



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

**Variklinių alyvų tribologinių savybių vertinimo metodų
palyginimas**

Baigiamasis magistro projektas

Aurelijus Lukoševičius
Projekto autorius

Lekt. dr. Vaidas Bivainis
Vadovas

Kaunas, 2019



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Variklinių alyvų tribologinių savybių vertinimo metodų palyginimas

Baigiamasis magistro projektas
Gamybos inžinerija (6211EX015)

Aurelijus Lukoševičius
Projekto autorius

Lekt. dr. Vaidas Bivainis
Vadovas

Doc. Ramūnas Česnavičius
Recenzentas

Kaunas, 2019



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Aurelijus Lukoševičius

Variklinių alyvų tribologinių savybių vertinimo metodų palyginimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Aurelijaus Lukoševičiaus baigiamasis projektas tema „Variklinių alyvų tribologinių savybių vertinimo metodų palyginimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Kauno technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Studijų programa Gamybos inžinerija (6211EX015)

Magistrantūros studijų baigiamojo projekto užduotis

Studentui Aurelijui Lukoševičiui

1. Baigiamojo projekto tema: Variklinių alyvų tribologinių savybių vertinimo metodų palyginimas; Comparison of Methods for Evaluating Tribological Properties of Motor Oils.

Patvirtinta 2018 m. lapkričio 29 d. dekanu potvarkiu Nr. V25-11-14

2. Projekto tikslas ir uždaviniai:

Darbo tikslas: atlikti variklinių alyvų tribologinių savybių vertinimo metodų palyginimą

Darbo uždaviniai:

- Išanalizuoti pagrindines variklinių alyvų charakteristikas, bei dažniausiai šioje alyvoje naudojamus priedus;
- Pateikti apžvalginę informaciją apie pagrindinius alyvos tyrimo metodus;
- Atlikti variklinių alyvų tribologinių savybių tyrimą keturių rutulių metodu;
- Atlikti variklinių alyvų tribologinių savybių tyrimą Timkeno metodu;
- Tarpusavyje palyginti gautus tyrimo rezultatus, nustatant jų pobūdžio ir gautų verčių sutapimą.

3. Pradiniai projekto duomenys: atlikti variklinių alyvų tribologinių savybių palyginimą naudojantis keturių rutulių bei Timkeno alyvos tyrimo metodais.

4. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos: Pasirinktą alyvą ištirti dviem alyvos tyrimo metodais.

5. Projekto aprašomosios dalies struktūra: literatūros apžvalga, tyrimų metodika, tyrimo rezultatai ir jų aptarimas; išvados

6. Grafinės projekto dalies sudėtis: -

7. Projekto konsultantai: -

Studentas

Aurelijus Lukoševičius

(vardas, pavardė, parašas, data)

Projekto vadovas

Lekt., dr. Vaidas Bivainis

(vardas, pavardė, parašas, data)

Krypties studijų programos vadovas

Doc. Regita Bendikienė

(vardas, pavardė, parašas, data)

Turinys

Įvadas	10
1. Literatūros apžvalga	11
1.1. Pagrindinės alyvos charakteristikos apžvalga	11
1.2. Bazinės alyvos	12
1.3. Alyvos priedai	14
1.4. Alyvos tribologinėms savybėms tirti skirti įrengimai.....	15
1.5. Alyvos tyrimo metodų palyginimas.....	24
2. Tyrimų metodika.....	26
2.1. Eksploatuojamos alyvos parinkimas.....	26
2.2. Tyrimų objektas.....	26
2.3. Keturių rutulių bandymo metodika bei naudojama įranga.....	28
2.4. Timkeno alyvos tyrimo metodika bei naudojama įranga.....	31
2.5. Išmatuotų dydžių statistinis įvertinimas.....	33
3. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas	34
3.1. Keturių rutulių alyvos stendo tyrimo rezultatai.....	34
3.2. Timkeno alyvos stendo tyrimo rezultatai.....	41
Išvados.....	50
Literatūros sąrašas.....	51

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Keturių rutulių bandymo mašinos struktūrinė schema	16
1.2 pav. Keturių rutulių alyvos bandymo mašinos trinties mazgas	17
1.3 pav. Keturių bandymo mašinos tribologinė dilimo kreivė	18
1.4 pav. Timkeno alyvos bandymo mašina	19
1.5 pav. Timkeno alyvos bandymo stendo trinties pora	20
1.6 pav. Principinė Timkeno mašinos schema	20
1.7 pav. Falex alyvos bandymo mašina	21
1.8 pav. Almen – Wieland alyvos bandymo įrangos bendras vaizdas bei trinties pora	22
1.9 pav. Pavarų įrangos bandymo mašinos bendras vaizdas bei struktūrinė schema	23
1.10 pav. Trinties nusidėvėjimo mašinos bendras vaizdas	24
2.1 pav. Keturių rutulių mašinos jėgų išsidėstymo schema.....	27
2.2 pav. Rutulių sąveikos schema	28
2.3 pav. Tyrimams atlikti naudojamas keturių rutulių alyvos tyrimo stendas	32
2.4 pav. Bandymo eigoje naudojami prietaisai	30
2.5 pav. Bandyme naudojamas Timkeno tyrimo stendas	32
2.6 pav. Dilimo pėdsako dydžiui išmatuoti naudojamas mikroskopas	32
3.1 pav. Keturių rutulių alyvos tyrimo metu susiformavę rutulių nudilimo pėdsakai	36
3.2 pav. Rutuliukų nudilimo skersmens diagrama	37
3.3 pav. Vidutinio trinties momento rutulių poroje diagrama	38
3.5 pav. Bandymo metu gauti trinties momento grafikai	40
3.6 pav. Dilimo pėdsakai gauti tiriant „Bardahl XTC LSP 5W30“ alyvą	43
3.7 pav. Dilimo pėdsakai gauti tiriant įmaišius priedą į „Bardahl XTC LSP 5W30“ alyvą	45
3.8 pav. Dilimo pėdsakai gauti tiriant „Xado 5W30“ alyvą	46
3.9 pav. Vidutinis tiriamų alyvų nudilimo pėdsako skersmens grafikas	48
3.10 pav. Vidutinis tiriamų alyvų nudilimo pėdsako ilgio grafikas	48
3.11 pav. Alyvos temperatūros pokyčio grafikas bandymo metu	49

Lentelių sąrašas

1.1 lentelė Bazinių alyvų grupės.....	14
1.2 lentelė. Keturių rutulių bandymo stendo standartai.....	17
1.3 lentelė Alyvos tyrimų metodų palyginimas.....	25
2.1 lentelė. Alyvų techninės charakteristikos	26
2.2 lentelė Keturių rutulių bandymo mašinos techniniai parametrai	29
2.3 lentelė Timkeno alyvos tyrimo stendo techninės charakteristikos	31
3.1 lentelė. Keturių rutulių tyrimo rezultatai gauti naudojant „Bardahl XTC LSP 5W30“ alyvą.....	34
3.2 lentelė. Keturių rutulių tyrimo rezultatai gauti įmaišius alyvos priedą į „Bardahl XTC LSP 5W30“ alyvą	35
3.3 lentelė. Keturių rutulių tyrimo rezultatai gauti naudojant „Xado 5W30“ alyvą	35
3.4 lentelė. Vidutiniai bandymų rezultatų – temperatūros , trinties momentų ir nudilimų pokyčių duomenys	36
3.5 lentelė. Keturių rutulių alyvos bandymo stendo statistinis rezultatų įvertinimas	41
3.6 lentelė. Timkeno alyvos tyrimo rezultatai gauti naudojant „Bardahl XTC LSP 5W30“ alyvą...	42
3.7 lentelė. Timkeno alyvos tyrimo rezultatai gauti įmaišius alyvos priedą į „Bardahl XTC LSP 5W30“ alyvą	43
3.8 lentelė. Timkeno alyvos tyrimo rezultatai gauti naudojant „Xado 5W30“ alyvą	45
3.9 lentelė. Vidutiniai nudilusio paviršiaus skersmens, ilgio, temperatūros duomenys	47
3.10 lentelė. Timken alyvos bandymo stendo statistinis rezultatų įvertinimas	50

Aurelijus Lukoševičius. Variklinių alyvų tribologinių savybių vertinimo metodų palyginimas.
Magistro baigiamasis projektas / vadovas lekt. dr. Vaidas Bivainis; Kauno technologijos
universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė) Gamybos inžinerija (E10), Inžinerijos mokslai (E).

Reikšminiai žodžiai: variklinė alyva, Timkeno tribologinis alyvos tyrimas, keturių rutulių
tribologinis tyrimas, nudilimo vertinimas, tribologija.

Kaunas, 2019. 52 p.

Santrauka

Naftos pagrindu gaminamų tepimo medžiagų verslas prasidėjo maždaug 19 amžiaus viduryje. Nuo to
laiko alyva bei jai išgauti naudojami procesai gan smarkiai ištobulėjo. Šiais laikais alyvą
pardavinėjančių verslininkų yra labai daug, produkcijos pasirinkimas taip pat yra labai didelis. Alyvos
naudotojas, pirkėjas dažniausiai renkasi pigiausią ar gerai žinomo gamintojo produkciją, tačiau nėra
tikras ar alyva atitinka standartus, kuriuos nurodo gamintojas. Tačiau, kaip vartotojui žinoti, kurį
produktą vertėtų rinktis? Šiuolaikinėje industrijoje nėra atliekama pakankamai tyrimų, jog būtų
galima pagrįstai vertinti alyvos kokybę. Profesionalus alyvos bandymo stendas gali kainuoti nuo
15000 € iki 250000 €. Stendo kaina priklauso nuo norimų gauti rezultatų, bei jų tikslumo. Kiekvieno
bandymo kaina gali svyruoti nuo 20 € iki 500 €, priklausomai nuo bandymo metu naudojamų
bandinių. Esant aukštomis alyvos tyrimo kainoms retas žmogus gali iširti į savo automobilį pilamą
alyvą. Dėl šios priežasties nuspręsta iširti keleto skirtingų gamintojų alyvos kokybę naudojant mano
sukonstruotą Timkeno alyvos bandymo stendą bei profesionaliu ir patikrintu keturių rutulių bandymo
mašinos stendu, o gautus rezultatus palyginti.

Aurelijus Lukoševičius. Comparison of Methods for Evaluating Tribological Properties of Motor Oils. Bachelor's Final Degree Project / supervisor assoc. doc. Vaidas Bivainis; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Production and Manufacturing Engineering (E10), Engineering Sciences (E).

Keywords: engine oil, Timken tribological oil research, four-ball tribological research, wear evaluation, tribology.

Kaunas, 2019. 52 pages.

Summary

The oil-based lubricant business started in the mid-19th century. Since then, the oil and the processes used to extract it have improved considerably. Nowadays, there are a lot of entrepreneurs selling oil, the selection of products is also very big. The oil user, the buyer usually chooses the cheapest or well-known manufacturer's production, but is not sure if the oil meets the standards specified by the manufacturer. However, how does the consumer know which product to choose? There is not enough research in modern industry to justify the quality of oil. A professional oil test stand can cost between € 15'000 and € 250'000. The price of the stand depends on the results you want to get and their accuracy. The cost of each test can range from € 20 to € 500, depending on the test samples used. At high oil research prices, not everyone can explore oil poured into his car. For this reason, it was decided to test the oil quality of several different manufacturers using my Timken oil test bench and a professional and proven four-ball test bench while comparing the results obtained.

..

Įvadas

Tepimo alyva yra viena svarbiausių priemonių, padedančių sklandžiai veikti mechanizmams. Mechanizmuose naudojamos alyvos kokybės stebėjimas yra vienas svarbesnių rodiklių norint, kad eksploatuojami įrengimai tinkamai tarnautų ilgą laiką.

Pagrindinė tepimo produkto funkcija yra atskirti vienas kito atžvilgiu reliatyviai judančius paviršius nuo tarpusavio kontakto. Tačiau, paprastai alyvos plėvelė negali praktiškai išlaikyti šių paviršių visiškai atskirtų vienas nuo kito. Tai ypač aktualu mechanizmo paleidimo metu, kadangi jis visada vyksta ribinio tepimo sąlygose. Įrengimo veikimo metu jautriausiose vietose, dėl vykstančio normalaus ir/ar nenormalaus metalų dilimo, susidarančių pienininių atplaišų kiekis priklauso nuo jo konstrukcijos ir tepimo kokybės.

Naftos pagrindu gaminamų tepimo medžiagų verslas prasidėjo maždaug 19 amžiaus viduryje. Nuo to laiko alyva bei jai išgauti naudojami procesai gan smarkiai ištobulėjo. Šiais laikais alyvą prekiaujančių įmonių yra labai daug, produkcijos pasirinkimas taip pat yra labai didelis. Alyvos naudotojas, pirkėjas dažniausiai renkasi pigiausią ar gerai žinomo gamintojo produkciją, tačiau nėra tikras ar alyva atitinka standartus, kuriuos nurodo gamintojas. Tačiau, kaip vartotojui žinoti, kurį produktą vertėtų rinktis? Šiuolaikinėje industrijoje nėra atliekama pakankamai tyrimų, jog būtų galima pagrįstai vertinti rinkoje naudojamos alyvos kokybę. Profesionalus alyvos bandymo stendas gali kainuoti nuo 15000 € iki 250000 €. Stendo kaina priklauso nuo norimų gauti rezultatų, bei jų tikslumo. Kiekvieno bandymo kaina gali svyruoti nuo 20 € iki 500 €, priklausomai nuo bandymo metu naudojamų bandinių. Esant aukštomis alyvos tyrimo kainoms retas žmogus gali iširti į savo automobilį pilamą alyvą. Dėl šios priežasties nuspręsta iširti keleto skirtingų gamintojų alyvos kokybę naudojant mano sukonstruotą Timkeno alyvos bandymo stendą bei naudojant profesionalų ir patikrintą keturių rutulių bandymo mašinos stendą, o gautus rezultatus palyginti.

Darbo tikslas: atlikti variklinių alyvų tribologinių savybių vertinimo metodų palyginimą

Darbo uždaviniai:

1. Išanalizuoti pagrindines variklinių alyvų charakteristikas, bei dažniausiai šioje alyvoje naudojamus priedus;
2. Pateikti apžvalginę informaciją apie pagrindinius alyvos tyrimo metodus;
3. Atlikti variklinių alyvų tribologinių savybių tyrimą keturių rutulių metodu;
4. Atlikti variklinių alyvų tribologinį savybių tyrimą Timkeno metodu;
5. Tarpusavyje palyginti gautus tyrimo rezultatus, nustatant jų pobūdžio ir gautų verčių sutapimą.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Pagrindinės alyvos charakteristikos apžvalga

Šiuolaikiniame pasaulyje aptinkama įvairiausių rūšių alyvų, kiekviena jų yra pritaikyta tam tikriems agregatams, tačiau jų charakteristikos skiriasi. Alyvų grupės gali būti apibūdinamos įvertinus tam tikrus jų parametrus: tankį, klampą, klampumo indeksą, pliūpsnio, užsisegimo, stingimo temperatūras, šarminį rezervą, žemutinę pumpavimo temperatūrą.

Tankis

Tankis – tai medžiagų masės kiekis tūrio vienetu. Alyvos tankio matavimo vienetai žymimi kg/m^3 . Esant $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ arba $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrai, alyvų tankis svyruoja nuo 700 iki 900 kg/m^3 . Šis rodiklis priklauso nuo bazinės alyvos kokybės, tirštumo ir priedų [1].

Klampa

Klampa – tai skysčio vidinės trinties rodiklis. Pirmiausia, alyvos klampa yra tepimo charakteristika, nuo jos priklauso tepimo kokybė, alyvos pasklidimas tarp trinties paviršių, jų dilimas. Klampa yra pati svarbiausia alyvos charakteristika. Jos matavimo vienetai – cSt (centistoksas) = mm^2/c (SI sistema) arba cP (centipuazas) = mPas (CGS sistema). Šalia bet kokios klamos vieneto privalo būti nurodoma jos temperatūra. Didėjant temperatūrai, visų rūšių alyvų klampa smarkiai mažėja. Įprastos variklio alyvos SAE 10W klampumas esant $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrai gali siekti 2000 cP, tačiau temperatūrai pakilus iki $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, alyvos klampumas yra 5,2 cSt [1].

Klumpumo indeksas

Klumpumo indeksas – tai rodiklis, skirtas alyvos klamos priklausomybės nuo temperatūros vertinimui. Didėjant klamos indeksui alyva tampa mažiau priklausoma nuo temperatūros pokyčio. Sezoninės variklių alyvos klumpumo indeksas yra apie 95 - 100, visasezoninės – daugiau kaip 200 [1].

Pliūpsnio temperatūra

Pliūpsnio temperatūra – tai žemiausia temperatūra, kurioje kaitinamo naftos produkto garai su oru sudaro tokį mišinį, kad šis, priartinus prie jo atvirą ugnį, plykstelį ir vėl užgęsta [1].

Užsidegimo temperatūra

Užsidegimo temperatūrai – tai temperatūra, kuriai esant dujos, garuojančios iš pašildyto atvirame tiglyje skysčio, priartinus atvirą liepsną dega ne trumpiau nei 5 sekundės. Užsidegimo temperatūra yra 10 – 50 °C didesnė už pliūpsnio temperatūrą [2].

Stingimo temperatūra

Temperatūrai krentant, alyva stingsta. Esant tam tikrai temperatūrai, alyva, veikiamą savo pačios svorio, nustoja tekėti. Tokia temperatūra vadinama stingimo temperatūra. Stingimo temperatūra iš esmės priklauso nuo alyvos klampumo ir jos cheminės struktūros. Parafininės alyvos stingsta dėl jų sudėtyje esančio vaško, iš kurio susidaro kristalai. Kuo labiau stingsta alyva, tuo didesni darosi kristalai. Galiausiai jie susiformuoja alyvos tinkle, kuris trukdo alyvai tekėti [2].

Šarminis rezervas

Varikliui dirbant, į alyvą patenka rūgščių junginių. Šie junginiai susidaro degant kurui. Norint išvengti metalinių detalių korozijos, juos būtina neutralizuoti. Šiuo tikslu į alyvą dedama priedų, sudarančių šarminį rezervą. Šarminio rezervo dydis išreiškiamas bendru šarminiu skaičiumi (TBN) [2].

Žemutinė pumpavimo temperatūra

Žemutinė temperatūra – tai žemiausia temperatūra, kuriai esant alyva gali būti perpumpuojama [1].

1.2. Bazinės alyvos

Bazinės alyvos dažniausiai naudojamos gaminti įvairius naftos produktus, įskaitant: kietuosius tepalus, variklines, pavarų dėžių, reduktorių alyvas, metalo apdirbimo skysčius. Skirtingiems produktams reikalingos skirtingos alyvų kompozicijos ir savybės. Viena svarbiausių alyvų charakteristikų yra skysčio klampa temperatūroje nuo -30 °C iki 100 °C. Bazinė alyva dažniausiai gaunama rafinuojant žalią naftą. Neperdirbta alyva yra šildoma, kad įvairūs distiliatai būtų atskirti vienas nuo kito. Šildant žalia naftą, atskiriami lengvieji ir sunkieji angliavandeniliai. Lengvieji angliavandeniliai naudojami gaminti benzina, dyzeliną ar kitą kurą. Iš sunkiųjų angliavandenilių gaminami įvairūs bitumai ar bazinės alyvos. Pasaulyje yra daug skirtingų žalios naftos rūšių, tačiau labiausiai paplitusi – parafininė. Jos privalumas, lyginant su kitomis, tai, kad ši nafta turi labai geras savybes esant žemai temperatūrai. Hidravimo technologija - kai sieros ir aromatiniai angliavandeniliai pašalinami iš alyvos naudojant suspaustą vandenilį. Naudojanti šią technologiją gaunama itin geros kokybės bazinė alyva, kuri atitinka aukščiausius kokybės reikalavimus. Norint

dar labiau pagerinti bazinės alyvos savybes, į ją dedami specialūs priedai, kurie gerina trinties ir valymo savybes [3].

Bazinės alyvos skirstomos į penkias grupes:

I grupė. Pirmos grupės bazinės alyvos pasižymi tuo, kad yra prasčiausios kokybės, mažiausiai išvalytos. Prisotinimas angliavandeniliu jose siekia ne daugiau, kaip 90 %, sieros kiekis yra ne didesnis nei 0,03 % , o klampumo indeksas nuo 80 iki 120. Šio tipo bazinės alyvos naudojamos gan siaurame temperatūrų diapazone. Žemiausia temperatūra, kurioje alyva gali būti naudojama siekia - 8 °C , o aukščiausia – 65 °C temperatūrą. Dėl prastų savybių, šiuolaikinėje technikoje šios rūšies bazinės alyvos retai aptinkamos Jos dažniausiai naudojamos tik seno tipo vidaus degimo varikliuose [4].

II grupė. Antrosios grupės bazinės alyvos išgaunamos hidrokekingo būdu. Šis procesas yra gan sudėtingas, reikalingi specialūs brangūs įrengimai. Dėl šios priežasties antros grupės bazinių alyvų kaina yra aukštesnė nei pirmos grupės alyvų. Prisotinimas angliavandeniliu jose siekia daugiau nei 90 %, sieros kiekis alyvoje yra mažesnis nei 0,03 %. Kadangi prisotinimas angliavandeniliu yra gan aukštas, šios grupės bazinės alyvos pasižymi geromis antioksidacinėmis savybėmis [4].

III grupė. Šios grupės alyvų prisotinimas angliavandeniliu siekia daugiau nei 90 %, sieros kiekis alyvoje yra mažesnis nei 0,03 %. Šioms alyvos išgauti naudojamas gilesnis hidroprocesas (aukštesnis slėgis ir temperatūra hidroproceso metu). Šis procesas yra ilgesnis, tačiau skirtas švaresnėms bazinėms alyvoms išgauti. Nors trečios grupės alyvos pagamintos iš žalios naftos, dažnai jos apibūdinamos kaip sintezuoti angliavandeniliai. Įmaišius į šios grupės alyvas tam tikrus priedus, jos gali būti žymimos kaip sintetinės ar pusiau sintetinės. Trečios grupės alyvos dažniausiai naudojamos automobilių pramonėje [4].

IV grupė. Ketvirtos grupės bazinės alyvos – polialfaolefinai (PAOs). Ši sintetinė bazinė alyva yra pagaminta naudojant sintezuojamą procesą. Ketvirtos grupės bazinės alyvos turi daug platesnį temperatūros diapazoną, jos puikiai tinkamos esant didelėms šalčio bei aukštoms temperatūros sąlygoms. Šios grupės alyvos dažniausiai naudojamos šiuolaikinių automobilių pramonėje, įvairiuose įrengimuose, dirbančiuose ekstremaliomis sąlygomis [4].

V grupė. Penktos grupės bazinės alyvos yra klasifikuojamos kaip visos kitos bazinės alyvos, įskaitant silikoną, fosfatinį esterį, polialkilenglikolį (PAG), polioleterį, ir t. t. Šios bazinės alyvos kartais maišomos su kitomis bazinėmis alyvomis, kad pagerintų jų savybes. Įvairūs priedai, naudojami bazinėse alyvose, pagerina jos savybes. Priedai gali būti naudojami siekiant pagerinti alyvos klampinius parametrus, užtikrinti geresnį valymą bei prailginti alyvos naudojimo trukmę [4].

Bazinių alyvų rūšys ir pagrindiniai parametrai pateikti 1.1 lentelėje

1.1 lentelė. bazinių alyvų grupės [3]

Alyvos tipas	Grupė	Klampumo indeksas	Prisotinimas angliavandeniliu	Sieros kiekis
Mineralinė alyva	I	80 - 120	< 90 %	> 0,03 %
Mineralinė alyva	II	80 - 120	≥ 90 %	≤ 0,03 %
Mineralinė alyva	III	>120	≥ 90 %	≤ 0,03 %
Sintetinė alyva	IV	>120	100 %	---
Sintetinė alyva	V	>120	100 %	---

1.3. Alyvos priedai

Pagrindinė alyvos priedų funkcija – gerinti alyvos kokybę bei suteikti tam tikrų naujų savybių. Alyvos priedų pasirinkimas yra labai platus, kiekvieno jų funkcija skirtinga. Dažniausiai alyvos priedais siekiama gerinti alyvos tepimo savybes ir tribologinę variklio mazgų charakteristiką. Daugelis skirtingų alyvų gamintojų naudoja tas pačias bazines alyvas. Tačiau, norint gauti skirtingos sudėties, struktūros alyvą, reikia naudoti ir skirtingus priedus. Be tam tikrų priedų alyva praranda valymo savybes, negali tinkamai apsaugoti variklio esant aukštomis variklio darbo temperatūroms. Kai kurie priedai leidžia alyvoms geriau atlikti savo funkciją ekstremaliomis sąlygomis, tokiomis kaip: didelis slėgis, temperatūra ir didelis užteršimo lygis. Neretai priedai sudaro net 5 % alyvų masės. Pagal savo funkcijas, alyvos priedus iš dalies galima skirstyti į toliau pateiktas grupes [5].

1.3.1. Priedai, kontroliuojantys alyvos cheminę sudėtį

- Valymo priedai naudojami naftos priemaišoms valyti ir neutralizavimui mažinti. Nenaudojant valymo priedų, alyva gali sukelti sąnašas (naftos dumblą) svarbiose variklio dalyse.
- Priedai, mažinantys alyvos putojimą slopina oro burbuliukų bei putų susidarymą.
- Korozijos ar rūdžių slopinimo priedai stabdo metalų oksidaciją variklio viduje.
- Antioksidaciniai priedai stabdo alyvos oksidacijos procesus.
- Metalų deaktivatoriai sukuria plėvelę ant metalinių paviršių, kad metalai nesukeltų oksidacijos [6].

1.3.2. Klampinius parametrus keičiantys priedai

- Klampumo modifikatoriai padidina alyvų klampumą aukštesnėje temperatūroje, gerina klampumo indeksą. Naudojant šios grupės priedus galima pagerinti alyvos parametrus aukštoje bei žemoje

temperatūroje. Klampumo modifikatoriai ženkliai mažina variklio dilimą esant žemai temperatūrai. Dažniausiai jie yra plastikiniai polimerai.

- Stingimo temperatūrą keičiantys priedai pagerina alyvos gebėjimą tekėti žemesnėje temperatūroje [7].

1.3.3. Alyvos tepimo savybes gerinantys priedai

- Trinties modifikatoriai naudojami siekiant padidinti degalų taupymą. Taip pat jie mažina trintį tarp judančių dalių. Trinties modifikatoriai keičia bazinės alyvos tepumą.
- Antikoroziniai priedai sukuria plėvelę tarp paviršių. Sukūrus plėvelę, metaliniai paviršiai apsaugomi nuo korozijos.
- Trinties mažinimas, naudojant nanodaleles. Naudojant šiuos priedus, variklio dalyse esantys mikroįtrūkimai padengiami itin smulkiomis silicio dalelėmis. Taip sumažinama trintis, paviršiai mažiau dyli, prailginamas jų naudojimo laikas [7].

1.4. Alyvos tribologinėms savybėms tirti skirti įrengimai

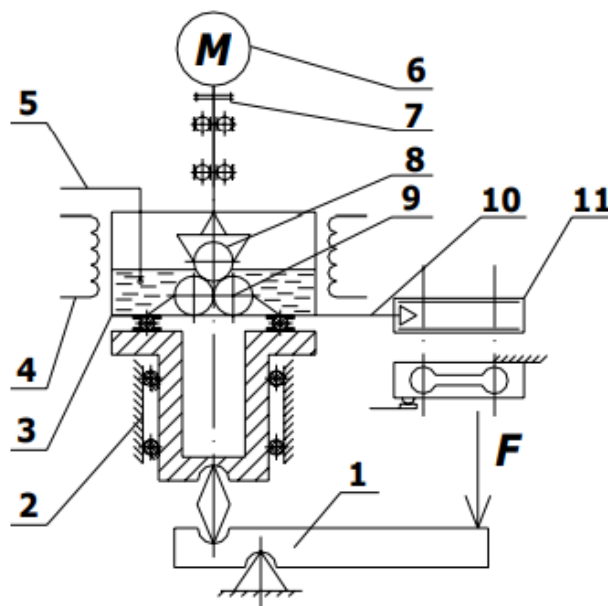
Vidaus degimo varikliuose naudojama alyva labai svarbus parametras, užtikrinantis sklandų bei ilgą amžiuską mechanizmų veikimą. Tobulėjant varikliams, kartu tobulėja ir juose naudojama alyva, jai keliami vis aukštesni reikalavimai, jos struktūra sudėtingėja. Norint užtikrinti aukštą alyvos kokybę, labai svarbu tinkamai atlikti tam tikrus tyrimus. Tobulėjant alyvos tyrimo laboratorijoms, alyvos kokybės tyrimai tampa vis išsamesni bei greičiau atliekami. Praktikoje matoma, kad tipologinės sistemos vis sudėtingėja, įvairiems mechanizms naudojama skirtinga alyva, skiriasi jų parametrai. Vienu įrenginiu nėra įmanoma išsamiai išanalizuoti visų alyvos parametrų. Praktikoje, alyvos tribologiniams bandymams tirti, dažniausiai naudojami šie įrenginiai:

- keturių rutulių tribologinis bandymas;
- Timkeno alyvos tyrimo mašina;
- Falex alyvos bandymo mašina;
- Almen – Wieland alyvos bandymas;
- pavarų įrangos bandymo mašina;
- trinties ir nusidėvėjimo mašina.

1.4.1. Keturių rutulių tribologinio bandymo apžvalga

Keturių rutulių tribologinio bandymo mašina yra dažnai naudojama priemonė alyvai bei jos priedų tribologinėms savybėms tirti. Tiriant alyvas šiuo bandymu, galima greitai ir iš dalies nebrangiai atlikti alyvos tyrimus ar jos savybių palyginimus. Keturių rutulių tribologinio bandymo metodu imituojamos

apkrovos, kurios tenka variklio mazgams. Dėl šios priežasties, iš gautų rezultatų galima spėsti, kaip tam tikra alyva mažina trintį. Keturių rutulių tribologinis bandymas vyksta esant dideliame spaudimui (trinčiai tarp paviršių), todėl šiuo metodu tiriant alyvas galima nustatyti alyvos savybę mažinti trintį veikiant didelėmis apkrovomis [7]. Keturių rutulių tyrimo mašinos struktūrinė schema pavaizduota 1.1 pav.



1.1 pav. Keturių rutulių tyrimo mašinos struktūrinė schema: 1 – Apkrovos perkėlimo svirtis; 2 – vertikalus centrinis guolis; 3 – alyvos mėginio talpa; 4 – alyvos kaitinimo elementas; 5 – termopora; 6 – elektros variklis; 7 – sankaba; 8 – viršutinis sukamasis rutulys; 9 – įtvirtinti, nejudantys rutuliai; 10 – sukimo momento perdavimo svirtis; 11 – jėgos daviklis [8].

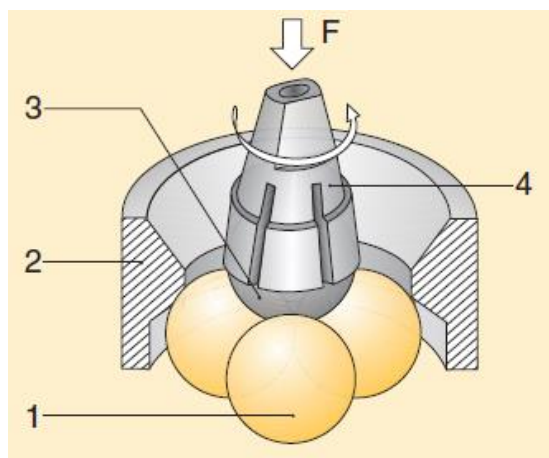
Keturių rutulių bandymo mašinos panaudojimo sritis gali būti labai plati. Įrenginys gali būti naudojamas riedėjimo guolių kontaktiniam nuovargiui tirti. Taip pat šiuo įrenginiu tiriama alyvos poveikis riedėjimo guoliams jų sąveikos metu. Bandymo mašina galima nustatyti, kaip kinta alyvos savybės eksploatacijos metu.

Pirmasis keturių rutulių bandymo stendas buvo sukurtas „Shell“ įmonės 1940 m. Tuo metu įrenginys turėjo tik keletą standartizuotų įrangos bandymo metodų. Per daugelį metų specialūs standartai buvo sukurti daugeliui pramonės šakų, kurios rėmė šiais standartais. Vokietijos standartizacijos organizacija DIN apibrėžė DIN 51350 standartu, kurį suskirstė į penkias dalis, visais bandymo atvejais buvo naudojamas tas pats bandymo greitis. Jungtinių Amerikos valstijų standartizacijos organizacija ASTM apibrėžė keturias bandymo standartais. Bandymo metoduose buvo naudojamas skirtingas ketvirtojo rutulio sukimosi greitis. Tarptautinė standartizacijos organizacija ISO apibrėžė vienu ISO 20723 bandymo standartu. Šiuo standartu ISO pateikė bendrą standartą visų tipų alyvoms bei tepalams, kuris apsiribojo vienu bandymo greičiu, kuris siekė 1450 aps./min [16]. Minėtų organizacijų bandymo parametrai pateikti 1.2 lentelėje.

1.2 lentelė. Keturių rutulių bandymo stendo standartai [16].

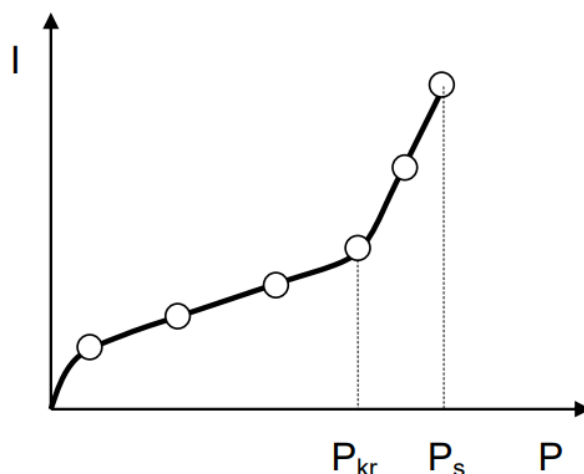
Bandymo standartas	Tepimo medžiaga	Bandymo būdas	Apkrova (N)	Bandymo trukmė	Bandymo greitis (aps./min)
ASTM D 2262	Tepalas	Dėvėjimasis	392	60 min.	1200
ASTM D 4172	Alyva	Dėvėjimasis	147 arba 392	60 min.	1200
ASTM D 2596	Tepalas	Ekstremali apkrova	Nuo 59 iki 7848	10 s.	1770
ASTM D 2783	Alyva	Ekstremali apkrova	Nuo 59 iki 7848	10 s.	1770
DIN 51350 - 2	Alyva	Ekstremali apkrova	Nuo 2000 iki 12000	60 s.	1450
DIN 51350 - 3	Alyva	Nusidėvėjimas	150/300	60 min.	1450
DIN 51350 - 4	Tepalas	Ekstremali apkrova	Nuo 200 iki 12000	60 s.	1450
DIN 51350 - 5	Tepalas	Nusidėvėjimas	150/300/1000	60 min.	1450
ISO 20723	Alyva/Tepalas	Nusidėvėjimas	150/300/500	60 min.	1450

Bandymams naudojami standartiniai rutuliai, kurie yra pagaminti iš AISI E52100 chromo lydinio plieno. Kiekvieno rutulio skersmuo - 12,7 mm, jų kietumas 64-66 HRC (Rockwell C Hardnes) [12]. Kiekvienam bandymui yra naudojami nauji rutuliai. Keturių rutulių trinties mazgas pateiktas 1.2 pav.



1.2 pav. Keturių rutulių alyvos bandymo mašinos trinties mazgas: 1 – nejudantys, įtvirtinti rutuliai; 2 – alyvos vonelė su atraminis žiedu; 3 – sukamasis rutulys; 4 – laikiklis [15].

Bandymo metu trys nejudantys rutuliai (1) yra priveržti prie pagrindo, o ketvirtasis (3) yra įstatomas į specialų laikiklį (4), kuris jam suteikia sukamąjį judesį. Tokiu būdu įtvirtintus rutulius trintis gaunama labai nedideliame paviršiaus plote, o esant didelei apkrovai, bei dideliame slydimo greičiui gaunamas ryškus nusidėvėjimo pėdsakas. Kontaktuojantys rutuliai yra panardinami į 22 cm³ talpos bandomos alyvos vonelę (2). Įrenginyje nustačius tam tikrą veikiančią jėgą, rutulių paviršiai nudyla proporcingai, jai veikiančiai apkrovai, išdilimo santykis ir veikiančių apkrovų santykis yra pastovus dydis. Šis dydis nusako kaip alyva ar tepalas slopina rutulių dilimą ir yra išreiškiamas Niutonais (N). Dar vienas svarbus rodiklis – nudilimo pėdsako dydis. Jis parodo, kaip greit dėvisi rutuliai esant pastoviai, bet ne kritinei apkrovai. Bandymo metu gaunama dilimo kreivė, kuri parodo rutulių dilimo priklausomybę nuo apkrovos. Tose vietose, kur kreivė lūžta, nustatomi pagrindiniai bandymo rodikliai – kritinė apkrova P_{kr} ir ribinė apkrova P_s . Kritinė apkrova parodo, kada tarp bandinių paviršių pradeda reikštis tamprioji metalų deformacija. Viršijus šią apkrovą metalų paviršiai pradeda intensyviai dilti, strigti. Šis rodiklis nusako alyvos ribines suteptimo galimybes. Ribinė apkrova, tokia apkrova, kuriai viršijus, metaliniai rutuliukų paviršiai pradeda susivirinti, sukibti. Ši apkrova parodo maksimalias alyvos galimybes nugalėti trintį tarp paviršių [11].



1.3 pav. Keturių bandymo mašinos tribologinė dilimo kreivė. P_{kr} – kritinė apkrova, P_s – ribinė apkrova, P – apkrova, I – nudilimas [11]

Šiuo bandymo metodu yra atlikta daugybę tyrimų, parašyta daug mokslinių darbų. Dažniausiai bandymai atliekami su alyvomis, augalinės kilmės aliejais, į juos įmaišant tam tikrus priedus ar įvairias nanodaleles. Bandymo metu matuojamas temperatūros kitimas, nustatomas trinties momento pokytis gaunami jų grafikai.

1.4.2. Timkeno alyvos tyrimo stendo apžvalga.

Timkeno alyvos bandymo stendas suprojektuotas ir pagamintas „Timken įmonės“, kuri savo veiklą vykdė nuo 1935 m. iki 1972 m. Tuo metu įrenginys buvo naudojamas tepimo medžiagų apkrovos įvertinimui. Lyginant su kitais mechanizmais, kurie buvo naudojami alyvos tribologiniams tyrimams atlikti, šis išsiskyrė greit ir tiksliai gaunamais rezultatais. Šis alyvos bandymo metodas dažnai naudojamas alyvos gamybos pramonėje, kur reikalingas greitas ir tikslus alyvos kokybės įvertinimas. Bandymo mėginiai yra nebrangūs, jie greitai keičiami, naudotis įrenginiu yra nesudėtinga todėl bandymams atlikti nereikia aukštos kvalifikacijos specialistų. Timkeno alyvos bandymo bendras vaizdas pateiktas 1.4 pav.

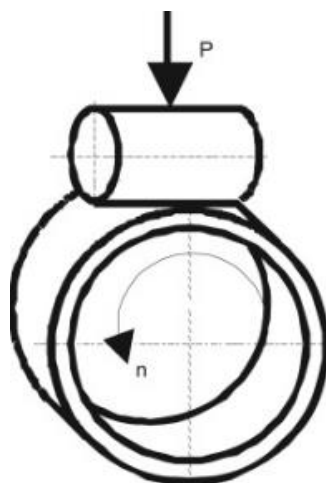


1.4 pav. Timkeno alyvos bandymo mašina

Timkeno alyvos bandymo stendas atitinka tarptautinius standartus: ASTM D2509 standartą kietiesiems tepalams ir ASTM D 2782 – 01 alyvoms skirtą tirti standartą. Bandymo metodas tinka skysčių kurių klampa mažesne kaip 5000 cSt ($5000 \text{ mm}^2/\text{s}$) esant $40 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatūrai. Šis bandymo metodas plačiai naudojamas nustatant, kaip tam tikri alyvos priedai gerina pagrindinę alyvos savybę – mažinti trintį tarp paviršių. Didžiausia apkrova, kurios metu tarp trinties paviršių išnyksta tepimo plėvelė, vadinama „Timken OK“ apkrova. Bandymo metu trinties paviršius veikia didelė (maksimali apkrova bandymo metu gali būti 290 N), tad šiuo metodu galima patikrinti alyvos savybes mažinti trintį esant didelei apkrovai. Taip pat šis metodas gali būti taikomas įvairių guolių ilgaamžiškumui tikrinti. Šio bandymo matavimo vienetai yra vienam kilogramui tenkanti apkrova ($\text{kg}\cdot\text{N}$) [10].

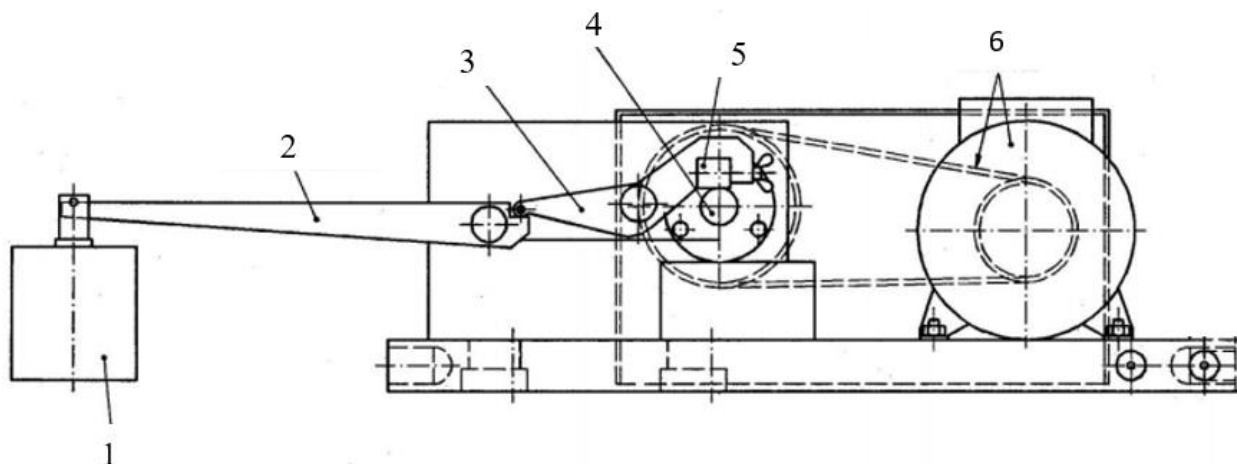
Bandymas pagrįstas frikcine sistema, kurio metu sąveikauja du metaliniai paviršiai. Plieninis kūgio formos ritinėlis bandymo metu prispaudžiamas prie pleninio bandymo bloko (1.5 pav.). Tokiu būdu

sukuriamas linijinis kontaktas, kuris reprezentuoja daugybę tribologinių kontaktų, kurie atsiranda veikiant vidaus degimo varikliui [20].



1.5 pav. Timkeno alyvos bandymo stendo trinties pora [20]

Principinė Timkeno mašinos schema pavaizduota 1.6 pav. Bandymo mašina susideda iš apkrovos lėkštelės (1) ant kurios yra dedami svoriai, apkrovos svirčių pagalba (1,2) apkrova yra perduodama trinties porai (4,5). Varomoji pavara (6) perduoda sukimo momentą bandymo žiedui (4).

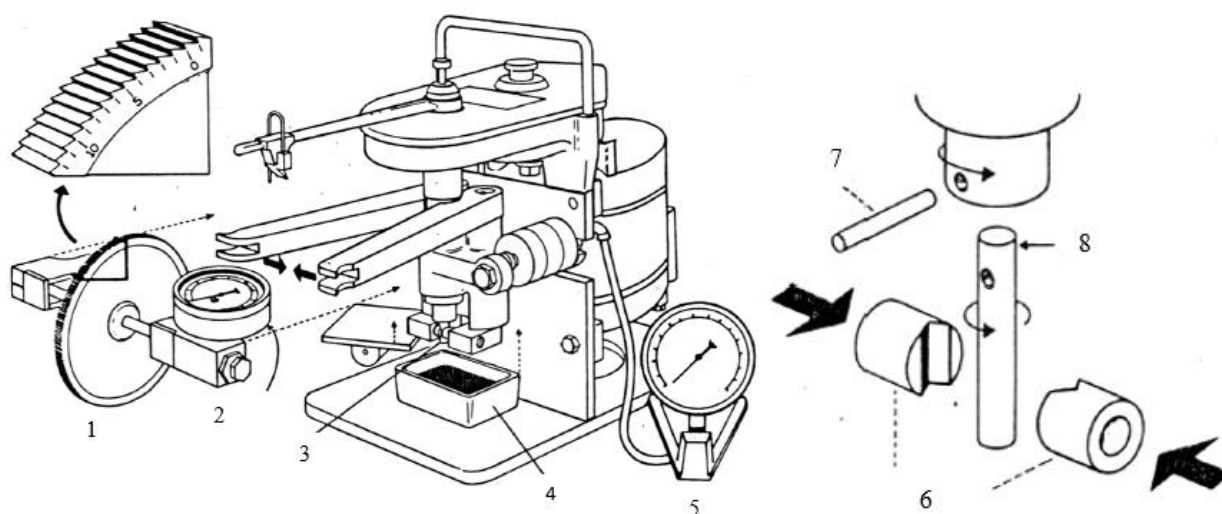


1.6 pav. Principinė Timkeno mašinos schema: 1- apkrovos lėkštelė 2 – pirmoji apkrovos svirtis; 3 – antroji apkrovos svirtis; 4 – bandymo žiedas; 5 – plieninis ritinėlis; 6 – varomoji pavara. [21]

Timken alyvos tyrimams naudojamas 46 mm skersmens ir 19 mm pločio rutulinis guolis. Kad guolis neatliktų riedėjimo funkcijos jis yra užvirinamas. Tokiu būdu išorinis guolio žiedas sukasi tokiu pat greičiu kaip ir velenas. Trinties guolis yra veikiamas cilindro formos bandinio, kuris yra pagamintas iš chromo lydinio plieno AISI E52100. Naudojamas bandinys yra 21 mm ilgio ir 14 mm skersmens jų kietumas 64-66 HRC

1.4.3. Falex alyvos bandymo mašinos apžvalga

Falex bandymo mašina yra skirta įvairių alyvų bei kietųjų tepalų, nusidėvėjimo, trinties įvertinimui, kai bandinius veikia nuo 100 N iki 400 N apkrova. Bandymo mašina atitinka AST D2670, ASTM D2626 ir ASTM D3233 bandymo standartus. Įrenginys susideda iš plieninio velenėlio ir dviejų V formos išpjovą turinčių plieninių spaustuvėlių. Velenėlis elektros variklio pagalba sukasi pastoviu greičiu, jis yra prispaudžiamas plieniniais V formos išpjovą turinčiais spaustuvėliais. Tokiu būdu prispaustas velenėlis sudaro keturių linijų kontakto zoną. Trinties mechanizmas yra panardinamas į alyvos vonelę, temperatūra joje keičiama priklausomai nuo bandymo sąlygų. Plienis velenėlis sukasi 290 aps./min greičiu. Bandymo mašinos modelis pateiktas 1.7 pav.

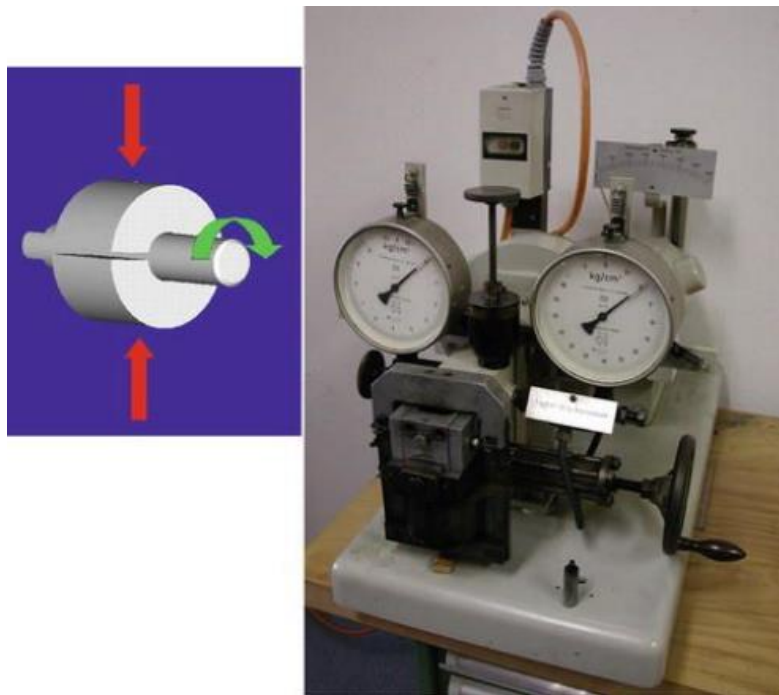


1.7 pav. Falex alyvos bandymo mašina: 1 – apkrovos skriemulys; 2 – apkrovos daviklis; 3 – trinties pora; 4 – alyvos vonelė; 5 – sukimo momento matuoklis; 6 – V formos išpjovos ritinėliai; 7 – plieninio ritinėlio kaištis; 8 – plieninis velenėlis [19].

Apkrova veikianti plieninį velenėlį gali būti pastovi, arba nuosekliai didinama reguliariais intervalais. Bandymo metu skaitmenine įranga yra matuojama trinties jėga, nusidėvėjimas. Iš gautų rezultatų galima nustatyti alyvos antifrikcines bei trinties slopinimo savybes [19].

1.4.4. Almen – Wieland alyvos bandymo mašinos apžvalga

Almen - Wieland alyvos bandymo metodas ir jo metu naudojama įranga yra labai panaši į Falex bandymą. Šiuose metoduose skiriasi tik naudojami velenėlio spaustukai. Jie yra pusinio cilindro formos, o medžiaga, naudojama jų gamybai yra tokia pat, kaip ir velenėlio. Trinties poroje dėl velenėlio ir prispaudimo įrangos tarpusavio padėties atsiranda plokštuminis dilimas. Bandymo apkrova tyrimo metu gali būti nuo 100 N iki 20 kN. Bandymo įranga pavaizduota 1.8 pav.



1.8 pav. Almen – Wieland alyvos bandymo įrangos bendras vaizdas bei trinties pora [18]

Almen – Wieland bandymo metu velenėlis sukasi pastoviu 200 aps./min greičiu (slydimo greitis 0,067 m/s). Apkrova tarp trinties paviršių yra laipsniškai didinama. Bandymas nutraukiamas, kai trinties paviršiai pradeda strigti, virintis. Specialiais matavimo davikliais nustatoma maksimali apkrova bei trinties jėga. Nors Almen – Wielan alyvos bandymo mašinų dizainas bei veikimo principas yra paprastas, jo kokybė bei tyrimo sąlygos prilygsta realiems mechanizmams [17].

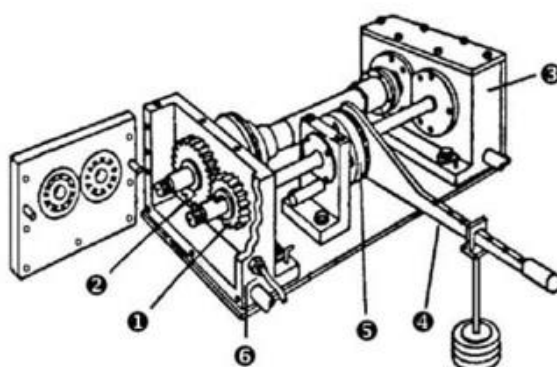
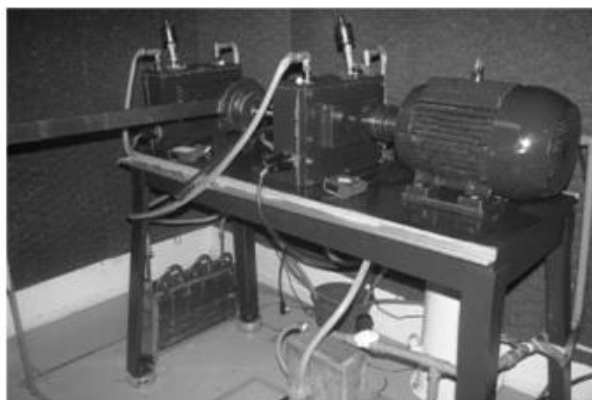
1.4.5. Pavarų įrangos bandymo mašinos apžvalga

Krumpliaračiai, bei pavarų perjungimo mechanizmai yra labai svarbūs agregatai, kuriems būtinas geras alyvos tepimas. Kiekvieną naujai išleistą pavarų dėžių alyvą svarbu išbandyti eksperimentiškai. Labai svarbu, kad įrenginys bandantis tokią alyvą turėtų galimybę keisti sukimosi greitį, bei sukimo momentą.

Šio bandymo tikslas yra ištirti alyvos savybes įsiskverbti tarp kiekvieno krumpliaračio dantukų ir taip mažinti trintį, tarp vienas kitą veikiančių paviršių. Pavarų dėžių alyva taip pat mažina garsą, kuris sklinda iš pavarų dėžių, bei aušina kontaktuojančius paviršius. Labai svarbus pavarų dėžių alyvos parametras yra jo klampa. Kuo klampa mažesnė tuo krumpliaračiai yra geriau sutepami ir esant žemai oro temperatūrai [9].

Veikimo principas: Labai svarbu, kad atliekant bandymą būtų išbandytas kiekvienas pavarų dėžės krumpliaračio dantukas. Įrenginys turi veikti pastoviu greičiu, bandoma alyva turi būti palaikoma pastovia temperatūra. Apkrova krumpliaračiams gali būti laipsniškai didinama. Baigiant bandymą, iš įrenginio išimamas bandomas krumpliaratis ir specialiais matavimo prietaisais matuojamas kiekvieno

dantuko nusidėvėjimas, stebima ar nėra mechaninių pažeidimų [9]. Pavarų įrangos bandymo mašinos bendras vaizdas bei struktūrinė schema pateikta 1.9 pav.



1.9 pav. Pavarų įrangos bandymo mašinos bendras vaizdas bei struktūrinė schema: 1 – bandomasis krumpliaratis; 2 – varomasis krumpliaratis; 3 - reduktorius; 4 – apkrovos svirtis; 5 – sankaba; 6 – temperatūros daviklis [9].

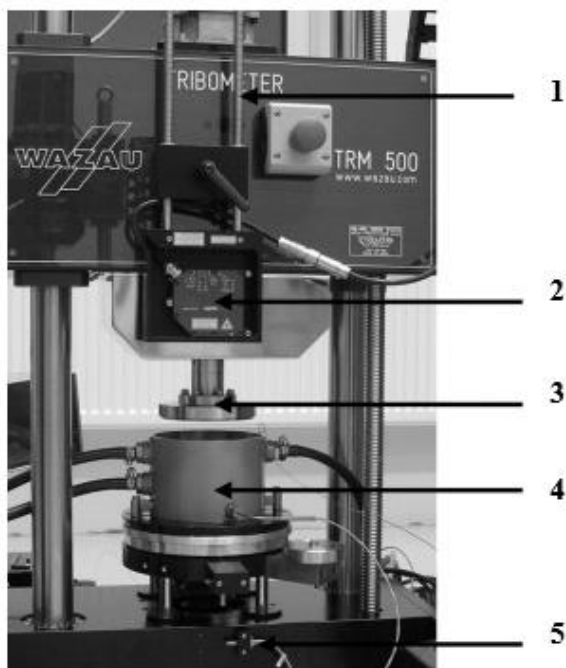
Įrenginys sudarytas bandomojo krumpliarachio (1), sukamąjį judesį jam suteikia varomasis krumpliaratis (2). Reduktorius (krumplinė pavara) (3) sukimo momentą perduoda varomajam krumpliarachiui. Svirtimi (4) įrenginiui suteikiama apkrova, svoriai bandymo metu yra laipsniškai didinami. Sankaba (5) skirta perduoti sukimo momentą varomajam velenui, bandoma alyva yra kaitinama, jos pastovią temperatūrą palaiko temperatūros daviklis (5), kuris pasiekus tam tikrą temperatūrą išjungia kaitinimo elementą [9].

1.4.6. Trinties ir nusidėvėjimo mašinos apžvalga

Šiuo metodu galima atlikti tirti alyvos apsaugą nuo korozijos, alyvos priedų efektyvumą, atsižvelgus į trinties koeficientą.

Bandymo metodas: Įrenginys susideda iš viršutinio bandinio, kuris vibruoja ant ovalios formos apatinio bandinio (1.10 pav.). Jis būna labai lygaus paviršiaus, prieš kiekvieną bandymą kruopščiai nupoliruotas. Bandymo metu, ant bandinių užlašinama 2 – 3 lašai tiriamo alyvos. Atlikus bandymą,

kompiuterine įranga, kuri apdoroja daviklių duomenis ir atspausdina grafikus. Išanalizavus jų duomenis galima nustatyti, tam tikrus parametrus.



1.10 pav. Trinties nusidėvėjimo mašinos bendras vaizdas; 1 – sukimo momento daviklis; 2 – padėties jutiklis; 3 –disko laikiklis; 4 – pavyzdžio laikiklis; 5 – jėgos jutiklis [11]

Atliekant bandymą įrenginyje gali būti keičiami šie parametrai [11]:

- Bandymo trukmė
- Amplitudė
- Alyvos temperatūra
- Dažnis
- Kontaktinis slėgis

1.5. Alyvos tyrimo metodų palyginimas

Pagrindinė visų tribologinių alyvos stendų paskirtis - nusidėvėjimo bei ekstremalių slėgio savybių nustatymas. Įranga, kuri skirta alyvos tyrimams galima suskirstyti į dvi grupes: a) alyvos tyrimo stendai, kur rezultatai gaunami tiesiogiai, matuojant nudilusius bandinius, b) alyvos tyrimo stendai, kai rezultatai gaunami naudojant papildomą įrangą, kurios dėka nustatomas trinties pasipriešinimo momentas, strigties apkrova. Pastaraisiais įrengimais gauti rezultatai yra tikslesni bei informatyvesni. Tyrimo metu gaunami grafikai, juos analizuojant galima nustatyti, kaip alyva mažina trintį tam tikru laiko momentu, ar esant tam tikrai temperatūrai. Pagrindinės alyvos tyrimo įrenginių charakteristikos pateiktos 1.3 lentelėje.

1.3 lentelė Alyvos tyrimų metodų palyginimas

Tyrimo parametrai	Alyvos bandymo stendai					
	Keturių rutulių bandymo stendas	Timkeno alyvos bandymo stendas	Falex alyvos bandymo stendas	Almen – Wieland alyvos bandymo stendas	Pavarų įrangos bandymo mašina	Trinties ir nusidėvėjimo mašina
Bandymo standartas	DIN 51350 - 3	ASTM – D 2782	ASTM – D 2625	DIN 51354	FZG DIN 51354	ISO 10545
Slydimo greitis bandymo metu m/s	0,55	0,45	0,09	0,06	5,78	5,38
Apkrova bandymo metu N	100/300/500	100 - 290	300 - 1000	200 - 400	160 - 2300	10 - 500
Kontaktuojantys paviršiai	3 taškai ir 1 linija	1 linija	4 linijos	2 linijos	1 linija	1 taškas
Bandymo trukmė, min	60	10	1	0,5	15	Nuo 1 iki 9999
Bandinio kietumas, HRC	~ 62	Žiedas ir ritinėlis 60 - 62	Velenas ~ 20 Įvorė ~ 85	Velenas ~ 21 Įvorė ~ 16	~ 62	55
Bandymo medžiaga	Alyva/kietasis tepalas	Alyva	Alyva	Alyva	Alyva	Alyva
Alyvos kiekis, ml	22	150	55	25	200	10
Nustatomi dydžiai						
-Trintis	✓		✓	✓	✓	✓
-Temperatūra	✓		✓	✓		✓
Strigties apkrova	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Susidėvėjimas	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Iš 1.3 lentelės matoma, kad kiekvieno įrenginio techninės charakteristikos skiriasi. Kiekvienas alyvos tyrimo įrenginys projektuojamas, taip, kad bandymo sąlygos būtų kuo artimesnis realiam tribologiniam kontaktui. Pavyzdžiui Almen – Wieland bei Falex bandymo stendas projektuotas, kad imituotų guolio ir veleno sąveiką. Timkeno alyvos bandymo tribopora imituoja vidaus degimo variklio įdėklų ir veleno poros sąveiką. Tačiau dažniausiai alyvos tyrimai yra atliekami keturių rutulių bei trinties ir nusidėvėjimo mašina. Šiais alyvos tyrimo įrenginiais duomenys yra tikslūs iš gautų grafikų galima stebėti, kaip alyva sutepa kontaktuojančius paviršius, tam tikru laiko momentu. Tai yra labai aktualu, kai į alyvą yra maišomi tam tikri priedai. Lyginant gautus trinties momento grafikus, patogu stebėti, kokią įtaką alyvos kokybei turi tam tikras priedas.

2. Tyrimų metodika

2.1. Eksploatuojamos alyvos parinkimas

Paprastas, efektyvus ir nebrangus būdas prailginti automobilio, ypač jo variklio, eksploatacijos laiką – reguliarus variklio alyvos keitimas. Daugelis nesidomi ir nežino kokia alyva jo automobiliui yra geriausia bei geriausiai atitinka gamintojo parametrus. Tinkamiausias būdas išsirinkti tinkamą alyvą būtų žiūrėti į automobilio gamintojo nurodytą alyvos specifikaciją, klampos parametrus. Žinant reikiamos alyvos parametrus, galima rinktis ne tik automobilio gamintojo nurodytą alyvą. Galima rinktis ir alternatyvų produktą, kurio tarptautinė specifikacija ir parametrai atitinka automobilio gamintojo nurodytus parametrus. Taip pat labai svarbu atsižvelgti, kokiomis sąlygomis bus eksploatuojamas automobilis. Jei automobilio variklis dirbs išskirtinai šaltomis oro sąlygomis alyvą reikėtų rinktis, kuo mažesne stingimo temperatūra bei kinematinė klampa esant žemai temperatūrai.

2.2. Tyrimų objektas

Tyrimui pasirinkta tirti šiuolaikiniuose benzininiuose ir dyzeliniuose automobiliuose dažniausiai naudojama variklinė alyva, kurios klampa - 5W30. Tyrimams atlikti naudojama „Xado 5W30 Atomic 504/507“ bei „Bardahl XTC LSP 5W30 Long life“ aukščiausius standartus bei kokybę atitinkančios variklinės alyvos. Alyvos atitinka ACEA C3-A3/B4 specifikacijas, todėl jos gali būti naudojamos naujausiuose „BMW“, „MB“, „VW“, „Porche“ varikliuose. Didžiausias skirtumas, tarp šių alyvų yra tai, kad „Xado“ alyvos gamyboje naudojamas atominis revitalizantas, Jo dėka metaliniai trinties paviršiai pasidengia nano keramikos danga, kuri kompensuoja einamąjį variklio mazgų detalių dilimą. „Bardahl“ alyvos gamyboje tokie priedai nenaudojami, todėl viena bandymų serija atlikta įmaišius į alyvą to paties alyvos gamintojo specialų priedą – „Bardahl Full metal“, kuris gerina alyvos klampines charakteristikas, padengia paviršius nanodanga, kuri apsaugo visus variklio metalinius mazgus. Pagrindinis „Full metal“ produkto skirtumas tarp „Xado“ alyvoje naudojamų priedų yra tai, kad šis priedas ne tik padengia paviršius nanodanga, kuri mažina trintį tarp paviršių, bet ir atstato variklio susidėvėjusias dalis [24]. Bandomų alyvų techninės charakteristikos pateiktos 2.1 lentelėje.

2.2 lentelė. Alyvų techninės charakteristikos [23]

Alyvos charakteristika	Bardahl XTC LSP 5W30 Long life	Xado 5W30 Atomic 504/507
Klampos indeksas	160	158
Pliupsnio temperatūra	240 °C	210 °C
Stingimo temperatūra	-39 °C	-42 °C
Kinematinė klampa , esant 100 °C	11,4 mm ² /s	11,7 mm ² /s
Kinematinė klampa , esant 40 °C	68,7 mm ² /s	72 mm ² /s

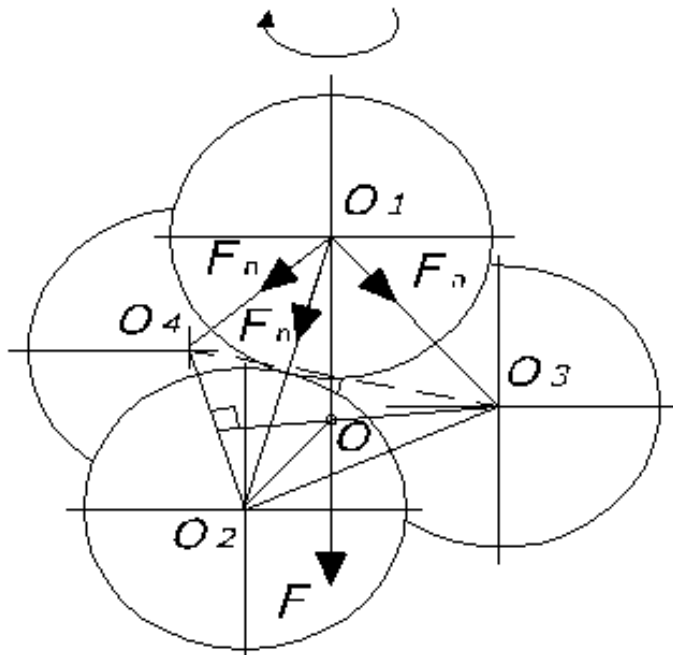
Tyrimė naudojamos alyvos bus tiriamos dviem metodais: Keturių rutulių bandymo mašina, bei Timken alyvos tyrimo stendu. Bandymams naudojamu keturių rutulių bandymo stendu yra atlikta labai daug įvairių tyrimų. Remiantis jo gautais rezultatais parašyta daug mokslinių darbų. Tyrimė naudojamas suprojektuotas ir pagamintas Timkeno alyvos bandymo stenas. Stendo techninės charakteristikos atitinka rinkoje naudojamiems tokio tipo įrengimams. Kad rezultatai gautųsi informatyvūs ir tikslūs visi bandymai atliekami griežtai laikantis bandymo standartų. Tyrimo rezultatai gauti kiekvienu įrenginiu lyginami tarpusavyje.

Pirmuoju atveju bandymas atliekamas keturių rutulių bandymo mašina. Bandymo metu naudojamus rutulius veikia įvairios jėgos jų išsidėstymo schema pavaizduota 2.1 pav., jėgų sąveikos schema parodyta 2.2 pav. Tribologinės sistemos ryšys tarp jėgų F_n ir F apskaičiuojamas pagal 2.1 lygtį [25].

$$F_n = \frac{\sqrt{6}}{6} \cdot F = 0,408 \cdot F \quad 2.1$$

F bendra jėga tribologinėje sistemoje;

F_n vertikali įrenginio spaudimo jėga.



2.1 pav. Keturių rutulių mašinos jėgų išsidėstymo schema [24]

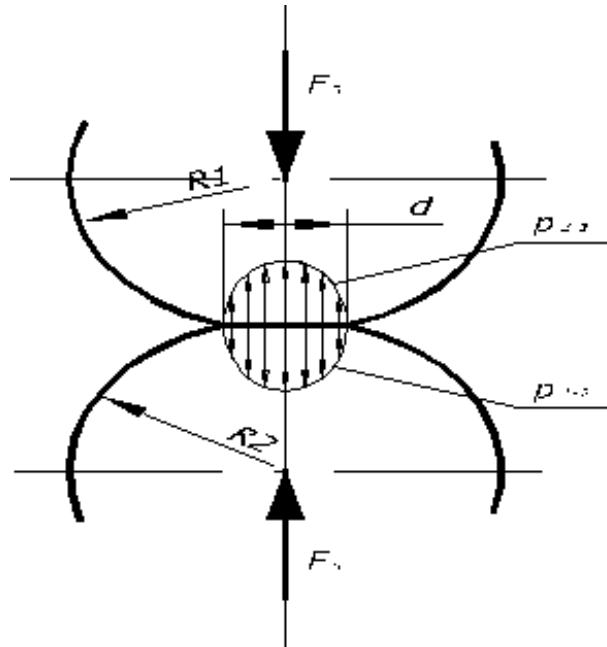
Pradedant bandymą kontaktuojami rutuliai veikiami jėgos F_n deformuojasi. Rutulių sąlyčio vietoje susidaro kontaktinė dėmė, kuri apskaičiuojama pagal 2.2 lygtį [25].

$$d = 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,5 \cdot (1 - \nu^2) \cdot F_n \cdot r}{E}}; \quad 2.2$$

r – rutuliuko skersmuo, mm;

ν – Puasono koeficientas;

E – rutulio medžiagos tamprumo modulis, MPa



2.2 pav. Rutulių sąveikos schema: d – rutulių kontakto vietoje susidariusios dėmės skersmuo; F_n - veikianti jėga tarp dviejų rutulių; $R1$ ir $R2$ - kontaktuojančių rutulių spinduliai; p_{1-2} ir p_{2-1} - susidaręs slėgis pirmojo ir antrojo rutulio kontakte [24]

Vidutinis slėgis p_n kontakte apskaičiuojamas pagal 2.3 formulę.

$$p_n = \frac{F_n}{\pi \cdot d^2 / 4} \quad 2.3$$

2.3. Keturių rutulių bandymo metodika bei naudojama įranga

Atliekant alyvos tribologinį bandymą naudojama keturių rutulių bandymo stendas MAST – 1 (2.3 pav.), ultragarsinė vonelė – „Ultrasonic cleaner, maišytuvas „Techno kartell TK22“, optinis mikroskopas „Nikon eclipse MA 100“, svarstyklės „Kerneg“.



2.3 pav. Tyrimams atlikti naudojamas keturių rutulių alyvos tyrimo stendas

Atliekant tribologinius alyvos bandymus keturių rutulių įrenginiu MAST – 1 duomenims registruoti bei apdoroti naudota speciali programinė įranga. Naudojamas įrenginys yra 1985 m. gamybos. Tuo metu trinties momento bei temperatūros duomenis reikėjo užrašinėti ranka, stebint daviklių parodymus. Norint išvengti tokių nepatogumų keturių rutulių tyrimo stende papildomai sumontuotas Pico Technology ADC200 – 20 duomenų keitiklis, CPJ2 signalo stiprintuvas, bei jėgos jutiklis – BEF- 2. Temperatūra bandymo metu matuojama K tipo termopora. Programinė įranga Picolog Recorder skirta registruoti tiriamosios medžiagos aplinkos temperatūrą, bei susidariusį trinties momentą tarp trinties paviršių. Duomenys registruojami ir saugojami kas 1 sekundę. Bandymui pasibaigus gauti duomenys iš įrenginio iškeliama į „Microsoft Excel“ programą, kurios dėka vėliau duomenys statistiškai apdorojami. Bandymams atlikti naudojami plieno rutuliai 100Cr6, kur tamprumo modulis $E=21,98 \cdot 10^4$ MPa, puasono koeficientas $\nu = 0,3$. Visi rutuliai yra 12,7 mm skersmens. Keturių rutulių įrenginio techninės charakteristikos pavaizduotos 2.2 lentelėje

2.2 lentelė. Keturių rutulių bandymo mašinos techniniai parametrai [7]

Parametras	Matavimo vienetai	Reikšmė
Ketvirtojo rutulio sukimosi greitis bandymo metu	aps./min	1420
Maksimalus, svoris dedamas ant apkrovos lėkštelės	kg	3
Maksimali nustatoma alyvos temperatūra bandymo metu	$^{\circ}\text{C}$	200
Nustatoma bandymo trukmė	min	60

Keturių rutulių bandymo stendas susideda iš alyvos indo, viršutinio ir apatinių rutulių įtvarų. Besisukančio rutulio sukimosi greitis gali būti keičiamas nuo 60 iki 3600 aps./min. Parametrai kinta priklausomai nuo atliekamo bandymo reikalavimų. Tyrimas atliekamas laikantis DIN 51350 – 3 bandymo standarto, tad besisukančio rutulio sukimosi greitis 1450 aps./min. Apkrova, kuri veikia rutulius gali būti keičiama priklausomai nuo įrenginio tipo. Tyrime naudojamame įrenginyje bandymo apkrova gali būti parenkama 150 N arba 300 N. Trys rutuliai yra įdedami į alyvos indą, jie priveržiami specialiu įtvaru, kad neprarastų darbinės pozicijos (2.4 pav. a) . Ketvirtasis (sukamasis rutulys) tvirtinamas specialiaame laikiklyje (suklyje), kuris elektrinės pavaros pagalba, rutuliui perduoda sukimo momentą (žiūrėti 1.1 pav.). Veleno suklys yra centruotas, kad vienodai liestų visus tris rutulius. Viską surinkus į alyvos indą įpilama apie 22 ml tiriamos alyvos. Tiek alyvos pakanka, kad visi rutuliai būtų apsemti. Tada į alyvos indą įdedama K – tipo termopora, kuri matuoja bandomos alyvos temperatūrą. Atlikus šiuos veiksmus įrenginys paleidžiamas. Bandymo trukmę įrenginyje galima parinkti nuo 1 sek. iki 999 val. tačiau, laikantis standarto reikalavimų, bandymas atliekamas vieną valandą. Paleidus įrenginį pjezoelektrinis jutiklis matuoja susidariusį trinties momentą tarp rutulių. Atlikus bandymą iš alyvos vonelės išimami rutuliai, jie nusausinami, kad ant rutuliukų paviršiaus neliktų alyvos pėdsakų. Prieš kiekvieną bandymą rutuliai yra kruopščiai nuplaunami ultragarsinėje vonelėje (2.4 pav. b), alyvos indas išplaunamas specialiais cheminiais preparatais.



a.

b.

2.4 pav. Bandymo eigoje naudojami prietaisai. a – alyvos vonelė su rutulių laikikliu; b –ultragarsinėje vonelėje plaunami rutuliai

Pabaigus bandymus išmatuojami ant rutulių susidarę dilimo pėdsakai. Besisukančiame rutulyje nudilimo pėdsakas yra juosta, o trijų nejudančių rutulių – skritulys. Optiniu mikroskopu, kurio tikslumas siekia $6 \cdot 10^{-6}$ m, išmatuojamas kiekvieno rutulio nudilimas. Bandymo metu gauti dilimo pėdsakų skersmenys bei trinties momentas yra pagrindiniai vertinimo kriterijai, kurie nusako alyvos kokybę. Kuo intensyviau dyla rutuliai, tuo alyva prasčiau geba mažinti trintį tarp paviršių.

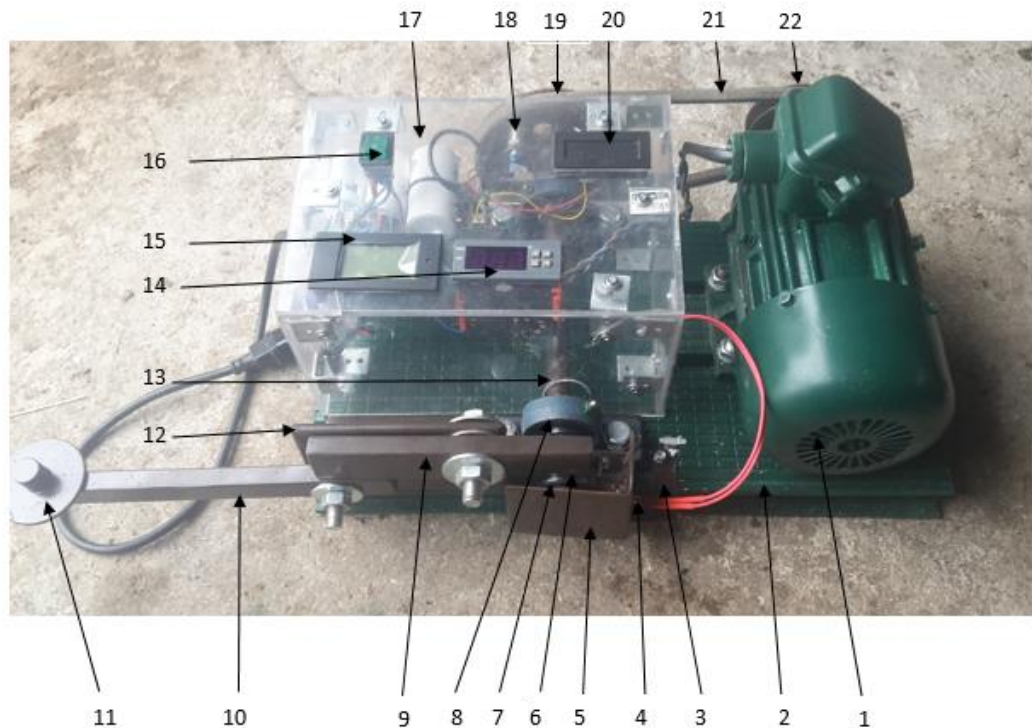
2.4. Timkeno alyvos tyrimo metodika, bei naudojama įranga

Tyrimui naudojamas suprojektuotas ir pagamintas Timkeno alyvos tyrimo stendas. Įrenginyje sumontuotas temperatūros skaitiklis bei termopora, kuri bandymo metu būna įdėta į alyvos indą, taip stebimas alyvos temperatūros pokytis bandymo metu. Bandymo pradžioje į alyvos vonelę įpilama bandomos alyvos, taip, kad alyva liestų trinties guolio paviršių (apie 50 ml). Ant apkrovos lėkštelės uždedama maksimali galima apkrova - 3,5 kg. Paleidžiamas elektros variklis, varomasis skriemulys trapecinio diržo pagalba sukimo momentą perduoda varomajam skriemuliui. Varomasis skriemulys sumontuotas ant veleno, kuris yra įtvirtintas guoliavietėse. Kitame veleno gale sumontuotas trinties žiedas. Bandymo metu jis sukasi 810 aps./min greičiu. Trinties žiedas yra veikiamas kūginio ritinėlio, kuris yra sumontuotas ant pirmosios apkrovos svirties. Chronometru nuimamas laikas, bandymas trunka dešimt minučių, po to įrenginys yra sustabdomas. Nuimami svoriai išimamas cilindrinis ritinėlis vizualiai apžiūrimas nudilimo pobūdis bei pėdsako dydis. Detalesnei nudilusio paviršiaus apžiūrai bei tikslesniam dilimo pėdsako matmenų įvertinimui kūginis ritinėlis yra analizuojamas mikroskopu, stebimas paviršiaus nudilimo pobūdis. Prastesnės kokybės alyva palieka didesnį randą ant kūginio ritinėlio, lyginant su aukštesnės kokybės produktu. Rezultatus galima gauti ir kitu būdu. Timkeno alyvos bandymo stende yra sumontuotas elektros variklių sūkių bei elektros parametrų matuoklis. Uždėjus tam tikrą svorį ant apkrovos lėkštelės didėja pasipriešinimo momentas, tuo pačiu didėja ir variklio suvartojama energija, pasikeitusi elektros variklio suvartojamą galią fiksuoja elektros parametrų matuoklis. Didinant apkrovą variklio sūčiai mažėja, o suvartojama elektros variklio energija didėja. Laikant pastovią apkrovą, o tik keičiant bandomą alyvą galima nustatyti, kuri alyva geriau sutepa trinties paviršius. Bandomai alyvai geriau sutepant trinties paviršius, elektros varikliui reikės mažiau elektros energijos, norint įveikti trinties jėgos sukuriama pasipriešinimo momentą. Timkeno alyvos bandymo stendo techninės charakteristikos pateiktos 2.3 lent.

2.3lentelė. Timkeno alyvos tyrimo stendo techninės charakteristikos

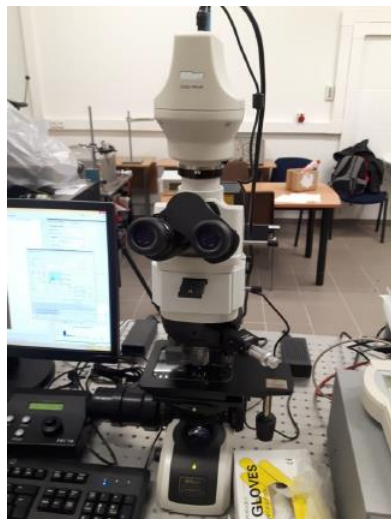
Parametras	Matavimo vienetai	Reikšmė
Variklio galia	kW	0,32
Veleno sukimosi greitis	aps./min	810
Maksimalus, svoris dedamas ant apkrovos lėkštelės	kg	3
Alyvos vonelės maksimali talpa	ml	30
Maksimali nustatoma alyvos temperatūra bandymo metu	°C	90

Naudojamo Timkeno tyrimo mašinos bendras vaizdas ir sudedamosios dalys pavaizduotos 2.5 paveikslėlyje.



2.5 pav. Bandyme naudojamas Timkeno tyrimo stendas: 1-elektros variklis, 2-korpusas, 3-alyvos vonelės laikiklis, 4-šildymo elementas, 5- alyvos vonelė,6- kūginis ritinėlis, 7 – trinties guolis, 8-guoliavietė, 9- pirmoji apkrovos svirtis, 10-antroji apkrovos svirtis, 11-apkrovos lėkštelė, 12-apkrovos svirčių tvirtinimo plokštelė, 13-velenas, 14-temperatūros kontrolieris, 15-elektros parametrų matuoklis, 16-paleidimo jungiklis,17-kondensatoriai, 18-holo daviklis, 19 - varomasis skriemulys, 20-sūkių matuoklis, 21-trapecinis diržas, 22- varomasis skriemulys

Nudilimo pėdsako dydžio matavimui naudojamas mikroskopas Nikon (2.6 pav.). Nudilimo pėdsakai gauti gan dideli, todėl pasirinkta naudoti Nikon L Plan 2,5x/.0.075 objektyvą.



2.6 pav. Dilimo pėdsako dydžiui išmatuoti naudojamas mikroskopas

Nudilusio paviršiaus nuotrauka fotografuojama Nikon DS-Ri2 fotoaparatu, kuris turi 16 x megapikselių raiškos kamerą. Nufotografuotos nuotraukos apdorojamos „NIS – Elements“ programine įranga. Naudojant šią programą nufotografuotose nuotraukose galima tiksliai išmatuoti nudilusio paviršiaus ilgį bei skersmenį.

2.5. Išmatuotų dydžių statistinis įvertinimas

Atlikus bandymus statistiškai vertinami nudilusių dėmių matmenys. Keturių rutulių tyrimo metu kiekvienai bandytai alyvai buvo atlikti trys analogiški bandymai ir tai sudarė devynis matavimus, nes kiekvienu bandymu imami trijų rutulių nudilimai. Timkeno alyvos tyrimo metu su kiekviena alyva atliekami trys analogiški bandymai. Išmatuojamas kiekvienos dėmės skersmuo ir ilgis. Surinkus duomenis apskaičiuojami šie rodikliai:

Vidutinis bandinio nudilimo dėmės skersmuo D_{vid} , mm.(2.4).

$$D_{vid} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n} \quad (2.4)$$

D_i – i tojo išmatuoto bandinio nudilimo dėmės skersmuo.

n – matavimų skaičius.

Vidutinis kvadratinis nuokrypis Q_D , mm . Šis rodiklis parodo, kaip išmatuoti duomenys išsidėsto vidurkio atžvilgiu (2.5).

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - D_{vid})^2}{n}} \quad (2.5)$$

Variacijos koeficientas v , % . Šis rodiklis parodo išmatuotų duomenų nuokrypį nuo jų vidurkio. Šis dydis įvertina išmatuotų duomenų sklaidą (2.6).

$$v = \frac{\sigma_D}{D_{vid}} \cdot 100\% \quad (2.6)$$

Pasikliautinis intervalas D_{int} , mm. Šis dydis parodo tikimybę, jog vidurkis yra šiame intervale. Paprastai intervalas skaičiuojamas su dvipuse tikimybe, kuri yra 95 % (2.7).

$$D_{int} = D_{int} \pm \frac{t_\gamma \sigma_D}{\sqrt{6}} ; \quad (2.7)$$

t_γ - sudaryto skirstinio kvantilis esant tam tikrai pasiklovimo tikimybei.

γ – dydis, kuris pasirenkamas iš matematinių statistikos lentelių. Jo reikšmė dažniausiai svyruoja tarp 2-5 [22].

3. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

3.1. Keturių rutulių alyvos stendo tyrimo rezultatai

Pirmojoje tyrimo dalyje tyrimams naudojamas keturių rutulių bandymo stendas. Pirmasis tiriamas produktas - alyva „Bardahl XTC LSP 5W30 Long life“. Šis bandymas atliekamas nenaudojant papildomų alyvos priedų. Antrojo bandymo metu į „Bardahl XTC LSP 5W30 Long life“ alyvą įmaišomas „Bardahl Full metal“ alyvos priedas, kuris gerina alyvos tribologines savybes. Trečiasis bandymas atliekamas su „Xado 5W30 Atomic 504/507“ alyva. Bandomos alyvos - aukštos klasės produktai, todėl norint gauti ryškesnį nudilimo pėdsaką naudojama maksimali 300 N apkrova. Kiekvienas bandomas trunka vieną valandą. Bandymui pasibaigus optiniu mikroskopu išmatuojami nudilusio paviršiaus skersmenys. Išrenkamas charakteringiausias bandinio nudilimas ir skaitmeniniu mikroskopu „Nikon eclipse MA 100“ nufotografuojamas nudilęs paviršius. Su kiekviena tirama alyva atliekami trys identiški bandymai. Kad tyrimo rezultatai būtų tikslūs jie atliekami laikantis DIN 51350 – 3 standarto reikalavimų. Pirmojo bandymo rezultatai pateikti 3.1 lentelėje

3.1 lentelė. Keturių rutulių tyrimo rezultatai gauti naudojant „Bardahl XTC LSP 5W30“ alyvą

Bandymo numeris	Bandinio nudilusio paviršiaus skersmuo, mm	Vidutinis trinties momentas bandymo metu, mNm	Alyvos temperatūra bandymo pradžioje, °C	Alyvos temperatūra bandymo pabaigoje, °C	Alyvos temperatūros pokytis, °C
I	0,710	158,8	18,6	94,2	75,6
II	0,748	160,1	19,5	95,8	76,3
III	0,752	162,8	20,4	98,1	77,7

Iš gautų rezultatų atliekant bandymą su „Bardahl 5W30“ alyva, matome, kad didžiausias nudilimas gautas atliekant trečiąjį bandymą. Nudilusio paviršiaus skersmuo trečiajame bandyme – 0,752 mm. Mažiausias bandinio paviršiaus nudilimas gautas pirmuoju bandymu – 0,710 mm. Didžiausias alyvos temperatūros pokytis gautas trečiajame bandyme jis siekia 77,7 °C, o tai yra 2,1 °C daugiau lyginant su geriausiu – pirmuoju bandymu.

3.2 lentelė. Keturių rutulių tyrimo rezultatai gauti įmaišius „Bardahl Full metal“ alyvos priedą į „Bardahl XTC LSP 5W30“ alyvą

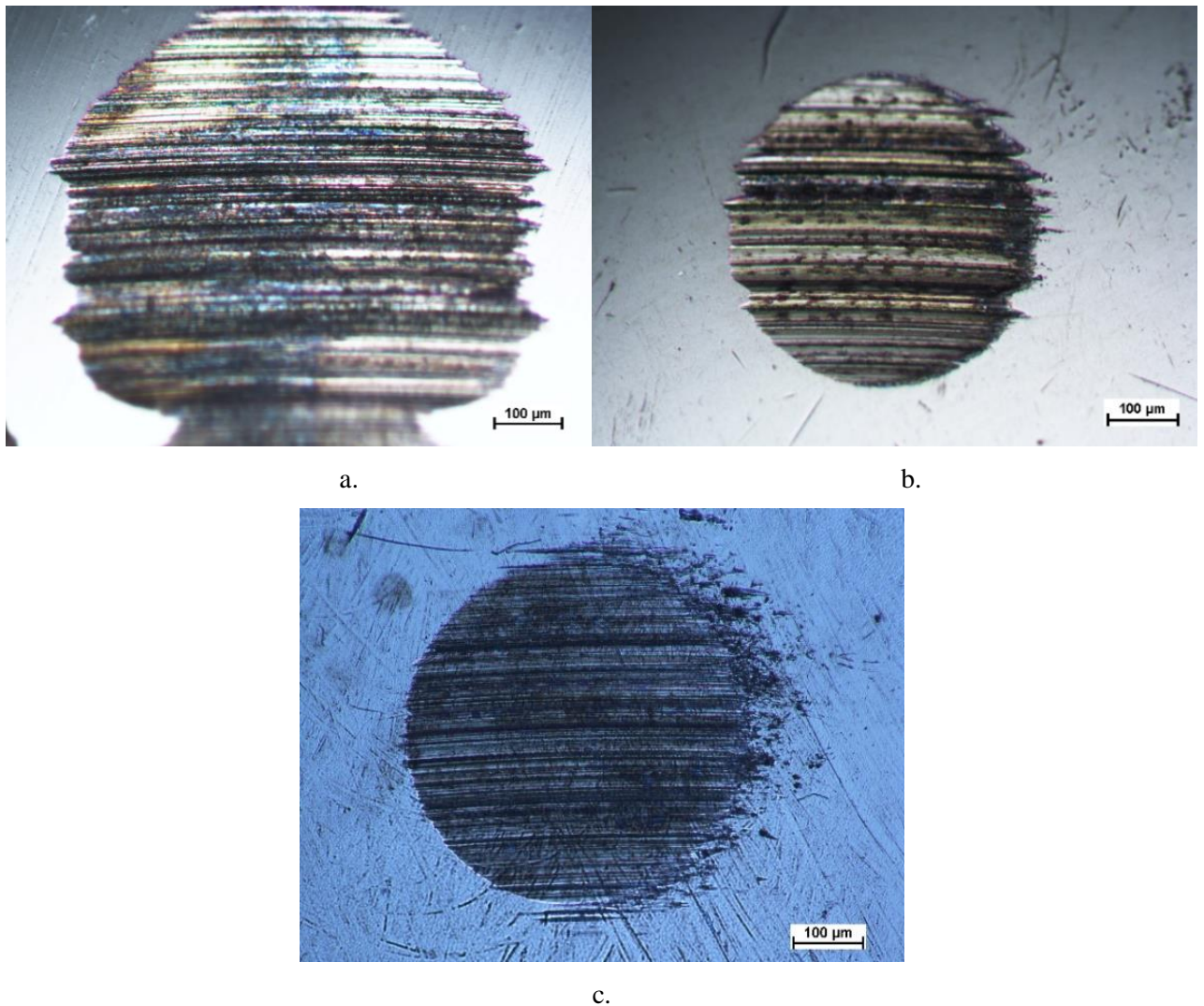
Bandymo numeris	Bandinio nudilusio paviršiaus skersmuo, mm	Vidutinis trinties momentas bandymo metu, mNm	Alyvos temperatūra bandymo pradžioje, °C	Alyvos temperatūra bandymo pabaigoje, °C	Alyvos temperatūros pokytis, °C
I	0,451	135,5	25,7	94,3	68,6
II	0,399	114,8	26,0	93,1	67,1
III	0,401	128,8	25,9	93,8	67,9

Iš gautų rezultatų atlikus bandymą su „Bardahl 5W30“ alyva, ir į ją įmaišius „Bardahl Full metal“ alyvos priedą pastebima, kad didžiausias nudilimas gautas atlikus pirmąjį bandymą. Nudilusio paviršiaus skersmuo pirmajame bandyme – 0,451 mm. Mažiausias bandinio paviršiaus nudilimas gautas antruoju bandymu – 0,399 mm. Antrojo ir trečiojo tyrimo rezultatai yra labai panašūs, bandinio nudilimo skersmuo skiriasi tik 0,002 mm. Didžiausias alyvos temperatūros pokytis gautas pirmajame bandyme jis siekia 68,6 °C , o tai yra 1,5 °C daugiau lyginant su geriausiu – antruoju bandymu.

3.3 lentelė. Keturių rutulių tyrimo rezultatai gauti naudojant „Xado 5W30“ alyvą

Bandymo numeris	Bandinio nudilusio paviršiaus skersmuo, mm	Vidutinis trinties momentas bandymo metu, mNm	Alyvos temperatūra bandymo pradžioje, °C	Alyvos temperatūra bandymo pabaigoje, °C	Alyvos temperatūros pokytis, °C
I	0,488	142,8	18,4	92,1	73,7
II	0,501	148,8	20,1	94,1	74,0
III	0,518	159,1	20,6	95,2	74,6

Atlikus trečiąjį bandymą su „Xado 5W30“ alyva pastebima, kad rezultatų išsidėstymas yra panašus į pirmojo bandymo rezultatus, kai tiriama „Bardahl 5W30“ alyva. Didžiausias bandinio paviršiaus nudilimas gautas atliekant trečiąjį bandymą - 0,518 mm. Mažiausias nudilusios dėmės skersmuo gautas pirmuoju bandymu 0,488 mm. Didžiausias alyvos temperatūros pokytis gautas trečiajame bandyme jis siekia 74,6 °C , o tai yra 0,9 °C daugiau lyginant su geriausiu – pirmuoju bandymu. Bandymo metu gautos nudilimo pėdsako nuotraukos pateikta 3.1 pav.



3.1 pav. Keturių rutulių alyvos tyrimo metu susiformavę rutulių nudilimo pėdsakai: a) Bardahl XTC LSP 5W30; b) Bardahl XTC LSP 5W30 + priedas; c) Xado 5W30

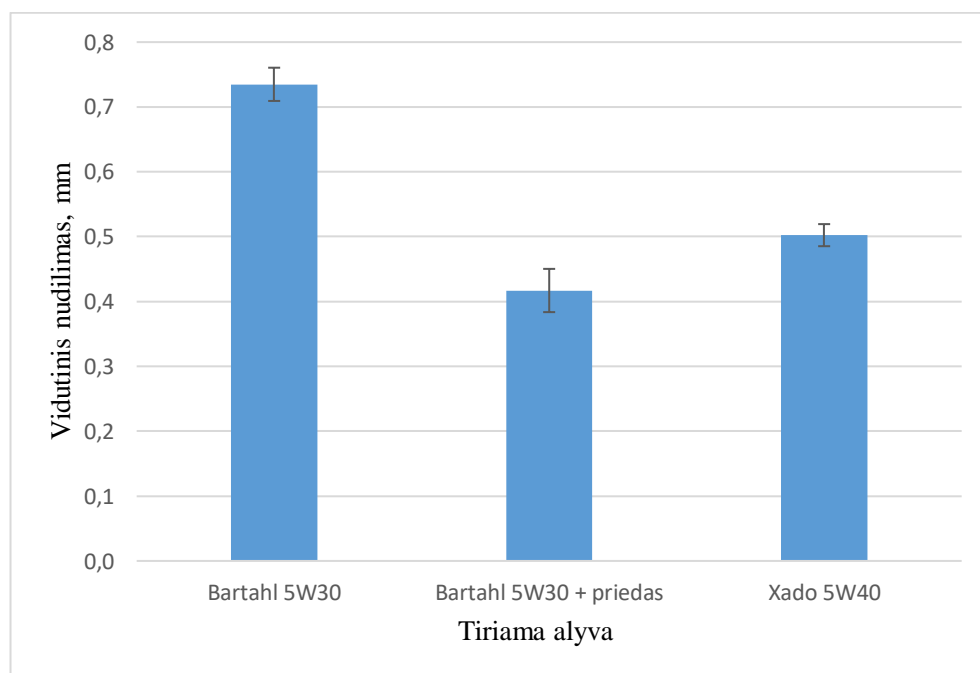
Vertinant bandytų alyvų paviršiaus dilimo pėdsakų nuotraukas, pastebima, kad dviejų paviršių nudilimo paviršiai yra struktūriškai panašūs (3.1 pav. a, b), bet didesni, gilesni rėžiai yra naudojant „Bardahl 5W30“ alyvą be priedo. Atlikus bandymą su šia alyva ant nudilusio paviršiaus matosi melsvos spalvos dėmių. Tai rodo didesnę paviršių sukibimą bandymo metu. Tolygesnis bandomo rutulio paviršius gautas tiriant „Xado 5W30“ alyvą, rėžiai nėra tokie gilūs ir aiškūs, kaip kituose bandymuose. Nors įrenginiu buvo parinkta naudoti aukščiausią galimą apkrovą (300N), visuose dilimo pėdsakuose nėra matoma papildomų nuosėdų ar plieno likučių atplaišų. Remiantis tuo galima teigti, kad tyrimuose naudojamos alyvos tinkamai sutepa trinties paviršius.

Kiekvieno bandytos alyvos nudilimo pėdsakai, trinties momentas bei temperatūros skiriasi. Apibendrinti vidutiniai kūginio ritinėlio pėdsako nudilimai, vidutinis trinties momentas bei vidutiniai temperatūros pokyčio duomenys pateikti 3.4 lentelėje

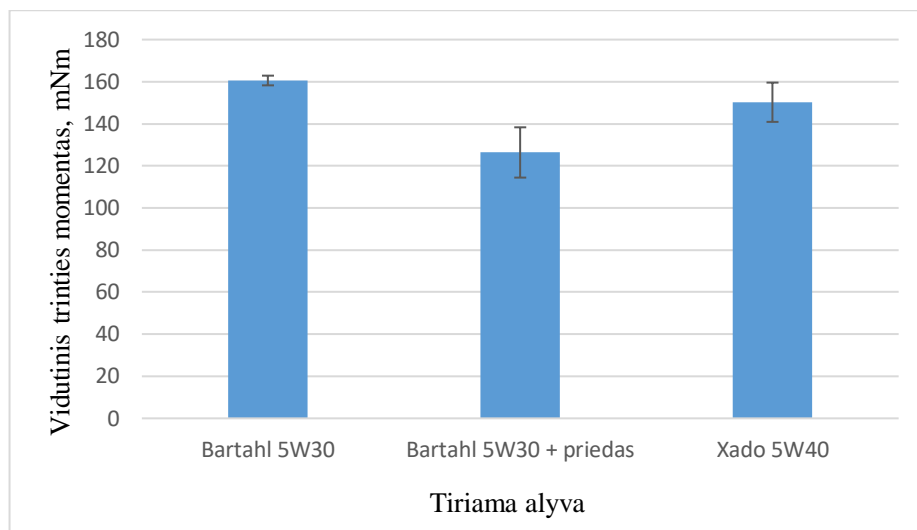
3.4 lentelė. Vidutiniai bandymų rezultatų – temperatūros, trinties momentų ir nudilimų pokyčių duomenys

Tiriamos alyvos pavadinimas	Vidutinis rutulio nudilimo paviršiaus skersmuo, mm	Vidutinis trijų bandymų trinties momentas, mNm.	Vidutinė alyvos temperatūra bandymo pradžioje, °C	Vidutinė alyvos temperatūra bandymo pabaigoje, °C	Vidutinis alyvos temperatūros pokytis, °C
Bardahl XTC LSP 5W30 Long life	0,735	160,6	19,5	96,0	76,5
Bardahl XTC LSP 5W30 Long life + priedas	0,417	126,4	25,9	93,7	67,9
Xado 5W30 Atomic 504/507	0,502	150,2	19,7	93,8	74,1

Tyrimų rezultatai, gauti bandymo metu, pateikti toliau nurodytuose paveikslėliuose. Metalinių rutulių paviršiaus nudilimo grafikas pateiktas 3.2 pav., o vidutinis trinties momento grafikas pateiktas 3.3 pav.

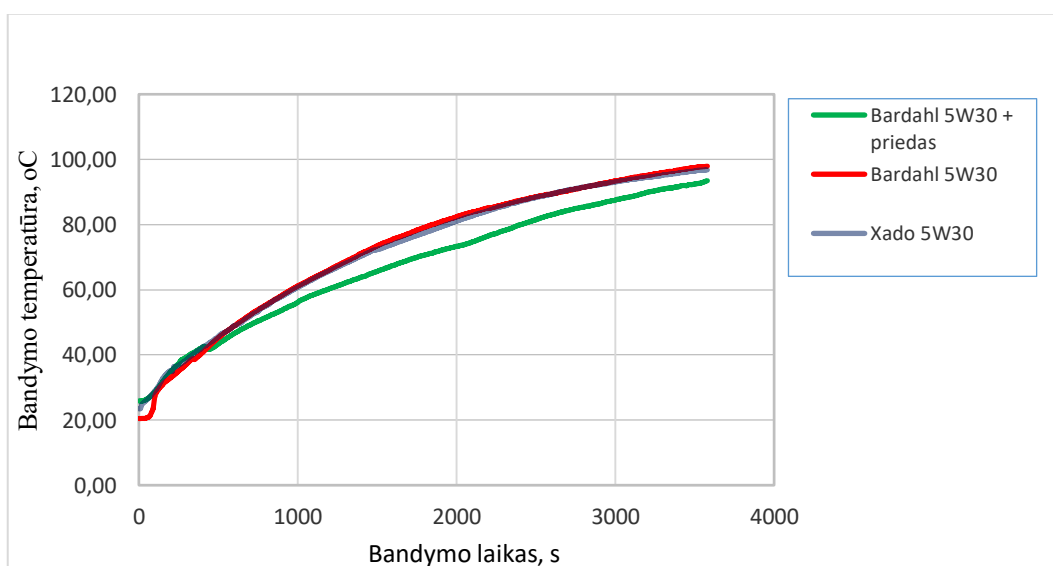


3.2 pav. Rutuliukų nudilimo skersmens diagrama



3.3 pav. Vidutinio trinties momento rutulių poroje diagrama

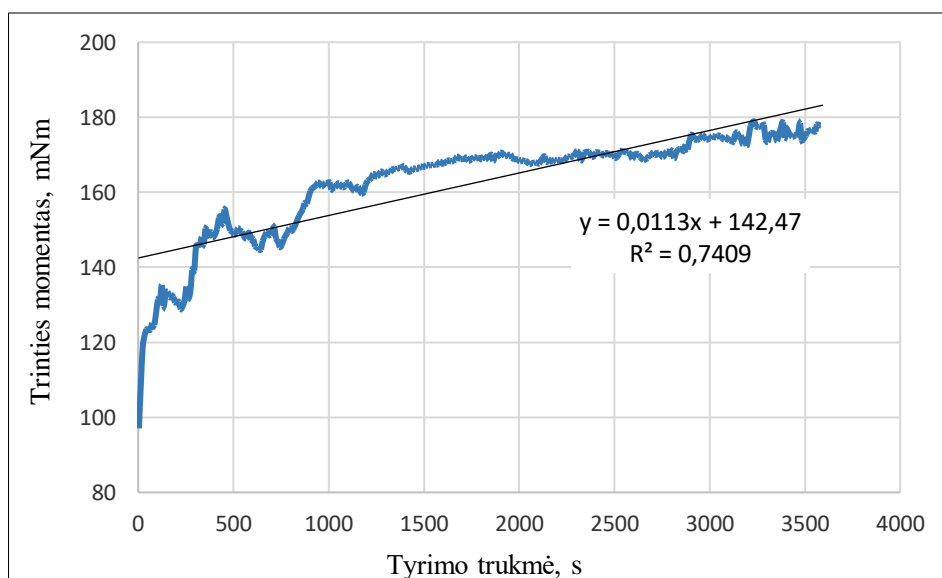
Atlikus tyrimą naudojant keturių rutulių tyrimo stendą iš gautų grafikų matome, kad mažiausias vidutinis nudilimas, bei trinties momentas gautas naudojant „Bardahl 5W30“ alyvą su „Bardahl Full metal“ priedu. Vidutinis trinties momentas naudojant priedą sumažėjo nuo 160,6 mNm iki 126,4 mNm. Galima teigti, kad priedas efektyviai padeda mažinti trinties momentą, rutulių poroje. Didžiausias vidutinis nudilimas gautas naudojant standartinę „Bardahl 5W30“ alyvą jis siekia 0,735 mm, o tai yra 43 % daugiau, lyginant rezultata su mažiausiai bandymo metu nudilusiais rutuliais. Bandymo metu tiriamos alyvos „Xado 5W30“ gamyboje naudojama atomino revitalizanto technologija veikia gan efektyviai. Rutulių vidutinis nudilusio paviršiaus skersmuo, nuo geriausio rezultato skyrėsi tik 0,085 mm. Didžiausias vidutinis alyvos temperatūros pokytis gautas naudojant „Bardahl 5W30“ jis siekia 76,5 °C. Bandymą atlikus su ta pačia alyva tik naudojant priedą vidutinis temperatūros pokytis sumažėjo 8,6 °C. Vidutinis trijų bandymų temperatūros pokytis pateiktas 3.4 pav.



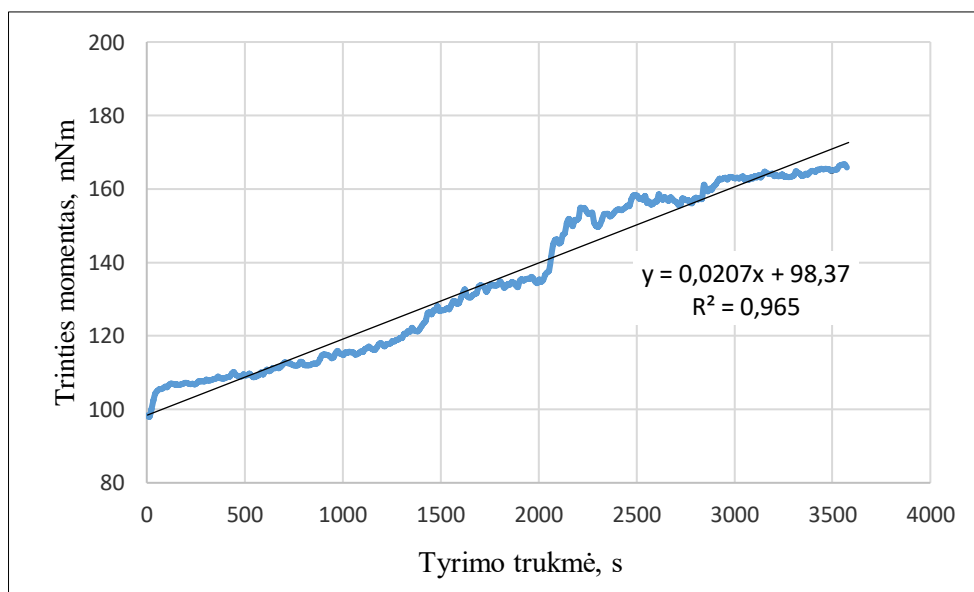
3.4 pav. Bandomos alyvos temperatūros pokytis

Iš gauto grafiko pastebima, kad visų bandomų alyvų temperatūra tolygiai kyla, o geriausi rezultatai gauti naudojant „Bartdahl 5W30“ alyvą su priedu. Praktiškai viso bandymo metu temperatūra buvo 4 – 6 °C laipsniais mažesnė lyginant su kitomis bandymo metu naudotomis alyvomis. Pirmasis bandymas, kol įranga buvo kambario temperatūros (20,4 °C), buvo atliekamas su „Bartdahl 5W30“ alyva, todėl bandymo pradžioje pastebima, kad temperatūra yra mažiausia bei ji lėčiausiai kyla lyginant su kitomis alyvomis. Dėl šios priežasties „Bartdahl 5W30“ ir „Xado 5w30“ maksimali temperatūra skiriasi tik 1,2 °C, nes „Xado 5W30“ alyvos bandymai buvo atliekami jau bandymo stendo dalimis įšilus

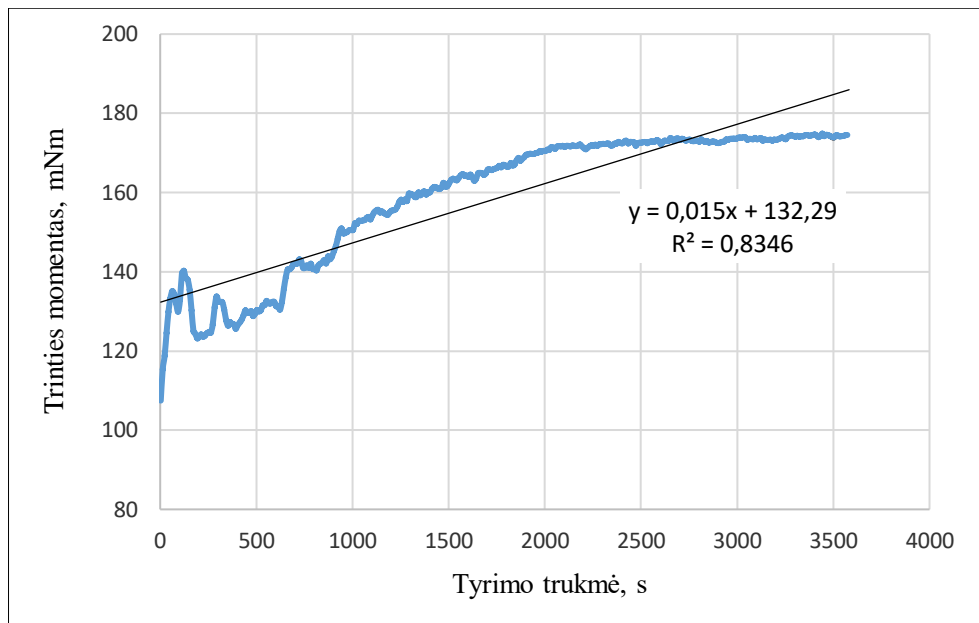
Lyginant gautus trijų bandymų vidutinius trinties momento grafikus (3.5 pav.), pastebimas susidaręs alyvų tribologinių savybių skirtumas. Kuo grafikas yra artimesnis tiesei, (R^2 reikšmė yra artimesnė vienetui) tuo alyva pasižymi geresnėmis savybėmis priešintis trinčiai tarp paviršių.



a.



b.



c.

3.5 pav. Bandymo metu gauti trinties momento grafikai: a. - „Bardahl 5W30“; b. - „Bardahl 5W30“ + priedas, c. - Xado 5w30

Bandymo metu naudojant „Bardahl 5W30“ alyvą vidutinis trinties momentas pradžioje staigiai kyla į viršų ir ties 450 s jau siekia 155 mNm (3.5 pav. a), kreivė yra nestabili matomi staigūs pokyčiai. Tai parodo, kad alyva neefektyviai sutepa trinties paviršius esant žemai alyvos temperatūrai. Alyvai pasiekus aukštesnę temperatūrą, rezultatai mažiau kinta, grafikas įgauna formą artimesnę tiesei. Bandymo pabaigoje maksimalus vidutinis trinties momentas siekia 179 mNm. Naudojant tą pačią alyvą ir į ją įmaišius alyvos priedą, grafikas įgauna akivaizdžiai stabilesnę formą grafiko reikšmės mažiau svyruoja. Paviršiai efektyviai sutepami esant ir žemai alyvos temperatūrai. Didesnis kreivės šuolis matomas tik nuo bandymo pradžios praėjus 2150 s, tuo metu vidutinis trinties momentas siekia 153 mNm (3.5 pav.b). Maksimalus trinties momentas gaunamas bandymo pabaigoje jis siekia 169 mNm. Trečiosios alyvos „Xado 5w30“ trinties momento dilimo kreivė stabiliai kylą. Nuo bandymo pradžios praėjus 2500 s, kreivė stabilizuojasi iki pat bandymo pabaigos. Maksimalus trinties momentas gautas bandymo pabaigoje siekia 176 mNm. Iš gautų trinties momento grafikų pastebima, kad nestabiliausias (R^2 reikšmė yra mažiausia) grafikas yra gautas tiriant „Bardahl 5W30“ alyvą. Stabiliausias bei artimiausias tiesiai grafikas yra gautas naudojant alyvą „Bardahl 5W30“ su priedu. Šiuo atveju R^2 reikšmė yra artima vienetui – 0,965. Iš trinties momentų grafikų matoma, kad bandyme naudojamas alyvos priedas efektyviai gerina alyvos savybes mažinti trintį tarp paviršių.

Remiantis gautais rezultatais apskaičiuojamas vidutinis rutulių nudilimo dėmės skersmuo $RNDS_{vid}$, vidutinis standartinis nuokrypis Q_{RNDS} , variacijos koeficientas v , pasikliautinis intervalas $RNDS_{int}$. Gauti rezultatai pateikti 3.5 lentelėje.

3.5 lentelė. Keturių rutulių alyvos bandymo stendo statistinis rezultatų įvertinimas

Tiriamos alyvos	Vidutinis rutulio nudilusios dėmės skersmuo, $RNDS_{vid}$ mm	Vidutinis standartinis nuokrypis, Q_{RNDS} , mm	Variacijos koeficientas, v , %	Pasikliautinis intervalas, $RNDS_{int}$, mm
Bardahl XTC LSP 5W30 Long life	0,735	0,0185	2,5	$0,735 \pm 0,0256$
Bardahl XTC LSP 5W30 Long life + priedas	0,417	0,0295	7,1	$0,417 \pm 0,0333$
Xado 5W30 Atomic 504/507	0,502	0,0150	3,0	$0,502 \pm 0,0170$

Iš gautų rezultatų matoma, kad mažiausiais išsiskleidę rutulių nudilimo duomenys buvo gauti naudojant „Bardahl 5W30“ alyvą su priedu, variacijos koeficientas – 7,1 %. Visais bandymo atvejais, variacijos koeficientas neviršijo 10 %, tai parodo, kad bandymai buvo atlikti tinkamai, gautų duomenų sklaida nėra didelė, rezultatai yra patikimi.

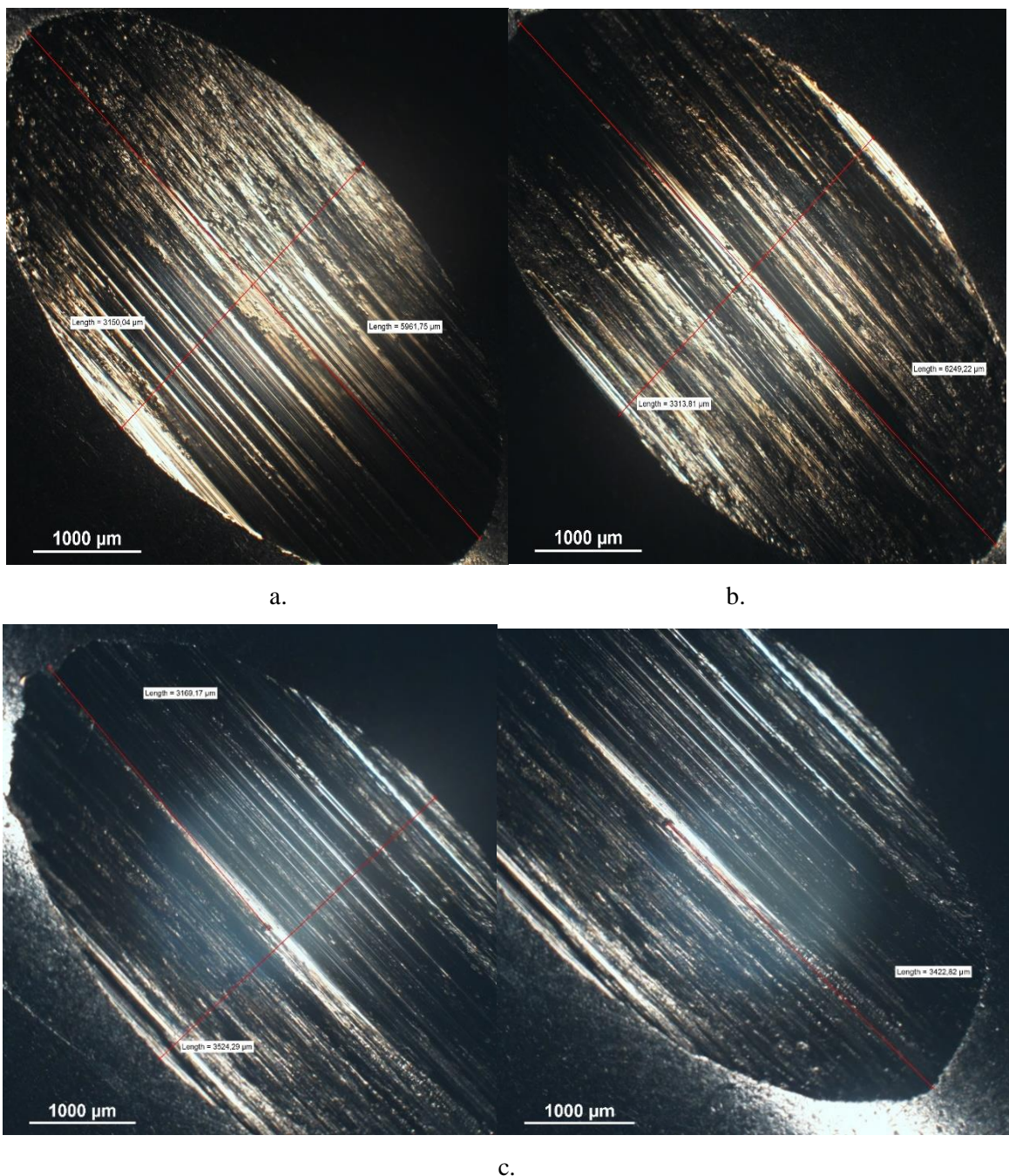
3.2. Timkeno alyvos stendo tyrimo rezultatai

Antrojoje tyrimo dalyje naudojamas Timkeno alyvos bandymo stendas. Tyrimams atlikti naudojamos tos pačios alyvos, kaip ir keturių rutulių bandyme. Kadangi bandymas atliekamas laikantis ASTM D2782 bandymo standarto todėl, kiekvienas bandymas trunka dešimt minučių. Su kiekviena alyva atliekami trys identiški bandymai, jų metu kas trisdešimt sekundžių fiksuojami temperatūros pokyčio duomenys. Pirmasis bandymas atliekamas naudojant „Bardahl XTC LSP 5W30“ alyvą. Gauti tyrimo rezultatai pateikti 3.6 lentelėje.

3.6 lentelė. Timkeno alyvos tyrimo rezultatai gauti naudojant „Bardahl XTC LSP 5W30“ alyvą

Bandymo numeris	Bandinio nudilusio paviršiaus skersmuo, mm	Bandinio nudilusio paviršiaus ilgis mm.	Alyvos temperatūra bandymo pradžioje, °C	Alyvos temperatūra bandymo pabaigoje, °C	Alyvos temperatūros pokytis, °C
I	3,150	5,961	18,6	59,2	40,6
II	3,313	6,249	17,3	58,3	41,0
III	3,524	6,591	17,2	58,8	41,6

Iš gautų rezultatų atliekant bandymą su „Bardahl 5W30“ alyva, matome, kad didžiausi bandinio paviršiaus pokyčiai gauti atlikus trečiąjį, o mažiausi nudilimai gauti per pirmąjį bandymą. Pirmojo ir trečiojo bandymo nudilimo pėdsako ilgis skiriasi 0,630 mm, o skersmuo 0,374 mm. Didžiausias alyvos temperatūros pokytis gautas trečiajame bandyme jis siekia 41,6 °C, o tai yra vienu laipsniu daugiau lyginant su geriausiu – pirmuoju bandymu. Rezultatų nestabilumas galėjo atsirasti dėl pirmaisiais bandymais alyvoje nusėdusių plieno likučių, kurie paskutinio bandymo metu galėjo prasiskverbti tarp trinties paviršių ir taip įtakoti greitesnį paviršiaus irimą. Bandymo metu gautos dilimo pėdsakų nuotraukos pateiktos 3.6 pav.



3.6 pav. Dilimo pėdsakai gauti tiriant „Bardahl XTC LSP 5W30“ alyvą: a. – pirmas bandymas, b. – antras bandymas, c – trečiasis bandymas

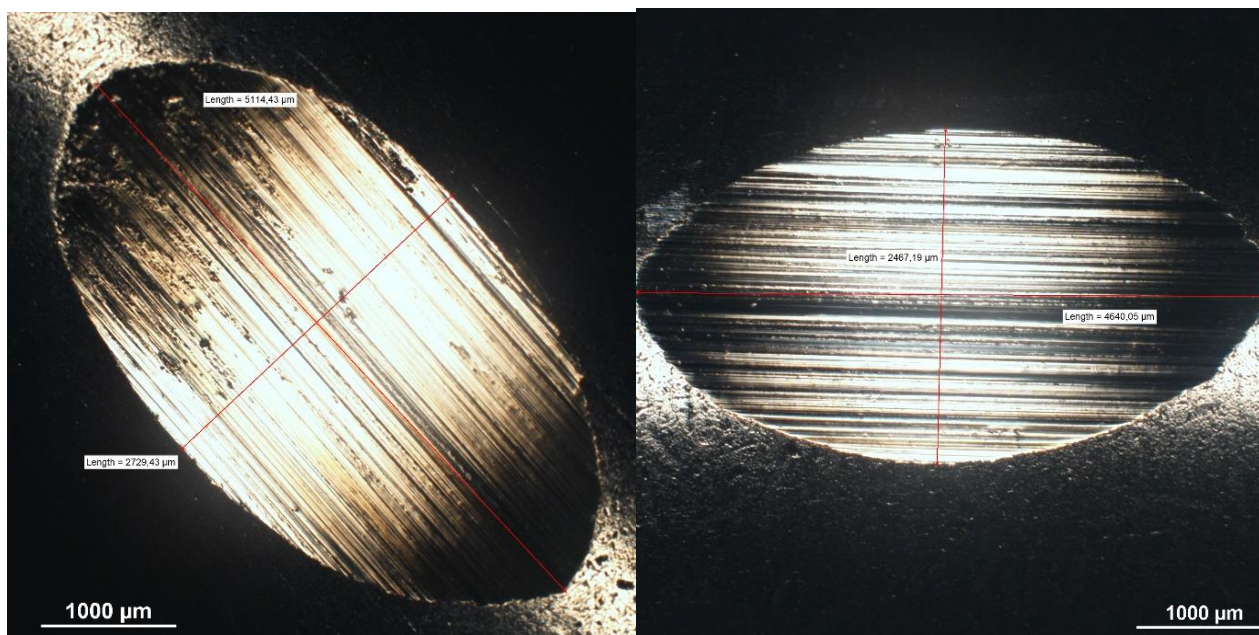
Triboporoje naudojamas trinties guolis sukasi 810 aps./min greičiu. Esant dideliam pasikartojančių ciklų skaičiui koncentruotoje vietoje, kūginio ritinėlio paviršiuje paliekama didesnė dilimo dėmė nei ant trinties guolio. Irimas vyksta išilgine judesio kryptimi. Į kūginį ritinėlių tepamosios medžiagos kietosios dalelės įpresuojamos į minkštą metalą ir tai sukelia abrazyvinį ritinėlio dilimą. Visose nuotraukose pastebimos susidariusios keteros – rėžiai, kurie siaurėja gilyn į medžiagą. Rėžiuose matomos juodos dėmės, tai naftos produktų, šiuo atveju – alyvos, likučiai. Atliekant pirmąjį bandymą pastebima, kad išplėstos medžiagos likučiai pasiskirstę tik vienoje dilimo pėdsako pusėje, o antruoju bei trečiuoju bandymu medžiagos likučiai pasiskirstę maždaug per visą pėdsako paviršių. Bandomos alyvos prastas dilimo medžiagų išstūmimas iš triboporos galėjo sukelti greitesnį paviršiaus irimą [26]. Analizuojant trečiojo bandinio nudilimo pėdsako dydį išdilimas netilpo į naudojama objektyvą, todėl fotografuojamos dvi nuotraukos. Vienas matavimas fiksuojamas nuo pėdsako pradžios iki pastebimo defekto, o antras nuo to defekto iki pėdsako pabaigos. Abu matavimo duomenys susumuoti taip gautas viso dilimo pėdsako ilgis.

Antrasis bandymas atliekamas į „Bardahl 5W30 alyvą įmaišius to pačio alyvos gamintojo gaminamą priedą – „Bardahl Full metal“. Bandymo rezultatai pateikti 3.7 lentelėje.

3.7 lentelė. Timkeno alyvos tyrimo rezultatai gauti įmaišius alyvos priedą į „Bardahl XTC LSP 5W30“ alyvą

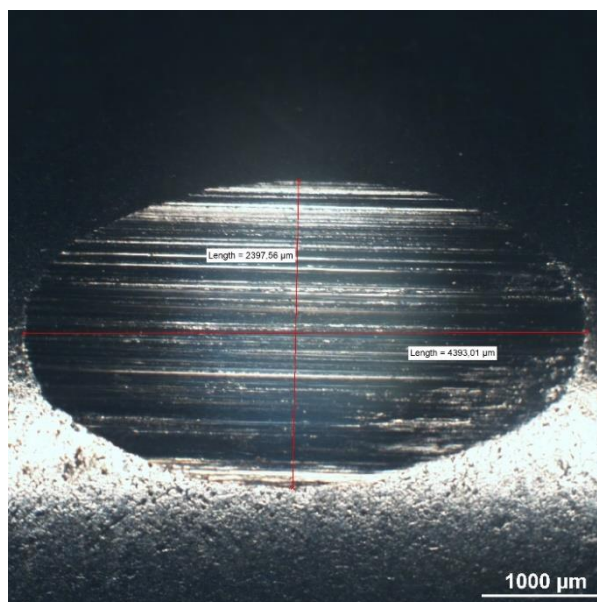
Bandymo numeris	Bandinio nudilusio paviršiaus skersmuo, mm	Nandinio nudilusio paviršiaus ilgis mm.	Alyvos temperatūra bandymo pradžioje, °C	Alyvos temperatūra bandymo pabaigoje, °C	Alyvos temperatūros pokytis, °C
I	2,792	5,114	18,0	53,9	35,9
II	2,467	4,640	18,5	53,8	35,3
III	2,397	4,393	17,8	52,8	35,0

Iš gautų rezultatų atlikus bandymą su „Bardahl 5W30“ alyva ir į ją įmaišius „Bardahl full metal“ alyvos priedą matome, kad didžiausi bandinio paviršiaus pokyčiai gauti atlikus pirmąjį bandymą, o mažiausi nudilimai gauti per trečiąjį bandymą. Geriausio ir blogiausio rezultato bandinio nudilimo ilgis skiriasi 0,721 mm, o skersmuo 0,395 mm. Didžiausias alyvos temperatūros pokytis gautas pirmajame bandyme, jis siekia 35,9 °C, o tai yra 0,9 °C daugiau lyginant su geriausiu – trečiuoju bandymu. Bandymo metu gautą dilimo pėdsakų netolygumą galėjo įtakoti alyvos priedo netolygus pasiskirstymas bandomojoje alyvoje. Atliekant trečiąjį bandymą alyvos priedas buvo geriau pasiskirstęs - išsimaišęs dėl prieš tai atliktų bandymų. Todėl kiekvieno bandymo metu rezultatai buvo vis geresni. Bandymo metu dilimo pėdsakų nuotraukos pateiktos 3.7 pav.



a.

a.



c.

3.7 pav. Dilimo pėdsakai gauti tiriant įmaišius priedą į „Bardahl XTC LSP 5W30“ alyvą: a. – pirmas bandymas, b. – antras bandymas, c – trečiasis bandymas

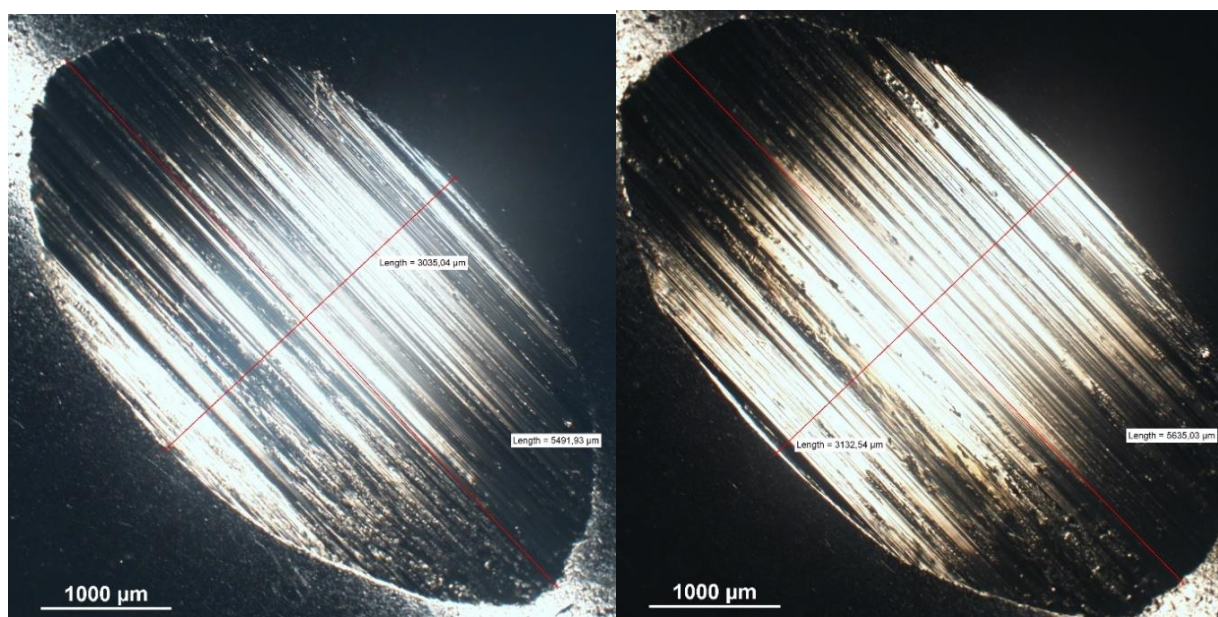
Iš bandinio nudilimo pėdsakų matoma, kad tribopaviršius apsidengia rėžiais lygiagrečiai slydimo keliui, o tarp rėžių yra medžiaga, kuri yra patyrusi daugkartinę plastinę deformaciją. Lyginant šį bandymą su pirmuoju matomi akivaizdžiai mažesni dilimo pėdsakai. Kūginio ritinėlio medžiagos likučiai pastebimi atlikus tik pirmąjį bandymą. Kituose bandymuose, kai naudojamas priedas tinkamai pasiskirstė alyvoje, medžiagos paviršius yra sukietinamas, padengiamas nanokeramikos danga, todėl medžiagos likučių bandinio pėdsake, akivaizdžiai sumažėja [26].

Trečiasis bandymas atliekamas su „Xado 5W30“ alyva. Gauti rezultatai pateikti 3.8 lentelėje.

3.8 lentelė. Timkeno alyvos tyrimo rezultatai gauti naudojant „Xado 5W30“ alyvą

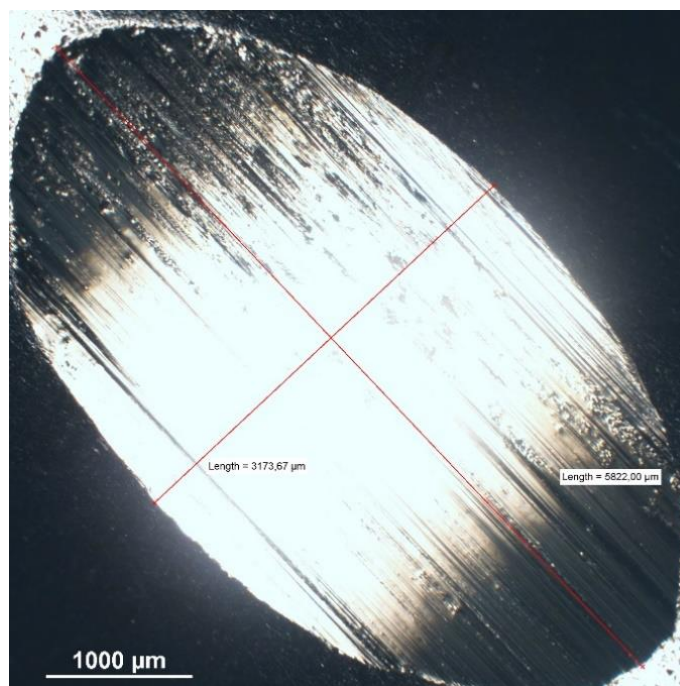
Bandymo numeris	Bandinio nudilusio paviršiaus skersmuo, mm	Bandinio nudilusio paviršiaus ilgis mm.	Alyvos temperatūra bandymo pradžioje, °C	Alyvos temperatūra bandymo pabaigoje, °C	Alyvos temperatūros pokytis, °C
I	3,035	5,491	18,3	56,1	37,8
II	3,132	5,635	17,9	56	38,1
III	3,173	5,822	17,8	56,2	38,4

Atlikus bandymą su „Xado 5W30“ alyva matoma, kad didžiausias nudilimas gautas atliekant trečiąjį, o mažiausias, pirmąjį bandymą. Mažiausias nudilimo pėdsako ilgis siekia 5,491 mm, o skersmuo 3,035 mm, tai yra atitinkamai 0,331 mm ir 0,138 mm mažiau lyginant rezultatą su daugiausiai nudilusiais bandinio pėdsakais. Mažiausias alyvos temperatūros pokytis gautas atliekant taip pat pirmąjį bandymą, tuo metu jis siekia 37,8 °C, šis rezultatas yra 0,6 °C laipsnių mažesnis, lyginant su trečiuoju bandymu. Atliekant šį bandymą pastebima, kad gauti rezultatai turi mažiausią duomenų sklaidą. Geriausio ir blogiausio bandymo rezultatai skiriasi mažiausiai, lyginant su prieš tai atliktais bandymais. Bandinių nudilimo pėdsakų nuotraukos pateiktos 3.8 pav.



a.

b.



c.

3.8 pav. Dilimo pėdsakai gauti tiriant „Xado 5W30“ alyvą: a. – pirmas bandymas, b. – antras bandymas, c – trečiasis bandymas

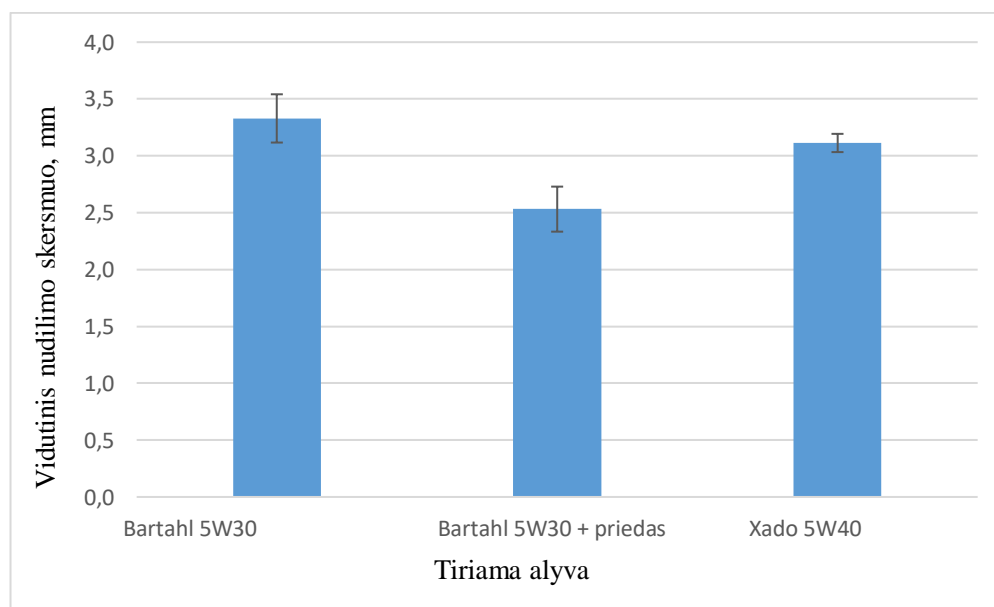
Trečiojo bandymo nudilimo rėžiai, kaip ir prieš tai atliktais bandymais, pasidengia lygiagrečiai slydimo paviršiui. Nudilimo pėdsakų struktūra panaši į pirmojo bandymo metu gautus rezultatus. Pėdsakuose pastebimas tik mažesnis juodų dėmių kiekis nudilimo rėžiuose. Alyvos gamyboje naudojama atominio revilizianto priedas tinkamai nesukietina triboporos paviršių, todėl visuose nuotraukose pastebimas susidaręs nemažas kiekis dilimo dalelių. Dalelės skatina greitesnį paviršių irimą, todėl gauti bandymo rezultatai yra prastesni lyginant su antruoju bandymu, kai buvo naudotas specialus alyvos priedas [26].

Kiekvieno bandytos alyvos nudilimo pėdsakai bei temperatūros skiriasi. Apibendrinti vidutiniai kūginio ritinėlio pėdsako nudilimai, bei vidutiniai temperatūros pokyčio duomenys pateikti 3.9 lentelėje

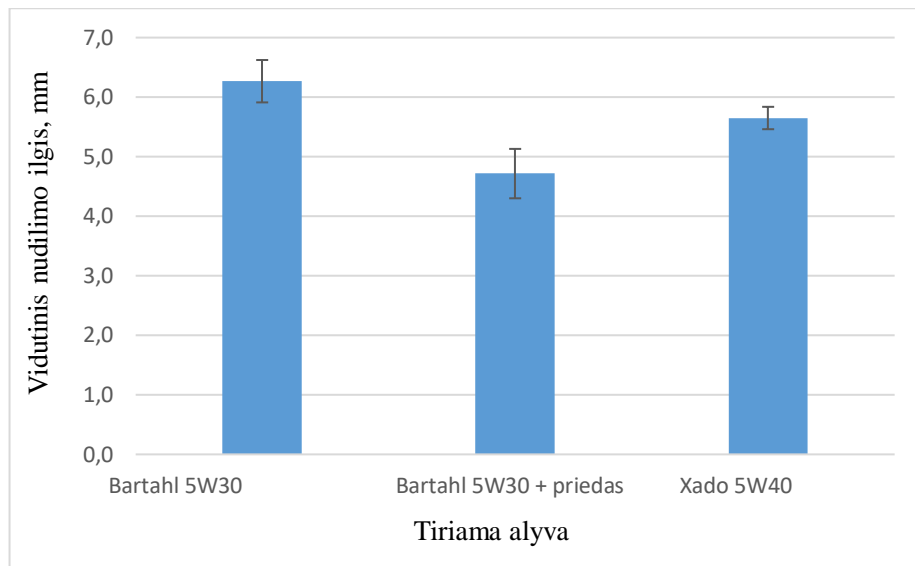
3.9 lentelė. Vidutiniai nudilusio paviršiaus skersmens, ilgio, temperatūros duomenys

Tiriamos alyvos pavadinimas	Vidutinis bandinio nudilusio paviršiaus skersmuo, mm	Vidutinis bandinio nudilusio paviršiaus ilgis, mm	Vidutinė alyvos temperatūra bandymo pradžioje, °C	Vidutinė alyvos temperatūra bandymo pabaigoje, °C	Vidutinis alyvos temperatūros pokytis, °C
Bardahl XTC LSP 5W30 Long life	3,329	6,267	17,7	58,8	41,7
Bardahl XTC LSP 5W30 Long life + priedas	2,531	4,712	18,1	53,8	35,7
Xado 5W30 Atomic 504/507	3,083	5,563	18,0	56,1	38,1

Vidutinis nudilusio bandinio paviršiaus skersmens grafikas pateiktas 3.9 pav., o pėdsako ilgio grafikas pateiktas 3.10 pav.

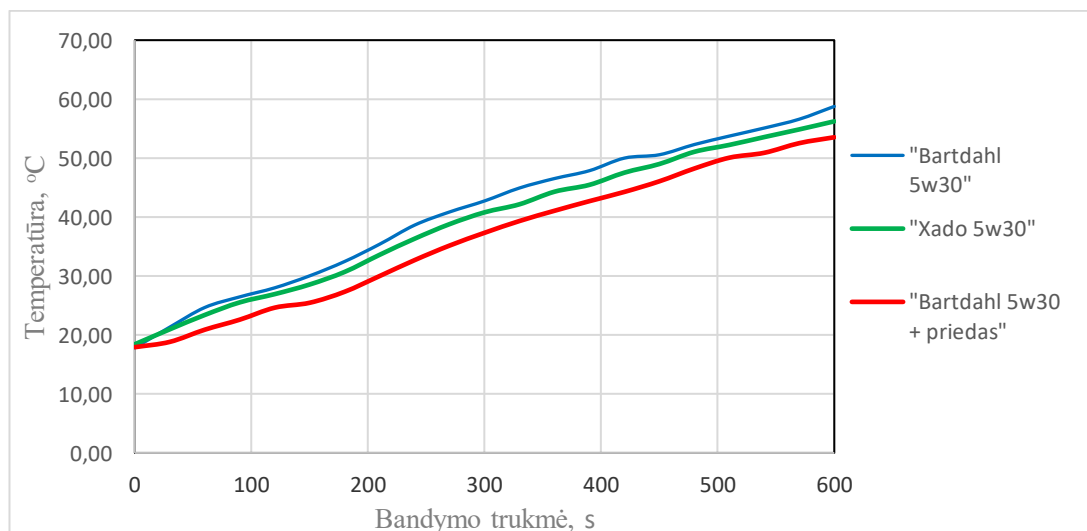


3.9 pav. Vidutinis tiriamų alyvų nudilimo pėdsako skersmens grafikas



3.10 pav. Vidutinis tiriamų alyvų nudilimo pėdsako ilgio grafikas

Atlikus alyvos bandymus Timkeno alyvos bandymo stendu, matoma, kad geriausi rezultatai bei mažiausi paviršiaus nudilimai pasiekti naudojant „Bardahl 5W30“ alyva su „Bardahl full metal“ priedu. Vidutinis nudilusio paviršiaus ilgis siekia 4,712 mm, o skersmuo 2,531 mm. Didžiausias paviršiaus nudilimas gautas tiriant „Bardahl 5W30“ alyvą, į ją nemaišant papildomų priedų. Šiuo atveju vidutinis nudilimo pėdsako ilgis siekia 6,267 mm, o skersmuo 3,329 mm, o tai yra ~ 24 % daugiau lyginant šiuos duomenis, kai alyvoje naudojamas alyvos priedas. Tyrimą atliekant su „Xado 5W30“ alyva vidutinis nudilimo pėdsako ilgis 5,563 mm, o skersmuo 3,083 mm. Pėdsako dydis yra ~ 16 % didesnis lyginant su tyrime gautu geriausiu rezultatu. Alyvos temperatūros pokyčio grafikas pateiktas 3.11 pav.



3.11 pav. Alyvos temperatūros pokyčio grafikas bandymo metu

Atlikus bandymus Timkeno alyvos bandymo stendu matoma, kad visų tiriamų alyvų temperatūra stabiliai kyla į viršų. Gautas grafikas yra panašus į keturių rutulių tyrimo mašina gautą vidutinį alyvos

temperatūra kitimo grafika. Timkeno alyvos stendu gautos vidutinis alyvos temperatūros pokytis yra mažesnės, nes bandymas atliekamas trumpiau nei keturių rutulių tyrimo metodu. Didžiausias vidutinis alyvos pokytis gautas tyrime naudojant „Bardahl 5W30“ alyvą, jis siekia 41,7 °C. Mažiausias alyvos temperatūros pokytis gautas į alyvą „Bardahl 5W30“ įmaišius alyvos priedą. Šiuo atveju vidutinis alyvos temperatūros pokytis sumažėjo 5,27 °C. Tiriant „Xado 5W30“ alyvą vidutinis temperatūros pokytis siekė 38,1 °C, tai yra 2,4 °C daugiau lyginant duomenis su geriausiu rezultatu. Tyrimą atlikus abiem alyvos tyrimo metodais matoma, kad alyvos temperatūros pokytis yra tiesiogiai priklausomas nuo bandymo metu gauto nudilimo pėdsako dydžio. Padidėjus triboporos mechaniniam sukibimui, didėja ir išskiriama temperatūra bandymo metu.

Atlikus bandymus Timkeno alyvos bandymo stendu ir remiantis jo gautais rezultatais, apskaičiuojamas vidutinis bandinio nudilimo skersmuo BN_{vid} , vidutinis standartinis nuokrypis Q_{BN} , variacijos koeficientas v . Gauti rezultatai pateikti 3.10 lentelėje.

3.10 lentelė. Timkeno alyvos tyrimo stendo statistinis rezultatų įvertinimas

Tiriamos alyvos pavadinimas	Bandinio nudilusios dalies	Vidutinis bandinio nudilimas BN_{vid} mm	Vidutinis standartinis nuokrypis, Q_{BN}, mm	Variacijos koeficientas, v, %	Pasikliautinis intervalas, BN_{int}, mm
Bardahl XTC LSP 5W30 Long life	Skersmuo	3,329	0,1875	5,6	3,2319±,02121
	Ilgis	6,267	0,3145	5,0	6,267±0,3559
Bardahl XTC LSP 5W30 Long life + priedas	Skersmuo	2,531	0,175	6,9	2,563±0,1980
	Ilgis	4,712	0,366	7,8	4,712±0,4149
Xado 5W30 Atomic 504/507	Skersmuo	3,083	0,0709	2,3	3,133±0,0802
	Ilgis	5,563	0,1660	2,9	5,563±0,01878

Atlikus skaičiavimus statistiniam Timkeno alyvos bandymo stendo rezultatų įvertinimui, nustatyta, kad mažiausias variacijos koeficientas gautas atliekant bandymus su „Xado 5W30“ alyvą. Didžiausia duomenų sklaida gauta tiriant „Bardahl 5W30“ alyvą su priedu, gautas variacijos koeficientas - 7,7 %. Toks rezultatas gautas, nes kiekvienu bandymu alyvos priedas vis geriau pasiskirstydavo bandomoje alyvoje, taip mažindamas trintį tarp paviršių. Visais bandymo atvejais, variacijos koeficientas neviršijo 10 %. Tai parodo, kad Timkeno alyvos bandymo stendas veikia tinkamai, gauti rezultatai yra patikimi.

Išvados

1. Atlikus literatūros šaltinių analizę nustatyti pagrindiniai alyvų parametrai, naudojami priedai alyvos savybėms pagerinti. Pastebėta, kad trūksta tyrimų, kuriuose vertinamos alyvų tribologinės savybės dviem tyrimų metodais.
2. Apžvelgus pagrindinius įrenginius alyvos tribologinėms savybėms tirti, pasirinkta naudoti patentuotą ir rinkoje patikrintą keturių rutulių tyrimo mašiną, bei suprojektuotą ir pagamintą Timken alyvos tyrimo stendą.
3. Atlikus tyrimus keturių rutulių bandymo stendu nustatyta, kad mažiausias nudilimas bei trinties momentas gautas naudojant variklinę „Bardahl 5W30“ alyvą su „Bardahl full metal“ priedu. Vidutinis trinties momentas naudojant alyvą su priedu sumažėjo 21 % nuo 160,6 mNm iki 126,4 mNm. Trinties pėdsakas sumažėjo 43 %, nuo 0,735 mm iki 0,417 mm. Didžiausias vidutinis temperatūros skirtumas gautas naudojant „Bardahl 5W30“ alyvą jis siekia 76,5 °C. Naudojant alyvos priedą vidutinis temperatūros pokytis sumažėjo 11 % iki 67,9 °C.
4. Atlikus tyrimus Timken alyvos bandymo stendu nustatyta, kad mažiausias nudilimas bei temperatūros pokytis gautas naudojant „Bardahl 5W30“ alyvą su „Bardahl full metal“ priedu. Tyrimus atlikus su „Bardahl 5W30“ alyva vidutinis nudilimo pėdsako ilgis siekė 6,267 mm. Naudojant tą pačią alyvą bei įmaišius priedą, vidutinis nudilimo pėdsako ilgis siekė 4,712 mm. Bandymo rezultatai nesiskyrė išmatavus ir alyvų temperatūros kitimą bandymo metu. Didžiausias vidutinis temperatūros skirtumas gautas naudojant „Bardahl 5W30“ alyvą jis siekia 41,7 °C. Naudojant alyvos priedą vidutinis temperatūros skirtumas sumažėjo 14 % iki 35,8 °C. Iš gautų rezultatų galima spręsti, kad alyvos priedas efektyviai mažina trintį tarp paviršių.
5. Atlikus alyvos tribologinius tyrimus Timkeno ir keturių rutulių alyvos tyrimo stendais nustatyta, kad abiem metodais galima objektyviai vertinti alyvos tribologines savybes. Dėl metodų skirtumo skiriasi nudilimo pėdsako dydis ir forma, bet nustatytos tendencijos yra panašios. Atlikus bandymus abiem tyrimo metodais, rezultatų variacijos koeficientas neviršijo 10 %. Tai parodo, kad abiem tyrimo metodais gauti rezultatai yra nuoseklūs bei patikimi.

Literatūros sąrašas

1. Variklių ir tepimo priemonių pagrindiniai rodikliai [žiūrėta 2018-11-10]. Prieiga per internetą:
2. Variklio tepimo priemonės ir pagrindiniai alyvų rodikliai [žiūrėta 2018.11.15]. Prieiga per internetą <http://motofocus.lt/technika/721,variklio-tepimo-priemones-ir-pagrindiniai-alyvu-rodikliai>
3. Alyvos charakteristikos [žiūrėta 2018-10-15]. Prieiga per internetą: http://petrowiki.org/Oil_fluid_characteristics
4. Basic oil. [žiūrėta 2018-10.16]. Prieiga per internetą: <http://www.api.org/~media/files/certification/engine-oil-diesel/publications/anne-rev-03-25-15.pdf>
5. Base oil groups. [žiūrėta 2018-05-20]. Prieiga per internetą <https://www.machinerylubrication.com/Read/29113/base-oil-groups>
6. Lubricant additives. [žiūrėta 2018-05-20]. Prieiga per internetą: <https://www.oronite.com/products/lubricant.asp>
7. Oil additive . [žiūrėta 2018-05-29]. Prieiga per internetą: https://books.google.lt/books?id=buwQ8a2RCUcC&lpg=PA20&ots=K3v2BPcfMP&dq=whale+oil+dexron&pg=PA20&redir_esc=y#v=onepage&q=whale%20oil%20dexron&f=false
8. Lubricant oil additives [žiūrėta 2018-05-20] Šaltinis: TIANHUI, Ren; QUNJI, Xue; HANQING, Wang. A Study of S-(1H-benzotriazol-1-yl) methyl N, N-dialkyldithiocarbamates as Novel Multifunctional Oil Additives. *Wear*, 1994, 172.1: 59-64.
9. Falex fourl – ball wear test machine. [žiūrėta 2018-05-20]. Prieiga per internetą: <http://www.bluesphere.be/images/sites/114/editor/files/FourBallWear.pdf>
10. PADGURSKAS, Juozas, et al. Antiwear properties of lard methyl esters and rapeseed oil with commercial ashless additives. *Mechanics*, 2008, 70.2: 67-72.
11. DONGARE, A. D.; VIKHE PATIL, G. J. The Standard Test Method for Measurement of Extreme Pressure Properties of Various Lubricating oils by Using Four Ball Extreme Pressure oil Testing Machine. *International Journal of Engineering Research And Development E-Issn*, 2012, 06-
12. MURARO, Marco Antonio, et al. The influence of contact stress distribution and specific film thickness on the wear of spur gears during pitting tests. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 2012, 34.2: 135-144.
13. Falex Timken test machine [žiūrėta 2018-05-20]. Prieiga per internetą: <http://www.falex.com/wp-content/uploads/2016/12/FalexTimken.pdf>
14. SCHUBERT, A., et al. Manufacturing of surface microstructures for improved tribological efficiency of powertrain components and forming tools. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2011, 4.2: 200-207.
15. Lubricant testing. [žiūrėta 2018-11-20]. Prieiga per internetą: <http://www.klueber.co.kr/index/images/pdf/Lubricant-testing.pdf>

16. RIGO, Jürgen; KOVAČÓCY, Pavel. Problems with Tribological Testings of Marketable Oils Using Laboratory Model Test Rigs. Research Papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology, 2018, 26.42: 35-46.
17. SEYFERT, Christian. Tribometers, Rotational, for Sliding Wear and Friction. In: Encyclopedia of Lubricants and Lubrication. Springer Berlin Heidelberg, 2014. p. 2138-2155.
18. Almen – Wieland tribometer [žiūrėta 2018-12-01]. Prieiga per internetą: https://www.tu-chemnitz.de/projekt/alf/inhalt/ausstattung/tribologie_pruefstand_almen_wieland_tribometer.pdf
19. Pin & Vee Block Test Machine. [žiūrėta 2018-12-01]. Prieiga per internetą <http://www.falex.com/wp-content/uploads/2016/12/FalexPinVeeBlock.pdf>
20. NADKARNI, R. A.; NADKARNI, R. A. Guide to ASTM test methods for the analysis of petroleum products and lubricants. West Conshohocken: ASTM International, 2007.
21. Schmierstoff-Prüfgerät nach Brugger (DIN 51347). [žiūrėta 2018-12-01]. Prieiga per internetą https://www.tu-chemnitz.de/projekt/alf/inhalt/ausstattung/tribologie_pruefstand_brugger_schmierstoff_pr%C3%BCfger%C3%A4t.pdf
22. Duomenų sklaidos analizė. [žiūrėta 2018-12.02]. Prieiga per internetą <https://www.spssanalize.lt/duomenu-sklaidos-charakteristikos/>
23. Automobilinės alyvos. [Žiūrėta 2018.11.12]. Prieiga per internetą. <http://www.alyva.lt/automobiliams>
24. Rolling Friction Torque in Ball-Race Contacts Operating in Mixed Lubrication Conditions. [žiūrėta 2018-12.16]. Prieiga per internetą <https://www.mdpi.com/2075-4442/3/2/222/htm>
25. DULEVIČIUS, J.; ŽILIUKAS, P. Mašinų elementai: skaičiavimas ir konstravimas. Kaunas: Technologija, 2000, 121-149.
26. SERAPINAS, Vytautas. Tribologiniai procesai kinematinėse porose. Kaunas: Technologija, 1999.