

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS**

Andrius Masilionis
**TEPALO RŪŠIES IR MARKĖS ĮTAKA KŪGINIŲ GUOLIŲ
TRINTIES PROCESO RODIKLIAMS**

Baigiamasis magistro darbas

Vadovas

Doc. dr. Danas Garuckas

PANEVĖŽYS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

**PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS
TECHNOLOGIJŲ KATEDRA**

TVIRTINU

Katedros vedėjas
(parašas) Doc. dr. Arūnas Tautkus
(2015-06-03)

**TEPALO RŪŠIES IR MARKĖS ĮTAKA KŪGINIŲ GUOLIŲ
TRINTIES PROCESO RODIKLIAMS**

Baigiamasis magistro darbas
Transporto inžinerija (kodas M5036N24)

Vadovas

(parašas) Doc. dr. Danas Garuckas
(2015-06-03)

Recenzentas

(parašas) Doc. dr.
(data)

Projektą atliko

(parašas) Andrius Masilionis
(2017-06-01)

PANEVĖŽYS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Panevėžio technologijų ir verslo

(Fakultetas)

Andrius Masilionis

(Studento vardas, pavardė)

Transporto priemonių inžinerija, M5036N24

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Tepalo rūšies ir markės įtaka kūginių guolių trinties proceso rodikliams tyrimas“
AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2017 m. gegužės 31 d.

Panevėžys

Patvirtinu, kad mano, **Andriaus Masilionio**, baigiamasis projektas tema „Tepalo rūšies ir markės įtaka kūginių guolių trinties proceso rodikliams 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)

TVIRTINU:

KTU Panevėžio technologijų ir verslo fakulteto
Technologijų katedros vedėjas

20..... ..

BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota studentui: Andriui Masilioniui Grupė PMT-5
1. Darbo tema:
Lietuvių kalba: Tepalo rūšies ir markės įtaka kūginių guolių trinties proceso rodikliams
Anglų kalba: Research of lubricant type and brand influence to the friction process parameters of tapered bearings

Patvirtinta 20__ m. _____ mėn. _____ d. dekanu potvarkiu Nr. _____

2. Darbo tikslas: Ištirti apkrovos ir tepalo rūšies įtaką kūginių guolių trinties proceso rodikliams: šiurkštumo parametrus Ra, Rz, Rzmax, guolio nudilimui ΔH.

3. Reikalavimai ir sąlygos: Kūginis guolis: JL69349-JL69310. Matmenys: □40/□28/17 mm. Tepimas: AutolTop 2000, Pemco 80w90, Pemco 10w40 ir Pemco 80w90. Bandyto stendo apsisukimai pagal automobilio charakteringus eksploatacijos greičius.

4. Projekto struktūra. Turinys konkretizuojamas kartu su vadovu, atsižvelgiant į BP pobūdį.

Įvadas. 1. Literatūros šaltinių apžvalgos skyrius. 2. Tyrimo metodikos ir sąlygų skyrius. 3. Tyrimo rezultatų skyrius. 4. Rezultatų analizės skyrius. Literatūros sąrašas. Priedai (jei reikalinga).

5. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo projekto dalis.

6. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas

Užduotį gavau: Andrius Masilionis _____ (data)
(studento vardas, pavardė, parašas) _____ (data)
Vadovas: Doc. dr. Danas Garuckas _____ (data)
(pareigos, vardas, pavardė, parašas) _____ (data)

TURINYS

TURINYS.....	5
ĮVADAS.....	8
1.LITERATŪROS APŽVALGA.....	10
1.1.Kaizerlauteno mašinų elementų instituto bei Klauštaliao – Zelerfieldo tribulogijos instituto bendradarbių tyrimas.....	10
1.2.Guolių trinties procesų tyrimas KTU Panevėžio technologijų ir verslo fakultete, Autorius A. Kriščiūnas.....	11
1.3.Guolių trinties procesų tyrimas KTU Panevėžio technologijų ir verslo fakultete, Autorius J. Prunskus.....	13
2.KŪGINIŲ GUOLIŲ TYRIMO METODIKA.....	15
2.1.Guolio bandymo stendo apsisukimų ir apkrovų nustatymas.....	15
2.2.Bandymų trukmės ir stabdymo laiko etapų matavimams nustatymas.....	16
2.3.Tyrimo sąlygos.....	18
3.TYRIMO REZULTATAI.....	23
4. Rezultatų analizė.....	34
4.1 Guolių trinties proceso rodiklių analizė, pagal alyvos, tepalo markę.....	34
4.2 Trinties rodiklių analizė pagal tyrime naudotų alyvų bei tepalų kainą.....	37
4.3 Visų tyrime naudotų tepalų bei alyvų trinties rodiklių analizė.....	40
4.4. Tyrimo analizė.....	44
IŠVADOS.....	45
LITERATŪRA.....	46

Masilionis Andrius. Tepalo rūšies ir markės įtaka kūginių guolių trinties proceso rodikliams. Magistro baigiamasis projektas / vadovas dr. Danas Garuckas; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Technologijos mokslų srities Transporto inžinerijos mokslo kryptis.

Reikšminiai žodžiai: *kūginis guolis, trintis, sukimosi greitis, alyvos, nudilimas, šiurkštumas.*

Panevėžys, 2017.47 p.

SANTRAUKA

Baigiamasis darbas apima kūginių guolių dėvėjimosi kriterijų apžvalgą ir tyrimą, siekiant nustatyti dėvėjimosi kriterijų priklausomybes. Sukimosi greitis, skirtingos tepimui naudotos alyvos, tepalai – faktoriai, lemiantys dėvėjimosi intensyvumą. Atlikto tyrimo metu duomenys apdoroti ir klasifikuoti, pateikti tyrimo rezultatai. Tyrimo metu siekta detaliai ištirti tepimo plėvelės poveikį trinties porai. Išvadose pateikiama statistinių duomenų apžvalga.

Masilionis, Andrius. Research of Lubricant Type And Brand Influence To The Friction Process Parameters Of Tapered Bearings: *Master's* thesis in supervisor dr. Danas Garuckas. Panevėžys Faculty of Technology and Business, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Transport engineering

Key words: friction, bearing, tapered bearing, oil, grease.

Panevėžys, 2017. 47 p.

SUMMARY

The final thesis includes a review and investigation of the criteria of tapered bearing wear and seeks to determine the interdependencies of the wear. Factors affecting the intensity of wear are rotational speed, different lubricating oils and greases.

The carried out research presents processing and classification of data, and final results of the investigation. During the research the effect of lubricating film on friction was investigated. The conclusions give the review of the statistical data.

IVADAS

Lietuvos autotransporto parkas yra ganėtinai senas. Dauguma gyventojų gaunančių vidutines pajamas neišgali nusipirkti naujo automobilio, todėl perka vakarų šalyse jau vidutiniškai penkis – dešimt metų eksploatuotus automobilius. Jie neretai genda, juos tenka dažnai remontuoti. Į šiuos automobilius gaminant dedami nauji, pažangūs techniniai mazgai, kurie ne visada yra aukštos kokybės, nes geros kokybės detalės yra pakankamai brangios, brangus ir jų projektavimas. Keisti visus mazgus aukštos kokybės naujais mazgais finansiškai neapsimoka. Todėl montuojami ekonomiškai apsimokančios kokybės detalės, kurių ilgaamžiškumas yra abejotinas. Tai lemia, jog intensyvėja gamtinių resursų naudojimas, o išmontuoti mazgai ir detalės kaupiasi ir, galima teigti, netinkamai juos utilizuojant ar perdirbant užteršia aplinką. Autoserviso atliekų utilizavimui ar perdirbimui reikalingos papildomi finansiniai resursai, investicijos. Siekiant saugoti aplinką ir sumažinti gamtinių išteklių naudojimą siekiama prailginti automobilių mazgų eksploatacijos laiką. Tai priklauso nuo eksploatacijos sąlygų, mazgo ar jo detalių medžiagų, jų tarpusavio sąveikos ir darbinio kontakto kokybės. Detalių dilimas, dirbančių trinties poroje priklauso nuo kontaktuojančių detalių medžiagų, apkrovos dydžio ir krypties, tepimo, aplinkos temperatūros, pačios aplinkos kurioje dirba nagrinėjama detalė. Kai turima tiek nemažai faktorių įtakančių kažkokio mazgo darbingumą, našumą ir ilgaamžiškumą, yra pakankamai sunku tiksliai nustatyti mazgo tarnavimo laiką. Norint pasiekti kuo ilgesnį mazgo tarnavimo laiką, reikia atlikti daug eksperimentų, tyrimų ir sukaupti daug žinių [1, 2], kad pateikti konkrečiam atvejui koks turi būti panaudotas mazgas, pavyzdžiui, guolis; koks turi būti jo tepimas esant konkrečiomis darbo sąlygomis ir aplinkos poveikiui. Šio darbo tikslas ir uždaviniai yra išsiaiškinti kaip dilimo procesą įtakoja kūginio guolio apkrova, alyvos bei tepalo rūšis. Visa tai turėtų leisti sumažinti detalių poreikį, bei eksploatacines išlaidas, taupyti ir tausoti gamtinius išteklius.

Projekto tikslas: Ištirti sukimosi greičio ir tepalo rūšies įtaką kūginių guolių trinties proceso rodikliams: šurkštumo parametrąs R_a , R_z , R_{max} , guolio nudilimui ΔH . Ištirti skirtingų alyvų bei tepalų įtaką guolio dilimo procesui..

Projekto uždaviniai:

1. Apžvelgti literatūros šaltinius, tiriančius tribologinius uždavinius detalių ir mazgų dilimui mažinti, eksploatacijos trukmei ilginti. Atlikti literatūros analizę.
2. Nusistatyti guolio bandymo sąlygas ir metodiką.
3. Atlikti kūginio guolio (-ių) eksperimentinius bandymus prie skirtingų apsisukimų, esant skirtingam tepalui ar alyvai, , kai guolio apkrova yra pastovi. Eksperimento metu užfiksuoti dilimo parametrų reikšmes.

Projekto aktualumas. Automobilių detalių, šiuo konkrečiu atveju kūginio guolio, teisingas eksploatacijos sąlygų įvertinimas (apkrovos, tepimas, temperatūra), tinkamo darbinių paviršių tepimo užtikrinimas leidžia prailginti eksploatacijos laiką, taupo pinigus ir tausoja aplinką. Šiuo metu, kai automobilių skaičius Lietuvoje yra labai didelis, šeimos ūkiai 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.

Projekto aprobavimas. Magistro baigiamojo projekto pagrindu perskaitytas pranešimas studentų mokslinių darbų konferencijoje „Technologijų ir verslo aktualijos 2017“ bei publikuotas straipsnis šios konferencijos leidinyje:

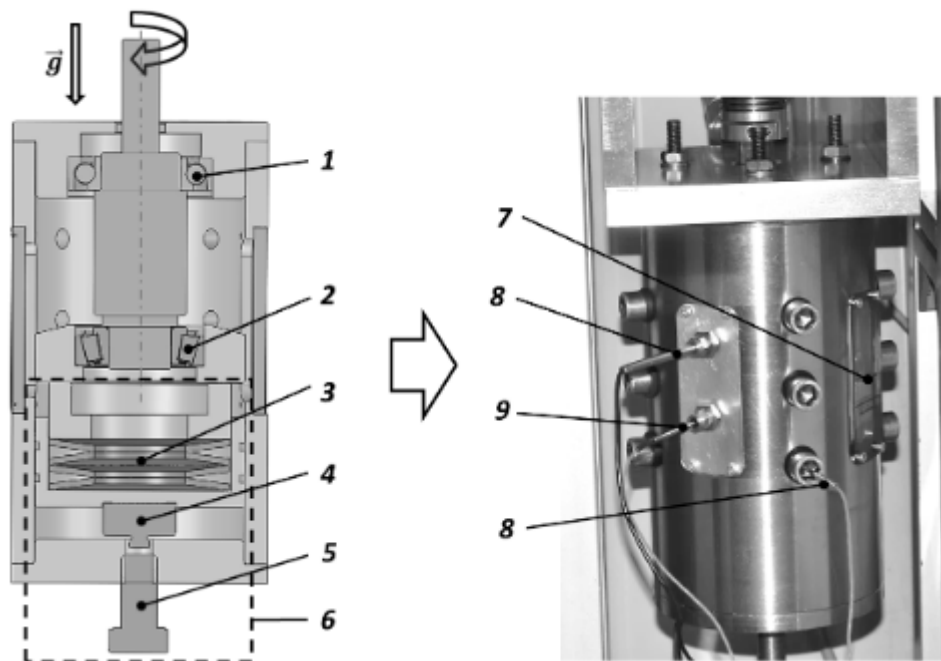
Masilionis A., Garuckas D., Tepalo rūšies ir markės įtaka kūginių guolių trinties proceso rodikliams. *SMD konferencijos „Technologijų ir verslo aktualijos 2017“ medžiaga.*

Panevėžys, PTVF. – 2017.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

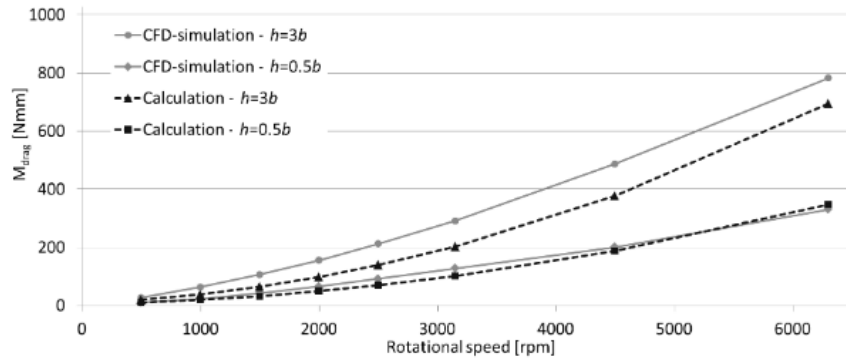
1.1. *Kaizerlauteno mašinų elementų instituto bei Klauštaliao – Zelerfieldo tribulogijos instituto bendradarbių tyrimas*

Nemažai įvairių tyrimų atliekama riedėjimo guolių srityje. Vienas iš tokių tiriamųjų darbų Atliktas dviejų institutų bendradarbių: Kaizerlauteno mašinų elementų instituto bei Klauštaliao – Zelerfieldo tribulogijos instituto [2], bandant nustatyti alyvos kiekio, pačios alyvos vonelės formos poveikį kūginio guolio dėvėjimuisi. Kūginiai guoliai buvo bandomi tose pačiose sąlygose, keičiant pradinį alyvos kiekį, naudojamą sutepti guolį, keičiant pačios alyvos vonelės formą, bei bandant eksperimento rezultatus pakartoti naudojant kompiuterinę simuliaciją.. Kiekvieno bandymo metu buvo naudojama ta pati apkrova, kadangi buvo keičiamas alyvos kiekis, alyvos vonelės forma. Tyrimo metu taip pat buvo matuojami viskoziniai alyvos parametrai. Tyrimo atlikti buvo naudojamas specialus stendas pavaizduotas pav.:

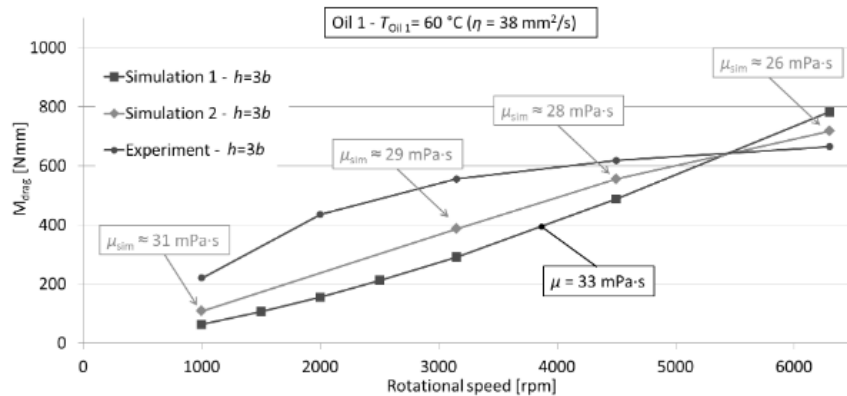


1.1 Pav. Tyrimui naudotas stendas. 1 – atraminis guolis, 2 – bandomas guolis, 3 – diskinė spyruoklė, 4 – jėgos jutiklis, 5,6 – ašinės apkrovos varžtas, 7 – stebėjimo skydelis, 8 – alyvos vonelės temperatūros jutikliai, 9 - bandomojo guolio temperatūros jutiklis

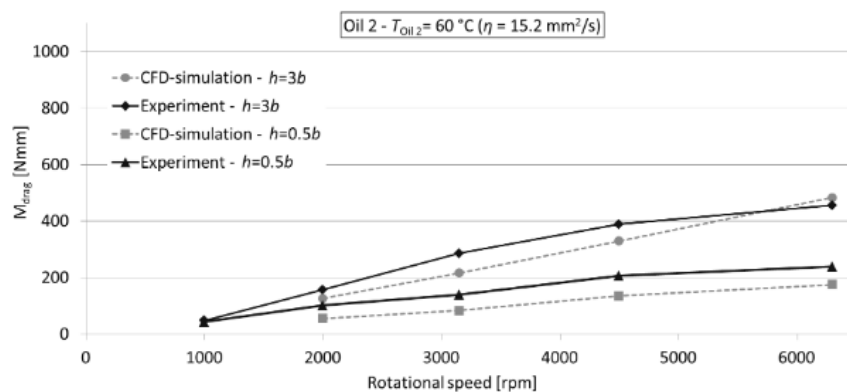
Panaudojant metodą kompiuterizuotą skysčių dinamikos tyrimo metodą, bei naudojant analoginę SKF kompanijos metodiką autoriai gavo tokias kreives:



1.2 Pav. Analitiniu ir simuliaciniu būdu gautos kreivės
Taip pat buvo tirtas alyvos putojimas, kai keičiasi guolio sūkiiai:



1.3 Pav. Eksperimentu metu ir simuliacijos metu gauto kreivės pirmai alyvai



1.4 Pav. Eksperimentu metu ir simuliacijos metu gauto kreivės antrai alyvai

Atlikę tyrimus su įvairiomis alyvomis, bei jų lygiu vonelėje, autoriai padarė šias išvadas:

Sukimosi greitis, alyvos klampa, ypač jos lygis vonelėje ypač įtakoja pasipriešinimo jėgą bei alyvos putojimą.

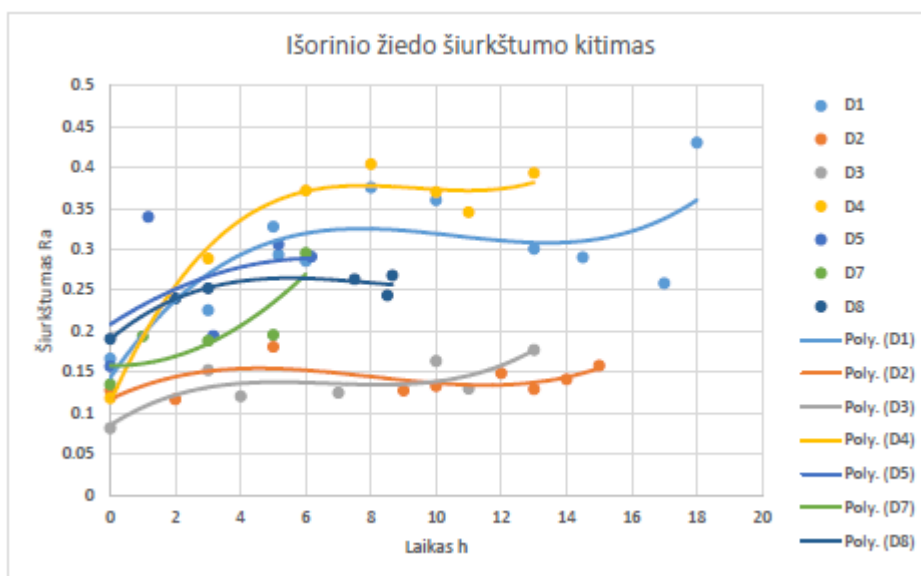
Kompiuterinė simuliacija beveik atitiko eksperimento rezultatus, kas įrodo šio metodo patikimumą.

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

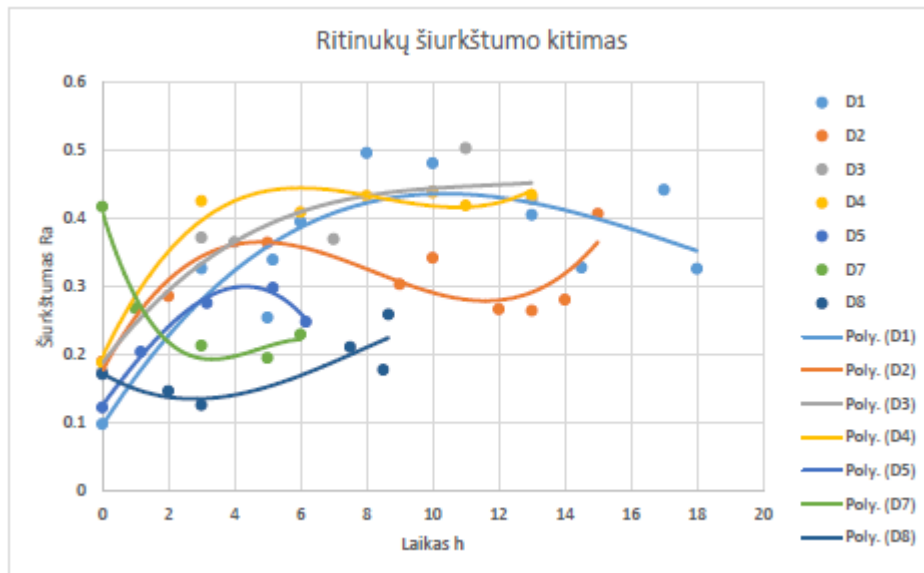
Tyrimas skirtas įvairių faktorių įtakos kūginių guolių trinčiai buvo atliktas ir KTU Panevėžio

technologijų ir verslo fakultete. Darbo tikslas buvo panagrinėti skirtingų alyvų ir revitalizacinių RVS priedų įtaką [4] guolio darbinio paviršiaus parametrui.

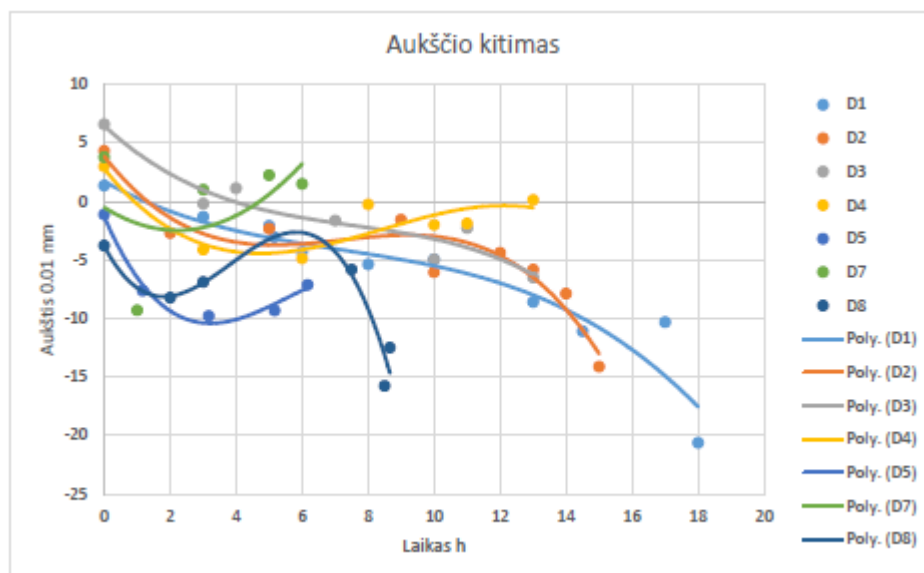
Tyrimo objektas: kūginis ritininis vienaeilis guolis JL 69349/310/Q. Tyrime dalyvavo nauji ir jau pabuvę eksploatacijoje – naudoti guoliai. Stebint guolio dilimo procesą buvo matuojami ir fiksuojami šie parametrai: guolio išorinio žiedo kūginio paviršiaus šiurkštumas pagal Ra kriterijų, ritinėlių darbinio paviršių šiurkštumas pagal Ra kriterijų, guolio aukščio matmens pokytis. Visi tyrime naudoti guoliai buvo bandomi trinties stende pastoviais 1 500 aps./min. sūkais ir pritaikant suplanuotą skirtingų alyvų tepimą. Tyrime buvo naudota 2 000 kg guolio ašine apkrova, guoliai bandomi iki jų suirimo. Guolių tiriamieji parametrai matuojami ir jų reikšmės fiksuojamos kas 3 valandas, sustabdant guolių trinties standą bei išimant guolį matavimams. Atlikus naujų ir naudotų guolių tyrimus, buvo nustatytos guolių išorinio žiedo paviršiaus šiurkštumo Ra ir guolio aukščio kitimo analogiškos priklausomybės. Nustatyta, jog didžiausias kūginių guolių resursas yra pasiekiamas naudojant didesnę klampį turinčias alyvas. Guolio valandinis resursas kito nuo 18 iki 25 valandų. Revitalizaciniai alyvų bei tepalų priedai leido padidinti naujų ir naudotų guolių resursą iki 225 000 ciklų (arba 2...3 valandų). Metalų keramikos danga ar jos užuomazgos galima spėti, jog susiformavo, tačiau greitai nunyko. Tai gali būti siejama su sunkiomis guolio bandymo sąlygomis. Tyrime pastebėta, kad revitalizacinių alyvų dangas ir jų įtaką trinties poros darbiui reikėtų tyrinėti prie žymiai mažesnių apkrovų ir apsisukimų skaičiaus per minutę, prailginant paties eksperimentolaiką.



1.5 Pav. Išorinio žiedo šiurkštumas



1.6 Pav. Guolio ritinukų šiurkštumas



1.7 Pav. Guolio aukščio kitimas

1.3 Guolių trinties procesų tyrimas KTU Panevėžio technologijų ir verslo fakultete, Autorius J. Prunskus

Kitas tyrimas atliktas KTU Panevėžio technologijų ir verslo fakultete. Darbo tikslas: Ištirti sukimosi greičio ir tepalo rūšies įtaką kūginių guolių trinties proceso rodikliams: šiurkštumo parametrus Ra, Rz, Rzmax, guolio nudilimui $_H$. Ištirti revitalizacinio tepalo priedo įtaką paviršiaus atsistatymo galimybei.

Tyrimo objektas: kūginis ritininis vienaėlis guolis TIMKEN JL69349-JL69310. Tyrime dalyvavo nauji guoliai. Stebint guolio dilimo procesą buvo matuojami ir fiksuojami šie parametrai: guolio išorinio žiedo kūginio paviršiaus šiurkštumas pagal Ra kriterijų, ritinėlių darbinių paviršių šiurkštumas pagal Ra kriterijų, guolio aukščio matmens pokytis. Visi tyrime naudoti guoliai buvo

bandomi trinties stende pastoviais 250; 500; 750; 1 000 aps./min. sūkiomis ir pritaikant suplanuotą skirtingų alyvų tepimą. Tyrime buvo naudota 2 000 kg guolio ašine apkrova, guoliai bandomi iki jų suirimo. Guolių tiriamieji parametrai matuojami ir jų reikšmės fiksuojamos kas 3 valandas, sustabdant guolių trinties stendą bei išimant guolį matavimams. Atlikus naujų ir naudotų guolių tyrimus, buvo nustatytos guolių išorinio žiedo paviršiaus šiurkštumo Ra ir guolio aukščio kitimo analogiškos priklausomybės. Nustatyta, jog didžiausias kūginių guolių resursas yra pasiekiamas naudojant didesnę klampą turinčius alyvas. Guolio valandinis resursas kito nuo 18 iki 25 valandų. Revitalizaciniai alyvų bei tepalų priedai įgalino padidinti naujų ir naudotų guolių resursą iki 225 000 ciklų (arba 2...3 valandų). Metalų keramikos danga ar jos užuomazgos galima spėti, jog susiformavo, tačiau greitai nunyko. Tai gali būti siejama su sunkiomis guolio bandymo sąlygomis. Tyrime pastebėta, kad atstatomųjų alyvų dangas ir jų įtaką trinties poros darbui reikėtų tyrinėti prie žymiai mažesnių apkrovų ir apsisukimų skaičiaus per minutę, prailginant paties eksperimento laiką.

2. KŪGINIŲ GUOLIŲ TYRIMO METODIKA

2.1. Guolio bandymo stendo apsisukimų ir apkrovų nustatymas

Tyrimas atliekamas su naujais guolių komplektais TIMKEN JL69349-JL69310. Tai yra standartiniai galinės ašies guoliai, daugeliu atvejų naudojami GM, VW koncernų gaminamuose automobiliuose. Bus įvertinta realios dažniausiai pasitaikančios automobilių eksploataavimo sąlygos ir identifikuosime pradinius duomenis, kurie reikalingi tolimesniam tyrimui atlikti.

1. Automobilio rato skersmuo:

$$d_R = 650 \text{ mm.}$$

Parenkamas atitikmuo plačiai rinkoje paplitusioms padangoms 205/60 R16, kurios montuojamos ant kompaktinės bei vidutinės klasės automobilių.

2. Aktualūs automobilio greičiai:

$$v_1 = 30 \text{ km/val. (remontuojamuose kelių ruožuose),}$$

$$v_2 = 50 \text{ km/val., (gyvenvietėse, gatvėse)}$$

$$v_3 = 70 \text{ km/val. (kituose keliuose),}$$

$$v_4 = 90 \text{ km/val. (rajoniniuose, užmiesčio keliuose),}$$

$$v_5 = 130 \text{ km/val.}$$

Greičiai parenkami, atsižvelgiant į transporto rūšį ir kelių eismo taisyklių apribojimus, t.y. šiais greičiais automobiliai eksploatuojami didžiausią ridos dalį.

3. Automobilio masė:

$$m_n = 1700 \text{ kg, (vidutinės klasės automobilis)}$$

$$m_{\max} = 2405 \text{ kg.}$$

4. Automobilio masės dalis tenkanti automobilio ašims (p - priekis; g - galas):

$$k_p = 0,7;$$

$$k_g = 0,3.$$

Skaičiuotė

1. Automobilio rato perimetras:

$$P_R = \pi \cdot d_R = 2,042 \text{ m.}$$

2. Rato apsisukimų skaičius prie įvairių greičių, aps./min.:

$$v_f = \frac{60}{1000} \cdot n_f \cdot P_r;$$

Skaičiuotini rato (guolių) apsisukimai

Rato apsisukimų eilė ir faktinis greitis

Faktiniai apsisukimai	n_f	aps./min.	250	500	750	1000	1250
Greitis	v_f	km/val.	30,63	61,26	91,89	122,52	153,15

Įvertinus aktualius automobilio greičius apskaičiuoti skaičiuotini automobilio rato apsisukimai (2.1 lentelė). Atsižvelgiant į nustatytus skaičiuotinus apsisukimus, guolių tyrimams priimama tolygi apsisukimų seka (2.2 lentelė) – faktiniai apsisukimai bei informatyvumui apskaičiuojamas faktinis automobilio greitis.

3. Faktinis automobilio greitis prie faktinių rato apsisukimų, km/val.:

Rato apsisukimai ir faktinis greitis

Faktiniai apsisukimai	n_f	aps./min.	250	500	750	1000	1250
Greitis	v_f	km/val.	30,63	61,26	91,89	122,52	153,15

Remiantis nusistatyta faktinių apsisukimų eile (2 lentelė) bus planuojamas guolių tyrimo eksperimentas. Prie 1 500 aps./min. sūkių analogiškus guolius tyrė A. Kriščiūnas [1]. Atsižvelgiant į turimus laiko resursus, bus atliekami tyrimai prie 1 000 aps./min. sūkių. Ankstesni autoriai taip pat tyrė guolius, kurie buvo veikiami žymiai mažesnės, apkrovos. Šiame tyrime bus naudojama žymiai didesnė apkrova 2F arba ~ 1050 kg.

2.2 Bandymų trukmės ir stabdymo laiko etapų matavimams nustatymas

Norint sutilpti į baigiamojo projekto laiką ir atlikti kiek įmanoma daugiau eksperimentų ir matavimų, atskirų guolių bandymams yra įvesti tam tikri apribojimai. Kiekvienas iš tiriamų guolių turės būti išbandomas nemažiau kaip 2 mln. ciklų, tai reiškia turės apsisukti apie savo ašį tiek kartų. Norint palyginti atskirų guolių dilimo charakteristikas, kurios bus matuojamos periodiškai, bus nustatytas vienodas ciklų skaičius, kurį pasiekus guolio bandymo stendas bus stabdomas ir atliekami išmontavimo, plovimo, matavimo, vizualinės apžiūros, fotografavimo darbai. Po to guolis bus vėl sumontuojamas atgal į stendą ir eksperimentas pratęsiamas. Tarpiniams matavimams numatytas laiko momentas kas 300 000 apsisukimų. Toks apsisukimų skaičius buvo naudotas ir ankstesniuose tyrimuose. Siekiant, jog paprasčiau būtų identifikuoti aktualūs laiko momentai, sudaryta bandymų trukmės lentelė, kurioje guolių bandymų laikas susietas su apsisukimų skaičiumi (3 lentelė). Aktualūs laiko momentai šioje lentelėje yra išskirti įvairiomis spalvomis ir lentelės

skilties ryškesniu įreminimu. Kad lengviau būtų pasirinkti apsisukimų skaičius susietas ir su darbo dienų skaičiumi, nes eksperimentas buvo vykdomas tik darbo dienomis ir tik darbo valandomis.

1.3 lentelė

Guolių apsisukimų skaičiaus sąsaja su eksperimento laiku

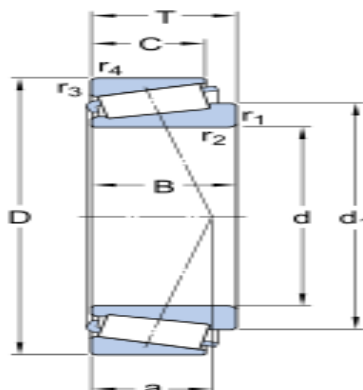
Laikas min.	Apsisukimų skaičius per minutę									
	250	500	750	1000	1250	1500	300			
05 min.	1250	2500	3750	5000	6250	7500	1500			
10 min.	2500	5000	7500	10000	12500	15000	3000			
15 min.	3750	7500	11250	15000	18750	22500	4500			
1	15000	30000	45000	60000	75000	90000	18000			
2	30000	60000	90000	120000	150000	180000	36000			
3	45000	90000	135000	180000	225000	270000	54000			
4	60000	120000	180000	240000	300000	360000	72000			
5	75000	150000	225000	300000	375000	450000	90000			
6	90000	180000	270000	360000	450000	540000	108000			
7	105000	210000	315000	420000	525000	630000	126000			
8	120000	240000	360000	480000	600000	720000	144000			
9	135000	270000	405000	540000	675000	810000	162000			
10	150000	300000	450000	600000	750000	900000	180000			
11	165000	330000	495000	660000	825000	990000	198000			
12	180000	360000	540000	720000	900000	1080000	216000			
13	195000	390000	585000	780000	975000	1170000	234000			
14	210000	420000	630000	840000	1050000	1260000	252000			
15	225000	450000	675000	900000	1125000	1350000	270000			
16	240000	480000	720000	960000	1200000	1440000	288000			
17	255000	510000	765000	1020000	1275000	1530000	306000			
18	270000	540000	810000	1080000	1350000	1620000	324000			
19	285000	570000	855000	1140000	1425000	1710000	342000			
20	300000	600000	900000	1200000	1500000	1800000	360000			
25	375000	750000	1125000	1500000	1875000	2250000	450000			
30	450000	900000	1350000	1800000	2250000	2700000	540000			
35	525000	1050000	1575000	2100000	2625000	3150000	630000			
40	600000	1200000	1800000	2400000	3000000	3600000	720000			
45	675000	1350000	2025000	2700000	3375000	4050000	810000			
50	750000	1500000	2250000	3000000	3750000	4500000	900000			
55	825000	1650000	2475000	3300000	4125000	4950000	990000			
60	900000	1800000	2700000	3600000	4500000	5400000	1080000			
65	975000	1950000	2925000	3900000	4875000	5850000	1170000			
70	1050000	2100000	3150000	4200000	5250000	6300000	1260000			
75	1125000	2250000	3375000	4500000	5625000	6750000	1350000			
80	1200000	2400000	3600000	4800000	6000000	7200000	1440000			
85	1275000	2550000	3825000	5100000	6375000	7650000	1530000			
90	1350000	2700000	4050000	5400000	6750000	8100000	1620000			
95	1425000	2850000	4275000	5700000	7125000	8550000	1710000			
100	1500000	3000000	4500000	6000000	7500000	9000000	1800000			
200	3000000	6000000	9000000	1,2E+07	1,5E+07	1,8E+07	3600000	40,0	25,0	20,0
300	4500000	9000000	1,4E+07	1,8E+07	2,3E+07	2,7E+07	5400000	60,0	37,5	30,0
400	6000000	1,2E+07	1,8E+07	2,4E+07	3,0E+07	3,6E+07	7200000	80,0	50,0	40,0
500	7500000	1,5E+07	2,3E+07	3,0E+07	3,8E+07	4,5E+07	9000000	100,0	62,5	50,0
1000	1,5E+07	3,0E+07	4,5E+07	6,0E+07	7,5E+07	9,0E+07	1,8E+07	200,0	125,0	100,0
2000	3,0E+07	6,0E+07	9,0E+07	1,2E+08	1,5E+08	1,8E+08	3,6E+07	400,0	250,0	200,0
3000	4,5E+07	9,0E+07	1,4E+08	1,8E+08	2,3E+08	2,7E+08	5,4E+07	600,0	375,0	300,0
val.	Ciklų skaičius, vnt.									

2.3 Tyrimo sąlygos

Tyrimas vykdomas su naujais guolių komplektais TIMKEN JL69349-JL69310 (2.1 pav)..

Matmenys

pagal TIMKEN pateikti lentelėje:



2.1. pav. Guolio schema

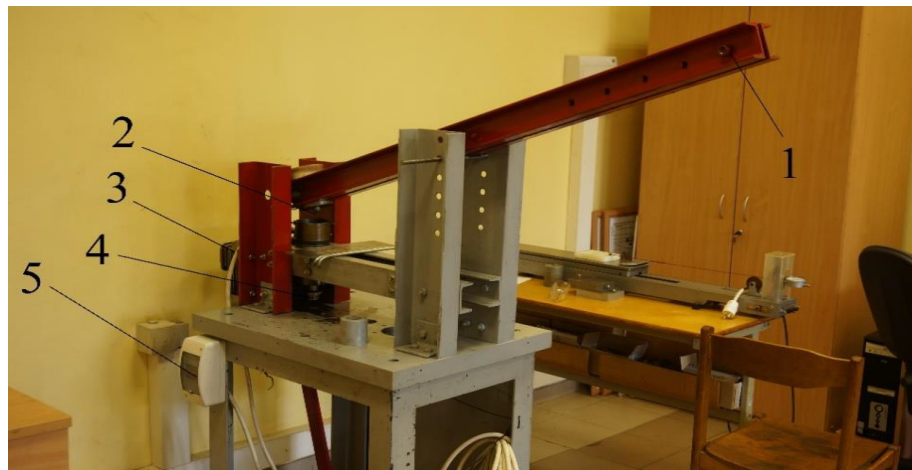
2.1 lentelė

Guolio matmenys:

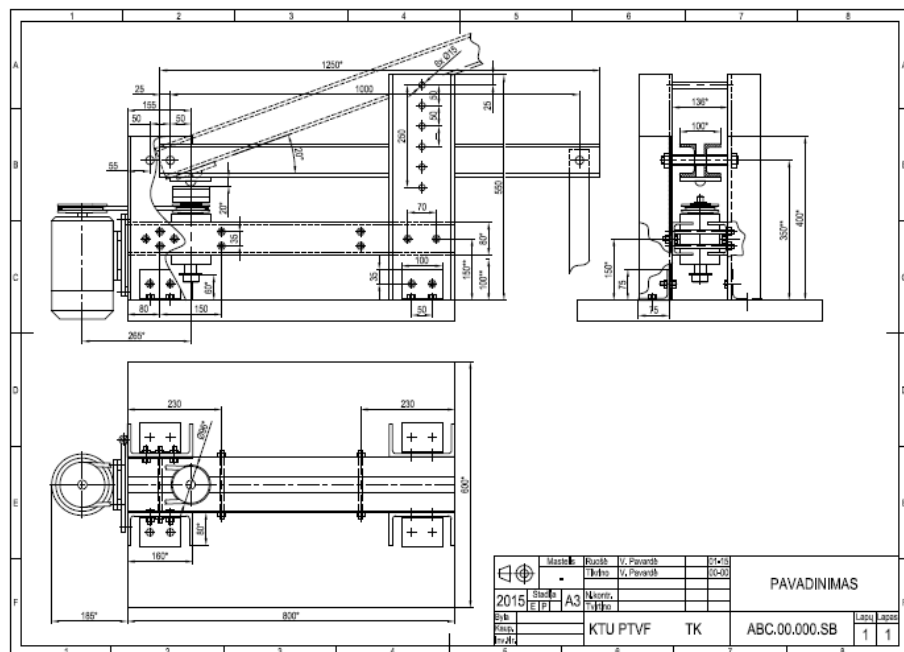
Žymuo	Reikšmė, mm
D	63
d	38
T (arba H)	17

Tiriamųjų guolių trinties parametrai kurie bus stebimi: (Ra), jo nudilimui įvertinti. Guolio darbinių paviršiaus šiurkštumui įvertinti bus matuojamas guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus, kuriuo rieda jo ritinėliai, šiurkštumo matavimu skersai jų riedėjimo trajektorijos. Guolio aukščio pokytis ΔH bus matuojamas nuo pradinio guolio aukščio t.y. guolio aukščio prieš pradėdant jo tyrimą.

Guolių tyrimai bus atlikti naudojantis KTU Panevėžio technologijų ir verslo fakultete sukonstruotą ir pasigamintą standą, skirtą guolių savybėms tirti (2.2 pav.). Tyrimams standas buvo modifikuotas jo elektros grandinėje įdiegus dažnių keitiklį, kuris skirtas guolių sukimosi dažniui n nustatyti ir reguliuoti.



2.2 pav. Tribologinis stendas. 1 – Apkrovos tvirtinimo vieta, 2 – Jėgos pridėties taškas, 3 – elektros variklis, 4 – guoliavietė; 5 – jungiklis su saugikliais.



2.3 Pav. Tribologinio stendo brėžinys

Atsižvelgiant į tai kad eksploatuojamų lengvųjų automobilių, kuriuose naudojami šie guoliai: JL69349 ir JL69310 apkrovas esant apkrautam automobiliui ir tai jog anksčiau jau buvo atliktas tyrimas kai apkrova buvo priimta F, dabar bus naudojama žymiai didesnė apkrova 2F. Ši apkrova bus pastovi tiriant visus tyrime naudojamus guolius.

1. Guolio sukimosi greitis pastovus t.y. 1000 aps/min.
2. Bus naudojamos įvairios alyvos bei tepalai Autol Top 2000, transmininė alyva „Pemco 80w90“ arba variklinė alyva „Pemco 10w40“, „CASTROL 10w40“, „Shell Helix HX7 10w40“ bei tiršti tepalai: grafitinis, Autol TOP-2000 bei Litol-24.

Tyrimo duomenys taip pat bus sugrupuoti ir pagal alyvos ar tepalo kainą. Konkrečios tyrime naudotų alyvų kainos pateikiamos lentelėje:

Tyrime naudojamų alyvų kainos

	Kaina, €	1 l kaina, €
Castrol 10W-40	6,25 už 1 l [9]	6,25
Pemco 10 W-40	4,35 už 1 l [10]	4,35
Shell Helix 10W-40	6,95 už 1 l [11]	6,95
	Kaina	1 l kaina, €
Mannol 80W-90	3,45 už 1 l [13]	3,45
Pemco 80W-90	4,6 už 1 l [12]	4,6
Valvoline 80W-90	5,01 už 1 l [14]	5,01
	Kaina	1 kg kaina, €
Grafitinis tepalas	3,04 už 0,8 kg [6]	3,8
Autol TOP 2000	4,68 už 0,4 kg [8]	11,7
Litol - 24	6,05 už 0,8 kg [7]	7,56

Taigi pigiausios alyvos ir tepalai yra šie: Pemco 10W-40, Mannol 80W-90, grafitinis tepalas. Vidutinė kaina šių: Castrol 10W-40, Pemco 80W-90, bei tepalo Litol – 24. Brangiausi: Shell Helix 10W-40, Valvoline 80W-90, Autol Top 2000.

Kontrolės metodika ir priemonės.

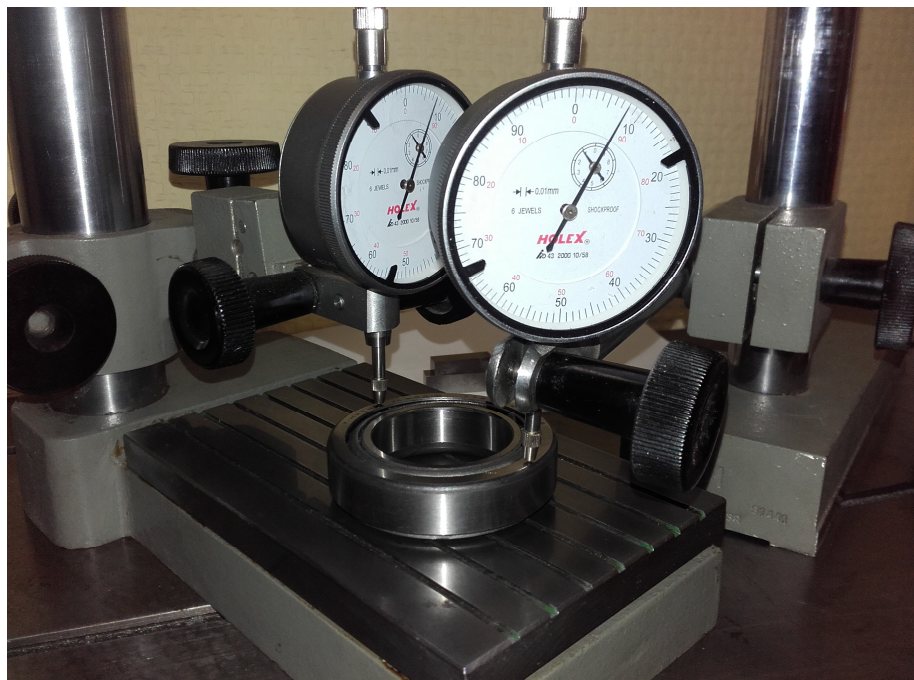
Šiurkštumas bus matuojamas profilometru Garant ST1 (2.4 pav.), guolio aukščio pokytis bus matuojamas dviem laikrodiniais indikatoriais Horex ant matavimo stalielio.



2.4. Pav. Profilometras Garant ST1



2.5 pav. Guolio išorinio žiedo paviršiaus šiurkštumo matavimas



2.6 Pav. Guolio darbinio žiedo aukščio pokyčio matavimas

Guoliai bus bandomi ne mažiau kaip 3 mln ciklų. Guolių parametrų matavimai bus atliekami kas 300000 ciklų. Atliekant matavimus tribologinis stendas sustabdomas, guolis išmontuojamas išplaunamas, sausai nuvalomas.

Tuo metu guoliavietėje esantis tepalas nekeičiamas. Po matavimų guolis sumontuojamas atgal ir eksperimentas tęsiasi. Visi matavimų duomenys fiksuojami matavimo kortelėse. Vienam guoliui atliekama iki 1m kontrolės operacijų ir pildoma iki 10 kontrolės kortelių.

Tyrimo planas. Tyrimui atlikti sudaromas skirtingų alyvų bei tepalų planas –matrica. Kiekvienam guoliui numatomas konkretus tepalas ar alyva. Alyvų bei tepalų matrica pateikta 5-oje lentelėje:

2.3 lentelė

Guolių eksperimentinio tyrimo sąlygų matrica.

Guolis Tepimas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Autol Top 2000				•					
Agrinol Grafitinis								•	
Pemco 80w90		•							
Manol 80w90					•				
Valvoline 80W-90	•								
Pemco 10W-40							•		
Castrol 10W-40			•						
Shell 10W-40									•
Litol-24						•			

3. TYRIMO REZULTATAI

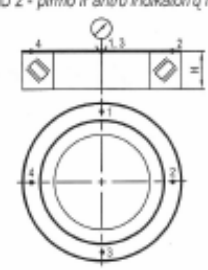

Tyrimo metu nustatyta šiurkštumo parametrų Ra, Rz ir Rmax bei guolio aukščio ΔH kitimo priklausomybė nuo bandomo guolio bandymo laiko. Laiko skalė atvaizduota matavimo etapų, kurie sutartinai pažymėti ID, numeracijos eile. Guolio bandymo laikas tarp dviejų matavimo etapų yra 300 000 ciklų. Bandymo metu kiekvienam iš bandinių pildomos kontrolės kortelės, kuriose fiksuojami matavimo ciklų duomenys, pastabos. Pateikiami vieno iš eksperimente naudotų bandinių KG06 kontrolės kortelių pavyzdžio fragmentai (3.1 ir 3.2 pav.).

Na.6 2017-03-24

1		2		3			4	
Bandyto sąlygos	Bandinio Nr.	Na.6			Planas:	min 3 min. ciklų		
	Alyva	detal-24		Bandymo trukmė	ciklais			
	Alyvos priedas			Matavimų periodas	ciklais	~300 000		
	F _r apkrova	kg	510					
	Stendo apkrova	kg	1020					
	Apsisukimai	aps/min	1000					
Kontrolės sąlygos								
Eksperimento eigos laiko kontrolė								
	Data	Paleista	Išjungta	Trukmė	Matav. kortel. Nr.	Etapo ciklų skaičius	Suminis ciklų skaičius	Trukmė
	2017-03-24	11:15	16:15	1	1	10.000		1
	2017-03-25	8:50	13:50	6		300.000		6
	2017-03-28	8:45	9:45	1	2	60.000	420.000	2
	2017-03-28	16:45	16:45	2		120.000		9
	2017-03-29	8:55	13:40	4:45	3	240.000	120.000	13:45
	2017-03-29	16:05	16:45	1:40		100.000		
	2017-03-30	8:55	14:00	5:05	4	305.000	1.230.000	14:30
	2017-03-30	15:05	17:10	2:05		120.000		
	2017-03-31	8:55	14:05	5:10	5	310.000	1.665.000	17:45
	2017-03-31	15:00	17:30	2:30		120.000		
	2017-04-01	8:45	13:20	4:35	6	240.000	2.090.000	34:20
	2017-04-04	10:30	16:10	5:40		340.000		
	2017-04-05	8:50	9:50	1:00	7	60.000	2.490.000	41:30
	2017-04-05	11:45	16:30	5:05		305.000		
	2017-04-06	8:50	11:35	1:45	8	60.000	2.900.000	48:20
	2017-04-06	11:20	16:50	5:30		330.000		
	2017-04-07	8:50	11:30	2:30	9	150.000	3.340.000	56:20
Viso:					Viso:			
Suminis valandų skaičius								
Pastabos / Komentarai / Išvados:								
		Mastelis	Ruošė					
			Tikrino					
2017	Stadija	A4	N.kontr.					
			Tvirtino					
Byla							Lapų	Lapes
Kaup.	KTU PTVF							
Inv.Nr.								

3.1 pav. Kontrolinės kortelės tyrimo ID ciklų suvestinė.

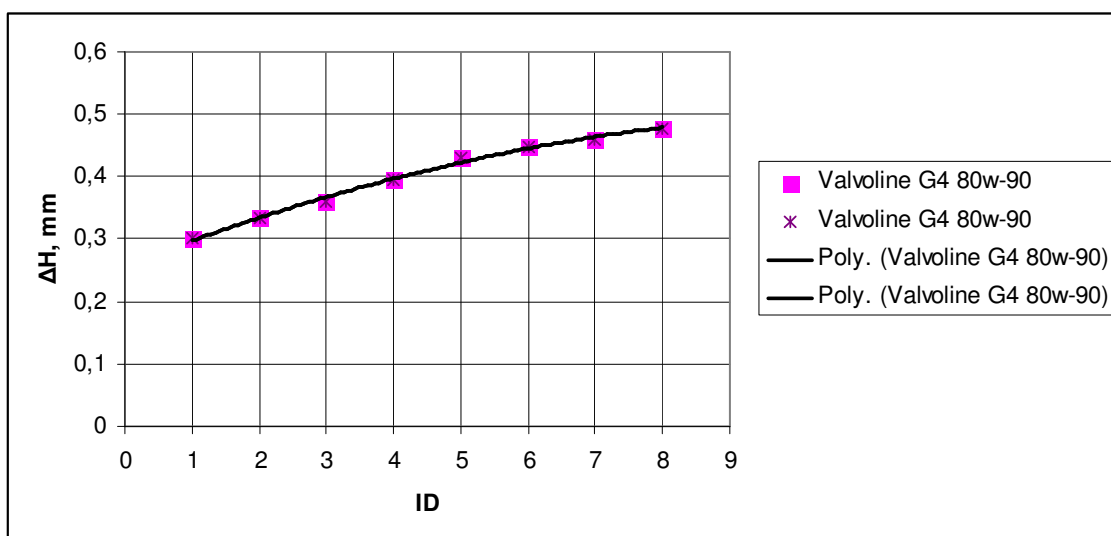
2017-03-24 Lėnao 603

1		2		3		4			
Bandymo sąlygos	Bandinio Nr.	41.6		Data:	Planas: min 3 min. ciklų				
	Alyva	difer-24		Bandymo trukmė	ciklais —				
	Alyvos priedas			Matavimų periodas	ciklais —				
	F _r apkrova	kg	510	Band. etapo trukmė	val. —				
	Stendo apkrova	kg	1020	Suminė band. trukmė	val. —				
	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
Etaloninis aukštis H mm 17,00				1 taškas					
				36	114		0,183	1,55	3,20
				64	87		0,163	1,24	1,03
				63	87		0,155	1,25	1,04
2 taškas				65	85		0,154	1,34	1,81
				67	83		0,157	1,26	1,28
				63	87		0,126	1,00	1,06
				72	77		0,119	1,05	1,34
3 taškas				71	79		0,149	1,00	1,36
				66	81		0,160	1,02	1,15
3 taškas				60	90		0,134	1,08	1,16
				61	88		0,135	1,01	1,16
				60	90		0,121	0,98	1,23
				61	87		0,135	1,06	1,23
4 taškas				68	83		0,172	1,50	2,23
				64	82		0,139	1,00	1,60
				63	85		0,139	1,22	1,64
Pastabos: 74, 65, 62, 5 (H)				ΔH	Ra	Rz	Rmax		
				\bar{x}					
				S					
				\bar{x} - vidurkis					
				S - vidutinė kvadratinė nuokrypa					
		Mastelis	Ruošė						
			Tikrino						
2017	Stadija	A4	N.kontr.						
			Tvirino						
Byla							Lapų	Lapas	
Kaup.									4
Inv.Nr							KTU PTVF		

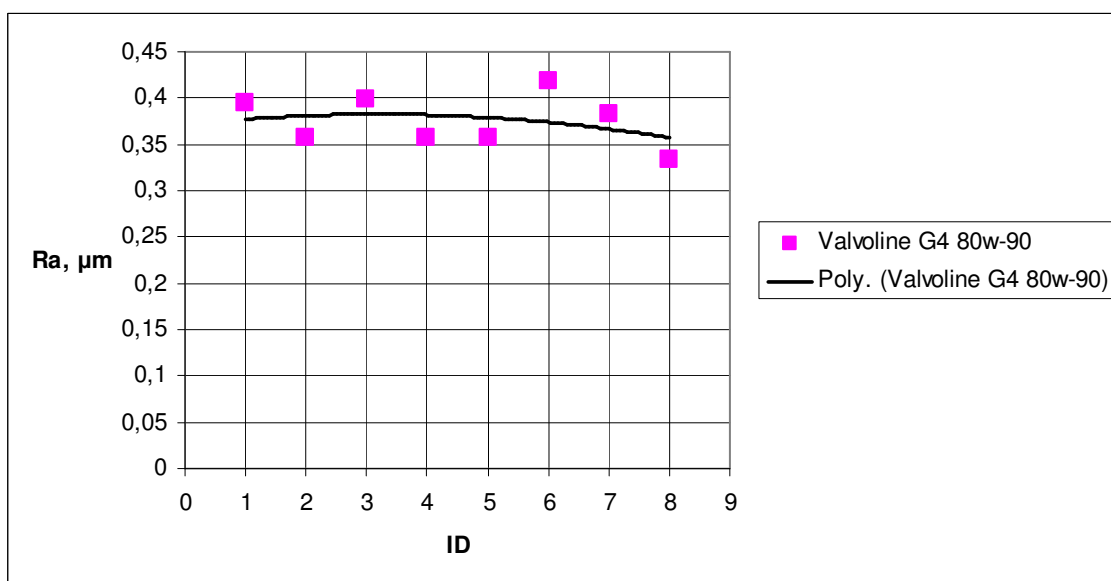
3.2 pav. Kontrolinės kortelės tyrimo ID ciklų suvestinės duomenys

Daugiau nei 6 000 matavimų duomenys buvo apdoroti statistiškai, gauti rezultatai, pateikti jų vidutinėmis reikšmėmis, kurios pavaizduotos apskritimiais, kvadratiniais ir trikampiais taškais. Matuojamų dydžių kitimo dėsningumams išryškinti grafikuose kiekvienam guoliui buvo pateiktos dviejų lygties narių polinominės tendencijų (angl. trend) kreivės. Juose pateikiama guolio aukščio ΔH bei guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametru R_a , R_z ir R_{max} kitimo priklausomybė (3 -8pav.).

Bandinys KG01 . Tepimui naudota transmisinė alyva Valvoline G4 80W-90, $n = 1000$ aps./min.



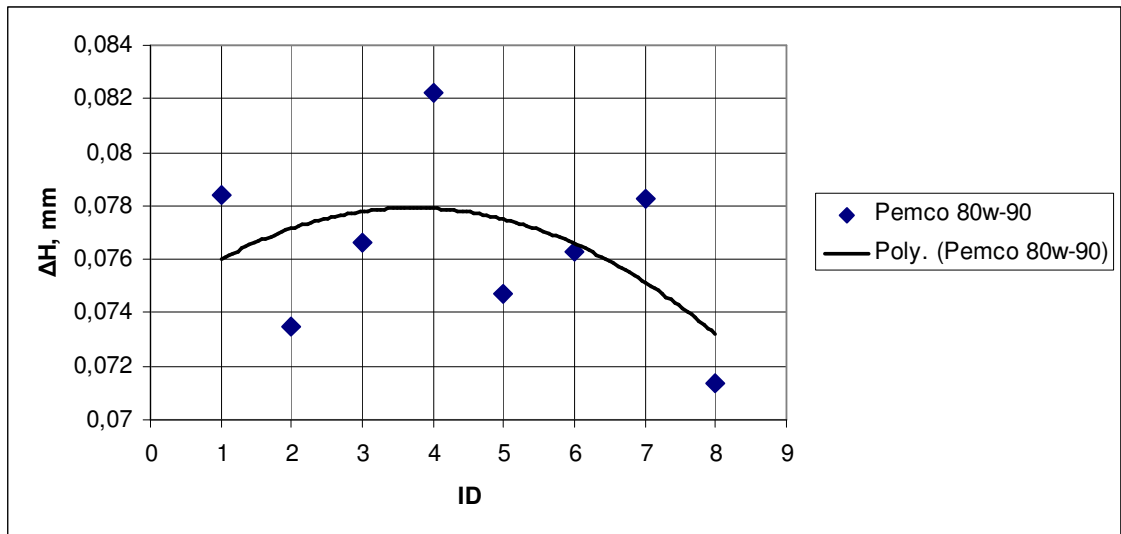
3.3 pav. Guolio žiedo aukščio kitimas naudojant Valvoline transmisinę alyvą
Bandinio KG01 aukščio kitimas nuo 0,3 mm iki 0,47 mm.



3.4 pav. Guolio žiedo šiurkštumo kitimas naudojant Valvoline transmisinę alyvą

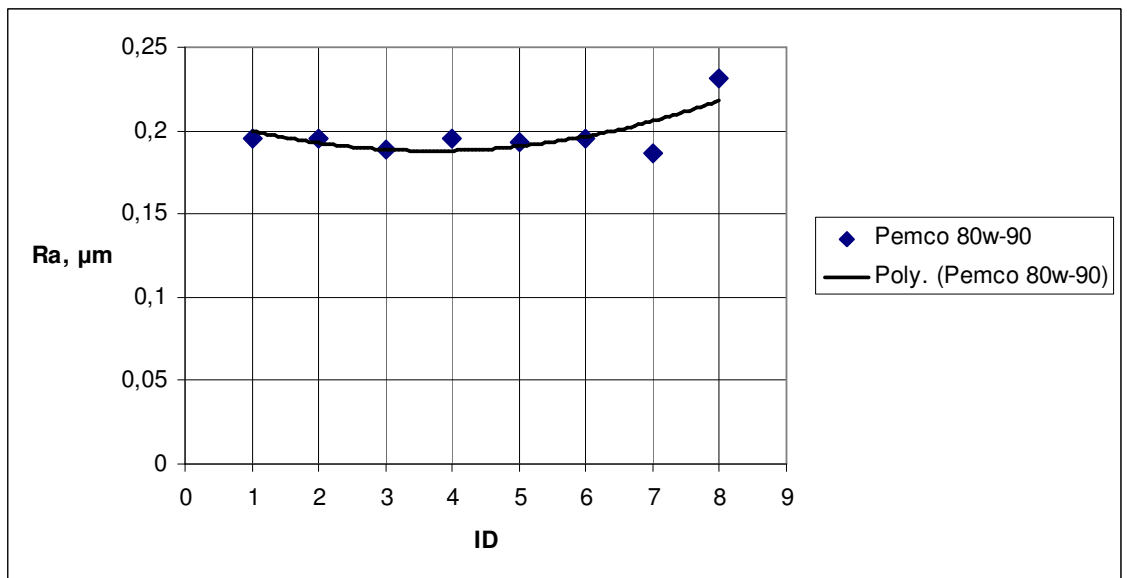
Bandinio KG01 šiurkštumo kitimas. Pastebima tendencija: šiurkštumas didėja, po to pradeda mažėti. Guolio aukščio tendencija augti.

Bandinys KG02 . Tepimui naudota transmisinė alyva Pemco 80W-90, $n = 1000$ aps./min



3.5 pav. Guolio žiedo aukščio kitimas naudojant Pemco transmisinę alyvą.

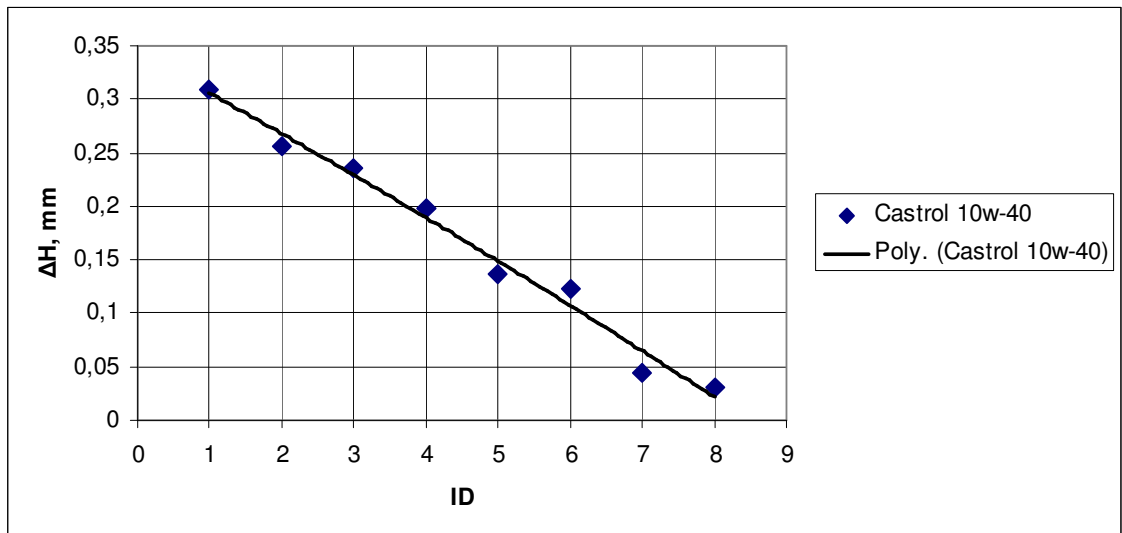
Bandinio KG02 aukščio kitimas nuo 0,076mm iki 0,078 mm.



3.6 pav. Guolio žiedo šiurkštumo kitimas naudojant Valvoline transmisinę alyvą

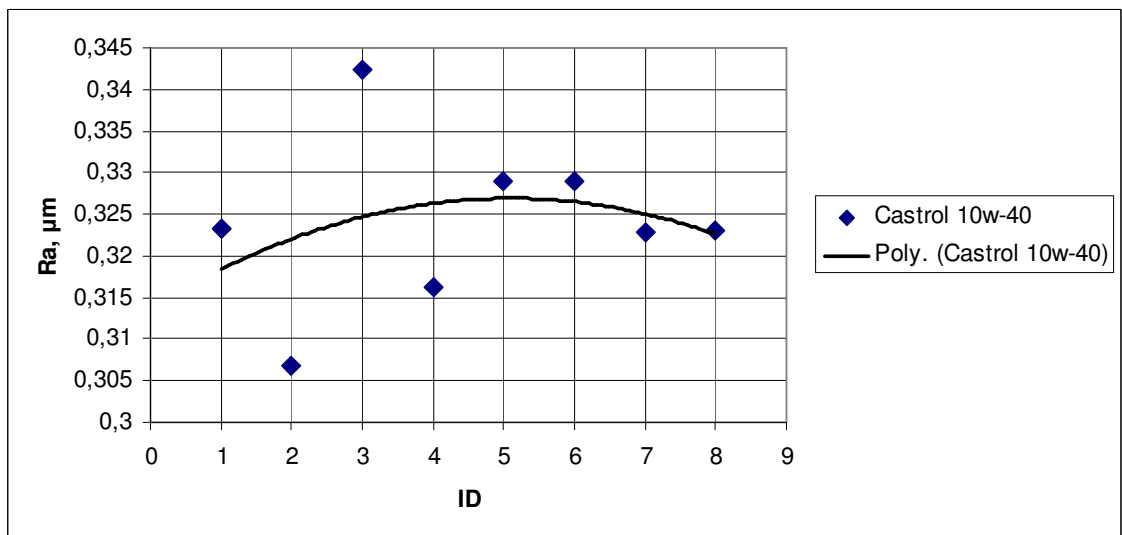
Naudojant šią alyvą pastebima paviršiaus šiurkštumo augimo tendencija, guolio aukštis auga, po to pradeda mažėti (3.5 pav.)

Bandinys KG03 . Tepimui naudota variklinė alyva Castrol 10W-40, $n = 1000$ aps./min



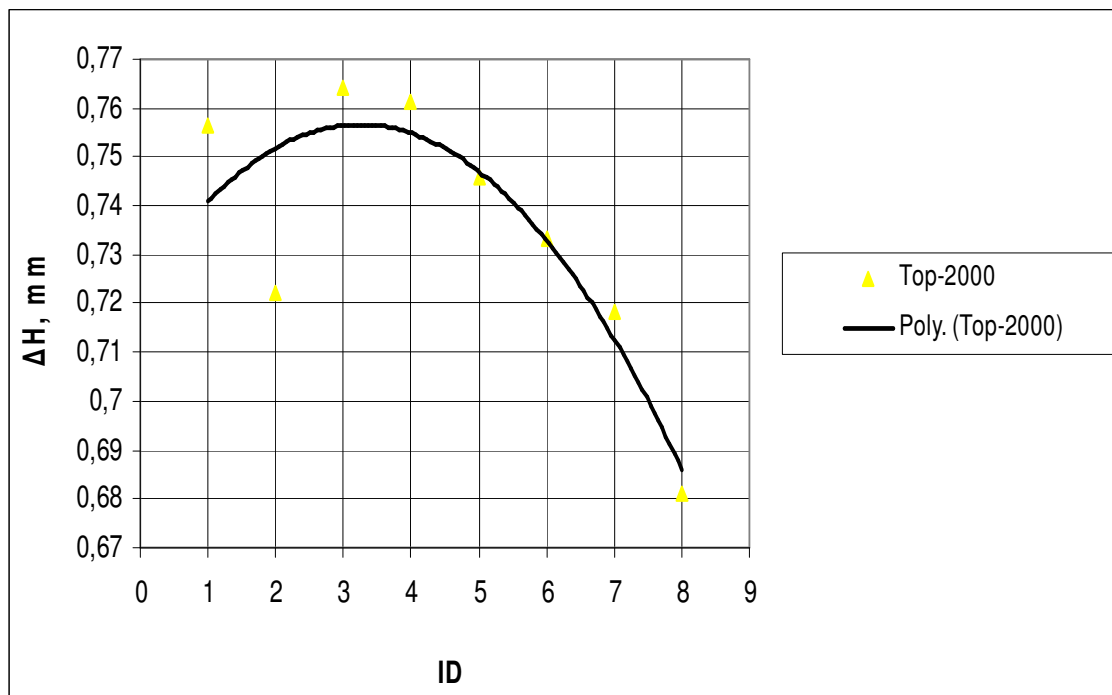
3.7 Pav. Guolio žiedo aukščio kitimas naudojant Castrol variklinę alyvą.

Guolio žiedo aukštis mažėja, šio parametro kitimas tiesiškas.

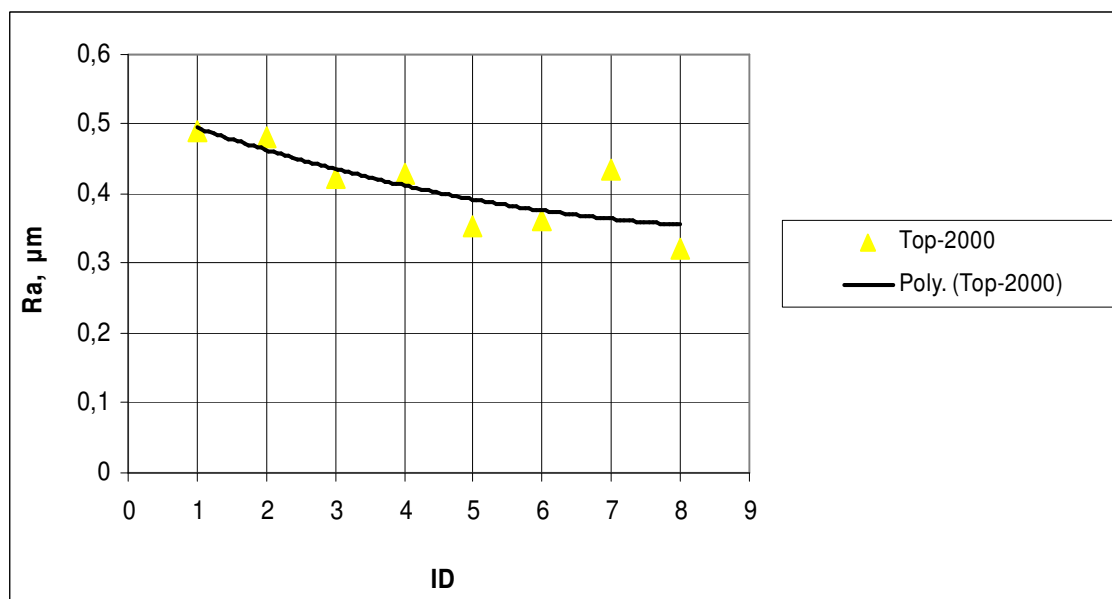


3.8 Pav. Guolio žiedo šiurkštumo kitimas naudojant Castrol variklinę alyvą.

Bandinys KG04 . Tepimui naudotas tiršta tepalas Top 2000, $n = 1000$ aps./min



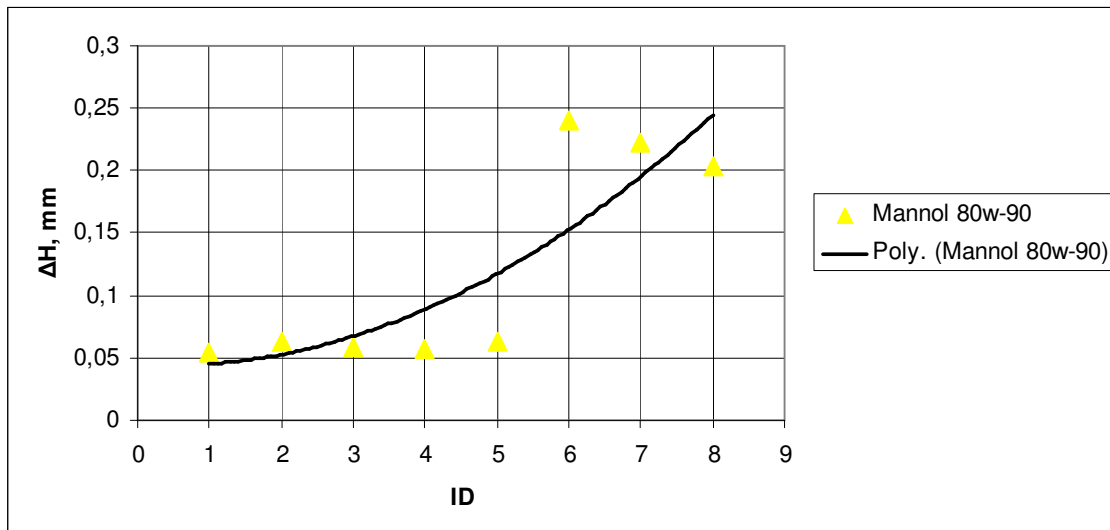
3.9 pav. Guolio žiedo aukščio kitimas naudojant Top 2000 tepalą.



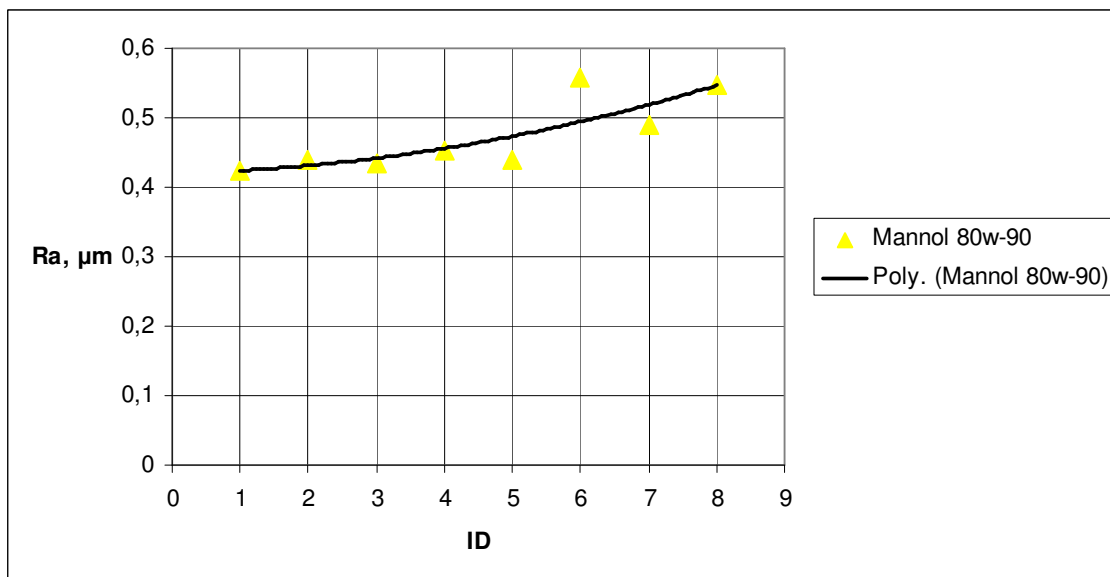
3.10 pav. Guolio žiedo šiurkštumo kitimas naudojant Top 2000 tepalą.

Naudojant šią alyvą pastebima, jog guolio aukštis mažėja beveik tiesiškai, šiurkštumas Ra mažėja. Į šio eksperimento pabaigą pastebima, jog šiurkštumas pradeda mažėti tolygiau.

Bandinys KG05 . Tepimui naudota transmisinė alyva Mannol 80W-90, $n = 1000$ aps./min



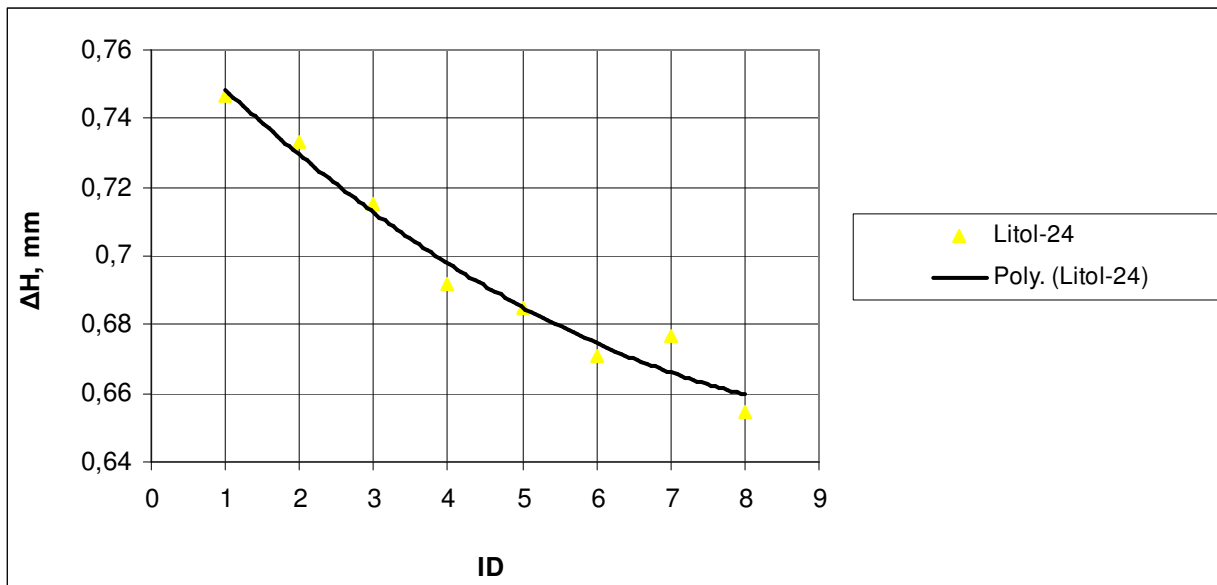
3.11 Pav. Guolio žiedo aukščio kitimas naudojant Mannol transmisinę alyvą.



3.12 Pav. Guolio žiedo šiurkštumo kitimas naudojant Mannol transmisinę alyvą.

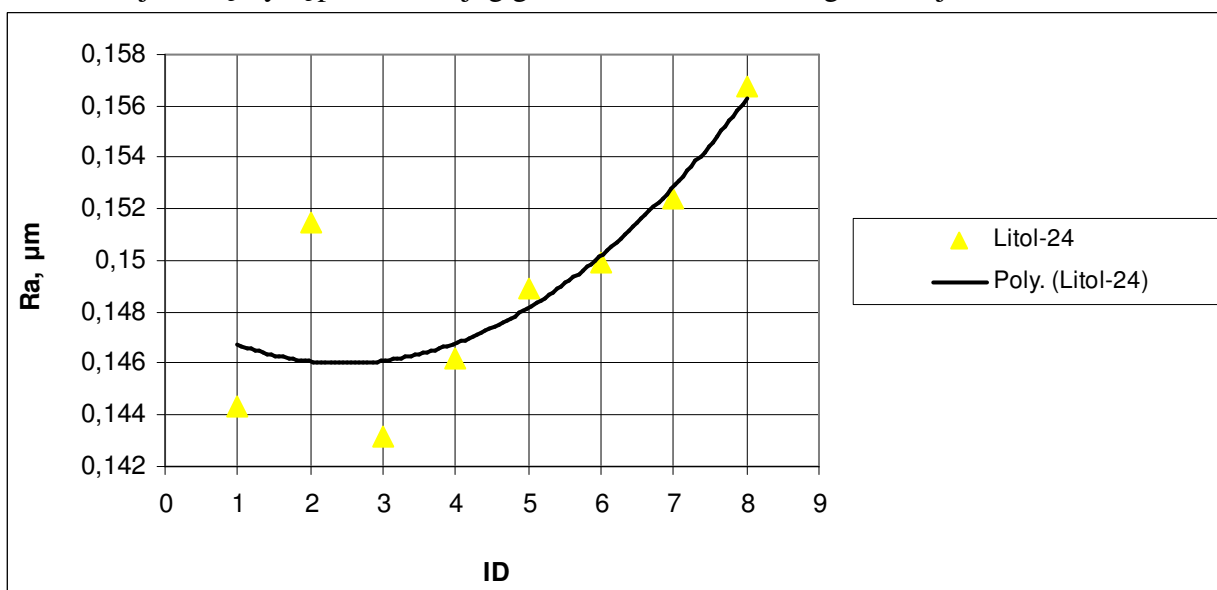
Naudojant šią alyvą pastebima, jog guolio aukštis tendencingai didėja , šiurkštumas taip pat didėja.

Bandinys KG06 . Tepimui naudota tirštas tepalas Litol – 24, $n = 1000$ aps./min



3.13 pav. Guolio žiedo aukščio kitimas naudojant tirštą Litol – 24 tepalą.

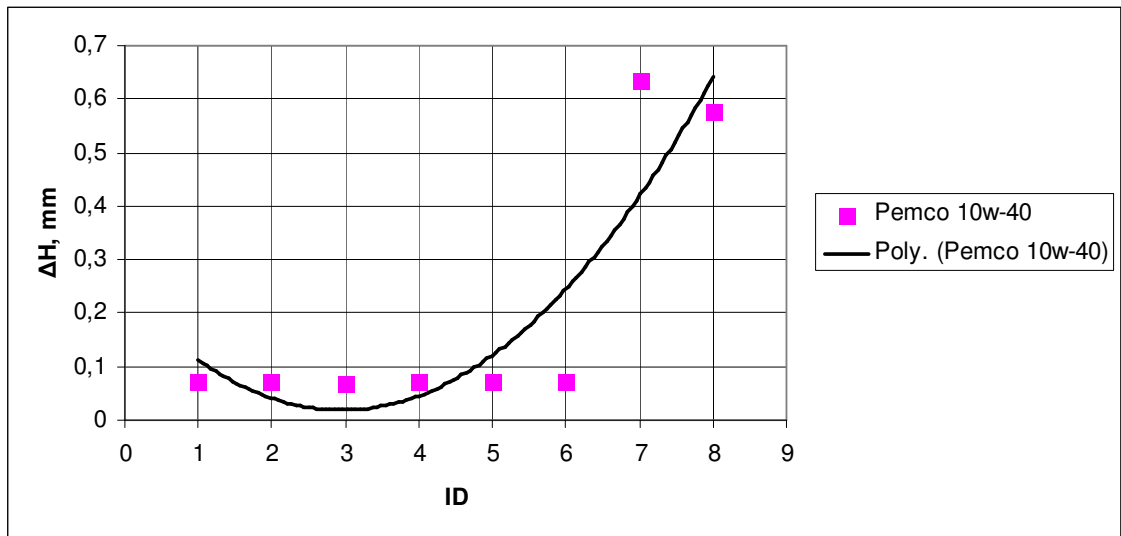
Naudojant šią alyvą pastebima, jog guolio aukštis tendencingai mažėja.



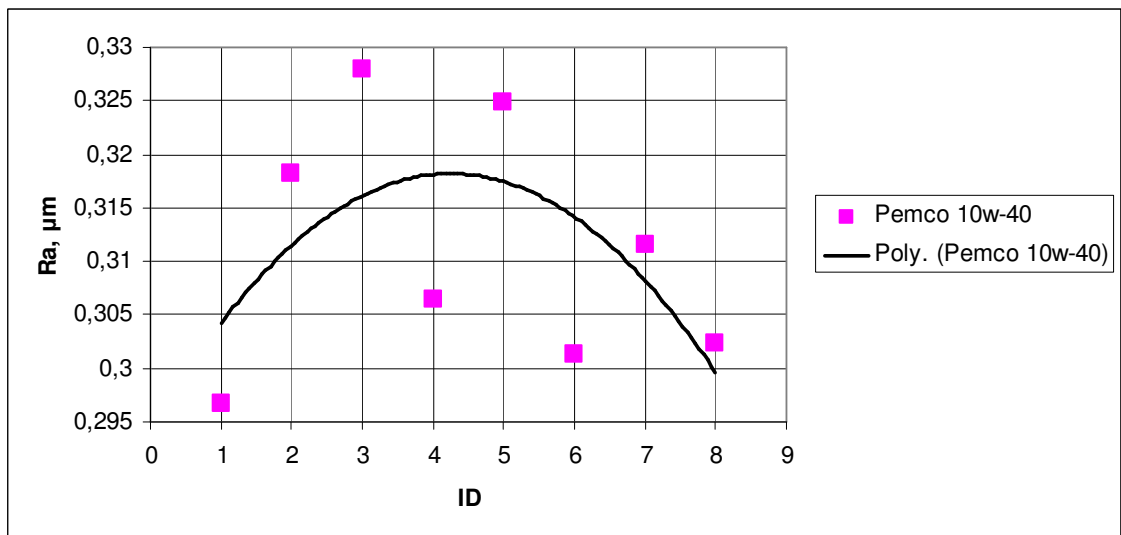
3.14 pav. Guolio žiedo šiurkštumo kitimas naudojant tirštą tepalą Litol – 24.

Naudojant Litol – 24 tirštą tepalą šiurkštumas didėja. Šiurkštumo parametras iš pradeda mažėti, po kurio laiko staigiai pradeda didėti.

Bandinys KG07 . Tepimui naudota variklinė alyva Pemco 10W-40, $n = 1000$ aps./min



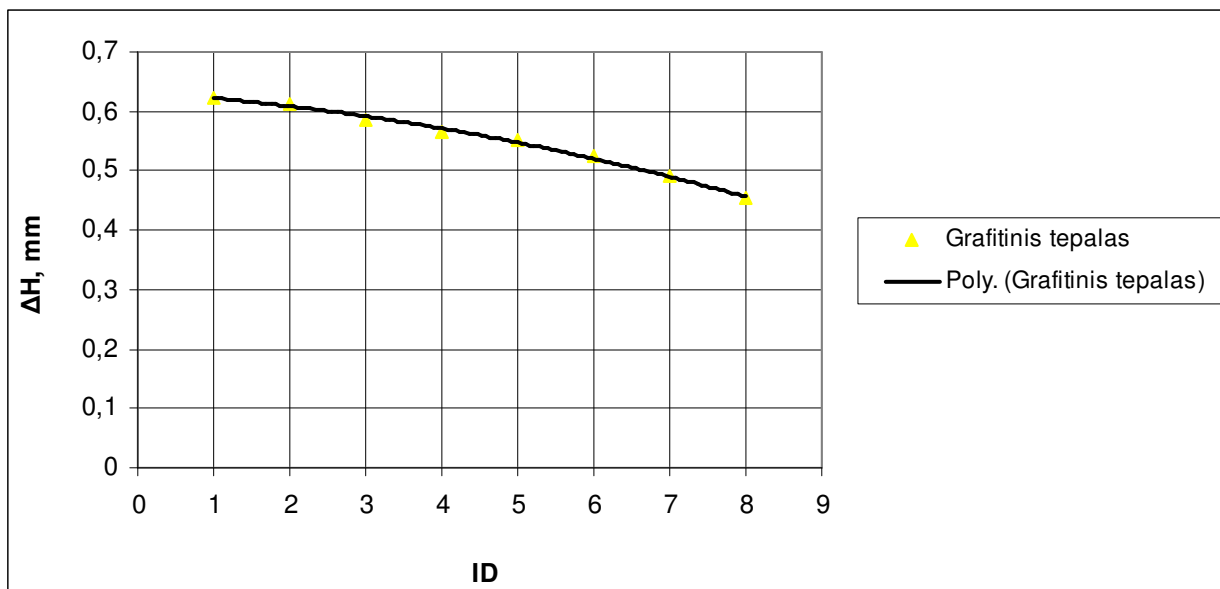
3.15 pav. Guolio žiedo aukščio kitimas naudojant Pemco variklinę alyvą.



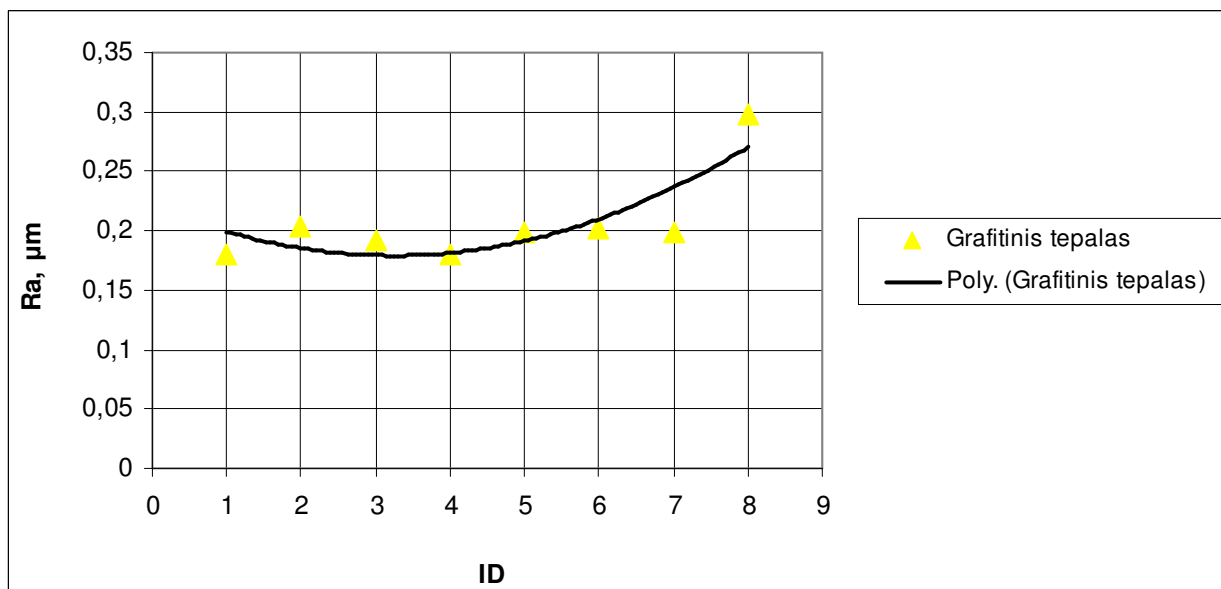
3.16 pav. Guolio žiedo šiurkštumo kitimas naudojant Pemco variklinę alyvą

Naudojant šią alyvą pastebima, jog guolio aukštis ir išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumas kinta pagal parabolės dėsnį..

Bandinys KG09 . Tepimui naudotas tirštas grafitinis tepalas, $n = 1000$ aps./min



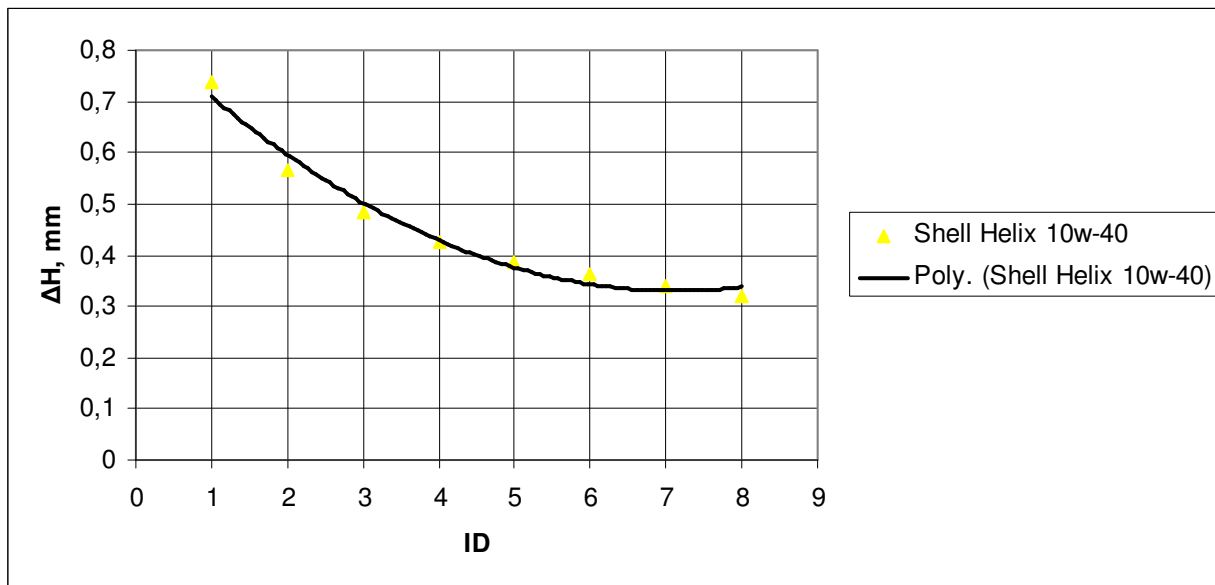
3.17 pav. Guolio žiedo aukščio kitimas naudojant granitinį tepalą.



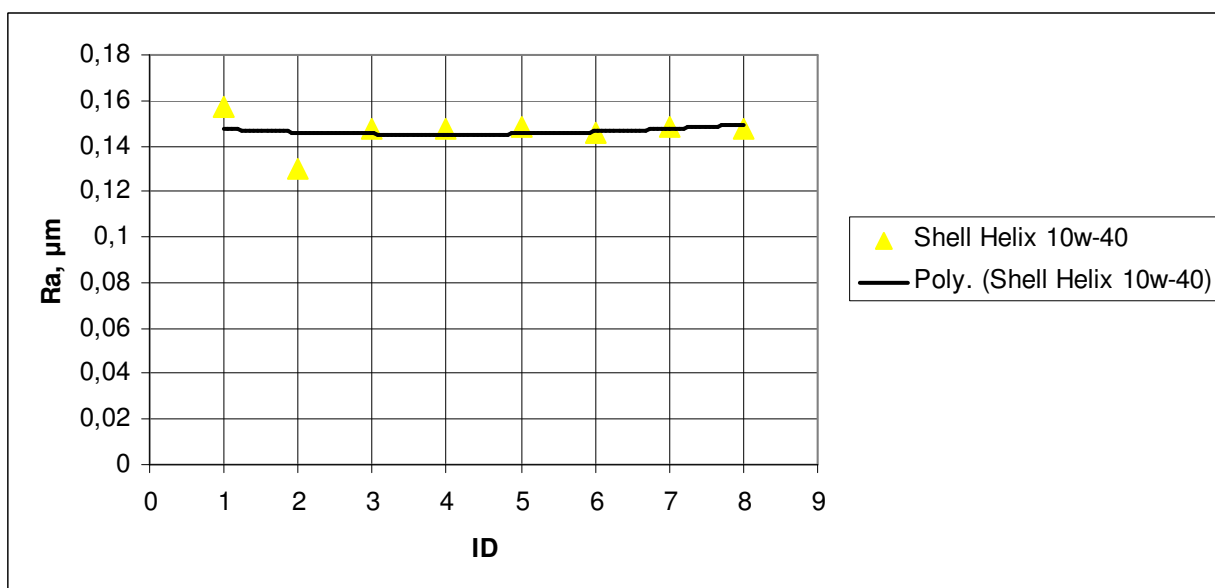
3.18 pav. Guolio žiedo š kitimas naudojant granitinį tepalą.

Naudojant šią alyvą pastebima, jog guolio aukštis mažėja tuo tarpu išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumas kinta nežymiai.

Bandinys KG10 . Tepimui naudota variklinė alyva Shell Helix HI7 10W-40, $n = 1000$ aps./min



3.19 pav. Guolio žiedo aukščio kitimas naudojant Shell variklinę alyvą.



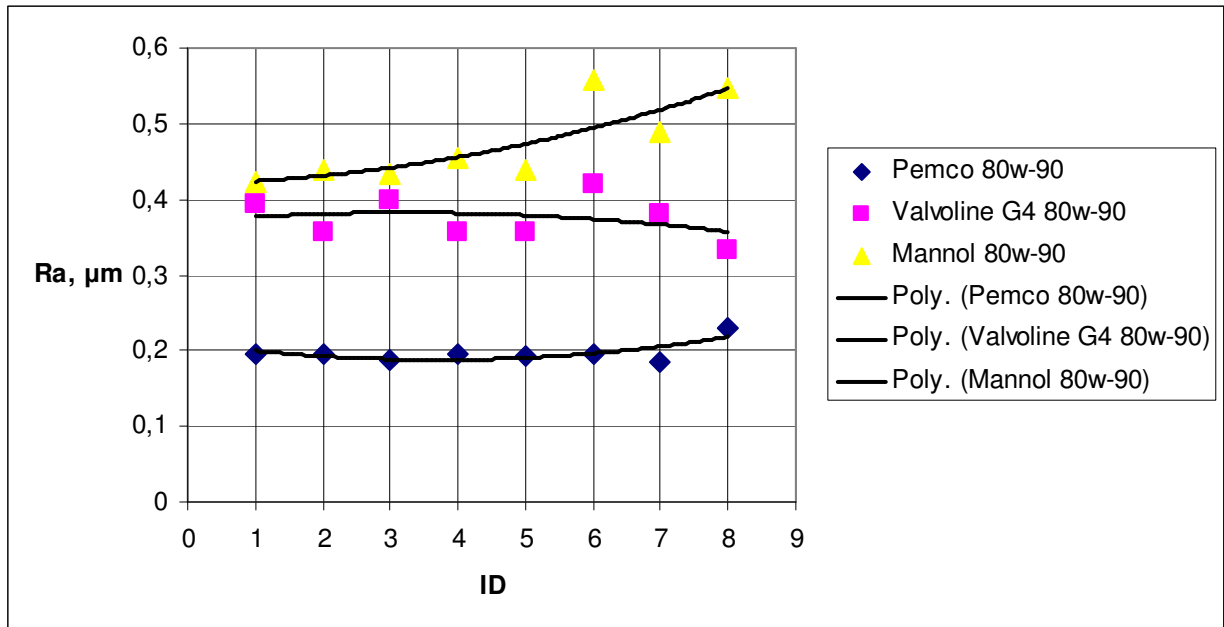
3.20 pav. Guolio žiedo š kitimas naudojant Shell variklinę alyvą.

Naudojant šią alyvą pastebima, jog guolio aukštis mažėja tuo tarpu išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumas kinta nežymiai.

4. Rezultatų analizė

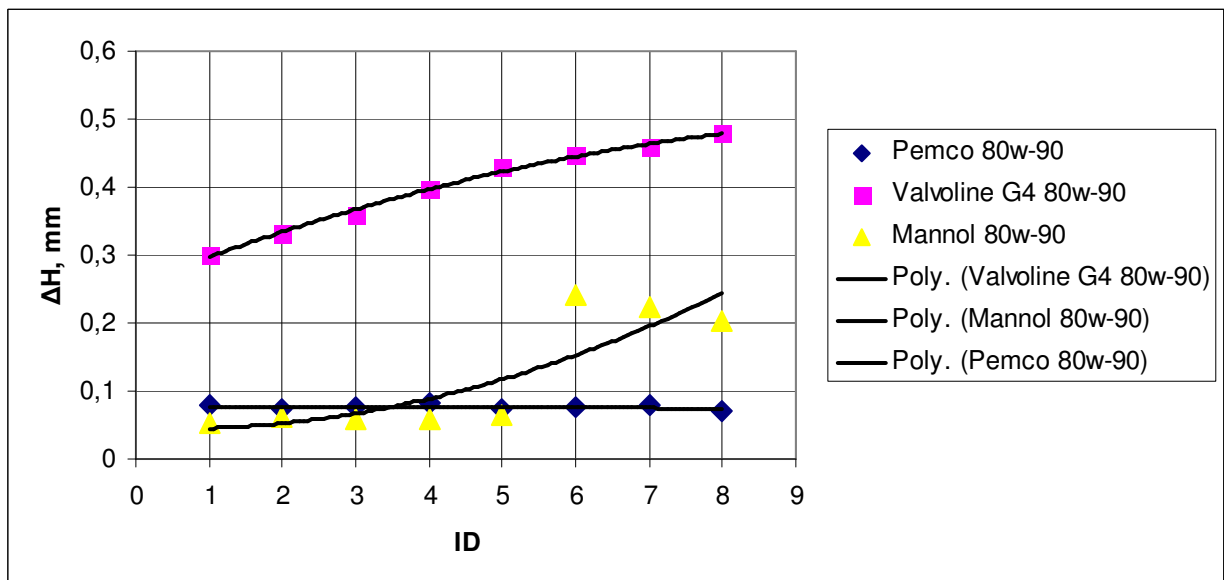
4.1 Guolių trinties proceso rodiklių analizė, pagal alyvos, tepalo markę.

Šiurkštumo parametrų kitimas naudojant transmisines alyvas:



4.1 pav. Guolio vidinio žiedo šiurkštumo kitimas

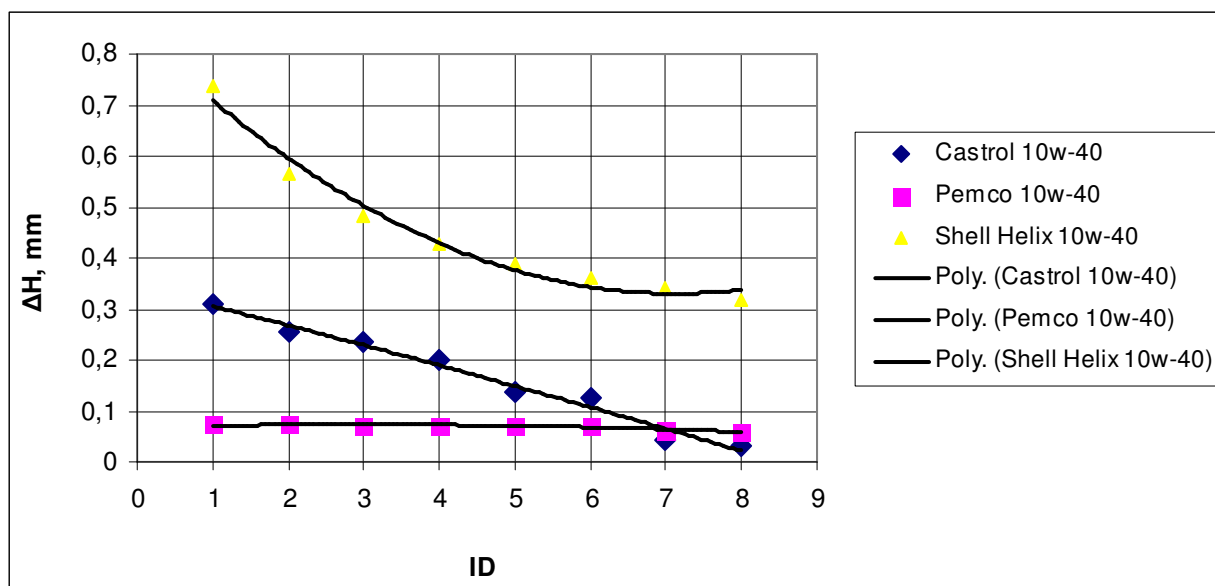
Kūginio guolio šorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumas didėja naudojant Pemco ir Mannol alyvas (4.1 pav), Valvoline alyvos atveju pastebima mažėjimo tendencija.



4.2 pav. Guolio vidinio žiedo aukščio kitimas

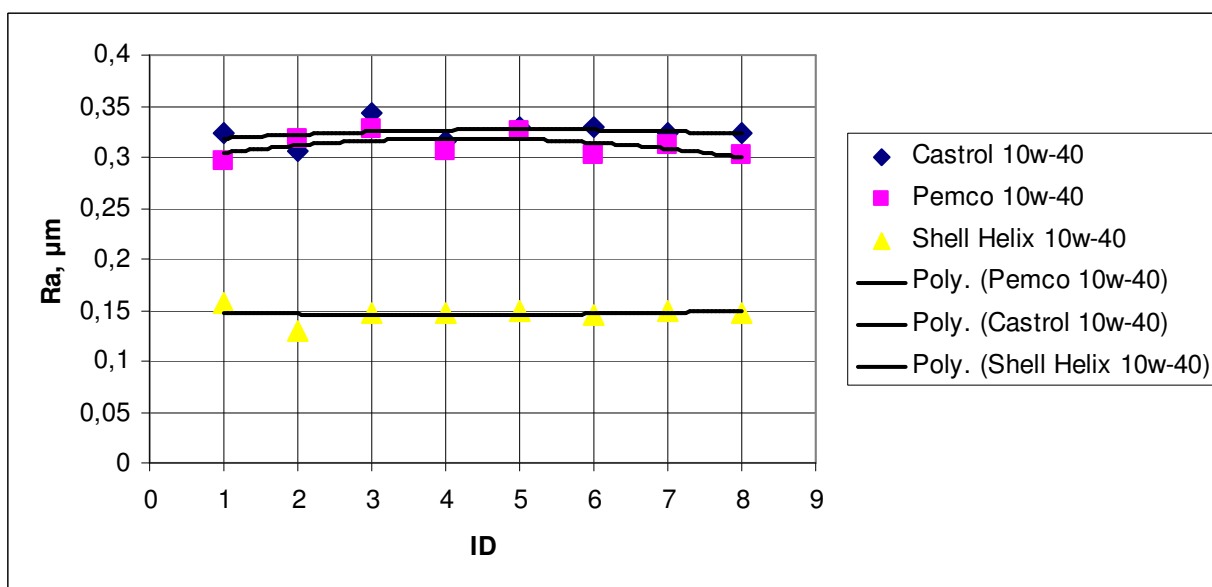
Naudojant variklines alyvas pastebima, jog guolio aukštis didėja naudojant Mannol ir Valvoline alyvas, tik naudojant Pemco alyvą jis daugmaž pastovus (4.2 pav)

Guolio žiedo šurkštumo parametrų kitimas naudojant variklines alyvas.



4.3 pav. Guolio išorinio aukščio kitimas naudojant variklines alyvas

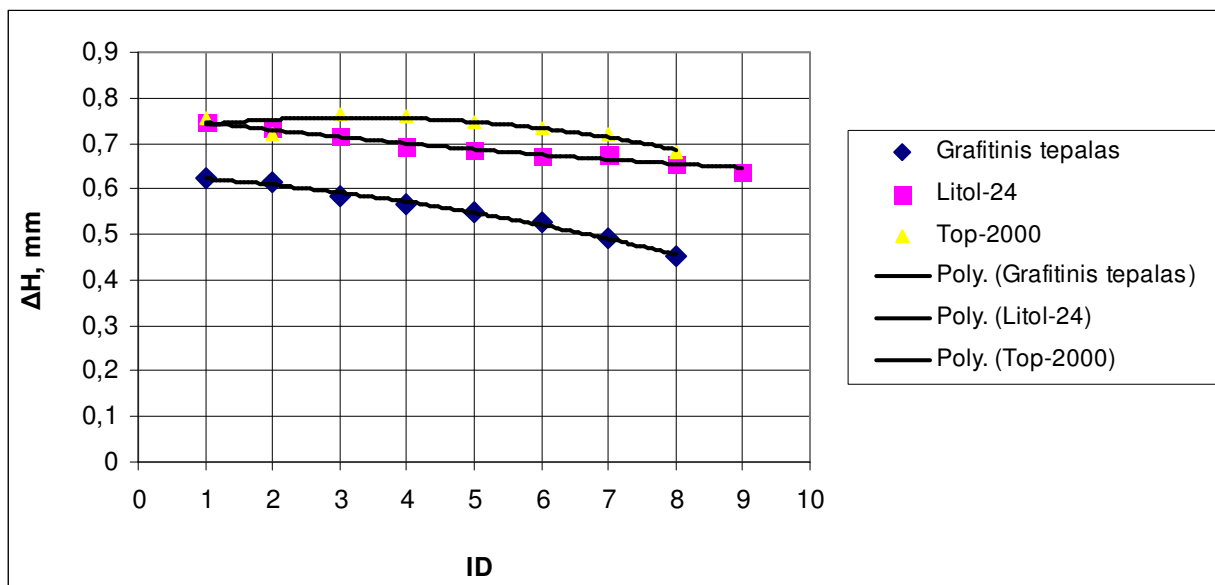
Naudojant variklines alyvas pastebima aukščio skirtumo mažėjimo tendencija (4.3 pav.). Shell atveju ilgėjant laiko tarpui kreivė pradeda tolydžiau kisti.



4.4 pav. Guolio žiedo šurkštumo kitimas naudojant variklines alyvas

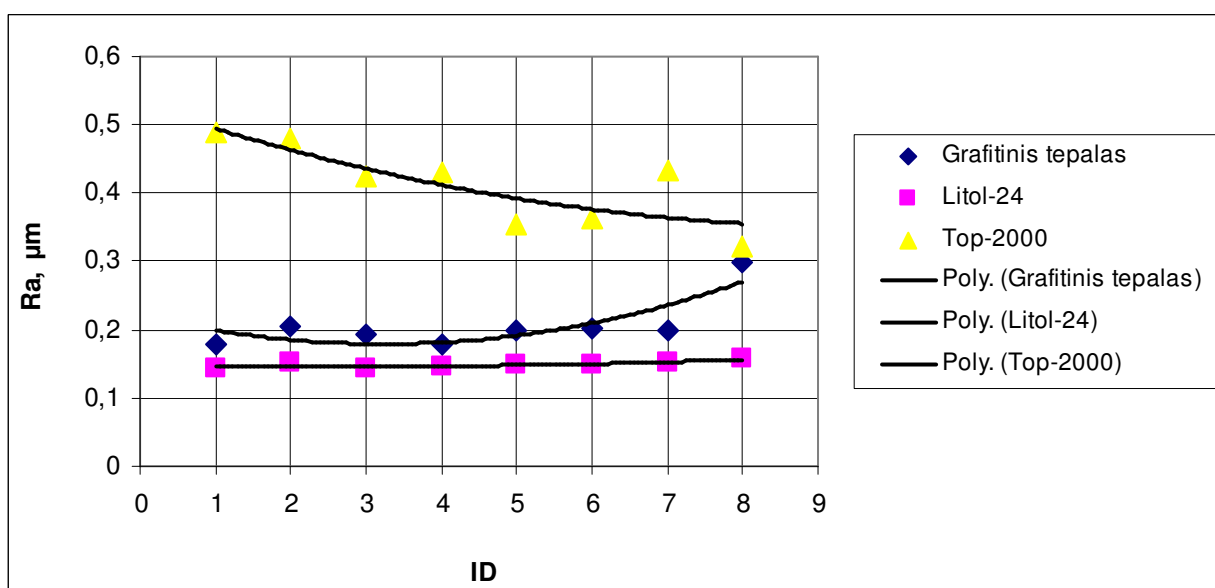
Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šurkštumas kinta nežymiai (4.4 pav). Naudojant Castrol ir Pemco alyvas gaunamas beveik toks pat paviršiaus šurkštumas (4.4 pav.).

Guolio žiedo šurkštumo parametrų kitimas naudojant tirštus tepalus.



4.5 pav. Guolio išorinio aukščio kitimas naudojant tirštus tepalus

Naudojant tirštus tepalus pastebima, rezultatai apylygiai, nėra ryškiau duomenų išsibarstimo (4.5 pav.).

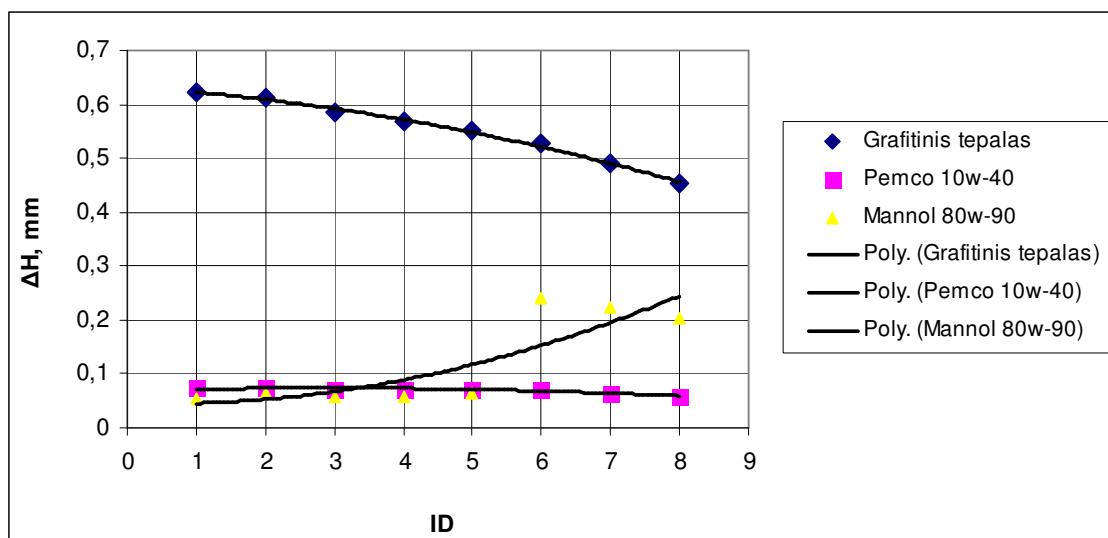


4.6 pav. Guolio žiedo šurkštumo kitimas naudojant tirštus tepalus

Naudojant variklines alyvas pastebima, jog guolio aukštis mažėja, tik naudojant Pemco alyvą jis didėja. Tuo tarpu išorinio žiedo darbinio paviršiaus šurkštumas kinta nežymiai. Naudojant Castrol ir Pemco alyvas gaunamas beveik toks pat paviršiaus šurkštumas (4.6 pav).

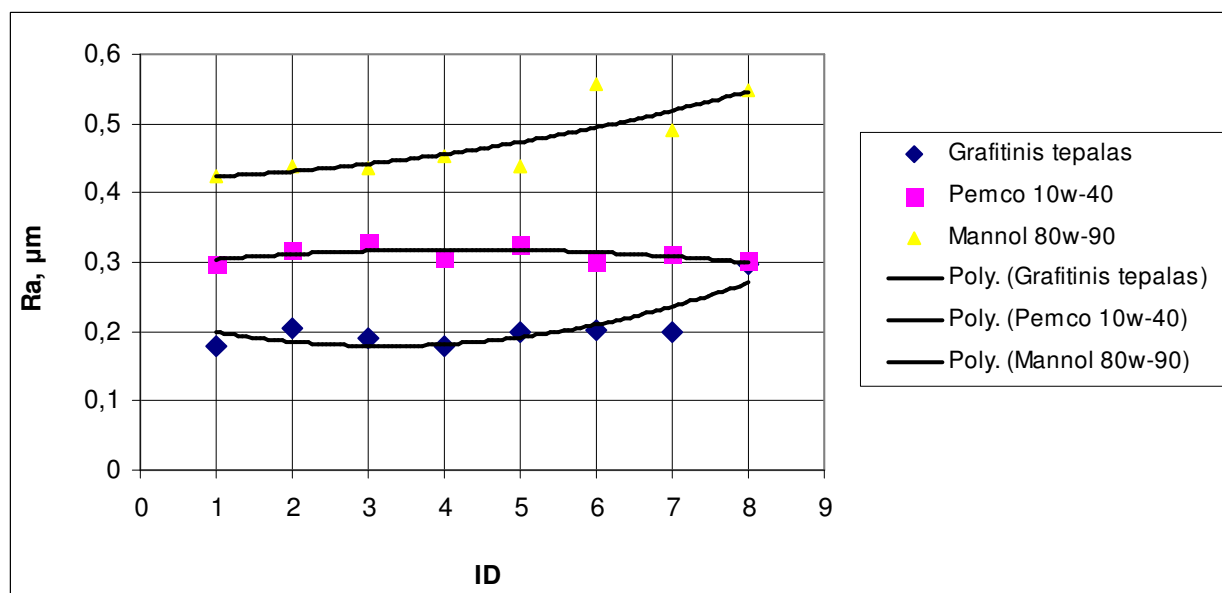
4.2 Trinties rodiklių analizė pagal tyrime naudotų alyvų bei tepalų kainą

Šiame poskyryje bus pateikiami trinties rodiklių parametrai atsižvelgiant į kainą:



4.7 pav. Guolio žiedo aukščio skirtumo ΔH naudojant pigiausius tepalus

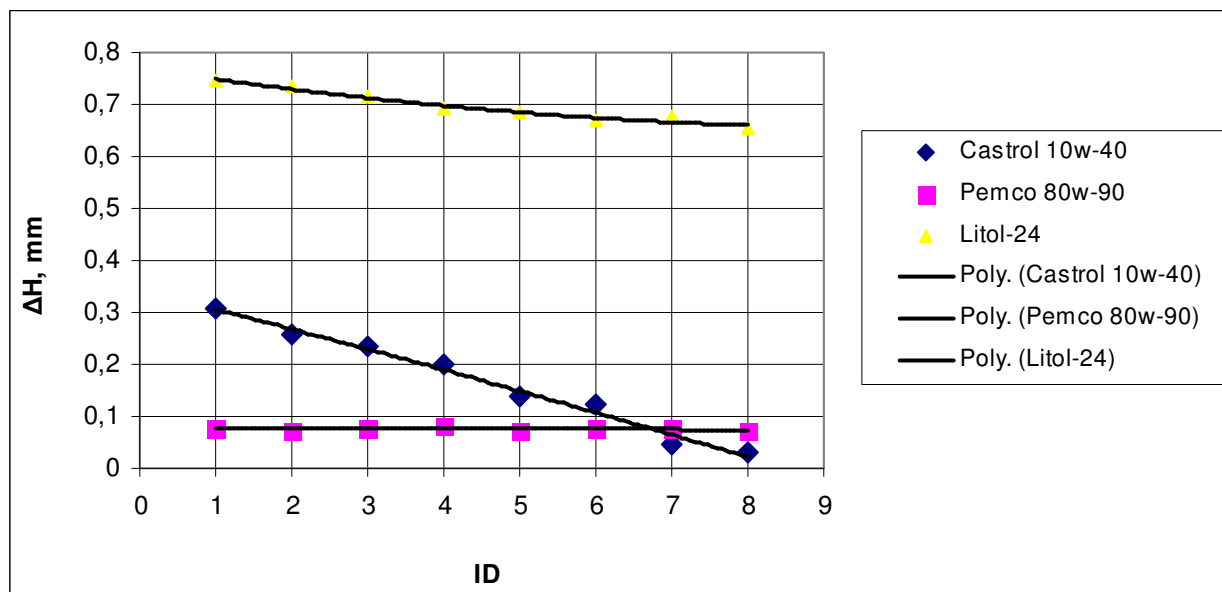
Matavimų duomenys išsidėstę gana tvarkingai (4.7 pav.). Aukščio skirtumo kitimo kreivės susikerta (Mannol ir Pemco alyvų). Mannol alyvos atveju pastebima augimo tendencija.



4.8 pav. Guolio žiedo šiurkštumo R_a kitimas naudojant pigiausius tepalus

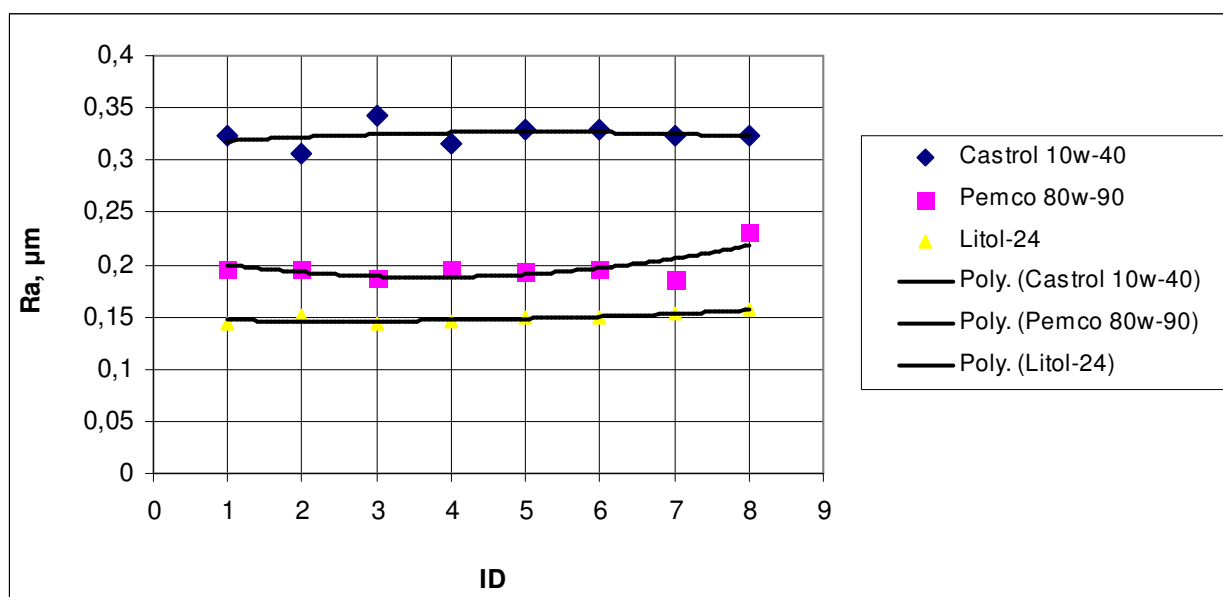
Matavimų duomenys išsidėstę gana tvarkingai (4.8 pav.). Šiurkštumo kitimo reikšmės gana arti viena kitos.

Vidutinės eksperimente naudotų alyvų bei tepalų kainos kategorijos rezultatai:



4.9 pav. Guolio žiedo aukščio skirtumo ΔH naudojant vidutinės kainos tepalus

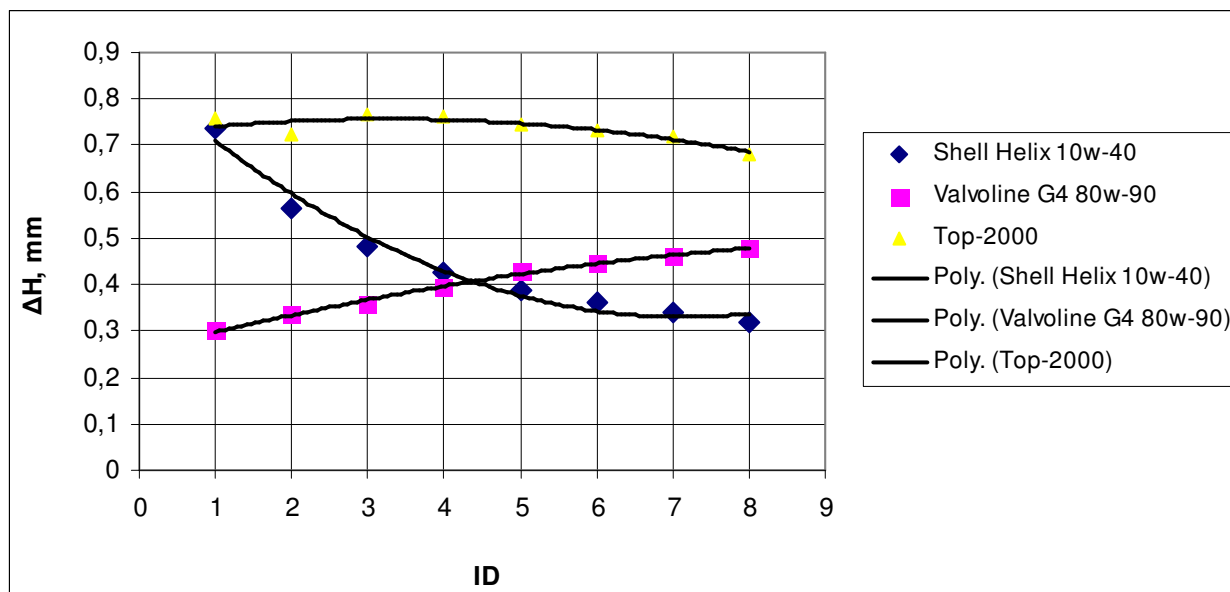
Naudojant skirtingų rūšių alyvas, tepalus duomenys tvarkingai išsidėstę, gautos gana tolygios kreivės. (4.9 pav.)



4.10 pav. Guolio žiedo šiurkštumo R_a kitimas naudojant vidutinės tepalus

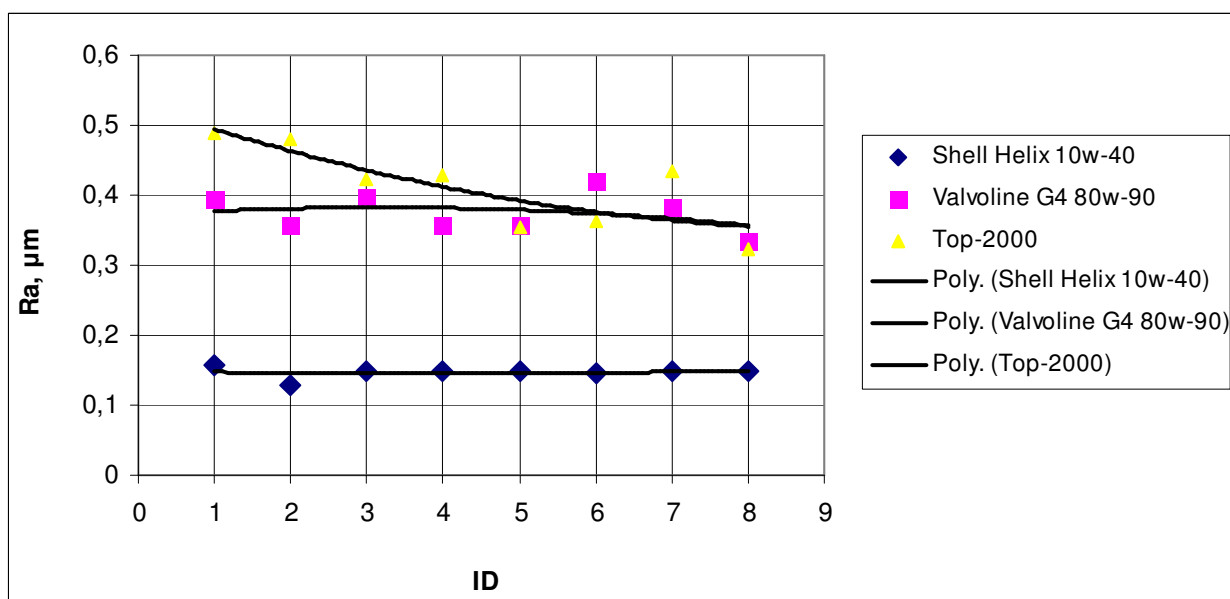
Naudojant skirtingų rūšių alyvas, tepalus duomenys tvarkingai išsidėstę (4.10 pav.). Naudojant Pemco transmisinę bei Litol tirštą tepalą pastebima šiurkštumo augimo tendencija.

Didžiausios eksperimente naudotų alyvų bei tepalų kainos kategorijos rezultatai:



4.11 pav. Guolio žiedo aukščio skirtumo ΔH naudojant didžiausios kainos tepalus

Aukščio skirtumas staigiausiai kinta (mažėja) naudojant Shell 10W-40 variklinę alyvą, tolygiausia kreivė gauta naudojant tirštą Top-2000 tepalą (4.11 pav.).

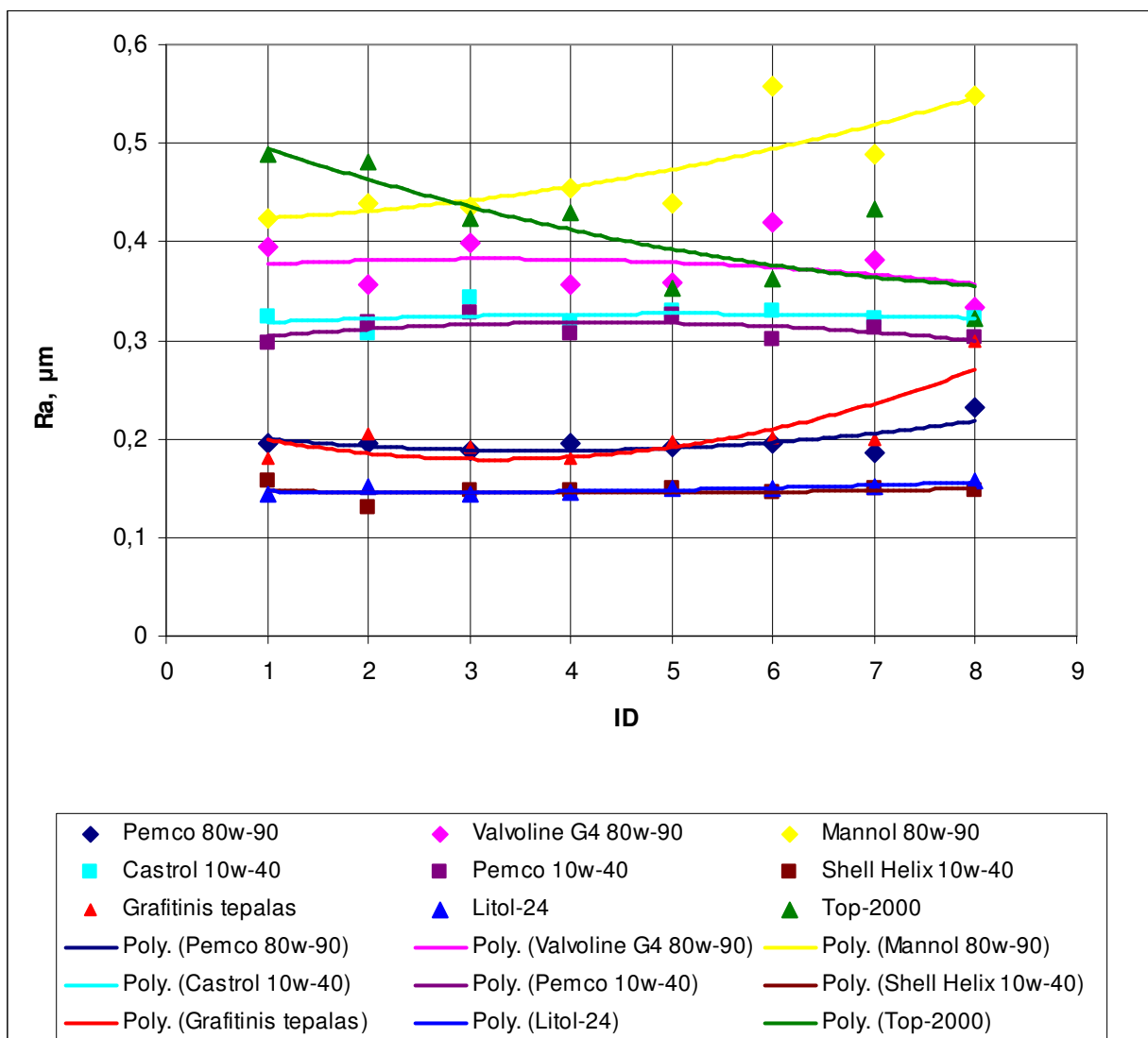


4.12 pav. Guolio žiedo šiurkštumo R_a kitimas naudojant didžiausios kainos tepalus

Staigiausiai šiurkštumas mažėja naudojant yirštą Top-2000 tepalą, Shell 10W-40 variklinės alyvos atveju jis išlieka beveik pastovus t.y. kreivė kinta tiesiškai. Gana tolydi ir transmisinės Valvoline alyvos kreivė (4.12 pav)

4.3 Visų tyrime naudotų tepalų bei alyvų trinties rodiklių analizė

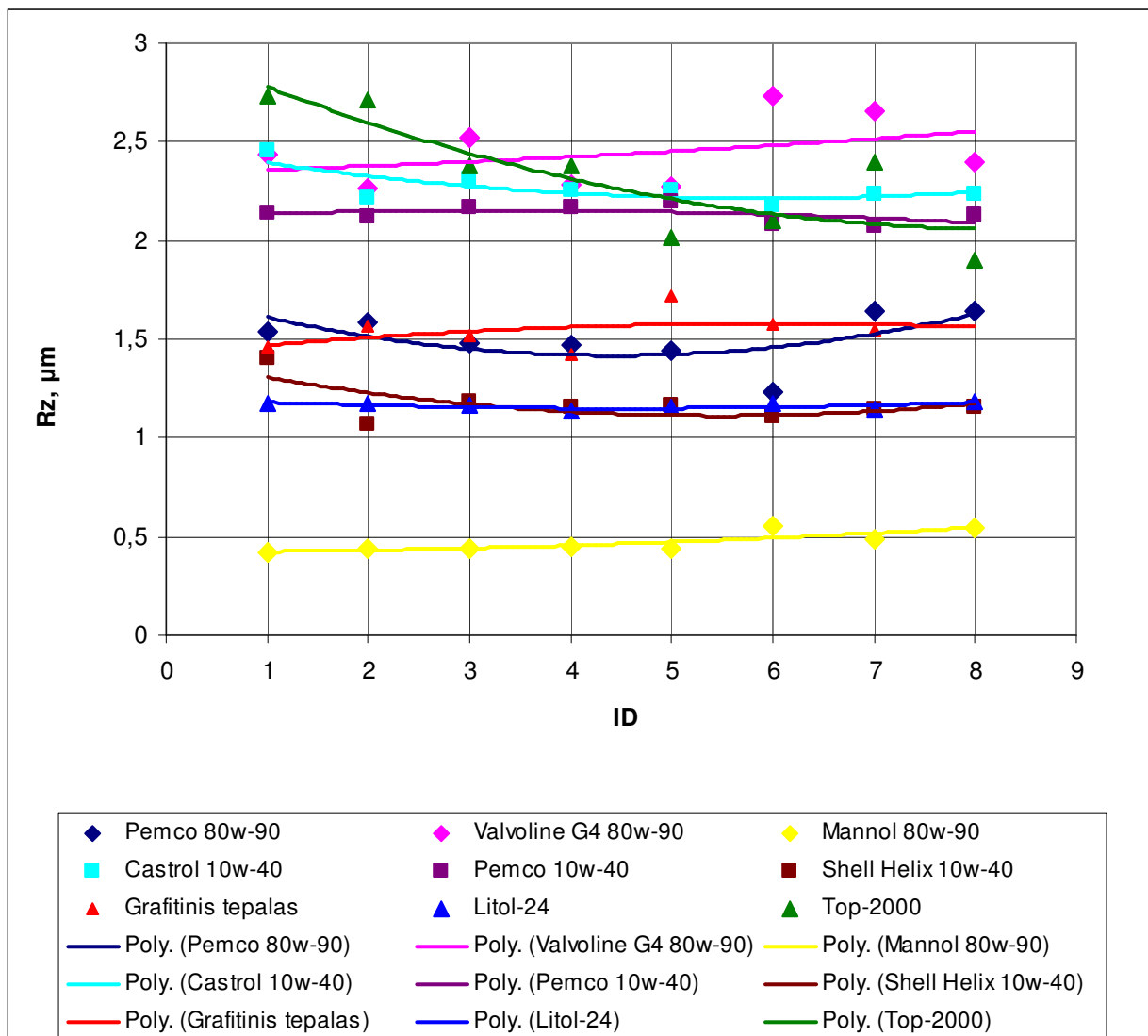
Šiame poskyryje apibendrintai bus pateikiami visų tyrime naudotų alyvų bei tepalų trinties rodiklių analizė.



4.13 Pav. R_a parametro kitimas

R_a šiurkštumo parametro grafike (4.13 pav) tiesiausios kreivės gautos naudojant Litol-24 tirštą tepalą bei variklinę Shell 10W-40 alyvą. Labiausiai paviršiaus šiurkštumas padidėjo naudojant transmisinę Mannol 80W-90 alyvą. Staigiausiai šiurkštumas mažėja naudojant Top-2000 tištą tepalą.

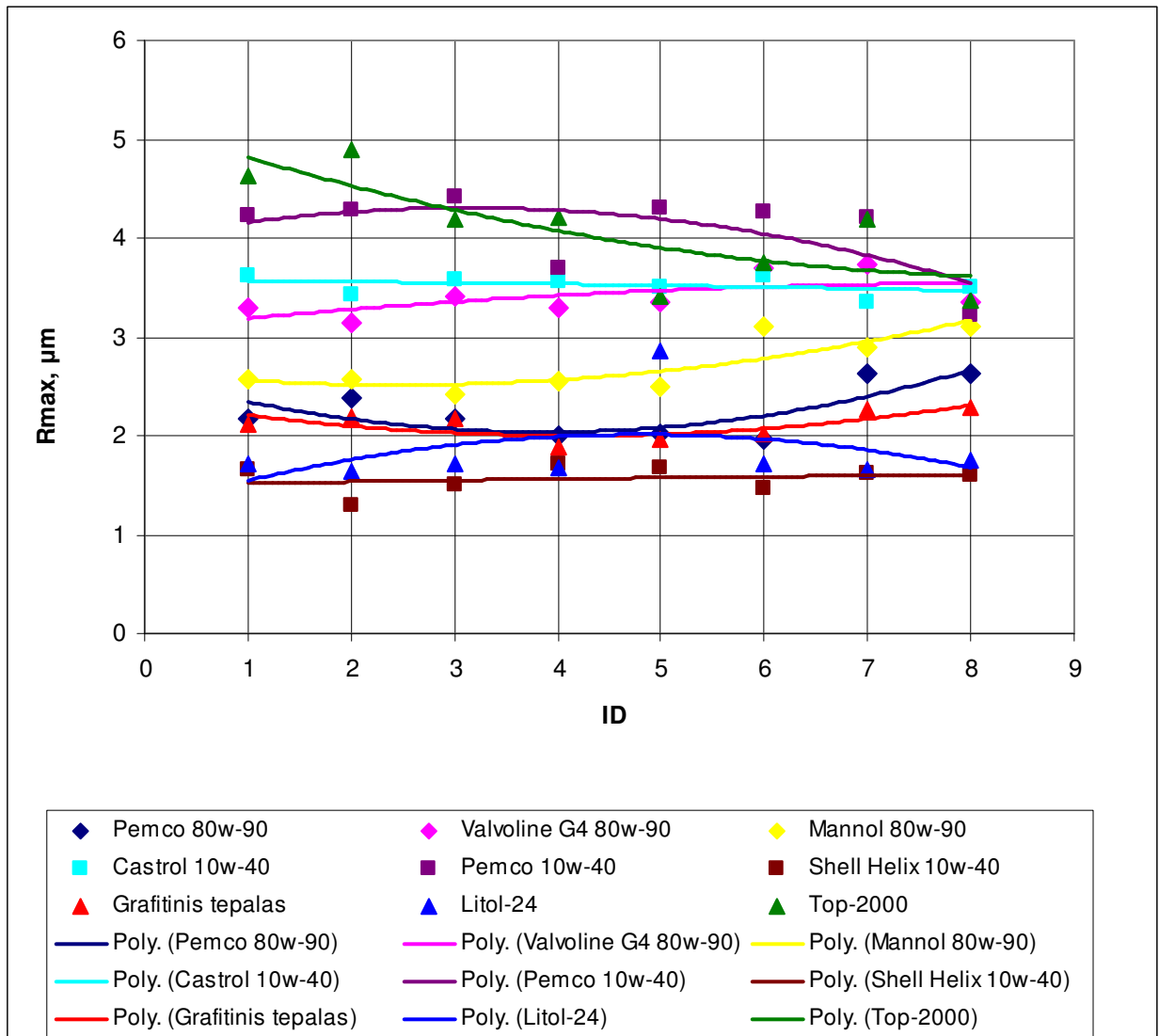
R_z parametro pokytis naudojant skirtingas alyvas bei tepalus



4.14 pav. R_z parametro kitimas

R_z šiurkštumo parametro grafike (4.14 pav.) tiesiausios kreivės gautos naudojant Litol-24 tirštą tepalą, variklinę Pemco 10W-40 alyvą, transmisinę Mannol 80W-90 alyvą bei transmisinę Valvoline 80W-90 alyvą. Labiausiai paviršiaus šiurkštumas padidėjo naudojant transmisinę Mannol 80W-90 alyvą. Staigiausiai šiurkštumas R_z mažėja naudojant Top-2000 tirštą tepalą.

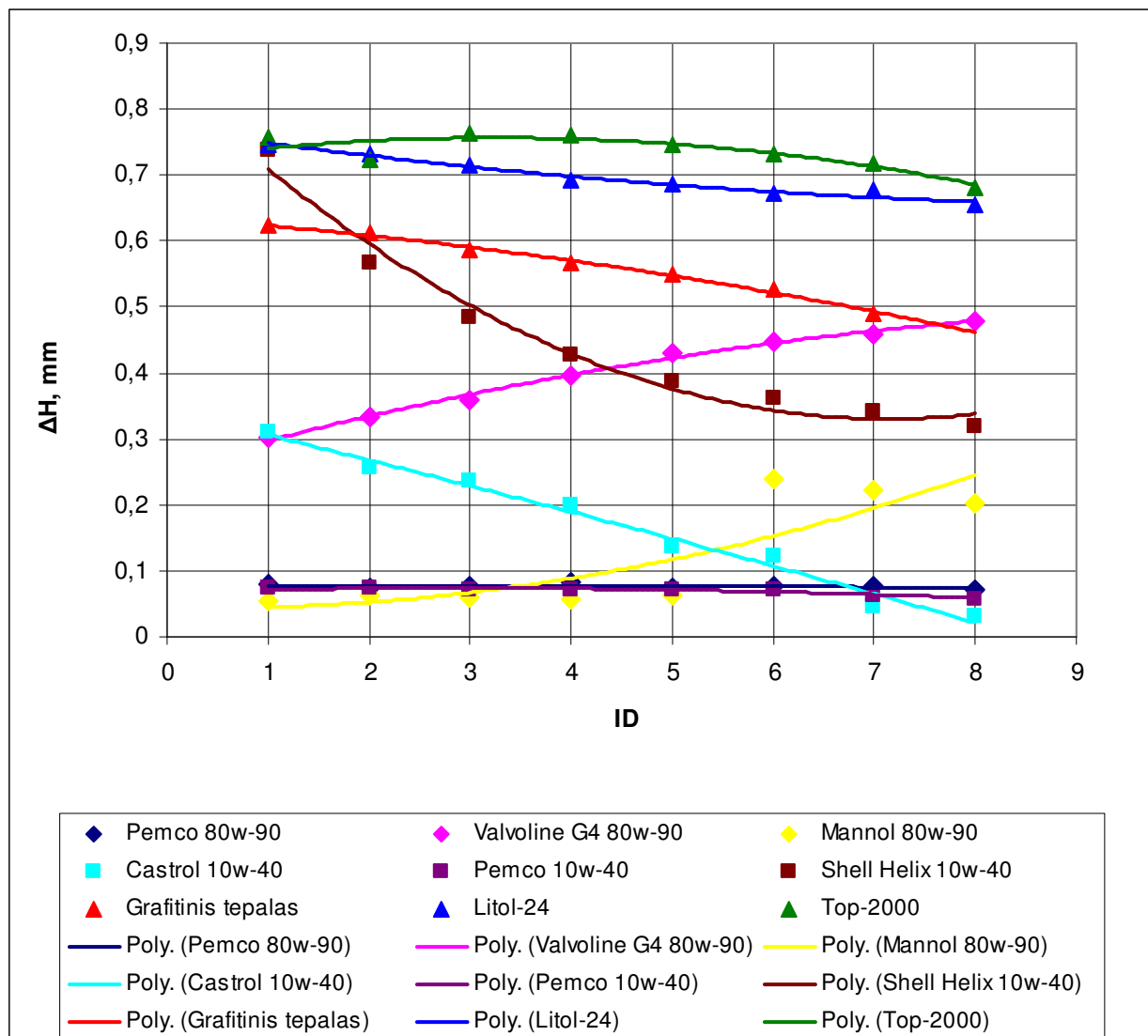
R_{max} pokytis naudojant skirtingas alyvas bei tepalus



4.15 pav. R_{max} parametro kitimas

R_{max} šiurkštumo parametro grafike (4.15 pav) tiesiosios kreivės gautos naudojant Litol-24 tirštą tepalą, variklinę Pemco 10W-40 alyvą, transmisinę Mannol 80W-90 alyvą bei transmisinę Valvoline 80W-90 alyvą. Labiausiai paviršiaus šiurkštumas padidėjo naudojant transmisinę Mannol 80W-90 alyvą. Staigiausiai šiurkštumas R_z mažėja naudojant Top-2000 tirštą tepalą.

ΔH pokytis naudojant skirtingas alyvas bei tepalus



4.16 pav. ΔH parametro kitimas

ΔH aukščio kitimo parametro grafike (4.16 pav) tolygiausios kreivės gautos naudojant Pemco 80W-90 transmisinę, variklinę Pemco 10W-40 alyvas, variklinę Castrol 10W-40, transmisinę Valvoline 80W-90 alyvas bei tirštą Litol – 24 tepalą. Didžiausias aukščio pokytis pastebimas (aukščio mažėjimas) naudojant variklinę Shell 10W-40 alyvą. Staigiausiais aukščio ΔH sumažėjimas užfiksuotas naudojant variklinę Shell 10W-40 alyvą.

4.4. Tyrimo analizė

Didžiausias ΔH pokytis stebimas naudojant alyvą Shell Helix 10W-40 (4.16 pav). Pradinė aukščio reikšmė 0,4 mm sumenko nuo 0,73 iki 0,32 mm. Stebimas kelis kartus spartesnis aukščio pokytis nei bandinio KG01. Mažiausias bandinio ΔH kitimas fiksuotas naudojant Pemco 80W-90 bei Pemco 10W-40 alyvas (4.16 pav.). Tiriamam guoliui ΔH reikšmės kinta nuo 0,073 mm iki 0,057 mm. ir bandymo metu išliko stabilios.

Didžiausias šiurkštumo Ra pokytis (4.14 pav.) nuo 0,42 μm iki 0,52 μm kai fiksuojamas bandiniui naudojant Mannol 80W-90 transmisinę alyvą bei TOP 2000 tirštą guolių tepalą pokytis (4.14 pav.) nuo 0,49 μm iki 0,32 μm , kurios kelis kartus aukštesnės nei likusioms alyvoms bei tepalams. Pastarųjų bandinių šiurkštumo pokyčių kreivės praktiškai identiškios.

Didžiausias šiurkštumo Rmax pokytis (4.15 pav.) nuo 4,6 μm iki 3,4 μm kai fiksuojamas bandiniui naudojant TOP 2000 tirštą guolių tepalą. Likusiems alyvoms, tepalams šis pokytis siekia apie 0,6 μm .

Didžiausias šiurkštumo Rz pokytis (4.14 pav.) nuo 2,7 μm iki 2 μm kai fiksuojamas bandiniui naudojant TOP 2000 tirštą guolių tepalą. Visų kitų alyvų bei tepalų Rz reikšmės tik didėja. Didėjimo intervalas apie 0,3 μm .

IŠVADOS

1. Atlikus guolių bandymus prie užsiduotų sąlygų, kai guolių dilimo parametrai buvo stebimi nemažiau kaip iki 3 mln. ciklų, nustatyta, kad guolių aukščio pokytis ΔH kito 0,4 mm intervalo ribose, nors atskirų guolių pradinės tų pokyčių reikšmės ir skyrėsi. Didžiausias skirtumas tarp visų guolių ΔH pokyčio reikšmių siekia 0,4 mm. Taigi, guolių dilimas buvo ženklus (4.16 pav).
2. Naudojant transmisines alyvas stebima aukščio pokyčio ΔH tendencija: naudojant Mannol ir Valvoline alyvas jis didėja, naudojant Pemco, nežymiai mažėja (4.16 pav).
3. Naudojant transmisines alyvas paviršiaus šiurkštumas R_a didėja naudojant Pemco (nuo 0,2 iki 0,23) ir Mannol (nuo 0,42 μm iki 0,53 μm) alyvas. Naudojant Valvoline alyvą, paviršiaus šiurkštumas nežymiai didėja, po to pradeda mažėti (4.13 pav).
4. Naudojant variklinę alyvą Pemco 10w-40 (3.16 pav) guolių aukščio pokyčių reikšmių išsibarstymas didžiausias, o mažiausias naudojant Castrol 10W-40 alyvą (3.8 pav).
5. Naudojant variklines Pemco ir Castrol alyvas paviršiaus šiurkštumo reikšmės beveik sutinka. Naudojant Shell variklinę alyvą šiurkštumas lieka beveik pastovus (4.12 pav), kinta nuo 0,16 μm iki 0,15 μm .
6. Naudojant tirštus tepalus ΔH parametras mažėja. Labiausiai jis mažėja naudojant TOP 2000 tirštą tepalą nuo 0,49 μm iki 0,34 μm . Naudojant kitus 2 tirštus tepalus mažėjimas ne toks ryškus (4.6 pav).
7. Naudojant pigiausias tyrime alyvas bei tepalus (4.7 pav.) ΔH parametras mažėjo naudojant Pemco 10W-40 nuo 0,07 mm iki 0,05 mm bei grafitinį tepalą nuo 0,62 mm iki 0,45 mm. Naudojant Mannol 80W-90, jis didėjo nuo 0,05 mm iki 0,2 mm. Tarp vidutinės kainos kategorijos (4.9 pav) ΔH parametras mažėjo naudojant Castrol 10W-40 nuo 0,3 mm iki 0,04 mm bei Litol 24 tepalą nuo 0,75 mm iki 0,64 mm, o augo naudojant Pemco 80W-90 nuo 0,7 mm iki 0,72 mm. Tarp brangiausių jis augo naudojant Valvoline 80W-90 nuo 0,3 mm iki 0,48 mm, o mažėjo prie Shell 10W-40 nuo 0,73 mm iki 0,32 mm.
8. Naudojant pigiausias tyrime alyvas bei tepalus (4.8 pav) R_a parametras mažėjo naudojant Pemco 10W-40 bei grafitinį tepalą. Naudojant Mannol 80W-90, jis didėjo nuo iki . Tarp vidutinės kainos kategorijos (4.10 pav) R_a parametras iš pradžių augo, o po to pradėjo mažėti naudojant Castrol 10W-40 alyvą, o augo naudojant Pemco 80W-90 nuo 0,2 μm iki 0,23 μm bei Litol 24 nuo 0,14 μm iki 0,16 μm Tarp brangiausių (4.12 pav) jis mažėjo naudojant bei Shell 10W-40 nuo 0,16 μm iki 0,15 μm , bei Top 2000 nuo 0,49 μm iki 0,34 μm o naudojant Valvoline 80W-90 jis didėjo minimaliai (nuo 0,3 μm iki 0,48 μm) .

LITERATŪRA

1. Kriščiūnas A. Įvairių faktorių įtakos kūginių guolių trinties proceso rodikliams tyrimas. Magistro baigiamasis darbas. KTU, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas, TK, 2015 – 91 p.
2. Prunskus J. Sukimosi greičio ir tepalo rūšies kūginių guolių trinties proceso rodikliams tyrimas. Magistro baigiamasis darbas. KTU, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas, TK, 2016 – 67 p.
3. Investigation of Drag and Churning Losses. Prieiga per internetą < http://en.svjme.eu/data/upload/2015/06/06_2015_2490_Liebrecht_04.pdf> [žiūrėta 2017-05-06]
4. Tapered Roller Bearings | The Timken Company. Prieiga per internetą: < <http://www.timken.com/en-us/products/Documents/Timken-Tapered-Roller-Bearing-Catalog.pdf> > [žiūrėta 2017-04-05].
5. Bearing failure: Causes and cures. Richard Widman. Barden precision bearings Prieiga per internetą: <http://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/08_media_library/01_publications/barden/brochure_2/downloads_24/barden_bearing_failures_us_en.pdf> [žiūrėta 2017-02-03].
6. Autoaibė, e-parduotuvė: Prieiga per internetą < <https://www.autoaibe.lt/alyvos-ir-tepalai/konsistenciniai-tepalai/grafitinis-tepalas-0-8kg-15456>> [žiūrėta 2017-05-07]
7. UAB Moviada e-parduotuvė: Prieiga per internetą < <https://www.moviada.lt/konsistencinis-tepalas-litol-24>> [žiūrėta 2017-05-07]
8. Amazon.de e-parduotuvė <<https://www.amazon.de/Autol-Top-2000-Super-Lontime-Fett-Kartusche/dp/B00606QCRS>>[žiūrėta 2017-05-07]
9. Specializuota alyvos parduotuvė <http://www.alyva.lt/automobiliams/varikline-alyva/castrol-magnatec-10w40-a3-b4-1l> >
10. Autoaibė, e-parduotuvė: Prieiga per internetą < <https://www.autoaibe.lt/alyvos-ir-tepalai/variklines-alyvos/pemco-idrive-210-10w40-11-variklio-alyva-5954>> [žiūrėta 2017-05-07]
11. Autoaibė, e-parduotuvė: Prieiga per internetą https://www.autoaibe.lt/alyvos-ir-tepalai/variklines-alyvos/shell-helix-hx7-10w40-11-variklio-alyva-6007?gclid=CKm-36_QnNQCFU1fGQod40kEhA [žiūrėta 2017-05-07]
12. Oltrade, e-parduotuvė:<http://www.oltrade.lt/lt/masla-i-smazki/transmisines-alyvos/mannol-alyvos/alyva-mannol-hypoid-getriebeoel-80w-90-11.html> [žiūrėta 2017-05-07]

13. Autoaibė, e-parduotuvė: Prieiga per internetą <https://www.autoaibe.lt/alyvos-ir-tepalai/transmisines-alyvos/pemco-ipoid-589-11-transmisine-alyva-80w90-109793>
14. Juta, e-parduotuvė:< <https://www.juta.lt/alyvos-automobiliams-ir-mikroautobusams/100227115-transmisine-alyva-hd-gear-oil-gl-4-valvoline-80w-90-mechaninei-pavarai-1-l-80w-90.html>>
[žiūrėta 2017-05-07]