



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

**Guolių gamintojų prekinio ženklo ir tepalo rūšies įtaka
kūginių guolių trinties proceso rodikliams**

Baigiamasis magistro projektas

Jokūbas Kairys
Projekto autorius

Lektor. Dr. Danas Garuckas
Vadovas

Panevėžys, 2019



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

Guolių gamintojų prekinio ženklo ir tepalo rūšies įtaka kūginių guolių trinties proceso rodikliams

Baigiamasis magistro projektas
Transporto priemonių inžinerija (6211EX021)

Jokūbas Kairys
Projekto autorius

Lektor. Dr. Danas Garuckas
Vadovas

Recenzentas

Panevėžys, 2019



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas
Jokūbas Kairys

Guolių gamintojų prekinio ženklo ir tepalo rūšies įtaka kūginių guolių trinties proceso rodikliams

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Jokūbo Kairio, baigiamasis projektas tema „Guolių gamintojų prekinio ženklo ir tepalo rūšies įtaka kūginių guolių trinties proceso rodikliams“ 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)



Kauno technologijos universitetas
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

TVIRTINU
TVKC vadovė
Doc. dr. Nida Kvedaraitė

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Diplomantui **Jokūbui Kairiui**

Baigiamojo projekto tema (lietuvių kalba) Guolių gamintojų prekinio ženklo ir tepalo rūšies įtaka kūginių guolių trinties proceso rodikliams

Baigiamojo projekto tema (anglų kalba) Research of Influence of Bearing Manufacturers Brand and Lubricant Type on the Friction Process Parameters of Tapered Bearings

Patvirtinta 2019 m. kovo 29 d. dekanu potvarkiu Nr.V25-13-10

Irišto baigiamojo projekto pateikimo į TVKC terminas iki 2019 m. gegužės 29 d.

Duomenys, reikalavimai ir sąlygos baigiamajam projektui

Tyrimo objektas – analogiški kūginiai guoliai: JL69349-310, JL69349-10, JL69349-310/Q.

Tiriami guoliai šių gamintojų: Timken, Koyo ir SKF.

Guolių tepimas: Pemco 10w40, Pemco 80w90, Litol-24 tepalai.

Bandymai atliekami su KTU PTVF tribologiniu stendu.

Sąlygos: guolio apsisukimų skaičius – 1000 aps./min.; ašinė apkrova – 1 250 kg (12 263 N)

Kiekvieno guolio bandymo trukmė nemažesnė kaip 3 mln. ciklų.

Baigiamojo projekto užduotys / uždaviniai / klausimai, kurie turi būti atskleisti projekte

1. Atlikti Lietuvos ir užsienio autorių mokslinių publikacijų apžvalgą nagrinėjama tema.

2. Aprašyti tyrimo metodiką: tiriamojo objekto charakteristikas, eksperimento sąlygas, bandymų priemones, tyrimo proceso tvarką, nagrinėjamus trinties proceso rodiklius, matavimo priemones ir būdus.

3. Pateikti tirtų guolių trinties procesų rodiklių priklausomybes nuo laiko arba ciklų skaičiaus.

Atlikti gautų rezultatų analizę. Aprašyti pastebėtus dėsningumus.

4. Pateikti apibendrintas tirtų guolių trinties proceso rodiklių priklausomybes. Išnagrinėti: kokią įtaką rodikliams turi guolio gamintojo prekinis ženklas? Kaip rodiklių reikšmes įtakoja skirtinga tepalo rūšis? Aprašyti pastebėtus dėsningumus.

5. Pateikti išvadas, gal ir rekomendacijas.

Vadovas

lektor. dr. Danas Garuckas

(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas,)

Užduotį gavau

Jokūbas Kairys

(studento vardas, pavardė, parašas,)

2019 m. kovo 29 d.

Turinys

Lentelių sąrašas	2
Paveikslų sąrašas	3
Įvadas.....	7
1. Literatūros apžvalga	9
1.1. Japanese Society of Tribologists tyrimas „Dilimo nuostolių kūginiuose guoliuose apžvalga“ ...	9
1.2. Guolių trinties procesų tyrimas KTU Panevėžio technologijų ir verslo fakultete, Autorius A. Masilionis	13
2. Kūginių guolių tyrimo metodika ir sąlygos.....	16
2.1. Tyrimo objektas	16
2.2. Guolio tepimas.....	17
2.3. Guolio bandymo stendo apsisukimų, apkrovų ir guolio resursų nustatymas (sąlygos).....	18
2.4. Guolių tyrimo metodika.....	21
2.5. Tyrimo planas	21
2.6. Tyrimo priemonės	22
3. Tyrimo rezultatai.....	25
4. Rezultatų analizė	45
4.1. Guolių trinties proceso rodiklių priklausomybės, pagal guolio gamintoją.....	45
4.1.1 „Timken“ guolių trinties proceso rodiklių priklausomybės	45
4.1.2 „Koyo“ guolių trinties proceso rodiklių priklausomybės	46
4.1.3 „SKF“ guolių trinties proceso rodiklių priklausomybės.....	48
4.2. Guolių trinties proceso rodiklių priklausomybės, pagal tepimo alyvą	49
4.2.1 Guolių trinties proceso rodiklių priklausomybės naudojant „Pemco 10w40“ alyvą.....	49
4.2.2 Guolių trinties proceso rodiklių priklausomybės naudojant „Pemco 80w90“ alyvą.....	50
4.2.3 Guolių trinties proceso rodiklių priklausomybės naudojant „Litol-24“ tepalą.....	52
4.3. Apibendrinta informacija apie tirtų guolių trinties proceso rodiklių priklausomybes.....	53
4.3.1 Visų guolių aukščio pokyčio ΔH priklausomybės.....	53
4.3.2 Visų guolių šiurkštumo Ra priklausomybės	54
4.3.3 Visų guolių šiurkštumo Rz priklausomybės	55
4.3.2 Visų guolių šiurkštumo Rmax priklausomybės.....	56
Išvados	57
Literatūra	59
Priedai.....	60
Profilometro „Garant ST1“ išduodamo duomenų lapelio pavyzdys	60

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Guolis „Timken JL 69349-310“	16
2 lentelė. Guolis „KOYO JL 69349-10“	17
3 lentelė. Guolis „SKF JL 69349-310/Q“	17
4 lentelė. Variklinė alyva „Pemco 10w40“	17
5 lentelė. Transmisinė alyva „Pemco 80w90“	18
6 lentelė. Universalus tepalas „Litol-24“	18
7 lentelė. Guolių tyrimo sąlygų matrica.....	21

Paveikslų sąrašas

1 pav. Matavimo įrangos schema [1]	9
2 pav. Tyrimo stendo schema [1]	10
3 pav. Tyrimų rezultatai grafike [1]	11
4 pav. Tyrimo rezultatai lentelėje [1]	12
5 pav. Ra šiurkštumo rezultatai [2]	13
6 pav. Rz šiurkštumo rezultatai [2]	14
7 pav. Rmax pokyčio rezultatai [2]	14
8 pav. ΔH pokyčio rezultatai [2]	15
9 pav. Kūginis ritininis vienaeilis guolis: 1- seperatorius, 2 – vidinis žiedas, 3 – ritinėlis, 4 – išorinis žiedas, 5 – išorinio žiedo darbinis paviršius.	16
10 pav. Tribologinis stendas guolių tyrimui: 1 – apkrova, 2 – apkrovos tenkančios guoliui vieta, 3 – elektros variklis, 4 – tiriamojo guolio guoliavietė, 5 – jungiklis su saugikliais.	22
11 pav. Tribologinio stendo brėžinys	23
12 pav. Stendo apkrova veikiantį guolį	23
13 pav. Guolio aukščio skirtumui matuoti įtaisai: 1 – indikatorius, 2 – stendo pagrindinė plokštė, 3 – indikatoriaus stovas.	24
14 pav. „Garant ST1“ profilometras	24
15 pav. Tyrimo kontrolės lapas, ciklų suvestinė	25
16 pav. Kontrolės lapas su tyrimo rezultatais	26
17 pav. „Timken“ Guolio žiedo aukščio kitimas, naudojant „Pemco 10w40“ alyvą	27
18 pav. „Timken“ guolio žiedo Ra šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 10w40“ alyvą	27
19 pav. „Timken“ guolio žiedo Rz šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 10w40“ alyvą	28
20 pav. „Timken“ guolio žiedo Rmax šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 10w40“ alyvą	28
21 pav. „Timken“ Guolio žiedo aukščio kitimas, naudojant „Pemco 80w90“ alyvą	29
22 pav. „Timken“ guolio žiedo Ra šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 80w90“ alyvą	29
23 pav. „Timken“ guolio žiedo Rz šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 80w90“ alyvą	30
24 pav. „Timken“ guolio žiedo Rmax šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 80w90“ alyvą	30
25 pav. „Timken“ Guolio žiedo aukščio kitimas, naudojant „Litol-24“ tepalą	31
26 pav. „Timken“ guolio žiedo Ra šiurkštumo kitimas, naudojant „Litol-24“ tepalą	31
27 pav. „Timken“ guolio žiedo Rz šiurkštumo kitimas, naudojant „Litol-24“ tepalą	32
28 pav. „Timken“ guolio žiedo Rmax šiurkštumo kitimas, naudojant „Litol-24“ tepalą	32
29 pav. „Koyo“ Guolio žiedo aukščio kitimas, naudojant „Litol-24“ tepalą	33
30 pav. „Koyo“ guolio žiedo Ra šiurkštumo kitimas, naudojant „Litol-24“ tepalą	33
31 pav. „Koyo“ guolio žiedo Rz šiurkštumo kitimas, naudojant „Litol-24“ tepalą	34
32 pav. „Koyo“ guolio žiedo Rmax šiurkštumo kitimas, naudojant „Litol-24“ tepalą	34
33 pav. „Koyo“ Guolio žiedo aukščio kitimas, naudojant „Pemco 80w90“ alyvą	35
34 pav. „Koyo“ guolio žiedo Ra šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 80w90“ alyvą	35

35 pav.	„Koyo“ guolio žiedo Rz šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 80w90“ alyvą.....	36
36 pav.	„Koyo“ guolio žiedo Rmax šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 80w90“ alyvą.....	36
37 pav.	„Koyo“ Guolio žiedo aukščio kitimas, naudojant „Pemco 10w40“ alyvą.....	37
38 pav.	„Koyo“ guolio žiedo Ra šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 10w40“ alyvą.....	37
39 pav.	„Koyo“ guolio žiedo Rz šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 10w40“ alyvą.....	38
40 pav.	„Koyo“ guolio žiedo Rmax šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 10w40“ alyvą.....	38
41 pav.	„SKF“ Guolio žiedo aukščio kitimas, naudojant „Pemco 10w40“ alyvą	39
42 pav.	„SKF“ guolio žiedo Ra šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 10w40“ alyvą	39
43 pav.	„SKF“ guolio žiedo Rz šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 10w40“ alyvą	40
44 pav.	„SKF“ guolio žiedo Rmax šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 10w40“ alyvą	40
45 pav.	„SKF“ Guolio žiedo aukščio kitimas, naudojant „Pemco 80w90“ alyvą	41
46 pav.	„SKF“ guolio žiedo Ra šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 80w90“ alyvą	41
47 pav.	„SKF“ guolio žiedo Rz šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 80w90“ alyvą	42
48 pav.	„SKF“ guolio žiedo Rmax šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 80w90“ alyvą	42
49 pav.	„SKF“ Guolio žiedo aukščio kitimas, naudojant „Litol-24“ tepalą	43
50 pav.	„SKF“ guolio žiedo Ra šiurkštumo kitimas, naudojant „Litol-24“ tepalą	43
51 pav.	„SKF“ guolio žiedo Rz šiurkštumo kitimas, naudojant „Litol-24“ tepalą	44
52 pav.	„SKF“ guolio žiedo Rmax šiurkštumo kitimas, naudojant „Litol-24“ tepalą	44
53 pav.	„Timken“ guolių žiedo aukščio kitimas, tepant įvairiomis alyvomis	45
54 pav.	„Timken“ guolių žiedo Ra šiurkštumo kitimas, tepant įvairiomis alyvomis	46
55 pav.	„Koyo“ guolių žiedo aukščio kitimas, tepant įvairiomis alyvomis	46
56 pav.	„Koyo“ guolių žiedo Ra šiurkštumo kitimas, tepant įvairiomis alyvomis	47
57 pav.	„SKF“ guolių žiedo aukščio kitimas, tepant įvairiomis alyvomis	48
58 pav.	„SKF“ guolių žiedo Ra šiurkštumo kitimas, tepant įvairiomis alyvomis.....	48
59 pav.	Guolių žiedo aukščio kitimas, tepant „Pemco 10w40“ varikline alyva	49
60 pav.	Guolių žiedo Ra šiurkštumo kitimas, tepant „Pemco 10w40“ varikline alyva	50
61 pav.	Guolių žiedo aukščio kitimas, tepant „Pemco 80w90“ transmisine alyva	50
62 pav.	Guolių žiedo Ra šiurkštumo kitimas, tepant „Pemco 80w90“ transmisine alyva	51
63 pav.	Guolių žiedo aukščio kitimas, tepant „Litol-24“ tepalu	52
64 pav.	Guolių žiedo Ra šiurkštumo kitimas, tepant „Litol-24“ tepalu	52
65 pav.	Bendras guolių išorinio žiedo aukščio pokyčio grafikas.....	53
66 pav.	Bendras guolių išorinio žiedo Ra šiurkštumo pokyčio grafikas.....	54
67 pav.	Bendras guolių išorinio žiedo Rz šiurkštumo pokyčio grafikas.....	55
68 pav.	Bendras guolių išorinio žiedo Rmax šiurkštumo pokyčio grafikas.....	56
69 pav.	Profilometro duomenų lapeliai	60

Kairys, Jokūbas. Guolių gamintojų prekinio ženklo ir tepalo rūšies įtaka kūginių guolių trinties proceso rodikliams. Magistro baigiamasis projektas. Vadovas doc. dr. Danas Garuckas; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis: Sausumos transporto priemonių inžinerija, technologijos mokslai.

Raktiniai žodžiai: kūginis guolis, dilimas, šiurkštumas, prekinis ženklas, gamintojas, tepimas

Panevėžys, 2019. 60 p.

Santrauka

Šiame baigiamajame darbe yra apžvelgti ir išanalizuoti jau atlikti kūginių guolių tyrimai Lietuvos ir Japonijos universitetuose, kuriuose tiriamos įvairios dilimo charakteristikos. Taip pat šiame darbe atliktas kūginių guolių paviršių šiurkštumo parametrų, bei guolio aukščio kitimo tendencijų tyrimas ir analizė. Atliekant tyrimus parenkami guoliai skirtingų prekinų ženklų ir šie guoliai dirba skirtingo klampumo alyvose (tepaluose).

Darbo tikslas - ištirti kokį poveikį dilimo intensyvumui turi vienos rūšies guolių, bet skirtingų prekinų ženklų guoliai, esant skirtingo klampumo alyvoms (tepalams). Tyrimai atliekami tik su naujais guoliais. Darbo pabaigoje pateikiami rezultatai ir išvados gauti tyrimo metu.

Kairys, Jokūbas. Research of lubricant type and brand influence to the friction process parameters of tapered bearings: Master thesis in final work. Supervisor assoc. prof. Danas Garuckas. The Faculty of KTU PTVF, Kaunas University of Technology.

Study field and area: Overland transport engineering, Technology scientist.

Keywords: tapered bearing, wear, roughness, brand, lubrication.

Panevėžys, 2019. 60 p.

Summary

This work overviews already finished tapered bearings researches in Lithuania and Japanese, where was researched wear characteristics influenced by various factors. Also in this work done tapered bearings roughness parameters and bearing height variation research, analysis. Before performing researches was picked bearings of different brands and oils/greases with different viscosity.

The aim of the work is to investigate the effect of wear rate of a different bearings brand and different viscosity oil/grease. The researches designed with brand new tapered bearings. At the end of the work results are submitted.

Įvadas

Daugely mašinių, sukamosios dalys turi guolius, guolių yra įvairių rūšių ir skirtingų savybių. Pavyzdžiui, oro transporte guoliai turi turėti didelį patikimumą, nedidelį svorį, nedidelį trinties koeficientą ir dirbti ekstremaliomis sąlygomis, t.y. esant įvairioms temperatūroms, didelėmis apkrovomis ir panašiai. Pasaulinėje rinkoje yra daugybė sukurtų guolių ir įvairių prekinį ženklų. „SKF“ rinkos apžvalgos teigimu 2015m. perkamų guolių kiekis padidėjo iki 3 procentų (parduodamų guolių pelnas pakilo nuo 330 bilijonų iki 340 bilijonų Švedijos kronų). Todėl galima teigti, kad pasaulyje vis plačiau naudojami įvairūs guoliai ir vis svarbesnė guolių kokybės reikšmė.

Išlaikyti guolį ilgaamžiškesnį svarbu sumažinti energijos nuostolius ir užtikrinti aukštą patikimumą. Sukimosi greitis, apkrova, tepimo būdas ir tepalas turi didelę reikšmę guolio ilgaamžiškumui. Todėl guolių parinkimas tam tikram agregatui ir guolio aptarnavimas, tinkamas eksploatavimas yra labai svarbus. Renkantis guolį, tepalą iš plataus šių dienų asortimento svarstoma koks prekinis ženklas yra geresnis, galbūt brangus pirkinys nėra geresnis nei pigus. Šiame darbe būtent tai ir bus ištirta kokia įtaką turi prekinis ženklas kūginio guolio ilgaamžiškumui.

Kūginiai guoliai paprastai naudojami automobilių ratams, diferencialams, įvairioms staklėms, elektrinėms pavaroms, reduktoriams ir kitiems įrenginiams. Šie guoliai pasižymi geru atsparumu radialinėmėms ir ašinėmėms apkrovoms, bei smūgiams.

Projekto tikslas: Ištirti tepalo ir alyvos rūšies, bei skirtingų kūginių guolių prekinio ženklo įtaką guolio trinties proceso rodikliams: šiurkštumo parametrąms R_z , R_a , R_{max} , guolio aukščio pokyčiui ΔH , esant tam tikrai apkrovai ir sukimosi greičiui.

Projekto uždaviniai:

1. Atlikti Lietuvos ir užsienio autorių mokslinių publikacijų apžvalgą nagrinėjama tema.
2. Aprašyti tyrimo metodika: tiriamojo objekto charakteristiką, eksperimento sąlygas, bandymų priemones, tyrimo proceso tvarką, nagrinėjamus trinties proceso rodiklius, matavimo priemones ir būdus.
3. Pateikti tirtų guolių trinties procesų rodiklių priklausomybes nuo laiko arba ciklų skaičiaus. Atlikti gautų rezultatų analizę. Aprašyti pastebėtus dėsningumus.
4. Pateikti apibendrintas tirtų guolių trinties proceso rodiklių priklausomybes. Išnagrinėti: kokią įtaką rodikliams turi guolio gamintojo prekinis ženklas? Kaip rodiklių reikšmės įtakoja skirtinga tepalo rūšis? Aprašyti pastebėtus dėsningumus.
5. Pateikti išvadas, gal ir rekomendacijas.

Projekto aktualumas. Automobilių detalių, šiuo konkrečiu atveju kūginio guolio, teisingas eksploatacijos sąlygų įvertinimas (apkrovos, tepimas, temperatūra), tinkamo darbinų paviršių tepimo užtikrinimas, bei tinkamo guolių prekinio ženklo pasirinkimas leidžia prailginti eksploatacijos laiką, taupo pinigus ir tausoja aplinką. Šiuo metu, kai automobilių skaičius Lietuvoje yra labai didelis, šeimos turi jau po du automobilius ir kartais net po tris, o automobiliai turi ne po vieną guolį, ne po

vieną trintimi dirbantį mazgą, tai prailgintas tokių mazgų resursas, tiek finansine išraiška, tiek gamtinių išteklių išsaugojimo forma tampa gan ryškus ir turi teigiamą poveikį.

Autoriaus publikuotų straipsnių bibliografinis sąrašas:

Kairys, Jokūbas. Guolių gamintojų prekinio ženklo ir tepalo rūšies įtaka kūginių guolių trinties proceso rodikliams. Technologijų ir verslo aktualijos 2019: studentų mokslinių darbų konferencijos pranešimų medžiaga. Panevėžys: KTU PTVF, 2019.

Konferencijose skaityti pranešimai:

Pranešimas tema „Guolių gamintojų prekinio ženklo ir tepalo rūšies įtaka kūginių guolių trinties proceso rodikliams“ studentų mokslinėje konferencijoje „Technologijų ir verslo aktualijos“. Panevėžys: Panevėžio universitetas, 2019 m. balandžio 19 d.

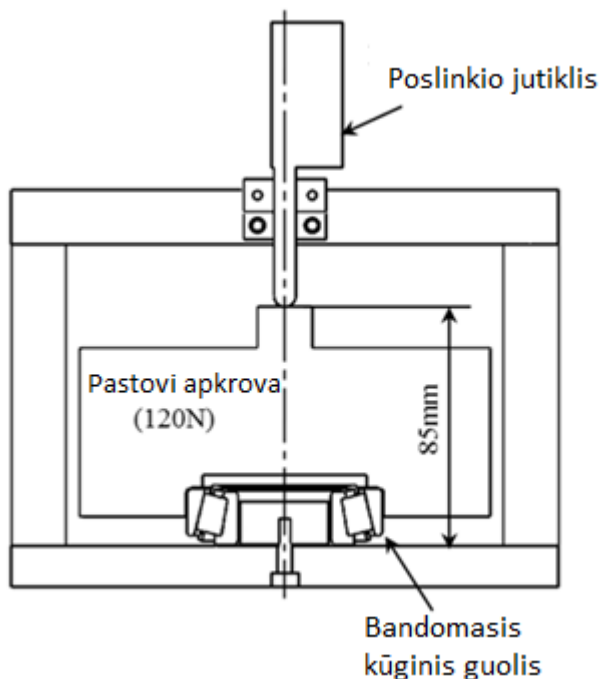
1. Literatūros apžvalga

1.1. Japanese Society of Tribologists tyrimas „Dilimo nuostolių kūginuose guoliuose apžvalga“

Pasaulyje atliekama nemažai tyrimų su įvairiais guoliais. Japonų tribologijos asociacija atliko bandymus, kuriais nustatė dilimo nuostolių įtaką kūginiams guoliams [1].

Šiam tyrimui matavimo įranga (žr. pav. 1) skirta matuoti guolio plotį. Įrangos principas paremtas ISO 1132-2 standartu.

Matavimo procedūra buvo tokia: pirma įstatytas matavimo, kurio aukštis 85mm įdėklas (žr. pav. 1) ir įmontuotas poslinkio jutiklis; toliau įtvirtintas guolio vidinis žiedas ir apkraunama 120N ašinė jėga išoriniam guolio žiedui, išorinis žiedas prasukamas keletą ratų. Po šių pasukimų nustatoma jutiklio nulinė padėtis, kad būtų tikslesni galutiniai rezultatai. Mažiausia jutiklio rezoliucija yra 0,1 mikronas, esant 20 laipsnių Celsijaus, todėl tyrimas buvo atliktas patalpoje.



1 pav. Matavimo įrangos schema [1]

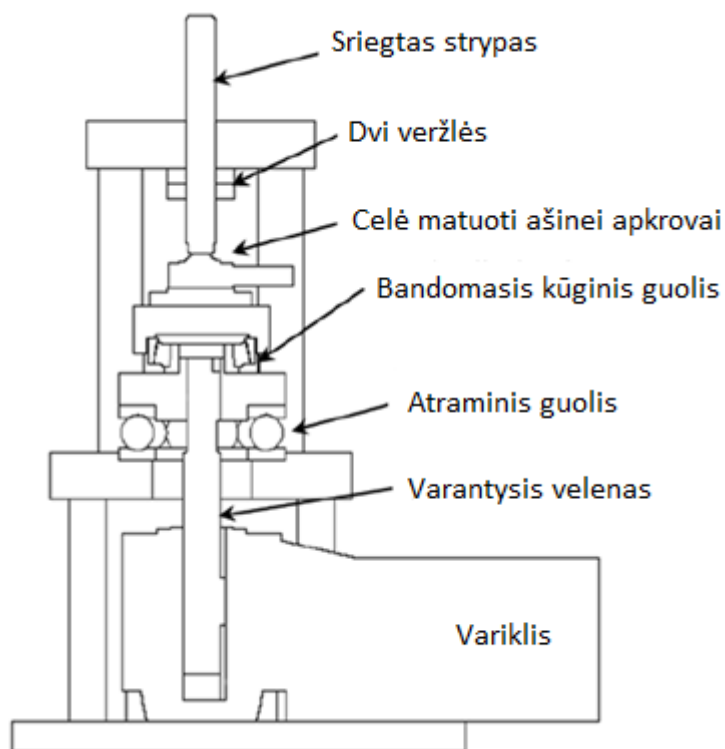
Kūginio guolio bandymui tyrimo stendas pavaizduotas schematiškai 2 pav. Ašinė apkrova paverčiama guoliui veržiant su varžtu ir užveržiant dviem veržlėmis. Stende naudojami bandomasis guolis ir atraminis (51312) guolis. Iš apačios įrangos variklis suka bandomojo guolio vidinį žiedą. Tepimui naudojamas tirštas tepalas.

Apskaičiuoti ašinėms apkrovoms, celė su jutikliu įmontuota virš guolio pastovios apkrovos, kuri įstatyta ant išorinio guolio žiedo. Termopora įstatyta per pastovios apkrovos skylutę, prie guolio

išorinio žiedo, matuoti temperatūrai. Tiriomojo stendo medžiaga yra iš plieno, kurio plėtimosi koeficientas yra mažas.

Stendo trūkumas, kurį reikia įvertinti: sumažėjęs guolio aukštis dėl nusidėvėjimo ir plastinių deformacijų dirbant guoliui yra priežastis kodėl apkrova mažėja (apkrova įtvirtintą varžtų).

Sukimosi greitis buvo numatytas 285 min^{-1} . Šis sukimosi greitis parinktas atsižvelgiant į guolio ir tepalo rekomendacijas. Parinktas kūginis guolis buvo 30306, kurio vidinis skersmuo 30 mm, išorinis skersmuo 72 mm, plotis 19 mm. Šie guoliai dar skirstomi į kelius tipus, kurių skirtingi ritinėlių paviršiaus ir ašies kampai. Iš viso yra trijų kampu: 1. Standartinis (30306) $\alpha \leq 17^\circ$, vidutinio kampo (30306C) $\alpha \approx 20^\circ$ ir stataus kampo (30306D) $\alpha \approx 28^\circ$. Visi šie tipai buvo naudojami tyrimui.



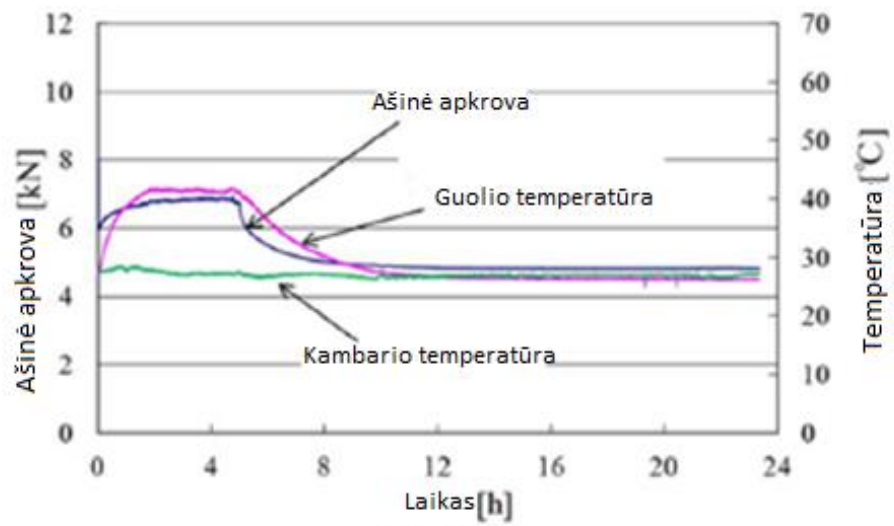
2 pav. Tyrimo stendo schema [1]

Tyrimui guolis buvo sukamas 24 valandas, nes manoma, kad guolio darbingumas po 5 valandų turėtų ženkliai kristi ir vėliau nebekeisti rezultatų.

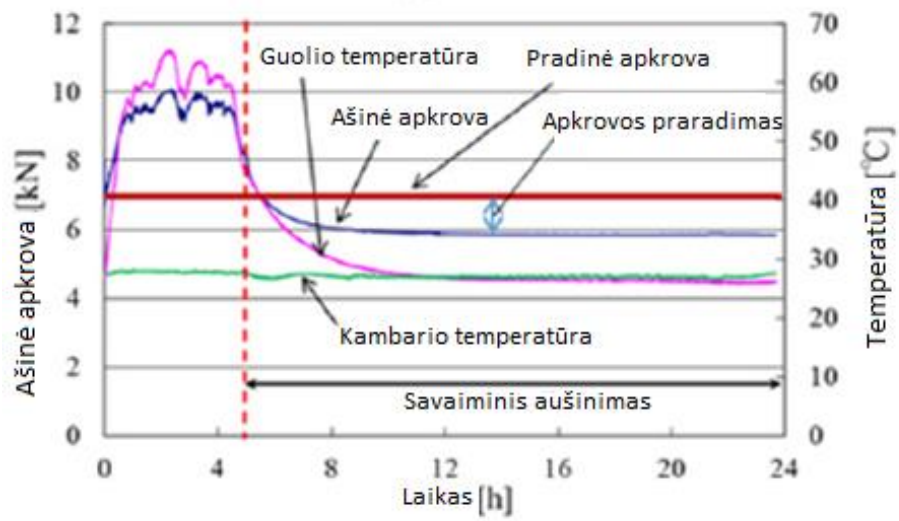
Kai variklis buvo paleistas, stendo matuojama temperatūra buvo kambario temperatūros ir nustatyta reikiama apkrova. Kitos tyrimo sąlygos: parinktas tepalas NS-7, pirminė apkrova apie 8 kN, papildomo aušinimo nėra.

Rezultatai eksperimento.

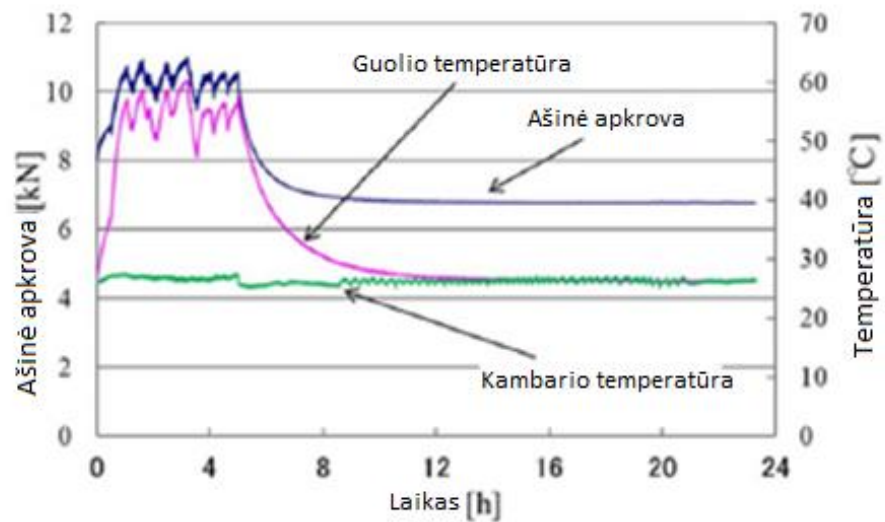
Rezultatų grafikus visų trijų tipų guolių žiūrėti 3 pav. Paveiksle atvaizduotą ašinės apkrovos kritimas, tyrimo laikas, temperatūra. Taip pat rezultatai surašyti į lentelę (žr. pav. 4).



(a) 30306



(b) 30306C



(c) 30306D

3 pav. Tyrimų rezultatai grafike [1]

Guolio tipas	Bandinio numeris	Apkrovos sumažėjimas po guolio staigaus aukščio kritimo	Apkrovos sumažėjimas po eksperimento
30306	①	0.92 kN	1.05 kN
	②	0.95 kN	1.12 kN
	③	1.03 kN	1.21 kN
30306C	①	1.23 kN	1.29 kN
	②	1.18 kN	1.08 kN
	③	1.11 kN	1.25 kN
30306D	①	1.38 kN	1.43 kN
	②	1.35 kN	1.51 kN
	③	1.32 kN	1.46 kN

Guolio tipas	Bandinio nr.	Guolio aukščio pokytis
30306	①	14.3 μm
	②	14.8 μm
	③	13.6 μm
30306C	①	5.8 μm
	②	4.3 μm
	③	5.6 μm
30306D	①	1.8 μm
	②	1.7 μm
	③	1.6 μm

4 pav. Tyrimo rezultatai lentelėje [1]

Tyrimo išvados:

1. Pirminės apkrovos kritimas priklauso nuo guolio ritinėlių paviršiaus ir ašies kampo. Jėgos kritimas mažesnis kai kampas yra mažesnis.
2. Pagrindinė priežastis kodėl pirminė apkrova mažėjo tai sumažėjęs guolio aukštis (stendo trukumas).
3. Tiksliesniems rezultatams geriau pasirinkti didesnę apkrovą ir atlikti eksperimentą trumpiau.

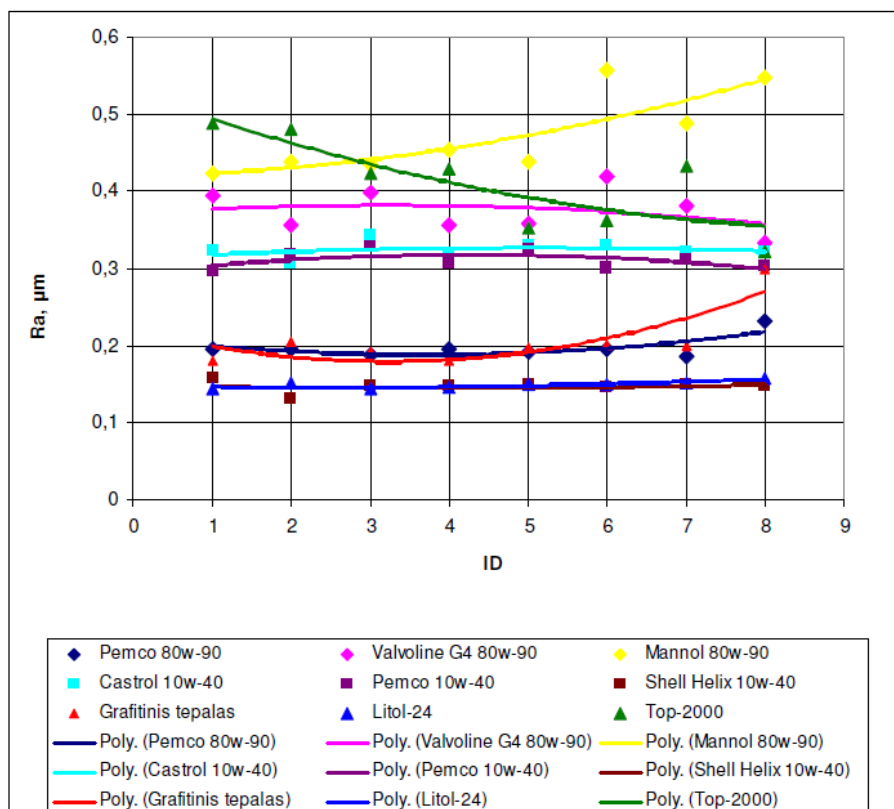
1.2. Guolių trinties procesų tyrimas KTU Panevėžio technologijų ir verslo fakultete, Autorius A. Masilionis

Tyrimas atliktas atsižvelgiant į ankstesnius KTU Panevėžio technologijų ir verslo fakulteto autorių atliktus tyrimus: A.Kriščiūno „Guolių trinties procesų tyrimas“ ir J.Pruncaus „Guolių trinties procesų tyrimas“. A.Masilionio tyrimo darbo tikslas buvo ištirti tepalo ir alyvos rūšies įtaką kūginių guolių trinties proceso rodikliams: šiurkštumo parametrus R_z , R_a , R_{max} , guolio aukščio nudilimui ΔH . Ištirti skirtingų alyvų ir tepalų prekinio ženklo įtaką guolio dilimo procesui.

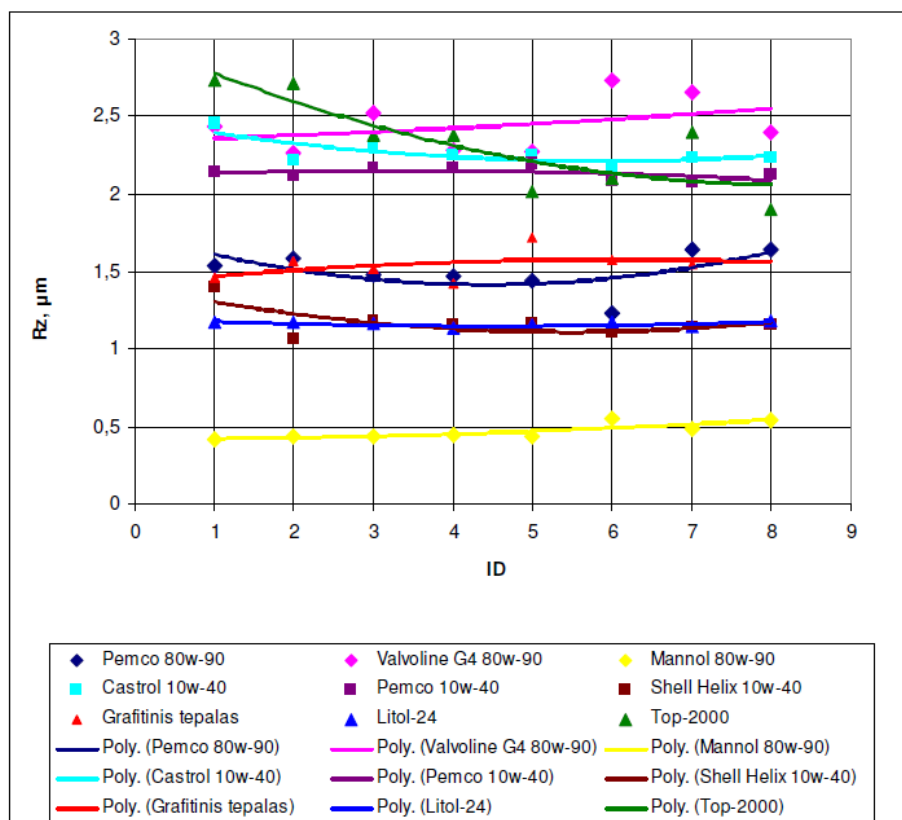
Tyrimui pasirinktas vienas iš populiariausių, plačiai naudojamų guolių „TIMKEN JL69349-JL69310“. Tyrimo sąlygos sudarytos remiantis realaus automobilio eksploataavimo sąlygomis, t.y. pasirinkta plačiausiai naudojami ratų dydžių, greičių, apkrovų parametrai. Remiantis pasirinktais parametrais nustatyta tyrimo metodika. Vienam guoliui atliekami 3 milijonai ciklų, t.y. guolio apsisukimų aplink savo ašį, o matavimai atliekami intervalais kas 300 000 apsisukimų. Pasirinkta apkrova tyrimui apie 1000 kg. Tyrimui buvo naudojami įvairūs tepalai: „Auto Top 2000“, „Pemco 80w90“, „Pemco 10w40“, „Castrol 10w40“, „Shell Helix HX7 10w40“, „Litol-24“, Mannol 80w90“, „Valvoline 80w90“.

Tyrimui ir matavimams buvo naudojami: universiteto sukonstruotas tyrimo stendas, šiurkštumo nustatymui profilometras „Garant ST1“ ir indikatoriai „Holex“ guolių aukščiams nustatyti.

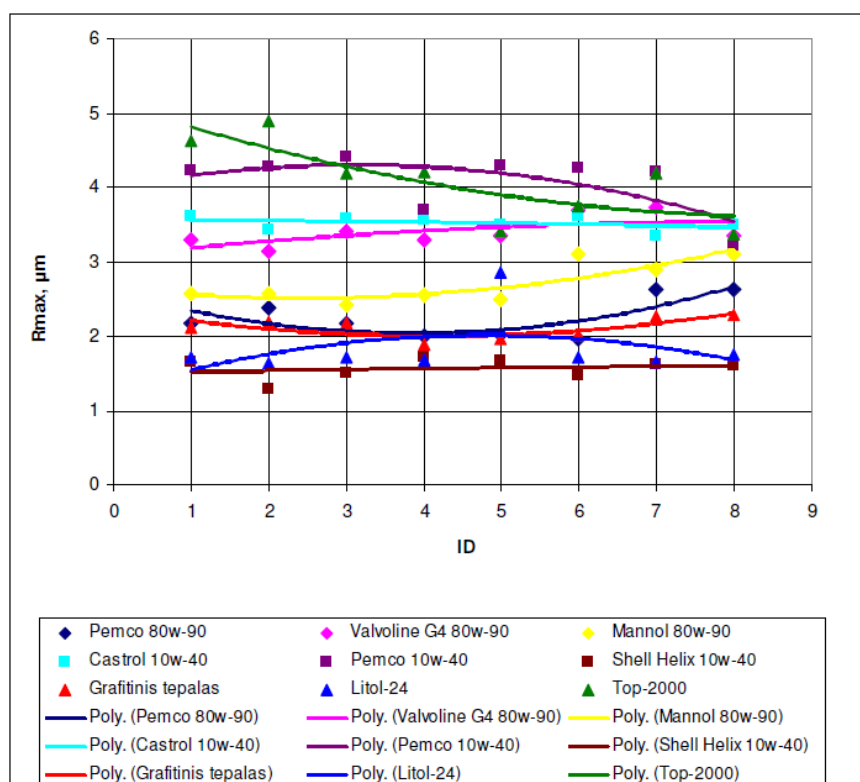
Atlikto tyrimo rezultatai ir išvados:



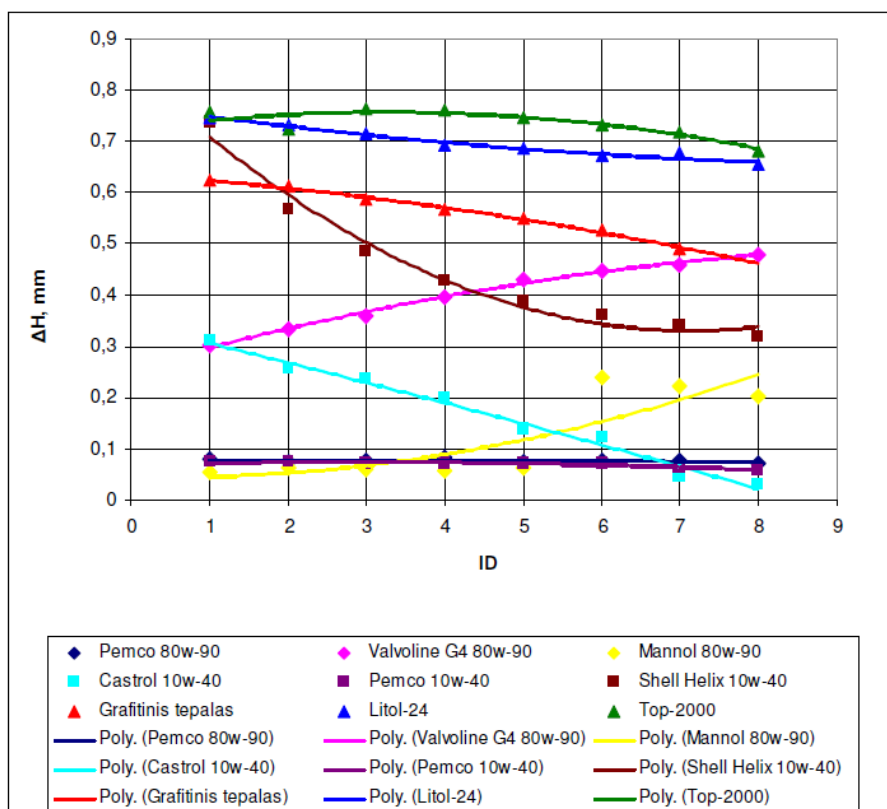
5 pav. Ra šiurkštumo rezultatai [2]



6 pav. Rz šiurkštumo rezultatai [2]



7 pav. Rmax pokyčio rezultatai [2]



8 pav. ΔH pokyčio rezultatai [2]

Iš tyrimo metu gautų rezultatų grafikų matyti, kad didžiausias ΔH pokytis gautas naudojant Shell Helix 10W-40 alyvą (žr. pav. 8), Mažiausiai „Pemco 80w90“ .

Didžiausias šiurkštumo R_a pokytis naudojant „Manol 80w90“ ir „Top 2000“ alyvas (žr. pav. 5), likusiųjų alyvų gamintojų rezultatai mažesni ir panašūs.

Didžiausias šiurkštumo R_z pokytis naudojant „Top 2000 tepalą (žr. pav. 6), likusiųjų alyvų gamintojų pokyčiai mažesni ir panašūs.

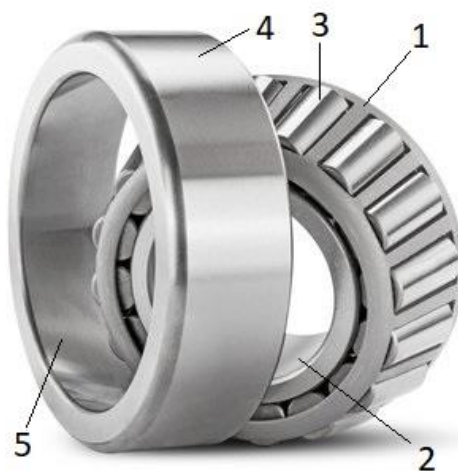
Didžiausias šiurkštumo R_{max} pokytis naudojant „Top 2000 tepalą (žr. pav. 7), mažiausi pokyčiai naudojant „Castrol 10w40“, „Pemco 10w40“.

2. Kūginių guolių tyrimo metodika ir sąlygos

2.1. Tyrimo objektas

Tyrimo objektas (žr. 9 pav.) – nauji kūginiai ritininiai vienaėiliai guoliai skirtingų gamintojų, bet vienodo modelio: TIMKEN JL 69349-310, KOYO JL 69349-10, SKF JL 69349-310/Q [6], [8], [9]. Tai gana populiarūs dabartinių automobilių standartiniai ratų guoliai. Šie guoliai naudojami tokiems automobiliams kaip „Mazda 121“, „Kia Rio“, „Kia Pride“, „Mazda Demio“, ir kitiems mažiems automobiliams. Šių kūginių guolių pagrindiniai matmenys:

1. Išorinio žiedo skersmuo – 63 mm;
2. Vidinio žiedo skersmuo – 38 mm;
3. Guolio aukštis – 17 mm.



9 pav. Kūginis ritininis vienaėilis guolis: 1- seperatorius, 2 – vidinis žiedas, 3 – ritinėlis, 4 – išorinis žiedas, 5 – išorinio žiedo darbinis paviršius.

Žemiau lentelėje pateiktos tyrime naudojamų guolių charakteristikos.

1 lentelė. Guolis „Timken JL 69349-310“

Seperatorius	Štampuoto plieno
Leistinoji dinaminė apkrova	36900 N
Leistinoji statinė apkrova	55000 N
Y koeficientas	1,44
K koeficientas	1,4
e koeficientas	0,42
Šilumos generavimo koeficientas 1	18,4
Šilumos generavimo koeficientas 2	14,5
Ritinėlių skaičius	22
Kaina, eurai	15.00

2 lentelė. Guolis „KOYO JL 69349-10“

Seperatorius	Štampuoto plieno
Leistinoji dinaminė apkrova	-
Leistinoji statinė apkrova	54700 N
Y koeficientas	1,44
K koeficientas	-
e koeficientas	0,42
Šilumos generavimo koeficientas 1	-
Šilumos generavimo koeficientas 2	-
Ritinėlių skaičius	22
Kaina, eurais	12.00

3 lentelė. Guolis „SKF JL 69349-310/Q“

Seperatorius	Štampuoto plieno
Leistinoji dinaminė apkrova	45700 N
Leistinoji statinė apkrova	52000 N
Y koeficientas	1.4
K koeficientas	-
e koeficientas	0,43
Šilumos generavimo koeficientas 1	-
Šilumos generavimo koeficientas 2	-
Ritinėlių skaičius	23
Kaina, eurais	22.00

2.2. Guolio tepimas

Guoliai tepami tyrimo metu trimis skirtingomis plačiai naudojamomis alyvomis:

1. Variklinė alyva „Pemco 10w40“ (žr. 6 lent.) [12];
2. Transmisinė alyva „Pemco 80w90“ (žr. 7 lent.) [11];
3. Universalus konsistensinis tepalas (žr. 8 lent.) „Litol-24“ [10].

Žemiau lentelėje pateiktos alyvų charakteristikos.

4 lentelė. Variklinė alyva „Pemco 10w40“

		Reikšmė	Vienetai
SAE žymėjimas	10w40, API SN/CF		
Bazinės alyvos klampumas	40° C	92,2	mm ² /s
	100° C	13,96	mm ² /s

Tankis	15° C	0,874	g/m ³
Sutirštėjimo temperatūra		-35	° C
Užsiliepsnojimo temperatūra		226	° C

5 lentelė. Transmisinė alyva „Pemco 80w90“

		Reikšmė	Vienetai
SAE žymėjimas	80w-90, API GL-5		
Bazinės alyvos klampumas	40° C 100° C	182,2 17,8	mm ² /s mm ² /s
Tankis	15° C	0,90	g/m ³
Sutirštėjimo temperatūra		-30	° C
Užsiliepsnojimo temperatūra		210	° C

6 lentelė. Universalus tepalas „Litol-24“

		Reikšmė	Vienetai
Žymėjimas	GOST 21150-87		
Sutirštėjimo temperatūra		-40	° C
Užsiliepsnojimo temperatūra		130	° C

2.3. Guolio bandymo stendo apsisukimų, apkrovų ir guolio resursų nustatymas (sąlygos)

Toliau įvertinamos realios dažniausiai pasitaikančios „Kia Rio MK2“ automobilio eksploatavimo sąlygos ir identifikuojami pradiniai duomenys, kurie reikalingi bandymams atlikti.

„Kia Rio“ automobilio standartinio rato 185/65/R14 padangos skersmuo [4]:

$$dR = 569 \text{ mm}$$

Skersmuo apskaičiuotas pasinaudojus skaičiuote iš interneto (šaltinis [3])

Gautas automobilio rato perimetras:

$$PR = \frac{\pi \cdot dR}{1000} = 1,87 \text{ m} \quad (1)$$

Priimami artimiausi faktiniai apsisukimai atsižvelgiant į anksčiau atliktą A.Masilionio tyrimą [2]. Iš atlikto tyrimo matyti, kad esant 1000 apsukų per minutę, guolio dilimas pakankamas ir guolio matuoti rezultatai aiškūs, leidžia apibendrinti išvadas. Tai pasirinkta naudoti tokias pat apsukas :

$$nf = 1000 \text{ aps/min}$$

Faktinis automobilio greitis bus:

$$vf = \frac{60}{1000} \cdot nf \cdot PR = 112,34 \text{ km/h} \quad (2)$$

Automobilio masė [4]:

$$m = 1106 \text{ kg, (tuščio „Kia Rio“ automobilio masė)}$$

„Kia Rio“ automobilio masės dalis tenkanti automobilio priekinei ir galinei ašims (p -priekis; g - galas) [4]:

$$kp = 0,6$$

$$kg = 0,4$$

Priekines ašies apkrova vienam ratui:

$$Fp = kp \cdot \frac{m}{2} = 331,8 \text{ kg} \quad (3)$$

Galinės ašies apkrova vienam ratui:

$$Fg = kg \cdot \frac{m}{2} = 221,2 \text{ kg} \quad (4)$$

Tiriamų guolių charakteringas kampas:

$$\alpha' = 15^\circ$$

$$\alpha = \alpha' \cdot \frac{\pi}{180} = 0,2618 \text{ rad} \quad (5)$$

Stendo ašinė apskaičiuota apkrova galinės ašies ratui:

$$Fask = \frac{Fg}{\sin(\alpha)} = 854,65 \text{ kg} \quad (6)$$

Atsižvelgiant į A.Masilionio atliktą tyrimo rezultatus, ašinę apkrovą didiname iki 1250 kg. Tai faktinė apkrova bus:

$$Fa = 1250 \text{ kg}$$

Stendo generuojama radialinė jėga tenkanti guoliui:

$$Fr = \frac{Fa}{\tan(\alpha)} = 4665,01 \text{ kg} \quad (7)$$

Toliau, kad nustatyti guolio ilgaamžiškumą, pakeičiami gautų apkrovų matavimo vienetai ir apskaičiuojamos dinaminės ekvivalentinės apkrovos, remiantis šaltiniu [5-12,4 lent.]:

$$Fa = 1250 \cdot 9,81 = 12262,5 N$$

$$Fr = 4665,01 \cdot 9,81 = 45764,3 N$$

$$Fekv = 0,4 \cdot Fr + Y \cdot Fa = 35473,2 N \quad (8)$$

čia, $Y = 1,4$ – koeficientas [6].

Skaičiuotina ekvivalentine dinaminė apkrova [5-89 psl.]:

$$Fekv sk = Fekv \cdot Xg \cdot KA1 \cdot KA2 = 35473,2 N \quad (9)$$

čia, $Xg = 1$ – darbo režimo koeficientas [5-12,5 lentelė];

$KA1 = 1$ – papildomos dinaminės apkrovos koeficientas [5-12,6 lentelė];

$KA2 = 1$ – papildomos dinaminės apkrovos koeficientas [5-12,7 lentelė].

Guolių resursas (ilgaamžiškumas) įvertinant eksploatacines sąlygas [5-12.2 formulė]:

$$Lhm = a1 \cdot a23 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{Fekv sk} \right)^q = 19 val. \quad (10)$$

$$Lm = a1 \cdot a23 \cdot \left(\frac{C}{Fekv sk} \right)^q = 1,14 mln. ciklų \quad (11)$$

čia, $a1 = 1$ – guolio patikimumo koeficientas [5-12,9 lentelė];

$a23 = 1$ – guolio tipo, tepimo kokybės ir darbinės temperatūros koeficientas [7-86 psl.].

2.4. Guolių tyrimo metodika

Atsižvelgiant į gautą teorinį ilgaamžiškumą ir atliktą A.Masilinio darbą, bei turimą laiką bandymams kiekvienas tiriamas guolis turi būti išbandomas ne mažiau 3 mln. ciklų, t.y. kiekvienas guolis turės tiek apsisukti aplink savo ašį. Norint gauti aiškius tyrimo rezultatus, guolio dilimo charakteristikas, guolis bus periodiškai stabdomas, išmontuojamas, valomos visos guolio dalys neišardant separatoriaus su ritinėliais, matuojamas, vizualiai apžiūrimas, fotografuojamas, įmontuojamas guolis atgal į standą su likusia alyva (jei reikia papildoma nauja) ir guolis paleidžiamas toliau sukintis maždaug kas 300 tūkstančių ciklų. Toks periodas buvo naudojamas ir A.Masilionio darbe.

Bus matuojami tiriamųjų guolių dilimo ir šiurkštumo parametrai: R_a , R_z , R_{max} , ΔH . Šie aukščio ir šiurkštumo parametrai bus matuojami skirtinguose išorinio žiedo vidaus keturiuose taškuose (aukštis dvejais indikatoriais vienu metu, nes matuojant guolio vienoje pusėje vienu indikatoriumi, adata gali iškreipti matuojamo aukščio rezultata). Kiekvienas taškas matuojamas nemažiau 3 kartus. Gauti duomenys suvedami į kontrolės lapus ir galiausiai išvedamas bendras tyrimo rezultatų vidurkis, bei pateikiama informacija grafiškai.

2.5. Tyrimo planas

Tyrimui atlikti sudaromas skirtingų gamintojų naujų guolių ir alyvų planas – lentelė (žr. 7 lent.). Spalvos lentelėje reiškia alyvos, tepalo klampį arba guolio kainą. Žalia – pigus guolis arba alyvos mažas klampumas, geltona – vidutinė guolio kaina arba vidutinis alyvos klampumas, bordo – brangus guolis arba tirštas tepalas.

7 lentelė. Guolių tyrimo sąlygų matrica

Guolis \ Alyva	TIMKEN			KOYO			SKF		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
„Pemco“ 10w40	*					*	*		
„Pemco“ 80w90		*			*			*	
„Litol - 24“			*	*					*

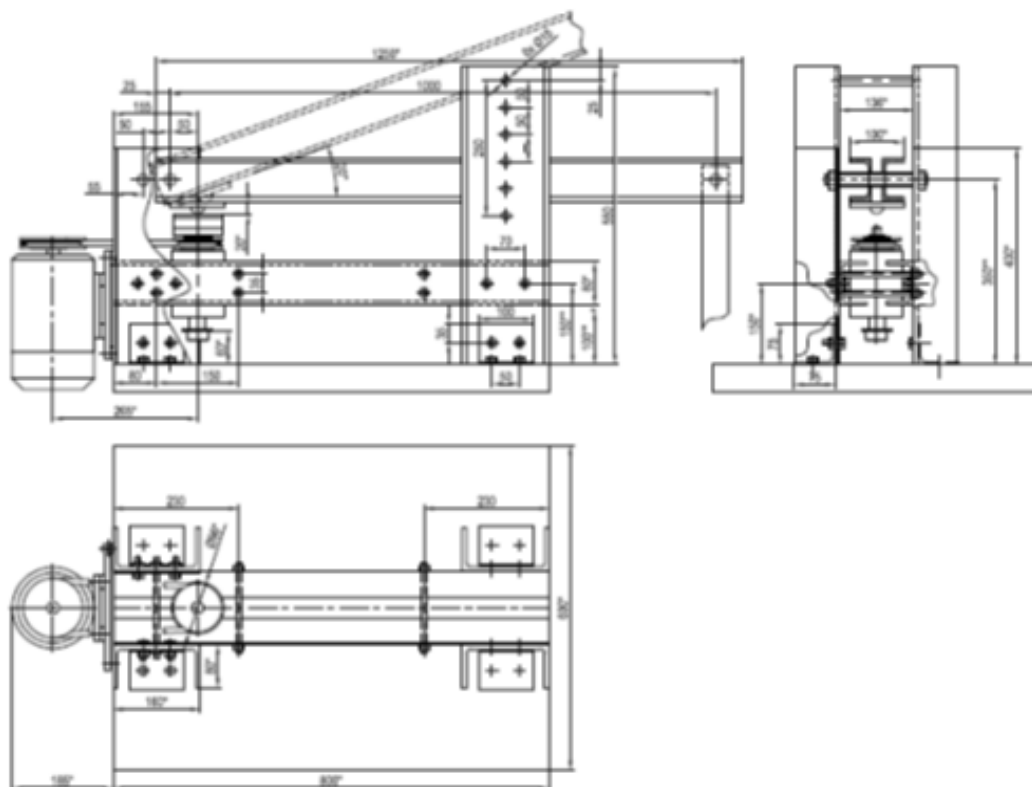
2.6. Tyrimo priemonės

Bandymų stendas (žr. 10, 12 pav.). Šis tribologinis stendas - pagrindinė darbo priemonė guoliams tirti. Stendas sukonstruotas KTU Panevėžio technologijų ir verslo fakultete guolių savybėms tirti. Stendo techninės charakteristikos:

1. El. variklio galia – 1,5 kW;
2. El. variklio sukimosi dažnis 1500 aps./min;
3. Diržinės pavaros perdavimo santykis 1:1;
4. Mažiausia prispaudimo jėga – 0,4 t;
5. Didžiausia prispaudimo jėga – 5 t.

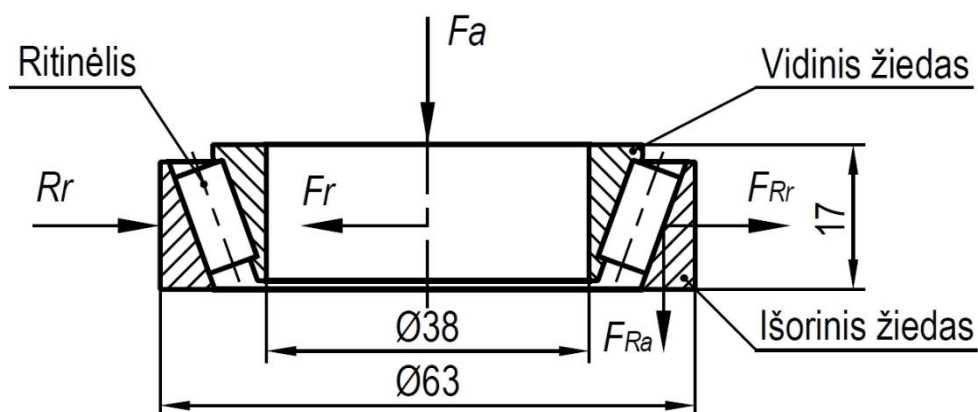


10 pav. Tribologinis stendas guolių tyrimui: 1 – apkrova, 2 – apkrovos tenkančios guoliui vieta, 3 – elektros variklis, 4 – tiriamojo guolio guoliavietė, 5 – jungiklis su saugikliais.



11 pav. Tribologinio stendo brėžinys

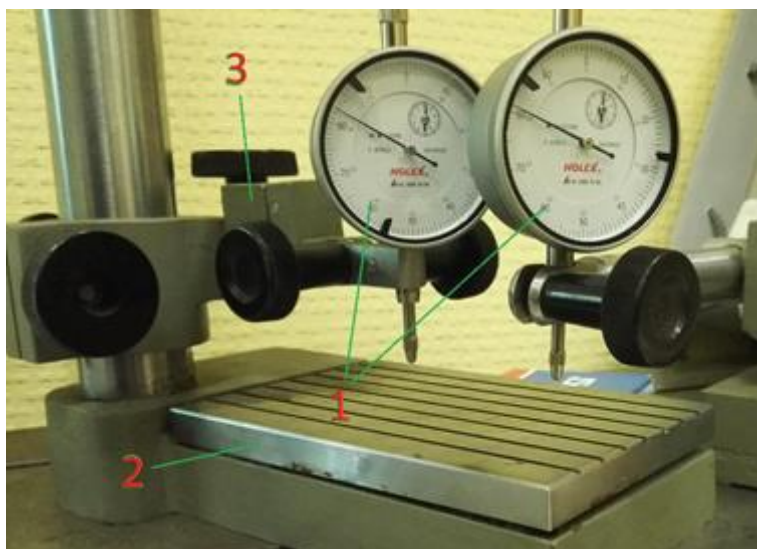
Žemiau paveikslėlyje pavaizduota, bei pakomentuota kaip stendo apkrova veikia tiriamąjį guolį:



12 pav. Stendo apkrova veikiantį guolį

Stendas apkrauna guolį ašine apkrova F_a , kuri dėl guolio tipo (kūginis guolis) perduoda apkrovą ritinėliams, kurių kiekvienas išoriniam guolio žiedui perduoda dalį apkrovos. Kiekvienas ritinėlis perduoda stendo ašinę apkrovą dedamosiomis F_{Ra} , o dėl kūginio guolio kampo generuoja radialinę apkrovą F_{Rr} . Guolio išoriniame žiede kyla radialinė reakcijos jėga R_r . Šiame tyrime ši reakcijos jėga bus laikoma radialine guolio apkrova F_r ($F_r = R_r$).

Aukštamatis su indikatoriu (žr. 12 pav.). Guolio aukščio skirtumui matuoti naudojamas laikrodinis indikatorius „Holex“, kurio padalos vertė – 0,01 mm.



13 pav. Guolio aukščio skirtumui matuoti įtaisas: 1 – indikatorius, 2 – stendo pagrindinė plokštė, 3 – indikatoriaus stovas.

Profilometras „Garant ST1“ (žr. 14 pav.). Šiuo prietaisu matuojamas guolio žiedo paviršiaus šiurkštumas. Prietaiso charakteristikos:

1. Registruojami netolygumai nuo 0,02 iki 350 μm ;
2. Adatų smaigalio suapvalinimo spindulys apie: 0,01 – 0,02 mm;
3. Matavimo jėga nedidesnė nei: 0,1 N;
4. Adatos traukimo greitis: 60mm/min;
5. Matavimo ilgis kinta nuo 1 iki 17,5 mm;
6. Matavimo neapibrėžtis: 0,6 %.




14 pav. „Garant ST1“ profilometras

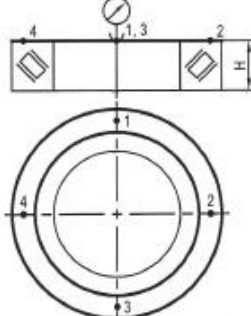
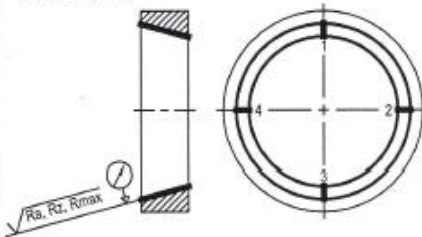

3. Tyrimo rezultatai

Tyrimo metu, kaip buvo numatyta metodikos aprašymo skiltyje, nustatyta guolio aukščio kitimo ΔH ir išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametru R_a , R_z , R_{max} priklausomybė nuo guolių bandymo atliktų ciklų. Ciklų skalė atvaizduota horizontalioje ašyje, reikšmės įrašytos milijonais, aukščio skirtumas mikrometrais ir šiurkštumo parametrai milimetrais.

Tyrimo metu bandinių duomenys pildomi į kontrolės lapus, kuriuose fiksuojami matavimo ciklų duomenys, bei pastabos. Žemiau pateikiame vieno iš bandinių kontrolės lapų pavyzdžių.

1		2		3		4	
Bandymo sąlygos	Bandinio Nr.	No. 6 K0 Y0		1019-04-10		Planas:	min 3 mln. ciklų
	Alyva	Penco low 40		Bandymo trukmė		ciklais	
	Alyvos priedas			Matavimų periodas		ciklais	~300 000
	F _r apkrova	kg	4 665				
	Stendo apkrova	kg	1250				
	Apsisukimai	aps/min	1000				
Kontrolės sąlygos							
Eksperimento eigos laiko kontrolė							
Data	Paleista	Išjungta	Trukmė	Matav. kortel. Nr.	Etapo ciklų skaičius	Suminis ciklų skaičius	Trukmė
10.19-11-10	8:50	13:30	5:00	2	300 000	300 000	5:00
04-10	14:45	17:05	2:20	3	140 000		
04-11	8:15	10:35	2:10		160 000	600 000	6:40
04-11	11:50	16:50	5:00	4	300 000	900 000	11:00
04-16	14:20	16:00	1:40	5	100 000		
04-16	8:45	14:05	5:20		400 000	1 500 000	10:00
04-17	14:15	17:00	2:45	6	165 000		
04-18	8:10	10:35	2:15		135 000	1 500 000	25:00
14-18	11:25	16:25	5	7	300 000	1 800 000	30:00
04-19	10:00	15:00	5	8	300 000	2 100 000	35:00
04-23	10:25	15:25	5	9	300 000	2 400 000	40:00
04-23	14:10	18:30	4:20	10	140 000		
04-24	8:25	11:05	2:40		160 000	2 500 000	45:00
04-25	10:35	15:35	5:00	11	300 000	3 000 000	50:00
Viso:							
Suminis valandų skaičius							
Pastabos / Komentarai / Išvados:							
							
Mastelis		Ruošė					
		Tikrino					
2019	Stadija	A4		N.kontr.			
				Tvirtino			
Byla						Lapų	Lapas
Kaup.	KTU PTVF					11	0
Inv.Nr.							

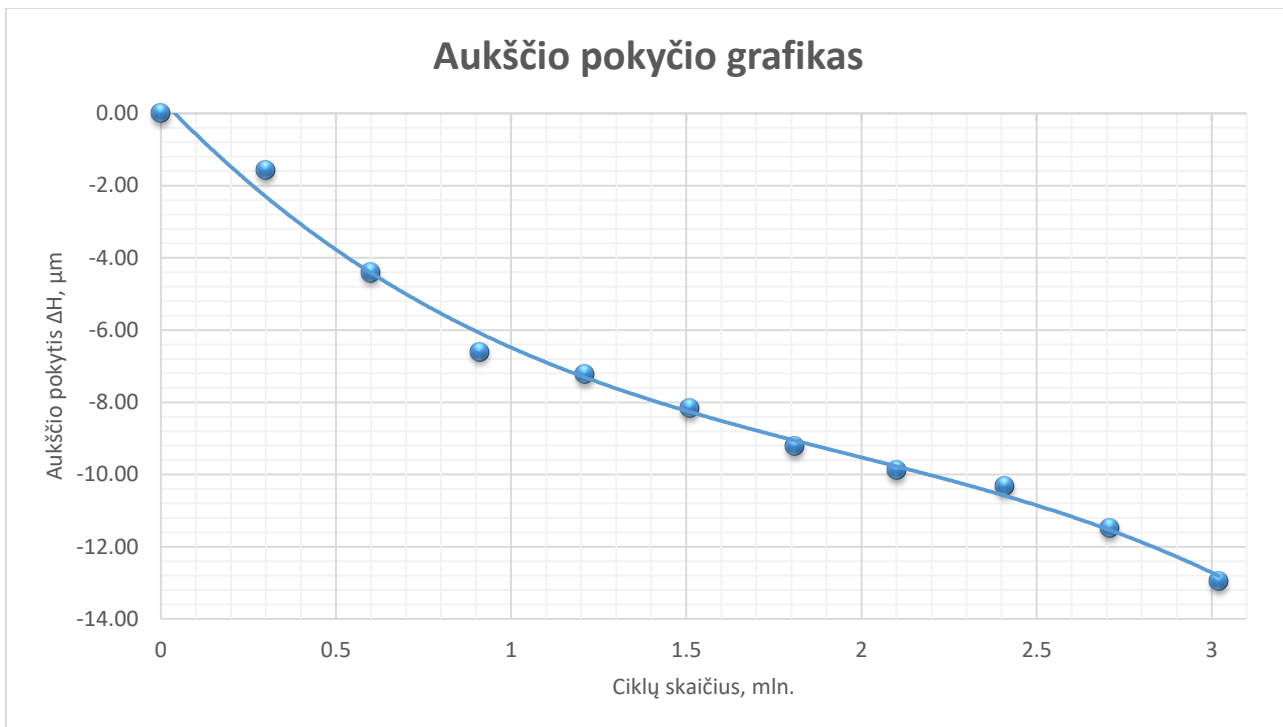
15 pav. Tyrimo kontrolės lapas, ciklų suvestinė

1		2		3		4			
Bandymo sąlygos	Bandinio Nr.	126 Koyo		Data:	2019-04-18		Planas:	min 3 mln. ciklų	
	Alyva	Pireo 10W-40		Bandymo trukmė	ciklais		4 800 000		
	Alyvos priedas			Matavimų periodas	ciklais		300000		
	F _r apkrova	kg	4 665	Band. etapo trukmė	val.	5:00			
	Stendo apkrova	kg	1250	Suminė band. trukmė	val.	30:00			
	Apsisukimai	aps/min	1000						
1. Matuojamas parametras: guolio aukščio H pokytis ΔH. IND 1 ir IND 2 - pirmo ir antro indikatorių rodmenys.				IND 1	IND 2	ΔH	Ra	Rz	Rmax
				μm	μm	μm	μm	μm	μm
1 taškas				96	73	0,198	1,071	1,514	
				88	80	0,166	1,495	2,832	
				74	90	0,148	1,873	1,453	
				71	94	0,158	1,300	1,630	
2 taškas				77	89	0,161	1,263	1,666	
				73	96	0,159	1,823	2,892	
				80	88	0,130	1,107	1,410	
				86	80	0,166	1,348	1,819	
3 taškas				100	70	0,140	1,224	1,617	
				103	63	0,163	1,172	1,668	
				121	52	0,187	1,312	1,721	
				91	94	0,199	1,306	1,666	
4 taškas				110	144	0,168	1,469	1,222	
				53	124	0,196	1,687	2,011	
				64	102	0,170	1,226	1,538	
				75	101	0,165	1,361	2,130	
2. Matuojami parametrai: guolio išor. žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumas.				85,53125		ΔH	Ra	Rz	Rmax
				̄					
				S					
Pastabos:				̄ - vidurkis					
				S - vidutinė kvadratinė nuokrypa					
		Mastelis	Ruošė						
			Tikrino						
2019	Stadija	A4	N.kontr.						
			Tvirtino						
Byla			KTU PTVF				Lapų	Lapas	
Kaup.								7	
Inv.Nr.									

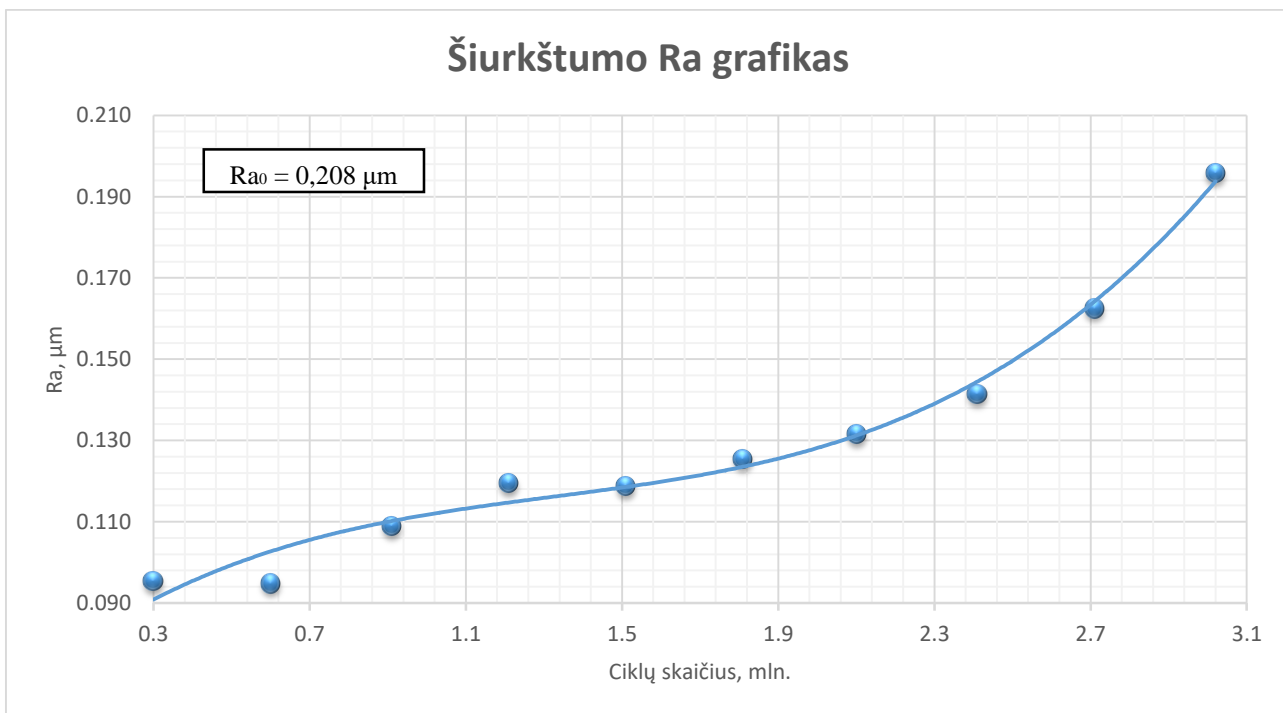
16 pav. Kontrolės lapas su tyrimo rezultatais

Tyrimo metu atlikta daugiau nei 8000 matavimų. Šie matavimai užfiksuoti ir apdoroti statistikai, gauti rezultatai ir toliau darbe pateikti grafikuose. Guolio aukščio nominalinis matmuo 17 mm, bet paprastai guoliai pradinį matmenį gali turėti iki 17,2 mm. Grafikuose aukštis rodomas mikronais, būtent šiame intervale 17,0 – 17,2 mm.

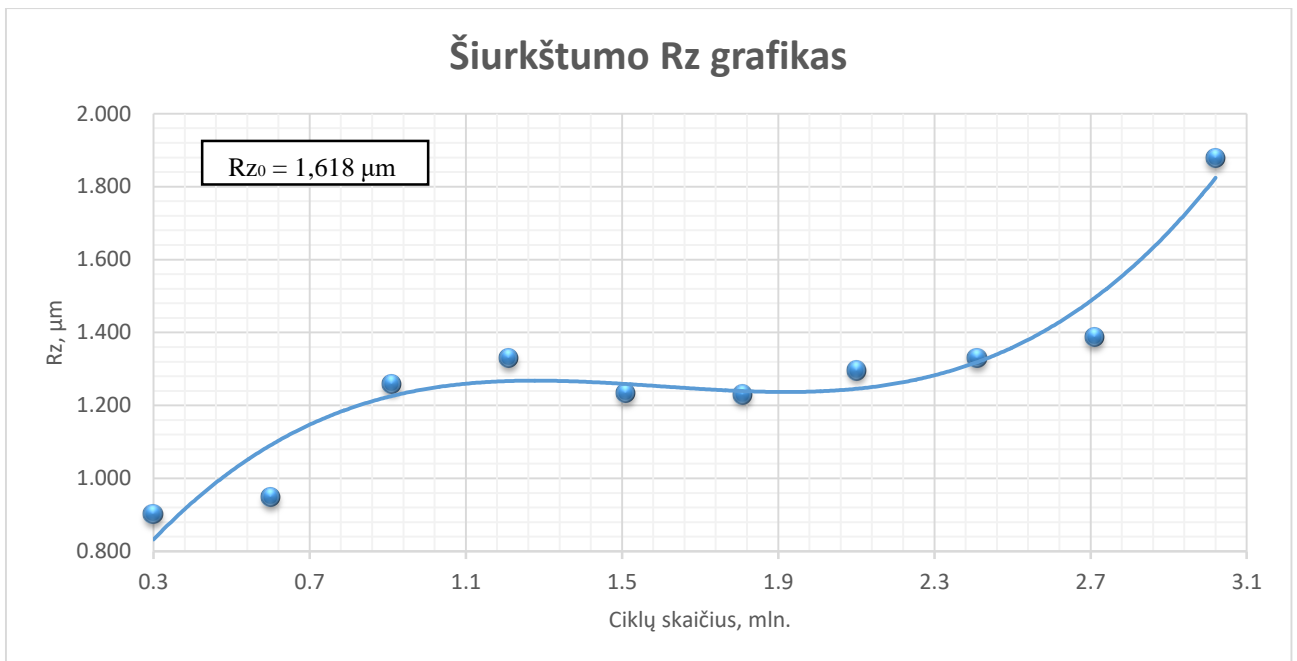
Bandinys Nr.1. Šio bandinio metu naudotas TIMKEN guolis ir PEMCO alyva 10w40. Išmatuotas pradinis guolio aukštis (H_0) 17,078 milimetro, Ra_0 šiurkštumas 0,208 mikrometro, Rz_0 šiurkštumas 1,618 mikrometro, $Rmax_0$ šiurkštumas 2,965 mikrometro.



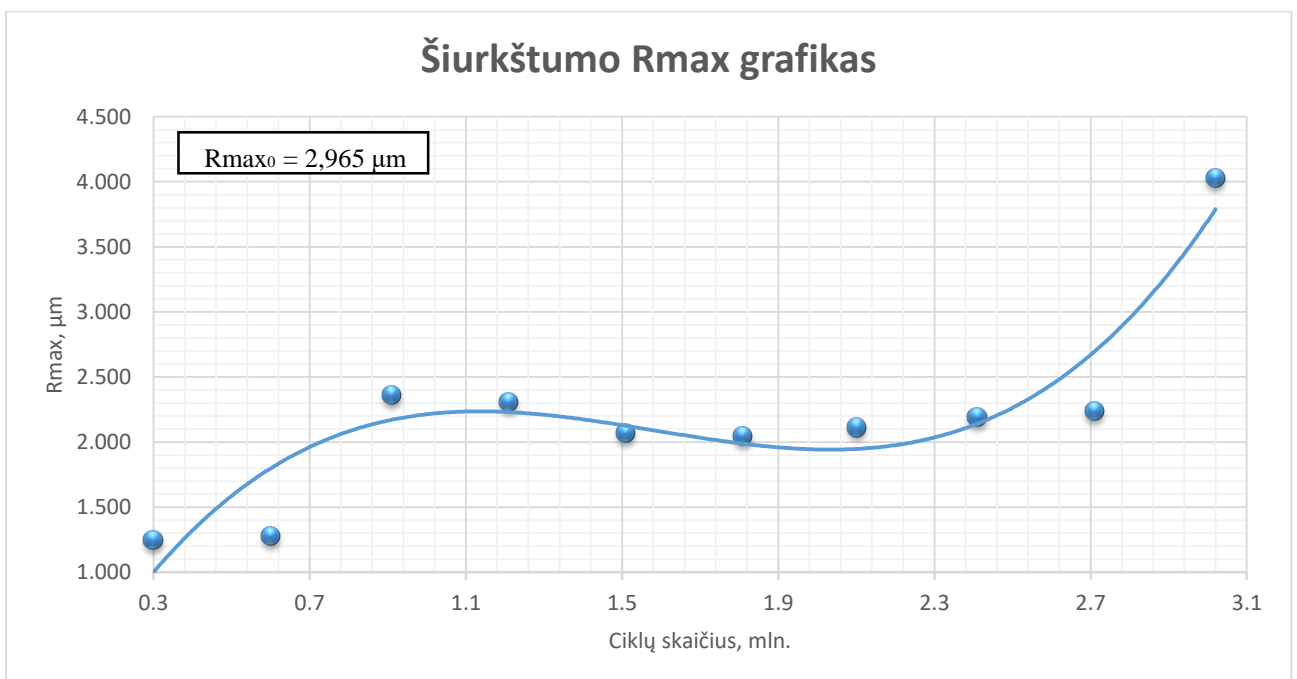
17 pav. „Timken“ Guolio žiedo aukščio kitimas, naudojant „Pemco 10w40“ alyvą



18 pav. „Timken“ guolio žiedo Ra šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 10w40“ alyvą



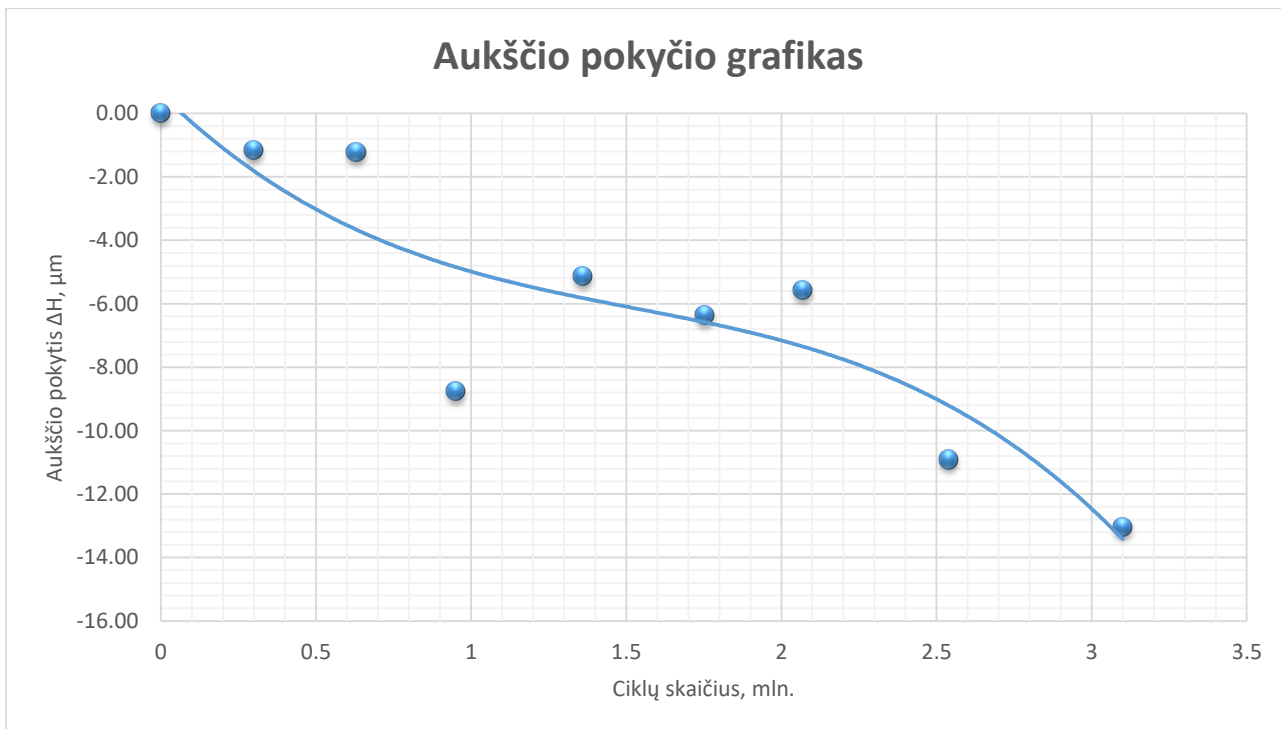
19 pav. „Timken“ guolio žiedo Rz šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 10w40“ alyvą



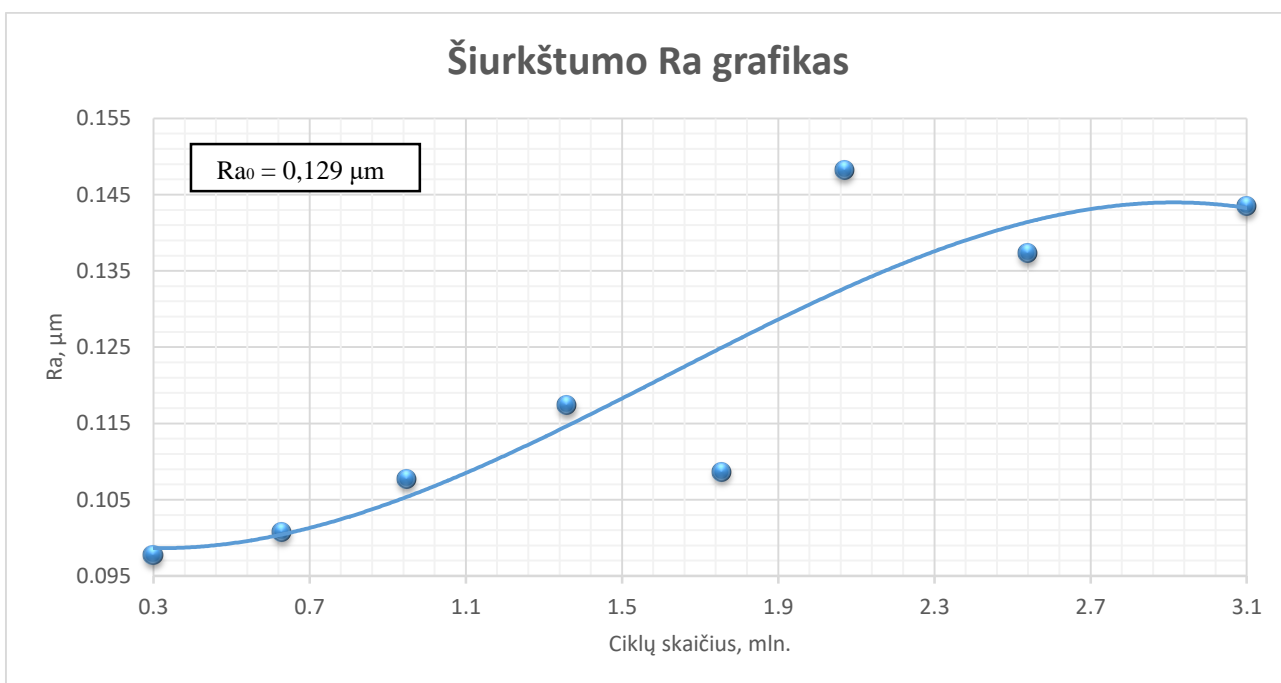
20 pav. „Timken“ guolio žiedo Rmax šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 10w40“ alyvą

Bandinio Nr. 1 aukščio pokyčio grafike (žr. 17 pav.), matyti, kad didėjant ciklų skaičiui aukštis tolygiai krenta. Šiurkštumo rodikliai (žr. 18, 19, 20 pav.) pradžioje nuo atliktų 300 tūkst. ciklų didėja, po to didžiąją dalį eksperimento šiurkštumas išlieka pastovus, o prieš užbaigiant bandymą dėl didesnio nuovargio guolio paviršiai sparčiai šiurkštėja. Šiurkštumo rezultatų grafikuose nėra didelių šuolių, kreivės taškai chaotiškai neišsimėtė.

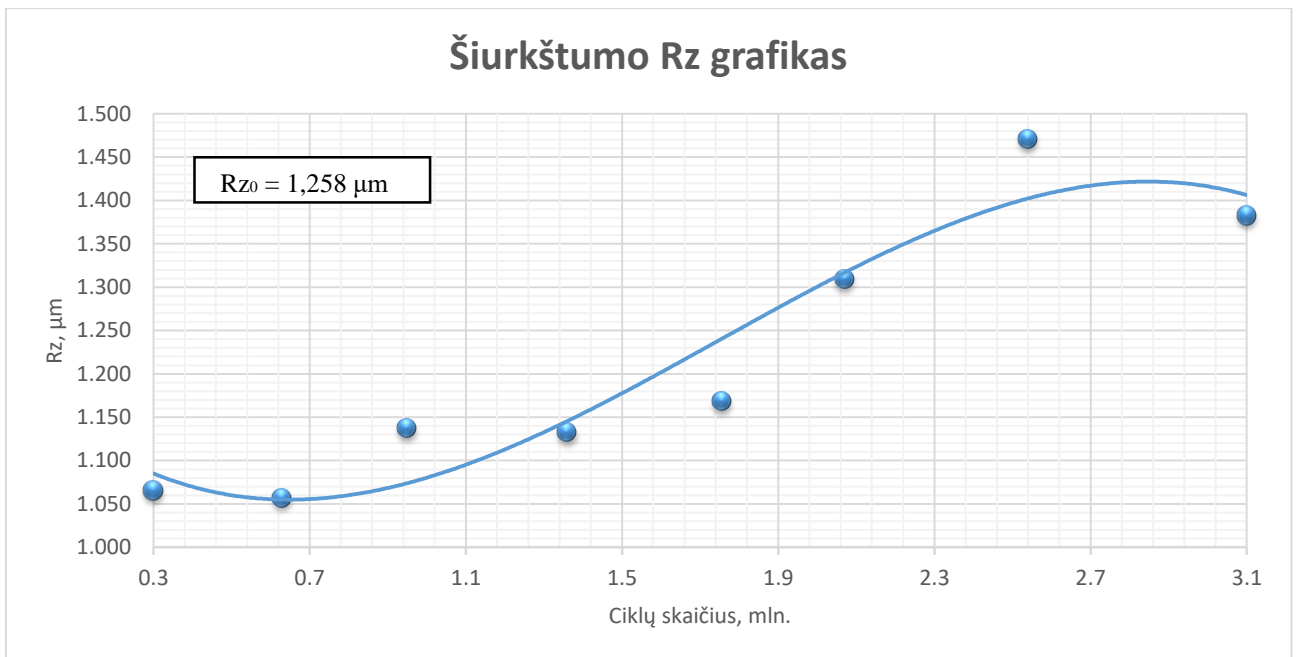
Bandinys Nr.2. Šio bandinio metu naudotas TIMKEN guolis ir PEMCO alyva 80w90. Išmatuotas pradinis guolio aukštis (H_0) 17,112 milimetro, Ra_0 šiurkštumas 0,129 mikrometro, Rz_0 šiurkštumas 1,258 mikrometro, $Rmax_0$ šiurkštumas 1,867 mikrometro.



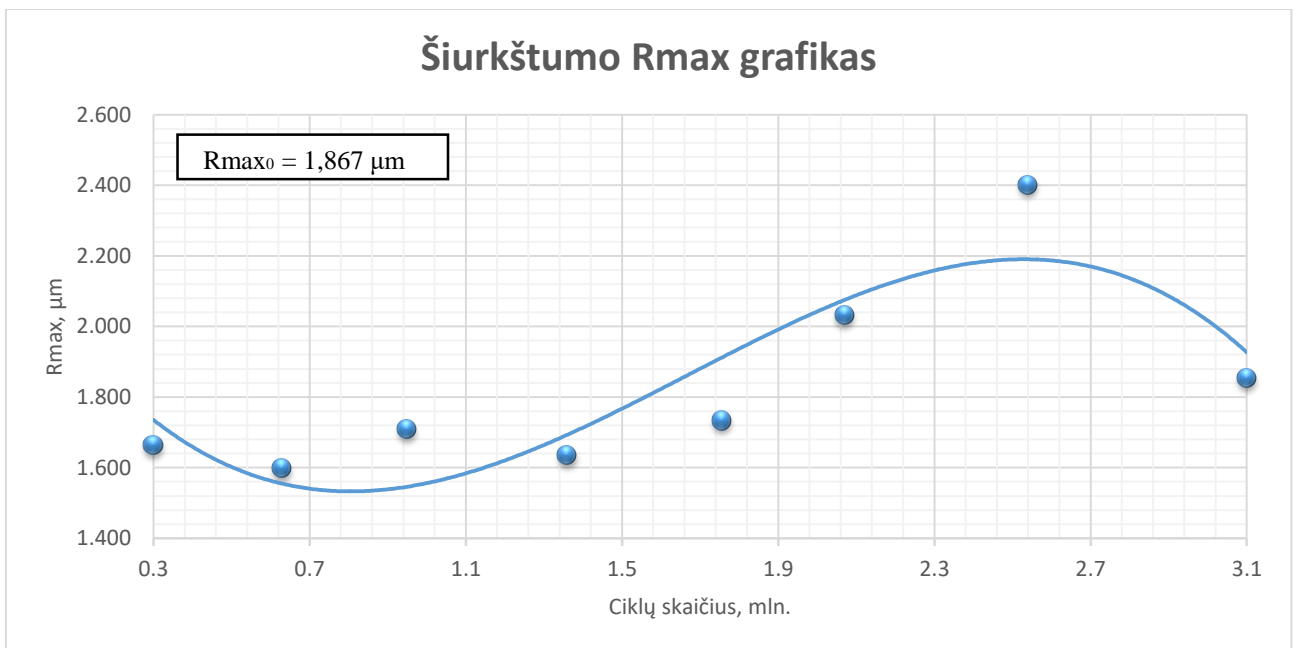
21 pav. „Timken“ Guolio žiedo aukščio kitimas, naudojant „Pemco 80w90“ alyvą



22 pav. „Timken“ guolio žiedo Ra šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 80w90“ alyvą



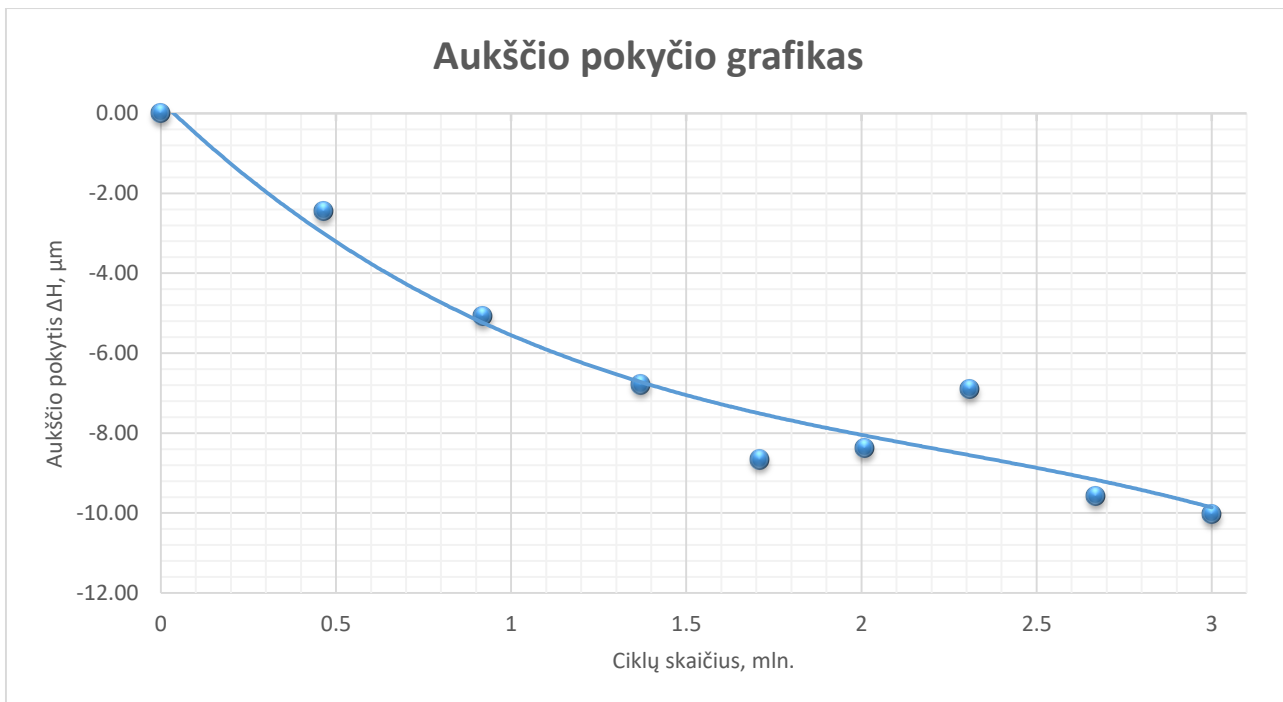
23 pav. „Timken“ guolio žiedo Rz šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 80w90“ alyvą



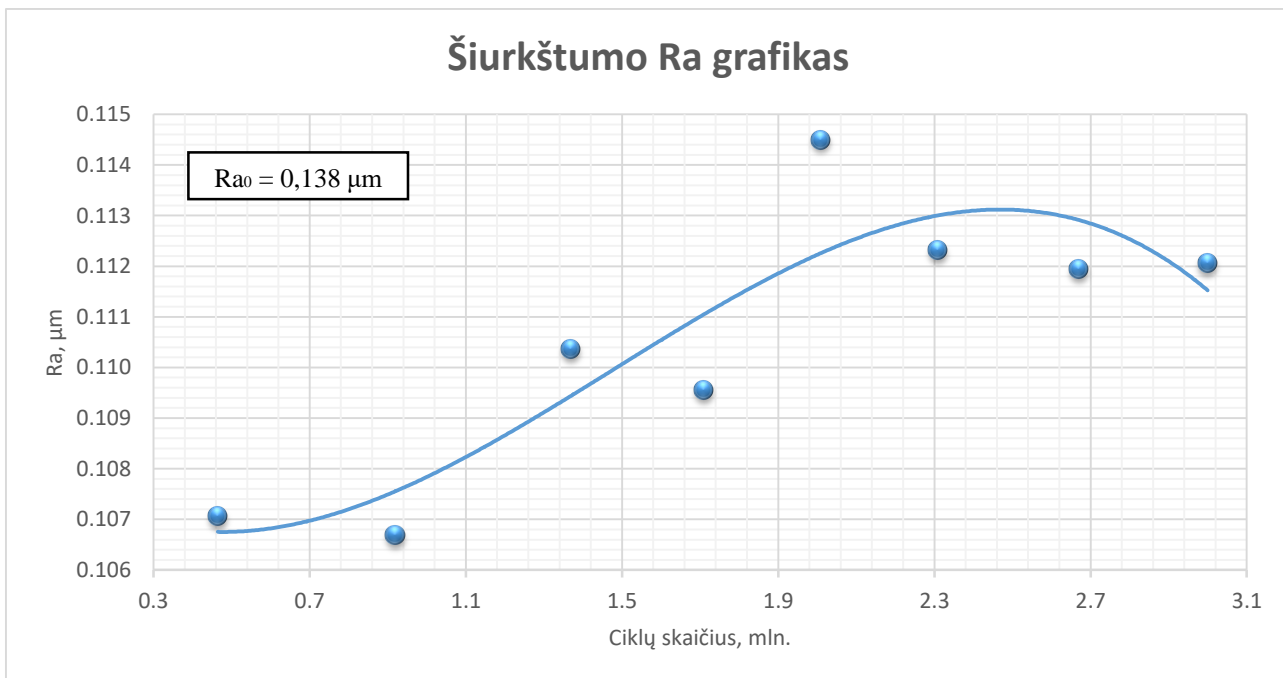
24 pav. „Timken“ guolio žiedo Rmax šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 80w90“ alyvą

Bandinio Nr. 2 aukščio kitimas (žr. 21 pav.) taip pat krenta tolygiai didėjant ciklų skaičiui. Lyginant su pirmu bandiniu aukštis pakito panašiai atlikus 3 mln. ciklų. Be to, matomas aukščio pokyčio grafike 4 taškas nėra kreivės trajektorijoje. Manoma matavimai šiame taške buvo atlikti nevisai tikslūs, bet šis netikslumas neturi įtakos galutiniams rezultatams. Šiurkštumo rodikliai (žr. 22, 23, 24 pav.) lyginant su pirmu bandymu taip pat kito labai panašiai, bet gauti šiek tiek daugiau chaotiškai išsidėstę kreivių taškai.

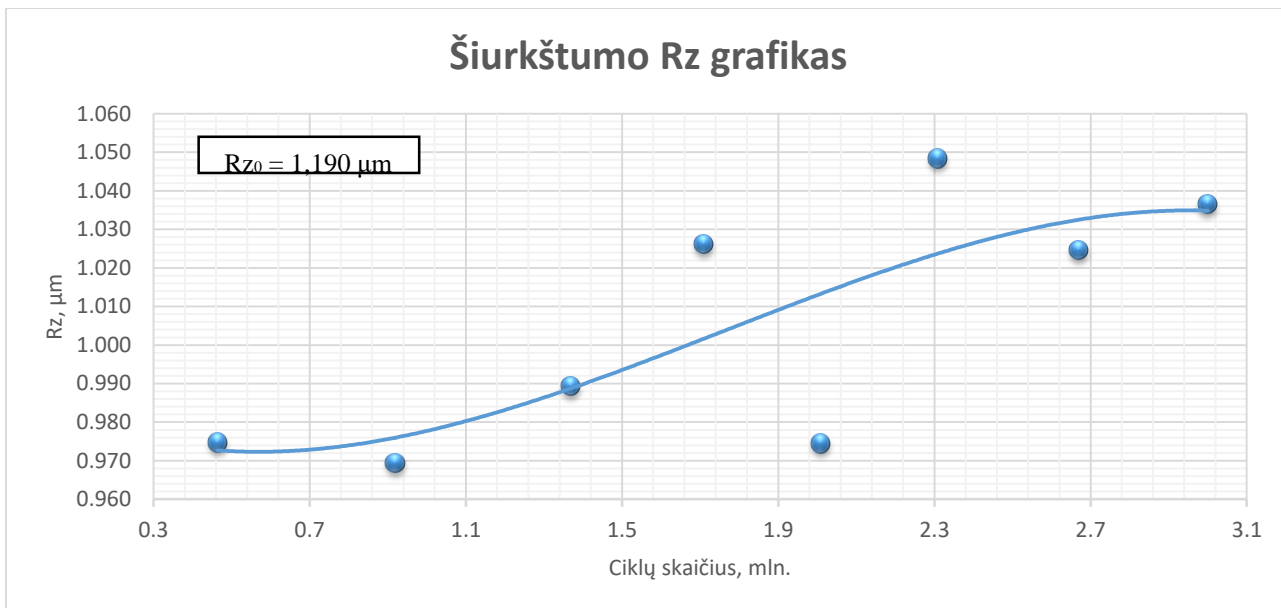
Bandinys Nr.3. Šio bandinio metu naudotas „TIMKEN“ guolis ir „Litol-24“ tirštas tepalas. Išmatuotas pradinis guolio aukštis (H_0) 17,096 milimetro, Ra_0 šiurkštumas 0,138 mikrometro, Rz_0 šiurkštumas 1,190 mikrometro, $Rmax_0$ šiurkštumas 1,495 mikrometro.



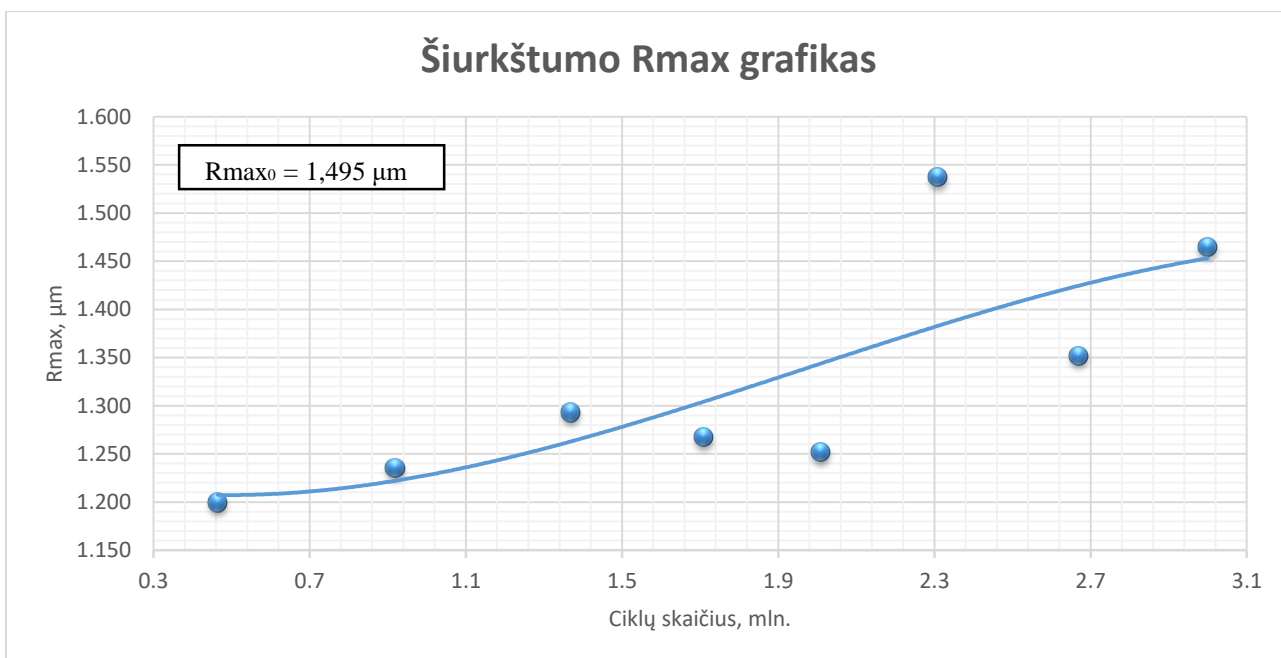
25 pav. „Timken“ Guolio žiedo aukščio kitimas, naudojant „Litol-24“ tepalą



26 pav. „Timken“ guolio žiedo Ra šiurkštumo kitimas, naudojant „Litol-24“ tepalą



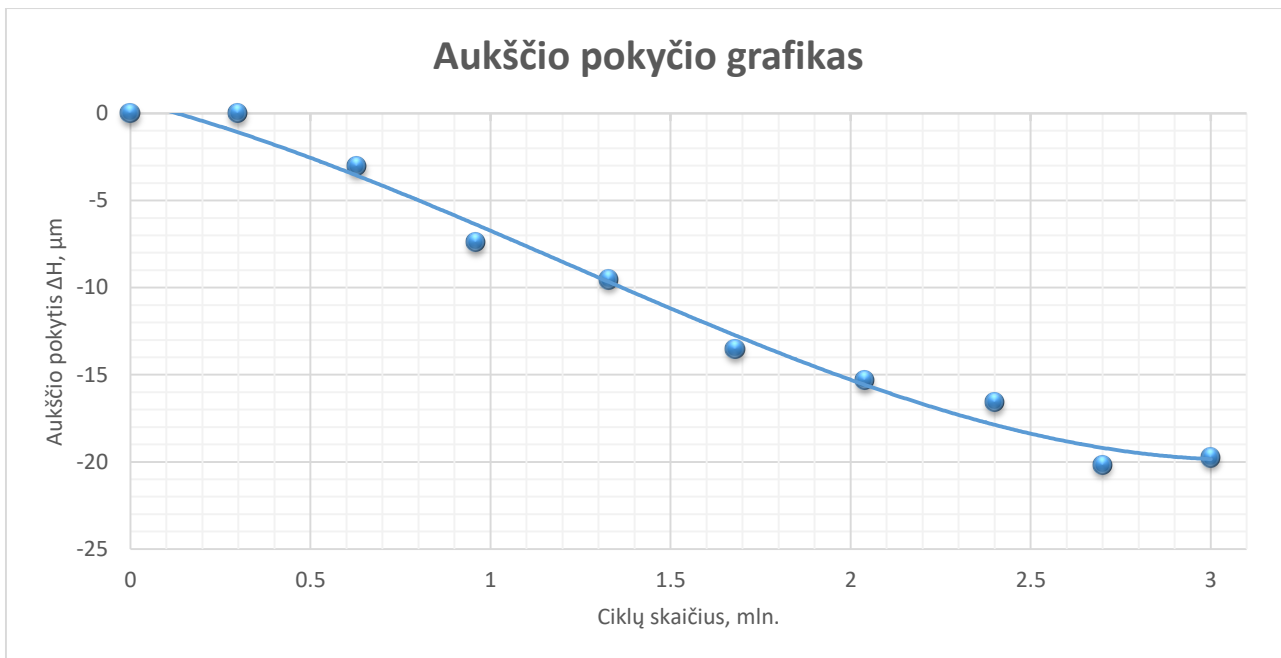
27 pav. „Timken“ guolio žiedo Rz šiurkštumo kitimas, naudojant „Litol-24“ tepalą



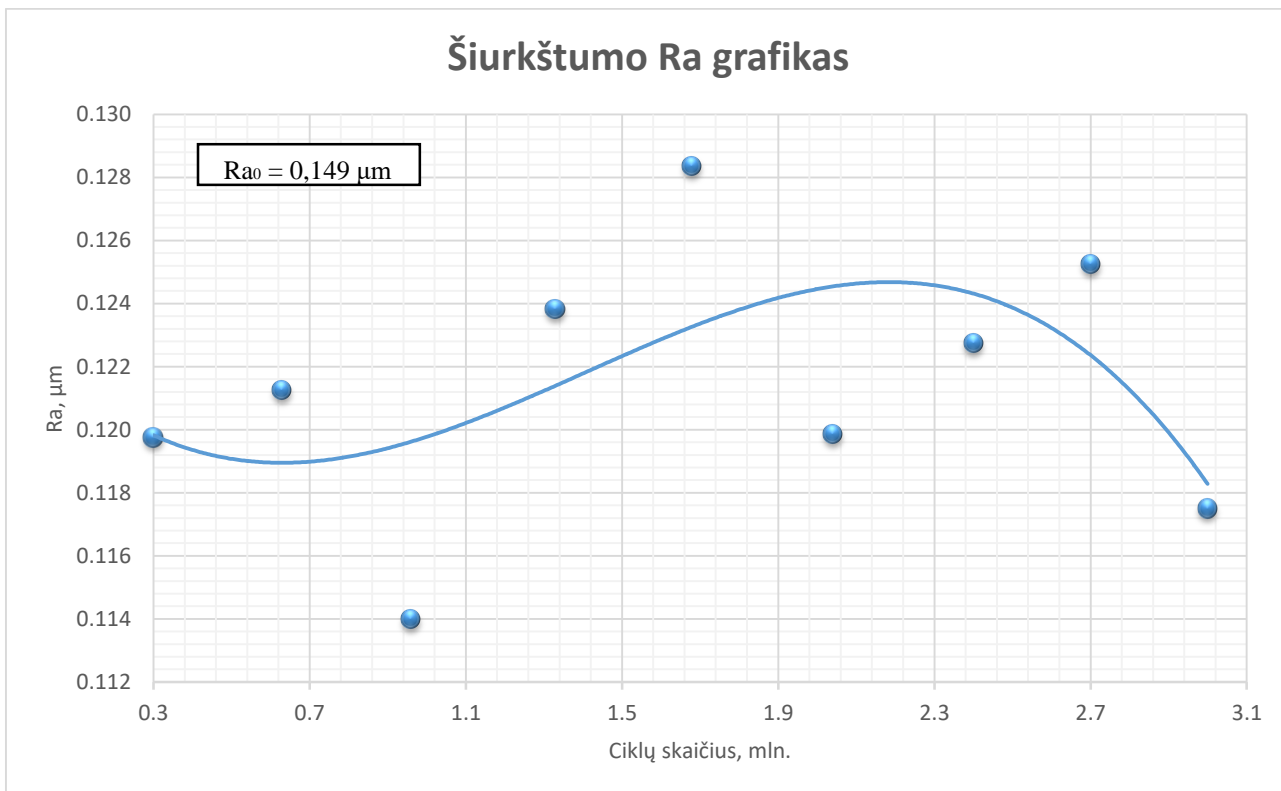
28 pav. „Timken“ guolio žiedo Rmax šiurkštumo kitimas, naudojant „Litol-24“ tepalą

Bandinio Nr. 3 aukščio pokytis (žr. 25 pav.) kol kas gautas mažiausias, bet panašus kaip ir prieš tai atliktais bandymais su kitomis alyvomis. Trečias nuo galo taškas gautas irgi netikslus, nes dirbant guoliui bendras aukštis negali didėti, nebent matavimo metu guolis buvo ne pilnai išplautas, paruoštas matavimui. Šiurkštumo rodikliai (žr. 26, 27, 28 pav.) lyginant su pirmais dviem bandymais kito panašiai, tik pokytis gautas gerokai mažesnis, o kai pokytis mažas, matavimo paklaidos didesnės. Todėl kreivių taškai gauti dar labiau chaotiški. Manoma tepant „Litol-24“ tepalu, šiurkštumo parametrai kinta lėčiau.

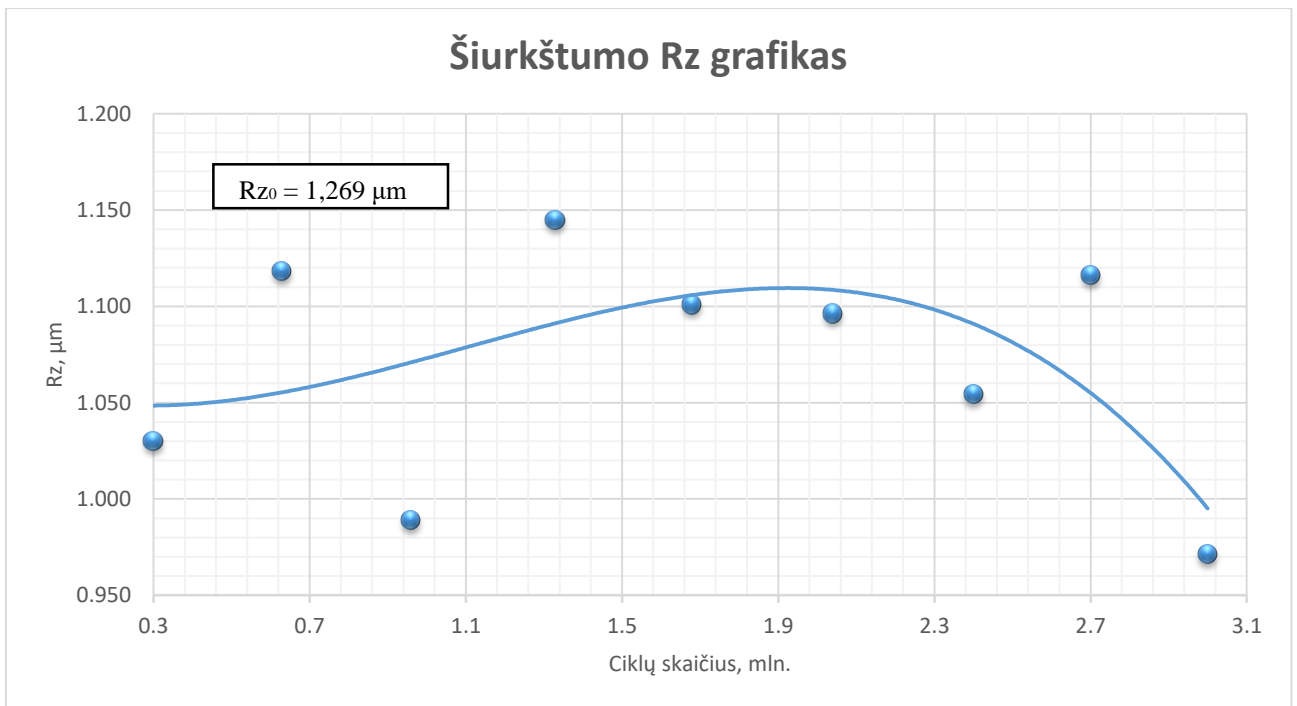
Bandinys Nr.4. Šio bandinio metu naudotas jau kito gamintojo guolis – „Koyo“ guolis ir tirštas „Litol-24“ tepalas. Išmatuotas pradinis guolio aukštis 17,092 (H_0) milimetro, Ra_0 šiurkštumas 0,149 mikrometro, Rz_0 šiurkštumas 1,269 mikrometro, $Rmax_0$ mikrometro 1,394 milimetro.



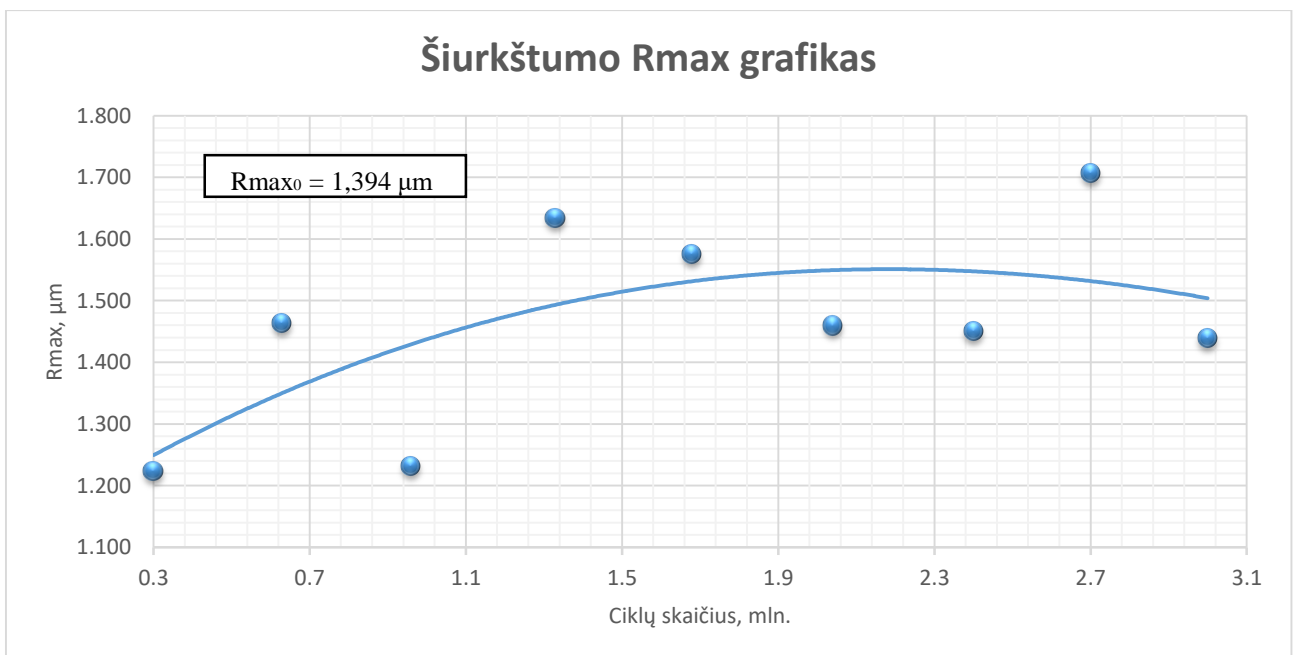
29 pav. „Koyo“ Guolio žiedo aukščio kitimas, naudojant „Litol-24“ tepalą



30 pav. „Koyo“ guolio žiedo Ra šiurkštumo kitimas, naudojant „Litol-24“ tepalą



31 pav. „Koyo“ guolio žiedo Rz šiurkštumo kitimas, naudojant „Litol-24“ tepalą



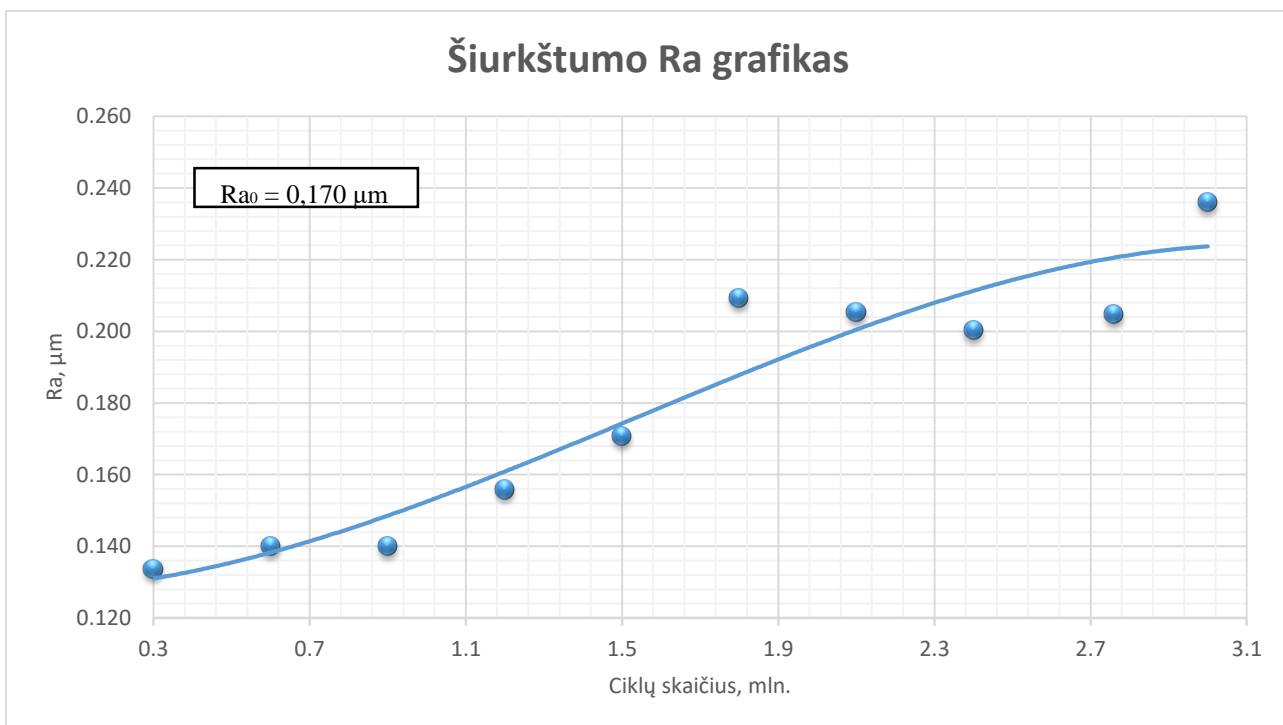
32 pav. „Koyo“ guolio žiedo Rmax šiurkštumo kitimas, naudojant „Litol-24“ tepalą

Bandinio Nr. 4 guolio „Koyo“ aukščio pokytis (žr. 29 pav.) didėja dvigubai greičiau lyginant su pirmais trimis bandymais - „Timken“ guoliais. Antras aukščio pokyčio grafike taškas, gautas nevisai tikslus. Šiurkštumo rodiklių grafikai (žr. 30, 31, 32 pav.) lyginant su Nr.3 bandinių yra artimi, t.y. pokyčiai gauti nedideli ir taškai išsidėstę chaotiškai. Taip pat pastebėta kad nuo pirmų darbo valandų guolio temperatūra gerokai didesnė lyginant su kitais bandymais.

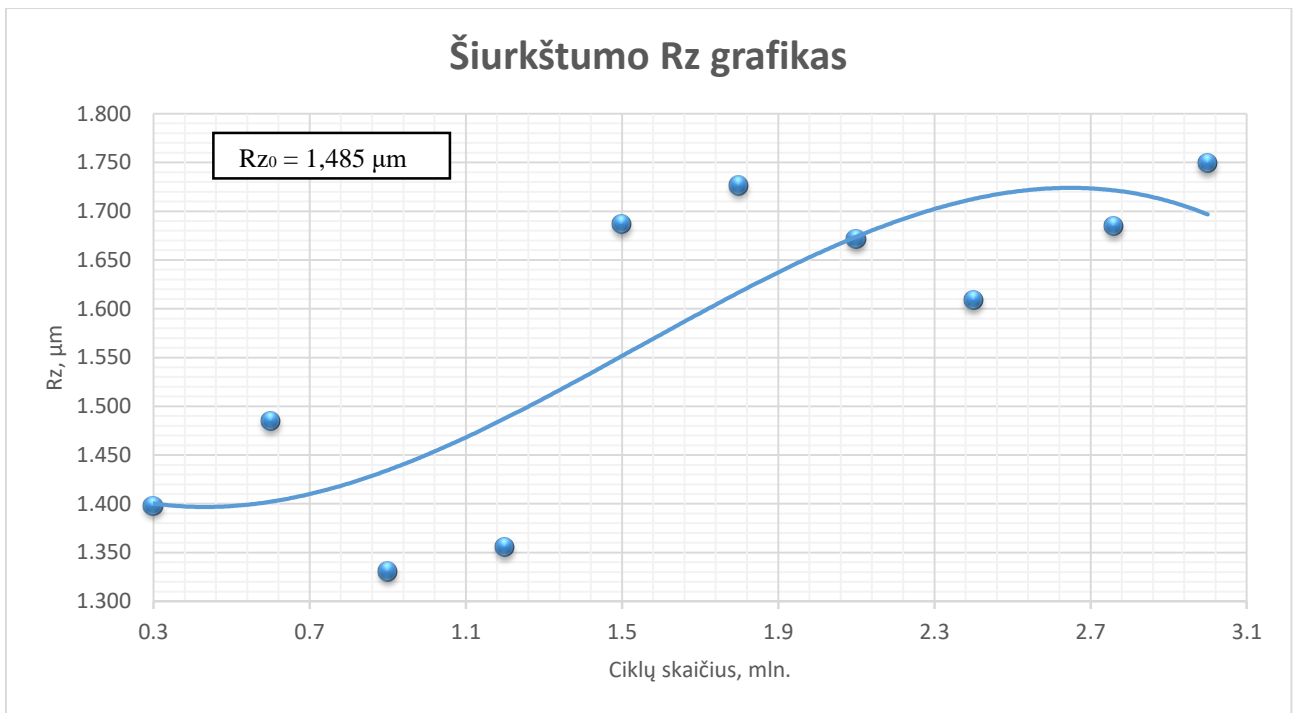
Bandinys Nr.5. Šio bandinio metu naudotas „Koyo“ gamintojo guolis ir transmisinė alyva „Pemco 80w90“. Išmatuotas pradinis guolio aukštis 17,091 (H_0) milimetro, Ra_0 šiurkštumas 0,170 mikrometro, Rz_0 šiurkštumas 1,485 mikrometro, $Rmax_0$ šiurkštumas 2,017 mikrometro.



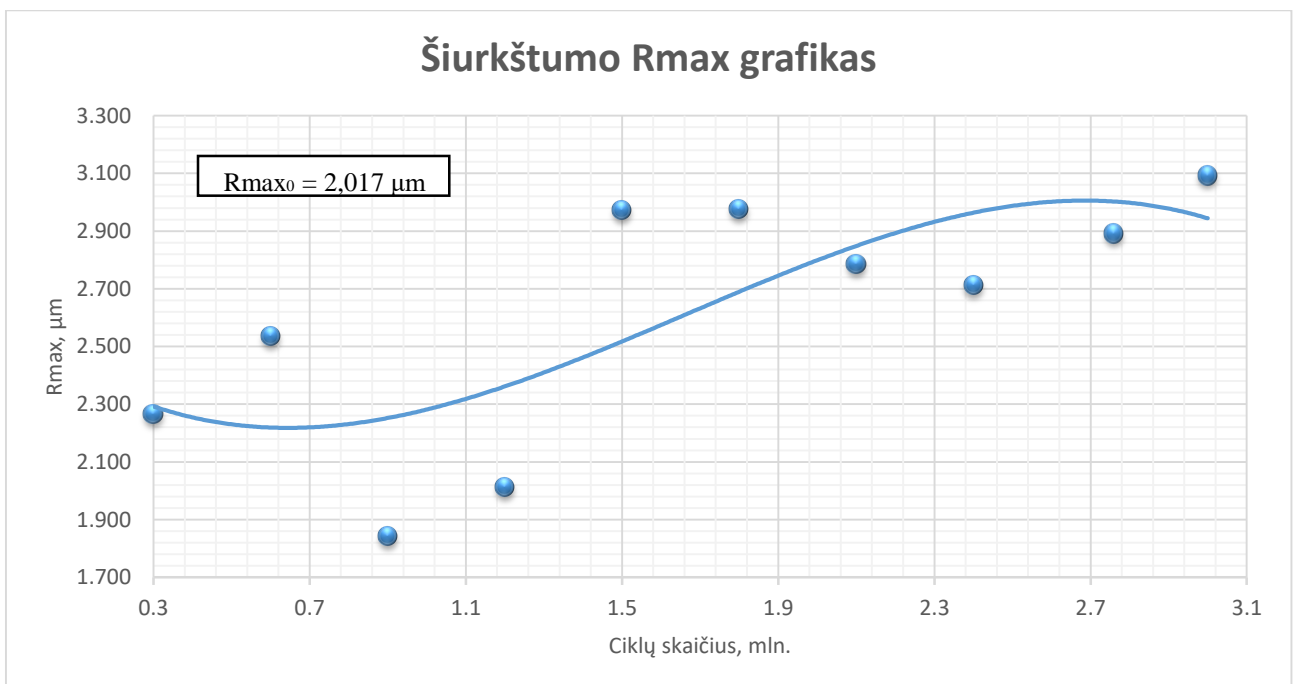
33 pav. „Koyo“ Guolio žiedo aukščio kitimas, naudojant „Pemco 80w90“ alyvą



34 pav. „Koyo“ guolio žiedo Ra šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 80w90“ alyvą



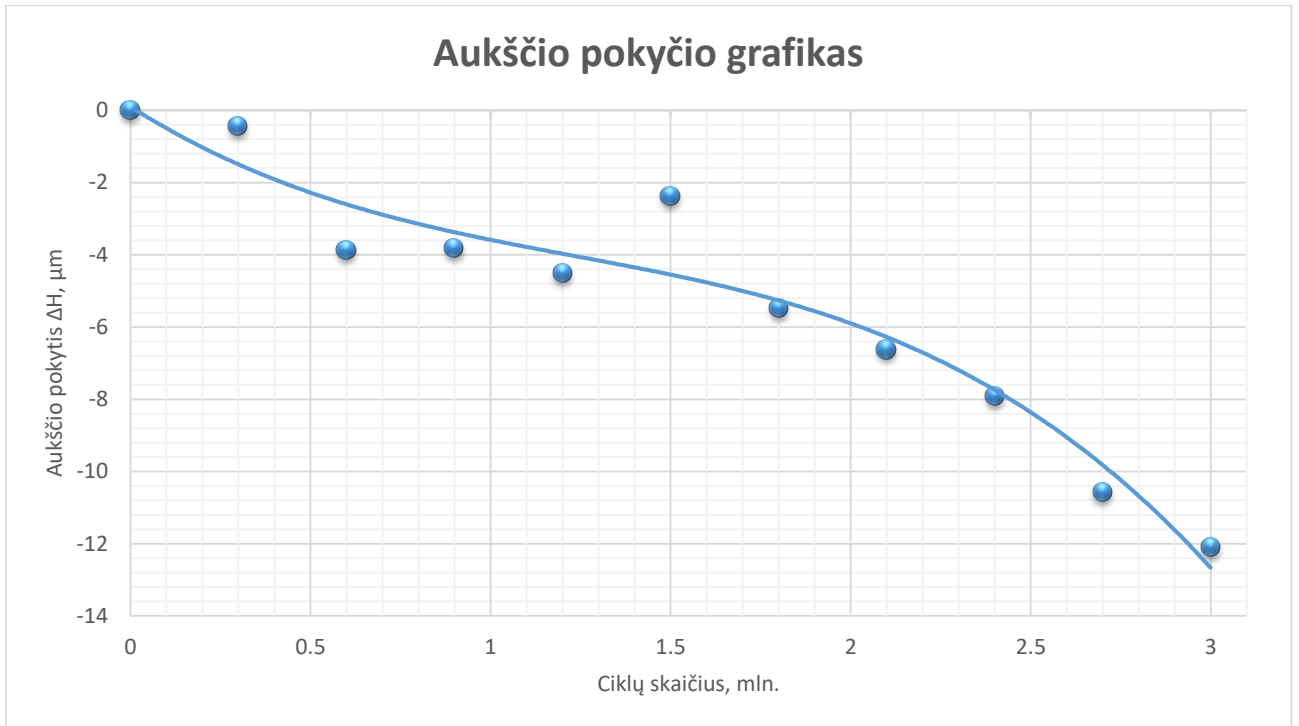
35 pav. „Koyo“ guolio žiedo Rz šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 80w90“ alyvą



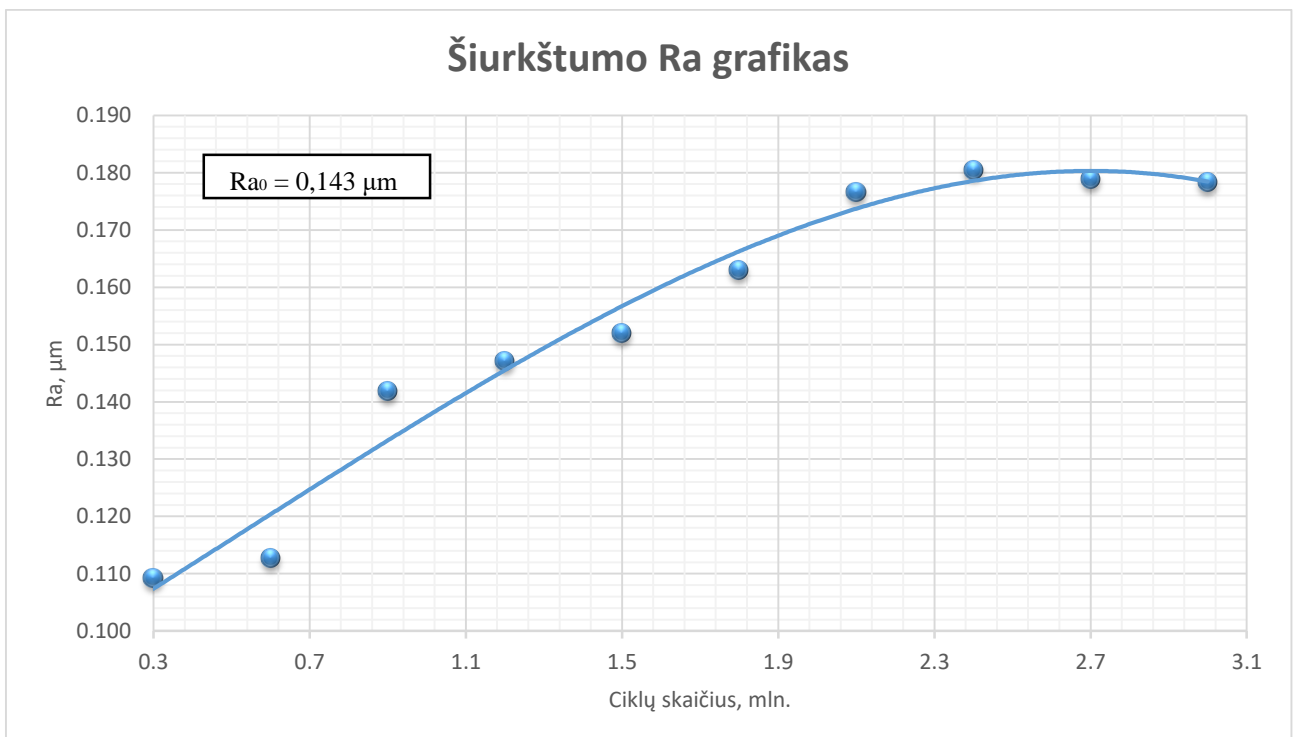
36 pav. „Koyo“ guolio žiedo Rmax šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 80w90“ alyvą

Bandinio Nr. 5 guolio „Koyo“ tepant transmisine alyvą „Pemco 80w90“ aukščio pokytis (žr. 33 pav.) kinta labai panašiai kaip bandinio Nr. 4, kurio metu buvo naudota universalus tepalas „Litol-24“, o pokytis gautas didžiausias iš visų bandymų. Šiurkštumo parametrų grafikai (žr. 34, 35, 36 pav.) gauti mažiau chaotiški (ypač Ra šiurkštumo grafikais) lyginant su Nr. 4 bandiniu.

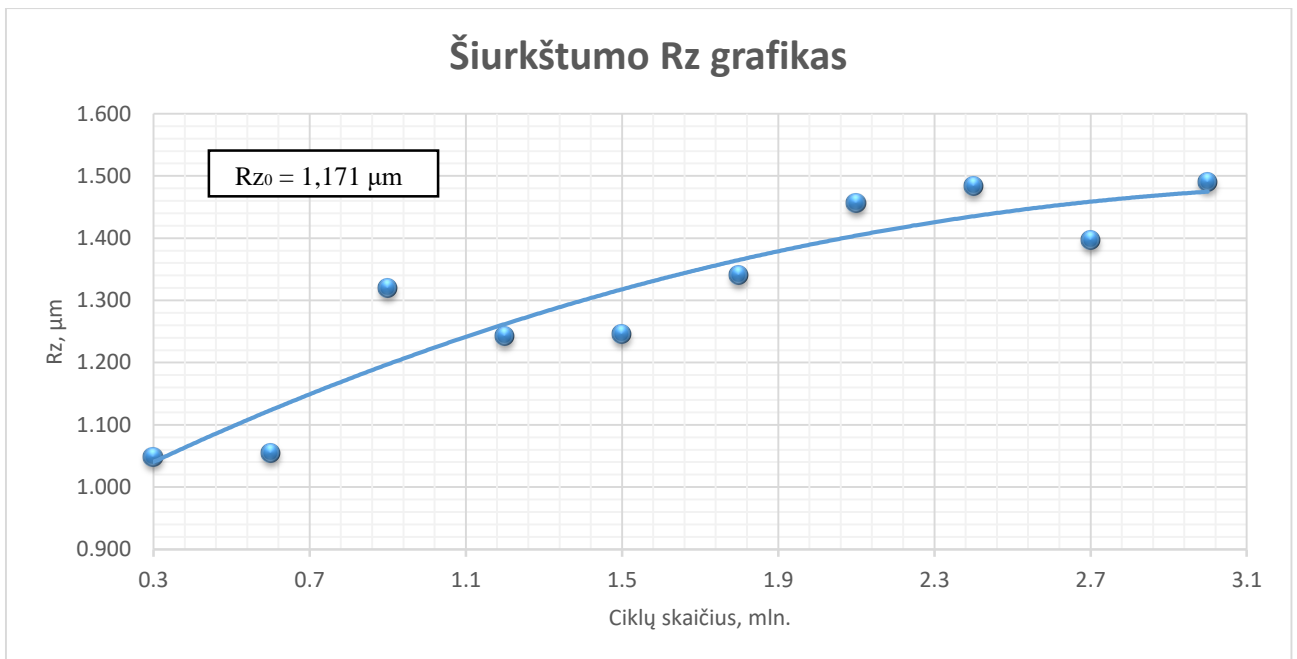
Bandinys Nr.6. Šio bandinio metu naudotas „Koyo“ gamintojo guolis ir variklinė alyva „Pemco 10w40“. Išmatuotas pradinis guolio aukštis 17,091 (H_0) milimetro, Ra_0 šiurkštumas 0,143 mikrometro, Rz_0 šiurkštumas 1,171 mikrometro, $Rmax_0$ šiurkštumas 1,405 mikrometro.



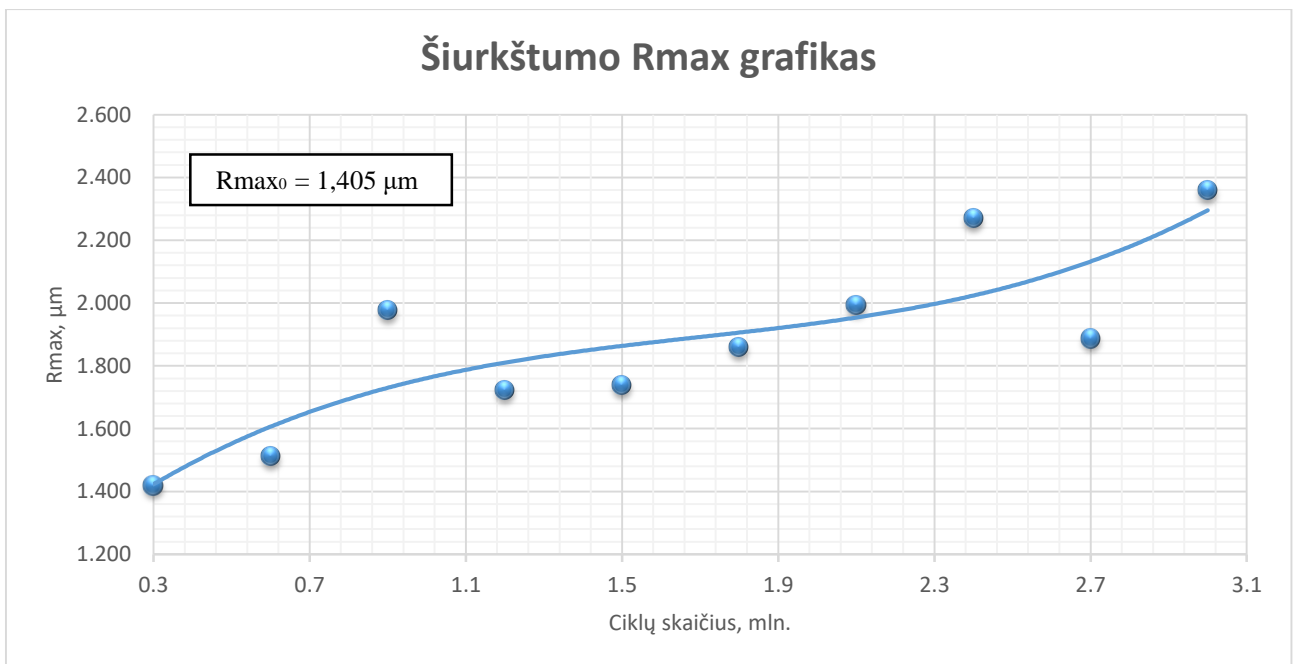
37 pav. „Koyo“ Guolio žiedo aukščio kitimas, naudojant „Pemco 10w40“ alyvą



38 pav. „Koyo“ guolio žiedo Ra šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 10w40“ alyvą



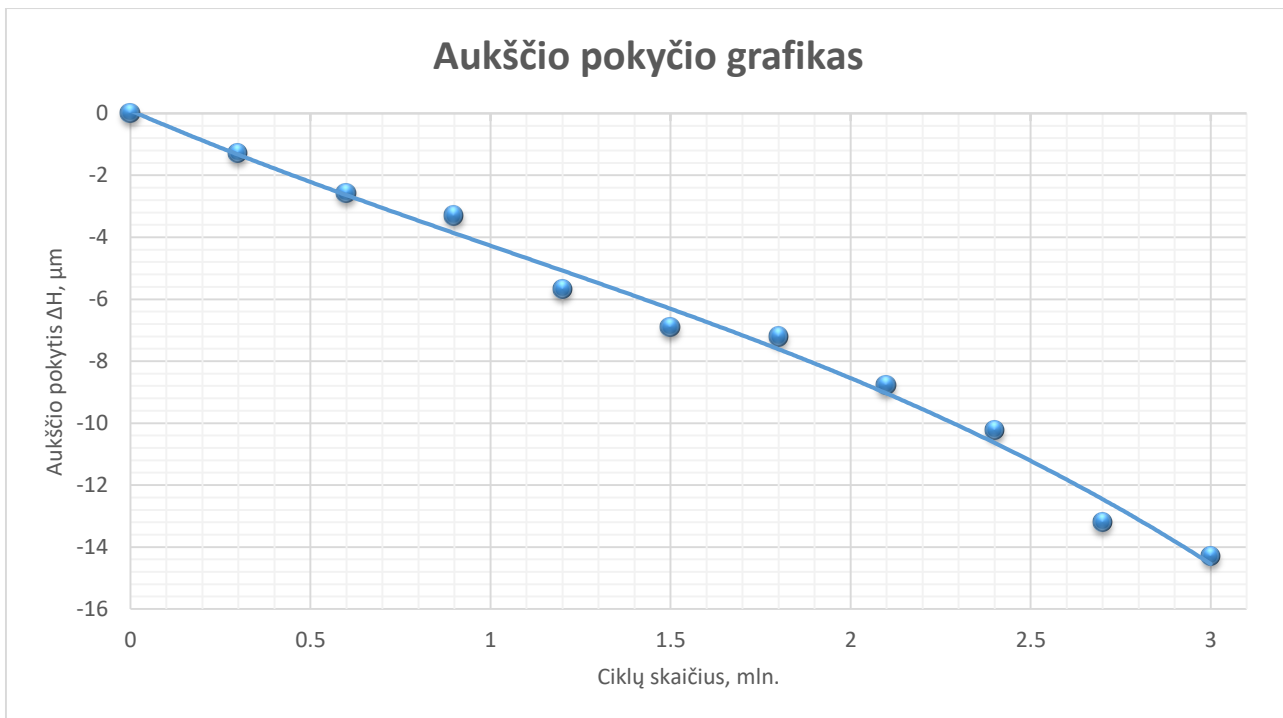
39 pav. „Koyo“ guolio žiedo Rz šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 10w40“ alyvą



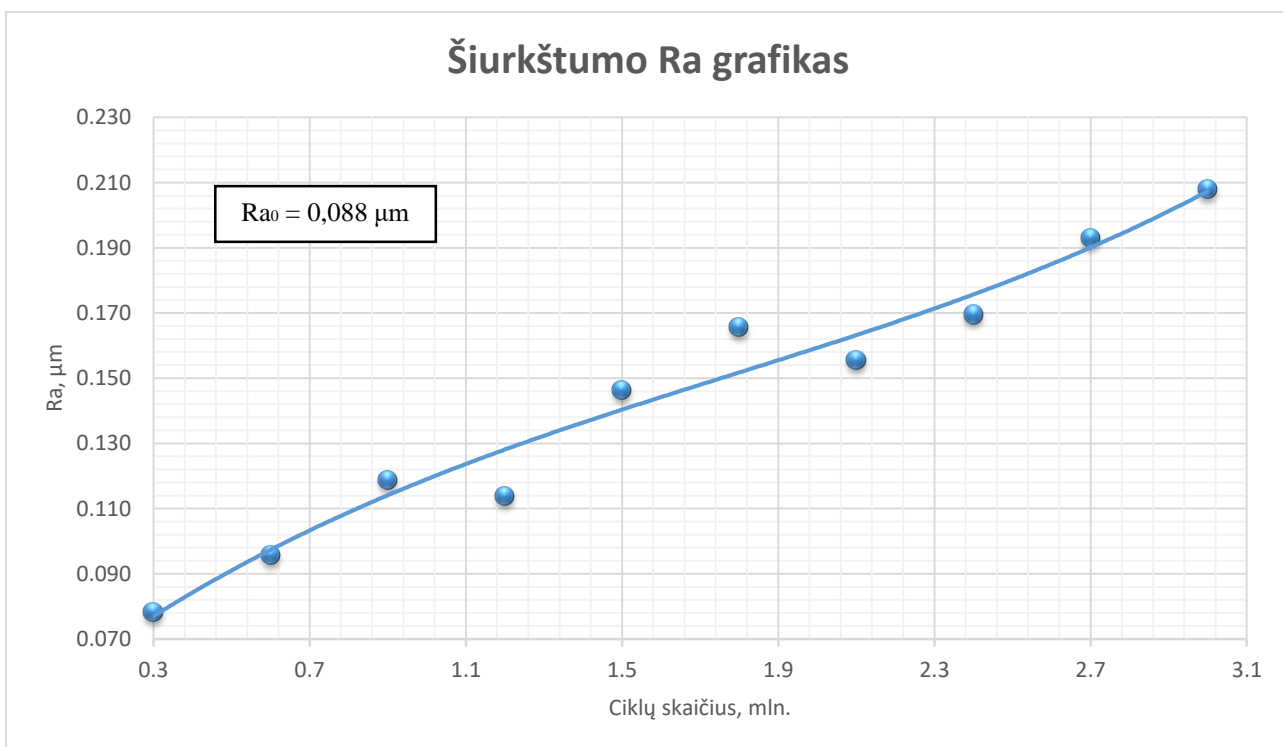
40 pav. „Koyo“ guolio žiedo Rmax šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 10w40“ alyvą

Bandinio Nr. 6 guolio „Koyo“, tepant varikline alyva „Pemco 10w40“ aukščio pokytis (žr. 37 pav.) gautas mažas ir labai artimas bandiniui Nr.1, kuriuo metu buvo naudotas „Timken“ guolis ir ta pati variklinė alyva. Šiurkštumo parametrų kreivių taškai (žr. 38, 39, 40 pav.) gauti nechaotiški, lyginant to pačio guolio gamintojo kitais bandymais ir net šiek tiek mažesni pokyčiai nei bandinio Nr. 5. Taigi manoma, kad šis guolis paruoštas eksploatacijai geriau nei kiti du „Koyo“ guoliai tirti šiame tyrime.

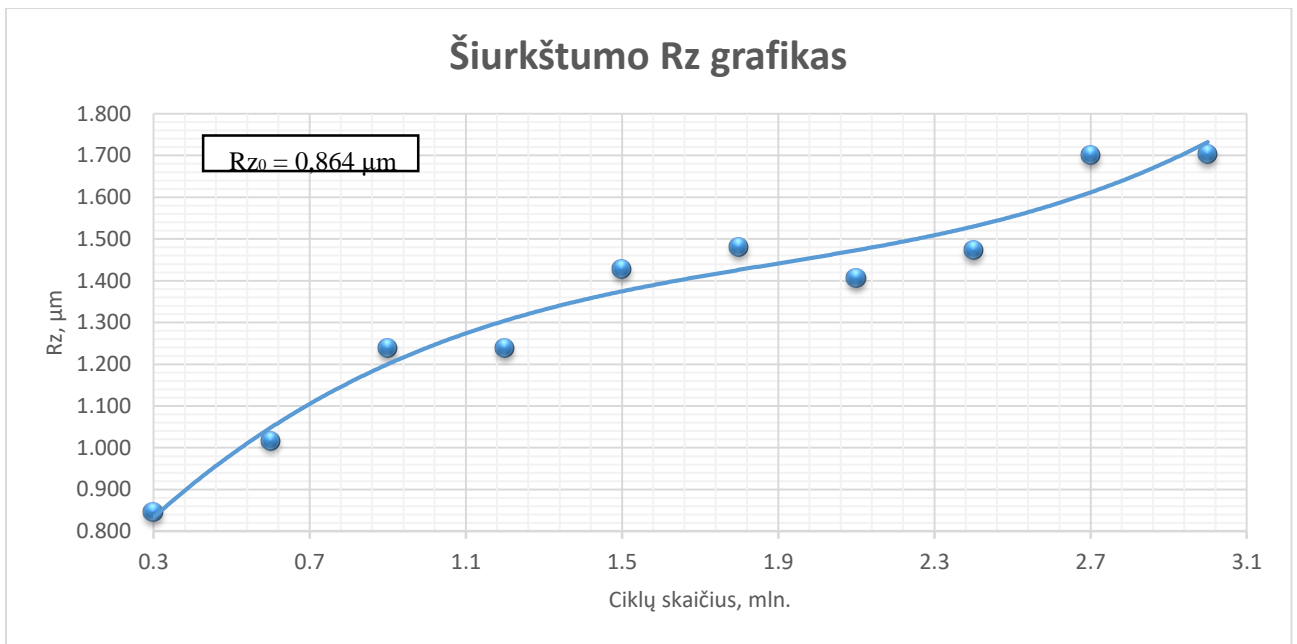
Bandinys Nr.7. Šio bandinio metu naudotas brangiausias „SKF“ gamintojo guolis ir variklinė alyva „Pemco 10w40“. Išmatuotas pradinis guolio aukštis 17,062 (H_0) milimetro, Ra_0 šiurkštumas 0,088 mikrometro, Rz_0 šiurkštumas 0,864 mikrometro, $Rmax_0$ šiurkštumas 1,110 mikrometro.



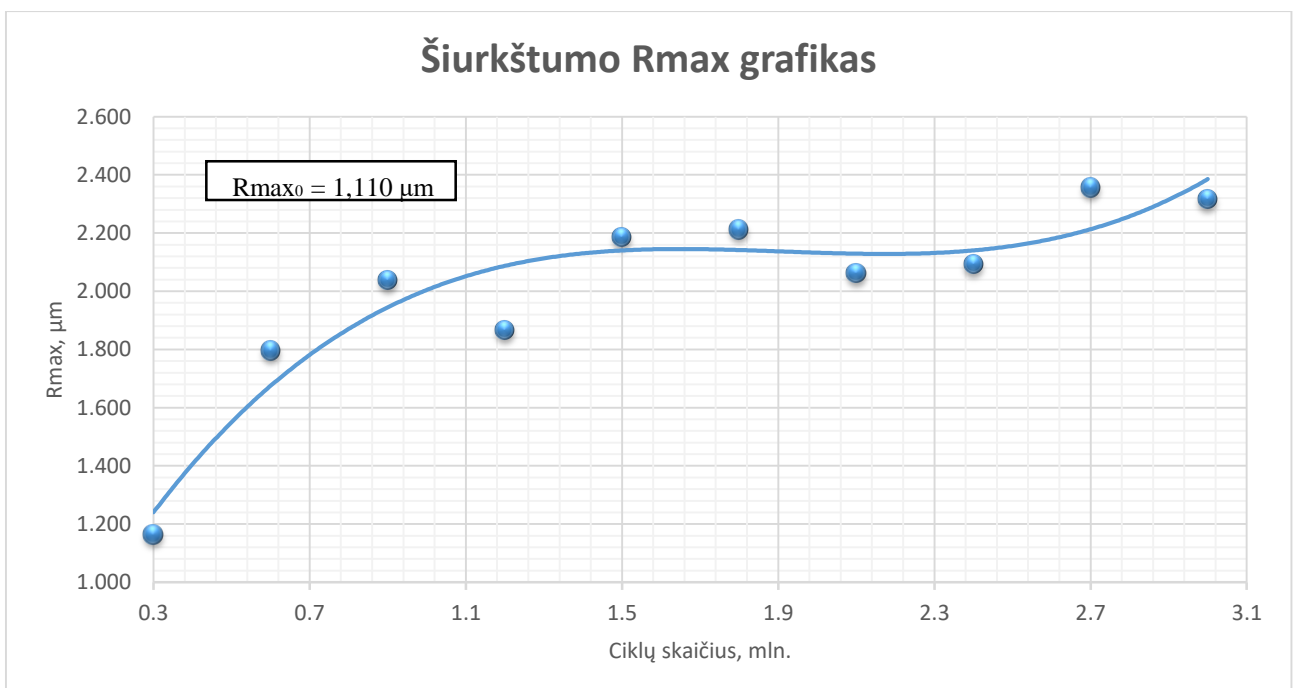
41 pav. „SKF“ Guolio žiedo aukščio kitimas, naudojant „Pemco 10w40“ alyvą



42 pav. „SKF“ guolio žiedo Ra šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 10w40“ alyvą



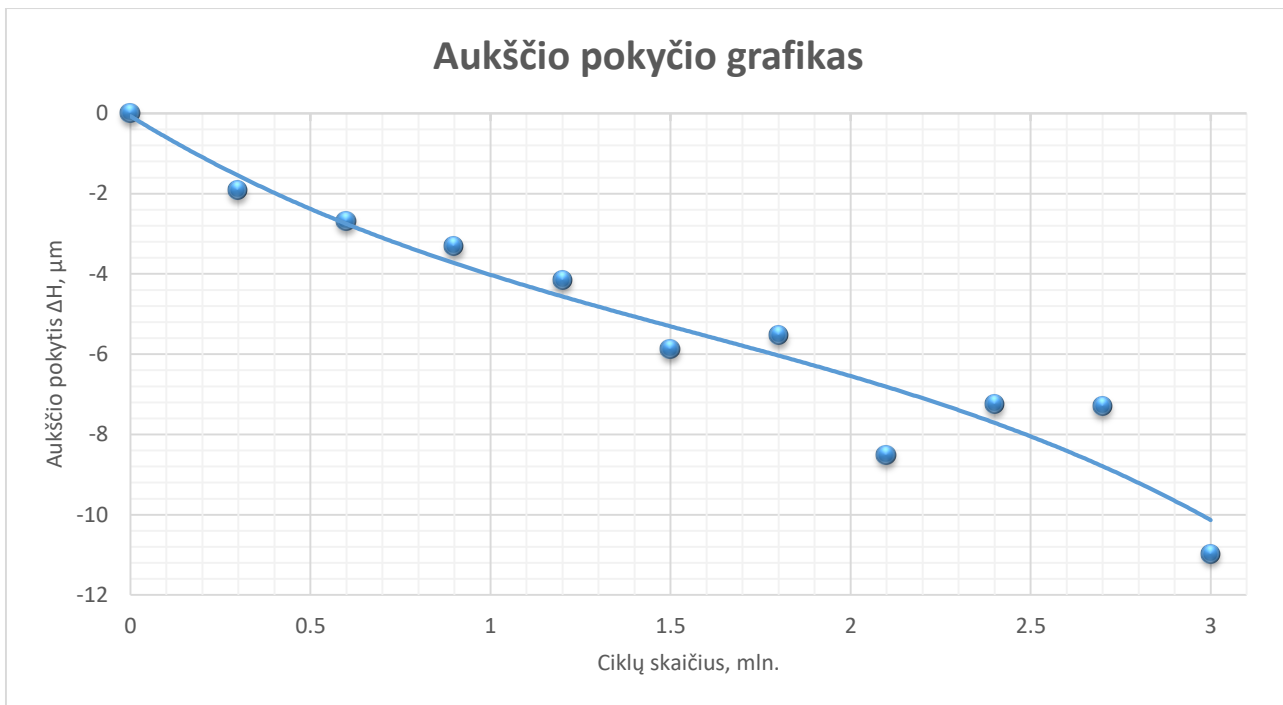
43 pav. „SKF“ guolio žiedo Rz šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 10w40“ alyvą



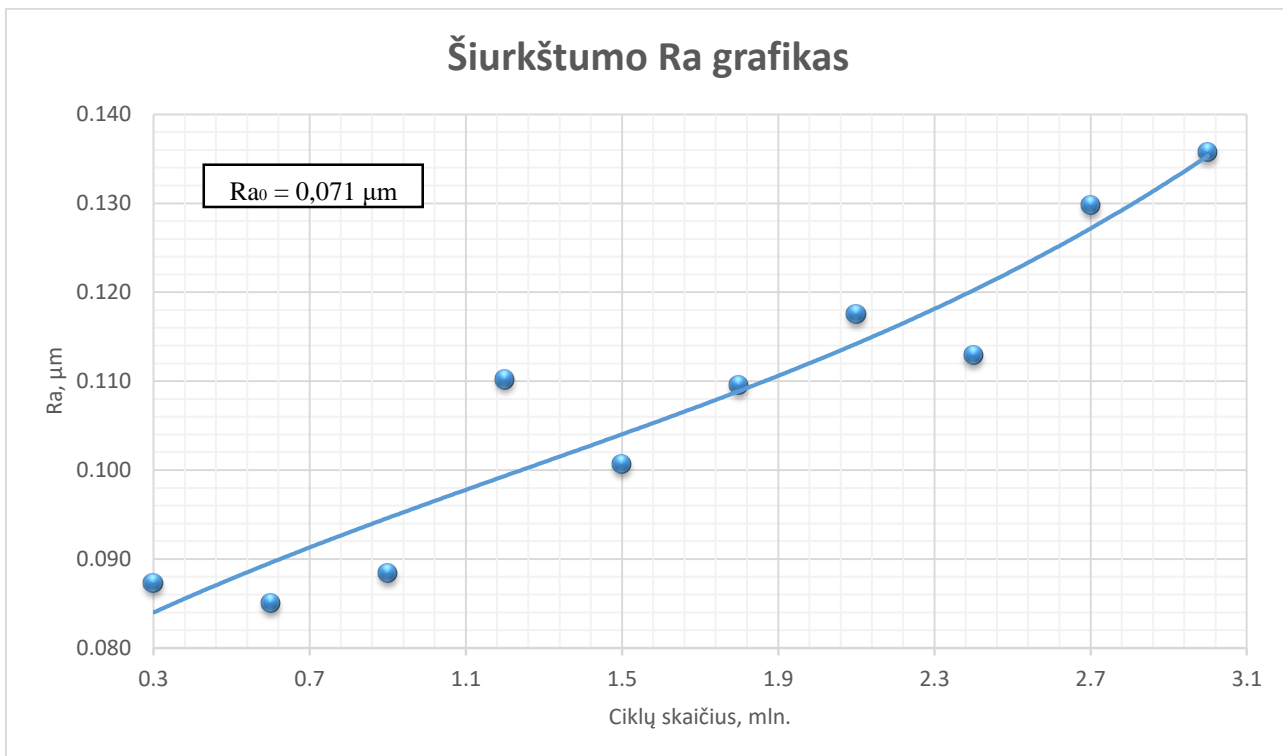
44 pav. „SKF“ guolio žiedo Rmax šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 10w40“ alyvą

Bandinio Nr. 7 guolio „SKF“ tepant varikline alyva „Pemco 10w40“ aukščio pokytis (žr. 41 pav.) gautas panašus kaip ir kitų guolių gamintojų tepant ta pačia alyva, bet vienu ar keliais mikrometrais didesnis. Šiurkštumo parametrų grafikai (žr. 42, 43, 44 pav.) nuo pat pradžių kinta praktiškai tiesiškai ir tolygiai, šiurkštumo sumažėjimo eksperimento metu nebuvo. Šiurkštumo parametrų pokyčiai vidutiniški, t.y. panašūs į bandinio Nr.1, bet šiek tiek prastesni nei bandinio Nr. 6, tepant ta pačia „Pemco 10w40“ alyva.

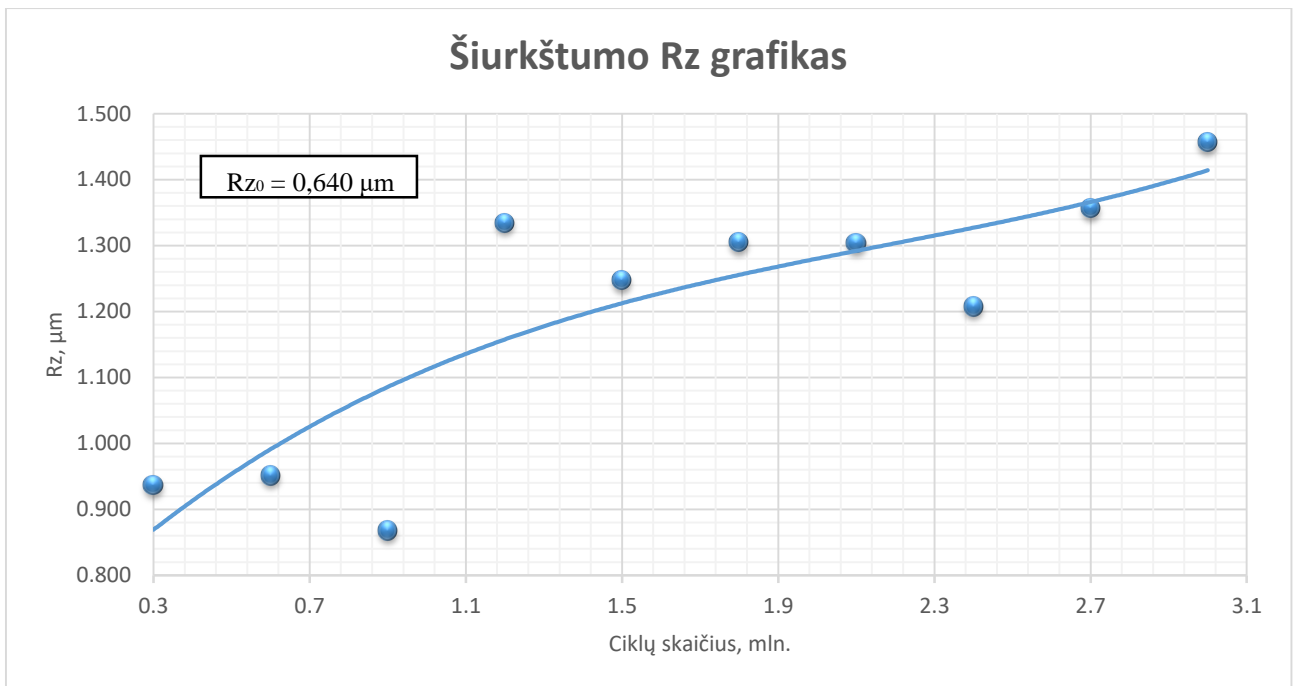
Bandinys Nr.8. Šio bandinio metu naudotas „SKF“ gamintojo guolis ir transmisinė alyva „Pemco 80w90“. Išmatuotas pradinis guolio aukštis 17,055 (H_0) milimetro, Ra_0 šiurkštumas 0,071 mikrometro, Rz_0 šiurkštumas 0,640 mikrometro, $Rmax_0$ šiurkštumas 0,761 mikrometro.



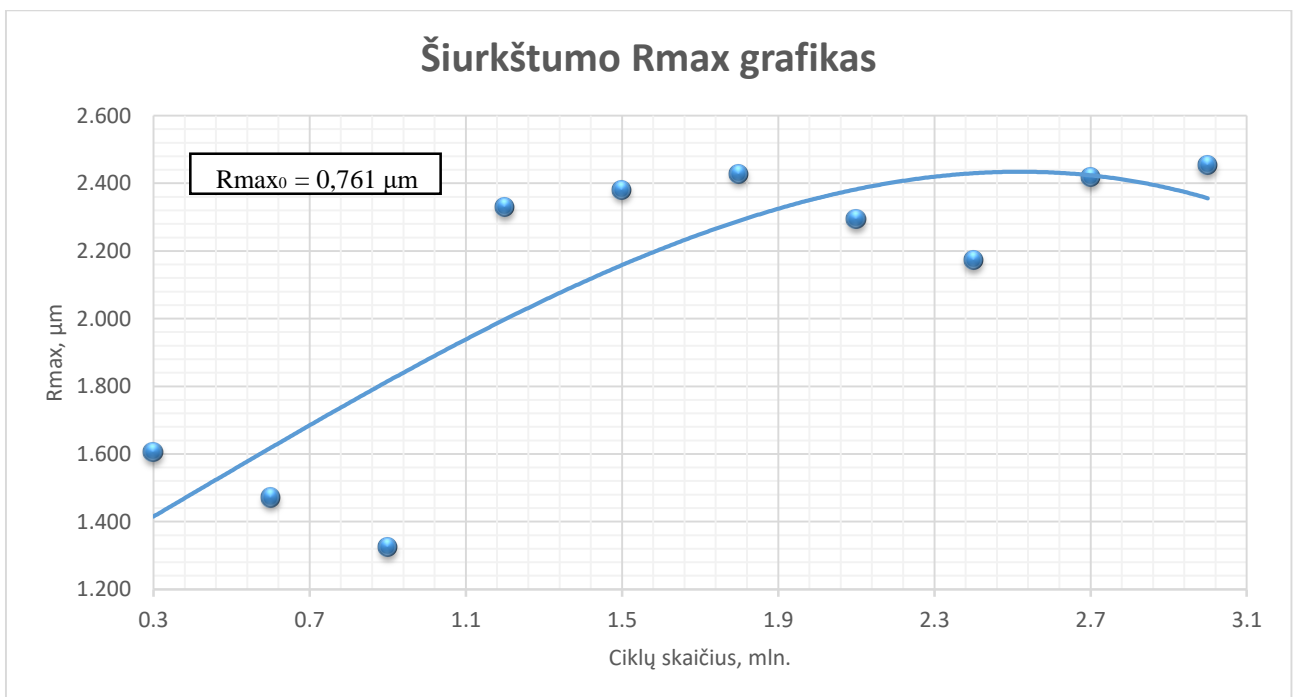
45 pav. „SKF“ Guolio žiedo aukščio kitimas, naudojant „Pemco 80w90“ alyvą



46 pav. „SKF“ guolio žiedo Ra šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 80w90“ alyvą



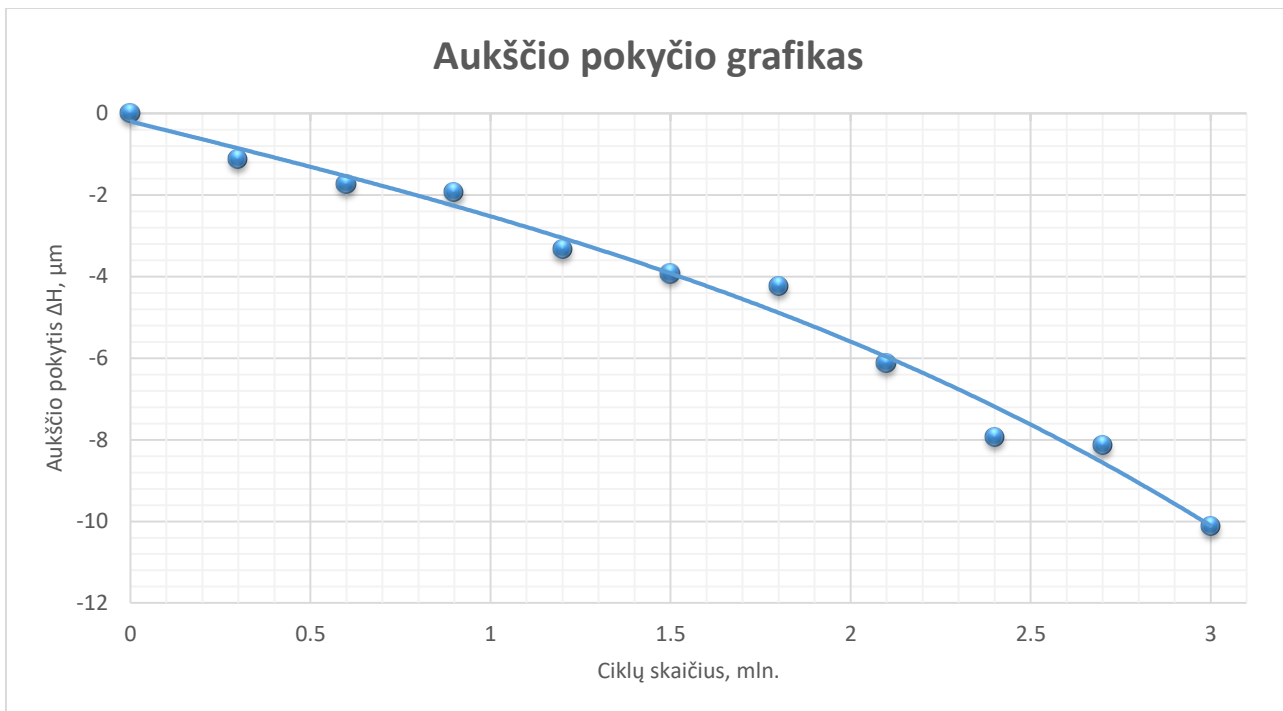
47 pav. „SKF“ guolio žiedo Rz šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 80w90“ alyvą



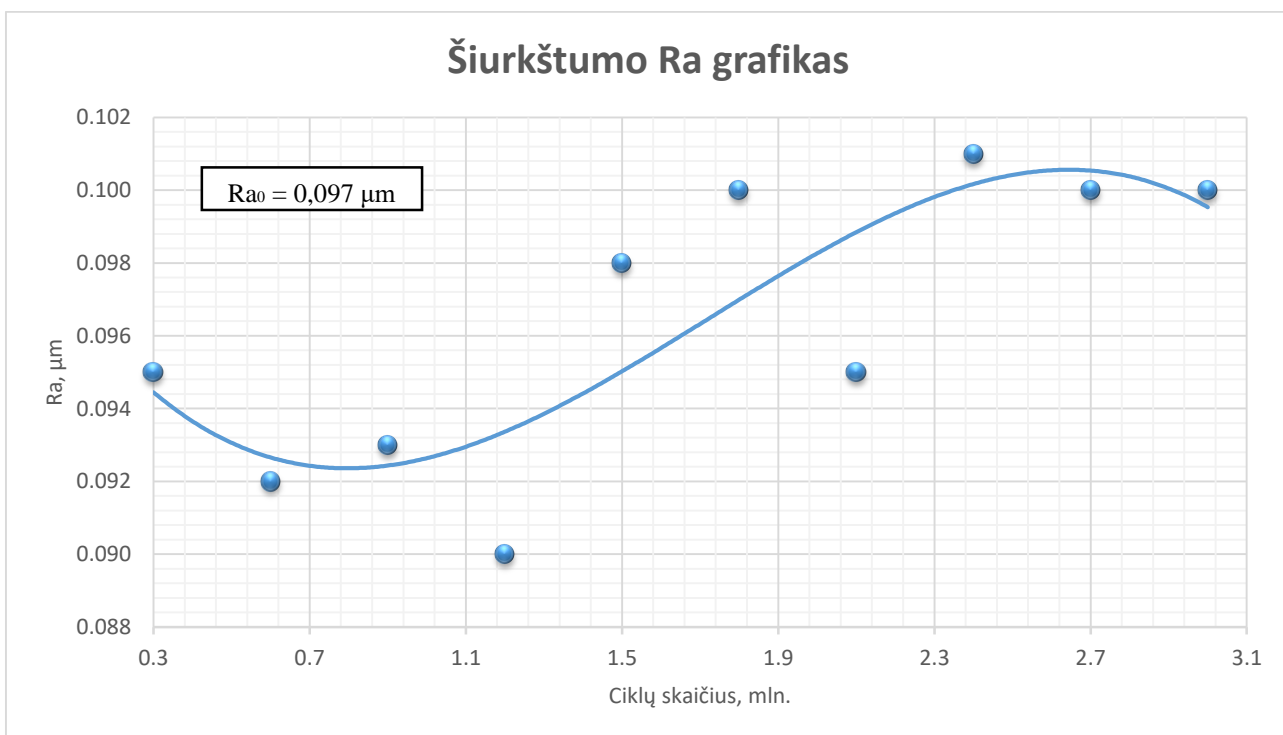
48 pav. „SKF“ guolio žiedo Rmax šiurkštumo kitimas, naudojant „Pemco 80w90“ alyvą

Bandinio Nr. 8 guolio „SKF“ tepant transimisine alyva „Pemco 80w90“ aukščio pokytis (žr. 45 pav.) gautas panašus kaip ir „Timken“ guolio (2 mikrometrai skirtumas), tepant tokia pat transmisine alyva. Šiurkštumo parametrų kreivės (žr. 46, 47, 48 pav.) gautos artimos tiesėms. Taip pat matoma, kad nuo 1 taško iki 3 taško šiurkštumo parametrai (ypač Rz ir Rmax grafikuose) mažėjo, bet ties penktu tašku įvyko šuolis, šiurkštumas staiga pakilo, o vėliau kito nebežymiai.

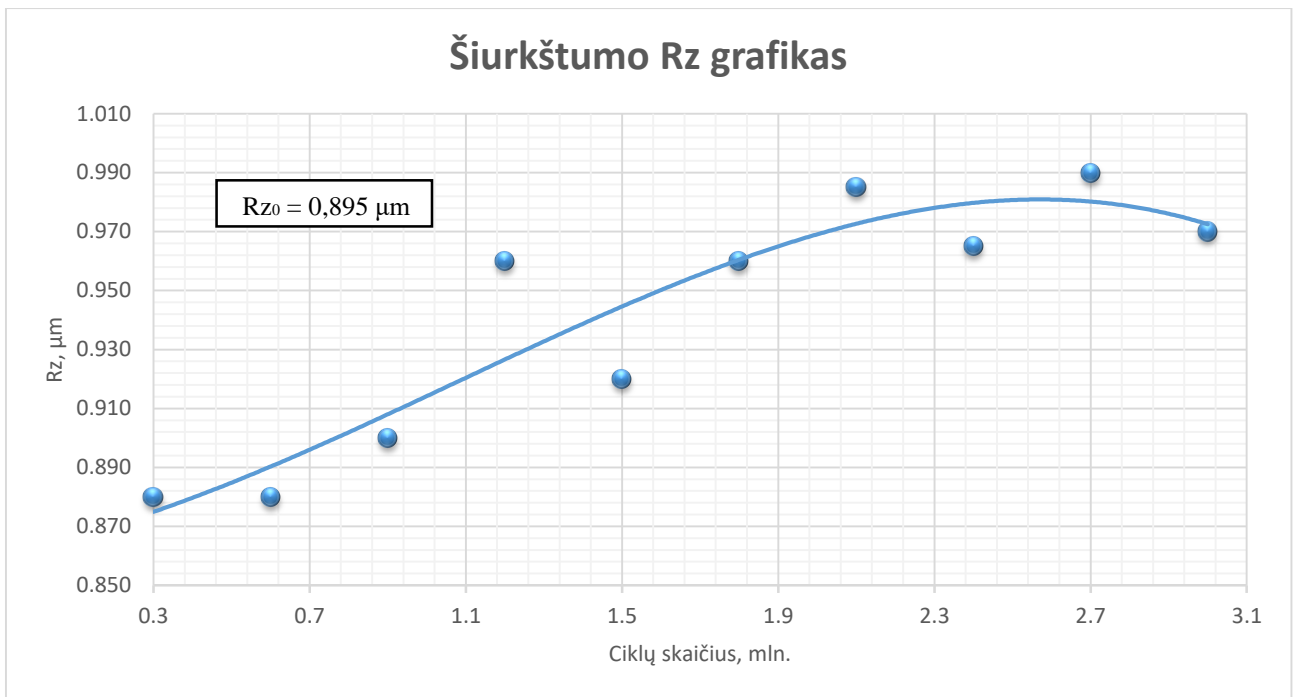
Bandinys Nr.9. Šio bandinio metu naudotas „SKF“ gamintojo guolis ir tirštas tepalas „Litol-24“. Išmatuotas pradinis guolio aukštis 17,057 (H₀) milimetro, Ra₀ šiurkštumas 0,097 mikrometro, Rz₀ šiurkštumas 0,895 mikrometro, Rmax₀ šiurkštumas 1,054 mikrometro.



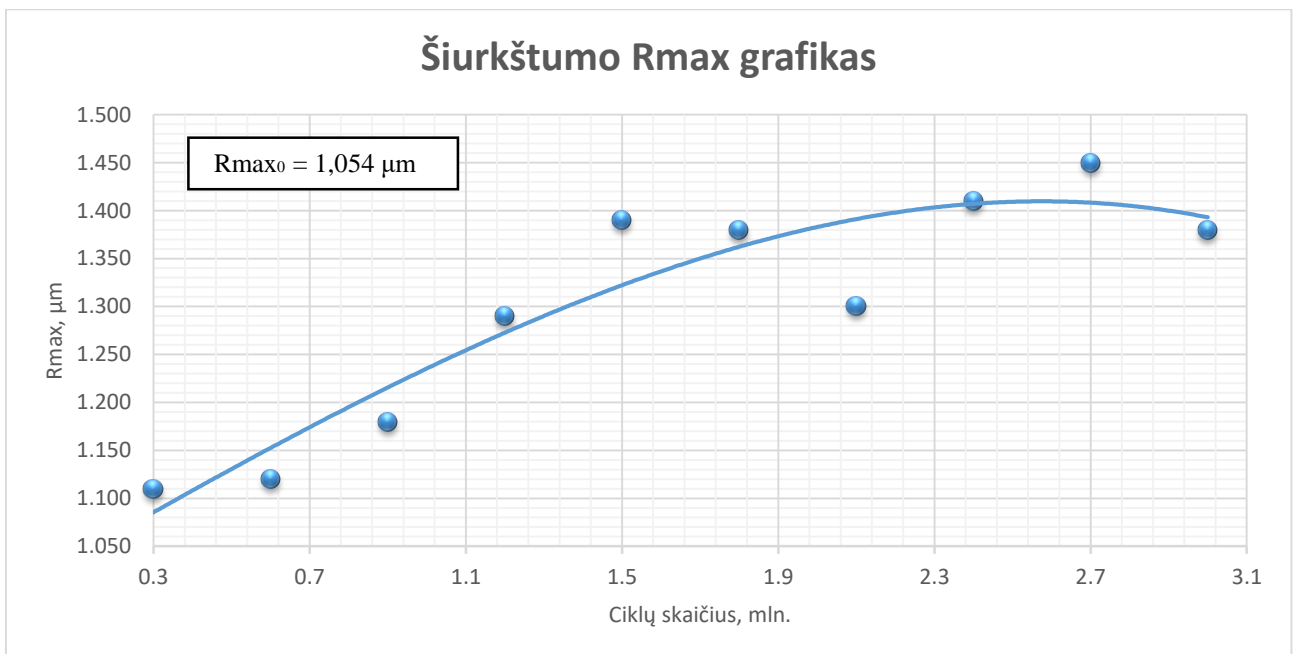
49 pav. „SKF“ Guolio žiedo aukščio kitimas, naudojant „Litol-24“ tepalą



50 pav. „SKF“ guolio žiedo Ra šiurkštumo kitimas, naudojant „Litol-24“ tepalą



51 pav. „SKF“ guolio žiedo Rz šiurkštumo kitimas, naudojant „Litol-24“ tepalą



52 pav. „SKF“ guolio žiedo Rmax šiurkštumo kitimas, naudojant „Litol-24“ tepalą

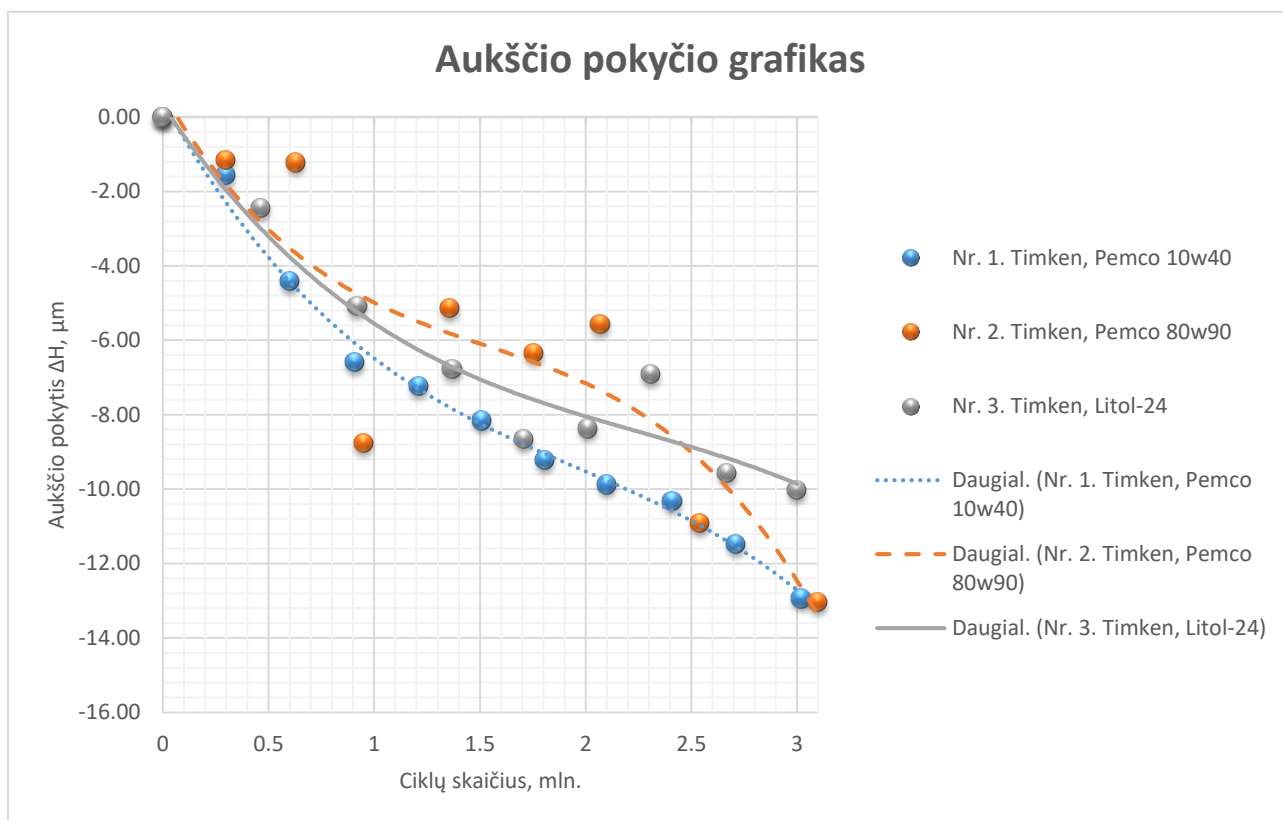
Bandinio Nr. 9 guolio „SKF“ tepant tirštu tepalu „Litol-24“ aukščio pokytis (žr. 49 pav.) gautas toks pat kaip ir bandinio Nr. 3 („Timken“ guolis ir toks pat tepalas „Litol-24“). Aukščio pokytis – 10 mikrometrų, o kreivė artima tiesei. Šiurkštumo parametrų pokyčiai (žr. 50, 51, 52 pav.) lyginant su kitais guolių gamintojas tepant tokiu pat tepalu, gauti vidutiniškai, t.y. geresni nei „Koyo“, bet prastesni nei „Timken“. Kreivių trajektorijos gautos panašios.

4. Rezultatų analizė

4.1. Guolių trinties proceso rodiklių priklausomybės, pagal guolio gamintoją

Šiame skyrelyje analizuojami rezultatai pagal guolio prekinį ženklą, tepant skirtingomis alyvomis ar tepalais. Pateikiami aukščio pokyčio ir Ra šiurkštumo parametro (Rz ir Rmax šiurkštumo parametru) kitimas panašus kaip Ra, todėl pateikiami grafikai tik su Ra šiurkštumu) priklausomybės nuo ciklų skaičiaus grafikai ir analizė.

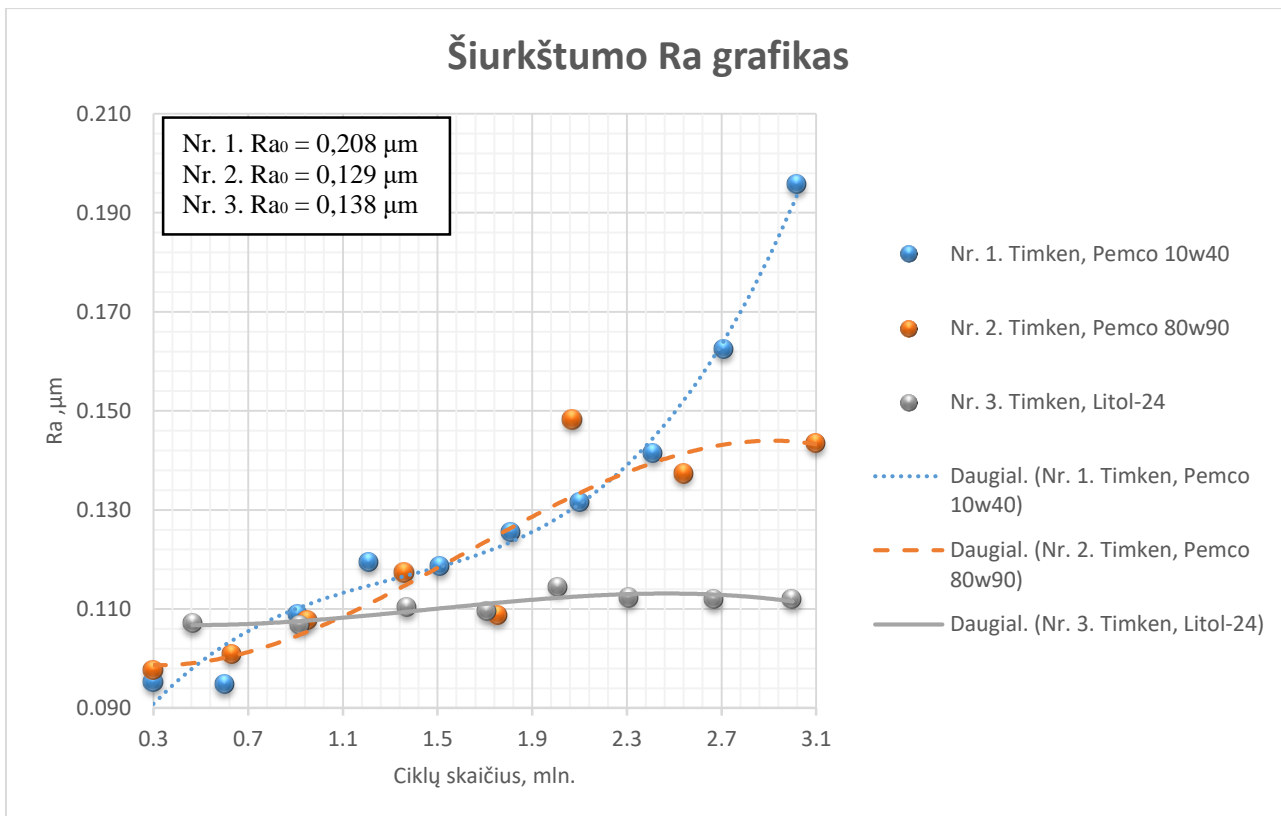
4.1.1 „Timken“ guolių trinties proceso rodiklių priklausomybės



53 pav. „Timken“ guolių žiedo aukščio kitimas, tepant įvairiomis alyvomis

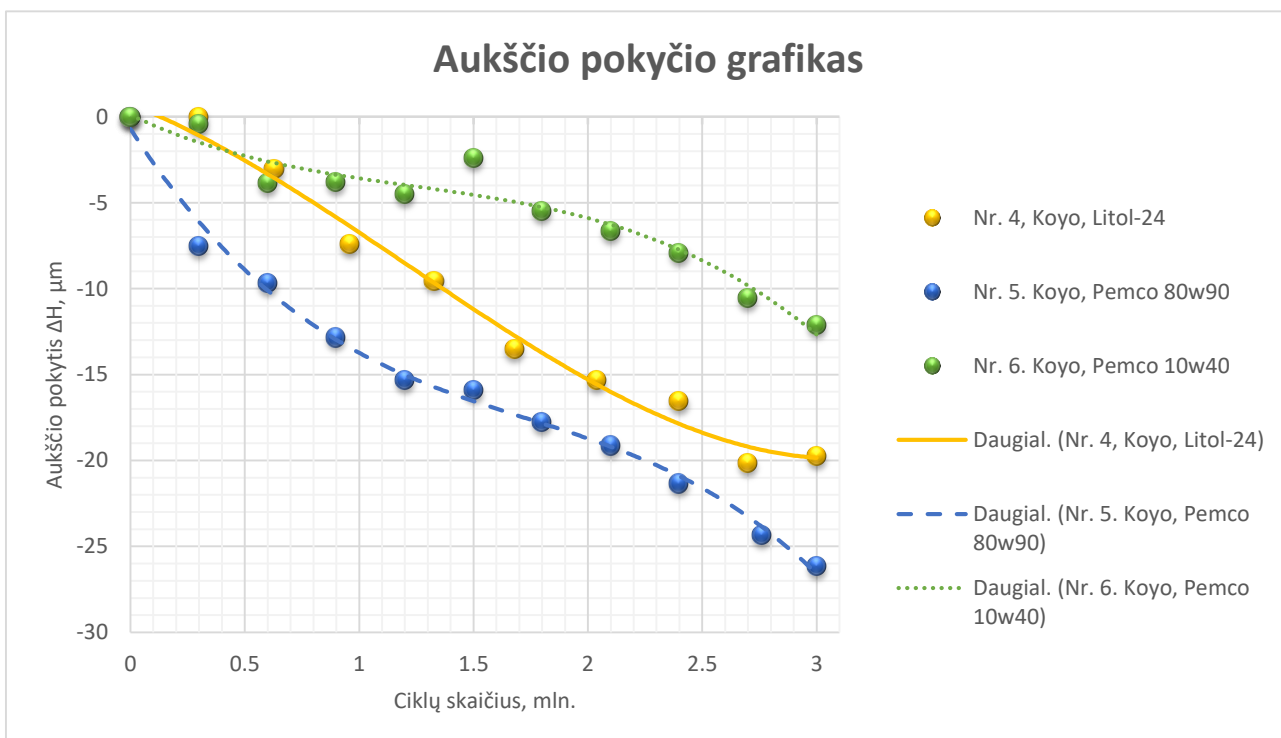
„Timken“ guolio aukščio pokytis dirbant įvairiomis alyvomis (53 pav.) kinta tolygiai, didžiausias pokytis gautas tepant „Pemco 10w40“ varikline alyva ir „Pemco 80w90“ transmisine alyva, pokytis ~13 mikrometrų. Mažiausias pokytis tirštu tepalu „Litol-24“ - 10 mikrometrų. Sprendžiant tik iš aukščio pokyčio grafiko panašu, kad tepalo rūšis neturi įtakos guolio aukščio pokyčiui, nes rezultatai gauti panašūs.

Šiurkštumo Ra grafike (54 pav.) mažiausias šiurkštumo pokytis gautas tepant „Litol-24“ tepalu - 0,008 mikrometrų, o didžiausias, tepant „Pemco 10w40“ alyva 0,101 mikrometrų pokytis. Atsižvelgiant į tai, galima teigti, kad tepant „Litol-24“ tepalu gaunami mažesni šiurkštumo pokyčiai.

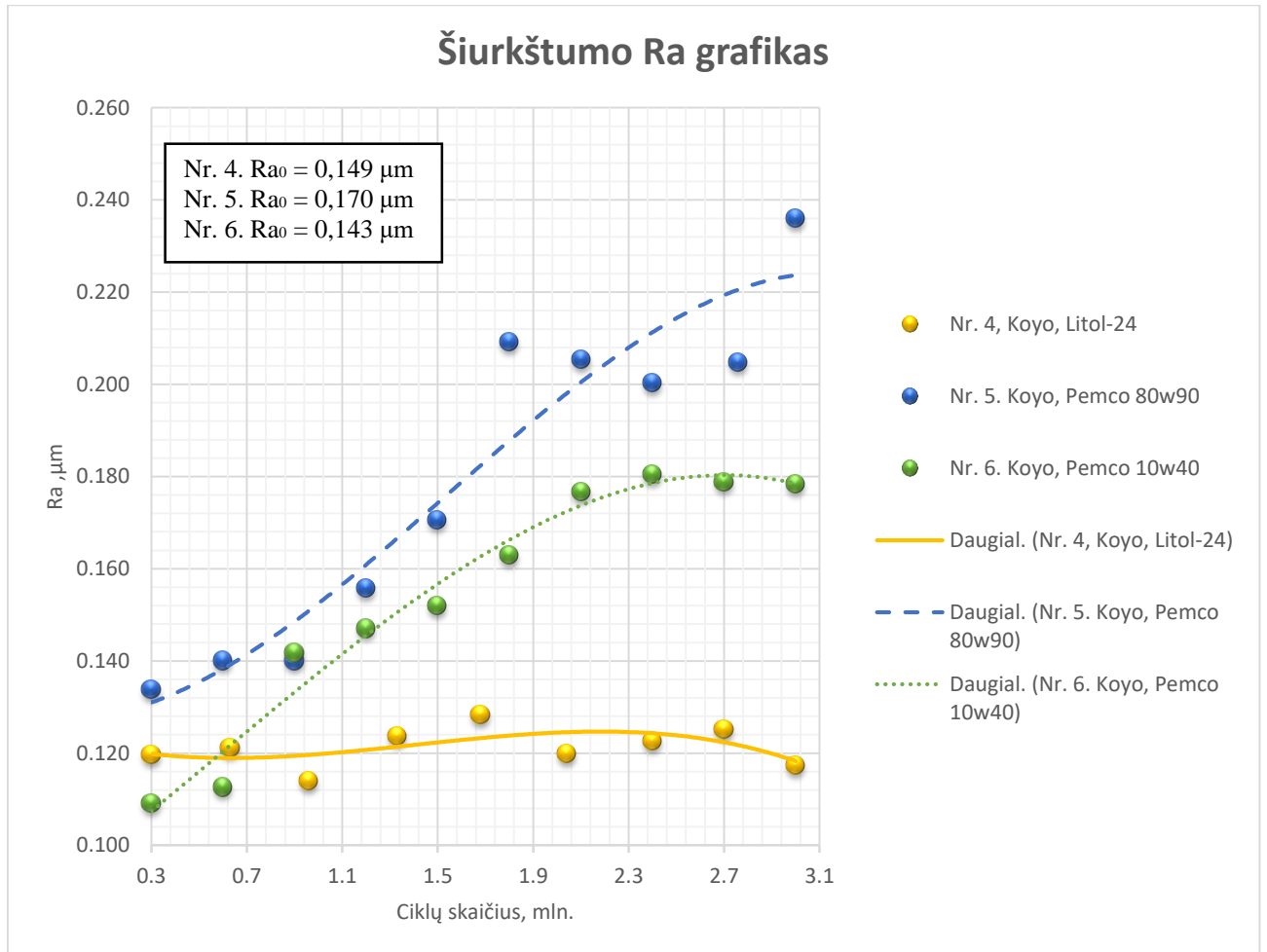


54 pav. „Timken“ guolių žiedo Ra šiurkštumo kitimas, tepant įvairiomis alyvomis

4.1.2 „Koyo“ guolių trinties proceso rodiklių priklausomybės



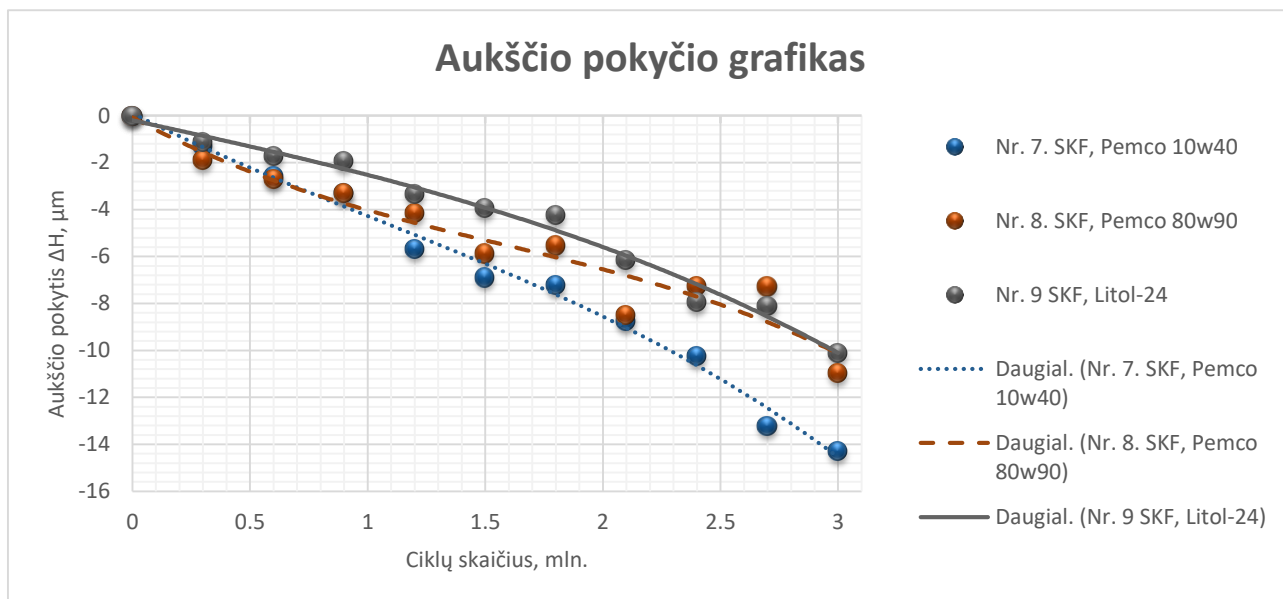
55 pav. „Koyo“ guolių žiedo aukščio kitimas, tepant įvairiomis alyvomis



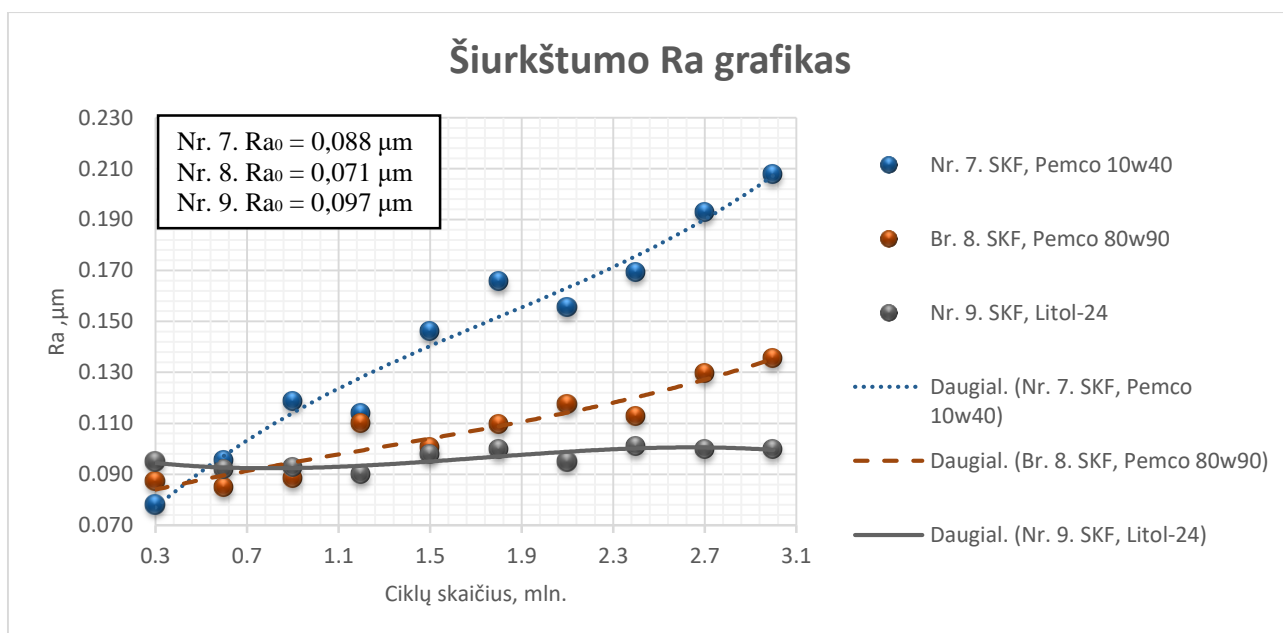
56 pav. „Koyo“ guolių žiedo Ra šiurkštumo kitimas, tepant įvairiomis alyvomis

„Koyo“ gamintojo guolių aukščio pokyčiai (žr. 55 pav.) didžiausi tepant „Pemco 80w90“ alyva – 26 mikrometrai ir „Litol-24“ tepalu - 20 mikrometrų, t.y. daugiau nei dvigubai didesni už „Timken“ guolius. Mažiausias tepant „Pemco 10w40“ – 12 mikrometrų. Žvelgiant į rezultatus galima teigti, kad tepant varikline alyva „Koyo“ guolis pagamintas ar paruoštas geriau nei kiti šio gamintojo guoliai naudoti tyrime, nes aukštis pakito panašiai kaip „Timken“ guolio. Iš šiurkštumo grafiko (žr. 56 pav.) matyti, kad didžiausias pokytis yra tepant „Pemco 80w90“ alyva – 0,102 mikrometrų (tepant „Pemco 10w40“ alyva pokytis 0,071 mikrometrų), mažiausias tepant „Litol-24“ tepalu – 0,014 mikrometrų, t.y. šiurkštumo parametrai kinta panašiai kaip ir „Timken“ guoliams.

4.1.3 „SKF“ guolių trinties proceso rodiklių priklausomybės



57 pav. „SKF“ guolių žiedo aukščio kitimas, tepant įvairiomis alyvomis



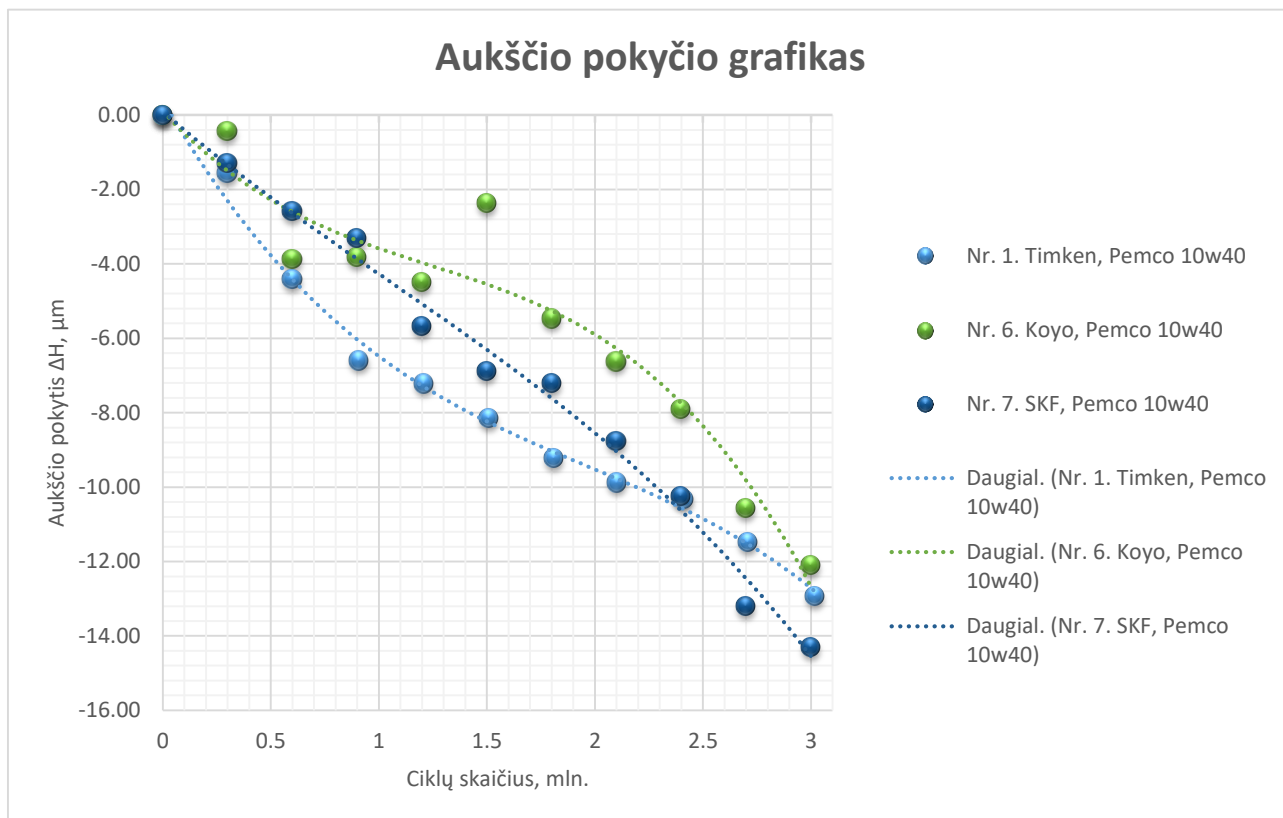
58 pav. „SKF“ guolių žiedo Ra šiurkštumo kitimas, tepant įvairiomis alyvomis

„SKF“ guolių pokyčiai tiek šiurkštumo parametru (58 pav.), tiek aukščio (57 pav.) gauti artimi „Timken“ guoliams. Aukščio didžiausi pokyčiai tepant „Pemco 10w40“ alyva – 14 mikrometrai, o mažiausias tepant „Litol-24“ tepalu - 10 mikrometrų. Aukščio pokyčiai kinta taip pat tolygiai. Iš šiurkštumo grafiko matyti didžiausias pokytis yra tepant „Pemco 10w40“ – 0,130 mikrometrų, mažiausias tepant „Litol-24“ tepalu – 0,011 mikrometrų. Šiurkštumo kreivės gautos artimos tiesėms tepant visomis alyvomis, t.y. praktiškai nebuvo šiurkštumo staigiu sumažėjimų ar padidėjimų tyrimo metu.

4.2. Guolių trinties proceso rodiklių priklausomybės, pagal tepimo alyvą

Šiame skyrelyje analizuojami rezultatai pagal naudotas bandymo metu alyvas ar tepalus. Pateikiami aukščio pokyčio ir Ra šiurkštumo parametro priklausomybė nuo ciklų skaičiaus grafikai ir analizė.

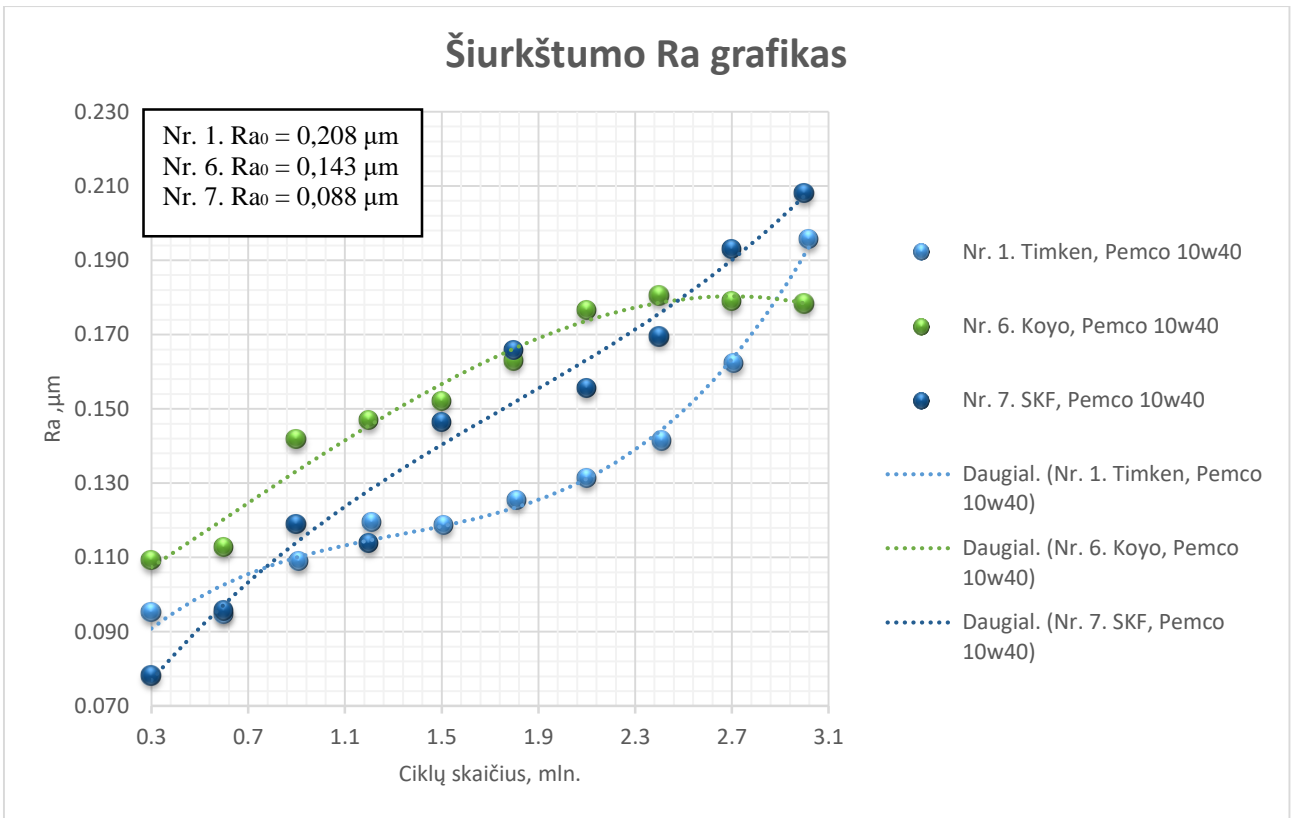
4.2.1 Guolių trinties proceso rodiklių priklausomybės naudojant „Pemco 10w40“ alyvą



59 pav. Guolių žiedo aukščio kitimas, tepant „Pemco 10w40“ varikline alyva

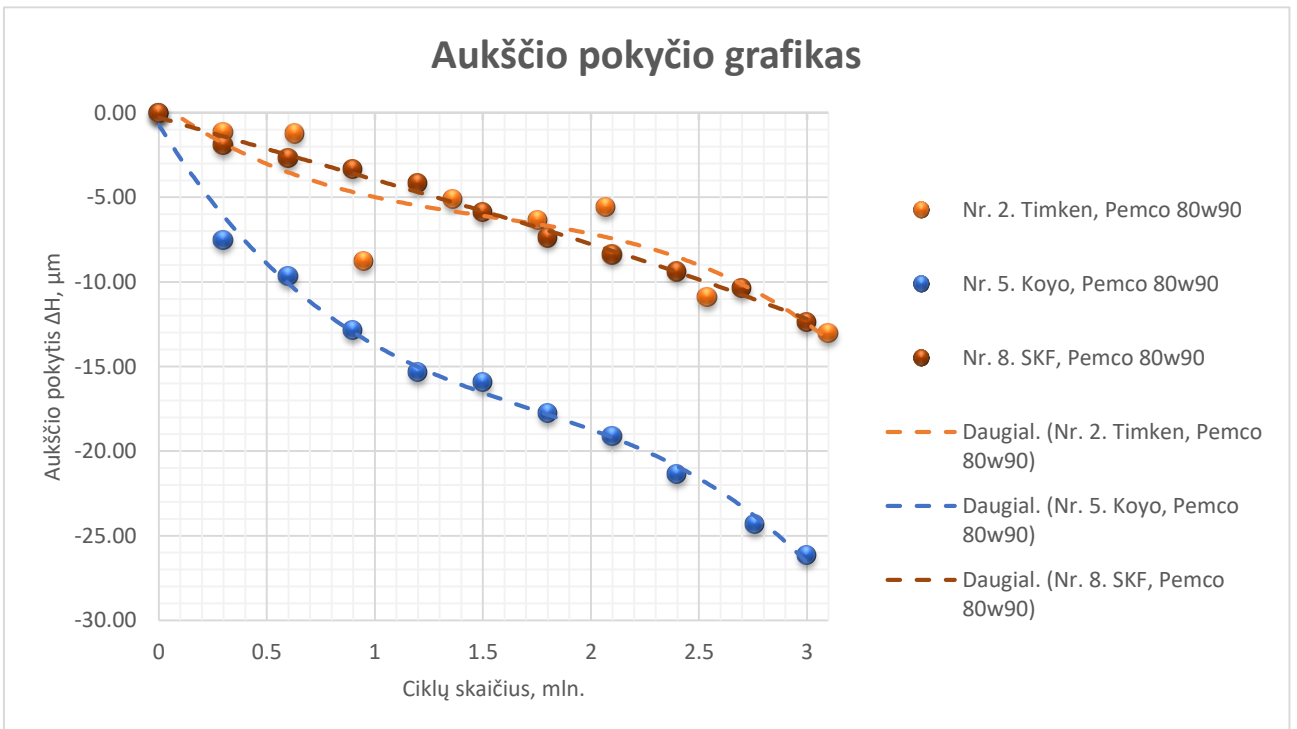
Tepant mažiausią klampį turinčią alyvą ($13,96 \text{ mm}^2/\text{s}$ esant 100^0 Celcijaus temperatūrai), tyrimo metu gauti panašūs visiems guolių gamintojams aukščio pokyčiai (žr. 59 pav.), nepaisant, kad pradiniai guolių aukščiai buvo skirtingi. Pokyčiai: „Koyo“ – 12 mikrometrų, „Timken“ 13 mikrometrų, „SKF“ 14 mikrometrų. Šiurkštumo parametras Ra (žr. 60 pav.) visiems guolių gamintojams kito panašiai. Didžiausias pokytis „SKF“ – 0,130, tada „Timken“ – 0,101 ir mažiausias „Koyo“ – 0,071 mikrometrų. Kadangi „SKF“ guolio šiurkštumo pokytis didžiausias, manoma dėl to ir aukščio pokytis gautas didžiausias.

Šiurkštumo Ra grafikas

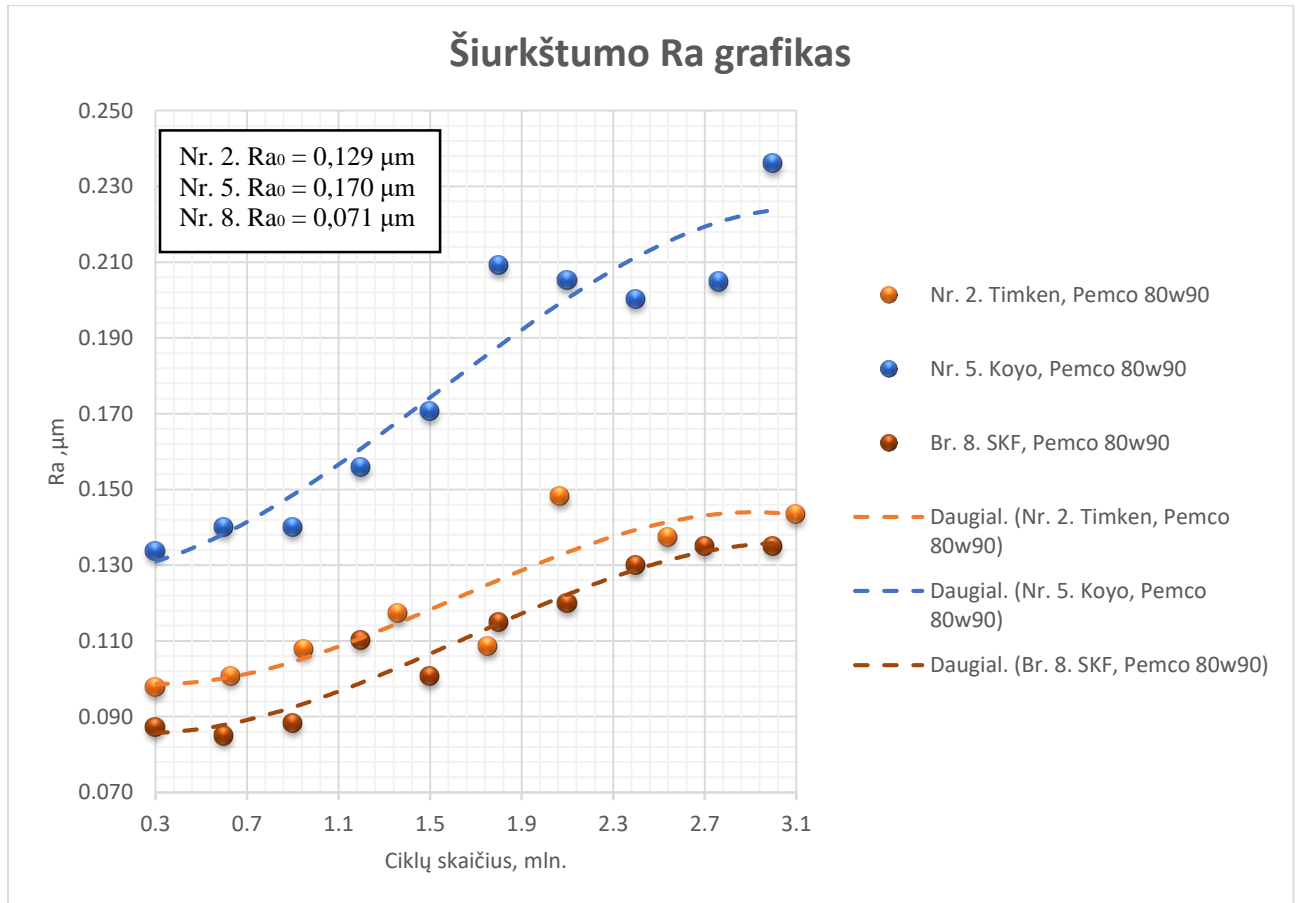


60 pav. Guolių žiedo Ra šiurkštumo kitimas, tepant „Pemco 10w40“ varikline alyva

4.2.2 Guolių trinties proceso rodiklių priklausomybės naudojant „Pemco 80w90“ alyvą



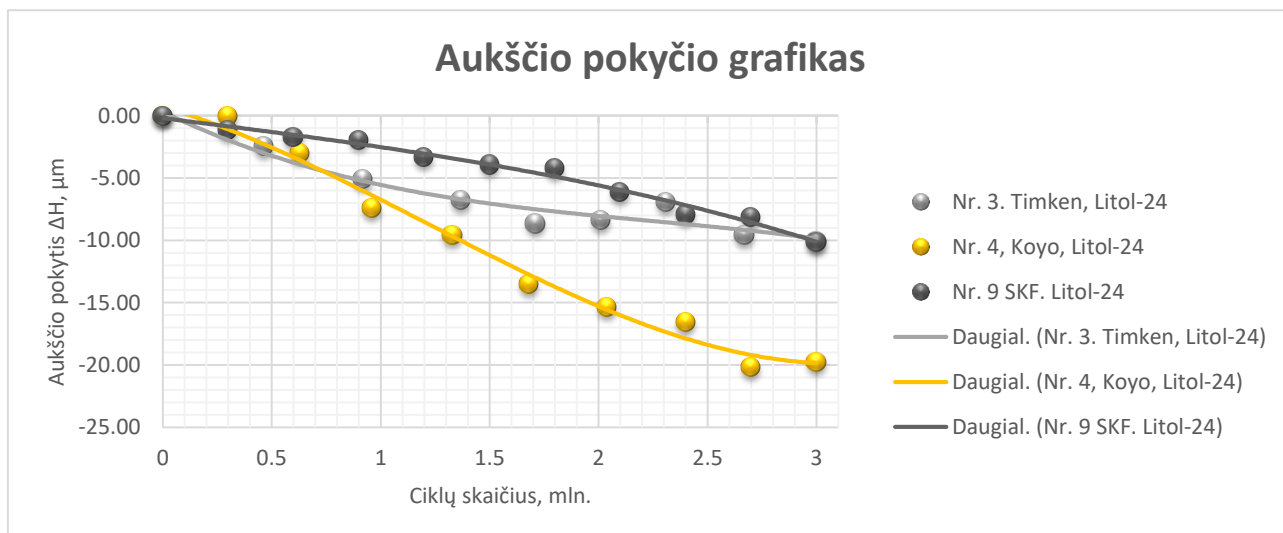
61 pav. Guolių žiedo aukščio kitimas, tepant „Pemco 80w90“ transmisine alyva



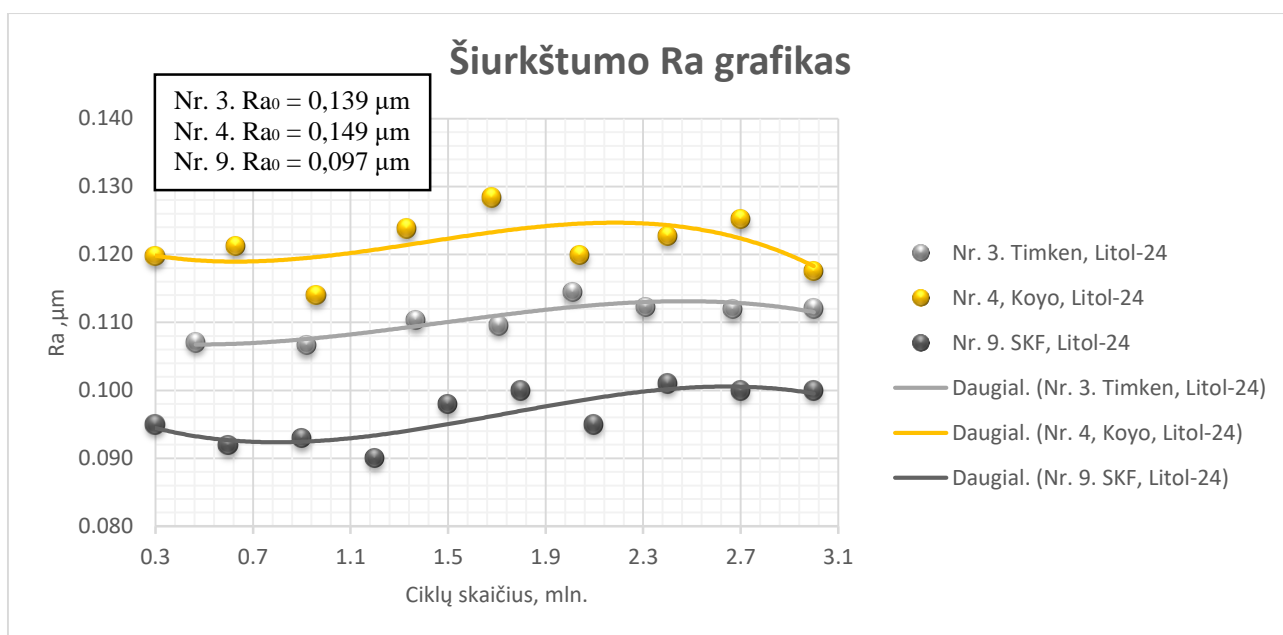
62 pav. Guolių žiedo Ra šiurkštumo kitimas, tepant „Pemco 80w90“ transmisine alyva

Tepant vidutinį klampį turinčią alyvą ($17,8 \text{ mm}^2/\text{s}$ esant 100^0 Celcijaus temperatūrai), tyrimo metu gauti didžiausi aukščio pokyčiai (žr. 61 pav.) „Koyo“ guolio gamintojo – 26 mikrometrų, o mažiausi „Timken“ - 13 mikrometrų ir „SKF“ - 12 mikrometrų. Šiurkštumo parametras Ra (žr. 62 pav.) kito taip pat daugiausiai „Koyo“ guolio gamintojo guoliui, pokytis 0,102 mikrometrų, o „Timken“ ir „SKF“ guoliams, pokyčiai panašūs – apie 0,5 mikrometro, „SKF“ guoliui šiek tiek daugiau. Kadangi „Koyo“ guolio šiurkštumo pokytis didžiausias, manoma dėl to ir aukščio pokytis gautas didžiausias.

4.2.3 Guolių trinties proceso rodiklių priklausomybės naudojant „Litol-24“ tepalą



63 pav. Guolių žiedo aukščio kitimas, tepant „Litol-24“ tepalu



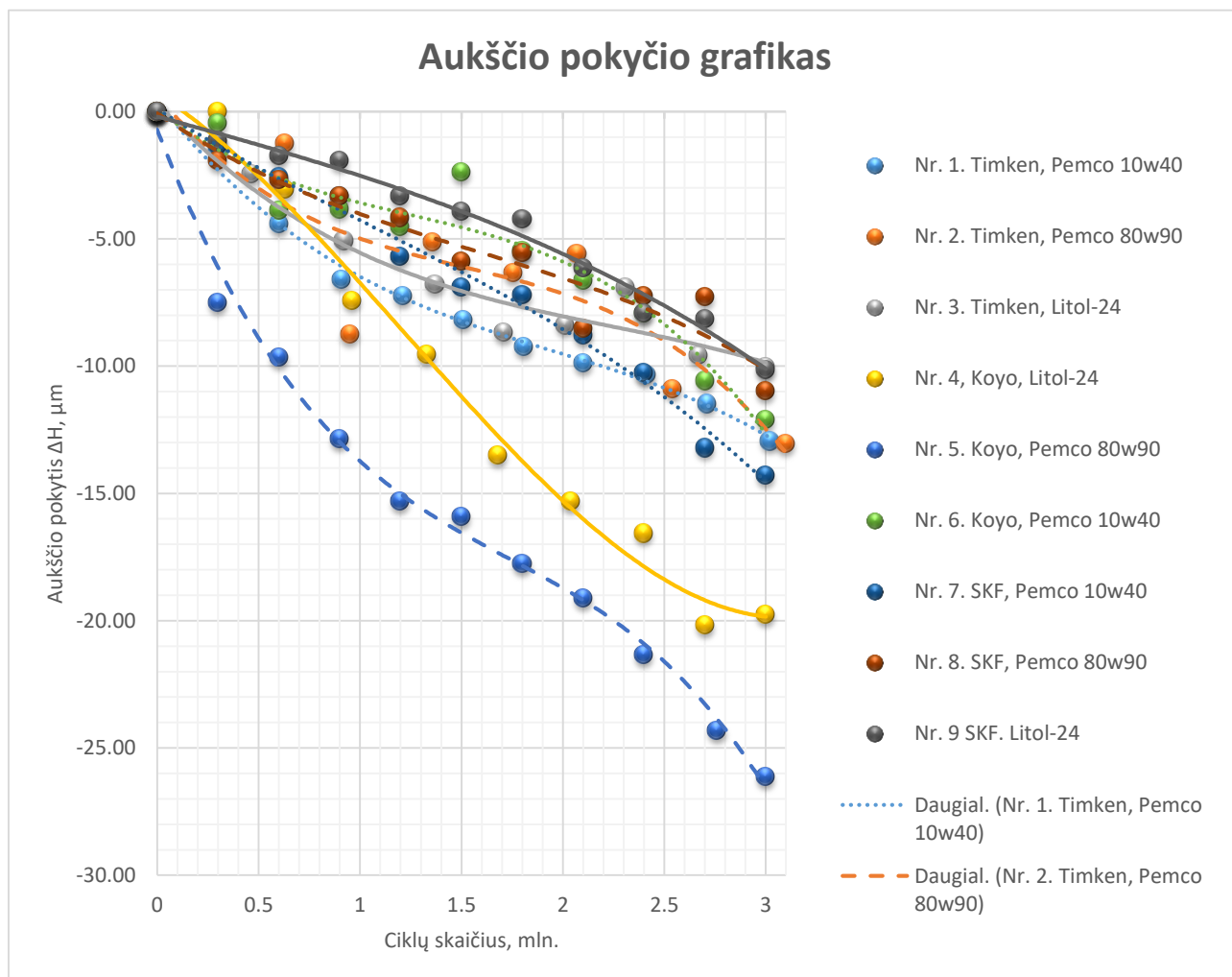
64 pav. Guolių žiedo Ra šiurkštumo kitimas, tepant „Litol-24“ tepalu

Tepant guolius tirštu, universaliu, konsistensiniu tepalu tyrimo metu, didžiausi aukščio pokyčiai (žr. 63 pav.) gauti „Koyo“ guolio gamintojo – 20 mikrometrai, o mažiausi pokyčiai „Timken“ – 10 mikrometrų ir „SKF“ – 10 mikrometrų. Taip pat matome, kad pradiniai guolių aukščiai neturėjo įtakos tyrimo rezultatams, t.y. bandinio Nr. 3 ir Nr. 4 pradiniai aukščiai buvo beveik vienodi, bet pokyčiai ne, ir bandinių Nr.3 bei, Nr. 9 pradiniai aukščiai skyrėsi daugiau nei 40 mikrometrų, bet pokyčiai tokie pat. Šiurkštumo parametras R_a (žr. 64 pav.) kito panašiai visiems guolių gamintojams. Pokyčiai gauti nedideli, todėl galima didesnė matavimo paklaida, tai kreivės dėsningumas gali būti šiek tiek iškreiptas. Didžiausias pokytis „Koyo“ – 0,014, o mažiausias „Timken“ – 0,008 mikrometrų.

4.3. Apibendrinta informacija apie tirtų guolių trinties proceso rodiklių priklausomybes

Šiame skyrelyje analizuojami rezultatai pagal naudotas bandymo metu visas alyvas ir skirtingų gamintojų guolius. Žemiau pateikiami aukščio pokyčio, Ra, Rz, Rmax šiurkštumo parametru priklausomybė nuo ciklų skaičiaus grafikai ir analizė.

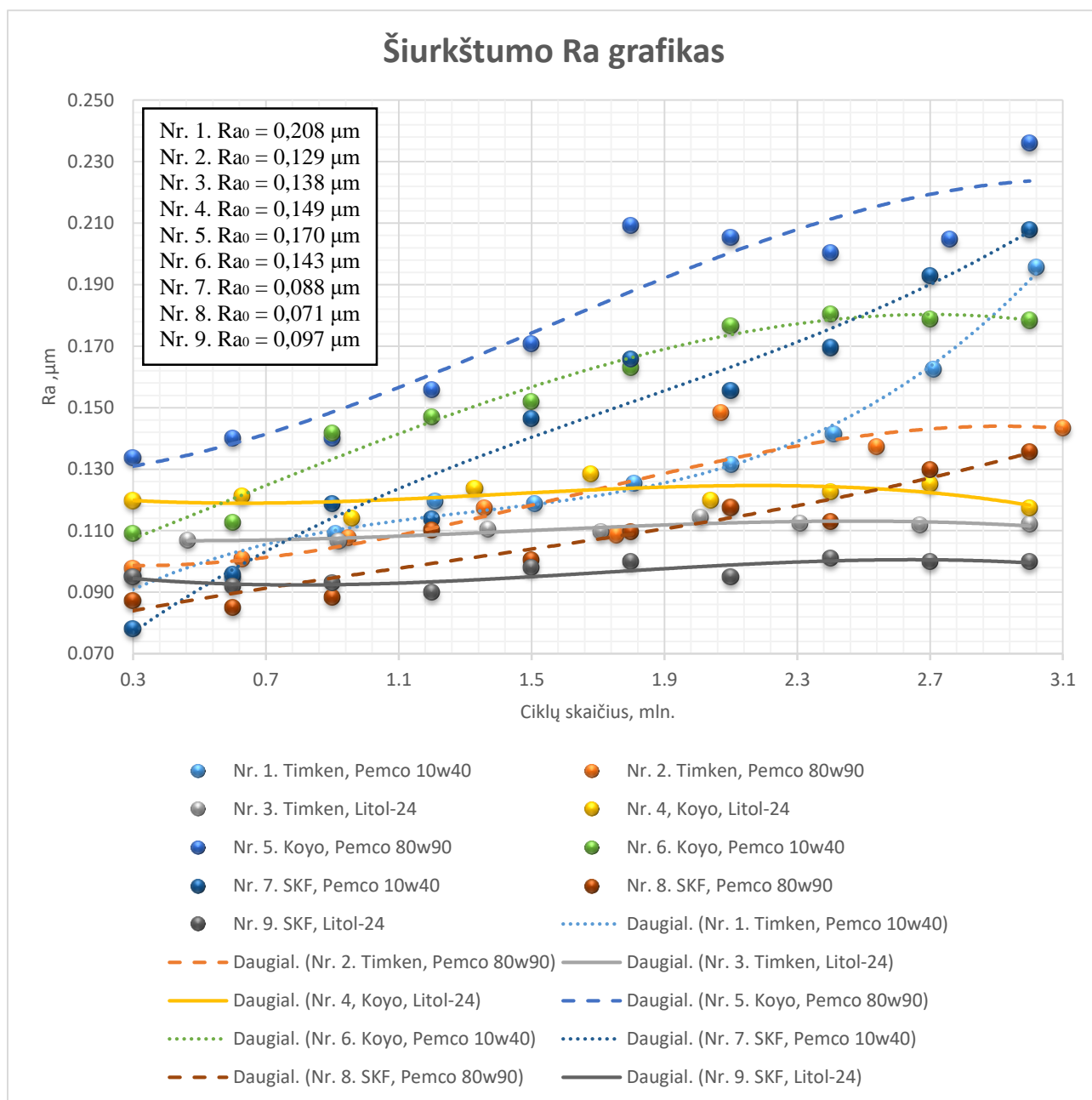
4.3.1 Visų guolių aukščio pokyčio ΔH priklausomybės



65 pav. Bendras guolių išorinio žiedo aukščio pokyčio grafikas

Aukščio pokyčio grafike (žr. 65 pav.) kreivės gautos artimos tiesėms, o tai leidžia teigti, kad rezultatai gauti tikslūs. Naujų guolių pradiniai aukščiai gauti mažiausi ir artimiausi nominaliam dydžiui (17 mm) „SKF“ gamintojo guoliams, iš to galima būtų teigti, kad šio gamintojo guoliai pagaminti tiksliausi, bet kaip matome tai neturi įtakos guolio nudilimui. Mažiausi pokyčiai „Timken“ guolio tepant „Litol-24“ tepalu, pokytis 10 mikrometrai ir lygiai toks pat pokytis „SKF“ guoliui tepant tokiu pat tepalu. Didžiausi pokyčiai „Koyo“ guoliui, tepant „Pemco 80w90“ alyva - 26 mikrometrai ir „Litol-24“ tepalu – 20 mikrometrai, t.y. maždaug dvigubai didesni pokyčiai nei kitų guolių gauti rezultatai, taip pat šių bandinių tyrimo metu buvo gautos aukščiausios darbinės temperatūros. Nors „Koyo“ gamintojo guoliai buvo pirkti vienu metu ir greičiausiai pagaminti vienos serijos metu, bet tyrimo rezultatai rodo, kad guoliai tikrai nėra paruošti naudojimui vienodai.

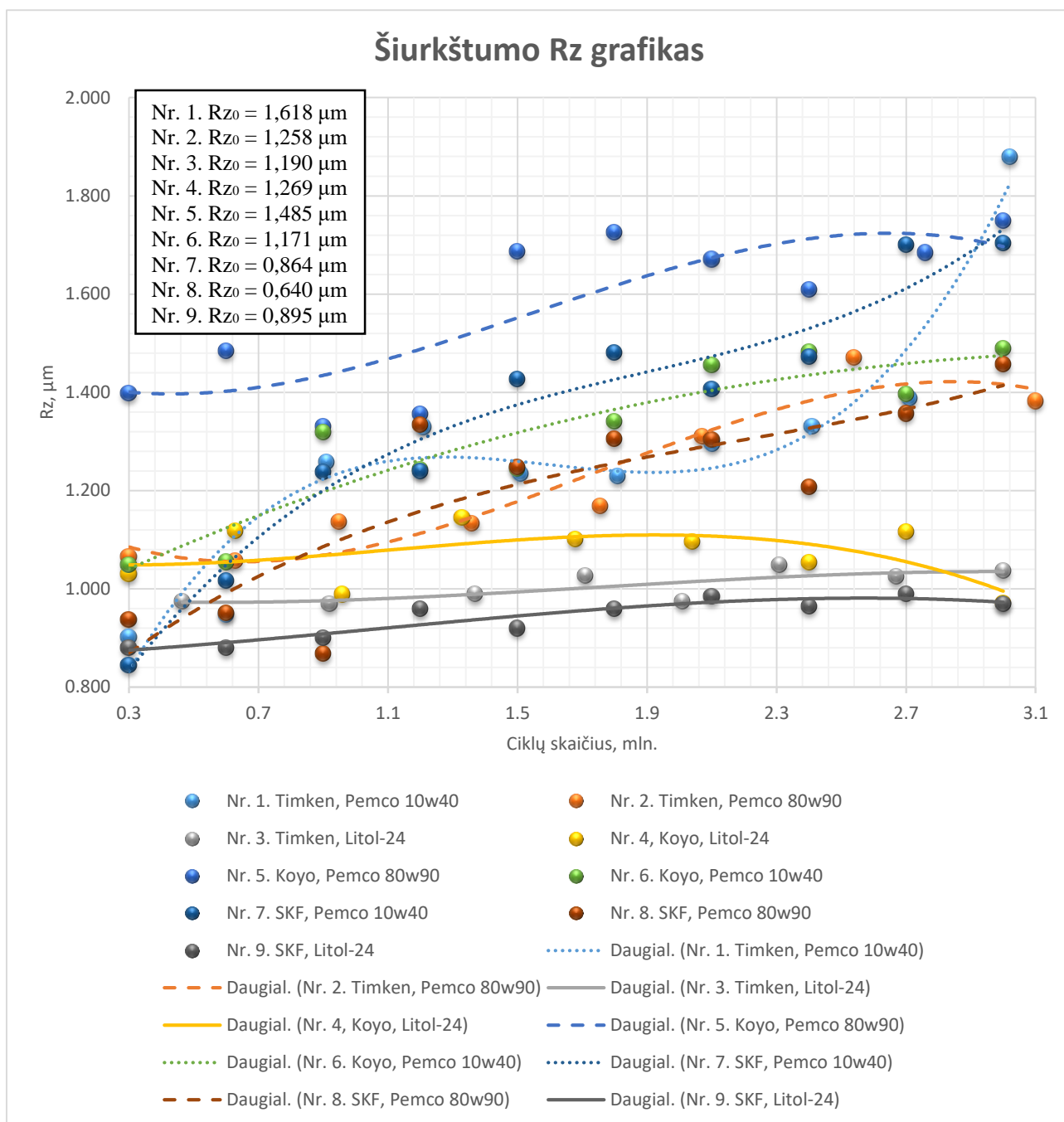
4.3.2 Visų guolių šiurkštumo Ra priklausomybės



66 pav. Bendras guolių išorinio žiedo Ra šiurkštumo pokyčio grafikas

Ra šiurkštumo pokyčio grafike (žr. 66 pav.) matyti, kad mažiausias pradinis šiurkštumas taip pat gautas „SKF“ firmos guoliui (0,071 mikrometrų), iš tai galima sakyti, kad šio guolio gamintojas paruošia (apdirba) guolius prieš naudojimą geriausiai. Mažiausi pokyčiai gauti visiems guolių gamintojams tepant „Litol-24“ tepalu. Pokyčiai 0,008-0,014 mikrometrų. Iš to galima spręsti, kad guolio šiurkštumo parametrai kinta lėčiausiai tepant šiuo tepalu. Didžiausias pokytis „SKF“ guoliui, tepant „Pemco 10w40“ alyva, pokytis 0,130 mikrometrų. Ir kaip minėta anksčiau, šio bandymo metu guolis šiurkštumo sumažėjimo neturėjo. Taip pat gautas didelis pokytis bandiniui Nr. 1 („Timken“ guolis, „Pemco 10w40“ alyva) – 0,101 mikrometrų. Tai galima teigti, mažiausio klampio alyva (šiuo atveju 13,96 mm²/s esant 100⁰ Celcijaus temperatūrai) turi didžiausią įtaką šiurkštumo pokyčiui.

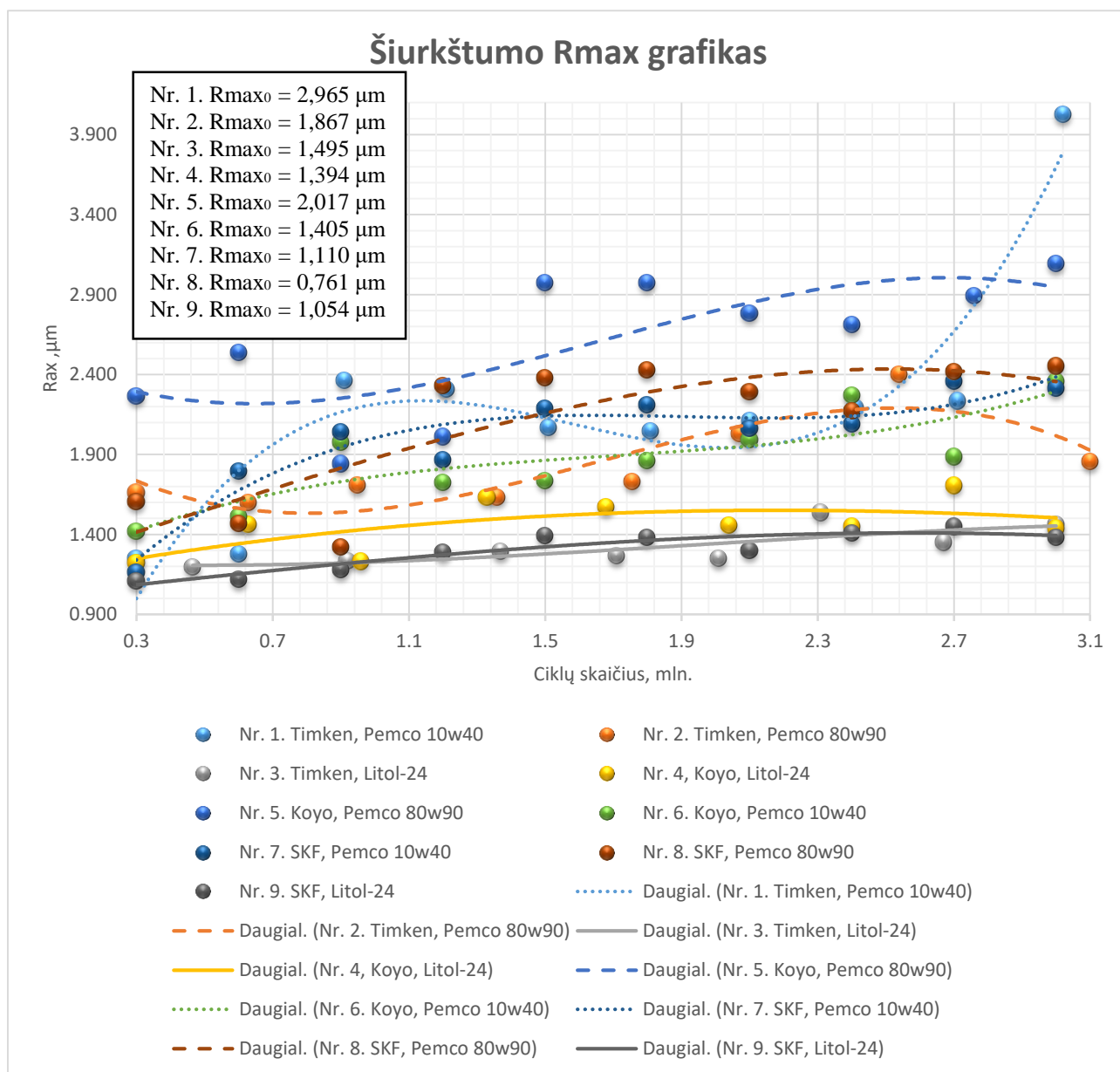
4.3.3 Visų guolių šiurkštumo Rz priklausomybės



67 pav. Bendras guolių išorinio žiedo Rz šiurkštumo pokyčio grafikas

Rz šiurkštumo pokyčio grafike (žr. 67 pav.) matyti, kad pradinis šiurkštumas irgi mažiausias gautas „SKF“ firmos guoliui (0,640 mikrometrų), tai leidžia dar kartą sakyti, kad šio guolio gamintojas paruošia (apdirba) guolius prieš naudojimą geriausiai. Mažiausi pokyčiai gauti visiems guolių gamintojams tepant „Litol-24“ tepalu, pokyčiai 0,079-0,174 mikrometrų, tai patvirtina dar kartą, kad guolio šiurkštumo parametrai kinta lėčiausiai tepant šia alyva. Didžiausias pokytis „Timken“ guoliui, tepant „Pemco 10w40“ alyva, pokytis 0,978 mikrometrų. Taip pat didelis pokytis ir bandiniui Nr. 7 („SKF“ guolis, „Pemco 10w40“ alyva) – 0,859 mikrometrų. Galima pasikartoti kad, varikline „Pemco 10w40“ alyva turi didžiausią įtaką šiurkštumo pokyčiui.

4.3.2 Visų guolių šiurkštumo Rmax priklausomybės



68 pav. Bendras guolių išorinio žiedo Rmax šiurkštumo pokyčio grafikas

Rmax šiurkštumo pokyčio grafike (žr. 68 pav.) matyti, kad pradinis šiurkštumas, kaip ir prieš tai gautas mažiausias „SKF“ firmos guoliui (0,761 mikrometrų), tai leidžia dar kartą sakyti, kad šio guolio gamintojas paruošia (apdirba) guolius prieš naudojimą geriausiai. Mažiausi pokyčiai gauti visiems guolių gamintojams tepant „Litol-24“ tepalu. Pokyčiai 0,338-0,483 mikrometrų, tai patvirtina, kad guolio šiurkštumo parametrai kinta lėčiausiai tepant šia alyva. Be to grafike matyti šių bandinių kreivės beveik tiesiškos. Didžiausias pokytis „Timken“ guoliui, tepant „Pemco 10w40“ alyva. Pokytis 2,775 mikrometrų ir matyti, kad kreivės taškai išsidėstę labai chaotiškai kaip ir kitų guolių gamintojų tepant šia alyva. Kitų guolių Rmax šiurkštumo parametro pokyčiai nesiekia 2,200 mikrometrų, t.y. daugiau nei 20 procentų, lyginant su bandiniu Nr. 1. Kadangi šio guolio šiurkštumas pradėjo sparčiai didėti tyrimo metu, manoma, kad šis guolis pirmutinis turėtų „nusibaigti“, žvelgiant tik į šį šiurkštumo grafiką (žr. 68 pav.).

Išvados

1. Atlikus literatūros apžvalgą, pastebėta, kad atliekant bandymus prie didesnių apkrovų (virš 2000 kg) ar didesnio sukimosi greičio (virš 2000 aps./min) guolio darbinė temperatūra išauga, atsiranda dideli pokyčiai ir guolis greit „nuvargsta“, bei tyrimo rezultatai gaunami netikslūs. Taip pat pastebėta, dėl tikslesnių rezultatų bandymo metu, bandiniams turi būti atliekami ne mažiau nei 2 mln. ciklų. Ir galiausiai pastebėta, kad tepant skistomis alyvomis, tokiomis kaip: „Castrol 10w40“, „Shell 10w40“ gauti didžiausi ir netiksliausi trinties proceso rodiklių pokyčiai, o mažiausi tepant tirštais tepalais tokiais kaip: „Litol-24“, „Top 2000“.
2. Atlikus bandymus, kai nauji „SKF“, „Timken“, „Koyo“ gamintojų guoliai užsiduotomis sąlygomis apkrauti 1250 kg stendo apkrova, sukasi 1000 apsisukimų per minute, bei tepant skirtingomis alyvomis ar tepalais („Pemco 10w40“, „Pemco 80w90“ ir „Litol-24“) nustatyta, kad guolių aukščio pokytis svyruoja 10 ir 26 mikrometrų ribose, nors pradinės guolių aukščio reikšmės ir skyrėsi. Didžiausias aukščio pokytis tarp guolių yra, iki 16 mikrometrų. Taigi galima teigti, kad dilimas nebuvo intensyvus. Didžiausias nudilimas (aukščio pokytis) gautas 26 mikrometrų „Koyo“ guoliui tepant transmisine „Pemco 80w90“ alyva, o antroje vietoje pagal nudilimą to pačio gamintojo „Koyo“ guolis – 20 mikrometrų, tepant konsistensiniu „Litol-24“ tepalu. Šių dviejų „Koyo“ guolių kreivės gautos nepanašiausios į tiesę lyginant su kitais bandymais. Visų kitų bandinių aukščio pokytis tik 10-14 mikrometrų. Mažiausi pokyčiai priklauso „Timken“ ir „SKF“ guoliams tepant „Litol-24“ tepalu – pokyčiai 10 mikrometrų.
3. Žvelgiant į šiurkštumo gautus rezultatus, nustatyta, kad išorinio guolio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametrų Ra, Rz, Rmax kitimo dėsningumai atskiram guoliui yra analogiški, tik su Rz ir Rmax šiurkštumo kreivėmis paprasčiau nustatyti ženklų šiurkštumo padidėjimą, atsiradusius dilimo defektus. Taigi galima teigti tyrimui užtenka vieno parametro iš trijų (kaip pavyzdžiui: Ra). Taip pat nustatyta, kad, aukščio pokyčio ir šiurkštumo parametrų yra atvirkštinis ryšys: aukščio pokyčio kreivei mažėjant, šiurkštumo kreivės kyla. Didžiausi Ra pokyčiai gauti tepant varikline alyva „Pemco 10w40“: „SKF“ guoliui – 0,130 mikrometrų pokytis, „Timken“ guoliui – 0,101 mikrometras, „Koyo“ guoliui – 0,077 mikrometrų. Na dar galima išskirti labiausiai nuvargusį guolį eksperimento metu. „Koyo“ guolis tepant „Pemco 80w90“ alyva, kurio Ra šiurkštumo pokytis gautas 0,102 mikrometrų. Mažiausi pokyčiai gauti tepant „Litol-24“ tepalu: „Timken“ – 0,008 mikrometro, „SKF“ – 0,011 mikrometro, „Koyo“ – 0,014 mikrometro.
4. Nagrinėjant tyrimo metu naudotų alyvų įtaka trinties proceso rodikliams, pastebėta, kad visų rodiklių pokyčiai (ypač šiurkštumo) paprastai didžiausi naudojant neklampias alyvas, t.y. variklinę alyvą „Pemco 10w40“ ir „Pemco 80w90“ transimsinę alyvą. Išimtis aukščio pokyčiams „Koyo“ gamintojo guoliams, t.y. tepant „Pemco 80w90“ alyva (ΔH : 26 mikrometrai) ir tirštų „Litol-24“ tepalu (ΔH : 20 mikrometrai), o mažiausi aukščio pokyčiai „Koyo“ guolių tepant varikline alyva (ΔH : 12 mikrometrai), bet pokyčiai nemažesni nei „Timken“ ar „SKF“ (skirtumas 1-2 mikrometrai). Tai galima teigti, kad bandinio Nr. 7, „Koyo“ guolis buvo pagamintas ir paruošas naudojimui geriau, panašiai kaip ir kitų gamintojų guoliai. Visiems guoliams užsiduotomis sąlygomis ir tepant „Pemco 10w40“ alyva ar „Pemco 80w90“ alyva intensyviausiai aukščio pokytis kito bandymų pradžioje (0-0,6 mln. ciklų) ir

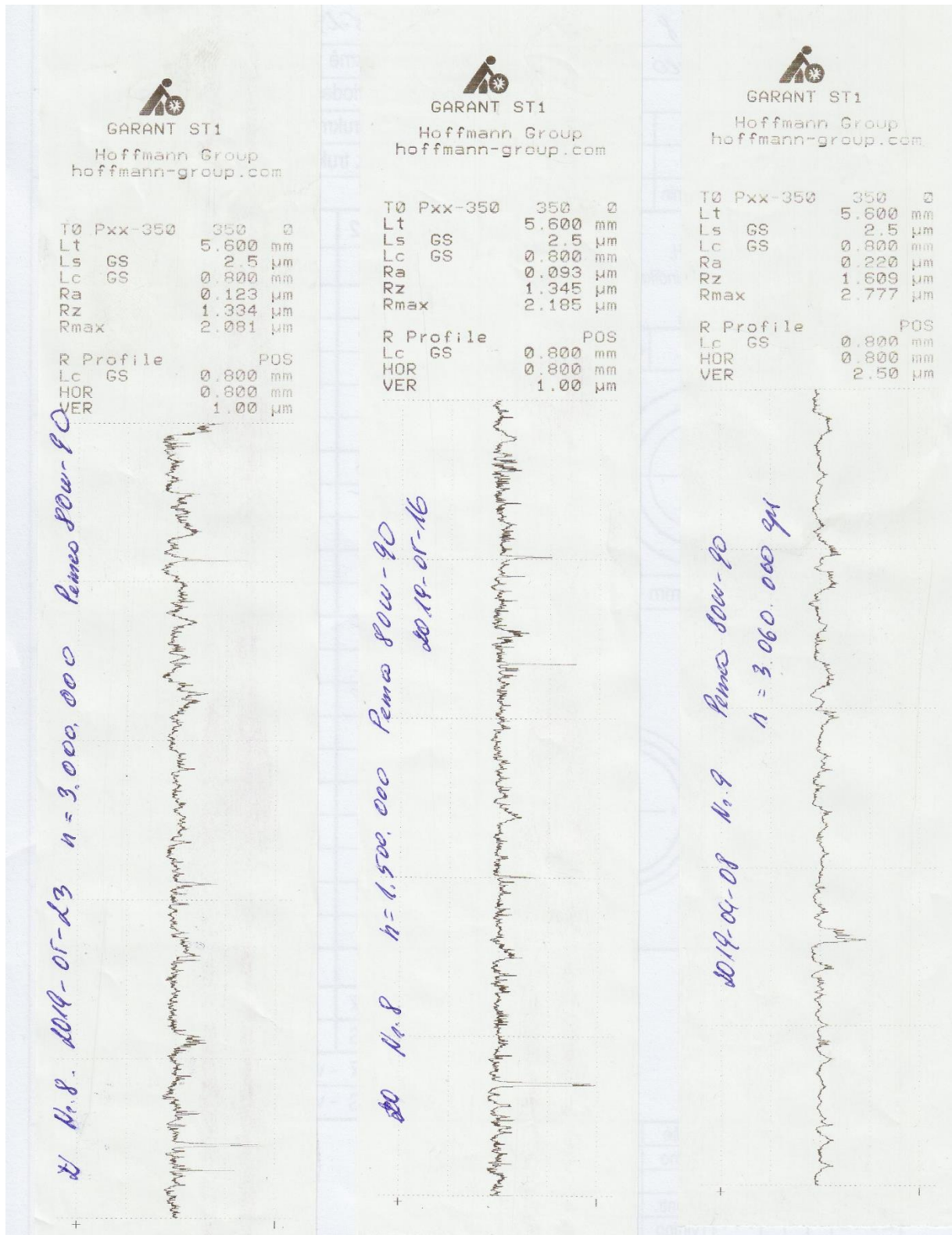
- gale (2,4-3mln ciklų), o tepant „Litol-24“ tepalu aukščio pokytis kito pavėluotai, t.y. šiek tiek intensyviau 0-2,1 mln. ciklų, o gale bandymo 2,1-3 mln. ciklų lėčiau.
5. Nagrinėjant guolio prekinio ženklo įtaką trinties proceso rodikliams, rezultatai gauti skirtingi, nors ir visi trys gamintojai garsūs ir pripažinti aukšto lygio guolių gamintojai visam pasaulyje. Pastebėta, kad didžiausi aukščio pokyčiai gauti pigiausiai naudotam guoliui bandyme „Koyo“, aukščio pokyčiai 20-26 mikrometrai, o „Timken“ ir „SKF“ visų guolių aukščio pokyčiai 10-14 mikrometrų. Žvelgiant į šiurkštumo parametrus, pokyčiai panašūs visų gamintojų guoliams naudotiems tyrime, galbūt, šiek išskirtinis bandinio Nr. 7 „SKF“ guolis tepant „Pemco 10w40“ alyva, kurio šiurkštumo pokyčiai buvo didesnis nei visų kitų naudotų guolių tyrime (Ra pokytis 0,130 mikrometrų). Tai galėjo lemti didesnis ritinėlių skaičius, bet neturėjo įtakos greitesniam guolio nusidėvėjimui. Šiurkštumo parametrų pokyčių kreivės dėsningumas visų guolių gamintojų panašus naudojant tas pačias alyvas. Taigi apibendrinant, žinant guolių kainas, galima teigti, kad kaina nebūtinai atitinka ilgaamžiškumą. Mažiausias skirtumas kainos tarp „Koyo“ ir „Timken“ guolių, o rezultatai aukščio pokyčio praktiškai dvigubai didesni. Tai lyginant šiuos du guolių gamintojus patartina rinktis „Timken“ guolius, taip bus išleista maždaug 20 procentų daugiau pinigų, bet guolis tarnaus apie 40 procentų ilgiau. „SKF“ guolio gamintojas pasirodė praktiškai taip pat kaip „Timken“, t.y. guolių dilimo rodiklių rezultatai gauti tokie pat (ΔH skirtumas iki 25%), nors ir pradiniai parametrai „SKF“ guolio gamintojo atrodė geresni (pradiniai šiurkštumo parametrai mažesni iki 55%), o šio gamintojo („SKF“) kaina didesnė 30 procentų už amerikietiško „Timken“.
 6. Taigi, esant, tokiomis tyrimo sąlygomis, kokios buvo atliekant eksperimentus rekomenduojama naudoti „Timken“ gamintojo guolius ir „Litol-24“ konsistensinį tepalą, nes žvelgiant į kainą ir gautus tyrimo rezultatus yra racionaliausias pasirinkimas.

Literatūra

1. „Fundamental Study on Preload Loss in Tapered Roller“. [žiūrėta 2019.05.11]. Prieiga per internetą: https://www.jstage.jst.go.jp/article/trol/11/2/11_326/pdf
2. Masionis A. „Tepalo rūšies ir markės įtaka kūginių guolių trinties proceso rodikliams tyrimas“. Magistro baigiamasis darbas. KTU, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas, TK, 2017-47 p.
3. Padangos skersmens skaičiuoklė. [žiūrėta 2019.05.11]. Prieiga per internetą: <http://www.rataivisiems.com/padangu-dydziu-skaiciuokle>
4. Kia Rio automobilio specifikacija. [žiūrėta 2019.05.11]. Prieiga per internetą: <https://www.carfolio.com/specifications/models/car/?car=223542>
5. D.Vaičiulis. „Velenų atramų projektavimas“ [žiūrėta 2019.05.11]. Prieiga per internetą: <http://www.mechanikosinzienerius.lt/wp-content/uploads/2015/08/me2-12.pdf>
6. „Timken“ guolio parametrai. [žiūrėta 2019.05.11]. Prieiga per internetą: <http://hindi.balljointbearings.com/sale-1891383-large-stock-single-row-tapered-roller-bearings-with-jl-69349-a-310-q.html>
7. Raymond A., Guyer Jr. „Rolling bearing handbook and troubleshooting guide“. [žiūrėta 2019.05.11]. Prieiga per internetą: <https://books.google.lt/books?id=iIalJ6CcooMC&pg=PA83&lpg=PA83&dq=bearing+a23+coefficient&source=bl&ots=tk6pJpgUm2&sig=ACfU3U3M0a4oe9uNVHHDauJZTK2X5ezc5w&hl=lt&sa=X&ved=2ahUKEwigmbSymKDgAhXUhKYKHZZFCZMQ6AEwAnoEACAcQAQ#v=onepage&q&f=false>
8. „Koyo“ guolio parametrai. [žiūrėta 2019.05.11]. Prieiga per internetą: <https://www.noc.ua/online-catalog-bearings/itemdescriptionopen.html?bearing=2b68440d351552042d745f765d755570685f&title=HI-CAP+JL+69349%2F10>
9. „SKF“ guolio parametrai. [žiūrėta 2019.05.11]. Prieiga per internetą: <https://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/roller-bearings/tapered-roller-bearings/single-row-tapered-roller-bearings/single-row/index.html?designation=JL%2069349/310>
10. „Litol-24“ tepalo specifikacija. [žiūrėta 2019.05.11]. Prieiga per internetą: <https://www.arsada.lt/alyvos-ir-tepalai/tepalas-litol-24/>
11. „Pemco 80w90“ alyvos specifikacija. [žiūrėta 2019.05.11]. Prieiga per internetą: <https://aransa.lt/Pemco-iPOID-589-80W-90-GL-5->
12. „Pemco 10w40“ alyvos specifikacija. [žiūrėta 2019.05.11]. Prieiga per internetą: <https://aransa.lt/Pemco-iDRIVE-210-10W-40>

Priedai

Profilometro „Garant ST1“ išduodamo duomenų lapelio pavyzdys:



69 pav. Profilometro duomenų lapeliai