

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

Marius Šimulis

**DVIRAČIO STRUKTŪRINIO VIENTISUMO ĮVERTINIMAS
TAIKANT SKIRTINGUS APKROVIMO BŪDUS**

Magistro baigiamasis darbas

Šiauliai, 2013

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

DVIRAČIO STRUKTŪRINIO VIENTISUMO ĮVERTINIMAS
TAIKANT SKIRTINGUS APKROVIMO BŪDUS

Magistro baigiamasis darbas

Autorius – Marius Šimulis (MM-11 gr.)

Vadovas – doc. dr. Sergėjus Rimovskis

Recenzentas – lekt. dr. Agnė Stulpinaitė

Katedros vedėjas – doc. dr. Artūras Sabaliauskas

Šiauliai, 2013



ŠIAULIŲ
UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS
FAKULTETAS

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU

13-01-05 (parašas, data)

A. Bobolianskas (vardas, pavardė)

MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS
Studijų programa MECHANIKOS INŽINERIJA

Išduota magistrantui Mariui Šimuliui

Darbo tema: Dviračio struktūrinio vientisumo įvertinimas taikant skirtingus apkrovimo būdus

Patvirtinta 2012 m. kovo mėn. 29 d. fakulteto dekanu potvarkiu Nr. 060-03-09.

1. Darbo tikslas

Eksperimentiškai ištirti skirtingais būdais apkrauto dviračio struktūrinį vientisumą, jo konstrukcijos elementuose (rėme ir vaire) atsirandančias deformacijas, atlikti lyginamąją gautų duomenų analizę.

2. Darbo struktūra

Įvadas.
Dviračio struktūrinio vientisumo bandymo aprašymas.
Eksperimentinių tyrimų metodikos aprašymas.
Eksperimentinių tyrimų rezultatai ir jų analizė.

Darbo pateikimo terminas 2013 m. _____ mėn. __ d.

Užduotį gavau Marius Šimulis
(magistranto vardas, pavardė)

Vadovas Doc. dr. Sergėjus Rimovskis
(pareigos, vardas, pavardė)

(parašas, data)
20130105 (parašas, data)

TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS	5
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	6
ĮVADAS	8
1. DVIRAČIO STRUKTŪRINIO VIENTISUMO BANDYMAS	11
1.1 Pagrindiniai reikalavimai struktūrinio vientisumo bandymui	11
1.2 Struktūrinio vientisumo bandymo realizavimas	11
2. EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ METODIKA	15
2.1 Bandomas dviratis ir taikoma bandymų schema	15
2.2 Vairo ir rėmo deformacijų matavimas	15
2.3 Dviračio apkrovos būdai	19
2.4 Sistemos žadinimas	21
3. EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ ANALIZĖ	24
3.1 Dviračio statinis apkrovimas	24
3.2 Dviračio struktūrinio vientisumo eksperimentinių tyrimų duomenys	25
3.3 Deformacijų vidutinės kvadratinės reikšmės	29
3.4 Dviračio rėmo ir vairo deformacijų spektrai	38
LITERATŪRA	39
Priedai	41

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

Marius Šimulis. DVIRAČIO STRUKTŪRINIO VIENTISUMO ĮVERTINIMAS TAIKANT SKIRTINGUS APKROVIMO BŪDUS / vadovas doc.dr. S. Rimovskis.

SANTRAUKA

LST EN 147XX serijos standartai reglamentuoja dviračio struktūrinio vientisumo reikalavimus. Atitiktis šiems reikalavimams įvertinama bandymu, kurio metu dviratis rieda ant būgnų su nelygumais, patirdamas dinaminį poveikį. Atliekant bandymus, taikomi trys skirtingi apkrovos būdai (svarsčiais; tam tikro svorio metaliniais elementais pripildytais maišais; pneumocilindrais). Darbe pateikiami dviračio struktūrinio vientisumo įvertinimo eksperimentinių tyrimų rezultatai ir jų lyginamoji analizė, naudojant visus tris apkrovos būdus. Matuojamos dviračio rėmo ir vairo deformacijos, esant standartinėms bandymų sąlygoms. Gauti duomenys leidžia padaryti išvadą, kad apkrova pneumocilindrais šio tipo bandymuose yra taikytina.

Reikšminiai žodžiai: dviratis, struktūrinis vientisumas, apkrova pneumocilindru

ŠIAULIAI UNIVERSITY
FACULTY OF TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

Marius Šimulis. Title. ASSESSMENT OF STRUCTURAL INTEGRITY OF A BICYCLE WITH DIFFERENT LOADING TYPES / research advisor assoc. prof. dr. S. Rimovskis.

SUMMARY

LST EN 147XX series standards determine the requirements of bicycles structural integrity properties. Special tests equipment and methodology must be used to proof wether the bicycle meets the requirements of structural integrity or not. Dinamic impacts on the tested bicycle may cause failure or loosening of its elements. Three types of loaded are used: by weights, weight of bags filled with metal elements and pneumatic cylinders. The work presents the results of bicycle structural integrity experiments and its comparative anglysis. The strains of the bicycle frame and handelbar were measured under standard experimental conditions. The results show, that loading of bicycle by pneumatic cylinders is proper in structural integrity tests.

Keywords: bicycle, structural integrity, pneumatic loading

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Struktūrinio vientisumo bandymo apkrovos.....	11
2.1 lentelė. Tenzorezistorinių jutiklių pagrindiniai duomenys.....	18
2.2 lentelė. SPIDER-8 duomenų kanalų numeracija.....	19
2.3 lentelė. Pneumocilindrų pagrindinės charakteristikos [13].....	20
3.1 lentelė. Vairo tampriųjų deformacijų santykiai.....	24
3.2 lentelė. Vairo ir rėmo deformacijų reikšmės, gautos statinio apkrovimo pneumocilindrais ..	25
3.3 lentelė. Vairo ir rėmo deformacijų kvadratiniai vidurkiai ir jų skirtumai.....	29

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. JTM Technology Co struktūrinio vientisumo bandymo stendo vaizdas [9].....	12
1.2 pav. Maxcom Ltd struktūrinio vientisumo bandymo stendo vaizdai [10].....	13
1.3 pav. TBC struktūrinio vientisumo bandymo stendas (apkrovimas pneumocilindrais).....	13
2.1 pav. Tenzorezistorių jutikliai: a) vienos krypties; b) dviejų krypčių; c) trijų krypčių (rozetė).....	16
2.2 pav. Tenzorezistorinių jutiklių padėty: 1 – ant vairo; 2 – ant rėmo.....	17
2.3 pav. Tenzorezistorinių jutiklių vaizdai: a) ant vairo; b) ant rėmo.....	18
2.4 pav. Struktūrinio vientisumo bandymas, dviratį apkraunant pneumocilindrais (P_n).....	20
2.5 pav. Struktūrinio vientisumo bandymas: a) apkrovos būdas – maišais su kroviniu (M_{ais}); b) apkrovos būdas – vairs – svarsčiais, sėdynė – maišais su kroviniu (S_v).....	21
2.6 pav. Dinaminio modelio schema.....	21
2.7 pav. Bandymo stendo būgnų padėty: a – sinchronizuota; b – su faziniu perstūmimu.....	22
2.8 pav. Schematizuotas žadinimo dėsnio vaizdas.....	23
3.1 pav. Dviračio vairo ir rėmo deformacijos dėl statinio apkrovimo pneumocilindrais.....	25
3.2 pav. Struktūrinio vientisumo bandymo metu nustatytos dviračio vairo ir rėmo deformacijos, kai apkrova suteikiama pneumocilindrais: a) nelygumų padėtis sinchronizuota; b) nelygumų padėtis su faziniu perstūmimu.....	26
3.3 pav. Struktūrinio vientisumo bandymo metu nustatytos dviračio vairo ir rėmo deformacijos, kai apkrova suteikiama maišais su kroviniu: a) nelygumų padėtis sinchronizuota; b) nelygumų padėtis su faziniu perstūmimu.....	27
3.4 pav. Struktūrinio vientisumo bandymo metu nustatytos dviračio vairo ir rėmo deformacijos, kai apkrova suteikiama svarsčiais: a) nelygumų padėtis sinchronizuota; b) nelygumų padėtis su faziniu perstūmimu.....	28
3.5 pav. Dviračio rėmo deformacijų dažnių spektras, kai nelygumų padėtis sinchronizuota.....	33
3.6 pav. Dviračio rėmo deformacijų dažnių spektras, kai nelygumų padėtis su faziniu perstūmimu.....	34

3.7 pav. Dviračio vairo deformacijų dažnių spektras, kai nelygumų padėtis sinchronizuota.....	35
3.8 pav. Dviračio vairo deformacijų dažnių spektras, kai nelygumų padėtis su faziniu perstūmimu.....	36

ĮVADAS

Dviratis – tai santykinai nebrangi transporto priemonė, užimanti gana svarbią vietą tarp kitų transporto rūšių. Ši priemonė naudojama ne tik susisiekimui, bet ir pramogai, turizmui, sportinėms varžyboms, kt. Dviratis populiarus ir besivystančiose rytų šalyse, ir aukštą ekonominę lygį pasiekusiose Vakarų Europos šalyse. Šį populiarumą didžia dalimi lemia šios priemonės pigumas, ekonomiškumas ir ekologiškumas. Paskutinė savybė ypatingai svarbi šiuolaikiniame pasaulyje saugant gamtą ir tausojant žemės energetinius resursus. Lietuvoje dviračiai tampa vis populiareni, ypač šiltuoju metų laikotarpiu.

Statistiniai duomenys rodo [1], kad iki 1965 metų pasaulyje buvo pagaminama maždaug vienodas skaičius automobilių ir dviračių – po 20 mln. vnt. Vėliau dviračių gamyba augo žymiai sparčiau ir jau 2003 m. 100 mln. pagaminamų dviračių teko 42 mln. automobilių. Didžioji dalis dviračių šiuo metu pagaminama Kinijoje (80 %, iš jų 65 % - eksportui). Didžiausias dviračių skaičius taip pat yra Kinijoje (450 mln.), antroje vietoje pagal šį rodiklį yra JAV (100 mln.). Viena didžiausių ir moderniausių Europos dviračių gamintojų – UAB „Baltik vairas“, kurioje per visą įmonės veiklos laikotarpį pagaminta per 17 mln. dviračių. Šiuo metu įmonėje kasmet surenkama daugiau nei 300-350 tūkst. įvairių tipų dviračių, tarp jų ir vis labiau populiarėjantys modeliai su elektrine pavara.

Europos Sąjungoje gaminiami yra keliami griežti saugos ir patikimumo reikalavimai, apibrėžti standartuose. Dviračiai yra pakankamai sudėtingi gaminiai, jų komplektuojančios detalės ir mazgai gaminami įvairiausiose pasaulio vietose, todėl labai svarbus tampa bendras patikimumo ir ilgaamžiškumo rodiklis. Jis nustatomas kompleksiniais bandymais, apimančiais tiek viso gaminio, tiek ir atskirų jo mazgų ir elementų savybių nustatymą eksperimentiniais metodais.

Dviračio kokybė ir sauga turi būti užtikrinama, vadovaujantis Lietuvos Respublikos produktų saugos įstatymu ir kitais teisės aktais. Įstatyme saugus gaminys apibrėžiamas taip: *saugus gaminys* – bet koks gaminys, kurio naudojimas įprastomis, gamintojo nustatytomis ar galimomis iš anksto pagrįstai numatyti vartojimo sąlygomis, įskaitant ilgalaikį naudojimą, taip pat surinkimo, įrengimo bei priežiūros naudojant reikalavimus, nesukelia jokios rizikos arba kelia vartotojų gyvybei ir sveikatai tik minimalią riziką, kuri yra suderinama su gaminio vartojimu ir laikoma priimtina bei atitinkančia aukštą vartotojų saugos ir sveikatos apsaugos lygį [2].

Vienas iš dviračių saugos vertinimo būdų – gamintojo arba jo atstovo pateikto gaminio išbandymas akredituotoje laboratorijoje pagal atitinkamo standarto saugos reikalavimus, o

dviračio rėmas ženklina, nurodant deklaruojamo standarto žymenį ir gamintojo arba jo atstovo pavadinimą. Dviračiams keliamų saugos ir patikimumo reikalavimus nustato metodai ir procedūros aprašyti EN 147XX serijos standartuose [3-6], kuriuos parengė Techninis komitetas ESK/TC 333 „Dviračiai“. Europos standartams Lietuvoje suteiktas nacionalinių standartų statusas ir jie taikomi visiems Lietuvoje gaminamiems arba į jos rinką tiekiamiems dviračiams. Bandymų metodikos parengtos taip, kad būtų galima užtikrinti tiek atskirų dalių, tiek ir viso gaminio stiprumą ir ilgaamžiškumą. Standartai reglamentuoja būtinas sąlygas ir atitikties įvertinimo kriterijus. Bandymams naudojama speciali įranga.

Vienas iš sudėtingiausių dviračio bandymų – struktūrinio vientisumo bandymas. Tai viso dviračio dinaminis bandymas specialiaame bandymų stende. Stende nustatyto dydžio apkrovomis veikiamas dviratis juda nelygumais, kurių periodinis poveikis perduodamas visiems konstrukciniams bandinio elementams. Bandymo sąlygos yra artimos gaminio realaus eksploatavimo sąlygoms. Naudojami skirtingi apkrovos būdai (svarsčiais, tam tikro svorio metaliniais elementais pripildytai maišais, pneumatiniiais cilindrais). Dažnai apkrovos būdai kombinuojami, pvz., kai kurie elementai apkraunami svarsčiais, likę maišais su kroviniu arba pneumatiniiais cilindrais. Skirtingi apkrovos būdai gali lemti bandomą gaminį veikiančių inercijos jėgų ir dėl jų poveikio konstrukcijos elementuose atsirandančių deformacijų amplitudes ir dažnes charakteristikas. Būtina išsiaiškinti šiuos skirtumus ir pateikti dviračio struktūrinio vientisumo bandymo įrangos projektuotojams ir naudotojams išvadas apie šių apkrovų taikymo pagrįstumą.

Darbe atliekami eksperimentiniai dviračio struktūrinio vientisumo tyrimai, taikant tris skirtingus apkrovimo būdus, fiksuojant rėmo ir vairo deformacijų pokyčius. Pateikiama lyginamoji gautų duomenų analizė ir išvados.

Tyrimo objektas.

Dviračio struktūrinis vientisumas, kai naudojami skirtingi apkrovimo būdai.

Tyrimo tikslas.

Eksperimentiškai ištirti skirtingais būdais apkrauto dviračio struktūrinį vientisumą, jo konstrukcijos elementuose (rėme ir vaire) atsirandančias deformacijas.

Tyrimo uždaviniai:

1. Paruošti dviratį eksperimentiniams tyrimams: tenzometrinio jutiklio klįjavimas ant dviračio rėmo ir Catman programos įsisavinimas;
2. Paruošti struktūrinio vientisumo bandymų stendą eksperimentiniams tyrimams – parinkti atitinkamus svarsčius, metalinių rutuliukų maišus, pneumocilindrus.

3. Atlikti eksperimentinius tyrimus, užrašyti deformacijų sekas.
4. Apdoroti eksperimentinių tyrimų rezultatus ir atlikti jų lyginamąją analizę.

Teorinė darbo reikšmė.

Darbe nekuriamas ir nepateikiamas teorinis modelis ar metodika. Darbo rezultatai ir išvados gautos eksperimentinių tyrimų pagrindu. Gautus duomenis galima naudoti sudarant analitinius dviračio struktūrinio vientisumo dinامينius modelius ateityje.

Praktinė darbo reikšmė.

Darbo rezultatai leidžia pagrįsti dviračio struktūrinio vientisumo bandymų metodikos teisingumą, kai taikomi skirtingi apkrovos būdai.

Darbe atlikta liginamoji skirtingų apkrovos būdų analizė leidžia kiekybiškai įvertinti skirtingų apkrovų (svarsčiais, metaliniais elementais užpildytais maišais ir pneumatiniiais cilindrais) poveikį dviračio konstrukcijai, kai gaminys bandomas struktūrinio vientisumo bandymų stende.

Darbo struktūra.

Magistro darbą sudaro įvadas, 3 skyriai, išvados, literatūros sąrašas, priedai. Darbo apimtis: 46 puslapiai, 19 paveikslų, 7 lentelės, 3 priedai.

1. DVIRAČIO STRUKTŪRINIO VIENTISUMO BANDYMAS

1.1 Pagrindiniai reikalavimai struktūrinio vientisumo bandymui

Dviračio struktūrinio vientisumo bandymą numato EN 147XX serijos standartai [3-6]. Pakankamai detaliai apie esminius reikalavimus šiam bandymui ir apie bandimų įrangą aprašyta darbuose [7, 8]. Bandymo schema yra pakankamai paprasta. Pilnai sumontuotas ir apkrautas dviratis priverčiamas riedėti ant dviejų būgnų. Tarpašinis atstumas tarp būgnų turi atitikti dviračio tarpašinį atstumą. Ant būgnų sumontuoti stačiakampės formos nelygumai su nuožulomis. Dėl inercijos jėgų, bandinio konstrukciniai elementai patiria dinaminį poveikį. Bandymo metu apkrautas turi būti dviračio vairas, pedalai ir sėdynės atrama. Apkrovos pateiktos 1.1 lentelėje. Būgnų sukimosi greitis turi atitikti 8 km/h ($\pm 10\%$) linijinį greitį. Bandymas trunka 6 val.

1.1 lentelė. Struktūrinio vientisumo bandymo apkrovos

Svarsčio tvirtinimo vieta	Vnt.	Masė, kg
Pedalas	2	18
Vairas	2	6,75
Sėdynės atrama	1	36
Bagažo laikiklis*	1	10, 18 arba 25*

* jei bagažo laikiklis numatytas dviračio komplektacijoje.

** pagal gamintojo nurodytą svorį

1.2 Struktūrinio vientisumo bandymo realizavimas

Struktūrinio vientisumo bandymai specializuotose laboratorijose atliekami, naudojant specialų bandymų stendą, kurio schema pateikta standartų [3-6] priede C. Pagal šią schemą, Technologinių bandymų centre buvo suprojektuotas ir pagamintas stendas, kuriame atliekami ne tik dviračių, bet ir triračių, ir tandemų bandymai. Naudojamas dviračio elementų apkrovimas pneumocilindrais (išskyrus paminos mechanizmą, kuris apkraunamas svarsčiais). Stende bandimus galima atlikti ir taikant kitus apkrovimo būdus – svarsčius arba maišus su tam tikro svorio biriu kroviniu. Šiuos apkrovimo būdus galima vadinti tradiciniais (jie taikomi dažniausiai). Kaip pažymima darbe [8], pneumocilindrais sukuriama apkrova yra „minkštesnė“ nei svarsčiais ar maišais su kroviniu ir geriau atspindi realaus kelio dinaminį poveikį, kai dviratininkas važiuoja per kliūtis arba nelygumus.

Informacijos apie kitose pasaulio dviračių bandymų centruose naudojamą įrangą struktūriniam vientisumui bandyti nėra daug. Žemiau pateikiama trumpa apžvalga apie šią įrangą ir bandymų vykdymo specifiką.

Taivanio kompanijos JTM Technology Co gaminamas struktūrinio vientisumo bandymo stendo vaizdas pateiktas 1.1 pav.



1.1 pav. JTM Technology Co struktūrinio vientisumo bandymo stendo vaizdas [9]

Bandomas dviratis apkraunamas svorsčiais, sukimosi judesys ratams perduodamas nuo būgnų. Greitis reguliuojamas keičiant būgno veleno apsisukimo dažnį. Bandymų greitis – 7-24 km/val. Jei bandomas dviratis ar jo mazgas sulūžta, būgnai sustoja automatiškai. Stendas suprojektuotas pagal Indonezijos nacionalinio standarte (SNI 1049:2008) pateiktą schemą ir reikalavimus. Šie reikalavimai struktūrinio vientisumo bandymui yra identiški EN 147XX serijos standartų reikalavimams.

2012 m. Maxcom Ltd. (Bulgarija) bandymų centre atidarytas nauja laboratorija, kurioje atliekami įvairūs dviračių saugumo bandymai, tarp jų ir struktūrinio vientisumo bandymai (žr. 1.2 pav.). Bandymo metu, dviračio pedalai yra apkrauti atitinkamo svorio svorsčiais, o vairas ir sėdynė – maišais su biriu kroviniu (naudojamas smėlis). Bandymų rezultatai apdorojami ir pateikiami CNC valdymo sistema. Bandymo metu, kiekvienas dviračio ratas patiria dinaminį poveikį apie 96000 kartų. Imituojamos realios kelio sąlygos. Stende galima užprogramuoti ir kitokias, nei numatyta standarte, bandymų sąlygas. Tokiu būdu, galima tirti atskirų gaminio konstrukcijos elementų ilgaamžiškumą ir patikimumą, esant sudėtingesnėms eksploataavimo sąlygoms. Kaip ir prieš tai pateiktame stende, dviračio ratams sukamasis judesys suteikiamas būgnais, kuriuos sinchroniškai suka diržinėmis pavaromis prijungti varikliai. Dviračio vertikalus stabilumas išlaikomas dirželiais.



1.2 pav. Maxcom Ltd struktūrinio vientisumo bandymo stendo vaizdai [10]

TBC naudojamo stendo vaizdas pateiktas 1.3 pav. Pagrindiniai skirtumai nuo prieš tai išnagrinėtų stendų yra tokie:

- dviračio vertikalus stabilumas užtikrinamas lanksčiu šarnyriniu laikikliu;
- sukamas paminos mechanizmas, nuo jo grandinine pavara sukamasis judesys perduodamas užpakaliniam ratui, dėl trinties jėgos pradeda sukstis abu būgnai ir priekinis ratas;
- be apkrovimo svarsčiais ir maišais su kroviniu, gali būti naudojamas ir aprovimas pneumocilindrais (pavaizduota 1.3 pav.).



1.3 pav. TBC struktūrinio vientisumo bandymo stendas (aprovimas pneumocilindrais)

Skirtingų apkrovimo būdų įtaką bandymų rezultatams buvo bandoma nustatyti darbe [8]. Skirtingai, nei nurodyta standarte, buvo naudojamas tik dviračio vairo apkrovimas svarsčiais, maišais su kroviniu ir pneumocilindrais (30, 70 ir 114 N) ir naudojami trys bandymo greičiai (3, 7 ir 11 km/h). Dviračio pedalai buvo apkraunami standartine apkrova (du po 18 kg). Šis apkrovimas yra būtinas, kadangi juo realizuojamas užpakalinio rato prispaudimas prie būgno, per kurį sukamasis judesys dėl trinties jėgos perduodamas abiem būgnams ir priekiniam bandomo dviračio ratui. Taigi, šiuo atveju, ne būgnai perduoda sukimo judesį dviračiui, o sukami dviračio pedalai perduoda judesį užpakaliniam ratui, o jie – būgnams. Tai labiau atitinka dviračio realias eksploataavimo sąlygas, aukščiau aprašytuose užsienio bandymų stenduose dviračio pedalai struktūrinio bandymo metu gali net nesisukti.

Ant struktūrinio vientisumo bandymų stendo būgnų sumontuoti nelygumai, kurių plotis – $50 \pm 2,5$ mm, aukštis – $10 \pm 2,5$ mm. Nelygumai su nuožulomis iš abiejų pusių (45° iki pusės jų storio). Ant kiekvieno būgno vienodu atstumu išdėstyta po 5 nelygumus. Atstumas tarp nelygumų – ne mažesnis, kaip 400 mm.

2. EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ METODIKA

2.1 Bandomas dviratis ir taikoma bandymų schema

Ekspperimentiniams tyrimams pasirinktas dviratis, kuris buvo naudojamas atliekant dinامينius bandymus, aprašytus Šerniaus [8] darbe. Tai nedidelis vaikiškas dviratis be bagažinės laikiklio su 18 colių ratais, atstumas tarp ratų ašių – 775 mm. Atstumas nuo pagrindo iki vairo ~760 mm, iki sėdynės ~570 mm. Dviratis pilnai sukomplektuotas ir paruoštas važiavimui, išskyrus tai, kad sėdynės laikiklyje buvo įstatytas specialus laikiklis 36 kg apkrovai sutelkti. Dviračio padangos pripūstos iki standartuose rekomenduojamo slėgio.

Dviračio rėmas suvirintas iš aliuminio įvairaus profilio vamzdžių. Ekspperimentams naudotas įprastos formos vairas pagamintas iš plieninio (C20) Ø22 mm skersmens ir 1,5 mm sienelės storio vamzdžio [11].

Tyrimuose naudotos dviračio apkrovos: du svorsčiai po 18 kg pritvirtinti vietoj pedalų, dvi apkrovos po 6,75 kg į vairo rankeną, 36 kg atitinkanti apkrova – į sėdynę. Bendras apkrovos lygis – 85 kg.

Kadangi dviratis be bagažinės laikiklio, 10, 18 arba 25 kg svorsčiu (kaip numatyta standartuose) šia apkrova gaminys apkrautas nebuvo.

Dviračio linijinis judėjimo greitis – 8 km/h ($\pm 10\%$). Tai sudaro 2,22 m/s ir, įvertinus tai, kad būgno skersmuo yra 0,642 m, atitinka maždaug 1,1 būgno apsisukimo per s. Dviračio ratų sukimosi linijinis greitis valdomas dažnių keitikliu, reguliuojant elektros variklio apsisukimų skaičių. Nustatyto linijinio greičio tikslumas buvo tikrinamas tachometru, registruojant būgno ašies sukimosi dažnį, kuris turi būti lygus 66 aps/min $\pm 10\%$.

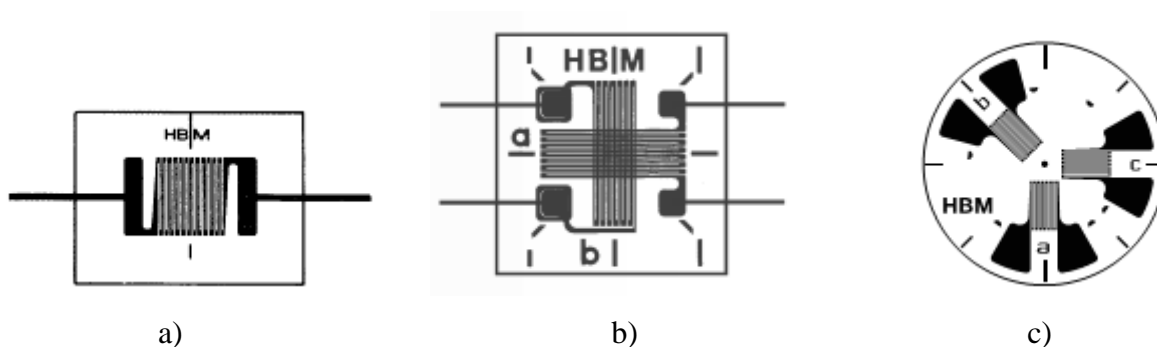
Kadangi ant kiekvieno būgno sumontuota po 5 nelygumus, bandomo dviračio ratai per 1 min dinamiškai veikiami nelygumų 330 kartų, o per visą standarte numatytą 6 val. laikotarpį – 118 800 kartų.

2.2 Vairo ir rėmo deformacijų matavimas

Dažniausiai konstrukcijų būsenoms nustatyti naudojami fizikinių parametų matavimai. Matuojant deformacijas ir poslinkius įvairiuose konstrukcijos taškuose galima nustatyti konstrukcijos elementų pokyčius (nuovargį, lūžius, įtrūkimus ir pan.). Žinomi keli dažniausiai naudojami metodai, kuriais galima įvertinti deformacijas [12]: elektromechaniniai, optiniai, fototamprumo, ultragarsiniai ir kt. metodai. Plačiai paplitęs elektromechaninis matavimas,

pagrįsti tenzometrijos principu. Matuojama metalinio arba puslaidininkinio tenzorezistoriaus varža, kurios pokyčiai priklauso nuo elemento, ant kurio jis priklijuotas, deformacijos, o tiksliau – nuo mažų atstumų pokyčių. Jei daroma prielaida, kad tiriamo konstrukcinio elemento įtempiai proporcingi deformacijoms, pasinaudojus Huko dėsnio, nesudėtingai apskaičiuojami įtempiai.

Tenzorezistoriai yra nedidelių matmenų, labai mažos masės, nestandūs, turi labai mažą temperatūrinį varžos koeficientą. Svarbu ir tai, kad jie yra nebrangūs. Dažniausiai jie gaminami iš didelės varžos vielelės (jautriojo elemento), kuri sulankstyta keliais vingiais priklijuojama popieriaus juostelėje (žr. 2.1 pav., a). Kai reikia tirti sudėtingą deformacijų būvį, prie elemento paviršiaus priklijuojami keli tenzometiniai jutikliai, išdėstyti atitinkamu kampu vienas kito atžvilgiu, kaip pavaizduota 2.1 pav. b ir c. Šio tipo jutikliu galima nustatyti paviršiaus deformacijas skirtingomis kryptimis ir formulėmis apskaičiuoti reikalingus deformacijų būvių parametrus.



2.1 pav. Tenzorezistorių jutikliai: a) vienos krypties; b) dviejų krypčių; c) trijų krypčių (rozetė)

Jutiklio bazė (ilgis) būna nuo kelių iki keliasdešimt milimetrų. Elementui deformuojantis, kartu su juo deformuojasi ant jo paviršiaus priklijuotas jutiklis, kinta vielelės ilgis ir skerspjūvio plotas. Vielelės varža yra proporcinga jos ilgiui ir atvirkščiai proporcinga skerspjūvio plotui. Jei jutiklis ilgėja, jo varža didėja. Kadangi varžos pokytis yra proporcingas deformacijai (kiekvienas jutiklis turi savo tenzojautrumo koeficientą, kuris priklauso nuo vielelės medžiagos), belieka varžą išmatuoti ir žinant proporcingumo koeficientą, apskaičiuoti deformaciją.

Tenzorezistoriais matuojant deformacijas, tenka registruoti nedidelius santykinius varžų pokyčius. Registravimo sistemose naudojami didelės varžos tenzorezistoriai, o jutikliai į registravimo įtaisą turi būti įjunti taip, kad būtų galima registruoti nedidelius santykinius varžos pokyčius ir garantuoti apsaugą nuo trukdžių. Tai užtikrinama tenzorezistorius įjungiant į

Vinstono tiltelius. Tenzorezistoriaus varžos pokytis tamprumo ribose gali būti apskaičiuojamas lygybe:

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

čia: $\frac{\Delta R}{R}$ – santykinis varžos pokytis;

K – tenzorezistoriaus jautrio koeficientas (nustatomas eksperimentiškai);

ε – santykinė deformacija.

Taikant tenzometrijos principą, gaunama plati matuojamų dydžių sritis, elektrinis signalas nesudėtingai registruojamas, sustiprinamas, apdorojamas kompiuterinėmis programomis. Galima registruoti ir statinį ir dinaminį procesą.

Atliekant dviračio struktūrinio vientisumo eksperimentinius tyrimus, buvo pasirinkta matuoti dviračio vairo ir rėmo deformacijas. Tenzorezistorinių jutiklių priklijavimo vietos parodytos 2.2 pav.

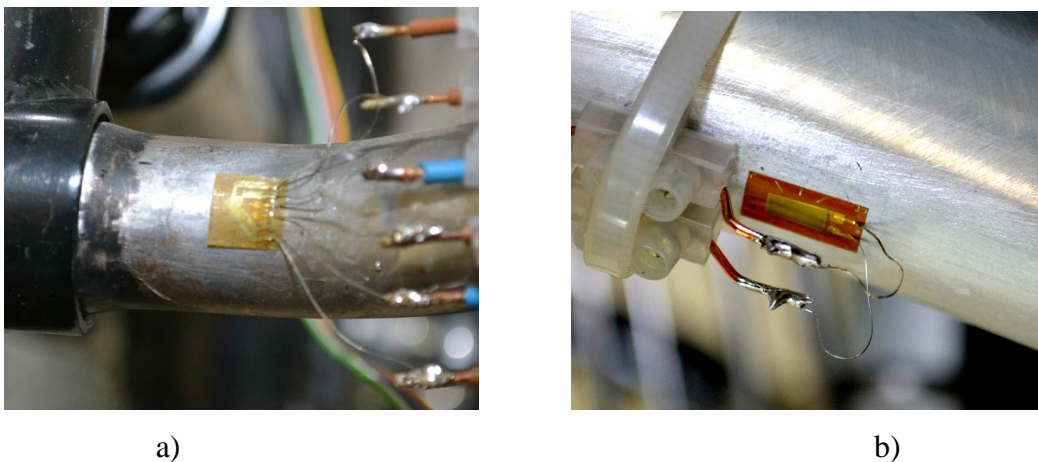


2.2 pav. Tenzorezistorinių jutiklių padėty: 1 – ant vairo; 2 – ant rėmo

Tyrimų metu buvo naudojamas vairas su trijų sukryžiuotų HBM tenzorezistorių rozete 1-RY91-3/120 (naudotas Šerniaus [8] ir Adomaičio [11] darbuose). Tenzorezistorių rozetės vieta pasirinkta prie vairo tvirtinimo mechanizmo viršutinėje dalyje. Kitas HBM tenzometrinių jutiklis (1-LY13-10/120) buvo priklijuotas ant dviračio rėmo pagrindinio ovalo formos vamzdžio apatinėje dalyje (žr. 2.3 pav.). Matuojamų deformacijų dimensija - $\mu\text{m/m}$.

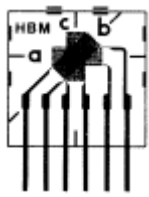
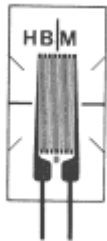
Jutiklių vietos ant minėtų elementų paviršių pasirinktos atsižvelgus į tai, kad apkrovos metu jose veikia didžiausi lenkimo momentai, dėl kurių poveikio paviršiuose atsiranda

didžiausios deformacijos. Pagrindiniai naudotų tenzorezistorinių jutiklių duomenys pateikti 2.1 lentelėje.



2.3 pav. Tenzorezistorinių jutiklių vaizdai: a) ant vairo; b) ant rėmo

2.1 lentelė. Tenzorezistorinių jutiklių pagrindiniai duomenys

Jutiklis	1-RY91-3/120	1-LY13-10/120
Matavimo krypčių skaičius	3 (rozetė)	1
Matuojamo elemento medžiaga	Plienas	Aliuminis
Vidaus varža, Ω	120	120
Maksimali maitinimo įtampa, V	13	2
Nominalusis matavimo ilgis, mm	3	10
Jautrio koeficientas	2	2
Vaizdas		

Matuojamiems elektriniams signalams apdoroti buvo naudojama informacinė matavimo sistema „Spider 8“, kuri valdoma „Catman Professional“ programine įranga. SPIDER-8 yra daugiakanalė skaitmeninė sistema, kuria matuojamas elektrinis signalas yra keičiamas į skaitmeninės formos signalą. Šios sistemos keitikliai veikia sinchroniškai ir tiekia iki 9600 matavimų per sekundę. Matuojant vairo ir rėmo deformacijas buvo pasirinkta signalo diskretizavimo dažnis – 400 Hz (diskretizavimo periodas – $\Delta = 0,0025$ s).

Iš SPIDER-8 sistemos duomenys teikiami į kompiuterį, kuriame apdorojami „Catman Professional“ programa. Šia programa galima duomenis ne tik registruoti, bet ir grafiškai

vizualizuoti, bei atlikti matematinę gauto signalo analizę. Plačiau apie tai aprašyta darbuose [8, 11].

Papildomai buvo fiksuojama vieno iš būgno nelygumų aukščiausia padėtis (padėtis, kuriai esant nelygumo simetrijos ašis sutampa su dviračio rato ašimi ir nelygumas yra būgno viršuje). Šiam tikslui buvo naudojama lanksti plokštelė su tenzorezistoriniu jutikliu. Būgno sukimosi metu plokštelę atlenkdavo varžtas, įsuktas į srieginę skylę ant būgno ašies. Daugiau apie fiksatoriaus veikimą aprašyta darbe [8].

Visų elementų deformacijas fiksuojančių SPIDER-8 kanalų numeracija pateikta 2.2 lentelėje.

2.2 lentelė. SPIDER-8 duomenų kanalų numeracija

Duomenų kanalo Nr.	CH0	CH1	CH2	CH3	CH4
Matavimo vieta	Plokštelė	Vairas			Rėmas
Deformacija	ε_I	ε_{II}	ε_I	ε_{III}	ε_I

2.3 Dviračio apkrovos būdai

Ekspimentiniai tyrimai buvo atliekami, naudojant tris vairo apkrovos būdus (pneumocilindrais – P_n , maišais su kroviniu - M_{ais} , svarsčiais - S_v).

Dėl konstrukcijos paprastumo, gero mechaninio suderinamumo su tiesinio judesio mechanizmais, įvairiuose įrenginiuose plačiai naudojami pneumatiniai cilindrai. Pneumatiniai cilindrai būna vienkrypčiai ir dvikrypčiai. Vienkrypčiai cilindrai išvysto jėgą tik viena kryptimi. Pneumatinais cilindrais sukuriama jėgos dydis nesudėtingai kontroliuojamas slėgį reguliuojančiomis sistemomis. Šie įrenginiai taip pat pasižymi didele greitimeika.

Struktūrinio vientisumo bandymo stende pneumocilindrais bandomo gaminio elementams perduodama užduoto dydžio jėga, be to, patį pneumatinį cilindrą šiuo atveju galima laikyti dinaminės sistemos dalimi, sudaryta iš lygiagrečiai sujungto tampriojo ir slopinimo elementų (mechaninius sistemos virpesius slopina oro pasipriešinimo cilindre jėga). Slopinimo jėga yra priešinga judesio greičio kryptimi.

Realizuojant apkrovimą pneumocilindrais, buvo naudojami du DNC-32-100-PPV-A tipo pneumocilindrai vairui ir vienas DNC-50-100-PPV-A tipo pneumocilindras sėdynei apkrauti (žr. 2.4 pav.). Pneumocilindrų pagrindinės charakteristikos pateiktos 2.3 lentelėje. DNC tipo pneumocilindrai pasižymi geromis techninėmis savybėmis (ilgaamžiškumu, tikslumus ir kt.). Jie dažniausiai naudojami prispaudimo arba amortizavimo funkcijoms atlikti. Bandymo metu abi šios funkcijos ir realizuojamos.



2.4 pav. Struktūrinio vientisumo bandymas, dviračių apkraunant pneumocilindrais (P_n)

2.3 lentelė. Pneumocilindrų pagrindinės charakteristikos [13]

Pneumocilindro tipas	Stūmoklio skersmuo, mm	Stūmoklio darbinės eigos ilgis, mm	Darbinis slėgis, bar	Stūmimo jėga esant 6 bar slėgiui, N	Gražinimo jėga esant 6 bar slėgiui, N	Max smūgio energija, J
DNC-32-100-PPV-A	32	100	0,6-12	483	415	0,1
DNC-50-100-PPV-A	50	100	0,6-12	1178	990	0,2

Dviračio apkrovimas maišais (*Mais*) pavaizduotas 2.5 pav. a. Ant vairo rankenų buvo pritvirtinami du lininio audinio maišai su 6,75 kg svorio metaliniais rutuliukais, o ant specialaus sėdynės vietoje įstatyto laikiklio – maišai su bendru 36 kg metalinių rutuliukų svoriu. Lininis audinys yra pakankamai stiprus, su nedideliu tamprumu.

Apkrovimo svarsčiais (S_v) pilnai realizuoti nepavyko, kadangi tik vairo rankenos buvo apkrautos 6,75 kg svorio svarsčiais, kurie buvo pritvirtinti ant specialių 500 mm ilgio laikiklių. Sėdynės vietoje 36 kg svorsčių apkrovimo buvo atsisakyta dėl sudėtingumo. Buvo paliktas

apkrovimas maišais su metaliniais rutuliukais (žr. 2.5 pav, b). Tokį dviračio apkrovimą tiksliau būtų vadinti kombinuotu, tačiau ir toliau tekste jis bus vadinamas apkrovimu svarsčiais arba tiesiog Sv .



a)



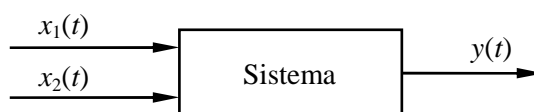
b)

2.5 pav. Struktūrinio vientisumo bandymas: a) apkrovos būdas – maišais su kroviniu (*Mais*);
b) apkrovos būdas – vairas – svarsčiai, sėdynė – maišais su kroviniu (*Sv*)

2.4 Sistemos žadinimas

Pagal bandymų planą, buvo numatyta atlikti 6 dinaminis bandymus, naudojant tris skirtingus apkrovos būdus ir parenkant dvi nelygumų ant būgnų tarpusavio padėtis.

Dėl skirtingo apkrovos būdo taikymo, dviračio, kaip dinaminės sistemos, parametrai pasikeičia. Taigi, net ir esant vienodam sistemos žadinimui, reakcija gaunama skirtinga. Iš esmės, vienas iš darbo uždavinių ir yra – išsiaiškinti šiuos skirtumus. Šiame darbe dviračio dinaminės sistemos netiriamos ir nemodeliuojamos. Tai yra labai sudėtingas uždavinys. Laikoma, kad dinaminis modelis yra „juoda dėžė“ su dviem įėjimo signalais ir vienu išėjimo signalu (išėjime – arba rėmo arba vairo deformacijos), kaip parodyta 2.6 pav.

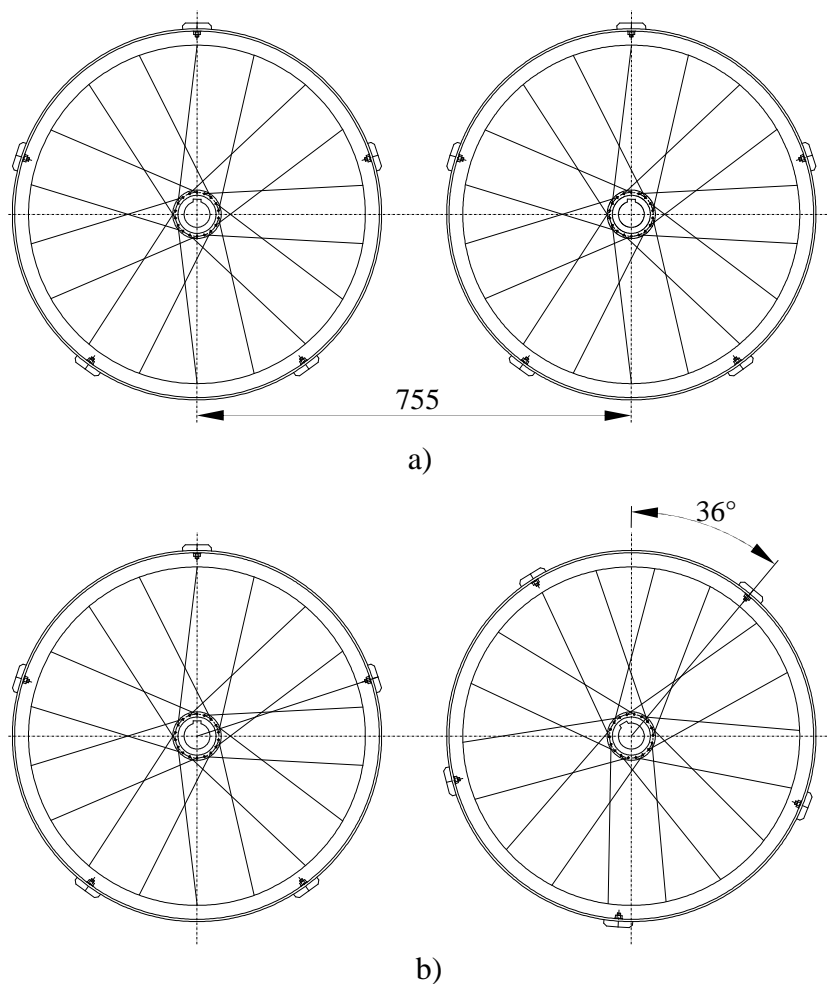


2.6 pav. Dinaminio modelio schema

Sistemos žadinimą galima schematizuoti tam tikra funkcija, kuri atitiktų nelygumų poveikį dviračio ratams arba ratų ašims. Sistemos „dviračio ratas – nelygumas“ žadinimo dėsnio modeliavimas pateiktas darbe [14].

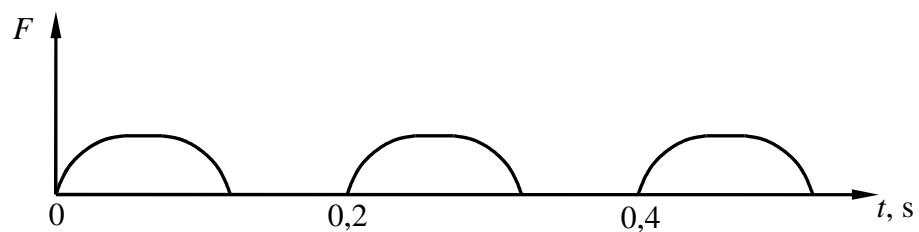
Dvi nelygumų ant būgnų tarpusavio padėtys reiškia tai, kad vienu atveju nelygumų padėtis ant abiejų būgnų buvo vienoda (žr. 2.7 pav. a), o kitu atveju – priekinio ir užpakalinio būgno nelygumų padėtis skyrėsi 36° (žr. 2.7 pav. b). Tokios fiksuotos būgnų padėtys visą bandymų laikotarpį nesikeisdavo, kadangi būgnai sukami grandinine pavara.

Esant pirmajai nelygumų padėčiai, dinaminį nelygumų poveikį (žadinimo dėsnį) dviračio ratams galima vadinti *sinchronizuotu*, o antrajai – *su faziniu perstūmimu*. Pats poveikio signalas abiem atvejais yra identiškas, antru atveju skiriasi tik fazė (perstūmimas apie 0,55 s).



2.7 pav. Bandymo stendo būgnų padėtys: a – sinchronizuota; b – su faziniu perstūmimu

Kadangi bandymų metu būgnų sukimosi greitis buvo vienodas, abiem atvejais kiekvieno būgno nelygumų poveikį dviračio rato ašiai galima laikyti periodine funkcija (periodas $T = 0,2$ s), kurios grafikas schematiškai pavaizduotas 2.8 pav. Detaliau apie tokio tipo žadinimo funkcijos schematizavimą aprašyta darbe [14].



2.8 pav. Schematizuotas žadinimo dėsnio vaizdas

3. EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ ANALIZĖ

3.1 Dviračio statinis apkrovimas

Dviračio elementų statinis deformavimas buvo atliktas taikant Pn apkrovimo būdą. Apkrovos pridėties taškai buvo tokie pat, kaip ir dinaminio bandymo. Šerniaus darbe [8] buvo taip atliktas statinis vairo apkrovimas, kurio tikslas – išsiaiškinti vairo deformacijų ($\varepsilon_I, \varepsilon_{II}$ ir ε_{III}) priklausomybę nuo apkrovimo lygio. Bandymų metu buvo fiksuojama veikianti jėga ir vairo deformacijos. Buvo nustatyta, kad nagrinėjamųjų apkrovos lygių srityje deformacijų priklausomybė nuo apkrovos yra tiesinė (t.y., proporcingumo riba nebuvo viršijama). Svarbiausias deformacijas ε_x ir ε_y galima apskaičiuoti lygybėmis [12]:

$$\varepsilon_x = \frac{\varepsilon_I + \varepsilon_{III}}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(\varepsilon_I - \varepsilon_{III})^2 + (\varepsilon_I - 2\varepsilon_{II} + \varepsilon_{III})^2}, \quad (3.1)$$

$$\varepsilon_y = \frac{\varepsilon_I + \varepsilon_{III}}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{(\varepsilon_I - \varepsilon_{III})^2 + (\varepsilon_I - 2\varepsilon_{II} + \varepsilon_{III})^2}. \quad (3.2)$$

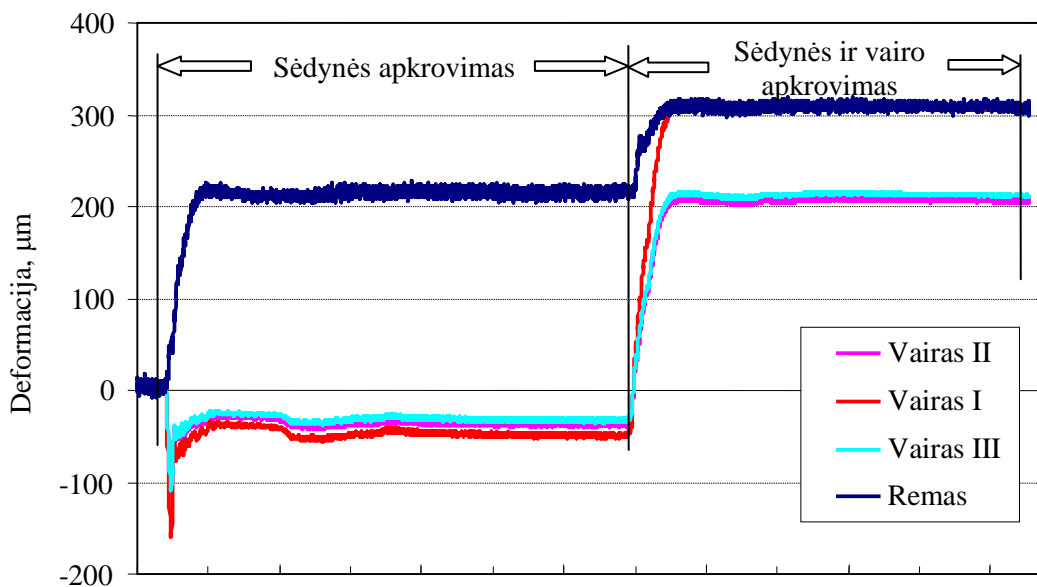
Eksperimentiškai nustatytų vairo tampriųjų deformacijų santykių reikšmės pateiktos 3.1 lentelėje. Toliau atliekant dinaminio bandymus, liginamajai analizei pasirinkta viena vairo deformacija ε_I , kaip tai buvo daroma darbe [8].

3.1 lentelė. Vairo tampriųjų deformacijų santykiai

Deformacijos santykis	$\frac{\varepsilon_{II}}{\varepsilon_I}$	$\frac{\varepsilon_{III}}{\varepsilon_I}$	$\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_I}$	$\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_I}$
Reikšmė	0,712	0,715	1,061	0,563

Papildomai buvo atliktas statinis bandomo dviračio apkrovimas standartinėmis apkrovomis, naudojant pneumocilindrus. Pirma buvo tiekiamas slėgis į sėdynę veikiantį pneumocilindrą, po to ir į vairą veikiančius pneumocilindrus. Apkrovimo metu buvo fiksuojamos rėmo ir vairo deformacijos. Bandymo rezultatai pateikti 3.1 paveiksle ir 3.2 lentelėje.

Kaip rodo 3.1 pav. grafikas, sutelkus apkrovą į sėdynę, rėmo vamzdžio apatinės dalies deformacijos yra teigiamos (tempimas), o vairo – neigiamos (gniuždymas). Taip yra dėl to, kad šio apkrovimo metu reakcijos jėgos pasiskirsto ne tik tarp dviračio ratų, bet dalis jos tenka ir vairui, kuris sujungtas su pneumocilindrais. Kai pradedamas tiekti slėgis ir į vairą veikiančius pneumocilindrus, visos fiksuojamos deformacijos yra teigiamos.



3.1 pav. Dviračio vairo ir rėmo deformacijos dėl statinio apkrovimo pneumocilindrais

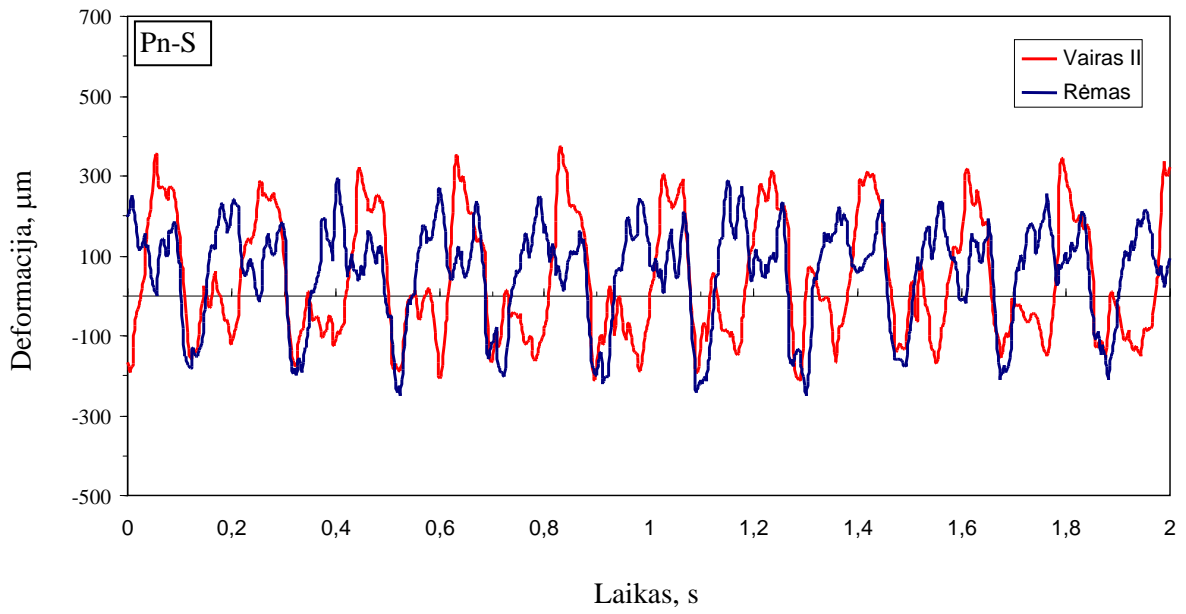
3.2 lentelė. Vairo ir rėmo deformacijų reikšmės, gautos statinio apkrovimo pneumocilindrais metu

Deformacija, μm	Vairas			Rėmas
	ε_I	ε_{II}	ε_{III}	ε
Sėdynės apkrovimas	-47,4	-34,8	-31,5	215,9
Sėdynės ir vairo apkrovimas	308,7	208,6	213,9	309,7

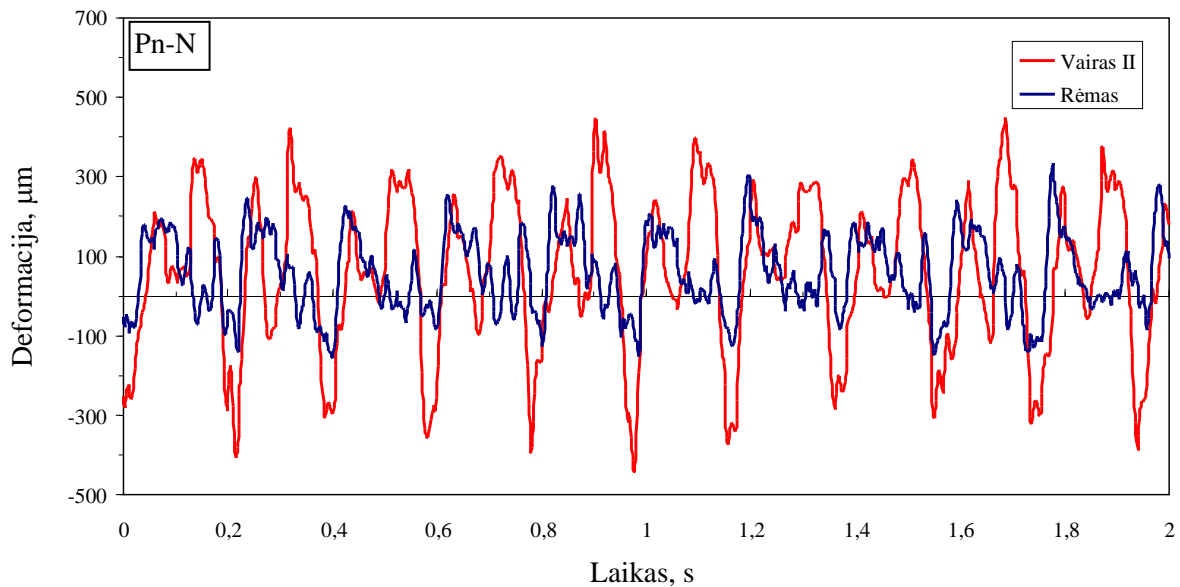
3.2 Dviračio struktūrinio vientisumo eksperimentinių tyrimų duomenys

Dviračio struktūrinio vientisumo bandymai buvo atlikti pagal metodiką, aprašytą 2 skyriuje. Catman programa apdoroti tenzometrinių jutiklių signalai (vairo, rėmo ir padėties fiksavimo plokštelės deformacijos) buvo užrašomos į duomenų masyvus, kurie išsaugomi failo plėtiniais *.exe ir *.txt.

Vairo ir rėmo deformacijų (ε_{II} ir ε) kitimo laike dėl dinaminių apkrovų poveikio bandymų metu grafikai pateikti 3.2 – 3.4 pav. Vaizdumo dėlei, paveiksluose parodytas 2 s trukmės fragmentas, nors duomenų fiksavimas kiekvieno bandymo metu buvo vykdomas ne trumpiau kaip 11 s. Įvertinus tai, kad diskretizavimo dažnis 400 Hz, buvo gaunama daugiau kaip $2^{12} = 4096$ signalo taškų, ko pakanka sparčiai Furje transformacijai (SFT) atlikti.

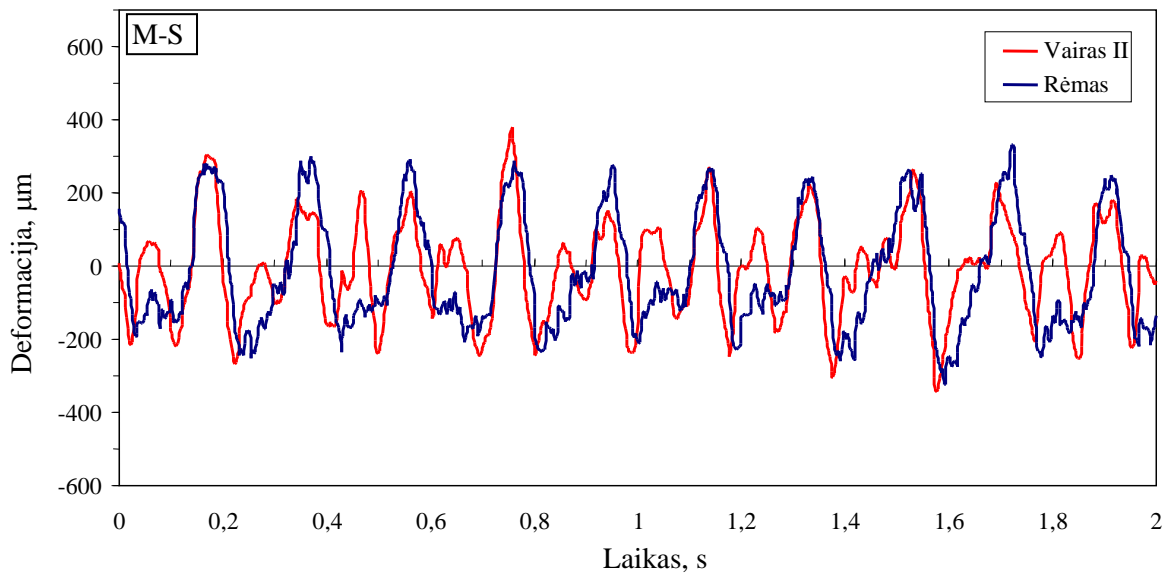


a)

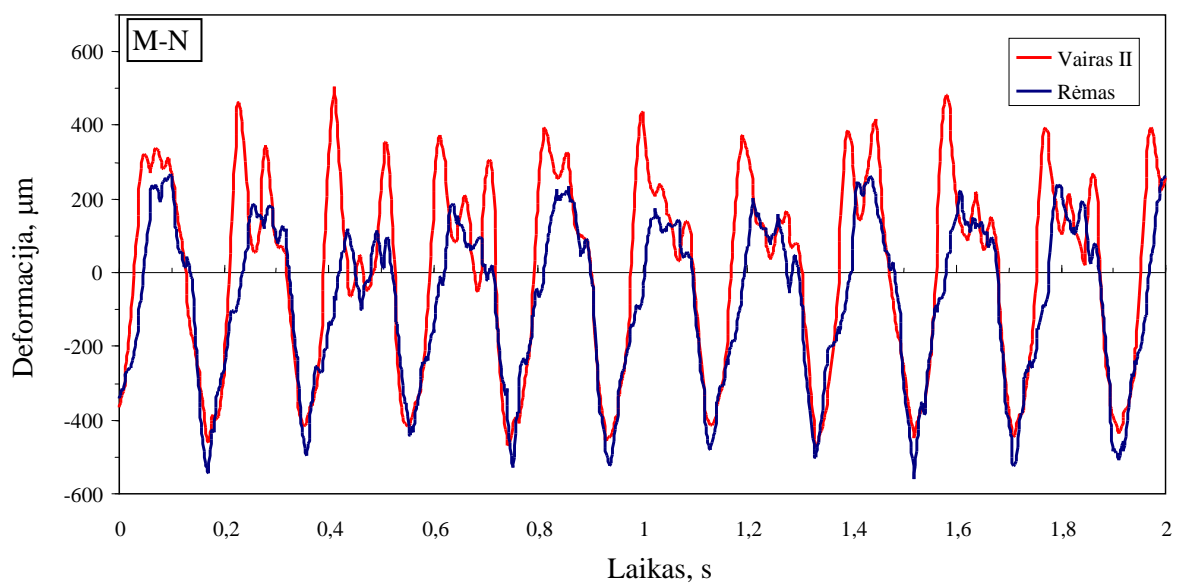


b)

3.2 pav. Struktūrinio vientisumo bandymo metu nustatytos dviračio vairo ir rėmo deformacijos, kai apkrova suteikiama pneumocilindrais: a) nelygumų padėtis sinchronizuota; b) nelygumų padėtis su faziniu perstūmimu

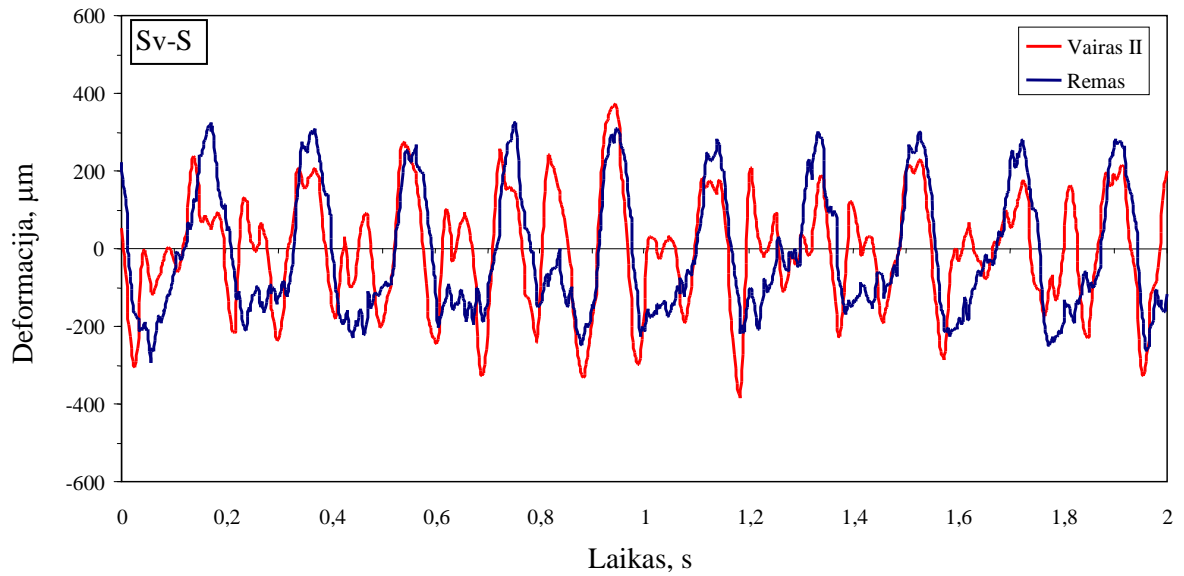


a)

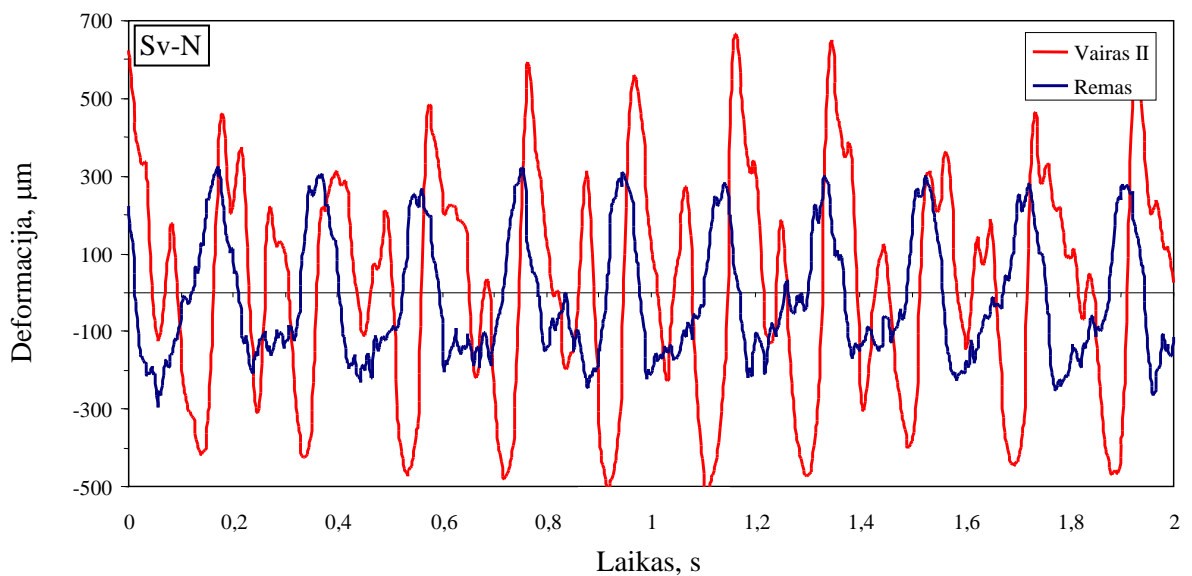


b)

3.3 pav. Struktūrinio vientisumo bandymo metu nustatytos dviračio vairo ir rėmo deformacijos, kai apkrova suteikiama maišais su kroviniu: a) nelygumų padėtis sinchronizuota; b) nelygumų padėtis su faziniu perstūmimu



a)



b)

3.4 pav. Struktūrinio vientisumo bandymo metu nustatytos dviračio vairo ir rėmo deformacijos, kai apkrova suteikiama svarsčiais: a) nelygumų padėtis sinchronizuota; b) nelygumų padėtis su faziniu perstūmimu

Iš pateiktų grafikų matyti, kad didžiausios deformacijų reikšmės gaunamos tuo atveju, kai naudojama nesinchronizuota nelygumų padėtis.

3.3 Deformacijų vidutinės kvadratinės reikšmės

Dviračio rėmo ir vairo deformacijos kinta pagal atsitiktiniam virpesiam būdingą dėsnį. Jiems galima taikyti vidutinės reikšmės, absoliutinės reikšmės vidurkio, kvadratinio vidurkio ir kitas išraiškas. Buvo apskaičiuotos rėmo ir vairo deformacijų kvadratiniai vidurkiai ($\varepsilon_{vid.kv}$). Kadangi, deformacijos pateiktos diskretinių reikšmių ε_i aibe ($i=1,2\dots N$), buvo naudojama lygybė:

$$\varepsilon_{vid.kv} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \varepsilon_i^2}{N}}, \quad (3.3)$$

čia: T – matavimo intervalas.

Deformacijų kvadratinų vidurkių ir santykių (Sv/Pn ir Mais/Pn) reikšmės pateiktos 3.3 lentelėje.

3.3 lentelė. Vairo ir rėmo deformacijų kvadratiniai vidurkiai ir jų skirtumai

Apkrovos būdas	Rėmo $\varepsilon_{vid.kv}$, μm		Vairo $\varepsilon_{II vid.kv}$, μm	
	Nelygumų tarpusavio padėtis			
	Sinchronizuota	Su faziniu perstūmimu	Sinchronizuota	Su faziniu perstūmimu
Svarsčiai	168,3	192,9	159,4	304,9
Maišai su kroviniu	160,8	234,1	138,7	263,3
Pneumocilindrai	140,3	110,6	157,4	204,7
Sv/Pn	1,2	1,74	1,01	1,49
Mais/Pn	1,15	2,12	0,88	1,29

Duomenys, pateikti 3.3 lentelėje, rodo tai, kad esant nelygumų padėčiai su faziniu perstūmimu, deformacijų kvadratiniai vidurkiai yra vidutiniškai 30 % didesni, nei esant sinchronizuotai nelygumų padėčiai. Tai leidžia padaryti išvadą, kad tiriamo dviračio struktūriniam vientisumui pavojingesnė yra nelygumų padėtis su faziniu perstūmimu. Tai galima paaiškinti tuo, kad esant šiai nelygumų padėčiai, dviratis patiria švytuojamuosius judesius apie svorio centrą, kurių dažnis gali būti artimas savajam.

Rėmo deformacijų kvadratinų vidurkių reikšmės, esant sinchronizuotai nelygumų padėčiai, skiriasi nedaug (kai taikoma Pn apkrovos tipas, rėmo $\varepsilon_{vid.kv}$ tik 14-20 % mažesnė nei

kitais atvejais). Tuo atveju, kai nelygumų padėtis su faziniu perstūmimu, šie skirtumai yra didesni (iki 110 %). Beje, šiuo atveju, kai taikoma apkrovos tipas *Mais*, $\varepsilon_{vid.kv}$ reikšmė yra didžiausia (20 % didesnė, nei *Sv*).

Apskaičiuotos vairo deformacijų kvadratinių vidurkių reikšmės rodo, kad apkrovimas pneumocilindrais nėra žymiai „švelnesnis“ už kitus apkrovimo būdus, kaip tai buvo nurodyta Šerniaus [8] darbe (kuriame taikyta tik vairo apkrova). Esant dviračio pilnai apkrovai ir suderintai nelygumų tarp būgnų padėčiai, visais apkrovos atvejais $\varepsilon_{vid.kv}$ nesiskyrė daugiau, kaip 15 %. Kai nelygumų padėtis nesuderinta, *Pn* apkrovos tipo $\varepsilon_{vid.kv}$ reikšmės buvo 33 % mažesnės, nei *Mais*, ir 49 % mažesnės, nei *Sv*.

Bendru atveju, galima padaryti išvadą, kad didelio skirtumo tarp $\varepsilon_{vid.kv}$ reikšmių, kai taikomi *Mais* ir *Sv* apkrovos būdai, nėra. Deformacijų kvadratinių vidurkių reikšmės esant *Pn* apkrovos būdui yra ~36 % mažesnės, nei *Mais* ir *Sv*, tačiau tai yra žymiai mažiau, nei nurodyta Šerniaus [8] (3-4 kartai)

Lyginant gautas deformacijų kvadratinių vidurkių reikšmes ir įvertinus tai, kad žmogaus kūnas nėra standi mechaninė sistema ir ją neįmanoma pakeisti svarsčiais ar net maišais su kroviniu, galima padaryti išvadą, kad dviračio apkrova pneumocilindrais yra taikytina, atliekant struktūrinio vientisumo bandymus.

3.4 Dviračio rėmo ir vairo deformacijų spektrai

Skaitmeninis signalų apdorojimas taikomas įvairiose mokslo ir technologijų srityse. Praktiniams uždaviniams spręsti labai plačiai naudojami dažninės analizės metodai, kurių pagrindą sudaro Furje transformacijos skaičiavimo algoritmai, realizuoti tik dvidešimtojo amžiaus septintajame dešimtmetyje spartaus elektronikos įtaisų ir priemonių tobulėjimo dėka. Elektrinių signalų spektro analizė naudojama periodinių ir impulsinių signalų savybių vertinimui dažnių srityje (įvairių objektų netiesinių savybių kiekybiniam vertinimui, vaizdų atpažinimo procesuose, telekomunikacijų inžinerijoje ir kt.). Pvz., telekomunikacijos sistemose, signalų spektrinio tankio funkcijos leidžia įvertinti priimtojo signalo naudingosios dalies ir pašalinės (triukšmo) dalies galių santykius.

Spektrai ir spektriniai tankiai taip pat naudojami ir mechaninių sistemų vibracijų tyrimuose, kai sistemos žadinimas kinta atsitiktiniu dėsniu, t.y., kai reikia nustatyti sistemų reakcijas į atsitiktinius virpesius. Įvertinamas kiekvieno atskiro dažnio įnašas į žadinimą ir į atitinkamą reakciją. Tam tikslui būtina žinoti sistemos dažnio perdavimo funkciją ir žadinimo

spektrinį tankį, pagal kuriuos apskaičiuojamas reakcijos spektrinis tankis. Dažnių spektrai plačiai taikomi vibrodiagnostikoje.

Įtempių galios spektrinio tankio funkcija taip pat naudojama įvertinant nuovarginius procesus konstrukcijose, kai jos veikiamos atsitiktinių apkrovų, vibracijų arba sudėtingų statinio darbo ciklų. Esant tokioms apkrovoms, įtempimai pavojingiausiose konstrukcijos vietoje gali kisti sudėtingu, atsitiktiniams virpesiams būdingu dėsnio, kurį nepatogu nagrinėti kaip laiko funkciją. Ypač tai aktualu, kai gaunami plačios dažnių juostos įtempių spektrai, arba kai įtempių spektras sukonzentruoti ne vienoje dažnių srityje. Medžiagų eksperimentinės nuovargio ($S - N$) kreivės sudaromos taikant paprastą įtempių būvį (dažniausiai tempimą-gniuždymą) ir pastovias apkrovos amplitudes. Pritaikius Palmgreno-Minerio [15] pažeidimų sumavimo taisyklę, nesudėtingai apskaičiuojamas medžiagos ciklinio deformavimo nuovarginio pažeidimo lygis, kai apkrovos amplitudės kinta. Tačiau atsitiktinių virpesių dėsnio kintančių įtempių poveikį konstrukcijų elementų ilgaamžiškumui nustatyti nėra taip paprasta.

Yra sukurti metodai [16, 17], kurie pagal nustatytą įtempių galios spektrinį tankį leidžia įvertinti „užskaitytus“ ciklų skaičius ir jų lygius per pasirinktą sistemos eksploatavimo laikotarpį. Toliau, pagal nuovargio kreivę ir Palmgreno-Minerio taisyklę apskaičiuojamas tiriamo elemento nuovarginio pažeidimo lygis arba darbo laikas iki suirimo. Dabartiniu metu šis metodas pritaikytas ir daugelyje šiuolaikinių baigtinių elementų programavimo sistemų [17].

Dažnių spektras.

Bet kokį signalą galima pavaizduoti tiek laiko, tiek dažnių ašyje. Dažnių ašyje pavaizduotas signalas vadinamas dažnių spektru, kuris grafiškai pavaizduojamas amplitudės ir fazės spektrinėmis diagramomis. Tiriant virpesius, dažnių srities signalas arba dažnių spektras pateikiamas virpesių reakcijos amplitudės priklausomybe nuo dažnio, kuri suteikia daug naudingos informacijos apie tiriamą sistemą. Bet koks sistemos elementų ar jos parametru pokytis sąlygoja reakcijos dažnių spektro pokyčius. Atliekant mechaninių sistemų monitoringą, šie pokyčiai siejami su rotorinių detalių dėvėjimosi reiškiniais.

Nuo laiko priklausantį signalą $x(t)$ galima pakeisti į įvairių dažnių ir fazių harmoninių signalų sumą. Kiekvieno dažnio santykinę indėlį į visą signalą nusako signalo spektras, kuris apskaičiuojamas *Furjė transformacija* [18-20]:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-i2\pi ft} dt, \quad (3.3)$$

čia: i – menamas vienetas ($\sqrt{-1}$); f – Furjė transformacijos dažnis, Hz.

Gauta lygtis dar vadinama signalo analizės lygtimi. Gaunamas dvipusis spektras, kadangi f gali būti ir teigiamas, ir neigiamas. Bendru atveju $X(f)$ yra kompleksinė dažnio funkcija, susidedanti iš spektro dedamosios amplitudės ir spektro fazės. Dažnai, norint įvertinti įvairių dažnių santykinę indėlį į signalą, pakanka žinoti tik amplitudžių spektrą. Signalo spektras leidžia grįžti prie pačio signalo, tai atliekama atvirkštinės Furjė transformacijos būdu (signalų sintezė). Furjė tiesioginės ir atvirkštinės transformacijos išsamiai aprašytos literatūroje (kurioje aprašomi tiek ryšio signalai, tiek ir mechaniniai virpesiai). Galima pažymėti tik tai, kad $x(t)$ ir $X(f)$ sudaro Furjė porą ir abi šios funkcijos suteikia vienodą informaciją apie tiriamąjį signalą.

Mūsų atveju, deformacijų pokyčiai buvo užrašyti diskretinių signalų seka $x(n\Delta)$, kurios diskretizacijos periodas $\Delta = 0,0025$ s. Šiuo atveju n – sveikų skaičių seka ($n = 0, 1, 2 \dots N - 1$). Turint diskretinių signalų seką (kai $N = 2^v$), galima taikyti sparčiąją Furjė transformaciją [18]:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-i(2\pi/N)nk}. \quad (3.4)$$

čia: $k = 0, 1, 2 \dots N - 1$;

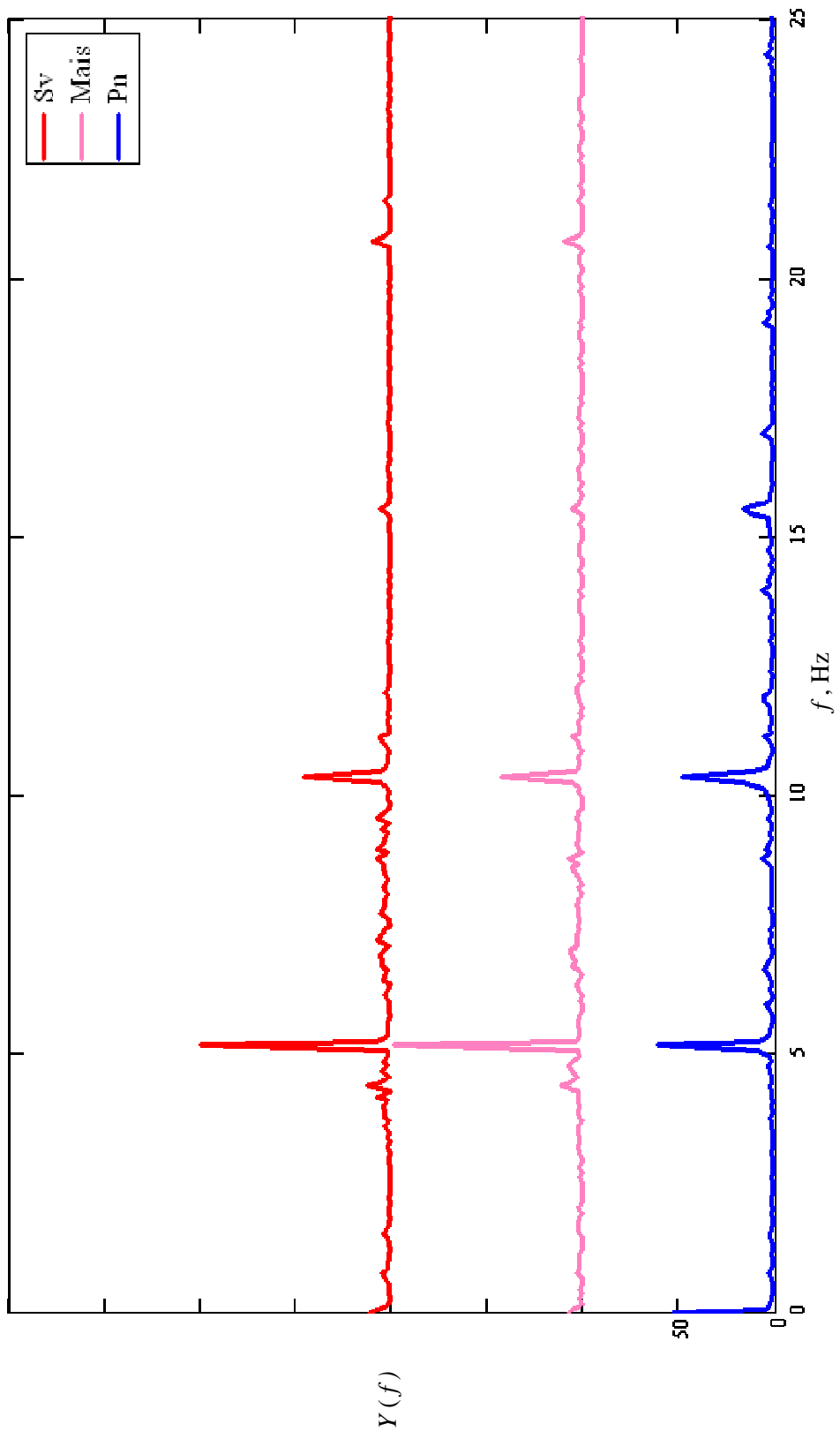
Dažnį f_k ir k sieja tokia priklausomybė:

$$f_k = \frac{k}{\Delta \cdot N}. \quad (3.5)$$

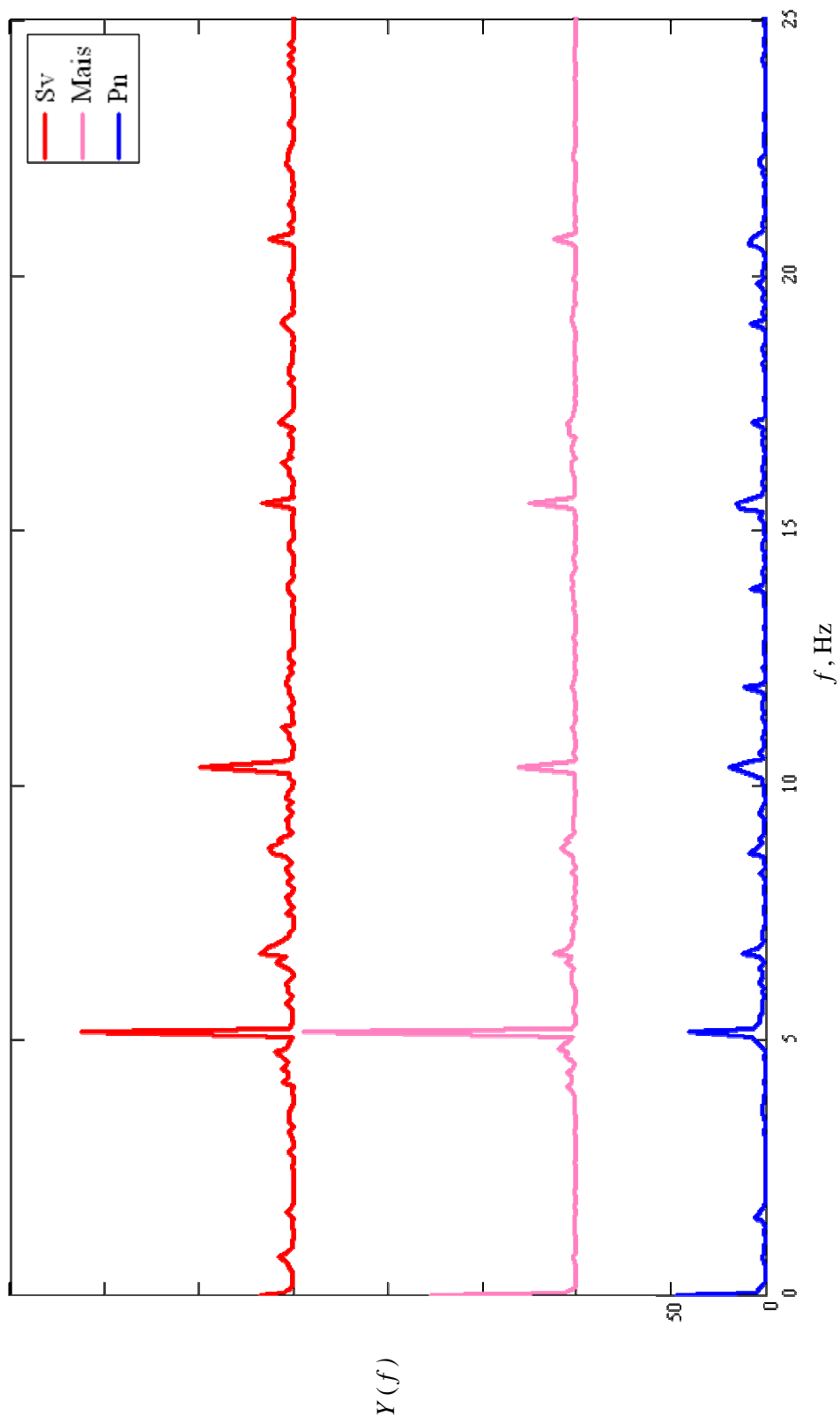
3.5 - 3.8 pav. pateikiami dviračio rėmo ir vairo deformacijų spektrai.

Deformacijų spektrų grafikai gauti, eksperimentinius duomenis apdorojus matematine skaičiavimo programa Mathcad, kuria nesudėtingai realizuojamas diskretinių duomenų sparčioji Furjė transformacija. Buvo laikomais nuostatos, kad visais nagrinėjamais bandymų atvejais, procesas yra atsitiktinis, stacionarus ir ergodinis [18], todėl spektriniam tankiui apskaičiuoti pakako vienos duomenų sekos kiekvieno bandymo atveju. Gautų eksperimentinių duomenų statistinės charakteristikos pateiktos 1 priede, o jų tikimybių tankių funkcijos, taip pat gautos programa Mathcad, pateiktos 2 ir 3 prieduose. Tikimybių tankių funkcijos yra nesimetrinės, kas parodo, kad deformacijos jėgos tempimui ir spaudimui turi nevienodą tamprumo koeficientą.

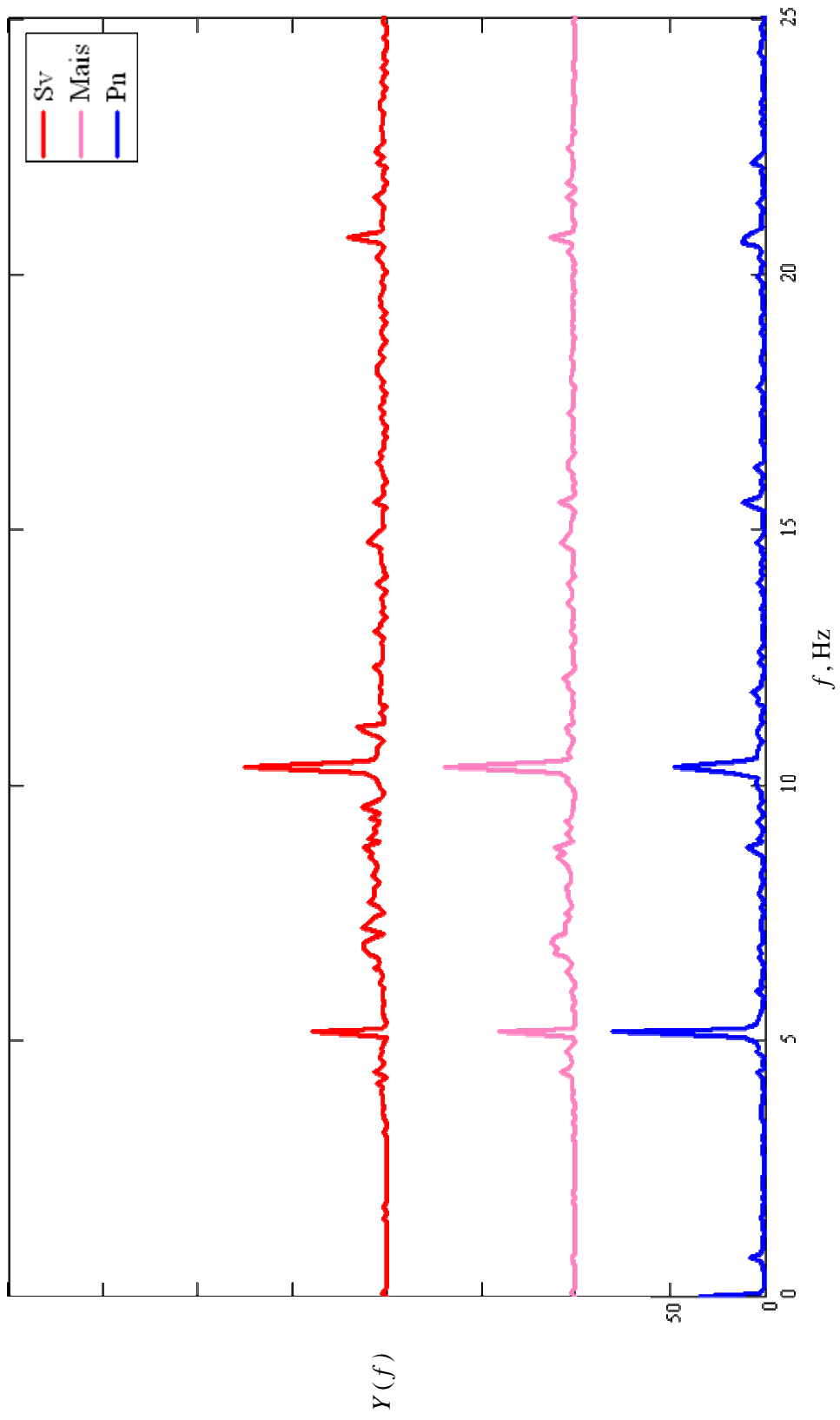
Vaizdumo dėlei, deformacijų spektrų grafikuose kreivės perstumtos dydžiu 100 arba 150 μm .



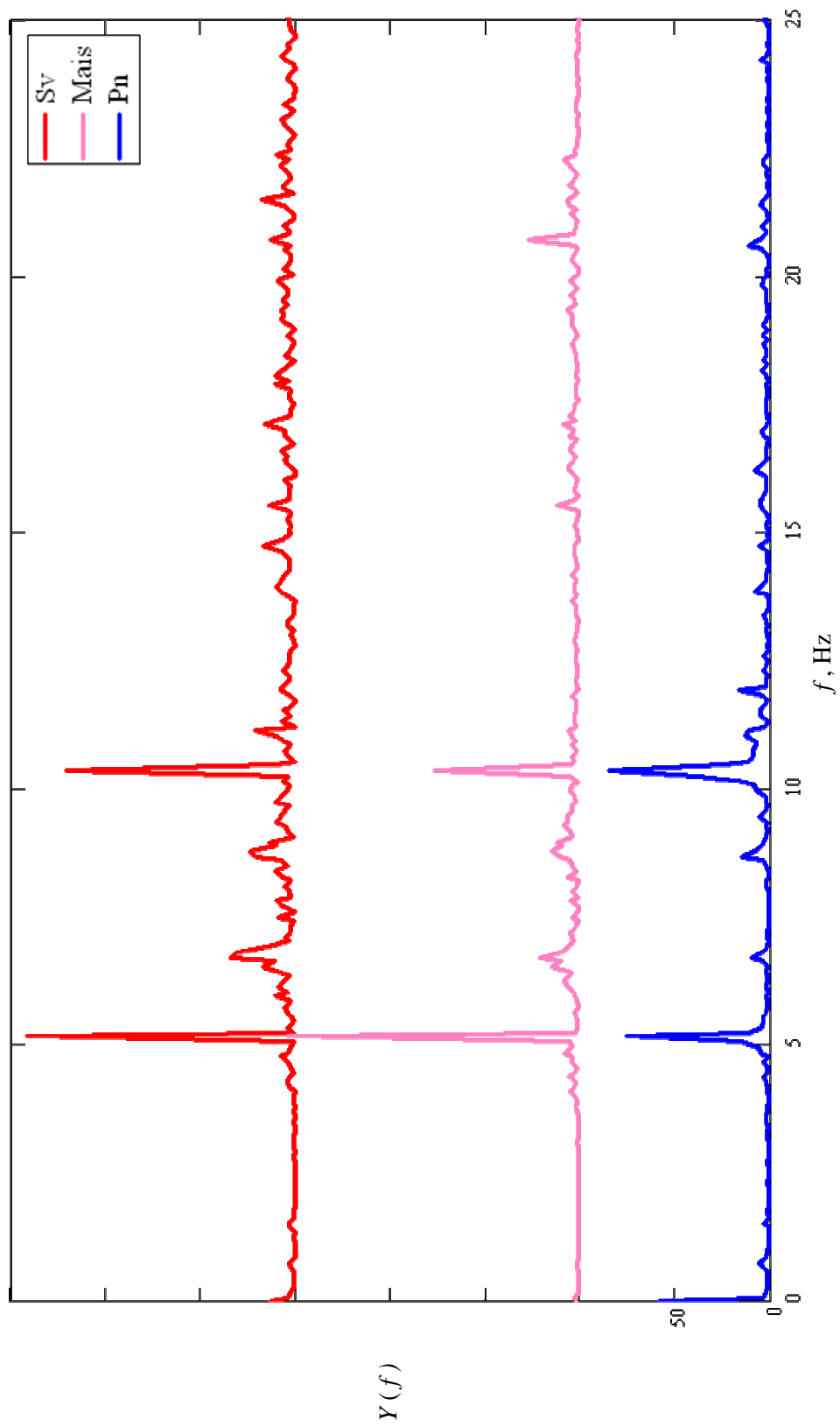
3.5 pav. Dviriačio rėmo deformacijų dažnių spektras, kai nelygumų padėtis sinchronizuota



3.6 pav. Dviracio rėmo deformacijų dažnių spektras, kai nelygumų padėtis su faziniu perstūmimu



3.7 pav. Dviračio vairo deformacijų dažnių spektras, kai nelygumų padėtis sinchronizuota



3.8 pav. Dviračio vairo deformacijų dažnių spektras, kai nelygumų padėtis su faziniu perstūmimu

Iš grafikų matyti, kad rėmo deformacijų spektre, kai taikomas apkrovos būdas *Mais* ir *Sv*, dominuojanti yra pirmoji harmonika, kurios dažnis atitinka žadinimo signalo dažnį (~5,2 Hz). Antrosios harmonikos (10,4 Hz) amplitudė yra 2-3 kartus mažesnė. Kai taikomas apkrovos būdas *Pn* ir sinchronizuota nelygumų padėtis, ir pirmos ir antros harmonikos amplitudė beveik vienoda, o kai nelygumų padėtis su faziniu perstūmimu – didžiausia yra pirmosios harmonikos amplitudė, tačiau ji 3-4 kartus mažesnė už *Mais* ir *Sv* apkrovimo amplitudes.

Nagrinėjant vairo deformacijų spektrą, kai nelygumų padėtis sinchronizuota, pastebima, kad išsiskiria abiejų harmonikų amplitudės, ir kad antrosios harmonikos amplitudės *Mais* ir *Sv* apkrovos atveju yra dvigubai didesnė. Be to, ir pagal deformacijų kvadratinių vidurkių reikšmes ir pagal gautą spektrą, matyti, kad rezultatai tarp skirtingų apkrovos būdų čia yra artimiausi. Kitais atvejais, abiejų harmonikų amplitudės yra beveik vienodos arba antrosios harmonikos amplitudė yra šiek tiek mažesnė už pirmosios. Kalbant apie vairo deformacijas, galima padaryti išvadą, kad visais bandymų atvejais antrosios žadinimo harmonikos dažnis yra artimas vairo, kaip vieno iš mechaninės sistemos elemento) savųjų virpesių dažniui.

IŠVADOS:

1. Darbe nustatyta įvairių apkrovimo būdų įtaka dviračio vairo deformacijoms, šiam tikslui pritaikant struktūrinio vientisumo bandymų stendą.
2. Esant nelygumų padėčiai su faziniu perstūmimu, deformacijų kvadratiniai vidurkiai yra vidutiniškai 30 % didesni, nei esant sinchronizuotai nelygumų padėčiai.
3. Deformacijų kvadratinės vidurkių reikšmės, kai taikoma apkrova pneumocilindrais, yra ~36 % mažesnės nei svarsčiais ir maišais su kroviniu.
4. Rėmo deformacijų spektre dominuojanti yra pirmoji harmonika, o vairo deformacijų spektre ir pirmoji ir antroji.
5. Įvertinus tai, kad žmogaus kūnas nėra standi mechaninė sistema, dviračio apkrova pneumocilindrais, atliekant struktūrinio vientisumo bandymus, yra taikytina.

LITERATŪRA

1. Prieiga per internetą: <http://www.worldometers.info/bicycles/> [žiūrėta 2012-12-01]
2. *LR Produktų saugos įstatymas*. 2001-07-05. Žin., 2001, Nr. 64-2324
3. LST EN 14764:2006. *Miesto ir turistiniai dviračiai. Saugos reikalavimai ir bandymo metodai*.
4. LST EN 14765:2006+A1:2008. *Vaikiški dviračiai. Saugos reikalavimai ir bandymo metodai*.
5. LST EN 14766:2006. *Kalnų dviračiai. Saugos reikalavimai ir bandymo metodai*.
6. LST EN 14781:2006. *Lenktyniniai dviračiai. Saugos reikalavimai ir bandymo metodai*.
7. ZWICK, Dirk; DOLIEBA, Marius; PARTAUKAS, Nerijus; RAZGAITIS, Irmantas. *Dviračių, tandemų, triračių ir keturračių dinaminio bandymo stendas*. Bakalauro darbas. ŠU TF Mechanikos inžinerijos katedra. 2005
8. ŠERNIUS RAMŪNAS. *Dinaminių apkrovų poveikio dviračio vairui tyrimas struktūrinio vientisumo bandymų stende*. Magistro baigiamasis darbas. ŠU TF Mechanikos inžinerijos katedra. 2012
9. Prieiga per internetą: http://www.testmachinery.com/eng_product_view.asp?FkindNo=F001394&PidNo=200906170061 [žiūrėta 2012-12-06]
10. Prieiga per internetą: http://maxcombike.com/en/news/185-High-tech-Testing-Centre-controls-MAXEUROPE_s-Bicycles [žiūrėta 2012-12-06]
11. ADOMAITIS VYTAUTAS. *Dviračio vairo statinio stiprumo tyrimas*. Magistro baigiamasis darbas. ŠU TF Mechanikos inžinerijos katedra. 2011
12. BRAŽĖNAS, Algis. *Eksperimentinės mechanikos pagrindai*. Šiauliai, 2006. 166 p. ISBN 9986-663-2.
13. Prieiga per internetą: http://www.kiowa.co.uk/static/documents/Festo/DNC_EN.PDF (žiūrėta 2013-02-22)
14. STASIUKYNAS VAIDAS. *Nesklanžiu kelio netolygumu riedančio dviračio rato dinamikos tyrimas*. Magistro baigiamasis darbas. ŠU TF Mechanikos inžinerijos katedra. 2011
15. GALGOUL N. S. *Fatigue Analysis of Offshore Fixed and Floating Structures*. 2007. 64 p.

16. BISHOP N. W. *The use of frequency domain parameters to predict structural fatigue*. A PhD thesis. University of Warwick. 1988. 310 p.
17. BISHOP N. W. *Finite Element Based Fatigue Calculations*. 2000. 131 p.
18. SHIN K., HAMMOND J. *Fundamentals of Signal Processing for Sound and Vibration Engineers*. 2008. 403 p.
19. BENDAL J. S., PIERSOL A. G. *Random data. Analysis and measurement procedures*. 2010. 604 p.
20. OSTAŠEVIČIUS Vytautas. *Mechaninių konstrukcijų dinamika ir modeliavimas*. Kaunas. „Technologija“. 1998. 368 p.

PRIEDAI

Priedas 1

Rėmo deformacijų sekos statistinės charakteristikos

Nelygumų tarpusavio padėtis sinchronizuota

Apkrovos būdas	Minimali reikšmė ε_{\min} , μm	Maksimali reikšmė ε_{\max} , μm	Vidurkis ε_{vid} , μm	Standartinis nuokrypis σ , μm	Asimetrijos koeficientas γ_1 [13]	Eksceso koeficientas γ_2 [13]
Svarsčiai	-356,64	404,64	-10,86	167,97	0,457	-1,003
Maišai su kroviniu	-323,52	352,32	-7,45	160,68	0,504	-1,024
Pneumocilindrai	-260,16	298,08	52,07	130,34	-0,653	-0,572

Nelygumų tarpusavio padėtis su faziniu perstūmimu

Apkrovos būdas	Minimali reikšmė ε_{\min} , μm	Maksimali reikšmė ε_{\max} , μm	Vidurkis ε_{vid} , μm	Standartinis nuokrypis σ , μm	Asimetrijos koeficientas γ_1 [13]	Eksceso koeficientas γ_2 [13]
Svarsčiai	-503,52	426,72	-18,24	192,1	-0,338	-0,646
Maišai su kroviniu	-586,08	275,04	-77,34	220,9	-0,465	-1,013
Pneumocilindrai	-207,84	332,64	47,31	100,02	0,016	-0,681

Vairo deformacijų sekos statistinės charakteristikos

Nelygumų tarpusavio padėtis sinchronizuota

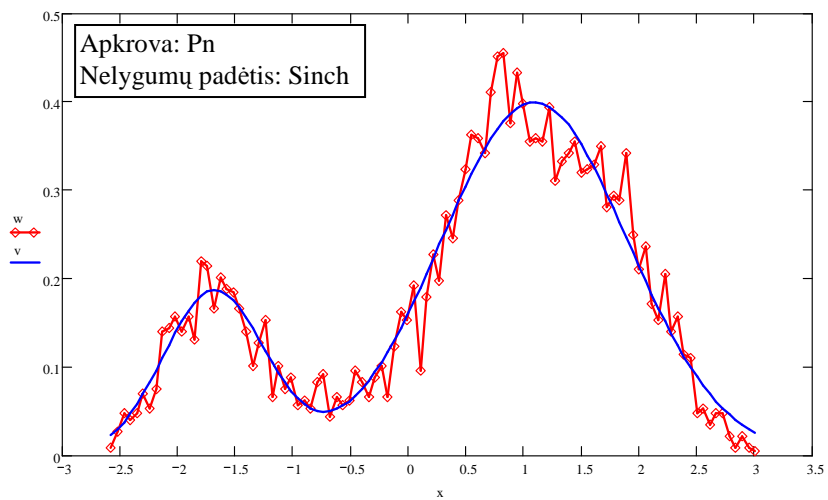
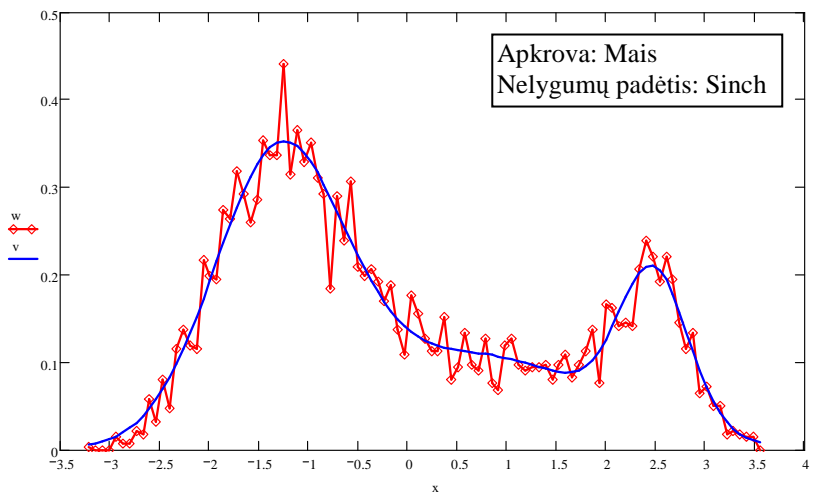
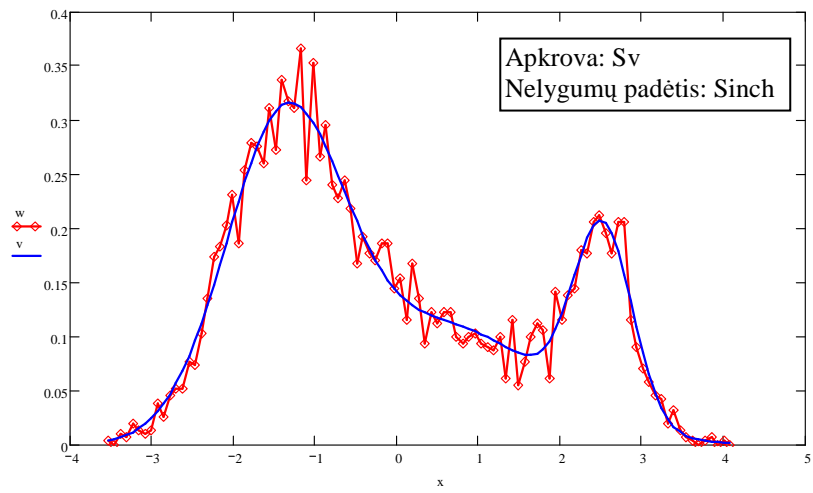
Apkrovos būdas	Minimali reikšmė ε_{\min} , μm	Maksimali reikšmė ε_{\max} , μm	Vidurkis ε_{vid} , μm	Standartinis nuokrypis σ , μm	Asimetrijos koeficientas γ_1 [13]	Eksceso koeficientas γ_2 [13]
Svarsčiai	-431,52	420,96	0,16	159,46	0,054	-0,528
Maišai su kroviniu	-345,12	387,84	-0,94	138,72	0,05	-0,66
Pneumocilindrai	-245,28	372,96	35,24	153,38	0,4	-1,145

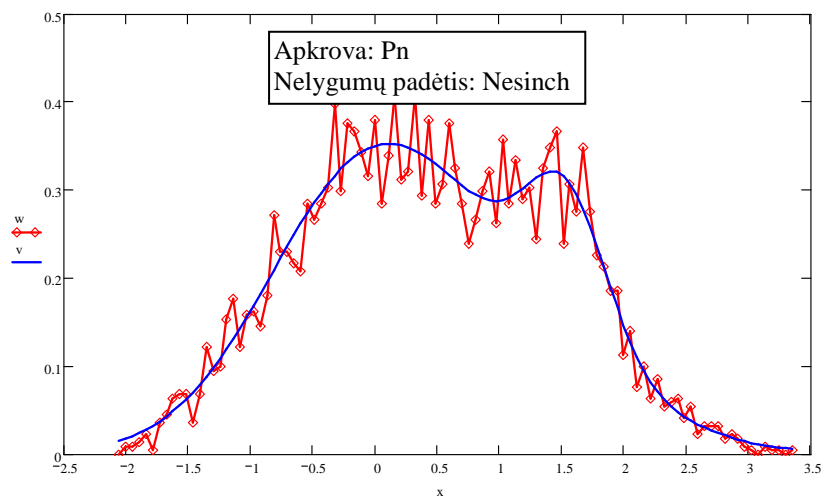
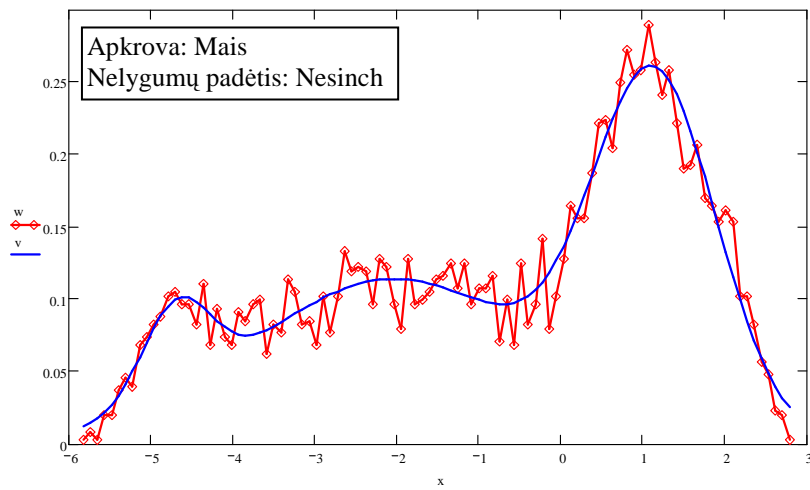
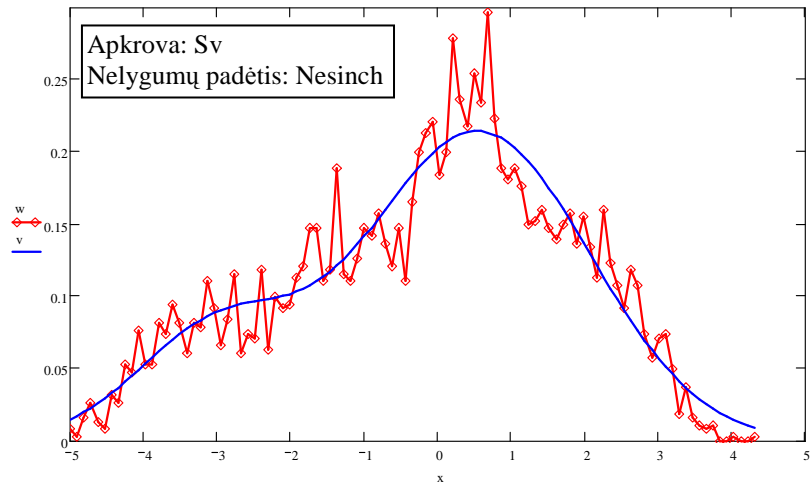
Nelygumų tarpusavio padėtis su faziniu perstūmimu

Apkrovos būdas	Minimali reikšmė ε_{\min} , μm	Maksimali reikšmė ε_{\max} , μm	Vidurkis ε_{vid} , μm	Standartinis nuokrypis σ , μm	Asimetrijos koeficientas γ_1 [13]	Eksceso koeficientas γ_2 [13]
Svarsčiai	-535,68	778,56	12,94	304,63	0,066	-0,955
Maišai su kroviniu	-502,08	549,12	2,72	263,33	-0,321	-1,165
Pneumocilindrai	-467,52	456	58,29	196,26	-0,467	-0,466

Priedas 2

Rėmo deformacijų tikimybių tankių grafikai





Priedas 3

Vairo deformacijų tikimybių tankių grafikai

