



**Kauno technologijos universitetas**  
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

# **Motociklo galinės pakabos virpesių slopintuvo charakteristikų tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Eitvydas Bernotavičius**

Projekto autorius

**Doc. Rolandas Makaras**

Vadovas

---

**Kaunas, 2023**



**Kauno technologijos universitetas**  
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

# **Motociklo galinės pakabos virpesių slopintuvo charakteristikų tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas  
Transporto priemonių inžinerija (6211EX021)

---

**Eitvydas Bernotavičius**

Projekto autorius

**Doc. Rolandas Makaras**

Vadovas

**Prof. Vaidas Lukoševičius**

Recenzentas

---

**Kaunas, 2023**



**Kauno technologijos universitetas**  
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas  
Eitvydas Bernotavičius

## **Motociklo galinės pakabos virpesių slopintuvo charakteristikų tyrimas**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdamas kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasis Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs;
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalintas iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Eitvydas Bernotavičius

*Patvirtinta elektroniniu būdu*



**Kaunas technologijos universitetas**  
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

## **Baigiamojo magistro projekto užduotis**

**Išduota studentui** – Eitvydas Bernotavičius

### **1. Projekto tema**

Motociklo galinės pakabos virpesių slopintuvo charakteristikų tyrimas

*(Lietuvių kalba)*

Analysis of Motorcycle's Rear Suspension Shock Damping Characteristics

*(Anglų kalba)*

### **2. Projekto tikslas ir uždaviniai**

Tikslas: Nustatyti motociklo virpesių slopintuvo efektyvumą ir slopinimo jėgos priklausomybę nuo eigos keičiant alyvą bei vidinių reguliavimo plokštelių išdėstymą.

Uždaviniai:

1. Atlikti motociklų pakabos tipų bei jų elementų, slopintuvuose pasireiškiančių fizikinių reiškinių literatūros analizę;
2. Detaliai išanalizuoti virpesių slopintuvo sandarą ir nustatyti kaip vidinių reguliavimo plokštelių matmenys, išdėstymas ir alyvos klampa keičia slopintuvo slopinimo jėgos priklausomybę nuo eigos;
3. Atlikti skirtingų gamintojų alyvos klamos tyrimą;
4. Dinamometriniu bandymų stendu išmatuoti slopintuvo slopinimo jėgos priklausomybę nuo eigos naudojant skirtingos klamos alyvas;
5. Dinamometriniu bandymų stendu išmatuoti slopintuvo slopinimo jėgos priklausomybę nuo eigos keičiant vidinių reguliavimo plokštelių matmenis ir išdėstymą bei atlikti natūrinį bandymą lenktynių trasoje;
6. Pateikti išvadas ir pasiūlymus motociklo virpesių slopintuvo derinimui.

### **3. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos**

Natūriniai tyrimai atliekami to paties transporto priemonės vairuotojo, vienoje trasoje, kiek įmanoma panašesnėje aplinkoje (temperatūra, drėgmė kuo vienodesni tarp bandymų).

Keičiant slopintuvo vidinės struktūros parametrus alyva naudojama tos pačios klamos iš naujos taros, kad būtų išvengiama pakitimų nesusijusių su tyrimo objektu.

### **4. Papildomi reikalavimai projektui, ataskaitai ir jos priedams**

Netaikoma

Projekto autorius	Eitvydas Bernotavičius <i>(Vardas, Pavardė)</i>	2023-02-14 <i>(Data)</i>
Projekto vadovas	Doc. Rolandas Makaras <i>(Vardas, Pavardė)</i>	2023-02-14 <i>(Data)</i>
Krypties studijų programų vadovas	Doc. Saulius Japertas <i>(Vardas, Pavardė)</i>	2023-02-14 <i>(Data)</i>

Bernotavičius, Eitvydas. Motociklo galinės pakabos virpesių slopintuvo charakteristikų tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas Doc. Rolandas Makaras; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Transporto inžinerija (E12), Inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: Slopintuvas, motociklas, sportas, pakaba, alyva, klampa.

Kaunas, 2023. 54 p.

## Santrauka

Šio darbo literatūros apžvalgos analizėje gilinamasi į motociklų pakabos tipus, jų trūkumus ir privalumus bei dažniausiai naudojamas šiuolaikinių motociklų pakabas. Apžvelgiami pakabose naudojami elementai, jų jungimo tipai, gamybos medžiagos, paaiškinama kodėl naudojami minėtieji elementai. Išanalizuojami virpesių slopintuvai, jų sandara, tipai bei jų pranašumai ir trūkumai, paaiškinama kur dažniausiai naudojami tam tikri tipai. Trumpai apžvelgiami fizikiniai reiškiniai pasireiškiantys amortizatoriuose, kokią įtaką jie daro bei kaip jų išvengti. Teoriškai išnagrinėjama kaip kinta slopintuvo pasipriešinimo eigai charakteristikos keičiant alyvos klampą arba reguliavimo plokštelių matmenis bei išdėstymą. Praktinėje darbo dalyje tiriamas bekelės motociklo galinio virpesių slopintuvo pasipriešinimo eigai jėgų priklausomybės pokytis keičiant alyvos klampą bei vidinių reguliavimo plokštelių rinkinį. Tyrimas pradedamas atliekant skirtingų gamintojų alyvos klamos tyrimą, kuriame yra išsiaiškinta, jog tarp skysčiausios (420,67 mPas) bei klampiausios (844,67 mPas) alyvų skirtumas yra dvigubas. Ištyrus alyvos klampas, virpesių slopintuvo slopinimo jėgos nuo eigos priklausomybės tiriamos dinamometriniame stende laboratorijoje su kiekvienu bandymu užpildant slopintuvą skirtingos klamos alyva bei nustatant tris skirtingas slopintuvo reguliavimo padėtis. Atlikus pastarąjį tyrimą buvo išsiaiškinta, jog tiriamais 2, 3 ir 4 Hz stūmoklio žadinimo dažniais jokio aiškaus skirtumo tarp skirtingų alyvų pastebėta nebuvo. Antrasis tyrimų ciklas vyko naudojant vienos klamos alyvą, tačiau atliekant tris skirtingas vidinių stūmoklio reguliavimo plokštelių modifikacijas. Laboratorinių tyrimu metu tiriant plokštelių rinkinio modifikacijas buvo išsiaiškinta, jog pirmasis pakeitimas slopinimo jėgas vidutiniškai sumažina 10 – 20 %, antroji modifikacija pasipriešinimo jėgas suspaudimui padidina 27 – 52 %, ištraukimui padidina iki 10 %, o galiausiai trečiasis pokytis plokštelių rinkinyje slopinimo jėgas suspaudimui padidina 20 – 44 %, ištraukimui iki 7 %. Norint sužinoti realų pokytį buvo atliekamas natūrinis tyrimas su matavimo įranga matuojančia pakabos eigą bei smūgius į motociklo rėmą. Šio tyrimo metu buvo išsiaiškinta, jog per mažiausią slopintuvo eigą (43 mm), slopintuvas smūgį sugėrė naudojant trečiąją modifikaciją bei regulatoriams esant standžiausioje padėtyje, tačiau šiais nustatymais į motociklo rėmą buvo perduodamas gana nemažas smūgio pagreitis (0,89 G). Atsižvelgiant į smūgius perduodamus į motociklo rėmą buvo priimta išvada, jog efektyviausia slopintuvo modifikacija yra originali, regulatoriams standžiausioje padėtyje, kadangi šio bandymo metu slopintuvas didžiausią eigą pasiekė 46 mm ir didžiausią smūgio pagreitį į rėmą 0,76 G. Galiausiai darbe pateikiamos išvados bei patarimai virpesių slopintuvo derinimui atsižvelgiant į gautus rezultatus.

Bernotavičius, Eitvydas. Analysis of Motorcycle's Rear Suspension Shock Damping Characteristics. Masters's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. dr., Rolandas Makaras; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Transport Engineering (E12), Engineering Science.

Keywords: Motorcycle, suspension, shock, oil, viscosity, sport.

Kaunas, 2023. 54 pages.

### **Summary**

The literature review and analysis of this paper delves into the types of motorcycle suspensions, their advantages and disadvantages, and the most commonly used suspensions types in modern motorcycles. The elements used in suspensions, their connection types and production materials are reviewed with explanation on why the mentioned elements are used in the exact cases. Shock absorbers are analyzed along with their structure, types and their advantages and disadvantages, where certain types are most often used. Physical phenomena occurring in shock absorbers, their influence and how to avoid them are briefly reviewed. It is theoretically analyzed how the characteristics of the damper's resistance to travel change when the viscosity of the oil or the dimensions and arrangement of the adjustment plates changes. In the practical part of the work, the change in the force dependence of the resistance to the movement of the rear shock absorber of an off-road motorcycle is investigated by changing the oil viscosity and the set of internal adjustment plates. The research begins by conducting an oil viscosity study of different manufacturers, where we find out that the difference between the most liquid (420.67 mPas) and the most viscous (844.67 mPas) oils is twofold. After the oil viscosities have been tested, the damping forces of the vibration damper depending on the stroke are studied on a dynamometer bench in the laboratory with each test filling the damper with oil of different viscosity and setting three different adjustment positions of the damper. After conducting the latter study, we found that no clear difference was observed between the different oils at the piston excitation frequencies of 2, 3 and 4 Hz that we investigated. The second test cycle was conducted using a single viscosity oil, but with three different modifications to the internal piston adjustment plates. During laboratory tests, while studying the modifications of the plate set, we found out that the first change reduces the damping forces on average by 10-20%, the second modification increases the resistance forces for compression by 27-52%, for extraction it increases up to 10%, and finally the third change in the set of plates increases the damping forces for compression by 20- 44%, for extraction up to 7%. In order to find out the real change, a natural test was carried out with measuring equipment that measures the travel of the suspension and impacts to the motorcycle frame. During the last study, it was found that during the smallest stroke of the damper (43 mm), the damper absorbed the shock using the third modification and with the regulators in the stiffest position, but with these settings, a fairly significant impact acceleration (0.89 G) was transmitted to the motorcycle frame. Taking into account the shocks transmitted to the motorcycle frame, the conclusion was made that the most effective modification of the damper is the original one, with the regulators in the stiffest position, because during this test the damper reached the maximum travel of 46 mm and the maximum acceleration of the impact to the frame 0.76 G. Finally, the paper presents conclusions and recommendations for vibration for adjusting the damper according to the obtained results.

## Turinys

<b>Lentelių sąrašas .....</b>	<b>8</b>
<b>Paveikslų sąrašas .....</b>	<b>9</b>
<b>1. Literatūros apžvalga ir analizė.....</b>	<b>11</b>
1.1. Priekinės ašies pakabos konstrukcijos.....	11
1.1.1. Teleskopinio vamzdžio konstrukcija.....	11
1.1.2. Pakaba su svirties ašimi priekyje rato ašies.....	11
1.1.3. Pakaba su svirties ašimi gale rato ašies .....	12
1.1.4. Pakabos konstrukcija su dviem svirtimis .....	13
1.1.5. Pakaba „Telelever“ .....	14
1.2. Esami galinių motociklų važiuoklių tipai.....	15
1.2.1. Svirtis iš vienos pusės rato .....	15
1.2.2. Dvipusė svirtis.....	15
1.3. Tiriamosios pakabos elementai .....	16
<b>2. Tyrimas.....</b>	<b>23</b>
2.1. Tyrime naudojamas motociklas.....	23
2.2. Laboratorinio bandymo stendas .....	24
2.3. Tvirtinimų į bandymo stendą parinkimas.....	25
2.4. Alyvos klampos tyrimas .....	25
2.5. Slopintuvo bandymai dinamometriniame stende .....	27
2.5.1. Nežinomos alyvos bandymas .....	27
2.5.2. Dinametrinio stendo bandymų tikslumo patikra .....	31
2.5.3. Alyvų palyginimas.....	32
2.6. Virpesių slopintuvo tyrimas keičiant plokštelių išdėstymą.....	36
2.6.1. Pirmasis plokštelių rinkinio pokytis .....	36
2.6.2. Antrasis plokštelių rinkinio pokytis.....	43
2.6.3. Trečiasis plokštelių rinkinio pokytis .....	46
2.7. Pasiūlymai motociklo virpesių slopintuvo reguliavimui.....	49
2.8. Ekonominis pagrindimas .....	50
<b>Išvados .....</b>	<b>51</b>
<b>Literatūros sąrašas .....</b>	<b>52</b>
<b>Priedai.....</b>	<b>55</b>

## Lentelių sąrašas

<b>1 lentelė.</b> Pagrindinės motociklo specifikacijos [33] .....	23
<b>2 lentelė.</b> Alyvos klampos palyginimas .....	27
<b>3 lentelė.</b> Bandymų paklaidos lentelė .....	32
<b>4 lentelė.</b> Slopintuvo pasipriešinimo suspaudimui jėgos, naudojant skirtingas alyvas ir reguliatoriams esant visiškai išsuktiems .....	32
<b>5 lentelė.</b> Slopintuvo pasipriešinimo ištraukimui jėgos, naudojant skirtingas alyvas ir reguliatoriams esant visiškai išsuktiems .....	33
<b>6 lentelė.</b> Slopavimo jėgų pokytis po slopintuvo perdarymo .....	40
<b>7 lentelė.</b> Virpesių slopintuvo pirmojo perdarymo natūrinio bandymo rezultatai .....	43
<b>8 lentelė.</b> Slopavimo jėgų pokytis po slopintuvo perdarymo .....	45
<b>9 lentelė.</b> Virpesių slopintuvo antrojo perdarymo natūrinio bandymo rezultatai.....	46
<b>10 lentelė.</b> Slopavimo jėgų pokytis po slopintuvo perdarymo .....	48
<b>11 lentelė.</b> Virpesių slopintuvo trečiojo perdarymo natūrinio bandymo rezultatai.....	49

## Paveikslų sąrašas

<b>1 pav.</b> Tradicinių apverstų šakių pavyzdžiai [6] .....	11
<b>2 pav.</b> Priekinė motociklo pakaba su svirtimi ir lankstu priekyje motociklo rato ašies [7] .....	12
<b>3 pav.</b> Priekinė motociklo pakaba su svirtimi ir lankstu už priekinio rato ašies [7] .....	13
<b>4 pav.</b> Pakabos sistema su dviem svirtimis [8] .....	13
<b>5 pav.</b> „BMW“ korporacijos patentuota „Telelever“ pakaba [9] .....	14
<b>6 pav.</b> Vienpusės svirties pavyzdys [10] .....	15
<b>7 pav.</b> Galinės pakabos virpesių slopintuvo tvirtinimo per trauklių sistemą pavyzdys [11] .....	16
<b>8 pav.</b> Sferinio guolio pavyzdys [12] .....	17
<b>9 pav.</b> Galinės pakabos deformuojamo elemento palaikančio motociklo aukštį pavyzdys [13] .....	17
<b>10 pav.</b> Reikšmingų atstumų matavimo pavyzdys [14] .....	18
<b>11 pav.</b> Pirmojo slopintuvo tipo pavyzdys [15] .....	18
<b>12 pav.</b> Amortizatoriaus su išoriniu rezervuaru pavyzdys [16] .....	19
<b>13 pav.</b> Slopintuvo, kuriame azotas ir alyva atskirti membrana pavyzdys [17] .....	20
<b>14 pav.</b> Slopintuvo stūmoklio korpuso su teflonine įvore pavyzdys [18] .....	20
<b>15 pav.</b> Alyvos klamos pokytis keičiantis temperatūrai [28] .....	21
<b>16 pav.</b> Plokštelių išdėstymo pavyzdžiai [23] .....	22
<b>17 pav.</b> Plokštelių rinkinys su mažesne tarpine plokštele [23] .....	22
<b>18 pav.</b> Beta RR250 motociklo pavyzdys [38] .....	23
<b>19 pav.</b> Bandymų standas [21] .....	24
<b>20 pav.</b> Galinio bekelės motociklo amortizatoriaus pasipriešinimo jėgos [22] .....	25
<b>21 pav.</b> Slopintuvas su sumontuotais tvirtinimais pažymėtais raudonai [asmeninis archyvas] .....	25
<b>22 pav.</b> Rotorinis skysčio klamos tyrimo standas [asmeninis archyvas] .....	26
<b>23 pav.</b> Alyvos klamos tyrimo rezultatai alyvai esant 18 °C .....	26
<b>24 pav.</b> Slopintuvo slopinimo jėgų palyginimas prie skirtingų reguliatorių padėčių esant 2 Hz stūmoklio judėjimo dažniui .....	28
<b>25 pav.</b> Slopinimo jėgos priklausomybė nuo reguliatorių padėties veikiant 3 Hz sužadavimo dažniui .....	28
<b>26 pav.</b> Slopintuvo slopinimo jėgų palyginimas prie skirtingų stūmoklio judėjimo greičių reguliatoriams esant pilnai įsuktiems .....	29
<b>27 pav.</b> Slopinimo jėgos priklausomybė nuo sužadavimo dažnio reguliatoriams esant vidurinėje reguliavimo padėtyje. ....	29
<b>28 pav.</b> Pagrindinio stūmoklio, plokštelių rinkinių bei ištraukimo reguliatoriaus parodomasis brėžinys [asmeninis archyvas] .....	30
<b>29 pav.</b> Stūmoklio, plokštelių rinkinių bei reguliatoriaus parodomasis modelis [asmeninis archyvas] .....	31
<b>30 pav.</b> Tikslumo patikra atliekama 4 Hz žadinimo dažniu bei visiškai išsuktais reguliatoriais.....	31
<b>31 pav.</b> Pasipriešinimo jėgų priklausomybė nuo eigos veikiant 2 Hz sužadavimo dažniui ir reguliatoriams visiškai išsuktiems .....	34
<b>32 pav.</b> Slopintuvo pasipriešinimo jėgos poslinkiui priklausomybė nuo sužadavimo dažnio reguliatoriams nustatytiems vidurinėje padėtyje .....	34
<b>33 pav.</b> Slopintuvo pasipriešinimo jėgos poslinkiui priklausomybė nuo sužadavimo dažnio reguliatoriams nustatytiems visiškai susuktiems (standžiausias nustatymas) .....	35
<b>34 pav.</b> Originalus ištraukimo slopinimo plokštelių rinkinys .....	37
<b>35 pav.</b> Originalus suspaudimo slopinimo plokštelių rinkinys .....	37

<b>36 pav.</b> Pirmasis pakeistas ištraukimo plokštelių rinkinys .....	38
<b>37 pav.</b> Pirmasis pakeistas suspaudimo plokštelių rinkinys .....	39
<b>38 pav.</b> Jėgos priklausomybės nuo poslinkio grafikas veikiant 2 Hz žadinimo dažniui, regulatoriams esant visiškai išsuktiems .....	39
<b>39 pav.</b> Slopintuvo eigos priklausomybės nuo jutiklio eigos lygties radimas .....	41
<b>40 pav.</b> Matavimo įranga pažymėta mėlynai bei jos montavimo vietos .....	42
<b>41 pav.</b> Slopintuvo eigos kitimo grafikas tyrimo metu .....	42
<b>42 pav.</b> Kėbulą veikiantis G pagreitis tyrimo metu.....	43
<b>43 pav.</b> Virpesių slopintuvo antrojo pakeitimo suspaudimo slopinimo plokštelių rinkinys .....	44
<b>44 pav.</b> Virpesių slopintuvo antrojo pakeitimo ištraukimo slopinimo plokštelių rinkinys .....	45
<b>45 pav.</b> Virpesių slopintuvo trečiojo pakeitimo ištraukimo slopinimo plokštelių rinkinys .....	47
<b>46 pav.</b> Virpesių slopintuvo trečiojo pakeitimo suspaudimo slopinimo plokštelių rinkinys .....	48

## 1. Literatūros apžvalga ir analizė

### 1.1. Priekinės ašies pakabos konstrukcijos

#### 1.1.1. Teleskopinio vamzdžio konstrukcija

Bene labiausiai paplitęs konstrukcijos tipas yra panaudojant teleskopinį mechanizmą, kuomet du skirtingo skersmens tuščiaviduriai vamzdžiai su nedideliu laisvumu sumaunami vienas su kitu, lietimosi paviršiam naudojant teflonu dengtas įvoves. Tai lengvas ir geras valdymo savybes turintis mechanizmas, tačiau motocikluose pradėtas naudoti tik kiek vėliau dėl reikalaujamo tikslumo gaminant dalis. Konstrukcijoje be vamzdžių bei įvorių taip pat yra naudojami riebokšliai ir viduje galima rasti smūgio slopinimo hidraulinių slopintuvą. Sistema viduje yra sandari ir apsaugota nuo išorinės aplinkos panaudojant riebokšlius, kurie yra dviejų tipų: pirmasis yra apsaugantis nuo purvo ir dulkių, esantis išorėje, kai tuo tarpu antrasis išlaiko hidraulinio mechanizmo alyvą viduje vamzdžių. Taigi, pradžioje minėtąjį teleskopinį mechanizmą sudaro tuščiaviduriai vamzdžiai, kadangi jie sumaunami tarpusavyje, todėl vienas jų yra didesnio skersmens, būtent pagal tai ar viršuje ar apačioje naudojamas didesnio diametro vamzdis išskiriami du pagrindiniai šio mechanizmo tipai. Pirmasis žinomas kaip tradicinis tipas, šiuo atveju mažesnio skersmens vamzdis yra naudojamas viršuje ir įtvirtinamas į šakių tiltelį. Antrasis yra kuomet didesnio skersmens vamzdis įtvirtinamas į šakių tiltelį paliekant mažesnio skersmens vamzdį apačioje. Šis tipas tampa vis populiariesnis ir dažniau aptinkamas šiuolaikiniuose motocikluose dėl mažesnės nespnyruokliuojamos masės bei didesnio pakabos standumo. Virpesių slopinimas vyksta alyvai tekant pro atitinkamo diametro skylutes arba išlenkiant plokšteles, kurios dengia tam tikras ertmes. Norint, kad darbas būtų sklandus ir užtektų pakabos eigos, viduje taip pat galima rasti cilindrinės spyruokles, kurios palaiko teleskopinius vamzdžius, išskeistus su kiek įmanoma didesne likusia eiga smūgiui sugerti. Vienas iš didžiausių šios pakabos trūkumų yra staigus pakabos pažemėjimas stabdant stabdžiais [25], kadangi įvorės bei riebokšliai įveikia rimties būsenos trintį, tolesnis pajudėjimas atrodo tarsi motociklo pakabos „kritimas“, todėl šio reiškinio stengiamasi išvengti. Staigus pažemėjimas yra juntamiausias šioje pakaboje lyginant su konkurentais [20].

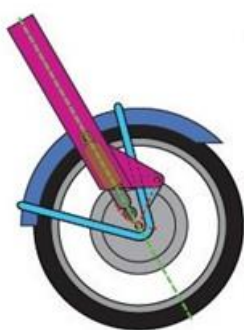


1 pav. Tradicinių ir apverstų šakių pavyzdžiai [6]

#### 1.1.2. Pakaba su svirties ašimi priekyje rato ašies

Nuo pačių pirmųjų motociklų yra naudojamas pakabos mechanizmas, kuriame galima rasti svirtį, virpesių slopintuvą ir tamprųjį elementą. Svirtis, prie motociklo vairo mechanizmo tvirtinama guoliais arba guminiais elementais tam, kad galėtų laisvai švytuoti, slopintuvas naudojamas

virpesiam slopinti ir senesniuose motociklų modeliuose galima rasti frikcinio veikimo tipą, kuomet plokštelės tarpusavyje suspaustos tam tikra jėga neleidžia motociklo pakabai švytuoti kurdamos trintį, o naujesniuose motociklų modeliuose naudojami hidrauliniai virpesių slopintuvai paminėti pirmojo pakabos tipo aprašyme. Tamprusis elementas palaiko pakabos mechanizmą ištiestą tam, kad visais atvejais užtektų rato eigos smūgio malšinimui. Svirtis gali būti naudojama iš vienos pusės, abiejų pusių atskirai arba abiejų pusių sujungiant į vieną svirtį norint išgauti kuo didesnę pakabos standumą. Vienas didžiausių šio mechanizmo privalumų yra, jog išvengiamas arba bent apmažinamas staigus motociklo priekinės pakabos pažemėjimas pradedant stabdymą, tačiau šis tipas atneša nemažai trūkumų kaip, pavyzdžiui, ženkliai didesnė nesparyuokliuojama masė lyginant su konkurentais, atsiranda papildomi mazgai, kurie reikalauja priežiūros ir didelė inercinė masė nutolusi nuo vairo ašies, kuri apsunkina vairavimą. Taigi, dėl pastarųjų trūkumų bei įprastam motociklui mažai reikšmingų privalumų, šis tipas yra naudojamas retai ir tik specifiniuose sportuose arba motociklų tipuose.



**2 pav.** Priekinė motociklo pakaba su svirtimi ir lankstu priekyje motociklo rato ašies [7]

### **1.1.3. Pakaba su svirties ašimi gale rato ašies**

Konstrukcijos požiūriu labai panašus pakabos tipas į konstrukciją su lankstu priekyje priekinio rato ašies, tačiau kaip iš pavadinimo galima suprasti čia lankstas yra už priekinio rato ašies. Sudedamosios dalys yra svirtis, virpesių slopintuvas, lankstas bei tamprusis elementas. Visos sudedamosios dalys kaip ir prieš tai aprašytu atveju atlieka tokias pačias funkcijas bei skirstomos lygiai taip pat. Dvidešimto amžiaus viduryje svirties tipo pakaba buvo pranašesnė nei teleskopinės šakės dėl tuo metu galimų gamybos būdų, tikslumų, tolerancijų bei medžiagų panaudojimų. Tuo metu patys vairuotojai teigė, jog motociklai su šia pakaba atrodė lengvesni bei teikė geresnę kelio pojūtį valdytojui. Konstrukcija labiausiai buvo paplitusi žiedinėse lenktynėse arba bet kokiuose motocikluose, kurie naudojami keliuose, kadangi bekelei neretai ši pakaba nesuteikdavo norimos priekinio rato eigos. Tačiau šiais laikais situacija yra ženkliai pasikeitusi, gatvėm skirtuose motocikluose šios pakabos negalima išvysti, tačiau bekelėje motociklai su šoninėmis priekabomis gana dažnai naudoja šią konstrukciją, dėl geresnio transporto priemonės valdymo, lengvo bazės tarp ratų išilginimo bei kur kas didesnio ir lengviau pasiekiamo standumo. Kaip ir prieš tai minėtoje svirties konstrukcijoje, taip ir šioje tinkamai parinkus svirties kampą lyginant su važiuojamuoju paviršiu, galima sumažinti arba panaikinti staigų pakabos sužemėjimą stabdant motociklą. Šis pažemėjimas yra nepageidaujamas reiškinys, kadangi sukuria nepasitikėjimo jausmą vairuotojui bei tam tikru momentu per daug apkrauna priekinį ratą, o tai tam tikrose situacijose ne tik, kad gali sugadinti motociklo pusiausvyrą, bet ir sukurti priekinės padangos praslydimą.



**3 pav.** Priekinė motociklo pakaba su svirtimi ir lankstu už priekinio rato ašies [7]

#### **1.1.4. Pakabos konstrukcija su dviem svirtimis**

Vienas iš motociklų priekinės pakabos pradininkų yra dviejų svirčių sistema. Svirtys tvirtinamos prie motociklo rėmo vairo ašies per guolius arba įvoves, kad galėtų laisvai svyruoti išilgai priekinio rato eigai. Laisvieji švytuoklių galai per tokius pat tvirtinimus tvirtinami prie strypų, kurie laiko priekinį ratą bei stabdžių sistemą. Įstrižai per susidariusią rombo formos konstrukciją įmontuojamas virpesių slopintuvas su spyruokle, kuris priklausomai nuo tvirtinimo krypties gali būti spaudžiamas arba išsiskleidžiančio tipo. Pirmuosiuose kūriniuose virpesių slopintuvas neegzistavo, pakabą palaikydavo tik lingės, tačiau su laiku technikai tobulėjant prisireikė tobulesnės pakabos, todėl atsirado frikciniai ir galiausiai hidrauliniai slopintuvai. Tokio mechanizmo charakteristikos nėra geros, kadangi konstrukcijos masė didesnė nei konkurentų, papildomi mazgai kaip guoliai ar įvovės reikalauja aptarnavimo bei remonto, be to reguliavimo ir valdymo savybėmis nuo konkurentų taip pat neišsiskiria, todėl šiais laikais aptinkamas tik dėl estetikos bei išskirtinumo.



**4 pav.** Pakabos sistema su dviem svirtimis [8]

### 1.1.5. Pakaba „Telelever“

Korporacija „BMW“ sukūrė ir užpatentavo savo pakabos variaciją, kuri yra prieš tai minėtų pakabų mišinys. Pats konstrukcijos pagrindas yra paimtas teleskopinių šakių mechanizmas, tačiau vamzdžiai viršuje į vairo tiltelį tvirtinami ne standžiai, o sferiniuose guoliuose, kai tuo tarpu antrą šakių tvirtinimo tašką pakeitė svirtis einanti tiesiai iš motociklo rėmo, tvirtinama šarnyriniu sujungimu. Svirtis rėme tvirtinama panaudojus guolius su cilindriniais riedėjimo kūnais viduje. Pažvelgus iš pirmo žvilgsnio konstrukcija tam tikrais elementais panaši į minėtąją teleskopinių šakių konstrukciją, o kita dalis į dviejų svirčių pakabą. Teleskopinės šakės šiame tipe neatlieka slopinimo funkcijos, jos tik apriboja priekinio rato judėjimą, o virpesių slopinimą atlieka amortizatorius sumontuotas tarp svirties ir rėmo. Slopintuvas kaip ir visi šiuolaikiniai amortizatoriai veikia hidraulinio skysčio slopinimo principu, tuo pačiu slopintuvas apglėbtas spyruokle, kuri palaiko pakabą nustatytoje padėtyje bei grąžina į tą pačią padėtį po smūgio, nelygumų ar kitų kliūčių. Pagrindinis šio tipo pakabos privalumas yra standumas bei puikus vairuotojui teikiamas kelio pojūtis, kadangi svirtis tvirtinama kuo arčiau priekinio rato, todėl dėl susidarancio didelio peties tarp tvirtinimo elementų bei mažo peties nuo jėgos pridėjimo vietos, gaunama standi ir lengva konstrukcija. Lengvumas išgaunamas mažinant teleskopinių vamzdžių skersmenis, tai leidžia tvirtinimo vietų pakeitimas nuo tradicinių teleskopinių amortizatorių pakabos tvirtinimo vietų. Pasak gamintojų šios pakabos nespyruokliuojama masė mažesnė nei tradicinės pakabos. Šis tipas naudojamas didesnio variklio darbinio tūrio bei masės kelioniniuose motocikluose dėl lengvesnio vairavimo mažais važiavimo greičiais, tačiau lengvesniuose bei sportiniuose motocikluose neprigijo dėl papildomos masės bei nepakankamo kelio pojūčio teikiamo vairuotojui esant didesniai motociklo palinkimo kampui posūkio metu.



5 pav. „BMW“ korporacijos patentuota „Telelever“ pakaba [9]

## 1.2. Esami galinių motociklų važiuoklių tipai

### 1.2.1. Svirtis iš vienos pusės rato

Svirtis rėme tvirtinama guoliais, ratas apgaubiamas iš vienos pusės bei įprastai naudojamas tik vienas virpesių slopintuvas. Šiais laikais vienpusė svirtis naudojama motoroleriuose, motocikluose su kardanine pavara arba dėl estetikos. Virpesių slopintuvas daugumoje atvejų su spyruokle montuojamas kaip vienas elementas bei gali būti tvirtinamas prie pat svirties ir rėmo tvirtinimo per vidurį arba bet kurioje svirties vietoje netoli rato. Šis pakabos tipas nenaudojamas bekelės technikoje bei bet kurioje sportinėje technikoje dėl standumo trūkumo iš pačios konstrukcijos, nes norimą standumą galima pasiekti tik naudojant daugiau medžiagos, tačiau tokiu atveju konstrukcija bereikalingai sunkinama, todėl panaudojus kitą tipą su mažesniu svoriu galima pasiekti tą patį standumą. Motoroleriuose ši pakaba naudojama, nes kaip svirtis panaudojamas variklis su variatoriumi, taip sutaupant vietos, nors ir stipriai nukenčia pakabos darbas dėl didelės nespnyruokliuojamos masės. Motocikluose su kardaniniu veleno šis tipas naudojamas su tikslu, jog viduje svirties galima paslėpti kardaninį veleną. Itališki motociklai kaip „Ducati“, „MV Augusta“ vienpusę svirtį naudoja dėl estetikos, išskirtinumo ir įdomesnės išvaizdos.



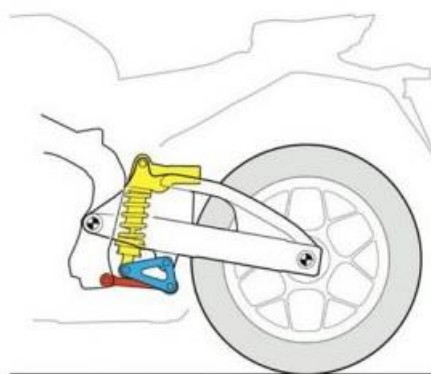
6 pav. Vienpusės svirties pavyzdys [10]

### 1.2.2. Dvipusė svirtis

Plačiausiai naudojama galinės pakabos konstrukcija yra dvipusė svirtis, kuri kaip ir vienpusė, ši rėme tvirtinama guoliais, vienintelis skirtumas yra, jog svirtis iš abiejų pusių tvirtiną ratą jį apglėbdama. Techninių parametrų atžvilgiu beveik visomis kryptimis šis pakabos tipas yra standesnis bei teikia geresnį pojūtį vairuotojui, todėl naudojama visuose motociklų sporto šakose. Galinio amortizatoriaus tvirtinimas galimas keturiais atvejais:

- vienas virpesių slopintuvas tiesiogiai prie svirties netoli rėmo tvirtinimo;
- vienas virpesių slopintuvas netoli rato ašies;
- vienas virpesių slopintuvas netoli rėmo tvirtinimo per trauklių sistemą;
- du virpesių slopintuvai iš skirtingų pusių aplink ratą tiesiai į svirtį.

Pirmasis tvirtinimas, kuomet slopintuvas tvirtinamas tiesiai prie svirties netoli nutolęs nuo rėmo naudojamas gana retai, kadangi reikalauja didelio svirties standumo dėl didelio lenkimo momento peties tarp tvirtinimo ir jėgos veikimo, be to tokioje tvirtinimo pozicijoje galima tik maža amortizatoriaus eiga, todėl šio tipo vengiama. Tvirtinimas prie svirties naudojant vieną slopintuvą netoli rato bene paprasčiausias ir seniausias tipas, šiuo metu nenaudojamas dėl to, jog yra reikalaujamas nemažas svirties standumas, nes tvirtinimas tik vienoje pusėje, tačiau tai pats paprasčiausias ir pigiausias būdas. Šiuo metu populiariausias tvirtinimo būdas yra amortizatoriaus tvirtinimas per traukučių sistemą, šis būdas tobulesnis, kadangi galima išgauti didelę pakabos eigą, lengva reguliuoti aukštį. Šis konstrukcijos tipas tinkamai parinkus trauklių ilgį gali turėti progresinę judesio slopinimo bei standumo kreivę, todėl nuo seno naudojama bekelės technikoje bei motocikluose, kurie orientuoti turėti geriausias pakabos darbo bei valdomumo savybes [19]. Traukučių sistema su kitais elementais tvirtinama sferinių arba rutulinių, cilindrinų guolių pagalba, todėl reikalauja priežiūros bei remonto, tačiau kiti privalumai tai atperka.



**7 pav.** Galinės pakabos virpesių slopintuvo tvirtinimo per trauklių sistemą pavyzdys [11]

Vienas iš galinės pakabos tipų pradininkų yra dvipusė svirtis su dviem virpesių slopintuvais tvirtinamais netoli rato ašies abiejose svirties pusėse, toks būdas nereikalauja labai standžių svirčių, kadangi tvirtinimo taškai du ir jie netoli nuo jėgos pridėjimo vietos. Trūkumai yra, jog du virpesių slopintuvai apsunkina konstrukciją, be to dviejų amortizatorių aptarnavimai bei remontas yra brangūs, o netinkamai prižiūrėti slopintuvai gali kelti valdymo problemų dėl netolygaus išdilimo paveiktų slopinimo charakteristikų.

### **1.3. Tiriamosios pakabos elementai**

Šiuolaikiniai motociklai naudoja elementus kuriančius kuo mažesnę pasipriešinimą judėjimui, todėl skirtingose vietose naudojami skirtingo tipo guoliai. Rėmas su virpesių slopintuvu tvirtinamas naudojant sferinį guolį, visuose kituose pakabos sujungimuose naudojami adatiniai guoliai dengti rieboškiais, eksploatacijoje laikui pailginti apsaugant nuo aplinkos veiksnių. Adatiniai guoliai pasirinkti ne atsitiktinai, o todėl, kad siūlo didžiausią sąlyčio plotą, todėl gali patirti didesnes apkrovas bei ilgiau laikyti. Nors ir stengiamasi visais įmanomais būdais pailginti priežiūros laiką, tačiau mazgai vis vien sukurti, jog būtų galima lengvai remontuoti, tai yra guoliai, rieboškiai ir ašys lengvai keičiami bei gamintojo nurodytais intervalais tepami tam skirtais konsistenciniais tepalais, atspariais drėgmei.



**8 pav.** Sferinio guolio pavyzdys [12]

Galinės pakabos svirtis liejimo būdu pagaminta iš aliuminio, kadangi tai bekelės technika, todėl ji yra dvipusė su amortizatoriaus tvirtinimu per traukių sistemą. Svirtis prie rėmo tvirtinama adatiniais guoliais, todėl gali laisvai judėti.

Traukių sistemą sudaro tarpinė svirtis, kuri tvirtinama prie amortizatoriaus apačios, traukutės bei pagrindinės svirties, visi elementai jungiami adatiniais guoliais, sandarinami riebokšliais, korpusai išlieti iš aliuminio

Motociklo ratlankis aliuminis, su aliuminine stebule sujungtas plieniniais stipiniais, tokia konstrukcija naudojama, nes gali laisviau tampriai deformuotis elementam nesuyrant, patiriant bekelėje dažnai aptinkamus nelygumus bei kliūtis. Ant ratlankio sumontuota bekelės tipo padanga 140/80 R18 matmenų.

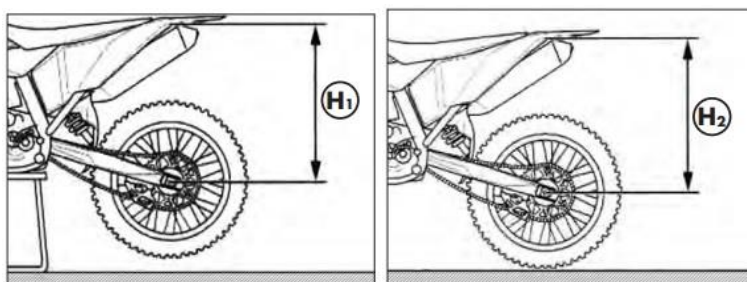
Galinėje pakaboje virpesių slopintuvas apglėbtas cilindrine spyruokle sudaro vieną, gana sudėtingą elementą. Šios dalies paskirtis yra slopinti smūgius, patiriamus motociklo rate bei atstatyti ir palaikyti reikiamą motociklo aukštį, tai yra reikiamą pakabos eigą [24]. Spyruoklės keičiamos ir galimos skirtingų standumų, pritaikomos pagal naudotojo svorį bei norus, bei gali būti suveržiama, taip suteikiant pradinę spyruoklės įvaržą bei standumą.



**9 pav.** Galinės pakabos deformuojamo elemento palaikančio motociklo aukštį pavyzdys [13]

Spyruoklės standumas matuojamas N/mm, tai nurodo kiek N jėgos reikia spyruoklei nuspausti 1 mm. Žemiau pateikiama kaip teisingai išmatuoti pakabos reikšmingus atstumus reikalingus tinkamam spyruoklės standumui parinkti:

1. motociklo ratai privalo būti ore, tuomet matuojamas atstumas nuo tam tikros rėmo vietos ir rato ašies;
2. motociklas laisvai pastatomas be jokio papildomo svorio stovėti ant ratų, tuomet tarp tų pačių taškų kartojamas matavimas;
3. matavimas atliekamas dar kartą tik šiuo atveju ant motociklo važiavimo pozicijoje stovi vairuotojas apsivilkęs pilną ekipuotę.

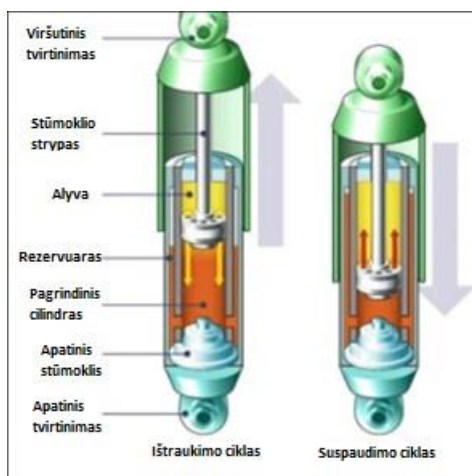


**10 pav.** Reikšmingų atstumų matavimo pavyzdys [14]

Atlikus matavimus reikia tarpusavyje palyginti rezultatus, idealiu atveju tarp pirmojo ir antrojo matavimo skirtumas turėtų sudaryti 10 % visos pakabos eigos, tarp antrojo ir trečiojo skirtumas turėtų būti apie trečdalį visos pakabos eigos. Jeigu skirtumai didesni, tuomet spyruoklę reikia įveržti, nepavykstant pakliūti į rekomenduojamus skirtumus tarp matavimų, spyruoklė keičiama standesne. Rezultatų skirtumams esant mažesniems, spyruoklės įveržimas mažinamas arba spyruoklė keičiama mažiau standžia.

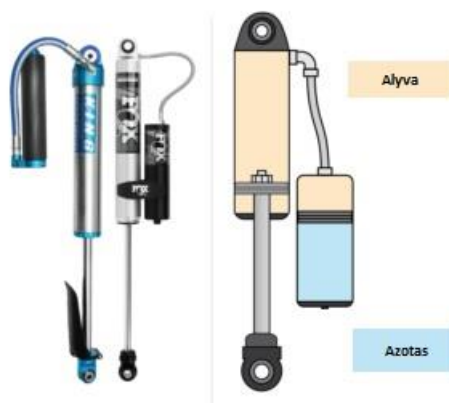
Šiuo metu geriausių savybių slopintuvai išskiriami trijų tipų:

1. Virpesių slopintuvas be azoto, kuriame alyva ir oras maišosi tarpusavyje. Paprastas ir pigus slopintuvas naudojamas paprastesniuose motocikluose, kuriuose valdomumas nėra svarbiausias, reguliuojamas tik vienas parametras, tai yra amortizatoriaus išsitraukimo slopinimo jėga. Vidaus sandarą sudaro keletas cilindrinų vamzdžių bei pagrindinis stūmoklis, kuris atlieka slopinimo funkciją alyvai tekant pro kalibruotas skylutes arba išlenkiant plienines plokšteles [26].



**11 pav.** Pirmojo slopintuvo tipo pavyzdys [15]

2. Virpesių slopintuvas su išoriniu azoto rezervuaru, šioje konstrukcijoje alyva su oru ir azotu nesimaišo. Šie amortizatoriai teikia puikias ir stabilias, mažai nuo temperatūros kintančias slopinimo charakteristikas, todėl dažnai naudojami sporte bei technikoje, kuriuose yra svarbus geras ir lengvai reguliuojamas virpesių slopinimas. Pagrindiniame korpuse alyvoje slankioja stūmoklis, kurio funkcija yra slopinti pakabos judesius abiem kryptimis panaudojant metalinių plokštelių rinkinį. Alyva iš pagrindinio korpuso per lanksčią žarnelę susisiekiama su išoriniu rezervuaru, neretai viename ar kitame žarnelės gale yra sumontuotas vožtuvas su plokštelių rinkiniu slopinančiu greitą slopintuvo suspaudimą, tokie amortizatoriai turi galimybę reguliuoti didelio greičio suspaudimo slopinimą. Išoriniame rezervuare įmontuotas laisvai judantis aliuminis stūmoklis su sandarinimo žiedais, kuris atskiria alyvą ir azotą. Azotas sistemoje suslegiamas apie 10 bar slėgiu, jo funkcija yra sumažinti alyvoje kavitaciją atsirandančią stūmokliui judant dideliu greičiu, kadangi nesuslėgtoje alyvoje vis dažniau pasireiškia kavitacija. Azoto dujos panaudotos dėl slėgio stabilumo tame pačiame tūryje kylant temperatūrai.



**12 pav.** Amortizatoriaus su išoriniu rezervuaru pavyzdys [16]

3. Trečiasis virpesių slopintuvo tipas konstrukcijos prasme labai panašus į antrąjį, kadangi alyva su azotu nesimaišo ir yra atskirti, tačiau atskirymui naudojamas ne aliuminis stūmoklis, o guminė membrana. Šiuo amortizatoriumi galime pasiekti geresnes slopinimo charakteristikas esant dideliems virpesių dažniams, kadangi membranos inertiškumas yra mažesnis nei stūmoklio, todėl greitu stūmoklio judėjimo atveju alyvos judėjimas netrukdomas inercinių jėgų. Trūkumas šio tipo yra, jog membrana nėra tokia ilgaamžiška ir dėl nuolatinių deformacijų išvargina medžiaga, todėl ji išyra ir reikalauja remonto.



**13 pav.** Slopintuvo, kuriame azotas ir alyva atskirti membrana pavyzdys [17]

Amortizatoriaus pagrindinį slopinimo stūmoklį sudaro slankiojantis strypas, ant kurio montuojamas plokštelių rinkinys suspaudimo slopinimui, stūmoklis su ertmėmis atskiriančiomis suspaudimo ir grįžimo slopinimo alyvos tekėjimo srautus, plokštelių rinkinys grįžimo slopinimui ir galiausiai viskas suveržiama veržle. Minėtasis slankiojantis strypas tiesiogiai arba proporcingai juda atitinkamai judant ratui. Stūmoklis pagrindiniame korpuse sandarinimas teflonine įvove [27], kurios tikslas yra sumažinti trintį tarp kūnų. Stūmoklyje be pagrindinių ertmių alyvos pratekėjimui pro plokšteles taip pat galima atrasti mažas kiaurai besimatančias skylutes, jų paskirtis yra mažais judėjimo greičiais praleisti nedidelį alyvos kiekį, kad pakaba patirtų mažesnius smūgius ir vartotojui suteiktų šiek tiek komforto numalšinant nereikšmingų kliūčių sukeltus smūgius.

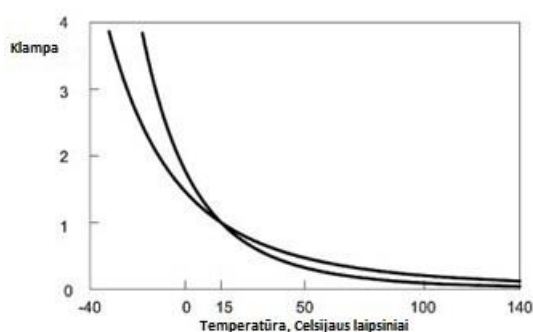


**14 pav.** Slopintuvo stūmoklio korpuso su teflonine įvove pavyzdys [18]

Mažo greičio stūmoklio judėjimą galima reguliuoti panaudojant kūgio formos adata su kuria laisvajį pratekėjimo kanalą priveriame arba atidarome, taip reguliuojamas pratekamas alyvos debitas, tuo pačiu virpesių slopintuvo reakcija į mažus nelygumus.

Vienas pagrindinių virpesių slopintuvo veikimo charakteristiką keičiančių veiksnių yra alyvos klampa. Kaip jau buvo išsiaiškinta slopintuvas yra užpildytas alyva su kiek įmanoma mažiau oro, šiam tikslui neretai naudojama vakuumavimo įranga, ji naudojama ne tik trinties sumažinimui, tačiau ir dėl savo mažo spūdumo veikiant slėgiui, kuris įprastai būna ne didesnis nei 0,05 % vienam MPa [28]. Dėl pastarosios priežasties virpesių slopintuvų tyrimuose bei skaičiavimuose dažniausiai priimama, jog skystis yra visiškai nespūdas, atvirkščiai nei azoto ar deguonies dujos, kurios taip pat yra naudojamos slopintuvuose priklausomai nuo jų konstrukcijos. Alyva naudojama slopintuvuose yra skirtingų klampų priklausomai nuo slopintuvo konstrukcijos, jo panaudojimo paskirties bei prie kokios temperatūros amortizatorius yra naudojamas. Įprastai gamintojų pateikiamos dvi klamos reikšmės:

- klampa prie 40 °C matuojama mm<sup>2</sup>/s;
- klampa prie 100 °C matuojama mm<sup>2</sup>/s.



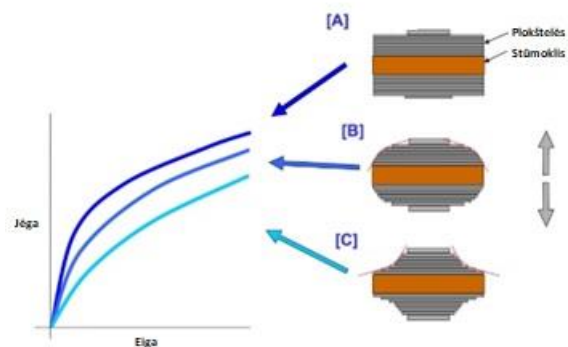
**15 pav.** Alyvos klamos pokytis keičiantis temperatūrai [28]

Pateikiamos dvi reikšmės, kad naudotojas galėtų pasirinkti jam priimtinesnę temperatūrinę klamos kitimo reikšmę, kadangi kiekvienas transporto priemonės valdytojas turi skirtingą pojūtį bei norus ir, žinoma, skirtingas važiavimo galimybes.

Vienas labiausiai virpesių slopintuvui kenkiančių veiksnių yra kavitacija, ji atsiranda kuomet įvyksta pernelyg didelis slėgio kritimas ir alyvoje susidaro burbuliukai (procesas panašus į virimą). Šis nepageidaujamas procesas yra glaudžiai susijęs su alyva bei jos klampa, kadangi nuo alyvos priemaišų, kokybės bei pernelyg mažos klamos alyvoje didėja kavitacijos atsiradimo rizika. Kavitacija išsiskiria aiškiu garsu, tarsi pro mažą skylutę tekėtų burbulai, kurie atlieka erozijos funkciją [36], gadindami slopintuvo vidinius elementus. Būdai kaip išvengti kavitacijos:

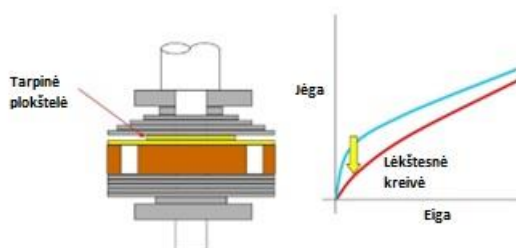
- tobulinti virpesių slopintuvo vidaus dizainą taip, kad nesusidarytų žemo slėgio taškai;
- didinti alyvos klampą ir keisti plokštelių rinkinį taip, kad sudarytų panašias pasipriešinimo charakteristikas [28];
- mažinti slopintuvo stūmoklio greitį (reiškinys pastebėtas atliktame bakalauro darbe, kuomet prie didesnių stūmoklio greičių atsirasdavo kavitacija);
- jei slopintuvo konstrukcija leidžia suslėgti alyvą didesniu slėgiu.

Atlikus bent vieną iš išvardintų veiksmų, sumažinama kavitacijos atsiradimo grėsmė, kuri dažniausiai būdinga tik labai prastos kokybės arba sportiniuose slopintuvuose esant dideliems stūmoklio judėjimo greičiams (>0,2 m/s<sup>2</sup>) [29].



**16 pav.** Plokštelių išdėstymo pavyzdžiai [23]

Paveiksle aukščiau galima matyti kaip plokštelių išdėstymas gali pakeisti slopintuvo slopinimo jėgos nuo poslinkio priklausomybę, dažniausiai motocikluose sutinkamas C pavyzdys, kadangi ši priklausomybė yra panašiausia į tiesinę [23].



**17 pav.** Plokštelių rinkinys su mažesne tarpine plokštele [23]

Plokštelių išdėstymą galima keisti ir įterpiančią mažesnio diametro plokštelę, taip keičiant slopinimo charakteristikų kreivę, ją padarant lėkštesne [23].

## 2. Tyrimas

### 2.1. Tyrime naudojamas motociklas

Natūriniam tyrimui atlikti naudojamas 2013 metų gamybos bekelės motociklas Beta RR250. Šis motociklas yra registruotas Lietuvoje ir atitinka visus LR keliamus reikalavimus norint naudoti jį viešuose keliuose, nors ir pagrindinė šios transporto priemonės paskirtis yra važiavimas bekele. Pagrindinės specifikacijos pateikiamos lentelėje žemiau.

**1 lentelė.** Pagrindinės motociklo specifikacijos [33]

Gamintojas	Beta
Modelis	RR250
Pagaminimo metai	2013
Variklis	250 cm <sup>3</sup> , dvitaktis su mechaniškai valdoma išmetimo kameros sklende, aušinamas vandeniu
Galia	7 kW
Pavarų skaičius	6
Parengtos eksploatuoti transporto priemonės masė	114 kg
Masės pasiskirstymas (priekis/galas)	48/52
Galinės padangos išmatavimai	140/80 R18
Priekinės padangos išmatavimai	90/90 R21
Galinės pakabos spyruoklės standumas	5,5 kg/mm
Priekinės pakabos spyruoklės standumas	0,42 kg/mm
Bazė	1482 mm
Galinės važiuoklės tipas	Dvipusė svirtis su slopintuvo tvirtinimu per trauklių sistemą
Priekinės važiuoklės tipas	Teleskopinių vamzdžių sistema



**18 pav.** Beta RR250 motociklo pavyzdys [38]

Laboratoriniuose bandymuose stendo pagalba tiriamas galinis motociklo virpesių slopintuvas, svarbiausi parametrai pateikti žemiau:

- virpesių slopintuvas su standžia jungtimi prijungtu azoto dujų talpa;
- azoto slėgis talpoje 12 bar;
- alyvos kiekis slopintuve 380 ml;
- 38 ištraukimo slopinimo reguliatoriaus padėčių;
- 30 lėto suspaudimo slopinimo reguliatoriaus padėčių;
- 24 greito suspaudimo slopinimo reguliatoriaus padėčių.

Tiriamasis motociklas yra techniškai tvarkingas bei aptarnaujamas pagal gamintojo rekomendacijas.

## 2.2. Laboratorinio bandymo stendas

Amortizatoriaus slopinimo jėgoms iširti yra naudojamas universiteto turimas dinamometrinis stendas „SPA BTP 2000“. Šis stendas veikia 50 mm amplitude slankiojant apačioje esančiam stūmokliui, viršuje sumontuotas jėgos jutiklis tyrimo metu patiriamas spaudimo bei gniuždymo jėgos reikšmės perteikia į kompiuterinę programą. Įrangoje fiksuojamos reikšmės yra eiga, dažnis, stūmoklio judėjimo greitis, temperatūra bei jėga.

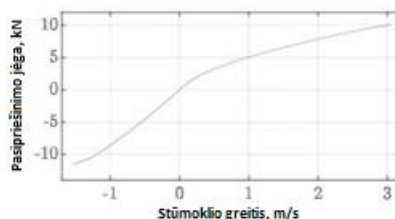


**19 pav.** Bandymų stendas [21]

Bandymo stendo jėgos jutiklio matavimo ribos nuo -15 iki 15 kN su absoliutine paklaida iki  $\pm 75$  N bei  $\pm 3$  N pakartojamumo paklaida, didžiausias stūmoklio linijinis judėjimo greitis 0,95 m/s. Bandinių įtvirtinimui naudojamos metrinės srieginės jungtys M16, atstumas tarp tvirtinimų reguliuojamas ir gali būti iki 100 mm.

### 2.3. Tvirtinimų į bandymo stendą parinkimas

Amortizatoriaus slopinimo jėga priklausomai nuo stūmoklio judėjimo greičio keičiasi proporcingai, todėl kuo didesnis stūmoklio judėjimo greitis, tuo stipriau slopintuvas tam priešinsis. Didžiausias bandymų stendo stūmoklio greitis nesiekia 1 m/s, todėl atsižvelgdami į 2020 metų anglų bei austro atliktą bekelės motociklo pakabos tyrimą galima matyti, jog pasipriešinimo jėga turėtų būti apie 5 kN [22]:



20 pav. Galinio bekelės motociklo amortizatoriaus pasipriešinimo jėgos [22]

Atliktame bakalauriniame darbe buvo gautos kiek mažesnės reikšmės (2,5 kN), tikėtina dėl motociklo naudojimo paskirties, kadangi šis tiriamas motociklas nėra skirtas motokrosui, o tik važiavimui bekele. Tačiau bet kuriuo atveju bakalauriniame darbe sukurti aliuminiai tvirtinimai yra apskaičiuoti, kad atlaikytų 5 kN jėgą, įvertinant metalo stiprumą, sriegines jungtis bei varžtų kirpimą, visi skaičiavimai neparodė mažesnio nei 2 SF. Taigi, atsižvelgiant į tai, jog šis tiriamasis slopintuvas nei nepriartėjo prie 5 kN ribos, todėl galima naudoti tuos pačius tvirtinimus netgi jeigu slopintuvu bus planuojama išgauti didesnes slopinimo jėgas.



21 pav. Slopintuvas su sumontuotais tvirtinimais pažymėtais raudonai [asmeninis archyvas]

### 2.4. Alyvos klampos tyrimas

Šiame laboratoriniame bandyme buvo pasirinktos trys dažniausiai naudojamos alyvos galiniam virpesių slopintuvui. Gamintojai klampas neretai deklaruoja esant skirtingoms temperatūroms, matavimo standartams arba nedeklaruoja jokių verčių, kad tyrimas būtų kiek įmanoma tikslesnis minėtos alyvos tiriamos vienodomis sąlygomis ir sulyginamos tarpusavyje. Tyrimas atliekamas KTU laboratorijoje naudojant tyrimų stendą „Brookfield DV-II+ Pro“, kuris yra rotorinis klampos tyrimo įtaisas. Šio tipo prietaisas vertes matuoja į tiriamąjį skystį įdėjus suklij, tuomet elektrinis variklis įsuka suklij ir matuoja skysčio pasipriešinimą suklio sukimuisi. Pagrindinės prietaiso charakteristikos [30]:

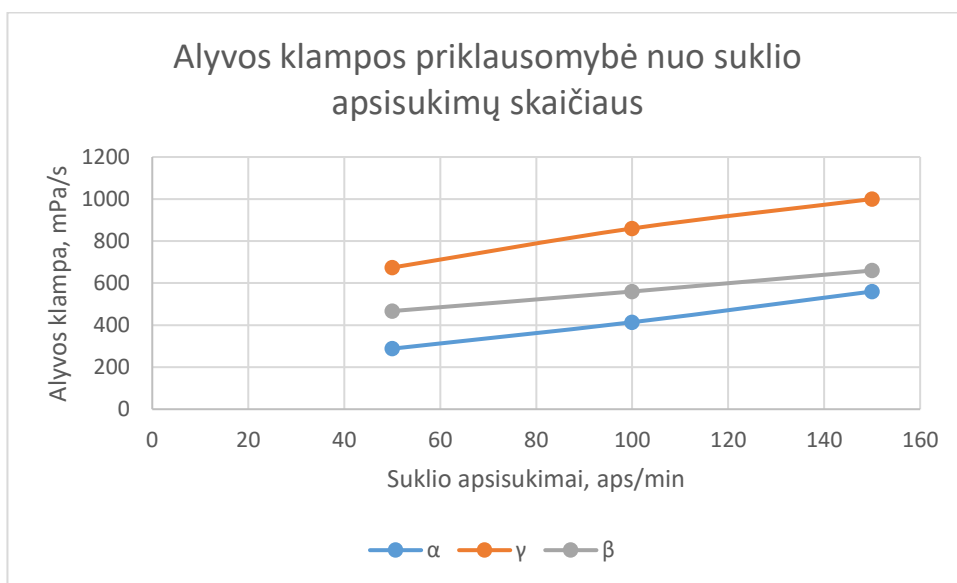
- suklio sukimosi reguliavimo ribos nuo 0,3 iki 100 aps/min.;
- klampos matavimo santykinė paklaida  $\pm 1,0\%$  visame matavimo diapazone;

- klamos matavimo rezultatų pakartojamumo paklaida  $\pm 0,2\%$  visame matavimo diapazone.



**22 pav.** Rotorinis skysčio klamos tyrimo stendas [asmeninis archyvas]

Atlikus alyvų klamos (skirtingos alyvos žymimos „ $\alpha$ “, „ $\beta$ “ ir „ $\gamma$ “ pavadinimais) bandymus prie skirtingų suklio apsisukimų skaičiaus, buvo gauti rezultatai matomi žemiau grafike:



**23 pav.** Alyvos klamos tyrimo rezultatai alyvai esant 18 °C

Galima matyti, jog priklausomai nuo rotoriaus apsisukimų skaičiaus alyvos klampos parametrai keičiasi, todėl iš turimų rezultatų yra apskaičiuojama kiekvienos alyvos vidutinė klampa, nepriklausomai nuo rotoriaus apsisukimų.

**2 lentelė.** Alyvos klampos palyginimas

Alyva	Vidutinė klampos reikšmė, mPas	Pokytis procentais nuo skystčiausios alyvos, %
$\alpha$	420,67 ± 4,21	-
$\beta$	562,33 ± 5,62	+33,67
$\gamma$	844,67 ± 8,45	+100,79

Susistemine duomenis galima pastebėti, jog tarp alyvų, joms esant 18 °C šilumos, matyti kardinalus jų klampos skirtumas. Skirtumų skaičiavimams alyva „ $\alpha$ “ yra lyginama su kitomis klampesnėmis alyvomis, todėl galima matyti, jog „ $\beta$ “ alyva yra apie 33 % klampesnė nei alyva „ $\alpha$ “, o alyva „ $\gamma$ “ netgi dvigubai klampesnė nei alyva „ $\alpha$ “.

## 2.5. Slopintuvo bandymai dinamometriniame stende

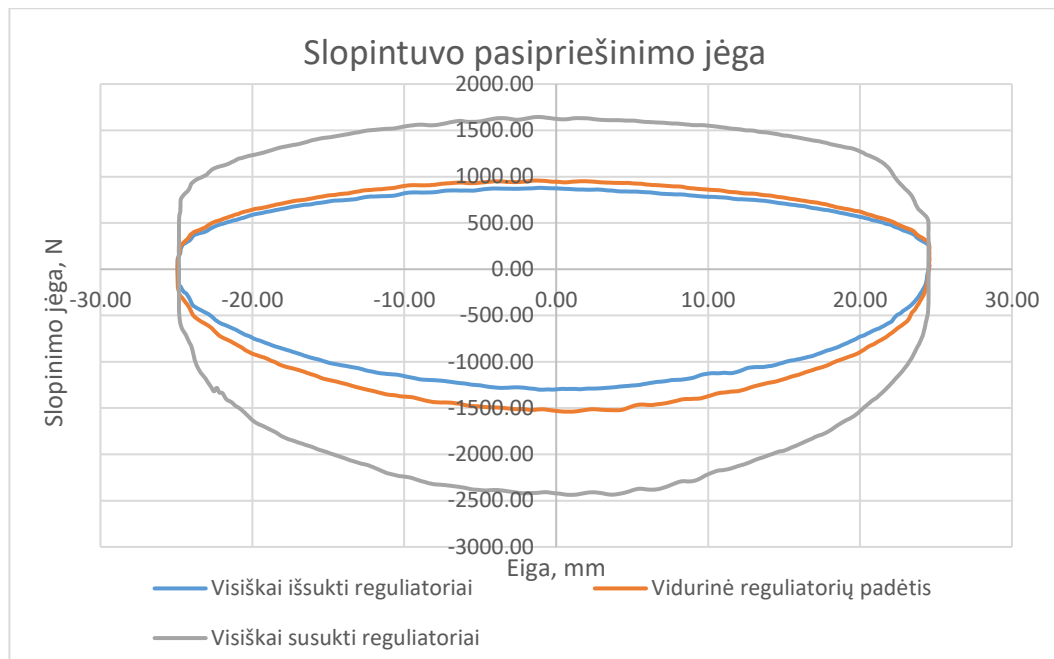
### 2.5.1. Nežinomos alyvos bandymas

Pirmasis bandymas dinamometriniame stende atliekamas amortizatoriui esant užpildytam su nežinoma alyva bei neatlikus jokių vidinių struktūros pakeitimų. Nors ir slopintuvo temperatūros pasikeitimai slopinimo jėgoms didelių pokyčių nesudaro [37], tačiau visų tyrimų metu palaikoma 40 – 50 °C temperatūra. Bandymai atliekami trimis skirtingais stūmoklio judėjimo dažniais:

- 2 Hz,
- 3 Hz,
- 4 Hz.

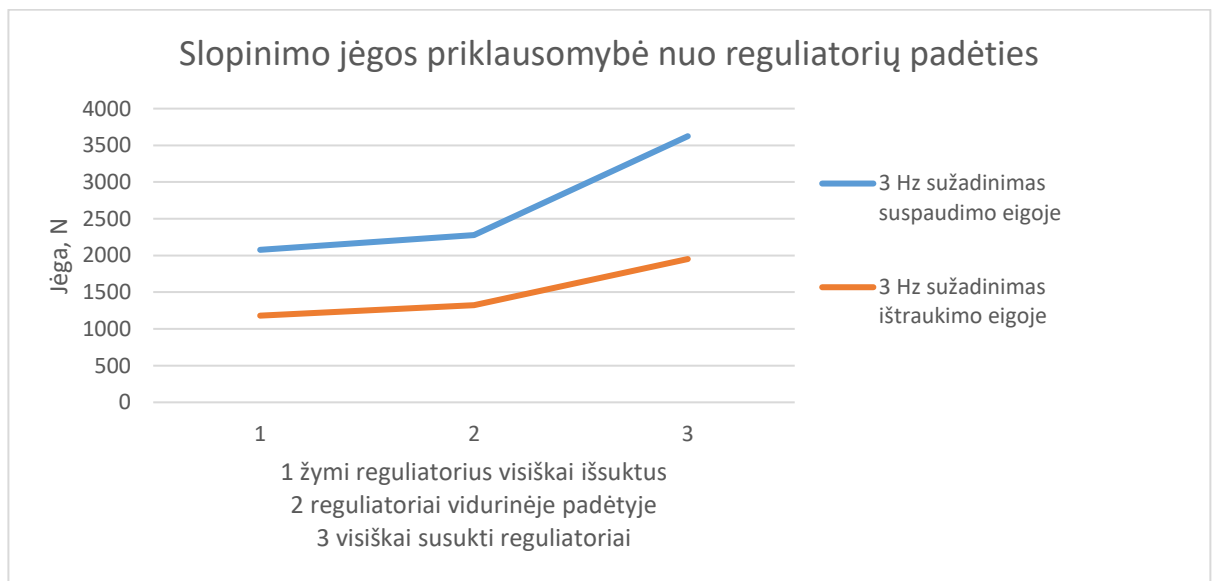
Taip pat bandymai atliekami keičiant rankinių reguliatorių reikšmes, iš viso yra trys reguliatoriai su skirtingais reguliavimo diapazonais, todėl atitinkamai reguliatorių derinimo diapazonai skirstomi į tris pagrindines padėtis:

- reguliatoriai visiškai išsukti;
- reguliatoriai susukti pusę reguliavimo diapazono;
- visiškai susukti reguliatoriai.



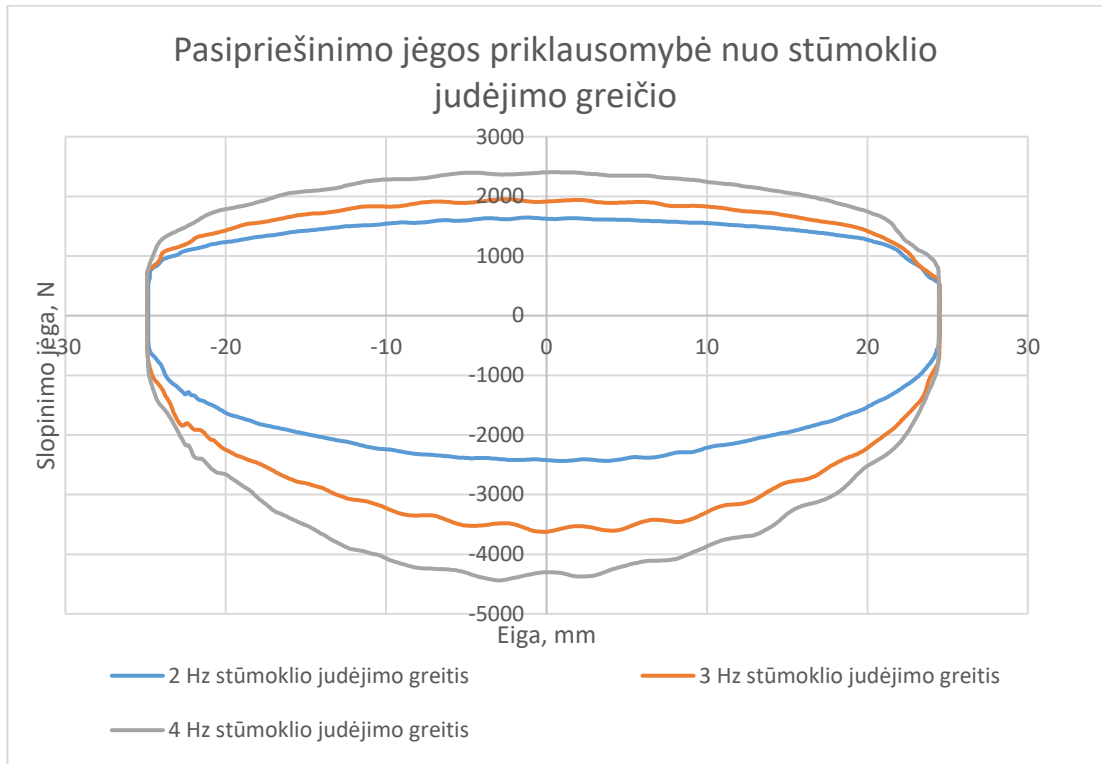
**24 pav.** Slopintuvo slopinimo jėgų palyginimas prie skirtingų reguliatorių padėčių esant 2 Hz stūmoklio judėjimo dažniui

Aukščiau esančiame grafike galima matyti, jog nors ir didžiausios pasiekiamos slopinimo jėgos skiriasi ženkliai, tačiau slopintuvo slopinimo jėgų kreivė priklausanti nuo eigos išlaiko labai panašią grafiko formą nepriklausomai nuo reguliatorių padėties.



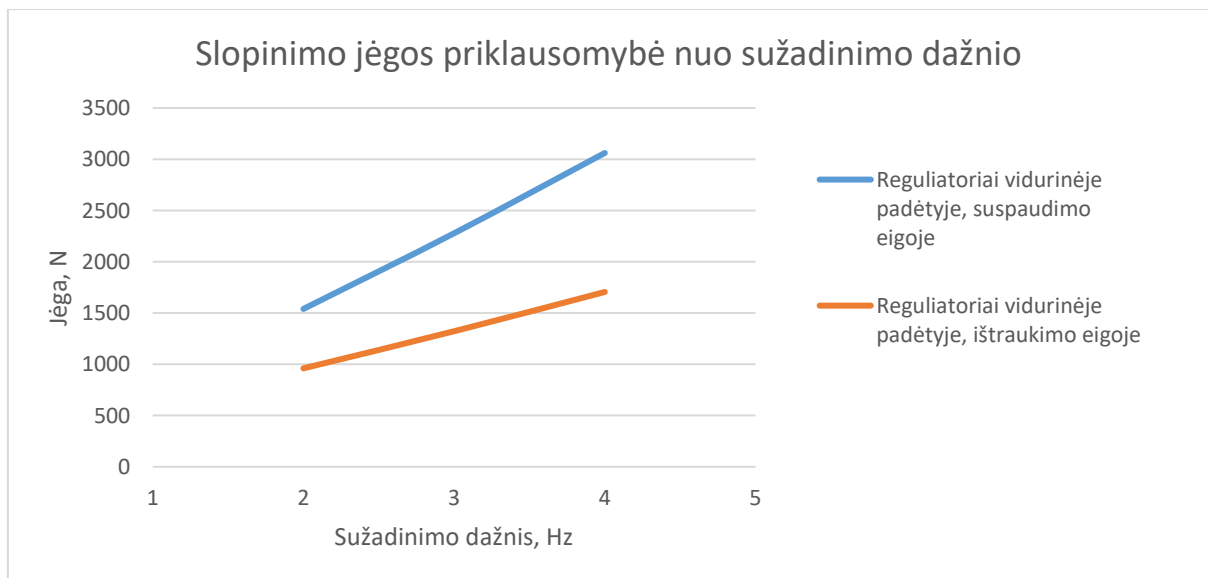
**25 pav.** Slopinimo jėgos priklausomybė nuo reguliatorių padėties veikiant 3 Hz sužadavimo dažniui

25 paveiksle galima matyti slopinimo jėgų skirtumus besikeičiant reguliatorių padėtimis. Galima pastebėti, jog reguliatorius įsukant gaunama eksponentiškai didėjanti jėga, kadangi reguliatorių įsukimas iki pusės reguliavimo diapazono rezultatus padidina apie 10%, o tolesnis reguliatorių derinimas prie visiškai įsuktų reguliatorių jėga padidina 65% ištraukimo cikle bei 74% slopintuvo suspaudimo metu. Paveiksle vaizduojamas jėgų pokytis nuo reguliatorių padėties esant 3 Hz sužadavimo dažniui, tačiau esant 2 Hz arba 4 Hz stūmoklio judėjimo dažniams grafikai išlieka labai panašūs, todėl pateikiami pirmajame priede.



**26 pav.** Slopintuvo slopinimo jėgų palyginimas prie skirtingų stūmoklio judėjimo greičių reguliatoriams esant pilnai įsuktiems

26 paveiksle galima matyti kaip keičiasi slopinimo jėga, keičiantis stūmoklio judėjimo dažniui, didžiausios pasiekiamos jėgos didėja proporcingai, grafiko forma taip pat išlieka identiška nepriklausomai nuo sužadinimo dažnio.

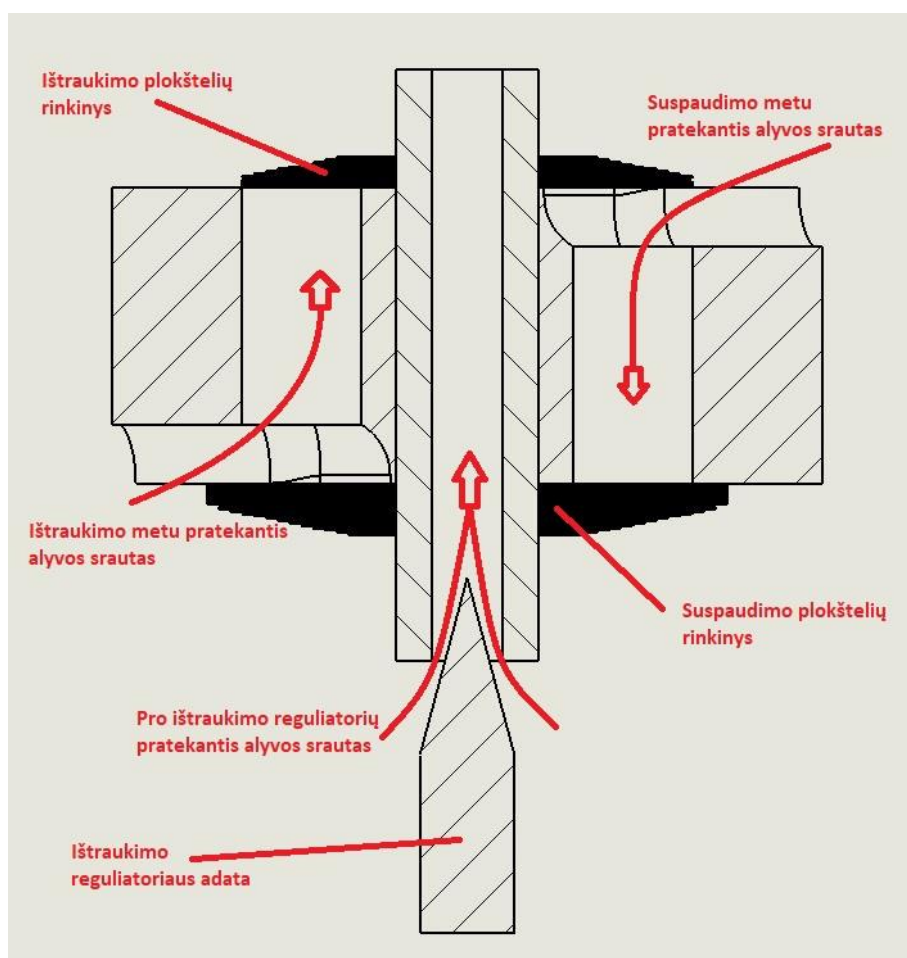


**27 pav.** Slopinimo jėgos priklausomybė nuo sužadinimo dažnio reguliatoriams esant vidurinėje reguliavimo padėtyje.

Žvelgiant į paveikslą esantį aukščiau galima daryti išvadą, jog slopintuvo slopinimo jėga didėja tiesiškai didėjant sužadinimo dažniui. Paveiksle pavaizduota jėgų priklausomybė reguliatoriam esant

vidurinėje padėtyje, kitomis padėtimis grafikai pateikiami antrame priede, kadangi priklausomybė išlieka identiška.

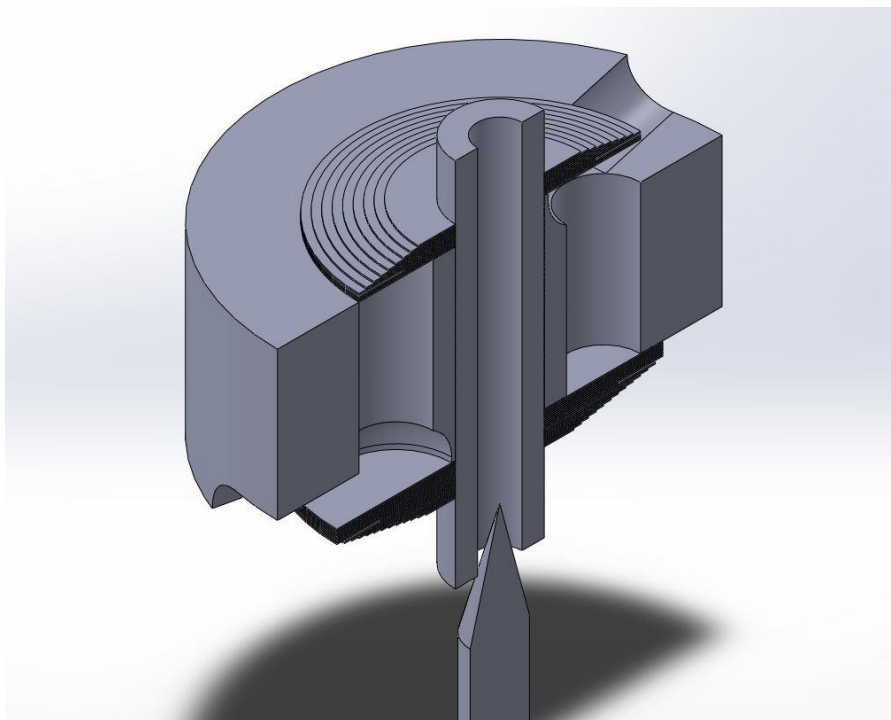
Apžvelgiant nežinomos alyvos virpesių slopintuvo bandymus galima teigti, jog tiriamasis objektas yra geros techninės būklės, grafikuose nematomi jokie akivaizdūs susidėvėjimo ženklai. Visais bandymais stūmoklio judėjimo greičiui didėjant, tiesiškai didėja ir slopinimo jėga, tuo tarpu naudojant reguliatorius pastebima, jog visais bandymais reguliatoriams artėjant prie standžiausių nustatymų, jėgos pradeda eksponentiškai didėti. Šis reiškinys nutinka todėl, kad reguliatoriai reguliuoja alyvos pratekėjimą pro angas laisvai praleidžiančias alyvą reguliatoriams esant visiškai išsuktiems, tačiau reguliatoriams esant visiškai susuktiems alyvos pratekėjimas pro minėtąsias ertmes yra pilnai uždaromas ir alyva praleidžiama tik pro plokštelių rinkinį. Principinė reguliavimo schema su paaiškinimu pateikiama paveiksle žemiau.



**28 pav.** Pagrindinio stūmoklio, plokštelių rinkinių bei ištraukimo reguliatoriaus parodomasis brėžinys [asmeninis archyvas]

Schemoje aukščiau pavaizduotas alyvos srautų tekėjimas ištraukimo bei suspaudimo atvejais, kadangi veikimo principas abiem kryptimis yra toks pats, todėl nagrinėjamas tik ištraukimo atvejis. Amortizatoriui po suspaudimo ilgėjant (išsitraukiant) alyva teka dviem kontūrais: pirmasis kontūras – tai laisvosios ertmės pro reguliatoriaus adatą, o antrasis srautas teka pro plokštelių rinkinį. Reguliatoriui esant visiškai įsuktam, alyvos srautas pro pirmąjį kontūrą nebeteka, todėl aukščiau atliekamas tyrimas parodo akivaizdų slopinimo jėgos padidėjimą, kadangi nėra laisvai pratekamų ertmių ir alyvos srautas privalo tekėti pro plokštelių rinkinį jas išlenkdamas. Reguliatorių išsukant pirmojo kontūro pratekėjimo skerspjūvis didėja, todėl alyva laisvai gali tekėti pro netrukdomą ertmę.

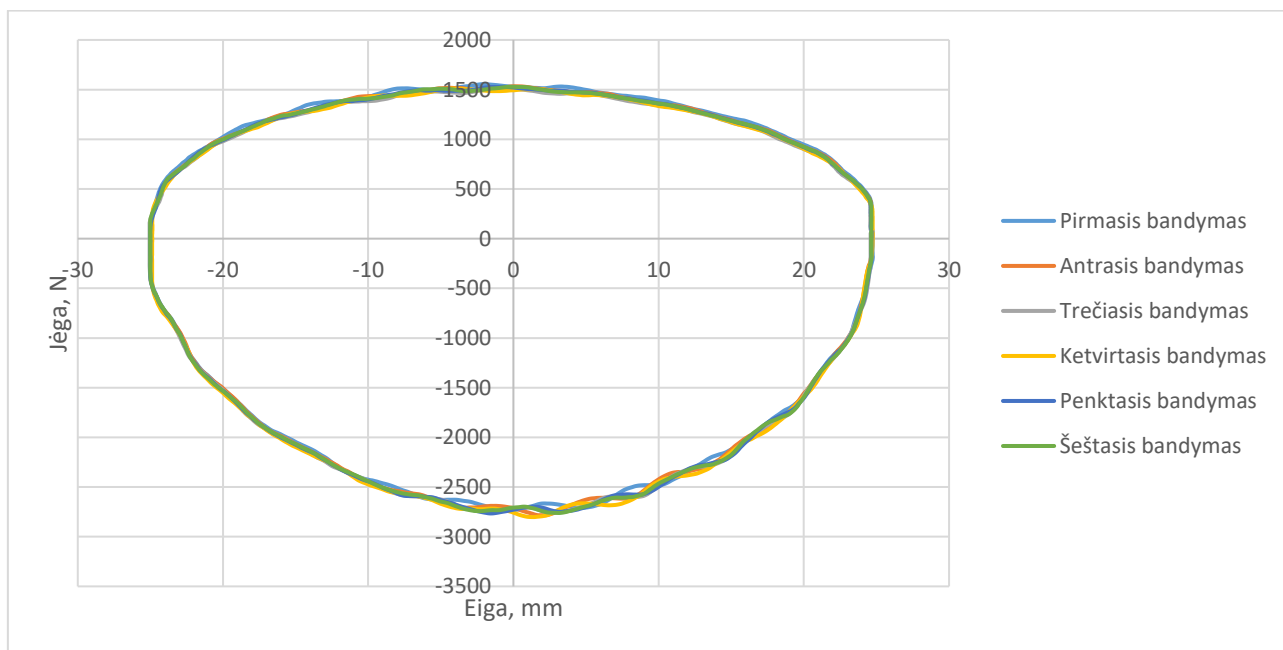
Didėjant stūmoklio judėjimo greičiui, kuomet pratekamo srauto pro reguliatorių neužtenka, alyva pradeda tekėti pro plokštelių rinkinį tam, kad būtų užtikrinamas reikiamas alyvos tekėjimo debitas. 3D modelio vaizdas paprastesniam supratimui pateikiamas 29 paveiksle.



29 pav. Stūmoklio, plokštelių rinkinių bei reguliatoriaus parodomasis modelis [asmeninis archyvas]

### 2.5.2. Dinamometrinio stendo bandymų tikslumo patikra

Norint išsiaiškinti ar dinamometrinio bandymų stendo pateikiami rezultatai yra pakankamai tikslūs ir lengvai atkartojami, tarp skirtingų bandymų buvo atliekami 6 vienodi bandymai tomis pačiomis sąlygomis, nekeičiant jokių slopintuvo parametrų tarp bandymų.



30 pav. Tikslumo patikra atliekama 4 Hz žadinimo dažniu bei visiškai išsuktais reguliatoriais

Jėgos priklausomybės nuo eigos grafikai 30 paveiksle yra identiškos formos, su nedideliais virpesių skirtumais didžiausiose jėgos reikšmėse. Atliekant šį bandymą buvo laikomasi tų pačių aplinkos sąlygų kaip ir visais kitais šio darbo bandymais stende, tai reiškia, jog slopintuvo temperatūra buvo 40 – 50 °C diapazone, tiriamasis objektas vienodai tvirtinamas bandymų stende bei matavimo rezultatai išsaugojami virpesių slopintuvui susvyravus vieną kartą. Didžiausios pasiektos jėgos kiekvieno matavimo metu pateikiamos lentelėje žemiau:

**3 lentelė.** Bandymų paklaidos lentelė

	Suspaudimo ciklas	Ištraukimo ciklas
1 bandymo jėga, N	2732,29 ± 75	1554,21 ± 75
2 bandymo jėga, N	2784,33 ± 75	1532,92 ± 75
3 bandymo jėga, N	2753,58 ± 75	1518,73 ± 75
4 bandymo jėga, N	2803,26 ± 75	1513,99 ± 75
5 bandymo jėga, N	2765,41 ± 75	1525,82 ± 75
6 bandymo jėga, N	2760,68 ± 75	1530,55 ± 75
Absoliutinis didžiausias skirtumas, N	70,97	40,22
Santykinis didžiausias skirtumas, %	2,57	2,63

Apskaičiavus didžiausius skirtumus tarp bandymų galima pastebėti, jog didžiausia reikšmė, tai yra 71 N, skirtumas nesiekia prietaiso matavimo paklaidos ± 75 N, todėl galima priimti išvadą, jog bandymai atkartojami pakankamai tiksliai, be didesnių nuokrypių ir yra tinkami palyginimui atliekant tolesnius virpesių slopintuvo pakitimus.

### 2.5.3. Alyvų palyginimas

Alyvos klamos tyrime galima pastebėti, kad skirtingų gamintojų alyvos turinčios tą pačią panaudojimo paskirtį parodo skirtingą klampą. Žinant, jog klampa yra svarbiausia alyvos charakteristika slopintuve, o prieš tai atliktame tyrime klampa tarp skirtingų bandinių skiriasi netgi dvigubai, todėl atliekamas slopintuvo pasipriešinimo jėgų tyrimas, naudojant skirtingas alyvas. Keičiant alyvą virpesių slopintuvus kruopščiai išvalomas ir sutepamas trinčiais atspariu tepalu tam, kad neužsiliktų senos alyvos likučių ir palyginimas būtų kiek įmanoma tikslesnis. Bandymai stende atliekami slopintuvui pasiekus darbinę temperatūrą, tai yra 40 – 50 °C.

**4 lentelė.** Slopintuvo pasipriešinimo suspaudimui jėgos, naudojant skirtingas alyvas ir regulatoriams esant visiškai išsuktiems

Žadinimo dažnis, Hz	Slopintuvo pasipriešinimo jėga su nežinoma alyva, N	Slopintuvo pasipriešinimo jėga su „α“ alyva, N	Slopintuvo pasipriešinimo jėga su „β“ alyva, N	Slopintuvo pasipriešinimo jėga su „γ“ alyva, N
2	1305,82 ± 75	1275,07 ± 75	1327,11 ± 75	1277,43 ± 75
Skirtumas tarp nežinomos ir žinomos alyvų, N	-	-30,75	21,29	-28,39
3	2077,01 ± 75	2036,80 ± 75	2081,74 ± 75	2114,86 ± 75
Skirtumas tarp nežinomos ir žinomos alyvų, N	-	-40,21	4,73	37,85

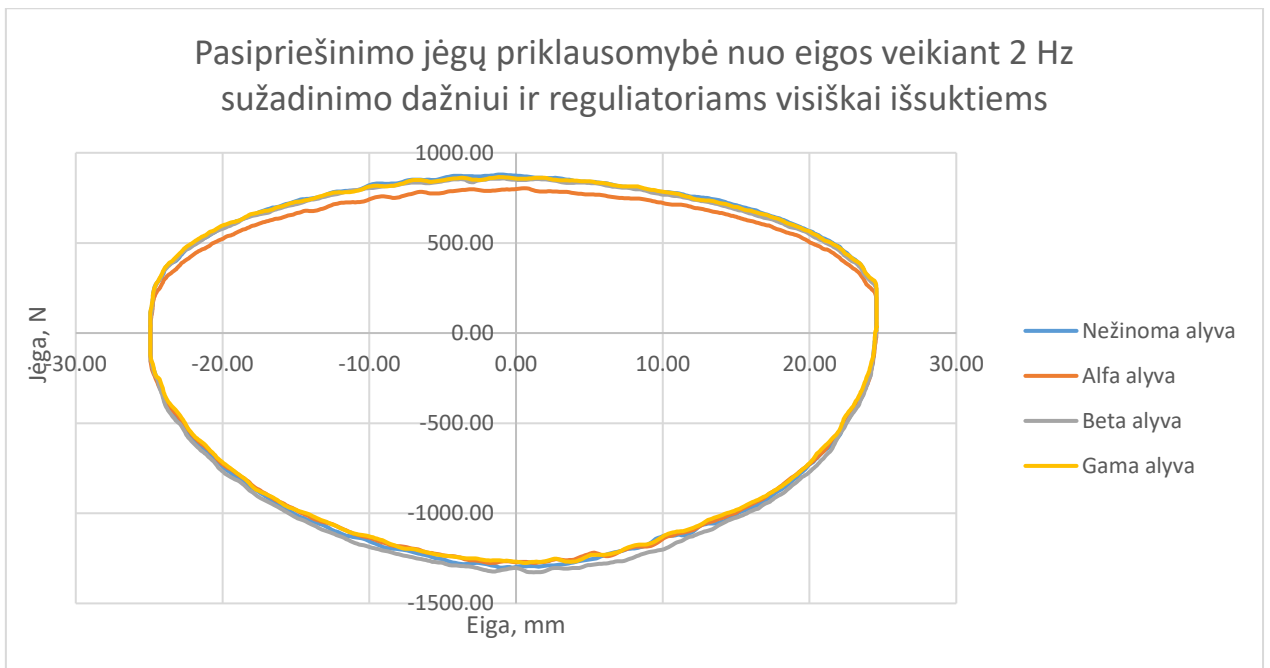
4	2732,29 ± 75	2751,21 ± 75	2800,89 ± 75	2817,45 ± 75
Skirtumas tarp nežinomos ir žinomos alyvų, N	-	18,92	68,6	85,16

Slopintuvo pasipriešinimo suspaudimui jėgos reikšmės reguliatoriams esant visiškai išsuktiems keičiantis alyvai kinta nedaug ir beveik visi pokyčiai nesiekia matavimo prietaiso paklaidos reikšmės, todėl šie pokyčiai gali būti paklaidos. Išsiskiria tik viena reikšmė, tai yra alyvos „γ“ reikšmė veikiant 4 Hz žadinimo dažniui, kuri pasiekia 85 N daugiau nei nežinoma alyva, iš šios reikšmės galima nuspėti, jog klampesnė alyva sukuria didesnę pasipriešinimą slopintuve esant didesniai žadinimo dažniui.

**5 lentelė.** Slopintuvo pasipriešinimo ištraukimui jėgos, naudojant skirtingas alyvas ir reguliatoriams esant visiškai išsuktiems

Žadinimo dažnis, Hz	Slopintuvo pasipriešinimo jėga su nežinoma alyva, N	Slopintuvo pasipriešinimo jėga su „α“ alyva, N	Slopintuvo pasipriešinimo jėga su „β“ alyva, N	Slopintuvo pasipriešinimo jėga su „γ“ alyva, N
2	880,01 ± 75	804,31 ± 75	858,72 ± 75	865,82 ± 75
Skirtumas tarp nežinomos ir žinomos alyvų, N	-	-75,7	-21,29	-14,19
3	1180,44 ± 75	1159,15 ± 75	1197 ± 75	1149,69 ± 75
Skirtumas tarp nežinomos ir žinomos alyvų, N	-	-21,29	16,56	-30,75
4	1554,21 ± 75	1490,34 ± 75	1537,65 ± 75	1483,24 ± 75
Skirtumas tarp nežinomos ir žinomos alyvų, N	-	-63,87	-16,56	-70,97

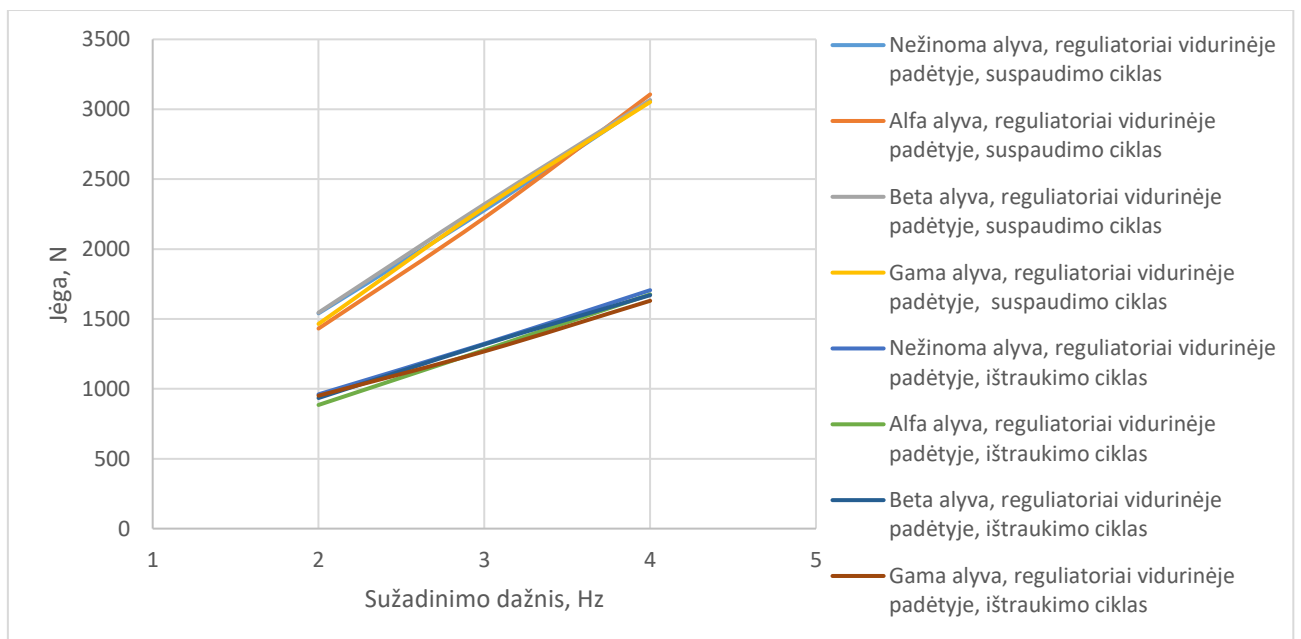
Virpesių slopintuvo pasipriešinimo ištraukimui didžiausios pasiektos jėgos reguliatoriams esant visiškai išsuktiems neviršija prietaiso matavimo paklaidos bei nematomas joks dėsningumas tarp slopintuvo naudojančio skirtingas alyvas. Skirtingomis alyvomis užpildytų slopintuvų jėgų palyginimai vidurinėje bei standžiausioje reguliatorių padėtyje suspaudimo bei ištraukimo atvejais nenagrinėjami, kadangi nėra pastebėta kardinalių skirtumų bei priklausomybių, todėl šie grafikai pateikiami 3 priede.



**31 pav.** Pasipriešinimo jėgų priklausomybė nuo eigos veikiant 2 Hz sužadinimo dažniui ir reguliatoriams visiškai išsuktiems

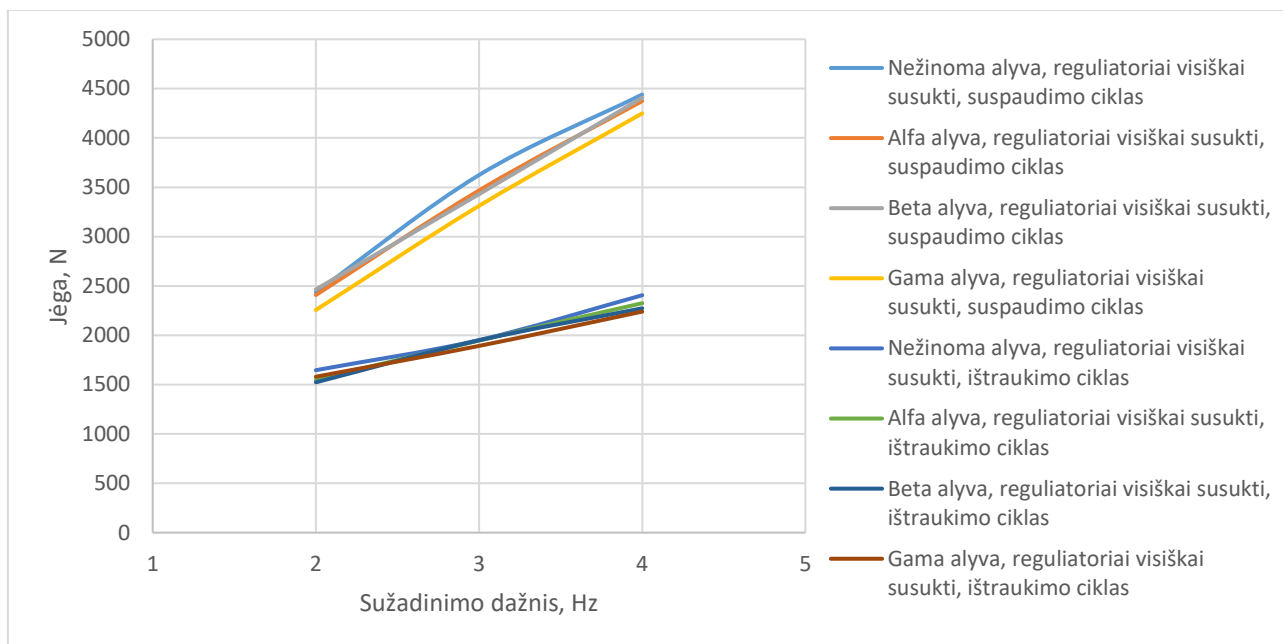
Pasipriešinimo jėgų nuo poslinkio grafike veikiant 2 Hz sužadinimo dažniui bei reguliatoriams nustatytiems minkščiausioje padėtyje galima pastebėti, jog tarp skirtingų alyvų didžiausios reikšmės kinta labai nežymiai bei nepriklauso nuo alyvos klampos. Grafiko kreivės naudojant skirtingas alyvas identiškios, todėl atsižvelgiant į 4 ir 5 lenteles galima teigti, jog reguliatoriams esant pilnai išsuktiems nematomas joks akivaizdus bei dėsningas pasipriešinimo jėgų pokytis.

Atsižvelgiant į aukščiau atliktą analizę, kad jokio akivaizdaus jėgų pokyčio reguliatoriams esant visiškai susuktiems keičiant alyvą nėra, virpesių slopintuvo didžiausių pasiekiamų pasipriešinimo jėgų grafikas reguliatoriams esant vidurinėje padėtyje pateikiamas supaprastintai 30 paveiksle.



**32 pav.** Slopintuvo pasipriešinimo jėgos poslinkiui priklausomybė nuo sužadinimo dažnio reguliatoriams nustatytiems vidurinėje padėtyje

Paveiksle esančiame aukščiau galima pastebėti, jog akivaizdaus jėgų pokyčio naudojant skirtingas alyvas nėra netgi įvertinant, jog naudojami trys skirtingi stūmoklio judėjimo greičiai bei skirtingi jėgų diapazonai suspaudimo bei ištraukimo cikluose.



**33 pav.** Slopintuvo pasipriešinimo jėgos poslinkiui priklausomybė nuo sužadavimo dažnio reguliatoriams nustatytiems visiškai susuktiems (standžiausias nustatymas)

Atlikdami slopintuvo pasipriešinimo jėgų palyginimą keičiant alyvą, reguliatoriams esant nustatytiems standžiausiam nustatyme, galima pastebėti, kad alyva „ $\gamma$ “ užpildytas slopintuvas suspaudimo cikle išsiskiria iš virpesių slopintuvų užpildytų kitomis alyvomis generuodamas mažiausią pasipriešinimą (vidutiniškai 144 N mažesnę jėgą) visuose sužadavimo dažniuose suspaudimo cikle. Alyva „ $\gamma$ “ yra klampiausia iš visų bandyme naudojamų alyvų, o kaip žinoma klampa yra skysčio savybė priešintis formos pokyčiui [32], todėl prielaida, jog klampa didina slopinimo jėgą yra nepatvirtinama. Šiuo atveju trečiąja alyva užpildyto slopintuvo pasipriešinimo jėgų pamažėjimas galėjo atsirasti dėl paklaidos, matavimo metodikos nesilaikymo arba nešvarumų atsiradusių alyvos keitimo metu. Pastaroji paklaidos atsiradimo priežastis yra labiausiai tikėtina, kadangi slopintuvo ištraukimo cikle nematome jokių išskirtinimų, todėl labiausiai tikėtina, kad virpesių plokštelių rinkinyje slopinančiame suspaudimo smūgius, atsirado smėlio krislelis arba kitas smulkus kūnas, kuris neleido plokštelėms pilnu plotu uždengti stūmoklio ertmių.

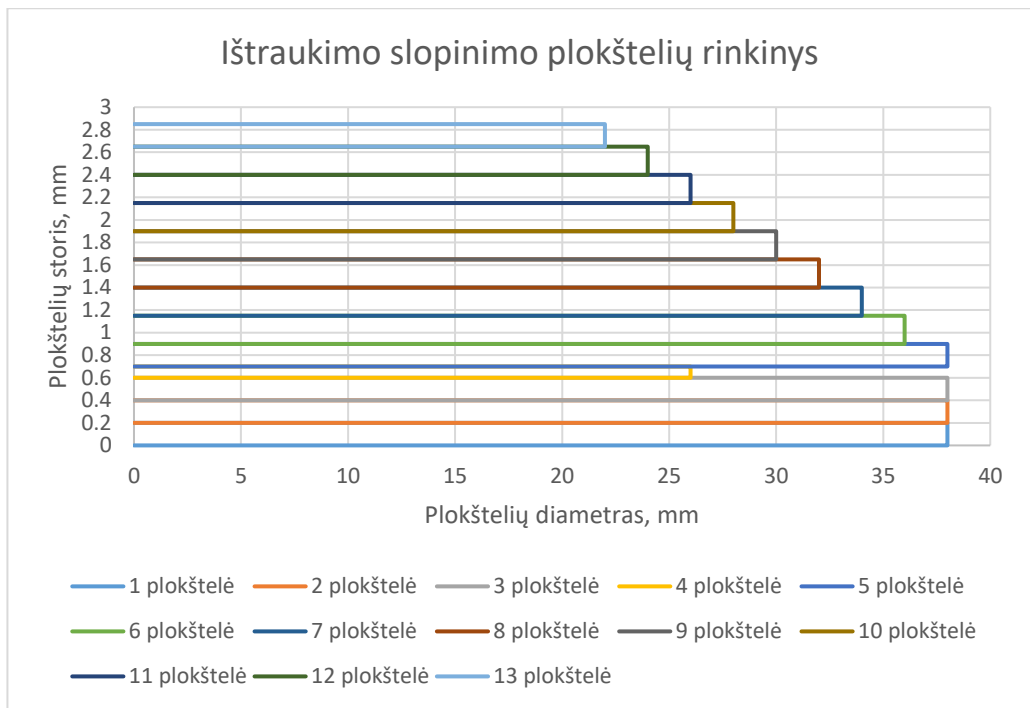
Bandymuose nustatytos prielaidos, jog didesne klampa pasižyminti alyva užpildytas slopintuvas priešinasi poslinkiui didesne jėga, patvirtinti nepavyko dėl galimai per mažo stūmoklio greičio, kadangi plokštelių rinkinį išlenkti slopintuvui reikia labai panašios jėgos nepriklausomai nuo alyvos klamos, todėl visais tyrimo atvejais nepastebėtas akivaizdus pasipriešinimo jėgų skirtumas. Tikėtina, jog klampesne alyva užpildyti slopintuvai poslinkiui priešintųsi stipriau prie didesnių žadinimo dažnių dėl nepakankamo alyvos debito tekant iš vienos ertmės į kitą, tačiau šiuo bandymų stendu to pasiekti nepavyko dėl galios trūkumo, stendas su bandomu virpesių slopintuvu didžiausią sužadavimo dažnį pasiekia 4 Hz.

## **2.6. Virpesių slopintuvo tyrimas keičiant plokštelių išdėstymą**

Pažangesniuose motociklų naudojamuose virpesių slopintuvuose, naudojami ne tik stūmokliai su ertmėmis alyvos pratekėjimui, tačiau ir plokštelių rinkiniai dengiantys minėtąsias ertmes. Šis dizainas yra pranašesnis, nes yra mažiau jautrus aplinkos temperatūros pokyčiams, be to suteikia daugiau komforto didesniame stūmoklio judėjimo greičio diapazone. Paprastesnės sandaros slopintuvuose alyva gali pratekėti tik pro kalibruotas angas, kurios apskaičiuotos komfortiškai sugerti smūgį tik esant tam tikram sužadino greičiui, todėl neretai šie slopintuvai naudojami pigesniuose gatvei skirtuose motocikluose. Bekelėje naudojami sudėtingesnės konstrukcijos slopintuvai, kadangi slopintuvams tenka sugerti įvairaus greičio bei aukščio nelygumus, todėl pirmoji konstrukcija sukeltų didelį diskomfortą atsirandant didesniems smūgiams, dėl negebėjimo praleisti didelio alyvos kiekio per trumpą laiką. Būtent dėl pastarosios priežasties buvo pasitelkti plokštelių rinkiniai, kurių tikslas yra kiek įmanoma švelniau sugerti mažus nelygumus, tačiau atsirandant dideliems kelio nelygumams padidinti slopinimo jėgą proporcingai bei reguliuojamai tam, kad nepersiduotų pernelyg didelis smūgis į rėmą. Plokštelinis dizainas veikia taip, jog didėjant slopintuvo stūmoklio judėjimo greičiui, alyvos tėkmė palenkia vis daugiau plokštelių tam, kad atsidarytų didesnis plotas alyvos srovei iš vienos talpos į kitą. Kitas šios konstrukcijos privalumas yra tai, jog plokšteles galima laisvai keisti į skirtingo diametro arba storio, priklausomai nuo šių parametrų bei plokštelės padėties rinkinyje, galima išgauti norimos slopinimo charakteristikos slopintuvą, atskirai reguliuojant ištraukimo bei suspaudimo slopinimo jėgų kreives. Norint išsiaiškinti kaip bei kiek keičiasi slopinimo jėgų priklausomybė nuo poslinkio atliekant pakitimus plokštelių rinkinyje bus tiriama trys skirtingi plokštelių rinkinio pakeitimai.

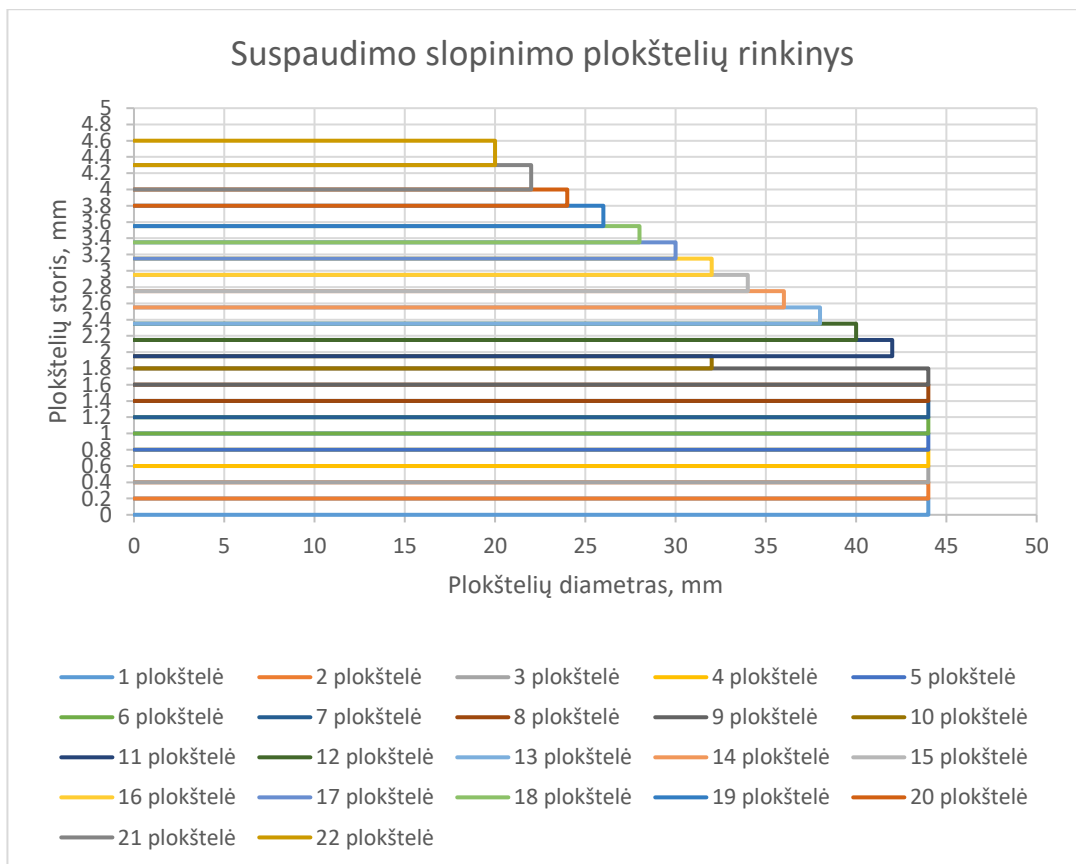
### **2.6.1. Pirmasis plokštelių rinkinio pokytis**

Pirmasis plokštelių rinkinio pakeitimas yra tarpinės mažos diametro plokštelės įterpimas tarp didesnio diametro plokštelių rinkinio pradžioje. Pradžia vadinama prie stūmoklio esanti pirma plokštelė, pirmame trečdalyje esančios plokštelės labiausiai keičia slopintuvo pasipriešinimą mažesniais greičiais, tuomet atitinkamai antrasis trečdalis sukuria pasipriešinimą vidutiniškais stūmoklio judėjimo greičiais ir galiausiai trečiasis trečdalis priešinas tik stūmokliui judant dideliais žadinimo dažniais. Minėtosios mažo diametro tarpinės plokštelės įterpiamos tarp didesnio diametro plokštelių mažina slopinimo jėgos reikšmę bei jėgos kreivę verčia lėkštesne [23].



**34 pav.** Originalus ištraukimo slopinimo plokštelių rinkinys

Aukščiau esantis paveikslas grafiškai atvaizduoja originalaus plokštelių rinkinio šoninį pjūvį su charakteringais matmenimis. Galima pastebėti, jog šiame rinkinyje jau naudojama minėtoji tarpinė mažesnio diametro plokštelė, paveiksle žymima 4 skaičiumi, kuri slopina nedidelio stūmoklio greičio kreivės charakteristiką.

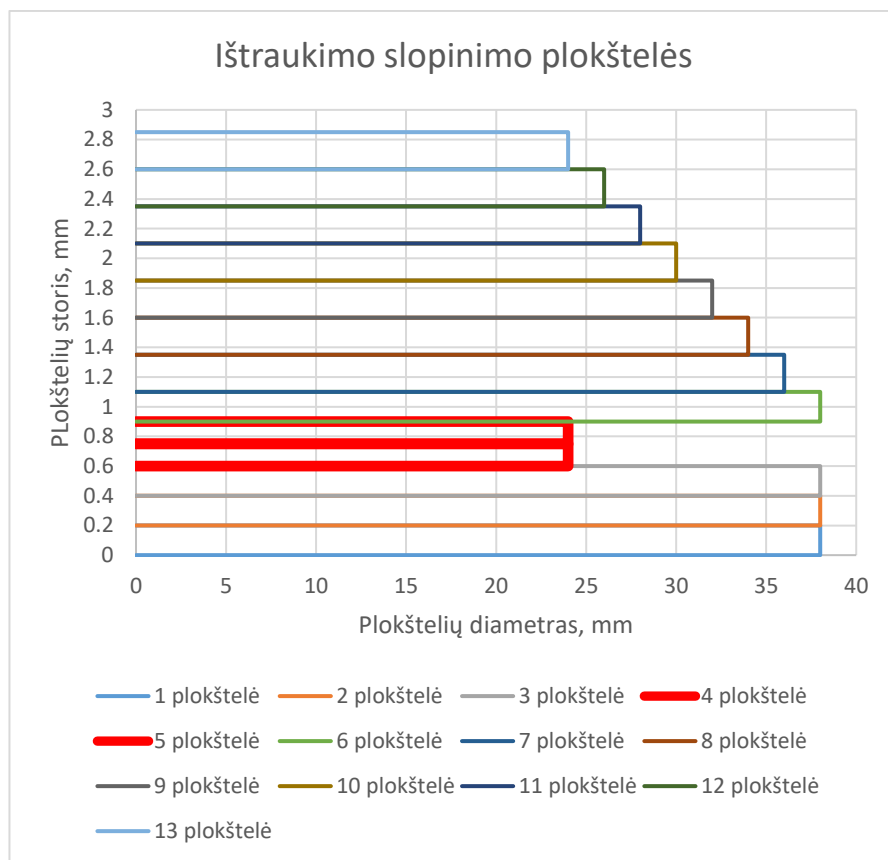


**35 pav.** Originalus suspaudimo slopinimo plokštelių rinkinys

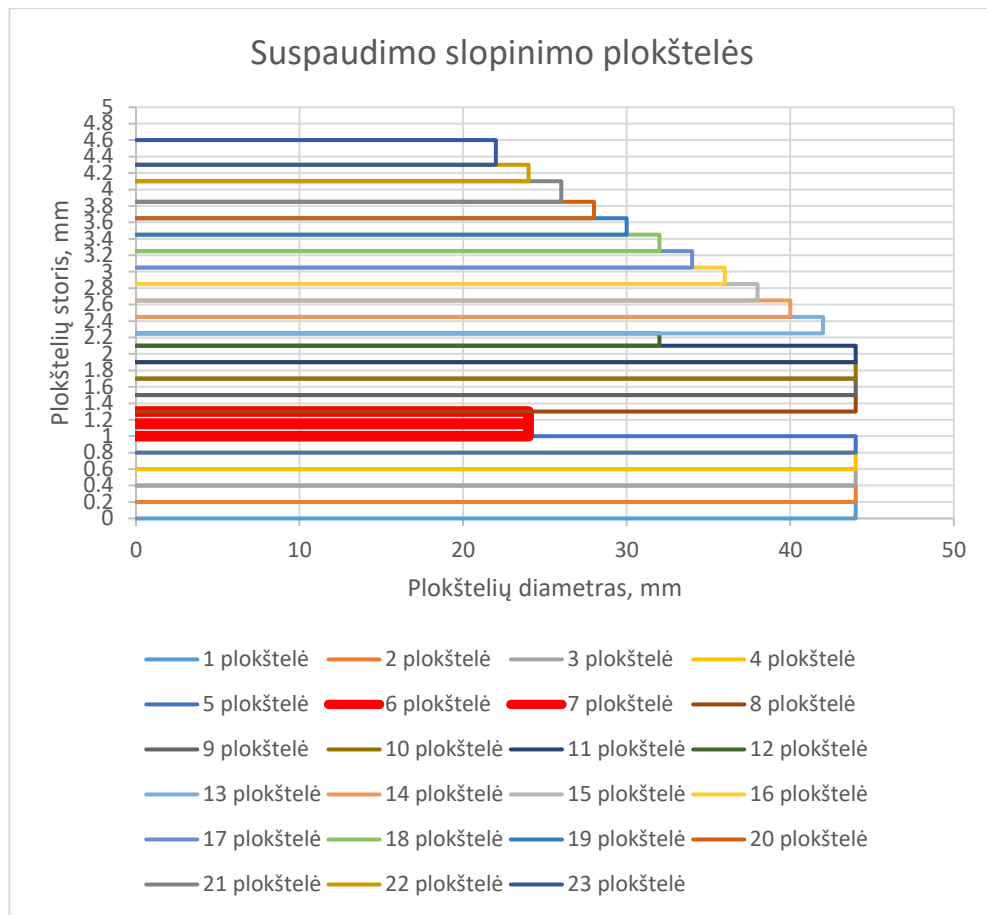
Originaliame suspaudimo slopinimo plokštelių rinkinyje, taip pat galima pastebėti, kad yra naudojama tarpinė plokštelė tik šiuo atveju keičianti vidutinio stūmoklio greičio slopinimo kreivės charakteristiką. Norint įsitikinti tarpinių plokštelių sukeliama pokyčiais bei numatyti jėgų pokytį atlikti pakeitimai nurodyti žemiau.

- Ištraukimo slopinimo rinkinyje:
  - išimame tarpinę plokštelę 24x0,1 mm;
  - išimame galinę plokštelę 22x0,2 mm;
  - pridedame dvi plokšteles 24x0,15 mm ketvirtoje bei penktoje pozicijose.
- Suspaudimo slopinimo rinkinyje:
  - Išimame galinę plokštelę 20x0,3 mm;
  - Pridedame dvi plokšteles 24x0,15 mm šeštoje bei septintoje pozicijose.

Pakitimai grafiškai pateikiami žemesniuose paveiksluose, pridėtos plokštelės žymimos ryškiai raudona spalva.

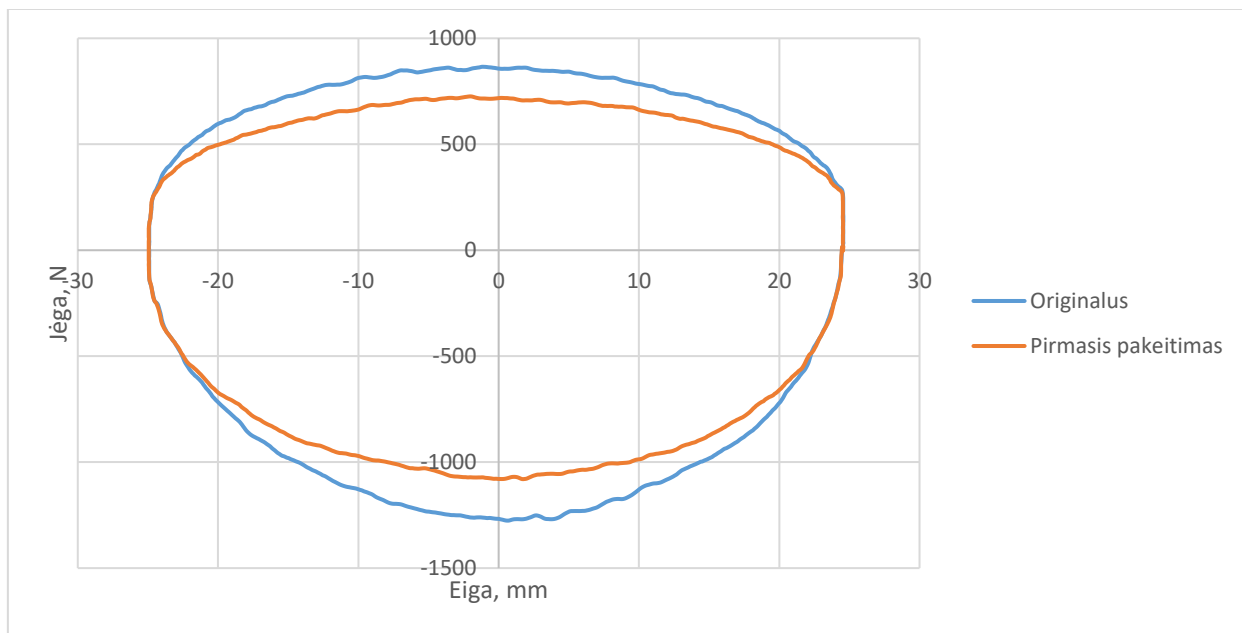


**36 pav.** Pirmasis pakeistas ištraukimo plokštelių rinkinys



**37 pav.** Pirmasis pakeistas suspaudimo ploščtelių rinkinys

Galima pastebėti, jog po atliktų pokyčių abu slopintuvo ploščtelių rinkiniai praretino ploščteles pirmame trečdalyje, o tai turėtų paminkštinti virpesių slopintuvo pasipriešinimą poslinkiui nedideliais greičiais.



**38 pav.** Jėgos priklausomybės nuo poslinkio grafikas veikiant 2 Hz žadinimo dažniui, reguliatoriams esant visiškai išsuktiems

Atlikus pasipriešinimo jėgų bandymą stende, galima pastebėti, jog plokštelių rinkinio pakeitimas sumažino slopinimo jėgas ištraukimo cikle 15 %, suspaudimo cikle 16 % grafiko formai liekanti identiškos formos. Bandymai atliekami kitais sužadavimo dažniais bei reguliatorių padėtimis išlaiko identišką slopinimo jėgos priklausomybę nuo poslinkio grafiko formą, todėl toliau apžvelgiami tik didžiausių pasiekiamų jėgų pokyčiai kintant stūmoklio greičiui bei reguliatorių padėtimis.

**6 lentelė.** Slopinimo jėgų pokytis po slopintuvo perdarymo

		Regulatoriai visiškai išsukti		Regulatoriai vidutinėje padėtyje		Regulatoriai visiškai įsukti	
		Originalus	1 pakeitimas	Originalus	1 pakeitimas	Originalus	1 pakeitimas
2 Hz	Suspaudimas, N	1277,43 ± 75	1081,09 ± 75	1464,32 ± 75	1249,05 ± 75	2256,80 ± 75	1875,93 ± 75
	Skirtumas nuo originalaus, %	-	-15,37	-	-14,70	-	-16,88
	Ištraukimas, N	865,82 ± 75	726,24 ± 75	950,98 ± 75	728,61 ± 75	1580,23 ± 75	1355,5 ± 75
	Skirtumas nuo originalaus, %	-	-16,12	-	-23,38	-	-14,22
3 Hz	Suspaudimas, N	2114,86 ± 75	1710,34 ± 75	2297,01 ± 75	1835,72 ± 75	3311,86 ± 75	2748,85 ± 75
	Skirtumas nuo originalaus, %	-	-19,13	-	-20,08	-	-17,00
	Ištraukimas, N	1149,69 ± 75	986,46 ± 75	1267,97 ± 75	1097,65 ± 75	1892,49 ± 75	1726,9 ± 75
	Skirtumas nuo originalaus, %	-	-14,20	-	-13,43	-	-8,75
4 Hz	Suspaudimas, N	2817,45 ± 75	2315,94 ± 75	3051,65 ± 75	2410,56 ± 75	4248,65 ± 75	3470,36 ± 75
	Skirtumas nuo originalaus, %	-	-17,80	-	-21,01	-	-18,32
	Ištraukimas, N	1483,24 ± 75	1317,65 ± 75	1629,91 ± 75	1511,63 ± 75	2240,24 ± 75	2233,14 ± 75
	Skirtumas nuo originalaus, %	-	-11,16	-	-7,26	-	-0,32

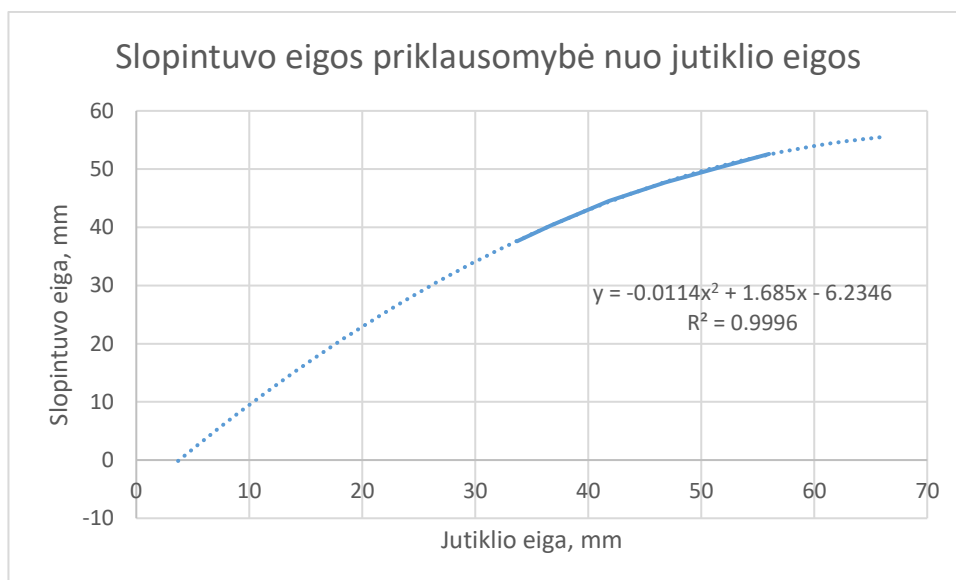
Apžvelgus slopinimo jėgų rezultatus, veikiant skirtingiems sužadavimo dažniams bei nustatytoms skirtingoms reguliatorių padėtimis, galima pastebėti, jog rezultatai beveik visais atvejais pamažėja apie 10 – 20 % nuo slopintuvo, kuriame neatlikti jokie pakeitimai. Verta paminėti, jog stūmokliui pasiekus 4 Hz žadinimo dažnį ištraukimo metu pasipriešinimo jėgos skirtumas nuo originalaus plokštelių rinkinio sumažėja ir reguliatoriams esant visiškai susuktiems beveik visiškai išnyksta. Pastarasis reiškinys pasireiškia, kadangi ištraukimo slopinimo plokštelių rinkinys yra mažesnis nei suspaudimo bei reikalauja mažesnės jėgos pilnam plokštelių atsidarymui, tai reiškia, jog stūmokliui judant didžiausiu stende pasiekiamu greičiu, plokštelės visiškai atidaro alyvos tekėjimo ertmes, todėl plokštelių rinkinys reikšmės šiame greičio diapazone neturi. Lentelės rezultatai grafikų forma pateikiami 4 priede.

Atlikus natūrinį bandymą su bekelės motociklu, kuriame yra sumontuotas tiriamasis virpesių slopintuvas. Norint gauti apčiuopiamus ir tikslius rezultatus naudojamas matuoklis „Race Technology DL1“, kuris tiksliai gali parodyti rėmą veikiančius pagreičius G, judėjimo greitį, pakabos eigą, laiką ir kitus parametrus. Pagrindinės natūrinių matavimų įrangos specifikacijos:

- eigos jutiklio paklaida  $\pm 0,1$  % [34];
- eigos jutiklio eiga 200 mm [34];
- smūgio pagreičio paklaida  $\pm 0,005$  G [35];
- atliekama 100 matavimų į sekundę [35].

Įvertinus, jog prietaiso tikslumas yra pranokstantis reikalingų rezultatų tikslumą, todėl paklaidos natūriniuose tyrimuose nevertinamos.

Matavimai atliekami tiesioje bekelės atkarpoje palaikant 50 – 60 km/val. greitį, vairuotojui atsisėdus ant motociklo sėdynės bei nekeičiant važiavimo pozicijos, padangų slėgis tarp bandymų palaikomas vienodas ir akceleracija palaikoma kiek įmanoma panaši tarp skirtingų bandymų. Kiekvienu bandymu atliekami trys važiavimai palaikant vieną galinio slopintuvo reguliatorių padėtį. Priekinių virpesių slopintuvų reguliatoriai nekeičiami tarp visų atliekamų bandymų, kadangi poslinkio jutiklio sumontuoti lygiagrečiai virpesių slopintuvo fiziškai nebuvo įmanoma dėl vietos trūkumo, todėl jutiklis sumontuotas tarp svirties ir galinio porėmio. Pasirinktas montavimo būdas neparodo tikrosios virpesių slopintuvo eigos važiavimo metu, todėl buvo atliekami matavimai priklausomybės nustatymui tarp potenciometro bei slopintuvo eigų, surasta priklausomybės lygtis, kuri buvo naudojama jutiklio rezultatų pasivertimui į slopintuvo eigą.



**39 pav.** Slopintuvo eigos priklausomybės nuo jutiklio eigos lygties radimas

Suvedus rezultatus į programą „Microsoft Excel“, sudarius grafiką bei pasirinkus grafiko lygties radimo funkciją, gaunama, jog norėdami apskaičiuoti slopintuvo eigą turime naudoti lygtį:

$$y = -0,0114x^2 + 1,685x - 6,2346$$



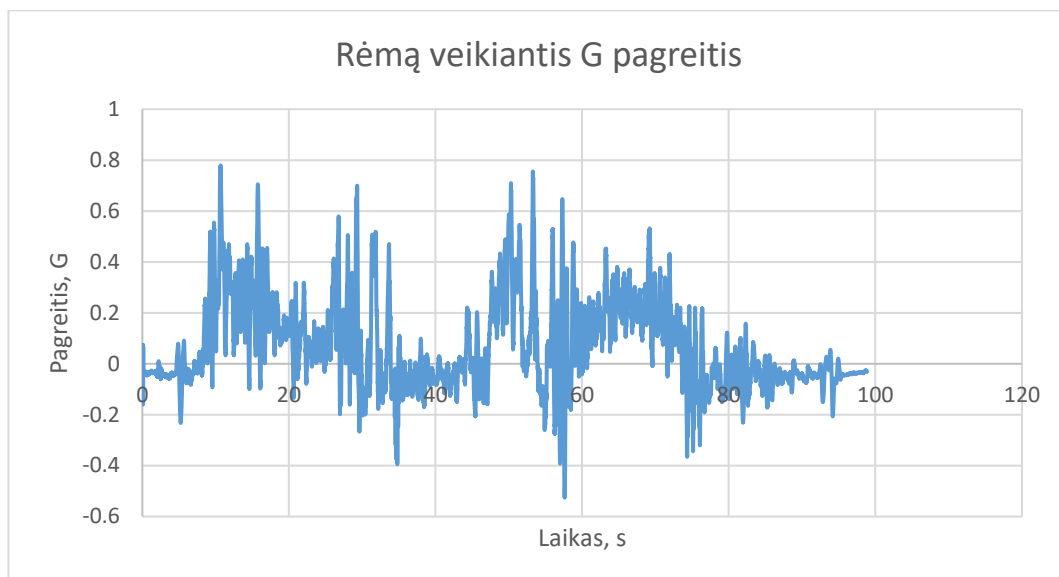
**40 pav.** Matavimo įranga pažymėta mėlynai bei jos montavimo vietos

Natūrinio tyrimo metu naudojant originalų amortizatorių gauti rezultatai pateikiami grafikuose žemiau.



**41 pav.** Slopintuvo eigos kitimo grafikas tyrimo metu

Grafike aukščiau aiškiai matosi, jog motociklo slopintuvo eiga kinta nuo 0 iki 70 mm, važiuojamas pradėdamas ir baigiamas amortizatoriui suspaustam apie 9 mm dėl vairuotojo svorio, pakabai esant 0 padėtyje yra priimama, jog motociklas yra ore ir jo ratai neliečia žemės.



**42 pav.** Kėbulą veikiantis G pagreitis tyrimo metu

Matavimo metu su originaliu slopintuvu didžiausia pasiekta G pagreičio reikšmė yra 0,78 G, tai reiškia, jog didžiausias pagreitis, kurį motociklas patiria vertikalčiai siekia  $7,65 \text{ m/s}^2$ .

**7 lentelė.** Virpesių slopintuvo pirmojo perdarymo natūrinio bandymo rezultatai

	Regulatoriai visiškai išsukti	Regulatoriai vidurinėje padėtyje	Regulatoriai visiškai įsukti
Didžiausias originalaus slopintuvo poslinkis, mm	70	68	46
Didžiausias perdaryto slopintuvo poslinkis, mm	72	73	53
Didžiausia G reikšmė naudojant originalų slopintuvą, G	0,78	0,81	0,76
Didžiausia G reikšmė naudojant perdarytą slopintuvą, G	1,25	1	0,95

Iš natūrinio bandymo rezultatų aiškiai galima matyti, kad didžiausius smūgius  $1,25 \text{ G}$  motociklo rėmas patyrė naudojant perdarytą slopintuvą bei esant nustatytiems minkščiausios padėties reguliatoriams, o mažiausią smūgį patyrė originalus slopintuvas standžiausiame reguliatorių nustatyme. Žinant, jog slopintuvo tikslas yra perduoti kuo mažesnę smūgį į kėbulą per trumpiausią įmanomą eigą, galima teigti, jog šiame bandyme efektyviausias yra originalus slopintuvas su visiškai įsuktais reguliatoriais.

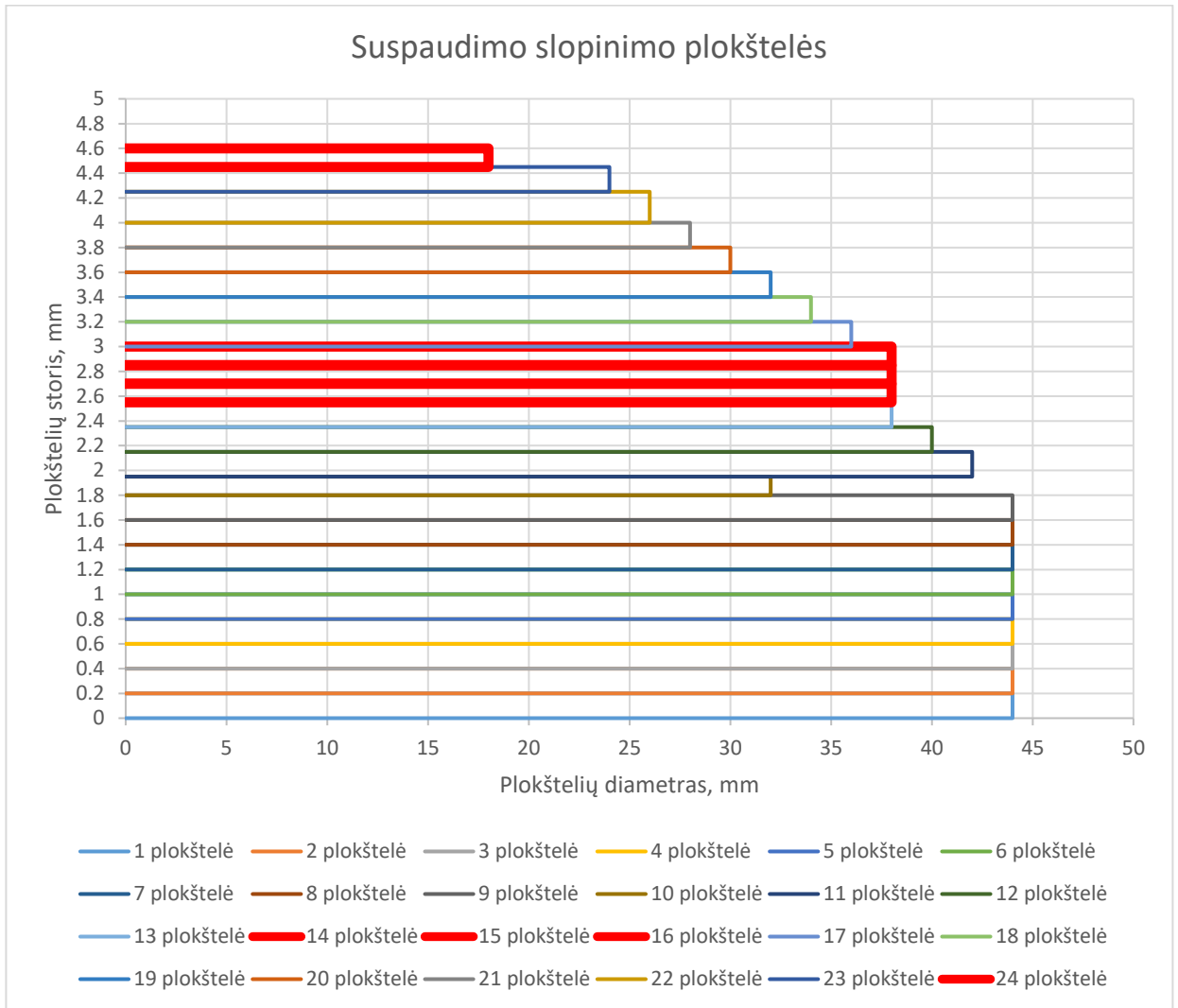
### 2.6.2. Antrasis plokštelių rinkinio pokytis

Atliekama dar viena virpesių slopintuvo modifikacija, šiuo atveju plokštelių rinkinį papildant didelio diametro plokštelėmis pačioje pradžioje. Tai turėtų padidinti slopintuvo pasipriešinimo poslinkiui jėgas visuose greičių diapazonuose.

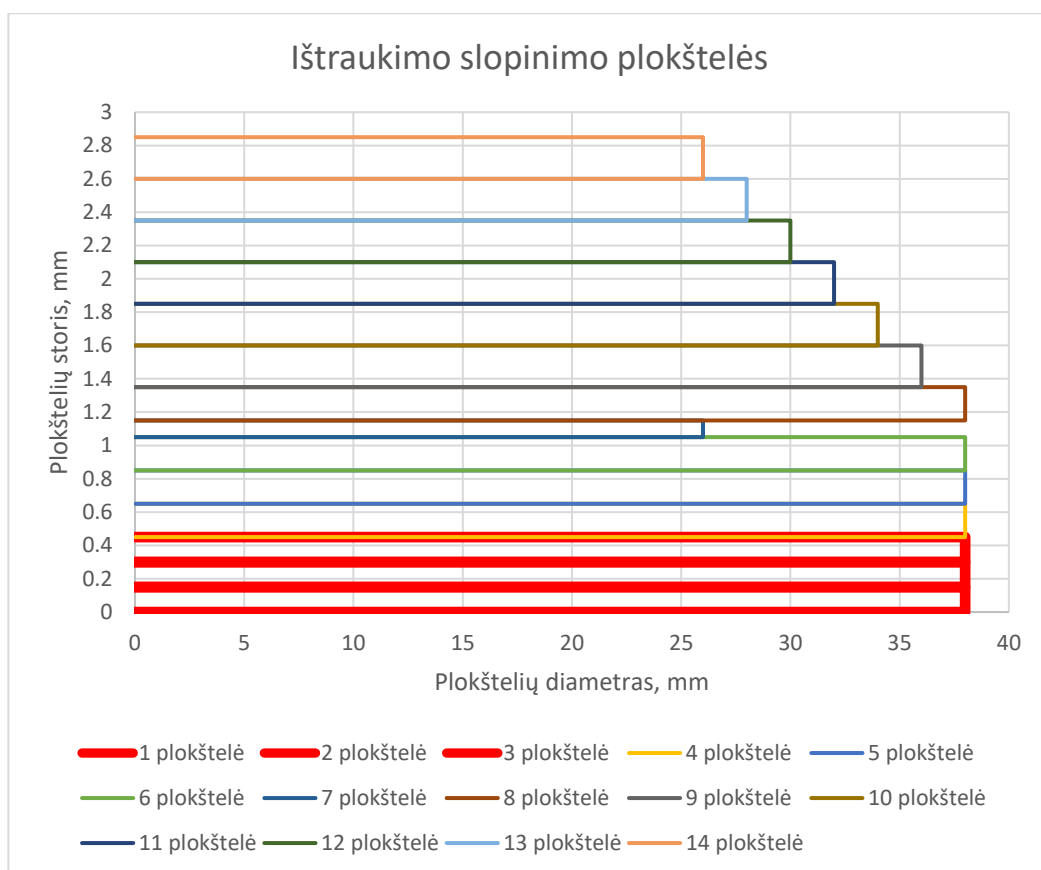
- Ištraukimo slopinimo rinkinyje:
  - išimame galines plokšteles  $22 \times 0,2 \text{ mm}$  ir  $24 \times 0,25 \text{ mm}$ ;
  - pridėdame tris plokšteles  $38 \times 0,15 \text{ mm}$  pirmose trijose pozicijose.

- Suspaudimo slopinimo rinkinyje:
  - o Išimame galines plokšteles 20x0,3 mm ir 22x0,3 mm;
  - o Pridedame tris plokšteles 38x0,15 mm 14,15 ir 16 pozicijose;
  - o Pridedame plokštelę 18x0,15 mm paskutinėje pozicijoje.

Pakitimai grafiškai pateikiami žemesniuose paveiksluose, pridėtos plokštelės žymimos ryškiai raudona spalva.



**43 pav.** Virpesių slopintuvo antrojo pakeitimo suspaudimo slopinimo plokštelių rinkinys



**44 pav.** Virpesių slopintuvo antrojo pakeitimo ištraukimo slopinimo plokštelių rinkinys

**8 lentelė.** Slopinimo jėgų pokytis po slopintuvo perdarymo

		Regulatoriai visiškai išsukti		Regulatoriai vidutinėje padėtyje		Regulatoriai visiškai įsukti	
		Originalus	2 pakeitimas	Originalus	2 pakeitimas	Originalus	2 pakeitimas
2 Hz	Suspaudimas, N	1277,43 ± 75	1748,19 ± 75	1464,32 ± 75	1989,48 ± 75	2256,8 ± 75	3423,05 ± 75
	Skirtumas nuo originalaus, %	-	36,85	-	35,86	-	51,68
	Ištraukimas, N	865,82 ± 75	922,59 ± 75	950,98 ± 75	998,29 ± 75	1580,23 ± 75	1677,22 ± 75
	Skirtumas nuo originalaus, %	-	6,56	-	4,97	-	6,14
3 Hz	Suspaudimas, N	2114,86 ± 75	2684,98 ± 75	2297,01 ± 75	3120,25 ± 75	3311,86 ± 75	4754,89 ± 75
	Skirtumas nuo originalaus, %	-	26,96	-	35,84	-	43,57
	Ištraukimas, N	1149,69 ± 75	1251,41 ± 75	1267,97 ± 75	1324,75 ± 75	1892,49 ± 75	2010,77 ± 75
	Skirtumas nuo originalaus, %	-	8,85	-	4,48	-	6,25
4 Hz	Suspaudimas, N	2817,45 ± 75	3609,93 ± 75	3051,65 ± 75	3936,39 ± 75	4248,65 ± 75	5897,48 ± 75

	Skirtumas nuo originalaus, %	-	28,13	-	28,99	-	38,81
	Ištraukimas, N	1483,24 ± 75	1509,26 ± 75	1629,91 ± 75	1703,24 ± 75	2240,24 ± 75	2294,65 ± 75
	Skirtumas nuo originalaus, %	-	1,75	-	4,50	-	2,43

Atlikus dinamometrinių slopinimo jėgų tyrimą galima matyti, jog atlikus pastarąją slopintuvo plokštelių modifikaciją pasipriešinimo suspaudimui jėgos padidėjo tarp 27 – 52 %, o ištraukimo jėgos padidėjo iki 10 %. Pasipriešinimo ištraukimui jėgos padidėjo labai neryškiai ir tai galėjo nutikti dėl to, jog pakeitimas didesnius pokyčius sudaro mažuose stūmoklio judėjimo greičiuose. Lentelė grafinėmis išraiškėmis pateikiama 5 priede.

**9 lentelė.** Virpesių slopintuvo antrojo perdarymo natūrinio bandymo rezultatai

	Regulatoriai visiškai išsukti	Regulatoriai vidurinėje padėtyje	Regulatoriai visiškai įsukti
Didžiausias originalaus slopintuvo pakabos poslinkis, mm	70	68	46
Didžiausias perdaryto slopintuvo pakabos poslinkis, mm	69	69	52
Didžiausia G reikšmė naudojant originalų slopintuvą, G	0,78	0,81	0,76
Didžiausia G reikšmė naudojant perdarytą slopintuvą, G	0,85	0,81	0,83

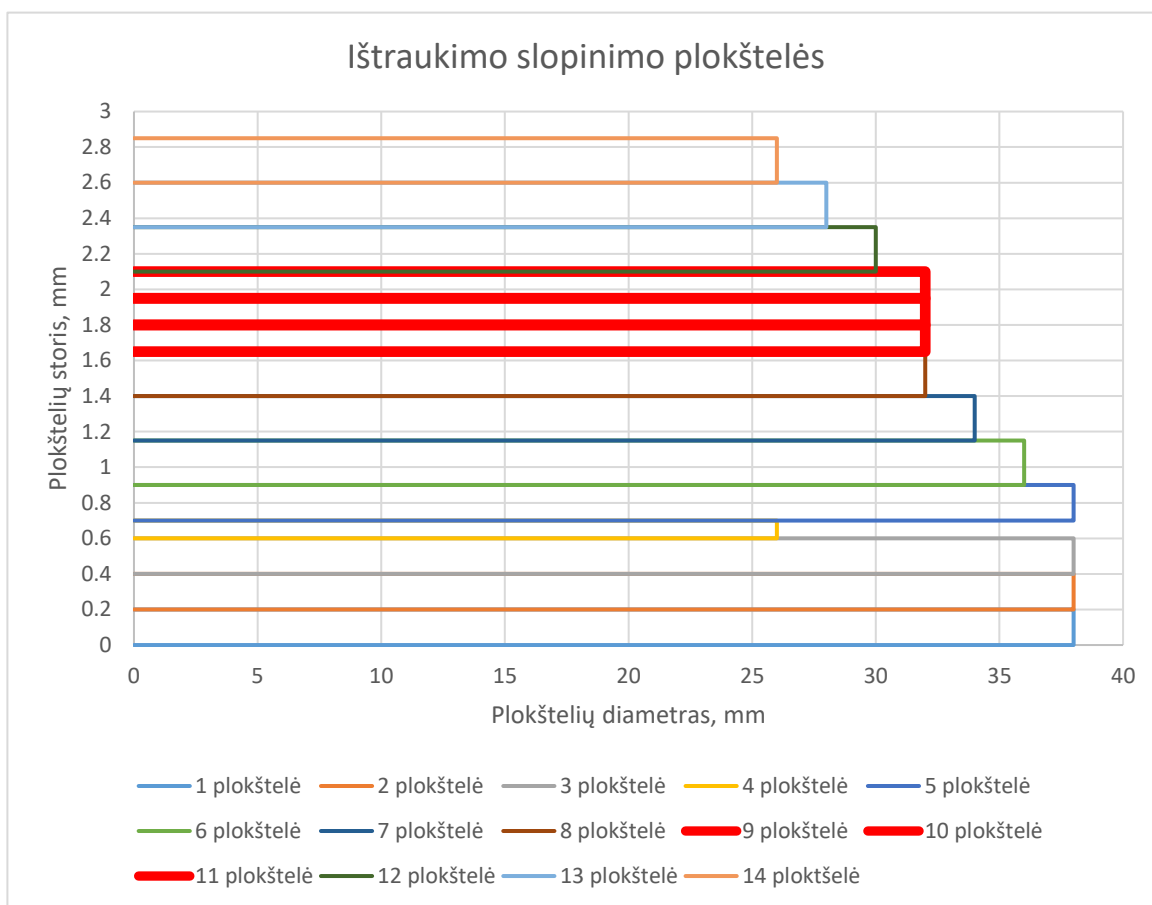
Žvelgiant į natūrinio tyrimo rezultatus galima matyti, jog didžiausią slopintuvo eigą 70 mm pasiekia originalus amortizatorius su nustatyta minkščiausia reguliatorių reikšme, mažiausią eigą 46 mm originalus slopintuvas reguliatoriams esant standžiausioje padėtyje. Efektyviausias slopintuvo nustatymas yra originalaus slopintuvo su kiečiausiu reguliatorių nustatymu, kadangi iš visų bandymų judėjo mažiausia eiga 46 mm bei perdavė mažiausio pagreičio smūgius į kėbulą, tai yra 0,76 G arba 7,65 m/s<sup>2</sup>.

### 2.6.3. Trečiasis plokštelių rinkinio pokytis

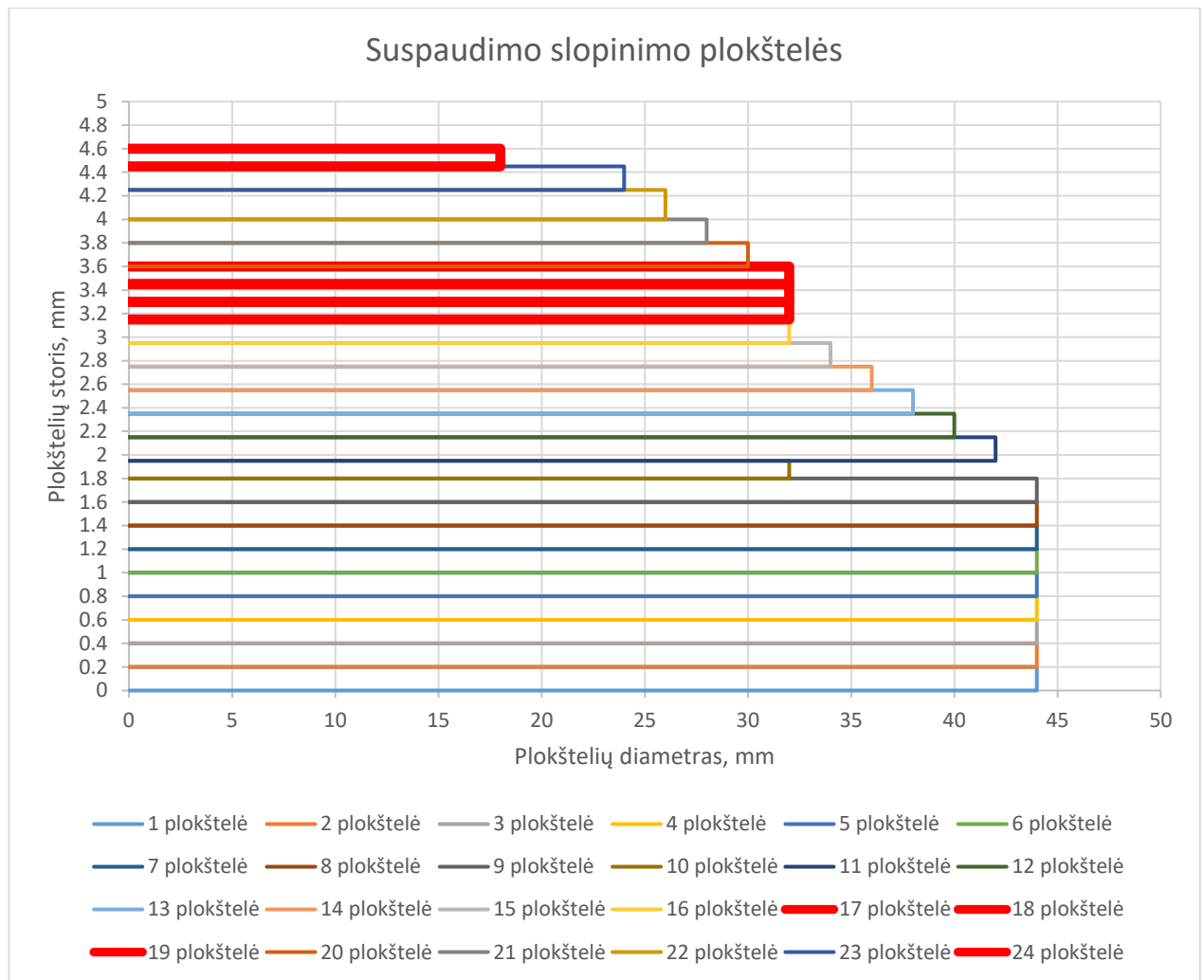
Atliekama paskutinioji virpesių slopintuvo modifikacija. Šiuo atveju plokštelių rinkinį papildant vidutinio diametro plokštelėmis rinkinio viduryje. Tai turėtų padidinti slopintuvo pasipriešinimo poslinkiui jėgas didesnio stūmoklio judėjimo greičių reikšmėse.

- Ištraukimo slopinimo rinkinyje:
  - išimame galines plokšteles 22x0,2 mm ir 24x0,25 mm;
  - pridedame tris plokšteles 32x0,15 mm 9, 10 ir 11 pozicijose.
- Suspaudimo slopinimo rinkinyje:
  - Išimame galines plokšteles 20x0,3 mm ir 22x0,3 mm;
  - Pridedame tris plokšteles 32x0,15 mm 17,18 ir 19 pozicijose;
  - Pridedame plokštelę 18x0,15 mm paskutinėje pozicijoje.

Pakitimai grafiškai pateikiami žemesniuose paveiksluose, pridėtos plokštelės žymimos ryškiai raudona spalva.



**45 pav.** Virpesių slopintuvo trečiojo pakeitimo ištraukimo slopinimo plokštelių rinkinys



**46 pav.** Virpesių slopintuvo trečiojo pakeitimo suspaudimo slopinimo plokštelių rinkinys

**10 lentelė.** Slopinimo jėgų pokytis po slopintuvo perdarymo

		Regulatoriai visiškai išsukti		Regulatoriai vidutinėje padėtyje		Regulatoriai visiškai įsukti	
		Originalus	3 pakeitimas	Originalus	3 pakeitimas	Originalus	3 pakeitimas
2 Hz	Suspaudimas, N	1277,43 ± 75	1632,28 ± 75	1464,32 ± 75	1838,08 ± 75	2256,8 ± 75	3257,45 ± 75
	Skirtumas nuo originalaus, %	-	27,78	-	25,52	-	44,34
	Ištraukimas, N	865,82 ± 75	875,28 ± 75	950,98 ± 75	972,27 ± 75	1580,23 ± 75	1511,63 ± 75
	Skirtumas nuo originalaus, %	-	1,09	-	2,24	-	-4,34
3 Hz	Suspaudimas, N	2114,86 ± 75	2547,77 ± 75	2297,01 ± 75	2798,52 ± 75	3311,86 ± 75	4575,10 ± 75
	Skirtumas nuo originalaus, %	-	20,47	-	21,83	-	38,14
	Ištraukimas, N	1149,69 ± 75	1234,85 ± 75	1267,97 ± 75	1357,86 ± 75	1892,49 ± 75	1875,93 ± 75

	Skirtumas nuo originalaus, %	-	7,41	-	7,09	-	-0,88
4 Hz	Suspaudimas, N	2817,45 ± 75	3401,76 ± 75	3051,65 ± 75	3657,24 ± 75	4248,65 ± 75	5563,93 ± 75
	Skirtumas nuo originalaus, %	-	20,74	-	19,84	-	30,96
	Ištraukimas, N	1483,24 ± 75	1532,92 ± 75	1629,91 ± 75	1707,98 ± 75	2240,24 ± 75	2278,09 ± 75
	Skirtumas nuo originalaus, %	-	3,35	-	4,79	-	1,69

Atlikus dinamometrinių slopinimo jėgų tyrimą galima matyti, jog atlikus pastarąją slopintuvo plokštelių modifikaciją pasipriešinimo suspaudimui jėgos padidėjo tarp 20 – 44 %, didesniai pasipriešinimui pasireiškiant reguliatoriams esant visiškai išsuktiems. Ištraukimo jėgos padidėjo ne daugiau 7 % ir netgi tam tikras reikšmes galima matyti sumažėjusias, tačiau kadangi skirtumas yra labai mažas galima teigti jog ištraukimo jėgos priklausomybė nuo eigos nepasikeitė atlikus trečiąją plokštelių modifikaciją. Lentelė grafinėmis išraiškėmis pateikiama 6 priede.

**11 lentelė.** Virpesių slopintuvo trečiojo perdarymo natūrinio bandymo rezultatai

	Regulatoriai visiškai išsukti	Regulatoriai vidurinėje padėtyje	Regulatoriai visiškai įsukti
Didžiausias originalaus slopintuvo pakabos poslinkis, mm	70	68	46
Didžiausias perdaryto slopintuvo pakabos poslinkis, mm	70	65	43
Didžiausia G reikšmė naudojant originalų slopintuvą, G	0,78	0,81	0,76
Didžiausia G reikšmė naudojant perdarytą slopintuvą, G	1,01	0,82	0,89

Atlikus natūrinį bandymą po trečiosios modifikacijos aiškiai galima matyti, kad originalus slopintuvas perduoda mažiausius smūgio pagreičius į rėmą (0,76 G) bei slopina per vieną iš mažiausių eigų (46 mm.). Tačiau galima pastebėti, jog reguliatoriams esant vidurinėje padėtyje modifikuotų bei originalaus amortizatorių bandymo reikšmės yra ganėtinai panašios ir tikėtina įprastam vairuotojui neįjuntamos. Per mažiausią eigą (43 mm.), smūgius slopina perdarytas slopintuvas ir tai yra mažiausia reikšmė viso tyrimo metu, tačiau šios modifikacijos slopintuvas perduoda pakankamai nemažus smūgius į rėmą, todėl negalima pripažinti šio perdarymo kaip efektyviausio.

## 2.7. Pasiūlymai motociklo virpesių slopintuvo reguliavimui

Atlikus laboratorinius bei natūrinius tyrimus aiškiai galima matyti, jog atlikti tik laboratorinius tyrimus slopintuvo reguliavimui neužtenka, kadangi nors ir galima matyti kaip keičiasi pasipriešinimo eigai jėgos, tačiau tikrame tyrimo objekto panaudojime yra pastebima, jog vien tik sumažinti arba padidinti jėgas neužtenka. Tyrimo metu buvo pastebėta, jog natūrinio tyrimo sąlygomis slopinimo jėgos sumažinimas sumažina važiavimo komfortą perduodant didesnius smūgius į motociklo rėmą. Tuo pačiu antroji slopintuvo plokštelių modifikacija padidinusi

amortizatoriaus pasipriešinimo jėgas daugiausiai, lygiai taip pat perdavė kiek didesnius smūgius į rėmą nei originalios konfigūracijos virpesių slopintuvas. Iš visų keturių skirtingų plokštelių modifikacijų galima pastebėti, jog geriausiai smūgius slopina originalus virpesių slopintuvas neatsižvelgiant į pakabos eigos rezultatus. Jeigu siekiama sumažinti pakabos eigą dėl tam tikrų priežasčių, priimtinausias sprendimas yra naudoti trečiąją plokštelių modifikaciją dėl to, jog nepriklausomai nuo reguliatorių padėties, pakabos eigos rezultatai buvo vieni mažiausių. Šie patarimai galioja tik naudojant motociklą lygiai tokiomis pačiomis sąlygomis kaip buvo atliktas natūrinis tyrimas, tai reiškia, jog pasikeitus trasai, motociklo važiavimo greičiui ar netgi vairuotojo kūno pozicijai važiuojant rezultatai tikėtina pasikeistų ir tyrimą reiktų atlikti jau prie naujų sąlygų. Būtent dėl tokių nenuspėjamų pokyčių motociklų sportas yra brangus bei reikalaujantis daug išteklių, kadangi norint turėti pakabą tinkančią visom sąlygom arba bent visur pritaikomą naudoti, reikia surinkti didelę duomenų bazę bei tinkamai ją apdoroti.

## **2.8. Ekonominis pagrindimas**

Atliekant tyrimą buvo atliktos trys skirtingos modifikacijos neįskaitant alyvos pokyčio tyrimo, šių modifikacijų kainos pateikiamos žemiau:

- Slopintuvo restauracija – 120 eurų (į šią kainą įskaičiuota alyvos kaina bei azoto dujų pildymas);
- Plokštelių rinkinys – 5 eurų (vienai modifikacijai).

Profesionalų teikiamų virpesių slopintuvų perdarymo paslaugų kaina prasideda nuo 400 eurų už vieną virpesių slopintuvą ir gali siekti iki 800 eurų, kadangi tyrimas atliekamas bandymo būdu keičiant parametrus tiksliai nežinant į kurią pusę ir kiek reikia pakeisti jėgą, todėl galima priimti, jog reikia kaip ir šiuo atveju mažiausiai trijų modifikacijų, tam kad būtų galima rasti sau priimtina slopinimo priklausomybę nuo eigos. Skaičiuojant vidutinę profesionalų modifikacijos kainą 600 eurų, matoma, jog galima atlikti 4 bandymus iki kol mūsų tyrimo kaina priartės prie profesionalių paslaugų. Atsižvelgiant į tai galima teigti, jog mūsų atliktas tyrimas finansiškai yra labiau pagrįstas dėl įgautų žinių bei neužtikrintumo ar profesionalai tinkamai parinks reikalingus pokyčius, kurie pilnai tenkins vairuotojo norus bei važiavimo sąlygas.

## Išvados

1. Atlikus literatūros analizę buvo išsiaiškinta, jog dažniausiai šiuolaikiniuose motocikluose naudojama priekinė pakaba yra teleskopinių vamzdžių sistema su storesniu vamzdžiu įtvirtintu į vairo tiltelius, galinėje pakaboje dvipusė svirtis su slopintuvo tvirtinimu per trauklių sistemą. Pakabos elementai tvirtinami guoliais, kurie uždenkti sandariais riebokšliais tam, kad aplinkos veiksniai nepaveiktų komponentų veikimo laiko. Vienas svarbiausių slopintuve pasireiškiančių reiškinių yra kavitacija, kurios yra stengiamasi išvengti dėl šio reiškinio keliamos erozijos.
2. Išanalizavus virpesių slopintuvo sandarą tapo aišku, jog geriausius slopinimo parametrus generuoja alyva užpildytas slopintuvas su atskira suslėgto azoto dujų talpa. Slopintuvo slopinimo jėga didėja, didinant reguliavimo plokštelių diametrą bei storį, didesnio diametro plokšteles montuojant arčiau stūmoklio, didėja ir pasipriešinimas. Įterpiant mažo skersmens plokštelę slopintuvo priešinimosi charakteristika eigai švelnėja.
3. Atlikus skirtingų gamintojų galinio amortizatoriaus alyvų klampos tyrimą buvo išsiaiškinta, jog reikšmės tarp skysčiausios (420,67 mPas) ir klampiausios (844,67 mPas) alyvos skiriasi netgi dvigubai joms esant įšilusioms iki 18 °C temperatūros.
4. Dinamometriniu bandymų stendu atlikus virpesių slopinimo jėgos priklausomybės nuo eigos tyrimus tarp slopintuvų užpildytų skirtingos klampos alyvomis nebuvo pastebėta esminių jėgų pasikeitimų. Todėl galima daryti išvadą, jog jėgų skirtumas naudojant skirtingos klampos alyvas turėtų pasireikšti didesniais stūmoklio judėjimo greičiais dėl išaugusio didesnio debito poreikio.
5. Laboratorijoje atliekant slopintuvo pasipriešinimo eigai nuo poslinkio bandymus pritaikant modifikacijas plokštelių rinkiniui, buvo pastebėta, jog tarpinės mažo skersmens plokštelės įterpimas į rinkinio pirmąjį trečdalį jėgas sumažina apie 10 – 20 %. Didesnio diametro plokštelių pridėjimas arčiausiai prie stūmoklio suspaudimo jėgą padidina apie 27 – 52 %, ištraukimo jėgą padidina iki 10 %. Vidutinio skersmens plokštelių pridėjimas rinkinio viduryje slopinimo jėgas suspaudimui padidina 20 – 44 %, o ištraukimo jėgas padidina neženkliai, iki 7 %. Atlikus natūrinius bandymus mažiausia slopintuvo eigos reikšmė 43 mm buvo pasiekta su trečiaja plokštelių rinkinio modifikacija reguliatoriams esant standžiausioje padėtyje, mažiausias smūgio pagreitis į motociklo rėmą pasiektas originaliu slopintuvu reguliatoriams esant nustatytiems standžiausioje padėtyje.
6. Atsižvelgiant į natūrinių tyrimų rezultatus nustatyta, jog efektyviausiai smūgius slopina originalus amortizatorius reguliatoriams esant standžiausioje padėtyje. Jeigu siekiama sumažinti galinės pakabos eigą neatsižvelgiant į smūgius perduodamus motociklo rėmui, tuomet efektyviausias yra slopintuvas su trečiaja plokštelių rinkinio modifikacija ir reguliatoriams esant pilnai įsuktiems. Blogiausių slopinimo parametrus nepriklausomai nuo reguliatorių padėties parodė pirmosios modifikacijos tyrimas, todėl mažo skersmens plokštelės įterpimas šiuo atveju yra nerekomenduojamas.

## Literatūros sąrašas

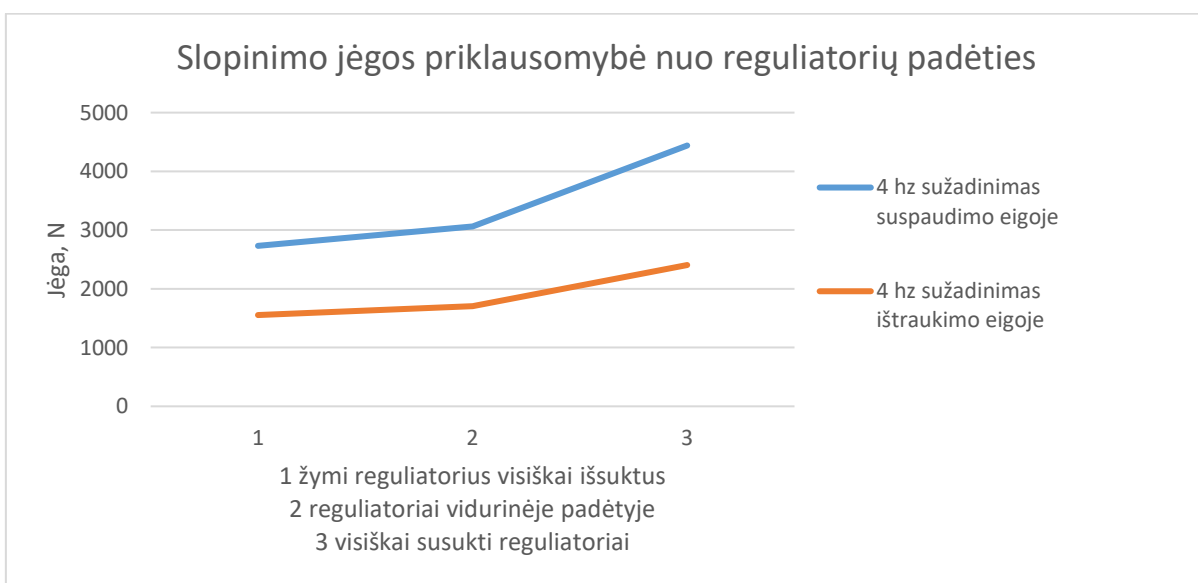
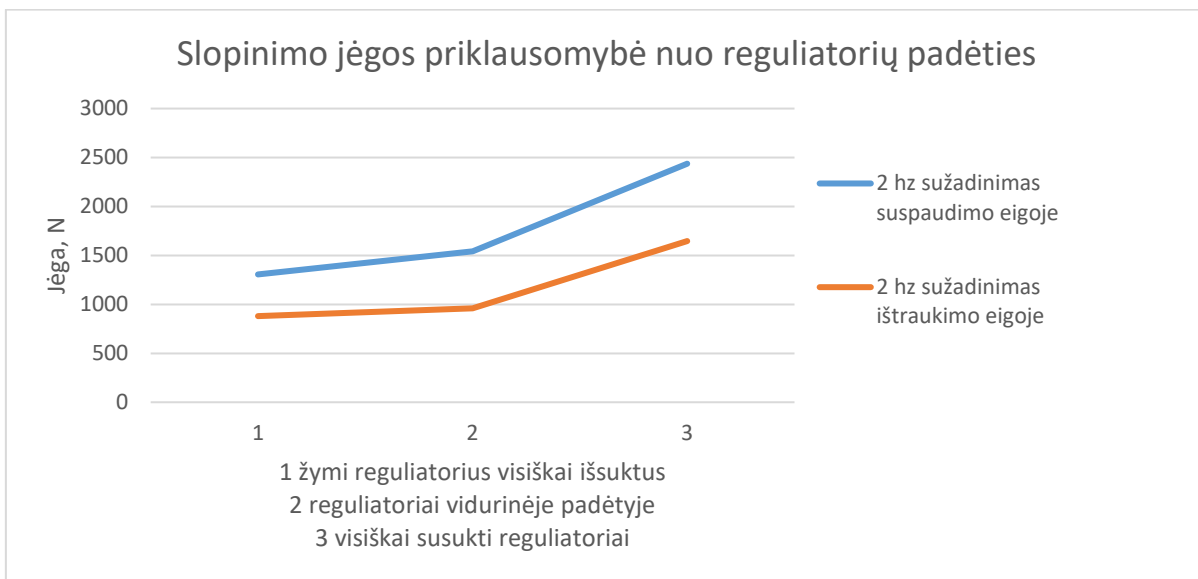
1. FOALE, Tony. *Motorcycle handling and chasis design the art and science* [interaktyvus]. 2-oji laida. Ispanija: Tony Foale Designs 2002 [žiūrėta 2023-04-18]. ISBN 84-933286-2-6. Prieiga per: [https://books.google.lt/books?id=84hF-qoR5I8C&printsec=copyright&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.lt/books?id=84hF-qoR5I8C&printsec=copyright&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
2. THEDE, Paul ir Lee PARKS. *Race Tech's Motorcycle Suspension Bible: knyga*. Jungtinės Amerikos Valstijos: Motorbooks, 2010. ISBN-13: 978-0-7603-3140-8
3. BYRNES, Graham. *Leverage and linkages* [Interaktyvus]. [žiūrėta 2023-04-18]. Prieiga per internetą: [http://www.promecha.com.au/leverage\\_linkages.htm](http://www.promecha.com.au/leverage_linkages.htm)
4. *G3-S SHOCK TYPES* [interaktyvus] [žiūrėta 2023-04-18]. Prieiga per internetą: <https://racetech.com/page/title/G3S%20Shock%20Types>
5. Piston comp [interaktyvus] [žiūrėta 2023-04-18]. Prieiga per internetą: <https://technicaltouchusa.com/kyb-parts/off-road-rear-shock/piston-comp.html>
6. The basics modern motorcycle suspension [interaktyvus] [žiūrėta 2023-04-18]. Prieiga per internetą: <https://www.rideapart.com/news/247982/the-basics-modern-motorcycle-suspension/>
7. Earles leading link suspension [interaktyvus] [žiūrėta 2023-04-18]. Prieiga per internetą: <https://www.advrider.com/f/threads/earles-leading-link-suspension-on-solos.1053838/>
8. Adjustable girder suspension [interaktyvus] [žiūrėta 2023-04-18]. Prieiga per internetą: <https://grabcad.com/library/adjustable-girder-suspension>
9. BMW motorrad telelever [interaktyvus] [žiūrėta 2023-04-18]. Prieiga per internetą: <https://www.press.bmwgroup.com/global/photo/detail/P90105001/bmw-r-1200-gs-bmw-motorrad-telelever-10-2012>
10. Single sided swingarm [interaktyvus] [žiūrėta 2023-04-18]. Prieiga per internetą: <https://grabcad.com/library/single-sided-swing-arm-2>
11. Honda pro-link suspension [interaktyvus] [žiūrėta 2023-04-18]. Prieiga per internetą: <https://www.motorcycle.com/ask-mo-anything/the-missing-linkage.html/attachment/120417-ask-mo-linkage-suspension-honda-pro-link-diagram>
12. Spherical bearings [interaktyvus] [žiūrėta 2023-04-18]. Prieiga per internetą: <https://www.chassisparts.com/en-us/spherical-bearings-link-bearings-18>
13. Superlight springs [interaktyvus] [žiūrėta 2023-04-18]. Prieiga per internetą: <https://www.extremeshox.com/product/ext-superlight-v2-springs/>
14. Set your race sag [interaktyvus] [žiūrėta 2023-04-18]. Prieiga per internetą: [http://www.harrymoto.com/MX/RaceSag/set\\_your\\_race\\_sag.htm](http://www.harrymoto.com/MX/RaceSag/set_your_race_sag.htm)
15. Twin tube shock absorber [interaktyvus] [žiūrėta 2023-04-18]. Prieiga per internetą: [https://www.researchgate.net/figure/Twin-Tube-Shock-Absorber-8\\_fig3\\_343290661](https://www.researchgate.net/figure/Twin-Tube-Shock-Absorber-8_fig3_343290661)
16. Remote reservoir shocks [interaktyvus] [žiūrėta 2023-04-18]. Prieiga per internetą: <https://accutuneoffroad.com/ifp-vs-remote-reservoir-shocks/>
17. Revo ARC shocks [interaktyvus] [žiūrėta 2023-04-18]. Prieiga per internetą: <https://sscustomcycle.com/product/revo-arc-remote-reservoir-shocks-flh/>
18. KYB shock piston [interaktyvus] [žiūrėta 2023-04-18]. Prieiga per internetą: <https://technicaltouchusa.com/kyb-parts/off-road-rear-shock/piston-comp.html>
19. BRYANT J., GRANT A., WALSH Z. A major qualifying report submitted to the faculty of Worcester Polytechnic institue. *Motorcycle Rear Suspension* [interaktyvus]. RD4-ABCK 2018

- balandžio 26 d. [žiūrėta 2023-04-18] Prieiga per internetą: <https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-042618-114047/unrestricted/BRYANT GRANT WALSH MQP Motorcycle Rear Suspension.pdf>
20. MAVROUDAKIS B., EBERHARD P. *Analysis of Alternative Front Suspension Systems for Motorcycles* [interaktyvus]. Vokietija, Štutgartas, 2005 Rugpjūtis. [žiūrėta 2023-04-18] Prieiga per internetą: [https://www.researchgate.net/publication/245309321\\_Analysis\\_of\\_alternative\\_front\\_suspension\\_systems\\_for\\_motorcycles](https://www.researchgate.net/publication/245309321_Analysis_of_alternative_front_suspension_systems_for_motorcycles)
  21. SPA shock dyno [interaktyvus] [žiūrėta 2023-04-18]. Prieiga per internetą: <http://cskdyno.co.uk/html/spa.html>
  22. VASQUEZ F., LOT R., RUSTIGHI E., PEGORARO R. Tyre forces estimation for off-road motorcycles [interaktyvus]. Elsevier, 2020 [žiūrėta 2023-04-18]. Prieiga per: Science Direct
  23. Correct damping forces [interaktyvus] [žiūrėta 2023-04-18]. Prieiga per internetą: <https://www.extremeshox.com/blog-post/tech-lab-episode-4-find-correct-damping-forces/>
  24. SHIVARAJ SINGH W., SRILATHA N. Design And Analysis Of Shock Absorber: A Review [interaktyvus]. Elsevier, 2018 [žiūrėta 2023-04-18]. Prieiga per: Science Direct
  25. PHALKE A., AGREWALE M. R. B. Optimal brake force distribution in motorcycle for straight-line braking [interaktyvus]. Elsevier, 2023 [žiūrėta 2023-04-18]. Prieiga per: Science Direct
  26. REPIN S., BUKIROV R., VASILIEVA P. Study on effects of damping characteristics of base chassis suspension on operational safety of transport and handling machinery [interaktyvus]. Elsevier, 2020 [žiūrėta 2023-04-18]. Prieiga per: Science Direct
  27. AZAR M., GRASSO M., ROSE T., CARLESS O., STELEGER-HARRIS C., LAWSON C. Experimental and numerical investigation of heave damper hydraulic seal for racing car [interaktyvus]. Elsevier, 2022 [žiūrėta 2023-04-18]. Prieiga per: Science Direct
  28. DIXON, John C. *The Shock Absorber Handbook*: knyga. Jungtinė Karalystė: 2007. 445 p.
  29. KASPRZAK, Jim. Understanding your Dampers [interaktyvus]. Jungtinės Amerikos Valstijos: 26p. Prieiga per: <https://www.kaztechnologies.com/wp-content/uploads/A-Guide-To-Your-Dampers-Chapter-from-FSAE-Book-by-Jim-Kasprzak-Updated.pdf>
  30. Viscometer specifications [interaktyvus] [žiūrėta 2023-04-18]. Prieiga per internetą: <https://www.brookfieldengineering.com/-/media/ametekbrookfield/manuals/obsolete%20manuals/dviiipro%20m03165f0612.pdf?la=en&fbclid=IwAR2sRzHX9LS4LzT6kkm0enZi6cKau4k06x3lJVi6zP3NapN1u6Iap29dv9M>
  31. F225 Load cell specifications [interaktyvus] [žiūrėta 2023-04-18]. Prieiga per internetą: <https://www.novatechloadcells.co.uk/products/f225>
  32. Viscosity meaning [interaktyvus] [žiūrėta 2023-04-18]. Prieiga per internetą: <https://www.britannica.com/science/viscosity>
  33. Beta motorcycle specifications [interaktyvus] [žiūrėta 2023-04-18]. Prieiga per internetą: <https://www.betamotor.com/en/manuals/results/>
  34. Potentiometer specifications [interaktyvus] [žiūrėta 2023-04-18]. Prieiga per internetą: <https://www.variohm.com/products/linear-position-sensors-/linear-potentiometers/vlp-vxp-linear-potentiometer>
  35. DL1 specifications [interaktyvus] [žiūrėta 2023-04-18]. Prieiga per internetą: [https://www.race-technology.com/upload/DL1\\_Dsheet.pdf](https://www.race-technology.com/upload/DL1_Dsheet.pdf)
  36. RAAMI L., VARIS T., VALTONEN K., WENDLER M., VOLKOVA O., PEURA P. Enhancing the cavitation erosion resistance of AISI 420-type stainless steel with quenching and partitioning [interaktyvus]. Elsevier, 2023 [žiūrėta 2023-04-18]. Prieiga per: Science Direct

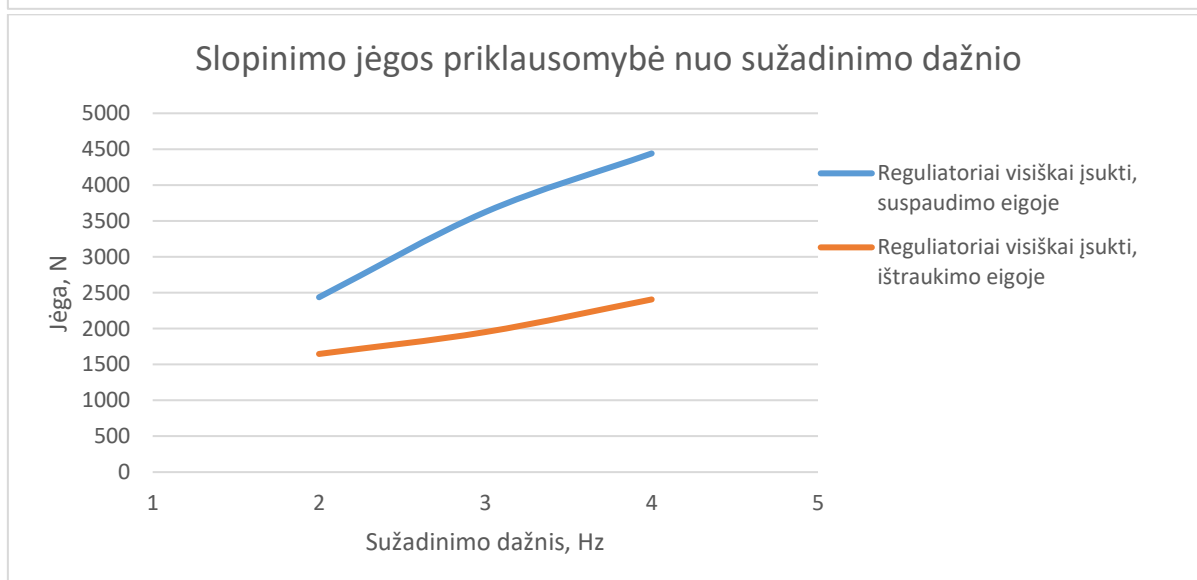
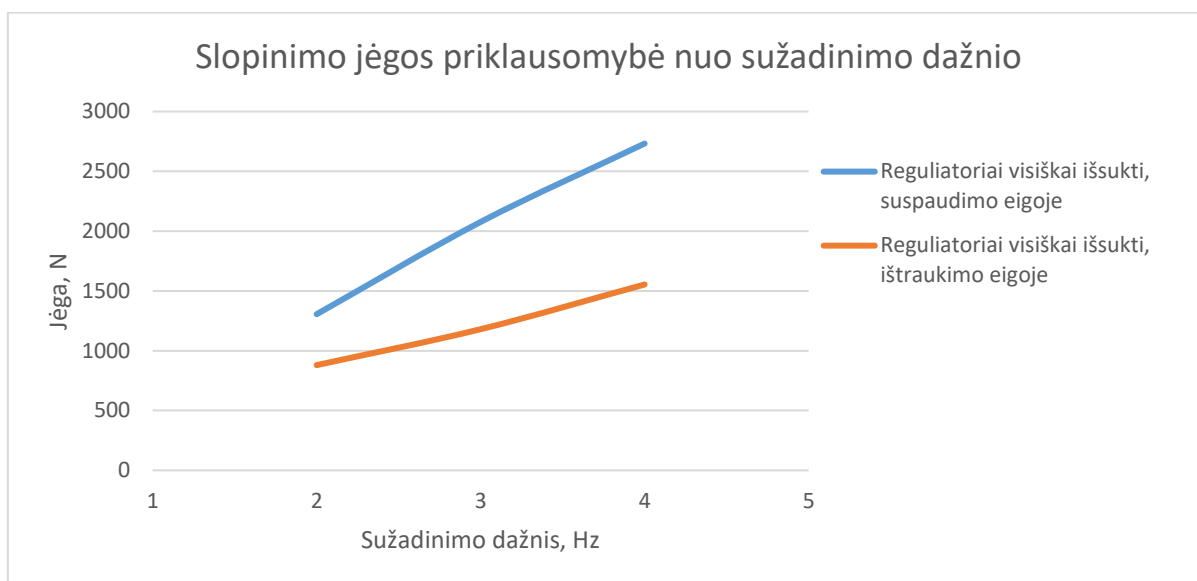
37. HRYCIOW, Zdzislaw. An Investigation of the Influence of Temperature and Technical Condition on the Hydraulic Shock Absorber Characteristics [interaktyvus]. Poland: 11 p. Prieiga per: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/24/12765>
38. Beta RR250 Racing [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-15]. Prieiga per internetą: <https://dirtbikemagazine.com/2019-beta-rr-racing-editions/>

## Priedai

### 1 priedas. Didžiausių slopinimo jėgų priklausomybė nuo reguliatorių padėties 2 Hz ir 4 Hz dažnio žadinimo atvejais



**2 priedas. Slopavimo jėgų priklausomybių grafikai nuo stūmoklio judėjimo greičio reguliatoriams nustatytiems minkščiausioje bei standžiausioje padėtyse**



### 3 priedas. Slopintuvo užpildyto skirtingomis alyvomis jėgų priklausomybė nuo žadinimo dažnio

1 lentelė. Slopintuvo pasipriešinimo suspaudimui jėgos, naudojant skirtingas alyvas ir reguliatoriams nustatytiems vidurinėje padėtyje

Žadinimo dažnis, Hz	Slopintuvo pasipriešinimo jėga su nežinoma alyva, N	Slopintuvo pasipriešinimo jėga su „α“ alyva, N	Slopintuvo pasipriešinimo jėga su „β“ alyva, N	Slopintuvo pasipriešinimo jėga su „γ“ alyva, N
2	1540,02 ± 75	1431,2 ± 75	1544,75 ± 75	1464,32 ± 75
Skirtumas tarp nežinomos ir žinomos alyvų, N	-	-108,82	4,73	-75,7
3	2278,09 ± 75	2223,68 ± 75	2320,67 ± 75	2297,01 ± 75
Skirtumas tarp nežinomos ir žinomos alyvų, N	-	-54,41	42,58	18,92
4	3061,11 ± 75	3106,06 ± 75	3065,84 ± 75	3051,65 ± 75
Skirtumas tarp nežinomos ir žinomos alyvų, N	-	44,95	4,73	-9,46

2 lentelė. Slopintuvo pasipriešinimo ištraukimui jėgos, naudojant skirtingas alyvas ir reguliatoriams nustatytiems vidurinėje padėtyje

Žadinimo dažnis, Hz	Slopintuvo pasipriešinimo jėga su nežinoma alyva, N	Slopintuvo pasipriešinimo jėga su „α“ alyva, N	Slopintuvo pasipriešinimo jėga su „β“ alyva, N	Slopintuvo pasipriešinimo jėga su „γ“ alyva, N
2	960,44 ± 75	884,74 ± 75	934,42 ± 75	950,98 ± 75
Skirtumas tarp nežinomos ir žinomos alyvų, N	-	-75,7	-26,02	-9,46
3	1322,38 ± 75	1277,43 ± 75	1317,65 ± 75	1267,97 ± 75
Skirtumas tarp nežinomos ir žinomos alyvų, N	-	-44,95	-4,73	-54,41
4	1705,61 ± 75	1674,86 ± 75	1670,13 ± 75	1629,91 ± 75
Skirtumas tarp nežinomos ir žinomos alyvų, N	-	-30,75	-35,48	-75,7

3 lentelė. Slopintuvo pasipriešinimo suspaudimui jėgos, naudojant skirtingas alyvas ir reguliatoriams nustatytiems standžiausioje padėtyje

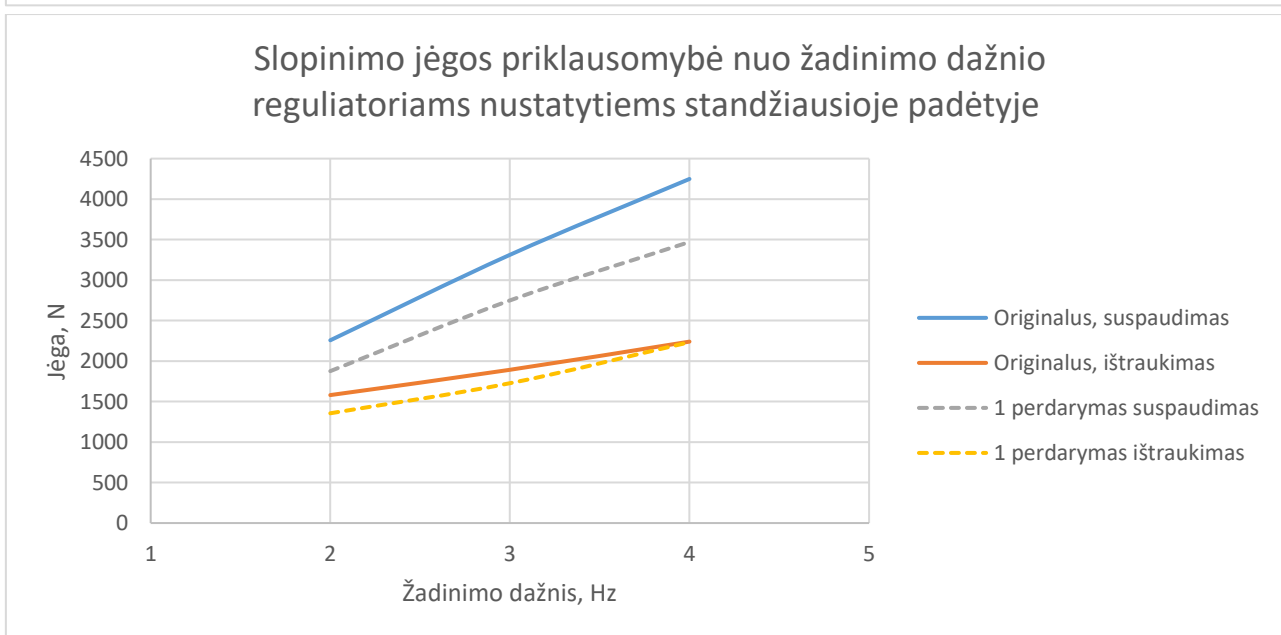
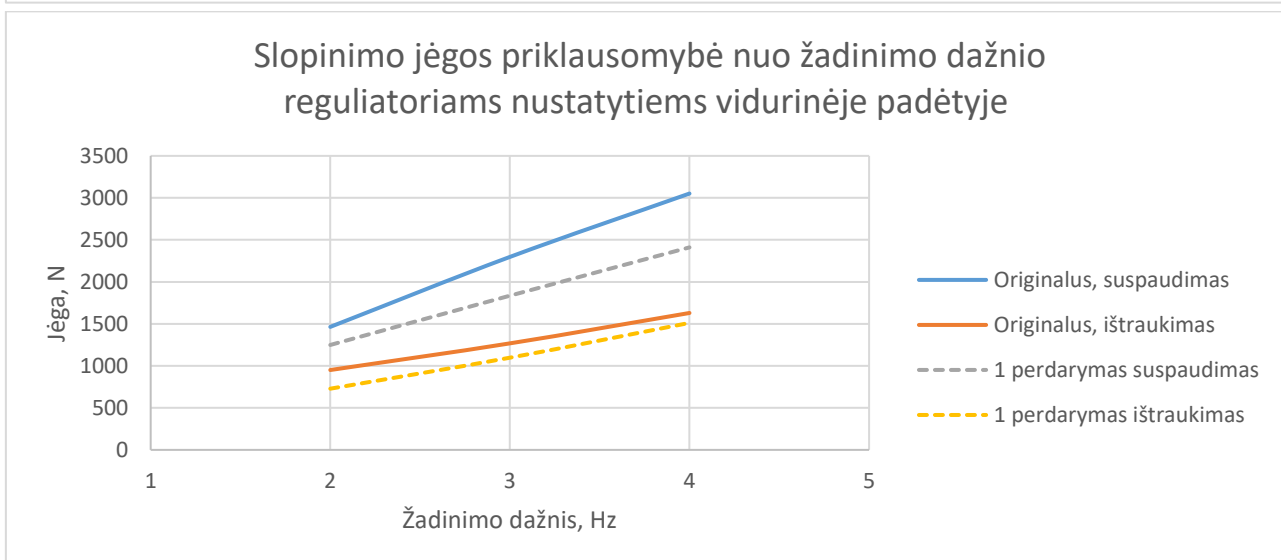
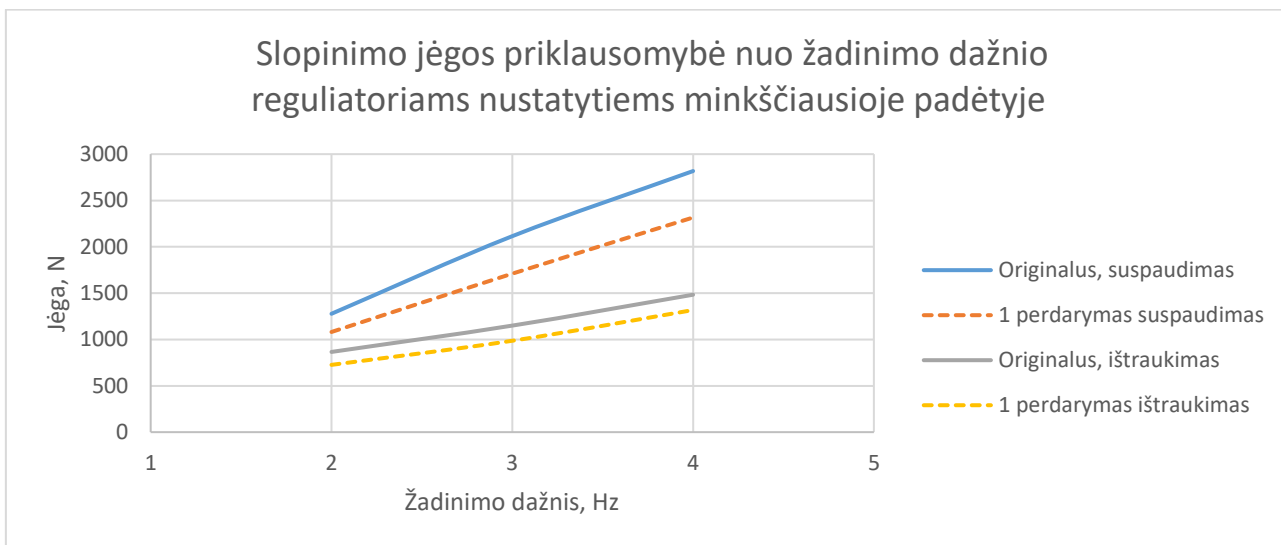
Žadinimo dažnis, Hz	Slopintuvo pasipriešinimo jėga su nežinoma alyva, N	Slopintuvo pasipriešinimo jėga su „α“ alyva, N	Slopintuvo pasipriešinimo jėga su „β“ alyva, N	Slopintuvo pasipriešinimo jėga su „γ“ alyva, N
2	2436,59 ± 75	2408,20 ± 75	2464,97 ± 75	2256,80 ± 75
Skirtumas tarp nežinomos ir žinomos alyvų, N	-	-28,39	28,38	-179,79
3	3624,13 ± 75	3467,99 ± 75	3430,14 ± 75	3311,86 ± 75
Skirtumas tarp nežinomos ir žinomos alyvų, N	-	-156,14	-193,99	-312,27
4	4440,26 ± 75	4374,03 ± 75	4407,14 ± 75	4248,65 ± 75

Skirtumas tarp nežinomos ir žinomos alyvų, N	-	-66,23	-33,12	-191,61
--	---	--------	--------	---------

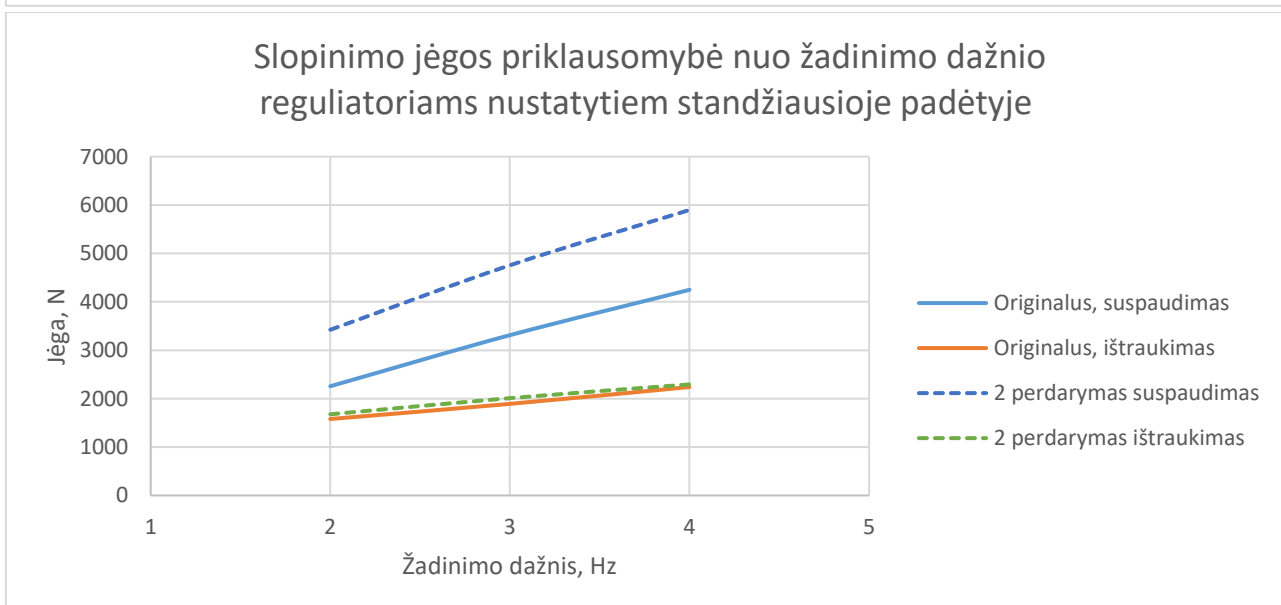
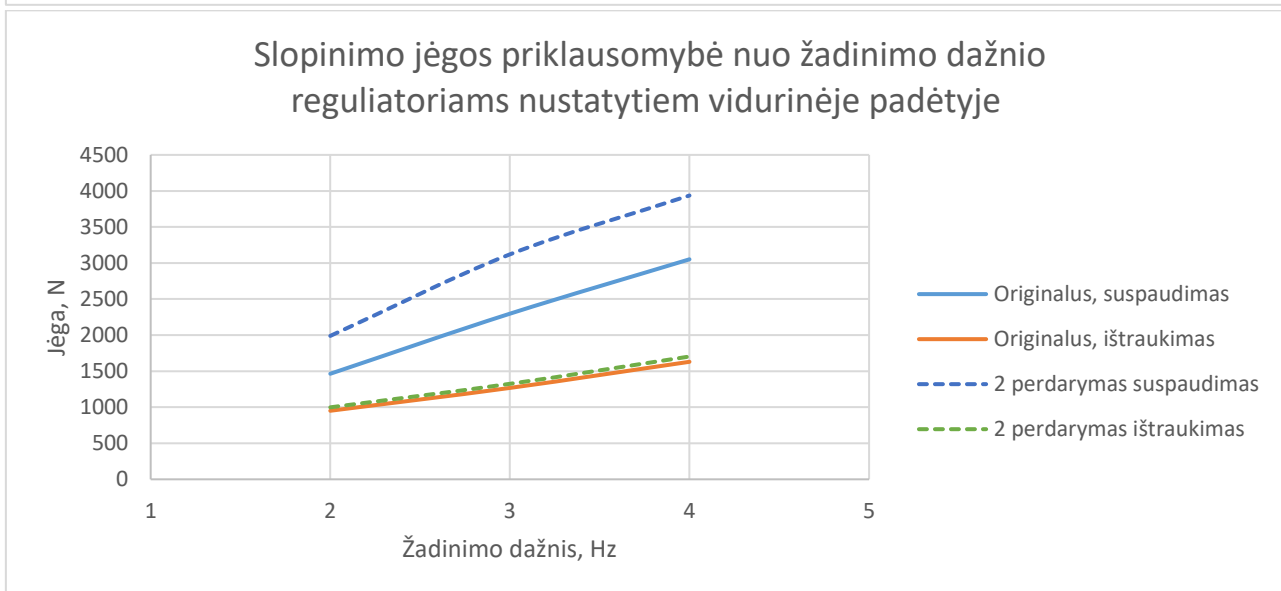
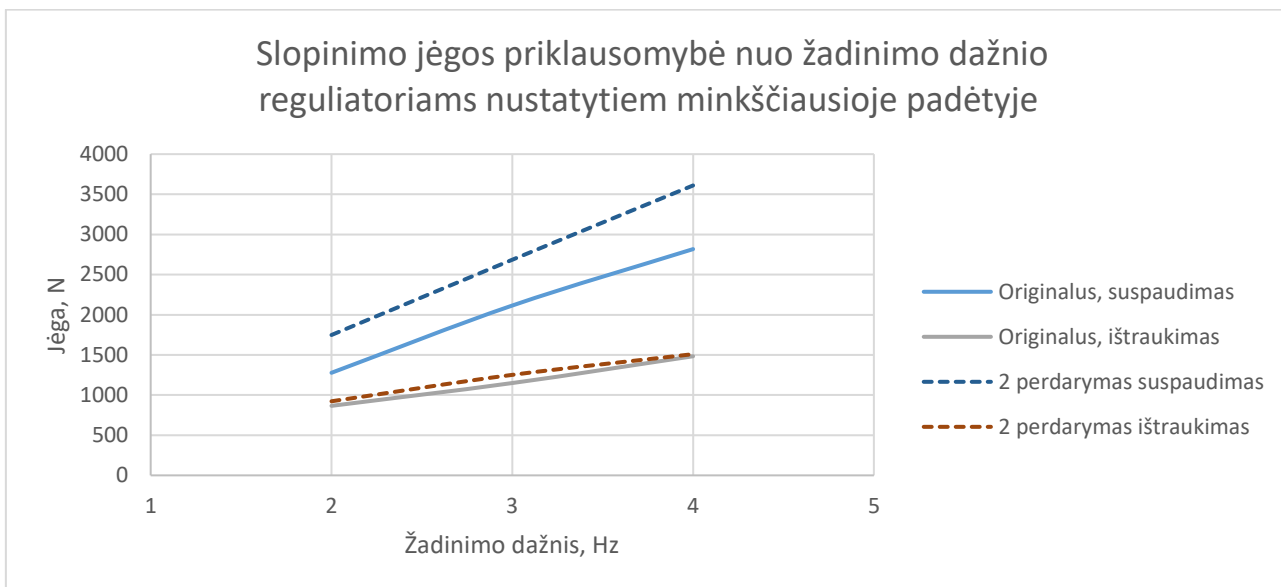
**4 lentelė.** Slopintuvo pasipriešinimo ištraukimui jėgos, naudojant skirtingas alyvas ir reguliatoriams nustatytiems standžiausioje padėtyje

Žadinimo dažnis, Hz	Slopintuvo pasipriešinimo jėga su nežinoma alyva, N	Slopintuvo pasipriešinimo jėga su „α“ alyva, N	Slopintuvo pasipriešinimo jėga su „β“ alyva, N	Slopintuvo pasipriešinimo jėga su „γ“ alyva, N
2	1646,47 ± 75	1549,48 ± 75	1523,46 ± 75	1580,23 ± 75
Skirtumas tarp nežinomos ir žinomos alyvų, N	-	-96,99	-123,01	-66,24
3	1951,63 ± 75	1946,90 ± 75	1949,27 ± 75	1892,49 ± 75
Skirtumas tarp nežinomos ir žinomos alyvų, N	-	-4,73	-2,36	-59,14
4	2405,83 ± 75	2325,40 ± 75	2273,36 ± 75	2240,24 ± 75
Skirtumas tarp nežinomos ir žinomos alyvų, N	-	-80,43	-132,47	-165,59

**4 priedas. Pirmosios plokštelių rinkinio modifikacijos slopinimo jėgų priklausomybių grafikai nuo stūmoklio žadinimo dažnio**



**5 priedas. Antrosios plokštelių rinkinio modifikacijos slopinimo jėgų priklausomybių grafikai nuo stūmoklio žadinimo dažnio**



**6 priedas. Trečiosios plokštelių rinkinio modifikacijos slopinimo jėgų priklausomybių grafikai nuo stūmoklio žadinimo dažnio**

