



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

Mindaugas Rubis

**LAIŲ GALŲ NUŽIEVINIMO IR UŽSPAUDIMO ĮRENGINIO
PAVAROS TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Valdas Eidukynas

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

LAIŲ GALŲ NUŽIEVINIMO IR UŽSPAUDIMO
ĮRENGINIO PAVAROS TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Mechanikos inžinerija (621H30001)

Vadovas

(parašas) Doc. dr. Valdas Eidukynas
(data)

Recenzentas

(parašas) Doc. dr. Paulius Griškevičius
(data)

Projektą atliko

(parašas) Mindaugas Rubis
(data)

KAUNAS, 2016



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino

(Fakultetas)

Mindaugas Rubis

(Studento vardas, pavardė)

Mechanikos inžinerija, 621H30001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Baigiamojo projekto pavadinimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 ____ m. _____ d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Mindaugo Rubio**, baigiamasis projektas tema „Laidų galų nužievinimo ir užspaudimo įrenginio pavaros tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Rubis, Mindaugas. Laidų galų nužievinimo ir užspaudimo įrenginio pavaros tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Valdas Eidukynas; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas, Mechanikos inžinerijos katedra.

Studijų kryptis ir sritis: Mechanikos inžinerija

Reikšminiai žodžiai: *Nužievinimas, kumštelis, sekiklis, fazė, trajektorija, profilis.*

Kaunas, 2016. 46 p.

SANTRAUKA

Šio magistro baigiamojo projekto tikslas, naudojant kinematinės analizės metodus sudaryti laidų nužievinimo ir užspaudimo įrenginio pavaros virtualų ir skaičiuojamąjį modelį leidžianti patikrinti prototipo funkciškumą esant skirtingoms pavaros parametrų reikšmėms ir veikimo sąlygoms. Tyrimą sudarė šie etapai: 1) literatūros analizė; 2) judėjimo dėsnio sudarymas ir pagrindinių parametrų nustatymas; 3) pavaros projektavimas; 4) pavaros kinematinė ir stiprumo analizės. Pagal gautus rezultatus sudarytos išvados.

Pirmame skyriuje trumpai apžvelgiami pagrindiniai nužievinimo ir antgalių užspaudimo įrengimai, atliekama įrengimuose naudojamų pavarų analizė. Trumpai pristatomas ir nužievinimo-užspaudimo įrenginio virtualus modelis.

Trečiojoje dalyje sudaromas judėjimo dėsnis ir parenkami pagrindiniai parametrai, atsižvelgiant į statistiškai gautus rezultatus. Taip pat, pateikiamas pavaros kumštelių projektavimo algoritmas. Trečioje dalyje aprašytos atliktos kinematinės ir stiprumo analizės, naudojant „SolidWorks 2015“ programą.

Paskutinėje dalyje pateikiamos baigiamojo projekto išvados ir pavaros tobulinimo pasiūlymai.

Rubis, Mindaugas. *Research of Actuator for Wire Stripping and Crimping Machine: Master's thesis in Mechanical Engineering* / supervisor assoc. prof. Valdas Eidukynas. The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Department of Mechanical Engineering, Kaunas University of Technology.

Study area and field: Mechanical Engineering

Key words: *Stripping, cam, follower, phase, trajectory, profile.*

Kaunas, 2016. 46 p.

SUMMARY

The aim of final project is to create virtual actuator and computational models of wire stripping and crimping machine for verification of the prototype functionality at different parameter values and operating conditions. The study consisted of the following stages: 1) analysis of the literature; 2) creation of motion laws and analysis of main motion law curvature parameters; 3) design of actuator; 4) a kinematic transmission and strength analysis. Conclusions were prepared according to the simulation results.

The first section provides a brief overview of the main wire stripping and crimping equipment, and short introduction into specific actuators used in these machines. Shortly are described stripping and crimping machine concept and virtual model.

The third part is about motion curvature design and selection of key parameters, according to the used statistical results. Algorithm of cams design is presented. The third part describes performed kinematic and strength analysis using SolidWorks 2015 program.

Conclusions and suggestions for future improvements are presented in last chapter of final project.

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

Tvirtinu:

Mechanikos inžinerijos katedros vedėjas
Vytautas Grigas

(Parašas, data)

Mechanikos inžinerijos krypties studijų
programų vadovas Kęstutis Pilkauskas

(Parašas, data)

MAGISTRANTŪROS UNIVERSITETINIŲ STUDIJŲ BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS
Studijų programa: MECHANIKOS INŽINERIJA - 621H30001

Patvirtinta 2016 m. Gegužės mėn. 3 d. dekanų įsakymu Nr. V 25-11-7

Išduota MDM-4/5 gr. studentui *Mindaugas Rubis*

- | | |
|---------------------|--|
| 1. Darbo tema: | Laidų galų nužievinimo ir užspaudimo įrenginio pavaros tyrimas
<i>Research of Wire Stripping and Crimping Machine Actuator</i> |
| 2. Darbo tikslas: | Sudaryti judėjimo dėsnį laidų nužievinimo ir užspaudimo įrenginio pavarai ir pagal šį dėsnį modernizuoti ir ištirti naudojamą pavarą. |
| 3. Darbo uždaviniai | <ul style="list-style-type: none">• Išanalizuoti literatūrą, susijusią su darbo tema.• Nustatyti pagrindinius judėjimo dėsnų parametrų reikšmes pavaros sekikliams.• Atlikti teorinės ir skaitmeninės judėjimo trajektorijos analizę.• Atlikti pavaros kinematinį parametrų analizę.• Nustatyti trinties jėgų tarp pavaros elementų įtaką pavaros veikimui.• Atlikti svarbiausių mechanizmo detalių stiprumo analizę. |

4. Specialūs reikalavimai ir sąlygos

Suprojektuotos pavaros poslinkiai negali viršyti 5 % paklaidos.

5. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo darbo dalis

6. Darbo pateikimo (gynimui) terminas

iki

(data)

Užduotį gavau:

(studento vardas, pavardė, parašas)

(data)

Vadovas:

(pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

TURINYS

ĮVADAS	8
1. LAIDŲ NUŽIEVINIMO IR ANTGALIŲ UŽKALIMO ĮRANKIŲ IR ĮRENGINIŲ IR NAUDOJAMŲ PAVARŲ APŽVALGA	9
1.1. Apdirbami laidai ir antgaliai	9
1.2. Laidų nužievinimo ir antgalių užkalimo įrangos apžvalga	10
1.3. Laidų nužievinimo ir antgalių užkalimo įrangoje naudojamų pavarų apžvalga	14
1.3.1. Pavaros su tiesiaeičio judesio elementais	14
1.4. Literatūros apžvalgos apibendrinimas	17
2. LAIDŲ NUŽIEVINIMO IR ANTGALIO UŽSPAUDIMO ĮRENGINIO PROTOTIPO ERDVINIO MODELIO KONSTRUKCIJA	18
3. KUMŠTELIŲ MAZGO PROJEKTAVIMO ALGORITMAS	21
3.1. Judėjimo trajektorija ir sekiklių judėjimo fazės	21
3.2. Išilginių ir skersinių judesių sekiklių judėjimo dėsnio nustatymas	23
3.3. Pagreičio priklausomybė nuo judėjimo dėsnio kreivės parametrų	25
3.4. Kumštelių judėjimo dėsnų charakteristikų nustatymas	28
3.5. Kumštelių projektavimas	32
4. PAVAROS PARAMETRŲ TYRIMAS	35
4.1. Realios ir teorinės trajektorijos palyginimas	35
4.2. Kumštelinės pavaros kinematinė analizė	37
4.3. Judėjimo trajektorijos priklausomybė nuo trinties jėgų	38
4.4. Slėgio kampo ν priklausomybė nuo pradinio apskritimo spindulio R_0	39
4.5. Skersinio judesio kumštelio stiprumo analizė	42
6. LITERATŪRA	45
PRIEDAI	47

IVADAS

Darbo aktualumas. Sparčiai tobulėjant elektronikos įrangai, plečiasi jos naudojimas buityje, gamyboje, medicinoje, transporto sistemose ir kitose srityse. Didėjant elektronikos komponentų įvairovei, įranga standartizuojama, o jos gaminiuose panaudojama vis daugiau įvairių elementų ir sujungimų, kurie reikalauja surinkimą palengvinančių ir spartinančių įrengimų. Dėl šios priežasties elektroninės įrangos gamybos ar surinkimo įmonėse sparčiai plečiasi elektromechaninio surinkimo padaliniai, kuriems būtina tinkama ir efektyvi įranga. Parinkus tinkamas pavaras ir jų elementus galima sukurti universalius ir nebrangiai kainuojančius įrengimus, kurie leidžia optimizuoti laidų paruošimo procesus.

Pritaikomumas: projektuojama pavana gali būti pritaikyta įvairaus dydžio laidų nužievinimo ir antgalių užspaudimo įrangoje. Naudojamos pavaros judėjimo dėsnis yra universalus ir taip pat gali būti pritaikytas tokį patį dėsnį naudojančiuose kitos paskirties įrengimuose.

Darbo tikslas: sudaryti judėjimo dėsnį laidų nužievinimo ir antgalių užspaudimo įrenginio pavara ir pagal šį dėsnį modernizuoti naudojamą pavara.

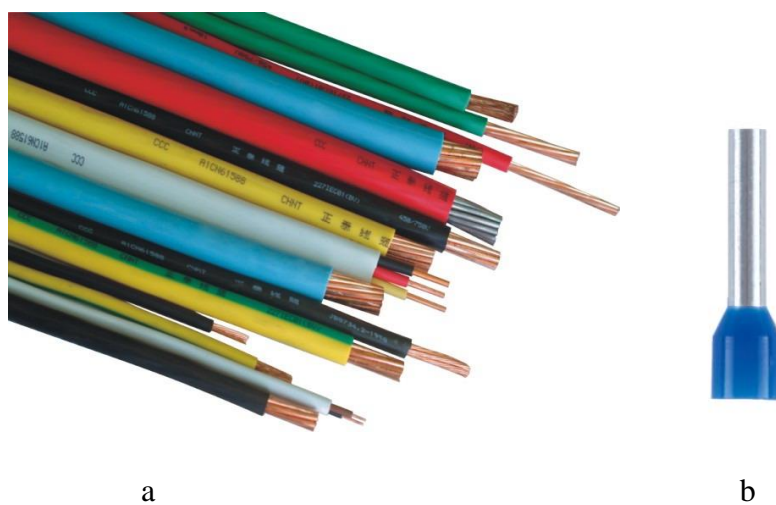
Darbo uždaviniai:

- Išanalizuoti literatūrą, susijusią su darbo tema.
- Nustatyti pagrindinius judėjimo dėsnų parametrų reikšmes pavaros sekikliams.
- Atlikti teorinės ir skaitmeninės judėjimo trajektorijos analizę.
- Atlikti pavaros kinematinę parametrų analizę.
- Nustatyti trinties jėgų tarp pavaros elementų įtaką pavaros veikimui.
- Įvertinti kumštelių pradinio apskritimo spindulio įtaką slėgio kampo dydžiui tyriamoje pavaroje.
- Atlikti svarbiausių mechanizmo detalių stiprumo analizę.

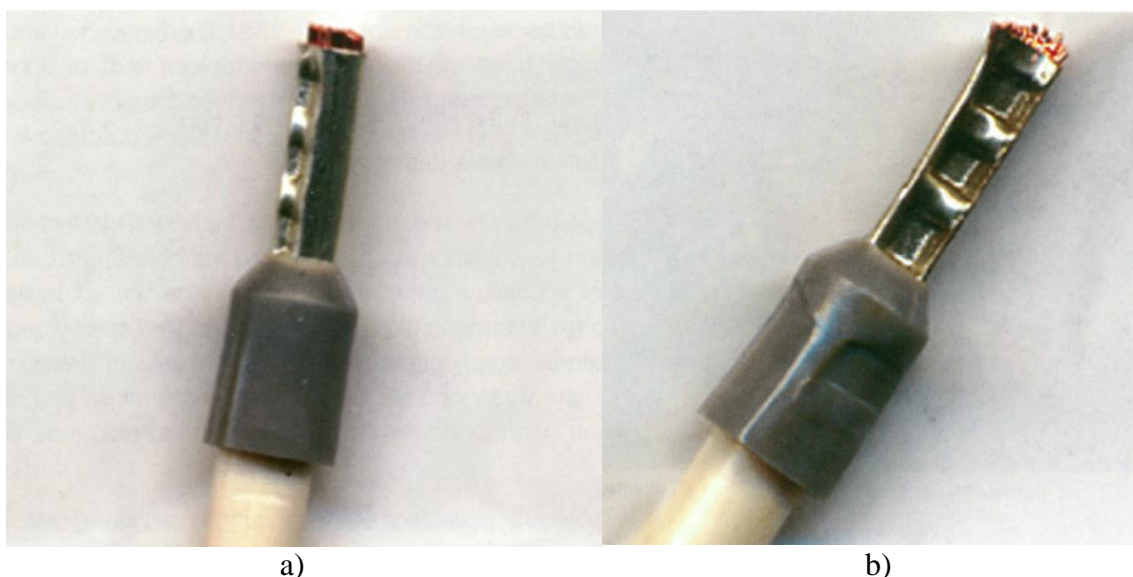
1. LAIDŲ NUŽIEVINIMO IR ANTGALIŲ UŽKALIMO ĮRANKIŲ IR ĮRENGINIŲ IR NAUDOJAMŲ PAVARŲ APŽVALGA

1.1. Apdirbami laidai ir antgaliai

Elektros laidai ir kabeliai sudaryti iš laidininko, padengto vienu ar keliais apsauginiais sluoksniais, kurie vadinami apsaugine izoliacija/žieve. Tam tikri kabelių tipai naudoja ir ekranuojantį sluoksnį. Apsauginis sluoksnis naudojamas kaip izoliatorius, dielektrikas ir apsauga nuo mechaninių pažeidimų ar aplinkos poveikio. Norint sujungti laidus ar prie jų prijungti elektros prietaisą, detalę (pvz. elektros kištuką), reikia dalį šios izoliacijos pašalinti t.y. reikia nužievinti laidų galus, kad liktų laidininkas (žr. 1.1 pav.,a), tačiau dažnai to nepakanka, ypač kai laidai yra daugiagysliai. Norint užtikrinti, kad visos laidininko gyslos būtų prijungtos prie elektronikos įrenginio, ant nužievinto laido užspaudžiami/užkalami specialūs terminalai. 1.1 pav.,b pavaizduoto antgalio, kuriais užkalti laidai jungiami prie elektronikos įrenginių įstatant juos į jungtis, kuriose antgalis prispaudžiamos spyruoklėmis arba varžtais. Minėtiems darbams atlikti siūloma daug specialių įrankių, kurie priklausomai nuo darbų kiekio gali būti daugiau ar mažiau automatizuoti, apdirbami mašinomis, kurios atlieka vieną ar kelias funkcijas. Vieni tokių įrankių/įrenginių skirti tik nužievinimui, kiti užspaudimui/užkalimui, o dar kitais galima atlikti abu minėtus darbus. Esant dideliame gaminių kiekiui galima visiškai robotizuoti laidų paruošimo operacijas įtraukiant ir kabelių karpymą, pynimą, vyniojimą ar montavimą į gaminį.



1.1 pav. Nužievinti laidų galai – a [1], specialus antgalis – b



1.2 pav. Ferulių užspaudimai: a) tenkina visus reikalavimus; b) ferulė su defektais

Pagal IPC 620 standartą [2] antgalis turi būti pilnai užpildytas laidininko gyslomis. Užkaltos antgalio skerspjūvio profilis turi būti simetriškas, o laido izoliacija – iki galo įkištas į antgalio sijonėlį (1.2 pav. a)). Trečios klasės (pagal IPC 620 standartą – aukščiausios klasės) užspaudimuose laidininkas negali išlysti iš antgalio daugiau nei 0,5 mm. Defektu visose klasėse laikomas antgalio įskilimas, deformuotas antgalio sijonėlis, izoliacijos sluoksnio nepaslėpimas po sijonėliu ar dalies laidininko gyslų išlindimas iš plastikinio sijonėlio.

1.2. Laidų nužievinimo ir antgalių užkalimo įrangos apžvalga

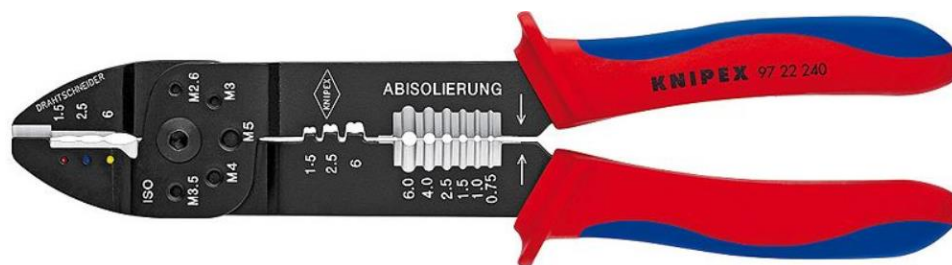
Laidus nužievinėti galima ir nenaudojant specialių įrankių. Tam pakanka turėti bet kokį aštrų peiliuką, tačiau taip nužievinama tik tuomet, kai laidų mažai ir nekeliami aukšti kokybės reikalavimai. Šis metodas yra nenašus, galima lengvai pažeisti pačio laido laidininką ar jo gyslas.

Kai nužievinamų laidų yra daugiau, naudojami tam skirti įrankiai. Šiuo metu rinkoje galima rasti ne vieno gamintojo siūlomų įrankių, pavyzdžiui, Weidmuller, Knipex, Pressmaster, GLW.

Priklausomai nuo darbų apimtys galima naudoti paprastesnius, pigesnius, bet tuo pačiu ir mažiau našius įrankius, pavyzdžiui 1.3 pav. pateiktas gamintojo HUS-TSAN nužievinimo įrankis 20-10AWG WIHA Z49703 kainuojantis apie 20 Eur., o 1.4 pav. pateiktos šiek tiek universalesnis gamintojo KNIPEX laidų nužievinimo ir jungčių užspaudimo replės 97 22 240 [3], kurių kaina yra apie 25 Eur.



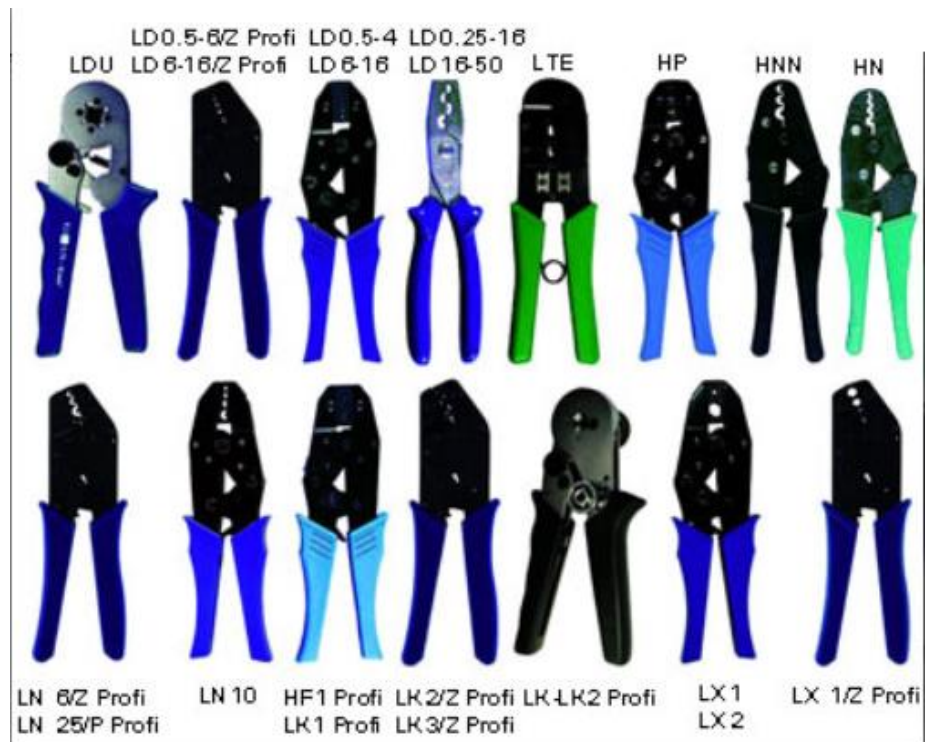
1.3 pav. Gamintojo HUS-TSAN nužievinimo įrankis 20-10AWG WIHA Z49703 [4]



1.4 pav. Gamintojo KNIPEX laidų nužievinimo ir jungčių užspaudimo replės 97 22 240

Kai darbų apimtis didesnė naudojami labiau specializuoti laidų galų paruošimo įrankiai. Pavyzdžiui, 0,2- 10 mm² skerspjūvio laidams nužievinėti naudojamas tiesaus nužievinimo įrankis, kuris savaime susireguliuoja pjovimo ir nužievinimo režimams. Šis įrankis skirtas elektros instaliacijos ir įrangos laidams (90% laidų gali būti nužievinami be rankinio įrankio reguliavimo). Lengvai keičiamos nužievinimo kasetės leidžia nužievinėti plataus spektro izoliacijas nuo PVC iki PTFE su vienu įrankiu. Tokio įrankio kaina yra apie 55 Eur.

Laidų terminalų užspaudimui taip pat naudojama daug įvairių įrankių, replių (žr. 1.5 pav.), kurios parenkamos pagal tai kokio tipo terminalai ir ant kokio tipo laido yra užspaudžiami. Taip pat užspaudimo įrankis priklauso ir nuo gamintojo, nes dažniausiai terminalo gamintojas gamina ir jiems skirtus užspaudimo įrankius. Kaip pavyzdys 1.6 pav. pateiktas gamintojo Knipex antgalių užspaudimo įrankis 97 53 04 skirtas antgaliams ant 0,08- 16 mm² skerspjūvio laidų užspausti [5]. Tokio įrankio kaina apie 150 Eur.



1.5 pav. Laidų terminalų užspaudimo replių pavyzdžiai



1.6 pav. Gamintojo Knipex angalių užspaudimo įrankis 97 53 04

Įvairūs gamintojai taip pat siūlo našių įvairaus automatizavimo lygio laidų nužievinimo ir antgalių užspaudimo įrenginių. Jų našumas gali siekti iki 1 sekundės vieno laido apdirbimui. Pagal veikimo principą tai gali būti pneumatiniai įrenginiai, elektriniai – pneumatiniai arba elektriniai. Kaip pavyzdys 1.7 pav. pateiktas Ezitown pneumatinis laidų antgalių užspaudimo įrenginys FEK-5ND, kurio gabaritiniai matmenys 230×187×100mm, o svoris apie 2 kg. Tokio tipo įrenginiai yra nedideli, lengvai transportuojami ir universalūs [6]. Dažnai tokie įrengimai turi keičiamas matricas, kurios leidžia užspausti įvairių rūšių ir dydžių antgalius. Tačiau naudojant pneumatinės pavaras kelioms

operacijoms atlikti, didėja įrenginio gabaritiniai matmenys, sumažėja jų universalumas. Taip pat norint naudoti pneumatinėmis pavaromis varomus įrenginius, būtina turėti suspausto oro paruošimo įrangą, o tai ne visada atsiperka.



1.7 pav. Ezitown pneumatinis laidų antgalių užspaudimo įrenginys FEK-5ND

1.8 pav. pateiktas laidų nužievinimo ir antgalių užspaudimo įrenginys GLW [7]. Šis įrengimas išsiskiria savo mažais gabaritais, lengva priežiūra ir valdymu. Taip pat šiam įrengimui užtenka tik elektros maitinimo, nereikia daug priežiūros. Šis įrengimas yra universalus, yra galima keisti specialius apdirbimo komponentus pagal apdirbamo laido skerspjūvį ir naudojamą antgalį. Laido nužievinimo ir užspaudimo judesių dėsnius apibrėžia specialių profilių ir tarpusavyje sinchronizuotų kumštelių pavara.



1.8 pav. GLW elektrinis laidų nužievinimo ir antgalių uždėjimo įrenginys

Automatizuotuose laidų nužievinimo ir antgalių užspaudimo įrenginiuose ruošiniai paprastai paduodami iš specialioje juostoje sudėtų antgalių, o birūs antgaliai pilami į vibrobunkerį iš kurio antgalis patenka į įrenginį.

1.3. Laidų nužievinimo ir antgalių užkalimo įrangoje naudojamų pavarų apžvalga

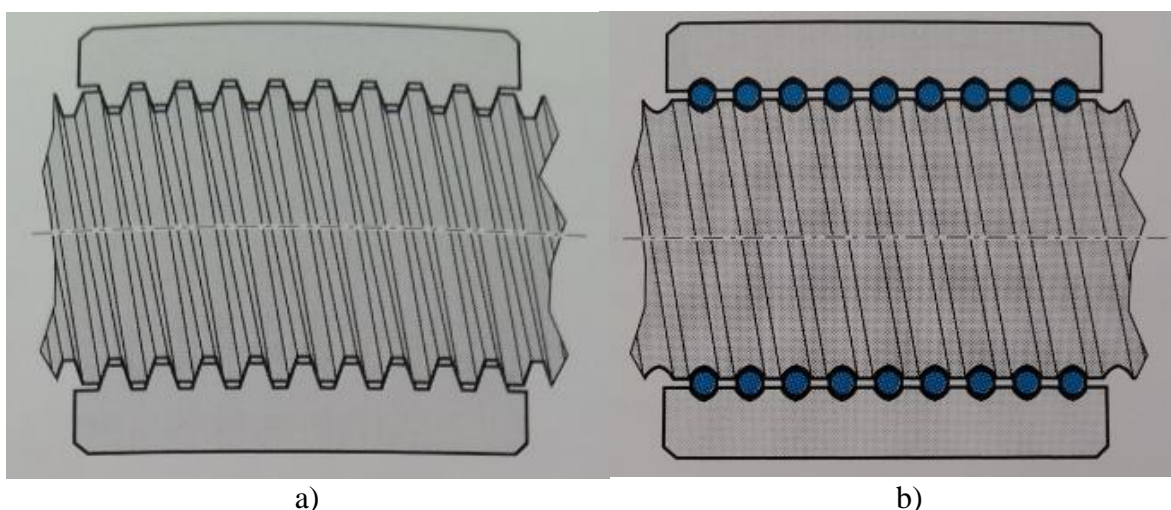
Galima išskirti šiuos pagrindinius pavarų tipus naudojamus laido apdirbimo įrenginiuose:

- Pneumatinės pavaros;
- Pavaros su tiesiaeigio judesio elementais (sraigtais, riedėjimo sraigtais);
- Pavaros su kumšteliniais mechanizmais.

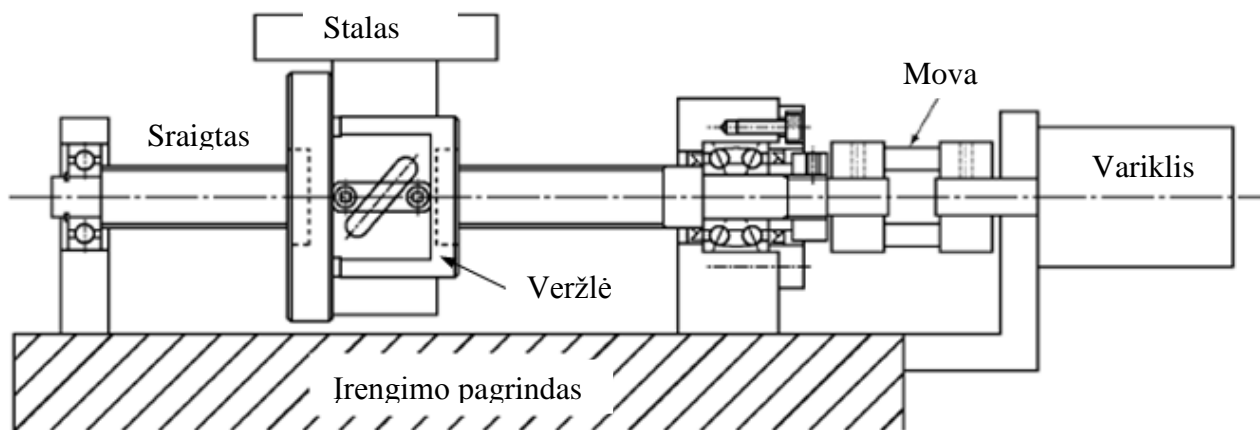
Plačiau šiame darbe aptariamos tik pavaros naudojančius tiesiaeigius elementus ir kumšteličius.

1.3.1. Pavaros su tiesiaeigio judesio elementais

Tiesiaeigio judesio technologijose dažnai naudojamos pavaros, kurios sukamąjį variklio judesį pakeičia tiesiaeigiu. Dažniausiai naudojamos pavaros su sraigtu ar riedėjimo sraigtu (1.9 pav.) Šiose pavarose pagrindiniai elementai yra variklis, sraigtas su veržle. Paprastai variklio sukamasis judesys per movą yra perduodamas sraigtui, o besisukdamas sraigtas suteikia linijinį judesį veržlei [8].



1.9 pav. Tiesiaeigio judesio pavarų sandara: a) sraigtinės pavaros; b) riedėjimo sraigto.



1.10 pav. Sraigto tvirtinimo schema [8]

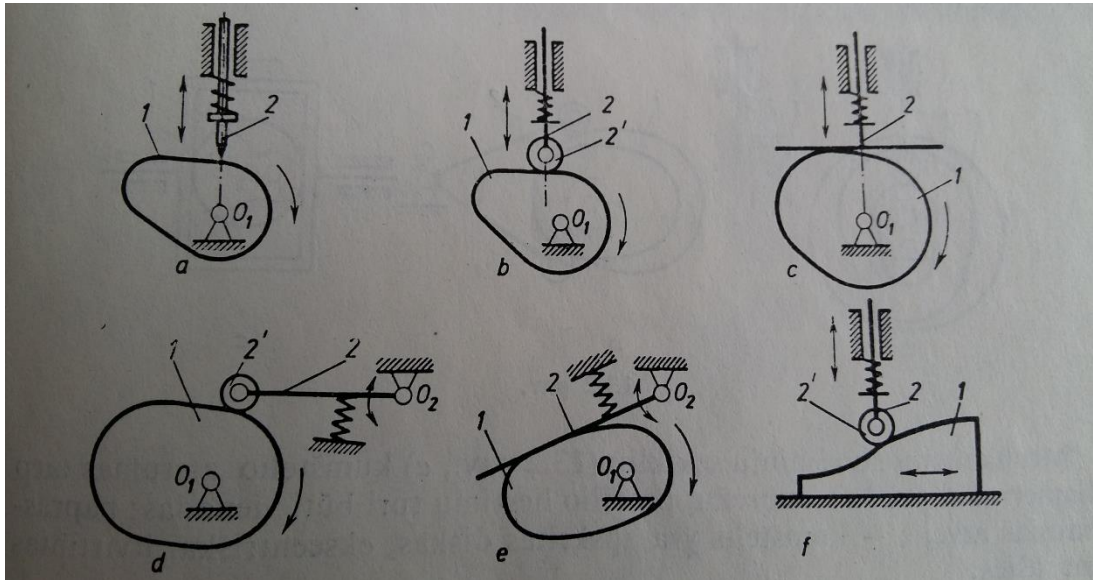
Dėl mažesnės trinties, įšilimo, dilimo, didelio naudingumo koeficiento ($\eta=0,9$), galimybės naudoti didesnius greičius ir ilgaamžiškumo šios pavaros yra ypač populiarios projektuojant įvairius įrengimus. Tačiau šias pavaras naudoti laidų apdirbimo mašinose sudėtingą dėl didelių pavarų gabaritų ir sudėtingo jų valdymo. Norint sinchronizuoti dviejų pavarų valdymą xy ašių atžvilgiu, reikia suprojektuoti valdymo sistemą, kuri susideda iš valdiklio ir pavaros padėties matavimo elementų, o tai dažnai papildomos išlaidos. Pavara papildomai kiekvieną kartą turi susikalibruoti.

Esant sudėtingiems judėjimo dėsniams, kintant pavaros greičiui labai krinta pavaros tikslumas.

1.3.1. Pavaros su kumšteliniais mechanizmais

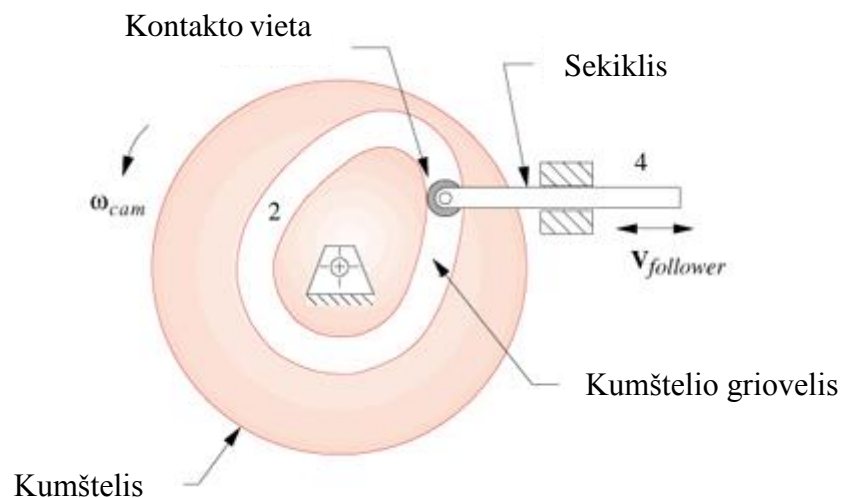
Paprasčiausi kumšteliniai mechanizmai yra sudaryti iš 3 elementų- sekiklio, kumštelio ir stovo. Išėjimo grandies dėsnis priklauso nuo kumštelio kinematinio profilio. Paprastai kumštelis perduoda sukamąjį judesį sekikliui, kuris sukamąjį judesį paverčia numatyto dėsnio slenkamuuju arba svyruojančiu judesiu [9].

Dažniausiai naudojami plokščiųjų kumštelinių mechanizmų kinematinios schemas su smailiu sekikliu (1.11 pav., *a*), sekikliu, kurio gale įtaisytas ritinėlis (1.11 pav., *b* ir *d*). Dėl intensyvaus dilimo rečiau naudojami sekikliai su plokščiuoju sekikliu (1.11 pav., *c* ir *e*). Dažniausiai naudojami ašiniai kumšteliniai mechanizmai, kuriuose sekiklio ašis eina per kumštelio sukimosi centrą O_I (1.11 pav., *a*, *c*). Visi 1.11 pav. pavaizduoti kumšteliniai mechanizmai yra jėginio sunėrimo, t.y. kontaktas tarp sekiklio ir kumštelio yra palaikomas per jėginį elementą (šiuo atveju spyruoklę).



1.11 pav. Pagrindiniai kumštelių mechanizmų tipai

Geometrinio sunėrimo kumšteluose teoriškai kumštelis ir sekiklis turi kontaktą dviejuose taškuose, todėl jiems nereikia papildomos jėgos kontakto išlaikymui tarp elementų. Tačiau, kad mechanizmas galėtų veikti, tarp sekiklio ir kumštelių sienelių turi būti tarpelis, todėl paprastai kumštelis su sekikliu liečiasi vienu tašku (1.12 pav.). Todėl, kai pasikeičia veikiančios jėgos kryptis, kinta ir kontakto vieta [11]. Tai dažnai sukelia įrengime nepageidaujamus virpesius, todėl tokius mechanizmus patartina naudoti kai greitis nedidelis.



1.12 pav. Pagrindiniai kumštelių mechanizmų tipai [12]

Šių mechanizmų pranašumas prieš kitus mechanizmus yra tai, kad teoriškai sekiklis gali judėti pagal bet kokią užduotą judėjimo dėsnį, sustoti bet kurioje eigos vietoje, lengva sinchronizuoti su kitais įrengimo mechanizmų judesiais [13]. Taip pat tokie mechanizmai išlaiko vienodą judėjimo dėsnį, kintant kumštelio sukimosi greičiui.

1.4. Literatūros apžvalgos apibendrinimas

Išanalizavus literatūros šaltinius, nuspresta naudoti geometrinio sunėrimo kumštelinių mechanizmų pavarą, nes kintant kumštelio sukimosi greičiui išlaikoma ta pati trajektorija, lengva tarpusavyje suderinti kelių kumštelinių mechanizmų judesius. Taip pat, galima parinkti bet kokią judėjimo dėsnį.

2. LAIDŲ NUŽIEVINIMO IR ANTGALIO UŽSPAUDIMO ĮRENGINIO PROTOTIPO ERDVINIO MODELIO KONSTRUKCIJA

Pagal techninę užduotį numatytas prototipo darbo ciklas (nuo laido padavimo į įrenginį iki jo ištraukimo su užspausu antgaliu) ne daugiau kaip 2 sekundės, todėl sudarant įrenginio ciklogramą pasirinkti du ribiniai variantai – kai ciklo trukmė 1,25 sekundės.

Sukonstruotas įrenginys laido antgalio uždėjimo procesą atlieka 9 nepriklausomais, vienas po kito vykstančiais žingsniais:

1. Laido suspaudimas;
2. Antgalio užtaisymas (paėmimas iš specialaus dėklo);
3. Įkirtimo posto užstūmimas ant prispausto laido;
4. Laido izoliacijos įkirtimas (įpjovimas);
5. Laido nužievinimas;
6. Antgalio prispaudimo posto privedimas prie laido galo;
7. Antgalio užmovimas ant nužievinto laido;
8. Antgalio užspaudimas;
9. Grįžimas į pradinę padėtį.

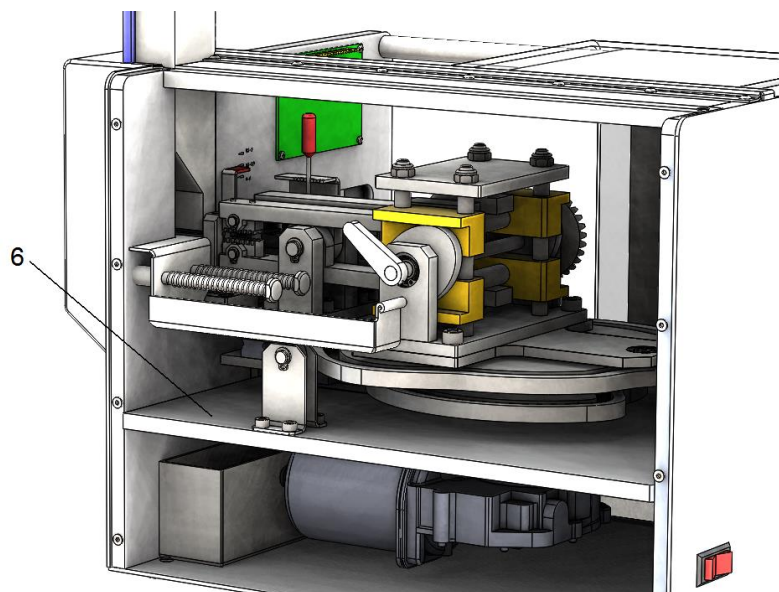
Modelis projektuotas taip, kad visi darbiniai judesiai atliekami naudojant du variklius. Pirmasis variklis skirtas darbinių elementų pozicionavimui išilgine ir skersine kryptimis. Antrasis variklis skirtas antgalio užtaisymo operacijai atlikti, laido izoliacijos įkirtimo ir antgalio užspaudimo operacijoms vykdyti.

Šiame darbe dėl mažos darbo apimties nagrinėjama tik pavara, kuri pozicionuoja darbinus elementus išilgine ir skersine kryptimis (2.1 pav.). Šios pavaros variklis funkcionuoja atlikdamas vieną veleno apsisukimą pastoviu kampiniu sukimosi greičiu. Nuo šio variklio priklauso visas laido apdirbimo ciklas (įrenginiui veikiant 1,25 sekundės ciklu variklis apsisuka 1 kartą per 1,25 sekundes).

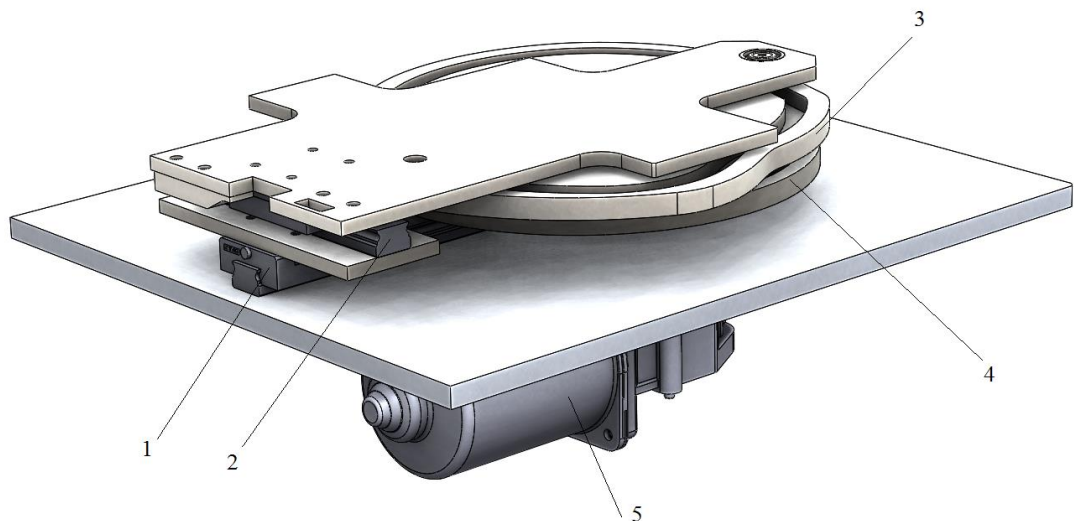
Laidų nužievinimo ir antgalių užspaudimo įrenginio prototipas pradeda darbinį ciklą, kai apdorojamas laidas įkišamas į padavimo angą. Laidas į šią angą įkišamas iš lėto, kol pajuntamas jo atsirėmimas į atramą. Tuo metu mikrojungiklis išduoda signalą pagrindinio įrenginio variklio paleidimui ir laidas automatiškai užspaudžiamas. Pilnas darbinis ciklas atliekamas be jokio tolimesnio įsikišimo. Uždėjus ir apspaudus antgalį įrenginys automatiškai sustoja, o apdorotas laidas atpalaiduojamas.

2.1 lentelė. Laidų nužievinimo ir antgalių užspaudimo įrenginio ciklograma

Eil. Nr.	Operacija	Pirmojo variklio pasisukimo kampas, °	Antrojo variklio pasisukimo kampas, °	Operacijos trukmė, s	Laikas, s
1	Laido užspaudimas	12	0	0,1	0,1
2	Antgalio užtaisymas	20	90	0,2	0,3
3	Įkirtimo posto užstūmimas ant prispausto laido	40	-90	0,16	0,46
4	Laido izoliacijos įkirtimas	32	45 - 90	0,2	0,66
5	Laido nužievinimas	40	0	0,2	0,86
6	Antgalio prispaudimo posto privedimas prie laido galo	32	- 45 - - 90	0,2	1,06
7	Antgalio užmovimas ant nužievinto laido	40	0	0,2	1,26
8	Antgalio užspaudimas	32	45 - 90	0,2	1,46
9	Grįžimas į pradinę padėtį	108	- 45 - - 90	0,34	1,8



2.2 pav. Laidų nužievinimo ir antgalių užspaudimo įrenginio prototipo pagrindinės pavaros montavimo vieta įrenginyje



2.2 pav. Laidų nužievinimo ir antgalių užspaudimo įrenginio prototipo pagrindinės pavaros modelis

2.2 pav. pateiktas įrenginio darbinių elementų pozicionavimo pavaros mechanizmas. Jis montuojamas ant įrengimo pagrindo plokštės. Po šia plokšte sumontuotas variklis (1.1 pav. 5 poz.). Ant plokštės montuojamos linijinio judesio kreipiančiosios (1-a ir 2- poz.), kurios darbinus įrenginius pozicionuoja išilgine ir skersine kryptimis. Išilginis judesys valdomas kumšteliu 4, o skersinis kumšteliu 3.

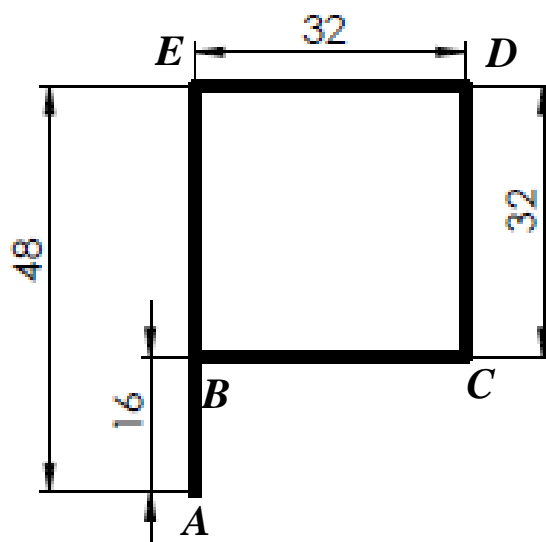
3. KUMŠTELIŲ MAZGO PROJEKTAVIMO ALGORITMAS

3.1. Judėjimo trajektorija ir sekiklių judėjimo fazės

Kumštelių mazgas suprojektuotas taip, kad įrenginio darbiniai mazgai (laidų izoliacijos įkirtimo ir nužievinimo mazgas, antgalių užspaudimo mazgas ir jų laikiklis, užtaisymo bei izoliacijos gylio matavimo mazgai) galėtų atlikti judesius pavaizduotus 3.1 pav.

Atliekami šie judesiai:

- Perstūmimas 16 mm vertikaliai aukštyn (atkarpa AB). Atliekamas paduoto laido užspaudimas ir antgalio užtaisymas, laidų įkirtimo mazgas pozicionuojamas ant įkertamo laido ir po to atliekamas laido įkirtimas.
- Perstūmimas horizontaliai 32 mm į dešinę (atkarpa BC). Atliekamas laido nužievinimas.
- Perstūmimas 32 mm vertikaliai aukštyn (atkarpa BD). Antgalis nustumiamas iki nužievinto laido galo.
- Perstūmimas horizontaliai 32 mm į kairę (atkarpa DE). Antgalis užmaunamas ant nužievinto laido ir atliekamas jo užspaudimas.
- Perstūmimas 48 mm vertikaliai žemyn (atkarpa EA). Grįžtama į pradinę padėtį, paleidžiamas laidas.



3.1 pav. Įrenginio darbinių mazgų atliekami judesiai

Kadangi atliekami du judesiai (išilginis ir skersinis) projektuojami du kumšteliniai mechanizmai, kurie varomi vieno variklio. Pirmasis kumšteliis juda išilgai žemyn aukštyn, o antrasis kumšteliis suteikia skersinį judesį ir padeda išlaikyti vertikalų judesį įrengimui.

Išilginio judesio sekiklis turi šias judėjimo fazes:

Pirmoji fazė: sekiklis tolsta nuo kumštelio sukimosi ašies centro. Fazinis kampas $\varphi_r = 36^\circ$, padėties vektoriai didėja.

Antroji fazė: sekiklis nejuda, būdamas nutolęs 16 mm nuo pradinio padėties taško. Fazinis kampas $\varphi_r = 72^\circ$, kumštelio profilio lanko padėties vektoriai didėja.

Trečioji fazė: sekiklis toliau tolsta nuo kumštelio sukimosi ašies centro iki tolimiausios padėties. Fazinis kampas $\varphi_r = 72^\circ$, padėties vektoriai didėja.

Ketvirtoji fazė: sekiklis nejuda, būdamas toliausiai nuo kumštelio sukimosi centro. Sekiklis šioje fazėje liečia apskritimo lanką nutolusį 48 mm nuo pradinės padėties. Fazinis kampas $\varphi_r = 72^\circ$.

Penktoji fazė: sekiklio artėjimo fazė prie pradinės padėties. Fazinis kampas $\varphi_r = 108^\circ$, kumštelio profilio lanko padėties vektoriai mažėja.

Skersinio judesio sekiklio judėjimo fazės taip pat yra 5:

Pirmoji fazė: skersinio judesio sekiklis kartu su išilginio judesio sekikliu tolsta nuo kumštelio sukimosi ašies centro. Fazinis kampas $\varphi_r = 36^\circ$, padėties vektoriai didėja.

Antroji fazė: sekiklis juda į dešinę, būdamas nutolęs 16 mm nuo pradinio apskritimo R_0 . Fazinis kampas $\varphi_r = 72^\circ$, kumštelio profilio lanko padėties vektoriai didėja.

Trečioji fazė: sekiklis tolsta lygiagrečiai išilginiam sekikliui nuo kumštelio sukimosi ašies centro iki tolimiausios padėties. Fazinis kampas $\varphi_r = 72^\circ$, padėties vektoriai didėja.

Ketvirtoji fazė: sekiklis grįžta iš dešinėsios padėties, būdamas toliausiai nuo kumštelio sukimosi centro. Fazinis kampas $\varphi_r = 72^\circ$.

Penktoji fazė: sekiklio artėjimo fazė prie pradinės padėties. Fazinis kampas $\varphi_r = 108^\circ$, kumštelio profilio lanko padėties vektoriai mažėja.

3.2. Išilginių ir skersinių judesių sekiklių judėjimo dėsnio nustatymas

Dažniausiai kumšteliai projektuojami pagal pastovaus greičio dėsnį. Naudojant šį dėsnį kyla vadinamieji kietieji smūgiai: dėl staiga pasikeitusio greičio fazių pabaigoje ir pradžioje iki begalybės padidėja pagreitis, kuris sukelia dideles inercijos jėgas. Tai gali sukelti nepageidaujamus smūgius, kurie veikia kumštelį ir sekiklį. Periodiškai pasikartojantys smūgiai gali sukelti vibracijas, kurios didina triukšmo lygį, tikimybę sugesti kumšteliniui mechanizmui ir mažina jo ilgaamžiškumą. Keičiant pagal pastovaus greičio dėsnį sudarytos poslinkio kreivės pradžios ir pabaigos formą, galima pasiekti, kad sekiklio pagreitis didėtų arba mažėtų palaipsniui. Tai užtikrina tolygesni pavaros veikimą. Taip pat šis mechanizmas tinka lėtaeigioms įrengimams.

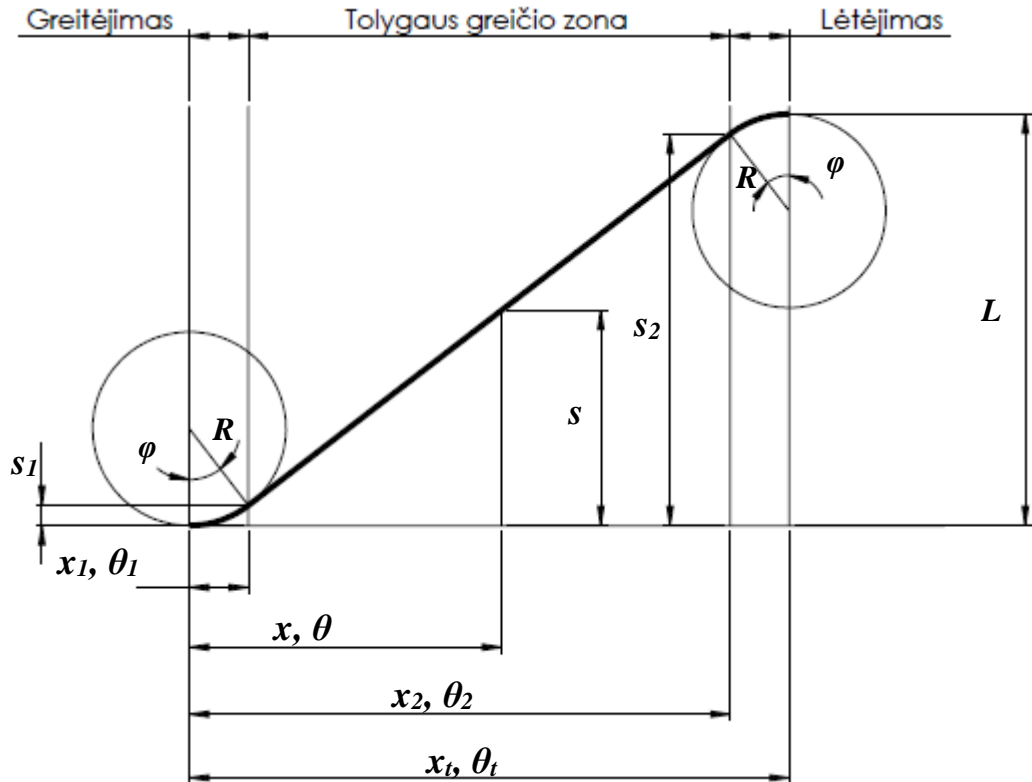
3.2. pav. pateikiama tipinė pastovaus greičio dėsnio poslinkio kreivė (paryškinta kreivė) su geometriniais parametrais: L - sekiklio eiga (mm), φ - apskritimo lanko kampas ($^{\circ}$), R - apskritimo spindulys (mm) kreivės pradžioje ir pabaigoje. θ_t - kumštelio pasisukimo kampas ($^{\circ}$), x_t - atstumas proporcingas kumštelio pasisukimo kampui (mm) (3.1 formulė). x_1 , x_2 , θ_1 , θ_2 randami pagal 3.2, 3.3 ir 3.4 formules. Šios kreivės pradžios ir pabaigos galai pakeisti apskritimo lankais.

$$\frac{\theta}{\theta_t} = \frac{x}{x_t} \quad (3.1)$$

$$\theta_y = \frac{x_y \cdot \theta_t}{x_t} \quad (3.2)$$

$$x_1 = R \cdot \sin \varphi \quad (3.3)$$

$$x_2 = x_t - x_1 \quad (3.4)$$



3.1. pav. Modifikuota sekiklio poslinkio kreivė

Šioje kreivėje galima išskirti tris zonas: greitėjimo, pastovaus greičio ir lėtėjimo. Kiekvieną zoną galima aprašyti geometrinėmis formulėmis 3.5, 3.6, 3.7.

$$s_1 = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{\theta \cdot x_t}{\theta_t}\right)^2} \quad (3.5)$$

$$s = s_1 + \left(\frac{\theta \cdot x_t}{\theta_t} - R \cdot \sin \varphi\right) \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (3.6)$$

$$s_2 = L - R + \sqrt{R^2 - x_t^2 \left(1 - \frac{\theta}{\theta_t}\right)^2} \quad (3.7)$$

Šių formulių pirmojo laipsnio išvestinės $s'(\theta)$ yra greičio formulės 3.8, 3.9, 3.10 kiekvienoje zonoje (sekikliui tolygiai nuo kumštelio sukimosi ašies).

$$v_1 = \theta \cdot \left(\frac{x_t}{\theta_t}\right)^2 \cdot \frac{1}{\sqrt{R^2 - \left(\frac{\theta \cdot x_t}{\theta_t}\right)^2}} \quad (3.8)$$

$$v = \frac{x_t \cdot t g \varphi}{\theta_t} \quad (3.9)$$

$$v_2 = \left(\frac{x_t^2}{\theta_t}\right) \left(1 - \frac{\theta}{\theta_t}\right) \frac{1}{\sqrt{R^2 - x_t^2 \left(1 - \frac{\theta}{\theta_t}\right)^2}} \quad (3.10)$$

Du kartus išdiferencijavus 3.2, 3.4 formules, gaunamos pagreičių greitėjant ir lėtėjant sekikliui, formulės (2.11 ir 2.12):

$$a_1 = \left(\frac{x_t}{\theta_t}\right)^2 \frac{R^2}{\left(R^2 - \left(\frac{\theta \cdot x_t}{\theta_t}\right)^2\right)^{3/2}} \quad (3.11)$$

$$a_3 = \left(\frac{x}{\theta_t}\right)^2 \frac{R^2}{\left(R^2 - x_t^2 \left(1 - \frac{\theta}{\theta_t}\right)^2\right)^{3/2}} \quad (3.12)$$

Kadangi vidurinėje zonoje greitis pastovus, tai ir pagreitis šioje zonoje yra $a = 0$.

Iš gautų formulių matyti, kad inercijos jėgas sukeliantis pagreitis tiesiogiai priklauso nuo geometrinių poslinkių kreivės parametrų R , x_t ir φ .

3.3. Pagreičio priklausomybė nuo judėjimo dėsnio kreivės parametrų

Pagreičio priklausomybė nuo judėjimo dėsnio kreivės įvertinama naudojant statistinių kiekybinių duomenų analizę.

Klasikinis eksperimentų atlikimo būdas, kai norima išsiaiškinti kelių veiksnių įtaka tiriamam parametrai, yra toks: keičiamas vienas parametras, o kiti laikomi pastovūs. Vėliau eksperimentas kartojamas, keičiant kita parametą ir t.t. Dėl brangaus ir ilgo tyrimo, atliekamas eksperimentinis projektavimas. Šio projektavimo tikslas – iki minimumo sumažinti bandymų skaičių ir trukmę ir

užtikrinti pakankamą rezultatų tikslumą. Bandymų projektavimu paprastai nustatomas veiksnių lygių skaičius ir kiekvieno lygio reikšmės įvairiems tiriamiems veiksniams.

Pilnutinis faktorinis bandymas yra, kai panaudojamos visos galimos veiksnių (faktorių) ir jų lygių kombinacijos. Dažniausiai pasitenkinama frakciniu faktoriniu bandymu, kai naudojama tik nedidelė dalis visų galimų faktorių ir lygių kombinacijų.

Atlikus numatytus bandymus atliekama statistinė rezultatų analizė – ANOVA, kurios tikslas – iš ribotos bandymu metu gautos informacijos nustatyti kintamų parametrų įtaką objekto charakteristikos sklaidai. Taip pat charakteristikos statistinis vidurkis nenukryptų nuo geriausios jo reikšmės ir taip iki minimumo sumažinti charakteristikos sklaidą.

Faktoriai, darantys įtaką inercijos jėgoms, ir sekiklio judėjimo pagreitis a , surašomi į matricią. Faktorių reikšmės (apskritimo spindulys – R , apskritimo lanko kampas – φ , atstumas proporcingas kumštelių pasisukimo kampui – x_t) užrašomos simboliais, o sutartiniais skaičiais (nuo nulio iki 10) įvertinamos gautų pagreičių dydžiai.

Kadangi judėjimo dėsnio kreivės skirtingose fazėse sutampa arba skiriasi tik savo ženklu, nagrinėjamos tik 3 kreivės, kurių parametrai skirtingi. Laikoma, kad abiejuose kreivės galuose lanko spindulys ir apskritimo lanko kampas φ yra lygus. Taip pat žinoma, kad maksimali pagreičio a reikšmė pasiekama, kai kreivė pereina iš lanko į tiesę ir atvirkščiai, t. y. taškuose x_1 ir x_2 . Todėl maksimalus pagreitis kiekvienoje kreivėje apskaičiuojamas pagal 3.11 formulę.

Skirtingų kreivių parametrai ir rezultatai pateikiami 3.1 lentelėje. Skaičiuojant laikoma, kad apskritimo spindulys R yra ne mažesnis už $\frac{1}{4}$ sekiklio eigą h ir ne didesnis kaip $\frac{1}{2} h$. Esant mažai R reikšmei, judėjimo dėsnio kreivė tampa tiesi ir smarkiai išauga pagreitis sistemoje.

Laikoma, kad aukščiausią balą (10) turi mažiausias pagreitis. Didžiausias pagreitis įvertinamas 0, o kiti pagreičio rezultatai įvertinami santykinu balu, nurodančiu kiek mažas yra gautas pagreitis. Iš viso visoms trimis kreivėms atliekami po aštuonis bandymus. Skaičiavimai atliekami naudojant MATLAB programą. ANOVOS skaičiavimo programos kiekvienai kreivei pateikiamos 1 priede.

3.1 lentelė. Judėjimo dėsnų kreivių parametrų ir pagreičių reikšmės

Fazė	$\varphi, ^\circ$	$\Theta, ^\circ$	R, mm	x_t, mm	x_l, mm	$\Theta_l, ^\circ$	$a, \text{mm}/\text{s}^2$	Pagreičio įv. koef.
1	30	36	8	32	4	4,5	0,152	5,46
			4	32	2	2,25	0,304	0,00
			8	16	4	9	0,038	9,56
			4	16	2	4,5	0,076	8,20
	10		8	32	1,39	1,56	0,103	7,21
			4	32	0,69	0,78	0,207	3,50
			8	16	1,39	3,13	0,026	10,00
			4	16	0,69	1,56	0,052	9,07
2, 3, 4	30	72	16	64	8	9,00	0,076	4,20
			10	64	5	5,63	0,122	0,00
			16	32	8	18,00	0,019	9,44
			10	32	5	11,25	0,030	8,39
	10		16	64	2,78	3,13	0,052	6,43
			10	64	1,74	1,95	0,083	3,58
			16	32	2,78	6,25	0,013	10,00
			10	32	1,74	3,91	0,021	9,29
4	30	108	24	96	12	13,50	0,051	5,46
			12	96	6	6,75	0,101	0,00
			24	48	12	27,00	0,013	9,56
			12	48	6	13,50	0,025	8,20
	10		24	96	4,17	4,69	0,034	7,21
			12	96	2,08	2,34	0,069	3,50
			24	48	4,17	9,38	0,009	10,00
			12	48	2,08	4,69	0,017	9,07

MATLAB rezultatai 1 fazės kreivei pavaizduoti 3.2 pav. 3.3 lentelėje pateikti visų penkių fazių procentinis įnašas P ir faktorius F .

Analysis of Variance					
Source	Sum Sq.	d. f.	Mean Sq.	F	Prob>F
Apskritimo lanko kampas φ	5.3628	1	5.3628	24.25	0.1275
Apskritimo spindulys R	16.4451	1	16.4451	74.37	0.0735
Koordinatė x	53.3028	1	53.3028	241.07	0.0409
Apskritimo lanko kampas φ *Apskritimo spindulys R	0.5995	1	0.5995	2.71	0.3475
Apskritimo lanko kampas φ *Koordinatė x	1.9306	1	1.9306	8.73	0.2077
Apskritimo spindulys R *Koordinatė x	5.934	1	5.934	26.84	0.1214
Error	0.2211	1	0.2211		
Total	83.796	7			

3.1. pav. 1-os fazės poslinkio kreivės parametrų įtaka pagreičiui

3.2 lentelė. Išilginio judesio sekiklio judėjimo dėsnio pagrindinių parametru reikšmės

Parametras	1 fazė		2, 3, 4 fazės		5 fazė	
	F	$P, \%$	F	$P, \%$	F	$P, \%$
$\varphi, ^\circ$	24,25	99,8725	51,81	99,9121	26,28	99,8773
R, mm	74,37	99,265	76,09	99,9273	82,14	99,93
x_t, mm	241,07	99,9591	514,53	99,972	265,92	99,961
φ ir R	2,71	99,6525	2,8	99,6571	2,81	99,6577
φ ir x_t	8,73	99,7923	18,55	99,8548	9,38	99,7991
x_t ir R	26,84	99,8786	27,43	99,8799	29,78	99,8846

Iš gautų rezultatų matyti, kad didžiausią įtaką pagreičiui a daro atstumas x_t , kuris proporcingas kumštelio pasisukimo kampui.

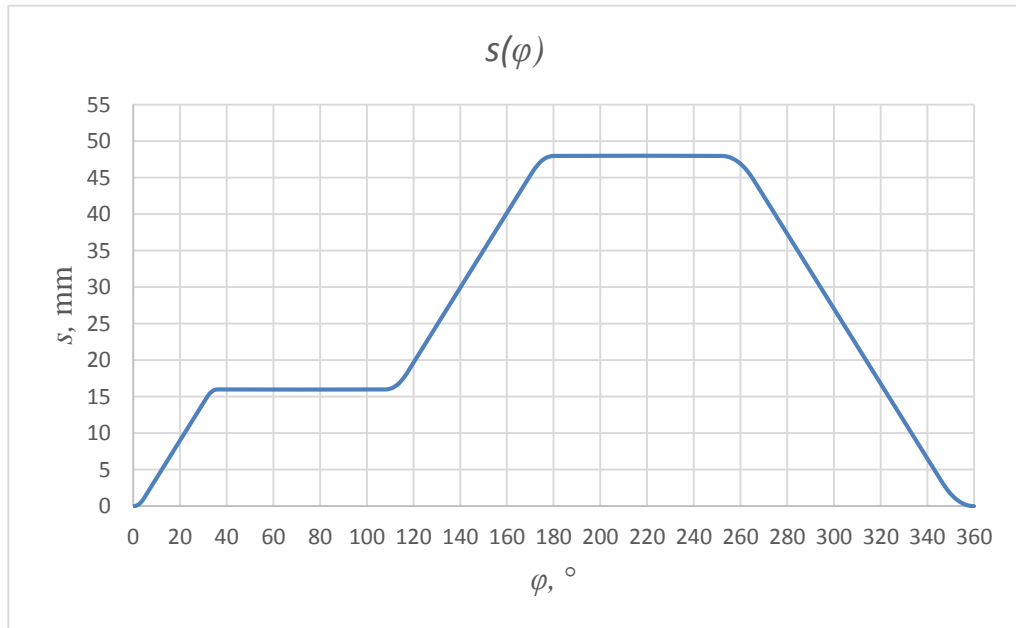
3.4. Kumštelių judėjimo dėsnų charakteristikų nustatymas

3.3 lentelėje pateikiami pagrindiniai parametrai išilginio judesio dėsniai sudaryti. $x_1, x_2, \theta_1, \theta_2$ apskaičiuojami pagal aukščiau pateiktas 3.2, 3.3 ir 3.4 formules. R ir φ pasirenkami laisvai. Didėjant apskritimo lanko spinduliui R ir lanko kampui φ , gaunami tolygesni judesio dėsniai.

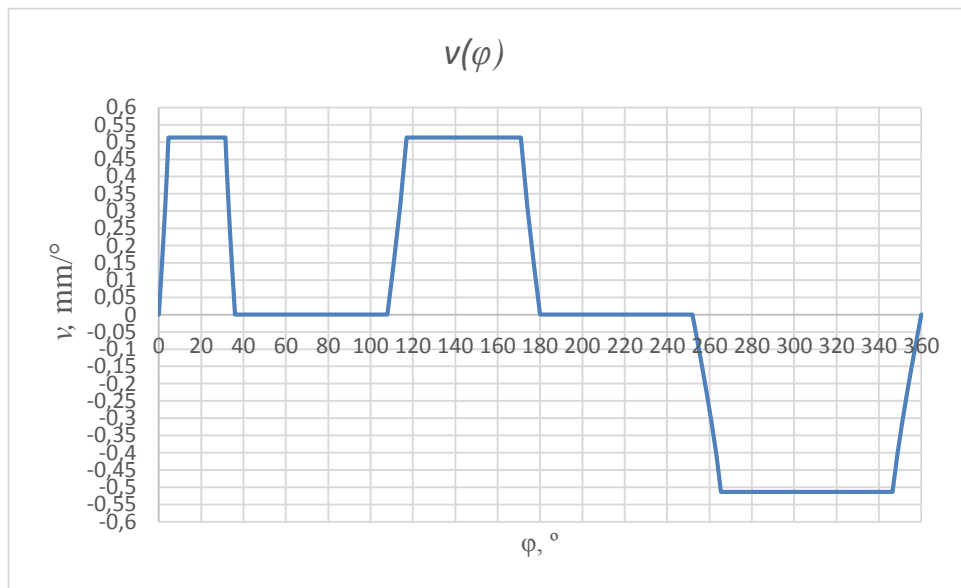
3.3 lentelė. Išilginio judesio sekiklio judėjimo dėsnio pagrindinių parametru reikšmės

Fazė	Sekiklis	$\varphi, ^\circ$	$\Theta, ^\circ$	L, mm	R, mm	x_t, mm	x_1, mm	x_2, mm	$\theta_1, ^\circ$	$\theta_2, ^\circ$
1	Tolsta	30	36	16	8	32	4	28	4,5	31,5
3	Tolsta	30	72	32	16	64	8	56	9	63
4	Artėja	30	108	48	24	96	12	84	13,5	94,5

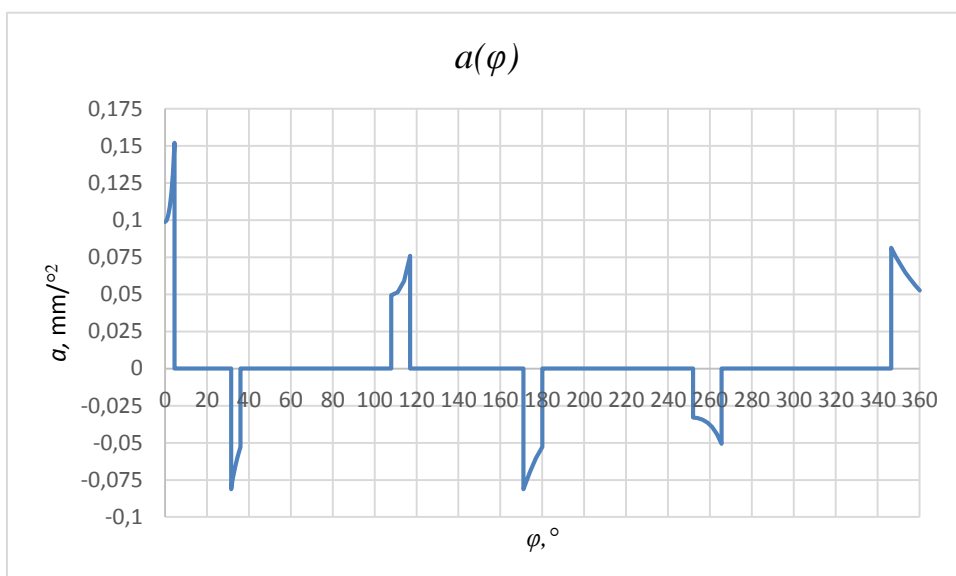
Įstačius 3.1 lentelės reikšmes į 3.5- 3.12 formules, gaunamas sekiklio išilginio judesio judėjimo dėsnis. 3.2, 3.3 ir 3.4 pav. pateikiami sekiklio poslinkio, greičio ir pagreičio priklausomybių nuo kumštelio posūkio kampo grafikai. II priede pateikiami išilginio judesio dėsnio parametru reikšmės.



3.2. pav. Išilginio judesio sekiklio poslinkio priklausomybė nuo posūkio kampo



3.3. pav. Išilginio judesio sekiklio greičio priklausomybė nuo posūkio kampo

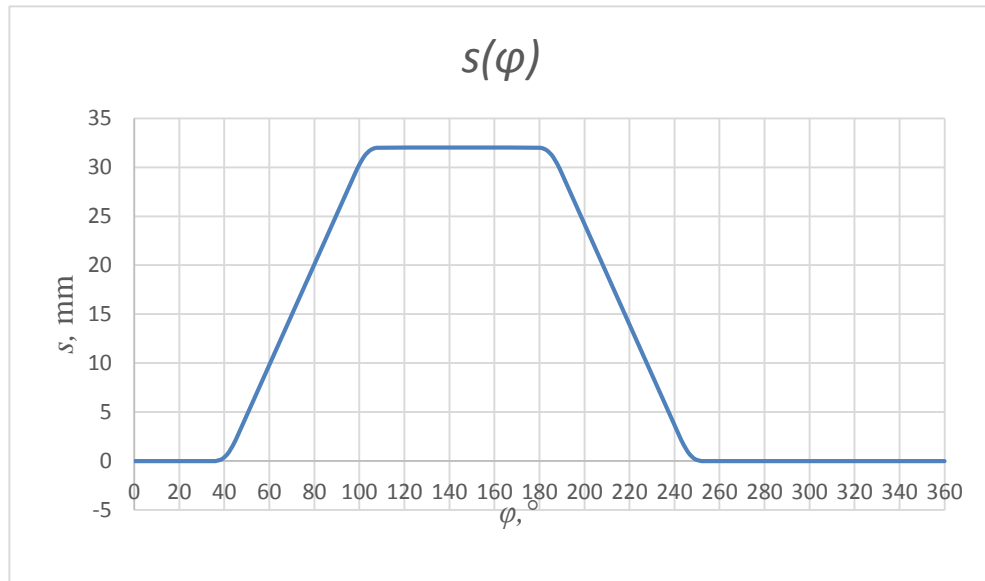


3.4. pav. Išilginio judesio sekiklio pagreičio priklausomybė nuo posūkio kampo

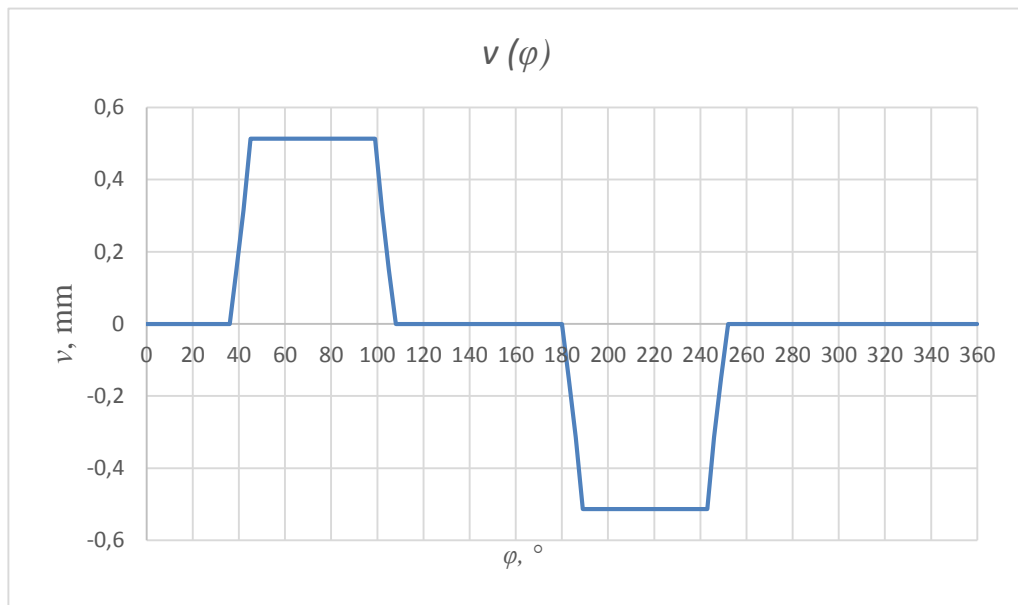
Skersinio judesio sekiklio judėjimo dėsniai taip pat nustatomi pagal 3.1- 3.12 formules. Pagrindinių parametų reikšmės pateikiamos 3.4 lentelėje, o poslinkio, greičio ir pagreičio reikšmės pateikiamos 3.5- 3.7 pav. III priede pateikiami judesio dėsnio parametų reikšmės.

3.4 lentelė. Skersinio judesio sekiklio judėjimo dėsnio pagrindinių parametų reikšmės

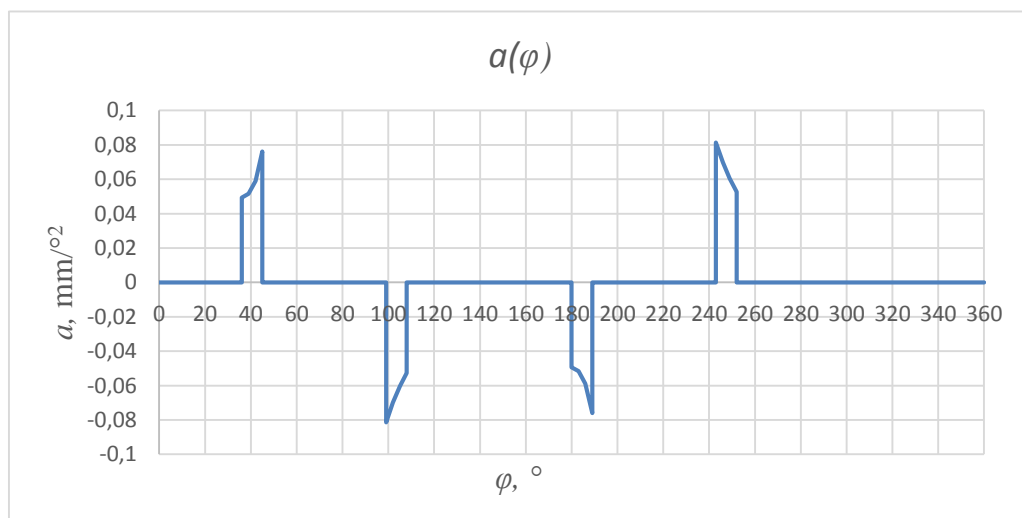
Fazė	Sekiklis	$\varphi, ^\circ$	$\Theta, ^\circ$	$L, \text{ mm}$	$R, \text{ mm}$	$x_t, \text{ mm}$	$x_l, \text{ mm}$	$x_2, \text{ mm}$	$\Theta_1, ^\circ$	$\Theta_2, ^\circ$
2	Tolsta	30	72	32	16	64	8	56	9	63
4	Artėjas	30	72	32	16	64	8	56	9	63



3.5. pav. Skersinio judesio sekiklio poslinkio priklausomybė nuo posūkio kampo



3.6. pav. Skersinio judesio sekiklio greičio priklausomybė nuo posūkio kampo



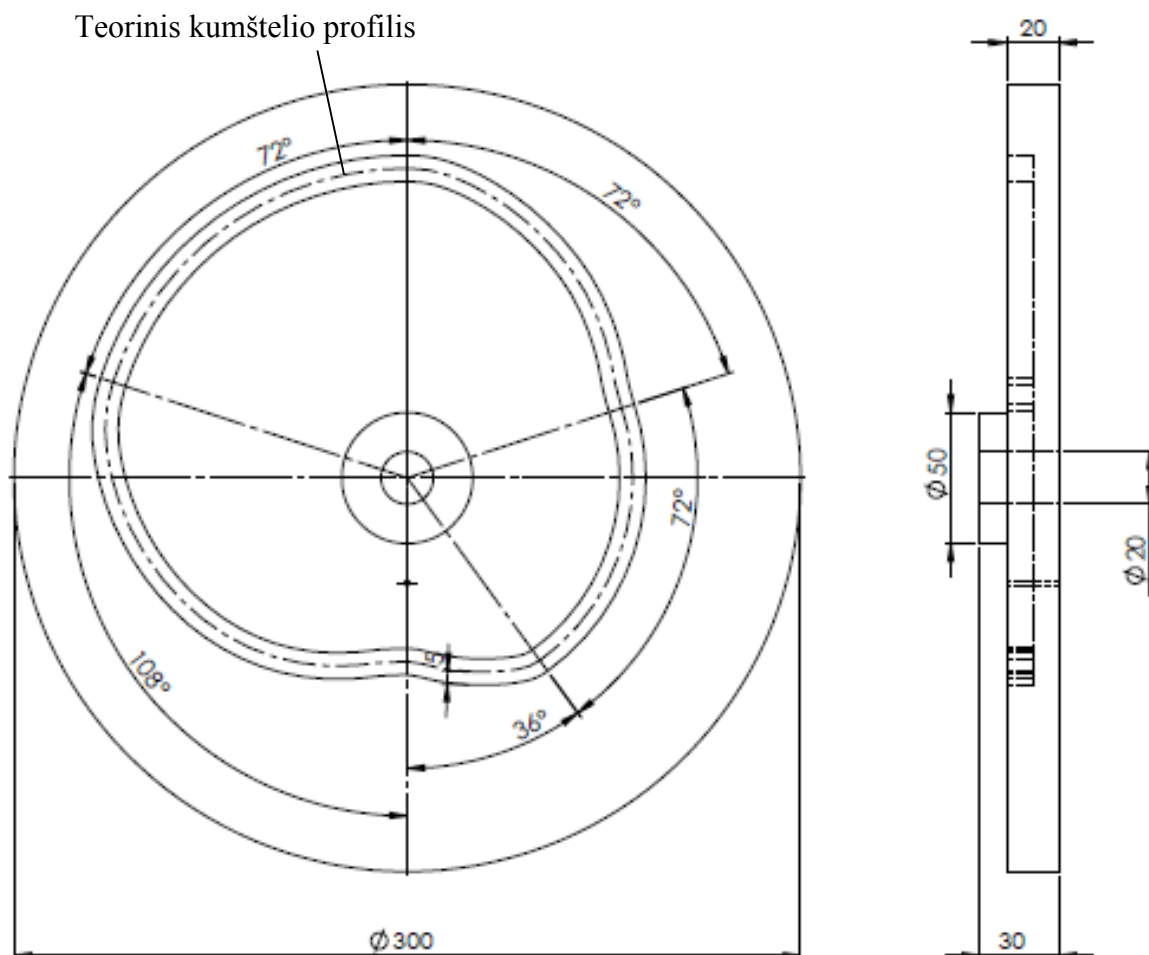
3.7. pav. Skersinio judesio sekiklio pagreičio priklausomybė nuo posūkio kampo

3.5. Kumštelių projektavimas

Projektuojamas išilginio judesį atliekantis kumštelis nėra ašinis, todėl supaprastėja jo projektavimas. Kumštelių profilis sudaromas pagal formulę 3.13 [17]:

$$R = R_0 + s_{i\dot{s}} \quad (3.13)$$

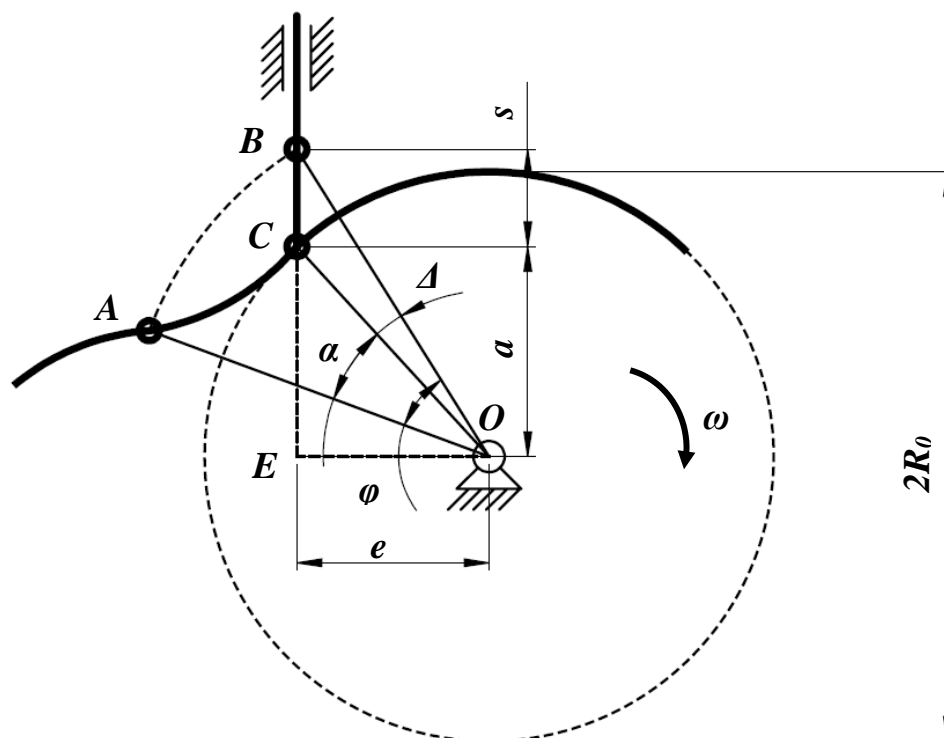
Čia R – teorinis kumštelių profilio spindulys, $R_0 = 70$ mm, pradinis kumštelių profilio spindulys, $s_{i\dot{s}}$ – išilginio judesio sekiklio poslinkis (pateikta 1-a priede). Kumštelių teorinio profilio spindulys R atidedamas iš kumštelių sukimosi centro faziniu kampu φ . Kumštelių pagrindiniai matmenys pateikiami 3.8 pav. Sekiklio ritinėlio spindulys $r = 10$ mm.



3.8 pav. Išilginio judesio kumštelių profilis ir pagrindiniai matmenys ir faziniai kampai

Skersinio judesio kumštelis išsiskiria tuo, kad turi būti atsižvelgiama į jo ekscentriškumą antroje, trečioje ir ketvirtoje fazėse. Visose šiose fazėse ekscentriciteto e dydis yra skirtingas. Kadangi

pirmos ir penktos fazių metu skersinio judesio sekiklio ašys eina per kumštelio sukimosi ašį, todėl šių fazių profilis sutampa su išilginio judesio kumštelio profiliu šiose fazėse.



3.9 pav. Neašinio kumštelio profilio projektavimas

Teorinio kumštelio profilio tašką A apibūdina spindulys R ir kampas α , kuris atidedamas nuo tiesės OA (3.9 pav.) prieš kumštelio sukimosi kryptį. Kad sekiklio ritinėlio centras, liestų tašką teorinį kumštelio profilį taške A jam pasislinkus atstumu s iš padėties C , kumštelis turi pasisukti kampu φ , kuris neašiniame mechanizme nėra lygus faziniam kampui α . Realus pasisukimo kampas φ yra:

$$\alpha = \varphi \pm \Delta \quad (3.14)$$

Ženklas prie Δ priklauso nuo ekscentriciteto padėties ir sekiklio judėjimo fazės. Bet kokia kampo φ reikšmei apskaičiuojamas sekiklio poslinkis s . Spindulys R paskaičiuojamas iš trikampių OEB ir OEC :

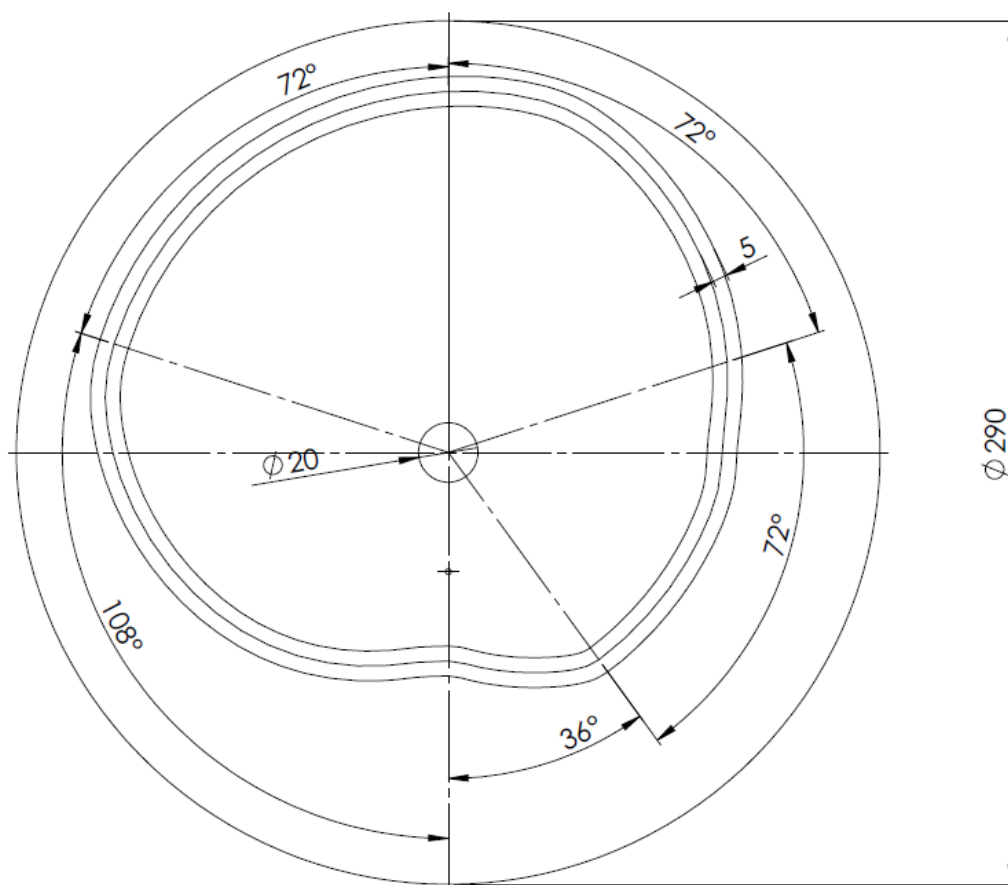
$$R = \sqrt{(a + s)^2 + e^2} \quad (3.15)$$

$$a = \sqrt{R_0^2 - e^2} \quad (3.16)$$

Iš čia galime rasti ir kampą Δ (3.17 formulė):

$$\Delta = \arccos\left(\frac{e}{R}\right) - \arccos\left(\frac{e}{R_e}\right) \quad (3.17)$$

Apskaičiuojant kampą α antrosios fazės metu, iš kampo φ atimamas kampas Δ , o trečiai ir ketvirtai fazei Δ pridedamas. 3.10 paveiksle pateikiamas kumštelio profilio eskizas.

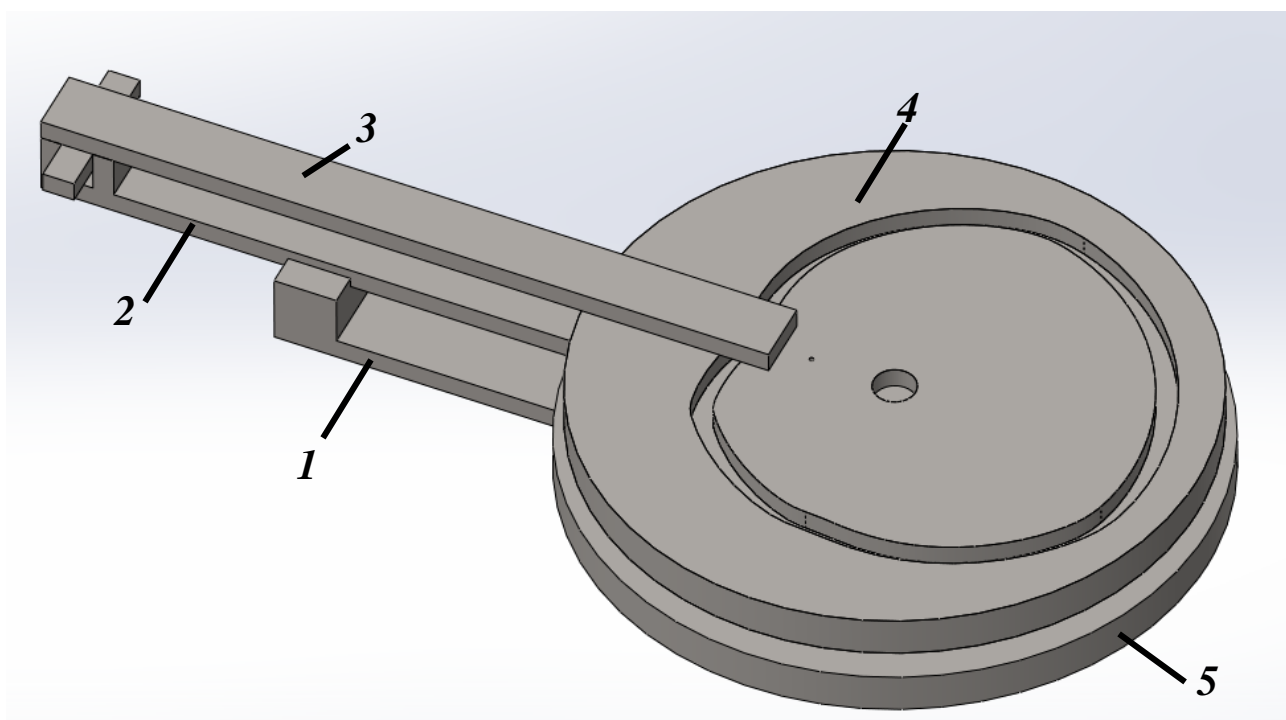


3.10 pav. Skersinio judesio kumštelio profilis su pagrindiniais parametrais

4. PAVAROS PARAMETRŲ TYRIMAS

4.1. Realios ir teorinės trajektorijos palyginimas

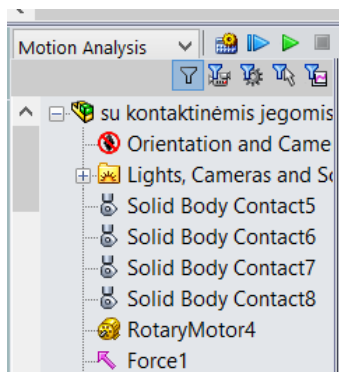
Sudaromas supaprastintas pavaros mechanizmas (4.1 pav.), kuris sudarytas iš pagrindo 1, išilginio ir skersinių judesių sekiklių (2 ir 3) ir kumštelių (4 ir 5). Išilginio judesio sekiklis gali judėti tik lygiagrečiai pagrindui, kai skersinio judesio sekiklis juda jam statmenai. Laikoma, kad abu kumšteliai yra užpresuoti ant veleno ir sukasi kartu nepraslysdami ant jo. Laikoma, kad pagrindas 1 ir sekiklis 2 imituoja išilginio judesio riedėjimo kreipiančiasias, o sekikliai 2 ir 3 imituoja skersinio judesio kreipiančiasias.



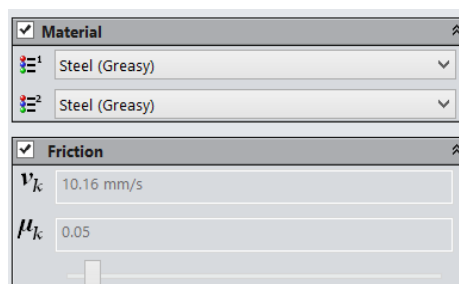
4.1 pav. Supaprastintas pavaros modelis

Su *SolidWorks Motion Analysis* atliekamas trajektorijos tyrimas. Sudaromos kontaktų grupės tarp pagrindo ir išilginio judesio sekiklio, išilginio ir skersinių judesių sekiklių, išilginio judesio sekiklio ir kumštelių ir skersinio judesio sekiklio – kumštelių (4.2 pav.). Laikoma, kad tarp šių grupių veikia trinties jėga, kurios trinties koeficientas $\mu = 0,05$ (tepamų plieninių detalių ir tarp riedėjimo elementų) (4.3 pav.). Modeliuojama bus 5 s. Modeliavimo tikslumui padidinti padidinamas kadrų skaičius iki 1700. Kumštelių kampinis greitis – 48 aps./min. Imituojant pavaros darbą, skersinio judesio sekiklis apkraunamas 20 N jėga (tokia jėga pavarą veikia pritvirtinti kiti įrangos elementai).

Kadangi modeliuojamas blogiausio scenarijaus modelis, tai sekiklių galai yra cilindrai. Taip imituojama situacija, kai sekiklio ritinėlis dėl gedimo užstringa ir negali sukstis.

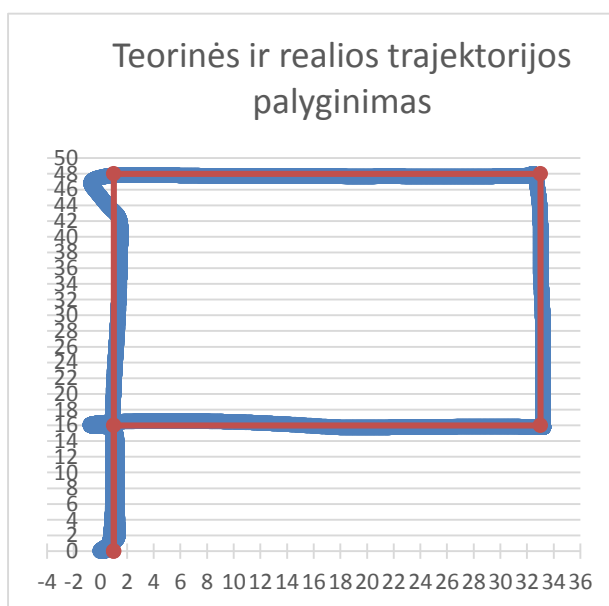


4.2 pav. Pavaros modelio parametrai



4.3 pav. Pavaroje veikiančios trinties parametrai

Atlikus simuliacija, gaunama reali pavaros judesio trajektorija (4.4 pav.). Mėlyna linija žymi realią trajektoriją, o raudona- teorinę.



4.4 pav. Teorinės ir realios pavaros judesio trajektorijos palyginimas

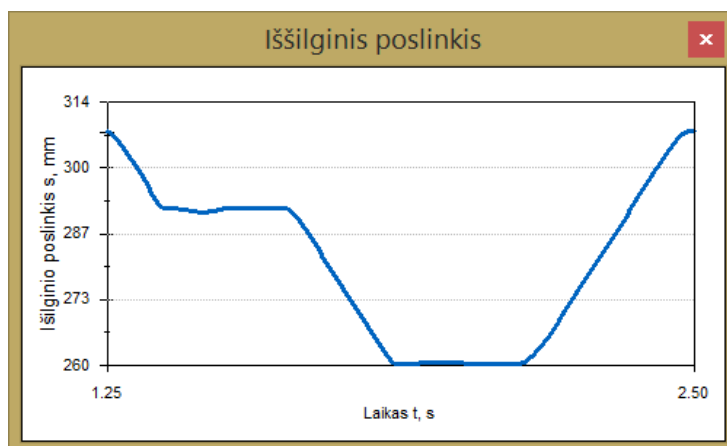
Iš gauto grafiko matyti, kad pereinant iš pirmos į antrą, ketvirtos į penktą ir iš penktos į pirmą gaunami didžiausi poslinkio netikslumai. Didžiausias nuokrypis nuo teorinės trajektorijos yra 1,57 mm, o tai sudaro 4,9 % paklaidą. Pagal numatytas projektavimo sąlygas, leidžiama paklaida iki 5 %, todėl laikoma, kad pavara suprojektuota tinkamai.

4.2. Kumštulinės pavaros kinematinė analizė

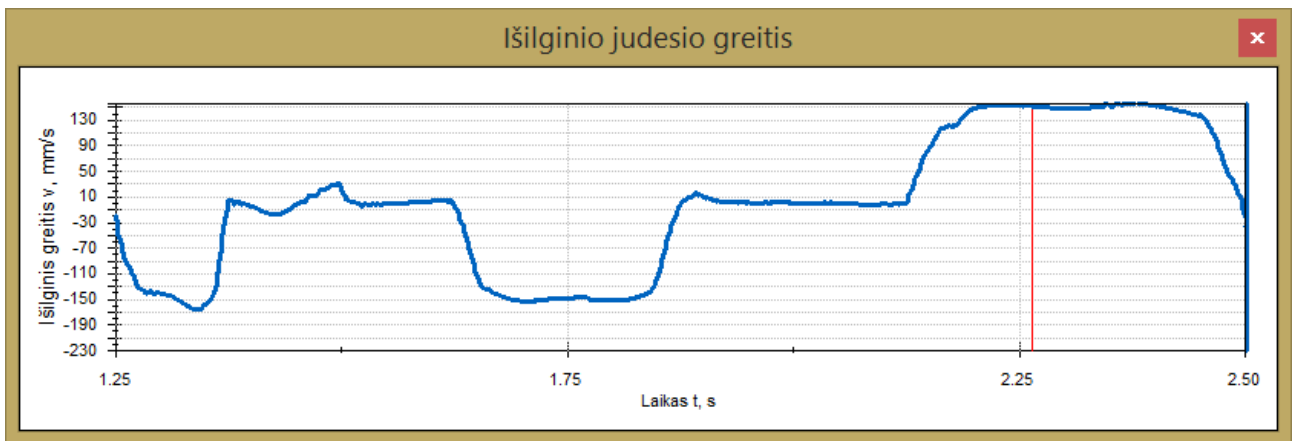
Atliekama kumštelių mechanizmų kinematinė analizė.



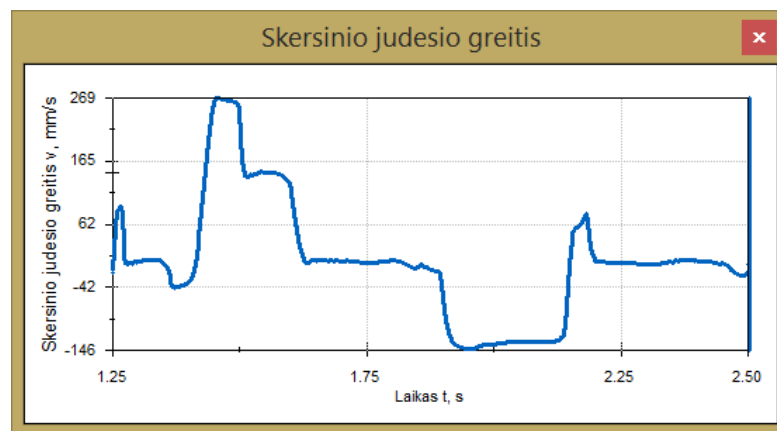
4.5 pav. Skersinio judesio sekiklio poslinkio (y ašies atžvilgiu) priklausomybė nuo laiko



4.5 pav. Išilginio judesio sekiklio poslinkio (x ašies atžvilgiu) priklausomybė nuo laiko



4.5 pav. Išilginio judesio greičio priklausomybė nuo laiko

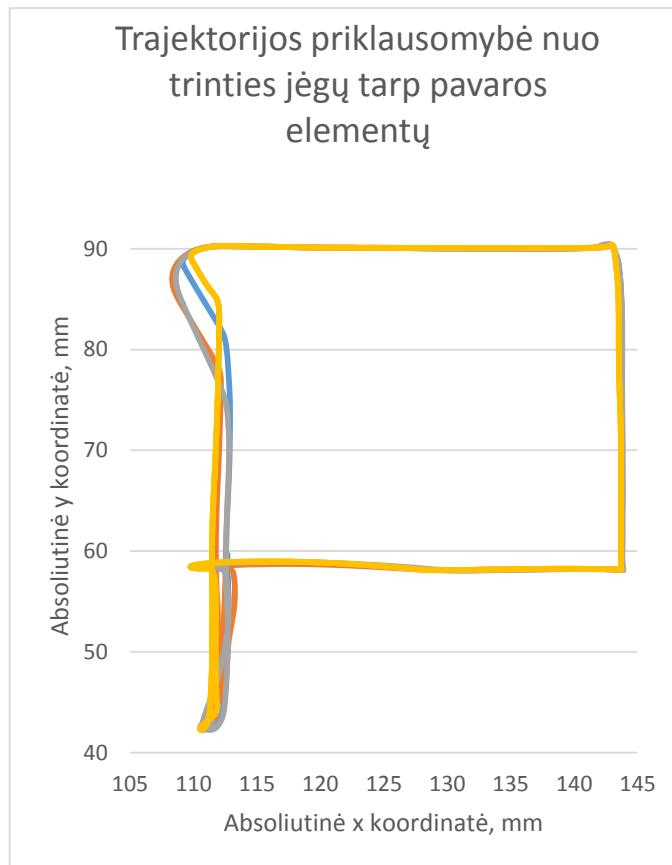


4.6 pav. Skersinio judesio greičio priklausomybė nuo laiko

Iš gautų rezultatų matyti, kad poslinkio ir greičio kreivių formos panašios į teorinių kreivių. Poslinkių ir greičių netolygumai nustatyti dėl skaičiavimo ir projektavimo programos paklaidų. Pereinant iš išilginio judesio į skersinį, pastebimi greičių šuoliai, kurie nebuvo teoriškai skaičiuoti. To priežastis – laisvumas tarp kumštelio griovelio sienelių ir sekiklio ritinėlio: keičiant kryptį kumštelis pereina nuo vienos sienelės prie kitos.

4.3. Judėjimo trajektorijos priklausomybė nuo trinties jėgų

Norint įvertinti trinties jėgų įtaką pavaroje, buvo keičiamas trinties koeficientas μ virtualiame modelyje. Trinties koeficiento reikšmės kito nuo 0,05 (sutepti pavaros elementai) iki 0,17 (netepti ir stringantys pavaros elementai).



4.6 pav. Trajektorijos priklausomybė nuo trinties koeficiento μ tarp pavaros elementų:

geltona- $\mu= 0,08$; mėlyna- $\mu= 0,11$; pilka- $\mu= 0,14$; raudona- $\mu= 0,17$

4.1 lentelė. Kontaktinės jėgos skersinio judesio kumštelio profilyje

Nr.	1	2	3	4	5
μ	0,05	0,08	0,11	0,14	0,17
F, N	17	19	24	27	31

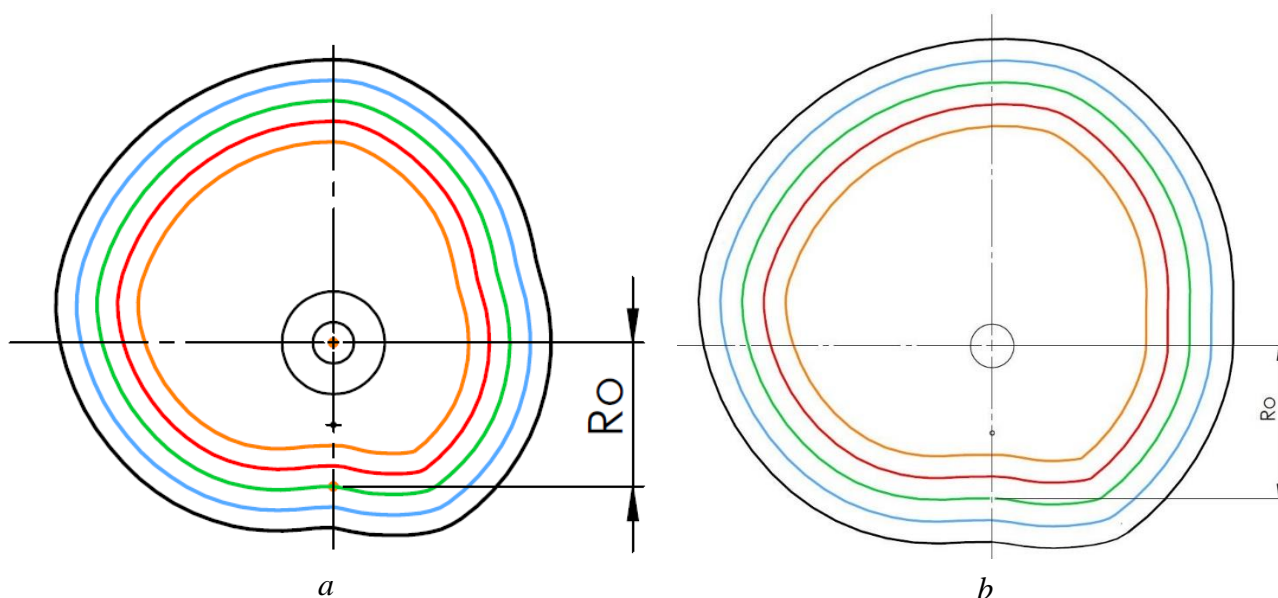
Iš gautų trajektorijų grafiko 4.6 pav. matyti, kad didėja pirmosios ir penktosios fazių trajektorijos nuokrypiai nuo pradinės kreivės. Taip pat didėjant trinčiai didėja ir kontaktinės jėgos dydis kumštelio profilyje (4.1 lentelė).

4.4. Slėgio kampo ν priklausomybė nuo pradinio apskritimo spindulio R_0

Kumštelio slėgio kampas ν priklauso nuo kumštelinio mechanizmo panaudojimo, sukimosi greičio ir veikiančių apkrovų. Dažniausiai priimtinas kumštelio slėgio kampo dydis parenkamas pagal greitį [11]:

- Jei kumštelio sukimosi greitis mažesnis už 30 aps./min., tai slėgio kampas $\nu_{max} \leq 45^\circ$;
- Jei kumštelio sukimosi greitis didesnis už 30 aps./min., tai slėgio kampas $\nu_{max} \leq 60^\circ$.

Keičiant kumštelio pradinio apskritimo spindulį R_0 kinta ir išilginio kumštelio ekscentricitetai e_1, e_2, e_3 . Dėl to kinta ir kumštelių profiliai. 4.7 pav. pavaizduoti išilginio ir skersinio kumštelių profiliai, kai R_0 lygus 50 mm (oranžinė spalva), 60 mm (raudona spalva), 70 mm (žalia spalva), 80 mm (mėlyna spalva) ir 90 mm (raudona spalva). IV priede pateikiami pagrindiniai skersinio judesio kumštelio geometriniai parametrai.



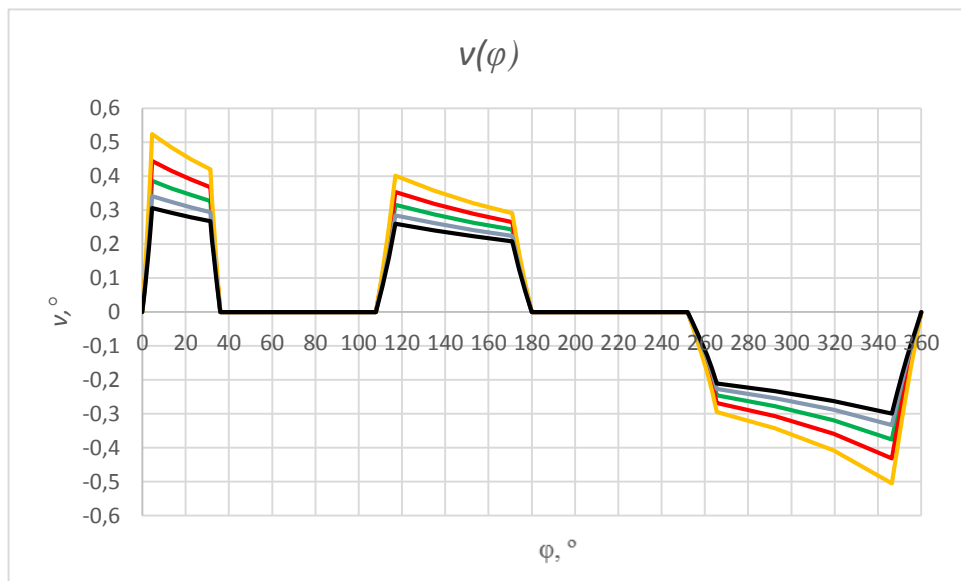
4.7 pav. Išilginio (a) ir skersinio (b) kumštelių profilių su skirtingais R_0 palyginimas

Slėgio kampo ν priklausomybė nuo pasisukimo kampo apskaičiuojamos pagal 4.1 ir 4.2 formules. 4.8 ir 4.9 paveiksluose pateikiamos gautos slėgio kampo priklausomybės nuo kumštelių pasisukimo kampo.

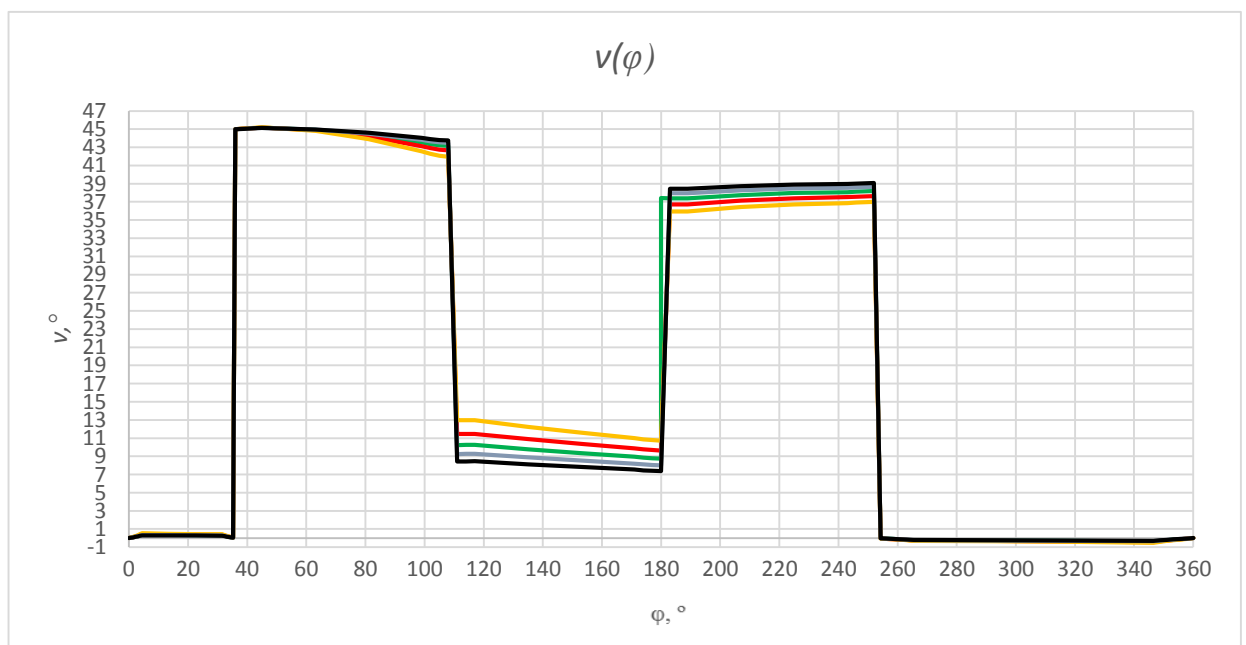
$$\tan \vartheta = \frac{v(\varphi)}{s(\varphi) + R_0 + r_r} \quad (4.1)$$

$$\tan \vartheta = \frac{v(\varphi) - e}{s(\varphi) + a} \quad (4.2)$$

Čia $v(\varphi)$ - greitis kumšteliui pasisukus kampu φ , $s(\varphi)$ - kumštelio eiga jam pasisukus kampu φ . r_r - sekiklio ritinėlio spindulys (pavaroje naudojami 5 mm spindulio ritinėliai). Ilgis a randamas pagal 3.16 formulę.



4.8 pav. Išilginio kumštelio slėgio kampo v priklausomybė nuo kumštelio pasisukimo kampo φ ir kumštelio pradinio apskritimo spindulio R_0



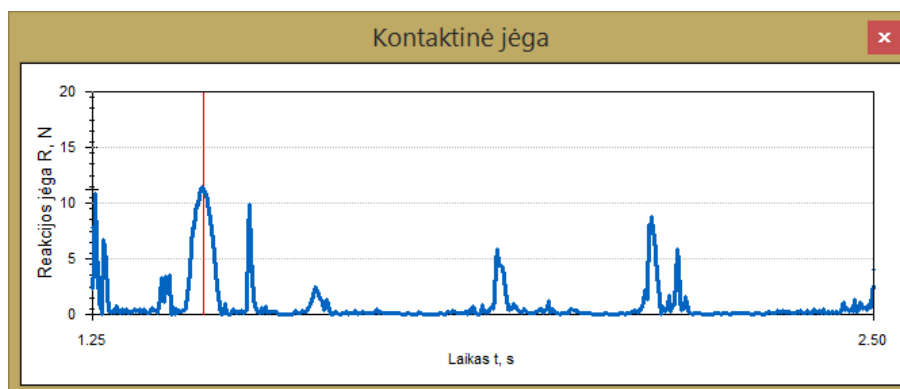
4.9 pav. Skersinio kumštelio slėgio kampo v priklausomybė nuo kumštelio pasisukimo kampo φ ir kumštelio pradinio apskritimo spindulio R_0

Iš gautų grafikų matyti, kad ašinio kumštelio (išilginio) slėgio kampo dydis siekia iki $0,52^\circ$, kai pradinio apskritimo spindulys $R_0 = 50$ mm. Didėjant pradinio apskritimo spinduliui slėgio kampas mažėja. Taip pat, slėgio kampas neviršija leistinų ribų.

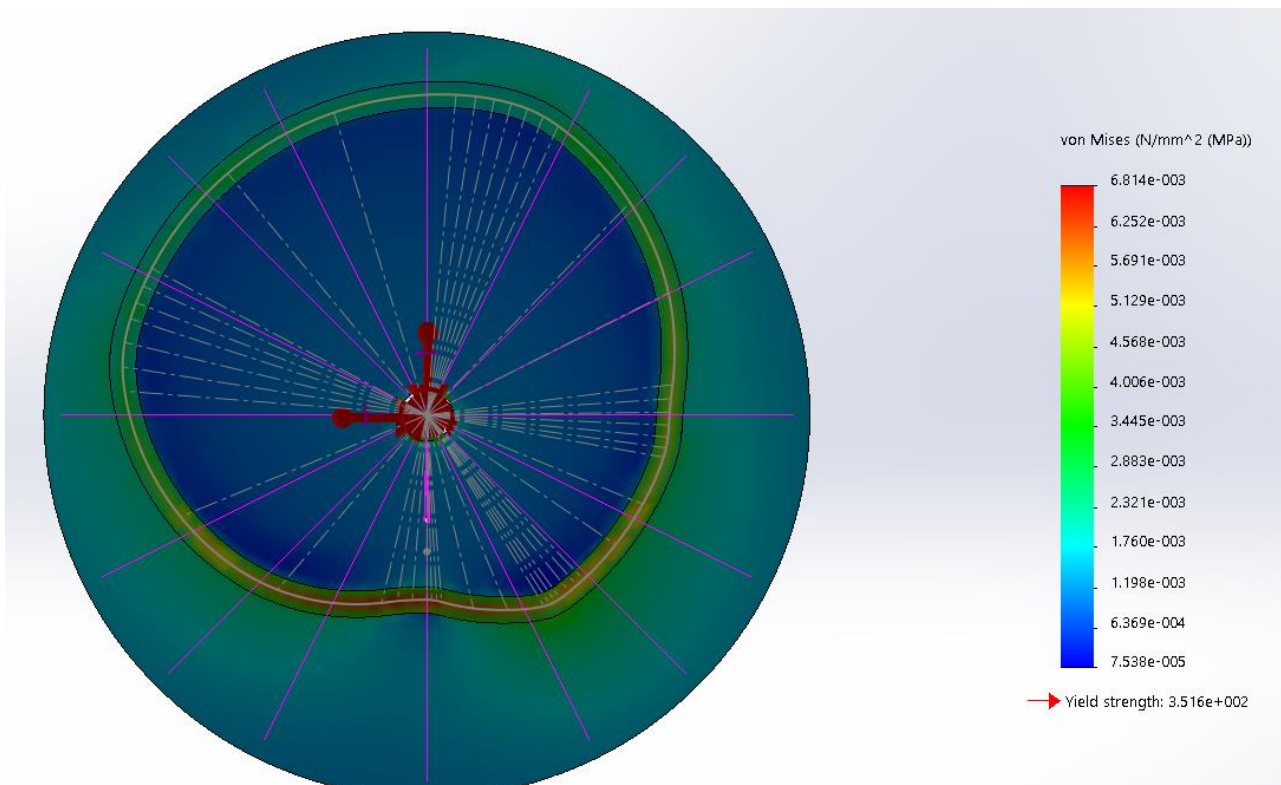
Skersinio kumštelio slėgio kampas išauga, kai kumštelis virsta neašiniu. Pastebėta, kad kumšteliai veikiant sekiklių skersine kryptimi, slėgio kampas didėja didėjant pradinio apskritimo spinduliui R_0 . Išilgine kryptimi judant sekikliui, slėgio kampas ν mažėja, didėjant pradinio apskritimo spinduliui R_0 . Maksimali slėgio kampo reikšmė pasiekama sekikliui pradendant tolti, kai ekscentricitetas e yra mažiausias. Maksimali slėgio kampo reikšmė skersiniame kumštelyje taip pat neviršija leistinų ribų, todėl laikoma, kad kumštelio profilis, kurio $R_0 = 70$ mm tinkamas naudoti pavaroje.

4.5. Skersinio judesio kumštelio stiprumo analizė

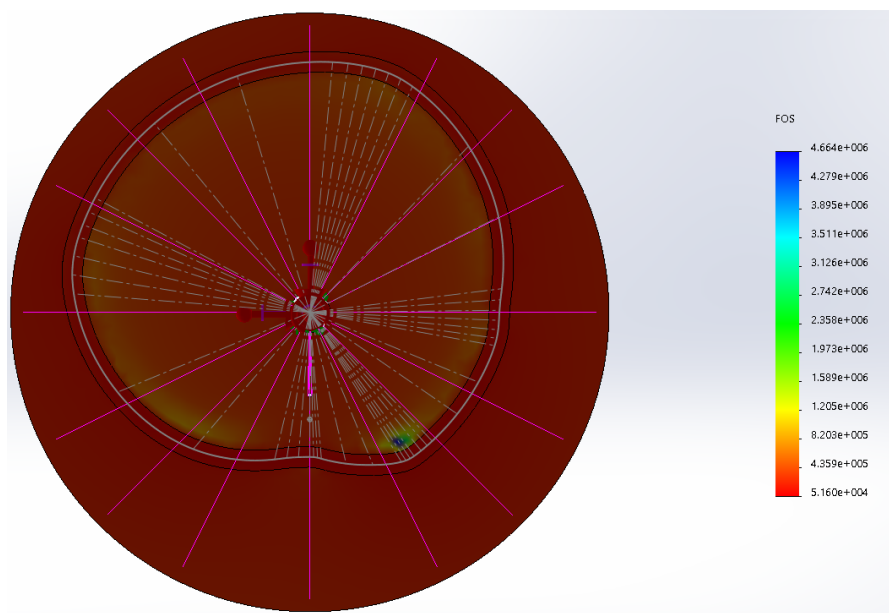
Atlikus kontaktinės jėgos analizę skersinio judesio kumštelyje, nustatyta, kad didžiausios kontaktinės jėgos kyla kumšteliai pereinant iš pirmosios fazės į antrąją. Tuo metu reakcijos jėga R padidėja iki 11 N (4.7 pav.). Esant didžiausiai kontaktiniam jėgai, atliekami stiprumo skaičiavimai skersinio judesio kumšteliai. 3.8 pav. pateikti pagrindiniai kumštelį veikiančios jėgos ir momentai.



4.10 pav. Kontaktinės jėgos kitimas laike



4.11 pav. Įtempiai veikiantys skersinio judesio kumštelyje



4.12 pav. Atsargos koeficiento reikšmės kumštelyje

Iš gautos įtempių diagramos matyti, kad įtempiai didžiausi ties vieta, kurioje kumštelio judėjimo dėsnis pereina iš pirmosios į antrąją fazę. Iš įtempių grafiko matyti, kad įtempiai neviršija 1 MPa, todėl laikoma, kad kumštelio stiprumas yra pakankamas.

5. IŠVADOS

1. Išnagrinėjus literatūros šaltinius, nuspręstą pavaros modernizavimui naudoti du kumštelines mechanizmus, kurie suteikia pavarai išilginį ir skersinį judesį. Kumšteliniai mechanizmai pasirinkti, nes užtikrina tikslų judesio sinchronizavimą keičiant greičius, teoriškai jų išėjimo grandis gali judėti pagal bet kokią dėsnį, lengvai suderinami su kitais įrengimo mechanizmais.

2. Didžiausią įtaką kumštelių judėjimo dėsniams turi atstumas x_t , kuris proporcingas kumštelio pasisukimo kampui. Tai rodo F bandymas (didžiausia x_t , reikšmė 514,53 žymiai didesnė už kitų faktorių F reikšmes), procentinis įnašas sudaro 99,972%.

3. Atlikus suprojektuotos pavaros trajektorijos analizę, nustatyta, kad didžiausia poslinkio paklaida yra 4,9 %, o tai neviršija užduotyje numatytos 5 % ribos. Laikoma, kad pavara suprojektuota gerai.

4. Nustatyta, kad didėjant trinčiai sekiklių kreipiančiose, kinta skersinio sekiklio judėjimo trajektoriją. Taip pat, padidinus trinties koeficiento μ reikšmę nuo 0,05 iki 0,17, kontaktinė jėga padidėjo nuo 17 N iki 31 N.

5. Nustatyta, kad ašinio kumštelio slėgio kampas ν didėja mažėjant kumštelio pradinio apskritimo spinduliui R_0 . Neašiniam kumšteliui keičiant sekiklio judėjimo padėtį iš išilginės į skersinę, slėgio kampas didėja didėjant R_0 .

6. Parinkus pavarai kumštelius, kurių pradinio apskritimo spindulys $R_0 = 70$ mm, maksimalūs slėgio kampai $\nu_{išilginis} = -0,4^\circ$ ir $\nu_{skersinio} = 45^\circ$ neviršija leistinų ribų, todėl priimta, kad kumšteliai tinkami naudoti įrengimo pavaroje.

7. Pavaroje naudojamo skersinio judesio kumštelio stiprumas yra pakankamas. Didžiausi įtempiai kumštelyje- 0,007 MPa.

6. LITERATŪRA

1. Nuoroda į paveikslėlį. [Žiūrėta 2016.04.10]. Prieiga internetu:
<http://www.selzbusinesshouse.com/havells-polycab-wires>
2. WHMA, „IPC/WHMA-A-620B Requirements and Acceptance for Cable and Wire Harness Assemblies“, 2007.
3. Nuoroda į paveikslėlį. [Žiūrėta 2016.04.23]. Prieiga internetu:
<http://www.viskaselektronikai.lt/nuzievinimo-irankis-20-10awg-wiha-z49703>
4. Nuoroda į paveikslėlį. [Žiūrėta 2016.04.23]. Prieiga internetu:
http://www.knipex.com/index.php?id=1216&L=1&page=art_detail&parentID=1299&groupID=1318&artID=30328
5. Knipex užspaudimo replės 97 53 04. [Žiūrėta 2016.04.23]. Prieiga internetu:
http://www.knipex.com/index.php?id=1216&L=1&page=group_detail&parentID=1299&groupID=1307
6. Ezitown pneumatinis laidų antgalių užspaudimo įrenginys FEK-5ND. [Žiūrėta 2016.04.23]. Prieiga internetu:
<http://www.ezitown.com/pneumatic-type-terminal-crimping-machine-fek-5nd/fek-5nd-pneumatic-type-terminal-crimping-machine/>
7. GLW laidų nužievinimo ir užkalimo įranga. [Žiūrėta 2016.04.23]. Prieiga internetu:
http://en.glw.de/Crimpen/Automatisch=&object_detail=5_41
8. Bosh Rexroth AG, „Linear Motion Technology Handbook“, 2007
9. Nuoroda į paveikslėlį. [Žiūrėta 2016.04.23]. Prieiga internetu:
<http://www.anaheimautomation.com/manuals/forms/ball-screw-guide.php#sthash.iQoV8XhL.dpbs>
10. S. Naujokaitis, Z. Pocius, A. Kumpikas, R. Toločka. „Mechanizmų ir mašinų teorija“. Vilnius: Mokslo ir enciklopedijų leidykla, 1994, psl. 256-279
11. Cam mechanisms. [Žiūrėta 2016.04.23]. Prieiga internetu:
http://ocw.metu.edu.tr/pluginfile.php/5791/mod_resource/content/8/ch8/index.htm
12. Nuoroda į paveikslėlį. [Žiūrėta 2016.04.23]. Prieiga internetu:
<http://www.engr.colostate.edu/~dga/mech324/handouts/>
13. Clyde H. MOON. „Cam design“, USA, 1962.
14. Harold A. ROTHBART. „Cam design handbook“, McGraw- Hill Handbooks 2004, psl. 27-88.
15. Cam design equations replace graphics. [Žiūrėta 2016.04.23]. Prieiga internetu
<http://machinedesign.com/markets/cam-design-equations-replace-graphics>

16. Medekšas, Henrikas, „Gaminių kokybė ir patikimumas“. Kaunas: KTU leidykla technologija, psl. 195-209
17. Mwafak Mohammed Shakoor, „Fatigue life investigation for cams with translating roller-follower and translating flat-face follower systems“, Ames, Iowa, 2006

PRIEDAI

I Priedas: ANOVOS skaičiavimo kodai

```
% 1 faze M. Rubis MDM-4/5
clc
clear all
close all
%faktoriu n=3, lygiu m=2, todėl eksperimentiniu bandymu reikia padaryti 8
%(2^3)
n=3;
m=2;
%faktoriai itakojantys kokybe:
%b=[x1-apskritimo lanko kampas fi, deg   x2-Apskritimo spindulys, mm   x3-
Koordinatė X, mm]
b=[30 8 32
   30 4 32
   30 8 16
   30 4 16
   10 8 32
   10 4 32
   10 8 16
   10 4 16];
%eksperimento rezultatai = [y-vertinimas balais]
y=[5.47; 0; 9.56; 8.2; 7.21; 3.5; 10; 9.07];
% triju faktoriu dviejų lygiu ANOVA
varnames={'Apskritimo lanko kampas fi';'Apskritimo spindulys R';'Koordinatė x'};
[p,tbl]=anovan(y, {b(:,1) b(:,2) b(:,3)},m,n,varnames);
%interpretacija
%vienas is svarbiausiu rezultatu ANOVA lenteleje yra paskutinis stulpelis
%prob (tikimybe)

% 2-4 fazes M. Rubis MDM-4/5
clc
clear all
close all
%faktoriu n=3, lygiu m=2, todėl eksperimentiniu bandymu reikia padaryti 8
%(2^3)
n=3;
m=2;
%faktoriai itakojantys kokybe:
%b=[x1-apskritimo lanko kampas fi, deg   x2-Apskritimo spindulys, mm   x3-
Koordinatė X, mm]
b=[30 16 64
   30 10 64
   30 16 32
   30 10 32
   10 16 64
   10 10 64
   10 16 32
   10 10 32];
%eksperimento rezultatai = [y-vertinimas balais]
y=[4.2; 0; 9.44; 8.39; 6.43; 3.58; 10; 9.29];
% triju faktoriu dviejų lygiu ANOVA
varnames={'Apskritimo lanko kampas fi';'Apskritimo spindulys R';'Koordinatė x'};
[p,tbl]=anovan(y, {b(:,1) b(:,2) b(:,3)},m,n,varnames);
%interpretacija
%vienas is svarbiausiu rezultatu ANOVA lenteleje yra paskutinis stulpelis
%prob (tikimybe).
```

```

% 5 faze M. Rubis MDM-4/5
clc
clear all
close all
%faktoriu n=3, lygiu m=2, todel eksperimentiniu bandymu reikia padaryti 8
%(2^3)
n=3;
m=2;
%faktoriai itakojantys kokybe:
%b=[x1-apskritimo lanko kampas fi, deg   x2-Apskritimo spindulys, mm   x3-
Koordinatė X, mm]
b=[30 24 96
    30 12 96
    30 24 48
    30 12 48
    10 24 96
    10 12 96
    10 24 48
    10 12 48];
%eksperimento rezultatai = [y-vertinimas balais]
y=[5.46; 0; 9.56; 8.2; 7.21; 3.45; 10; 9.07];
% triju faktoriu dviejy lygiu ANOVA
varnames={'Apskritimo lanko kampas fi'; 'Apskritimo spindulys R'; 'Koordinatė x'};
[p,tbl]=anovan(y, {b(:,1) b(:,2) b(:,3)},m,n,varnames);
%interpretacija
%vienas is svarbiausiu rezultatu ANOVA lenteleje yra paskutinis stulpelis
%prob (tikimybe).

```


II Priedas: Išilginio judesio kumštelio judesio parametrai

Fazė		$\varphi, ^\circ$	$\Theta_x, ^\circ$	R, mm	Xt, mm	$\Theta, ^\circ$	s, mm	$v, mm/^\circ$	$a, mm/^\circ^2$
1 fazė	1-as regionas	0	0	8	32	36	0	0	0,098765
		0,75	0,75	8	32	36	0,027826	0,074333	0,099803
		1,5	1,5	8	32	36	0,111894	0,15025	0,103028
		2,25	2,25	8	32	36	0,254033	0,22951	0,108805
		3	3	8	32	36	0,457528	0,31427	0,117851
		3,75	3,75	8	32	36	0,727525	0,407422	0,13147
		4,5	4,5	8	32	36	1,071797	0,5132	0,152059
	2-as regionas	4,5	4,5	8	32	36	1,071797	0,5132	0
		13,5	13,5	8	32	36	5,690599	0,5132	0
		22,5	22,5	8	32	36	10,3094	0,5132	0
		31,5	31,5	8	32	36	14,9282	0,5132	0
	3-ias regionas	31,5	31,5	8	32	36	14,9282	0,5132	-0,0813
		32,25	32,25	8	32	36	15,27247	0,407422	-0,07523
		33	33	8	32	36	15,54247	0,31427	-0,06977
		33,75	33,75	8	32	36	15,74597	0,22951	-0,06485
		34,5	34,5	8	32	36	15,88811	0,15025	-0,0604
		35,25	35,25	8	32	36	15,97217	0,074333	-0,05635
36		36	8	32	36	16	0	-0,05267	
3 fazė	1-as regionas	108	0	16	64	72	16	0	0,049383
		111	3	16	64	72	16,22379	0,15025	0,051514
		114	6	16	64	72	16,91506	0,31427	0,058926
		117	9	16	64	72	18,14359	0,5132	0,07603
	2-as regionas	117	9	16	64	72	18,14359	0,5132	0
		135	27	16	64	72	27,3812	0,5132	0
		153	45	16	64	72	36,6188	0,5132	0
		171	63	16	64	72	45,85641	0,5132	0
	3-ias regionas	171	63	16	64	72	45,85641	0,5132	-0,0813
		174	66	16	64	72	47,08494	0,31427	-0,06977
		177	69	16	64	72	47,77621	0,15025	-0,0604
		180	72	16	64	72	48	0	-0,05267
		252	0	24	96	108	48	0	-0,03292
5 fazė	1-as regionas	254,25	2,25	24	96	108	47,91652	-0,07433	-0,03327
		256,5	4,5	24	96	108	47,66432	-0,15025	-0,03434
		258,75	6,75	24	96	108	47,2379	-0,22951	-0,03627
		261	9	24	96	108	46,62742	-0,31427	-0,03928
		263,25	11,25	24	96	108	45,81742	-0,40742	-0,04382
		265,5	13,5	24	96	108	44,78461	-0,5132	-0,05069
		265,5	13,5	24	96	108	44,78461	-0,5132	0
	2-as regionas	292,5	40,5	24	96	108	30,9282	-0,5132	0
		319,5	67,5	24	96	108	17,0718	-0,5132	0
		346,5	94,5	24	96	108	3,21539	-0,5132	0
	3-ias regionas	346,5	94,5	24	96	108	3,21539	-0,5132	0,081299
		348,75	96,75	24	96	108	2,182576	-0,40742	0,07523
		351	99	24	96	108	1,372583	-0,31427	0,069774
		353,25	101,25	24	96	108	0,7621	-0,22951	0,064851
355,5		103,5	24	96	108	0,335681	-0,15025	0,060397	
357,75		105,75	24	96	108	0,083479	-0,07433	0,056354	
360		108	24	96	108	0	0	0,052675	

III Priedas: Skersinio judesio kumšteliu judesio parametrai

<i>Fazė</i>		$\varphi, ^\circ$	$\Theta_x, ^\circ$	R, mm	X_t, mm	$\Theta, ^\circ$	s, mm	$v, mm/^\circ$	$a, mm/^\circ^2$
2 fazė	1-as regionas	36	0	16	64	72	0	0	0,049383
		39	3	16	64	72	0,223787	0,15025	0,051514
		42	6	16	64	72	0,915055	0,31427	0,058926
		45	9	16	64	72	2,143594	0,5132	0,07603
	2-as regionas	45	9	16	64	72	2,143594	0,5132	0
		63	27	16	64	72	11,3812	0,5132	0
		81	45	16	64	72	20,6188	0,5132	0
		99	63	16	64	72	29,85641	0,5132	0
	3-ias regionas	99	63	16	64	72	29,85641	0,5132	-0,0813
		102	66	16	64	72	31,08494	0,31427	-0,06977
		105	69	16	64	72	31,77621	0,15025	-0,0604
		108	72	16	64	72	32	0	-0,05267
4 fazė	1-as regionas	180	0	16	64	72	32	0	-0,04938
		183	3	16	64	72	31,77621	-0,15025	-0,05151
		186	6	16	64	72	31,08494	-0,31427	-0,05893
		189	9	16	64	72	29,85641	-0,5132	-0,07603
	2-as regionas	189	9	16	64	72	29,85641	-0,5132	0
		207	27	16	64	72	20,6188	-0,5132	0
		225	45	16	64	72	11,3812	-0,5132	0
		243	63	16	64	72	2,143594	-0,5132	0
	3-ias regionas	243	63	16	64	72	2,143594	-0,5132	0,081299
		246	66	16	64	72	0,915055	-0,31427	0,069774
		249	69	16	64	72	0,223787	-0,15025	0,060397
		252	72	16	64	72	0	0	0,052675

IV Priedas: Skersinio judesio kumštelių judesio parametrai

$\varphi, ^\circ$	R_0, mm									
	50 mm		60 mm		70 mm		80 mm		90 mm	
	R, mm	$\alpha, ^\circ$	R, mm	$\alpha, ^\circ$	R, mm	$\alpha, ^\circ$	R, mm	$\alpha, ^\circ$	R, mm	$\alpha, ^\circ$
36	66,00	0,00	76,00	0,00	86,00	0,00	96,00	0,00	106,00	0,00
39	66,00	2,81	76,00	2,83	86,00	2,85	96,00	2,87	106,00	2,88
42	66,01	5,21	76,01	5,31	86,00	5,39	96,00	5,45	106,00	5,51
45	66,03	7,14	76,03	7,38	86,03	7,57	96,02	7,72	106,02	7,84
45	66,03	7,14	76,03	7,38	86,03	7,57	96,02	7,72	106,02	7,84
63	66,97	17,22	76,85	18,48	86,75	19,46	96,67	20,24	106,61	20,87
81	69,15	27,65	78,75	29,82	88,44	31,52	98,19	32,88	107,99	33,99
99	72,44	38,66	81,65	41,55	91,04	43,85	100,54	45,72	110,12	47,27
99	72,44	38,66	81,65	41,55	91,04	43,85	100,54	45,72	110,12	47,27
102	72,95	40,78	82,11	43,75	91,45	46,13	100,91	48,06	110,46	49,66
105	73,25	43,29	82,38	46,31	91,68	48,72	101,12	50,69	110,66	52,31
108	73,35	46,13	82,46	49,17	91,76	51,59	101,19	53,57	110,72	55,20
108	73,35	0,00	82,46	0,00	91,76	0,00	101,19	0,00	110,72	0,00
111	73,55	3,08	82,67	3,06	91,97	3,05	101,41	3,04	110,94	3,03
114	74,17	6,31	83,31	6,24	92,62	6,20	102,06	6,16	111,60	6,14
117	75,28	9,71	84,44	9,56	93,77	9,46	103,23	9,38	112,78	9,31
117	75,28	9,71	84,44	9,56	93,77	9,46	103,23	9,38	112,78	9,31
135	83,74	30,40	93,06	29,72	102,50	29,22	112,05	28,84	121,66	28,55
153	92,34	50,59	101,78	49,51	111,32	48,70	120,93	48,09	130,60	47,62
171	101,06	70,41	110,59	69,01	120,19	67,97	129,86	67,17	139,57	66,54
171	101,06	70,41	110,59	69,01	120,19	67,97	129,86	67,17	139,57	66,54
174	102,22	73,62	111,76	72,20	121,38	71,12	131,05	70,30	140,77	69,66
177	102,88	76,74	112,43	75,30	122,05	74,21	131,72	73,38	141,44	72,72
180	103,09	79,78	112,64	78,33	122,26	77,24	131,94	76,40	141,66	75,74
180	103,09	0,00	112,64	0,00	122,26	0,00	131,94	0,00	141,66	0,00
183	103,02	3,12	112,58	3,11	122,20	3,10	131,89	3,09	141,61	3,09
186	102,81	6,48	112,38	6,45	122,03	6,41	131,72	6,39	141,46	6,36
189	102,45	10,14	112,05	10,05	121,72	9,97	131,44	9,91	141,19	9,85
189	102,45	10,14	112,05	10,05	121,72	9,97	131,44	9,91	141,19	9,85
207	100,15	33,20	109,95	32,70	119,79	32,26	129,65	31,89	139,53	31,56
225	98,66	56,46	108,60	55,49	118,55	54,66	128,50	53,96	138,47	53,34
243	98,02	79,83	108,02	78,37	118,02	77,13	128,02	76,08	138,02	75,17
243	98,02	79,83	108,02	78,37	118,02	77,13	128,02	76,08	138,02	75,17
246	98,00	83,55	108,00	82,02	118,00	80,73	128,00	79,63	138,00	78,68
249	98,00	86,95	108,00	85,39	118,00	84,06	128,00	82,94	138,00	81,96
252	98,00	90,08	108,00	88,50	118,00	87,17	128,00	86,04	138,00	85,06