

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

Ramūnas Šernius

**DINAMINIŲ APKROVŲ POVEIKIO DVIRAČIO VAIRUI
TYRIMAS STRUKTŪRINIO VIENTISUMO BANDYMŲ
STENDE**

Magistro baigiamasis darbas

Šiauliai, 2012

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

**DINAMINIŲ APKROVŲ POVEIKIO DVIRAČIO VAIRUI
TYRIMAS STRUKTŪRINIO VIENTISUMO BANDYMŲ
STENDE**

Magistro baigiamasis darbas

Autorius – Ramūnas Šernius (MM-10 gr.)

Vadovas – doc. dr. Sergėjus Rimovskis

Recenzentas – doc. dr. Raimondas Šniuolis

Katedros vedėjas – doc. dr. Artūras Sabaliauskas

Šiauliai, 2012

TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS	4
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	5
ĮVADAS	6
1. STRUKTŪRINIO VIENTISUMO BANDYMO YPATUMAI	9
1.1 Standarto reikalavimai	9
1.2 Bandymo stendas ir naudojami apkrovos būdai	10
2. EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ METODIKA	12
2.1 Stendo paruošimas tyrimams	12
2.2 Vairo deformacijų matavimas	13
2.3 Nelygumo padėties fiksavimas	15
2.4 Bandymų režimai	15
2.5 Statinio vairo apkrovimo deformacijos	17
3. EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ ANALIZĖ	20
3.1 Dinaminių bandymų duomenys	20
3.2 Dinaminių bandymų duomenų liginamoji analizė	22
IŠVADOS	25
LITERATŪRA	26
PRIEDAI	27

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

**Ramūnas Šernius. DINAMINIŲ APKROVŲ POVEIKIO DVIRAČIO VAIRUI TYRIMAS
STRUKTŪRINIO VIENTISUMO BANDYMŲ STENDE / vadovas doc.dr. S. Rimovskis.**

SANTRAUKA

Dviračių standartas reglamentuoja struktūrinio vientisumo bandymą, kurio metu dviratis patiria dinaminį poveikį ir jo mazguose bei elementuose atsiranda laike kintančios deformacijos. Dėl virpesių taip pat gali atsilaisvinti arba nukrypti nuo savo padėties dviračio detalės. TBC struktūrinio vientisumo bandymo stendas leidžia atlikti bandymus naudojant tris skirtingus apkrovimo būdus (svarsčiais; tam tikro svorio metaliniais rutuliukais pripildytais maišais; pneumatiniiais cilindrais). Darbe pateikiama skirtingų apkrovos būdų įtakos dviračio vairo deformacijoms eksperimentinis tyrimas, kai naudojami trys skirtingi apkrovos būdai ir lygiai, ir kai dviratis juda skirtingais greičiais.

Reikšminiai žodžiai: dviračio struktūrinis vientisumas, vairo deformacijos

ŠIAULIAI UNIVERSITY
FACULTY OF TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

Ramūnas Šernius. Title. RESEARCH OF DYNAMIC LOADS ON THE HANDLEBAR OF THE BICYCLE USING THE STRUCTURAL INTEGRITY TEST MACHINE / research advisor assoc. prof. dr. S. Rimovskis.

SUMMARY

Standards determine the requirements of structural integrity properties of bicycles. Special tests are performed to proof whether the bicycle meets the requirements of structural integrity or not. Dynamic effects leads to time-varying strain in elements or components of item under the test. The oscillations can cause failure or loosening of bicycle elements. TBC structural integrity machine allows to perform tests using three different loading types (weights, a weight of bags filled with metal balls, pneumatic cylinders). Dependence of bicycle handlebar strain level on different type of loading is researched in the work. Three different loading levels and three different linear speed of the bicycle are used in the tests.

Keywords: bicycle structural integrity, strains of handlebar

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Dviračio apkrovos.....	10
2.1 lentelė. SPIDER-8 duomenų kanalų numeracija.....	15
2.2 lentelė. Pneumocilindro DNC-32-100-PPV-A pagrindinės charakteristikos.....	16
2.3 lentelė. Dviračio vairo dinaminių bandymų režimai	17
2.4 lentelė. Vairo statinio apkrovimo deformacijos.....	18

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Struktūrinio vientisumo bandymo schema (standartas LST EN 14764).....	9
1.2 pav. Struktūrinio vientisumo bandymo stendo vaizdas.....	10
2.1 pav. Būgno fragmento vaizdas su nuožulnaus kilimo nelygumu.....	12
2.2 pav. Bandymo stendas su pneumatinio apkrovimo schema.....	13
2.3 pav. Tenzorezistorių rozetės padėties ant vairo vaizdas.....	14
2.4 pav. Tenzorezistorių rozetės 1-RY91-3/120 schema.....	14
2.5 pav. Nelygumo padėties fiksavimo mechanizmas.....	16
2.6 pav. Pneumocilindro DNC-32-100-PPV-A pjūvis.....	16
2.7 pav. Apkrova maišais su svoriu (a) ir svarsčiais (b).....	17
2.8 pav. Vairo statinio apkrovimo deformacijų grafikas.....	18
2.9 pav. Santykio $\varepsilon_I/\varepsilon_{II}$ ir $\varepsilon_I/\varepsilon_{III}$ priklausomybė nuo apkrovos dydžio.....	19
3.1 pav. Vairo deformacijos, esant apkrovimo lygiui 70 N, greičiui 7 km/h ir apkrovimo tipui.....	21
3.2 pav. Vairo deformacijos ε_I , esant skirtingiems apkrovimo būdams.....	22
3.3 pav. Deformacijos kvadratinių vidurkių reikšmės, kai greitis 3 km/h.....	23
3.4 pav. Deformacijos kvadratinių vidurkių reikšmės, kai greitis 7 km/h.....	23
3.5 pav. Deformacijos kvadratinių vidurkių reikšmės, kai greitis 10 km/h.....	24

IVADAS

Dviratis – tai dviratė bėmotorė transporto priemonė, naudojama pramogai, susisiekimui, laisvalaikio praleidimui, turizmui, sportavimui, kt. Dviračio populiarumą pasaulyje sąlygoja daugelis veiksnių, tačiau svarbiausi iš jų – pigumas, ekonomiškumas, ekologiškumas. Eksploatacijos metu dviratis neišskiria išmetamųjų dujų (išmetamosios dujos yra išskiriamos dviračio gamyboje ir jo transportavime iki vartotojo). Dviračiu važiuoti sveika ir malonu, o kai kuriose šalyse iki šiol tai pagrindinė susisiekimo priemonė.

Skatinant dviračių transportą, nereikalingos didelės investicijos. Šaligatviai, kuriais mažiau vaikšto pėstieji, atitinkamai pažymimi ir jais gali saugiai važiuoti dviratininkai. Platesni šaligatviai perskiriami į dvi dalis, viena skiriama pėstiesiems, kita – dviratininkams. Tose miesto zonose, kur prognozuojamas dviračių judrumas galėtų smarkiai išaugti, tikslinga asfaltuoti specialius dviračių takus.

Vienintelė priežastis, dėl kurios Lietuvoje neįmanoma dviračius naudoti ištisus metus, klimatinės sąlygos. Ilga ir pakankamai šalta žiema, gausūs sniego krituliai verčia dviratį laikyti sezonine susisiekimo priemone. Tačiau nežiūrint į tai, prognozuojama, kad dviračių skaičius tiek Lietuvoje, tiek ir visoje Europoje, nuolat augs. Statistika rodo, kad 40 % kelionių automobiliu sudaro keturių kilometrų neviršijančių kelio atkarpų įveikimas. Tai atstumas, kurį miesto sąlygomis patogiausia įveikti dviračiu. Be to, šiuo metu vyrauja tendencija palaipsniui išsivaduoti miestus iš automobilių srauto.

Dviračių įvairovė yra labai didelė (kalnų, plento, hibridiniai, turistiniai, miesto, kt.). Visi jie skirti skirtingoms važiavimo sąlygoms, todėl jų charakteristikos taip pat skiriasi. Tačiau šis gaminys turi ir bendras, visiems dviračiams būdingas, charakteristikas – mažas svoris, tvirtumas, standumas, patikimumas. Šios charakteristikos apibūdina viso gaminio ir atskiro jo mazgo ar elemento sugebėjimą priešintis eksploatacijos metu jį veikiančioms apkrovoms ir jas atlaikyti. Šias apkrovas sukuria inercinės jėgos ir jų momentai. Būtina pažymėti tai, kad dominuoja ciklinės apkrovos, dėl kurių poveikio dviračio konstrukcijos elementuose dažnai pradeda vystytis nuovarginiai reiškiniai. Vykstant kartotinėms-kintamoms apkrovoms tam tikrose elementų vietose nuolat patiria lokalias plastines deformacijas, kurios kartojasi dešimtis ar net šimtus tūkstančių kartų. Kaupiantis plastinėms deformacijoms, susiformuoja mikroplyšelis – būsimo plyšio užuomazga. Plyšiui išplitus, susilpnėjęs elemento skerspjūvis nebepajėgia atlaikyti padidėjusių įtempių ir elementas nutrūksta arba nulūžta. Šiuo požiūriu pavojingi dviračių elementai yra rėmas, paminos mechanizmo detalės, bagažinė. Ciklinių apkrovų poveikis taip pat

sukelia dviračių elementų virpesius, dėl kurių jie gali atsilaisvinti arba pakeisti savo padėtį. Minėtos eksploatacinės savybės turi įtakos ne vien tik konstrukcijos patikimumui. Svarbiausia – saugumas. Gamintojai atsakingi už tai, kad į rinką būtų tiekiami saugūs gaminiai. Tokį įpareigojimą numato Europos Sąjungos direktyvos. Gaminių keliamas pavojus vartotojams gali būti tik minimalus ir susijęs su naudojimu įprastomis arba numatomomis sąlygomis.

Dviračiams keliamų saugumo ir patikimumo reikalavimų nustatymo metodai ir procedūros pateikti EN 147XX serijos standartuose [1-4], kuriuos parengė Techninis komitetas ESK/TC 333 „Dviračiai“. Šiems 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 dviračio stiprumą ir ilgaamžiškumą, siekiant aukštos kokybės ir saugumo reikalavimų laikymosi. Standartai reglamentuoja ir atitikties įvertinimo kriterijus.

Vakarų Europoje bei JAV gausu būtent dviračių bandymais užsiimančių įmonių, kurios stengiasi išbandyti tiek visus dviračius, tiek atskiras jų dalis įvairiais režimais ir sąlygomis. Atlikę bandymus, pateikia ataskaitas, iš kurių galima nemažai sužinoti apie dviračių ar tam tikrų sudedamųjų dalių stiprumą, patvarumą, dilimą ir t.t. Viena didžiausių tokio tipo bandymus atliekančių įmonių yra JAV įsikūrusi „Bicycle Quarterly Press“. Ši bendrovė turi nemažai patirties įvairių tipų ir konstrukcijų dviračių bandymo srityje, todėl yra sukaupusi tikrai nemažą duomenų bazę.

Dviračių bandymai atliekami ir Šiaulių universiteto Technologinių bandymų centre (TBC). Didžiausias bandymų užsakovas – UAB „Baltik Vairas“. Šioje bendrovėje gaminami įvairių rūšių dviračiai, kuriuos būtina įvertinti saugumo ir patikimumo požiūriu, patikrinti jų atitiktį standartų reikalavimams. Vienas iš sudėtingiausių dviračio bandimų – struktūrinio vientisumo bandymas. Šis bandymas Technologinių bandymų centre atliekamas nuo 2005 m., naudojant specialų bandymų stendą. Tai viso dviračio dinaminis bandymas, labiausiai atitinkantis realias eksploatacines sąlygas. Nustatytais apkrovomis veikiamas dviratis juda nelygumais, kurių periodinis poveikis perduodamas visiems konstrukciniams bandinio elementams. Naudojami skirtingi apkrovos būdai (svarsčiais, tam tikro svorio metaliniais rutuliukais pripildytais maišais, pneumatiniiais cilindrais), todėl visada buvo svarbu išsiaiškinti kuo šie apkrovos būdai skiriasi. Šiame darbe eksperimentiškai nustatomos struktūrinio vientisumo bandymų stende skirtingais būdais apkrauto dviračio vairo deformacijos, atliekama paliginamoji analizė.

Tyrimo objektas.

Skirtingais apkrovimo būdais dinamiškai veikiamas dviračio vairas.

Tyrimo tikslas.

Eksperimentiškai ištirti skirtingais būdais apkrautą dviračio vairą veikiančias dinamines jėgas, kurios atsiranda dviračiui riedant per nelygumus.

Tyrimo uždaviniai:

1. Paruošti dviračio vairą bandymams: tenzometrinių jutiklių klijavimas ir Catman programos įsisavinimas;
2. Paruošti struktūrinio vientisumo bandimų standą eksperimentiniams tyrimams:
 - nelygumo padėties fiksavimo mechanizmo projektavimas ir įrengimas;
 - būgnų paruošimas tyrimams (užpakalinio rato būgnas paliekamas be nelygumų; priekinio rato būgnas – su vienu nelygumu);
 - reikamo svorio svarsčių, maišų parinkimas ir jas atitinkančių pneumatinių cilindro apkrovos nustatymas.
3. Atlikti eksperimentinius matavimus.
4. Apdoroti eksperimentinių matavimų rezultatus ir atlikti jų lyginamąją analizę.

Teorinė darbo reikšmė.

Darbe neatliekami teoriniai dviračio dinamikos tyrimai, analitiškai neanalizuojama skirtingų apkrovos būdų įtaka vairo ar visos konstrukcijos poveikiui. Darbas eksperimentinio pobūdžio, tačiau jame pateikti bandymų rezultatai galės būti naudojami vėlesniuose kitų tyrėjų teoriniuose tyrimuose.

Praktinė darbo reikšmė.

Darbe atlikta lyginamoji skirtingų apkrovos būdų analizė leidžia kiekybiškai įvertinti apkrovimo svarsčiais, metaliniais rutuliukais užpildytais maišais ir pneumatiniiais cilindrais poveikį dviračio vairui, kai dviratis bandomas struktūrinio vientisumo bandymų stende. Darbo rezultatai aktualūs ir svarbūs Technologinių bandimų centro darbuotojams, kurie atlieka viso dviračio struktūrinio vientisumo bandymus, naudodant išvardintus apkrovos būdus.

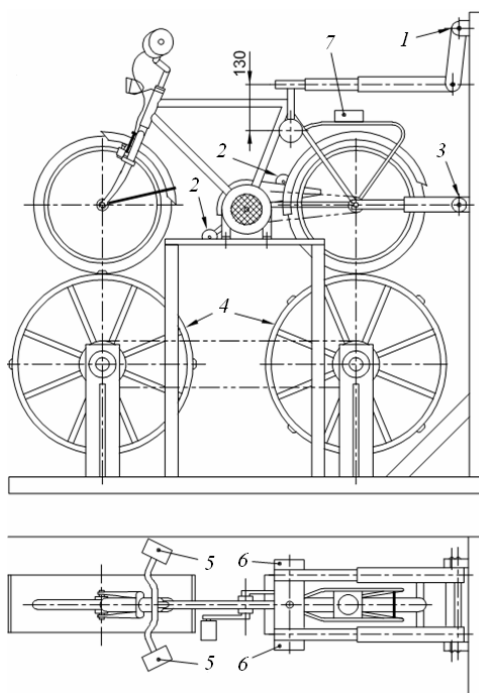
Darbo struktūra.

Magistro darbą sudaro įvadas, 3 skyriai, išvados, literatūros sąrašas. Darbo apimtis: 38 puslapiai, 17 paveikslų, 5 lentelės, 12 priedai.

1. STRUKTŪRINIO VIENTISUMO BANDYMO YPATUMAI

1.1 Standarto reikalavimai

Dviračio struktūrinio vientisumo bandymas aprašytas EN 147XX serijos standartuose [1-4]. Bandymo schema pateikta 1.1 pav.



1.1 pav. Struktūrinio vientisumo bandymo schema (standartas LST EN 14764): 1 – laikiklis; 2 – svorsčiai ant pedalų; 3 – galinės ašies laikiklis; 4 – būgnai; 5 – svorsčiai ant vairo; 6 – svarstis ant sėdynės; 7 – svarstis ant багаžinės

Atitiktis struktūriniam vientisumui įvertinama dinaminiu bandymu, kurio metu pilnai sumontuotas ir numatytomis apkrovomis apkrautas dviratis rieda ant dviejų būgnų, ant kurių sumontuoti nelygumai. Nelygumų profilis, matmenys ir jų išdėstymas ant būgno, kaip ir apkrovos svorsčiais, reglamentuojamos standartų. Dėl inercijos jėgų, bandomo gaminio konstrukciniai elementai patiria dinaminį poveikį. Svorsčiai tvirtinami sėdynės atramoje, ant vairo, pedalų ir ant багаžinės. Svorsčių masės pateiktos 1.1 lentelėje. Būgnų sukimosi greitis turi atitikti 8 km/h ($\pm 10\%$) linijinį greitį. Bandymo trukmė – 6 val. Dviračio padangos turi būti pripūstos iki rekomenduojamo slėgio.

1.1 lentelė. Dviračio 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

1.2 Bandymo stendas ir naudojami apkrovos būdai

Technologinių bandymų centre atliekami dviračių, triračių ir tandemų struktūrinio vientisumo bandymai, atitinkantys standarto EN 14764 reikalavimus. Šiam tikslui TBC darbuotojų pastangomis pagal 1.1 pav. pateiktą schemą buvo suprojektuotas ir pagamintas bandymų stendas (žr. 1.2 pav.).



1.2 pav. Struktūrinio vientisumo bandymo stendo vaizdas

Stendo konstrukcija surinkta iš tarpusavyje sujungtų aliuminio profilio elementų. Bandomas dviratis pastatomas ant stendo būgnų ir ratų ašimis tvirtinamas lanksčiuose šarnyriniuose laikikliuose. Ratų lygiagretumas reguliuojamas vairo padėties fiksavimo mazgu. Plačiau apie stendo konstrukciją ir jo valdymą aprašyta darbe [5].

Labai svarbi yra stende naudojama dviračio apkrovos sistema. Galimi trys apkrovos variantai:

- svarsčiais;
- maišais su kroviniu;
- pneumatiniiais cilindrais.

Stendo projektuotojai įvertino tai, kad apkrovimas svarsčiais yra labai standus ir visiškai neatitinka žmogaus kūno standumą. Bendru atveju, žmogaus kūną galima nagrinėti kaip dinaminę sistemą ar dinaminės sistemos dalį (pvz., žmogus-dviratis). Žmogaus kūnas pakeičiamas mechanine sistema susidedančia iš tam tikro skaičiaus koncentruotų masių tarpusavyje sujungtų tampriais ir slopinimo ryšiais. Tokie dinaminiai modeliai taikomi darbuose [6-8], kuriuose nagrinėjama važiavimo dviračiu nelygiu keliu dinamika ir su tuo susiję konstrukcijos optimizavimo būdai. Taigi, apkrovimas svarsčiais neatspindi realaus dinaminų jėgų poveikio konstrukcijai ir nėra tinkamas. Tai patvirtina ir struktūrinio vientisumo bandymai naudojant apkrovimą svarsčiais, kurių metu dviračio konstrukcijos elementai žymiai dažniau linkę lūžti, nei naudojant kitas, mažiau standžias apkrovimo rūšis.

Antras apkrovimo būdas (maišai, užpildyti tam tikro svorio kroviniu – dažniausiai metaliniais rutuliukais) yra labiausiai naudojamas dviračių bandymų laboratorijose, kadangi tąsų maišo audinį galima laikyti ir tampriu, ir kartu slopinimo elementu. Pneumatiniai cilindrai plačiai naudojami įvairiuose užspaudimo mechanizmuose. Jais galima pakankamai tiksliai sukurti ne tik statinių, bet ir dinaminų jėgų poveikį, nesudėtinga automatizuoti jų valdymą. Tokie bandymai atliekami ir Technologinių bandymų centre.

Struktūrinio vientisumo bandymo atveju, apkrovimas yra dvejopas. Pedalai apkraunami svarsčiais, o bagažinė, balnelis ir vairo rankenos veikiamos pneumocilindrais. Bendras pneumatinių cilindrų skaičius parenkamas pagal bandomo dviračio tipą, jų padėtis nustatoma kiekvienam atvejui, priklausomai nuo dviračio konstrukcijos ir matmenų. Valdymo sistema nustatoma iš kompresoriaus į pneumocilindrus tiekiamo oro slėgis kiekvienam cilindrai atskirai ir bandymo metu jis nekinta. Be abejo, dėl dinaminio poveikio cilindruose oro slėgis šiek tiek kinta – tai vizualiai fiksuojama pagal manometro rodmenis. Tačiau koks yra realus dinaminis poveikis dviračio konstrukcijai, atsirandantis dėl inercijos jėgų, lieka neaiškus.

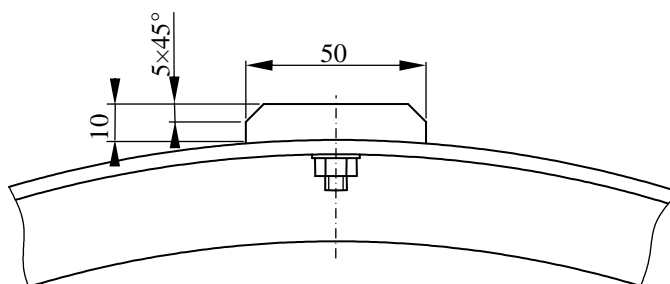
Apkrovimas pneumocilindrais tikrai yra „minkštesnis“ nei apkrovimas svarsčiais ir šia prasme labiau atitinkantis žmogaus dinaminį modelį – tai buvo aišku dar stendo projektavimo stadijoje. Tačiau ar šis apkrovimo būdas kiekybine prasme yra artimas apkrovimui maišais, ar ir nuo jos skiriasi? Į šį klausimą be eksperimentinių tyrimų atsakyti vienareikšmiškai neįmanoma.

2. EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ METODIKA

2.1 Stendo paruošimas tyrimams

Ekspimentiniams tyrimams buvo pasirinktas vaikiškas dviratis, kurio tarpinis atstumas tarp ratų – 775 mm, su 18 colių ratais su rekomenduojamu slėgiu padangose.

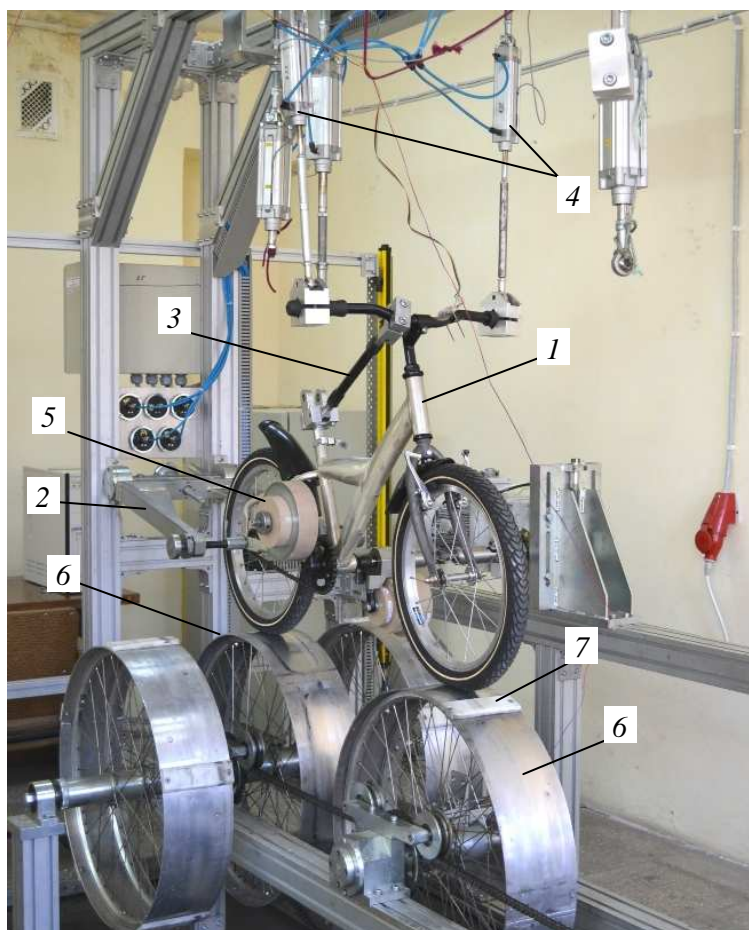
Ekspimentiniai tyrimai buvo atlikti, šiek tiek pakeitus struktūrinio vientisumo stendo veikimo schemą. Dviratis buvo pastatytas ant būgnų ir jo užpakalinis ratas užtvirtintas lanksčiu laikikliu, t.y., standartiniu būdu. Užpakalinis ratas rėmėsi į būgną be nelygumų, priekinis – į būgną su vienu nelygumu. Būgno fragmento vaizdas su naudojamu nelygumu pateiktas 2.1 pav. Įprastas struktūrinio vientisumo bandymai atliekami naudojant būgnus su 5 nelygumais (standartas reglamentuoja tik atstumą tarp jų). Ratų lygiagretumas buvo nustatytas vairo padėties fiksavimo mazgu. Ratų lygiagretumą nustatyti būtina, kad dviratis bandymo metu nenuriedėtų nuo būgnų.



2.1 pav. Būgno fragmento vaizdas su nuožulnaus kilimo nelygumu;

Dviračio apkrovos schema taip pat buvo šiek tiek pakeista, lyginant su tuo, ką reglamentuoja standartai. Dviračio pedalai buvo apkraunami svarsčiais (du po 18 kg). Šis apkrovimas yra būtinas, kadangi reikalingas spaudimas į užpakalinius ratus, per kuriuos sukamasis judesys dėl trinties jėgos perduodamas abiem būgnams ir priekiniam bandomo dviračio ratui. Ratų sukimosi linijinis greitis valdomas dažnių keitikliu, reguliuojant elektros variklio apsisukimų skaičių.

Dviračio bagažinė ir balnelis buvo be apkrovos, o vairas buvo apkraunamas trimis būdais: svarsčiais, maišais su kroviniu ir pneumatiniu būdu. Dviračio vaizdas, kai vairui apkrova suteikiama pneumatiniiais cilindrais, pateiktas 2.2 pav. Bandymai buvo atliekami skirtingais greičiais. Bandymų sąlygos pateiktos 2.1 lentelėje.



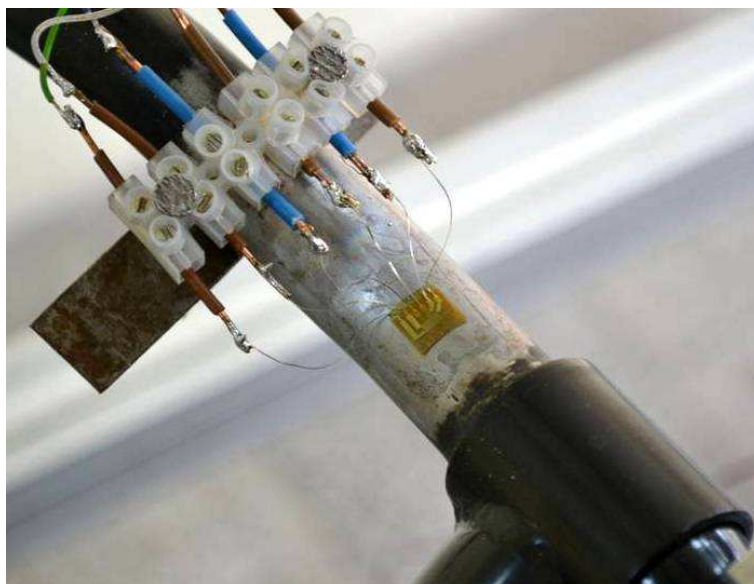
2.2 pav. Bandymo stendas su pneumatinio apkrovimo schema: 1 – dviratis; 2 – užpakalinio rato laikiklis; 3 – ratų lygiagretumo fiksavimo mechanizmas; 4 – vairą užspaudžiantys pneumatiniai cilindrai; 5 – svarsčiai ant pedalo; 6 – naudojami būgnai; 7 – nelygumas;

2.2 Vairo deformacijų matavimas

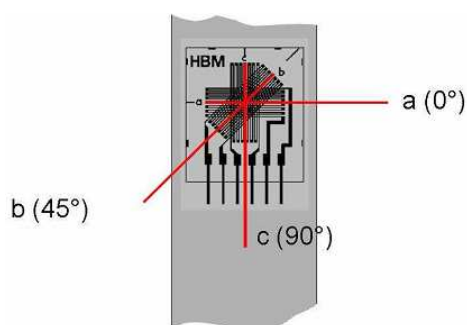
Konstrukcijų elementų deformacijoms matuoti taikomi elektromechaniniai, optiniai, fototamprumo, ultragarsiniai ir kt. metodai [9]. Plačiai taikomas elektromechaninis matavimas, pagrįsti tenzometrijos principu. Šiuo atveju, matuojama metalinio arba puslaidininkinio tenzorezistoriaus varža, kurios pokyčiai priklauso nuo deformacijos. Šis metodas yra pakankamai paprastas, gaunama plati matuojamų dydžių sritis, be to, gaunamas elektrinis signalas nesudėtingai registruojamas, sustiprinamas, apdorojamas kompiuterinėmis programomis. Deformacijoms matuoti, dažniausiai naudojami tenzorezistoriniai keitikliai, kurie būna vieliniai, foliniai, plėveliniai ir puslaidininkiniai. Bandymams pasirinktas vairas su užklijuota trijų sukryžiuotų tenzorezistorių rozete 1-RY91-3/120 [10]. Pasirinkant rozetės užklijavimo vietą, atsižvelgta į tai, kad matuojamos deformacijos būtų kuo didesnės. Tokia

didesnių deformacijų zona yra prie vairo tvirtinimo mechanizmo (žr. 2.3 pav.), kurioje apkrovos metu veikia didžiausi lenkimo momentai.

Rozetę sudaro trys poros tenzorezistorių, išdėstytų 45° kampu vienas kito atžvilgiu, kaip pavaizduota 2.4 pav. Tenzorezistorių vardinė varža – 120Ω , maksimali leistina tilto žadinimo įtampa – 2 V . Šio tipo jutiklis ypatingas tuo, kad juo galima nustatyti paviršiaus deformacijas trejomis skirtingomis kryptimis. Deformacijos matuojamos lygiagrečiai ir statmenai vairo ašiai, ir 45° kampu jos atžvilgiu ($\varepsilon_I, \varepsilon_{II}$ ir ε_{III}).



2.3 pav. Tenzorezistorių rozetės padėties ant vairo vaizdas



2.4 pav. Tenzorezistorių rozetės 1-RY91-3/120 schema

Elektrinis signalas buvo apdorojamas, naudojant matavimo sistemą su analoginiu skaitmeniniu keitikliu SPIDER-8 ir duomenų registravimo ir tvarkymo programą „Catman Professional“. SPIDER-8 yra daugiakanalė skaitmeninė sistema, kuria duomenys (elektrinio signalo pavidalu) yra priimami, stiprinami, keičiami į skaitmeninės formos signalą. Visi sistemos

keitikliai veikia sinchroniškai ir tiekia iki 9600 matavimų per sekundę. Matuojant vairo deformacijas buvo pasirinktas duomenų fiksavimo dažnis – 600 matavimų per sekundę.

Iš SPIDER-8 sistemos duomenys teikiami į kompiuterį, kuriame apdorojami „Catman“ programa (atliekama matematinė signalo analizė, grafinis vizualizavimas, registravimas, kt). Plačiau apie tai aprašyta darbe [10].

Mūsų atveju deformacijas $\varepsilon_I, \varepsilon_{II}$ ir ε_{III} atitinkančių duomenų kanalų numeracija pateikta 2.1 lentelėje. Deformacijų dimensija - $\mu\text{m/m}$.

2.1 lentelė. SPIDER-8 duomenų kanalų numeracija

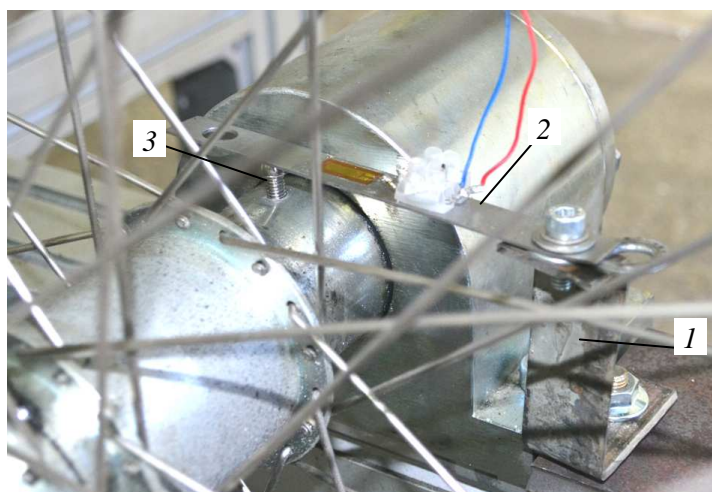
Duomenų kanalo Nr.	CH0	CH1	CH2
Deformacija	ε_{II}	ε_I	ε_{III}

2.3 Nelygumo padėties fiksavimas

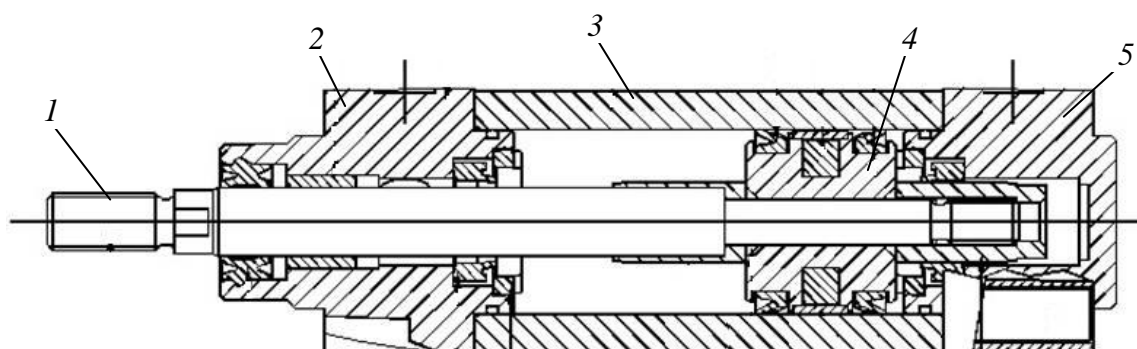
Vairo eksperimentinių deformacijų grafikuose turi būti atsispindėti ir būgno nelygumo padėtis. Buvo fiksuojama aukščiausia vertikali nelygumo padėtis ant būgno, t.y., tokia padėtis, kai nelygumo simetrijos ašis sutampa su dviračio rato ašimi. Šiam tikslui buvo naudojama lanksti plokštelė su vienu tenzorezistoriniu keitikliu. Plokštelės vienas galas varžtu įtvirtintas laikiklyje, kitas jos galas buvo laisvas (gembinis tvirtinimas). Pats laikiklis buvo pritvirtintas ant stendo rėmo šalia būgno su nelygumu ašies (žr. 2.5 pav.). Būgno sukimosi metu, plokštelę atlenkdavo varžtas, įsuktas į srieginę skylę ant būgno ašies. Plokštelės deformacijos reikšmės užrašomos ketvirtuoju duomenų kanalu (CH3).

2.4 Bandymų režimai

Kaip jau minėta, eksperimentiniai tyrimai buvo atliekami, naudojant tris vairo apkrovos būdus. Vairo apkrova dviem pneumatiniiais cilindrais buvo realizuojama taip, kaip pavaizduota 2.2 pav. Buvo naudojami du pneumocilindrai (DNC-32-100-PPV-A), atitinkantys standarto ISO 6431 reikalavimus. Pneumocilindro pjūvio vaizdas pateiktas 2.6 pav., o pagrindinės charakteristikos pateiktos 2.2 lentelėje. DNC tipo pneumocilindrai pasižymi geromis techninėmis savybėmis (ilgaamžiškumu, tikslumu ir kt.). Pneumocilindrai gali būti naudojami tiek prispaudimo, tiek amortizavimo funkcijoms atlikti. Bandymo metu iš esmės abi šios funkcijos ir realizuojamos.



2.5 pav. Nelygumo padėties fiksavimo mechanizmas: 1 – laikiklis; 2 – plokštelė su tenzometriniu jutikliu; 3 – varžtas.



2.6 pav. Pneumocilindro DNC-32-100-PPV-A pjūvis [11]: 1 – stūmoklio kotas; 2 – priekinis dangtelis; 3 – korpusas; 4 – stūmoklis; 5 – galinis dangtelis

2.2 lentelė. Pneumocilindro DNC-32-100-PPV-A pagrindinės charakteristikos [11]

Pneumocilindro tipas	Stūmoklio skersmuo, mm	Stūmoklio darbinės eigos ilgis, mm	Darbinis slėgis, Kg/cm ²	Darbinė temperatūra, °C	Darbinis greitis, mm/s
DNC-32-100-PPV-A	32	100	1 - 9	0 - 70	50 - 800

Vairo apkrovimo būdai maišais su kroviniu ir svarsčiais buvo realizuoti taip, kaip parodyta 2.7 pav.

Bandymai buvo atliekami naudojant tris skirtingus apkrovimo būdus, tris apkrovos reikšmes ir tris dviračio judėjimo greičius (žr. 2.2 lentelę). Taigi, buvo atlikti 27 dinaminiai bandymai. Jų duomenys išanalizuoti ir apibendrinti 3 skyriuje.

2.3 lentelė. Dviračio vairo dinaminių bandymų režimai

Apkrovimo būdas	Apkrovimo jėga, N	Bandymo greitis, km/h
Pneumocilindrais	30; 70; 114	3; 7; 11
Maišais su kroviniu		
Svarsčiais		



a)



b)

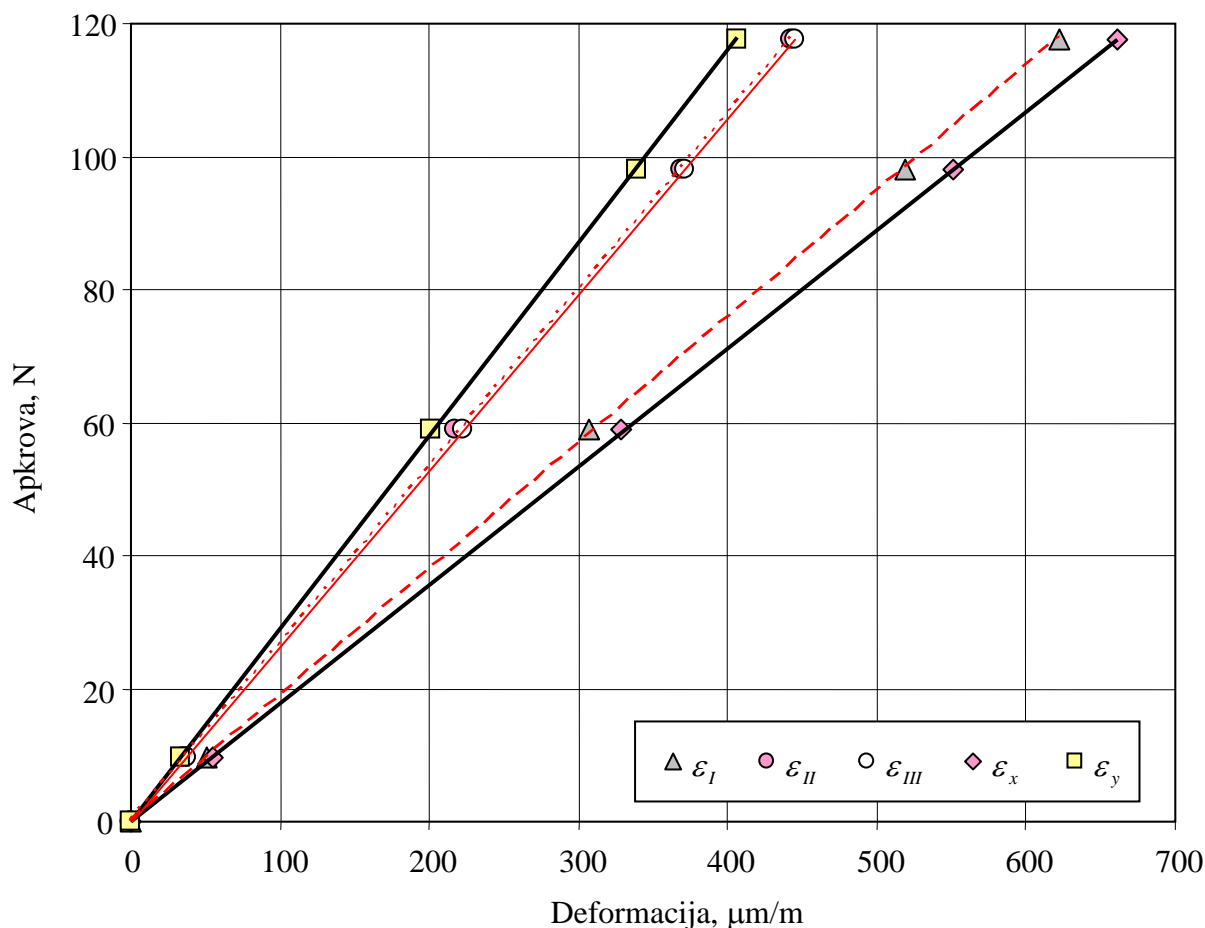
2.7 pav. Apkrova maišais su svoriu (a) ir svarsčiais (b)

2.5 Statinio vairo apkrovimo deformacijos

Prieš atliekant dviračio dinaminius bandymus, buvo atliktas statinis vairo apkrovimas. Šio bandymo tikslas – išsiaiškinti vairo deformacijų (ε_I , ε_{II} ir ε_{III}) priklausomybę nuo apkrovimo lygio. Tyrimo metu svarsčiais buvo apkraunama ta vairo dalis, ant kurio užklijuotas tenzozjutiklis. Apkrovos pridėties taškas buvo toks pat, kaip ir dinaminių bandymų. Bandymų metu buvo fiksuojama jėga ir deformacijos. Statinio apkrovimo duomenys pateikti 2.3 lentelėje ir grafiškai pavaizduoti 2.8 pav. Matyti, kad didžiausia deformacija ε_I , o deformacijos ε_{II} ir ε_{III} yra labai panašios.

2.4 lentelė. Vairo statinio apkrovimo deformacijos

Apkrova		Deformacija				
kg	N	$\varepsilon_I, \mu\text{m}$	$\varepsilon_{II}, \mu\text{m}$	$\varepsilon_{III}, \mu\text{m}$	$\varepsilon_x, \mu\text{m}$	$\varepsilon_y, \mu\text{m}$
2	9,52	50,8	35,5	37,4	55,1	33,2
6	58,86	307,2	217,9	222,7	328,1	201,7
10	98,1	518,9	368,6	372,0	551,7	339,2
12	117,72	622,5	443,0	444,9	660,7	406,8



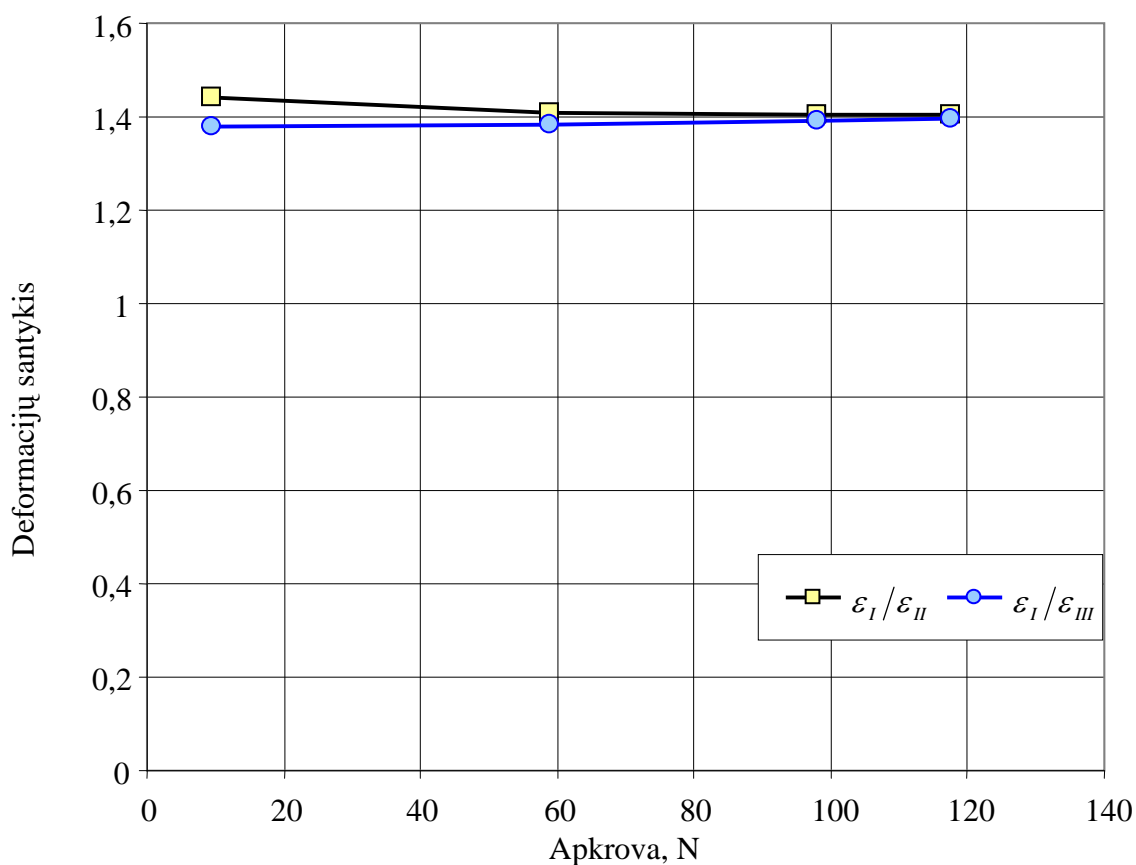
2.8 pav. Vairo statinio apkrovimo deformacijų grafikas

Papildomai 2.8 pav. grafike pateiktos ir svarbiausios deformacijos ε_x ir ε_y , kurias apskaičiuojamos taikant lygybes [9]:

$$\varepsilon_x = \frac{\varepsilon_I + \varepsilon_{III}}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(\varepsilon_I - \varepsilon_{III})^2 + (\varepsilon_I - 2\varepsilon_{II} + \varepsilon_{III})^2}, \quad (2.1)$$

$$\varepsilon_y = \frac{\varepsilon_I + \varepsilon_{III}}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{(\varepsilon_I - \varepsilon_{III})^2 + (\varepsilon_I - 2\varepsilon_{II} + \varepsilon_{III})^2}. \quad (2.2)$$

Gauti bandymų rezultatai parodo, kad nagrinėjamųjų apkrovos lygių srityje deformacijų priklausomybė nuo apkrovos yra tiesinė. Tai natūrali išvada, kadangi proporcingumo riba nebuvo viršijama. Tai gerai matyti iš 2.9 pav., kuriame pavaizduotos santykinės deformacijos $\varepsilon_I/\varepsilon_{II}$ ir $\varepsilon_I/\varepsilon_{III}$. Šiuo konkrečiu atveju galima fiksuoti tik vieną kurią nors iš deformacijų, o kitos gali būti tiesiog apskaičiuojamos (ši sąlyga galioja, jei neviršijama proporcingumo riba). Dinaminių bandymų metu didžiausias dėmesys ir bus skiriamas deformacijai ε_I .



2.9 pav. Santykio $\varepsilon_I/\varepsilon_{II}$ ir $\varepsilon_I/\varepsilon_{III}$ priklausomybė nuo apkrovos dydžio

3. EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ ANALIZĖ

3.1 Dinaminių bandymų duomenys

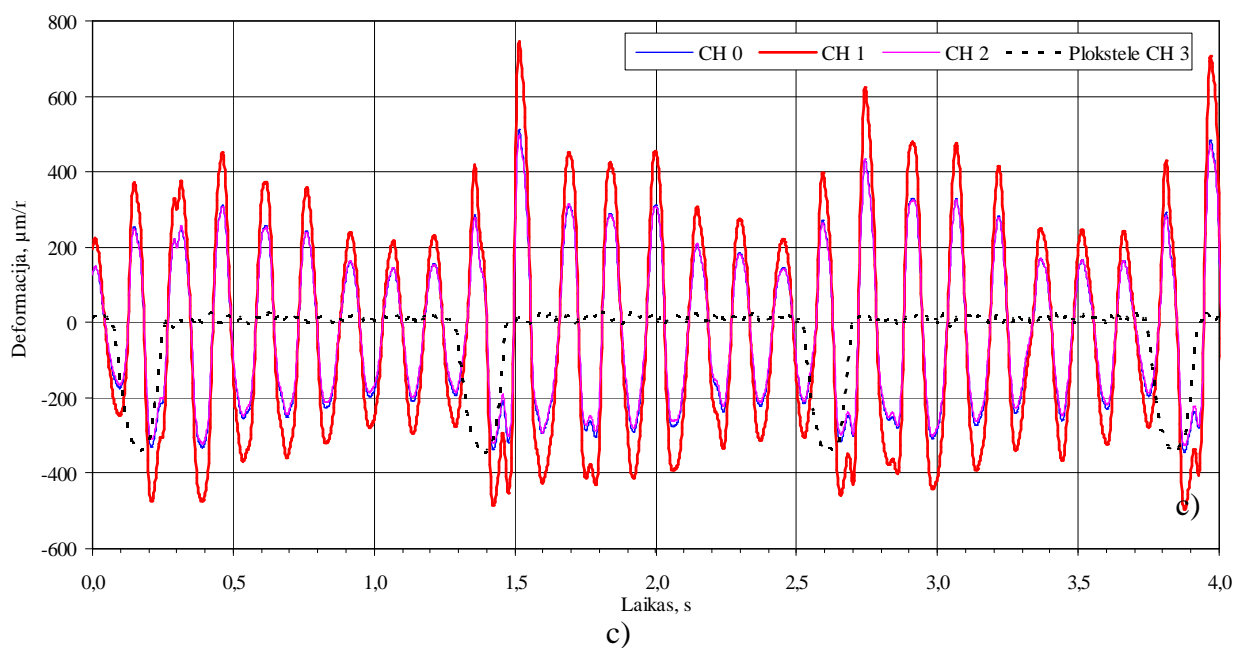
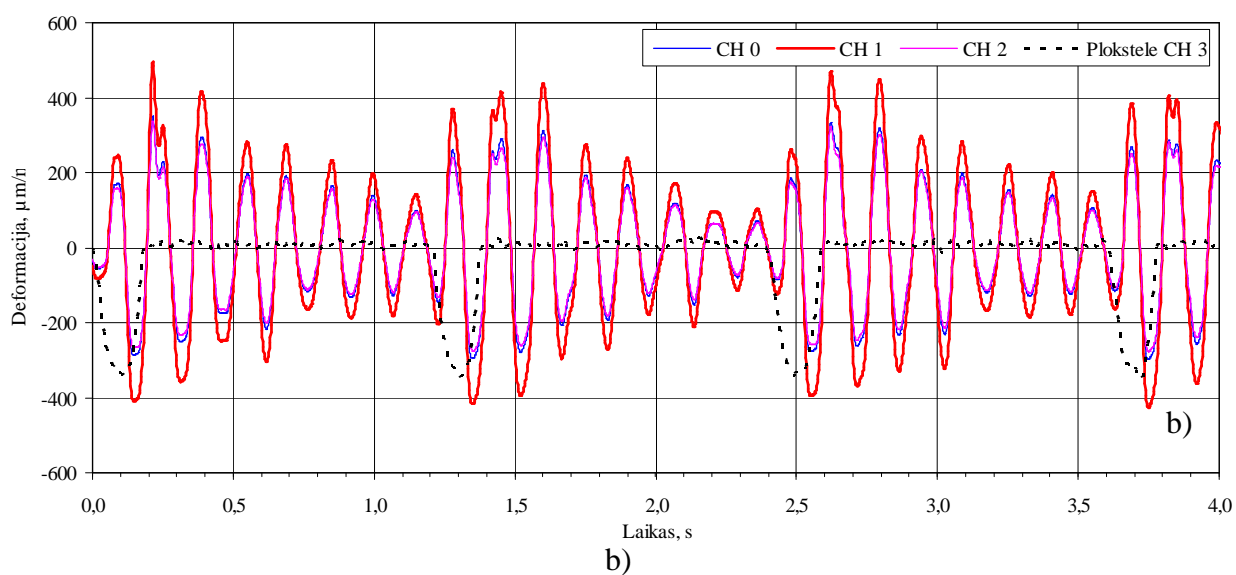
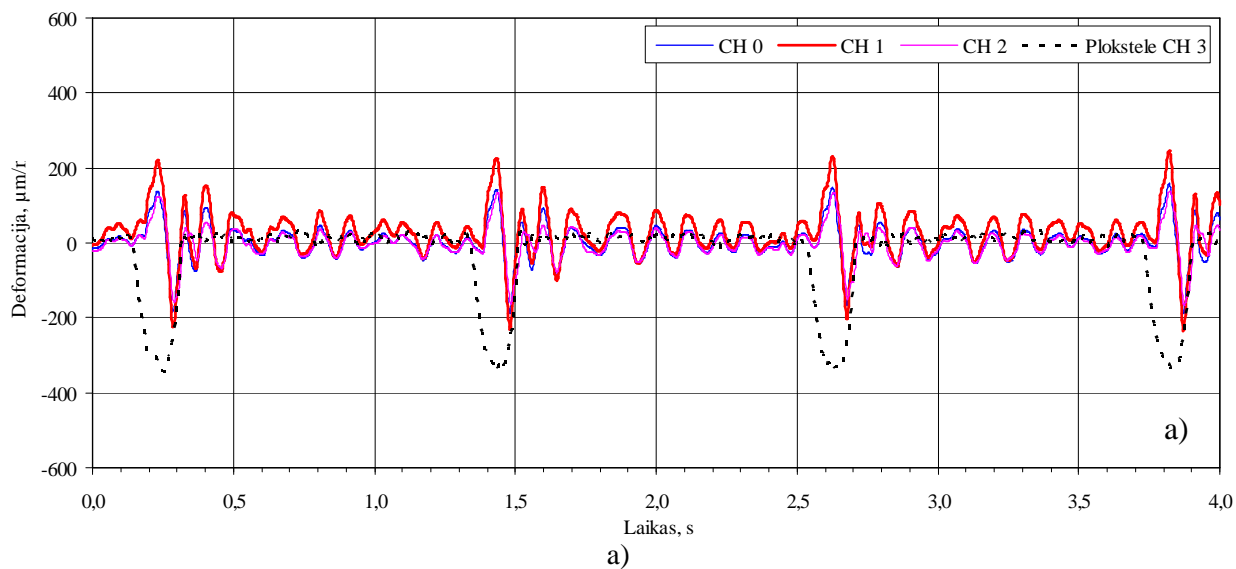
Įvairiais apkrovos būdais veikiamo dviračio vairo eksperimentiniai tyrimai struktūrinio vientisumo bandymo stende buvo atlikti pagal metodiką, kuri aprašyta 2 skyriuje. Catman programa apdoroti duomenys (vairo ir padėties fiksavimo plokštelės deformacijos) buvo užrašomos į duomenų masyvus, kurie išsaugomi failo plėtiniu *.exe ir *.txt. Buvo atlikti 27 dinaminiai bandymai, taikant skirtingus apkrovos tipus, apkrovos lygius ir linijinius dviračio judėjimo greičius.

Vairo deformacijų priklausomybių nuo laiko diagramos, naudojant 70 N apkrovimą ir 7 km/h greitį, pateiktos 3.1 pav. Šiose diagramose juoda taškine linija pavaizduotos nelygumo padėties fiksavimo plokštelės deformacijos. Jos maksimumas atitinka nelygumo aukščiausią padėtį (t.y., tokią padėtį, kai nelygumo centras ir rato ašis yra vienoje vertikaloje tiesėje). Vairo deformacijų grafikai, kai naudojami kiti apkrovos lygiai ir judėjimo greičiai, pateikti 1-8 prieduose.

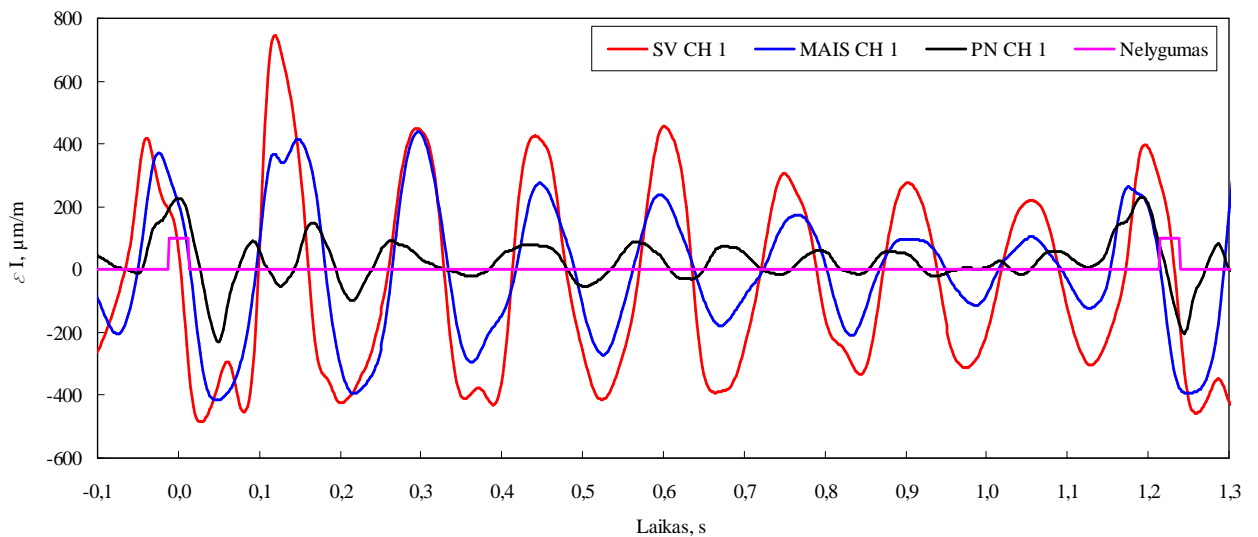
Kadangi tyrimo uždavinys – palyginti skirtingus apkrovimo tipus dinaminio bandymo metu, nustatyti jų poveikį vairui, taigi atskirai 3.4 pav. viename grafike pateiktos didžiausios vairo deformacijos ε_1 , esant 7 km/h dviračio judėjimo linijiniam greičiui ir trimis skirtingiems apkrovimo būdams (kai apkrovos lygis tas pats – 70 N). Šiuo atveju nelygumo padėties plokštelės deformacijos kreivės nenurodoma, o pats nelygumas grafiškai atvaizduojamas stačiakampės formos laipteliu. Laiptelio intervalas atitinka laiką, per kurį rato ašis įveikia atstumą, lygų laiptelio ilgiui (kai greitis 7 km/h, šis intervalas lygus 0,0257 s).

Iš 3.2 pav. grafiko matyti, kad didžiausios deformacijos gaunamos tuo atveju, kai naudojamas apkrovimas svarsčiais. Tai natūralu, kadangi šis apkrovimas yra labai standus, su labai nedideliu slopinimu. Mažesni vairo virpesiai ir deformacijų lygiai gaunami, kai naudojamas apkrovimas maišais su svoriu. Pati maišo audinio struktūra pasižymi tūsumu (nors ir ne labai dideliu), taigi ir didesniu slopinimu.

Mažiausios deformacijos gaunamos taikant apkrovimą pneumocilindrais. Net ir vizualiai matyti, kad šiuo atveju deformacijų virpesių amplitudės yra žymiai mažesnės. Tai gali būti paaiškinama tuo, kad pneumatiniuose cilindruose ir sistemoje naudojamas oras yra lengvai suspaudžiamas.



3.1 pav. Vairo deformacijos, esant apkrovimo lygiui 70 N, greičiui 7 km/h ir apkrovimo tipui:
 a) pneumocilindrais; b) maišais su svoriu; c) svarsčiais



3.2 pav. Vairo deformacijos ε_I , esant skirtingiems apkrovimo būdams (SV CH1 – svarsčiai; MAIS CH1 – maišai su kroviniu; PN CH1 – pneumatika), kai apkrova 70 N ir greitis 7 km/h

Deformacijų ε_I diagramos, esant kitiems apkrovimo lygiams ir linijinio judėjimo greičiams pateikti 9-11 prieduose.

3.2 Dinaminių bandymų duomenų liginamoji analizė

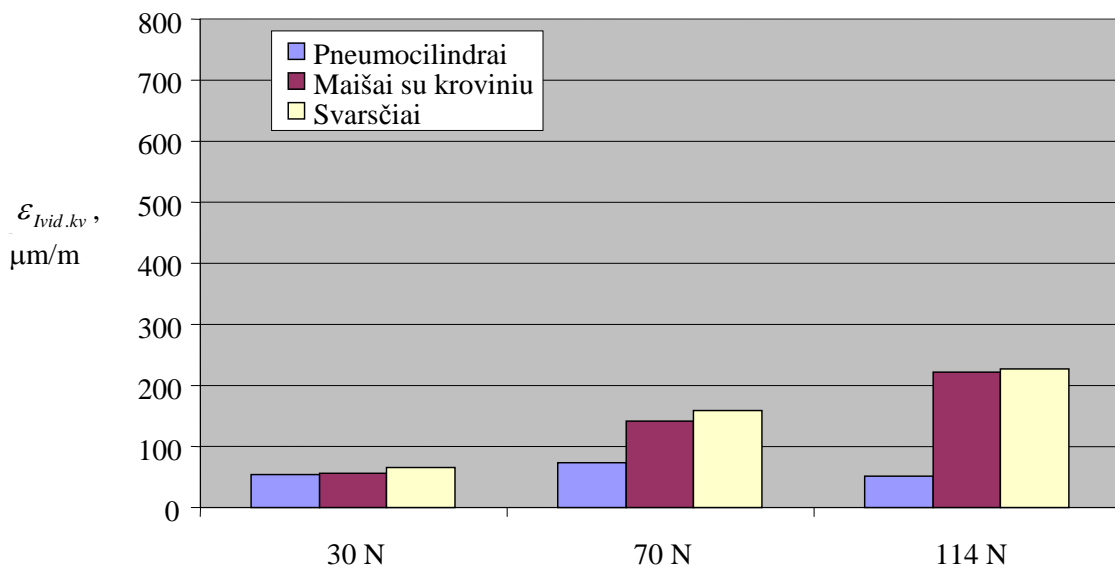
Dviračio vairo deformacijos kinta pagal atsitiktiniam virpesiam būdingą dėsnį. Tiriant tokius virpesius, galima taikyti vidutinės reikšmės, absoliutinės reikšmės vidurkio, kvadratinio vidurkio ir kitas išraiškas [12, 13]. Daug informacijos teikia ir spektrinė tokių virpesių analizė. Nagrinėjamoju atveju, nustatomi vairo deformacijų ε_I reikšmių kvadratiniai vidurkiai ($\varepsilon_{Ivid.kv}$). Kai žinomas deformacijų kitimo dėsnis tam tikrame intervale T , kvadratinis vidurkis apskaičiuojamas lygybe

$$\varepsilon_{Ivid.kv} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \varepsilon_I^2(t) dt}, \quad (3.1)$$

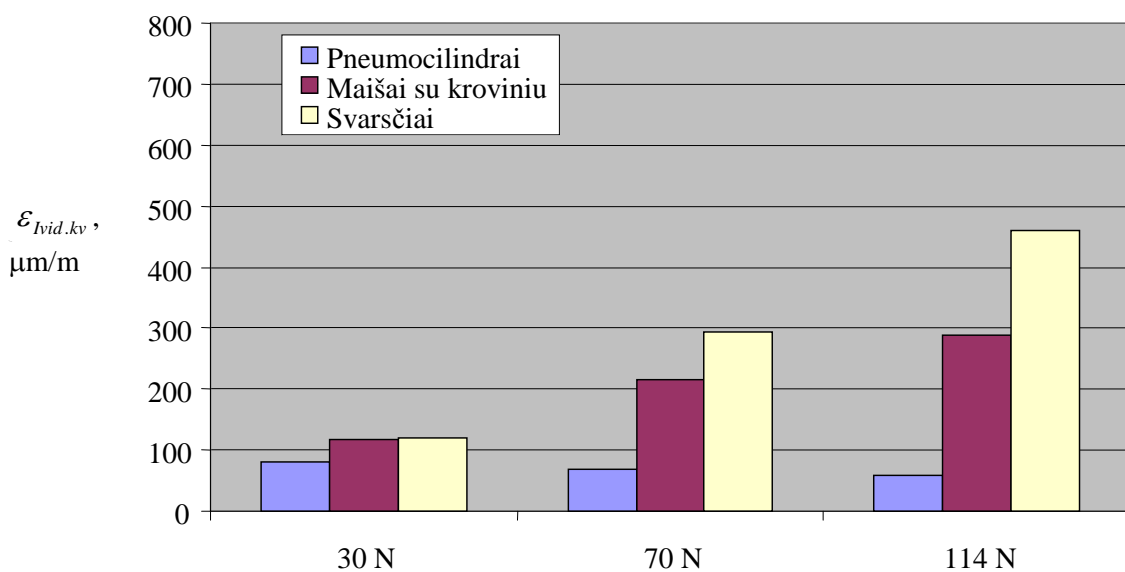
kai deformacijos pateiktos diskretinių reikšmių ε_{li} aibe ($i = 1, 2, \dots, N$), naudojama tokia lygybė

$$\varepsilon_{Ivid.kv} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \varepsilon_{li}^2}{N}}, \quad (3.2)$$

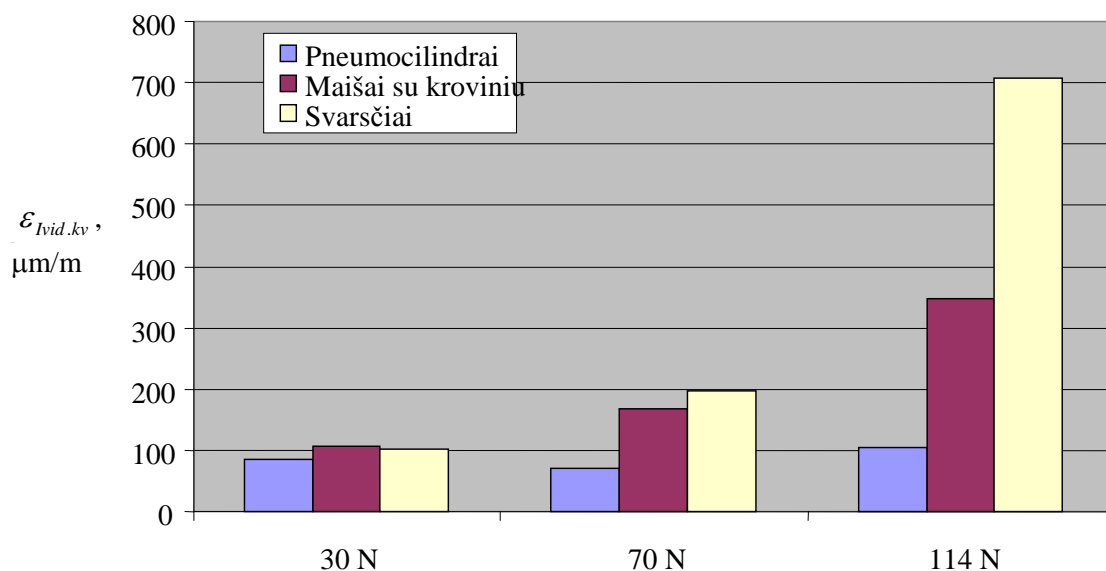
Taikant (3.2) lygybę buvo apskaičiuotos visų bandymų kvadratinių vidurkių $\varepsilon_{Ivid.kv}$ reikšmės, kurios pateiktos 3.3-3.5 pav. ir 12 priede. Iš grafikų matyti, kad kuo didesni greičiai ir kuo didesni apkrovos lygiai, tuo skirtumai tarp skirtingų apkrovos būdų deformacijų kvadratinių vidurkių $\varepsilon_{Ivid.kv}$ yra didesni. Tik esant nedidelei apkrovai (30 N), gaunamos maždaug vienodos $\varepsilon_{Ivid.kv}$ reikšmės. Kitas pastebėjimas – visos apkrovimo pneumatiniiais cilindrais (esant vienam apkrovimo lygiui, bet skirtingiems greičiams) $\varepsilon_{Ivid.kv}$ reikšmės taip pat gaunamos maždaug vienodos (skirtumas ne didesnis, nei 50 %).



3.3 pav. Deformacijos kvadratinių vidurkių reikšmės, kai greitis 3 km/h



3.4 pav. Deformacijos kvadratinių vidurkių reikšmės, kai greitis 7 km/h



3.5 pav. Deformacijos kvadratinių vidurkių reikšmės, kai greitis 10 km/h

Esant standartinei apkrovai (70 N) ir greičiui, kuris artimiausias standarto reglamentuojančiam greičiui (mūsų atveju 7 km/h), apkrovimas pneumatiniiais cilindrais duoda 3 kartus mažesnes $\varepsilon_{lvid.kv}$ reikšmes, nei apkrovimas maišais su kroviniu ir daugiau kaip 4 kartus mažesnes $\varepsilon_{lvid.kv}$ reikšmes, nei apkrovimas svarsčiais.

IŠVADOS:

1. Darbe nustatoma įvairių apkrovimo būdų įtaka dviračio vairo deformacijoms, šiam tikslui pritaikant struktūrinio vientisumo bandymų standą.
2. Nustatytos dviračio vairo eksperimentinės deformacijų kreivės esant skirtingiems apkrovimo būdams, lygiams ir judėjimo greičiams ir apskaičiuoti ε_l deformacijos kvadratiniai vidurkiai.
3. Eksperimentiniai tyrimai parodė, kad didžiausios deformacijos vaire atsiranda tuo atveju, kai taikomas apkrovimas svarsčiais, mažiausios – pneumocilindrais (apkrovimas pneumatiniiais cilindrais duoda 3 kartus mažesnes $\varepsilon_{Ivid.kv}$ reikšmes, nei apkrovimas maišais su kroviniu ir daugiau kaip 4 kartus mažesnes $\varepsilon_{Ivid.kv}$ reikšmes, nei apkrovimas svarsčiais, kai apkrovos lygis 70 N ir greitis 7 km/h).
4. Apkrovimo pneumatiniiais cilindrais $\varepsilon_{Ivid.kv}$ reikšmės (esant vienam apkrovimo lygiui, bet skirtingiems greičiams) skiriasi ne daugiau nei 50 %.

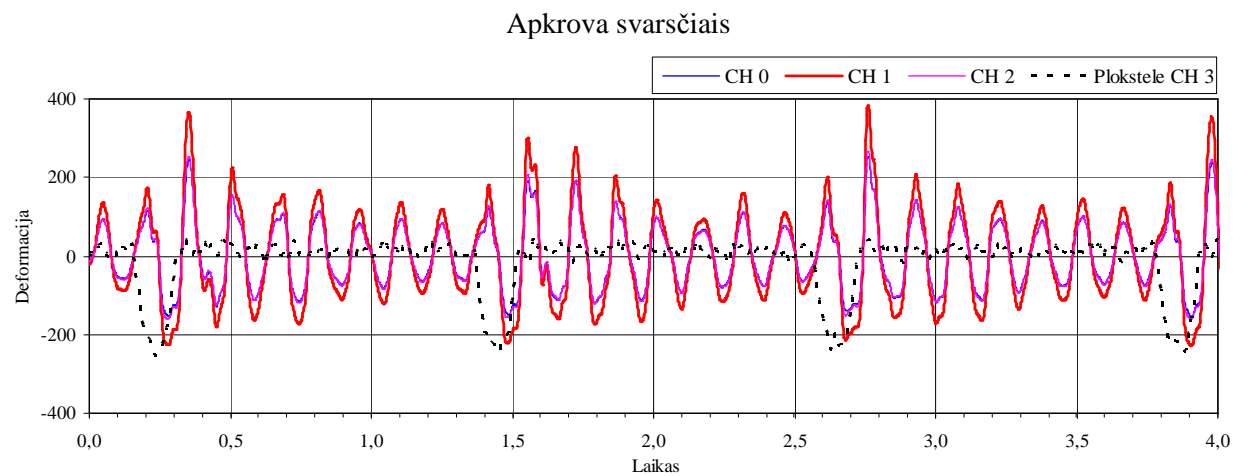
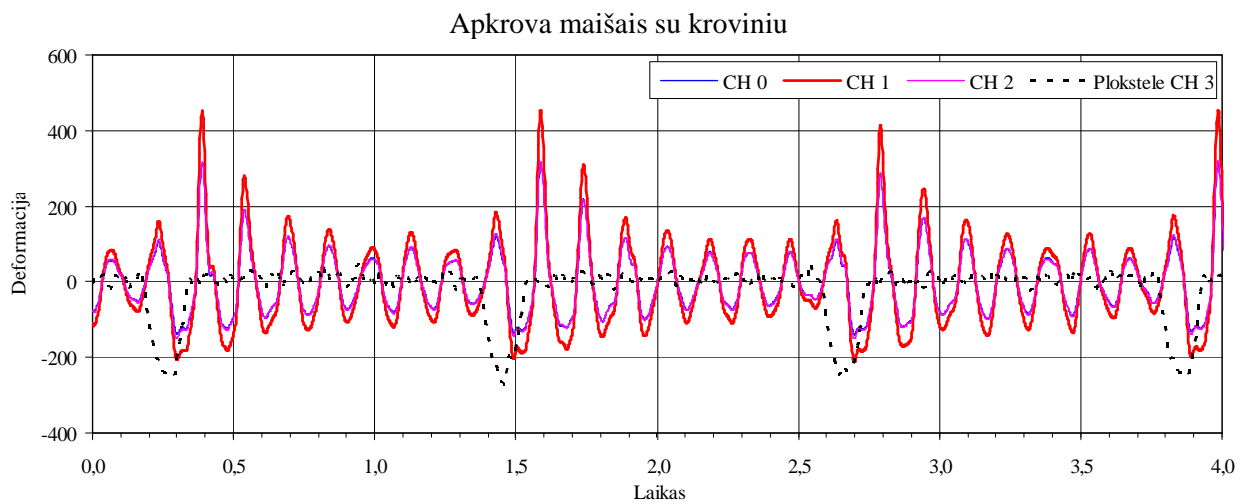
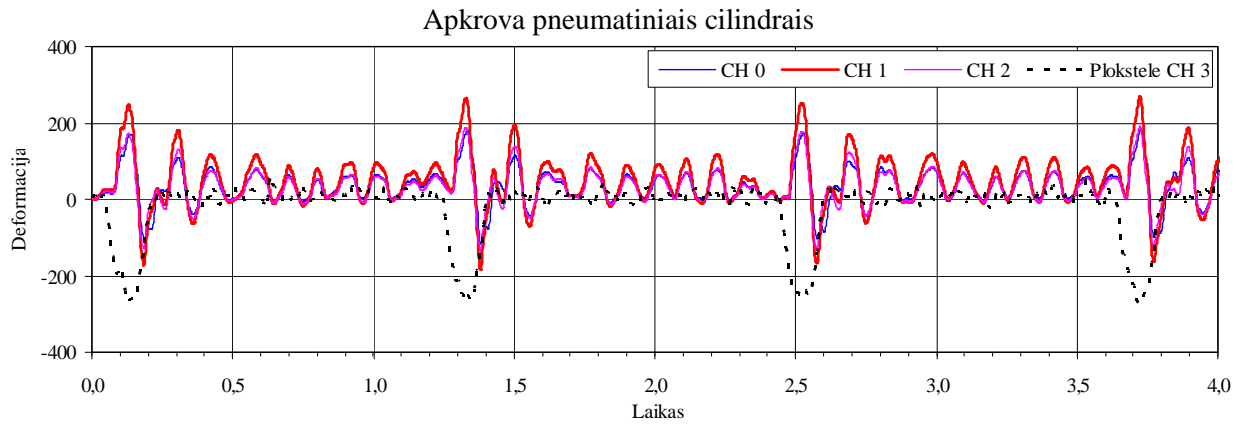
LITERATŪRA

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. *Kalnu dviračiai. Saugos reikalavimai ir bandymo metodai.*
4. LST EN 14781:2006. *Lenktyniniai dviračiai. Saugos reikalavimai ir bandymo metodai.*
5. ZWICK, Dirk; DOLIEBA, Marius; PARTAUKAS, Nerijus; RAZGAITIS, Irmantas. *Dviračių, tandemų, triračių ir keturračių dinaminio bandymo stendas.* Bakalauro darbas. ŠU TF Mechanikos inžinerijos katedra. 2005
6. WILCZYNSKI, H., HULL, M., L. *Dynamic system model for estimating surface-induced frame loads during off-road cycling.* Journal of biomechanical engineering. Vol. 116, 1994. 816-822 p.
7. WANG, E., L., HULL, M., L. *A dynamic system model of an off-road cyclist.* Journal of biomechanical engineering. Vol. 119, 1997. 248-253 p.
8. WAECHTER, M., RIESS, F., ZACHARIJAS, N. *A multibody model of the simulation of bicycle suspension systems.* Vehicle system dynamics. Vol. 34, No 1, 2002. 3-28 p.
9. BRAŽĖNAS, Algis. *Eksperimentinės mechanikos pagrindai.* Šiauliai, 2006. 166 p. ISBN 9986-663-2.
10. ADOMAITIS, Vytautas. *Dviračio vairo statinio stiprumo ir standumo tyrimas.* Magistro tezės. Šiauliai 2011. 39 p.
11. http://www.festo.com/cat/lt_lt/data/doc_engb/PDF/EN/DNC_EN.PDF (žiūrėta 2012-05-22)
12. AUGUSTAITIS, V., K. *Mechaninių virpesių pagrindai.* Vilnius, 2000. 320 p. ISBN 9986-524-27-X
13. BOTTEGA, Williams J. *Engineering vibrations.* CRC/Taylor & Francis, 2006. 726 p. ISBN 0849334209

PRIEDAI

Priedas 1

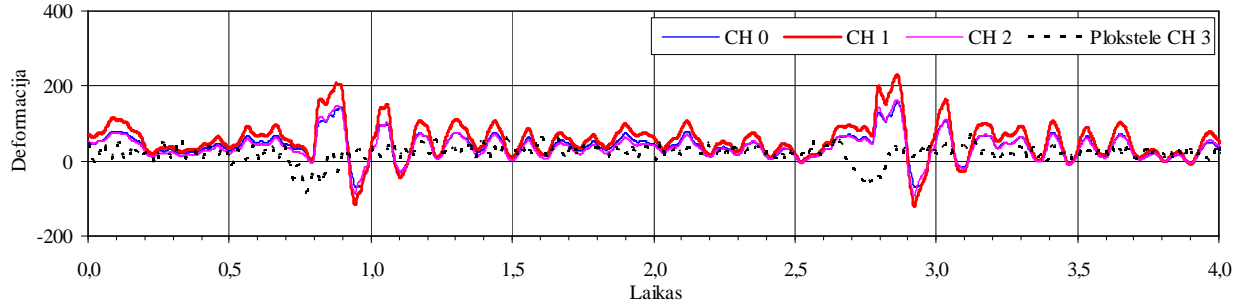
Vairo deformacijos, esant apkrovai 30 N ir greičiui 3 km/h



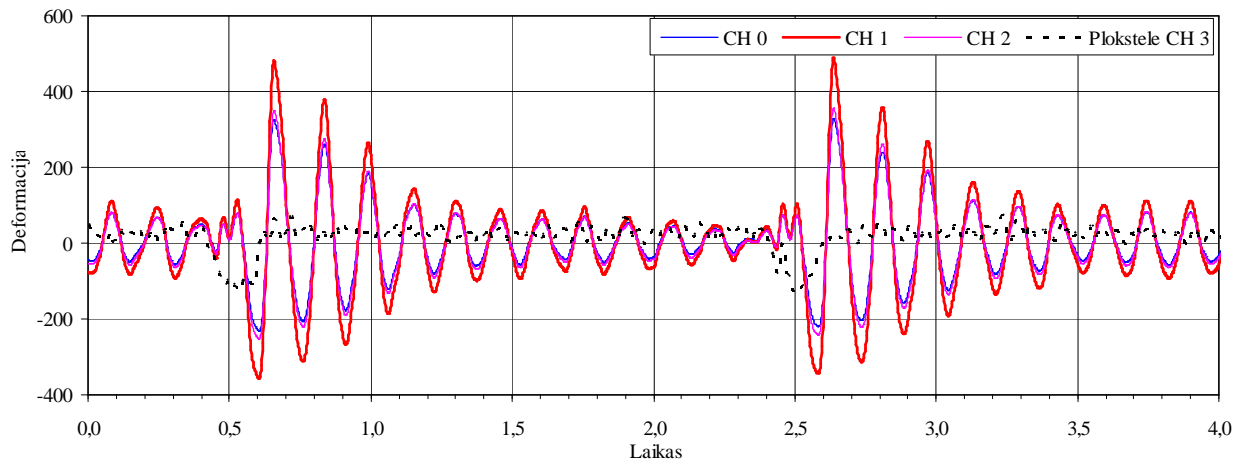
Priedas 2

Vairo deformacijos, esant apkrovai 70 N ir greičiui 3 km/h

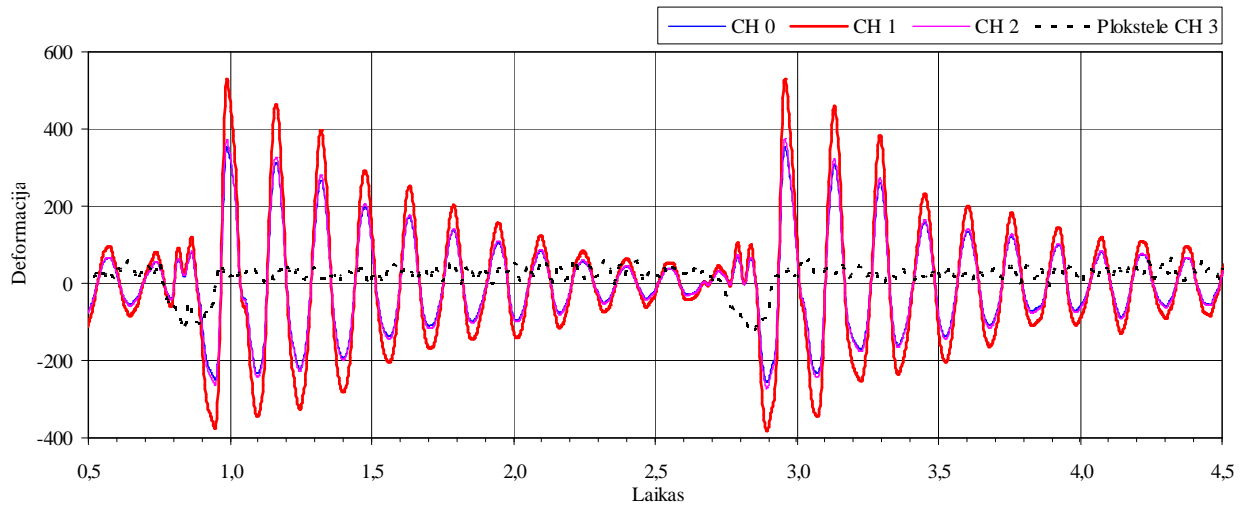
Apkrova pneumatiniiais cilindrais



Apkrova maišais su kroviniu



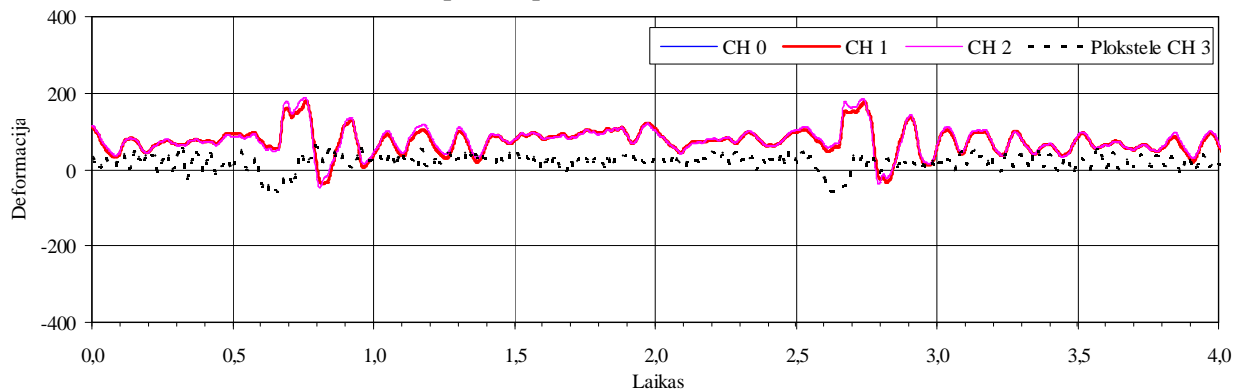
Apkrova svarsčiais



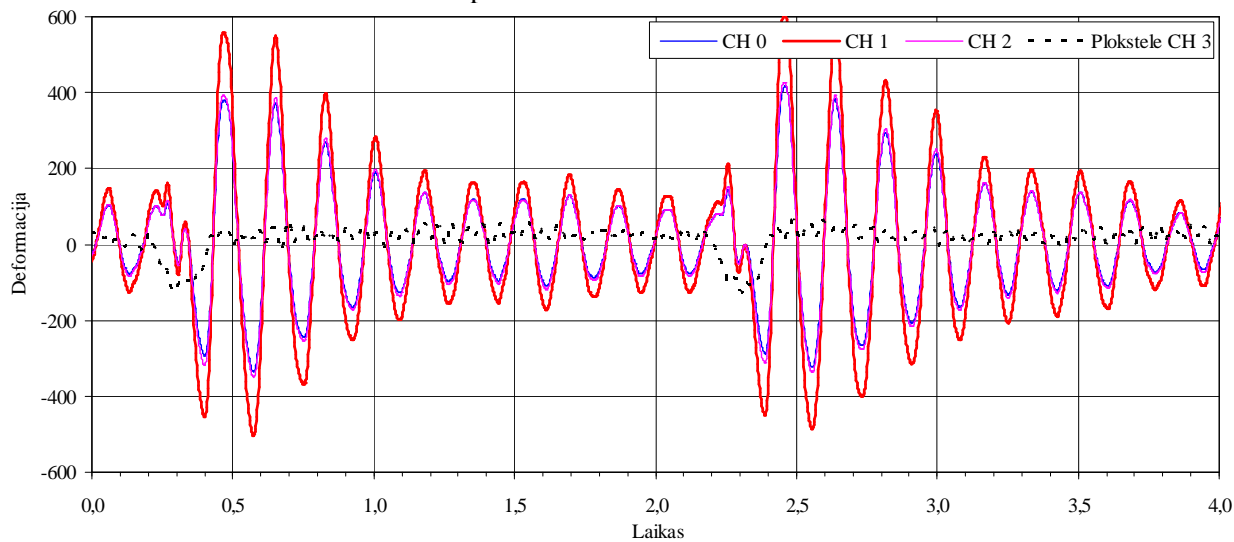
Priedas 3

Vairo deformacijos, esant apkrovai 114 N ir greičiui 3 km/h

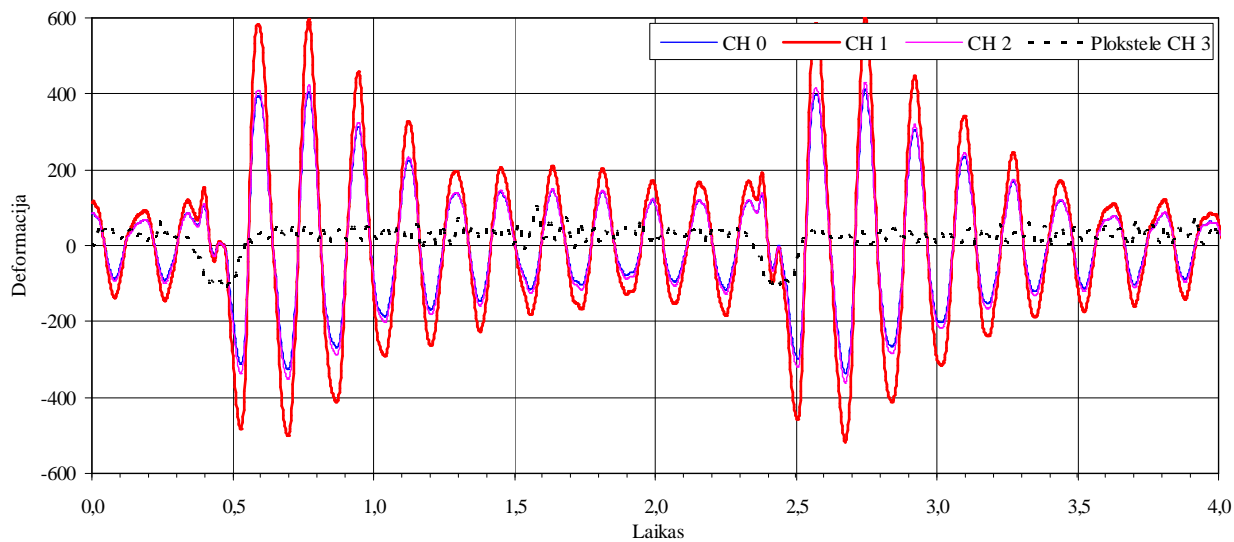
Apkrova pneumatiniiais cilindrais



Apkrova maišais su kroviniu



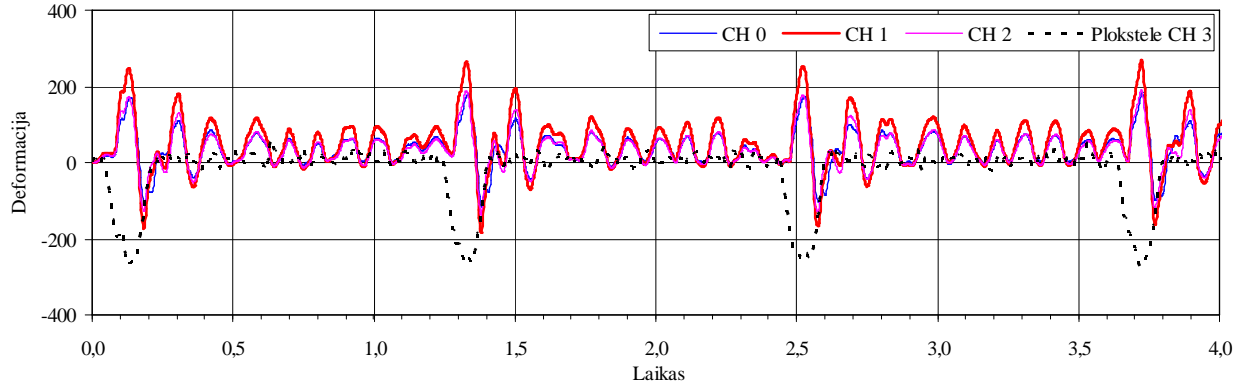
Apkrova svarsčiais



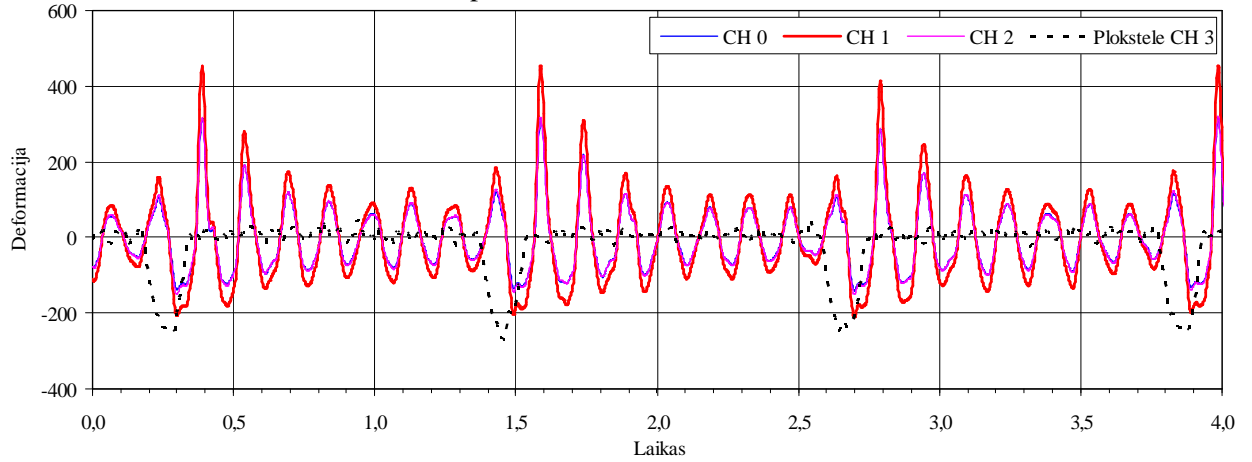
Priedas 4

Vairo deformacijos, esant apkrovai 30 N ir greičiui 7 km/h

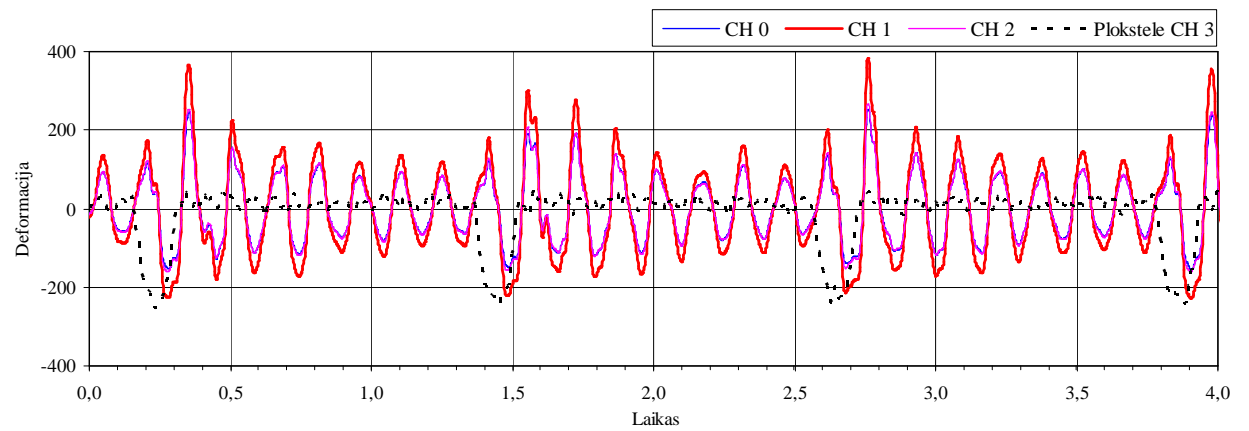
Apkrova pneumatiniiais cilindrais



Apkrova maišais su kroviniu

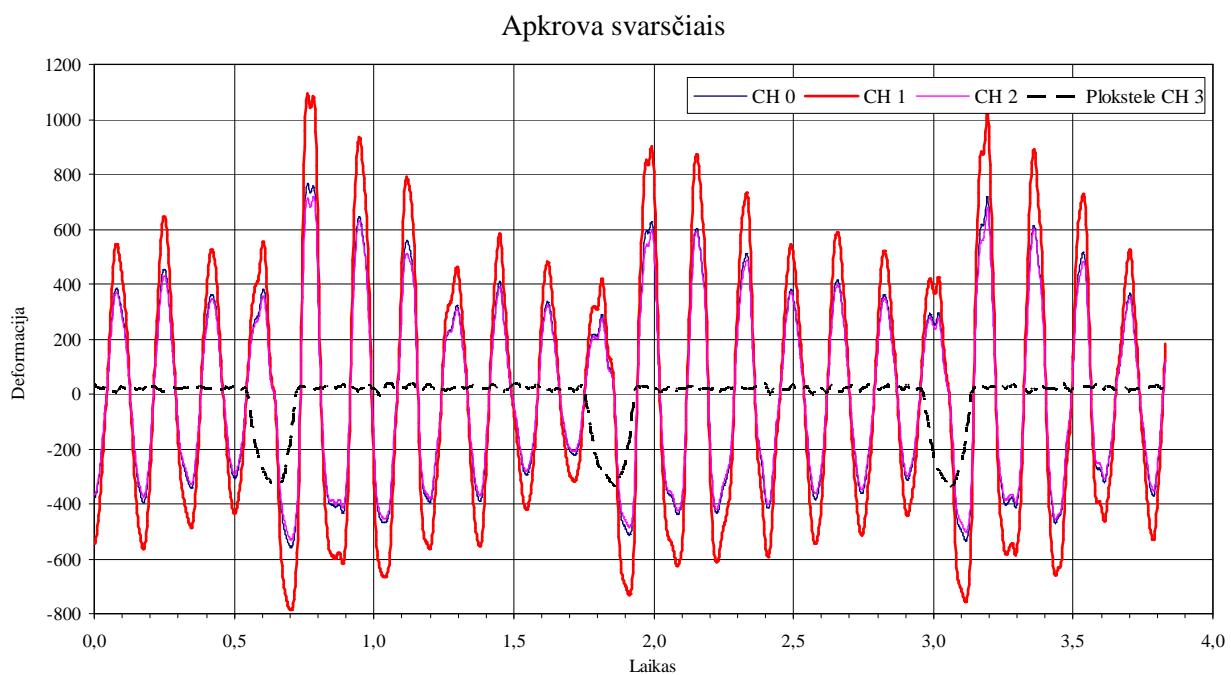
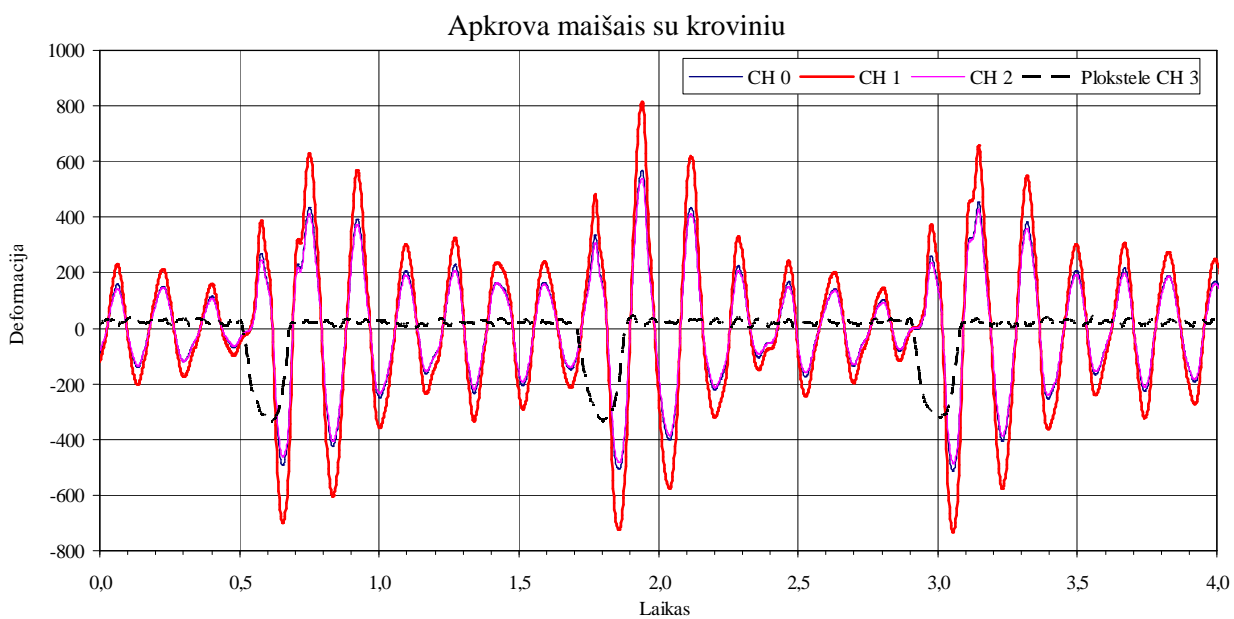
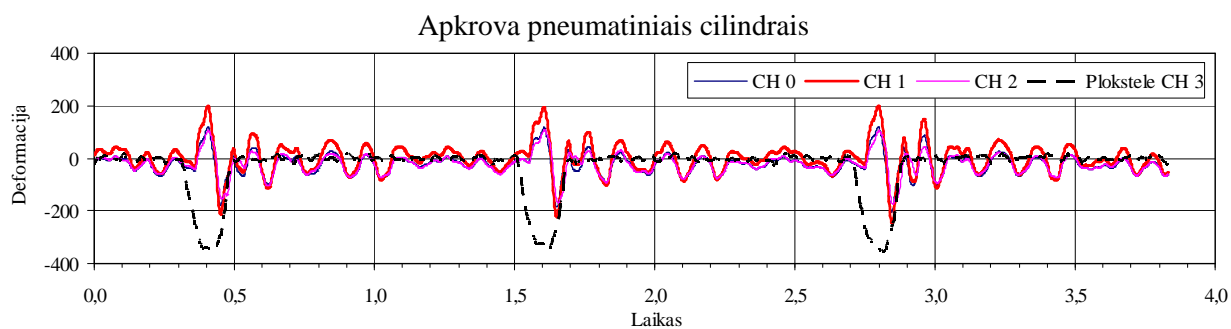


Apkrova svarsčiais



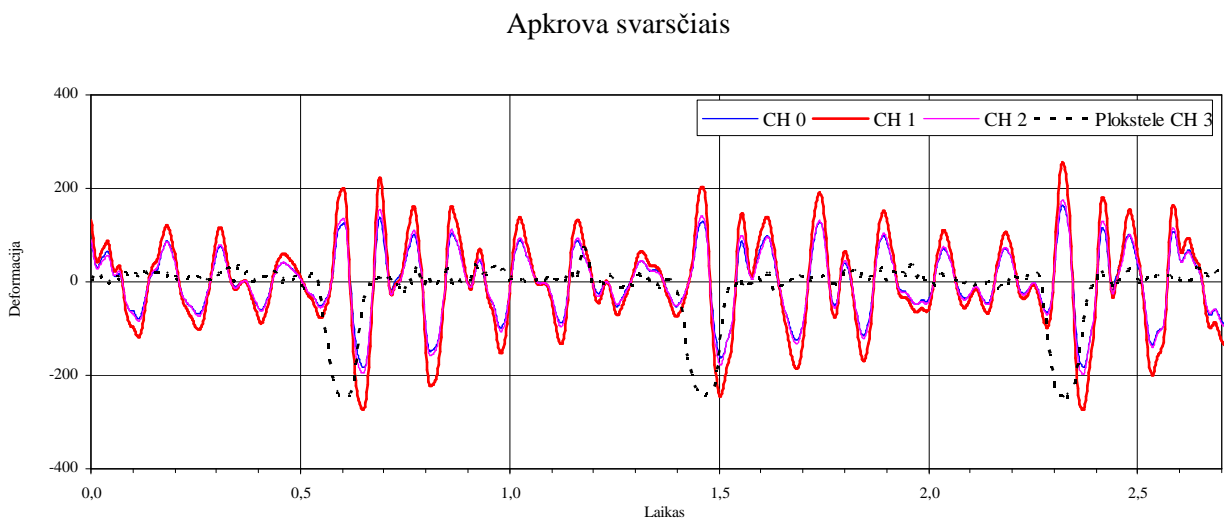
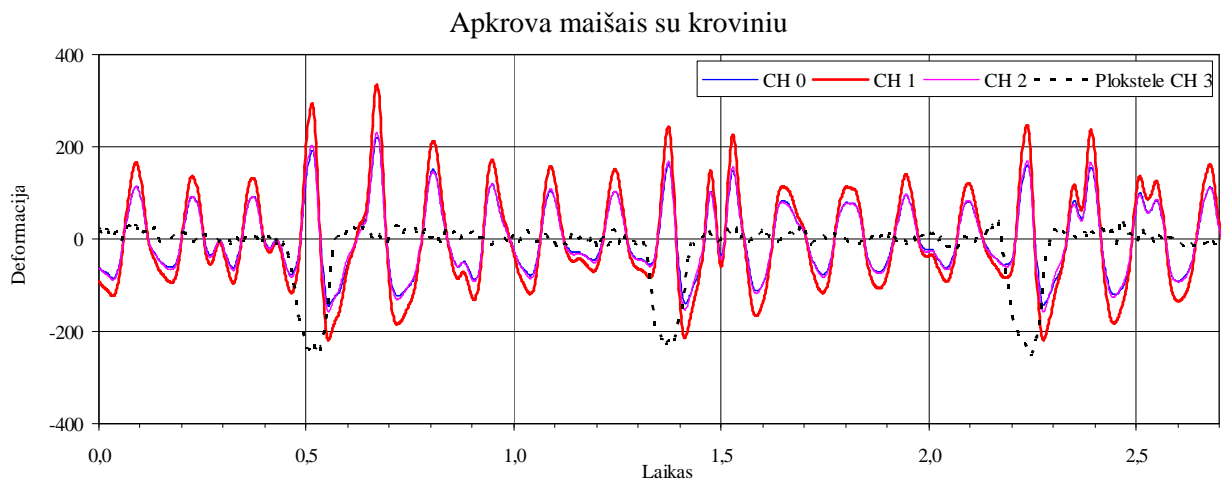
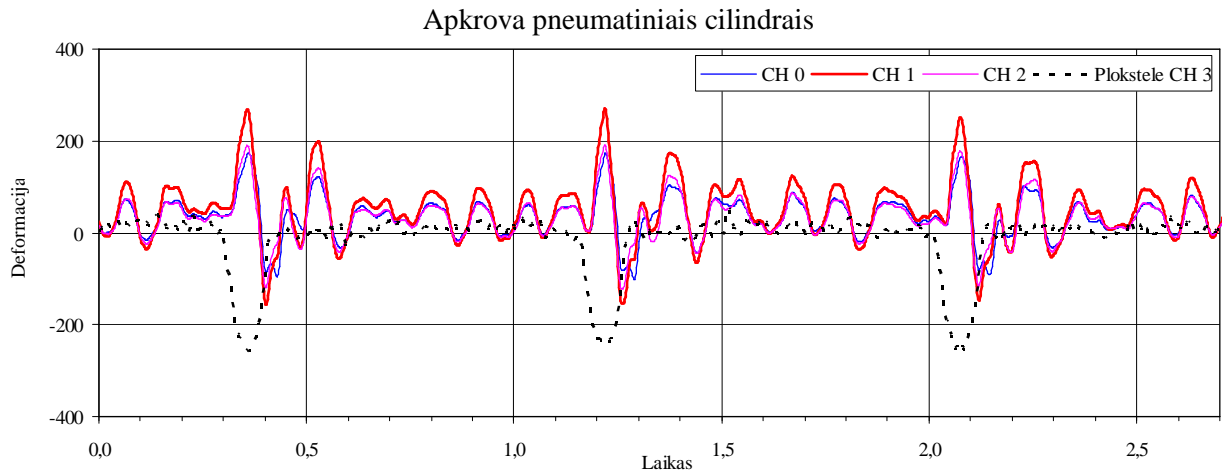
Priedas 5

Vairo deformacijos, esant apkrovai 114 N ir greičiui 7 km/h



Priedas 6

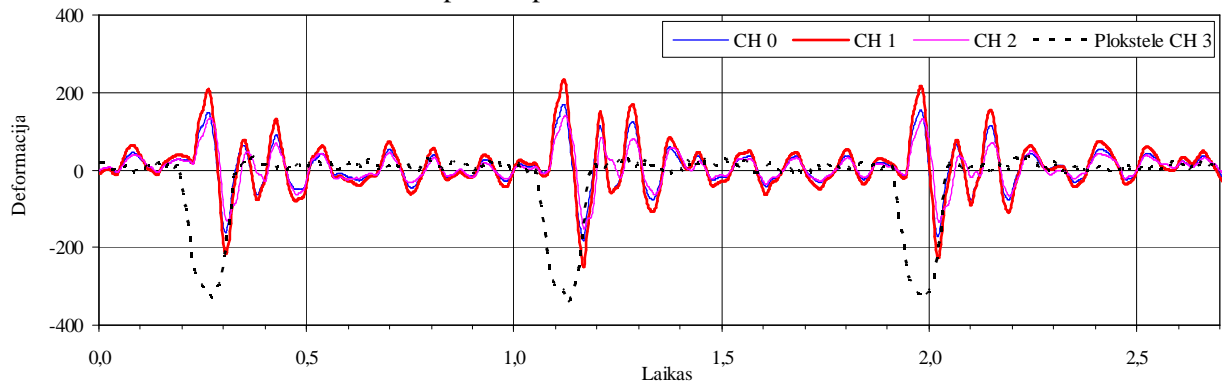
Vairo deformacijos, esant apkrovai 30 N ir greičiui 11 km/h



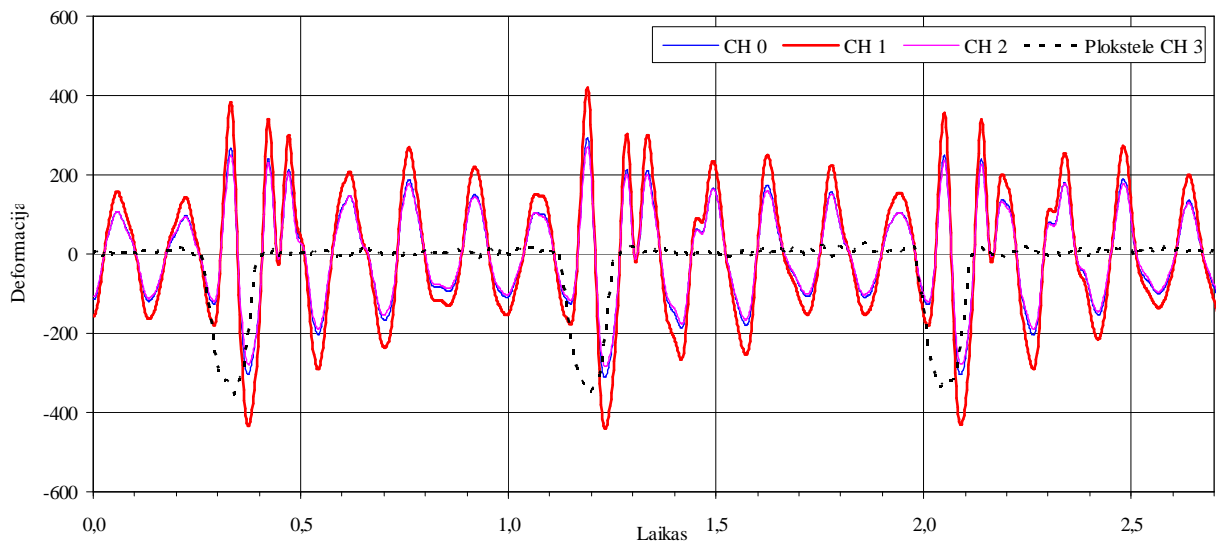
Priedas 7

Vairo deformacijos, esant apkrovai 70 N ir greičiui 11 km/h

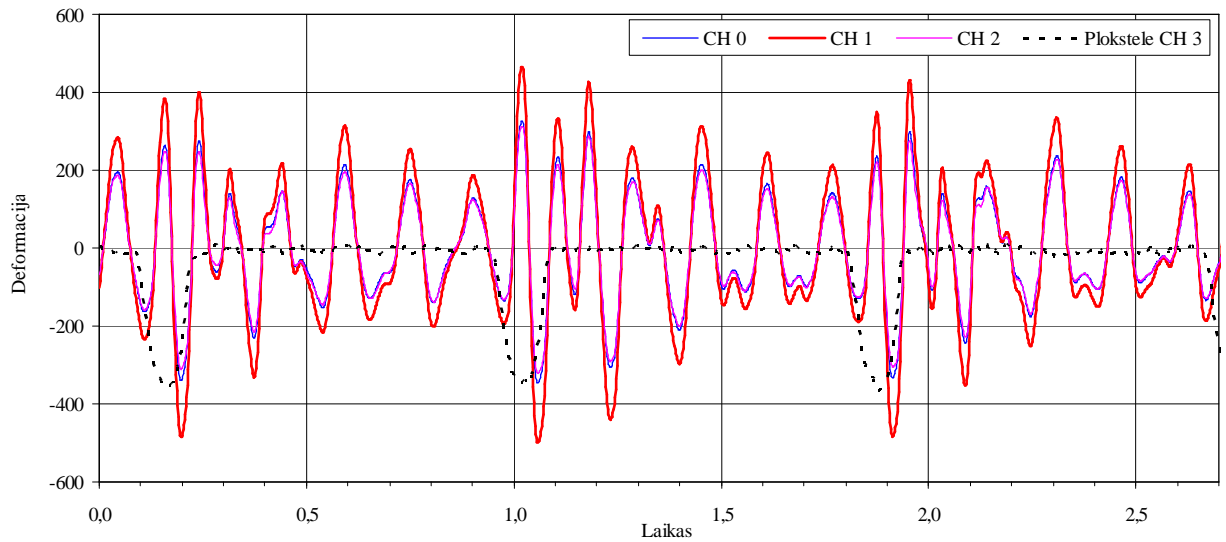
Apkrova pneumatiniiais cilindrais



Apkrova maišais su kroviniu



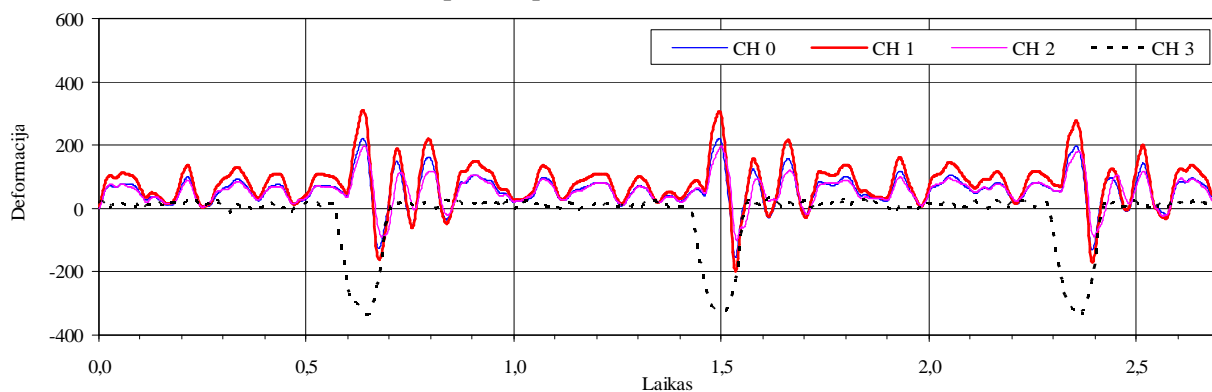
Apkrova svarsčiais



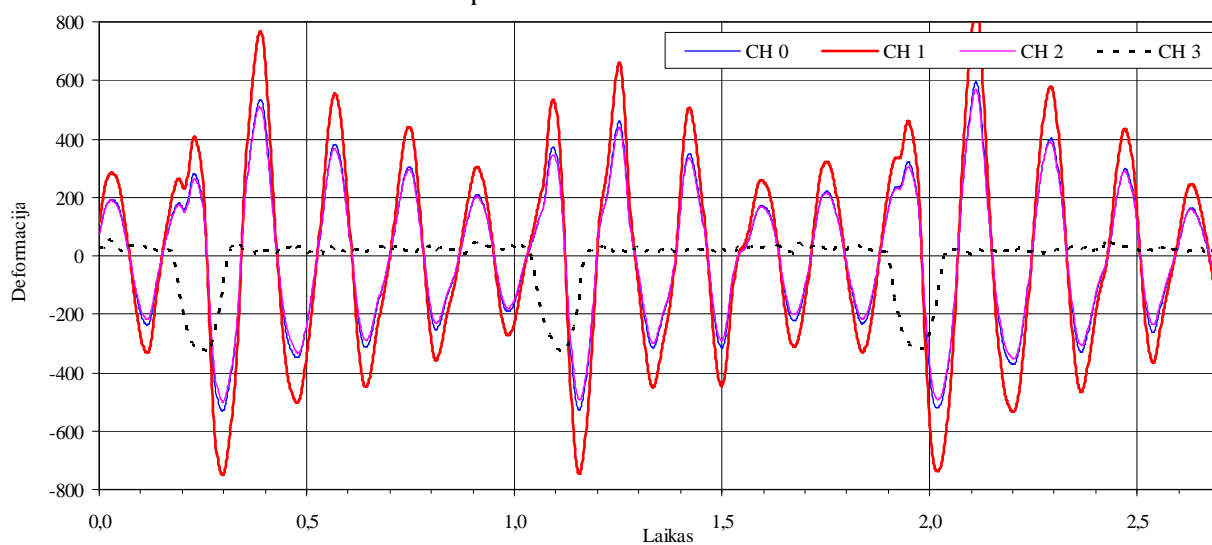
Priedas 8

Vairo deformacijos, esant apkrovai 114 N ir greičiui 11 km/h

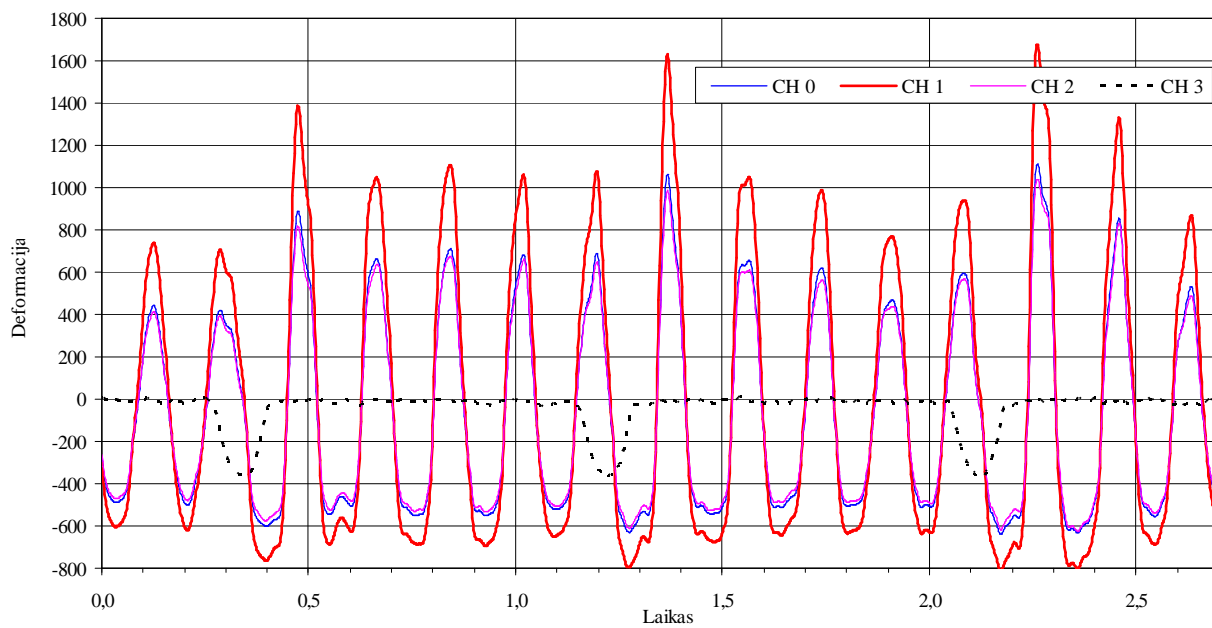
Apkrova pneumatiniiais cilindrais



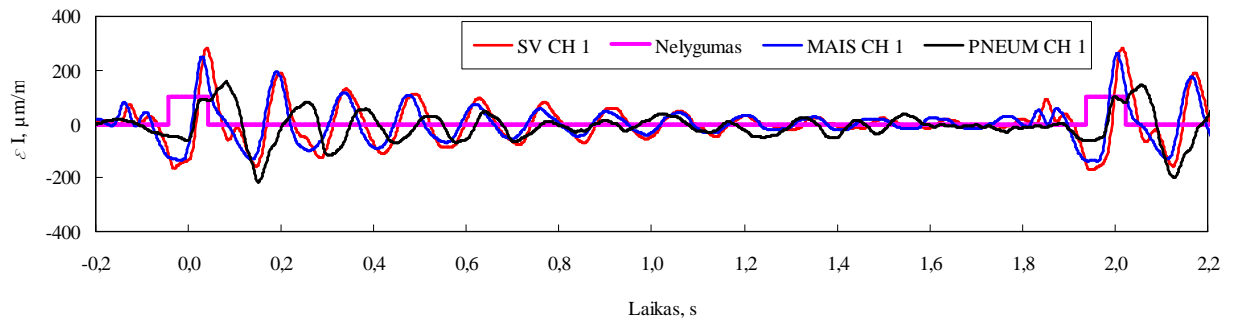
Apkrova maišais su kroviniu



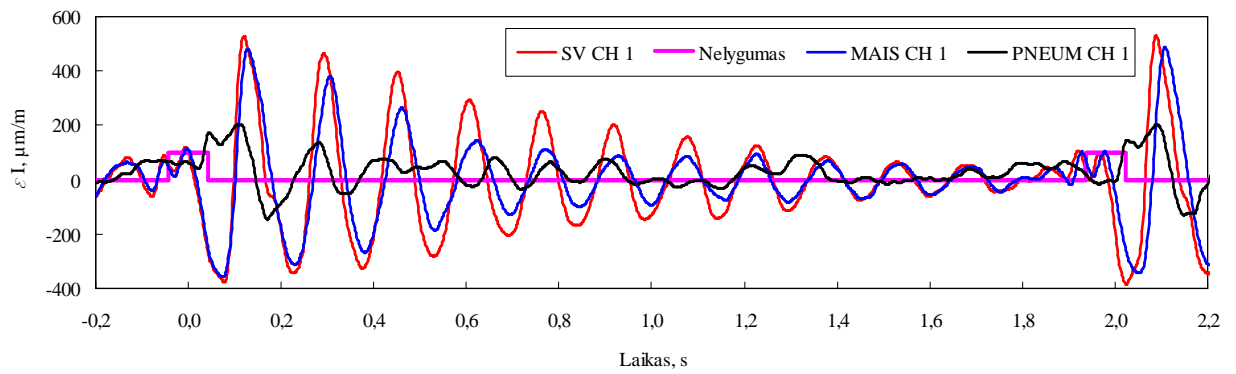
Apkrova svarsčiais



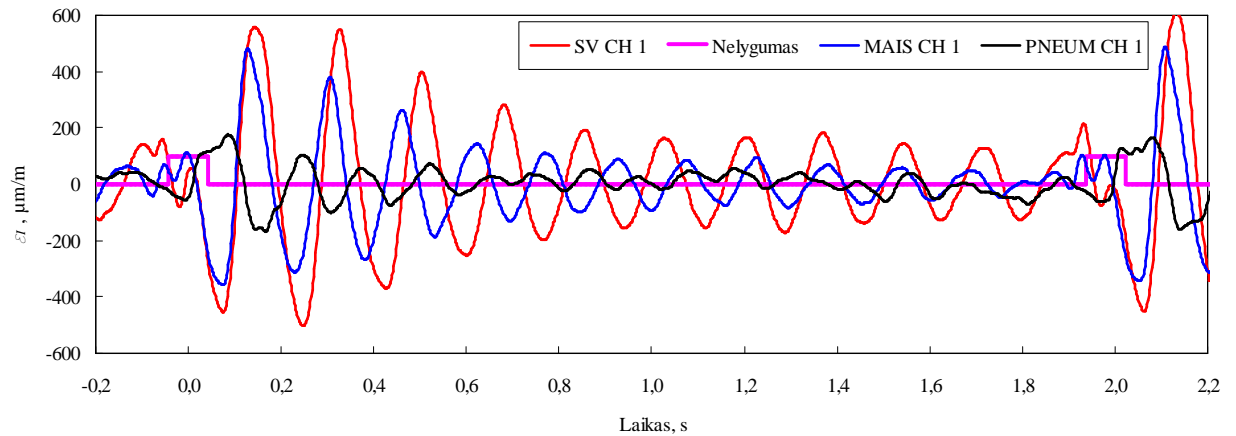
Priedas 9



a)



b)

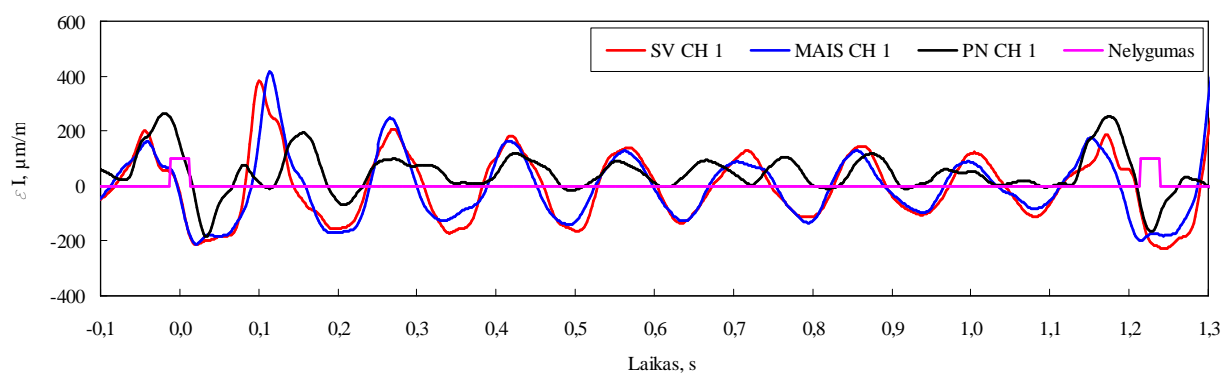


c)

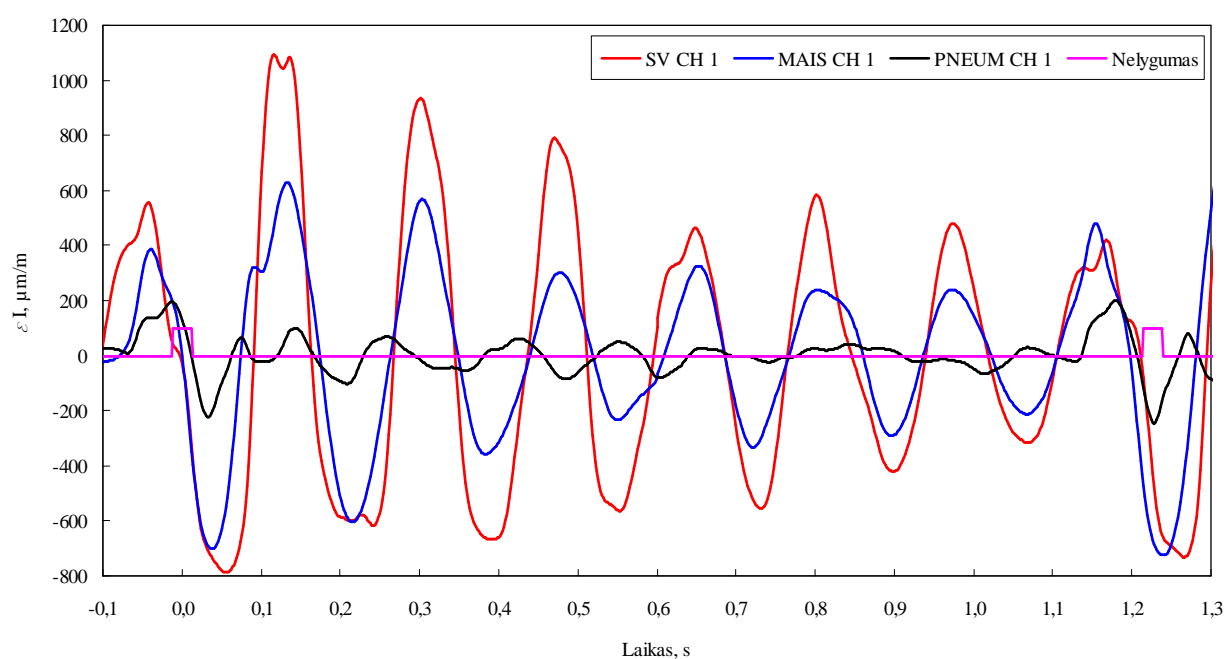
Vairo deformacijos ε_I , esant skirtingiems apkrovimo būdams (SV CH1 – svarsčiai; MAIS CH1 – maišai su kroviniu; PN CH1 – pneumatika), kai greitis 3 km/h ir apkrovos lygis:

a) 30 N; b) 70 N; c) 114 N

Priedas 10



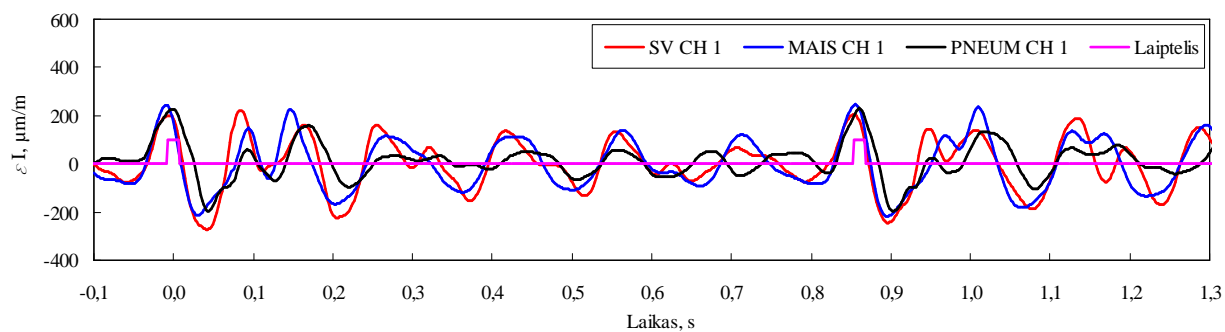
a)



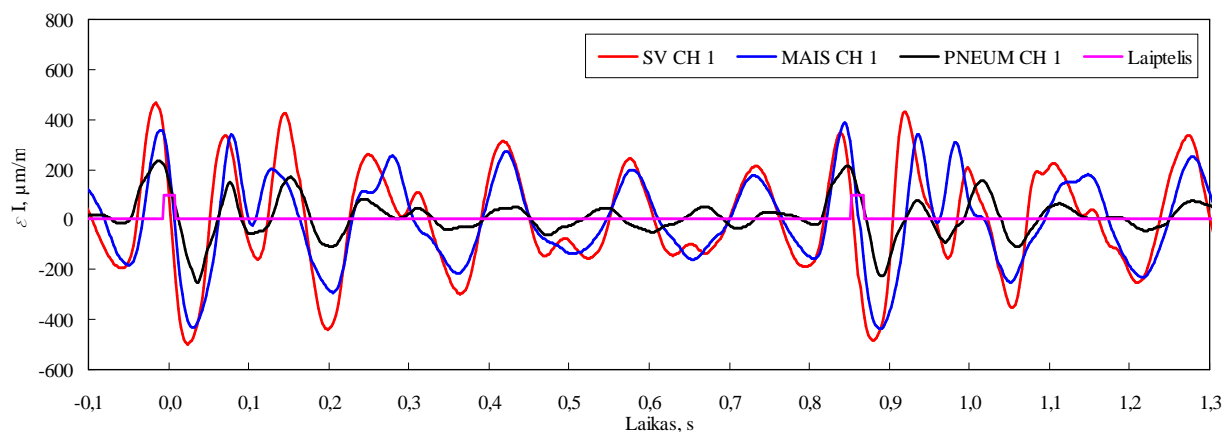
b)

Vairo deformacijos ε_I , esant skirtingiems apkrovimo būdams (SV CH1 – svarsčiai; MAIS CH1 – maišai su kroviniu; PN CH1 – pneumatika), kai greitis 3 km/h ir apkrovos lygis:
a) 30 N; b) 114 N

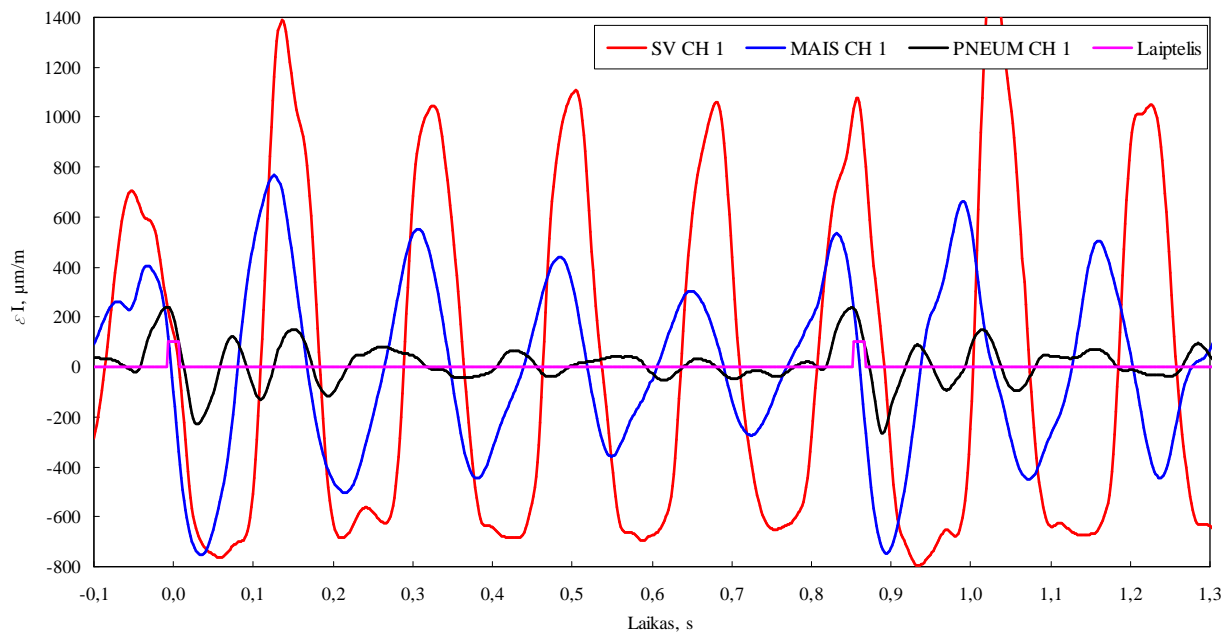
Priedas 11



a)



b)



c)

Vairo deformacijos ε_I , esant skirtingiems apkrovimo būdams (SV CH1 – svarsčiai; MAIS CH1 – maišai su kroviniu; PN CH1 – pneumatika), kai greitis 10 km/h ir apkrovos lygis:

a) 30 N; b) 70 N; c) 114 N

Priedas 12

Kvadratinių vidurkių ($\varepsilon_{Ivid.kv}$) reikšmes, kai greitis 3 km/h

Apkrovos lygis	30 N	70 N	114 N
Aprovos būdas			
Pneumocilindrai	53,4	74,2	50,4
Maišai su kroviniu	56,5	140,9	221
Svarsčiai	66,7	158	227,6

Kvadratinių vidurkių ($\varepsilon_{Ivid.kv}$) reikšmes, kai greitis 7 km/h

Apkrovos lygis	30 N	70 N	114 N
Aprovos būdas			
Pneumocilindrai	79,8	67,5	59,3
Maišai su kroviniu	118,3	215,9	288,2
Svarsčiai	118,9	293,3	460,7

Kvadratinių vidurkių ($\varepsilon_{Ivid.kv}$) reikšmes, kai greitis 10 km/h

Apkrovos lygis	30 N	70 N	114 N
Aprovos būdas			
Pneumocilindrai	85,6	70,9	105,2
Maišai su kroviniu	106	168,2	347
Svarsčiai	102,1	198	707