

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

Jonas Prunskas

**SUKIMOSI GREIČIO IR TEPALO RŪŠIES ĮTAKOS KŪGINIŲ
GUOLIŲ TRINTIES PROCESO RODIKLIAMS TYRIMAS**

Magistro projektas

Vadovas

Dr. Danas Garuckas

PANEVĖŽYS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS

**SUKIMOSI GREIČIO IR TEPALO RŪŠIES ĮTAKOS KŪGINIŲ
GUOLIŲ TRINTIES PROCESO RODIKLIAMS TYRIMAS**

Magistro projektas
Mechanikos inžinerija (kodas M5016M24)

Vadovas

(parašas) Dr. Danas Garuckas
(data)

Recenzentas

(parašas)
(data)

Projektą atliko

(parašas) Jonas Prunskas
(data)

PANEVĖŽYS, 2016



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS

Jonas Prunskas

Mechanikos inžinerija (kodas M5016M24)

„Sukimosi greičio ir tepalo rūšies įtakos kūginių guolių trinties proceso rodikliams tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 16 m. _____ d.
Panevėžys

Patvirtinu, kad mano, **Jono Prunsko**, baigiamasis projektas tema „Sukimosi greičio ir tepalo rūšies įtakos 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)

20..... ..

BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota studentui:	<i>Jonui Prunskui</i>	Grupė	<i>PMM-4</i>
1. Darbo tema:			
Lietuvių kalba:	<i>Sukimosi greičio ir tepalo rūšies įtakos kūginių guolių trinties proceso rodikliams tyrimas</i>		
Anglų kalba:	<i>Research of Influence of Rotation Speed and Lubricant Type on the Friction Process Parameters of Tapered Bearings</i>		

Patvirtinta 2016 m. kovo mėn. 17 d. dekanu potvarkiu Nr. V25-13-8

2. Darbo tikslas: *Ištirti sukimosi greičio ir tepalo rūšies įtaką kūginių guolių trinties proceso rodikliams: šiurkštumo parametrams Ra, Rz, Rzmax, guolio nudilimui ΔH. Ištirti revitalizacinio tepalo priedo įtaką paviršiaus atsistatymo galimybei.*

3. Reikalavimai ir sąlygos: *Kūginis guolis: JL69349-JL69310. Matmenys: Ø40/Ø28/17 mm. Tepimas: AutolTop 2000, Pemco 80w90, Pemco 10w40 ir Pemco 80w90+Xado. Bandyto stendo apsisukimai pagal automobilio charakteringus eksploatacijos greičius.*

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

Ivadas. 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		<i>2016-06-10</i>
		<i>(data)</i>
Užduotį gavau:	<i>Jonas Prunskas</i>	<i>2016-02-01</i>
	<i>(studento vardas, pavardė, parašas)</i>	<i>(data)</i>
Vadovas:	<i>lektor. dr. Danas Garuckas</i>	<i>2016-02-01</i>
	<i>(pareigos, vardas, pavardė, parašas)</i>	<i>(data)</i>

TURINYS

ĮVADAS.....	8
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	10
1.1. Guolių trinties procesų tyrimas Porto Mechanikos institute.....	10
1.2. Guolių trinties procesų tyrimas KTU Panevėžio technologijų ir verslo fakultete.....	14
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.....	17
2.3. Tyrimo sąlygos.....	19
3. TYRIMO REZULTATAI.....	22
4. GUOLIŲ TRINTIES PROCESO RODIKLIŲ TYRIMO ANALIZĖ.....	46
4.1 Guolių trinties proceso rodiklių analizė pagal tyrimo metu naudotas alyvas.....	46
4.2 Guolių trinties proceso rodiklių analizė pagal sukimosi greitį.....	52
4.3 Guolių trinties proceso rodiklių analizė, pritaikant RVS technologiją.....	58
4.4. Tyrimo metalografinė analizė.....	62
4.5. Tyrimo analizė.....	64
IŠVADOS.....	65
Literatūra.....	67

Prunskas, Jonas. Sukimosi greičio ir tepalo rūšies įtakos kūginių guolių trinties proceso rodikliams tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas dr. Danas Garuckas; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

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

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

Panevėžys, 2016. 67 p.

SANTRAUKA

Baigiamasis darbas apima kūginių guolių dėvėjimosi kriterijų apžvalgą ir tyrimą, siekiant nustatyti dėvėjimosi kriterijų priklausomybes. Sukimosi greitis, skirtingos tepimui naudotos alyvos, RVS priedai –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 ir metalografijos duomenų apžvalga.

Prunskas, Jonas. *Research of Influence of Rotation Speed and Lubricant Type on the Friction Process Parameters of Tapered Bearings*. Master's thesis in / supervisor dr. Danas Garuckas. Panevėžys Faculty of Technologies and Business, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Technology Sciences, Mechanical Engineering Science Field.

Keywords: *Tapered Bearing, Friction, Rotation Speed, Oil, Attrition, Roughness*.

Panevėžys, 2016. 67 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 used and RVS accessories.

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 and metallographic data.

IVADAS

Lietuvos automobilių parkas yra ganėtinai senas. Dauguma gyventojų gaunančių vidutines pajamas neišgali nusipirkti naujo automobilio, todėl perka vakarų šalyse jau penkis – dešimt metų eksploatuotus automobilius. Jie dažnai genda, juos tenka dažnai remontuoti. Į šiuos automobilius dedami nauji techniniai mazgai, kurie ne visada yra aukštos kokybės, nes geros kokybės detalės yra brangios. Keisti visus mazgus aukštos kokybės naujais mazgais neapsimoka. Todėl montuojami ekonomiškai apsimokančios kokybės detalės, kurios nėra ilgaamžės. Todėl intensyvėja gamtinių išteklių naudojimas, o išmontuoti mazgai ir detalės kaupiasi ir, galima teigti, užteršia aplinką. Autoserviso atliekų utilizavimui ar perdirbimui reikalingos papildomos finansinės išlaidos, investicijos. Siekiant tausoti aplinką ir sumažinti gamtinių išteklių naudojimą būtina prailginti automobilių mazgų eksploatacijos laiką. Tai priklauso nuo eksploatacijos sąlygų, mazgo ar detalių medžiagų, jų tarpusavio sąveikos bei darbinio kontakto kokybės. Detalių dilimas, dirbančių trinties poroje, labai priklauso nuo kontaktuojančių detalių medžiagų, apkrovos dydžio ir krypties, tepimo, aplinkos temperatūros. Kai turima tiek faktorių įtakojančių kažkokio mazgo darbingumą ir ilgaamžiškumą, labai sunku tiksliai nustatyti mazgo tarnavimo laiką. Norint pasiekti kuo ilgesnį mazgo tarnavimo laiką, tenka atlikti daug eksperimentų 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 apsisukimų skaičius per minutę, tepalo rūšis. Pasibandyti revitalizacinių tepalo priedų (RVS) galimybes atstatyti guolio darbinis paviršius siekiant prailginti guolio tarnavimo laiką. Visa tai leis sumažinti detalių poreikį, sumažins eksploatacines išlaidas, taupys ir tausos gamtinius išteklius.

Projekto tikslas: Ištirti sukimosi greičio ir tepalo rūšies įtaką kūginių guolių trinties proceso rodikliams: šiurkštumo parametrus R_a , R_z , R_{zmax} , guolio nudilimui ΔH . Ištirti revitalizacinio tepalo priedo įtaką paviršiaus atsistatymo galimybei.

Projekto uždaviniai:

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

4. Grafiškai apdoroti ir pateikti bandymų rezultatus. Atlikti bandymo rezultatų analizę. Padaryti išvadas. Pateikti pasiūlymus ar rekomendacija dėl guolių eksploatacijos, jei tai įmanoma.

Projekto aktualumas. Automobilių detalių, šiuo atveju kūginio guolio, teisingas eksploatacijos sąlygų įvertinimas (apkrovos, tepimas, temperatūra), tinkamo darbinių paviršių tepimo užtikrinimas bei savalaikis revitalizacinių (RVS) tepalo priedų panaudojimas leidžia pasiekti labai ilgą 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 pinigine forma, tiek gamtinių išteklių tausojimo forma tampa gan ženklus ir turi teigiamą poveikį.

Projekto aprobavimas. Magistro baigiamojo projekto pagrindu perskaitytas pranešimas studentų mokslinių darbų konferencijoje „Technologijų ir verslo aktualijos 2016“ bei publikuotas straipsnis šios konferencijos leidinyje:

Prunskas J., Garuckas D., Sukimosi greičio ir tepalo rūšies įtakos kūginių guolių trinties proceso rodikliams tyrimas. *SMD konferencijos „Technologijų ir verslo aktualijos 2016“ medžiaga.* Panevėžys, PTVF. – 2016.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Guolių trinties procesų tyrimas Porto Mechanikos institute.

Daug įvairių tyrimų atliekama riedėjimo guolių trinties srityje. Vienas iš tiriamųjų darbų atliktas Porto Mechanikos institute [2], bandant nustatyti biotepalų poveikį kūginio guolio dėvėjimuisi. Kūginiai guoliai buvo išbandyti tose pačiose sąlygose, keičiant pradinį tepalo kiekį, naudojamą sutepti guolį. Du biologiškai ir vienas mineralinis tepalas buvo naudojami nustatyti tepalų kiekio įtaką guolio trinčiai. Guolių temperatūra buvo stebima kiekvieną bandymą, įvertinant energijos nuostolius, našumą tepimo metu. Kiekvieno bandymo pabaigoje naudotas tepalas buvo surenkamas analizei, pritaikant naftos analizės metodus (Ferometrija ir analitinė Ferrografija). Optinė mikroskopija, skenavimas elektronų mikroskopija (SEM) ir energetikos dispersijos rentgeno (EDX) metodai buvo naudojami papildyti dilimo dalelių analizę, išnagrinėta atraminio guolio paviršiaus morfologija ir nustatyta metalurginė sudėtis.

Kūginio guolio bandymai atlikti su guolių tyrimo įrenginiu. Plieninėje apkaboje (1.1 pav.) sumontuotas tiriamasis **30203 J2** kūginis guolis. Guolio matmenys: išorinio žiedo skersmuo $D = 40,00$ mm, vidinio žiedo skersmuo $d = 28,00$ mm, guolio aukštis T (arba H) = 13,25 mm.



1.1 pav. Guolių tyrimo įrenginys (kairėje), guolių tyrimo įrenginio apkaba (dešinėje) [2]

Išorinis guolio žiedas tvirtinamas stacionariai, vidinis žiedas besisukantis ir jam suteikiama ašinė apkrova. Prieš tyrimą guoliai be apkrovos buvo sukami 300 000 apsisukimų.

Visi kūginių guolių bandymai buvo atliekami tomis pačiomis sąlygomis: apsisukimų greitis – 1 000 aps./min., ašinė apkrova – 5 000 N, bandymo trukmė – 1×10^{-6} ciklų (16 valandų ir 40 minučių). Tyrimas atliktas su mineraline alyva BgM3 ir dviem bio-alyvomis Eg00 ir Eg60, skirtingais guolių tepimui skirtais tūriais ($1,5 \text{ cm}^3$ ir $0,5 \text{ cm}^3$). Kiekviena tepalo rūšis, skirtingais tūriais leido sudaryti 7 tyrimo kombinacijas.

Fizinės alyvų savybės [2]

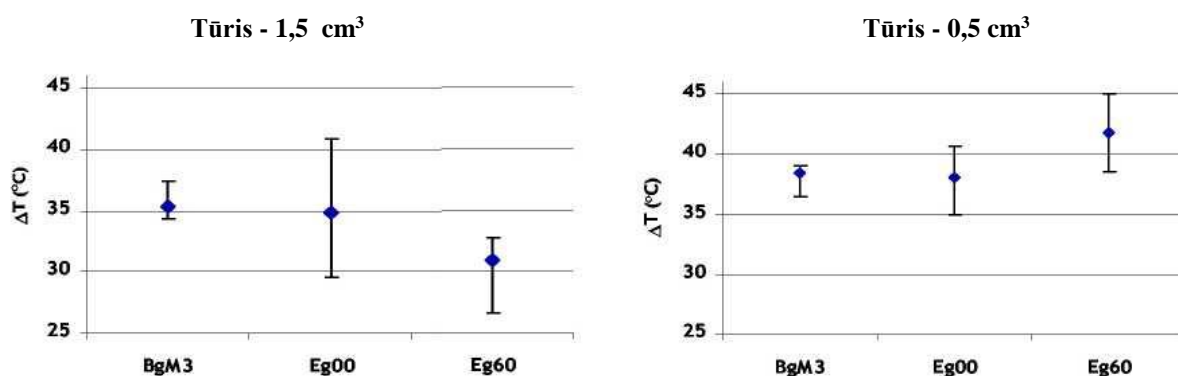
Greases	BgM3	EgOO	EgfiO
Type of base oil	Mineral	Ester	Ester
Biodegradability (OECD 301 F)		60%	> 60%
ISO Viscosity Grade (base oil)	220	166	166
at 41 °C, mm ² /s (cSt), approx.	230	91,8	91,8
at 100 °C, mm ² /s (cSt), approx.	17,5	14,5	14,5
LP@fi °C (LubeParameter)	1.77E-09	6.23E-10	6.23E-10
NLGI Number (DM51 818)	2	2	2
Dropping Point (°C)	185	> 180	> 180
EP Additives	Yes	Slight	Slight
Thickener	Li	Li/Ca	Li/Ca-Polyurea
Application	Bearings	Multipurpose	

Tyrimo metu buvo fiksuojama darbinė alyvos temperatūra, guolio apkabos temperatūra ir stendo patalpos temperatūra.

Baigus tyrimo ciklą, guolis buvo išimamas iš stendo, išplaunamas tirpikliais ultragarso pagalba. Paimti alyvos ir tirpiklio pavyzdžiai buvo tyriami Ferometrijos ir analitinės Ferografijos įranga.

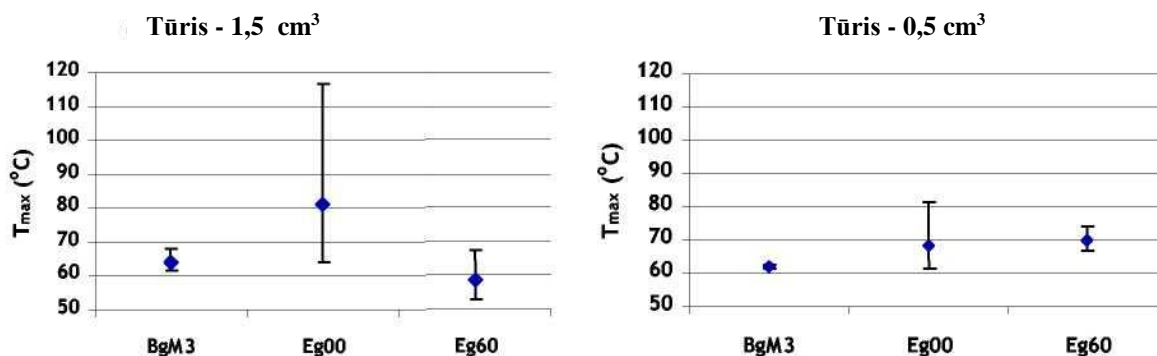
Tyrimo rezultatai

Tyrimo metu fiksuoti temperatūrų skirtumai tarp bandymų stendo aplinkos ir bandymo stendo apkabos, naudojant skirtingas alyvas ir skirtingus alyvų kiekius. Duomenys apdoroti statistiškai ir pateikiami paveikslėliuose.



1.2 pav. Temperatūrų skirtumas tarp aplinkos ir guolio apkabos, kiekvienai alyvai ir skirtingam alyvos kiekiui [2]

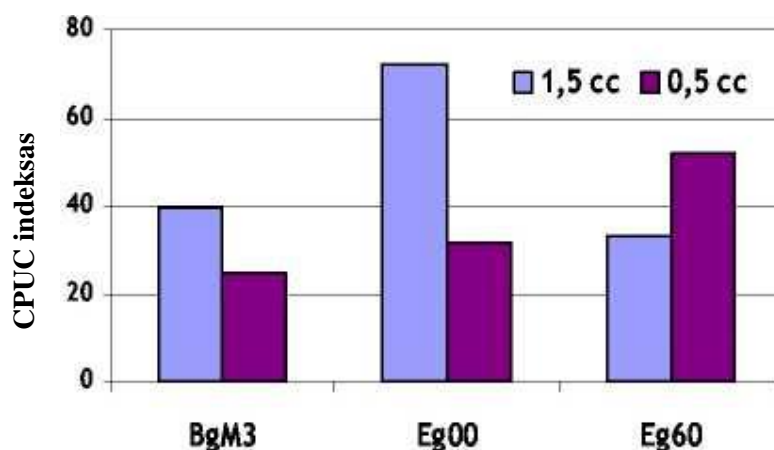
Mažiausias temperatūrų skirtumas pastebimas naudojant BgM3 mineralinę alyvą, abiem atvejais, naudojant skirtingus alyvos kiekius. Būtina įvertinti, kad aukštesnė aplinkos temperatūra trikdo guolio aušinimą, temperatūros perdavimą iš stendo guolio apkabos į aplinką.



1.3 pav. Maksimalios darbinės temperatūros kiekvienai alyvai ir skirtingam alyvos kiekiui [2]

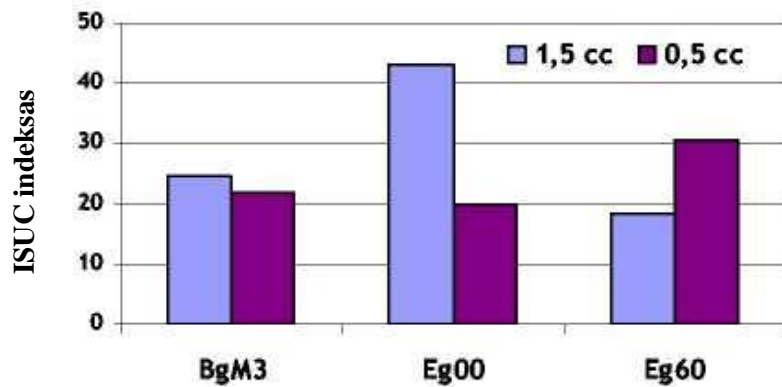
Maksimalios darbinės temperatūros stebimos Eg00 alyvos naudojimo atveju. Ženklus skirtumas kitų alyvų atžvilgiu pastebimas naudojant tepimui didesnę alyvos kiekį. Tačiau tendencijos išlieka ir naudojant tepimui mažesnę alyvos kiekį.

Nusidėvėjimo dalelių Ferografijos tyrimo duomenys pateikiami nusidėvėjimo indeksų pagalba: nusidėvėjimo dalelių koncentracijos indeksas CPUC, nusidėvėjimo sunkumo indeksas ISUC ir stambiųjų dalelių koncentracijos indeksas PLP.

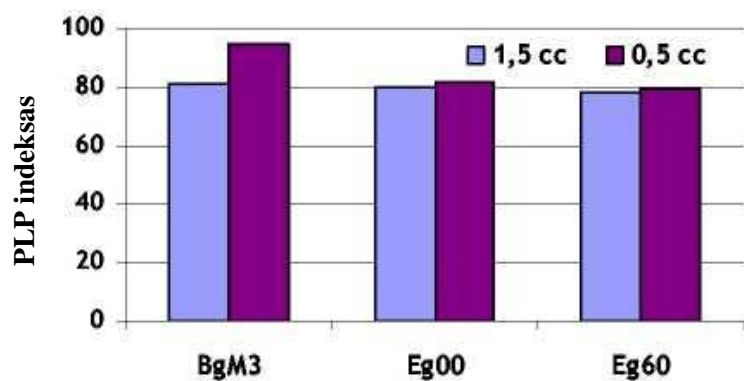


1.4 pav. Nusidėvėjimo dalelių koncentracijos indeksas CPUC, kuomet naudojamos skirtingos alyvos skirtingais kiekiais [2]

Iš 1.4 pav. ir 1.5 pav. matyti, kad nusidėvėjimo indeksai CPUC ir ISUC yra žemesni, kuomet alyvos BgM3 ir Eg00 kiekis yra sumažintas nuo 1,5 cm³ iki 0,5 cm³. Tačiau priešingi rezultatai fiksuoti alyvos Eg60 atveju – nusidėvėjimo indeksas fiksuotas žemesnis, kuomet naudotas didesnis alyvos kiekis, t.y. 1,5 cm³.



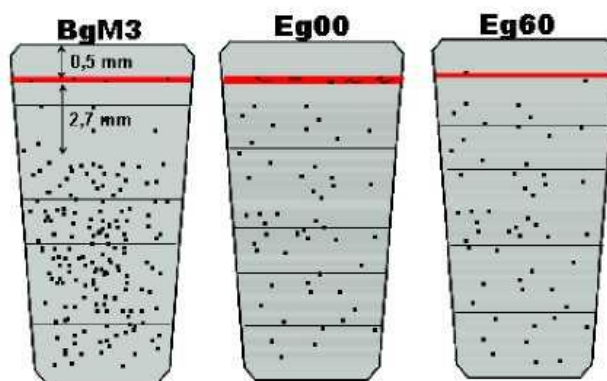
1.5 pav. Nusidėvėjimo sunkumo indeksas ISUC, kuomet naudojamos skirtingos alyvos skirtingais kiekiais [2]



1.6 pav. Stambiųjų dalelių koncentracijos indeksas PLP, kuomet naudojamos skirtingos alyvos skirtingais kiekiais [2]

Iš 1.6 pav. matyti, kad skirtingų alyvų tyrime parinktas skirtingas kiekis praktiškai neturi įtakos stambiųjų dalelių koncentracijos indeksui PLP.

Guolio ritinelių darbinis paviršius buvo analizuojamas optiniu ir elektroniniu skanavimo mikroskopu. Nusidėvėjimo požymiai, naudojant tepimui skirtingas alyvas, pateikiami 1.7 pav.



1.7 pav. Guolio ritinelių nusidėvėjimo identifikavimas, naudojant skirtingas alyvas [2]

Ritinėliuose, kurie tyrimo metu buvo tepami BgM3 alyva, stebima didesnė paviršiaus pažeidimų koncentracija, nei kitų dvejų alyvų atveju. Ypatingai tai pastebima 3,2 mm žemiau nuo ritinėlio darbinio paviršiaus krašto.

Tyrimo išvados. Tyrimo rezultatai parodė, kad naudojamos alyvos kiekis turėjo ribotą įtaką tyriamų guolių našumui. Naudotas sumažintas alyvos kiekis ($0,5 \text{ cm}^3$) yra didesnis nei pakankamas normaliam guolio darbui. Kita vertus, alyvos fizinės savybės turėjo didesnę įtaką guolio našumui ir dėvėjimuisi. Galimybės susidaryti slidimo plėvelei, buvo skirtingos, naudojant skirtingas alyvas. Slidimo plėvelės storis ir struktūra turėjo lemiamą įtaką guolio ilgaamžiškumui.

1.2. Guolių trinties procesų tyrimas KTU Panevėžio technologijų ir verslo fakultete

Tyrimas įvairių faktorių įtakos kūginių guolių trinčiai buvo atliktas ir KTU Panevėžio technologijų ir verslo fakultete. Darbo tikslas panagrinėti skirtingų alyvų ir RVS priedų įtaką [4] guolio darbinio paviršiaus parametrui.

Tyrimo objektas: kūginis ritininis vienaeilis guolis JL 69349/310/Q. Tyrime dalyvavo nauji ir buvę eksploatacijoje – naudoti guoliai. Stebint guolio dilimo procesą buvo matuojami ir fiksuojami šie parametrai: guolio išorinio žiedo kūginio paviršiaus šiurkštumas pagal Ra kriterijų, ritinėlių darbinio paviršiaus šiurkštumas pagal Ra kriterijų, guolio aukščio matmens pokytis.

Guoliai buvo bandomi trinties stende pastoviais 1 500 aps./min. sūkais ir pritaikant suplanuotą skirtingų alyvų tepimą. Tyrime buvo apsiribota 2 000 kg guolio ašine apkrova, guoliai bandomi iki jų suirimo. Guolių tiriamieji parametrai matuojami ir jų reikšmės fiksuojamos kas tris valandas, stabdant guolių trinties stendą bei išimant guolį.

Atlikus naujų ir naudotų guolių tyrimus, buvo nustatytos guolių išorinio žiedo paviršiaus šiurkštumo Ra ir guolio aukščio kitimo analogiškos priklausomybės. Nustatyta, kad didžiausias kūginių guolių resursas pasiekiamas naudojant didesnę klampį turinčius tepalus. Guolio resursas kito nuo 18 iki 25 valandų. Revitalizaciniai alyvų priedai įgalino padidinti naujų ir naudotų guolių resursą iki 225 000 ciklų (arba 2...3 valandų). Metalų keramikos danga ar jos užuomazgos lyg ir susiformavo, tačiau greitai nunyko. Tai gali būti susiję su sunkiomis guolio bandymo sąlygomis. Pastebima, kad revitalizacinių alyvų dangas ir jų įtaką trinties poros darbui reikėtų tyrinėti prie žymiai mažesnių apkrovų ir apsisukimų skaičiaus per minutę, prailginant eksperimento laiką.

Tyrimų rezultatų apibendrinimas

Apžvelgus atliktus tyrimus galima padaryti prielaidą, kad pagrindiniai kriterijai vertinant kūginių guolių nusidėvėjimą yra paviršiaus šiurkštumas, nudilimo parametrai ir darbinė temperatūra. Pagrindiniai faktoriai lemiantys nusidėvėjimą yra slidimo plėvelės kokybė, guolio apkrova ir vibracija bei iš dalies aplinkos temperatūra.

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 galinės ašies guoliai, daugeliu atvejų naudojami VW grupės automobiliuose. Įvertinsime realias dažniausiai pasitaikančias automobilių eksploataavimo sąlygas ir identifikuosime pradinis duomenis, reikalingus tyrimui atlikti.

1. Automobilio rato skersmuo:

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

Šiuo atveju parenkamas atitinkamo plačiai rinkoje eksploatuojamoms padangoms 205/60 R16

2. Aktualūs automobilio greičiai:

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

$$v_2 = 50 \text{ km/val.,}$$

$$v_3 = 70 \text{ km/val.,}$$

$$v_4 = 90 \text{ km/val.,}$$

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

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

3. Automobilio masė:

$$m_n = 1700 \text{ kg,}$$

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

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

$$k_p = 0,7;$$

$$k_g = 0,3.$$

Skaičiuote

1. Automobilio rato perimetras:

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

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

$$n_i = \frac{1000}{60} \cdot \frac{v_i}{P_R};$$

2.1 lentelė

Skaičiuotini rato (guolių) apsisukimai

Greitis	v	km/val.	30	50	70	90	130
Skaičiuotini apsisukimai	n	aps./min.	244,85	408,1	571,33	734,56	1061,0

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.:

$$v_f = \frac{60}{1000} \cdot n_f \cdot P_R,$$

2.2 lentelė

Priimtų rato (guolių) apsisukimų eilė ir faktinis automobilio 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 (2.2 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 guolių tyrimai prie 250, 500, 750 ir 1 000 aps./min. sūkių.

4. Radialinė apkrova tenkanti vienam automobilio ratui:

$$F_R = \frac{m_n}{4} = 425 \text{ kg.}$$

4.1. Apkrova tenkanti priekinei ašiai:

$$F_P = k_p \cdot m_n = 1190 \text{ kg.}$$

4.2. Apkrova tenkanti priekiniam ratui:

$$F_{PR} = \frac{F_P}{2} = 595 \text{ kg.}$$

4.3. Apkrova tenkanti užpakaliniams ašiai:

$$F_G = k_g \cdot m_n = 510 \text{ kg.}$$

4.4. Apkrova tenkanti užpakaliniam ratui:

$$F_{GR} = \frac{F_G}{2} = 255 \text{ kg.}$$

5. Guolis.

5.1. Ašinė apkrova, kg:

$$F = 100 \text{ kg.}$$

5.2. Guolio charakteringas kampas:

$$\alpha_{deg} = 15^\circ;$$

$$\alpha = \frac{\pi}{90} \cdot \alpha_{\text{deg}} = 0,524 \text{ rad.}$$

5.3. Guolio ritinėlių skaičius:

$$n_r = 22 \text{ vnt.}$$

5.4. Guolio radialinė ir ašinė apkrova:

$$F_r = F \cdot \sin(\alpha) = 50 \text{ kg;}$$

$$F_a = F \cdot \cos(\alpha) = 86,603 \text{ kg.}$$

6. Stendų užduodamos apkrovos nustatymas planuojamai guolio radialinei apkrovai.

6.1. Norima guolio radialinė apkrova:

$$F_{rp} = F_{GR} = 255 \text{ kg.}$$

6.2. Stendo užduodama apkrova:

$$F_{astend} = \frac{F_{rp}}{\sin(\alpha)} = 510 \text{ kg.}$$

6.3. Stendo generuojama ašinė jėga tenkanti guoliui:

$$F_{ap} = F_{astend} \cdot \cos(\alpha) = 441,673 \text{ kg.}$$

2.2. Bandymų trukmės ir stabdymo laiko etapų matavimams nustatymas

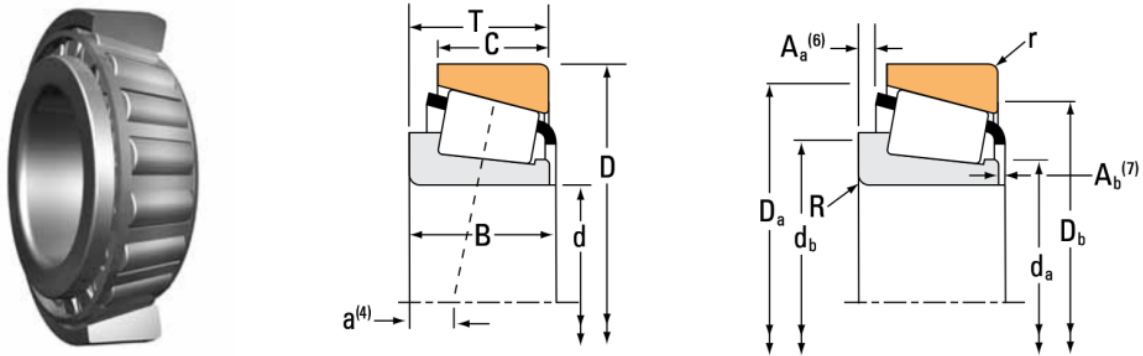
Siekiant sutilpti į magistro baigiamojo projekto paruošimo laiką ir atlikti kiek galima daugiau eksperimentų ir matavimų, atskirų guolių bandymams įvesti tam tikri apribojimai. Kiekvienas iš guolių turės būti bandomas nemažiau kaip 2 mln. ciklų, t. y. turės apsisukti apie savo ašį tiek kartų. Norint palyginti atskirų guolių dilimo charakteristikas, kurios bus matuojamos periodiškai, bus apsibrėžtas vienodas ciklų skaičius, kurį pasiekus guolio bandymo stendas bus stabdomas ir atliekami išmontavimo, plovimo, matavimo, vizualinės apžiūros, fotofiksavimo darbai. Po to guolis bus vėl sumontuojamas į stendą ir eksperimentas pratęsiamas. Taigi, tarpiniams matavimams numatytas laiko momentas kas 300 000 apsisukimų. Skirtingais sūkais bandomų guolių tas momentas bus skirtingas. Tam, kad paprasčiau būtų identifikuoti aktualius laiko momentus, sudaryta bandymų trukmės lentelė, kurioje bandymų laikas susietas su apsisukimų skaičiumi (2.3 lentelė). Aktualūs laiko momentai šioje lentelėje yra išskirti spalviškai ir lentelės skilties riebėniu įrėminimu. Kad lengviau būtų orientuotis apsisukimų skaičius susietas ir su darbo dienų skaičiumi, nes eksperimentas vykdomas tik darbo dienomis ir tik darbo valandomis.

Eksperimento laiko sąsajos su apsisukimų skaičiumi lentelė

Laikas min.	Apsisukimų skaičius per minutę							Darbo dienų skaičius			
	250	500	750	1000	1250	1500	300				po 5 val.
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	4.0	2.5	2.0	
25	375000	750000	1125000	1500000	1875000	2250000	450000	5.0	3.1	2.5	
30	450000	900000	1350000	1800000	2250000	2700000	540000	6.0	3.8	3.0	
35	525000	1050000	1575000	2100000	2625000	3150000	630000	7.0	4.4	3.5	
40	600000	1200000	1800000	2400000	3000000	3600000	720000	8.0	5.0	4.0	
45	675000	1350000	2025000	2700000	3375000	4050000	810000	9.0	5.6	4.5	
50	750000	1500000	2250000	3000000	3750000	4500000	900000	10.0	6.3	5.0	
55	825000	1650000	2475000	3300000	4125000	4950000	990000	11.0	6.9	5.5	
60	900000	1800000	2700000	3600000	4500000	5400000	1080000	12.0	7.5	6.0	
65	975000	1950000	2925000	3900000	4875000	5850000	1170000	13.0	8.1	6.5	
70	1050000	2100000	3150000	4200000	5250000	6300000	1260000	14.0	8.8	7.0	
75	1125000	2250000	3375000	4500000	5625000	6750000	1350000	15.0	9.4	7.5	
80	1200000	2400000	3600000	4800000	6000000	7200000	1440000	16.0	10.0	8.0	
85	1275000	2550000	3825000	5100000	6375000	7650000	1530000	17.0	10.6	8.5	
90	1350000	2700000	4050000	5400000	6750000	8100000	1620000	18.0	11.3	9.0	
95	1425000	2850000	4275000	5700000	7125000	8550000	1710000	19.0	11.9	9.5	
100	1500000	3000000	4500000	6000000	7500000	9000000	1800000	20.0	12.5	10.0	
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 atliekamas su naujais guolių komplektais TIMKEN JL69349-JL69310. Matmenys pagal TIMKEN katalogą: išorinio žiedo skersmuo $D = 63,00$ mm, vidinio žiedo skersmuo $d = 38,00$ mm, guolio aukštis T (arba H) = 17,00 mm [3, 9].



2.1 pav. Tiriamas TIMKEN kuginis guolis [3]

Tiriamųjų guolių trinties proceso rodikliai, kurie bus stebimi, matuojami ir fiksuojami – guolio darbinio paviršiaus šiurkštumas (R_a , R_z , R_{max}) ir guolio nudilimui įvertinti guolio aukštis H . Guolio darbinio paviršiaus šiurkštumui įvertinti bus apsiribota jo išorinio žiedo darbinio paviršiaus, kuriuo rieda ritinėliai, šiurkštumo matavimu skersai ritinėlių riedėjimo trajektorijos. Guolio nudilimui fiksuoti – matuojamas guolio aukščio pokytis ΔH nuo jo pradinio – etaloninio aukščio.



2.2 pav. Tribologinis stendas

Guolių tyrimai atlikti naudojant KTU Panevėžio technologijų ir verslo fakultete susikonstruotą ir pasigamintą tribologinį standą (2.2 pav.). O šiems tyrimams šis standas patobulintas elektros variklio maitinimo grandinėje įdiegus dažnių keitiklį guolių sukimosi dažniui n reguliuoti ir nustatyti. Atsižvelgiant į eksploatuojamų automobilių, kuriuose naudojami kūginiai guoliai JL69349-JL69310, apkrovas esant neprikrautiems ir pilnai pakrautiems automobiliams, priimta vidutinė radialinė apkrova $F_r = 2550$ N. Todėl tiriamieji guoliai bandymų stende bus apkrauti būtent tokia radialine apkrova, kuri bus pastovi tiriant visus guolius.

Tiriant guolių trinties proceso rodiklių kitimą eksperimentas bus atliekamas atskiram konkrečiam guoliui taikant šių sąlygų skirtingus atvejus:

1. Guolio sukimosi greitis: 250, 500, 700 arba 1 000 aps./min.
2. Skirtingų savybių tepalai / alyvos: tirštas tepalas Autol Top 2000, transmininė alyva „Pemco 80w90“ arba variklinė alyva „Pemco 10w40“.
3. Revitalizacinio priedo „Xado“ panaudojimas transmisinės alyvos „Pemco 80w90“ atveju, jau pirminiuose bandymų etapuose su šia alyva bandytiems guoliams.

Kontrolės priemonės ir metodika.

Šiurkštumas matuojamas profilometru Garant ST1, guolio aukščio pokytis matuojamas dviem laikrodiniais indikatoriais Horex ant matavimo stovo staliuko. Darbinio paviršiaus pakitimai fiksuojami metalografiniu mikroskopu Olympus BX41M ir skaitmenine MegapixelFireWire kamera. Temperatūros matavimai atliekami multimetru su termopora.

Guoliai bandomi nemažiau kaip iki 2 mln. ciklų. Guolio parametrų matavimai atliekami kas 300 000 ciklų. Matavimams tribologinis standas stabdomas, guolis išmontuojamas iš guoliavietės ir išplaunamas. Guoliavietėje esantis tepalas / alyva nekeičiama. Po matavimų guolis sumontuojamas į guoliavietę ir eksperimentas tęsiamas. Matavimo duomenys fiksuojami kontrolės kortelėse. Vienam guoliui atliekama iki 10 kontrolės operacijų arba užpildoma iki 10 kontrolės kortelių.

Tyrimo planas.

Tyrimui atlikti sudaromas skirtingų alyvų panaudojimo planas – konkrečiam guoliui bus numatytas konkretus tepimo atvejis, t. y. tepalas / alyva. Planas – tyrimo sąlygų matrica pateikta 2.4 lentelėje.

Guolių eksperimentinio tyrimo sąlygų matrica

Tepalas Guolis	<i>n</i> , aps./min.												
	AutolTop 2000				Pemco 80w90				Pemco 10w40				80w90 Xado
	250	500	750	1000	250	500	750	1000	250	500	750	1000	1000
KG01	•												
KG02						•							
KG03										•			
KG04			•										
KG05							•						•
KG06											•		
KG07												•	
KG08								•					•
KG09				•									

3. TYRIMO REZULTATAI

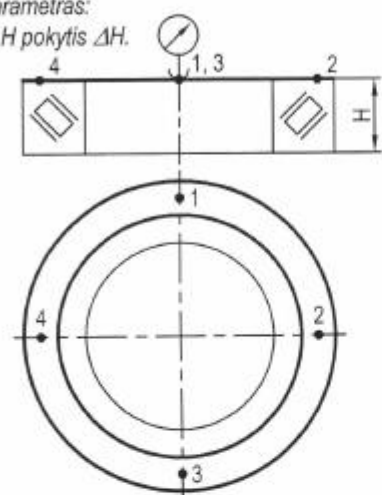
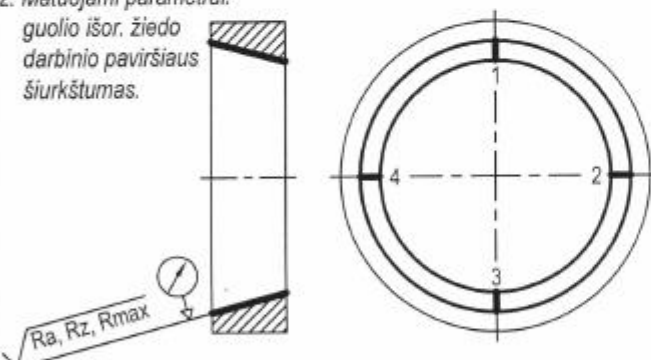
Tyrimo metu nustatyta šiurkštumo parametų Ra, Rz ir Rmax bei guolio aukščio ΔH kitimo priklausomybė nuo guolio bandymo laiko. Laiko skalė atvaizduota matavimo etapų, kurie sutartinai pažymėti ID, numeracijos eile. Guolio bandymo laikas tarp dviejų etapų yra 300 000 ciklų.

Bandymo metu kiekvienam iš bandinių pildomos kontrolės kortelės, kuriose fiksuojami matavimo ciklų duomenys, pastabos. Pateikiame vieno iš bandinių KG05 kontrolės kortelių pavyzdžio fragmentus.

5 guoliai Pradžia 2016-01-18 15 val. Pabaiga 2016-01-24 11:20

1		2		3		4		
Bandymo sąlygos	Bandinio Nr.	5		Bandymo trukmė	ciklais	2 100 000		
	Alyva	80W-90 (Pireo)		Matavimų periodas	ciklais	kas 300 000		
	Alyvos priedas				val.	kas		
	F _r apkrova	kg	255					
	Stendo apkrova	kg	510					
	Apsisukimai	aps/min.	750					
Kontrolės sąlygos								
Eksperimento eigos laiko kontrolė								
Data	Paleista	Išjungta	Trukmė	Matav. kortel. Nr.	Paleista	Išjungta	Trukmė	Pastabos
2016-01-18	15:00	16:45	1:45	1				K36° A43° V48°
2016-01-19	8:20	16:40	8:20	h ₂ = 10:05	14	6:45		K36° A43° V52°
2016-01-20	9:00	16:35	7:35	h ₂ = 17:40	15	6:45		K34° A43° V50°
2016-01-21	8:20	11:30	7:40	h ₂ = 25:20	16	6:45		
2016-01-22	9:00	15:30	6:30	h ₂ = 34:50	17	6:45		
2016-01-23	8:20	11:25	3:0	h ₂ = 34:50	17	6:45		
2016-01-24	11:45	15:45	4:0	h ₂ = 46:20	18	6:45		
2016-01-26	8:15	13:55	5:30	h ₂ = 46:20	18	6:45		
2016-01-26	14:00	16:00	2:00	h ₂ = 56:00	19	6:45		
2016-01-27	8:20	15:20	7:20	h ₂ = 56:00	19	6:45		
Viso:					Viso:			
Suminis valandų skaičius					Suminis ciklų skaičius			
Pastabos / Komentarai / Išvados:								
Mastelis		Ruošė		01-B				
Tikrinio								
2016		Stadija	A4	N.kontr.				
Kaup.		KTU PTVF			Lapų	Lapas		
Inv.Nr.					1	1		

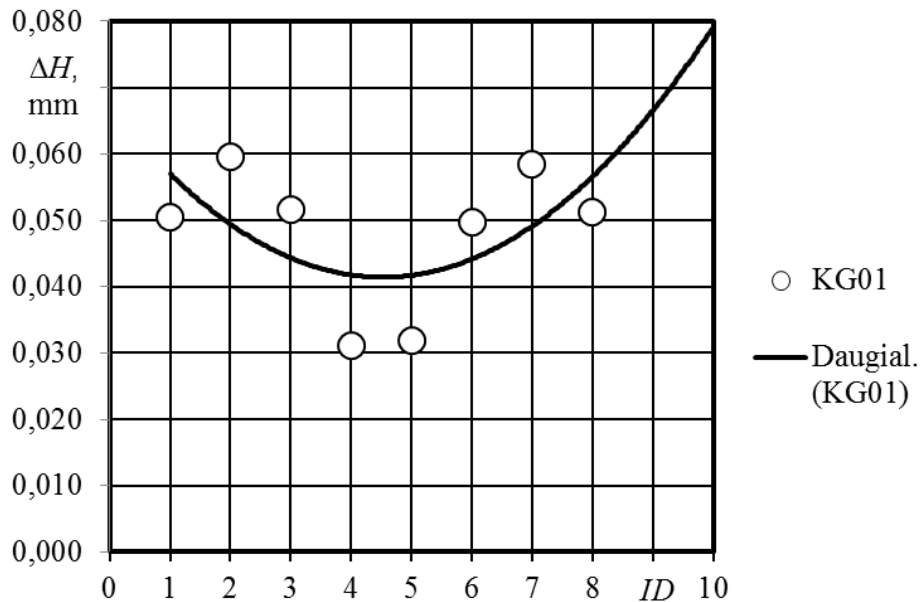
3.1 pav. Kontrolinės kortelės tyrimo ID ciklų suvestinė.

1		2		3		4		
Bandyto sąlygos	Bandinio Nr.	5 ⁻		Bandymo trukmė	ciklais			
	Alyva	80W-90		Matavimų periodas	ciklais			
	Alyvos priedas	-			val.			
	Fr apkrova	kg	255					
	Stendo apkrova	kg	510	Etaloninis aukštis H	mm	17,00		
	Apsisukimai	aps./min.	750					
Kontrolės sąlygos								
<p>1. Matuojamas parametras: guolio aukščio H pokytis ΔH.</p>  <p>2. Matuojami parametrai: guolio išor. žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumas.</p> 								
				ΔH	Ra	Rz	Rmax	
				mm	μm	μm	μm	
1 taškas				0,019	0,129	1,03	1,79	
				0,019	0,124	0,83	0,90	
				0,021	0,127	1,00	1,31	
				0,017	0,123	0,99	1,34	
2 taškas				0,005	0,113	0,78	0,86	
				0,02	0,115	0,83	1,08	
				0,019	0,106	0,73	0,79	
				0,018	0,118	0,76	0,78	
3 taškas				0,008	0,110	0,71	0,94	
				0,02	0,109	0,80	1,03	
				0,021	0,114	0,81	0,95	
				0,017	0,103	0,70	0,77	
4 taškas				0,012	0,145	1,04	1,32	
				0,02	0,137	1,04	1,34	
				0,018	0,130	0,97	1,28	
				0,017	0,141	1,03	1,16	
Pastabos: 2016-01-20 8 ²⁰				ΔH	Ra	Rz	Rmax	
$n_2 = 453750 \text{ rpm} / 10:05 \text{ val.}$				\bar{x}				
$n_6 = 453750 \text{ rpm} / 10:05 \text{ val.}$				S				
$n_4 = 10:05 \text{ val.}$				\bar{x} - vidurkis				
$n_6 = 10:05 \text{ val.}$				S - vidutinė kvadratinė nuokrypa				
Mastelis		Ruošė		01-19				
		Tikrino						
2016	Stadija	N.kontr.						
	A4	Tvirtino						
Byla	KTU PTVF				KK.05.02		Lapų	
Kaup.							Lapas	
Inv.Nr.							7 2	

3.2 pav. Kontrolinės kortelės tyrimo ID ciklų suvestinės duomenys

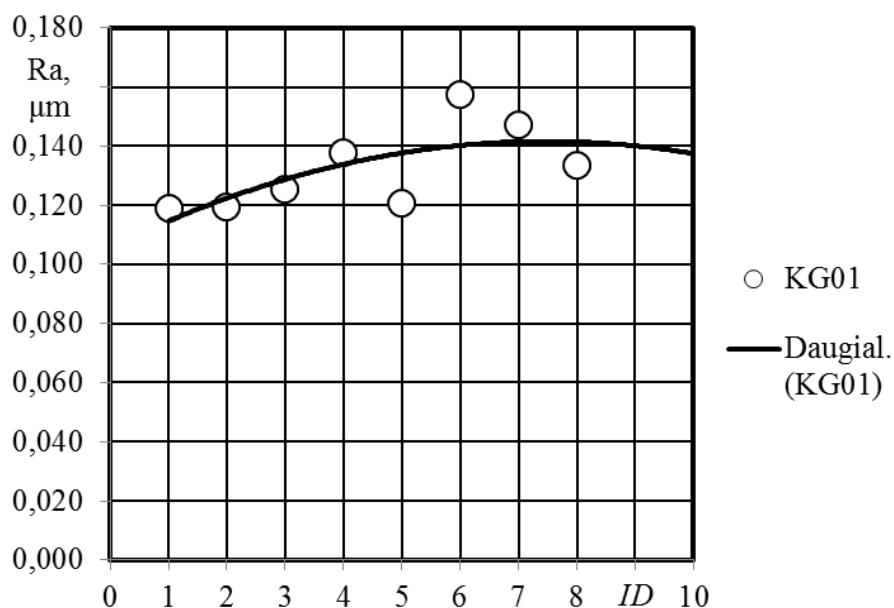
Daugiau nei 6 000 matavimų duomenys apdoroti statistiškai pateikti jų vidutinėmis reikšmėmis, kurios pavaizduotos apskritimais, kvadratiniais ir trikampaiais taškais. Matuojamų dydžių kitimo dėsningumams išsiaiškinti grafikuose kiekvienam guoliui pateiktos dviejų lygties narių polinominės tendencijų (trend)kreivės. jame pateikiama guolio aukščio ΔH ir guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametru R_a , R_z ir R_{max} kitimo priklausomybė (3 – 8 pav.).

Bandinys KG01 . Tepimui naudotas tirštas tepalas Autol Top 2000, $n = 250$ aps./min.



3.3 pav. Guolio aukščio kitimas laike, kai tepimui naudotas tirštas tepalas Autol Top 2000, apsisukimai $n = 250$ aps./min.)

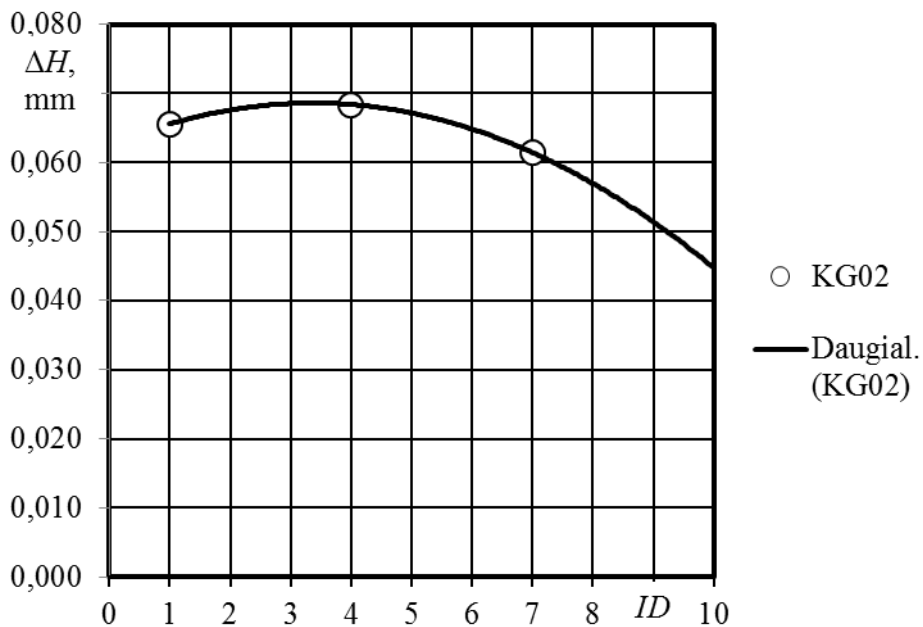
Bandinio KG01 (3.3 pav.) aukščio kitimas – nuo 0,060 mm reikšmės iki žemiausios 0,032 mm reikšmės 4 ir 5 ID cikluose. Bandymo pabaigoje guolio KG01 aukščio pokytis mažėja ir yra identiškas reikšmėms bandymo pradžioje.



3.4 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro R_a kitimas laike, kai tepimui naudotas tirštas tepalas Autol Top 2000, apsisukimai $n = 250$ aps./min.

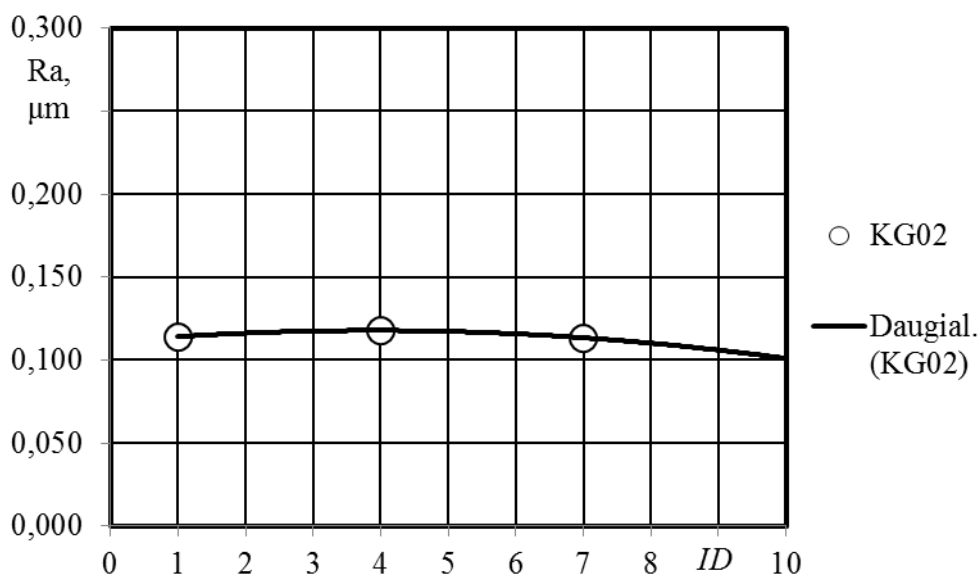
Bandinio KG01 metu stebimas tolygus šiurkštumo Ra pokytis (3.4 pav.) nuo 0,12 μm iki 0,14 μm .

Bandinys KG02. Tepimui naudotas tirštas tepalas Pemco 80W-90, apsisukimai $n = 500$ aps./min.



3.5 pav. Guolio aukščio kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 80W-90, apsisukimai $n = 500$ aps./min.

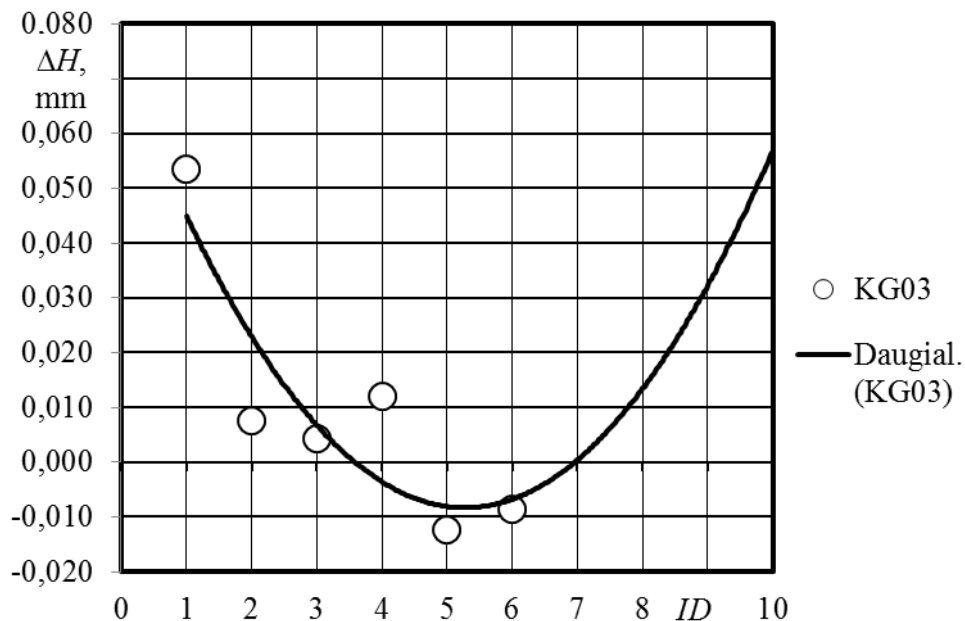
Bandinio KG02 (3.5 pav.) metu stebimas aukščio kitimas – nuo 0,065 mm reikšmės iki žemiausios 0,061 mm reikšmės 3-iaame ID cikle.



3.6 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Ra kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 80W-90, apsisukimai $n = 500$ aps./min.

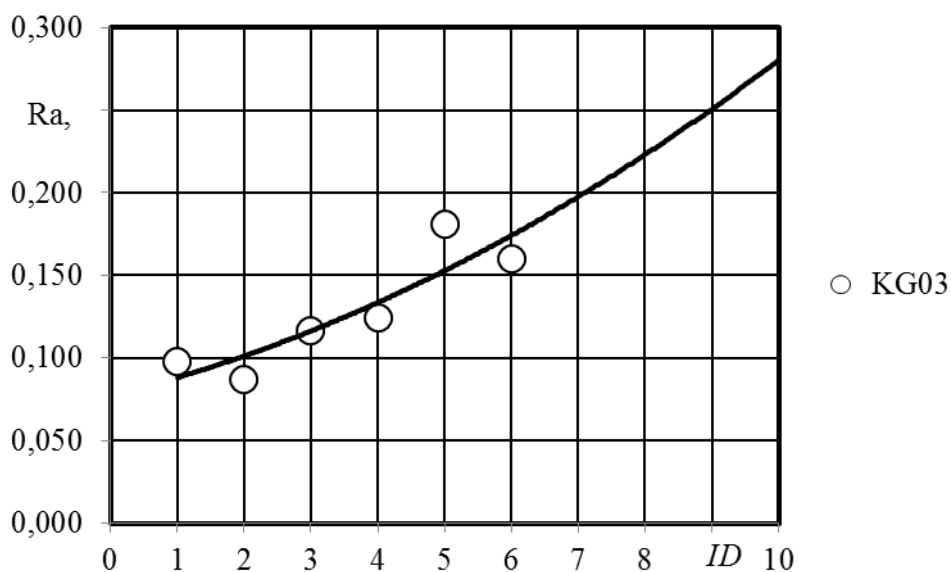
Bandinio KG02 metu stebimas minimalus parametro Ra kitimas (3.6 pav.), reikšmės fiksuojamos nuo 0,11 μm iki 0,12 μm ribose.

Bandinys KG03. Tepimui naudotas tirštas tepalas Pemco 10W-40, apsisukimai $n = 500$ aps./min.



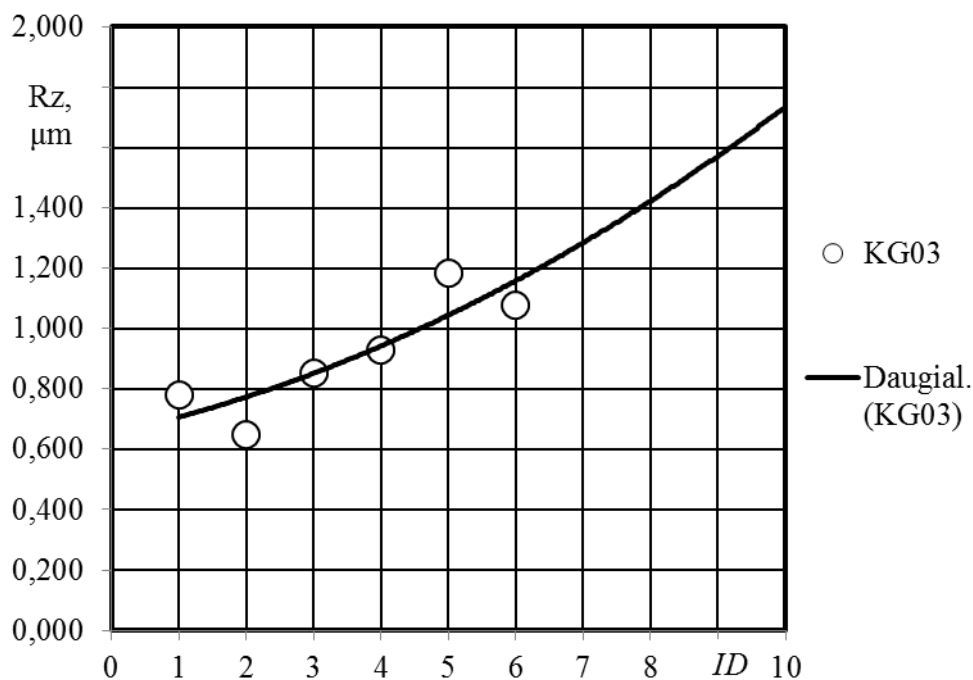
3.7 pav. Guolio aukščio kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 10W-40, apsisukimai $n = 500$ aps./min.

Bandinio KG03 (3.7 pav.) aukščio kitimas – nuo 0,050 mm reikšmės iki žemiausios - 0,010 mm reikšmės 5 ir 6 ID cikluose. Bandymo pabaigoje guolio KG03 aukščio pokytis mažėja.



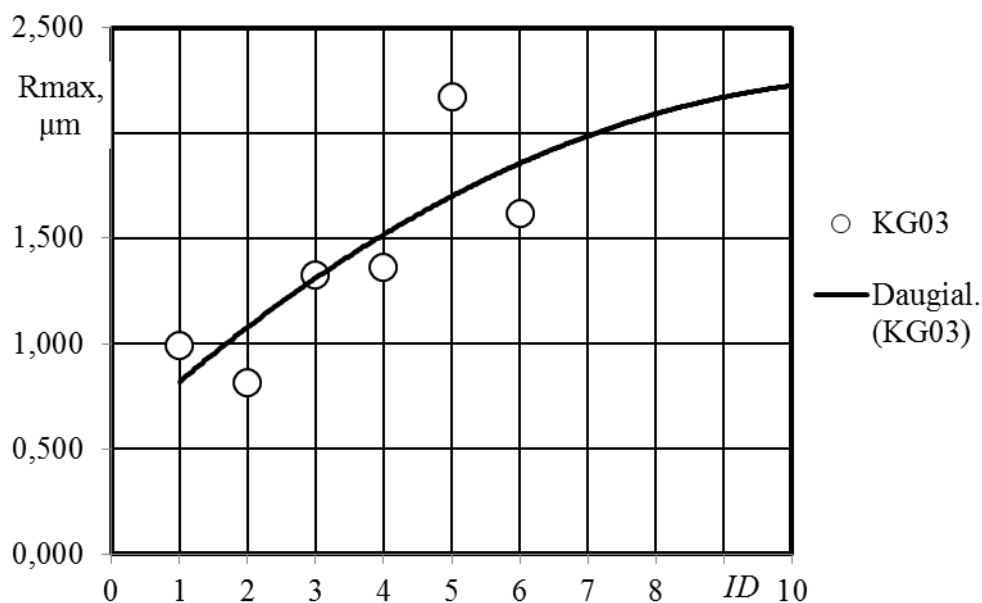
3.8 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Ra kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 10W-40, apsisukimai $n = 500$ aps./min.

Bandinio KG03 metu stebimas tolygus parametro Ra kitimas (3.8 pav.), reikšmės fiksuojamos nuo 0,090 μm 1-ame ID cikle iki 0,180 μm 6-ame ID cikle.



3.9 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Rz kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 10W-40, apsisukimai $n = 500$ aps./min.

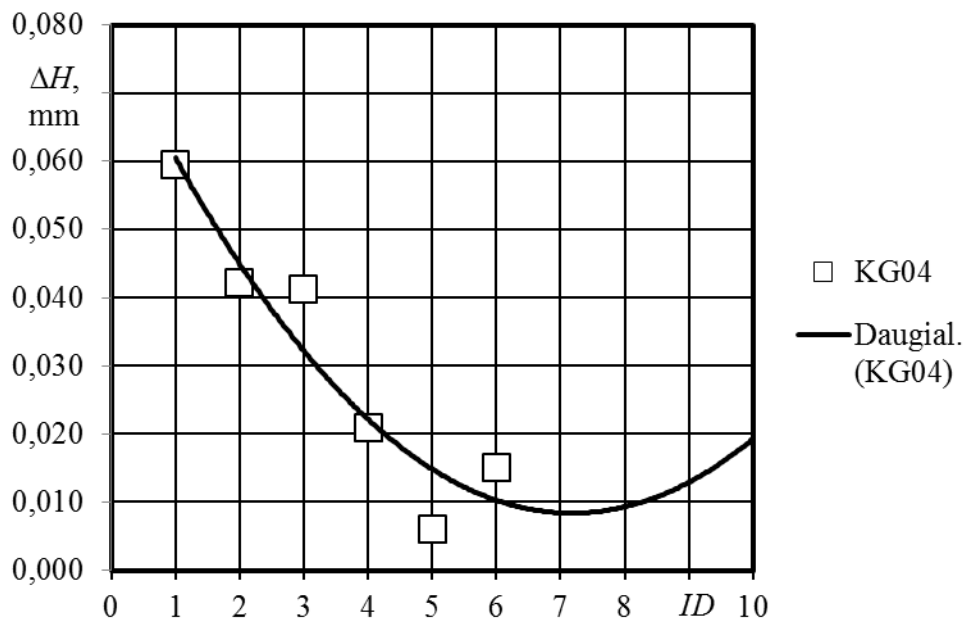
Bandinio KG03 metu stebimas tolygus parametro Rz kitimas, reikšmės fiksuojamos nuo 0,65 μm 1-ame ID cikle iki 1,10 μm 6-ame ID cikle.



3.10 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Rmax kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 10W-40, apsisukimai $n = 500$ aps./min.

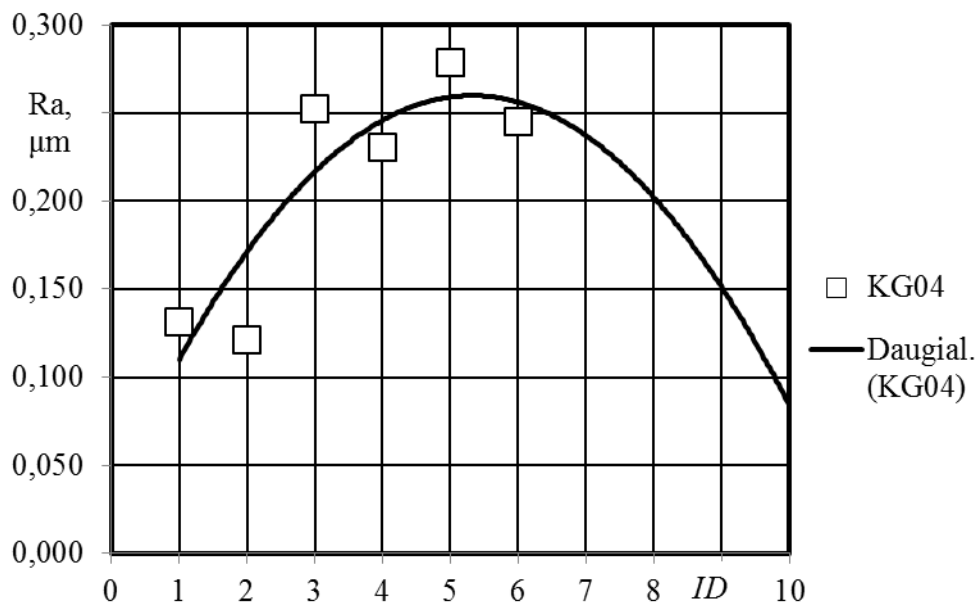
Bandinio KG03 metu stebimas tolygus parametro Rz kitimas, reikšmės fiksuojamos nuo $0,80\ \mu\text{m}$ 1-ame ID cikle iki $1,80\ \mu\text{m}$ 6-ame ID cikle.

Bandinys KG04. Tepimui naudotas tirštas tepalas Autol Top 2000, $n = 750$ aps./min.



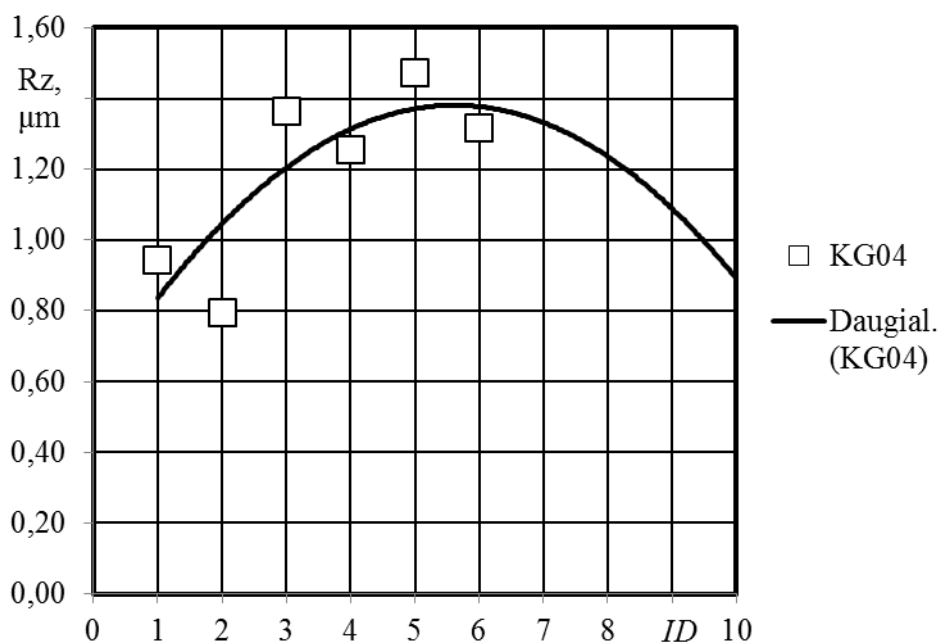
3.11 pav. Guolio aukščio kitimas laike, kai tepimui naudotas tirštas tepalas Autol Top 2000, apsisukimai $n = 750$ aps./min.)

Bandinio KG04 (3.11 pav.) aukščio kitimas – nuo $0,060$ mm reikšmės iki žemiausios $0,010$ mm reikšmės 5 ir 6 ID cikluose. Bandymo metu stebimas tolygus aukščio pokytis.



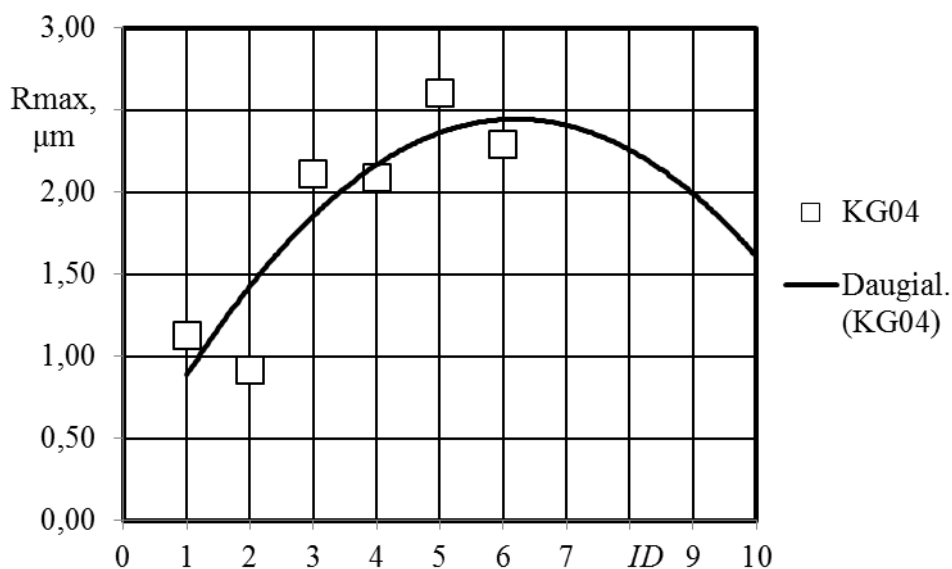
3.12 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro R_a kitimas laike, kai tepimui naudotas tirštas tepalas Autol Top 2000, apsisukimai $n = 750$ aps./min.

Bandinio KG04 metu stebimas parametro Ra kitimas (3.12 pav.), reikšmės fiksuojamos nuo 0,110 μm 1-ame ID cikle iki 0,260 μm 6-ame ID cikle. Parametro Ra intensyvesnis kitimas fiksuojamas nuo 1-o iki 4-o ID ciklo.



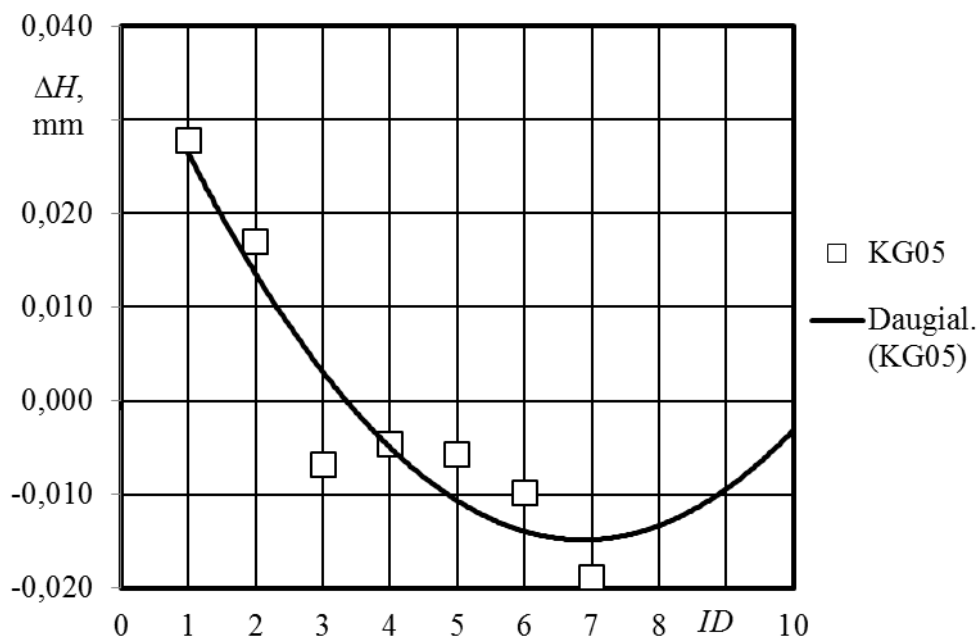
3.13 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Rz kitimas laike, kai tepimui naudotas tirštas tepalas Autol Top 2000, apsisukimai $n = 750$ aps./min.

Bandinio KG04 metu stebimas tolygus parametro Rz kitimas, reikšmės fiksuojamos nuo 0,80 μm 1-ame ID cikle iki 1,40 μm 6-ame ID cikle.



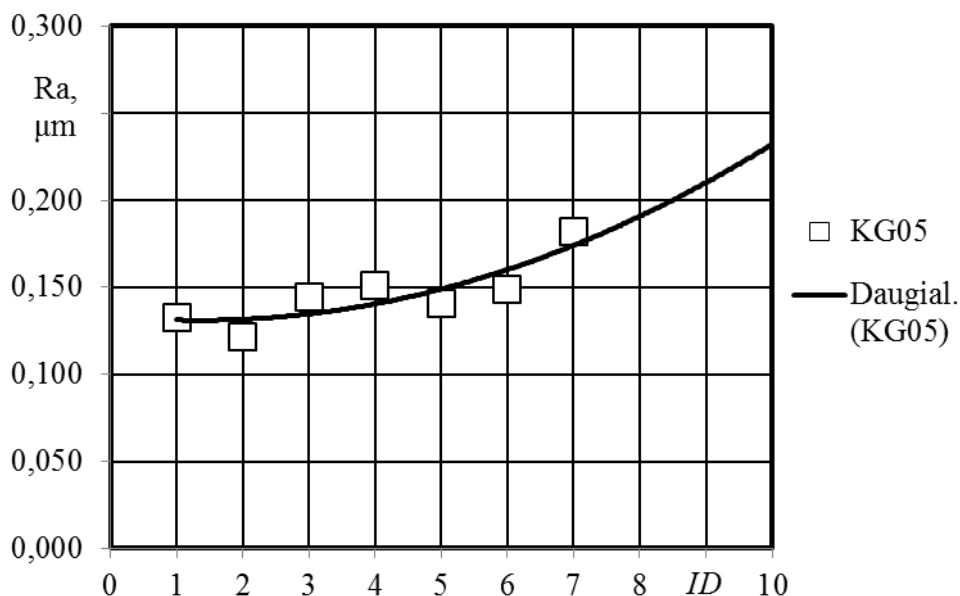
3.14 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Rmax kitimas laike, kai tepimui naudotas tirštas tepalas Autol Top 2000, apsisukimai $n = 750$ aps./min.

Bandinys KG05. Tepimui naudotas tirštas tepalas Pemco 80W-90, apsisukmain = 750 aps./min.



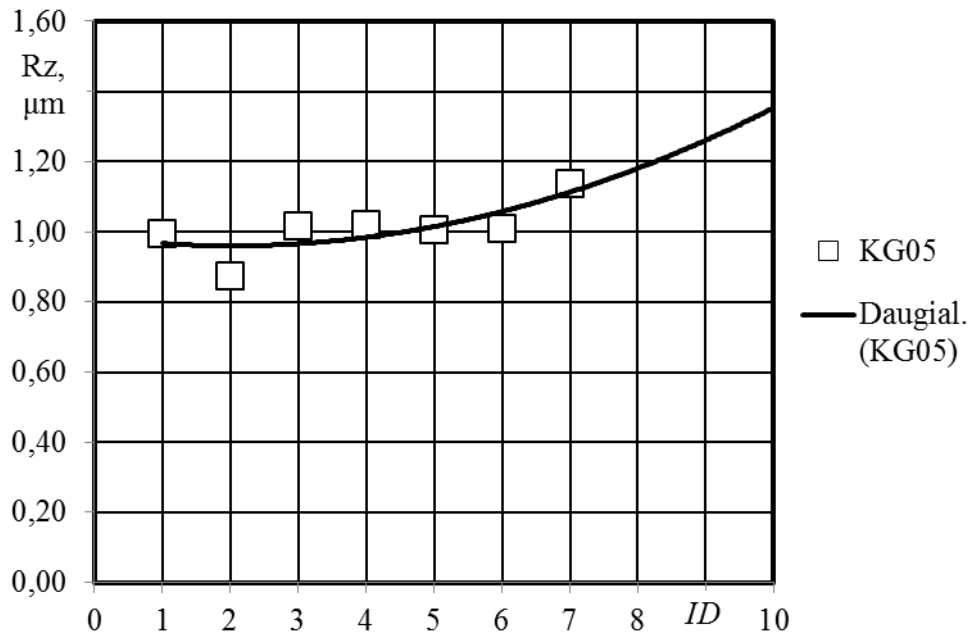
3.15 pav. Guolio aukščio kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 80W-90, apsisukimai $n = 750$ aps./min.

Bandinio KG05 (3.15 pav.) aukščio kitimas – nuo 0,028 mm reikšmės iki žemiausios - 0,015 mm reikšmės 6 ir 7 ID cikluose. Bandymo metu stebimas tolygus aukščio pokytis.



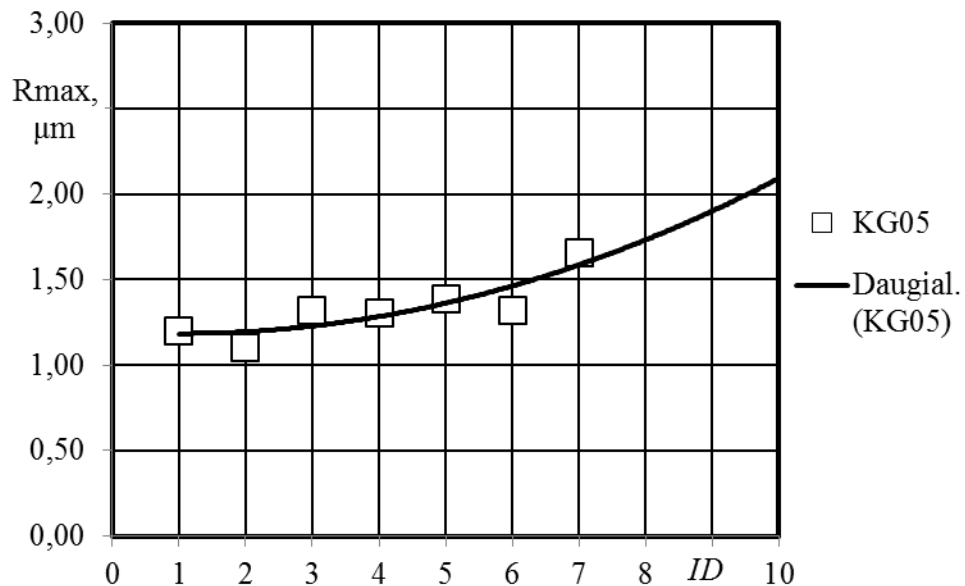
3.16 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Ra kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 80W-90, apsisukimai $n = 750$ aps./min.

Bandinio KG05 metu stebimas minimalus ir tolygus parametro Ra kitimas (3.16 pav.), reikšmės fiksuojamos nuo 0,13 μm iki 0,18 μm ribose.



3.17 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Rz kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 80W-90, apsisukimai $n = 750$ aps./min.

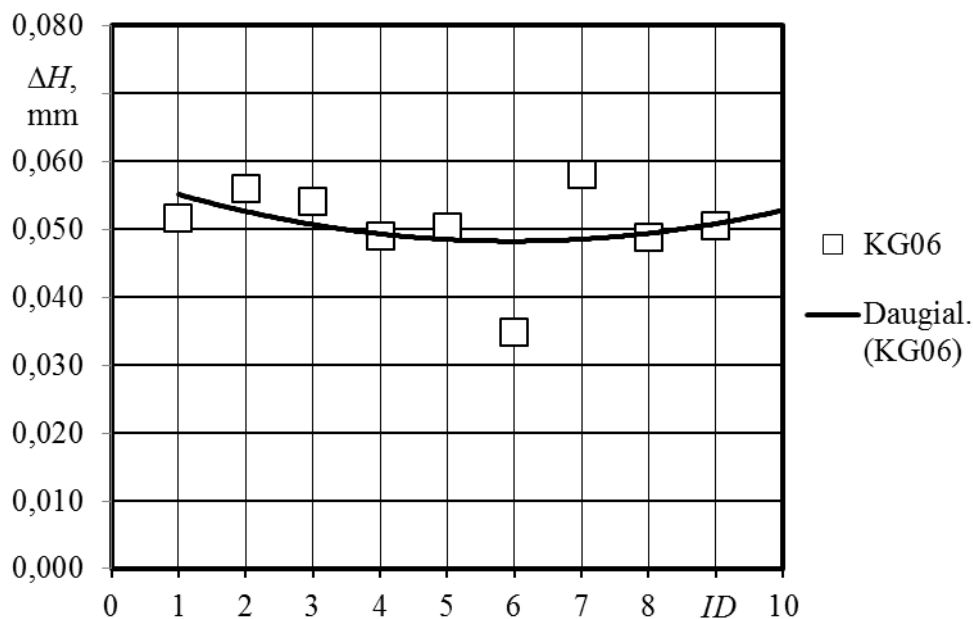
Bandinio KG05 metu stebimas minimalus ir tolygus parametro Rz kitimas, reikšmės fiksuojamos nuo $0,90 \mu\text{m}$ iki $1,15 \mu\text{m}$ ribose.



3.18 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Rmax kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 80W-90, apsisukimai $n = 750$ aps./min.

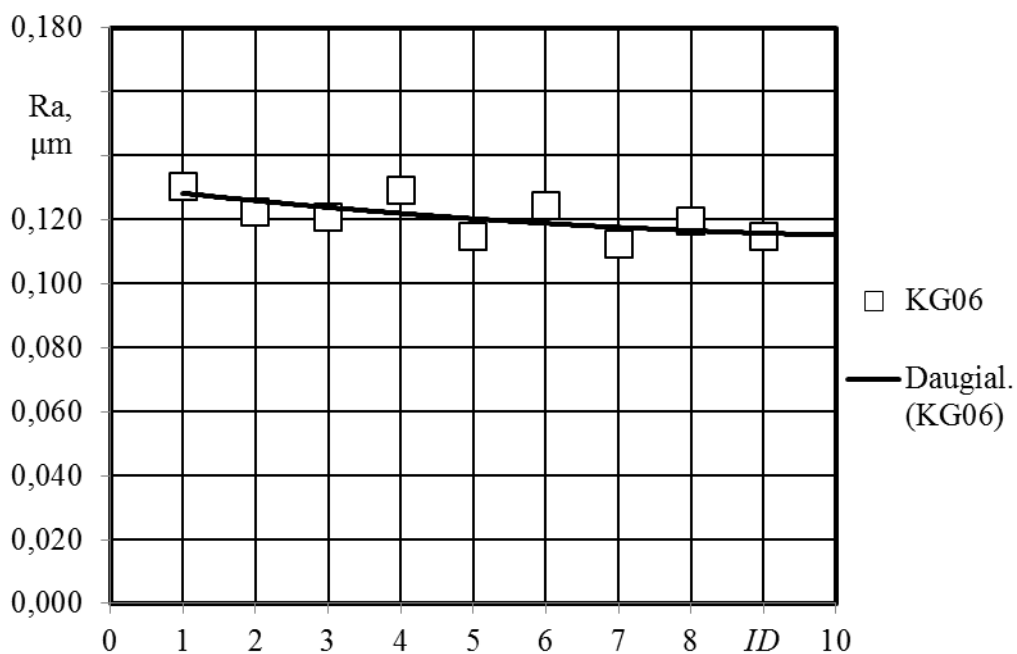
Bandinio KG05 metu stebimas minimalus ir tolygus parametro Rmax kitimas, reikšmės fiksuojamos nuo $1,10 \mu\text{m}$ iki $1,60 \mu\text{m}$ ribose.

Bandinys KG06. Tepimui naudotas tirštas tepalas Pemco 10W-40, apsisukimai $n = 750$ aps./min.



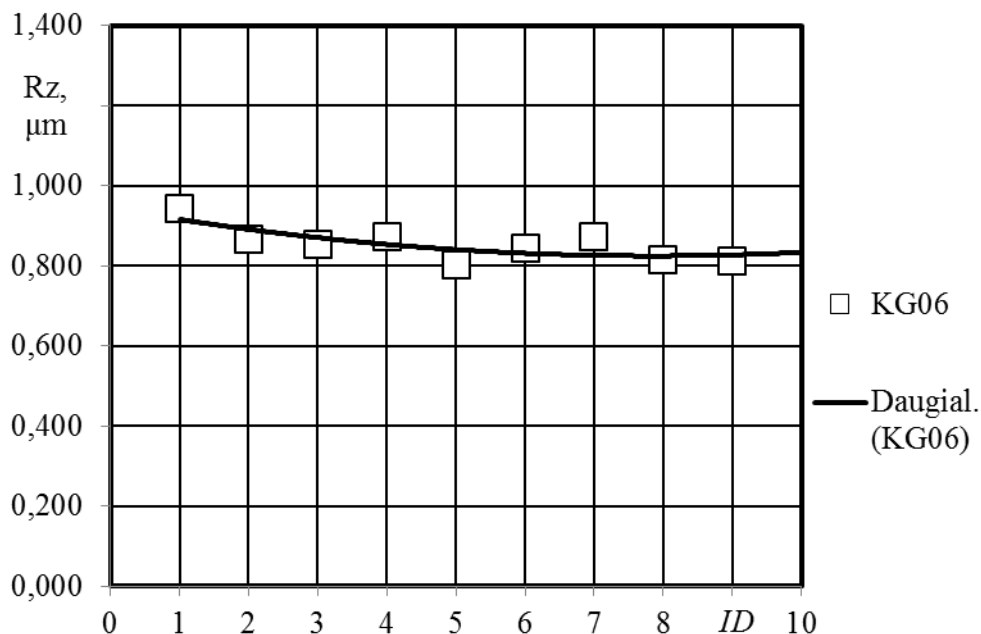
3.19 pav. Guolio aukščio kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 10W-40, apsisukimai $n = 750$ aps./min.

Bandinio KG06 (3.19 pav.) aukščio kitimas minimalus nuo 0,055 mm reikšmės iki 0,050 mm reikšmės. Bandymo metu stebimas tolygus aukščio pokytis.



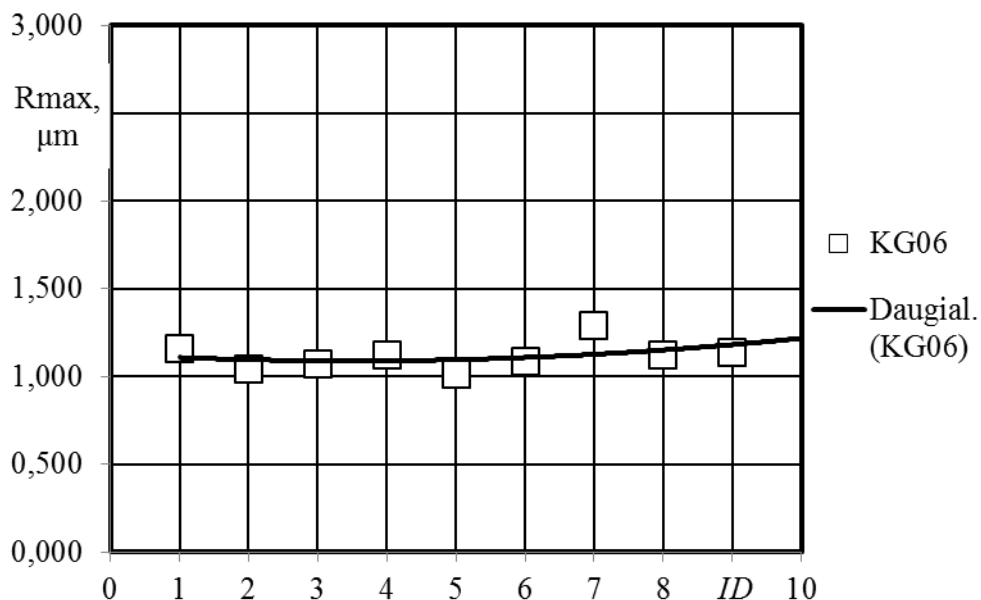
3.20 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro R_a kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 10W-40, apsisukimai $n = 750$ aps./min.

Bandinio KG06 metu stebimas minimalus ir tolygus parametro Ra kitimas (3.20 pav.), reikšmės fiksuojamos nuo 0,130 μm iki 0,118 μm ribose.



3.21 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Rz kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 10W-40, apsisukimai $n = 750$ aps./min.

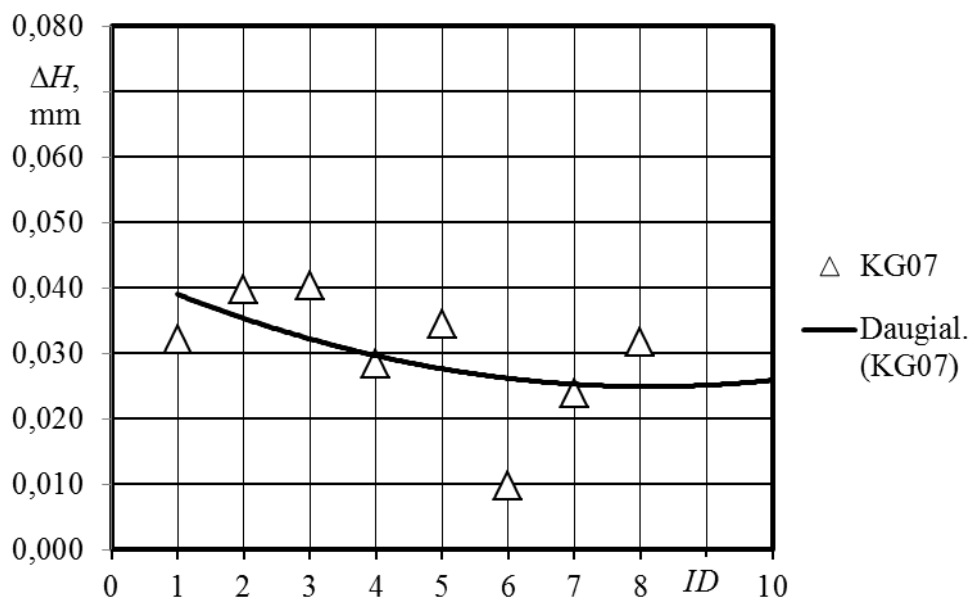
Bandinio KG06 metu stebimas minimalus ir tolygus parametro Rz kitimas, reikšmės fiksuojamos nuo 0,90 μm iki 0,85 μm ribose.



3.22 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Rmax kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 10W-40, apsisukimai $n = 750$ aps./min.

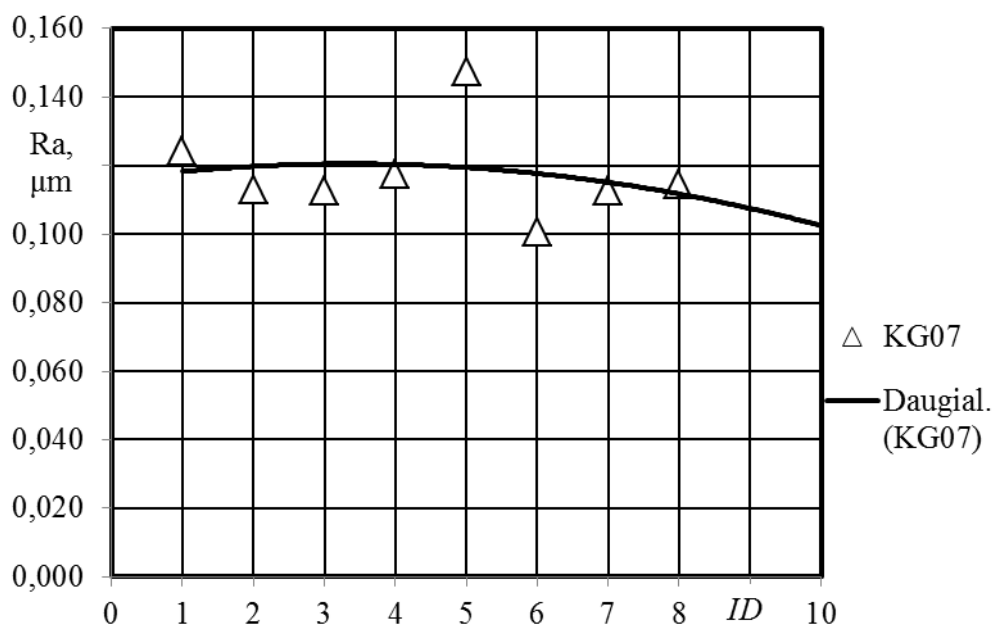
Bandinio KG06 metu stebimas minimalus parametro Rmax kitimas, reikšmės fiksuojamos nuo 1,00 μm iki 1,20 μm ribose.

Bandinys KG07. Tepimui naudotas tirštas tepalas Pemco 10W-40, apsisukimai $n = 1000$ aps./min..



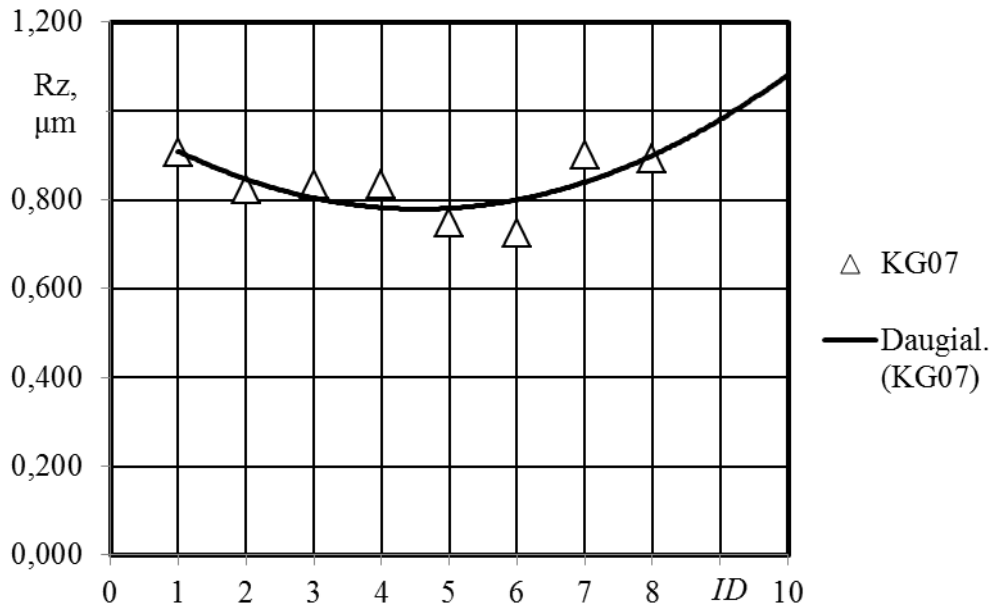
3.23 pav. Guolio aukščio kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 10W-40, apsisukimai $n = 1000$ aps./min.

Bandinio KG07 aukščio kitimas (3.23 pav.) minimalus nuo 0,040 mm reikšmės iki 0,025 mm reikšmės. Bandymo metu stebimas tolygus aukščio pokytis.



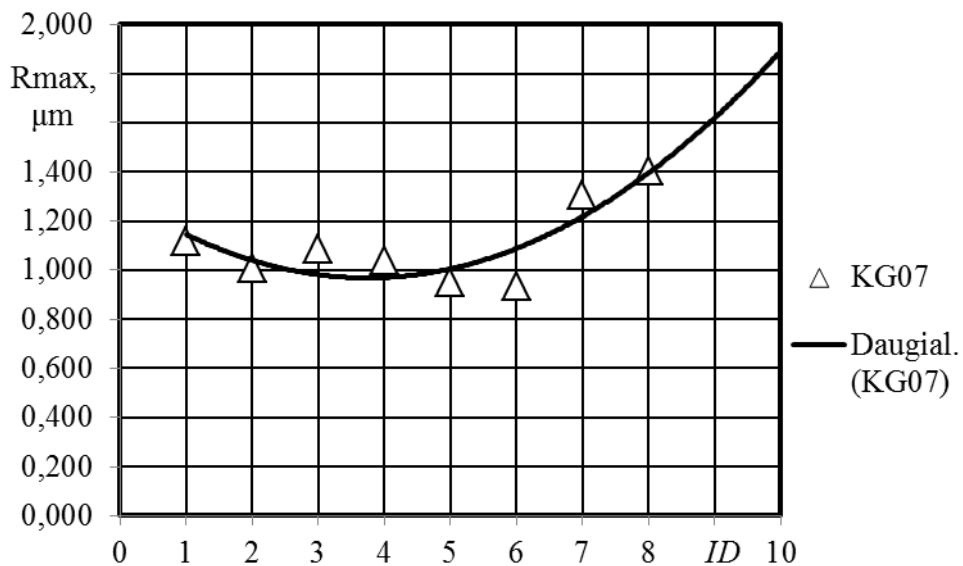
3.24 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Ra kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 10W-40, apsisukimai $n = 1000$ aps./min.

Bandinio KG07 metu stebimas minimalus parametro Ra kitimas (3.24 pav.), reikšmės fiksuojamos nuo 0,120 μm iki 0,110 μm ribose.



3.25 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Rz kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 10W-40, apsisukimai $n = 1\ 000$ aps./min.

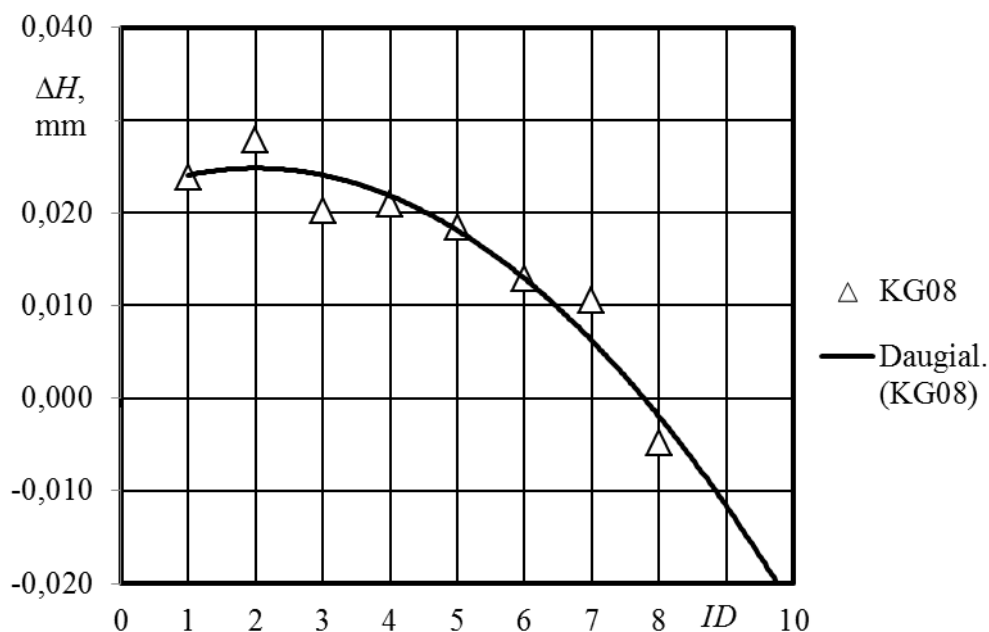
Bandinio KG07 metu fiksuojamas parametro Rz pastovumas, reikšmė $0,85\ \mu\text{m}$ stebima nuo 1-o iki 8-o ID ciklo.



3.26 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Rmax kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 10W-40, apsisukimai $n = 1\ 000$ aps./min.

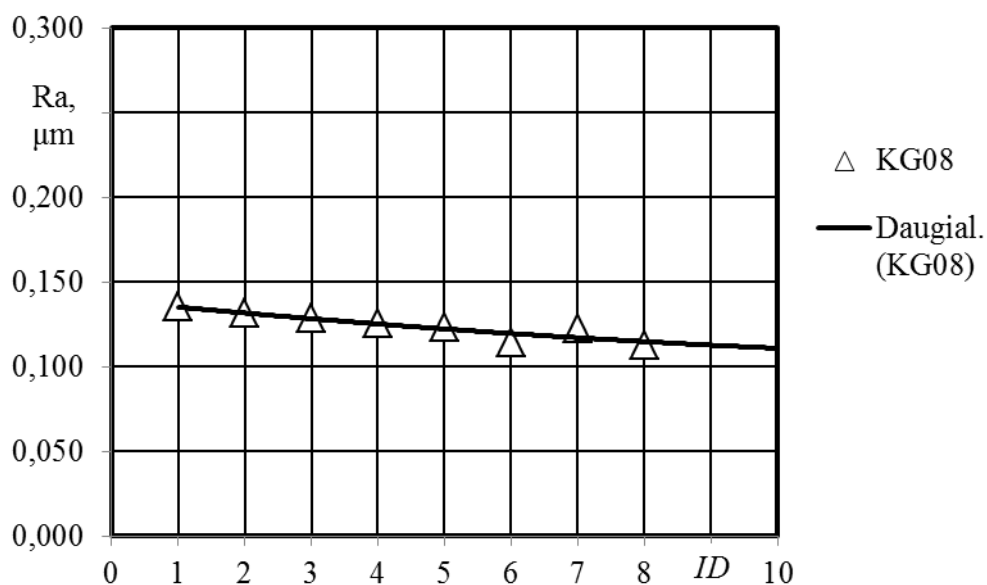
Bandinio KG07 metu fiksuojamos parametro Rmax reikšmės nuo $1,15\ \mu\text{m}$ 1-ame ID cikle iki $1,45\ \mu\text{m}$ 8-ame ID cikle.

Bandinys KG08. Tepimui naudotas tirštas tepalas Pemco 80W-90, apsisukimai = 1 000 aps./min.



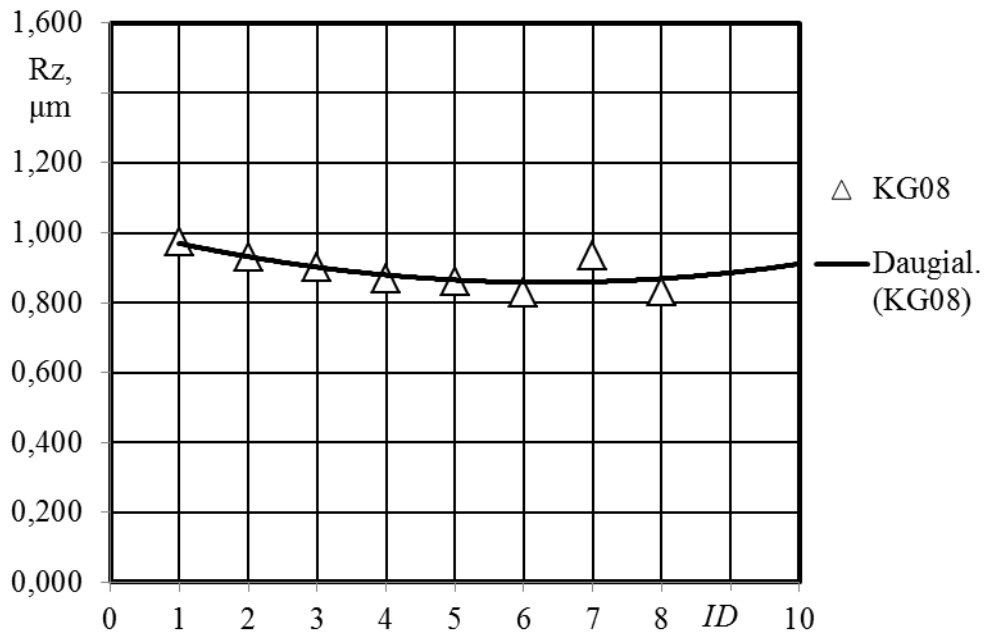
3.27 pav. Guolio aukščio kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 80W-90, apsisukimai $n = 1\,000$ aps./min.

Bandinio KG08 (3.27 pav.) aukščio kitimas – nuo 0,028 mm reikšmės iki žemiausios - 0,005 mm reikšmės 8-ame ID cikle. Bandymo metu stebimas tolygus aukščio pokytis.



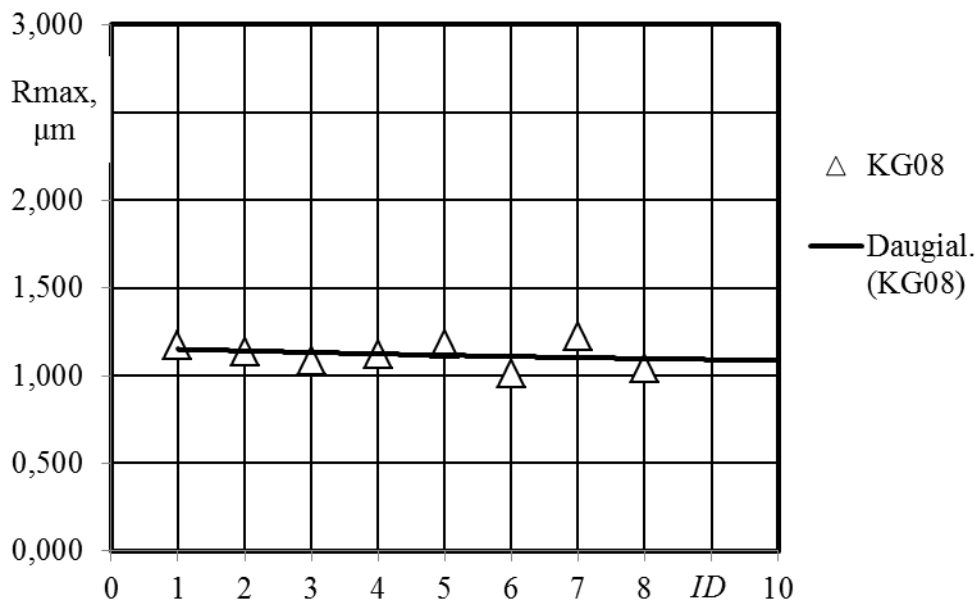
3.28 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiuurkštumo parametro Ra kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 80W-90, apsisukimai $n = 1\,000$ aps./min.

Bandinio KG08 metu stebimas tolygus parametro Ra kitimas (3.28 pav.), reikšmės fiksuojamos nuo 0,135 μm iki 0,115 μm ribose.



3.29 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Rz kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 80W-90, apsisukimai $n = 1\ 000$ aps./min.

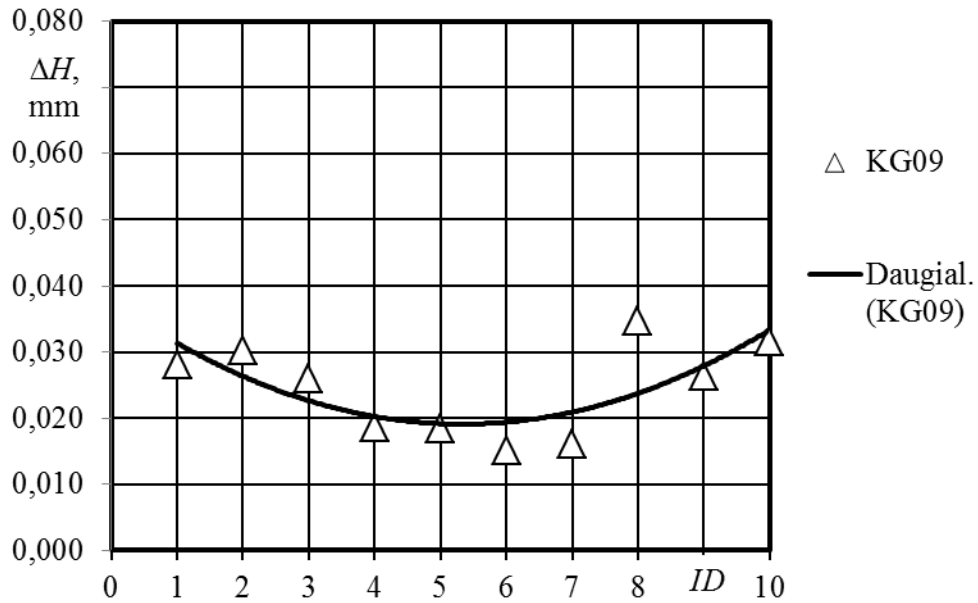
Bandinio KG08 metu stebimas minimalus parametro Rz kitimas, reikšmės fiksuojamos nuo $0,9\ \mu\text{m}$ iki $0,85\ \mu\text{m}$ ribose.



3.30 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Rmax kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 80W-90, apsisukimai $n = 1\ 000$ aps./min.

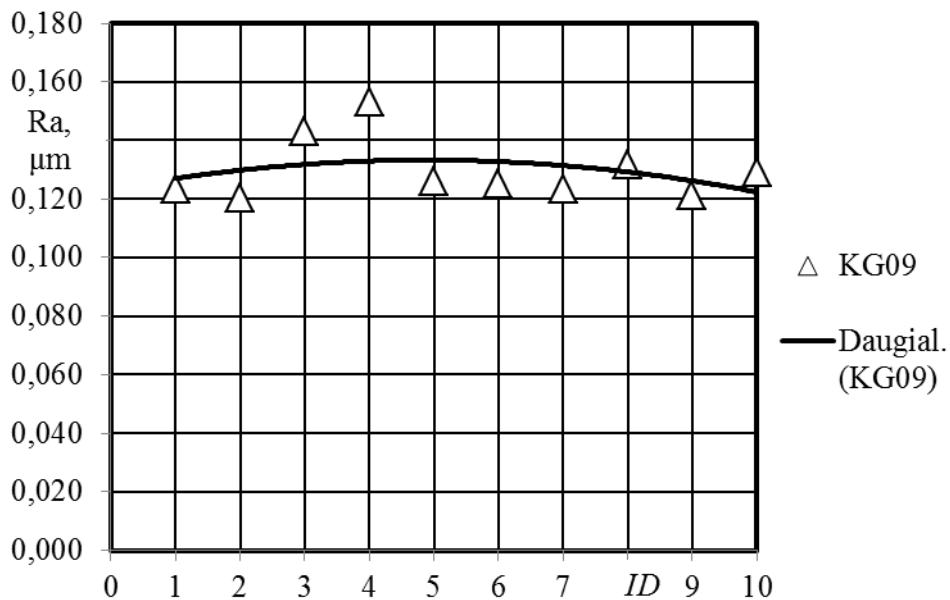
Bandinio KG08 metu stebimas parametro Rmax pastovumas, fiksuojama $1,15\ \mu\text{m}$ reikšmė viso bandymo metu.

Bandinys KG09. Tepimui naudotas tirštas tepalas Autol Top 2000, $n = 1\,000$ aps./min..



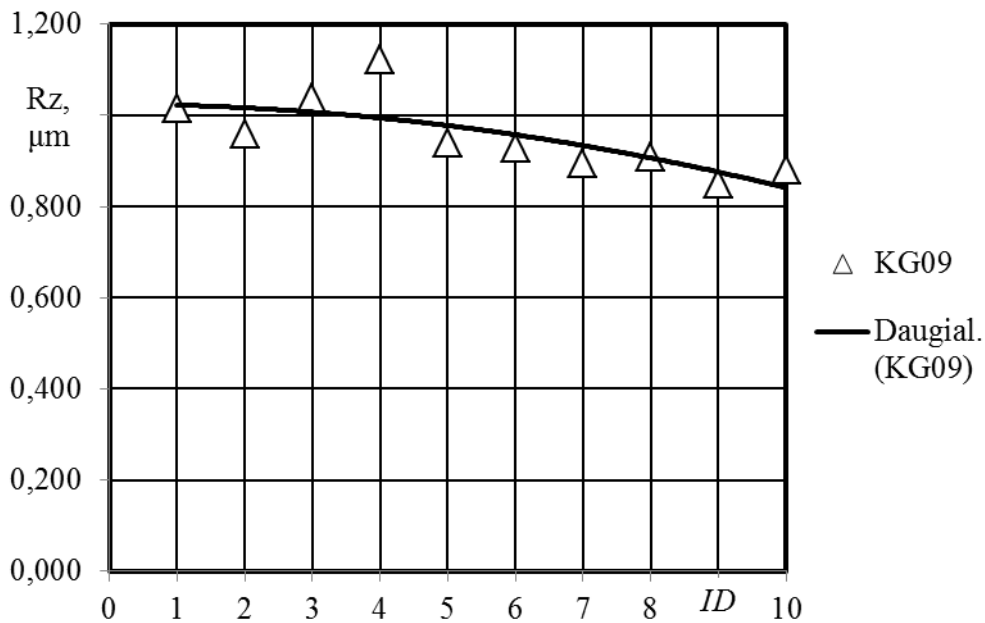
3.31 pav. Guolio aukščio kitimas laike, kai tepimui naudotas tirštas tepalas Autol Top 2000, apsisukimai $n = 1\,000$ aps./min.)

Bandinio KG09 (3.31 pav.) aukščio kitimas – nuo 0,027 mm reikšmės iki žemiausios 0,015 mm reikšmės 6 ir 7 ID cikluose.



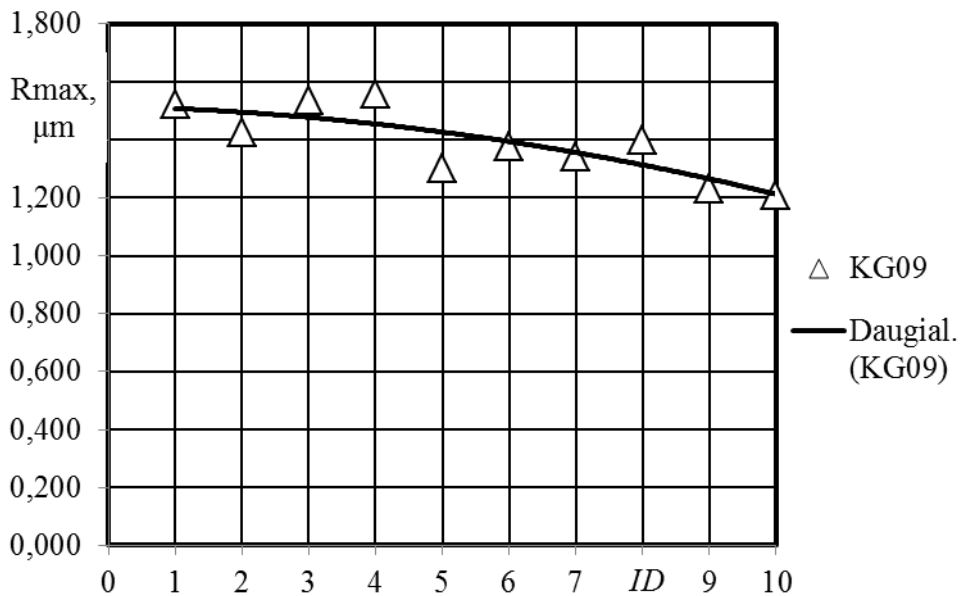
3.32 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiuurkštumo parametro Ra kitimas laike, kai tepimui naudotas tirštas tepalas Autol Top 2000, apsisukimai $n = 1\,000$ aps./min.

Bandinio KG09 metu stebimas parametro Ra kitimas (3.32 pav.), reikšmės fiksuojamos nuo 0,120 μm iki 0,125 μm .



3.33 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Rz kitimas laike, kai tepimui naudotas tirštas tepalas Autol Top 2000, apsisukimai $n = 1\,000$ aps./min.

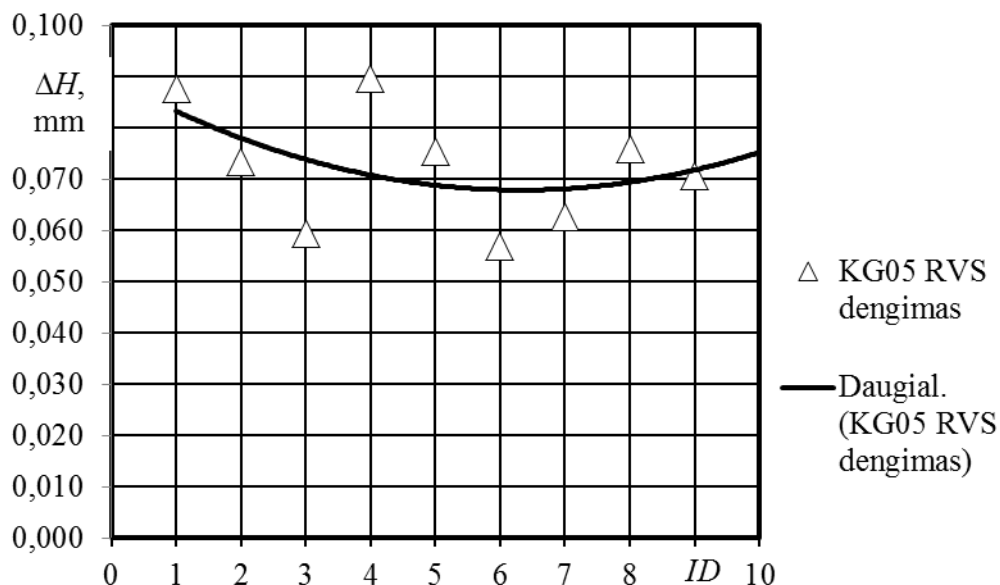
Bandinio KG09 metu stebimas tolygus ir minimalus parametro Rz kitimas, reikšmės fiksuojamos nuo $0,130\ \mu\text{m}$ iki $0,115\ \mu\text{m}$.



3.34 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Rmax kitimas laike, kai tepimui naudotas tirštas tepalas Autol Top 2000, apsisukimai $n = 1\,000$ aps./min.

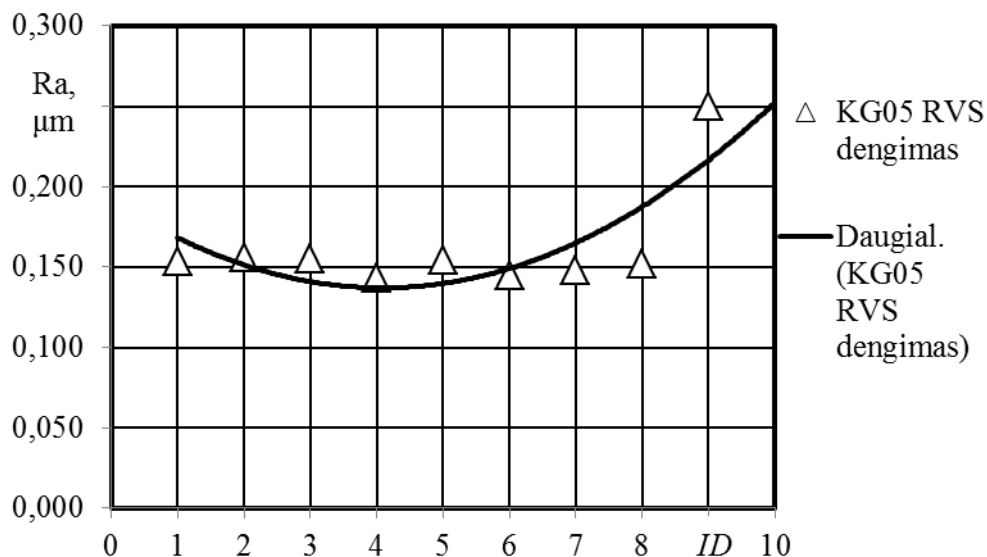
Bandinio KG09 metu stebimas tolygus ir minimalus parametro Rmax kitimas, reikšmės fiksuojamos nuo $1,50\ \mu\text{m}$ iki $1,40\ \mu\text{m}$.

Bandinys KG05 RVS dengimas. Tyrimo metu naudota Pemco 80W-90 alyva su XADO priedais, sukimosi greitis 1000 aps./min.



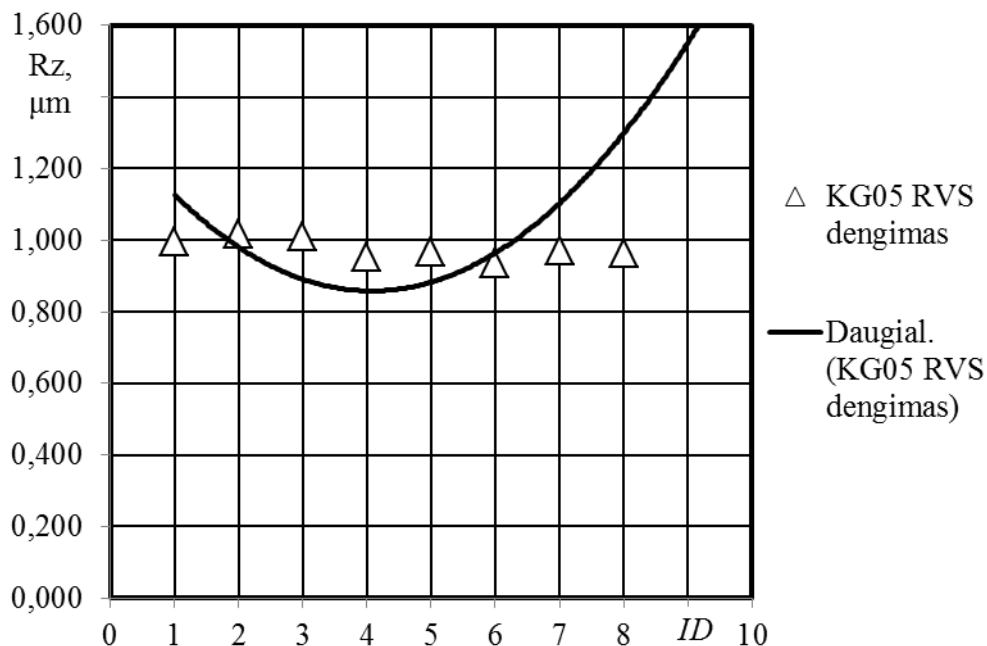
3.35 pav. Guolio aukščio kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 80W-90 su XADO priedais, apsisukimai $n = 1\,000$ aps./min.

Bandinio KG05 RVS dengimas (3.35 pav.) aukščio kitimas – nuo 0,085 mm reikšmės iki žemiausios -0,075 mm reikšmės 8-ame ID cikle. Bandymo metu stebimas minimalus aukščio pokytis.



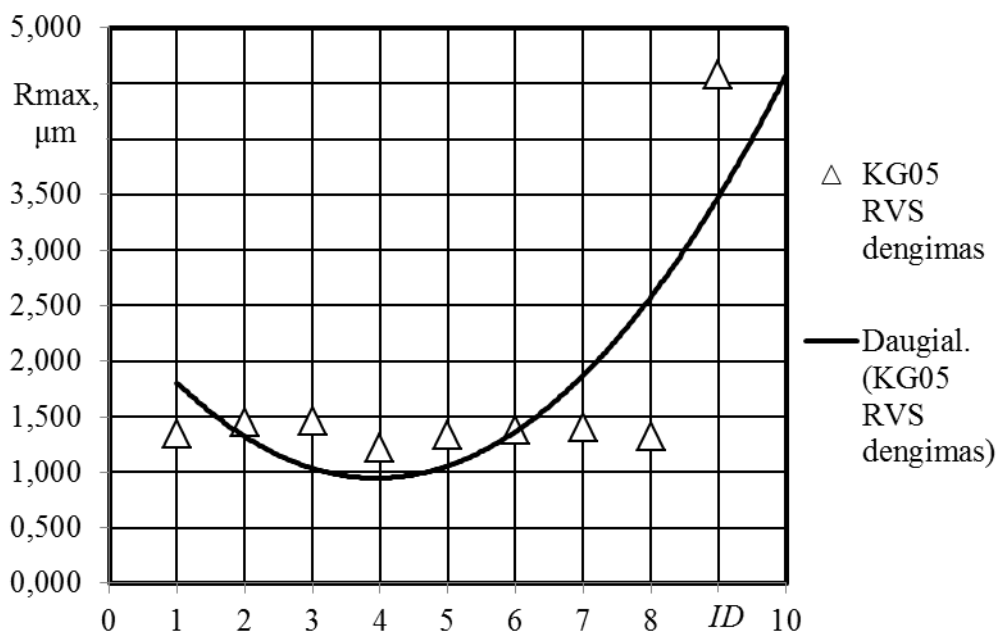
3.36 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Ra kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 80W-90 su XADO priedais, apsisukimai $n = 1\,000$ aps./min.

Bandinio KG05 RVS dengimas metu stebimas minimalus parametro Ra kitimas iki 8-o ID ciklo, fiksuojamas reikšmės didėjimas 9-ame ID cikle iki 0,25 μm .



3.37 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Rz kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 80W-90 su XADO priedais, apsisukimai $n = 1\,000$ aps./min.

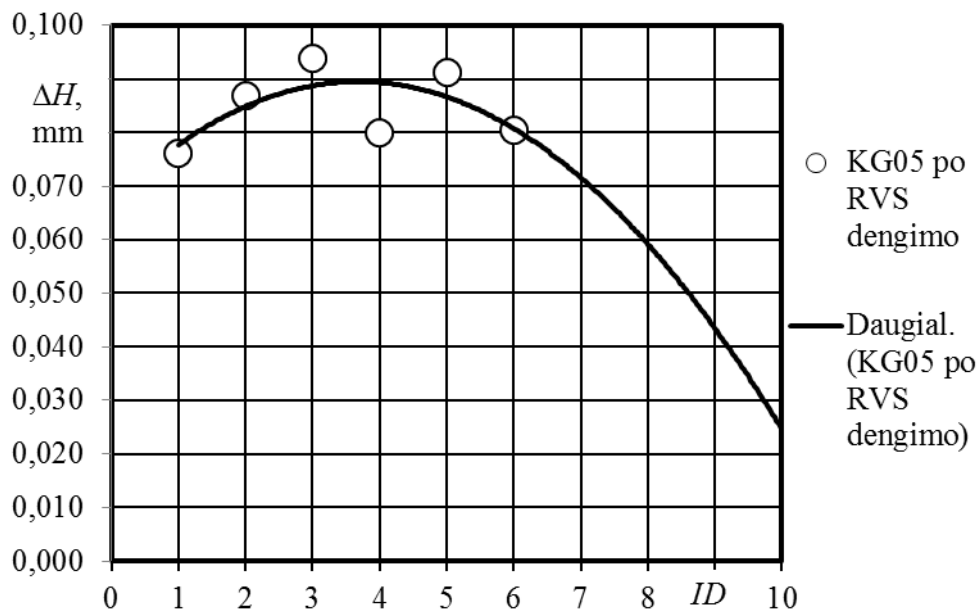
Bandinio KG05 RVS dengimas metu stebimas minimalus parametro Rz kitimas.



3.38 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Rmax kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 80W-90 su XADO priedais, apsisukimai $n = 1\,000$ aps./min.

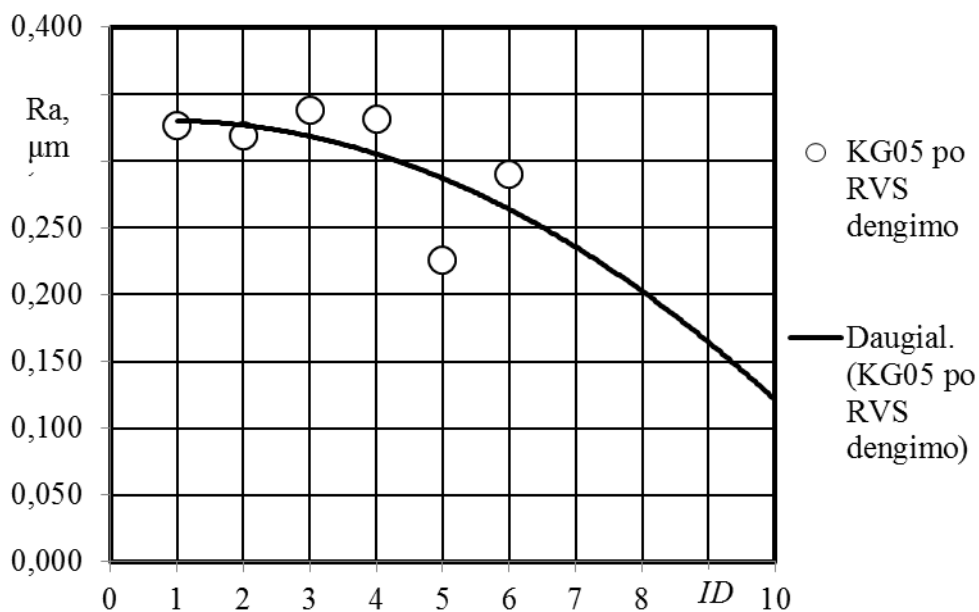
Bandinio KG05RVSdengimas metu stebimas minimalus parametro R_{max} kitimas iki 8 – o ID ciklo ir žymus reikšmės pokytis 9-ame ID cikle iki $4,5 \mu\text{m}$.

Bandinys KG05 po RVS dengimo. Tyrimo metu naudota Pemco 80W-90 alyva, sukimosi greitis 1 000 aps./min.



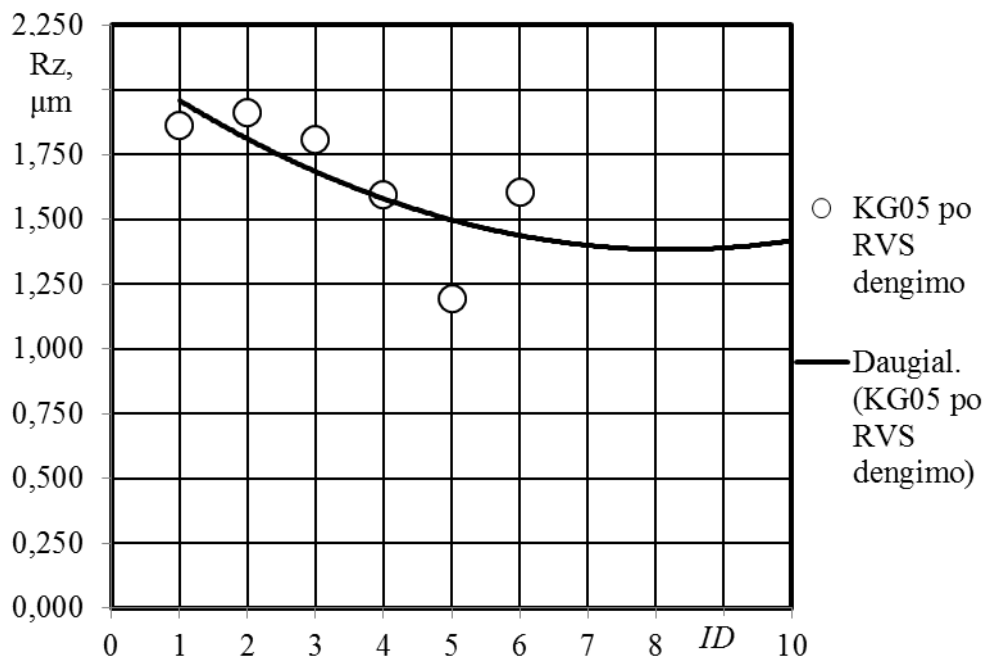
3.39 pav. Guolio aukščio kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 80W-90, apsisukimai $n = 1\ 000$ aps./min.

Bandinio KG05 po RVS dengimo (3.39 pav.) aukščio kitimas – nuo $0,075$ mm reikšmės iki $0,095$ mm reikšmės, fiksuojamas minimalus aukščio pokytis.



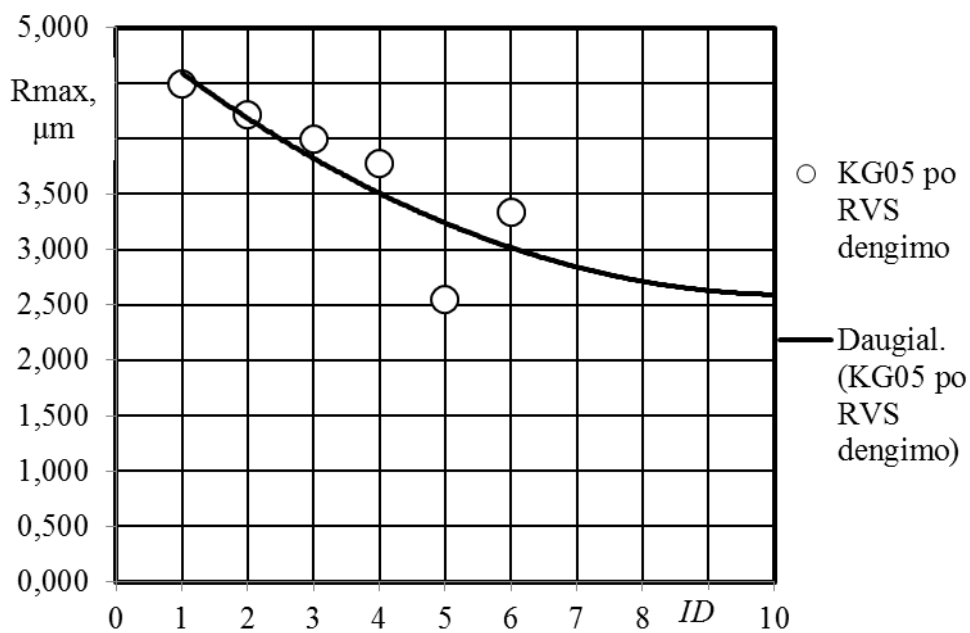
3.40 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro R_a kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 80W-90, apsisukimai $n = 1\ 000$ aps./min.

Bandinio KG05 po RVS dengimo metu stebimas minimalus parametro Ra (3.40 pav.) mažėjimas.



3.41 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Rz kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 80W-90, apsisukimai $n = 1\,000$ aps./min.

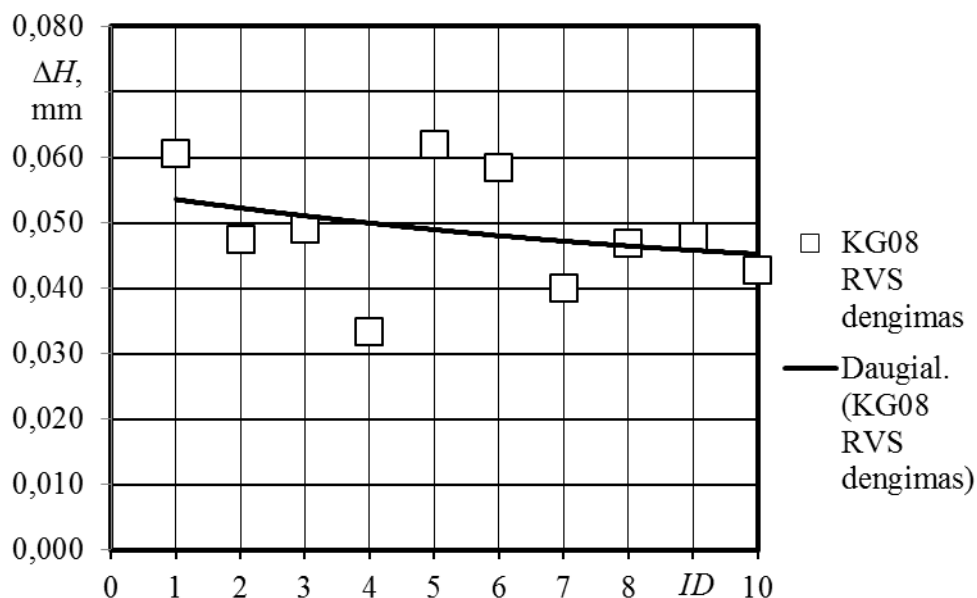
Bandinio KG05 po RVS dengimo metu stebimas minimalus parametro Rz mažėjimas, iki mažiausios $1,25\ \mu\text{m}$ reikšmės 5-ame ID cikle.



3.42 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Rmax kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 80W-90, apsisukimai $n = 1\,000$ aps./min.

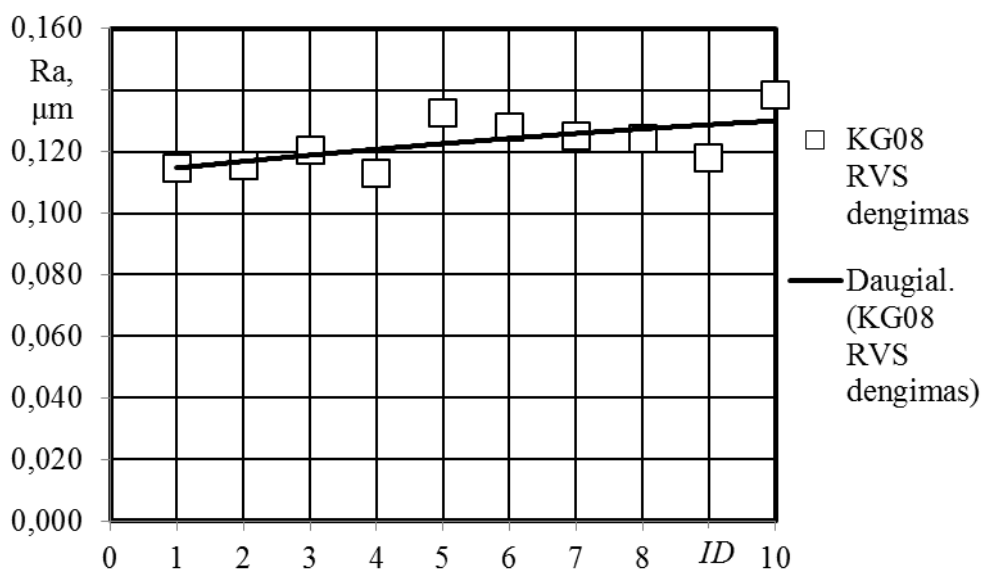
Bandinio KG05poRVSdengimo metu stebimas parametro Rz mažėjimas, iki mažiausios 2,50 μm reikšmės 5-ame ID cikle.

Bandinys KG08 RVS dengimas. Tyrimo metu naudota Pemco 80W-90 alyva su XADO priedais, sukimosi greitis 1 000 aps./min.



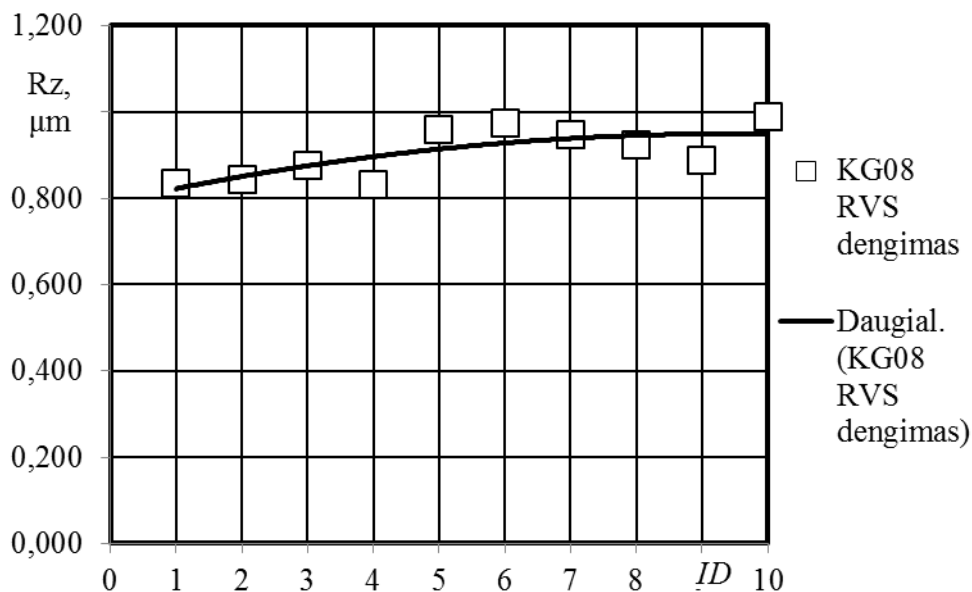
3.43 pav. Guolio aukščio kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 80W-90 su XADO priedais, apsisukimai $n = 1\ 000$ aps./min.

Bandinio KG08 RVS dengimas aukščio kitimas (3.43 pav.) – nuo 0,055 mm reikšmės iki žemiausios -0,045 mm reikšmės 8-ame ID cikle. Bandymo metu stebimas minimalus aukščio pokytis.



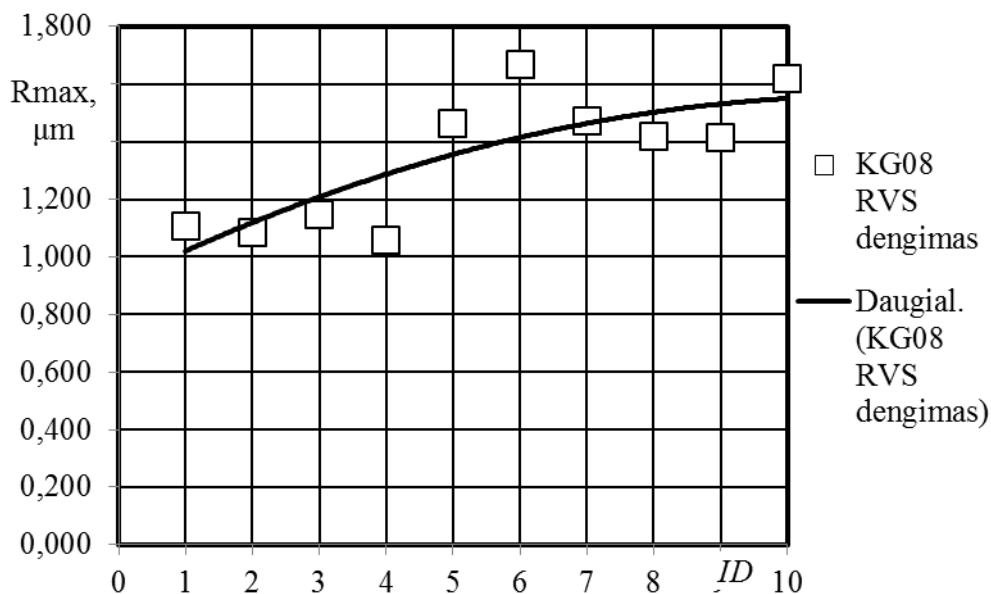
3.44 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Ra kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 80W-90 su XADO priedais, apsisukimai $n = 1\ 000$ aps./min.

Bandinio KG08 RVS dengimas metu stebimas minimalus parametro Ra kitimas (3.44 pav.) nuo 1-o iki 8-o ID ciklo.



3.45 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Rz kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 80W-90 su XADO priedais, apsisukimai $n = 1\,000$ aps./min.

Bandinio KG08 RVS dengimas metu stebimas minimalus parametro Rz kitimas nuo 1-o iki 8-o ID ciklo.



3.46 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Rmax kitimas laike, kai tepimui naudotas tepalas Pemco 80W-90 su XADO priedais, apsisukimai $n = 1\,000$ aps./min.

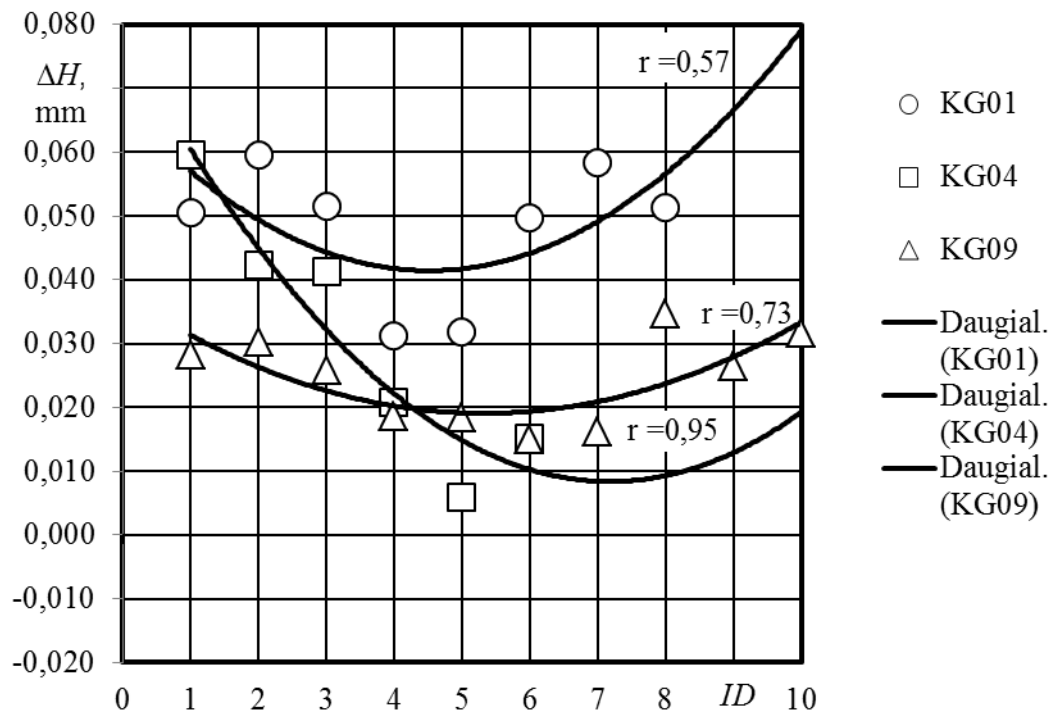
Bandinio KG08RVSdengimas metu stebimas tolygus parametro Rmax didėjimas nuo 1-o iki 8-o ID ciklo.

4. GUOLIŲ TRINTIES PROCESO RODIKLIŲ TYRIMO ANALIZĖ

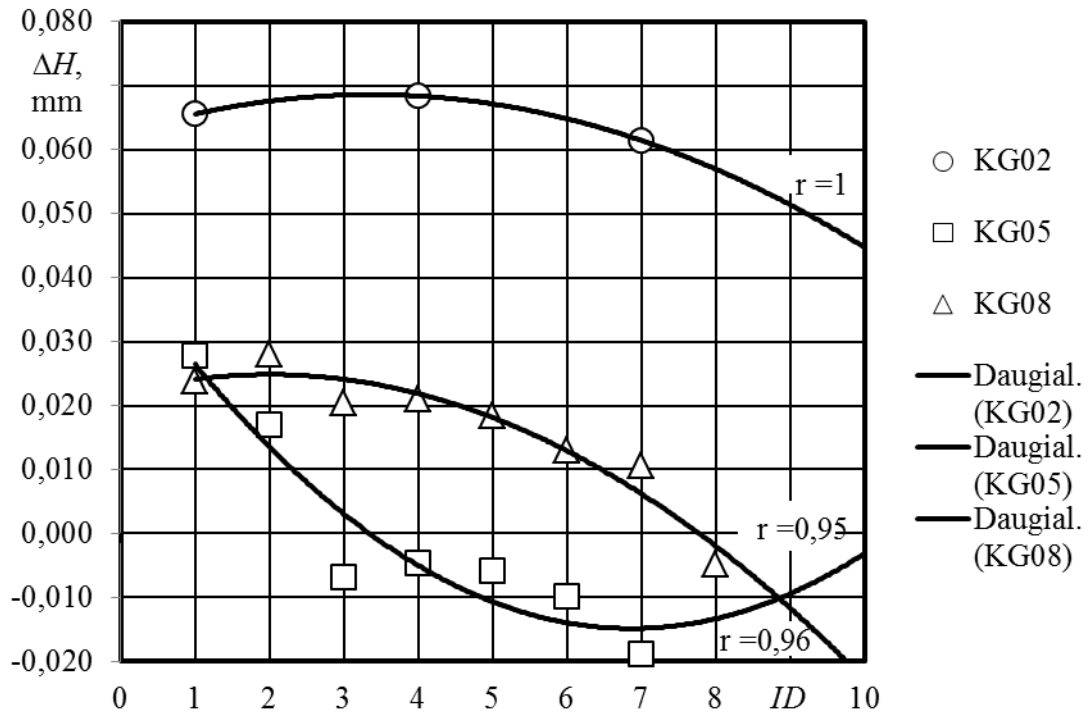
Tyrimo metu surinkti duomenys klasifikuojami, siekiant nustatyti sukimosi greičio ir tepalo rūšies įtaką guolių trinčiai. Pirmoje rezultatų suvestinės dalyje tyrimo rezultatai pateikiami pagal tyrimo metu naudotas alyvas rūši. Antroje rezultatų suvestinės dalyje tyrimo rezultatai pateikiami pagal tyrimo metu naudotas apsukas. Trečioje rezultatų suvestinės dalyje pateikiami bandinių duomenys, naudojant RVS technologiją.

4.1 Guolių trinties proceso rodiklių analizė pagal tyrimo metu naudotas alyvas.

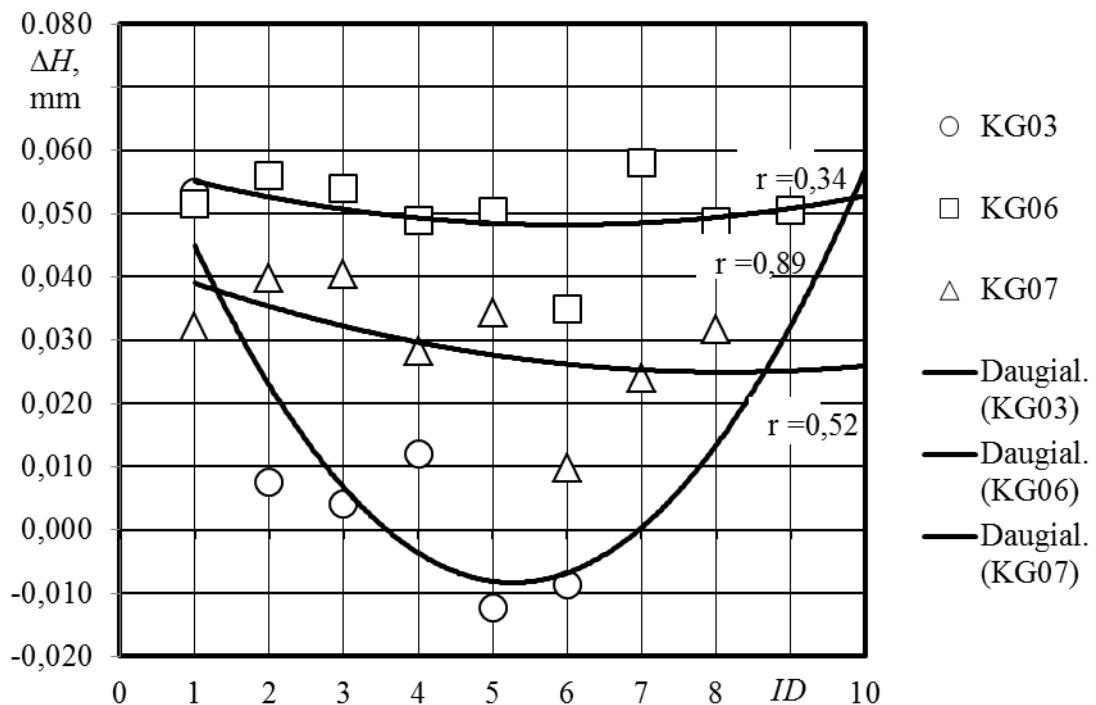
Pagal iš anksto nustatytą tyrimo planą (2.2 lentelė), tyrimo metu gauti rezultatai klasifikuojami į grupes. Bandinių trinties kriterijai sukeliama į lenteles, priskiriant tyrimo metu naudotas alyvas rūšiai.



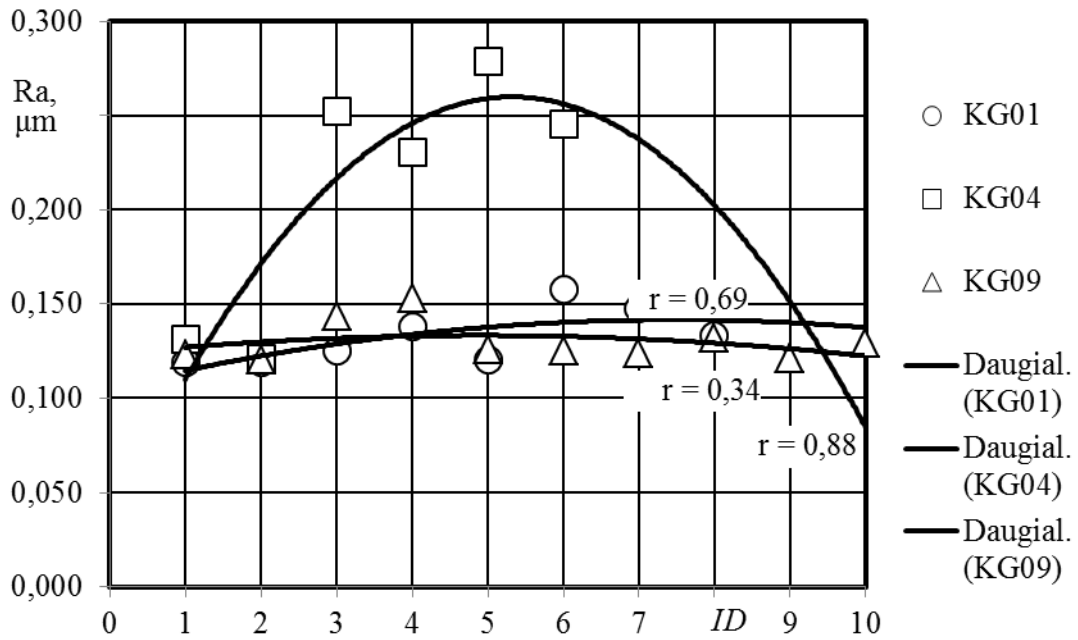
4.1 pav. Guolio aukščio kitimas laike, kai tepimui naudotas tirštas tepalas Autol Top 2000: KG01 – pirmam ($n = 250$ aps./min.), KG04 – ketvirtam ($n = 750$ aps./min.) ir KG09 – devintam ($n = 1\,000$ aps./min.) kūginiams guoliams prie skirtingų apsisukimų



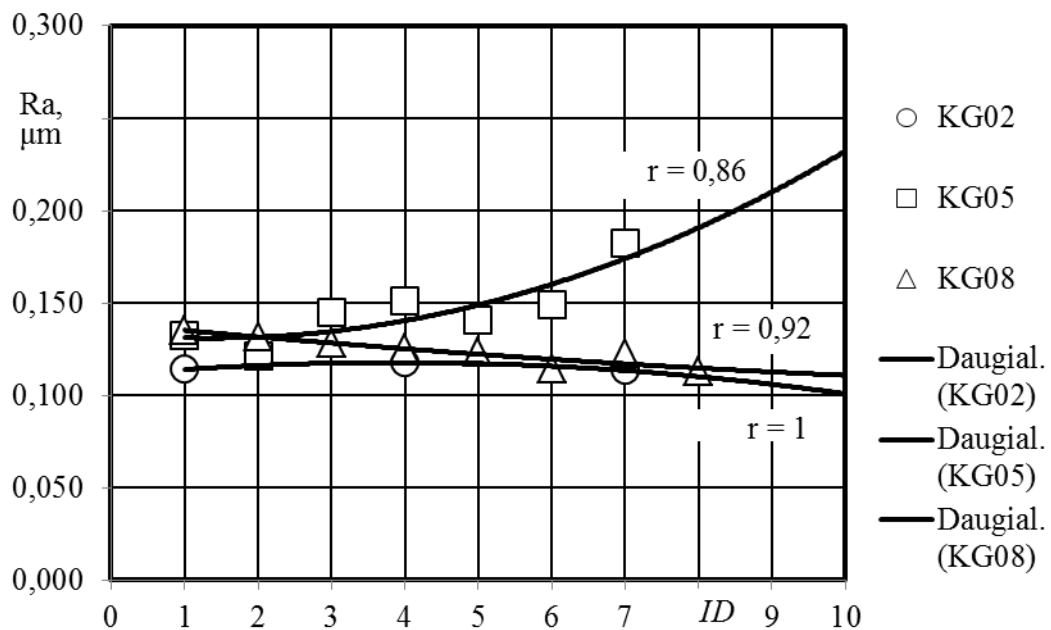
4.2 pav. Guolio aukščio kitimas laike, kai tepimui naudota transmisinė alyva Pemco 80w-90: KG02 – antram ($n = 500$ aps./min.), KG05 – penktam ($n = 750$ aps./min.) ir KG08 – aštuntam ($n = 1\ 000$ aps./min.) kūginiams guoliams prie skirtingų apsisukimų



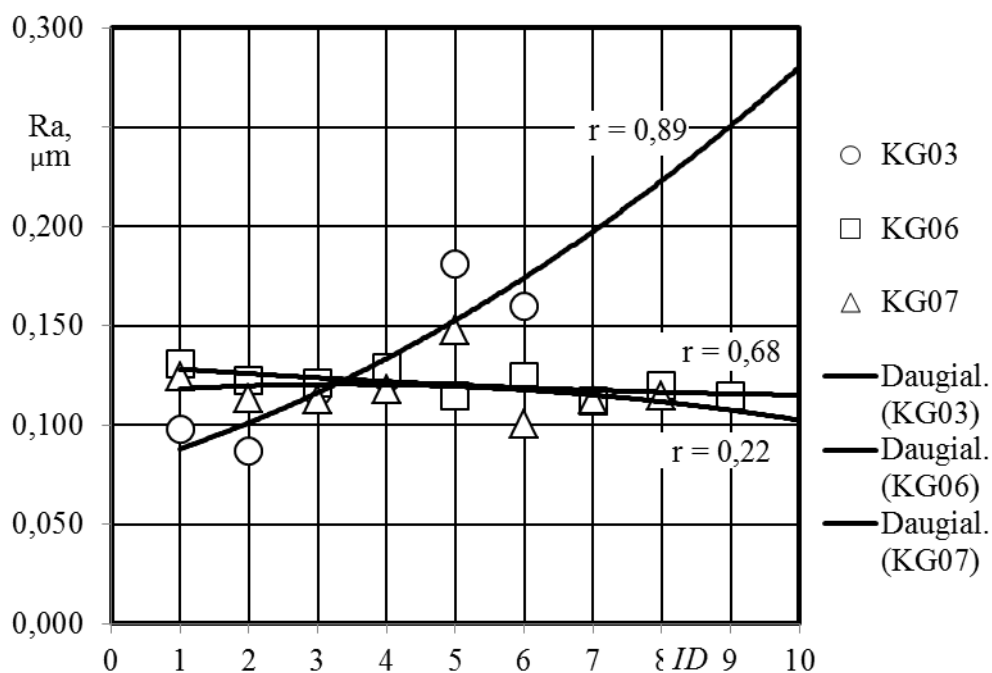
4.3 pav. Guolio aukščio kitimas laike, kai tepimui naudota variklinė alyva Pemco 10w-40: KG03 – trečiam ($n = 500$ aps./min.), KG06 – šeštam ($n = 750$ aps./min.) ir KG07 – septintam ($n = 1\ 000$ aps./min.) kūginiams guoliams prie skirtingų apsisukimų



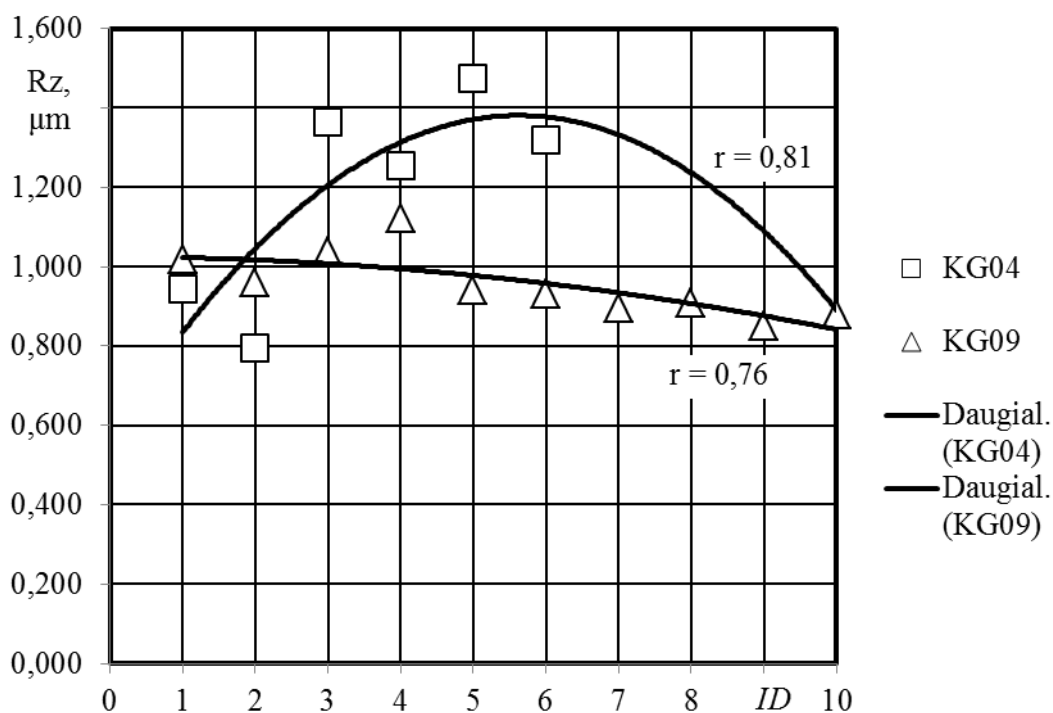
4.4 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro R_a kitimas laike, kai tepimui naudotas tirštas tepalas Autol Top 2000: KG01 – pirmam ($n = 250$ aps./min.), KG04 – ketvirtam ($n = 750$ aps./min.) ir KG09 – devintam ($n = 1\,000$ aps./min.) kūginiams guoliams prie skirtingų apsisukimų



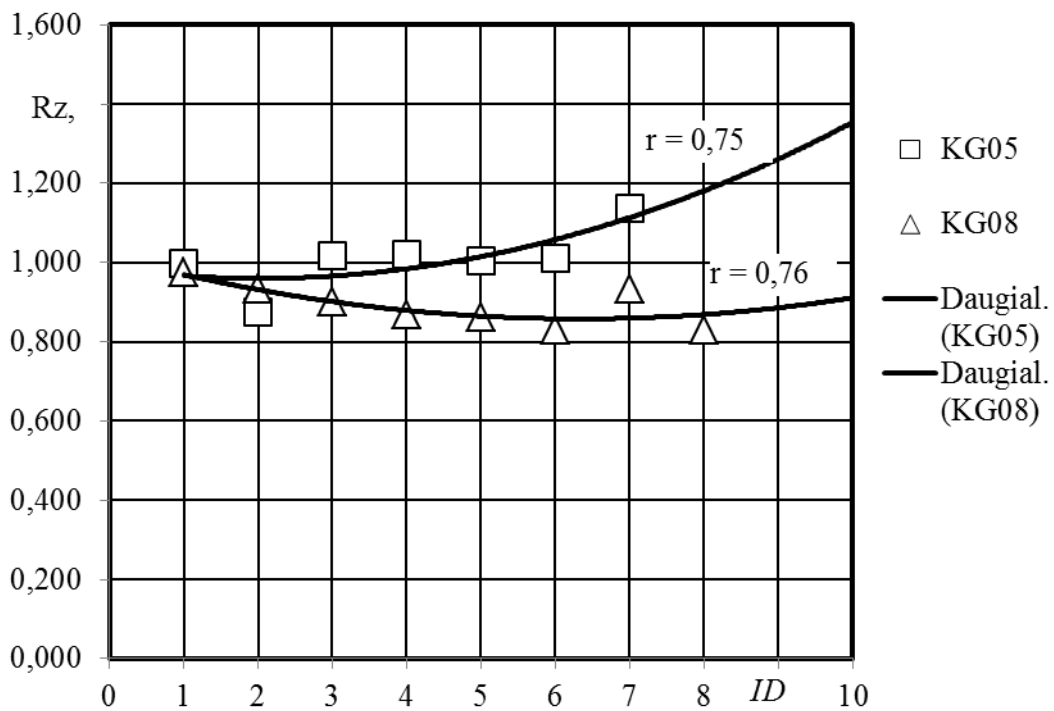
4.5 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro R_a kitimas laike, kai tepimui naudota transmisinė alyva Pemco 80w-90: KG02 – antram ($n = 500$ aps./min.), KG05 – penktam ($n = 750$ aps./min.) ir KG08 – aštuntam ($n = 1\,000$ aps./min.) kūginiams guoliams prie skirtingų apsisukimų



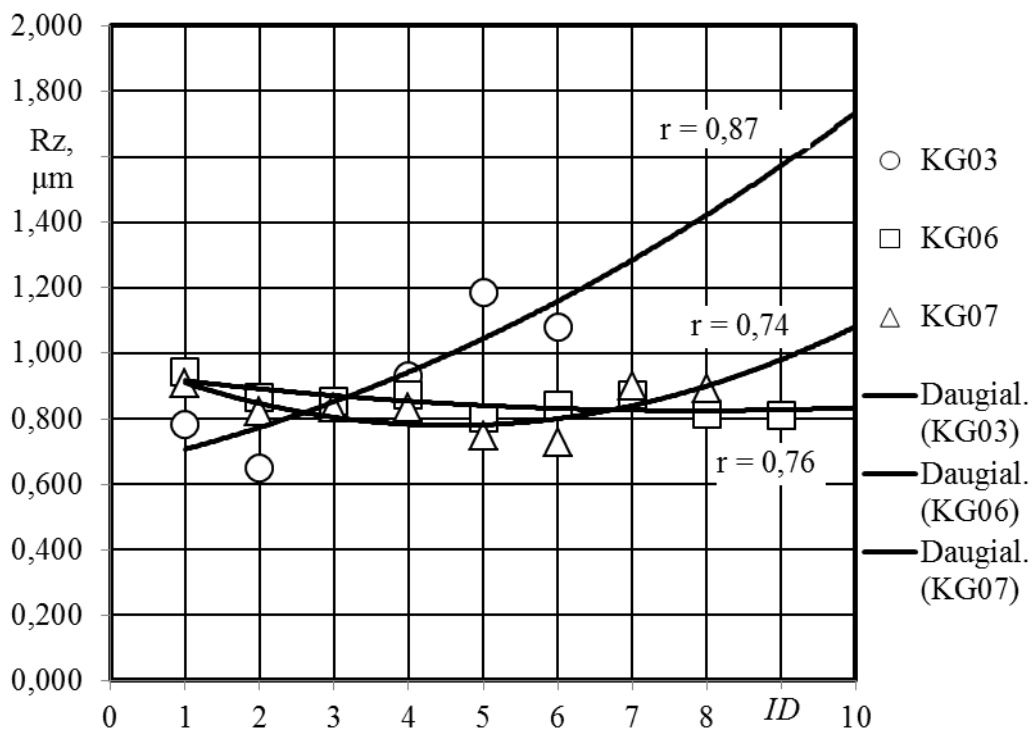
4.6 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Ra kitimas laike, kai tepimui naudota variklinė alyva Pemco 10w-40: KG03 – trečiam ($n = 500$ aps./min.), KG06 – šeštam ($n = 750$ aps./min.) ir KG07 – septintam ($n = 1\ 000$ aps./min.) kūginiams guoliams prie skirtingų apsisukimų



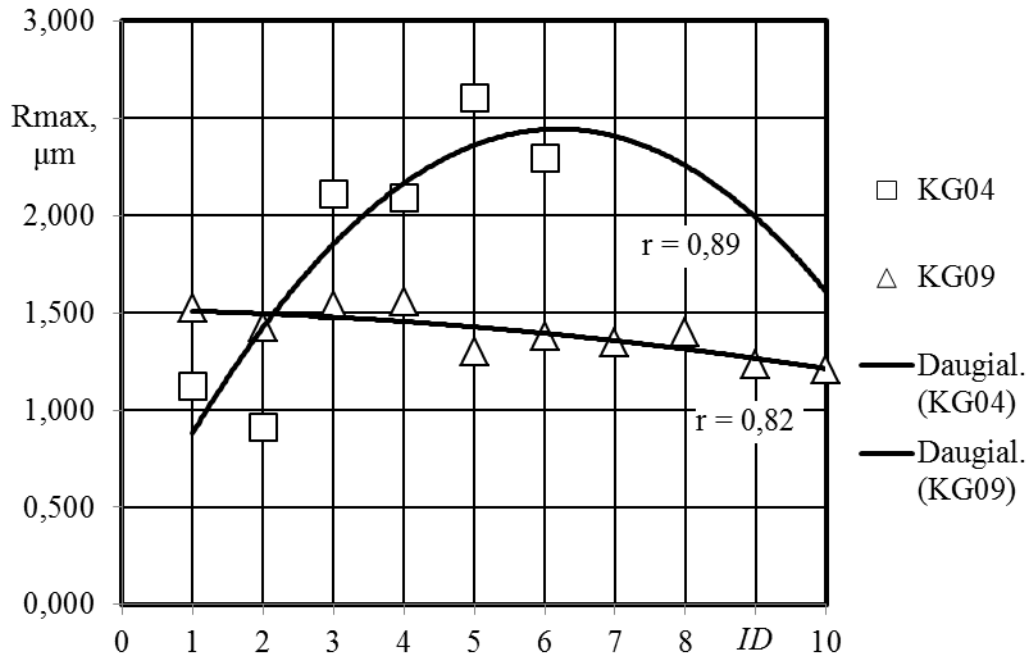
4.7 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Rz kitimas laike, kai tepimui naudotas tirštas tepalas Autol Top 2000 KG04 – ketvirtam ($n = 750$ aps./min.) ir KG09 – devintam ($n = 1\ 000$ aps./min.) kūginiams guoliams prie skirtingų apsisukimų



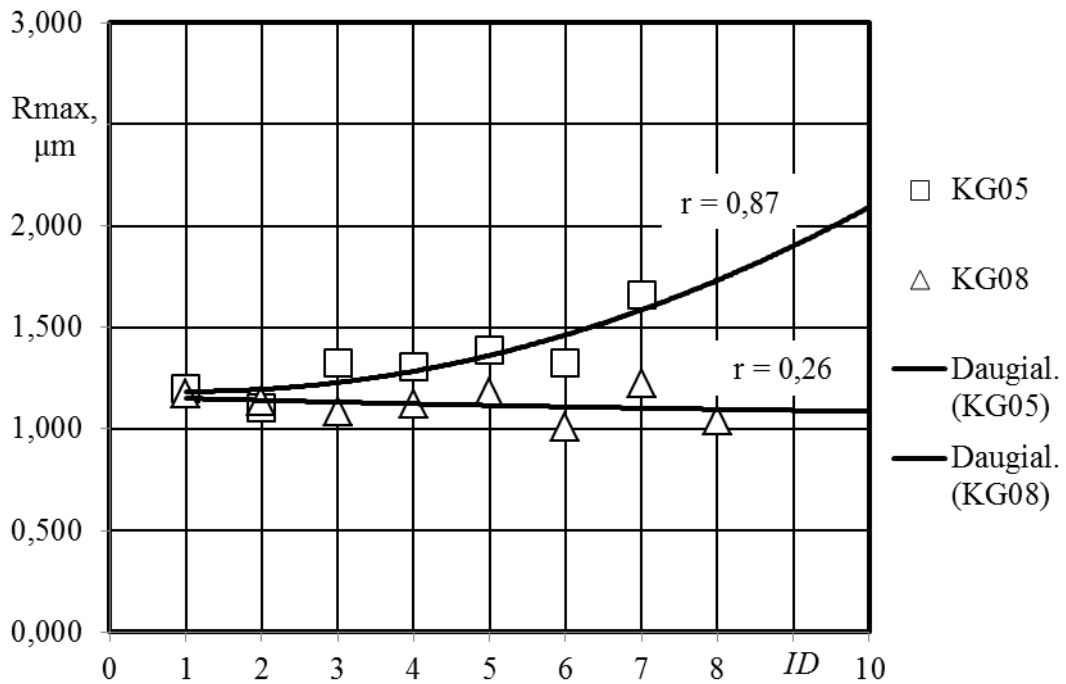
4.8 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Rz kitimas laike, kai tepimui naudota transmisinė alyva Pemco 80w-90: KG05 – penktam ($n = 750$ aps./min.) ir KG08 – aštuntam ($n = 1\ 000$ aps./min.) kūginiams guoliams prie skirtingų apsisukimų



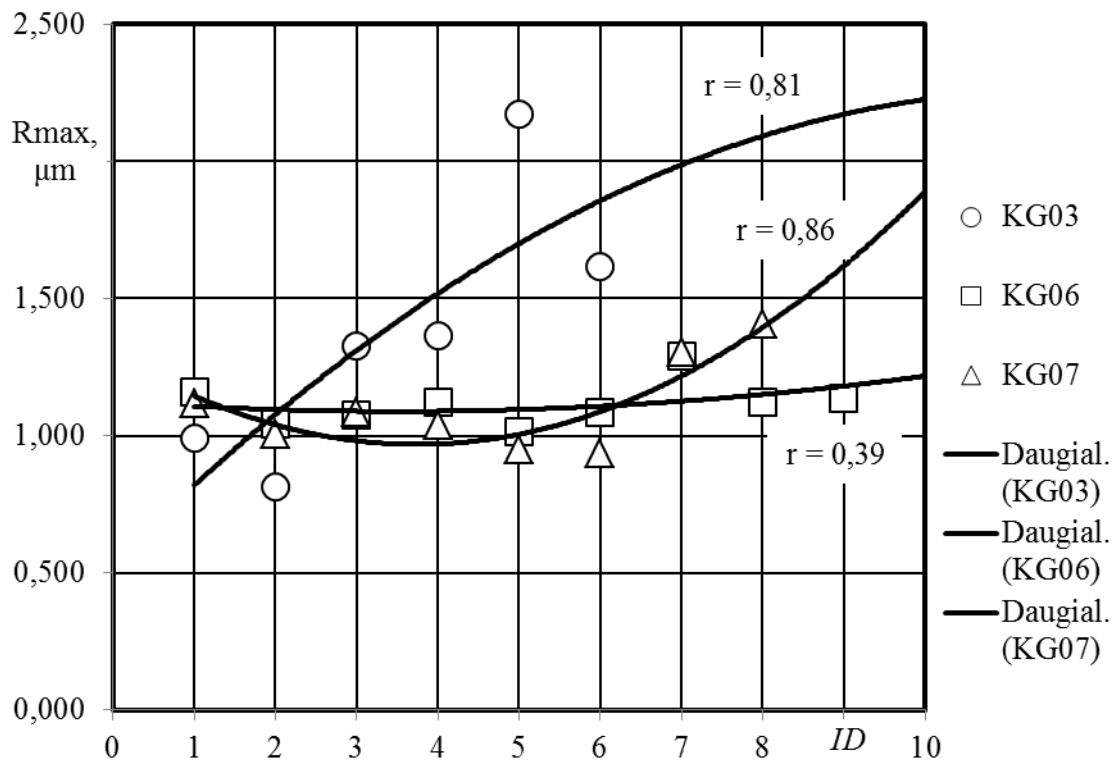
4.9 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Rz kitimas laike, kai tepimui naudota variklinė alyva Pemco 10w-40: KG03 – trečiam ($n = 500$ aps./min.), KG06 – šeštam ($n = 750$ aps./min.) ir KG07 – septintam ($n = 1\ 000$ aps./min.) kūginiams guoliams prie skirtingų apsisukimų



4.10 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro R_{max} kitimas laike, kai tepimui naudotas tirštas tepalas Autol Top 2000: KG04 – ketvirtam ($n = 750$ aps./min.) ir KG09 – devintam ($n = 1\,000$ aps./min.) kūginiams guoliams prie skirtingų apsisukimų



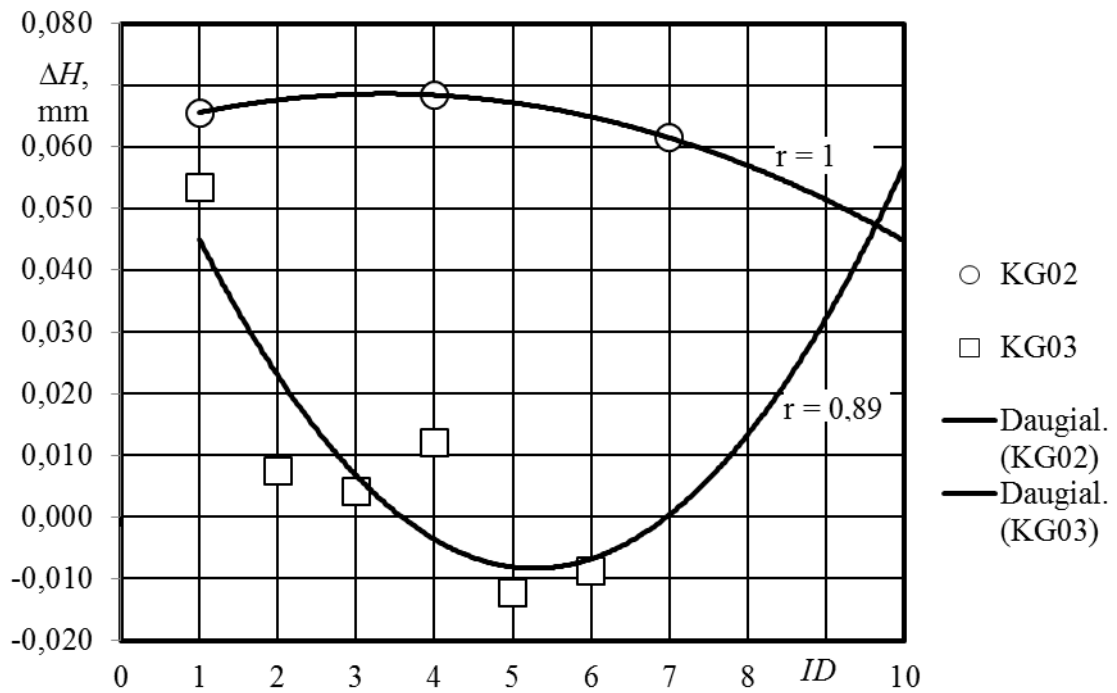
4.11 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro R_{max} kitimas laike, kai tepimui naudota transmisinė alyva Pemco 80w-90: KG05 – penktam ($n = 750$ aps./min.) ir KG08 – aštuntam ($n = 1\,000$ aps./min.) kūginiams guoliams prie skirtingų apsisukimų



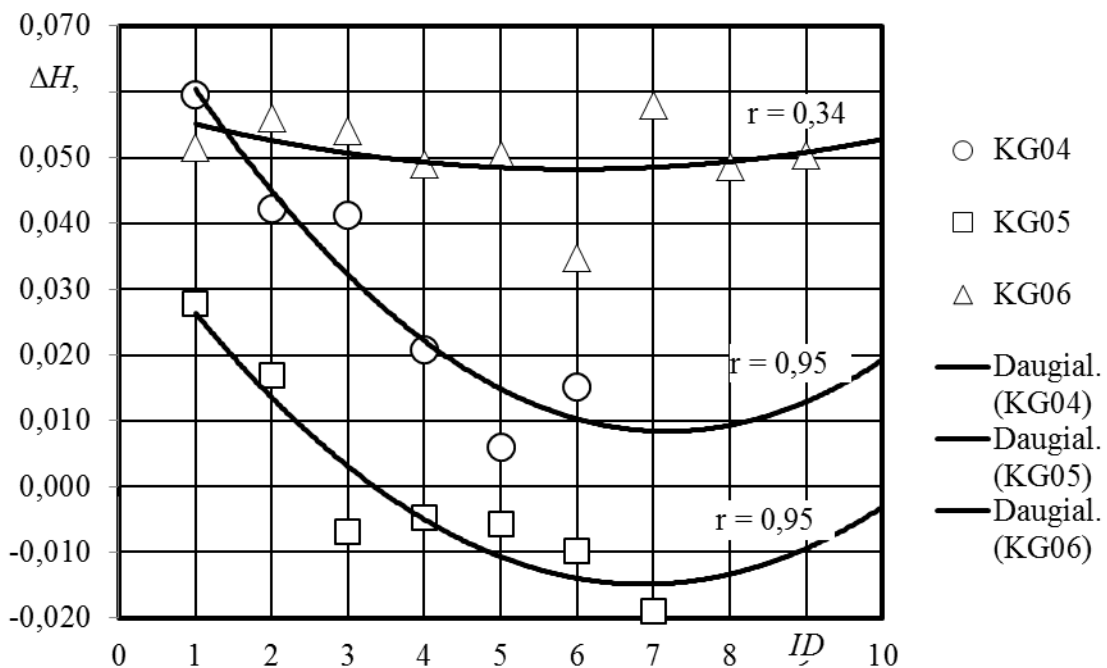
4.12 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro R_{max} kitimas laike, kai tepimui naudota variklinė alyva Pemco 10w-40: KG03 – trečiam ($n = 500$ aps./min.), KG06 – šeštam ($n = 750$ aps./min.) ir KG07 – septintam ($n = 1\ 000$ aps./min.) kūginiams guoliams prie skirtingų apsisukimų

4.2 Guolių trinties proceso rodiklių analizė pagal sukimosi greitį

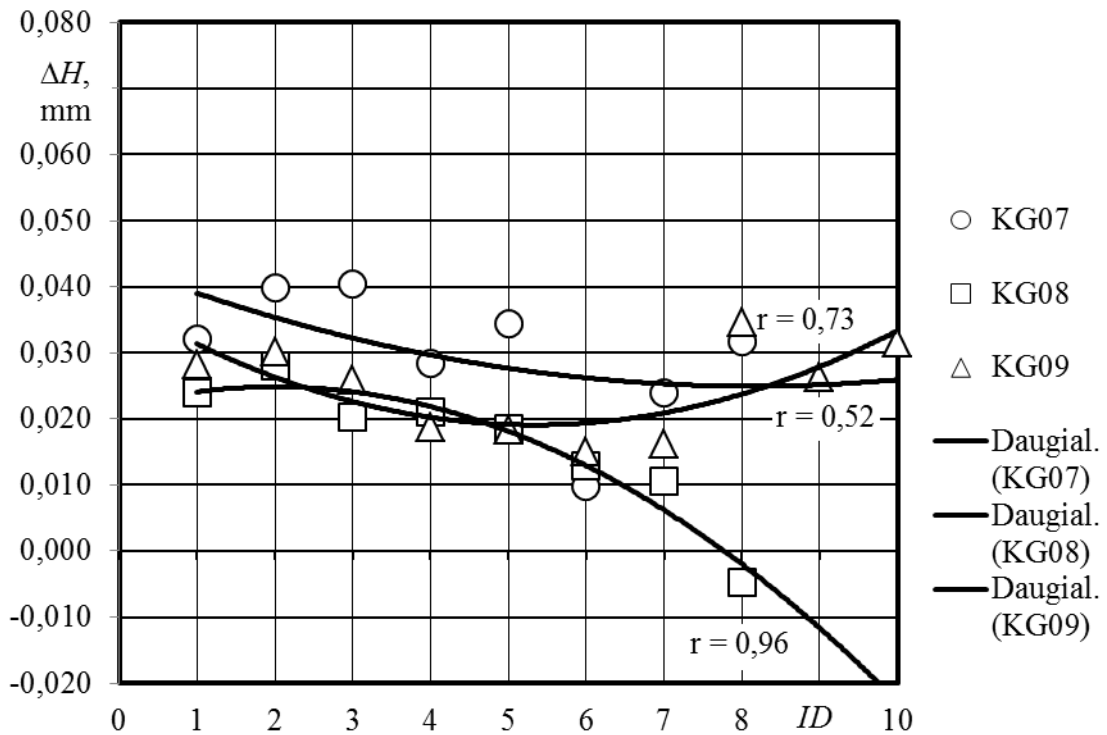
Pagal iš anksto nustatytą tyrimo planą (2.2 lentelė) , tyrimo metu gauti rezultatai klasifikuojami į grupes. Bandinių trinties kriterijai sukeliama į lenteles, priskiriant tyrimo metu naudotam sukimosi greičiui.



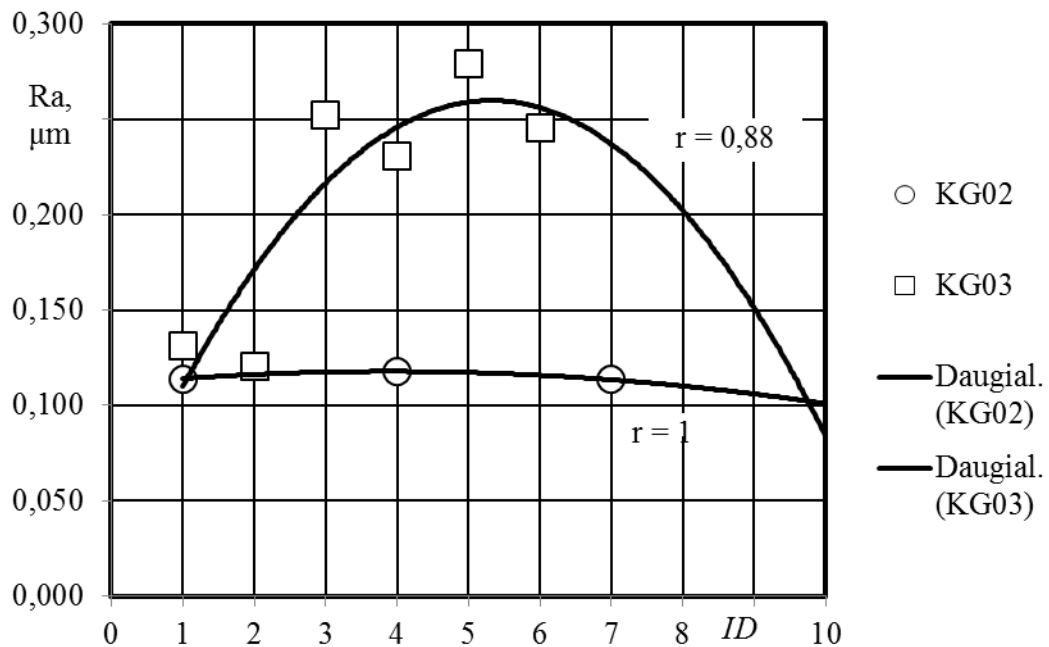
4.13 pav. Guolio aukščio kitimas laike, kai sukimosi greitis $n = 500$ aps./min., tepimui naudotas tepalas: KG02 – antram Pemco 80w90, KG03 – trečiam Pemco 10w40



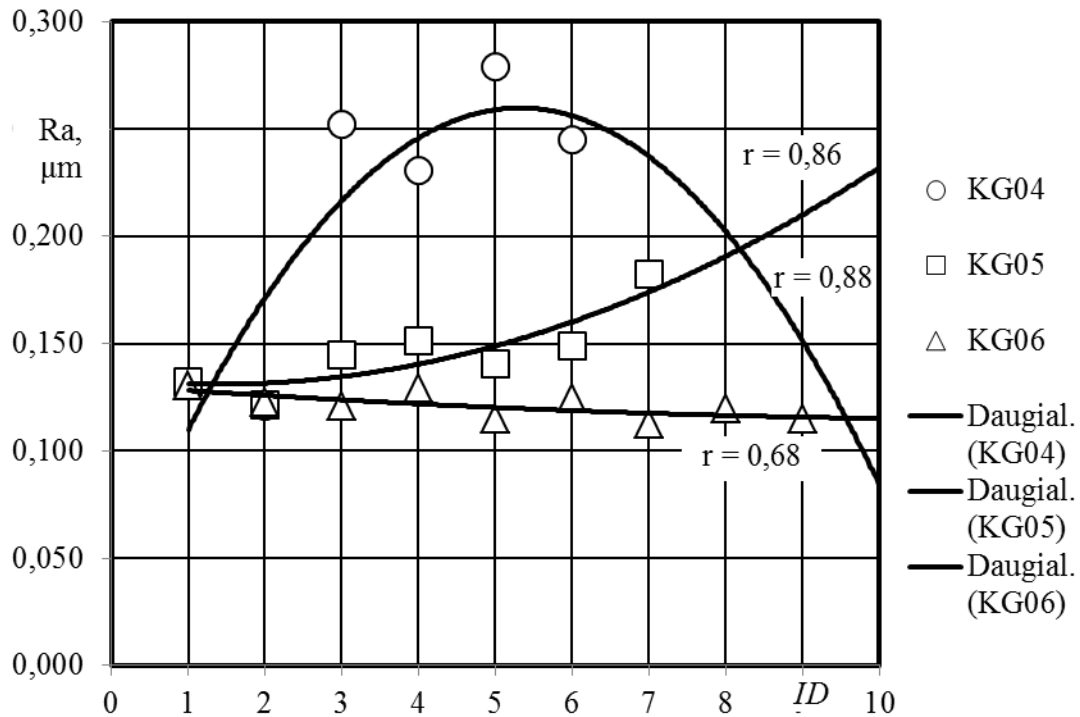
4.14 pav. Guolio aukščio kitimas laike, kai sukimosi greitis $n = 750$ aps./min., tepimui naudotas tepalas: KG04 – ketvirtam AutoITop 2000, KG05 – penktam Pemco 80w90, KG06 – šeštam Pemco 10w40



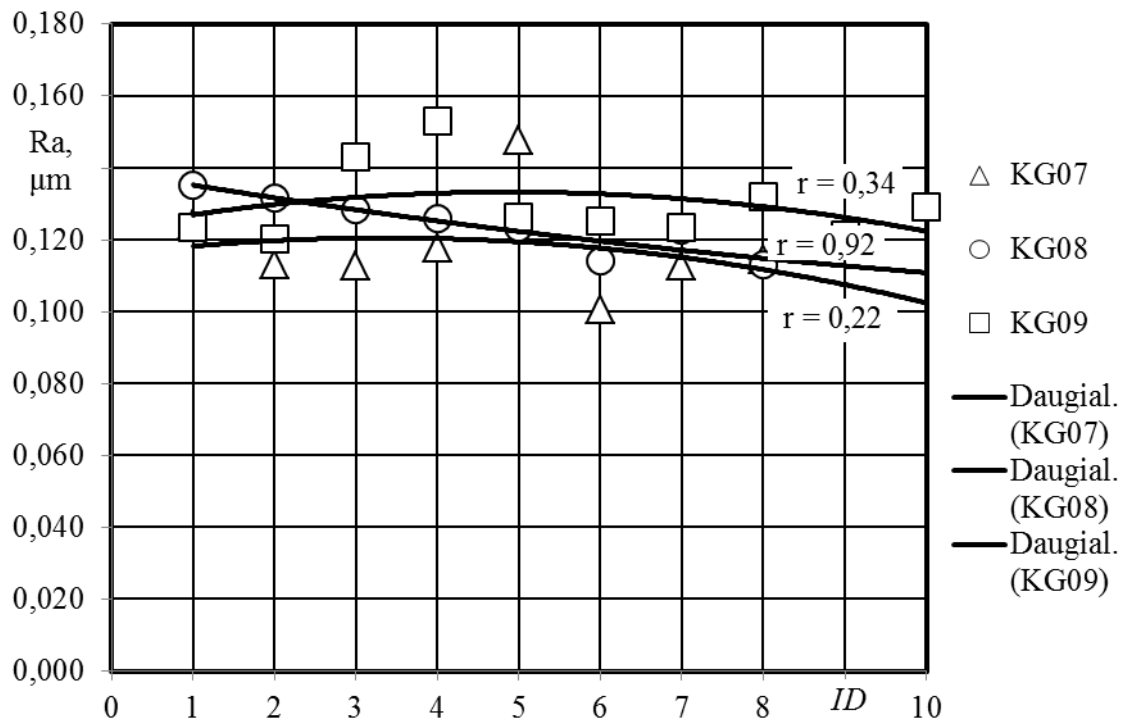
4.15 pav. Guolio aukščio kitimas laike, kai sukimosi greitis $n = 1000$ aps./min., tepimui naudotas tepalas: KG07 – septintam Pemco 10w40, KG08 – aštuntam Pemco 80w90, KG09 – devintam AutoITop 2000



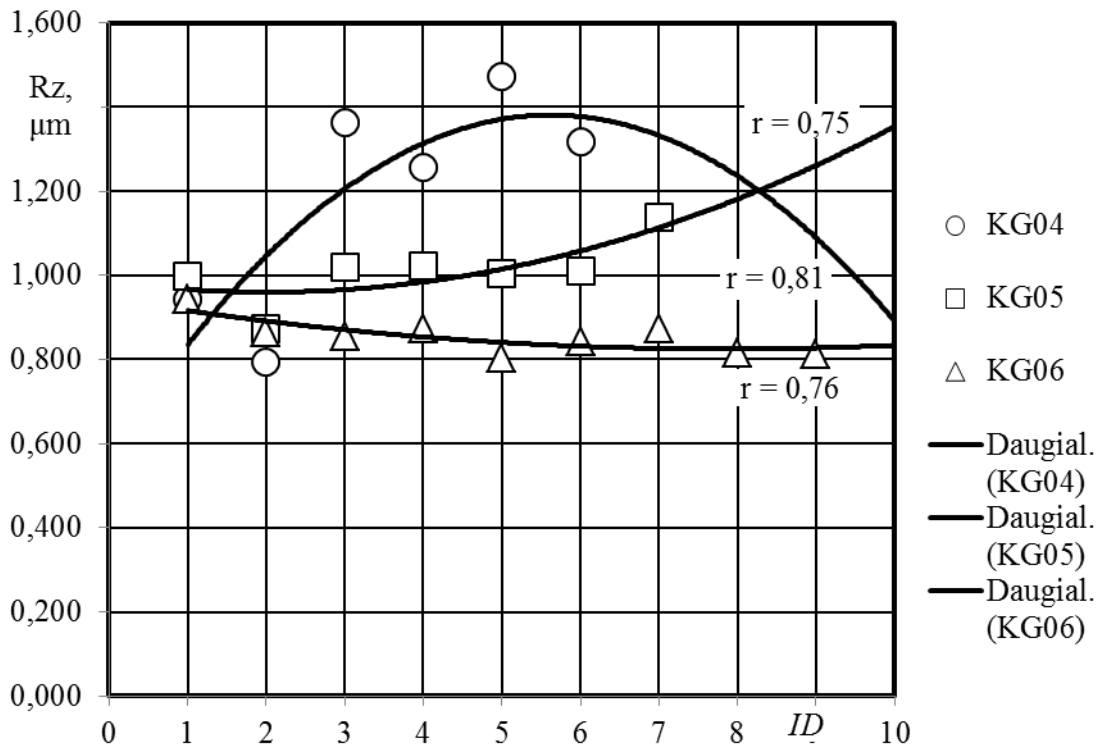
4.16 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro R_a kitimas laike, kai sukimosi greitis $n = 500$ aps./min., tepimui naudotas tepalas: KG02 – antram Pemco 80w90, KG03 – trečiam Pemco 10w40



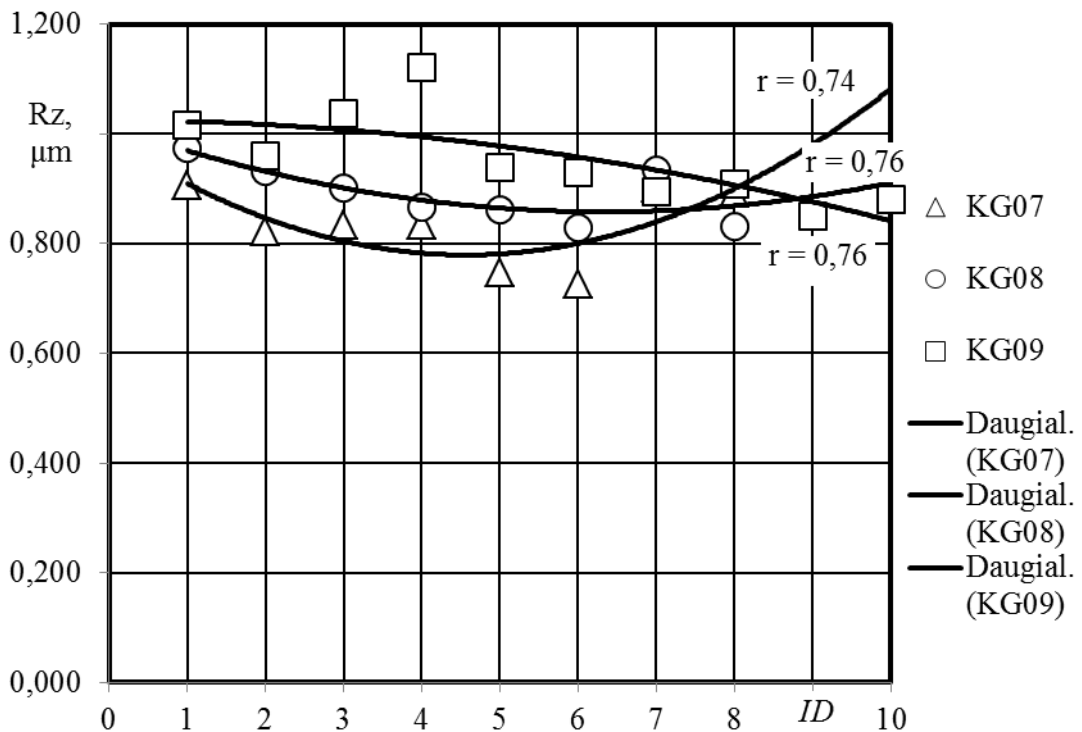
4.17 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro R_a kitimas laike, kai sukimosi greitis $n = 750$ aps./min., tepimui naudotas tepalas: KG04 – ketvirtam AutoITop 2000, KG05 – penktam Pemco 80w90, KG06 – šeštam Pemco 10w40



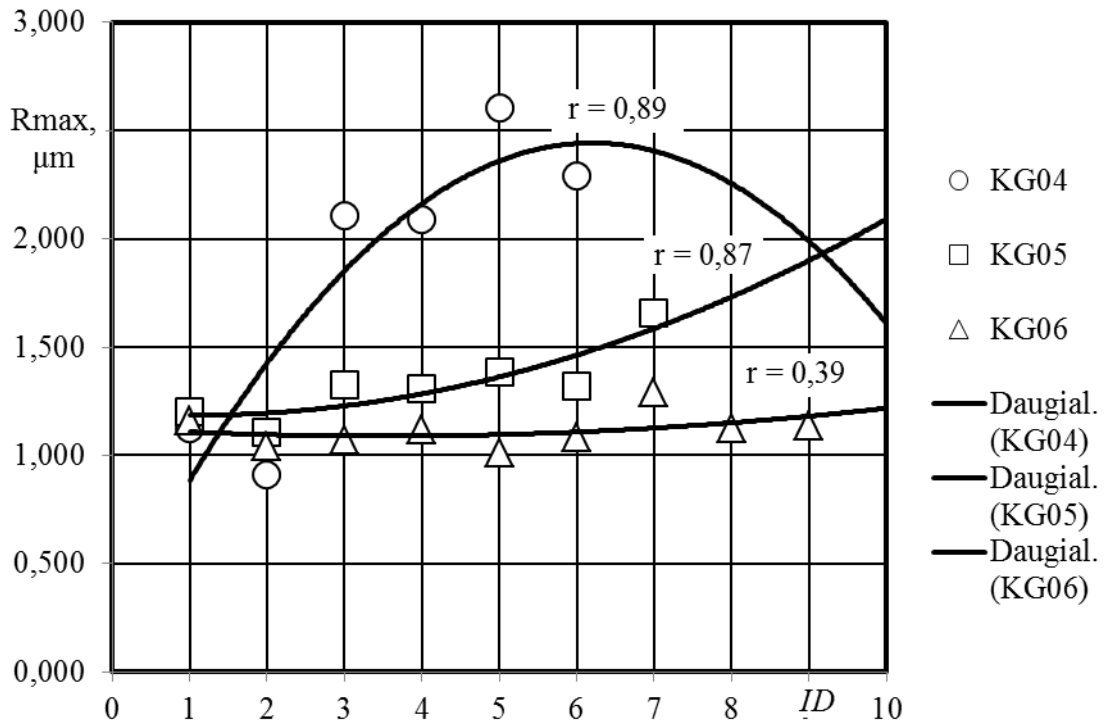
4.18 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro R_a kitimas laike, kai sukimosi greitis $n = 1000$ aps./min., tepimui naudotas tepalas: KG07 – septintam Pemco 10w40, KG08 – aštuntam Pemco 80w90, KG09 – devintam AutoITop 2000



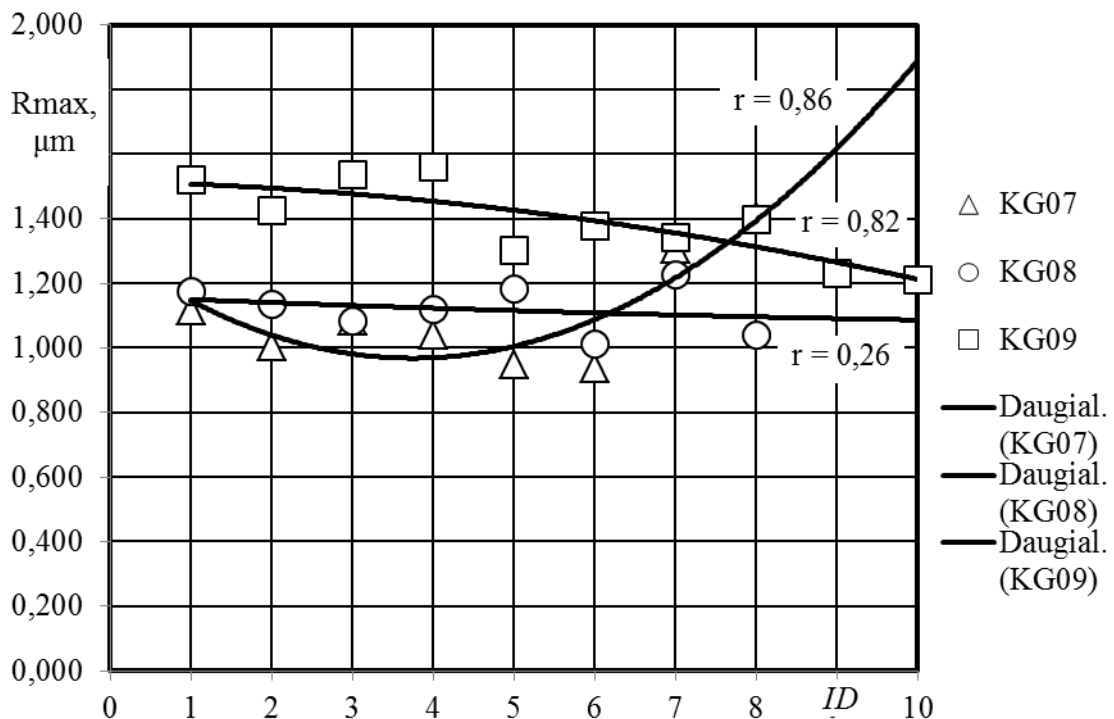
4.19 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Rz kitimas laike, kai sukimosi greitis $n = 750$ aps./min., tepimui naudotas tepalas: KG04 – ketvirtam AutolTop 2000, KG05 – penktam Pemco 80w90, KG06 – šeštam Pemco 10w40



4.20 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Rz kitimas laike, kai sukimosi greitis $n = 1000$ aps./min., tepimui naudotas tepalas: KG07 – septintam Pemco 10w40, KG08 – aštuntam Pemco 80w90, KG09 – devintam AutolTop 2000



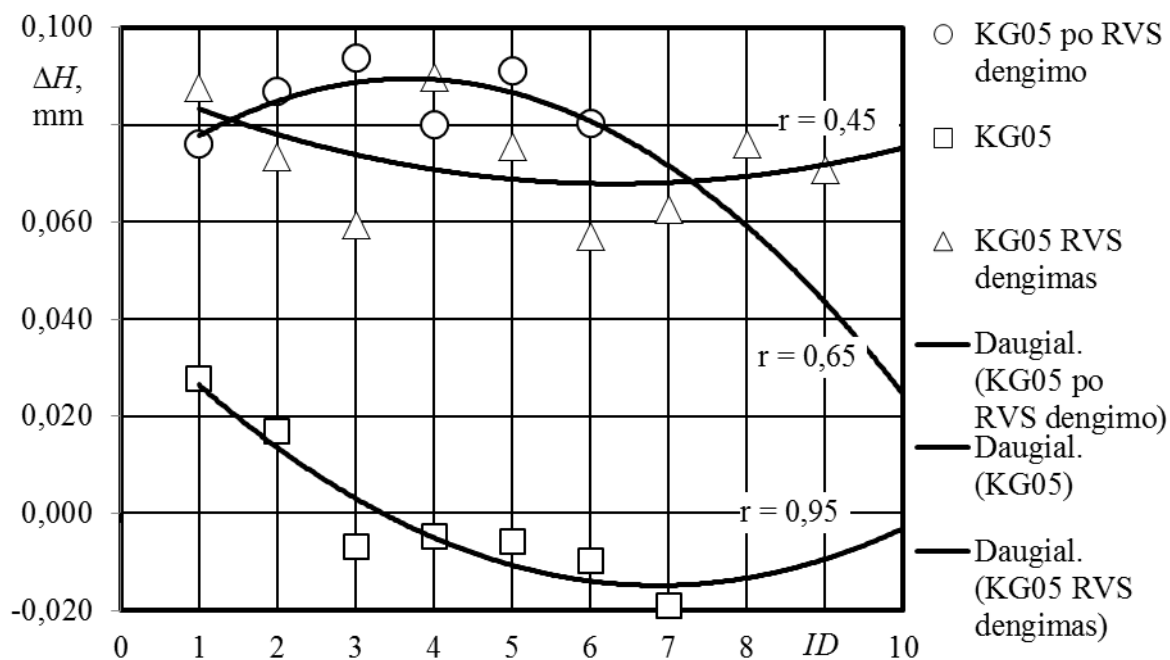
4.21 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro R_{max} kitimas laike, kai sukimosi greitis $n = 750$ aps./min., tepimui naudotas tepalas: KG04 – ketvirtam AutolTop 2000, KG05 – penktam Pemco 80w90, KG06 – šeštam Pemco 10w40



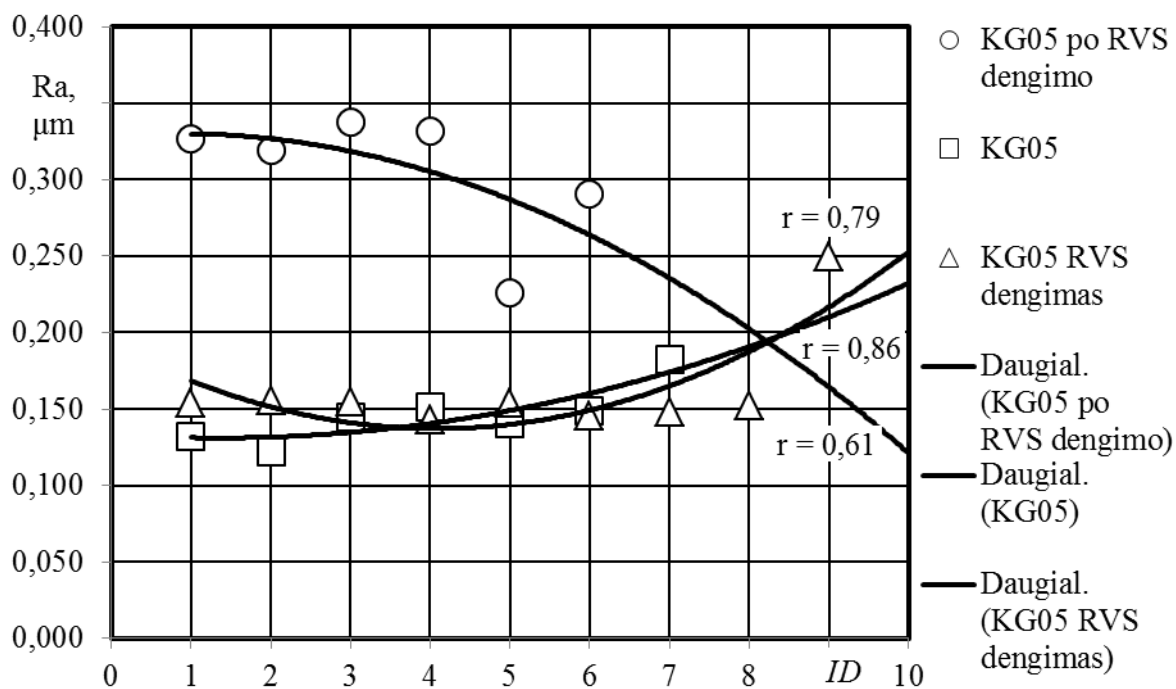
4.22 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro R_{max} kitimas laike, kai sukimosi greitis $n = 1000$ aps./min., tepimui naudotas tepalas: KG07 – septintam Pemco 10w40, KG08 – aštuntam Pemco 80w90, KG09 – devintam AutolTop 2000

4.3 Guolių trinties proceso rodiklių analizė, pritaikant RVS technologiją

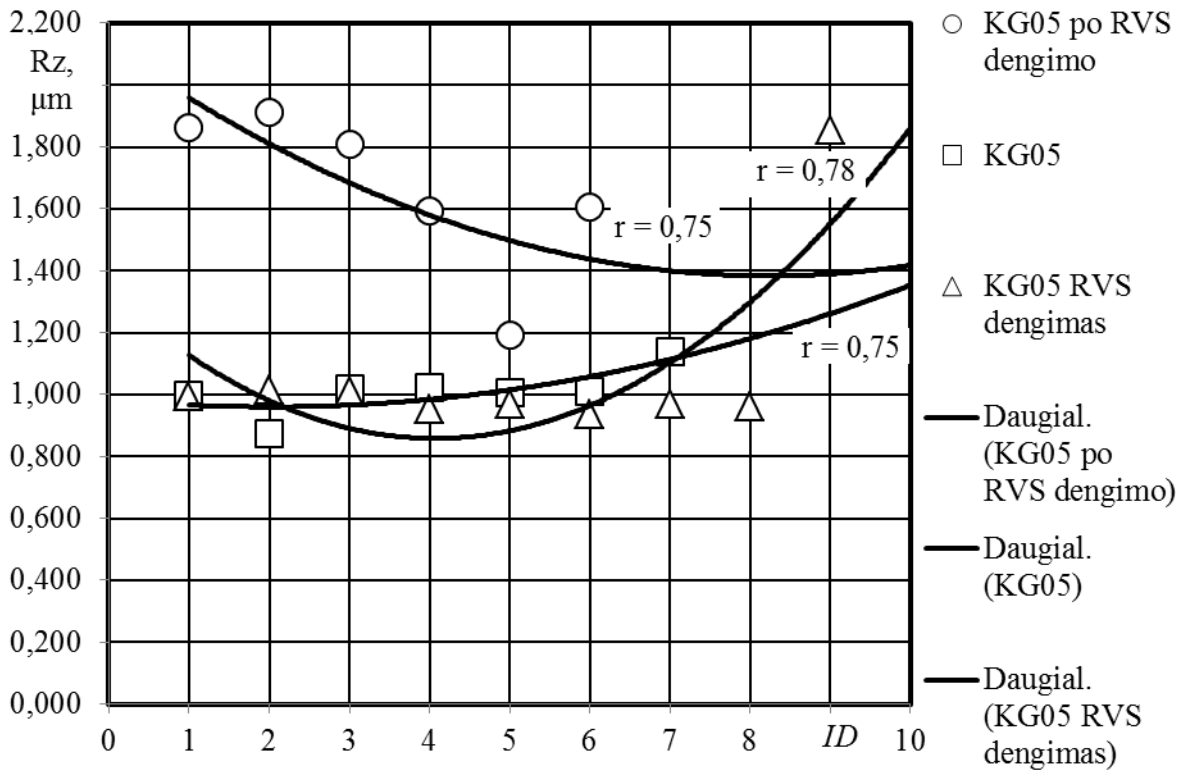
Bandymas buvo pratęstas su dviem guoliais, panaudojant RVS priedus su ta pačia, pirmame etape naudota, alyva Pemco 80w-90. Bandiniams KG05 ir KG08 parinktas 1 000 aps./min. sukimosi greitis ir RVS priedų dengimo trukmė 3 000 000 ciklų.



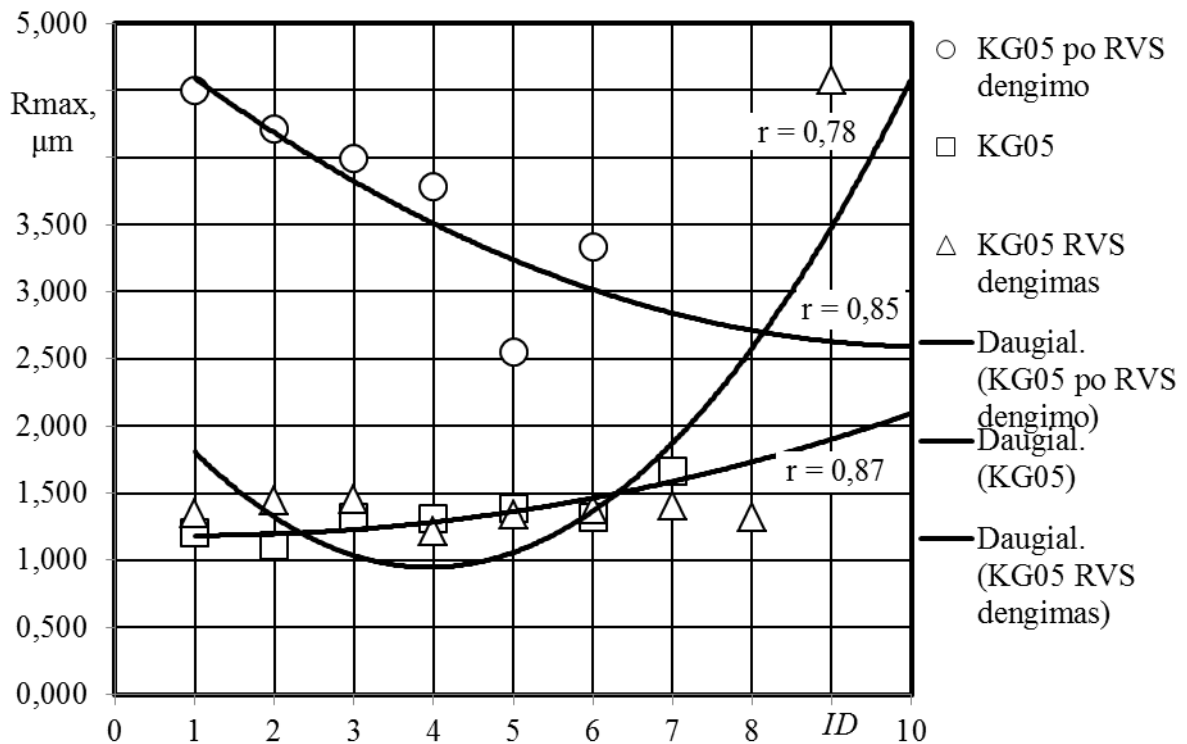
4.23 pav. Guolio aukščio kitimas laike, kai tepimui naudota transmisinė alyva Pemco 80w-90, sukimosi greitis $n = 1\ 000$ aps./min.



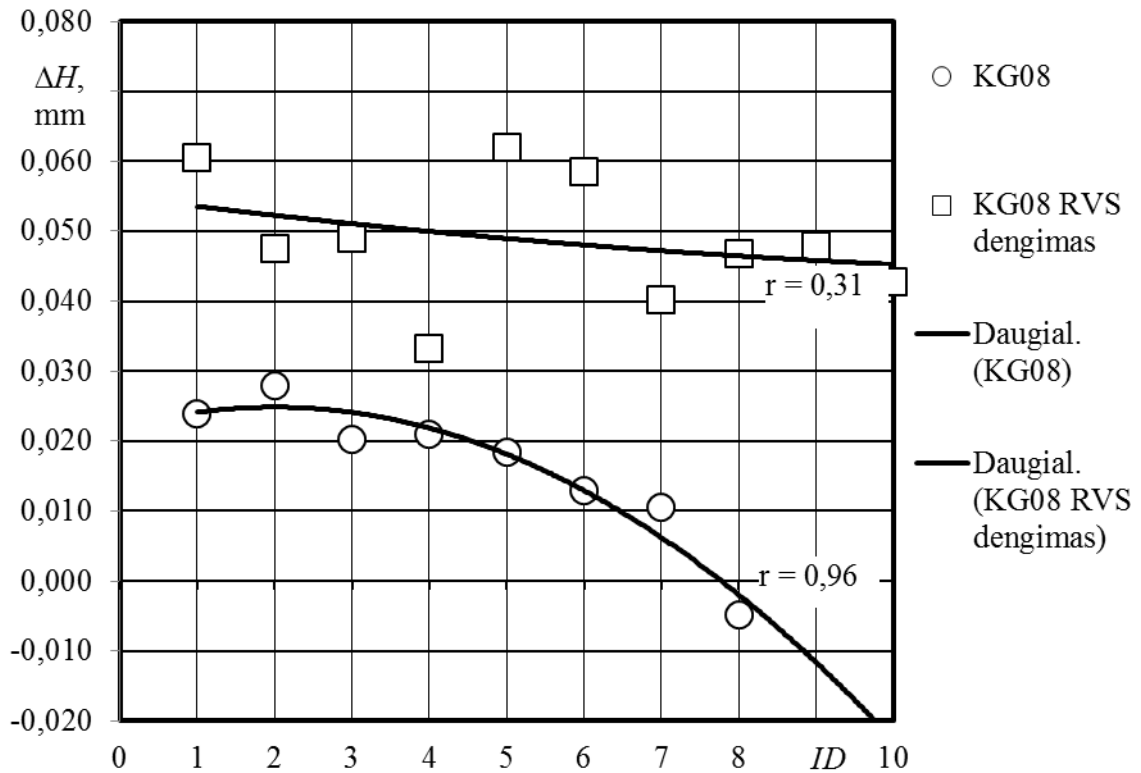
4.24 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Ra kitimas laike, kai sukimosi greitis $n = 1\ 000$ aps./min., tepimui naudotas tepalas Pemco 80w-90



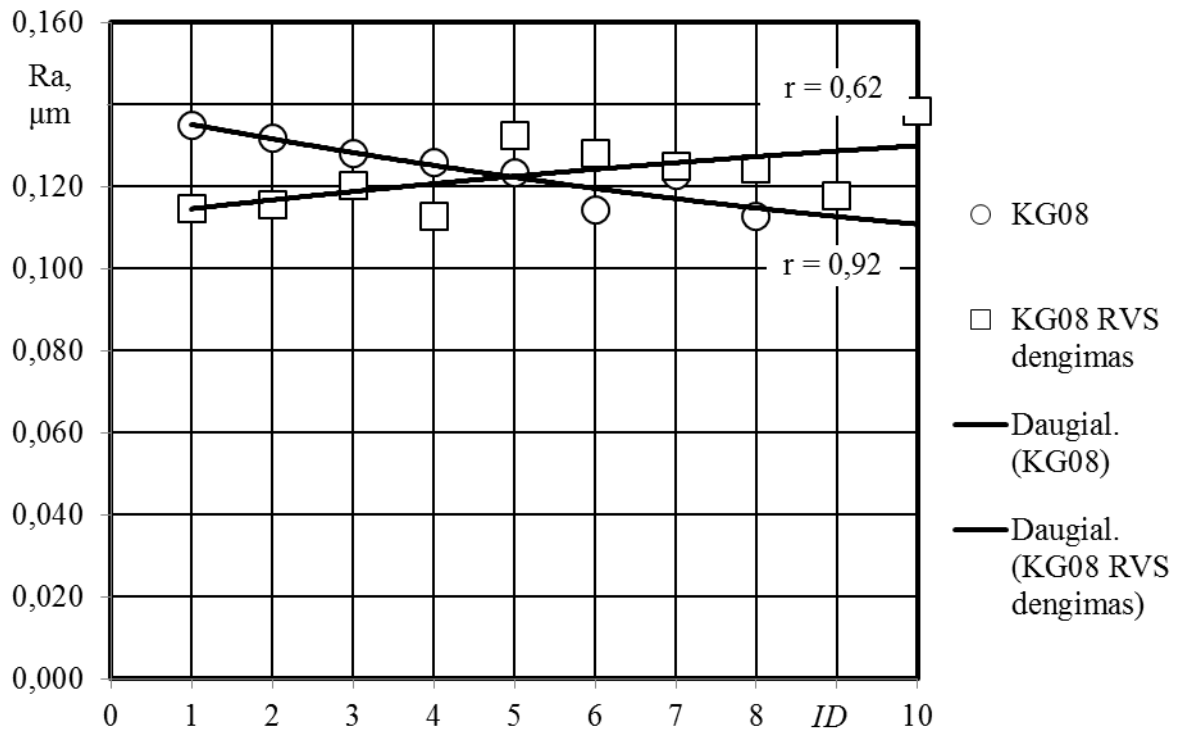
4.25 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Rz kitimas laike, kai sukimosi greitis $n = 1\ 000$ aps./min., tepimui naudotas tepalas Pemco 80w-90



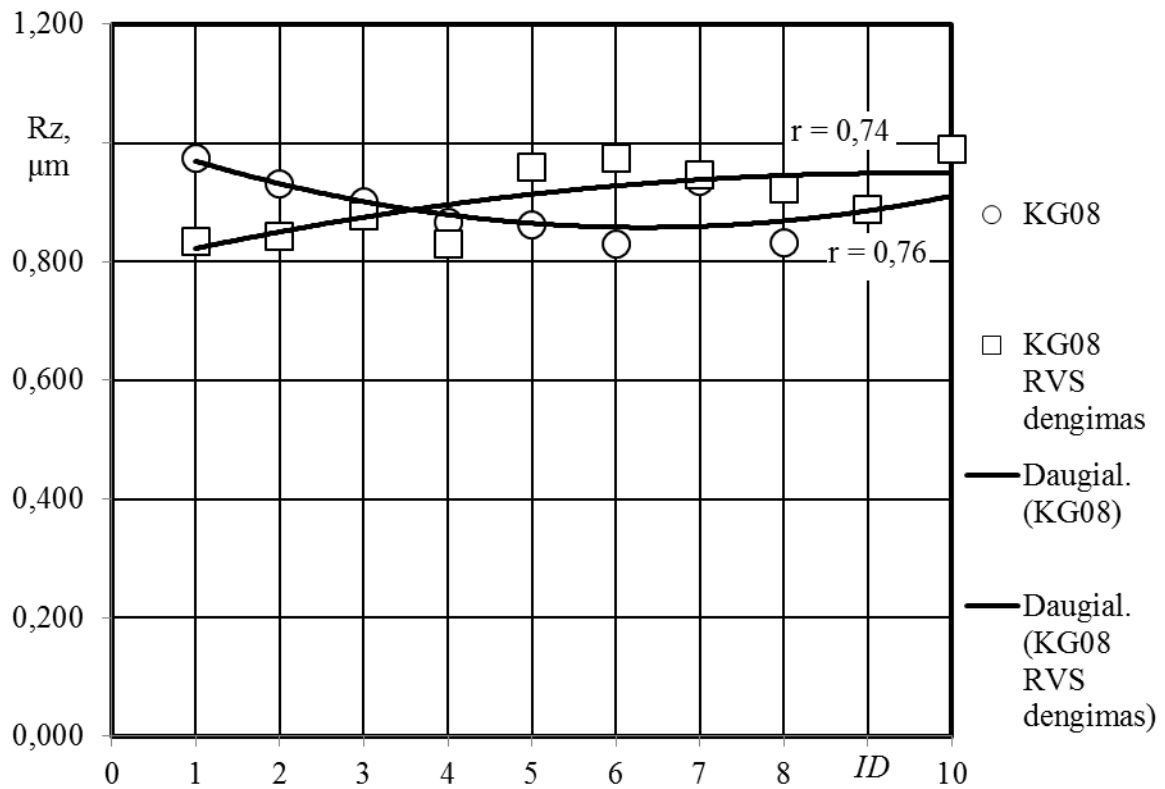
4.26 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Rmax kitimas laike, kai sukimosi greitis $n = 1\ 000$ aps./min., tepimui naudotas tepalas Pemco 80w-90



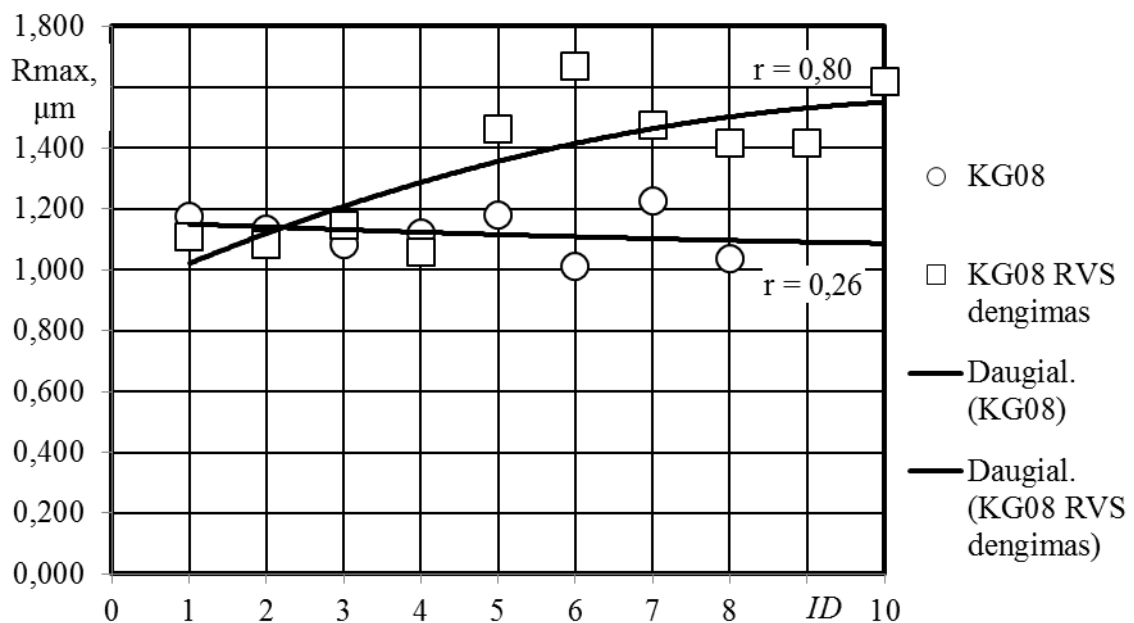
4.27 pav. Guolio aukščio kitimas laike, kai tepimui naudota transmisinė alyva Pemco 80w-90, sukimosi greitis $n = 1\ 000$ aps./min.



4.28 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro R_a kitimas laike, kai sukimosi greitis $n = 1\ 000$ aps./min., tepimui naudotas tepalas Pemco 80w-90



4.29 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Rz kitimas laike, kai sukimosi greitis $n = 1\ 000$ aps./min., tepimui naudotas tepalas Pemco 80w-90



4.30 pav. Guolio išorinio žiedo darbinio paviršiaus šiurkštumo parametro Rmax kitimas laike, kai sukimosi greitis $n = 1\ 000$ aps./min., tepimui naudotas tepalas Pemco 80w-90




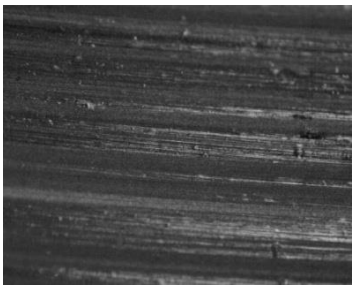


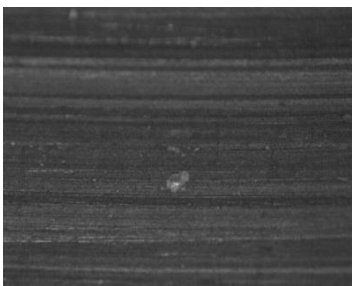



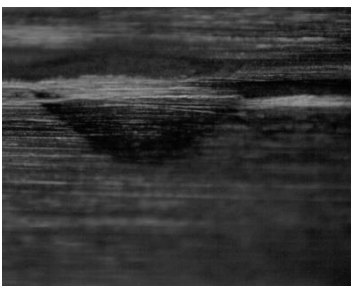

4.4. Tyrimo metalografinė analizė








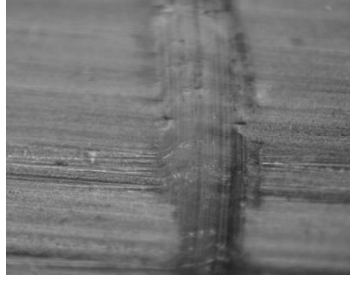

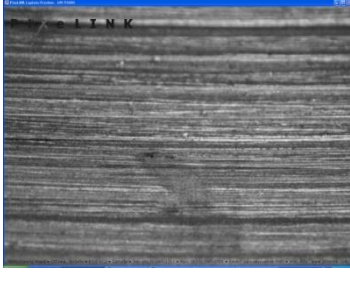


Tyrimo metu kiekvieno bandinio paviršiai buvo fiksuojami metalografinėse nuotraukose.

Metalografinės nuotraukos. Pateikiama guolių dėvėjimosi foto informacija skirtingais masteliais, kuomet ciklų skaičius daugiau 2 000 000.

4.1 lentelė

Metalografinės nuotraukos

Guolio Nr.	Nuotraukos didinimas 5 kartus	Nuotraukos didinimas 10 kartų	Nuotraukos didinimas 20 kartų
KG01			
KG02			
KG03			
KG04			

KG05			
KG06			
KG07			
KG08			

4.5. Tyrimo analizė

Didžiausias ΔH pokytis stebimas bandinio KG04. Pradinė aukščio reikšmė 0,060 mm sumenko iki 0,005 mm. Stebimas kelis kartus spartesnis aukščio pokytis nei bandinio KG01. Mažiausias bandinio KG02 (4 pav.) ΔH kitimas. Guolio ΔH reikšmės kinta nuo 0,068 mm iki 0,062 mm ir bandymo metu išliko stabilios. Didžiausias ΔH pokytis stebimas bandiniui KG05. Pradinė aukščio reikšmė 0,028 sumenko iki -0,020 mm. Mažiausias bandinio KG06 (5 pav.) ΔH kitimas – nuo 0,05 mm reikšmės iki žemiausios 0,048 mm reikšmės 4 ir 8 *ID* cikluose. Bandymo pabaigoje guolio KG01 ΔH yra identiškas reikšmėms bandymo pradžioje. Didžiausias ΔH stebimas bandiniui KG03. Pradinė aukščio reikšmė 0,053 sumenko iki -0,012 mm. Didžiausias šiurkštumo R_a pokytis nuo 0,13 μm iki 0,25 μm fiksuojamas bandiniui KG04 (6 pav.), kurios kelis kartus aukštesnės šiurkštumo nei bandinių KG01 ir KG09. Pastarųjų bandinių šiurkštumo pokyčių kreivės praktiškai identiškos. Didžiausias šiurkštumo R_a pokytis (7 pav.) nuo 0,13 μm iki 0,18 μm fiksuojamas bandiniui KG05, kurios kelis kartus aukštesnės nei bandiniams KG02 ir KG08. Pastarųjų bandinių šiurkštumo pokyčių kreivės praktiškai identiškos. Didžiausias šiurkštumo R_a pokytis (8 pav.) nuo 0,08 μm iki 0,18 μm fiksuojamas bandiniui KG03 ir fiksuojamos kelis kartus aukštesnės šiurkštumo reikšmės nei bandiniams KG06 ir KG07. Pastarųjų bandinių šiurkštumo pokyčių kreivės (8 pav.) praktiškai identiškos.

IŠVADOS

1. Atlikus guolių bandymus prie užsiduotų sąlygų, kai guolių dilimo parametrai buvo stebimi nemažiau kaip iki 2 mln. ciklų, nustatyta, kad guolių aukščio pokytis ΔH kito 0,03...0,05 mm intervalo ribose, nors atskirų guolių pradinės tų pokyčių reikšmės ir skyrėsi. Didžiausias skirtumas tarp visų guolių ΔH pokyčio reikšmių siekia 0,1 mm. Taigi, guolių dilimas nebuvo ženklus.

2. Nagrinėjant tepalo įtaką guolių aukščio pokyčiui ΔH , pastebėta, kad naudojant plastinį tepalą Autol Top 2000 visų su juo bandytų guolių (KG01, KG04, KG09) aukščio pokyčio tarpiniai matavimų taškai koncentruojasi apie vidutinę 0,03 mm reikšmę ir yra išsidėstę, galima sakyti, „chaotiškai“ neįžvelgiant skirtingų apsisukimų reikšmių įtakos.

3. Naudojant transmisinį tepalą Pemco 80w-90, priklausomai nuo apsisukimų skaičiaus, stebima aukščio pokyčio ΔH reakcija į apsisukimus: prie mažesnių (500 aps./min.) apsisukimų ΔH reikšmės išsidėstę ties 0,06-0,07 mm zona (guolis KG02), prie 750 aps./min. reikšmės – ties 0...0,03 mm zona (guolis KG05), prie 1000 aps./min. – ties 0,03...-0,02 mm zona (guolis KG08). Taip pat, paminėtiems guoliams tarpinių matavimų taškai yra išsidėstę reguliariai. Taigi, galima teigti, kad naudojant transmisinį tepalą Pemco 80w-90, stebimas guolių aukščio pokyčio ΔH kitimo reguliarumas. Prie mažesnių apsisukimų aukščio pokytis yra mažiau intensyvus, prie didesnių apsisukimų – aukščio pokytis yra intensyvesnis. Visais atvejais stebimas guolio aukščio sumažėjimas.

4. Naudojant variklinę alyvą Pemco 10w-40 guolių aukščio pokyčių reikšmių išsibarstymas didžiausias (mažiausi koreliacijos koeficientai). Prie mažesnių apsisukimų (500 aps./min.), aukščio pokytis intensyviausias, guolis KG03 labiausiai dyla, prie 750 aps./min. – guolio KG06 ΔH keičiasi nežymiai, prie 1000 aps./min. – guolio KG07 ΔH kinta vidutiniškai. Taigi, naudojant variklinę alyvą Pemco 10w-40, mažiausias guolių dilimas stebimas prie 750 aps./min., didžiausias prie mažų – 500 aps./min., o vidutinis dilimas – prie 1000 aps./min.

5. Lyginant guolio aukščio ΔH pokyčius sukimos greičio atžvilgiu, pastebėta, kad prie mažų apsisukimų (500 aps./min.) mažesnis dilimo intensyvumas su transmisiniu tepalu Pemco 80w-90, didesnis – su varikliniu tepalu Pemco 10w-40. Patys kitimo dėsningumai neturi panašaus pobūdžio ir nesimato reikšmių kitimo reguliarumo (guoliai KG02 ir KG03). Prie 750 aps./min. apsisukimų aukščio pokyčio kitimas turi reguliarumą, mažiausias ΔH kitimas stebimas KG06 guoliui (Pemco 10w40), intensyviausias – KG05 guoliui (Pemco 80w90) ir vidutinis intensyvumas – KG04 guoliui (AutolTop 2000). Reikšmės išsibarsto nuo -0,02 iki 0,06 mm. ΔH kitimas kitimo dėsningumai prie šių apsisukimų (750 aps./min.) turi panašumą. Prie didelių apsisukimų

(1000 aps./min.) ΔH reikšmės guoliams KG07, KG08, KG09 koncentruojasi 0...0,04 mm ribose, nepriklausomai nuo tepalo rūšies. Kitimo dėsningumai gan artimi savo pobūdžiu.

6. Atlikus bandymus ir išanalizavus duomenis nustatyta, kad išorinio žiedo kontaktinio paviršiaus šiurkštumo parametrų Ra, Rz ir Rmax kitimo dėsningumai atskiram guoliui yra analogiški, tik su Rz ir Rmax lengviau yra identifikuoti ženklų šiurkštumo padidėjimą, atsiradusius paviršių defektus.

7. Nustatyta, kad 2 mln. ciklų ribose, tarp guolio aukščio pokyčio ΔH ir šiurkštumo parametrų yra atvirkštinis ryšys: ΔH kreivei žemėjant, šiurkštumo Ra, (Rz, Rmax) kreivė kyla. Šiurkštumo parametrų kitimo ribos analogiškos aukščio pokyčio ΔH kitimo riboms ir yra 0,05 mm.

8. Revitalizacinių (RVS) tepalo priedų panaudojimas leidžia pašalinti nedidelius kontaktinių paviršių defektus: šiurkštumo griovelius, nedidelius ištrupėjimus. RVS priedai leidžia šiek tiek sumažinti didesnius kontaktinių paviršių ištrupėjimus, užapvalina ištrupėjimų aštriąsias briaunas, kas sumažina tolesnį dilimą. RVS priedai sumažina bendrą paviršiaus šiurkštumą. Guolio aukštis dėl priede esančios keramikos, kuri užpildo šiurkštumo griovelius, paauga iki 0,02 mm.

9. Atlikus bandymus su užsiduotomis sąlygomis, kurios atitinka automobilio normalias eksploatacijos sąlygas, dilimo parametrai kinta labai nedidelėse ribose. Tokiose sąlygose RVS priedų panaudojimas duoda teigiamus rezultatus ir yra taikytinas. Norint nustatyti „ryškesnes“ dilimo parametrų kitimo tendencijas, RVS priedų ženklų pasireiškimo efektą, reikėtų sunkinti eksperimento sąlygas – didinti apkrovą, nes šie bandymai vyko normalaus dilimo fazėje. Taip pat, verta būtų apsibrėžti ilgesnį stebimų ciklų skaičių, nes automobiliui nuvažiuojant per dieną 50 km, guolis per metus apsisuka apie 10 mln. ciklų.

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. Taper Roller Bearings Lubricated With Bio Greases. Prieiga per internetą < http://www-ext.lnec.pt/APAET/pdf/Rev_17_A13.pdf > [žiūrėta 2016-03-18].
3. Tapered Roller Bearings | The Timken Company. Prieiga per internetą: < <http://www.timken.com/en-us/products/Documents/Timken-Tapered-Roller-Bearing-Catalog.pdf> > [žiūrėta 2016-04-05].
4. Gurumoorthy K., Ghosh Arindam. Failure investigation of taper roller bearing. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213290213000163> [žiūrėta 2016-04-05].
5. RVS technology. Prieiga per internetą <http://www.rvs-tec.lt/> [žiūrėta 2016-04-18].
6. XADO info. Prieiga per internetą <http://xado.info/en/our-technology> [žiūrėta 2016-05-02].
7. TIMKEN for students. Prieiga per internetą <http://www.timken.com/en-us/knowledge/students/Pages/default.aspx> [žiūrėta 2016-05-04].
8. Padgurskas Juozas. Mechaninių sistemų tribologinio patikimumo didinimas, panaudojant RVS technologiją. Aleksandro Stulginskio universitetas, Jėgos ir transporto mašinų inžinerijos institutas. Prieiga per internetą http://www.rvstechnologija.lt/failai/RVS_MITA_ataskaita_2013_11_24.pdf [žiūrėta 2016-05-06].
9. How to measure a bearing. Prieiga per internetą <http://www.bearing-king.co.uk/how-to-measure-a-bearing.php> [žiūrėta 2016-03-18].