

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

Algimantas Ruseckas

Dviračio rėmo stiprumo analizė

Magistro darbas

Vadovas

doc. dr. R. Šniuolis

ŠIAULIAI, 2007

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas
d. Z. Ramonas

2007 06

Dviračio rėmo stiprumo analizė

Magistro darbas

Vadovas

doc. dr. R.Šniuolis

2007 06

Atliko

MM 5 gr. stud.
A.Ruseckas

Recenzentas

doc. dr. S.Rimovskis

2007 06 08

2007 06

ŠIAULIAI, 2007

SUMMARY

Ruseckas A. Bicycle frame strength analysis: Master thesis of mechanical engineer / research advisor Dr. R.Šniuolis; Šiauliai University, Technological Faculty, Mechanical Engineering Department. Šiauliai, 2007. – p.

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. Results of project also can be used in other kind strain and stress measuring.

LENTELĖS

4.1. Plieno 20 cheminė sudėtis.....	27
4.2. Plieno 20 mechaninės charakteristikos.....	27
4.3. Deformacijos ir įtempys (1-jo bandymo rezultatai).....	28
4.4. Deformacijos ir įtempys (2-jo bandymo rezultatai).....	30
4.5. Deformacijų įverčiai	40
4.6. Įtempių įverčiai įvairiose matavimo vietose.....	41

PAVEIKSLAI

1.1 pav. Rėmo ir priekinės šakės agregato smūgio bandymo schema.....	10
1.2 pav. Rėmo bandymo, naudojant pedalų minamąją jėgą, schema.....	11
2.1 pav. . Tenzorezistoriniai jutikliai.....	13
2.2 pav. Funkcinė matavimo sistemos schema.....	14
2.3 pav. Skaitmeninis - analoginis keitimas.....	16
2.4 pav. .Skaitmeninio analoginio keitiklio principinė schema.....	17
2.5 pav. Funkcinė analoginio skaitmeninio keitiklio schema.....	18
3.1 pav. Informacinės matavimo sistemos funkcinė schema.....	22
3.2 pav. Deformacijų keitiklio į elektrinę įtampą schema.....	23
3.3 pav. Jutiklio bendras vaizdas a ir jungtis b.....	25
3.4 pav. Jutiklių išdėstymo schema.....	26
3.5 pav. Jutiklių sujungimo (pusės tilto) su išvedimo įrenginiu schema.....	26
4.1 pav. Deformacijų kitimas (I bandymas, 1-ieji jutikliai).....	34
4.2 pav. Deformacijų kitimas (I bandymas, 2- ieji jutikliai).....	35
4.3 pav. Deformacijų kitimas (I bandymas, 3- ieji jutikliai).....	36
4.4 pav. Deformacijų kitimas (II bandymas, 1-ieji jutikliai).....	37
4.5 pav. Deformacijų kitimas (II. bandymas, 2 -ieji jutikliai).....	38
4.6 pav. Deformacijų kitimas (II bandymas, 3- ieji jutikliai).....	39

TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS	5
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	6
ĮVADAS.....	7
1. DVIRAČIO RĖMO BANDYMO METODIKA.....	9
Tarptautinių standartų apžvalga.....	9
Dviračio rėmo bandymai.....	9
1.2.1. Rėmo agregato smūgio bandymai.....	9
1.2.2. Rėmo bandymas, naudojant pedalų minamąją jėgą.....	11
2. MECHANINIŲ DYDŽIŲ MATAVIMO METODAI IR PRIEMONĖS.....	12
2.1. Matavimo metodų apžvalga.....	12
2.2. Matavimo sistemos sandara.....	13
2.3. Matuojamojo dydžio keitimo procesas.....	15
3. DVIRAČIO RĖMO STIPRUMO TYRIMAI.....	19
3.1. Deformuojamųjų metalų įtempių ir deformacijų būvis.....	19
3.2. Dviračio rėmo eksperimentiniai tyrimai	21
3.2.1. Dviračio rėmo bandymai informacine matavimo sistema.....	21
3.2.2. Dviračio rėmo eksperimentinio tyrimo metodika.....	24
4. DVIRAČIO RĖMO STIPRUMO EKSPERIMENTINIŲ REZULTATŲ ANALIZĖ.....	27
4.1. Deformacijų ir įtempių skaičiavimas.....	27
4.2. Eksperimentinių rezultatų įvertinimas.....	31
IŠVADOS.....	42
LITERATŪRA.....	43
PRIEDAI.....	44
1 priedas. Signalų apdorojimo prietaise Spider schema.....	45
2 priedas. Išėjimo signalai.....	46
3 priedas. Deformacijų kitimo grafikai.....	51

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 Technologiniam bandymų centre (TBC) nuolat vykdomi gamybiniai – technologiniai bandymai, matavimai ir tyrimai pagal Baltik Vairas užsakymus. Šių vykdomų bandymų bei matavimų patikimumas ir tikslumas svarbūs Baltik Vaire gaminamų dviračių kokybei.

Darbo objektas:

Darbas skirtas Baltik Vaire gaminamų dviračių kokybės analizei.

Tyrimo tikslas:

Išanalizuoti ir eksperimentiškai patikrinti dviračių rėmų stiprumo tyrimo metodą, naudojant plėvelinius tenzotujuklius ir informacinę matavimo sistemą, valdomą Catman programine įranga.

Darbo uždaviniai:

Atlikti galiojančių standartų ir dviračių rėmų stiprumo matavimo metodų analizę.

Išnagrinėti informacinę matavimo sistemą Spider 8 ir jos taikymą dviračių rėmų stiprumo tyrimams.

Išanalizuoti metalų įtempių ir deformacijų būvį.

Atlikti dviračio rėmo stiprumo eksperimentinius tyrimus.

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 rėmų ir kitų

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 gautų 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

Darbo struktūra ir apimtis.

Darbą sudaro: įvadas, 4 skyriai, išvados, literatūros sąrašas.

Darbo apimtis: 43 puslapiai, teksto be priedų, 18 paveikslėlių, 6 lentelės ir 24 bibliografiniai šaltiniai.

Pridedami 3 darbo priedai.

Darbo aprobavimas.

Darbas pristatytas ir aptartas konferencijoje „Jaunųjų mokslininkų darbai“, Šiauliai, 2007 m. gegužės 17 d.

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 Tarptautinė 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 2006 metų vasario 28 dienos (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 parengtos taip, kad būtų galima užtikrinti tiek atskirų dalių, tiek 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.

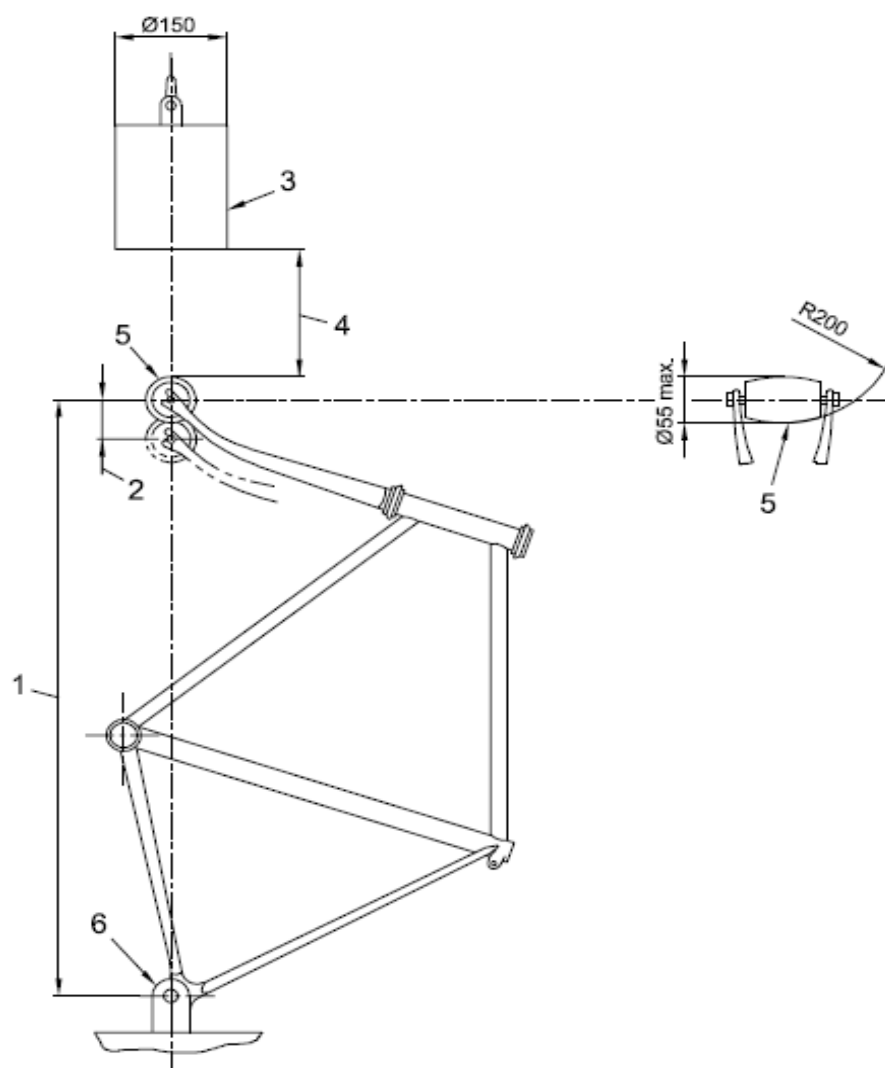
1. 2. Dviračio rėmo bandymai

1.2.1. Rėmo agregato smūgio bandymas

Gamintojai atlieka surinkto dviračio rėmo, 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 jungiama užpakalinė pakabos sistema, pakaba įtvirtinama tokioje pozicijoje, kokia būtų ant dviračio sėdint 80 kg svorio dviratininkui. Bandymo atlikimo schema duota 1.1 paveikslėlyje.

Pilnai sumontuotų 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 svorio dviratininkui. Bandymo atlikimo schema pateikta 1.1 paveikslėlyje.



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 jokios 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.), turi neviršyti:

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 deformavimusi. Jie dažniausiai taikomi statinėms mechaninės deformacijoms matuoti.

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

Fototamprumo arba optiniu įtempių 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 apkraunamas tiriamąja medžiaga ir apšviečiamas poliarizuotąja šviesa. Ekране gaunamas interferencinis vaizdas, kuriame maksimumų ir minimumų išsidėstymas priklauso nuo modelio įtempių būsenos. Analizuojant gautąjį vaizdą, galima nustatyti veikiančius įtempius.

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 jo deformacijos), taip pat naudojami induktyvieji, talpiniai, pjezoelektriniai ir kt. keitikliai.

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

Mechaniniams dydžiams (jėgoms, momentams, deformacijoms) matuoti dažniausiai naudojami tenzorezistoriniai keitikliai (vieliniai, plėveliniai, puslaidininkiniai) [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 santykinei deformacijai:

$$\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon, \quad (2.1)$$

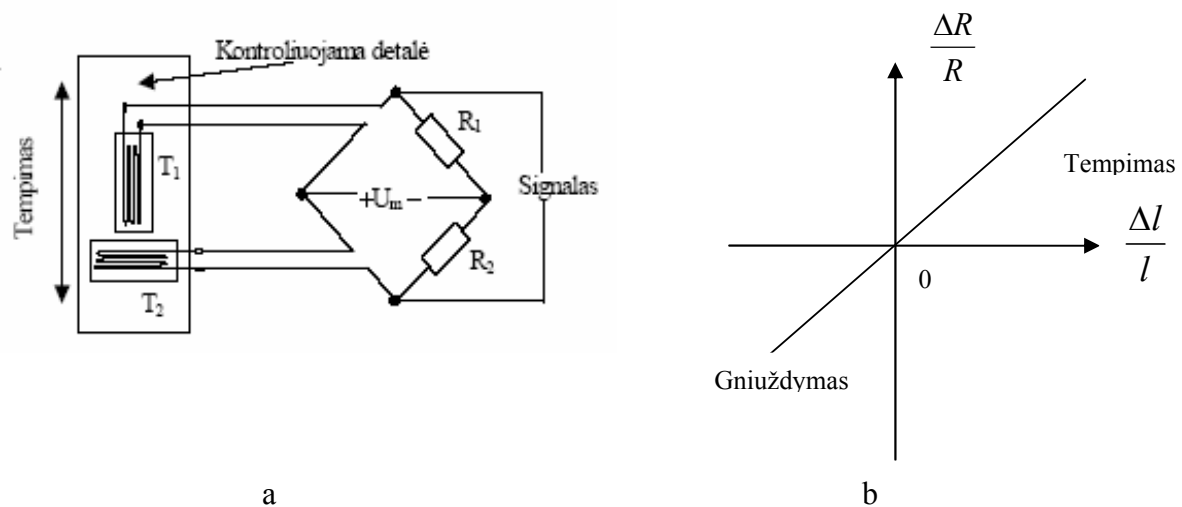
čia: $\frac{\Delta R}{R}$ – santykinis varžos pokytis; K – tenzorezistoriaus jautrio koeficientas (nustatomas eksperimentiškai); ε – santykinė deformacija.

Tenzorezistoriaus jautrio koeficientas kietiesiems kūnams:

$$K = (1 + 2\nu) + m, \quad (2.2)$$

čia: $\nu = -\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon}$ – Puasono koeficientas, ; $m = \frac{\Delta\rho/\rho}{\Delta l/l}$ (ρ – savitoji varža) – savitosios varžos pokytis, susijęs su medžiagos savybių kitimu. Metalams 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 priveržiami 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 1.3 paveikslėlyje.



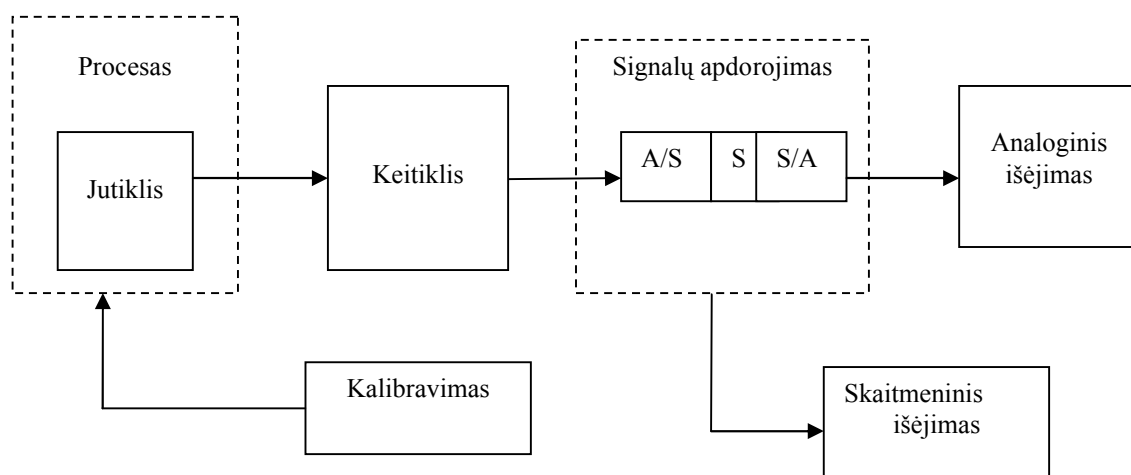
2.1 pav. Tenzorezistoriniai jutikliai: a – tenzorejutiklių įjungimo schema; b – vielinių tenzorejutiklių charakteristika

2.2 Matavimo sistemos sandara

Nagrinėjant įvairius matavimo prietaisus ir sistemas, galima išskirti tokias pagrindines matavimo sistemos dalis (2.2 pav.):

- a) jutiklis / keitiklis,
- b) signalų norminimo blokas,
- c) signalų (duomenų) apdorojimo blokas,

d) informacijos išvedimo blokas



2.2 pav. Funkcinė matavimo sistemos schema

Pirmasis bet kurios matavimo sistemos uždavinys yra pajauti matuojamąjį dydį. Šią funkciją atlieka jutiklis – matavimo prietaiso elementas, kuris panaudoja kokią nors fizikinę 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 informacija toliau apdoroti nenumatoma ir ji pateikiama stebėtojui 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 vertes galima tiesiogiai išmatuoti. Tai daroma ir tuo atveju, kai matuojamojo dydžio negalima perduoti arba užrašyti tokiu pavidalu, koku 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. Matuojamiesiems dydžiams pakeisti naudojami fizikiniai ar fizikiniai ir cheminiai efektai, kurių pasirinkimą dažniausiai riboja išėjimo dydžių pobūdis. Dažniausiai naudojami efektai, suteikiantys galimybę pakeisti matuojamąjį dydį elektros srove ar įtampa.

Matavimo signalams keisti naudojami operaciniai elementai, atliekantys tam tikras matematinės operacijas (sudėtį, atimtį, daugybą, dalybą, diferencijavimą, integravimą ir pan.). Tokiems matavimų 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 neigiamu įtampos grįžtamuoju 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:

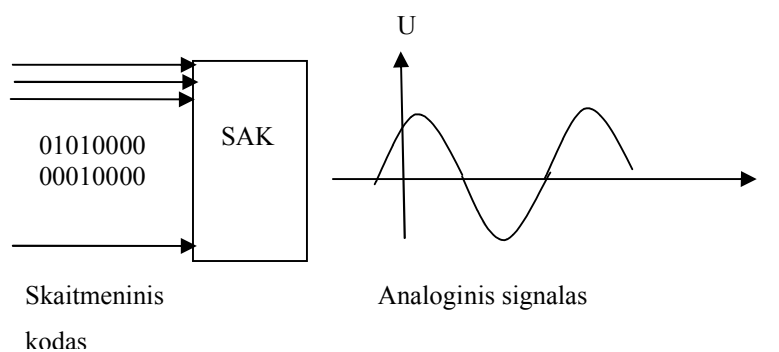
$$U_2(t) = h(U_1(t)), \quad (2.4)$$

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 (2.3 pav.), skirti keisti skaičiaus kodui į analoginį signalą (srovę arba įtampą).



2.3 pav. Skaitmeninis - analoginis keitimas

Apibendrinančioji SAK perdavimo funkcija:

$$U_{2x} = E_{et} (x_1 \cdot 2^{-1} + x_2 \cdot 2^{-2} + \dots + x_n \cdot 2^{-n}); \quad (2.5)$$

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 (2.4 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 (VRB) bitu varža R , kiekvienos jaunesnės skilties varža yra dvigubai didesnė. Jauniausios skilties (JS) rezistoriaus varža $2^{M-1} R$.

Keitiklio išėjimo įtampa:

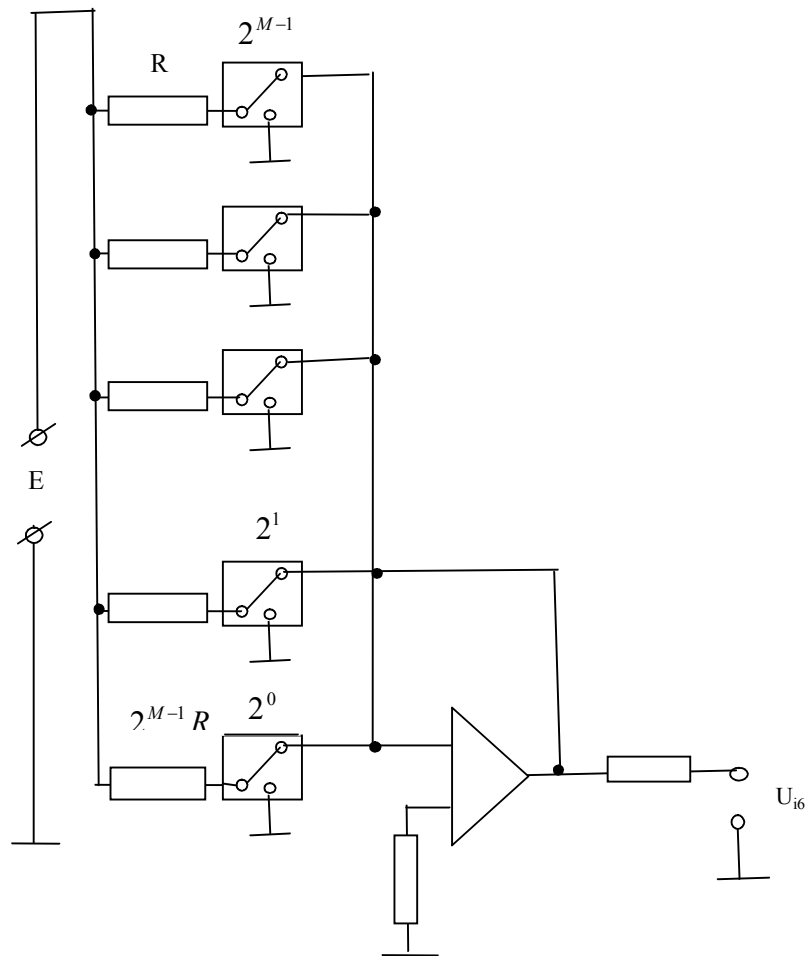
$$U_{iš} = IR_0, \quad (2.6)$$

čia: $I = E \sum_{m=1}^M \frac{C_m}{2^{M-1} R}$ (C_m - 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:

$$Y = \frac{U_{in}}{E_{et}} = y_1 \cdot 2^{-1} + y_2 \cdot 2^{-2} + \dots + y_n \cdot 2^{-n}; \quad (2.7)$$

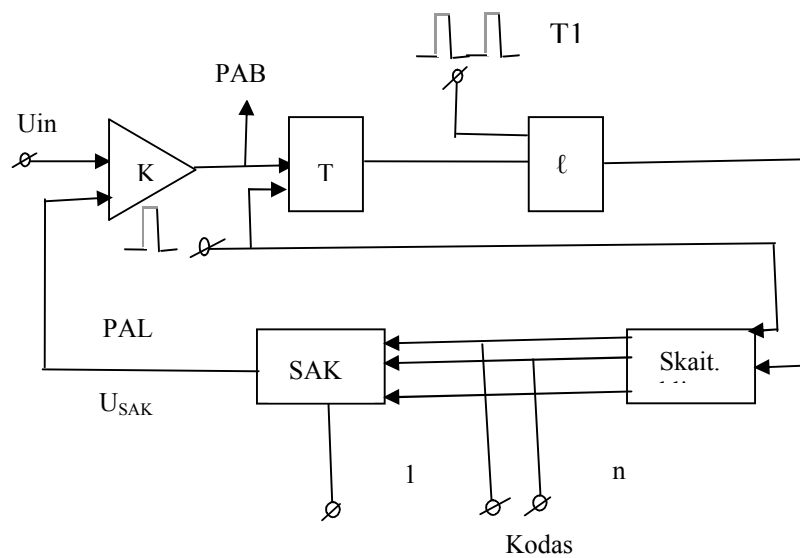
čia: n – dvejetainių skilčių skaičius, y_1, y_2, \dots, y_n - skilčių koeficientai, kurie gali būti arba 0, arba 1.



2.4 pav . Skaitmeninio analoginio keitiklio principinė schema: ARS, ŽRS - atitinkamai aukščiausia ir žemiausia reikšminės skiltys

Skilčių koeficientai, atitinkantys išėjimo kodą, gali būti gauti vienu metu arba nuosekliai vienas po kito n lygiagrečiuose išėjimuose arba nuosekliai vienas po kito. Pagal tai keitikliai skirstomi į lygiagrečiuosius ir nuosekliuosius. Naudojamos įvairios analoginių skaitmeninių keitiklių schemas. 2.5 paveiksle pateikta nuosekliojo ASK funkcinė schema.

Skaitiklis pradeda skaičiuoti taktinius impulsus T1 nuo nulio. Komparatorius K lygina SAK įtampą U_{SAK} su įėjimo signalo įtampa U_{in} . Kiekvieno keitimo ciklo pradžioje paleidimo signalu PAL skaitiklyje nustatomas nulinis kodas ir pradedami skaičiuoti taktiniai impulsai. Kai tik SAK išėjimo įtampa $U_{SAK} = U_{in}$, skaitiklis blokuojamas ir išduodamas keitimo pabaigos signalas PAB.



2.5 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 plieno 20.

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 įtempių atsiradimą. Apkraunant 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 pasislenka viena kitos atžvilgiu ir taip pasireiškia šlytis. Didėjant įtempiams 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 modulis,

teigia tiesinį sąryšį tarp kietojo kūno įtempių bei deformacijų. Be abejo, tiesinė priklausomybė pasireiškia tik silpnų įtempių atveju.

Daugelis inžinerinių 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 būvis 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} – tangentinių įtempių komponentės ($i = x, y, z; j = x, y, z$)

Įtempų tenzorių (3.3) 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

Tenzorius 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]

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

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

Deformacijų tenzorių taip pat galima išskaidyti į sferinį tenzorių T_D^0 , kurio išstrižainėje 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:

$$T_D = T_D^0 + D_D^H,$$

$$T_D^0 = \begin{pmatrix} \varepsilon_v & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_v & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_v \end{pmatrix}, \quad (3.8)$$

$$D_D^H = \begin{pmatrix} \varepsilon_x - \varepsilon_v & 0,5\chi_{xy} & 0,5\chi_{xz} \\ 0,5\chi_{yx} & \varepsilon_y - \varepsilon_v & 0,5\chi_{yz} \\ 0,5\chi_{zx} & 0,5\chi_{zy} & \varepsilon_z - \varepsilon_v \end{pmatrix}.$$

Šiuo atveju ryšys tarp įtempių ir deformacijų išreiškiamas apibendrintuoju Huko dėsniumi [10,11,12]. Izotropiniam kūnui, kurio savybės apibūdinamos tamprumo moduliu E ir šlyties moduliu G , susietais Puasono koeficientu ν

$$E = 2G(1 + \nu) \quad (3.9)$$

Huko dėsnis tenzorinėje formoje užrašomas tokiu būdu:

- tūrio kitimo

$$T_\sigma^0 = E_0 T_D^0, \quad (3.10)$$

- formos kitimo

$$D_\sigma^H = 2GD_D^H, \quad (3.11)$$

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 rėmo bandymai informacine matavimo sistema

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

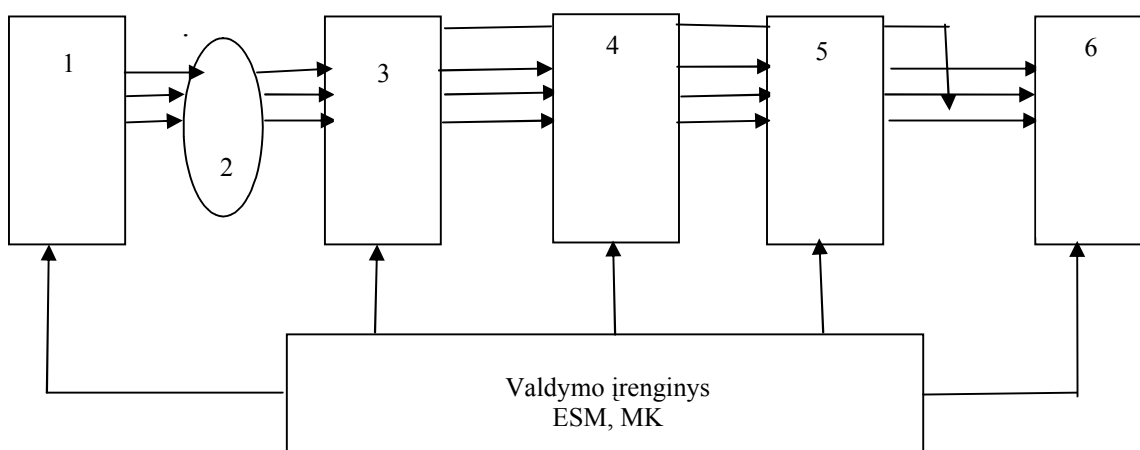
„Spider 8” yra informacinė matavimo sistema (IMS), sukurta kaip vienas įrenginys. Ji atlieka visas pagrindines funkcijas – gauna, apdoroja ir pateikia tiriamojo objekto informaciją, suformuoja tiriamojo objekto matavimo informaciją ir tiriamojo objekto valdymo poveikius.

Kiekvienoje IMS galima išskirti tokius pagrindinius blokus (3.1 pav.)

- matavimo priemonė, susidedanti iš mechaninių dydžių, elektrinių dydžių ir informacinių keitiklių;
- informacijos keitikliai, apdorojantys informaciją pagal nurodytą algoritmą atliekantys (matematinės operacijas, moduluojantys signalą ir pan.);
- informacijos saugojimo įrenginys;
- informacijos vaizdavimo keitiklis, paverčiantis matavimo informaciją vizualiai matoma;
- valdymo arba skaičiavimo įrenginys, organizuojantis visų IMS mazgų tarpusavio sąveiką.

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

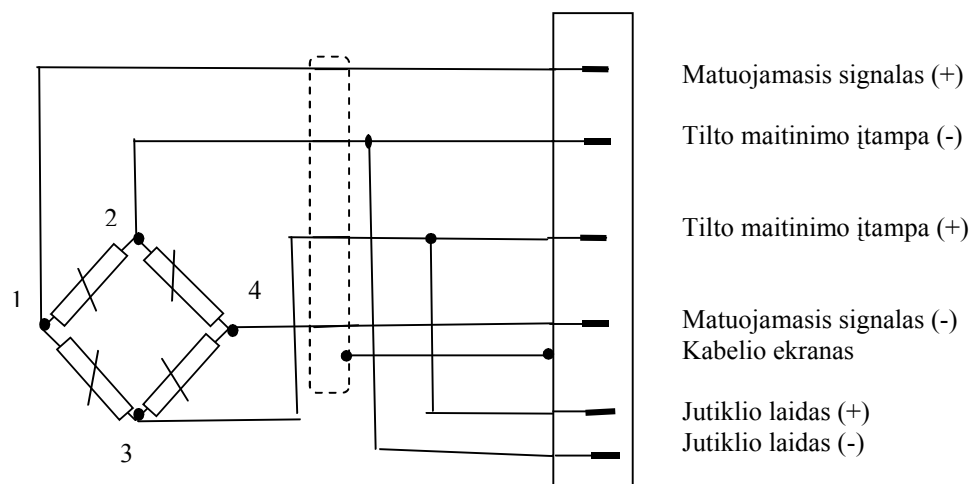
Racionaliausias IMS sudarymo principas – kai sistema kuriama kaip vienas įrenginys, susidedantis iš nepriklausomų funkcinių mazgų (modulių). Kiekvienas modulis yra baigtinės konstrukcijos mazgas. Moduliai yra sujungiami interfeisais. Kuriant sistemas, numatoma galimybė eksploatacijos procese keisti arba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



3.1 pav. Informacinės matavimo sistemos funkcinė schema:

- 1 – išorės veiksniai; 2 – objektas; 3 – keitikliai; 4 – matavimo rezultatų apdorojimas;
5 – informacijos registracija; 6 – informacijos atvaizdavimas

Prietaisas tipo „Spider 8“ turi keturis sukomplektuotus kanalus, kiekvienas kanalas atlieka visas matuojamojo dydžio keitimo funkcijas – matuojamojo dydžio pajautimą, 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 tiekia 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. kompiuteriui sistema prisistato tiesiog kaip prietaisas su 8, 16 arba net 64 kanalais, kurie visi tarpusavyje yra sinchronizuoti. Ši sistema tinka naudoti su tenzorezistoriniais, induktyviniais, potenciometriniais ir kitais deformacijų matavimo jutikliais. Matavimo signalų apdorojimo schema (kai jutikliai sujungti pilnuoju tilteliu) pateikta 3.2 paveiksle.



3.2. Deformacijų keitiklio į elektrinę įtampą schema

Matuojamąsias deformacijas pajaučia tenzorinis jutiklis ir paverčia ją elektrinės varžos pokyčiu., o šis, panaudojant tiltelinę schemą (3.2 pav.), elektrinės grandinės įtampos pokyčiu. Šie elektriniai signalai panaudojami išėjimo dydžiui suformuoti.

Išėjimo įtampa:

$$U_{is} = U_m \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right), \quad (3.12)$$

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 režimas naudojamas nesubalansuoto 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. 2.1) 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]

$$U_{i\check{s}} = U_m \left(\frac{R_x}{R_x + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right) \quad (3.13)$$

arba

$$\frac{U_{i\check{s}}}{U_m} = \frac{R_x}{R_x + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} = \frac{R_2 \Delta R}{(R_1 + R_2)^2 \left(1 + \frac{\Delta R}{R_1 + R_2} \right)}. \quad (3.14)$$

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

$$\frac{U_{i\check{s}}}{U_m} \approx \frac{1}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R}. \quad (3.15)$$

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

$$\frac{U_{i\check{s}}}{U_m} \approx \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R}. \quad (3.16)$$

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

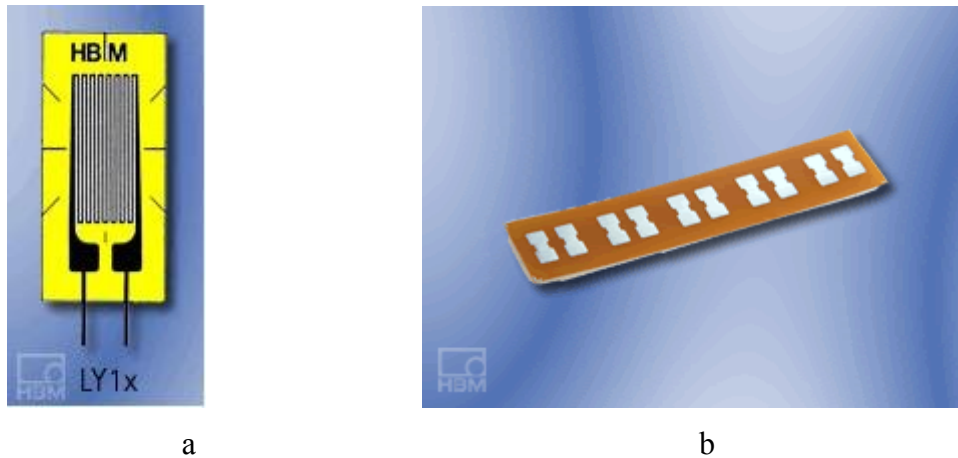
Be pateiktos 3.2 paveiksle tiltelio jungimo schemos, gali būti panaudota pusės ir ketvirčio tiltelio schemos.

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

3.2.2. Dviračio rėmo eksperimentinio tyrimo metodika

Dviračio rėmo stiprumo tyrimus atlikome aukščiau išnagrinėta „Spider 8“ sistema. Bandymams naudojome tenzjutiklius HBM LY1x (3.3 pav), išdėstytus taip, kaip parodyta

3.4 paveiksle. Kiekvienoje 3.4 paveiksle parodytoje vietoje buvo priklijuota po du jutiklius, kurie jungtimi įjungti į pusės tiltelio schemą (3.5 pav.) Jutiklių vidaus varžos po 350 Ω, jautrio koeficientas 2,0.



3.3 pav. Jutiklio bendras vaizdas a ir jungtis b

Pirmojo bandymo metu buvo važiuojama, sėdint ant dviračio sėdynės, antrojo – ant bagažinės. Vienas iš pagrindinių prietaiso kanalų buvo naudojamas impulsų skaičiavimui, kiti trys – matavimams (žr. 1 priedą). Matavimai buvo fiksuojami, kas 200 ms. Gautieji išėjimo signalai pateikti 2 priede, (-3,932 mV/V – kalibravimo signalas).

Buvo pasirinktas nesubalansuoto tiltelio režimas, kai išėjimo signalas $\frac{U_{i\dot{s}}}{U_m} = 1 \frac{mV}{V}$, maitinimo šaltinio įtampa 10 V. Ant kiekvienos detalės buvo klijuojami du vienodi aktyvūs jutikliai, įjungti į skirtingas tiltelio šakas. Išėjimo signalai $\frac{\Delta U}{U}$, $\frac{mV}{V}$ buvo formuojami kaip nuokrypiai nuo pradinio signalo $\frac{U_{i\dot{s}}}{U_m}$.

Tuomet pagal (3.16)

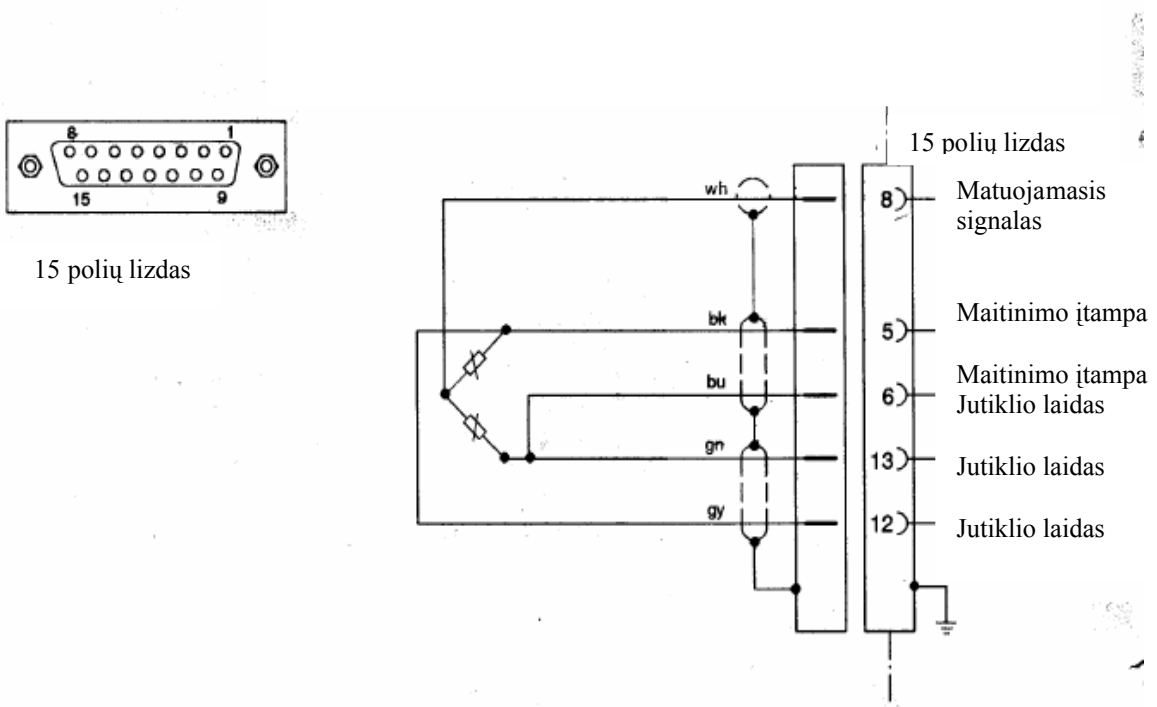
$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R} \quad (3.17)$$

ir

$$\frac{\Delta R}{R} = 2 \frac{\Delta U}{U} \quad (3.18)$$



3.4 pav. Jutiklių išdėstymo schema: 1 – pirmųjų jutiklių vieta; 2 – antrųjų jutiklių vieta; 3 – trečiųjų jutiklių vieta



3.5 pav. Jutiklių sujungimo (pusės tilto) su išvedimo įrenginiu schema

4. DVIRAČIO RĖMO STIPRUMO EKSPERIMENTINIŲ REZULTATŲ ANALIZĖ

4.1. Deformacijų ir įtempių skaičiavimai

Apskaičiuoti bandymų metu atsiradusiosios deformacijos ir įtempiai. Pasinaudojus (2.1) ir (3.18) formulėmis, skaičiavimams panaudoti tokie sąryšiai:

$$\frac{U_{i5}}{U_m} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4}, \frac{U_{i5}}{U_m} = 1 \frac{mV}{V}, U_m = 10V :$$

$$\frac{\Delta R}{R} = 0,002 \frac{\Delta U}{U}, \left[\frac{\Delta U}{U} = \frac{mV}{V} \right]; \quad (4.1)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta R}{R} \cdot \frac{1}{K};$$

$$\sigma = E\varepsilon$$

Dviračio rėmai paprastai gaminami iš plieno, aliuminio lydinių, dabartiniu metu iš anglies pluošto. Eksperimentai atlikti su dviračiu, kurio rėmas pagamintas iš plieno 20 vamzdžių. Plieno 20 cheminė sudėtis ir mechaninės charakteristikos [21] pateiktos 4.1 ir 4.2 lentelėse.

4.1 lentelė

Plieno 20 cheminė sudėtis

<i>C, %</i>	<i>Si, %</i>	<i>Mn, %</i>	<i>Cr, %</i>
0,17 – 0,24	0,17 – 0,37	0,35 – 0,65	≤0,25

4.2 lentelė

Plieno 20 mechaninės charakteristikos

Takumo riba σ_T, MPa	Stiprumo riba σ_B, MPa	Santykinė ištįsa δ_5, %	Santykinis skerspjuvio susitraukimas Ψ, %	Tamprumo modulis E, MPa	Puasono koeficientas ν
245	330	25	55	$2,0 \cdot 10^5$	0,3

Gautos deformacijų ir įtempių reikšmės pateiktos 4.3 ir 4.4 lentelėse. 4.3 lentelėje pateikti pirmojo bandymo rezultatai (kai buvo važiuojama sėdint ant dviračio sėdynės).

Deformacijos ir įtempys (1-jo bandymo rezultatai)

Mata- vimai	Deformacijos $\varepsilon \cdot 10^{-3}$			Įtempimai σ , MPa		
	I jutiklis	II jutiklis	III jutiklis	I jutiklis	II jutiklis	III jutiklis
1	2	3	4	5	6	7
1	0,114	-0,017	-0,009	22,8	-3,4	-1,8
2	0,104	-0,024	0,006	20,8	-4,8	1,2
3	0,094	0,013	0,042	18,8	2,6	8,4
4	0,078	0,003	0,054	15,6	0,6	10,8
5	0,054	0,008	0,068	10,8	1,6	13,6
6	0,079	0,008	0,054	15,8	1,6	10,8
7	0,093	0,026	-0,003	18,6	5,2	-0,6
8	0,095	0,012	-0,015	19,0	2,4	-3,0
9	0,120	0,001	0,022	24,0	0,2	4,4
10	0,093	0,011	0,013	18,6	2,2	2,6
11	0,121	0,024	0,004	24,2	4,8	0,8
12	0,133	0,056	-0,004	26,6	11,2	-0,8
13	0,131	0,048	-0,005	26,2	9,6	-1,0
14	0,136	0,066	-0,012	27,2	13,2	-2,4
15	0,136	0,078	-0,024	27,2	15,6	-4,8
16	0,138	0,073	-0,054	27,6	14,6	-10,8
17	0,134	0,067	-0,068	26,8	13,4	-13,6
18	0,137	0,070	-0,087	27,4	14,0	-17,4
19	0,148	0,058	-0,084	29,6	11,6	-16,8
20	0,160	0,059	-0,067	32,0	11,8	-13,4
21	0,169	0,068	-0,054	33,8	13,6	-10,8
22	0,174	0,076	-0,066	34,8	15,2	-13,2
23	0,172	0,052	-0,059	34,4	10,4	-11,8
24	0,170	0,045	-0,071	34,0	9,0	-14,2
25	0,173	0,050	-0,066	34,6	10,0	-13,2
26	0,173	0,061	-0,049	34,6	12,2	-9,8
27	0,169	0,034	-0,081	33,8	6,8	-16,2
28	0,171	0,067	-0,072	34,2	13,4	-14,4
29	0,179	0,065	-0,084	35,8	13,0	-16,8
30	0,182	0,052	-0,087	36,4	10,4	-17,4
31	0,183	0,075	-0,086	36,6	15,0	-17,2
32	0,183	0,070	-0,100	36,6	14,0	-20,0
33	0,185	0,059	-0,106	37,0	11,8	-21,2
34	0,183	0,048	-0,093	36,6	9,6	-18,6
35	0,188	0,054	-0,077	37,6	10,8	-15,4
36	0,185	0,048	-0,067	37,0	9,6	-13,4
37	0,179	0,034	-0,062	35,8	6,8	-12,4
38	0,178	0,030	-0,083	35,6	6,0	-16,6
39	0,177	0,035	-0,095	35,4	7,0	-19,0
40	0,171	0,045	-0,060	34,2	9,0	-12,0
41	0,160	0,022	-0,041	32,0	4,4	-8,2
42	0,163	0,017	-0,066	32,6	3,4	-13,2
43	0,170	0,015	-0,071	34,0	3,0	-14,2
44	0,167	0,021	-0,070	33,4	4,2	-14,0
45	0,177	0,036	-0,051	35,4	7,2	-10,2
46	0,177	0,023	-0,054	35,4	4,6	-10,8
47	0,170	0,001	-0,069	34,0	0,2	-13,8

1	2	3	4	5	6	7
48	0,169	0,019	-0,103	33,8	3,8	-20,6
49	0,168	0,024	-0,100	33,6	4,8	-20
50	0,166	-0,001	-0,038	33,2	-0,2	-7,6
51	0,163	0,002	-0,088	32,6	0,4	-17,6
52	0,166	0,021	-0,108	33,2	4,2	-21,6
53	0,150	0,020	-0,060	30,0	4,0	-12,0
54	0,152	0,021	-0,064	30,4	4,2	-12,8
55	0,161	0,004	-0,066	32,2	0,8	-13,2
56	0,147	-0,001	-0,069	29,4	-0,2	-13,8
57	0,141	0,021	-0,053	28,2	4,2	-10,6
58	0,154	0,053	-0,031	30,8	10,6	-6,2
59	0,153	0,048	-0,038	30,6	9,6	-7,6
60	0,152	0,038	-0,032	30,4	7,6	-6,4
61	0,121	0,028	-0,041	24,2	5,6	-8,2
62	0,132	0,069	-0,021	26,4	13,8	-4,2
63	0,144	0,069	-0,056	28,8	13,8	-11,2
64	0,143	0,049	-0,046	28,6	9,8	-9,2
65	0,144	0,047	-0,038	28,8	9,4	-7,6
66	0,142	0,056	-0,031	28,4	11,2	-6,2
67	0,151	0,067	-0,043	30,2	13,4	-8,6
68	0,152	0,060	-0,049	30,4	12,0	-9,8
69	0,144	0,049	-0,040	28,8	9,8	-8,0
70	0,130	0,046	-0,038	26,0	9,2	-7,6
71	0,145	0,044	-0,065	29,0	8,8	-13,0
72	0,137	0,048	-0,063	27,4	9,6	-12,6
73	0,157	0,068	-0,080	31,4	13,6	-16,0
74	0,158	0,063	-0,070	31,6	12,6	-14,0
75	0,153	0,069	-0,063	30,6	13,8	-12,6
76	0,142	0,067	-0,064	28,4	13,4	-12,8
77	0,151	0,091	-0,076	30,2	18,2	-15,2
78	0,147	0,094	-0,090	29,4	18,8	-18,0
79	0,159	0,087	-0,083	31,8	17,4	-16,6
80	0,165	0,107	-0,069	33,0	21,4	-13,8
81	0,164	0,089	-0,072	32,8	17,8	-14,4
82	0,163	0,077	-0,060	32,6	15,4	-12,0
83	0,157	0,066	-0,059	31,4	13,2	-11,8
84	0,161	0,049	-0,088	32,2	9,8	-17,6
85	0,166	0,048	-0,097	33,2	9,6	-19,4
86	0,168	0,050	-0,088	33,6	10,0	-17,6
87	0,170	0,051	-0,081	34,0	10,2	-16,2
88	0,170	0,046	-0,082	34,0	9,2	-16,4
89	0,171	0,054	-0,086	34,2	10,8	-17,2
90	0,179	0,047	-0,105	35,8	9,4	-21,0
91	0,182	0,022	-0,135	36,4	4,4	-27,0
92	0,170	0,046	-0,058	34,0	9,2	-11,6
93	0,159	0,072	-0,052	31,8	14,4	-10,4
94	0,161	0,054	-0,056	32,2	10,8	-11,2
95	0,145	0,066	-0,081	29,0	13,2	-16,2
96	0,145	0,059	-0,072	29,0	11,8	-14,4
97	0,153	0,055	-0,073	30,6	11,0	-14,6
98	0,159	0,059	-0,081	31,8	11,8	-16,2
99	0,163	0,066	-0,079	32,6	13,2	-15,8
100	0,162	0,061	-0,084	32,4	12,2	-16,8
101	0,162	0,056	-0,076	32,4	11,2	-15,2

4.4 lentelėje pateikti antrojo bandymo rezultatai (kai buvo važiuojama sėdint ant dviračio bagažinės).

4.4 lentelė

Deformacijos ir įtempiai (2-jo bandymo rezultatai)

Mata- vimai	Deformacijos $\varepsilon \cdot 10^{-3}$			Įtempiai σ , MPa		
	I jutikliai	II jutikliai	III jutikliai	I jutikliai	II jutikliai	III jutikliai
1	2	3	4	5	6	7
1	0,035	0,006	-0,057	7,0	1,2	-11,4
2	0,038	-0,019	-0,076	7,6	-3,8	-15,2
3	0,033	0,030	-0,063	6,6	6,0	-12,6
4	0,038	0,046	-0,022	7,6	9,2	-4,4
5	0,018	0,023	-0,034	3,6	4,6	-6,8
6	0,021	0,028	-0,080	4,2	5,6	-16,0
7	0,032	-0,009	-0,055	6,4	-1,8	-11,0
8	0,038	-0,026	-0,059	7,6	-5,2	-11,8
9	0,032	-0,038	-0,051	6,4	-7,6	-10,2
10	0,043	-0,036	-0,059	8,6	-7,2	-11,8
11	0,057	-0,035	-0,065	11,4	-7,0	-13,0
12	0,057	-0,036	-0,071	11,4	-7,2	-14,2
13	0,061	-0,025	-0,083	12,2	-5,0	-16,6
14	0,066	-0,030	-0,101	13,2	-6,0	-20,2
15	0,074	-0,021	-0,092	14,8	-4,2	-18,4
16	0,076	0,010	-0,086	15,2	2,0	-17,2
17	0,073	0,031	-0,087	14,6	6,2	-17,4
18	0,067	0,010	-0,073	13,4	2,0	-14,6
19	0,058	-0,005	-0,076	11,6	-1,0	-15,2
20	0,049	0,029	-0,067	9,8	5,8	-13,4
21	0,051	0,008	-0,096	10,2	1,6	-19,2
22	0,051	-0,003	-0,113	10,2	-0,6	-22,6
23	0,048	0,005	-0,114	9,6	1,0	-22,8
24	0,046	0,004	-0,107	9,2	0,8	-21,4
25	0,054	0,005	-0,103	10,8	1,0	-20,6
26	0,057	0,033	-0,124	11,4	6,6	-24,8
27	0,059	0,018	-0,137	11,8	3,6	-27,4
28	0,052	0,058	-0,104	10,4	11,6	-20,8
29	0,082	0,045	-0,097	16,4	9,0	-19,4
30	0,099	0,011	-0,103	19,8	2,2	-20,6
31	0,067	0,050	-0,071	13,4	10,0	-14,2
32	0,089	0,015	-0,087	17,8	3,0	-17,4
33	0,104	0,032	-0,082	20,8	6,4	-16,4
34	0,106	0,020	-0,095	21,2	4,0	-19,0
35	0,096	0,025	-0,073	19,2	5,0	-14,6
36	0,095	0,063	-0,071	19,0	12,6	-14,2
37	0,129	0,061	-0,090	25,8	12,2	-18,0
38	0,121	0,053	-0,094	24,2	10,6	-18,8
39	0,073	0,011	-0,150	14,6	2,2	-30,0
40	0,105	0,003	-0,114	2,01	0,6	-22,8
41	0,113	0,007	-0,113	22,6	1,4	-22,6
42	0,104	0,010	-0,114	20,8	2,0	-22,8
43	0,099	0,019	-0,123	19,8	3,8	-24,6

1	2	3	4	5	6	7
44	0,096	0,027	-0,138	19,2	5,4	-27,6
45	0,106	0,025	-0,170	21,2	5,0	-34,0
46	0,106	0,025	-0,183	21,2	5,0	-36,6
47	0,104	0,028	-0,164	20,8	5,6	-32,8
48	0,111	0,029	-0,151	22,2	5,8	-30,2
49	0,118	0,031	-0,138	23,6	6,2	-27,6
50	0,075	0,049	-0,106	15,0	9,8	-21,2
51	0,064	0,033	-0,119	12,8	6,6	-23,8
52	0,063	0,014	-0,113	12,6	2,8	-22,6
53	0,065	0,027	-0,114	13,0	5,4	-22,8
54	0,067	0,031	-0,113	13,4	6,2	-22,6
55	0,075	0,012	-0,105	15,0	2,4	-21,0
56	0,071	0,017	-0,107	14,2	3,4	-21,4
57	0,071	0,023	-0,117	14,2	4,6	-23,4
58	0,066	0,033	-0,111	13,2	6,6	-22,2
59	0,056	0,031	-0,100	11,2	6,2	-20,0
60	0,064	0,018	-0,087	12,8	3,6	-17,4
61	0,067	0,026	-0,086	13,4	5,2	-17,2
62	0,054	0,036	-0,103	10,8	7,2	-20,6
63	0,075	0,044	-0,115	15,0	8,8	-23,0
64	0,079	0,048	-0,112	15,8	9,6	-22,4
65	0,073	0,039	-0,110	14,6	7,8	-22,0
66	0,072	0,033	-0,114	14,4	6,6	-22,8
67	0,093	0,012	-0,117	18,6	2,4	-23,4

4.2. Eksperimentinių rezultatų įvertinimas

Gauti matavimo rezultatai įvertinami matematinės statistikos metodais [21, 22]. Matavimo rezultatus įvertinsime kaip atsitiktinį dydį Y , kurį apibūdinysime matematine viltimi $M(y)$ ir dispersija $D(y)$.

Matematinė viltis

$$M(Y) = \int_{-\infty}^{\infty} Yp(y)dy, \quad (4.2)$$

čia: $p(y)$ - tikimybės tankis;

diskrečiam atsitiktiniam dydžiui:

$$M(Y) = \sum_{k=1}^n P_k Y_k, \quad (4.3)$$

čia: P_x – dydžio Y_k pasirodymo tikimybė.

Dispersija

$$D(Y) = \int_{-\infty}^{\infty} (Y - M(Y))^2 p(Y)dy \quad (4.4)$$

ir diskrečiam atsitiktiniam dydžiui

$$D(Y) = (Y_k - M(Y))^2 P_k. \quad (4.5).$$

Dispersija yra matmenų sklaidos matematinės vilties atžvilgiu charakteristika. Tačiau kaip matmenų sklaidos matas matematinės vilties atžvilgiu dažniau naudojamas vidutinis kvadratinis nuokrypis

$$\sigma(Y) = \sqrt{D(Y)}. \quad (4.6)$$

Jeigu matuojant atsitiktinį dydį Y , turintį baigtinius $M(y)$ ir $D(y)$, gaunasi reikšmės y_1, y_2, \dots, y_n , tuomet jų empirinis aritmetinis vidurkis

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}. \quad (4.7)$$

Aritmetinis vidurkis yra efektyvus, pagrįstas ir nepaslinktas matematinės vilties $M(X)$ įvertis.

Atskirų reikšmių nuokrypiai nuo vidurkio

$$q_i = y_i - \bar{y}. \quad (4.8)$$

Dispersijos įvertis (arba imties empirinė dispersija) yra dydis

$$s_y^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2. \quad (4.9)$$

Standartinio nuokrypio įvertis (arba empirinis imties standartinis nuokrypis)

$$s_Y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}. \quad (4.10)$$

Aritmetinio vidurkio dispersijos įvertis

$$S_{\bar{X}} = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (4.11)$$

ir aritmetinio vidurkio standartinio nuokrypio įvertis

$$S_{\bar{Y}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (4.12)$$

Sudarytos deformacijų sklaidos histogramos. Tam tikslui visą gautą matavimo rezultatų aibę suskirstyta į N intervalų, kurių plotis

$$\Delta y = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{N}, \quad (4.13)$$

čia: y_{\max}, y_{\min} - atitinkamai didžiausia ir mažiausia matuojamų deformacijų reikšmės.

Toliau apskaičiuota matmenų, tenkančių i-tajam intervalui skaičius m_i ir patekimo į šį intervalą dažnis

$$P_i^* = \frac{m_i}{n}, \quad \sum_{i=1}^N P_i^* = 1. \quad (4.14)$$

čia: $n = \sum_{i=1}^N m_i$ - bendras matavimų skaičius.

Dažnis P_i^* yra matavimo rezultato patekimo į i -tąjį intervalą tikimybės empirinis įvertis.

Apskaičiuoti intervalų vidurkiai Δx_i ir empiriniai tikimybės tankiai

$$p_i^* = \frac{P_i^*}{\Delta y_i}. \quad (4.15)$$

Nubrėžtos histogramos $p_i^* = f(y_i)$,

čia: y_i - intervalo vidurys.

Matavimo rezultatų apdorojimas atliktas, naudojant MatCAD sistemą [22]. Gauti rezultatai pateikti 4.1 – 4.6 paveikslėliuose, 3 priede bei 4.5 ir 4.6 lentelėse. 4.1 - 4.6 paveikslėliuose naudojami tokie žymėjimai:

$y = 0,1 \varepsilon$ – santykinė deformacija,

$Y = \max(y) = 0,1 \varepsilon_{\max}$ - maksimali santykinė deformacija,

$0,1,2... M$ – matavimų skaičius m ,

$V = \text{meany} = 0,1 M(\varepsilon)$ - vidutinė santykinės deformacijos reikšmė,

$q_m = y - V = 0,1(\varepsilon - M(\varepsilon))$ - nuokrypiai nuo vidurkio,

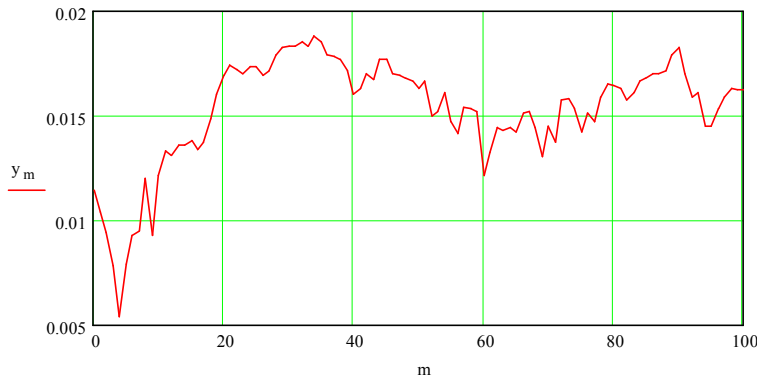
$\sigma = \text{stdev}(y) = 0,1\sigma(\varepsilon)$ - standartinis nuokrypis .

1 bandymas, 1-ieji jutikliai

D := READPRN("ac2111.dat") M := rows(D) - 1 M + 1 = 101 m := 0.. M

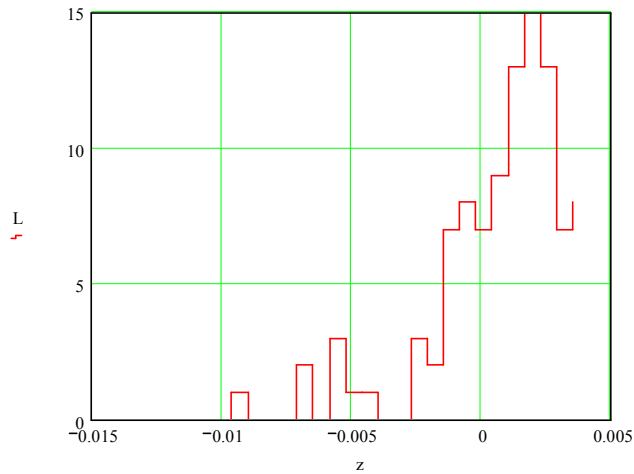
$x_m := D_{m,0}$ $y_m := D_{m,1}$ X1 := x_0 X2 := x_M Y := max(y) Y = 0.019 X1 = 1 X2 = 101

M - eksperimento tasku skaicius.
N+1 laipteliu skaicius -
Ln - tasku skaicius n-tajame laiptelyje.



V := mean(y) V = 0.015

N := 30 n := 1.. N $z_n := -V + Y \cdot \frac{n}{N}$ $L_n := \sum_{m=1}^M (z_{n-1} < y_m - V \leq z_n)$ $v := \frac{Y}{N}$ $v = 6.267 \times 10^{-4}$

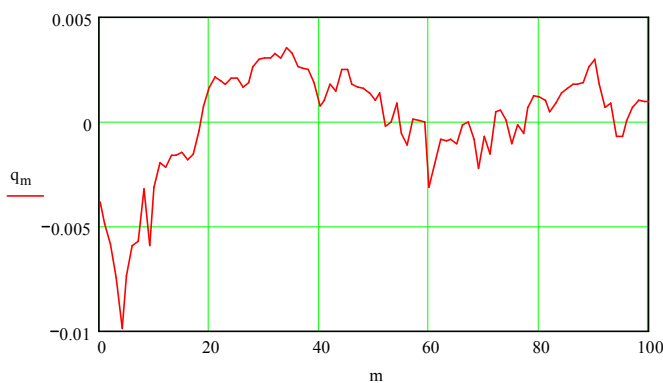


$\sigma := \text{stdev}(y)$

$\sigma = 2.558 \times 10^{-3}$

$q := y - V$

V = 0.015



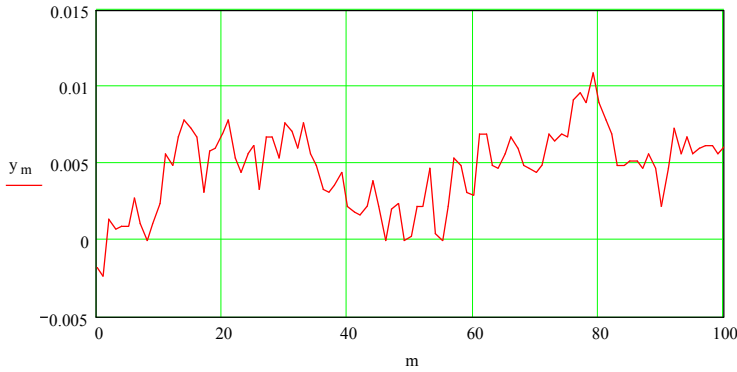
4.1.pav. Deformacijų kitimas (I bandymas, 1-ieji jutikliai): 1 –deformacijos priklausomybė nuo matavimų skaičiaus $\varepsilon = f(m)$. 2 – histograma, 3 – nuokrypių priklausomybė nuo matavimų skaičiaus $q = f(m)$

1 bandymas, 2 –ieji jutikliai

D := READPRN("ac2112.dat") M := rows(D) - 1 M + 1 = 101 m := 0..M

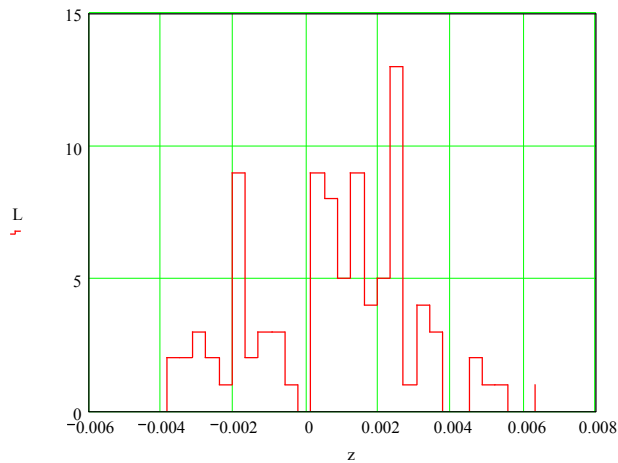
$x_m := D_{m,0}$ $y_m := D_{m,1}$ X1 := x_0 X2 := x_M Y := max(y) Y = 0.011 X1 = 1 X2 = 101

M - eksperimento tasku skaicius.
N+1 laipteliu skaicius.-
Ln - tasku skaicius n-tajame laiptelyje.



V := mean(y) V = 4.608×10^{-3}

N := 30 n := 1..N $z_n := -V + Y \cdot \frac{n}{N}$ $L_n := \sum_{m=1}^M (z_{n-1} < y_m - V \leq z_n)$ $v := \frac{Y}{N}$ $v = 3.633 \times 10^{-4}$

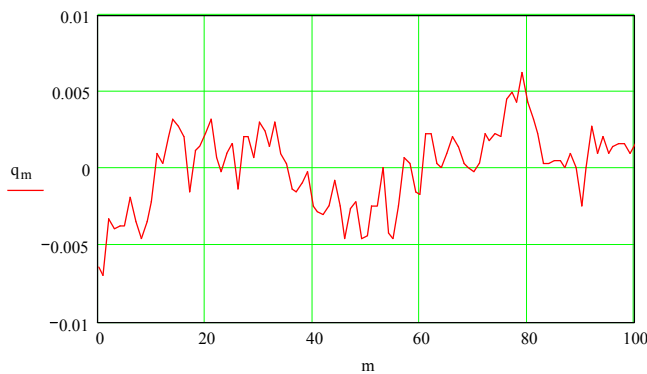


$\sigma := \text{stdev}(y)$

$\sigma = 2.574 \times 10^{-3}$

q := y - V

V = 4.608×10^{-3}



4.2.pav. Deformacijų kitimas (I bandymas, 2- ieji jutikliai): 1 – santykinės deformacijos priklausomybė nuo matavimų skaičiaus $\varepsilon = f(m)$. 2 – histograma, 3 – nuokrypių priklausomybė nuo matavimų skaičiaus $q = f(m)$

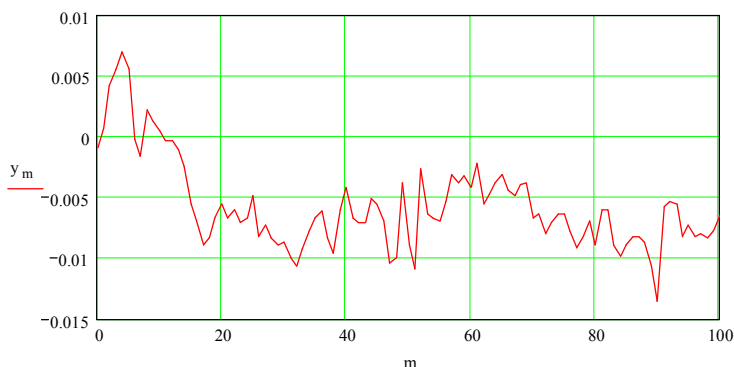
1 bandymas, 3-ieji jutikliai

D := READPRN("ac2113.dat") M := rows(D) - 1 M + 1 = 101 m := 0..M

$x_m := D_{m,0}$ $y_m := D_{m,1}$ X1 := x_0 X2 := x_M Y := max(y)

$Y = 6.9 \times 10^{-3}$ X1 = 1 X2 = 101

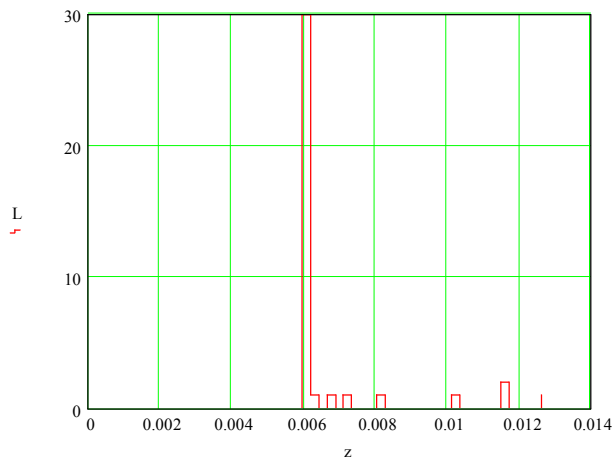
M - eksperimento tasku skaicius.
N+1 laipteliu skaicius.-
Ln - tasku skaicius n-tajame laiptelyje.



V := mean(y) V = -5.718×10^{-3}

N := 30 n := 1..N $z_n := -V + Y \cdot \frac{n}{N}$ $L_n := \sum_{m=1}^M (z_{n-1} < y_m - V \leq z_n)$

$v := \frac{Y}{N}$ v = 2.3×10^{-4}

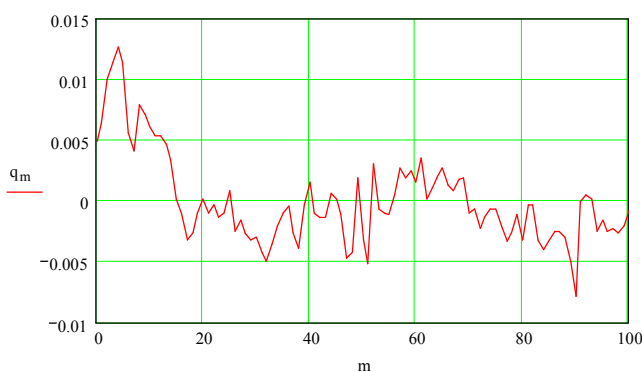


$\sigma := \text{stdev}(y)$

$\sigma = 3.699 \times 10^{-3}$

q := y - V

V = -5.718×10^{-3}



4.3. pav. Deformacijų kitimas (I. Bandymas, 3- ieji jutikliai): 1 – santykinės deformacijos priklausomybė nuo matavimų skaičiaus $\varepsilon = f(N)$. 2 – histograma, 3 – nuokrypių priklausomybė nuo matavimų skaičiaus $q = f(N)$

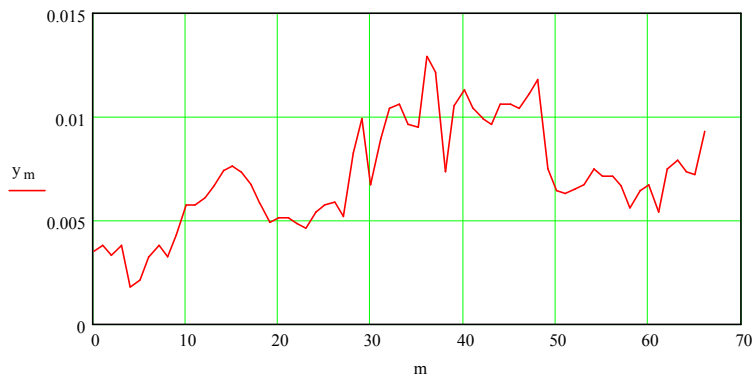
2 bandymas, 1-ieji jutikliai

$D := \text{READPRN}(\text{"ac2221.dat"})$ $M := \text{rows}(D) - 1$ $M + 1 = 67$ $m := 0..M$

$x_m := D_{m,0}$ $y_m := D_{m,1}$ $X1 := x_0$ $X2 := x_M$ $Y := \max(y)$

$Y = 0.013$ $X1 = 1$ $X2 = 67$

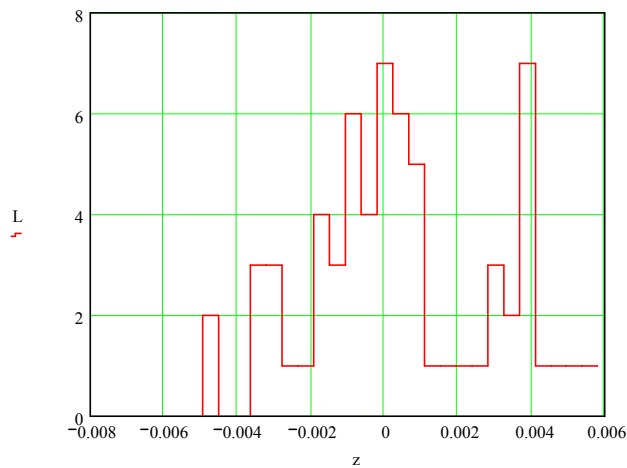
M - eksperimento tasku skaicius.
N+1 laipteliu skaicius.-
Ln - tasku skaicius n-tajame laiptelyje.



$V := \text{mean}(y)$ $V = 7.1 \times 10^{-3}$

$N := 30$ $n := 1..N$ $z_n := -V + Y \cdot \frac{n}{N}$ $L_n := \sum_{m=1}^M (z_{n-1} < y_m - V \leq z_n)$

$v := \frac{Y}{N}$ $v = 4.3 \times 10^{-4}$

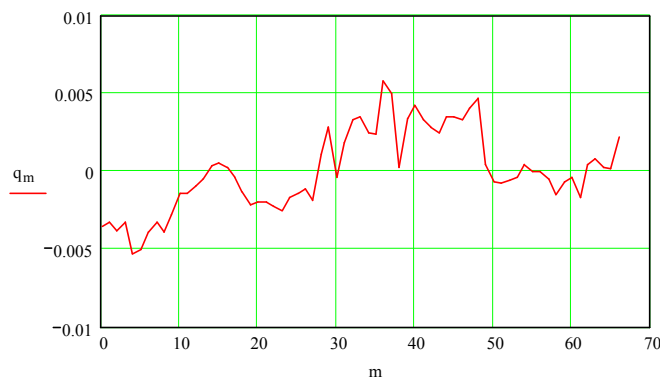


$\sigma := \text{stdev}(y)$

$\sigma = 2.565 \times 10^{-3}$

$V = 7.1 \times 10^{-3}$

$q := y - V$



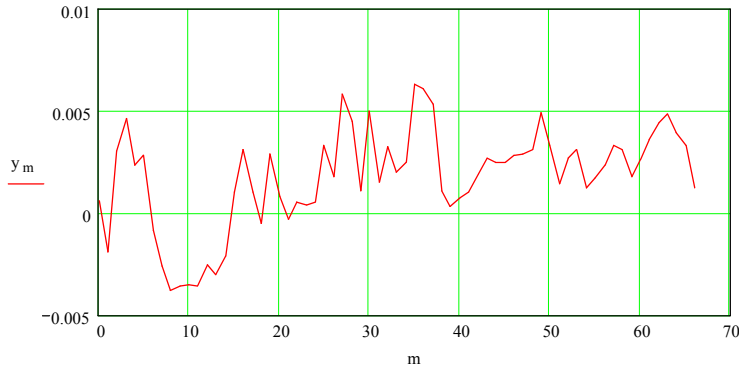
4.4.pav. Deformacijų kitimas (II bandymas, 1-ieji jutikliai): 1 – santykinės deformacijos priklausomybė nuo matavimų skaičiaus $\varepsilon = f(m)$. 2 – histograma, 3 – nuokrypių priklausomybė nuo matavimų skaičiaus $q = f(m)$

2 bandymas, 2-ieji jutiklis

$D := \text{READPRN}("ac2222.dat")$ $M := \text{rows}(D) - 1$ $M + 1 = 67$ $m := 0..M$

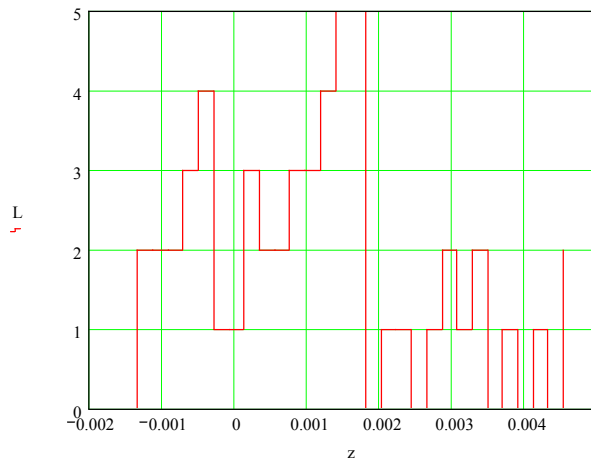
$x_m := D_{m,0}$ $y_m := D_{m,1}$ $X1 := x_0$ $X2 := x_M$ $Y := \max(y)$ $Y = 6.3 \times 10^{-3}$ $X1 = 1$ $X2 = 67$

M - eksperimento tasku skaicius.
N+1 laipteliu skaicius.-
Ln - tasku skaicius n-tajame laiptelyje.



$V := \text{mean}(y)$ $V = 1.757 \times 10^{-3}$

$N := 30$ $n := 1..N$ $z_n := -V + Y \cdot \frac{n}{N}$ $L_n := \sum_{m=1}^M (z_{n-1} < y_m - V \leq z_n)$ $v := \frac{Y}{N}$ $v = 2.1 \times 10^{-4}$

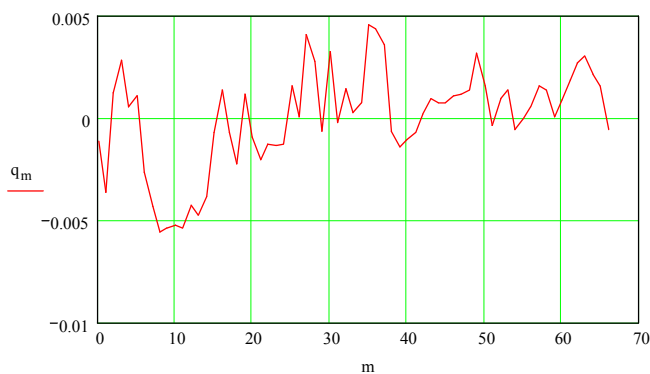


$\sigma := \text{stdev}(y)$

$\sigma = 2.421 \times 10^{-3}$

$q := y - V$

$V = 1.757 \times 10^{-3}$



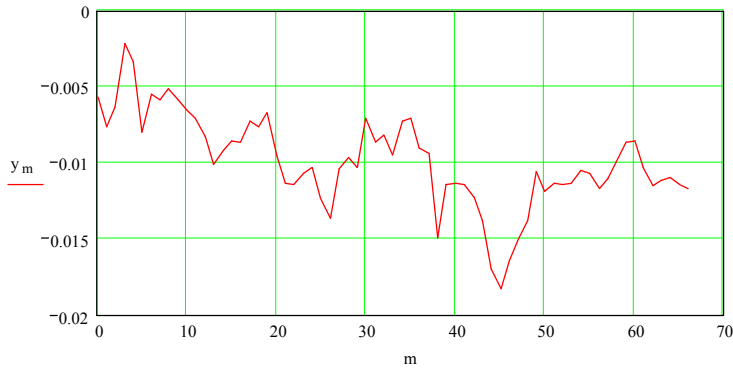
4.5.pav. Deformacijų kitimas (II. bandymas, 2 - jutikliai): 1 – santykinės deformacijos priklausomybė nuo matavimų skaičiaus $\varepsilon = f(m)$. 2 – histograma, 3 – nuokrypių priklausomybė nuo matavimų skaičiaus $q = f(m)$

2 bandymas, 3 jutikliai

$D := \text{READPRN}(\text{"ac2223.dat"})$ $M := \text{rows}(D) - 1$ $M + 1 = 67$ $m := 0..M$

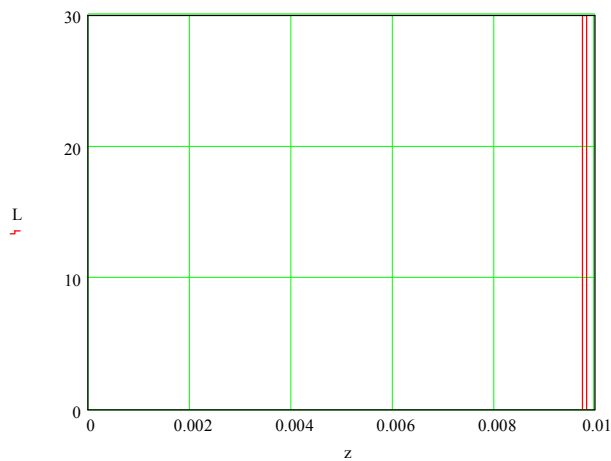
$x_m := D_{m,0}$ $y_m := D_{m,1}$ $X1 := x_0$ $X2 := x_M$ $Y := \max(y)$ $Y = -2.2 \times 10^{-3}$ $X1 = 1$ $X2 = 67$

M - eksperimento tasku skaicius.
N+1 laipteliu skaicius -
Ln - tasku skaicius n-tajame laiptelyje.



$V := \text{mean}(y)$ $V = -9.888 \times 10^{-3}$

$N := 30$ $n := 1..N$ $z_n := -V + Y \cdot \frac{n}{N}$ $L_n := \sum_{m=1}^M (z_{n-1} < y_m - V \leq z_n)$ $v := \frac{Y}{N}$ $v = -7.333 \times 10^{-5}$

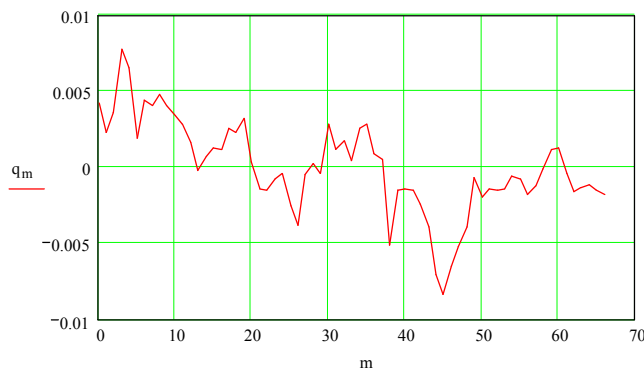


$\sigma := \text{stdev}(y)$

$\sigma = 3.01 \times 10^{-3}$

$q := y - V$

$V = -9.888 \times 10^{-3}$



4.6.pav. Deformacijų kitimas (II bandymas, 3- ieji jutikliai): 1 – santykinės deformacijos priklausomybė nuo matavimų skaičiaus $\varepsilon = f(N)$. 2 – histograma, 3 – nuokrypių priklausomybė nuo matavimų skaičiaus $q = f(N)$

Surastus santykinių deformacijų įverčius pagal (3.2) – (3.16) formules pateikiame 4.5 ir 4.6 lentelėse

4.5. lentelė

Deformacijų įverčiai

Maksimali deformacija, $\epsilon \cdot 10^{-3}$	Deformacijų vidurkis, $\epsilon_v \cdot 10^{-3}$	Standartinis nuokrypis, $\sigma_{\epsilon} \cdot 10^{-3}$	Pastabos
1	2	3	4
I bandymas			
I jutiklis			
0,190	0,150	0,026	Tempimas
II jutiklis			
0,110	0,050	0,026	
0,110	0,050	0,026	Tempimas
-0,020	-0,011	0,003	Gniuždymas
III jutiklis			
0,069	-0,057	0,037	
0,069	0,034	0,024	Tempimas
-0,135	-0,065	0,026	Gniuždymas
II bandymas			
1	2	3	4
I jutiklis			
0,130	0,071	0,026	Tempimas
II jutiklis			
0,063	0,018	0,024	
0,063	0,027	0,015	Tempimas
-0,038	-0,024	0,012	Gniuždymas
III jutiklis			
-0,183	-0,099	0,030	Gniuždymas

Pasinaudoję Huko dėsnio (32), apytikriai įvertinsime didžiausius įtempius, veikiančius skirtingose matavimo vietose.

Įtempių įverčiai įvairiose matavimo vietose

Maksimalūs įtempiai, σ_{\max}, MPa			
I bandymas			
1-jo jutiklio vietoje	2-jo jutiklio vietoje	3-jo jutiklio vietoje	Pastaba
1	2	3	4
38,0	22,0	13,8	Tempimas
-	-4,0	-27,0	Gniuždymas
II bandymas			
1	2	3	4
26,0	12,6	-	Tempimas
-	-7,6	-36,6	Gniuždymas

Iš gautų rezultatų (žr. 4.6 lentelę) matome, kad maksimalūs įtempiai su didele atsarga neviršija leistinų ribų.

Išnagrinėtas tyrimo metodas informacine matavimo sistema „Spider“ tinka ne tik dviračių rėmų, bet ir kitų jo elementų bandymams.

IŠVADOS

1. Darbe atlikta informacinės matavimo sistemos „Spider“ analizė, išnagrinėti jos privalumai ir taikymo galimybės. Nustatyta, kad informacinė matavimo sistema „Spider“ tenkina standarto DIN EN 14764 reikalavimus ir gali būti naudojama Šiaulių universiteto Technologijos fakultete veikiančiame Technologiniam bandymų centre dviračių rėmų stiprumui įvertinti.
2. Naudojant informacinę matavimo sistemą „Spider“, galima nustatyti dviračio rėmo deformacijų kitimo eigą skirtinguose dviračio rėmo elementuose realiomis eksploataavimo sąlygomis.
3. Eksperimentų rezultatai: deformacijų bei jų sklaidos eigos grafikai bei įverčiai, maksimalūs įtempiai skirtinguose dviračio rėmo elementuose pateikti diagramose. Gautieji maksimalūs įtempiai su didele atsarga neviršija leistinų reikšmių.

LITERATŪRA

1. www.baltikvairas.lt
2. www.iso.org/
3. www.din.de/
4. <http://www.bsi-global.com/en/Standards>
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 Kanarėnas. Vilnius, 2000. 380 p. ISBN 9986-524-26-1.
9. www.cas.su/tenzo.htm
10. www.hbm.com
11. Bražėnas A. Tamprumo ir plastiškumo teorijų pagrindai. Šiauliai, 2003. 193 p. ISBN-9986-38-433-8/
12. Atkočiūnas J. Tamprumo teorijos pagrindai/ Atkočiūnas J., Nagevičius J. Vilnius, 2004. 528 p. ISBN 9986-05-793-0.
13. Žiliukas A. Medžiagų mechanika. Kaunas, 2004. 595 p. ISBN 9955-09-729-9.
14. Pramoninė elektronika/ Lašas Algirdas, Bartkevičius Vaclovas, Šurna Rimas ir kt. Vilnius, 1999. 255 p. ISBN 5-420-00146-2.
15. Karpus V. Kietųjų kūnų fizika. Kristalinis būvis. Vilnius, 2002. 248 p. ISBN 9955-497-04-01.
16. Žiliukas A. Stiprumo ir irimo kriterijai. Kaunas, 2006. 207 p. ISBN 9955-25-134-4.
17. www.hbm.de/productes/
18. www.hbm.cz/
19. Thiel R. Elektrisches Messen nichtelektrischen Größen. Stuttgart, 1998. 195 S.
20. Bražėnas A. Eksperimentinės mechanikos pagrindai. Kaunas, 2006. 166 p. ISBN 9986-38-663-2.
21. Анурьев В. Справочник конструктора машиностроителя, т. 1. Москва, 2001. 921 с.
22. Kubilius J. Tikimybių teorija ir matematinė statistika. Vilnius, 1996. 436 p. ISBN 9986-19-177-7.
23. Čekanavičius V. Statistika ir jos taikymai, I d./ Čekanavičius V., Murauskas G. Vilnius, 2006. 238 p. ISBN-546-93-1.

24. Дьяконов В. MATHCAD 8/2000. Специальный справочник. Санкт – Петербург, 2001. 590с. ISBN 5-272-0069-2.