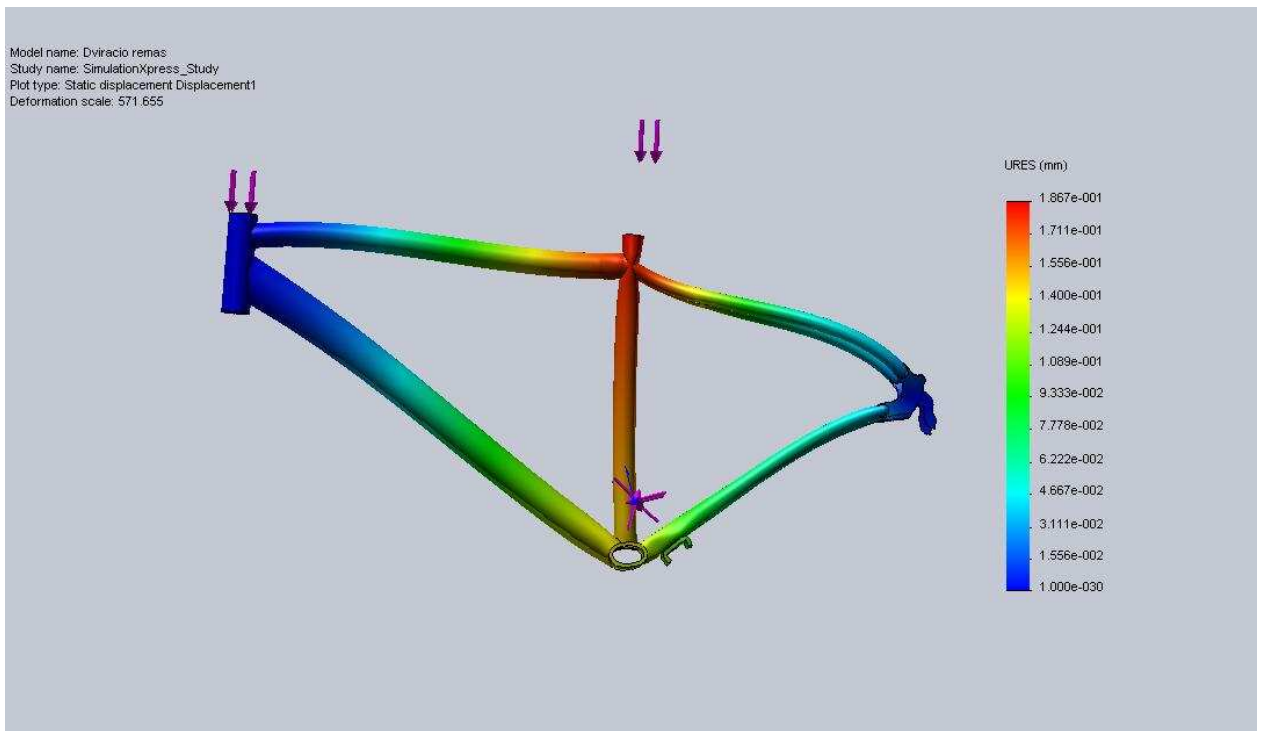
Pasirinkimas	Matavimo vienetai	Suma X	Suma Y	Suma Z	Rezultantas
Visas kūnas	N	0.351931	2603.03	-809.691	2726.05

3.5 lentelė. Rezultatai (Study Results)

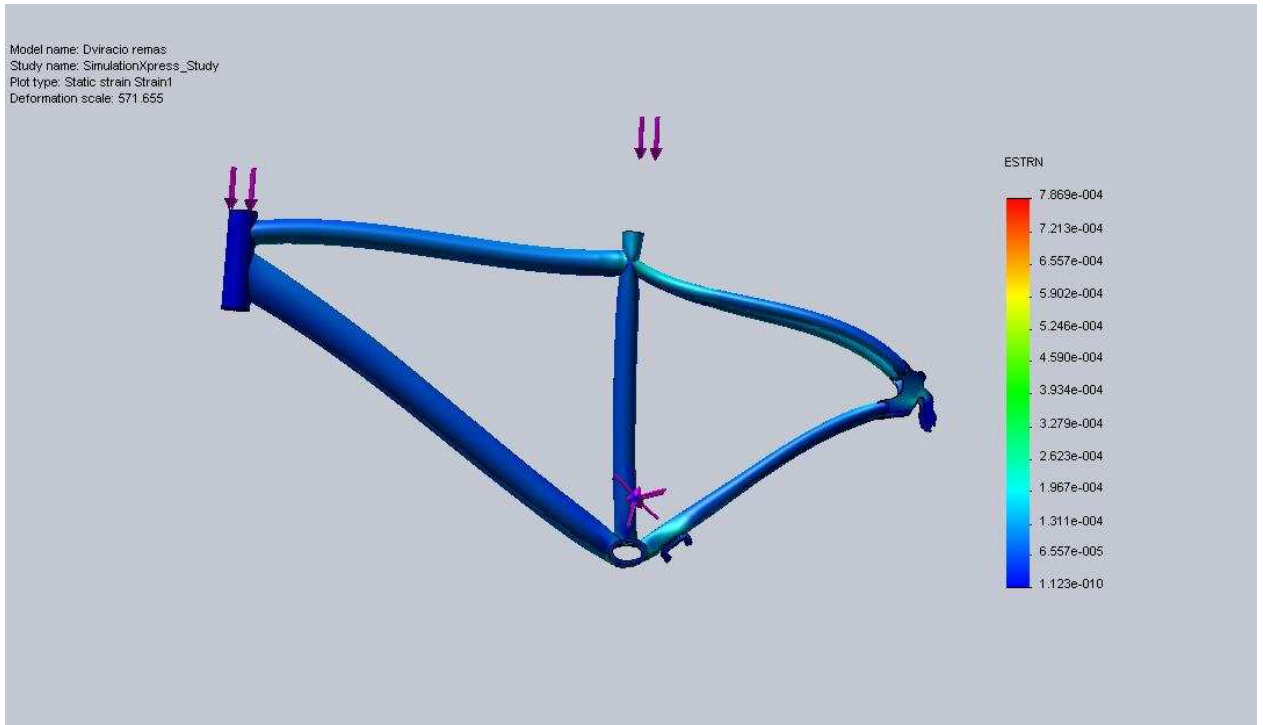
Pavadinimas	Tipas	Min	Vieta	Max	Vieta x, y, z
Įtempimai1	VON: von Mises Įtempimai	8.74132e-006 N/mm ² (MPa) Mazgas: 118920	(2.18631 mm, 413.21 mm, 494.3 mm)	61.2338 N/mm ² (MPa) Mazgas: 115419	(-28.8465 mm, -66.3909 mm, -53.8574 mm)
Poslinkiai1	URES: Resultant Poslinkiai	0 mm Mazgas: 5605	(-61.5 mm, 30.4143 mm, -428.59 mm)	0.186667 mm Mazgas: 994	(-0.0305257 mm, 360.045 mm, -105.661 mm)
Deformacijos1	ESTRN: Deformacijos	1.12328e-010 Mazgas: 118920	(2.18631 mm, 413.21 mm, 494.3 mm)	0.000786869 Mazgas: 115419	(-28.8465 mm, -66.3909 mm, -53.8574 mm)



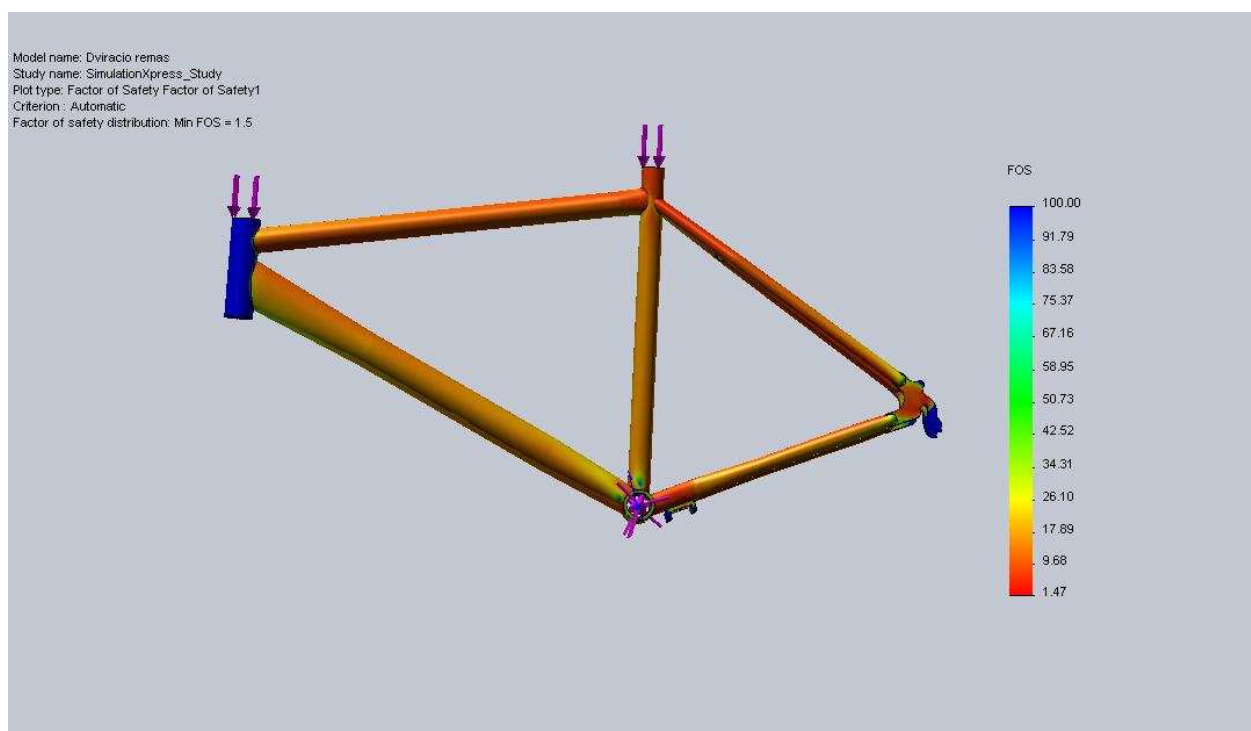
3.9 pav. Ekvivalentiniai įtempimai (Stress)



3.10 pav. Poslinkiai (Displacement)



3.11 pav. Deformacijos (Strain)



3.12 pav. Atsargos koeficientas (Factor of Safety)

Atlikus simuliacija SolidWorks programa gauta, kad maksimalūs šakės įtempimai yra 61 MPa, maksimalūs poslinkiai 0,186 mm, maksimali deformacija $7,9 \cdot 10^{-4}$. Rėmas pagamintas iš 1060-H14 atlaikys užduotą apkrovą su minimaliu atsargos koeficientu 1,47.

3.2.2 Dviračio rėmo bandymai informacine matavimo sistema

Mechaniniams dydžiams: įtempiams, jėgoms, slėgiams, poslinkiams, pagreičiams ir kt. Siūloma naudoti informacinę matavimo sistemą „Spider 8“ [17, 18], sujungta su plėveliniais tenzozjutikliais ir valdoma „Catman“ programine įranga. Šie jutikliai gali būti įjungti tiltelio, pusės arba ketvirčio tiltelio schema.

„Spider 8“ yra informacinė matavimo sistema (IMS), sukurta kaip vienas įrenginys. Ji atlieka visas pagrindines funkcijas – gauna, apdoroja ir pateikia tiriamojo objekto informaciją, suformuoja tiriamojo objekto matavimo informaciją ir tiriamojo objekto poveikius.

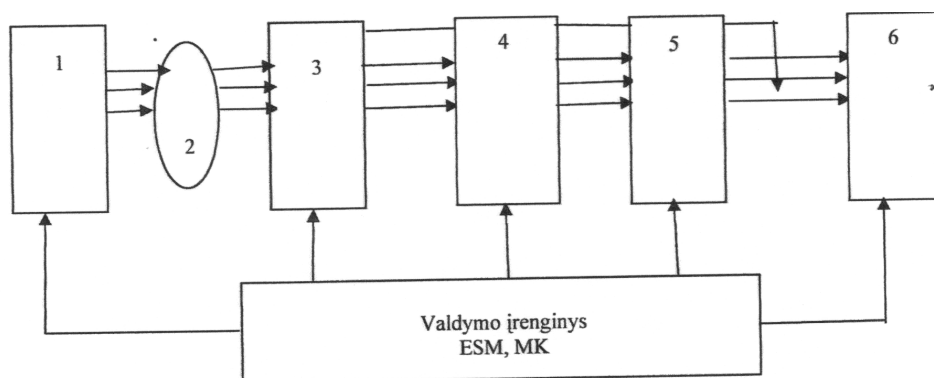
Kiekvienoje IMS galima išskirti tokius pagrindinius blokus (3.13 pav.):

- matavimo priemonė, susidedanti iš mechaninių dydžių, elektrinių dydžių ir informacinių keitiklių;
- informacijos keitikliai, apdorojantys informaciją pagal nurodytą algoritmą ir atliekantys (matematinės operacijas, moduluojantys signalą ir pan.);

- informacijos saugojimo įrenginys;
- informacijos vaizdavimo keitiklis, paverčiantis matavimo informaciją vizualiai matomą;
- valdymo ar skaičiavimo įrenginys, organizuojantis visų IMS mazgų tarpusavio sąveiką.

Informacija iš IMS gali būti pateikiama operatoriui arba ESM. Tiek operatorius tiek ESM gali būti per IMS valdymo bloką keiti jos darbo programą.

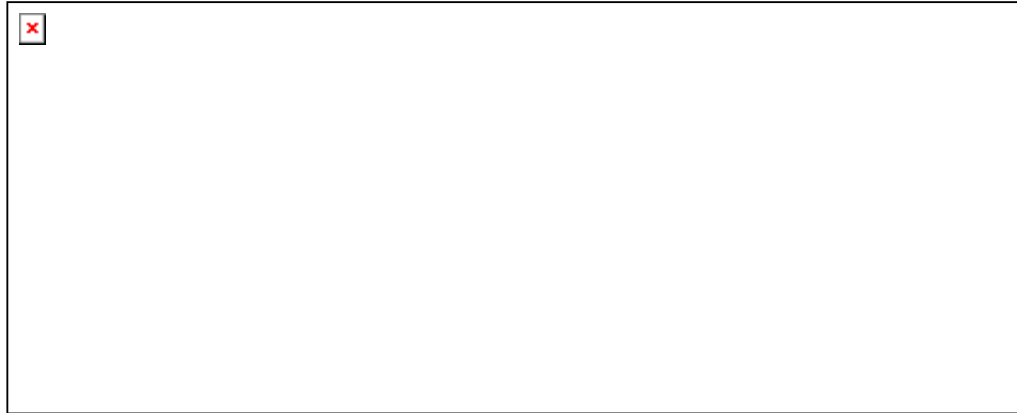
Racionaliausias IMS sudarymo principas – kai sistema kuriam kaip vienas įrenginys, susidedantis iš nepriklausomų funkcinų mazgų (modulių). Kiekvienas modulis yra baigtinės konstrukcijos mazgas. Moduliai yra sujungiami interfeisais. Kuriant sistemas, numatoma galimybė eksploatacijos procese keisti arba plėsti IMS struktūrą. Agregavimo principo privalumai ypač išryškėja tada, kai, sujungus atskirus modulius, nereikia daryti jokių konstrukcinių pakeitimų.



3.13 pav. Informacinės matavimo sistemos funkcinė schema: 1 – išorės veiksniai; 2 – objektas; 3 – keitikliai; 4 – matavimo rezultatų apdorojimas; 5 – informacijos registracija; 6 – informacijos atvaizdavimas.

„Spider 8” tipo prietaisas turi keturis sukomplektuotus kanalus, kiekvienas kanalas atlieka matuojamojo dydžio keitimo funkcijas – matuojamojo dydžio pajutimą, šio priimtojo dydžio pakeitimą į elektrinį signalą, jo stiprinimą, analoginio signalo keitimą į skaitmeninį ir filtravimą. Kiekviename „Spider 8“ kanale yra maitinimo šaltinis pasyviems deformacijų keitikliams, stiprintuvas, filtras ir analoginis skaitmeninis (A/D) keitiklis. Visi A/D keitikliai dirba sinchroniškai (taip užtikrinamas matavimas tuo pačiu metu visuose kanaluose) ir teikia iki 9600 matavimų per sekundę (taip apimamas visas matuojamų mechaninių dydžių diapazonas) [17]. Prie esamo lizdo PC/MASTER galima prijungti kompiuterį arba kitą „Spider 8” bloką ir taip galima nuosekliai sujungti aštuonis „Spider 8” su iš viso 64 kanalais. Jokie papildomi nustatymai yra nereikalingi, t.y. kompiuterių sistema prisistato tiesiog kaip prietaisas sus 8, 16 arba net 64 kanalais, kurie visi tarpusavyje yra sinchronizuoti. Ši sistema tinkama naudoti su tenzorezistoriniais, induktyviniais, potenciometriniais ir kitais deformacijų

matavimo jutikliais. Matavimo signalų apdorojimo schema (kai jutikliai sujungti pilnuoju tilteliu) pateikta 3.14 pav.



3.14 pav. Deformacijų keitiklio į elektrinę įtampą schema.

Matuojamąsias deformacijas pajaučia tenzorinis jutiklis ir paverčia ją elektrinės varžos pokyčiu, o šis panaudojant tiltelinę schemą (3.14 pav.), elektrinės grandinės polychiu.

Šie elektriniai signalai panaudojami išėjimo dydžiui suformuoti.

Išėjimo įtampa:

$$U_{i\check{s}} = U_m \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right). \quad (3.14)$$

čia: U_m – tilto maitinimo įtampa; R_1, R_2, R_3, R_4 – varžos.

Kintant jutiklių varžoms, keičiasi ir išėjimo įtampa. Kai tiltelis subalansuotas, t.y. $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$, tuomet išėjimo įtampa $U_{i\check{s}} = 0$. Deformacijų matavimui dažnai naudojamas nesubalansuotas tiltelio režimas. Išėjimo signalas (milivoltai kiekvienam įėjimo voltui) formuojamas, kaip nuokrypis nuo pradinio signalo. Maitinimui naudojami 10 V įtampos pastoviosios srovės šaltiniai.

Kai aktyvus tik vienas jutiklis (žr. pavyzdžiui, pav. 2.3) ir jo varža keičiasi dėl atitinkamos detalės deformacijos, tuomet šio jutiklio varža $R_1 = R + \Delta R = R_x$ (ΔR - varžos pokytis dėl deformacijų), tai išėjimo įtampa [19, 20]:

$$U_{i\check{s}} = U_m \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right). \quad (3.15)$$

arba

$$\frac{U_{i\check{s}}}{U_m} = \frac{R_x}{R_x + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} = \frac{R_2 \Delta R}{(R_1 + R_2)^2 \left(1 + \frac{\Delta R}{R_1 + R_2} \right)}. \quad (3.16)$$

Kai $R_1=R_2$ ir $\Delta R \ll (R_1+R_2)$, tuomet:

$$\frac{U_{I\dot{s}}}{U_m} \approx \frac{1}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R}. \quad (3.17)$$

Jeigu du aktyvieji jutikliai jungiami į gretimas tiltelio šakas ir kinta jų abiejų varžos dydžiu ΔR , tuomet [19]:

$$\frac{U_{I\dot{s}}}{U_m} \approx \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R}. \quad (3.18)$$

Apsaugai nuo elektromagnetinių trukdžių yra naudojamas ekranas, sujungtas su korpusu, tuomet visa matavimo sistema yra ekranuojama ir jos neveikia išoriniai elektromagnetiniai laukai.

Be pateiktos 2.3 pav. tiltelio jungimo schemas, gali būti panaudota pusės ir ketvirčio tiltelio schemas.

Informacija išvedama į kompiuterį, o kompiuteryje gauti rezultatai apdorojami „Catman“ programa. Ši programa taip pat atlieka matavimo rezultatų vizualizavimą ir valdymą.

3.2.3 Tenzodaviklių žymėjimas

Tenzorezistoriniai keitikliai keičia pailgėjimo pokytį į varžos pokytį. Tenzodavikliai būna vieliniai, foliniai ir puslaidininkiniai. Vielinį tenzodaviklį sudaro vingiais išlankstyta 0,01- 0,03mm storio konstantano, manganinio, nichromo vielutė, priklijuota prie popieriaus ar lakų plėvelės su prilituotais išvadas.

Rusijoje gaminami tenzodavikliai žymimi raidiniu žymėjimu, po to nurodoma jo bazės ilgis ir varža. Tenzodavikliai su popieriniu pagrindu žymimi 2PKB, PPKBK, K, lako plėvelės pagrindu PKP, PPKB.

Šių tenzodaviklių bazė būna nuo 8 iki 100 mm, varža 50 – 400 Ω. Be vielinių naudojami ir foliniai tenzodavikliai, kuriuose vietoj vielėlių naudojama 4...12 μm storio stačiakampio skerspjuvio tų pačių metalų juostelės, priklijuotos prie popieriaus ar įlietos į lakų pagrindo plėvelę.

Foliniai tenzodavikliai ant lako VL – 031 pagrindo žymimi 2FKPA.

Dabar dažniausiai naudojami foliniai tenzodavikliai. Jie mechaniškai atsparesni ir geriau tenkina termokompensacijos sąlygas.

Rusijoje gaminami foliniai tenzodavikliai su lakų plėvelės pagrindu, kurie priklausomai nuo konfigūracijos ir plėvelės medžiagos žymimi: 2FKPA, 1FKTK, FK-PB, FK-RB, 2FKMV, 2FKMG. Jie klijuojami laku VL-4, VL-931 ir kljais „Ciakrin“.

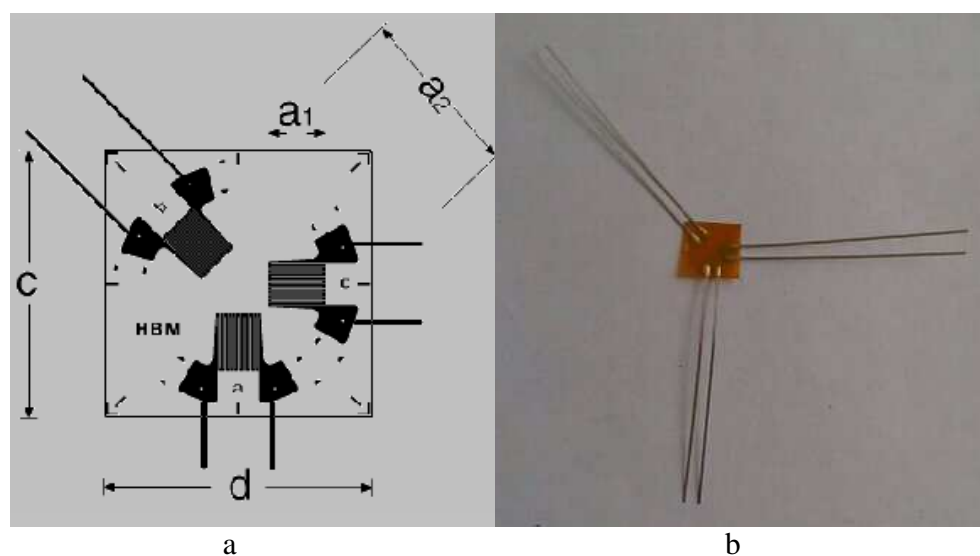
Tenzodaviklių žymėjimas priklauso nuo juos gaminančios firmos. Europoje plačiai žinoma HBM firma (Vokietija), gaminami tenzodaviklius ir antrinius prietaisus, signalams registruoti ir užrašyti. Šioje firmoje naudojamas toks folinių tenzorezistorių žymėjimas: pirmas ženklas parodo, ar jo išvadai standartiniai(1), ar su prilituotu kabeliu(K); antra raidė nurodo tenzodaviklių kiekį jo konstrukciniam išpildyme; trečia raidė – jo pagrindo ir folijos medžiagą; ketvirtas skaičius nurodo tinklelio konfigūraciją; penktas skaičius – ant kokios medžiagos tenzodaviklis bus klijuojamas [10, 17]. Toliau esantys skaičiai rodo tenzodaviklio bazės ilgį ir jo varžą. Tenzodaviklis žymimas:

1-LY11-10/120, kai jis pagamintas iš konstantano folijos su poliamido pagrindu, skirtas klijuoti ant feritinio plieno. Jo bazė $l = 10$ mm ir varža $R_t = 120 \Omega$. Kai jis skirtas klijuoti ant aliuminio, žymimas 1-LY13-10/120.

Puslaidininkiniuose tenzodavikliuose panaudotas 20...50 μ m storio ir iki 0,5 mm pločio puslaidininkis (silicio n ir germanio p). Jie labai jautrūs, chemiškai inertiški. Žymimi KD-1, KTD-3, KTDM 1-2, mažos bazės JU-8A, JU-8B, $l = 1,4$ mm.

3.2.4 Dviračio rėmo eksperimentinio tyrimo metodika

Dviračio rėmo stiprumo tyrimus atlikome aukščiau išnagrinėta „Spider 8” sistema. Kadangi bandymo metu šakėje veikiančių svarbiausių įtempimų veikimo kryptis buvo nežinoma, buvo nuspręsta pasirinkti rozetės tipo tenzodaviklį. Bandymams buvo pasirinktas tenzodaviklis 1-RY13-3/120 (3.15 pav.).



3.15 pav. Jutiklio bendras vaizdas a ir nuotrauka b

Daviklio duomenys: $a_1 = 0.8 \text{ mm}$, $a_2 = 3 \text{ mm}$, $b = 0.8 \text{ mm}$, $c = 7 \text{ mm}$, $d = 7 \text{ mm}$. Daviklis pagamintas iš konstantano folijos aplietas poliamidu, matavimo bazė 3 milimetrai, varža $120 \ \Omega$, maksimali matavimo įtampa 1.5 V, jutiklių išdėstymas vienas kito atžvilgiu $0^\circ/45^\circ/90^\circ$. Šie jutikliai skirti matuoti plieninių detalių deformacijom [10, 17].

Jutiklio klijavimas – tai tikslus, kruopštumo reikalaujantis darbas, atliekamas pagal tam procesui sudarytas instrukcijas. Klijuojamasis paviršius turi būti švarus, kad jutiklis tinkamai prikibtų, todėl pirmiausiai tinkamai paruošiamas paviršius: nušveičiami nelygumai ir nuriebalinamas paviršius (3.16 pav.) [26]. Po to seka paviršiaus padengimas kliais ir jutiklio klijavimas (3.17 pav.). Jutiklis ant rėmo priklijuotas Z-70 kliais. Šie kliai yra greitai stingstantys, pagaminti iš cyanoakrilino, specialiai sukurti tenzodavikliu klijavimui. Jais galima klijuoti visus HBM firmos gaminamus daviklius prie visų metalų ir įvairių plastikų. Z70 netinkami klijuoti prie korėtų medžiagų, kaip medis, betono ir putplasčio. Šie kliai stingsta nuo oro drėgmės ir mechaninio spaudimo. Geriausiai jie stingsta kai oro drėgmė yra nuo 40% iki 70%. Jeigu oro drėgmė yra mažiau nei 30% klijų stingimas gali ilgai užtrukti arba jie išviso nesustings. Jeigu oro drėgmė didesnė nei 80% kliai greičiau sustings nei numatyta. Per numatytą laiką Z70 sustingsta tik plonais sluoksniais. Storais sluoksniais kliai galutinai nesustingsta. Stingimo greitis priklauso nuo klijuojamų paviršių cheminės būklės. Neutralūs paviršiai pagreitina klijų stingimą, rūgštiniai – jį stabdo arba išviso užkerta kelia klijų stingimui. Klijuojant prie plieno, kliai sustingsta per 60..120 sekundžių, prie aliuminio – per 50...100, prie plastikų – 10...60 sekundžių. Žemesnėje kaip kambario temperatūra klijų stingimas užtrunka ilgiau [26].

Prikljuotas jutiklis prijungtas prie informacinės matavimo sistemos „Spider 8“ pasirenkant ketvirčio tiltelio jungimą.

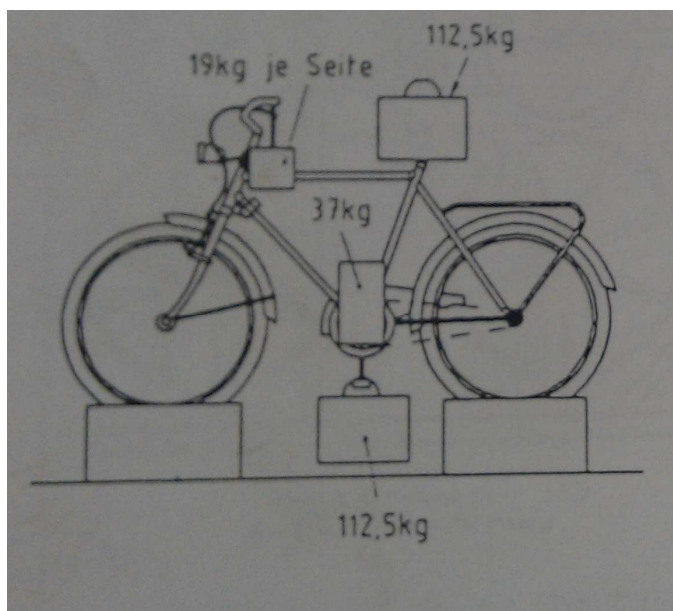


3.16 pav. Rėmo paruošimas daviklio klijavimui



3.17 pav. Priklijuotas jutiklis

Kaip ir jutiklio klijavimas, dviračio rėmas apkraunamas naudojantis tam numatyta tvarka taip pat. Pagal bandymo standartą DIN 79100 [27] dviračio rėmas apkraunamas bendra apkrovimo jėga 3000 N, apkraunant statiškai skirtingas dviračio dalis (3.18 ir 3.20 pav.). Pradžiai dviračio rėmas įtvirtinamas statinio bandymo stende, kaip parodyta 3.12 paveikslėlyje ir vėliau apkraunamas svoriais (3.13 pav.).



3.18 pav. Apkrovimo schema. Apkrovimo svoriai: vairas – du svoriai po 19kg, sėdynė – svoris 112.5kg, pedalai – svoris 37kg vienas pedalas ir svoris 112.5kg kitas pedalas



3.19 pav. Dviračio rėmo įtvirtinimas



3.20 pav. Apkrautas dviračio rėmas

4. DVIRAČIO RĖMO STIPRUMO EKSPERIMENTINIŲ REZULTATŲ ANALIZĖ

4.1 Deformacijų ir įtempimų skaičiavimai

Dviračio rėmai paprastai gaminami iš plieno, aliuminio lydinių, dabartiniu metu iš anglies pluošto. Bandymas atliktas su dviračio rėmo, kuris pagaminta iš aliuminio lydinio 1060-H14. Aliuminio 1060-H14 cheminė sudėtis ir mechaninės charakteristikos [21, 25] pateiktos 4.6 ir 4.7 lentelėse.

4.6 lentelė. Aliuminio 1060-H14 cheminė sudėtis %

Al, min	Si	Mn	Cr	Fe	Mg	Zn	V	Ti	Bi	Ga	Pb	Zr
99,6	0,25	0,03	0,03	0,35	0,03	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03

4.7 lentelė. Aliuminio 1060-H14 mechaninės charakteristikos

Takumo riba σ_T , MPa	Stiprumo riba σ_B , MPa	Santykinis skerspjuvio susitraukimas Ψ , %	Tamprumo modulis E, MPa	Puasono koeficientas ν
90	95	12	$69 \cdot 10^3$	0,33

Dėl per didelio kiekio duomenų, dalis gautų deformacijų ir įtempimų reikšmių pateikta 4.8 lentelėje. Jose pateikta tik dalis rezultatų gautų bandymo pradžioje, kai apkrova 0 N ir kai apkrova yra maksimali – 3000 N.

4.8 lentelė. Deformacijos ir įtempimai (Catman programos parodymai)

Laikas s	Deformacijos			Svarbiausieji įtempimai	
	$\mu\text{m/m}$			σ_1	σ_2
	ε_a	ε_c	ε_b	MPa	MPa
	Daviklis a	Daviklis c	Daviklis b		
0	1,44	-0,48	0,96	10,59409	-10,497
0,02	1,44	-4,4E-16	0,96	10,62602	-10,4804
0,04	1,44	-4,4E-16	0,48	10,60573	-10,4602
0,06	0,96	-4,4E-16	0,48	10,58694	-10,4899
0,08	0,96	-0,96	0,48	10,58473	-10,5847
0,1	0,96	-1,44	0,48	10,56217	-10,6107
0,12	0,96	-0,96	5,66E-15	10,58085	-10,5808
0,14	0,96	-1,92	-0,48	10,56149	-10,6585
0,16	0,96	-0,96	5,66E-15	10,55817	-10,5582
0,18	0,48	-1,92	5,66E-15	10,52942	-10,675

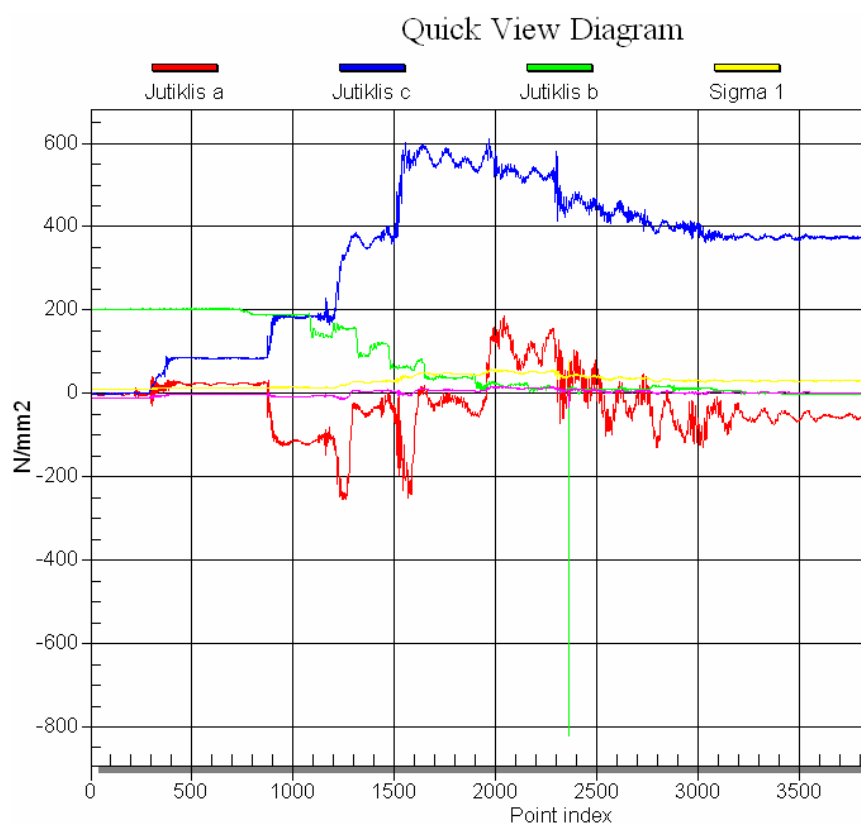
0,2	0,48	-0,96	5,66E-15	10,5691	-10,6176
0,22	0,48	-1,44	-0,48	10,54731	-10,6444
0,24	0,48	-0,96	-0,48	10,55269	-10,6012
0,26	5,66E-15	-0,96	-0,96	10,55737	-10,6544
0,28	-0,48	-1,44	-0,96	10,53399	-10,7281
0,3	5,66E-15	-0,48	-0,96	10,5964	-10,6449
0,32	5,66E-15	-4,4E-16	-1,44	10,61823	-10,6182
0,34	5,66E-15	-4,4E-16	-0,96	10,59167	-10,5917
0,36	-0,48	-1,44	-1,44	10,53477	-10,7289
0,38	-0,48	-0,96	-1,92	10,54256	-10,6881
0,4	-0,96	-1,44	-1,92	10,52933	-10,772
0,42	-0,96	-0,48	-1,92	10,55271	-10,6983
0,44	-0,96	-0,48	-1,92	10,54883	-10,6944
0,46	-1,44	-0,96	-1,92	10,52933	-10,772
0,48	-0,96	-0,96	-2,4	10,55116	-10,7453
0,5	-1,44	-1,44	-2,4	10,50748	-10,7986
0,52	-1,92	-1,92	-2,88	10,49424	-10,8824
0,54	-1,92	-0,96	-2,88	10,50751	-10,7987
0,56	-1,92	-1,44	-2,88	10,49191	-10,8316
0,58	-1,92	-1,44	-3,36	10,49579	-10,8355
0,6	-1,92	-0,96	-3,84	10,50751	-10,7987
0,62	-2,4	-1,92	-3,36	10,47867	-10,9154
0,64	-2,4	-1,44	-3,36	10,51852	-10,9067
0,66	-2,88	-1,92	0,96	10,48808	-10,9733
0,68	-2,88	-1,92	0,96	10,48808	-10,9733
0,7	-2,88	-1,92	0,48	10,48808	-10,9733
0,72	-3,36	-1,92	0,48	10,47643	-11,0102
0,74	-3,84	-1,44	0,48	10,4492	-10,983
0,76	-3,36	-1,92	0,48	10,43505	-10,9688
0,78	-3,36	-0,96	5,66E-15	10,4687	-10,9054
0,8	-3,36	-0,96	-0,48	10,47258	-10,9093
0,82	-3,36	-0,96	5,66E-15	10,48273	-10,9195
0,84	-3,84	-1,44	5,66E-15	10,4664	-11,0002
0,86	-4,32	-1,92	5,66E-15	10,43913	-11,07
0,88	-4,32	-1,44	-0,48	10,44147	-11,0238
0,9	-4,32	-1,92	-0,48	10,44689	-11,0777
0,92	-4,32	-2,4	-0,96	10,43125	-11,1106
0,94	-4,32	-2,4	-0,96	10,41405	-11,0934
0,96	-4,32	-1,92	-0,96	10,42272	-11,0535
0,98	-4,32	-2,4	-1,44	10,41017	-11,0895
1	-4,32	-2,88	-0,96	10,4054	-11,1333
1,02	-4,32	-1,92	-1,44	10,41488	-11,0457
1,04	-4,32	-2,88	-1,92	10,41634	-11,1442
1,06	-4,32	-1,92	-1,92	10,44689	-11,0777
1,08	-4,32	-1,92	-1,92	10,44611	-11,0769
1,1	-4,32	-0,96	-1,92	10,46967	-11,0034
1,12	-4,32	-1,44	-1,92	10,44147	-11,0238
1,14	-4,32	-1,92	-2,4	10,42581	-11,0566
1,16	-3,84	-1,92	-2,4	10,46788	-11,0502
1,18	-3,84	-1,44	-2,88	10,44532	-10,9791
1,2	-3,84	-1,92	-2,88	10,4609	-11,0432

1,22	-3,84	-2,4	-2,88	10,44599	-11,0768
1,24	-3,84	-1,92	-3,36	10,43744	-11,0197
1,26	-3,84	-1,44	-3,84	10,46252	-10,9963
1,28	-3,36	-1,44	-3,36	10,4296	-10,9149
1,3	-3,36	-1,92	-3,36	10,42412	-10,9579
1,32	-3,36	-1,92	0,96	10,45923	-10,993
1,34	-3,36	-1,92	0,96	10,47952	-11,0133
1,36	-2,88	-1,44	0,48	10,50608	-10,9428
1,38	-2,88	-1,44	0,48	10,46858	-10,9053
1,4	-2,88	-1,44	0,48	10,47246	-10,9092
1,42	-2,88	-1,92	0,48	10,45685	-10,9421
1,44	-2,4	-0,96	5,66E-15	10,51932	-10,859
1,46	-2,4	-2,88	-0,48	10,49279	-11,0266
1,48	-1,92	-1,92	5,66E-15	10,50677	-10,895
1,5	-1,44	-1,44	5,66E-15	10,52001	-10,8112
1,52	-1,92	-2,88	5,66E-15	10,467	-10,9523
1,54	-1,44	-1,92	-0,48	10,47471	-10,8144
1,56	-1,44	-2,4	-0,48	10,48024	-10,8684
1,58	-1,44	-1,92	-0,96	10,50594	-10,8456
1,6	-0,96	-4,4E-16	-0,96	10,56443	-10,6615
1,62	-0,96	-0,96	-0,96	10,55116	-10,7453
1,64	-0,96	-0,96	-1,44	10,53713	-10,7312
1,66	-0,48	-1,92	-0,96	10,51148	-10,7541
1,68	-0,48	-1,92	-1,44	10,51924	-10,7619
1,7	-0,48	-2,4	-1,92	10,49745	-10,7886
1,72	-0,48	-1,92	-1,92	10,48801	-10,7306
1,74	5,66E-15	-0,48	-1,92	10,56904	-10,6176
1,76	0,48	-0,96	-1,92	10,58242	-10,6309
1,78	0,48	-1,44	-1,92	10,55746	-10,6545
1,8	0,48	-0,48	-2,4	10,58393	-10,5839
1,82	0,48	-0,96	-2,4	10,56601	-10,6145
1,84	0,48	-1,92	-2,88	10,55916	-10,7047
1,86	0,48	-1,92	-2,88	10,56621	-10,7118
1,88	0,48	-1,92	-2,88	10,54513	-10,6907
1,9	0,96	-0,96	-3,36	10,57387	-10,5739
1,92	0,96	-0,96	-3,84	10,5707	-10,5707
1,94	1,44	-1,44	-3,36	10,58417	-10,5842
1,96	1,44	-1,44	-3,36	10,5607	-10,5607
1,98	0,96	-1,44	0,96	10,54196	-10,5905
2	0,96	-1,44	0,96	10,54584	-10,5944
77	-51,36	378,72	-2,42329	30,77799	2,316131
77,02	-51,36	375,36	-2,31334	30,48123	2,273218
77,04	-50,88	375,84	-2,31334	30,54511	2,306391
77,06	-50,4	377,28	-2,09324	30,68575	2,359849
77,08	-50,88	375,84	-2,50934	30,55138	2,300114
77,1	-50,88	375,36	-2,48377	30,50867	2,294302
77,12	-51,36	375,36	-2,43563	30,48514	2,26931
77,14	-50,4	378,24	-2,28861	30,77581	2,366838
77,16	-50,88	378,24	-2,25144	30,7526	2,341526
77,18	-51,84	377,76	-2,28861	30,66792	2,280628
77,2	-51,84	379,2	-2,14042	30,78885	2,305267

77,22	-52,32	378,24	-2,10432	30,68198	2,266569
77,24	-52,32	378,24	-2,22792	30,68592	2,262629
77,26	-52,32	377,28	-2,31334	30,60487	2,246629
77,28	-51,84	377,28	-2,28861	30,62603	2,273992
77,3	-51,36	375,84	-2,31334	30,52312	2,279853
77,32	-50,4	377,28	-2,34908	30,69395	2,351643
77,34	-50,88	375,84	-2,15393	30,54	2,311493
77,36	-50,4	375,84	-2,16678	30,56242	2,337605
77,38	-49,44	377,76	-2,22792	30,77606	2,415111
77,4	-49,92	375,84	-2,37465	30,59112	2,357431
77,42	-50,88	374,4	-2,43563	30,42334	2,282582
77,44	-51,36	375,84	-2,37465	30,52508	2,277893
77,46	-51,84	376,32	-2,48377	30,54848	2,254488
77,48	-53,28	374,88	-2,28861	30,35085	2,160973
77,5	-54,24	374,88	-2,22792	30,30521	2,109561
77,52	-55,2	374,4	-2,28861	30,22163	2,047562
77,54	-56,16	373,44	-2,09324	30,08825	1,986848
77,56	-56,64	372,96	-2,28861	30,03079	1,947249
77,58	-56,16	373,92	-2,27476	30,1358	1,987817
77,6	-55,2	375,84	-2,49639	30,35379	2,060981
77,62	-55,2	376,32	-2,44802	30,39413	2,069164
77,64	-53,76	377,28	-2,16678	30,53449	2,171426
77,66	-53,76	375,36	-2,06584	30,3638	2,148025
77,68	-52,8	378,24	-2,32073	30,66694	2,233081
77,7	-52,8	378,24	-2,31334	30,6667	2,233316
77,72	-53,76	375,84	-2,50934	30,41973	2,140617
77,74	-54,24	376,32	-2,34908	30,43466	2,125683
77,76	-54,72	375,36	-2,25144	30,326	2,088772
77,78	-55,68	375,84	-2,11676	30,32003	2,046211
77,8	-55,68	378,24	-2,0321	30,52669	2,082184
77,82	-56,16	377,76	-2,05374	30,46374	2,048083
77,84	-56,64	375,36	-2,16678	30,23625	1,984416
77,86	-57,12	373,44	-2,14042	30,04631	1,931737
77,88	-56,64	374,88	-2,34908	30,20012	1,972028
77,9	-56,64	374,88	-2,11676	30,19283	1,979315
77,92	-57,12	373,92	-2,37465	30,09549	1,931079
77,94	-57,12	373,44	-2,15393	30,04673	1,931315
77,96	-57,6	374,88	-2,0321	30,14679	1,928303
77,98	-58,08	373,44	-2,12282	30,00243	1,878567
78	-58,56	374,88	-2,22792	30,10959	1,86845
78,02	-59,52	373,44	-2,22792	29,94086	1,794562
78,04	-60,48	372,48	-2,10432	29,81026	1,731058
78,06	-60,96	372,96	-2,37465	29,83891	1,702406
78,08	-60,96	373,44	-2,05374	29,87083	1,71901
78,1	-60,48	373,44	-2,31334	29,90038	1,737991
78,12	-59,52	376,32	-2,64402	30,20482	1,82175
78,14	-59,04	376,32	-2,50934	30,22226	1,852838
78,16	-59,52	374,4	-2,25144	30,02526	1,80721
78,18	-58,56	374,88	-2,44802	30,11645	1,861589
78,2	-58,56	372,48	-2,59458	29,9118	1,823618
78,22	-57,6	374,4	-2,25144	30,1118	1,914773

78,24	-57,12	373,92	-1,98813	30,0834	1,943174
78,26	-58,08	371,52	-1,96964	29,83028	1,85661
78,28	-57,12	374,4	-2,00574	30,1258	1,949298
78,3	-58,56	372	-2,43563	29,86501	1,821887
78,32	-59,52	369,6	-2,52128	29,61528	1,731939
78,34	-59,04	372,96	-2,75219	29,93692	1,798499
78,36	-60,48	370,56	-2,57031	29,65735	1,689867

Gautų rezultatų grafikas pateiktas 4.21 paveiksle.



4.21 pav. Deformacijų ir svarbiausių įtempimų diagrama (iš Catman programos)

4.2 Eksperimentinių rezultatų palyginimas

Pasinaudoję gautais bandymo rezultatais (gautomis deformacijomis) pagal 4.1 formulę apskaičiuojame svarbiausius įtempimus ir palyginame su gautais Catman programa ir apskaičiuojame skaičiavimų paklaidą (4.2 formule).

$$\sigma_{1/2} = \frac{E}{1-\nu} \cdot \frac{\varepsilon_a + \varepsilon_c}{2} \pm \frac{E}{\sqrt{2}(1+\nu)} \cdot \sqrt{(\varepsilon_a - \varepsilon_b)^2 + (\varepsilon_c - \varepsilon_b)^2} \quad (4.1)$$

$$P = \left(\frac{\sigma_{1/2s} - \sigma_{1/2a}}{\sigma_{1/2s}} \right) \cdot 100\% \quad (4.2)$$

Dalis gautų paklaidų skaičiavimo rezultatų pateikti 4.9 lentelėje.

4.9 lentelė. Svarbiausiųjų įtempimų palyginimas

Catman		Svarbiausieji įtempimai			
		Paskaičiuoti		Paklaida	
σ_1	σ_2	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2
MPa	MPa	MPa	MPa	%	%
14,88383	-7,89621	43,33242	-23,5838	191,1376	198,6729
14,84849	-7,86087	43,2286	-23,48	191,1314	198,695
14,78529	-7,74915	43,04027	-23,1546	191,1019	198,8011
14,69246	-7,75337	42,77296	-23,1615	191,1219	198,7288
14,70641	-7,7188	42,81126	-23,0627	191,1061	198,786
14,74135	-7,60816	42,90578	-22,7458	191,0574	198,9657
14,75182	-7,66715	42,93924	-22,9164	191,0776	198,8904
14,7255	-7,83494	42,87274	-23,3985	191,1462	198,6425
14,69466	-7,85262	42,78485	-23,4477	191,1591	198,5971
14,76453	-7,67986	42,97657	-22,9537	191,0799	198,8819
14,79128	-7,51252	43,04437	-22,4729	191,0117	199,14
14,7674	-7,58569	42,97962	-22,6825	191,0439	199,0168
14,70311	-7,66697	42,79887	-22,9132	191,0871	198,8553
14,70039	-7,66425	42,79087	-22,9052	191,0866	198,8571
14,68143	-7,69382	42,73789	-22,9893	191,1016	198,8024
14,68588	-7,74679	42,75365	-23,1422	191,1208	198,733
14,78446	-7,65127	43,03243	-22,8724	191,0653	198,9363
14,8209	-7,54213	43,13137	-22,5599	191,0172	199,1188
14,72226	-7,73464	42,85781	-23,1092	191,1089	198,7757
14,75118	-7,61799	42,93466	-22,7747	191,0592	198,959
14,71921	-7,58602	42,84076	-22,6808	191,0534	198,981
14,65732	-7,57266	42,66166	-22,6388	191,0604	198,9545
14,64838	-7,61224	42,6381	-22,7524	191,0772	198,892
14,71302	-7,5313	42,81986	-22,5227	191,0339	199,0548
14,68308	-7,50136	42,73192	-22,4348	191,0283	199,076
14,68594	-7,55275	42,74302	-22,583	191,0472	199,004
14,65142	-7,66381	42,64973	-22,9012	191,0962	198,8222
14,6648	-7,58013	42,68361	-22,6608	191,0618	198,9494
14,6727	-7,49098	42,70142	-22,4043	191,0264	199,0834
14,60584	-7,5697	42,51314	-22,6274	191,0694	198,9209

14,65319	-7,56853	42,64953	-22,6267	191,0596	198,9574
14,68294	-7,50123	42,73151	-22,4344	191,0283	199,0761
14,60045	-7,61284	42,5	-22,7514	191,0869	198,8561
14,63023	-7,73967	42,59288	-23,1186	191,1292	198,7027
14,68775	-7,70014	42,75644	-23,0079	191,1027	198,7982
14,68813	-7,74904	42,76025	-23,1488	191,1212	198,7315
14,6458	-7,80376	42,64132	-23,3042	191,1504	198,6274
14,60112	-7,85613	42,51545	-23,4526	191,1795	198,5262
14,65482	-7,8613	42,6705	-23,4705	191,1705	198,5574
14,68221	-7,64607	42,73748	-22,8518	191,0833	198,8693
14,60501	-7,71445	42,51881	-23,0445	191,1247	198,7189
14,56947	-7,77595	42,41979	-23,2198	191,1554	198,6101
14,54933	-7,75581	42,36062	-23,1606	191,1518	198,6228
14,59323	-7,75119	42,48688	-23,1497	191,1411	198,6605
14,59892	-7,8054	42,5063	-23,3063	191,1606	198,5918
14,61927	-7,77723	42,56338	-23,2262	191,1457	198,6441
14,6119	-7,86691	42,54712	-23,4843	191,1814	198,5196
14,62746	-7,88247	42,59284	-23,53	191,1841	198,5102
14,60754	-7,91108	42,53703	-23,6113	191,1991	198,4589
14,64002	-7,8465	42,62702	-23,427	191,1679	198,5664
14,65398	-7,81194	42,66533	-23,3282	191,1519	198,6223
14,56991	-7,87344	42,42648	-23,5008	191,1925	198,4814
14,55842	-7,91048	42,39542	-23,6068	191,209	198,4251
14,58333	-8,03244	42,47399	-23,9597	191,2504	198,2869
14,59592	-8,19061	42,51909	-24,4162	191,308	198,1004
14,54927	-8,28953	42,39015	-24,6987	191,3559	197,9508
14,57547	-8,26721	42,46442	-24,6359	191,3416	197,9948
14,57155	-8,21476	42,45019	-24,4845	191,3225	198,0547
14,56675	-8,20996	42,43608	-24,4704	191,3217	198,0572
14,56303	-8,25477	42,42787	-24,5993	191,3396	198,0012
14,57226	-8,11842	42,44687	-24,2069	191,2855	198,1723
14,64155	-8,04214	42,64234	-23,9909	191,2419	198,315
14,58586	-8,18055	42,48955	-24,3867	191,3063	198,1057
14,60995	-8,15611	42,55761	-24,3176	191,2919	198,1519
14,62789	-8,22258	42,61301	-24,5102	191,3134	198,0835
14,57734	-8,36613	42,47531	-24,921	191,379	197,88
14,59375	-8,33401	42,5208	-24,8294	191,3632	197,9283
14,65576	-8,25045	42,69486	-24,592	191,318	198,0688

Pagal 4.3 formulę apskaičiuojame ekvivalentinius įtempimus ir palyginame su gautaisiais „SolidWorks“ programa. Dalis skaičiavimo rezultatų ir maksimalių ekvivalentinių įtempimų palyginimas pateikti 4.10 lentelėje.

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2} \quad (4.3)$$

4.10 lentelė. Ekvivalentinių įtempimų palyginimas

Ekvivalentiniai įtempimai σ_i			
Catman		SolidWorks	Skirtumas
MPa	max, MPa	max, MPa	%
50,17295	51,37	61,2	16,1

IŠVADOS

1. Darbe atlikta bendrinė dviračio bandymų tarptaunių standartų, dviračio rėmo bandymų ir matavimo metodų apžvalga.
2. Atlikta informacinės matavimo sistemos „Spider 8” analizė, išnagrinėti jos privalumai ir taikymo galimybės.
3. Darbo metu įsisavinta tenzojutiklių klijavimo metodika.
4. Atlikti bandymai virtualaus modeliavimo sistema. Skaičiavimų dėka, nustatytos maksimalios stiprumo ir deformacijų reikšmės, kurios pateiktos lentelėse.
5. Atlikti bandymai informacine matavimo sistema. Gauti „Catman“ programos parodymai, formulių pagalba nustatytos paklaidos.
6. Palyginti virtualaus ir informacinio matavimo metodų rezultatai. Ekvivalentiniai įtempimai σ_i „SolidWorks“ metodu gauti 61.2 Mpa, „Catman“ programa - 51.37 Mpa. Ekvivalentinių įtempimų σ_i skirtumas sudaro ~ 16.1 %. Galima daryti prielaidą, kad matavimo informacine sistema rezultatai gauti tikslesni, nes: „Spider 8“ bandymo metu parinkta tiksli tenzojutiklių pritvirtinimo vieta. Gautieji maksimalūs įtempiai su pakankama atsarga neviršija leistinų reikšmių.
7. Matavimo sistema „Spider 8“ gali būti naudojama Šiaulių universiteto Technologijos fakultete veikiančiame Tehnologiniame bandymų centre daug greitesniam ir tikslesniam dviračių rėmų kokybės nustatymui, tačiau bandymams su šia sistema reikalingas aukštesnę kvalifikaciją turintis darbuotojas.

LITERATŪRA

1. www.baltikvairas.lt
2. www.iso.org
3. www.din.de
4. www.bsi-global.com/en/Standarts
5. www.lsd.lt
6. www.zeder.de
7. Электрические измерения неэлектрических величин / Турчин А., Новицкий П., Левшина В и др. Ленинград, 1985. 576 с.
8. Matavimų teorija ir praktika / Vekteris Vladas, Albinas Kasperavičius, Saulius Kaušinis, Rimantas Kanapėnas. Vilnius, 2000. 380p. ISBN 9986-524-26-1.
9. www.cas.su
10. www.hbm.com
11. Bražėnas A. Tamprumo ir plastiškumo teorijų pagrindai. Šiauliai, 2003. 193p. ISBN 9986 – 38 – 433 – 8.
12. Atkočiūnas J. Tamprumo teorijos pagrindai / Atkočiūnas J., Nagevičius J. Vilnius, 2004. 528p. ISBN 9986 – 05 – 793 – 0.
13. Žiliukas A. Medžiagų mechanika. Kaunas, 2004. 595p. ISBN 9955 – 09 – 729 – 9.
14. Pramoninė elektronika / Lašas Algirdas, Bartkevičius Vaclovas, Šurna Rimas ir kt. Vilnius, 1999. 255p. ISBN 5 – 420 – 00146 – 2.
15. Karpus V. Kietųjų kūnų fizika. Kristalinis būvis. Vilnius, 2002. 248p. ISBN 9955 – 497 – 04 – 01.
16. Žiliukas A. Stiprumo ir irimo kriterijai. Kaunas, 2006. 207p. ISBN 9955 – 25 – 134 – 4.
17. www.hbm.de/prodcutes/
18. www.hbm.cz
19. Thiel R. Elektrisches Messen nichtenlektrischen Grössen. Stuttgart, 1998. 195 S.
20. Bražėnas A. Eksperimentinės mechanikos pagrindai. Kaunas, 2006. 166p. ISBN 9986 – 38 – 663 – 2.
21. http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_alloy
22. Kubilius J. Tikimybių teorija ir matematinė statistika. Vilnius, 1996. 436p. ISBN – 9986 – 19 – 177 – 7.

23. Čekanavičius V. Statistika ir jos taikymai, I d. / Čekanavičius V., Murauskas G., Vilnius, 2006. 238p. ISBN 546 – 93 – 1.
24. Дьяконов В. МATHCAD 8/120. Специальный справочник. Санкт - Петербург, 2001. 590с. ISBN 5 – 272 – 0069 – 2.
25. [http://books.google.lt/books?id=Gt-CDa51IKwC&pg=PA9&lpg=PA9&dq=1060-H14+mechanical+characteristic&source=bl&ots=RPwYNhQtaq&sig=I9bm_Zh_EV-ww5X9hfec8_wY75w&hl=lt&ei=vIjoTbuWDdGSOq3cpKgb&sa=X&oi=book_result&ct=resu
lt&resnum=6&ved=0CDgQ6AEwBQ#v=onepage&q&f=false](http://books.google.lt/books?id=Gt-CDa51IKwC&pg=PA9&lpg=PA9&dq=1060-H14+mechanical+characteristic&source=bl&ots=RPwYNhQtaq&sig=I9bm_Zh_EV-ww5X9hfec8_wY75w&hl=lt&ei=vIjoTbuWDdGSOq3cpKgb&sa=X&oi=book_result&ct=resu
lt&resnum=6&ved=0CDgQ6AEwBQ#v=onepage&q&f=false)
26. Z70 ključų naudojimo instrukcija.
27. DIN 79100: 2000. Dvirčiai - saugumo technikos reikalavimai ir tikrinimas.

PRIEDAI