

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA**

**Arūnas Venckus**

**DVIRAČIO MYNIKLIO ŠVAISTIKLIO STIPRUMO IR  
STANDUMO TYRIMAS**

Magistro baigiamasis darbas

**Šiauliai, 2012**

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA**

**DVIRAČIO MYNIKLIO ŠVAISTIKLIO STIPRUMO IR  
STANDUMO TYRIMAS**

Magistro baigiamasis darbas

**Autorius – Arūnas Venckus (MM-10 gr.)**

**Vadovas – doc. dr. A. Sabaliauskas**

**Recenzentas – prof. dr. R. V. Ulozas**

**Katedros vedėjas – doc. dr. A. Sabaliauskas**

**Šiauliai, 2012**

2012 \_\_\_\_\_ mėn. \_\_\_\_ d.

## MAGISTRO DARBO UŽDUOTIS

Išduota magistrantui (-ei) \_\_\_\_\_

Darbo tema \_\_\_\_\_

Patvirtinta 2012 m. kovo mėn. 16 d. fakulteto dekanı potvarkiu Nr.060-03-10.

### 1. Darbo tikslas

### 2. Darbo struktūra

Darbo pateikimo terminas 20 \_\_m. \_\_\_\_\_ mėn. \_\_d.

Užduotį gavau \_\_\_\_\_  
(magistranto vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_  
(parašas, data)

Vadovas \_\_\_\_\_  
(pareigos, vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_  
(parašas, data)

# TURINYS

SANTRAUKA .....	5
SUMMARY .....	6
SANTRUMPOS .....	7
LENTELIŲ SĄRAŠAS .....	8
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS .....	9
ĮVADAS .....	10
1. DVIRAČIO MYNIKLIO ŠVAISTIKLIO BANDYMO METODIKA .....	13
1.1. Standartų apžvalga .....	13
1.2. Dviračiams keliami saugos reikalavimai ir bandymo metodai .....	14
1.3. Standarto reikalavimas dviračio myniklio švaistikli ciklinis bandymams.....	15
1.4. Bandymo metodas pagal standartą. ....	15
2. DEFORMACIJŲ IR ĮTEMPIŲ MATAVIMO METODAI IR PRIEMONĖS .....	17
2.1. Matavimo metodų apžvalga.....	17
2.2. Matavimo sistemos sandara .....	18
2.3. Matuojamojo dydžio keitimo procesas .....	20
3. DVIRAČIO ŠVAISTIKLIO MYNIKLIO STIPRUMO IR STANDUMO TYRIMAS.....	24
3.1. Deformuojamųjų metalų įtempimų ir deformacijų būvis .....	24
3.2. Dviračio myniklio švaistiklio eksperimentiniai tyrimai .....	27
3.2.1. Baigitnių elementų metodas (BEM).....	27
3.2.2. „Spider 8“ informacinė matavimo sistema.....	32
3.2.3. Dviračio myniklio švaistiklio eksperimentinio tyrimo metodika .....	37
3.2.4. Eksperimento eiga: .....	37
4. DVIRAČIO ŠVAISTIKLIO MYNIKLIO STIPRUMO EKSPERIMENTINIŲ REZULTATŲ ANALIZĖ.....	39
4.1. Įtempimų ir deformacijų skaičiavimai .....	39
4.2. Eksperimentinių rezultatų įvertinimas .....	42
IŠVADOS .....	47
LITERATŪRA .....	48

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA**

Arūnas Venckus. DVIRAČIO MYNIKLIO ŠVAISTIKLIO STIPRUMO IR STANDUMO TYRIMAS. Magistro baigiamasis darbas / vadovas doc. dr. A. Sabaliauskas.

**SANTRAUKA**

Dviratis – viena iš populiariausių transporto priemonių. Tai ekologiška, pigi, nesudėtinga priemonė, kuria nesudėtinga išvystyti ~ 20 km/h greitį. Važiuojant nuokalnėse ar pavėjui, fiziškai stipresniems žmonės ar sportininkams visiškai nesunku pasiekti žymiai didesnę greitį. Tuomet atsirandantys dviračio konstrukcijos defektai rimtai gali pakenkti važiavimo kokybei ar net įtakoti nelaimingus įvykius.

Dviračio myniklio švaistiklis yra elementas, per kurį perduodama fizinė jėgą, jis taip pat padeda išlaikyti pusiausvyrą. Lūžus šiam elementui važiavimas su dviračiu tampa visiškai neįmanomas. Todėl labai svarbu, kad myniklio švaistiklio stiprumas ir standumas atitiktų keliamus kokybės ir saugumo reikalavimus.

Šio darbo tikslas atlikti dviračio myniklio švaistiklio stiprumą ir standumą analitiniu (naudojant „Solidworks“) bei eksperimentiniu būdu (naudojant „Spider 8“ informacinę matavimo sistemą).

**Reikšminiai žodžiai: myniklio švaistiklis, stiprumas ir standumas, baigtinių elementų metodas (BEM).**

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

Arūnas Venckus. RESEARCH ON CRANK ARM STRENGTH AND SOLIDITY. Master final work / research advisor Assoc. doc. dr. A. Sabaliauskas.

**SUMMARY**

Bicycle – one of most popular vehicle in the World. It is green, cheap and simple vehicle. It easy can reach ~20 km/h speed. Driving in slope or in alee, physically stronger or sprotmen can reach higher speed. It is very dangeriuos in case of bicycle's construction damages.

Bicycle crank arms – one of important element. Throuht it goes physical force and it helps driver to keep a balance. If crank arms borkes, then it is immposible to drive longer. Thats why it is important, that crank static strength and rigidity would comply with requirement of quality and safety.

The theme of Master project is made strenth and solidity tests by analytical (using „Solidworks“) and experimental (using „Spider 8“ system) ways.

**Keywords: crank arm, strength and solidity, finite element method (FEM).**

## **SANTRUMPOS**

BEM – baigtinių elementų metodas

EN – Europos standartas (European normalisation)

TBC – Technologinis bandymų centras

## **LENTELIŲ SĄRAŠAS**

<b>3.1 lentelė.</b> Medžiagos mechaninės charakteristikos .....	28
<b>3.2 lentelė.</b> Tinklelio informacija .....	28
<b>3.3 lentelė.</b> Rezultatai .....	29
<b>4.1 lentelė.</b> Plieno C45 cheminė sudėtis.....	39
<b>4.2 lentelė.</b> Plieno C45 mechaninės charakteristikos .....	39
<b>4.3 lentelė.</b> Deformacijos ir įtempimai (Catman programos parodymai) .....	39
<b>4.4 lentelė.</b> Paklaidų skaičiavimo rezultatai .....	42
<b>4.5 lentelė.</b> Deformacijų rezultatai .....	44
<b>4.6 lentelė.</b> Ekvivalentiniai įtempimai .....	45



## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

<b>1.1 pav.</b> Alkūninio svėrto agregatas. Nuovargio bandymas (tipiškas bandymas) .....	16
<b>2.1 pav.</b> Tenzorezistoriniai .....	18
<b>2.2 pav.</b> Funkcinė matavimo sistemos schema .....	19
<b>2.3 pav.</b> Skaitmeninis - analoginis keitimas.....	21
<b>2.4 pav.</b> Skaitmeninio analoginio keitiklio principinė schema .....	22
<b>2.5 pav.</b> Funkcinė analoginio skaitmeninio keitiklio schema: K – komutatorius; T – trigeris; .....	23
<b>3.1 pav.</b> Nagrinėjamo myniklio švaistiklio modelio vaizdas .....	28
<b>3.2 pav.</b> Fiksavimo paviršiai .....	29
<b>3.3 pav.</b> Apkrovų veikiamas paviršius .....	30
<b>3.4 pav.</b> Įtvirtintas modelis su veikiančia apkrova.....	30
<b>3.5 pav.</b> Baigtinių elementų tinklelis .....	31
<b>3.6 pav.</b> Ekvivalentiniai įtempimai .....	31
<b>3.7 pav.</b> Poslinkiai .....	32
<b>3.8 pav.</b> Informacinės matavimo sistemos funkcinė schema: .....	33
<b>3.9 pav.</b> „Spider 8“ vaizdas iš galo .....	33
<b>3.10 pav.</b> Tenzodaviklio jungimo pilnuoju tilteliu schema.....	34
<b>3.11 pav.</b> Tenzodaviklio jungimo pusės tiltelio schema .....	36
<b>3.12 pav.</b> Tenzodaviklio jungimo ketvirčio tiltelio schema.....	36
<b>3.13 pav.</b> Daviklio bendras vaizdas.....	37
<b>3.14 pav.</b> Tenzodaviklio klįjavimas .....	38
<b>3.15 pav.</b> Stende įtvirtinto švaistiklio vaizdas.....	38
<b>4.1 pav.</b> Deformacijų diagrama (Catman programos dumenys) .....	41
<b>4.2 pav.</b> Svarbiausių įtempimų diagrama.....	41

## ĮVADAS

**Dviratis** – dviratė bemotorė transporto priemonė, kuri varoma naudojant žmogaus fizinę jėgą. Išskirtiniais atvejais naudojami vienračiai (cirko arenose) arba triračiai (Azijoje labai populiarūs taxi keleivių vežimui). Tobulėjant technikai pradėta kurti ir gaminti dviračius su elektriniais varikliais. Tai ženkliai sumažina arba visiškai pakeičia naudojamą žmogaus fizinę jėgą. Dviračių naudojimo paskirtis yra įvairi ir pakankamai plati. Dažniausiai jie naudojami pramogai, paslaugoms, susisiekimui, laisvalaikio praleidimui, turizmui bei sportui.

Pagrindinės dviračių populiarumo priežastys:

- Pigumas – lyginant su bet kuria motorine transporto priemone, dviračio įsigijimo kaina yra prieinama daugeliui žmonių;
- Eksploatacija – dviračių eksploatacija yra pigi, jiems nereikalingas kuras, nėra jokių mokesčių. Piniginės išlaidos reikalingos tik susidėvėjusių detalių ir mazgų keitimui, kurie teisingai prižiūrint, nėra dažni;
- Ekologiškumas – nėra jokių išmetamųjų dujų;
- Praktiškumas – važiuojant dviračiu galima vežtis nedidelius krovinius, vaikus (specialiuose kėdutėse). Dviračių saugojimui nereikalingos specialios patalpos, juos paprasčiausiai galima laikyti rūsyje, balkone, netgi kambaryje;
- Fizinė mankšta – važiuojant dviračiu dirba daugelis raumenų;
- Tinkamumas – dviračiai yra pritaikyti įvairaus amžiaus žmonėms.
- Susisiekimas – su kiekvienais metais vis daugiau dėmesio skiriama dviračių takams. Tai labai palengvina susisiekimą tarp norimų atvykimo ir išvykimo punktų;
- Greitis – kieta ir lygia kelio danga nesunku su dviračiu netgi kelias valandas važiuoti 17-23 km/h greičiu. Tai yra labai patogiu, nes distancijos yra įveikiamos greičiau negu einant. Miestuose dviračiais kai kuriuos maršrutus galima įveikti greičiau, negu su visuomeniniu transportu.

Pagrindinę dviračio sandarą sudaro: du ratai, rėmas, balnelis, vairas, šakė, stabdymo sistema ir perdavimo mechanizmas, raumenų jėga verčianti sukty ratus. Primityvesniuose dviračiuose šio mechanizmo perdavimo santykis fiksuotas. Daugumoje dabartinių dviračių perdavimo santykį galima keisti važiuojant. Dažniausiai santykis keičiamas naudojant keletą skirtingo skersmens žvaigždučių arba stebulės pavarą. Tai labai pravartu važiuojant į kalnes, prieš vėją arba keičiant judėjimo greitį.

Dviračių važiavimo takai gali būti labai skirtingi, pradedant nuo lygios betoninės dangos, tramplynų ir baigiant bekelėmis. Pagal eksploataavimo trasas ir važinėjimo stilių dviračiai pradėti skirstyti į tipus. Universalus dviračio, kuris puikiai tiktų visiems važiavimo stiliams ar trasoms nėra. Taip pat nėra ir universalus dviračio dydžio. Esminiai skirtumai tarp skirtingų stilių dviračių taip pat nėra labai ryškūs. Tačiau pačių įvairiausių dviračių tipams keliami specifiniai saugumo ir patikimumo reikalavimai, kurie aprašyti standartuose [1-3]. Pagrindinis dėmesys skiriamas apkrovoms, kuriomis dviratis veikiamas eksploatacijos metu. Standartai reglamentuoja statines bei dinamines šių apkrovų reikšmes, jų poveikio ribas dviračio konstrukcijai ir atskiriems jo komponentams. Konstrukcijos stiprumas, standumas ir eksploatacinės savybės įvertinamos vykdant bandymus arba naudojant analitinių tyrimų metodikas.

Šiaulių universiteto Technologinių bandymų centre technologijos fakulteto dėstytojai, studentai ir darbuotojai vykdo technologinius dviračių, jų detalių ir mazgų linijinius ir kampinius matavimus, medžiagų ar atskirų dviračio komponentų mechaninius bandymus. Šiame Technologijų bandymo centre taip pat buvo atlikti šiame darbe analizuojamo dviračio švaistiklio stiprumo ir standumo eksperimentiniai bandymai.

**Tyrimo objektas.** Dviračio myniklio švaistiklio stiprumo ir standumo tyrimas.

**Tyrimo tikslas.** Išanalizuoti ir eksperimentiškai patikrinti dviračių myniklio švaistiklio stiprumą ir standumą.

**Tyrimo uždaviniai:**

- Atlikti dviračio myniklio švaistiklio stiprumo ir standumo matavimo metodų analizę.
- Atlikti dviračio myniklio švaistiklio stiprumo ir standumo eksperimentinį tyrimą.
- Atlikti gautų eksperimentinių rezultatų analizę.

**Teorinė darbo reikšmė.** Išnagrinėtas deformacijų nustatymo metodas SolidWorks programa ir informacine matavimo sistema „Spider 8“, kuri atlieka tokias pagrindines funkcijas - gauna, apdoroja ir pateikia vartotojui tiriamojo objekto informaciją, kuri svarbi dviračio myniklio švaistiklio stiprumo tyrimams. Ši metodika gali būti taikoma bet kokios konstrukcijos dviračių ar jo elementų stiprumo tyrimams.

**Praktinė darbo reikšmė.** Iš gautų bandymų rezultatų galima spręsti apie švaistiklio atitikimą keliamiems reikalavimams.

**Darbo struktūra.** Magistro darbą sudaro įvadas, keturi skyriai, išvados, literatūros sąrašas.  
Darbo apimtis: 48 puslapiai, 23 paveikslėliai ir 9 lentelės.

# 1. DVIRAČIO MYNIKLIO ŠVAISTIKLIO BANDYMO METODIKA

## 1.1. Standartų apžvalga

Kiekvienas gaminy, neskaitant ar tai maisto pramonėje, ar tai sunkioji pramonė ar elementarūs produktai, tačiau jie gaminami pagal tam tikrą apibrėžtumą, t.y. reikalavimus/techninę užduotį/technologiją/eiliškumą/technologinį procesą ir pan. Jis turi atitikti jam keliamus techninius, saugos bei kokybinius reikalavimus. Vartotojų patogumui, gaminiai gaminami pagal bendrus susitarimus, nustatant atitinkamas normas, taisykles ir reikalavimus – standartus. Pagal tai, kas ir kaip gali susitarti ir kaip tie susitarimai bus skelbiami bei pagal jų veikimo principus, standartai gali būti skirstomi į atvirusius (laisvus) ir uždarus (kurie dažniausiai priklauso vienam gamintojui arba gamintojų grupei – kitaip sakant jie yra nuosavybiniai). Atvirusius standartus bet kas gali laisvai naudoti, matyti jų aprašymus (specifikacijas) bei reikšti pasiūlymus dėl tobulinimo.

Ekonominis atvirųjų standartų naudojimo efektas yra toks, kad jie sukuria sąžiningą, konkurencingą aplinką, skatina konkurenciją tarp tiekėjų, ir tokiu būdu sudaro geresnes sąlygas vartotojui. Pagrindiniai atvirųjų formatų (standartų) principai:

- Prieinamumas. Jie yra laisvai prieinami visiems (ir perskaitymo, ir įgyvendinimo prasme).
- Padidina galutinio vartotojo pasirinkimo laisvę. Atvirieji standartai sukuria sąžiningą, konkuruojančią rinką standarto realizavimams. Jie „nepirriša“ vartotojo prie konkretaus tiekėjo ar tiekėjų grupės.
- Nemokami. Atvirąjį standartą galima laisvai realizuoti visiems, už tai negali būti imamas mokestis (mokestis gali būti imamas tik už atitikimo standartui patikrinimą – sertifikavimą).
- Jokios diskriminacijos. Atvirieji standartai bei organizacijos, kurios juos administruoja negali teikti pirmenybės vienam realizuotojui prieš kitą dėl jokių kitų priežasčių išskyrus techninius pateiktos realizacijos atitikimus standartui. Sertifikavimo organizacijos turi sudaryti galimybę patikrinti atitikimą standartams ir pigiems bei nemokamiems įgyvendinimams.

Europos Sąjungos (ES) direktyvos reglamentuoja tikrai esminius reikalavimus, siekiant užtikrinti aukštą apsaugos lygį (sveikata, saugumas, vartotojai, aplinkos apsauga ir t.t). Esminiai reikalavimai išreiškiami tuo būdu, kad būtų pateikti privalomieji įsipareigojimai, kurie galėtų būti vieningai naudojami valstybėse narėse. Direktyvos nagrinėja dideles produktų grupes ir / arba grėsmes. Komisija įgaliojo Europos standartizacijos institucijas apibrėžti detalizuotus techninius sprendimus (darniuosius standartus), kuriuos gamintojai galėtų taikyti savanoriškai. Gamintojai gali pasirinkti, ar jiems taikyti šiuos darniuosius standartus (ar kitas technines specifikacijas), padedančius jų produktams atitikti esminius reikalavimus. Kai laikomasi suderintų

standartų, produktas laikomas atitinkančiu esminius reikalavimus (gamintojams daugiau nebereikia būti pripažintiems prieš trečiosios šalies sertifikavimą). Tačiau, gamintojai yra juridiskai atsakingi už tai, kad visi produktai, patenkantys į rinką, atitinka direktyvų nuostatas. Valstybės narės turi užtikrinti, kad neatitinkantys produktai būtų pašalinami iš rinkos (rinkos priežiūra). Direktyvos taip pat reglamentuoja atitikties įvertinimo procedūras, įvertinančias direktyvų laikymąsi, atsižvelgiant į nustatytas potencialias rizikas. Atitikties įvertinimą vykdo bandymų ir sertifikavimo institucijos („paskelbtos institucijos“), skiriamos Valstybių narių, savo kompetencijos ribose ir prisiimdamos atsakomybę.

## **1.2. Dviračiams keliami saugos reikalavimai ir bandymo metodai**

Kaip gaminys ar produktas dviratis taip pat ne išimtis. Europos Sąjungos direktyvų ar konkrečių nacionalinių teisės aktų, kuriose būtų nustatyti saugos reikalavimai dviračiams, nėra, todėl atsižvelgiant į visos Europos poreikius ir siekiant, kad gaminami dviračiai būtų kuo saugesni, Europos standartizacijos komitetas 2005 m. patvirtino saugos standartus Kalnų dviračiams (balnelio aukštis iki 635 mm ar daugiau), Miesto ir turistiniams dviračiams (balnelio aukštis yra 635 mm ar daugiau) bei Vaikiškiems dviračiams (balnelio aukštis nuo 435 mm iki 635 mm). Standartuose nurodyti dviračių saugos ir eksploatacijos reikalavimai bei saugos bandymo metodai, atsižvelgiant į dizainą, montavimą ir dviračių bei atskirų jo dalių testavimą. Standartuose taip pat pateikiamos dviračių naudojimo ir priežiūros instrukcijų gairės.

Europos standartai perimti kaip Lietuvos standartai ir jiems suteiktas nacionalinio standarto statusas:

- LST EN 14765:2006+A1:2008 Vaikiški dviračiai. Saugos reikalavimai ir bandymo metodai;
- LST EN 14764:2006 Miesto ir turistiniai dviračiai. Saugos reikalavimai ir bandymo metodai;
- LST EN 14766:2006 Kalnų dviračiai. Saugos reikalavimai ir bandymo metodai.

Lietuvoje produktų saugos vertinimas atliekamas vadovaujantis Produktų saugos įstatymo (Žin., 2001, Nr. 64-2324; 2004, Nr. 25-757) nuostatomis [4]. Šiame įstatyme nurodoma, kad tiekiamas į rinką produktas turi būti saugus, o kai nėra konkretaus produkto saugą reglamentuojančio teisės akto, pateikiami atitinkami savanoriški saugos vertinimo būdai. Vienas iš dviračių saugos vertinimo būdų - kai dviratis gamintojo arba jo atstovo savanoriškai išbandomas bandymų laboratorijoje pagal atitinkamo Europos standarto saugos reikalavimus, o dviračio rėmas ženklinamas, nurodant

deklaruojamo standarto žymenį ir gamintojo arba jo atstovo pavadinimą. Gamintojas arba jo atstovas, kad įrodytų dviračio saugą, gali savanoriškai pasirinkti ir kitus saugos vertinimo būdus, numatytus Europos Sąjungos bendros gaminių saugos direktyvoje 2001/95/EB, apie tai pateikdamas tinkamą informaciją vartotojui. Standartai reikalauja iš gamintojo atlikti ne tik viso gaminio, bet ir atskirų jo elementų (rėmo, vairo, šakės ir pan.) bandymus. Bandymų rezultatai laikomi teigiamais, jeigu po atliktų bandymų nenustatomi lūžiai, įtrūkimai ar leistinus dydžius viršijantys konstrukcijos formos pakitimai

### **1.3. Standarto reikalavimas dviračio myniklio švaistikli ciklinis bandymams**

Atlikus bandymą atlikus 1.4 aprašytu metodu, ant pedalų ašių, alkūninių svertų, apatinio kronšteino ašies ar tvirtinimo detalių nelieka jokių matomų įtrūkimų ar lūžių.

### **1.4. Bandymo metodas pagal standartą.**

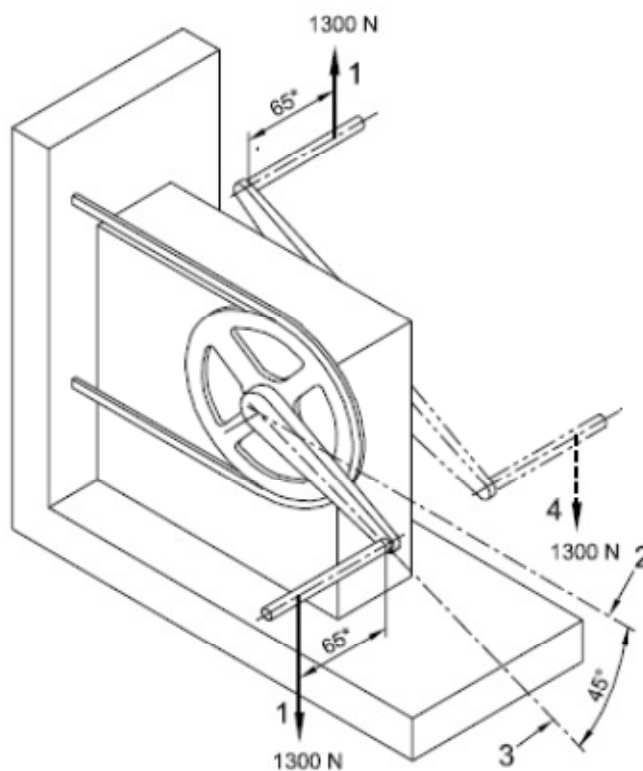
Sumontuokite agregatą, susidedantį iš dviejų pedalų ašių adapterių, dviejų alkūninių svertų, grandinės rato (ar kito varomojo komponento) ir apatinio kronšteino ašies, įtaisytos į įprastai gaminamus guolius, ant pagrindo su guolių nišomis, kaip parodyta 1.1 pav. Palenkite alkūninius svertus link horizontalės 45° kampu. Kad agregatas nesisuktų, aplink grandinės ratą uždėkite tinkamo ilgio varomąją grandinę ir saugiai ją pritvirtinkite prie tinkamos atramos, arba jeigu transmisija yra kitokio tipo (pvz., varoma diržu ar velenu), įtvirtinkite pirmąją transmisijos pakopą.

PASTABA. Leidžiama pasirinkti vieną iš dviejų kairiojo alkūninio svarto pozicijų, parodytų 45 pav., jeigu bandomąją jėga veikiama tinkama kryptimi, kaip nurodyta kitoje pastraipoje.

Veikite pakartotine vertikalia dinamine 1 300 N jėga pakaitomis – tai į kairiojo, tai į dešiniojo alkūninio svarto pedalų ašių adapterius, 65 mm atstumu nuo išorinės kiekvieno alkūninio svarto pusės (kaip parodyta 1.2 pav.) 100 000 ciklų (vieną bandomąjį ciklą sudaro dviejų jėgų panaudojimas). Jėga, kuria veikiama į dešinią alkūninį svartą, bus nukreipta vertikaliai žemyn, o jėga, kuria veikiama į kairią alkūninį svartą, bus nukreipta vertikaliai aukštyn. Jeigu abu svartai nukreipti į priekį, abu svartus veikiančių jėgų kryptis bus vertikaliai žemyn. Naudodami bandomąsias jėgas, užtikrinkite, kad jėga, kuria veikiama į pedalo ašies adapterį, sumažėja iki 5% ar mažiau jėgos maksimumo, prieš paveikiant bandomąją jėga kitą pedalo ašies adapterį.

Maksimalus bandomasis dažnis yra 25 Hz.

Matmenys milimetrais



Raktas:

- 1 Pakartotinė bandomoji jėga
- 2 Horizontali ašis
- 3 Alkūninio sverto ašis
- 4 Alternatyvinė kairiojo alkūninio sverto pozicija
- \* Iš alkūninio sverto išorinės pusės.

**1.1 pav.** Alkūninio sverto agregatas. Nuovargio bandymas (tipiškas bandymas)



## 2. DEFORMACIJŲ IR ĮTEMPIŲ MATAVIMO METODAI IR PRIEMONĖS

### 2.1. Matavimo metodų apžvalga

Mechaninių jėgų, momentų ir deformacijų matavimui naudojami įvairūs metodai, t.y. mechaniniai, elektromechaniniai, ultragarsiniai, vizualieji, fototamprumo ir optiniai [5,6].

Ultragarso bangų atspindžiu nuo dviejų aplinkų skiriamosios ribos - ultragarsiniai arba akustiniai matavimo metodai, kurie dažniausiai naudojami detalių matmenims išmatuoti ir norint gauti trimatį erdvinį vaizdą.

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

Mechaniniai matavimo metodai pagrįsti metalinių plokštelių arba elementų deformavimusi. Jie dažniausiai taikomi statinėms mechaninėms 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 tiksliais (iki  $\pm 0,5\mu m$ ) objektų poslinkiams matuoti.

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 matuojamųjų dinaminė 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, foliniai, puslaidininkiniai) [5,6]. 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);  $\varepsilon$  – santykinė deformacija.

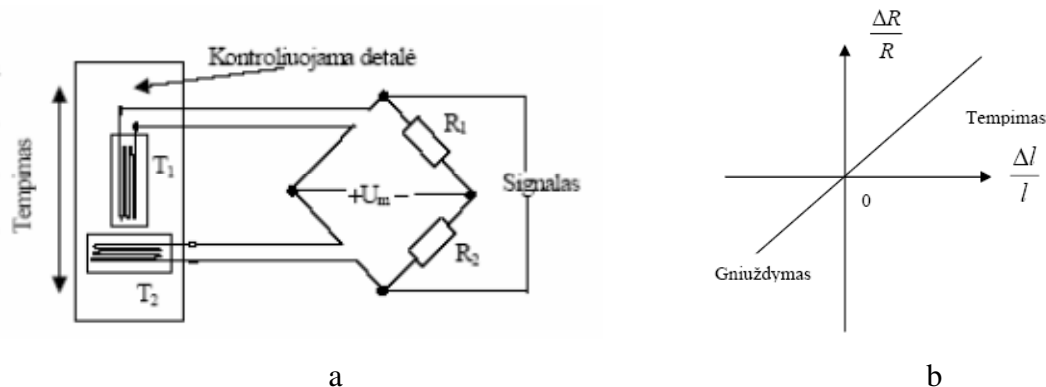
Tenzorezistoriaus jautrio koeficientas kietiesiems kūnams:

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

čia:  $\nu = -\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon}$  - Puasono koeficientas,  $m = \frac{\Delta\rho/\rho}{\Delta l/l}$  - ( $\rho$  – savitoji varža) - savitosios varžos pokytis,

susijęs su medžiagos savybių kitimu. Metalams  $K \approx 1 + 2\nu$ , o puslaidininkiams,  $K \approx m$  [5,6].

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 [6,7]. Šiame darbe matuoti deformacijoms pasirinkti foliniai tenzorezistoriniai davikliai, kurių jungimo schemas pavyzdys (a) ir keitimo charakteristika (b) pateikti 2.1 paveikslėlyje.

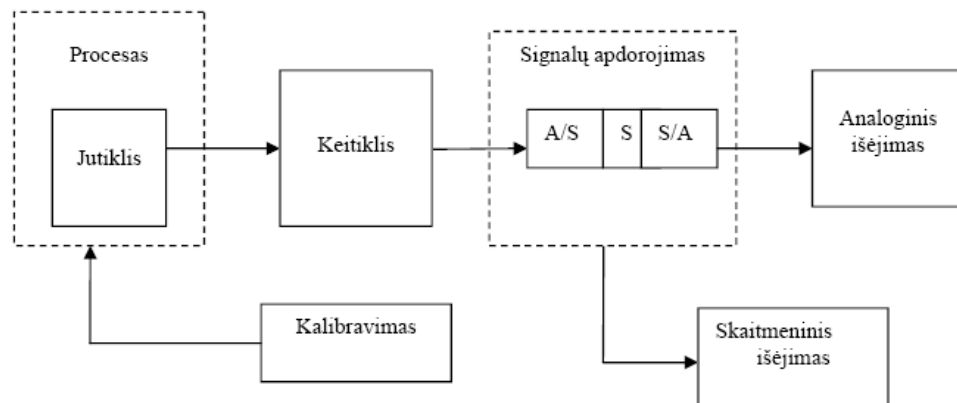


**2.1 pav.** Tenzorezistoriniai davikliai: a – tenzodaviklių įjungimo schema; b – folinių tenzodaviklių charakteristika

## 2.2. Matavimo sistemos sandara

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

- a) daviklis / 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 kokį nors fizikinį reiškinį tam, kad pajautų matuojamąjį dydį. Keitiklis pakeičia šį priimtą dydį mechaniniu, optiniu, elektriniu, pneumatiniu, hidrauliniu ar kitokiu signalu, tai yra suteikia signalui tokį pavidalą, kurį 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
- atlikti su gaunamu signalu matematinės operacijas,
- eliminuoti nereikalingas signalo dedamąsias.

Jeigu matavimo sistemoje yra kompiuteriai, tai į signalų norminimo funkcijas, įeina signalo formos pakeitimas iš analoginės į skaitmeninę [6]. 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 informacijos toliau neapdorojame arba 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 (daugybą, dalybą, sudėtį, atimtį, diferencijavimą, integravimą ir pan.). Tokiems matavimų sistemų operaciniams elementams sudaryti dažniausiai naudojami operaciniai stiprintuvai [6,8]. 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 grįžtamoju ryšiu.

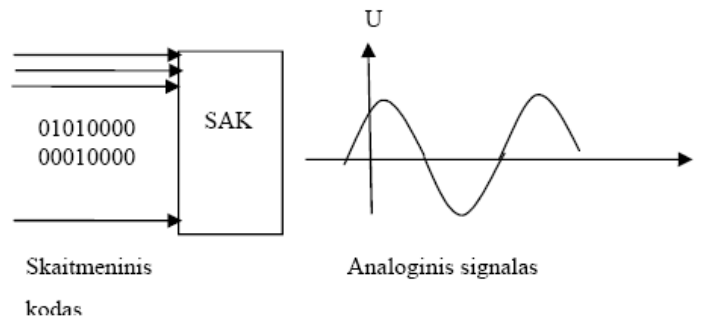
Operacinis stiprintuvas priklausomai nuo to, kokie elementai įjungti į jo išėjimo ir grįžtamojo ryšio grandinę, gali atlikti skirtingas matematinės operacijas. Panaudojant grįžtamuosius ryšius, suformuojama norima signalo keitimo funkcija ir gaunamas reikiamas stiprinimo koeficientas [8]. Stiprintuvas 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) [6,8]. 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 skaitmeninio analoginio keitiklio 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:

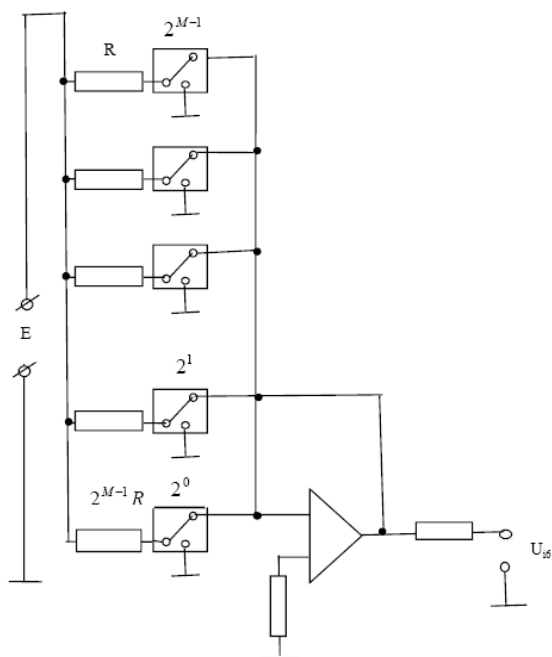
$$U_{i\check{s}} = IR_0 \quad (2.6)$$

čia:  $I = E \sum_{m=1}^M \frac{C_m}{2^{M-1}}$  ( $C_m$  - yra skaičiai 1 arba 0, priklausomai nuo  $m$ -tojo registro įėjimo būsenos).

Analoginiuose skaitmeniniuose keitikliuose analoginė įėjimo įtampa  $U_{1n}$  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 įėjimų skaičius,  $y_1, y_2, \dots, y_n$  - įėjimų koeficientai, kurie gali būti 0 arba 1.

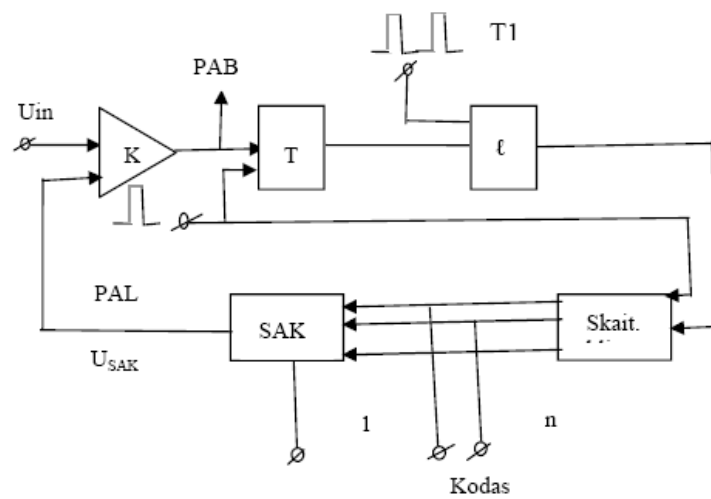


**2.4 pav.** Skaitmeninio analoginio keitiklio principinė schema:

ARS – aukščiausia reikšmės skiltis, ŽRS - žemiausia reikšmės skiltys.

Skilčių koeficientai, atitinkantys išėjimo kodą, gali būti gauti vienu metu arba nuosekliai vienas po kito. Pagal tai keitikliai skirstomi į lygiagrečiuosius ir nuoseklius. 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 – komparatorius; T – trigeris; l - sutapimo schema; Skait. – skaitiklis , SAK – skaitmeninis analoginis keitiklis

### 3. DVIRAČIO ŠVAISTIKLIO MYNIKLIO STIPRUMO IR STANDUMO TYRIMAS

#### 3.1. Deformuojamųjų metalų įtempimų ir deformacijų būvis

Šiuo metu dviračių myniklio švaistiklis gaminami iš plieno ir aliuminio. Šiame darbe eksperimentai atlikti su švaistikliu, kuris pagamintas iš plieno 45. Panagrinėsime įtempimų 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 elektrostatines 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 [9]:

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

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

Šios sąveikos potencinės energijos dydis nulemia kristalinės gardelės matmenis ir formą, o tuo pačiu ir metalo mechanines savybes [9,10]. 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 įtempimų atsiradimą. Apkraunant kūną, didėja vidinė jėga, tenkanti vienai gardelei. Kai įtempimas neviršija tam tikro dydžio, kūno tamprioji deformacija atsiranda dėl atstumų tarp kristalinės gardelės mazguose esančių dalelių padidėjimo. Nukraunant kūną, veikiančios vidinės sąveikos jėgos grąžina daleles vėl į pusiausvyros padėtis. Padidėjus vidinėms jėgoms, gardelės pasislenka viena kitos atžvilgiu ir taip pasireiškia šlytis. Didėjant įtempimams gardelėse atsiranda negrįžtamų pokyčių – prasideda slydimas dislokacijų ir struktūros netobulumų išdėstymo plokštumose. Trapiose medžiagose kristalų sandūroje atsiranda mikro plyšiai [11].

Pagal Huko dėsnį [10,12,13] galioja tiesinis ryšys tarp kietojo kūno įtempimų bei deformacijų. Be abejo, tiesinė priklausomybė pasireiškia tik esant nedideliems įtempimams.

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



čia:  $\sigma$  – įtempimas,  $\varepsilon$  – santykinė deformacija,  $E$  – tamprumo modulis.

Daugelis inžinerinių konstrukcijų patiria mažas deformacijas ir jų ryšys su įtempimais yra tiesinis, todėl galima laikyti, kad įtempimai  $\sigma$  yra tiesiogiai proporcingi deformacijoms  $\varepsilon$  [9].

Bendruoju atveju deformacijos ir įtempimai sudaro tenzorius [10,12,13] . Įtempimų būvis bet kuriame kūno taške nustatomas įtempimų cenzoriumi

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

čia:  $\sigma_i$  - normalinių įtempimų komponentės,  $\tau_{ij}$  - tangentinių įtempimų komponentės

( $i = x,y,z; j = x,y,z$ )

Įtempimų tenzorių (3.3) galima išskaidyti į sferinį tenzorių  $T_{\sigma}^0$  ir tenzorių deviatorių

$D_{\sigma}^H$  .

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

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 tenzorius įstrižainėje išdėstyti vidutiniai įtempimai  $\sigma_v$  ir jo komponentės sukelia tūrio deformacijas.

Tenzorius deviatorius

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

Įtempimų deviatoriaus komponentės sukelia kūno formos pokyčius.

Kūno deformacijų būvis bet kuriame taške nustatomas deformacijų tenzoriumi [10, 12, 13 ]

$$T_D = \begin{pmatrix} \varepsilon_x & \frac{\gamma_{xy}}{2} & \frac{\gamma_{xz}}{2} \\ \frac{\gamma_{yx}}{2} & \varepsilon_y & \frac{\gamma_{yz}}{2} \\ \frac{\gamma_{zx}}{2} & \frac{\gamma_{zy}}{2} & \varepsilon_z \end{pmatrix} \quad (3.7)$$

čia:  $\varepsilon$  - santykinė linijinė deformacija,  $\gamma$  – santykinė šlytis.

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

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

$$T_D^0 = \begin{pmatrix} \varepsilon_v & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_v & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_v \end{pmatrix},$$

$$D_D^H = \begin{pmatrix} \varepsilon_x - \varepsilon_v & \frac{\gamma_{xy}}{2} & \frac{\gamma_{xz}}{2} \\ \frac{\gamma_{yx}}{2} & \varepsilon_y - \varepsilon_v & \frac{\gamma_{yz}}{2} \\ \frac{\gamma_{zx}}{2} & \frac{\gamma_{zy}}{2} & \varepsilon_z - \varepsilon_v \end{pmatrix} \quad (3.8)$$

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

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

Huko dėsnis tenzorinėje formoje užrašomas tokiu būdu:

❖ tūrio kitimo

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

❖ 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 myniklio švaistiklio eksperimentiniai tyrimai**

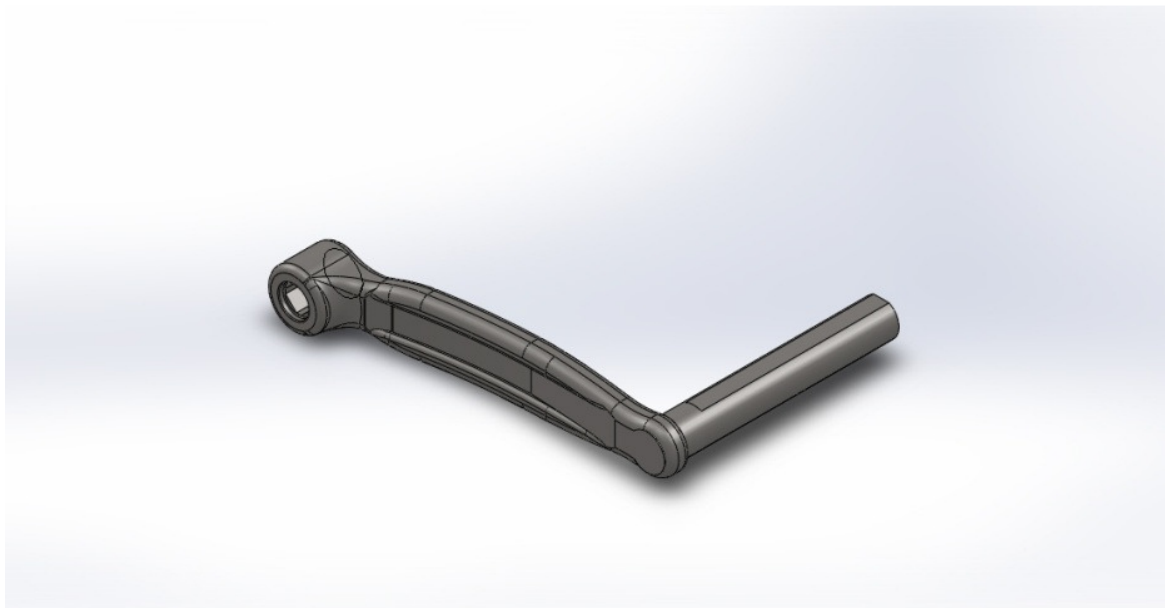
### **3.2.1. Baigtinių elementų metodas (BEM)**

Projektuojant gaminį būtina atsižvelgti į jo ilgaamžiškumą. Tai atliekama vykdant įvairiausių bandymus. Tačiau tikslūs bandymai kainuoja brangiai ir dažniausiai jie fiziškai užima nemažai laiko. Šiuolaikinėje pramonėje labai svarbus laikas nuo gaminio projektavimo pradžios iki jo gamybos. Kad sumažinti laiko sąnaudas yra sukurtos ir toliau vystomos projektavimo ir moduliavimo programos. Jų pagalba atliekama įvairios simuliacijos, kurios padeda nustatyti gaminio ar konstrukcijos ilgaamžiškumą, stiprumą apkrovoms, stabilumą, standumą ir kt. parametrus. Rezultatai gaunami per trumpą laiką, užtenka keletos minučių, kad būtų galima įvertinti atitinkamų parametrų tinkamumą keliamiems reikalavimams.

Baigtinių elementų metodas (BEM) - skaitinis metodas, leidžiantis rasti apytikslus diferencialinių lygčių dalinėmis išvestinėmis ar integralinių lygčių sprendinius. Metodo esmė - sritis, kurioje ieškomas sprendimas, suskaidoma į dalis (baigtinius elementus). Tada daroma prielaida, kad kiekviename elemente nagrinėjamas nežinomasis kinta nesudėtingu dėsnio ir diferencialinė lygtis jame pakeičiama į algebrinių lygčių sistemą. Sujungus visų elementų sistemas gaunama sistema, kurią išsprendus gaunamas atsakymas.

Baigtinių elementų metodas yra plačiai taikomas beveik visuose inžinerijos srityse - aviacijoje, robotizavime, automobilių pramonėje, biomedicinoje, elektronikoje, energetikoje, gamybos, bei plastiko pramonėje. BEM naudojamas ne tik analizuojant statinius struktūrines problemas, bet ir šilumos perdavimo, dinamikos, stabilumo problemų sprendimui ir analizavimui. Taipogi tai yra geras įrankis skirtas detalių ar mazgų optimizavimui, esamų gaminių patikrinimui, projektuojant taikant naujas struktūras ir koncepcijas. BEM vis plačiau naudojamos saugumo tyrimams bei avarijų ar rekonstrukcijoms ir kriminaliniams tyrimams.

Dviračio myniklio švaistiklio bandymo atlikimui pasirinkta "SolidWorks" 3D modeliavimo programa. Nubraižytas trimatis švaistiklio modelis (3.1 pav.) ir išbandytas baigtinių elementų metodu. Nurodomi tiriamo objekto įtvirtinimo paviršiai (3.2 pav) bei apkrovų veikiamas paviršius (3.3 pav.) išbandytas baigtinių elementų metodu. Simuliacijos vaizdai ir gauti rezultatai pateikti paveikslėliuose ir lentelėse.



**3.1 pav.** Nagrinėjamo myniklio švaistiklio modelio vaizdas

**3.1 lentelė.** Medžiagos mechaninės charakteristikos

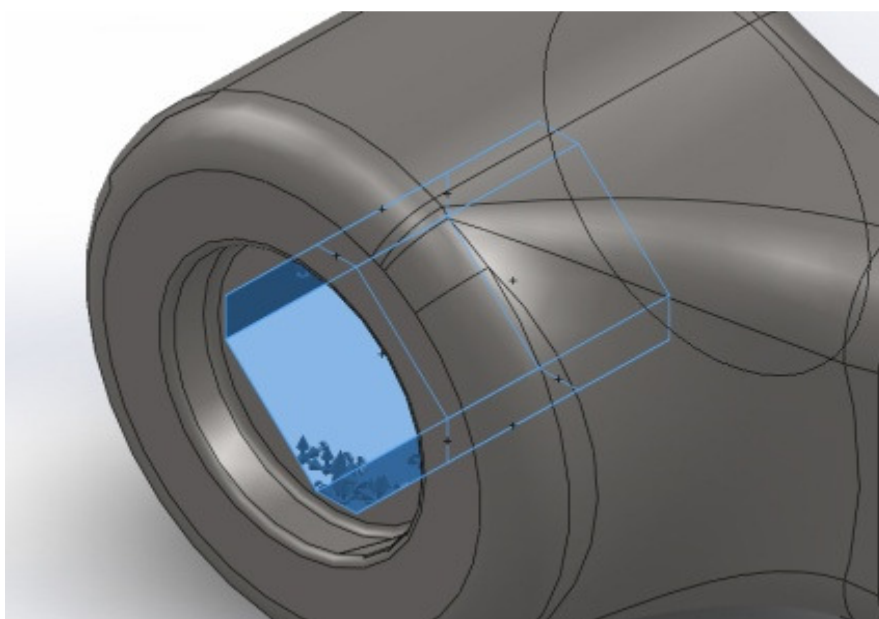
Pavadinimas	Reikšmė	Vienetai
Tamprumo modulis	2e+011	Pa
Puasono koeficientas	0.3	
Tankis	7800	kg/m <sup>3</sup>
Stiprumo riba	7.5e+008	Pa
Takumo riba	4.6e+008	Pa

**3.2 lentelė.** Tinklelio informacija

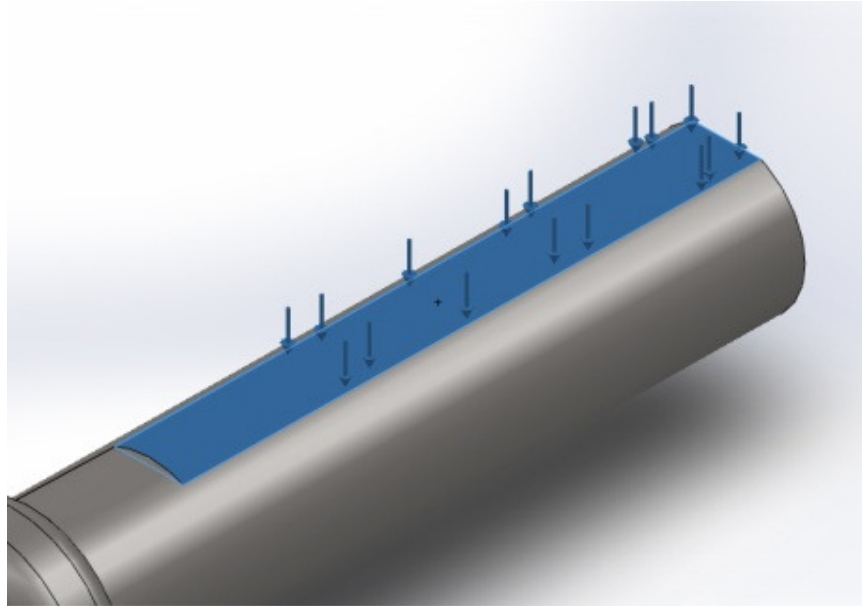
Tinklelio tipas:	Tankus tinklelis
Naudotas tinklelis:	Standartinis tinklelis
Jakobijano patikrinimas:	4 taškai
Elementų dydis:	7 mm
Tolerancija:	0.35 mm
Tikslumas:	Aukštas
Elementu skaičius:	4345
Mazgų skaičius:	7696

### 3.3 lentelė. Rezultatai

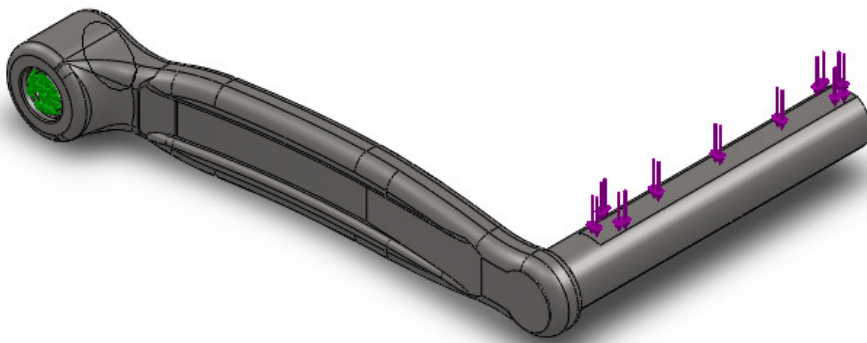
Pavadinimas	Maksimalūs
Įtempimai	136.823 N/mm <sup>2</sup> (MPa) Mazgas: 3003
Poslinkiai	0 mm Mazgas: 399



3.2 pav. Fiksavimo paviršiai

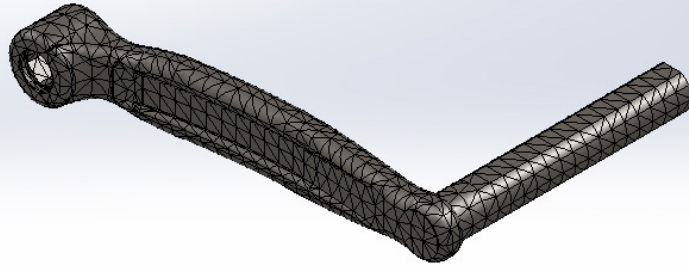


**3.3 pav.** Apkrovų veikiamas paviršius



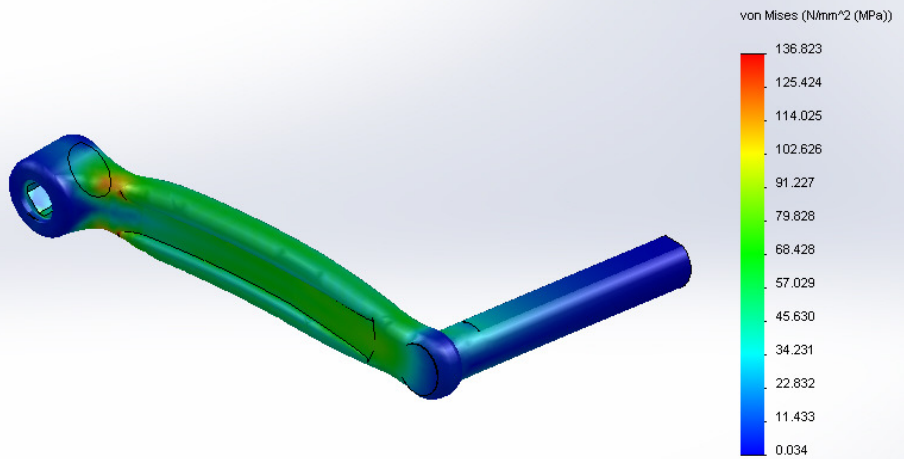
**3.4 pav.** Įtvirtintas modelis su veikiančia apkrova

Model name: Svaistiklis  
Study name: SimulationXpress Study  
Mesh type: Solid mesh

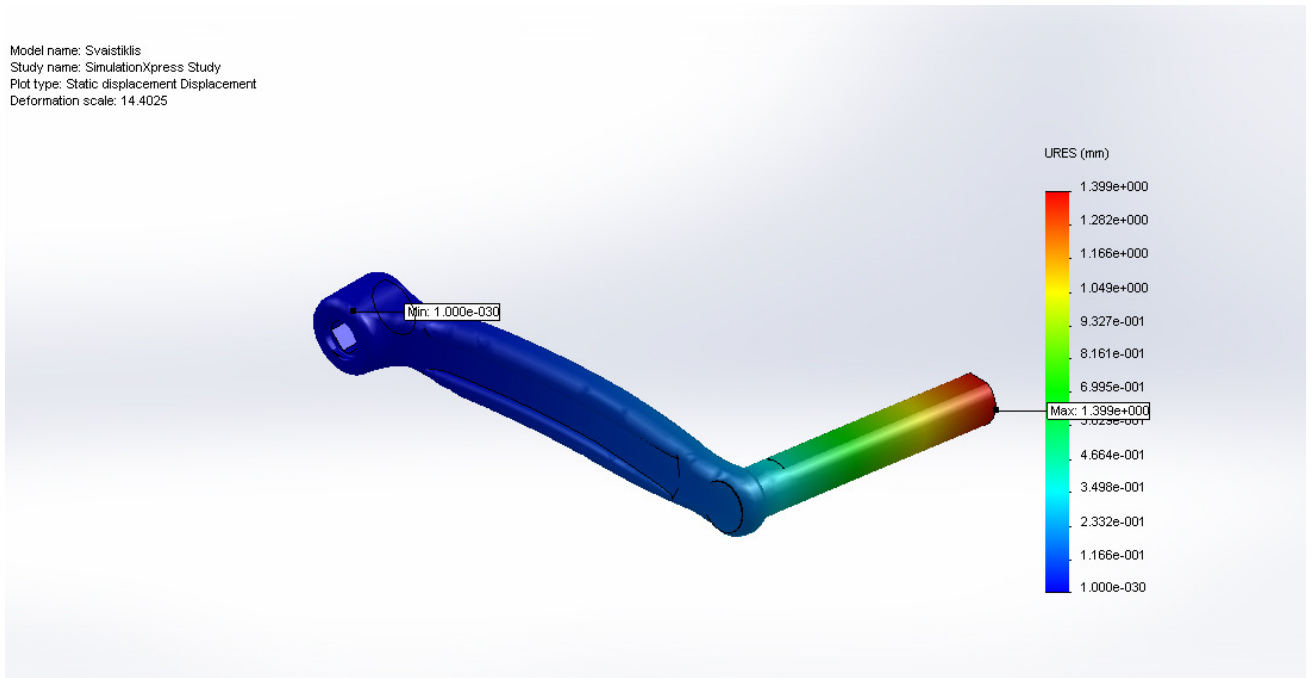


3.5 pav. Baigtinių elementų tinklelis

Model name: Svaistiklis  
Study name: SimulationXpress Study  
Plot type: Static nodal stress Stress  
Deformation scale: 14.4025



3.6 pav. Ekvivalentiniai įtempimai



**3.7 pav.** Poslinkiai

### 3.2.2. „Spider 8“ informacinė matavimo sistema

Mechaniniams dydžiams: slėgiams, poslinkiams, įtempimams, jėgoms, pagreičiams ir kt. siūloma naudoti informacinę matavimo sistemą „Spider 8“ [14, 15], sujungtą su foliniais tenzodavikliais ir valdomą „Catman“ programine įranga. Šie jutikliai gali būti jungiami tiltelio, pusės arba ketvirčio tiltelio schema.

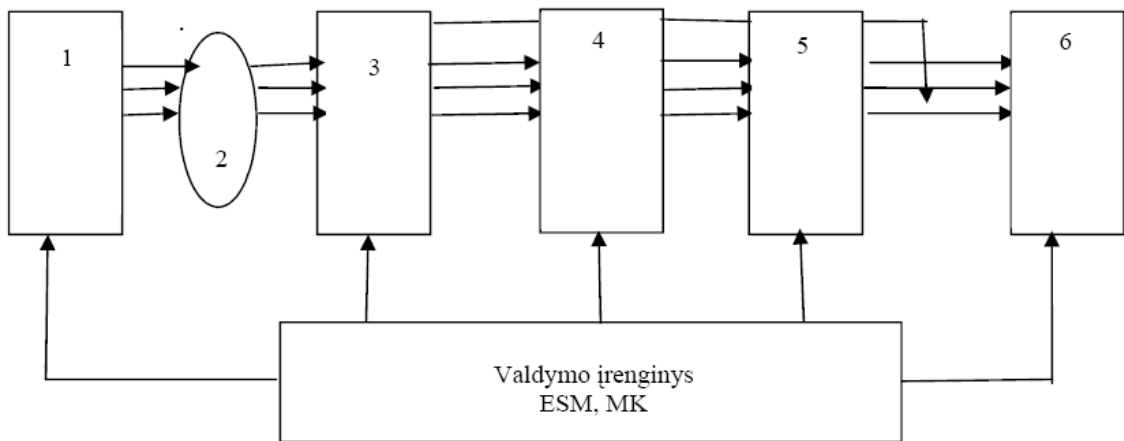
„Spider 8“ yra informacinė matavimo sistema (IMS), sukurta kaip vienas įrenginys. Ji atlieka visas pagrindines funkcijas – gauna, apdoroja ir pateikia tiriamojo objekto informaciją, suformuoja tiriamojo objekto matavimo informaciją ir tiriamojo objekto valdymo poveikius. Kiekvienoje IMS galima išskirti tokius pagrindinius blokus (3.8 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.

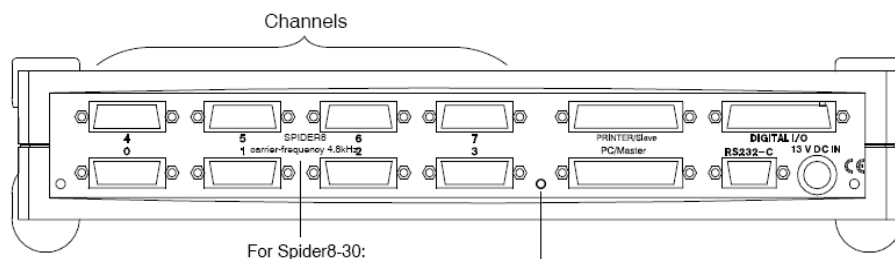
Informacija iš IMS gali būti pateikiama operatoriui arba ESM. Tiek operatorius, tiek ESM gali per IMS valdymo bloką keisti jos darbo programą. Racionaliausias IMS sudarymo principas – kai sistema kuriama kaip vienas įrenginys, susidedantis iš nepriklausomų funkcinų mazgų (modulių). Kiekvienas modulis 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.



**3.8 pav.** Informacinės matavimo sistemos funkcinė schema:

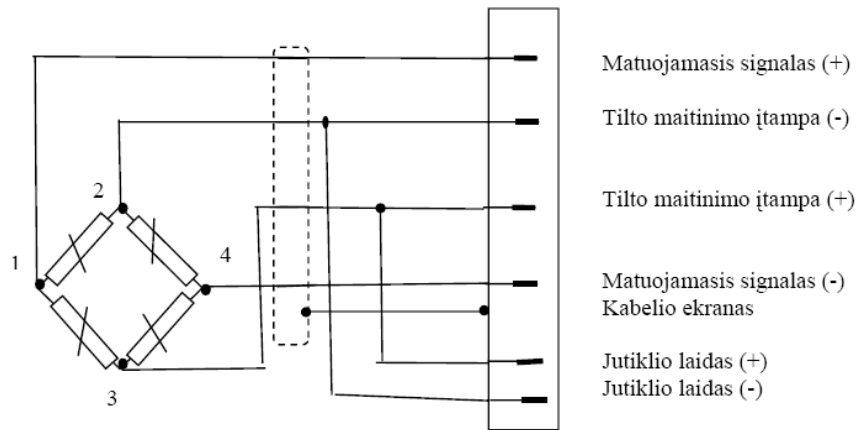
1 – išorės veiksniai; 2 – objektas; 3 – keitikliai; 4 – matavimo rezultatų apdorojimas; 5 – informacijos registracija; 6 – informacijos atvaizdavimas

Prietaisas „Spider 8“ (3.9 pav.) turi standartiškai keturis sukomplektuotus kanalus. Įrenginys su kuriuo buvo atlikti bandymai turi sukomplektuotus aštuonis 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.



**3.9 pav.** „Spider 8“ vaizdas iš galo

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) [14]. 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 3.10 paveiksle.



**3.10 pav.** Tenzodaviklio jungimo pilnuoju tilteliu schema

Matuojamąsias deformacijas pajaučia tenzorinis jutiklis ir paverčia ją elektrinės varžos pokyčiu, o šis, panaudojant tiltelinę schemą (3.10 pav.), elektrinės grandinės įtampos pokyčiu. Šie elektriniai signalai panaudojami išėjimo dydžiui suformuoti.

Išėjimo įtampa:

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

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  $U_{i\ddot{s}} = 0$ . Deformacijų matavimui dažnai 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 ir jo varža keičiasi dėl atitinkamos detalės deformacijos, tuomet šio jutiklio varža  $R_l = R + \Delta R = R_x$  ( $\Delta R$  – varžos pokytis dėl deformacijų), tai išėjimo įtampa [16, 17]:

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

arba

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

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

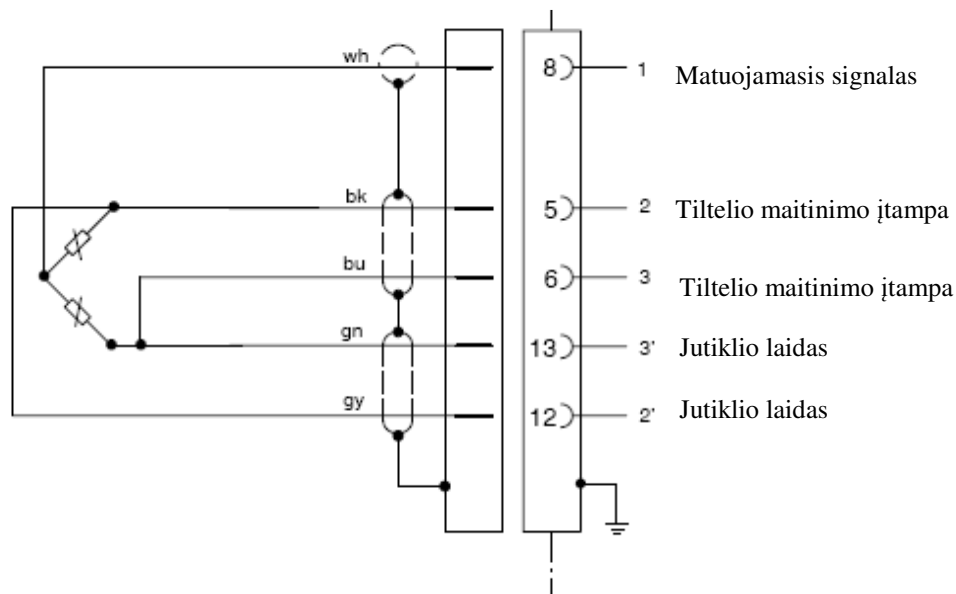
$$\frac{U_{i\check{s}}}{U_m} \approx \frac{1}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R} \quad (3.15)$$

Jeigu du aktyvieji jutikliai jungiami į gretimas tiltelio šakas ir kinta jų abiejų varžos dydžiu  $\Delta R$ , tuomet [16]:

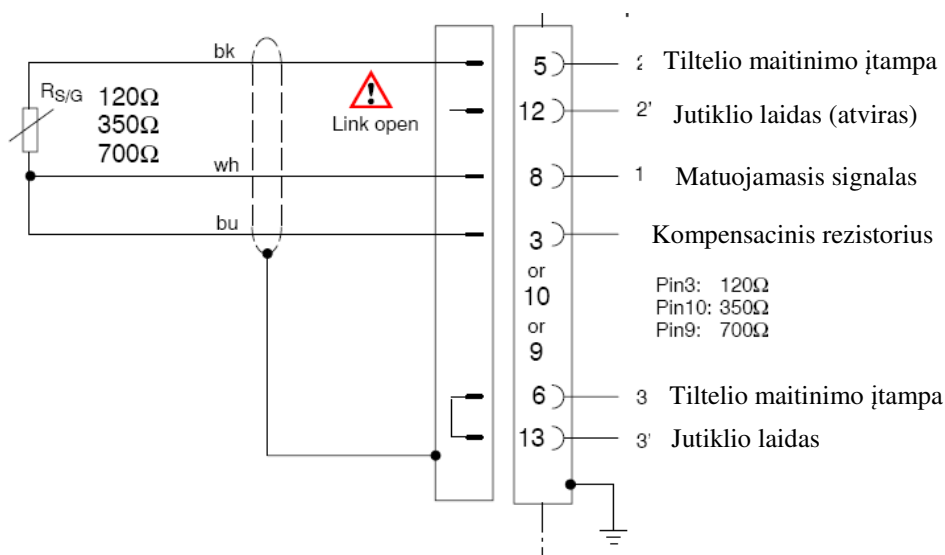
$$\frac{U_{i\check{s}}}{U_m} \approx \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R} \quad (3.16)$$

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

Be pateiktos 3.10 paveiksle tiltelio jungimo schemas, gali būti panaudota pusės ir ketvirčio tiltelio schemas (3.11 – 3.12 pav.).



**3.11 pav.** Tenzodaviklio jungimo pusės tiltelio schema

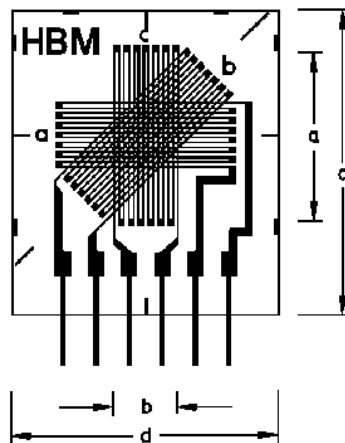


**3.12 pav.** Tenzodaviklio jungimo ketvirčio tiltelio schema

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

### 3.2.3. Dviračio myniklio švaistiklio eksperimentinio tyrimo metodika

Dviračio myniklio švaistiklio stiprumo tyrimus atlikome aukščiau išnagrinėta „Spider 8“ sistema. Kadangi bandymo metu švaistiklyje veikiančių svarbiausių įtempimų veikimo kryptis buvo nežinoma, buvo nuspręsta pasirinkti rozetės tipo tenzodaviklius. Iš keleto galimų folinių tenzodaviklių variantų bandymams buvo pasirinkta naudoti tenzodaviklius HBM 1-RY91-3/120 (3.13 pav.). Jo klijavimui buvo panaudoti Vokeitijos kompanijos „Wurth“ Cianokrilato konstrukciniai klijai [18].



3.13 pav. Daviklio bendras vaizdas:

$a = 3 \text{ mm}$ ,  $b = 1,25 \text{ mm}$ ,  $c = 9 \text{ mm}$ ,  $d = 9 \text{ mm}$ .

Daviklis pagamintas iš konstantano folijos aplietas poliamidu, matavimo bazė 3 milimetrai, varža  $120 \Omega$ , maksimali matavimo įtampa 2 V, jutiklių išdėstimas vienas kito atžvilgiu  $0^\circ/45^\circ/90^\circ$ . Šie jutikliai skirti matuoti plieninių detalių deformacijom.

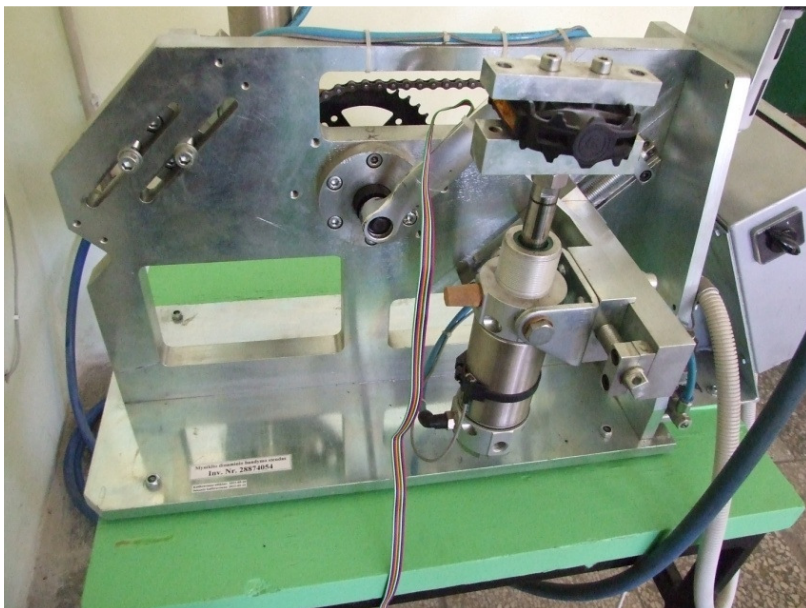
### 3.2.4. Eksperimento eiga:

Šiaulių Universitete technologinių bandymų centre (TBC), dviračio švaistiklio myniklio standumo ir stiprumo tyrimo eksperimentinė dalis buvo atlikta eiliškumu:

- nuo myniklio švaistiklio paviršiaus nuimtas apsauginis sluoksnis;
- skiedikliu „646“ nuriebalintas paviršius;
- cianoakrilato tipo klijai spriklijuotas tenzo daviklis (3.14 pav.);
- prie tenzo daviklio kontakto išvadų prilituoti laidai pagal schemą (parodytą 3.10 pav.);
- prie kitų laido galų prilituotos jungtys, kurios jungiamos į „Spider 8“ sistemą;
- dviračio miniklio švaistiklis įtvirtinamas į myniklio dinaminio bandymo stendą (INV. NR. 28874054) (3.15 pav.);



**3.14 pav.** Tenzodaviklio klijavimas



**3.15 pav.** Stende įtvirtinto švaistiklio vaizdas

## 4. DVIRAČIO ŠVAISTIKLIO MYNIKLIO STIPRUMO EKSPERIMENTINIŲ REZULTATŲ ANALIZĖ

### 4.1. Įtempimų ir deformacijų skaičiavimai

Dviračio švaistiklis paprastai gaminami iš plieno. Bandymas atliktas su dviračio švaistikliu, kuris pagaminta iš plieno C45. Plieno C45 cheminė sudėtis ir mechaninės charakteristikos [19] pateiktos 4.1 ir 4.2 lentelėse.

**4.1 lentelė.** Plieno C45 cheminė sudėtis

C, %	Si, %	Mn, %	Cr, % (min-max)
0,42-0,50	0,15-0,35	0,50-0,80	0,20-0,40

**4.2 lentelė.** Plieno C45 mechaninės charakteristikos

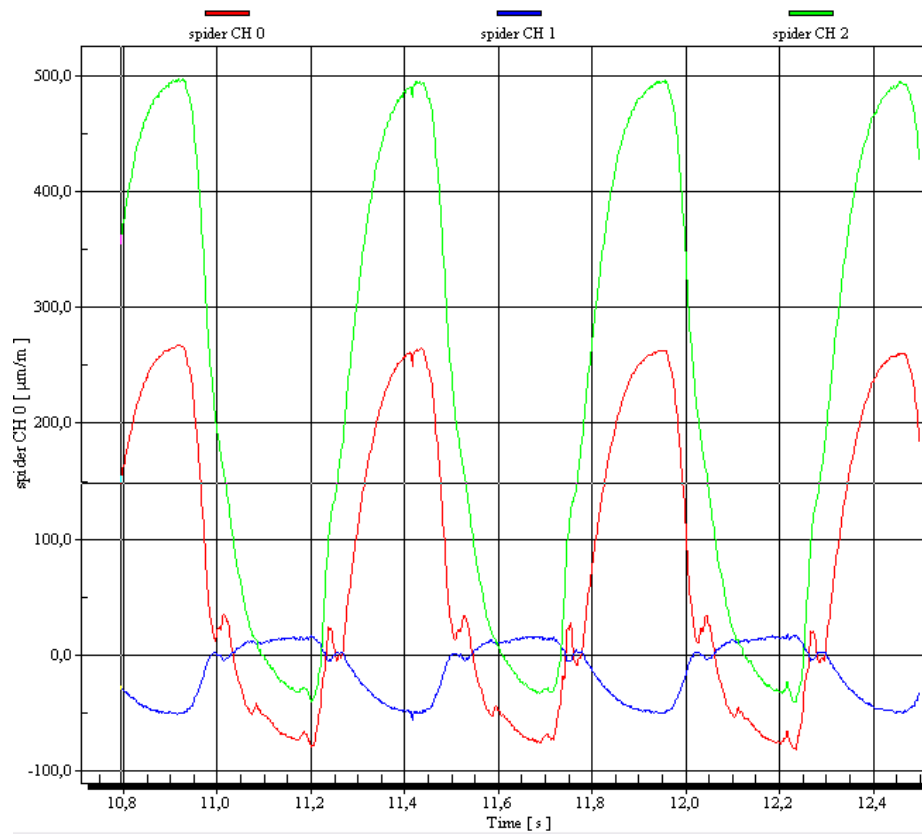
Takumo riba $\sigma_y$ , MPa	Stiprumo riba $\sigma_u$ , MPa	Santykinis ištįsimas $\delta$ , %	Santykinis skerspjūvio susitraukimas $\Psi$ , %	Tamprumo modulis E, MPa	Puasono koeficientas $\nu$
460	750	18	58	$2 \cdot 10^5$	0,3

**4.3 lentelė.** Deformacijos ir įtempimai (Catman programos parodymai)

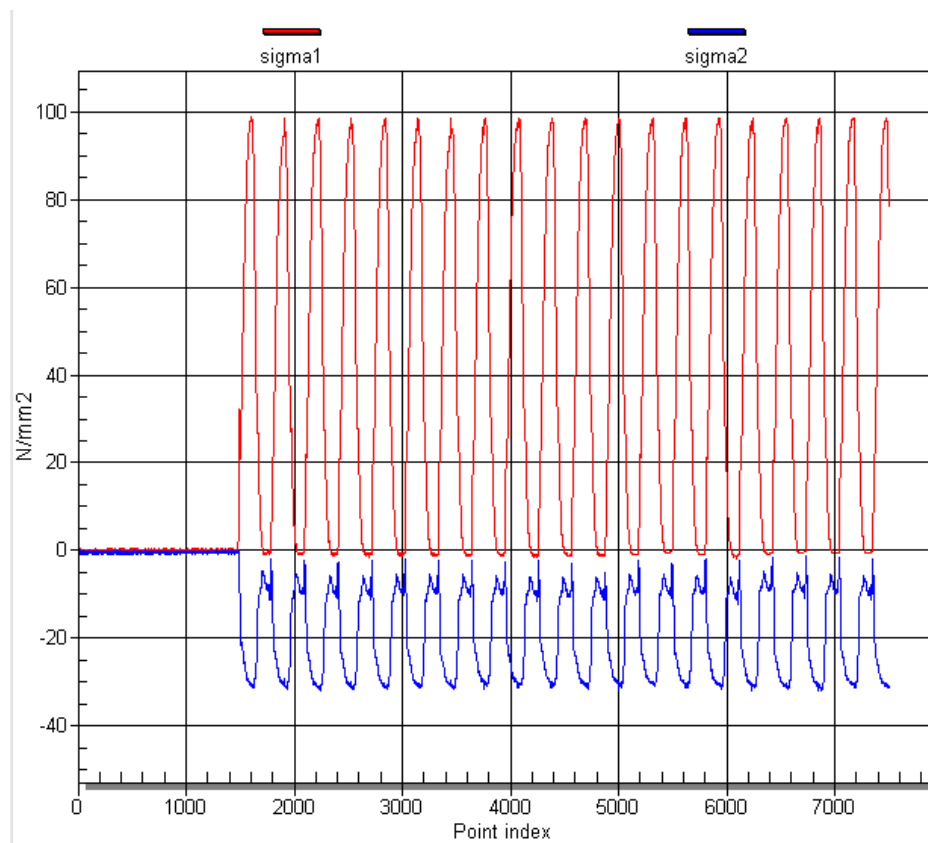
Laikas s	Deformacijos $\mu\text{m/m}$			Svarbiausi įtempimai Mpa	
	$\epsilon_a$	$\epsilon_c$	$\epsilon_b$	$\sigma_1$	$\sigma_2$
	Daviklis a (CH 0)	Daviklis c (CH 1)	Daviklis b (CH 2)		
0	0,48	-0,96	-1,44	0,147637862	-0,283668695
0,005	-1,35003E-13	-0,48	-1,44	0,120209075	-0,256626224
0,01	-0,48	-1,44	-1,92	-0,106976494	-0,439078416
0,015000001	-0,48	-0,96	-2,4	0,056759441	-0,466397202
0,020000001	-0,48	-0,48	-0,96	-0,062432692	-0,210787921
0,025000001	0,48	-0,48	-1,44	0,233716216	-0,2333299
0,050000002	-0,48	-0,96	-1,44	-0,087421914	-0,322215848
0,070000003	-1,35003E-13	-0,48	-0,96	0,04876476	-0,185181909
0,090000004	0,48	-1,44	-1,44	0,073344478	-0,34579246
0,100000005	-0,96	-0,48	-2,88	0,129605844	-0,539629922
0,200000009	-0,96	-0,96	-2,4	-0,051071031	-0,495370195
0,300000014	-0,48	-1,44	-1,92	-0,106976494	-0,439078416
0,400000019	-1,35003E-13	-0,48	-1,92	0,192963632	-0,32938078
0,500000024	-0,48	1,77636E-13	-1,92	0,19264047	-0,329443934
2,000000095	-1,44	-1,44	-2,4	-0,261092225	-0,558569614
3,000000142	38,4	-8,16	114,24	19,97357186	-11,34838622
4,00000019	-37,92	8,16	-26,4	-0,277272332	-8,21110984
5,000000237	-48	9,12	-27,84	-0,960404533	-10,1280161

7,000000332	-47,04	9,6	-11,52	-0,844326565	-9,834069987
9,000000427	-34,56	9,12	41,28	5,322834073	-12,5807577
11,00000052	20,16	1,77636E-13	193,92	31,184491	-25,43874549
11,01000052	28,32	-2,4	165,12	27,21352952	-19,82421086
11,02000052	29,28	-2,88	139,68	23,37182724	-15,8453188
11,04000052	-13,44	4,8	81,6	12,04903344	-14,51535896
11,06000053	-40,8	11,04	40,8	5,193452564	-13,68415263
11,08000053	-45,6	11,04	14,4	1,601308931	-11,46004364
11,10000053	-52,32	11,52	-1,44	-0,110909649	-11,52665642
11,13000053	-65,28	14,4	-19,68	-1,06238036	-13,45037636
11,16000053	-71,52	15,36	-28,32	-1,32298994	-14,69537752
11,19000053	-68,64	14,88	-29,28	-1,228199884	-14,10576394
11,22000053	-44,16	10,08	-8,64	-0,493325072	-9,227833545
11,25000053	3,36	0,48	133,92	20,84293765	-19,74889625
11,28000054	50,88	-8,16	239,04	39,87429332	-27,69221761
11,31000054	138,72	-25,44	344,64	62,22273068	-29,91663831
11,34000054	200,64	-36,96	423,36	78,97413773	-32,29441
11,37000054	238,56	-45,12	465,12	88,32573643	-33,15762653
11,40000054	257,28	-48	485,76	93,01569199	-33,33074986
11,50000055	25,44	0,48	240,96	38,80600094	-31,41900017
11,60000055	-47,04	11,52	7,68	0,895951147	-11,0286791
11,70000056	-69,6	14,88	-28,8	-1,298284417	-14,30928633
11,80000056	76,32	-12,48	271,2	46,53372084	-28,32881584
11,90000057	250,56	-47,04	479,52	91,49490275	-33,45237483
11,95666723	262,56	-48,48	495,36	94,89339478	-33,84003169
12,00000057	108,96	-17,28	342,72	59,75804414	-33,61467505





**4.1 pav.** Deformacijų diagrama (Catman programos dumenys)



**4.2 pav.** Svarbiausių įtempimų diagrama

## 4.2. Eksperimentinių rezultatų įvertinimas

Pasinaudoję gautais bandymo rezultatais (gautomis deformacijomis 4.3 lentelės duomenys) pagal 4.1 formulę apskaičiuojame svarbiausius įtempimus ir palyginame su gautais Catman programa. Pagal 4.2 formulę apskaičiuojame skaičiavimų paklaidas, kurios pateiktos 4.4 lentelėje.

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

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

**4.4 lentelė.** Paklaidų skaičiavimo rezultatai

Paklaidos, %	
$\sigma_1$	$\sigma_2$
0,618138	0,0703
0,42344	0,08444
2,041758	0,075685
2,445665	0,086335
1,383909	0,095399
0,083081	0,082348
1,751678	0,080523
1,179473	0,081294
2,207216	0,063293
0,746454	0,08099
3,282137	0,091645
2,041758	0,075685
0,232935	0,083863
0,065572	0,064677
1,012684	0,098692
0,053098	0,037086
4,023395	0,040423
1,45054	0,061411
1,03255	0,101974
0,081106	0,118951
0,067561	0,026786
0,06441	0,005713
0,062847	0,010478
0,078005	0,080223
0,076334	0,117811
0,067802	0,126224
5,329745	0,118556
1,245532	0,082926
1,261407	0,07253
1,35022	0,067014
1,497035	0,093185
0,069733	0,057892
0,061029	0,002515

0,051649	0,09187
0,048599	0,147413
0,04663	0,178769
0,046242	0,19901
0,06774	0,024106
0,317672	0,11785
1,280288	0,070536
0,05796	0,028677
0,046394	0,190107
0,046415	0,201851
0,056635	0,050788

Maksimali paklaida apskaičiuojant svarbiausius įtempimus  $\sigma_1 = 5,33\%$  , o  $\sigma_2 = 0,2\%$  .

4.5 lentelėje pateikta dalis deformacijų rezultatų gautų Catman programa.

**4.5 lentelė.** Deformacijų rezultatai

<b>Deformacijos</b>		
daviklis a	daviklis c	daviklis b
μm/m	μm/m	μm/m
4,8E-07	-9,6E-07	-1,44E-06
-1,35E-19	-4,8E-07	-1,44E-06
-4,8E-07	-1,44E-06	-1,92E-06
-4,8E-07	-9,6E-07	-2,4E-06
-4,8E-07	-4,8E-07	-9,6E-07
4,8E-07	-4,8E-07	-1,44E-06
-4,8E-07	-9,6E-07	-1,44E-06
-1,35E-19	-4,8E-07	-9,6E-07
4,8E-07	-1,44E-06	-1,44E-06
-9,6E-07	-4,8E-07	-2,88E-06
-9,6E-07	-9,6E-07	-2,4E-06
-4,8E-07	-1,44E-06	-1,92E-06
-1,35E-19	-4,8E-07	-1,92E-06
-4,8E-07	1,7764E-19	-1,92E-06
-1,44E-06	-1,44E-06	-2,4E-06
3,84E-05	-8,16E-06	0,00011424
-3,792E-05	8,16E-06	-0,0000264
-4,8E-05	9,12E-06	-2,784E-05
-4,704E-05	9,6E-06	-1,152E-05
-3,456E-05	9,12E-06	4,128E-05
2,016E-05	1,7764E-19	0,00019392
2,832E-05	-2,4E-06	0,00016512
2,928E-05	-2,88E-06	0,00013968
-1,344E-05	4,8E-06	8,16E-05
-4,08E-05	1,104E-05	4,08E-05
-4,56E-05	1,104E-05	0,0000144
-5,232E-05	1,152E-05	-1,44E-06
-6,528E-05	1,44E-05	-1,968E-05
-7,152E-05	1,536E-05	-2,832E-05
-6,864E-05	0,00001488	-2,928E-05
-4,416E-05	1,008E-05	-8,64E-06
3,36E-06	4,8E-07	0,00013392
5,088E-05	-8,16E-06	0,00023904
0,00013872	-2,544E-05	0,00034464
0,00020064	-3,696E-05	0,00042336
0,00023856	-4,512E-05	0,00046512
0,00025728	-4,8E-05	0,00048576
2,544E-05	4,8E-07	0,00024096
-4,704E-05	1,152E-05	7,68E-06
-6,96E-05	0,00001488	-2,88E-05
7,632E-05	-1,248E-05	0,0002712
0,00025056	-4,704E-05	0,00047952
0,00026256	-4,848E-05	0,00049536
0,00010896	-1,728E-05	0,00034272

Daviklių deformacijų maksimalios reikšmės:

- daviklis a – ( 0,00025728  $\mu\text{m/m}$ );
- daviklis c – (-4,8E-05  $\mu\text{m/m}$ );
- daviklis b – (0,00048576  $\mu\text{m/m}$ ).

Iš gautų svarbiausių įtempimų, pasinaudoję 4.3 formule, apskaičiuojame ekvivalentinius įtempimus.

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

Dalis gautų rezultatų pateikta 4.6 lentelėje.

**4.6 lentelė.** Ekvivalentiniai įtempimai

$\sigma_{ekv}$ , MPa
0,37966447
0,33340072
0,39656369
0,49721266
0,18753488
0,40447385
0,28861205
0,2137772
0,38770324
0,61476607
0,47191187
0,39656369
0,45747696
0,45728316
0,48407745
27,466293
8,07604428
9,68359924
9,44026765
15,9239854
49,1212437
40,9030839
34,1709012
23,0384656
16,8907069
12,338876
11,4716037
12,9519057
14,0805748
13,533527
8,99132693
35,1578152
58,8304835

81,4135639
99,1477006
108,763669
113,415786
60,9286881
11,5028539
13,7063377
65,4687268
112,031694
115,590223
81,912865

Iš skaičiavimų gauti duomenys, kur  $\sigma_{ekv}$  maksimali reikšmė 115,6 MPa.

## IŠVADOS

Susipažinta su informacine sistema „Spider 8“ ir jos veikimu. Nustatyta, kad ši sistema gali būti naudojama ne tik dviračių ar jo atskirų komponentų, bet ir įvairių medžiagų konstrukcijų tyrimams.

Eksperimentų rezultatai atlikus dviračio švaistiklio myniklio dinaminio apkrovimo bandymą, „Catman“ programa gautų ekvivalentinių įtemimų reikšmė  $\sigma_{ekv} = 115,6MPa$ . Solidworks programa gauta reikšmė -  $136,82MPa$ . Skirtumas tarp gautų rezultatų ~15%. Rezultatų neatitikimui įtakos gali turėti tenzodaviklio klijavimo vieta.

Darbe aprašytas dviračio myniklio švaistiklio bandymas parodė, kad maksimalūs įtempimai neviršija takumo ribos, o atsirandantys deformacijos ir poslinkiai yra leistinose ribose. Tokios geometrinės formos myniklio švaistiklis pagamintas iš Plieno 45 atlaiko apkrovas ir pilnai atitinka keliamus saugos bei kokybės reikalavimus.

## LITERATŪRA

1. LST EN 14764:2006. Miesto ir turistiniai dviračiai. Saugos reikalavimai ir bandymo metodai.
2. LST EN 14765:2006+A1:2008. Vaikiški dviračiai. Saugos reikalavimai ir bandymo metodai.
3. LST EN 14766:2006. Kalnų dviračiai. Saugos reikalavimai ir bandymo metodai.
4. <http://www.inspekcija.lt/index.php?id=338>
5. Электрические измерения неэлектрических величин/ Турчин А., Новицкий П. Левшина В и др. Ленинград, 1985. 576 с.
6. Matavimų teorija ir praktika / Vekteris Vladas, Albinas Kasperavičius, Saulius Kaušinis, Rimantas Kanapėnas. Vilnius, 2000. 380 p. ISBN 9986-524-26-1.
7. [www.hbm.com](http://www.hbm.com)
8. Pramoninė elektronika/ Lašas Algirdas, Bartkevičius Vaclovas, Šurna Rimas ir kt. Vilnius, 1999. 255 p. ISBN 5-420-00146-2.
9. Karpus V. Kietųjų kūnų fizika. Kristalinis būvis. Vilnius, 2002. 248 p. ISBN 9955- 497-04-01.
10. Bražėnas A. Tamprumo ir plastiškumo teorijų pagrindai. Šiauliai, 2003. 193 p. ISBN- 9986-38-433-8/
11. Žiliukas A. Stiprumo ir irimo kriterijai. Kaunas, 2006. 207 p. ISBN 9955-25-134-4.
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. [www.hbm.de/productes/](http://www.hbm.de/productes/)
15. <http://www.hbm.com.pl/pdf/b0405.pdf>
16. Thiel R. Elektrisches Messen nichtelektrischen Größen. Stuttgart, 1998. 195 S.
17. Bražėnas A. Eksperimentinės mechanikos pagrindai. Kaunas, 2006. 166 p. ISBN 9986- 38-663-2.
18. <http://www.wurth.lt/lt/images/stories/pdf/katalogas/ch/01%20300.pdf>
19. Анурьев В. Справочник конструктора машиностроителя, т. 1. Москва, 2003 elektroninė versija.