

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS

AUTOMOBILIŲ TRANSPORTO KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

Saugirdas Pukalskas

(Vardas, pavardė)

2016-05-23

(Data)

Gintaras Valeika

**ŽEMĖS ŪKIO MAŠINOSE NAUDOJAMŲ VARIKLINIŲ ALYVŲ
EKSPLOATACINIŲ SAVYBIŲ TYRIMAS**

**THE RESEARCH OF MOTOR OIL', PERFORMANCE PARAMETERS, USED
IN AGRICULTURAL MACHINERY**

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621E20003

Automobilių transporto inžinerijos specializacija

Sausumos transporto inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

Docentas
dr. Jonas Matijošius

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Lietuvių kalbos konsultantas

lekt. A. Petraitienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

(Parašas)

(Data)

2016-05-10

Vilnius, 2016

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
AUTOMOBILIŲ TRANSPORTO KATEDRA

Transporto inžinerijos studijų kryptis

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621E20003

Transporto inžinerijos vadybos specializacija

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)
prof. dr. Saigirdas Pukalskas

(Vardas, pavardė)

2016-04-25

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO

UŽDUOTIS

2015-10-20 Nr. 08

Vilnius

Studentui (ei)

Gintarui Valeikai

Baigiamojo darbo tema: Žemės ūkio mašinose naudojamų variklinių alyvų eksploatacinių savybių tyrimas

2015 m. spalio 20 d. dekanų potvarkiu Nr. 329 ti

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2016 m. gegužės 23 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

1. Įvadas. Mokslinės problemos suformavimas, praktinės naudos išryškinimas, darbo objekto nustatymas, tikslo bei uždavinių suformulavimas.
2. Žemės ūkio mašinose naudojamų variklinių alyvų eksploatacinių savybių literatūros analizė.
3. Tyrimų metodikos suformulavimas ir patvirtinimas.
4. Eksperimentinis variklinių alyvų eksploatacinių savybių nustatymas ir rezultatų analizė.
5. Alyvos būvio ciklo vertinimas ekologiniu ir ekonominiu požiūriu.
6. Išvadų bei pasiūlymų formavimas.
7. Dalyvavimas konferencijoje, skaitant pranešimą baigiamojo darbo tema.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vadovas

(Parašas)

doc.dr. Jonas Matijošius..

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

(Parašas)

Gintaras Valeika

(Vardas, pavardė)

2015 lapkričio 25 d.

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Transporto inžinerijos fakultetas
Automobilių transporto katedra

ISBN ISSN
Egz. sk.
Data-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Transporto inžinerijos** programos magistro baigiamasis darbas

Pavadinimas **Žemės ūkio mašinose naudojamų variklinių alyvų eksploatacinių savybių tyrimas**

Autorius **Gintaras Valeika**

Vadovas **Jonas Matijošius**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame darbe išnagrinėtas variklinių alyvų eksploatacinių savybių pokytis dirbant tiek su naujos, tiek su senos konstrukcijos traktoriais. Darbe atlikta literatūros apžvalga, sudaryta tyrimų metodika. Atlikti tyrimai: alyvos klampios, gaisrinių savybių ir tankio kitimas, alyvos užterštumas ir senėjimas, alyvų priedai ir jų išsieikvojimas, dilimo produktai ir alyvos teršalai. Atliktas gautų tyrimo rezultatų statistinių duomenų apdorojimas (koreliacijos koeficiento skaičiavimai) ir alyvos būvio ciklo vertinimas. Pateiktos bendrosios išvados.

Darbą sudaro 6 dalys: įvadas, literatūra nagrinėjama tematika, tyrimų metodika, tyrimų analizė, alyvos būvio ciklo vertinimas, bendrosios išvados

Darbo apimtis – 81p. teksto be priedų, 47 paveikslai, 9 lentelės, 40 literatūros šaltinių. Pridedami 9 priedai.

Prasminiai žodžiai: variklinė alyva, eksploatacija, savybės, žemės ūkio mašinos, traktoriai, variklis, užterštumas, oksidacija, alyvų priedai, dilimo produktai.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Transport Engineering
Department of Automobile Transport

ISBN _____ ISSN _____
Copies No.
Date-.....-.....

Master Degree Studies **Transport Engineering** study programme Master Graduation Thesis

Title **The research of motor oil', performance parameters, used in agricultural machinery**

Author **Gintaras Valeika**

Academic supervisor **Jonas Matijošius**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

There was analysed the variation of motor oil exploitation features working with both, new and old designed tractors at this graduation thesis. The work involves literature review and research methodology. The researches are made on the changes of viscosity, inflammability and density of oil, oil impurity and senescence, oil additives and their evaporation, friction products and oil contaminants. The work presents statistical data processing of the research results (correlative coefficient calculations) and estimation of oil state cycle. The work also states common conclusions.

The works consists of 6 paths: introduction, relevant literature, research methodology, research results analyses, oil state cycle estimation, common conclusions.

Volume of the thesis – 81 pages of the text without annexes, 47 pictures, 9 tables, 40 literature sources. Added 9 annexes.

Keywords: motor oil, exploitation, features, agriculture machinery, tractor, engine, impurity, oxidation, oil additives, friction products.

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Gintaras Valeika, 20102866

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Transporto inžinerijos fakultetas

(Fakultetas)

Transporto inžinerija, ATfm-14

(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)

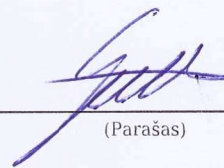
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2016 m. gegužės 10 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Žemės ūkio mašinose naudojamų variklinių alyvų eksploatacinių savybių tyrimas“ patvirtintas 2015 m. spalio 20 d. dekanų potvarkiu Nr. 329ti, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Mano darbo vadovas doc. dr. Jonas Matijošius.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).



(Parašas)

Gintaras Valeika

(Vardas ir pavardė)

TURINYS

ĮVADAS	12
1. LITERATŪRA NAGRINĖJAMA TEMATIKA	13
1.1. Kietųjų dalelių įtaka alyvos kokybei	14
1.2. Alyvos rodiklių įtaka variklio darbo resursui	20
1.3. Alyvos kokybės įtaka ekologiniams variklių rodikliams	24
1.4. Variklinės alyvos priedų įtaka kokybiniams rodikliams	30
1.5. 1 skyriaus išvados	33
2. TYRIMŲ METODIKA	34
2.1. Mėginių ėmimo sąlygos	34
2.2. Naudojami traktoriai	35
2.3. Tyrimų įranga	36
2.3.1. alyvų tyrimai	36
2.3.2. Atliekamų tyrimų metodika	37
2.3.2.1. Kinematinės klampos nustatymo metodika	37
2.3.2.2. Plūpsnio temperatūros nustatymo metodika	38
2.3.2.3. Alyvos užterštumo nustatymo metodika	38
2.3.2.4. Alyvos būklės kitimo nustatymo metodika	39
2.3.2.5. Metalų kiekio nustatymo metodika	40
2.3.2.6. Feromagnetinių dalelių indekso nustatymas	41
2.3.2.7. Statistinių duomenų apdorojimo metodika	42
2.4. Naudotos alyvos	43
2.5. Alyvos priedų ir dilimo produktų nustatymo metodika	44
2.6. 2 skyriaus išvados	45
3. TYRIMŲ ANALIZĖ	46
3.1. Alyvos klampumo, gaisrinių savybių ir tankio kitimas	46
3.2. Alyvos užterštumas ir senėjimas	52
3.3. Alyvų priedai ir jų išsieikvojimas	57
3.4. Dilimo produktai ir alyvos teršalai	63
3.5. 3 skyriaus išvados	73
4. ALYVOS BŪVIO CIKLO VERTINIMAS	75
4.1. Ekologinis vertinimas	75
4.2. Ekonominis vertinimas	78
4.3. 4 skyriaus išvados	80
BENDROSIOS IŠVADOS	81

LITERATŪRA	82
PRIEDAI	
1 priedas. Atominių emisinių spektrometro (AES) paklaidos.....	85
2 priedas. Tyrimų rezultatų skirstymas į analizuojamas grupes.....	86
3 priedas. Variklio dilimo pobūdžio klasifikavimas.....	87
4 priedas. Koreliacijos koeficiento reikšmių skalė.....	87
5 priedas. Techninės priežiūros komercinis pasiūlymas (<i>Dojus agro</i> , 2014-10-31).....	88
6 priedas. Pavojingų atliekų perdavimo – priėmimo aktas , nr. KNPA1603/84.....	89
7 priedas. Pavojingų atliekų lydraštis, nr. 36009200475-01.....	90
8 priedas. Publikacijos konferencijoje kopija (2015 metai).....	91
9 priedas. Publikacijos konferencijoje kopija (2016 metai).....	92

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1. pav. Klamos priklausomybė nuo suodžių koncentracijos, esant 40 °C	15
1.2. pav. Klamos priklausomybė nuo suodžių koncentracijos, esant 90 °C	15
1.3. pav. Kietųjų dalelių dydžio pasiskirstymas esant skirtingiems sūkiams	17
1.4. pav. Bendros kietųjų dalelių koncentracijos dydis esant vidutinei apkrovai (100 Nm)	18
1.5. pav. Bendros kietųjų dalelių koncentracijos dydis esant pilnai apkrovai	18
1.6. pav. Bandymo įrenginys	20
1.7. pav. Trinties koeficiento priklausomybė nuo apkrovos, naudojant skirtingas alyvas	21
1.8. pav. Trinties koeficiento priklausomybė nuo temperatūros, esant skirtingoms apkrovoms, naudojant naują 15W – 40 alyvą	22
1.9. pav. Žiedo ir cilindro svorio sumažėjimas naudojant skirtingas alyvas	22
1.10. pav. Dilimo dydžio ir trinties koeficiento priklausomybė naudojant skirtingas TMP koncentracijas	23
1.11. pav. Paviršiaus šiurkštumas, naudojant skirtingas TMP koncentracijas	23
1.12. pav. Mechaninių nuostolių priklausomybė naudojant skirtingas tiriamąsias alyvas	25
1.13. pav. Skirtingų metalų dilimo dydis tiriamosiose alyvose	26
1.14. pav. Suodžių koncentracijos tiriamosiose alyvose	26
1.15. pav. Vandens susidarymo alyvoje priklausomybė nuo įdirbio	27
1.16. pav. Plūpsnio temperatūros kitimas nuo alyvos įdirbio	27
1.17. pav. Oksidacijos laiko priklausomybė, naudojant skirtingus tiriamuosius skysčius	28
1.18. pav. Stingimo temperatūros naudojant skirtingus tiriamuosius skysčius	29
1.19. pav. Degalų sąnaudų priklausomybė nuo sūkių ir sukimo momento	31
1.20. pav. Trinties koeficiento matavimas	32
1.21. pav. Tyrimų rezultatai	32
2.1. pav. Mėginio ėmimo vieta (<i>John Deere 3640</i>)	34
2.2. pav. Vizkozimetrinės vonios veikimo schema	37
2.3. pav. <i>Clevelando</i> atviras tigelis	38
2.4. pav. Spektrofotometro veikimo schema	39
2.5. pav. FT spektrometro schema	39
2.6. pav. Atominio emisinio spektrometro veikimo schema	41
2.7. pav. Feromagnetinio masės spektrometro veikimo schema	27
3.1. pav. Kinematinės klamos priklausomybė nuo alyvos įdirbio esant 40 °C ir 100 °C	48
3.2. pav. Tankio ir kinematinės klamos indekso priklausomybė nuo alyvos įdirbio	50
3.3. pav. Plūpsnio temperatūros priklausomybė nuo alyvos įdirbio	51
3.4. pav. Alyvos užterštumo priklausomybė nuo alyvos įdirbio	53

3.5. pav. Alyvos oksidacijos, sulfatacijos ir nitrifikacijos priklausomybė nuo alyvos įdirbio.....	54
3.6. pav. Suodžių priklausomybė nuo alyvos įdirbio	55
3.7. pav. Kalcio, cinko ir fosforo koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio	58
3.8. pav. Magnio koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio	60
3.9. pav. Silicio koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio	61
3.10. pav. Švino ir natrio koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio	64
3.11. pav. Vario, chromo ir molibdeno koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (<i>John Deere 3640</i>)	66
3.12. pav. Vario ir aliuminio koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (<i>Valtra A92</i>)	66
3.13. pav. Aliuminio ir nikelio koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (<i>John Deere 3640</i>)	67
3.14. pav. Chromo, nikelio ir molibdeno koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (<i>Valtra A92</i>)	68
3.15. pav. Geležies koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio.....	70
3.16. pav. Feromagnetinių dalelių indekso priklausomybė nuo alyvos įdirbio.....	72
4.1. pav. Alyvos būvio ciklas	77
4.2. pav. Techninės priežiūros alyvos keitimo kaštų pasiskirtymas, proc įdirbio (<i>John Deere 3640</i>)	78
4.3. pav. Techninės priežiūros alyvos keitimo kaštų pasiskirtymas, proc (<i>Valtra A92</i>)	79

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1. lentelė. Variklio charakteristika.....	16
1.2. lentelė. Tiriamųjų alyvų specifikacijos.....	16
1.3. lentelė. Tyrimų metu naudotų alyvų specifikacijos.....	25
2.1. lentelė. Traktorių techninės charakteristikos.....	35
2.2. lentelė. Atliktų tyrimų metodika ir įrenginiai	36
2.3. lentelė. Tiriamų alyvų specifikacijos.....	43
2.4. lentelė. Alyvos priedų klasifikacija	44
2.5. lentelė. Dilimo produktų alyvoje klasifikacija	45
4.1 lentelė. SSGG alyvos analizė	75

Ivadas

Darbo problematika. Lietuvai tapus ES nare atsirado daug plėtros programų, kurios skatina ūkininkavimą, plėtrą ir modernizavimą, naudojant paramą. Viena iš tokios paramos priemonių yra „Parama investicijoms į žemės ūkio valdas“, kurios metu yra įsigyjama nauja žemės ūkio technika (NMA 2016).

Ūkiui siekiant būti konkurencingam rinkoje, turi būti nuolatos optimizuojamos darbų sąnaudos, nekenkiant žaliavos kokybei. Vienas iš tokių būdų galėtų būti naudojamos žemės ūkio technikos tinkamas priežiūros organizavimas, kad būtų užtikrintas jos efektyvus eksploatavimas ir ilgaamžiškumas. Tai užtikrinti galima naudojant kokiškas žaliavas (degalus, tepalus ir kitus eksploatacinius skysčius), laiku atliekant techninės priežiūros darbus.

Lietuva, kaip ir daugelis Rytų Europos šalių, alyvų gamintojų yra priskirtos vienam geografiniam regionui – Centrinei ir Rytų Europai, kurioje yra skirtingos klimatinės sąlygos. Žinoma, kad tai turi įtakos transporto priemonės eksploatacijai (aukštis, oro temperatūra, abrazyvinė aplinka), tai lemia skirtingus transporto priemonės darbo režimus, pvz., aukštikalnėse transporto priemonės agregatai bus apkrauti didesnėmis apkrovomis. Todėl yra svarbu sukonkretinti gamintojo siūlomus reikalavimus, siekiant mažinti transporto priemonės eksploatacijos kaštus.

Praktinė darbo nauda – naudojant tinkamą variklinę alyvą, galima pasiekti didesnį variklio darbo efektyvumą, didinti variklio darbo resursą, mažinti remonto kaštus ir laiką. Visa tai lemia atliekamo darbo našumą, ekologiją ir ekonominį naudingumą.

Darbo temos aktualumui atskleisti iškeliamas pagrindinis **tikslas** – kompleksiškai ištirti, kaip išseikvoja alyvų priedai ir keičiasi alyvos pagrindinės savybės eksploatuojant transporto priemonę Lietuvos klimatinėmis sąlygomis. Tikslui įgyvendinti formuluojami pagrindiniai **uždaviniai**:

1. Ištirti variklinių alyvų pagrindines eksploatacines savybes.
2. Įvertinti alyvų priedų įtaką kokybiniams alyvų rodikliams.
3. Įvertinti alyvos rodiklių įtaką variklio darbo resursui.

Šio tyrimo **objektas** yra variklinė alyva, skirta šiuolaikinėms žemės ūkio mašinoms.

1. Literatūra nagrinėjama tematika

Dyzeliniai varikliai yra plačiai taikomi transporto priemonėse dėl didesnės degalų sąnaudų ekonomijos, lyginant su benzininiais varikliais. Nepaisant šio privalumo, dyzeliniai varikliai kenčia nuo ekologinių trūkumų: didelio kiekio NO_x (azoto oksidų) išmetamosiose dujose ir kietųjų dalelių. Pagrindinis atmosferoje esančių NO_x šaltinis yra dyzeliniai varikliai. Priemonės, skirtos kontroliuoti NO_x emisiją, yra degalų įpurškimo kontrolė, cilindro degimo sąlygų kontrolė, išmetimo dujų recirkuliacija (EGR), dujų mišinio sudarymas. EGR yra viena iš labiausiai priimtinių technologijų, mažinant NO_x emisiją, tačiau NO_x mažinimas kartu padidina kietųjų dalelių susidarymą ir pablogina degimo charakteristiką (Rounds 1977).

Dyzelinio variklio alyvos užteršimas suodžiais yra pagrindinis faktorius, lemiantis padidėjusį variklio dėvėjimąsi. Suodžių sukeltas dėvėjimosi mechanizmas dar nėra iki galo suprastas ir reikalauja daugiau mokslinių tyrimų. Su suodžiais susijęs variklinės alyvos tirštėjimas yra pagrindinė sunkiajame transporte naudojamų dyzelinių variklių problema (Rounds 1977).

Tyrimais įrodyta, jog varikliai, kurie sukuria labai mažą kietųjų dalelių emisijos lygį, parodo didelį suodžių kiekį, kuris daro neigiamą įtaką tepimo rezultatams ir alyvos pasiskirstymui tepimo metu. Alyvos pasiskirstymas taip pat yra viena iš priežasčių, lemiančių variklio dėvėjimąsi. Vykstant cheminių alyvų savybių kitimui darbo metu, dėl suodžių kaupimosi tepimo sistema nebeatlieka savo funkcijos. Suodžiai alyvoje didina variklinės alyvos klampą, tai nulemia variklio tepimo sistemos sutrikimus, ypač sudėtingiausias vietas, tokias kaip cilindro sienelės tepimą (Rounds 1977).

Variklių dilimas yra viena iš opiausių problemų, sprendžiamų mechanikoje. Sunkiųjų dyzelinių variklių detalių gamybos technologija yra ilgą laiką gerinama, mažinant trintį ir dilimą. Daug metų laboratoriniais bandymais bandoma imituoti variklio darbą, taupant laiką ir išlaidas, taip išvengiant ilgai trunkančių bandymų eksploatuojant variklį. Dėl kintamų darbo sąlygų ir aplinkos bei įvairių kompleksinių cheminių ir mechaninių parametrų variklių bandymai yra sudėtingi ir gaunami rezultatai gali prieštarauti (Truhan, Kodali 2001).

Dauguma aprašytų laboratorinių variklių bandymų, kuriuose matuojama trintis ir dėvėjimasis, atliekami tepimui naudojant visiškai suformuluotas alyvas. Tačiau alyvos parametrai ir savybės kinta pagal įdirbio laiką, oksiduojasi, teršalai patenka iš išorės ir vidaus. Teršalai alyvoje ir jos kintamosios savybės turi įtakos trinčiai ir dėvėjimuisi (Blau 2001).

Atsižvelgiant į ekologiją, ateities alyvos privalo būti ekologiškos ir daryti minimalią žalą gamtai, atitikti kuo aukštesnius kokybės reikalavimus ir tepimo savybes bei turėti

perdirbimo galimybę. Norint kurti tokias alyvas, privaloma išsiaiškinti bazinių alyvų savybes. Šios savybės yra skirstomos į tris grupes: fizines, chemines ir absorbcinės plėvelės susidarymo (Jost 1966).

Analizuojant alyvų gamybos ir panaudojimo poveikį aplinkai ir ekologijos problemas, aiškiai matoma, kad alyvų pramonėje vyksta progresas, siekiant pailginti alyvų ilgaamžiškumą ir mažinti alyvų suirimo laiką. Gaminant alyvas, atitinkančias aukštesnius ekologinius reikalavimus, siekiant ekologinės naudos alternatyva yra matoma, gaminant alyvas iš sintetinių esterių ir augalų bei jų sėklų (pvz., palmių, sojų, rapsų). Siekiant padidinti ekologinį saugumą, privaloma diegti inovacijas naftos perdirbimo procese, kurios didintų technologinį lygį (Bartz 1998).

Pramonei įžengus į XXI amžių, alyvų gamintojams keliama vis aukštesni reikalavimai. Numatoma, kad keliama reikalavimai alyvoms paskatins pailginti alyvos naudojimo trukmę, didinti ekologiją ir pasiekti minimalų savybių kitimą. Dabartinės alyvos privalo atlaikyti dideles apkrovas, kintančius greičius, turėti kuo didesnį keitimo intervalą. Sąvoka „alyva užpildyta gyvenimu“ taikoma alyvoms, turinčioms visą priedų paketą. Naudojant įvairius alyvus priedus, pasiekiami ekologiniai, tepimo savybių ir emisijos reikalavimai alyvoms. Gaminant priedus, taip pat yra atsižvelgiama į ekologiją (kuo mažesnis toksiškumas, biologinis susiskaidymas, išteklių saugojimas) (Nagendramma, Kaul 2011).

Remdamasis autorių aprašytais problemomis, atliksiu literatūros apžvalgą šiais aspektais: kietųjų dalelių įtaka alyvos kokybei, alyvos rodiklių įtaka variklio dėvėjimuisi, alyvos kokybės įtaka ekologiniams rodikliams, alyvų priedų įtaka kokybiniais rodikliams.

1.1. Kietųjų dalelių įtaka alyvos kokybei

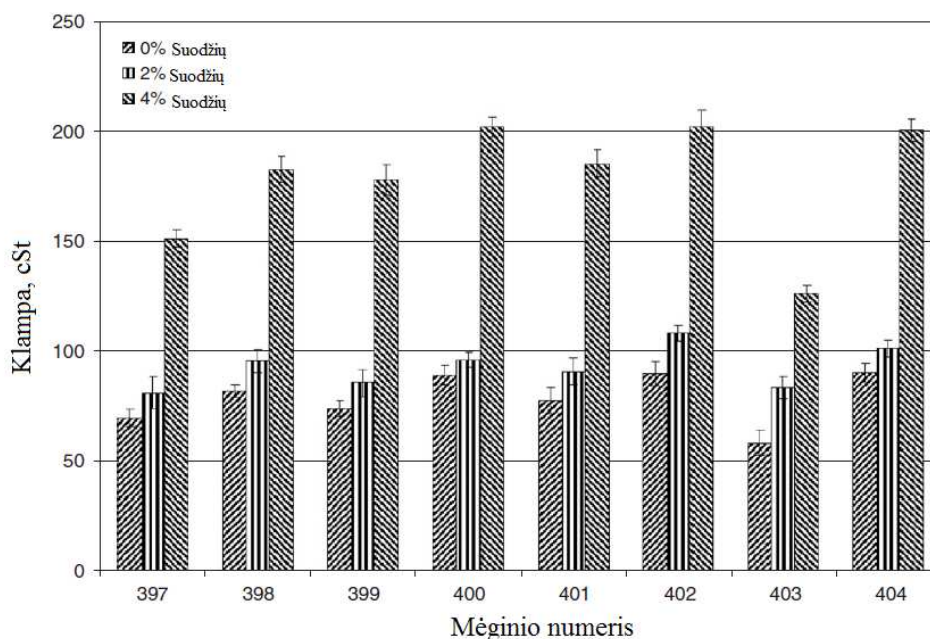
Viena iš aktualiausių tepimo problemų – tai susidarę suodžiai alyvoje degimo metu. Suodžių įtaką alyvos savybėms nagrinėjo mokslininkai Vakarų Virdžinijos universitete, jie tyrė, kaip suodžiai, patekę į dyzelinio variklio alyvos talpą veikia alyvos klampos savybes ir kokią įtaką daro variklio detalių nusidėvėjimui.

Autoriai teigia, kad sunkiajame transporte naudojamuose dyzeliniuose varikliuose dėl patekusių suodžių – alyva tirštėja. Ankstesniais tyrimais įrodyta, kad varikliai, kurie išskiria labai mažą kiekį kietųjų dalelių, kaupia didelį kiekį suodžių alyvoje. Suodžiai alyvoje daro įtaką variklio dėvėjimuisi (George *et al.* 2006).

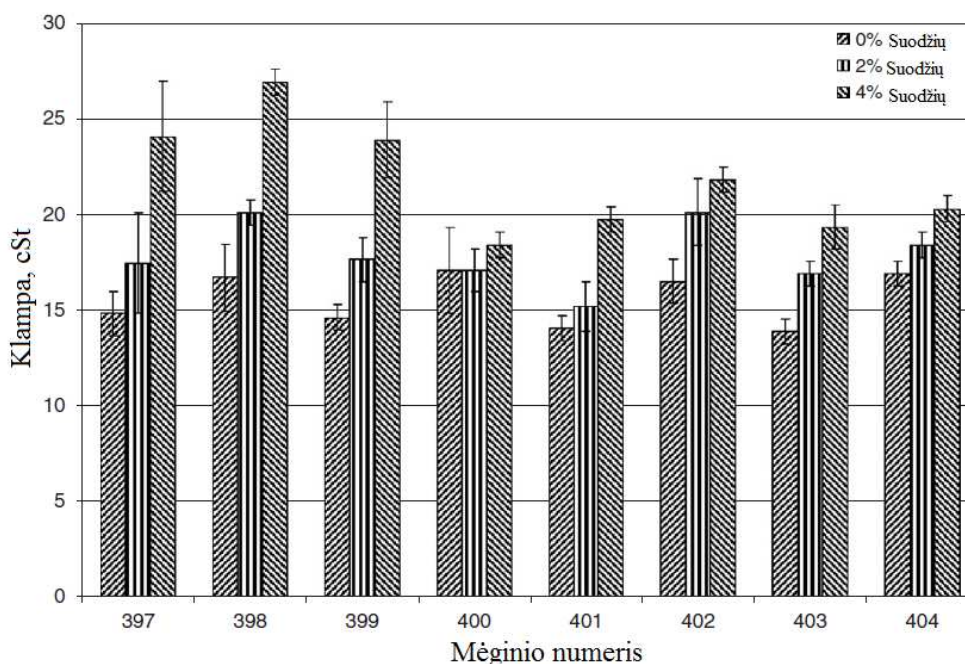
Atliekant bandymą suodžiai imti nuo *Caterpillar 3304* variklio išmetimo kolektoriaus sienelių. Suodžiai ir švari alyva sumaišomi specialiaje įrenginyje, kuris imituoja variklio

tepimo sistemos darbą. Bandymo metu tirtos 8 skirtingų gamintojų alyvos, į kiekvieną alyvą maišoma 2 % ir 4 % suodžių, iš viso sudaryti 24 tiriamos alyvos mėginiai.

Atlikę bandymą autoriai pastebi, jog alyvų klampa didėja nuo suodžių koncentracijos alyvoje, esant 40 °C temperatūrai ir 90 °C temperatūrai. Tiriant klampą esant 40 °C, esant 0 %, 2 % ir 4 % suodžių koncentrijai, klamos priklausomybė nuo suodžių koncentracijos yra nelinijinė (žr. 1.1. paveikslą), esant 90 °C temperatūrai, priklausomybė tampa linijine (žr. 1.2. paveikslą).



1.1. pav. Klamos priklausomybė nuo suodžių koncentracijos, esant 40 °C



1.2. pav. Klamos priklausomybė nuo suodžių koncentracijos, esant 90 °C

Kita svarbi problema – kietųjų dalelių emisijos priklausomybė nuo alyvos. Kinijos mokslininkai Dong, Shu, Liang (2012) atliko bandymą, siekdami nustatyti kietųjų dalelių pasiskirstymą, naudojant skirtingas alyvas dyzeliniame variklyje.

Tyrimui autoriai parinko dvi žinomų gamintojų alyvas, tyrimas lyginamojo pobūdžio. Bandymo metu naudotas tiesioginio įpurškimo dyzelinis variklis su turbininiu pripūtimu (charakteristika pateikta 1.1. lentelėje). Išmetimo sistemoje įmontuotas kietųjų dalelių spektrometras.

Tyrimui pasirinktos alyvos (specifikacijos pateiktos 1.2. lentelėje):

1. Kunlun API CF – 4 15W – 40;
2. Mobil API CI – 4 15W – 40.

1.1. lentelė. Variklio charakteristika

Cilindro skersmuo, mm	100
Eiga, mm	115
Darbinis tūris, L	3,612
Sūčiai (max), (aps./min)	2800
Galia (max), (kW)	93

Siekiant padidinti tyrimo tikslumą, į variklį pripilta naujos tiriamosios alyvos ir jis paleistas dirbti 2000 ap.s/min, esant 200 Nm apkrovai, 30 minučių ir 3200 aps/min esant 100 Nm apkrovai 30 minučių. Paskui vėl pakeičiama nauja tiriamoji alyva.

Bandymai atlikti keičiant variklio sūčius ir apkraunant skirtingomis apkrovomis. Pasirinktos apkrovos: vidutinė apkrova – 100 Nm ir maksimali apkrova. Sūčiai nustatyti ties: 1200 aps./min, 1600 aps./min, 2000 aps./min, 2400 aps./min, 2800 aps./min.

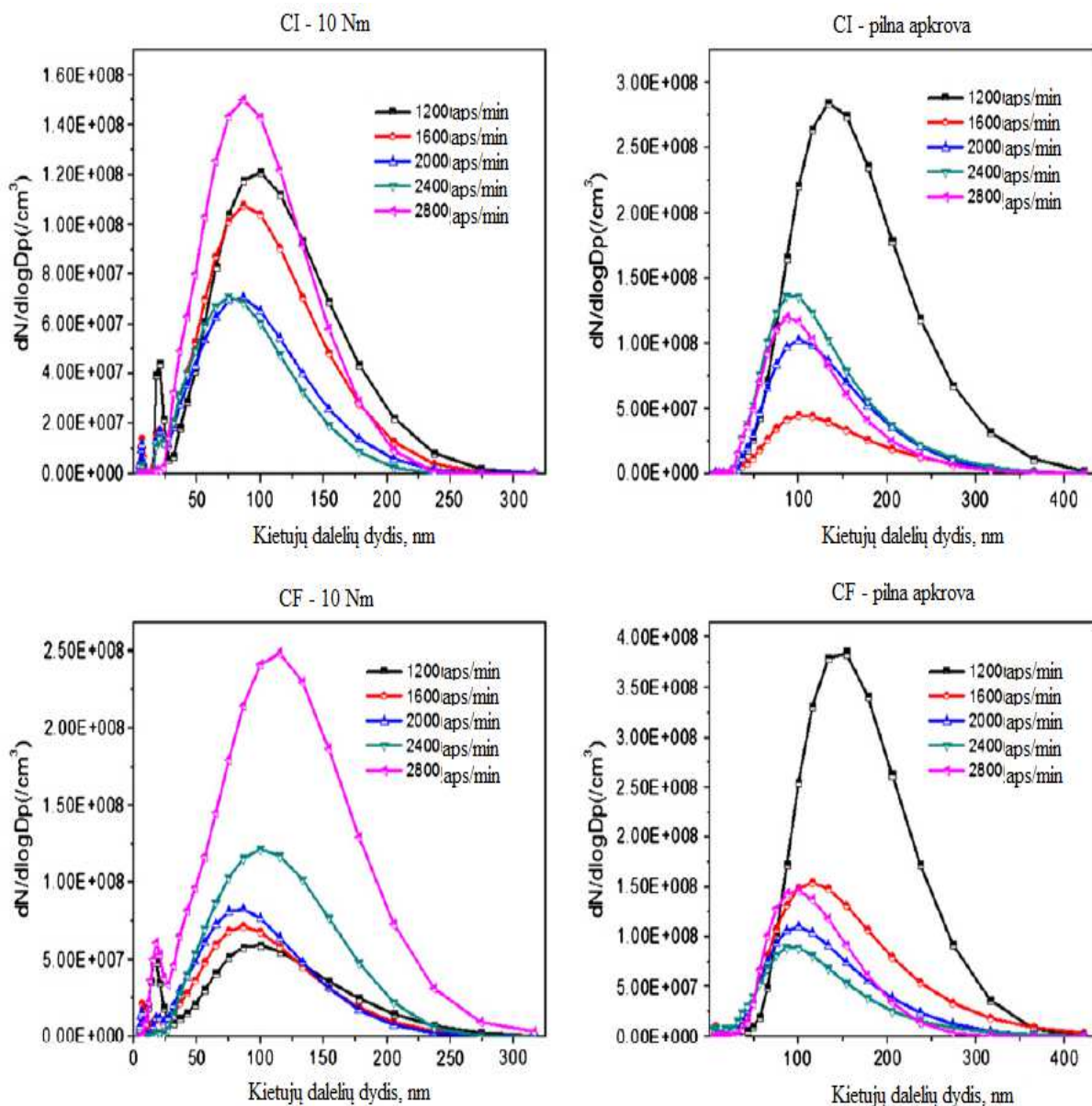
Šiuo tyrimu įrodyta, kad alyvų kokybės reikalavimai nulemia emisijai keliamus reikalavimus ir problemas.

1.2. lentelė. Tiriamųjų alyvų specifikacijos

Parametras	Mobil API CI – 4	Kunlun API CF – 4
SAE klampos indeksas	15W – 40	15W – 40
Kinematinė klampa esant 100 °C, mm ² /s	15,2	12,8
Klampos indeksas	136	161
Pliūpsnio temperatūra, °C	230	238

Autoriai pateikias išvadas. Tiriant kietųjų dalelių dydžio pasiskirstymą, esant skirtingoms apkrovoms ir sūkiams, naudojant API CI specifikaciją atitinkančią alyvą, kietosios dalelės visais atvejais susidarė mažesnės, nei naudojant API CF specifikaciją atitinkančią alyvą (žr. 1.3. paveikslą).

1.4. paveikslas parodo bendrą dalelių koncentraciją esant 100 Nm apkrovai, nustačius skirtingus greičius. Dalelių koncentracija skirtingais greičiais yra tokia pati, rezultatai labai skiriasi ties 2800 aps./min.

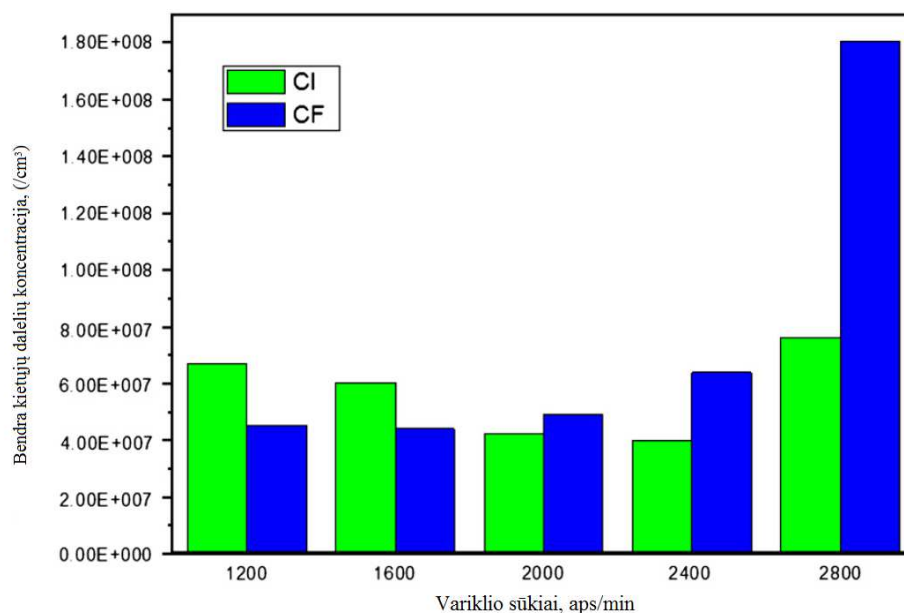


1.3. pav. Kietųjų dalelių dydžio pasiskirstymas esant skirtingiems sūkiams

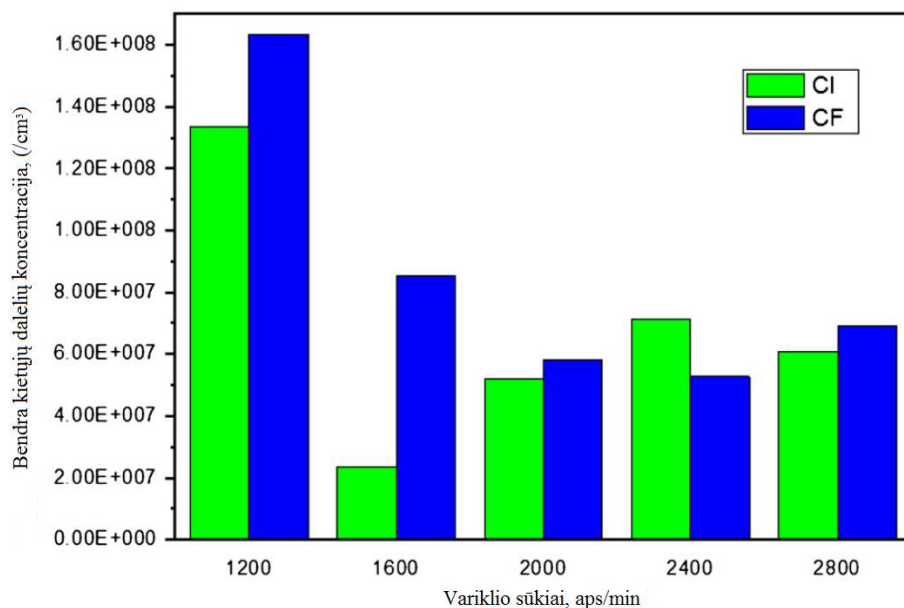
1.5. paveikslas parodo bendrą dalelių koncentraciją esant maksimaliai apkrovai, nustačius skirtingus greičius. Dalelių koncentracija yra beveik tokia pati, išskyrus esant 1200 aps/min ir 1600 aps/min.

Fizinės ir cheminės alyvos savybės daro įtaką kietųjų dalelių susidarymui ir jų kiekiui dyzelinio variklio emisijoje. Pagrindinis dalelių susidarymui įtakos turintis faktorius yra alyvos sąnaudos darbo metu. Sudegant alyvai degimo kameroje susidaro kietosios dalelės.

Tyrimo rezultatai esant vidutinei (100 Nm) apkrovai yra akivaizdesni, autorių nuomone, taip yra dėl to, kad esant tokiai apkrovai tepime dalyvauja didesnis alyvos kiekis.



1.4. pav. Bendros kietųjų dalelių koncentracijos dydis esant vidutinei apkrovai (100 Nm)



1.5. pav. Bendros kietųjų dalelių koncentracijos dydis esant pilnai apkrovai

Ontarije atliktas mokslinis bandymas, siekiant nustatyti kaip kinta alyvų tepimo savybės ir kokybė, patekus teršalams. Kokią įtaką tai daro variklio tepimo sistemai, kokie atsiranda gedimų rizikos faktoriai.

Bandymas atliktas, naudojant specialų optinį prietaisą, į kurį stacionariai įdėtas bandomasis objektas (nerūdijančio plieno viela, skersmuo 33μm), įrenginyje yra tekėjimo kanalas, kuris pripildytas tiriamosios alyvos ir apteka bandomąjį objektą (vielą) (Bordatchev, Aghayan, Yang 2013).

Atliekant bandymą, naudota švari ir užteršta alyva (SAE 5W – 30). Alyva užteršiama 1 %, 4 %, 7 % ir 10 % teršalų koncentracija. Naudojami teršalai: aušinimo skystis, benzinas, vanduo. Taip pat bandymas atliktas maišant komponentus skirtingomis dalimis (kiekviena dalis sudaro nuo 0 % iki 5 % visos koncentracijos).

Bandymo metu patvirtintas naujas būdas, kaip optiškai nustatyti alyvos charakteristikas. Autoriai pateikia tokias išvadas: alyvoje esančias priemaišas ir jų koncentracijas (aušinimo skysčio, benzino ir vandens) galima nustatyti pagal alyvos spalvos pokytį. Keičiant aušinimo skysčio koncentraciją alyvoje nuo 1 % iki 10 % spalvos skalės indeksas ΔC sumažėjo 46,3 %. Įmaišant į alyvą benzina, nepastebėta jokio spalvos pokyčio. Įmaišant vandenį 1 % – 10 % santykiu indeksas ΔC sumažėjo 23,65 %. Spalvos pokyčio indeksas ΔC nustatomas nuo pradinės švarios alyvos spalvos, sudarant atspalvių skalę.

Taip pat buvo vertinamas nevienalytis objekto pločio pokyčio koeficientas ΔW . Kintant priemaišų skysčių koncentracijai 1–10 % intervale, gauti tokie rezultatai: įmaišant aušinimo skystį ir benzina, koeficientas ΔW pakito 31 %, įmaišant vandenį – 11,7 %.

Autoriai teigia, kad atlikus šį bandymą, tokį tyrimo metodą galima taikyti realiais atvejais variklinės alyvos užterštumui nustatyti.

Nagrinėjant mokslinius straipsnius Kim *et al.* (2013), rastas unikalus bandymas. Naudojant elementų kompozicijos ir skiriamąją analizę, atskirti alyvas, naudojamą variklį ir automobilį. Bandymui atlikti pasirinktos šešios populiariausios benzininių ir dyzelinių variklių alyvos, naudojamos Korėjoje. Varikliuose naudoti tos pačios rūšies dyzeliniai ir benzininiai degalai ir LPG dujos. Bandymas atliktas naudojant 19 automobilių (6 – dyzeliniai, 2 – su dujų įranga, 11 – benzininių), automobilių pagaminimo metai svyravo nuo 1996 m. iki 2011 m. Iš viso paimti 76 alyvų mėginiai iš automobilių, esant skirtingiems intervalams. Mėginiai analizuoti indukcinio plazmos optinės emisijos spektrometru ir palyginti gauti statistiniai duomenys. Siekiant atlikti statistinę alyvų lyginamąją analizę pasirinkti du aspektai: 1) Nustatant alyvoje esančius priedų elementus (Ca, Zn, P); 2) variklyje esančių detalių dilimo produktus (Ag, Al, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mo, Na, Ni, Pb, Sn). Remiantis

gautais statistiniais duomenimis ir pasirinkto mėginio faktine sudėtimi atlikti spėjimai, siekiant nustatyti: a) naudotą alyvą, b) variklio tipą, c) automobilį.

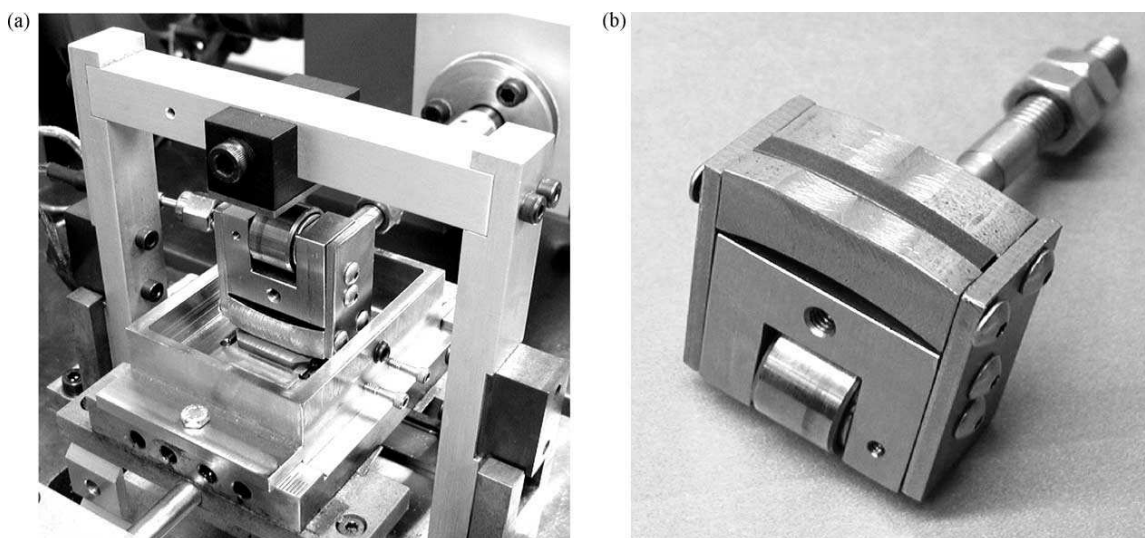
Pateiktos išvados gautos daug tikslesnės, nei tikėtasi. Spėjant, kokia alyva naudota, spėjimai pasitvirtino 92,1 %, nustatant variklio tipą – 82,9 %, spėjant, koks automobilis – 92,1 %. Pasak mokslininkų, elementų analizė alyvose yra tinkama praktiniam, analitiniam metodui siekiant nustatyti alyvos rūšį. Rezultatai rodo, kad kiekvienos alyvos priedų sudėtis yra skirtinga, pagal kurią nesunku nustatyti alyvos gamintoją. Be to, tiriant Ca, Zn, P sudėtį alyvose, tiegiama, jog tai yra pagrindinis informacijos šaltinis sudarant statistinę metodiką.

Autoriai pastebi, kad dilimo produktų pėdsakai kiekviename automobilyje yra skirtingi (skiriasi jų kiekis ir metalų rūšys).

Mokslininkai pabrėžia: tyrimas atliktas eksperimentiniais tikslais, norint jį pritaikyti gamyboje, privaloma atlikti daugiau panašių bandymų, taikyti skirtingus metodus, kad būtų pasiektas didesnis tikslumas ir kokybė.

1.2. Alyvos rodiklių įtaka variklio darbo resursui

Nagrinėjant variklio dėvėjimosi problemą, Oukridžo mokslininkai Truhan, Qu, Blau (2005) atliko išskirtinį bandymą, siekdami nustatyti ir įvertinti sunkiajame transporte naudojamų dyzelinių variklių stūmoklio žiedų ir cilindro trintį ir nusidėvėjimą. Imituojant tepimą ir stūmoklio žiedų darbą, specialiu standu.



1.6. pav. Bandymo įrenginys: a) bendras bandymo įrenginio vaizdas; b) įrenginio žiedo laikiklis

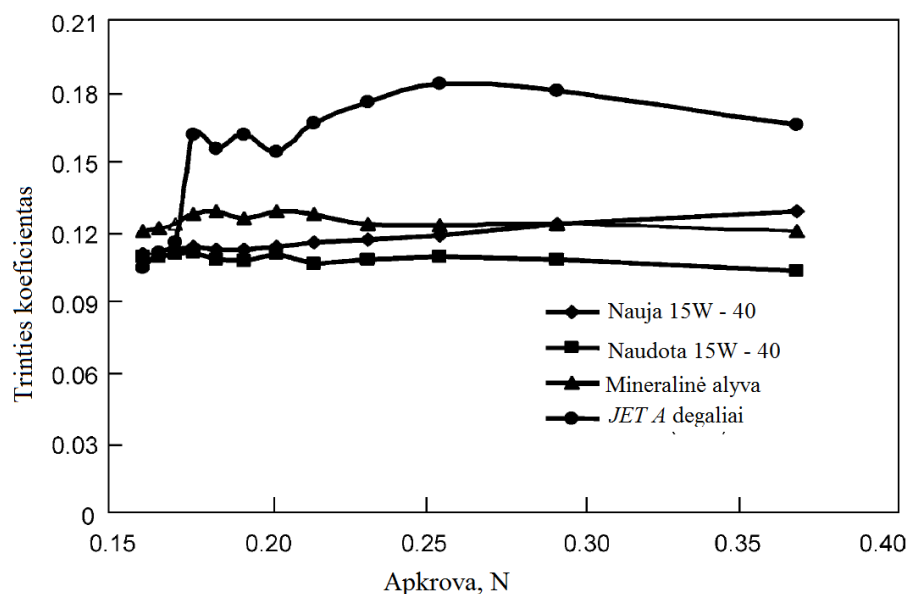
Bandymas atliktas taikant naujus metodus. Stūmoklio žiedai buvo testuojami imant skirtingus pilkojo ketaus lydinius, naudojamus cilindro gamybai. Taip pat naudojamos įvairios alyvos ir kiti techniniai skysčiai: *JET A* aviaciniai degalai, mineralinė alyva, nauja ir

naudota sunkiajam transportui skirta alyva, SAE 15W – 40, siekiant nustatyti alyvos įtaką tepimo sąlygoms. Bandymo metu alyvos temperatūra kito nuo 25 °C iki 100 °C. Nusidėvėjimo testas atliktas su naujais žiedais, esant 240 N apkrovai, stendui veikiant 6 valandas (žr. 1.6. paveikslą), alyvos temperatūrai esant 100 °C, siekiant nustatyti žiedo masės kitimą, nusidėvėjimo dydį ir gylį.

Bandymo rezultatai ir išvados:

a) Bandymo metu visos alyvos buvo kaitintos iki 100 °C išskyrus *JET A* degalai 30 °C (žr 1.7. paveikslą). Rezultatai rodo, kad esant tokioms sąlygoms, visais atvejais vyksta ribinė trintis. *JET A* degalai bandymo metu buvo mažiausios klampos ir parodė didžiausią trinties koeficientą. Esant apkrovai, tepant mineraline alyva, trinties koeficientas mažesnis, nei naujos 15W – 40 alyvos. Tai yra dėl to, kad mineralinė alyva sudaro tvirtesnę absorbcinę plėvelę. Mažiausią trinties koeficientą parodė naudota 15W – 40 alyva, autoriai mano, tai yra dėl to, kad naudota alyva turi ilgą polimerų grandinę, kuri suteikia alyvai klampos savybių. Kita priežastis gali būti tai, kad alyvos klampos savybėms įtakos gali turėti degalai, patekę į alyvą.

Bandymo metu visos alyvos buvo 100 °C išskyrus *JET A* degalai 30 °C. Visos alyvos parodė ribinį tepimą.

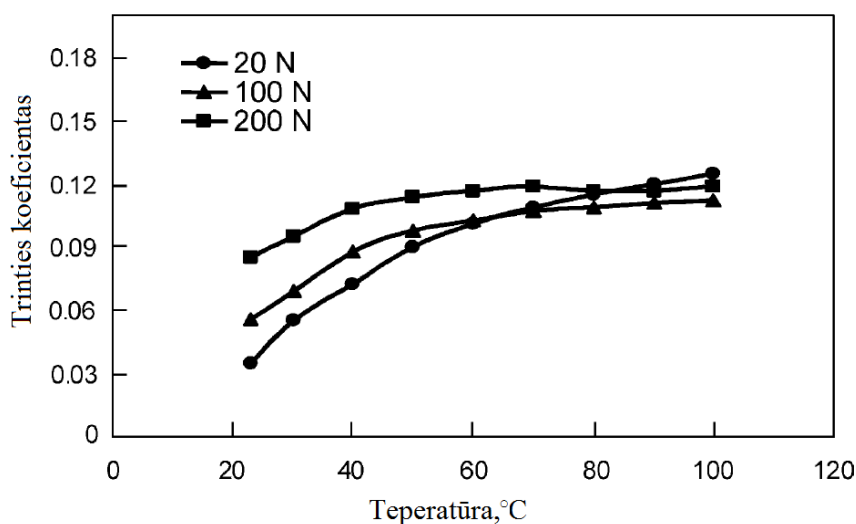


1.7. pav. Trinties koeficiento priklausomybė nuo apkrovos, naudojant skirtingas alyvas

b) Nustatyta trinties koeficiento priklausomybė nuo temperatūros, esant skirtingai apkrovai, tiriant naują 15W – 40 alyvą (žr. 1.8. paveikslą). Autoriai Truhan, Qu, Blau (2005) rašo, jog trinties koeficientas 60 °C – 100 °C intervale keičiant apkrovą kito nežymiai. Žymus trinties koeficiento didėjimas nuo 20 °C iki 60 °C temperatūros. Tiriant mineralinę alyvą ir naudotą 15W – 40, rezultatai beveik tokie patys, bet mineralinės alyvos nežymiai mažesnis

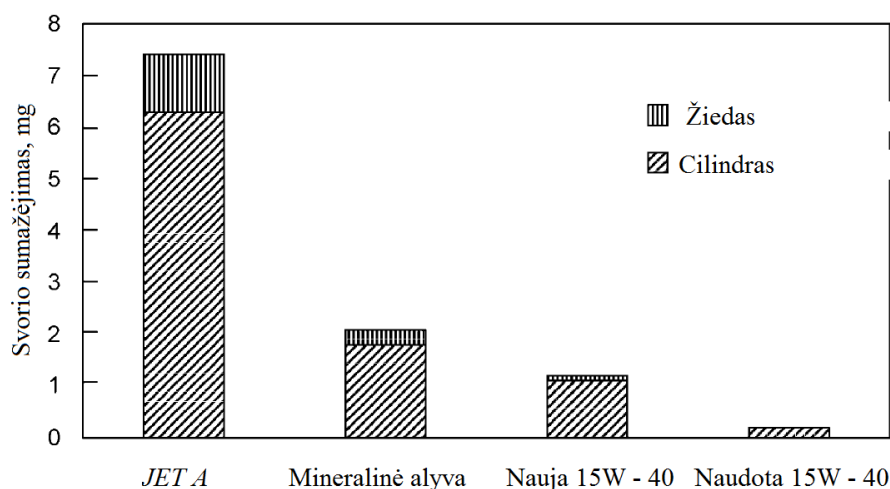
trinties koeficientas už naudotos 15W – 40. Autoriai mano, jog, tokie bandymų rezultatai gauti, nes mineralinė alyva sudaro stipresnę absorbcinę plevelę. Taip pat naudota alyva parodė didesnę priklausomybę nuo temperatūros.

c) Autoriai teigia, jog atliekant bandymus su kiekvienu bandiniu buvo naudojami naujas žiedas ir cilindras. Atlikus bandymus, buvo lyginami naujų detalių ir detalių po bandymo svoriai (žr. 1.9. paveikslą). Matyti, jog detalės daugiausia nusidėvėjo naudojant *JET A* aviacinius degalus, mažiausiai naudojant naudotą alyvą 15W – 40, kaip ir autoriai tikėjosi, nes anksčiau atliktuose bandymuose naudota alyva parodė mažiausią trinties koeficientą.



1.8. pav. Trinties koeficiento priklausomybė nuo temperatūros, esant skirtingoms apkrovoms, naudojant naują 15W – 40 alyvą

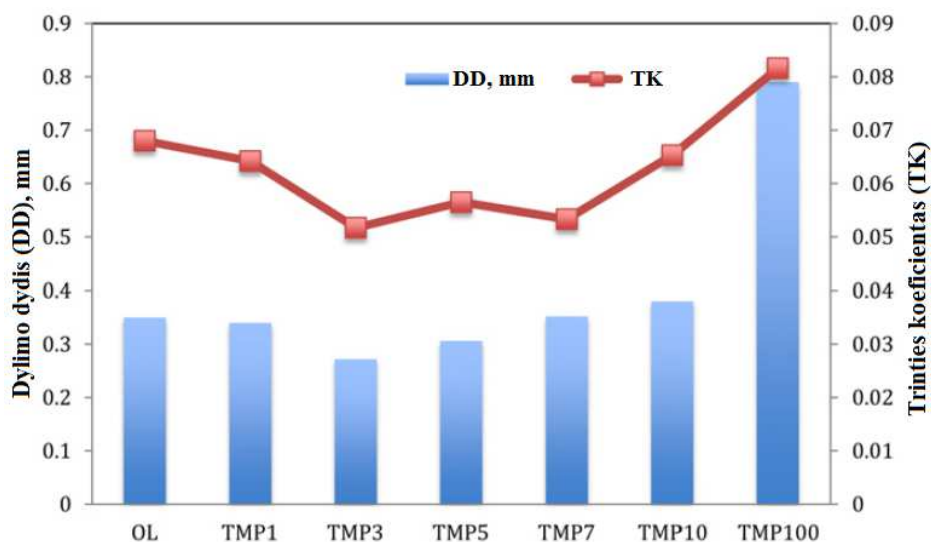
Cilindras nusidėvėjo daug daugiau nei žiedas, daroma prielaida, taip yra dėl mažesnio kontakto paviršiaus ir detalių skirtingų kietumų (cilindro įanglintas plienas minkštesnis už žiedą, padengtą chromu).



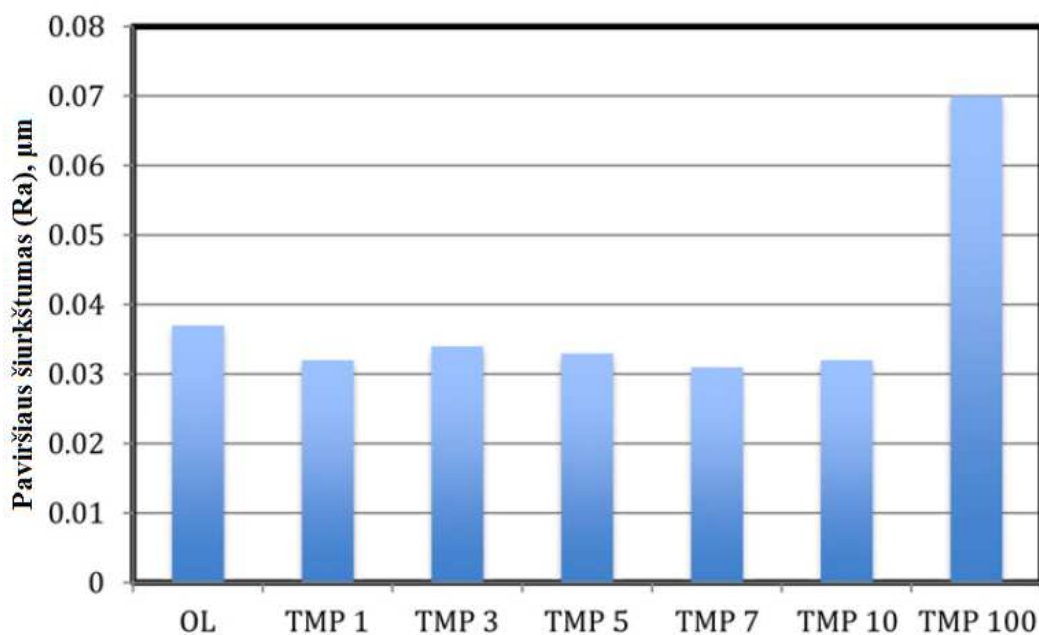
1.9. pav. Žiedo ir cilindro svorio sumažėjimas naudojant skirtingas alyvas

Atlikus bandymus, pastebėta, kad detalių nusidėvėjimas, naudojant stendą, daug didesnis, nei realiomis sąlygomis variklyje.

Malaizijos mokslininkai Zulkifli *et al.* (2013) tyrė įprastą alyvą ir alyvą, sumaišytą su palmių aliejaus trimetilolpropano esteriu (TMP), siekiant nustatyti trinties dydį. Tyrimai atlikti, naudojant alyvos mišinius esant skirtingoms TMP koncentracijoms (0 %, 3 %, 5 %, 7 %, 10 %, 15 %, 20 %, 100 %). Eksperimentui atlikti naudota keturių rutulių trinties mašina, apkrova – 220 kg.



1.10. pav. Dilimo dydžio ir trinties koeficiento priklausomybė naudojant skirtingas TMP koncentracijas



1.11. pav. Paviršiaus šiurkštumas, naudojant skirtingas TMP koncentracijas

Autoriai pateikia bandymo išvadas:

- Į įprastą mineralinę alyvą įmaišius TMP, sumažėja dilimo dydis ir trinties koeficientas.
- Esant TMP koncentracijai alyvoje 3 % – nustatomas mažiausias dilimo dydis (0,28 mm) (žr. 1.10. paveikslą).
- Esant TMP koncentracijai alyvoje 7 %, nustatomas mažiausias trinties koeficientas (0,52) (žr. 1.10. paveikslą) ir paviršiaus šiurkštumas – 0,031 μm (žr. 1.11. paveikslą).
- Naudojant TMP be alyvos (100 % koncentracija), dilimo dydis ir trinties koeficientas smarkiai išauga.
- Norint naudoti TMP priedą variklinėje alyvoje, reikia nustatyti ir įvertinti oksidacines, termines ir klampos savybes.

Ankstesnės atliktos mokslinės analizės nagrinėjant klasikinę literatūrą ir praktinių bandymų rezultatus, rodo, jog literatūroje nurodomas etaloninės alyvos absorbcinės plėvelės storis 2,5 μm . Atliekant tyrimus, nustatyta, kad dabartinis plėvelės storis svyruoja 0,5 μ – 1,0 μ intervale. Toks progresas atsirado dėl gerėjančios detalių paviršiaus apdirbimo technologijos ir progresuojančio alyvų kokybės rodiklių gerinimo (Priest, Taylor 1998).

Analizuojant vidaus degimo variklių mazgų darbą ir jų būklės kitimą, mokslininkai Ruddy, Dowson, Economou (1992) pateikia išvadą, kad stūmoklių žiedai yra labiausiai komplikotos variklio detalės. Žiedą veikia kintamosios apkrovos, temperatūros ir greičiai. Žiedui kontaktuojant su cilindru, įvairiais ciklo etapais vyksta ribinė, mišri ir tepamoji trintis. Dažniausiai mažiausias plėvelės storis susidaro, stūmokliui esant viršutiniame rimties taške.

Mokslininkas Booker (1998), nagrinėdamas vidaus degimo variklyje esančius slydimo guolius, pastebi, kad tinkamai tepami slydimo guolių įdėklai išdirba gamintojo numatytą įdirbį. Autorius teigia, kad padidėjęs įdėklų dilimas gali atsirasti dėl nežymios, sunkiai pastebimos ir nustatomos alkūninio veleno deformacijos, taip pat ant tepimo sistemos sienelių prilipus suodžiams, prastėja alyvos prieinamumas iki tepimo vietų.

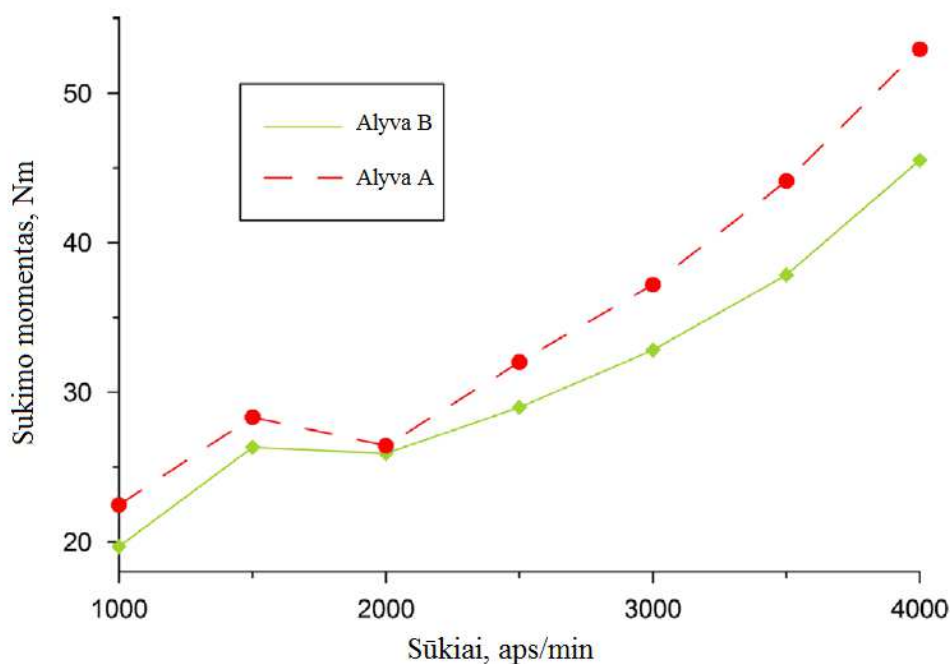
1. 3. Alyvos kokybės įtaka ekologiniams variklių rodikliams

Svarbiausia šių dienų aktualija – ekologija. Nagrinėdama ekologijos problemas, Valencijos politechnikos universiteto mokslininkų grupė Macian *et al.* (2014) atliko tyrimą, kurio tikslas – įvertinti ir nustatyti variklio emisiją, mechaninius nuostolius ir degalų sąnaudas, naudojant skirtingos klampos alyvas su tokiu pačiu priedų paketu, esant įvairioms sąlygoms.

Autoriai atliko bandymą pasirinkdami tiriamąsias alyvas pagal SAE klampos indeksą 5W – 20, 5W – 30 ir 15W – 40 (specifikacijos pateiktos 1.3. lentelėje). Visos alyvos parinktos

su tokiu pačiu veikliųjų priedų paketu. Bandymas atliktas naudojant *Dyno* stendą, montuojant variklį stende, modeliuojant variklio darbą ir sąlygas, eksploatuojant automobilį realiomis sąlygomis kelyje.

Atlikus bandymą, padarytos išvados, kad žymus emisijos ir degalų snaudų sumažėjimas atsiranda variklį eksploatuojant maža apkrova (miesto sąlygomis). Tačiau eksploatuojant variklį didesne nei 50 % apkrova (nuo leidžiamosios, nurodytos gamintojo), padidėja bazinės degalų sąnaudos (g/kWh). Taip pat naudojant mažos klampos alyvas – mažesni mechaniniai nuostoliai eksploatuojant variklį visomis sąlygomis. Mechaninių nuostolių priklausomybė, naudojant skirtingas alyvas, pateikta 1.12. paveiksle.



1.12. pav. Mechaninių nuostolių priklausomybė naudojant skirtingas tiriamąsias alyvas

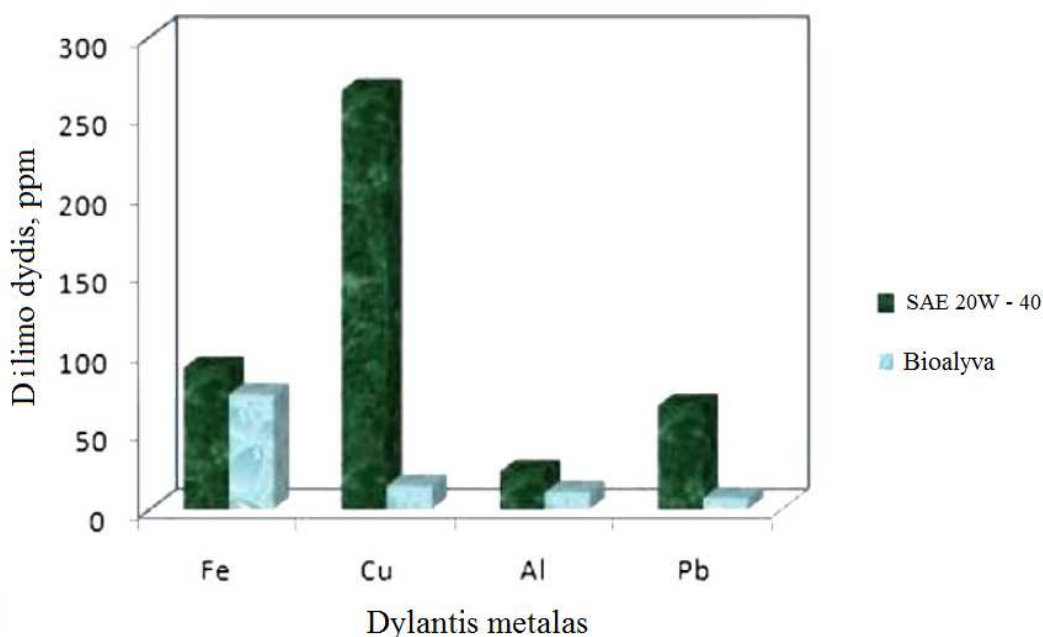
1.3. lentelė. Tyrimų metu naudotų alyvų specifikacijos

Parametras	Alyva A	Alyva B	Alyva C
SAE klampos indeksas	5W – 30	5W – 20	15W – 40
API žymėjimas	API G – III	API G – III	API G – I
Kinematinė klampa esant 40 °C, cSt	53	45	107
Kinematinė klampa esant 100 °C, cSt	9,7	9,0	14,6

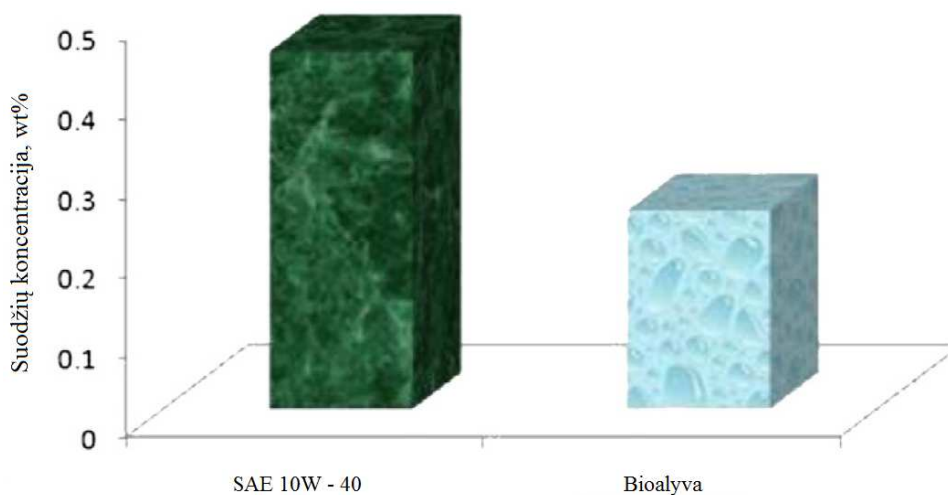
Pateikiamos išvados, jog didžiausias efektyvumas, naudojant mažos klampos alyvas, pastebimas važiuojant automobiliu ne didesniu nei 80 km per dieną atstumu, ne ilgesnį nei 6,5 valandų laiką.

Atliekant bandymą, naudoti skirtingi varikliai. Pastebėta, kad apie 2–3 % degalų sąnaudoms turi įtaką variklio konstrukcija, medžiagos, naudojamos variklio gamybai, ir variklio įdirbis.

Indijoje transporto ekologijos problemas bandoma spręsti naudojant bioalyvas. Mokslininkai atliko bandymą su bioalyvomis ir biodyzelinu rapsų aliejaus pagrindu. Tyrimai atlikti, naudojant kintamo suslėgimo laipsnio keturtaktį dyzelinį variklį.



1.13. pav. Skirtingų metalų dilimo dydis tiriamosiose alyvose

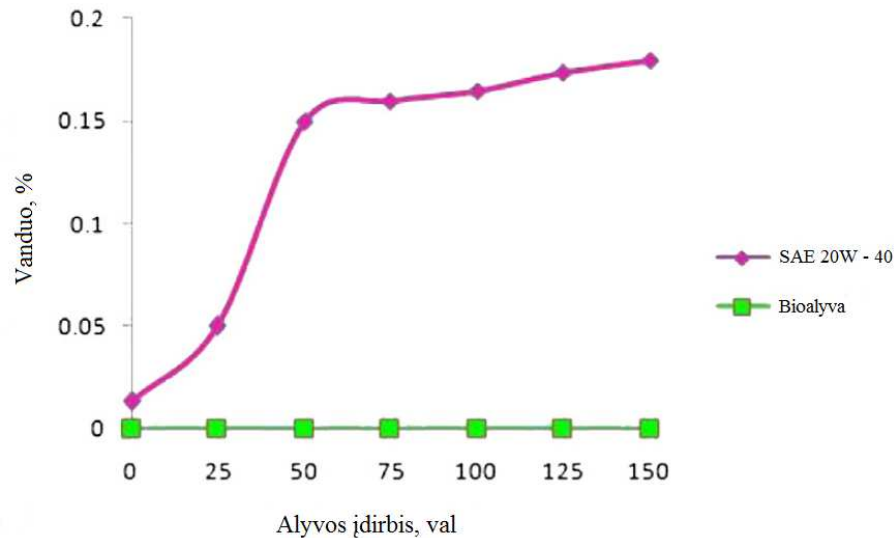


1.14. pav. Suodžių koncentracijos tiriamosiose alyvose

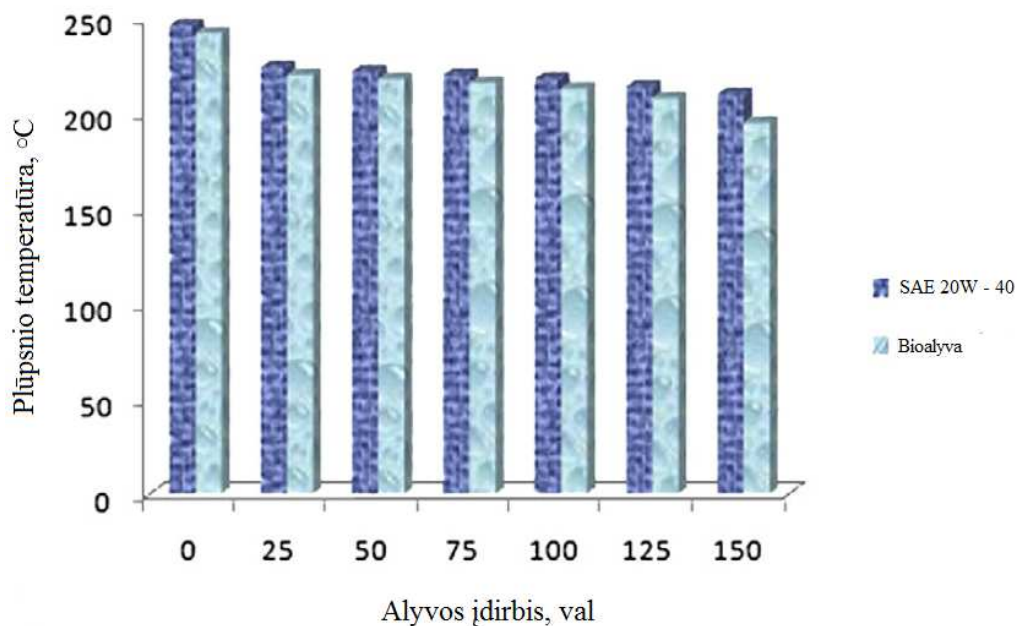
Bandomosios bioalyvos terminio oksidavimosi stabilumo ir ribinio tekumo savybės pagerintos, įmaišant nano vario oksidą (CuO), kaip priedą, kuris taip pat gerina tepimo savybes (Arumugam, Sriram, Ellappam 2014).

Atlikti 2 bandymai, kurie truko 150 valandų:

- 1) Naudojant sintetinę SAE 20W – 40 alyvą ir B20 biodyzeliną (80 % dyzelinas, 20 % rapsų metilo esteris), keičiant suslėgimo laipsnį 12 : 1, 15 : 1, 17,5 : 1.
- 2) Naudojant rapsų bioalyvą ir B20 biodyzeliną, keičiant suslėgimo laipsnį 12 : 1, 15 : 1, 17,5 : 1.



1.15. pav. Vandens susidarymo alyvoje priklausomybė nuo įdirbio



1.16. pav. Plūpsnio temperatūros kitimas nuo alyvos įdirbio

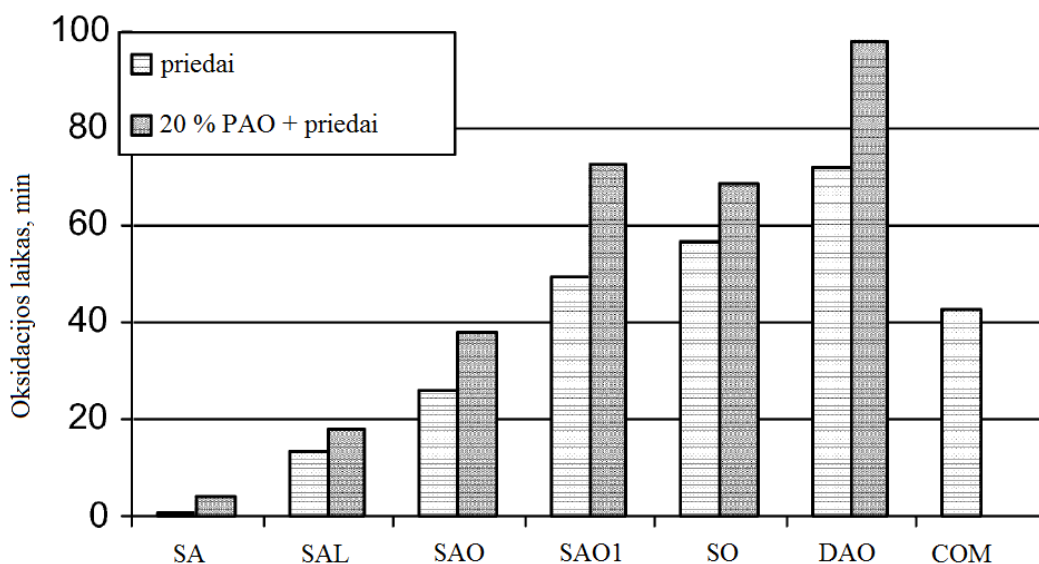
Atlikus bandymą, mokslininkų grupė pateikė išvadas:

- Variklyje gali būti naudojama biodyzelino ir bioalyvos kombinacija, neikeičiant variklio konstrukcijos. Nepastebėta jokių variklio darbo, dėvėjimosi, galios ir degalų snaudų neigiamų pakeitimų.

- Naudojant įprastą alyvą ir bioalyvą, kintant suslėgimo laipsniui, gauti emisijos rezultai yra labai artimi.
- Naudojant biodyzelino ir bioalyvos kombinaciją, pastebėta plieno, aliuminio ir kitų metalų mažesnis kiekis alyvoje, sumažėjęs abrazyvinis dilimas. Bioalyva tiriamu atveju užtikrino reikiamą variklio tepimą (žr. 1.13. paveikslą).
- Po 150 valandų darbo ciklo bioalyvoje susidarė 40 % mažiau deginių nei sintetinėje 20W – 40 alyvoje (žr. 1.14. paveikslą).
- Bioalyva parodė geresnius parametrus, ištyrus vandens kiekio susidarymą. Bioalyvoje vandens neaptikta, alyvoje 20W – 40, išdirbus 150 valandų, rasta 0,18 % vandens (žr. 1.15. paveikslą).
- Nustatant bandomų alyvų gaisrines savybes (pliūpsnio temperatūrą), sintetinės alyvos 20W – 40 visą įdirbio laiką išliko aukštesnė nei bioalyvos, nuo darbo pradžios iki pabaigos pakito 250 °C – 210 °C intervale, o bioalyva nuo 245 °C iki 195 °C (žr. 1.16. paveikslą).

Chemijos inžinerijos departamento (JAV) mokslininkai teigia, kad augalinės kilmės alyvos yra perspektyva įprastoms iš naftos pagamintoms alyvoms. Šios alyvos yra daug geresni ekologiniai rodikliai ir ne prastesni tepimo savybių parametrai nei įprastų alyvų (Erhan, Sharma, Perez 2006).

Dėl pateiktų priežasčių tyrėjai atliko bandymą, siekdami nustatyti augalinių alyvų oksidacijos savybes ir stingimo temperatūrą.



1.17. pav. Oksidacijos laiko priklausomybė, naudojant skirtingus tiriamuosius skysčius

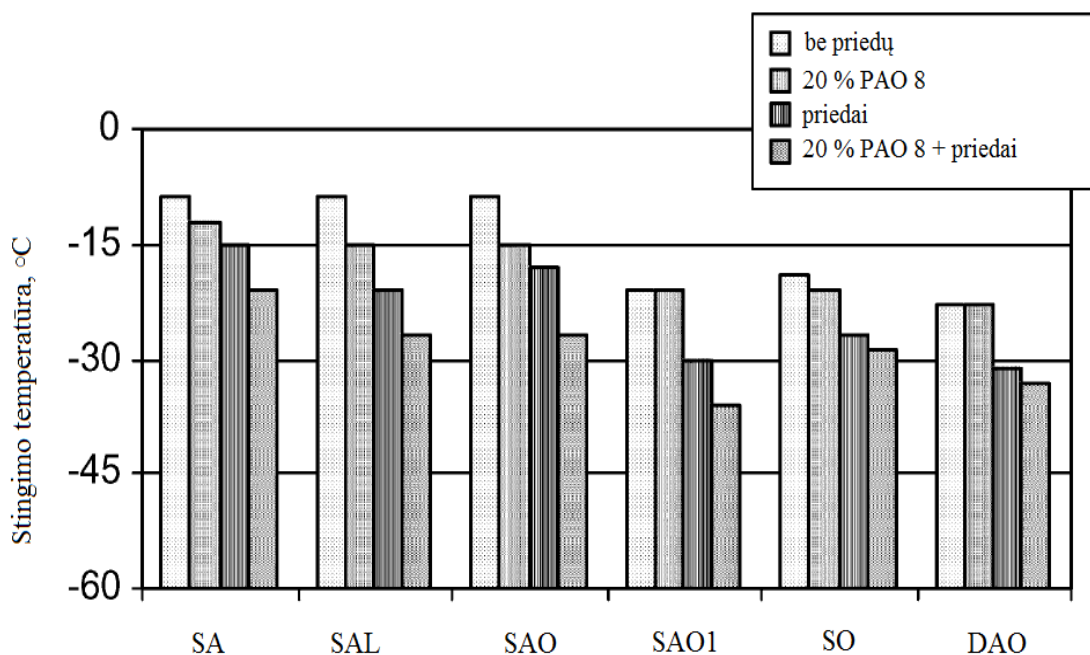
Tyrimui atlikti naudotos bioalyvos: 1. sojų aliejus (SA), 2. sojų aliejus su dideliu linolo kiekiu (SAL), 3. sojų aliejus su vidutiniu oleino kiekiu (SAO), 4. sojų aliejus su dideliu

oleino kiekiu SAO1, 5. dygminių aliejus su dideliu oleino kiekiu (DAO), 6. saulėgrąžų aliejus su oleinu (SO). Palyginimui naudota greitai yranti hidraulinė alyva (COM). Alyvose naudoti priedai: cinko diamyl ditiokarbamatas (ZDDK) ir stibio dialkilditiokarbamatas (SDDK). Taip pat naudotas apolialpaolefinas (PAO), kaip sudedamoji dalis.

Bandymo metu tirtas alyvų oksidacijos laiko ir stingimo temperatūros kitimas.

Atlikę bandymą mokslininkai nustatė, kad geriausias oksidacijos savybes (ilgiausią trukmę) parodė dygmių aliejus su oleinu, įmaišius priedų (ZDDK), (SDDK) ir 20 % PAO (102 min). Iš 1.17. paveikslą matyti, jog įmaišant POA, kaip sudedamąją dalį ir priedus, ilgėja visų tiriamų alyvų oksidacijos laikas.

Tiriant stingimo temperatūrą, geriausią rezultatą parodė sojų aliejus su dideliu oleino kiekiu, įmaišius priedų ir 20 % PAO (-36°C) (žr. 1.18. paveikslą). Pateikiama analogiška išvada: įmaišant POA, kaip sudedamąją dalį ir priedus, didėja visų tiriamųjų alyvų stingimo temperatūra.



1.18. pav. Stingimo temperatūros naudojant skirtingus tiriamuosius skysčius

Kitame moksliniame straipsnyje Bekal, Bhat (2012) aprašomas atliktas esperimentas – mineralinės alyvos ir mineralinės – pongamios sėklų aliejaus mišinio tyrimas. Iš gautų rezultatų matyti, kad mineralinės alyvos ir pongamijos aliejaus mišinys parodė geresnes tepimo charakteristikas.

Autoriai Asadauskas, Perez, Duda (1996) teigia, jog alyvas, sudarytas iš naftos produktų bazės, gali pakeisti augalinės kilmės alyvos su oleinu. Bioalyvų tepimo charakteristikos ir ekologinės savybės yra tinkamos naudoti daugumoje dabartinių mašinų.

Be to, straipsnyje Gapinski, Jeseeph, Layzell (1994) pateikia išvadą: augalinės kilmės alyvos turi puikias temperatūros ir klampos savybes. Poliarinės esterių grupės, esančios alyvose, geba prisijungti prie metalų darbo metu ir užtikrinti tepimą. Tačiau būtina padidinti bioalyvų oksidacinį stabilumą.

Tačiau yra ir prieštaravimų. Mokslininkų grupė Wander *et al.* (2011) savo darbe teigia, jog tyrinėjant bioalyvų poveikį degalų sistemai ir varikliui, nustatyta, kad naudojant bioalyvas, mažėja variklio resursas, nes degimo kameroje susidaro daugiau suodžių, prilimpa kompresiniai žiedai prie stūmoklio, tepimo žiedai užsikemša degimo produktais ir neatlieka tepimo funkcijos, taip pat suodžia aplimpa aplink degalų purkštuvą, taip trikdomas jo darbas.

Eslingeno technikos akademijos mokslininkas Bartz (1998) atliko mokslinį darbą, kuriame analizuojamas alyvų gamybos ir panaudojimo poveikis aplinkai ir ekologijos problemos.

Darbe nagrinėta transporto priemonėse naudojamų alyvų sąveika su aplinka. Autorius teigia, kad alyvų pramonėje vyksta progresas, siekiant pailginti alyvų ilgaamžiškumą ir mažinti alyvų suirimo laiką. Gaminant alyvas, atitinkančias aukštesnius ekologinius reikalavimus, siekiant ekologinės naudos, alternatyva yra matoma, gaminant alyvas iš sintetinių esterių ir augalų bei jų sėklų (pvz.: palmių, sojų, rapsų). Siekiant padidinti ekologinį saugumą, privaloma diegti inovacijas naftos perdirbimo procese, kurios didintų technologinį lygį.

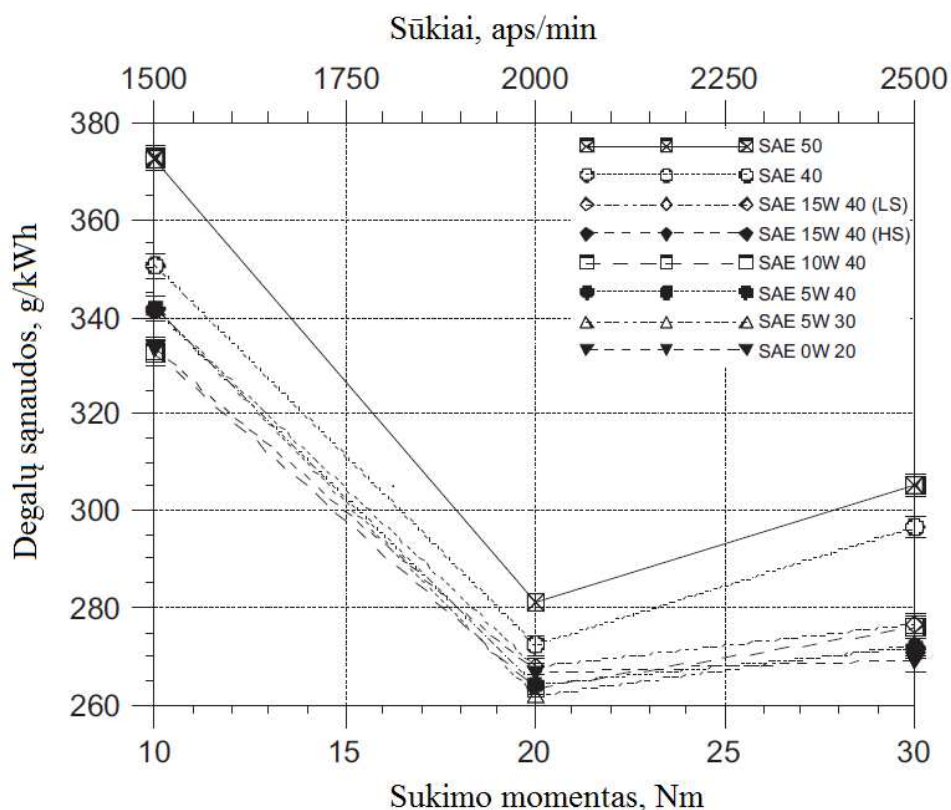
1. 4. Variklinės alyvos priedų įtaka kokybiniais rodikliams

Alyvų priedai – vienas iš efektyviausių būdų gerinti alyvos savybes. Šiam tikslui Rio de Žaneiro federalinio universiteto darbuotojai atliko tyrimą siekdami nustatyti alyvos klampos ir alyvos klampos priedų įtaką degalų sąnaudoms dyzeliniame variklyje (Souza *et al.* 2010).

Tyrimo metu buvo bandomos aštuonios skirtingos alyvos, jas naudojant vieno cilindro keturtakčiame dyzeliniame variklyje su tiesioginiu įpurškimu. Variklis įmontuotas stende su dinamometru, siekiant nustatyti priklausomybę kintant apkrovai. Taip pat tirti mechaniniai trinties nuostoliai variklyje.

Atlikus bandymą, autoriai padarė tokias išvadas: vasarinės alyvos parodė didesnę klampą ir degalų sąnaudas nei visasezoninės alyvos esant skirtingoms apkrovoms ir variklio sūkiams. Naudojant aukštos šlyties stabilumo polimerus, kaip priedą visasezoninėje mineralinėje alyvoje 15W – 40, sumažėja klampa ir degalų sąnaudos. Naudojant visas tiriamąsias alyvas, didžiausios degalų sąnaudos pasiektos esant mažiems sūkiams (1500

aps/min) ir mažai apkrovai (10 Nm), mažiausios degalų sąnaudos nustatytos esant sūkiams 2000 aps./min ir 20 Nm apkrovai (žr. 1.19. paveikslą). Naudojant vasarines alyvas, mechaniniai nuostoliai didesni nei visasezoninių alyvų.



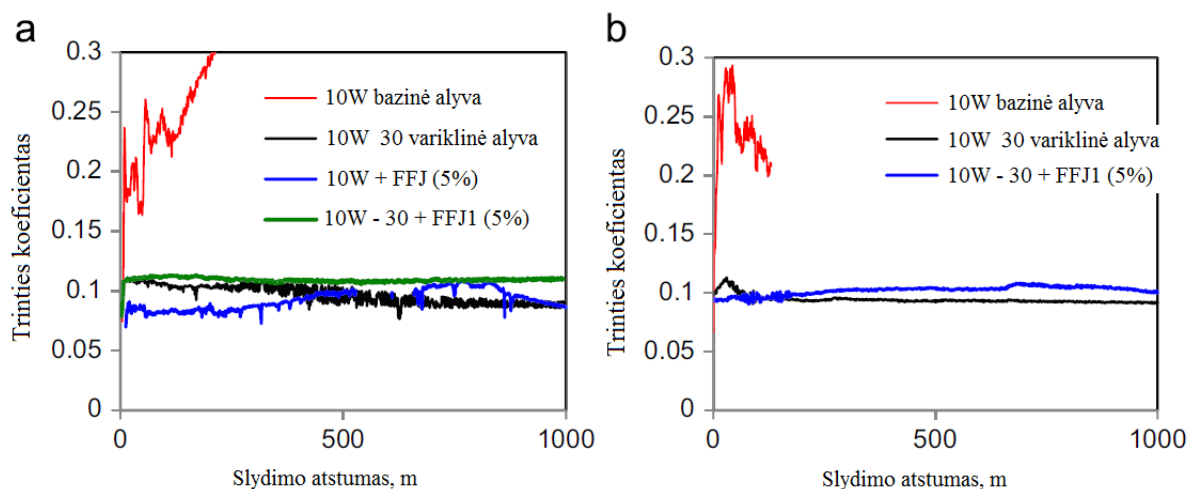
1.19. pav. Degalų sąnaudų priklausomybė nuo sūkių ir sukimo momento

Kiek vėliau Amerikos mokslininkų atliktas išskirtinis bandymas, maišant variklines alyvas su fosfonio jonų skysčiu (FFJ). Tyrimo metu tirta trintis ir detalių nusidėvėjimas.

Tyrimu metu naudota SAE 10W bazinė mineralinė alyva ir SAE 10W-30 mineralinė alyva. Ankstesni mokslininkų tyrimai rodo, kad FFJ tinkamai susimaišo su mineralinėmis ir sintetinėmis alyvomis (Yu *et al.* 2012).

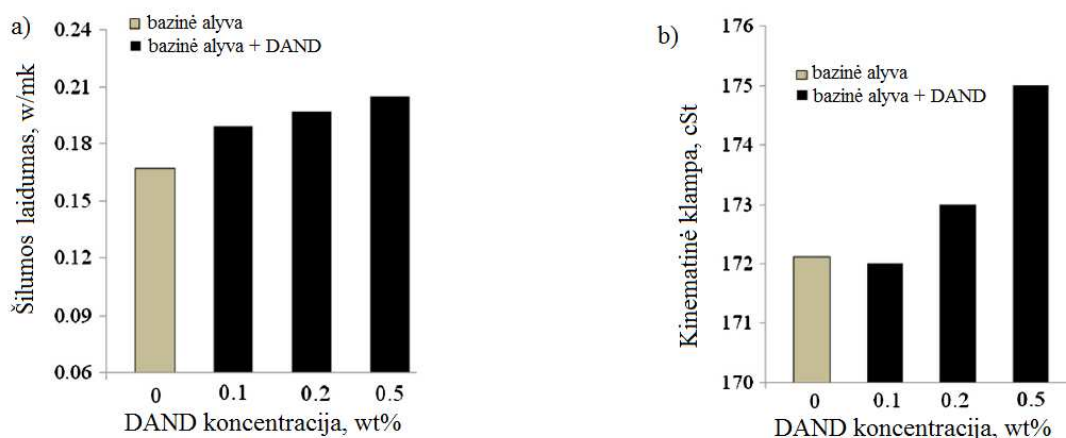
Tyrimo išvados: 1.20. paveikslas, a – t. y. matuotas trinties koeficientas esant kintamajai apkrovai, b – esant pastoviai apkrovai. Esant abiem atvejams, naudojant bazinę 10W alyvą trinties koeficientas pakilo virš 0,2 ir pasiekė kritinę trintį. Sumaišius bazinę alyvą 10W su FFJ 5 %, trinties koeficientas sumažėjo iki 0,1 ir išliko sąlyginai pastovus abiem atvejais. Variklines alyvos 10W – 30 trintis buvo panaši kaip ir bazinės 10W + FFJ 5 % (apie 0,1). Įmaišius FFJ 5 %, kaip priedą, esant kintamajai apkrovai trinties koeficientas padidėjo.

Autoriai apibendrina tyrimų rezultatus: žymus trinties koeficiento ir dilimo sumažėjimas atsiranda į bazinę alyvą įmaišant FFJ 5 %. Tai yra tinkama medžiaga naudoti kaip alyvų priedą.



1.20. pav. Trinties koeficiento matavimas: a) esant kintamajai apkrovai; b) esant pastoviai apkrovai

Irano mokslininkų grupė nagrinėdama naujausią kryptį – nanotechnologijas atliko unikalų tyrimą, kaip kinta alyvos pagrindinės savybės, pridedant į alyvą nanopriedų (DAND). Tyrimai atlikti naudojant visasezoninę variklinę alyvą 20W – 50. DAND priedų koncentracija keičiama nuo 0 % iki 0,5 %. Nustatomi alyvos parametrai: klampa, užsiliepsnojimo temperatūra, stingimo temperatūra ir šilumos laidumas (Ettefaghi *et al.* 2013).



1.21. pav. Tyrimų rezultatai: a) šilumos laidumo priklausomybė, naudojant skirtingą DAND koncentraciją; b) kinematinės klamos priklausomybė, naudojant skirtingą DAND koncentraciją

Autoriai pateikia išvadas, kad geriausias metodas – įmaišyti DAND naudojant planetinį kamuolių maišytuvą. Esant 0,2 % DAND koncentracijai alyvoje, pliūpsnio

temperatūra padidėjo 13 %, o stingimo temperatūra 3,3 %. Didinant DAND koncentraciją iki 0,5 %, atsiranda tiesioginė šilumos laidumo priklausomybė. Esant 0,5 % DAND alyvoje, šilumos laidumas padidėjo iki 22,7 W/mK (žr. 1.21. paveikslą, a), esant 0,1 % DAND koncentracijai, kinematinė klampa 171,8 cSt, t. y. mažiau, nei tiriamos bazinės alyvos (žr. 1.21. paveikslą, b). Taip pat pastebėta, jog didinant DAND koncentraciją prastėja alyvos tepimo savybės ir absorbcinės plevelės stiprumas bei susidarymas. Autoriai teigia, kad optimali DAND koncentracija alyvoje, siekiant pagerinti jos savybes, yra 0,1 %.

Moksliniame darbe Lee *et al.* (2009), kuriame autoriai taip pat nagrinėjo nanodalelių panaudojimą alyvose, teigiama: nanodalelės yra nauja priedų alyvoms rūšis, kuri pranoksta senuosius dėl unikalių savybių. Nanodalelių turinčios alyvos turi pakeisti senąsias alyvas. Šis produktas parodo daug geresnes tepimo ir šilumos laidumo savybes, tai yra svarbiausi alyvos kokybės rodikliai.

Taip pat rastas mokslinis darbas, kuriame rašoma apie atliktus bandymus, kurie parodė, jog naudojant nanopriedų turinčias alyvas pagerėjo variklyje esančių detalių darbo paviršiai, padidėjo variklio efektyvumas, sumažėjo degalų sąnaudos (Nezhaad, Dorany 2009).

Vasheghani *et al.* (2011) straipsnyje rastas faktas, kad atlikus tyrimus pastebėta, jog nanopriedų įmaišymas į bazinės alyvas yra sudėtingas procesas. Taikant netinkamą technologiją, alyvų savybės nepagerėja arba pagerėja labai nedaug.

1. 5. 1 skyriaus išvados

1. Remiantis literatūra, nagrinėjama tema yra aktuali, nes Lietuvos traktorių parkas yra diversifikuotas, nuo ypač senų iki ypač naujų traktorių, todėl siekiant kompleksiškai įvertinti eksploatacines sąlygas, būtina tyrimams naudoti tiek seną, tiek naują traktorius.

2. Kompleksinis tyrimų sprendimas reikalauja, kad alyvų eksploataciniai rodikliai, pagal įvairių autorių išnagrinėtas literatūros apžvalgoje nuomones, turėtų būti išnagrinėti pagal: takumo (klampa, tankis), užsiliepsnojimo (pliūpsnio temperatūra), alyvos senėjimo procesą eksploatacijos metu, alyvų priedų išsieikvojimą eksploatacijos metu ir priemaišų įtaką alyvų eksploataciniams rodikliams.

2. Tyrimų metodika

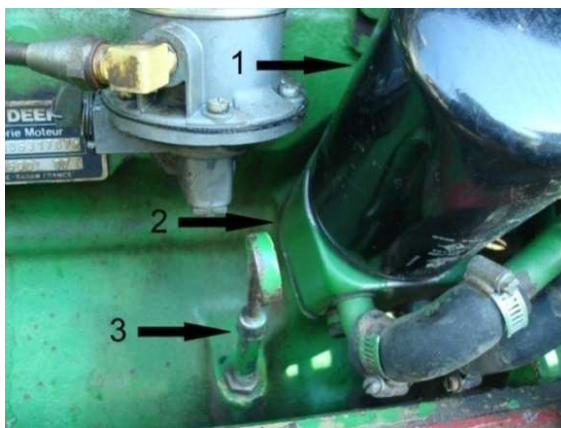
Tyrimams atlikti buvo pasirinkti du žemės ūkyje naudojami traktoriai. Šio atliekamo darbo metu buvo tiriamas variklinių alyvų eksploatacinių savybių kitimas. Tyrimai buvo atliekami AB „Lietuvos geležinkeliai“ Krovinių vežimo direkcijos, Kuro bazių valdymo centro, Radviliškio kokybės tyrimų laboratorijoje.

Kadangi Lietuvoje vyrauja naujos ir senos konstrukcijos traktoriai, todėl, siekiant kompleksiskai įvertinti Lietuvos traktorių parko struktūrą, tyrimams būtina parinkti tiek seno tipo, tiek naujo tipo traktorius. Naujas žemės ūkyje naudojamas traktorius, kuris pagal ekologinius emisijos reikalavimus atitinka ne žemesnį kaip EURO 3 emisijos reikalavimus, senas – kurio ekologiniai emisijos reikalavimai žemesni nei EURO 3. Tiriamasis traktorius Nr. 1 (*John Deere 3640*) atitinka EURO 1, tiriamasis traktorius Nr. 2 (*Valtra A92*) atitinka EURO 3 ekologinius emisijos reikalavimus.

Traktoriai dirbo mišrius žemės ūkio darbus (žemės dirbimo, sėjimo, transportavimo darbus), apkrovos sąlygos – vidutinės, aplinkos abrazyvinių dalelių kiekis darbo metu – vidutinis. Objektų darbo laikas buvo iš dalies sezoninis – 80 proc. visų motovalandų išdirbta* šiltuoju metu laiku, 20 proc. motovalandų – **šaltuoju metų laiku.

2.1. Mėginių ėmimo sąlygos

Tyrimu metu taikyta originali metodika, kuri buvo sukurta Aleksandro Stulginskio universiteto (ASU) mokslininkų ir jų aprobuota.



2.1. pav. Mėginio ėmimo vieta (*John Deere 3640*): 1 – variklinės alyvos filtras; 2 – variklinės alyvos aušinimo cirkuliacinis mazgas; 3 – variklinės alyvos lygio matavimo anga

Pagal gamintojų rekomendacijas, variklinė alyva turi būti keičiama kas 300mot/h intervalą. Tyrimo metu alyvų mėginiai buvo imami 400 motoval. intervale. Mėginiai imti apytiksliai kas 50motoval. Taip pat buvo imtas nenaudotos tiriamosios alyvos mėginys. Iš

* metų laikas, kai oro vidutinė temperatūra aukštesnė kaip 5 °C

** metų laikas, kai oro vidutinė temperatūra žemesnė kaip 5 °C

viso buvo paimta 19 mėginių iš traktorių: 9 mėginiai iš traktoriaus nr. 1 ir 10 mėginių iš traktoriaus nr. 2. Šis skirtumas atsirado, nes pradėjus imti alyvos mėginius, pastebėtas traktoriaus nr. 2 eksploatacinis gedimas, todėl prieš remontą buvo paimtas alyvos mėginys. Atlikus remontą buvo toliau imami mėginiai pagal nustatytą mėginių poėmių planą. Dėl šios priežasties iš traktoriaus nr. 2 buvo paimta vienu alyvos mėginiu daugiau. Mėginių ėmimo laikas – vienuolika mėnesių.

Variklinės alyvos mėginiai buvo imami varikliui pasiekus darbinę temperatūrą, dirbant varikliui. Mėginiai buvo paimti pro alyvos lygio matavimo angą, ties variklinės alyvos talpoje esančiu „lygio vidurio“. Mėginio poėmio angos vaizdavimas pateikiamas 2.1. paveiksle. Paimti mėginiai buvo uždaromi į specialias, mėginiams skirtas talpas, talpos dydis – 0,3 litro, talpa hermetiškai sandarinama ir pristatoma į tyrimų laboratoriją.

2.2. Naudojami traktoriai

Aprašytų naudojamų traktorių techninės charakteristikos pateikiamos 2.1. lentelėje.

2.1. lentelė. Traktorių techninės charakteristikos

Traktorius	Traktorius Nr. 1	Traktorius Nr. 2
Pavadinimas, modelis	<i>JohnDeere3640</i>	<i>Valtra A92</i>
Pagaminimo metai	1986	2011
Šalis gamintoja	Vokietija	Suomija
Degalų rūšis	dyzelinas	dyzelinas
Cilindrų skaičius	6	4
Aušinimo tipas	skysčiu	skysčiu
Darbinis tūris, l	5,90	4,40
Variklio alyvos talpos tūris, l	11,50	9,0
Galia, kW (esant 2400 min ⁻¹)	83	75
Sukimo momentas, Nm (esant 1400 min ⁻¹)	320	359
Didžiausi variklio sūkiai, min ⁻¹	2500	2600
Pripūtimas turbo kompresoriumi	yra	yra
Pavarų dėžės tipas	mechaninė	mechaninė
Transmisijos tipas	visi varantys ratai	visi varantys ratai
Traktoriaus masė, kg	5400	3680
Didžiausia leidžiamoji masė, kg	7120	5080
Gamintojo rekomenduojama alyva	<i>MobilDelvac MX15W-40</i>	<i>MobilDelvac MX EXTRA 10W-40</i>
Papildoma informacija	pirminis variklio oro paėmimo seperavimas	–

Iš 2.1. lentelės matyti, kad parinkti tyrimams traktoriai atitinka gamintojo standartinę komplektaciją ir parametrus. Traktoriaus nr. 1 standartinėje komplektacijoje yra pirminis oro paėmimo seperavimas, tai gali turėti teigiamą įtaką, apsaugant nuo abrazyvinių dalelių patekimo į variklinę alyvą iš išorės.

2.3. Tyrimų įranga

2.3.1. Alyvų tyrimai

Siekiant apibrėžti alyvų tyrimams naudojamas metodikas, buvo sudaryta 2.2. lentelė, kurioje pateiktos pagrindiniams alyvų tyrimams taikomos metodikos, tyrimams atlikti reikalingas įrenginys ir jų matavimo paklaidos.

2.2. lentelė. Atliktų tyrimų metodika ir įrenginiai

Eil. Nr.	Tyrimo pavadinimas	Metodika	Naudojamas įrenginys
1	Kinematinės klampos nustatymas	LST EN ISO 3104+AC	Viskozimetrinė vonia
2	Pliūpsnio temperatūros nustatymas	LST EN ISO 2592	<i>Clevelando</i> atviras tigelis
3	Alyvos užterštumo nustatymas	CTČ-28/8	Spektrofotometras
4	Alyvos būklės kitimo analizė	ASTM E2412	<i>Furjė transformacinis IR</i> spektrometras
5	Metalų kiekio nustatymas alyvoje	ASTM D6595	<i>Atominis emisinis</i> spektrometras
6	Feromagnetinių dalelių indekso alyvoje nustatymas	<i>LG</i> laboratorijos metodika	Feromagnetinis masės spektrometras
7	Koreliacijos skaičiavimas	matematinės statistikos metodika	—

Iš 2.2. lentelės matyti, kad visi tyrimai buvo atliekami pagal aprobuotas, standartizuotas metodikas. Tyrimų patikimumą lemia tinkamos metodikos parinkimas. Šiuo atveju pasirinkus aprobuotas standartines metodikas yra užtikrinamas pagrindinių alyvos savybių tyrimų rezultatų adekvatumas.

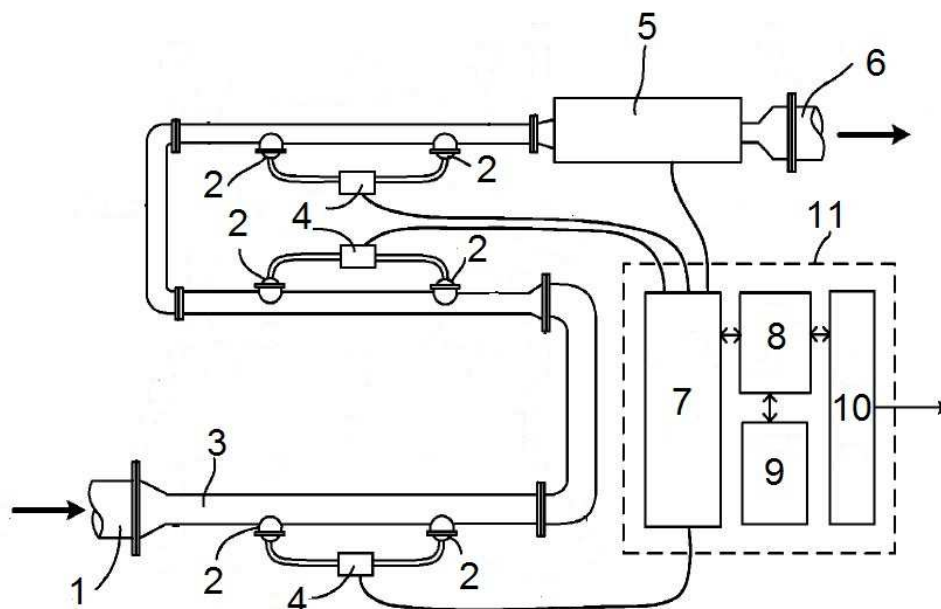
2.3.2. Atliekamų tyrimų metodika

Siekiant pagrįsti tyrimų būtinumą, pateikiamos tyrimų metodikos aprašymas ir prietaisų veikimo principas.

2.3.2.1. Kinematinės klampos nustatymo metodika (LST EN ISO 3104+AC)

Kinematinė klampatyrimu metunustatyta viskozimetrine vonia, esant 100 °C ir 40 °C temperatūrai. Kinematinės klampos nustatymo metodas: matuojant laiką, per kurį tam tikras skystųjų naftos produktų tūris, veikiamas sunkio jėgos, išteka per kalibruotą stiklinį kapiliarinį viskozimetrą.

Rezultatas, gaunamas remiantis šiuo standartu, priklauso nuo bandinio elgsenos ir taikytinas pirmiausia skystiesiems naftos produktams, kurių šlyties įtempis ir greitis yra proporcingi (Niutoninis skystis)(LST 2000).

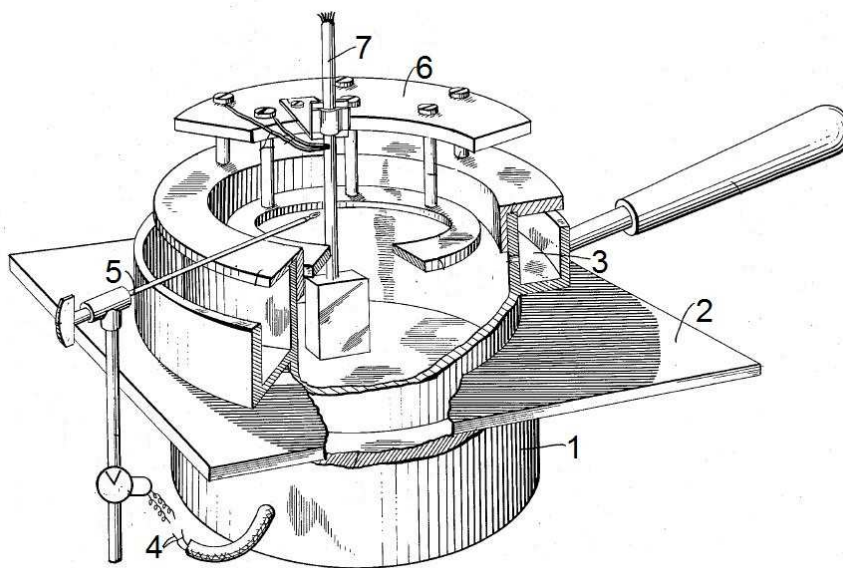


2.2. pav. Vizkozimetrinės vonios veikimo schema: 1 – skysčio tiekimo anga; 2 – skysčio tekėjimo jutiklis; 3 – kapiliarinis vamzdis; 4 – skysčio tekėjimo detektorius; 5 – temperatūros daviklis; 6 – ištekėjimo anga; 7 – signalų registratorius; 8 – duomenų procesorius; 9 – atminties blokas; 10–duomenų generavimo blokas; 11– operatyvinis blokas

Viskozimetrinės vonios veikimo schema pateikta 2.2. paveiksle. Tiriamasis skystis tiekiamas per tiekimo angą (1) į kapiliarinį vamzdį (3). Skysčio tekėjimo jutikliai (2) fiksuoja pratekanti skysčio srautą ir perduoda duomenis į skysčio tekėjimo detektorių (4), toliau į signalų registratorių (7). Skysčio temperatūra fiksuojama davikliu (5). Užregistruoti duomenys perduodami į duomenų procesorių (8), išsaugomi atmintyje (9). Galutinius tyrimo duomenis sugeneruoja ir pateikia duomenų generavimo blokas (10).

2.3.2.2. Plūpsnio temperatūros nustatymo metodika (LST EN ISO 2592)

Plūpsnio temperatūra nustatyta *Clevelando* atviro tigelio metodu. Alyvos plūpsnio temperatūra vadinama pati žemiausia temperatūra, kurioje kaitinamos alyvos garai su aplinkos oru sudaro tokį mišinį, kad šis, priartinus prie jo atvirą ugnį, plykstelį ir vėl užgęsta. Liepsna gęsta todėl, kad produkto garavimo greitis yra per mažas ir nesusidaro pakankamo degiojo mišinio kiekio. Kuo plūpsnio temperatūra žemesnė, tuo daugiau alyvos išgaruoja ir sudega variklyje. Degalų plūpsnio temperatūra nustatoma juos kaitinant uždaram inde, alyvos – atvirame inde. Plūpsnio temperatūra yra pagrindinis rodiklis, apibrėžiantis alyvos gaisrines savybės (LST 2002).



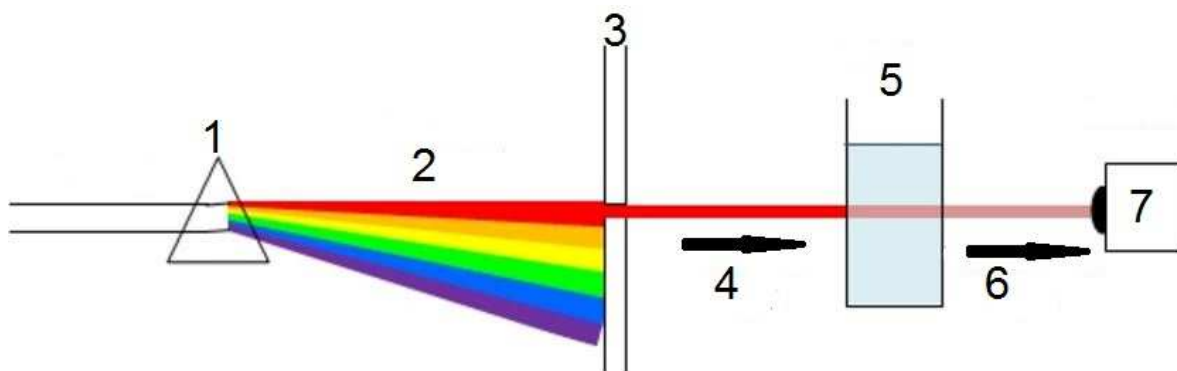
2.3. pav. *Clevelando* atviras tigelis: 1 – kaitinimo elemento korpusas; 2 – dangtis; 3 – alyvos talpa; 4 – kaitinimo elementas; 5 – degiklis; 6 – maišytuvo rėmas; 7 – maišytuvas

Clevelando atviras tigelis pavaizduotas 2.3. paveiksle. Tiriamoji alyva pilama į alyvos talpą (3), įstatoma į kaitinimo elemento korpusą (1) ir kaitinama elementu (4). Kad alyva tolygiai įkaistų, yra nuolat maišoma maišytuvu (7). Į alyvos talpą yra įstatytas termometras (2.3. paveiksle nepavaizduotas) fiksuoti alyvos temperatūrą. Tiriamosios alyvos temperatūrai priartėjus prie artimos plūpsnio temperatūros, pradedamas uždeginėti degiklis (5), kylant temperatūrai kas 1 °C, kol įvyksta plūpsnis.

2.3.2.3. Alyvos užterštumo nustatymo metodika (CTČ-28/8)

Alyvos užterštumas tyrimo metu nustatytas spektrofotometru. Prietaisas skirtas išmatuoti skysčių ir tirpalų optinį pralaidumą.

Spektrofotometro veikimo principas paremtas tiriamosios medžiagos absorbuota šviesa. Prietaisas matuoja bangos ilgį šviesai prieš pereinant tiriamąjį skystį ir perėjus jį. Spektrofotometro veikimo schema pateikta 2.4. paveiksle.

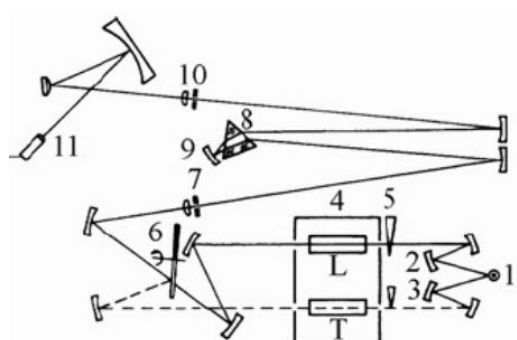


2.4. pav. Spektrofotometro veikimo schema: 1 – šviesos šaltinis; 2 – bangos ilgio parinktuvas; 3 – lęšis; 4 – šviesa prieš bandinį; 5 – tiriamasis skystis (bandinys); 6 – perėjusi (absorbuota) šviesa; 7 – jutiklis

Spektrofotometro veikimas. Sklindančios šviesos (1) bangos ilgį nustato selektorius (2). Šviesa prieš bandinį (4) pereina per tiriamąjį skystį (5). Perėjusią per tiriamąjį skystį absorbuotą šviesą (6) fiksuoja detektorius 7. Toliau skaičiuojamas šviesos pralaidumas pagal absorbuotą šviesą. Pagal gautas reikšmes nustatomas skysčio užterštumas.

2.3.2.4. Alyvos būklės kitimo nustatymo metodika (ASTM E2412)

Furjė transformaciniu infraraudonųjų spindulių spektrometru (FTIR) nustatoma oksidacija, sulfatacija, nitrifikacija ir suodžiai. Identifikuoja funkcinės molekulių grupes. Spektrometras kalibruotas tirti variklines alyvas.



2.5. pav. FT spektrometro schema: 1 – spinduliuotės šaltinis; 2 – Maikelsono (Michelson) interferometras; 3 – nejudantis veidrodis; 4 – judantis veidrodis; 5 – spinduliuotės skaitytuvas; 6 – veidrodis; 7, 9 – kintamosios padėties veidrodžiai; 8 – bandinių kamera; 10 – lyginamasis bandinys; 11 – tiriamasis bandinys; 12 – detektorius

Molekulinė absorbcinė spektroskopija remiasi ultravioletinės, regimosios šviesos ir infraraudonaisiais spinduliais ir yra plačiai naudojama kiekybinei analizei bei neorganinių, organinių ir biologinių molekulių identifikavimui. Infraraudonųjų spindulių (IR) sugerties spektroskopija yra viena iš galingiausių priemonių molekulių struktūrai nustatyti. IR spinduliuotės sugerties spektroskopija gali būti naudojama kiekybinei ir kokybinei analizei.

FT spektrometruose (2.5. pav.) spinduliuotės šaltinis (1) yra IR spinduliuotės šaltiniai, o prietaiso kalibracijai naudojami lazeriai. Iš jo spinduliuotė per veidrodžių sistemą patenka į svarbiausią šio tipo spektrometro dalį – Maikelsono (Michelson) interferometrą (2). Pagrindinės interferometro dalys yra du statmeni vienas kitam veidrodžiai. Iš jų vienas nejudantis (3), o kitas juda (4). Judantis veidrodis matavimo metu juda rodykle pažymėta ašimi. Trečias svarbus interferometro elementas yra spinduliuotės skaidytuvas (5). Jis iš dalies atspindi, iš dalies praleidžia spinduliuotę, taip padalydamas ją į du statmenus vienas kitam, vienodo intensyvumo srautus A ir B. A srautas, atspindėtas nuo nejudančio veidrodžio, praleidžiamas skaidytuvo į veidrodį (6). B srautas, atspindėtas nuo judančio veidrodžio, atsispindi nuo skaidytuvo ir patenka į veidrodį (6). Išėję iš interferometro, spinduliai, po interferencijos, jau kaip vienas bendras srautas nukreipiami per kintamosios padėties veidrodžius (7, 9) bei papildomus veidrodžius į lyginamąjį (10) arba tiriamąjį (11) bandinį, o po to į detektorius (12).

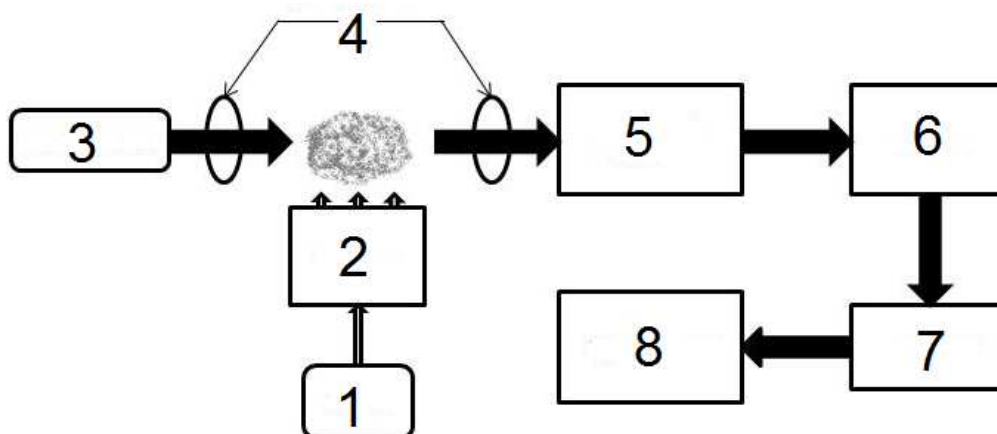
Dažnai FT spektrometruose po interferencijos spinduliuotė nukreipiama tik į bandinį, o lyginamasis bandinys nenaudojamas. Prietaiso bandinių kamera visada yra sauso azoto, kuris neabsorbuoja šioje IR dalyje, aplinkoje, todėl tiriant nėra būtina naudoti lyginamojo bandinio, o drėgmė ir CO₂, patekę bandinio talpinimo į kamerą metu, po kurio laiko išpučiami iš kameros (Buika 2007).

2.3.2.5. Metalų kiekio nustatymo metodika (ASTM D6595)

Metalų kiekis alyvoje nustatomas Atominiu emisiniu spektrometru (AES). AES analizės metodas pagrįstas sužadintųjų atomų elektromagnetinės spinduliuotės atomų kvantų emisija.

Atominė emisinė spektrinė analizė skirta elementams, pasižymintiems metalų savybėmis, aptikti ir jų koncentracijai nustatyti. Šiuo metodu ypač efektyviai nustatomos priemaišos, kurių koncentracija bandinyje dažniausiai būna labai maža, be to, jis tinka ir metalų pėdsakų analizei. Metodo privalumai: a) greitas tyrimo atlikimas; b) galima aptikti beveik visus metalus (apribojimai šarminiams metalams).

Atominė emisinė spektroskopija naudoja kiekybinį matavimą, pagal optinės emisijos iš sužadintų metalų atomų nustatyti medžiagos rūšį ir koncentraciją. AES veikimo schema pateikta 2.6. paveiksle. Tiriamoji alyva (1) išpurškiama per purkštuvą (2) tarp fokusavimo lęšių (4), kur teka radiacinis laukas, kurį sukuria šaltinis (3). Per fokusavimo lęšius (4), perduodama gautą informaciją į jutiklį (5), detektorius (6) pagal sužadintų atomų kvantų emisiją ir bangos ilgį nustato metalų rūšį ir jų koncentraciją. Duomenys perduodami per transformatorius (7) į procesorių (8), kuris įrašo ir parodo galutinius tyrimo duomenis.



2.6. pav. Atominio emisinio spektrometro veikimo schema: 1–tiriamoji alyva; 2 – purkštuvas; 3 – radiacijos šaltinis; 4 – fokusavimo lęšis; 5 – jutiklis; 6 – detektorius; 7 – transformatorius; 8 – procesorius

Kadangi intervalų spektras tarp skirtingų sužadintų metalų bangos ilgių yra labai siauras, naudojant AES galima aptikti visus esančius metalus mėginyje vienu metu, sužadinant visus atomus. Šis gebėjimas vienu metu matuoti kelis elementus yra pagrindinis AES privalumas.

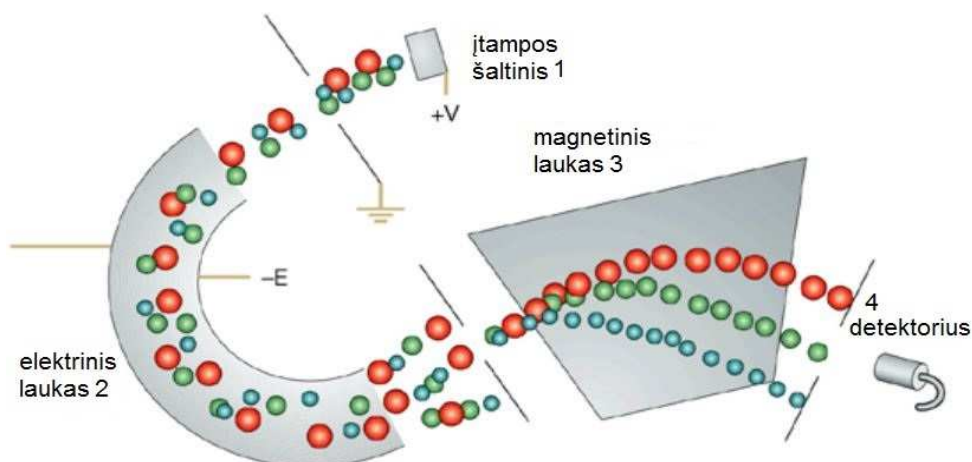
2.3.2.6. Feromagnetinių dalelių indekso alyvoje nustatymas

Feromagnetinių dalelių indeksas alyvoje (*PQL*) nustatomas naudojant feromagnetinį masės spektrometrą.

Atominiu emisiniu spektrometru galima identifikuoti daleles, kurių dydis iki $10\ \mu m$, didžiausia dalis dilimo dalelių būna ne didesnės nei šis dydis. Tačiau norint identifikuoti didesnių nei $10\ \mu m$ dilimo dalelių koncentraciją alyvoje, naudojamas feromagnetinis masės spektrometras, aptinkantis geležį (*Fe*). Gautos reikšmės, vadinamos feromagnetinių dalelių indeksu (*PQL* – *practical quantification limit*).

Masės spektrometrai naudojami dalelėms atpažinti pagal jų specifinį krūvį $\frac{q}{m}$. Tiriamųjų dalelių srautas veikiamas magnetinio lauko nukrypsta nuo tiesios trajektorijos ir

pradedą judėti spindulio R apskritimine orbita. Tada jis susiduria su spektrometro detektoriumi ir išmatavus susidūrimo vietą galima nustatyti spindulį R ir specifinį krūvį. Prietaiso veikimo schema pateikta 2.7. paveiksle.



2.7. pav. Feromagnetinio masės spektrometro veikimo schema

Veikimas. Tiriamoji alyva teka pro įtampos šaltinį (1) į elektrinio lauko vamzdį (2), iš jo patenka į magnetinį lauką (3), dėl magnetinio lauko poveikio alyvoje esančios geležies dalelės, nukrypsta nuo tiesios trajektorijos ir pradeda judėti vamzdžio (2) spindulio trajektorija, geležies dalelės susiduria su spektrometro detektoriumi (4). Detektorius (4) pagal jų specifinį krūvį identifikuoja *PQL*.

2.3.2.7. Statistinių duomenų apdorojimo metodika

Koreliacijos skaičiavimas (matematinės statistikos metodika)

Koreliacija – dviejų reiškinių (dviejų požymių) tarpusavio sąryšis. Reiškiny, kai objektų aibėje požymį x atitinka ne vienas požymis y , o jų skirstinys su vidurkiu $\bar{y}_x$, ir keičiantis x reikšmei kinta ir $\bar{y}_x$ reikšmė, vadinamas koreliacija.

Dvimačiai duomenys (kai išmatuoti kiekvieno objekto du požymiai) neretai būna pasiskirstę pagal dvimatį normalųjį skirstinį. Tačiau šio skirstinio yra 2 atvejai:

1. Nesusijusių požymių dvimatis normalusis skirstinys būna tais atvejais, kai požymiai x_1 ir x_2 tarpusavyje nesusiję.
2. Tiesiškai susijusių požymių dvimatis normalusis skirstinys. Jis turi 5 parametrus – 2 vidurkius (μ_1 ir μ_2), 2 vidutinius kvadratinus nuokrypius (σ_1 ir σ_2) bei koreliacijos koeficientą (ρ).

Jei duomenys yra kiekybiniai, objektų panašumui įvertinti galima taikyti tiesinės koreliacijos koeficientą. Kiti objektų panašumo matai atsiranda tuomet, kai matuojami požymiai yra kokybiniai.

Koreliacijos koeficientas– koreliacijos stiprumo matas. Nustatytiesinio ryšio tipumą tarp dviejų kiekybinių kintamųjų (pvz.: tyriamu atveju metalo kiekio susidarymas alyvoje ir tiriamų traktorių amžius; ir t. t).

Tiesinę koreliaciją nusako Pirsono koreliacijos koeficientas r_{xy} , jo reikšmės nuo- 1 iki 1; Jei koreliacijos koeficientas r_{xy} yra teigiamas, tai didėjant dydžiui X , didėja ir Y , jeigu neigiamas – didėjant dydžiui X , Y reikšmės mažėja. Jeigu dviejų kintamųjų koreliacijos koeficientas lygus nuliui, tai tie kintamieji yra statistiškai nepriklausomi.

Pirsono koreliacijos koeficientas tarp kintamųjų X ir Y apskaičiuojamas pagal formulę:

$$r_{xy} = \frac{\bar{x} \cdot \bar{y} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{S_x \cdot S_y}; \quad (1)$$

čia: S_x – dydžio x vidutinis kvadratinis nuokrypis; S_y – dydžio y vidutinis kvadratinis nuokrypis; $\bar{x}$ – dydžio x reikšmių matematinis vidurkis; $\bar{y}$ – dydžio y reikšmių matematinis vidurkis.

Vidutinis kvadratinis nuokrypis apskaičiuojamas pagal formules:

$$S_x = \sqrt{(\overline{x^2}) - (\bar{x})^2}; \quad (2)$$

$$S_y = \sqrt{(\overline{y^2}) - (\bar{y})^2}; \quad (3)$$

čia: $\overline{x^2}$ – dydžio x reikšmių kvadratų matematinis vidurkis; $\overline{y^2}$ – dydžio y reikšmių kvadratų matematinis vidurkis.

Skaičiuojant koreliacijos koeficientą, reikia parinkti, kuris kintamasis bus Y (priklausomas kintamasis), kuris X (nepriklausomas kintamasis). Kadangi tiriamųjų alyvų įdirbis nepriklauso nuo metalo kiekio susidarymo alyvoje, o atvirkščiai, priklausomas kintamasis Y bus „Metalo kiekio susidarymo alyvoje“, X – „Tiriamų alyvų įdirbis“.

2.4. Naudotos alyvos

Tyrimams atlikti pasirinktos *Mobil Delvac MX 15W– 40* ir *Mobil Delvac MX Extra 10W– 40*. Šios alyvos yra dažniausiai naudojamos žemės ūkio technikoje, rekomenduojamos gamintojų, šių traktorių modeliams ir atitinka variklių keliamus reikalavimus. Detali alyvų specifikacija pateikta 2.2. lentelėje.

2.3. lentelė. Tiriamųjų alyvų specifikacijos

Pavadinimas	<i>Mobil Delvac MX</i>	<i>Mobil Delvac MX Extra</i>
SAE klampos indeksas	15W– 40	10W– 40
ACEA specifikacija	E7	E7
API specifikacija	API CI–4/CH–4/SL/SJ	API CI–4/CH–4/SL/SJ

2.3. lentelės pabaiga. Tiriamųjų alyvų specifikacijos

Tankis esant 15 °C, kg/m ³ , ASTM D 4052	880	864
Kinematinė klampa esant 40 °C, mm ² /s, ASTM D 445	106	93
Kinematinė klampa esant 100 °C, mm ² /s, ASTM D 445	14,5	14,2
Klampos indeksas, ASTM D 2270	140	150
Pliūpsnio temperatūra, °C, ASTM D 92	230	235
Stingimo temperatūra, °C, ASTM D 97	–30	–33
Sulfiduoti pelenai, wt%, ASTM D 874	1,1	1,2
Šarmingumas KOH/g, ASTM D 2896	10,0	11,4

2.2. lentelėje išvardintos alyvos panaudotos tyrimams atlikti: *MobilDelvac MX 15W–40*, naudojamatraktoriuje nr. 1 (*John Deere 3640*), *Mobil Delvac MX Extra 10W–40*, naudojama traktoriuje nr. 2 (*Valtra A92*).

2.5. Alyvos priedų ir dilimo produktų nustatymo metodika

Siekiant įvertinti gautus tyrimų rezultatus, svarbu atskirti, kurie rasti metalai yra alyvų priedai ir dilimo produktai. Nustatant alyvos priedus, svarbu žinoti jų atliekamą funkciją, o radus dilimo produktus, nustatyti jų atsiradimo šaltinį. Žinant leidžiamas alyvos priedų ir dilimo produktų vertes alyvoje, galima spręsti apie alyvos būklę ir jos darbingumą.

Alyvos priedai, tiriamųjų traktorių variklių gamintojų rekomenduojamos jų koncentracijos alyvoje ir atliekamos funkcijos pateiktos 2.4. lentelėje.

2.4. lentelė. Alyvos priedų klasifikacija

Alyvos priedas	Priedo koncentracija alyvoje (mažiausia – didžiausia), mg/kg	Priedo apsauginė funkcija
Kalcis, <i>Ca</i>	600–5000	Korozija, dispergavimas
Cinkas, <i>Zn</i>	≥ 2000	Dilimas
Fosforas, <i>P</i>	600–2000	Oksidacija, dilimas, bakterijų susidarymas
Magnis, <i>Mg</i>	100–1500	Plovimas, korozija, terminis stabilumas
Silicis, <i>Si</i>	≥ 15	Putojimas

Variklinės alyvos dilimo produktų susidarymo klasifikacija, tiriamųjų traktorių variklių gamintojų leidžiamos koncentracijos alyvoje ir atsiradimo šaltiniai pateikti 2.5. lentelėje.

2.5. lentelė. Dilimo produktų alyvoje klasifikacija

Metalas	Metalo koncentracija (gera – kritinė) alyvoje, mg/kg	Atsiradimo šaltinis
Geležis, <i>Fe</i>	80–180	Cilindrų blokas, alkūninis velenas, dujų skirstymo velenas, vožtuvai
Chromas, <i>Cr</i>	4–28	Stūmoklio žiedai, slydimo guoliai, stūmoklių pirštai
Aliuminis, <i>Al</i>	12–55	Stūmokliai, alyvos aušintuvas, turbokompresorius
Nikelis, <i>Ni</i>	1–3	Išmetimo vožtuvai, vožtuvų kreipiančiosios
Varis, <i>Cu</i>	25–60	Alyvos siurblys slydimo guoliai, švaistiklių įvorės
Švinas, <i>Pb</i>	10–30	Slydimo guoliai
Molibdenas, <i>Mo</i>	4–20	Stūmoklių kompresiniai žiedai (ilgiau eksploatuoti varikliai)

Pagal 2.4. ir 2.5. lentelėse pateiktas variklių gamintojų rekomenduojamas alyvos priedų ir leidžiamas dilimo produktų koncentracijas alyvoje, galima objektyviai įvertinti tyrimų metu gautus rezultatus: spręsti apie priedų buvimą nenaudotoje alyvoje, jų išsekimą darbo metu ir nustatyti dilimo produktų koncentracijos atsiradimo greitį ir leidžiamas reikšmes, kurioms esant variklis gali sklandžiai dirbti.

2.6. 2 skyriaus išvados

1. Pasirinktos originalios ASU mėginių poėmio ir aprobuotos tyrimo standartinės metodikos.
2. Šios metodikos gali būti taikomos variklinių alyvų tyrimams be apribojimų.
3. Tyrimų įranga atitinka metodinių reikalavimų įrangai taikomas rekomendacijas.
4. Statininiams duomenims apdoroti pasirinktas tiesinės koreliacijos skaičiavimas Pirsono metodu pagal matematinės statistikos metodiką.
5. Parinkti tyrimams traktoriai yra standartinės gamyklinės komplektacijos ir įrangos. Traktoriai skirti Europos Sąjungos rinkai.

3. Tyrimų analizė

Atliktų tyrimų analizė reikalauja, kad gauti duomenys būtų nagrinėjami kompleksiskai, siekiant kuo tiksliau nustatyti priežastinius–pasekminius rodiklių kitimo ryšius. Remiantis tuo, visus rezultatus galima būtų suskirstyti į analizuojamas grupes:

- Alyvos pagrindinių eksploatacinių savybių tyrimas.
- Alyvos resurso įtakos alyvų eksploataciniams rodikliams tyrimas.
- Priedų įtakos alyvos eksploataciniams rodikliams tyrimas.
- Metalų taršos įtaka alyvų eksploataciniams rodikliams tyrimas.

Detalus tyrimų rezultatų skirstymas į analizuojamas grupes pateiktas 2 priede.

Atliekant tyrimus, variklinės alyvos darbo periodą galima suskirstyti į tokias zonas:

1. Alyvos įsidirbimas, 0–100 motoval.
2. Normalus alyvos darbas, 0–300 motoval.
3. Intensyvus alyvos darbas (eksploatuojamos alyvos darbas viršijant traktorių gamintojų rekomendacijas), daugiau kaip 300 motoval. (300 motoval. yra traktorių gamintojų rekomenduojamas alyvos keitimo intervalas).

Eksplatuojant traktorius, labai svarbu atskirti reikšminius ir parodomuosius alyvų parametrus. Reikšminiai būtų tokie parametrai, nuo kurių priklauso alyvos senėjimas, alyvos priedų išsieikvojimas, variklio tepimo sistemos būklė, variklio dilimo intensyvumas. Parodomieji parametrai parodo alyvos būklės kitimą dėl netinkamos variklio eksploatacijos (degalų patekimas į alyvos sistemą, iš aplinkos patekusios dulkės, per didelės apkrovos). Siekiant įvertinti abiejų tiriamųjų traktorių eksploatacijos sąlygų įtaką reikšminiams rodikliams, papildomai buvo atlikta šių traktorių tyrimų rezultatų koreliacinė analizė (žr. 2.3.2.7. poskyrį). Koreliacijos tikslas – parodyti eksploatacijos kitimo tendencijas (jei koreliacijos koeficiento reikšmė r_{xy} yra $|0,7|$ ir daugiau, tada eksploatuojant traktorius kitimo tendencijos ryšys išlieka stiprus). Esant mažai koreliacijos reikšmei (koreliacijos koeficiento reikšmė r_{xy} yra mažesnė kaip $|0,7|$), galima teigti, kad dėl traktorių konstrukcijų skirtumų ir alyvos sudėties kompozicijos skirtumų, kitimo tendencijos ryšys yra vidutinis arba silpnas (žr. 4 priedą). Kalbant apie parodomuosius parametrus, gautoms reikšmėms koreliacijos skaičiavimai nebus taikomi, šie parametrai yra netiesioginiai rodikliai alyvos būklei vertinti.

3.1. Alyvos klampumo, gaisrinių savybių ir tankio kitimas

Tiriant variklines alyvas būtina nustatyti alyvos klampą, klampos indeksą, tankį ir pliūpsnio temperatūrą. Tai yra pagrindinės eksploatacinės savybės, nuo kurių priklauso sklandus variklio darbas.

Klampa – skysčio vidinės trinties rodiklis, priešinimasis tekėjimui. Alyvos klampa pirmiausia yra tepimo charakteristika, nuo jos priklauso tepimo kokybė. Nuo klamos priklauso ir variklio bei mechanizmo energijos nuostoliai arba trinties nuostoliai (Baltėnas *et al.* 1998).

Variklinės alyvos klampa darbo metu gali kisti dėl:

1. Degalų degimo produktų kondensacijos.
2. Mechaninės molekulių destruktijos (esant didelėms apkrovoms).
3. Terminės destruktijos.

Visi šie punktai dirbant alyvai gali vienas kitą perdengti.

Visasezoninėse alyvose yra naudojami priedai: klamos modifikatoriai – tai polimerinės medžiagos, kurių molekulės žemoje temperatūroje sudaro spiralę, o aukštoje išsiplečia, taip palaikant pastovią klamos vertę. Šis priedas pailgina alyvos darbo trukmę.

Klamos kitimo savybę pagerinti gali polimeriniai priedai, kurie keičiantis temperatūrai elgiasi priešingai nei įprasti skysčiai. Minėtais priedais galima padidinti alyvos klamos indeksą, tačiau polimeriniai priedai yra neatsparūs mechaniniam poveikiui, todėl ilgainiui yra negrįžtamai suardomi. Šie priedai, kylant temperatūrai, neleidžia alyvai per daug suskystėti, temperatūrai krintant – sutirštėti, taigi padaro alyvos klampą mažiau priklausomą nuo temperatūros pokyčių. Žemoje temperatūroje ilgų polimerų grandinių tūris sumažėja, todėl sumažėja ir alyvos vidinė trintis – klampa. Aukštoje temperatūroje polimerų molekulių tūris didėja ir trukdo alyvai tekėti, todėl jos klampa nemažėja taip greitai kaip alyvos be šių priedų.

Padidėjusi alyvos kinematinė klampa parodo, ar išgaravo lengvosios frakcijos, susikaupė oksidacijos produktų arba kitokių priemaišų.

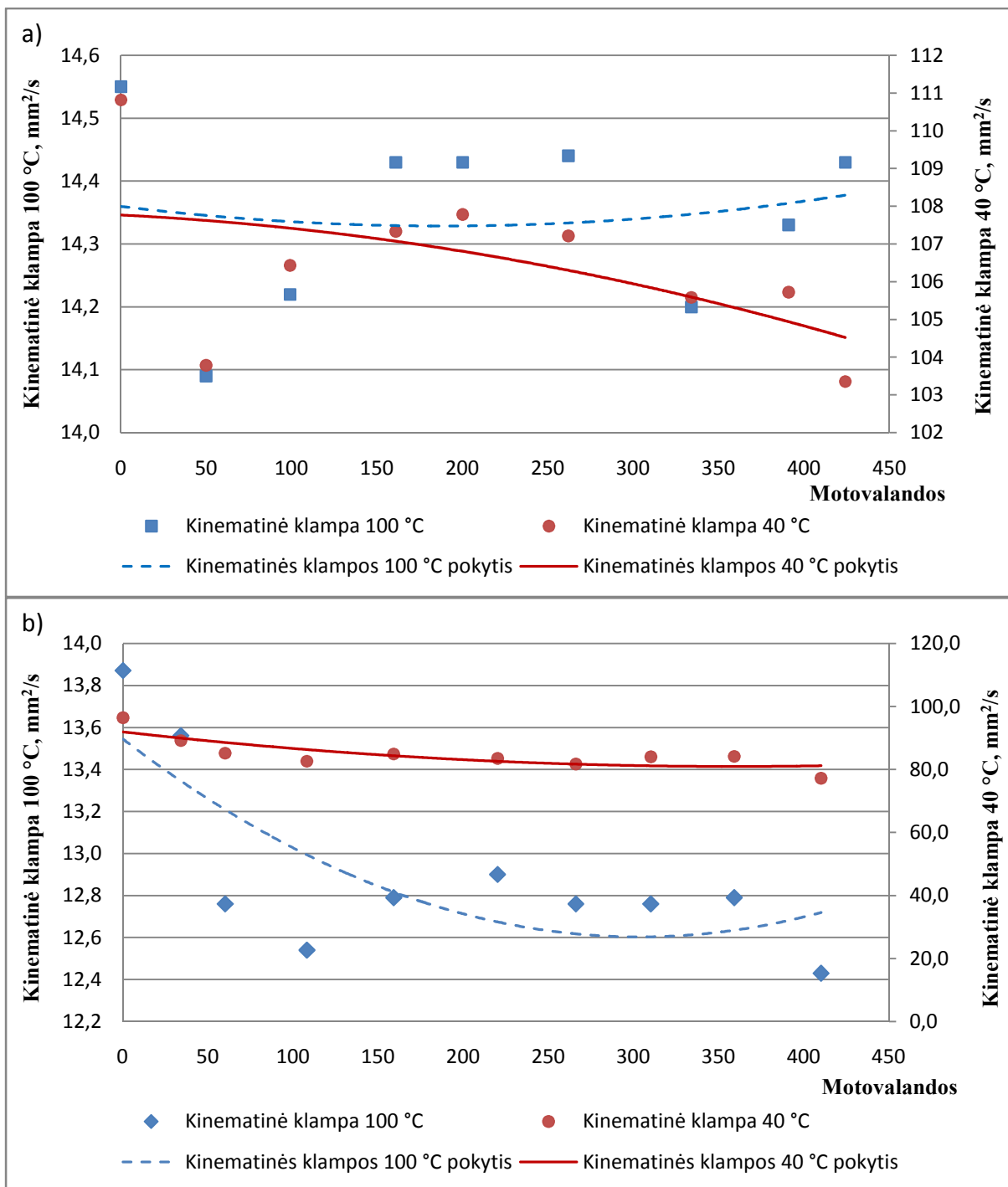
Ženklus kinematinės klamos padidėjimas atsiranda perkaitinus alyvą ir dėl labai didelio suodžių kiekio alyvoje.

Ženklus kinematinės klamos sumažėjimas gali atsirasti dėl visasezoninėje alyvoje esančių klamos modifikatorių (priedų didinančių klamos indeksą) irimo. Taip pat tam gali turėti įtakos didelis degalų degimo produktų patekimas į variklinę alyvą.

Iš gautų tyrimų rezultatų matyti, kad traktoriuje *John Deere 3640* kinematinė klampa esant 40 °C kito 8 mm²/s intervale, esant 100 °C – 0,5 mm²/s intervale. Alyvai pradėjus dirbti intensyvaus darbo zonoje klampa esant 40 °C pradėjo mažėti, (žr. 3.1. a paveikslą). Traktoriuje *Valtra A92* kinematinė klampa esant 40 °C kito 19,3 mm²/s intervale, esant 100 °C – 1,4 mm²/s intervale. Kinematinė klampa esant 40 °C mažėjo visą alyvos darbo laiką, esant 100 °C kinematinė klampa greitai sumažėjo alyvos įsidirbimo metu. (žr. 3.1. b paveikslą). Gautos reikšmės yra sąlyginai mažos. Dažniausiai klampa nekinta dėl vienos priežasties,

galima teigti, kad klampų kitimas atsirado dėl visų minėtų priežasčių kompleksškai: mechaninės molekulių ir terminės destruktijos, degalų degimo produktų kondensacijos patekimo į alyvą.

3.1. paveiksle pateikta alyvų klamos priklausomybė nuo alyvos įdirbio tiriamuose traktoriuose.



3.1. pav. Kinematinės klamos priklausomybė nuo alyvos įdirbio esant 40 °C ir 100 °C.

Tiriamieji traktoriai: a) – *John Deere 3640*; b) – *Valtra A92*

Tiriamųjų traktorių kinematinės klamos priklausomybę nuo alyvos įdirbio aprašo lygtys (4) – (7). Lygtys išvestos pagal gautus tyrimų duomenis. Naudojant aprašytas lygtis,

įvedant kintamąjį x (alyvos darbo laiką, motoval.), galima apskaičiuoti kinematinės klampos reikšmę, priklausomai nuo pasirinktos alyvos darbo laiko reikšmės.

Kinematinės klampos priklausomybė nuo alyvos įdirbio, esant 100 °C (*John Deere 3640*):

$$y = 9 \cdot 10^{-7} \cdot x^2 - x + 14,36; \quad (4)$$

čia: y – kinematinė klampa, mm²/s; x – alyvos darbo laikas, motoval.

Kinematinės klampos priklausomybė nuo alyvos įdirbio, esant 40 °C (*John Deere 3640*):

$$y = -1 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot x + 107,7; \quad (5)$$

Kinematinės klampos priklausomybė nuo alyvos įdirbio, esant 100 °C (*Valtra A92*):

$$y = 1 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 - 6 \cdot 10^{-3} \cdot x + 13,54; \quad (6)$$

Kinematinės klampos priklausomybė nuo alyvos įdirbio, esant 40 °C (*Valtra A92*):

$$y = 9 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 - 6,1 \cdot 10^{-2} \cdot x + 91,9; \quad (7)$$

Klampos indeksas – rodiklis alyvos klampos priklausomybei nuo temperatūros vertinti. Kuo klampos indeksas didesnis, tuo alyvos klampa mažiau priklauso nuo temperatūros. Norint apskaičiuoti alyvos klampos indeksą, reikia žinoti alyvos klampą esant 40 °C ir 100 °C temperatūrai (Jučas 1992).

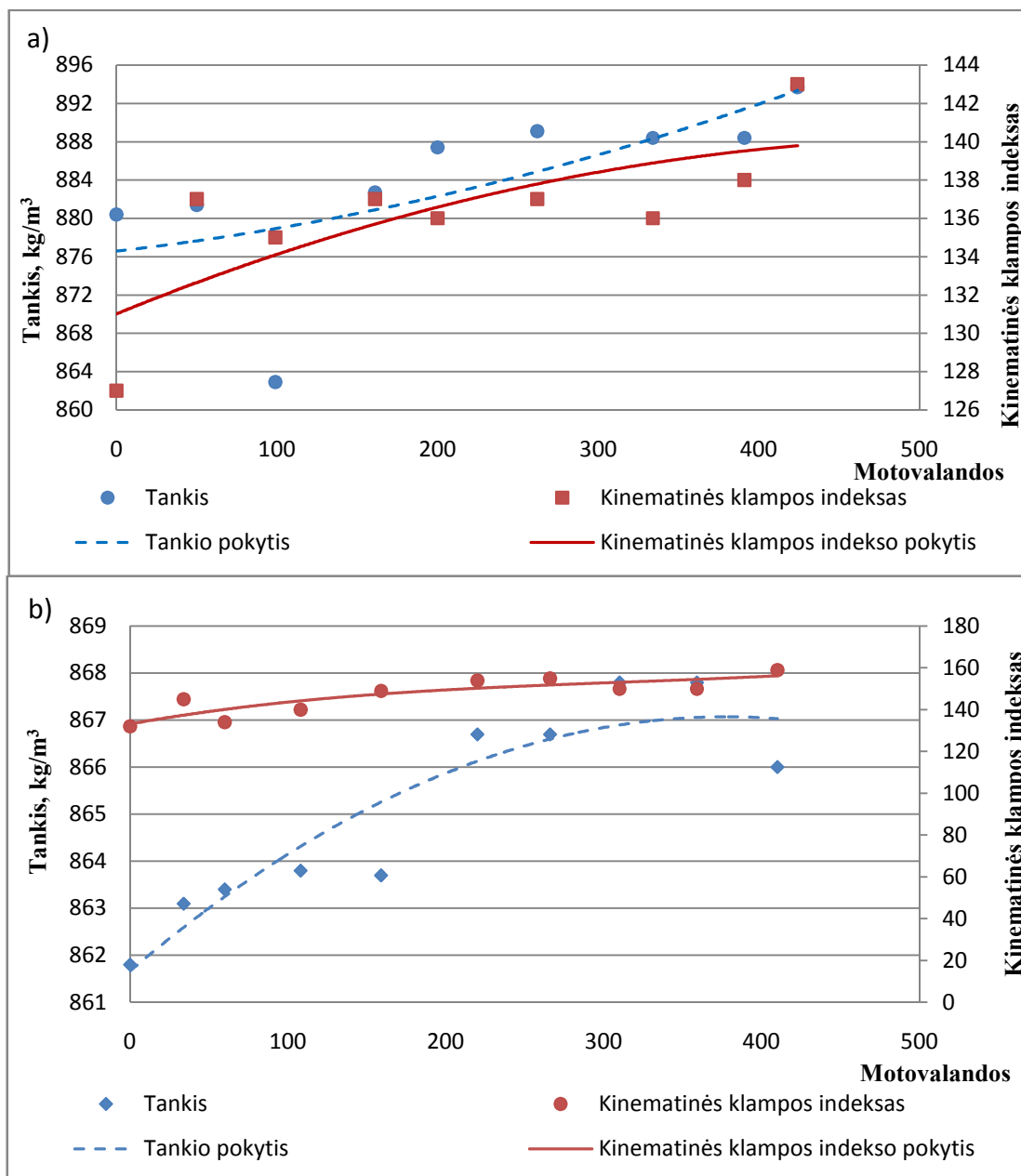
Skysčių tankis priklauso nuo temperatūros, jai didėjant tankis mažėja, o temperatūrai mažėjant tankis didėja. Naftos produktų tankis priklauso ne tik nuo temperatūros, bet ir nuo jų cheminės sudėties. Kadangi vandenilio atominė masė yra daug mažesnė negu anglies, tai tankis mažesnis tų angliavandenilių, kurių molekulėse daugiau vandenilio atomų ir mažiau anglies atomų. Tokių angliavandenilių būna žemesnė virimo temperatūra, mažesnė klampa ir didesnis šilumingumas (nes vandenilis šilumingesnis negu anglis).

Iš tankio galima spręsti apie naftos produktų cheminę ir frakcinę sudėtį, klampą ir šilumingumą, naftos produkto rūšį, užsiteršimą kitos rūšies produktais. Tankiu naudojasi, kai reikia nustatyti naftos produktų masę, žinant tūrį, ir atvirkščiai. Pagal tankį nustatoma kai kurių techninių skysčių (tokių kaip antifrizas, elektrolitas ir kt.) koncentracija, kartu jų tinkamumas naudoti tam tikromis sąlygomis (Sokolovskij, Matijošius 2012).

Abiejų tiriamųjų traktorių visose alyvos darbo zonose tankis didėjo. Tankio pokytis traktoriuje Nr. 1 – 31 kg/m³. Tankio reikšmės šiame tiriamajame traktoriuje greitai sumažėjo alyvos įsidirbimo metu (18 kg/m³), tai yra vertinama kaip prietaiso paklaida, nes toliau dirbant alyvai tankis išliko pastovus, nevertinant šios reikšmės tankio pokyčio intervalas labai sumažėja – 18 kg/m³ (žr. 3.2. a paveikslą), traktoriuje nr. 2 – 6 kg/m³ (žr. 3.2. b paveikslą).

Dirbant alyvai, keičiasi jos frakcinė sudėtis, užteršiama suodžiais, dilimo produktais ir kitais teršalais, dėl šių priežasčių tankis didėja.

3.2. paveiksle pateikta tiriamųjų traktorių alyvų klamos indekso ir tankio priklausomybė nuo alyvos įdirbio.



3.2. pav. Tankio ir kinematinės klamos indekso priklausomybė nuo alyvos įdirbio. Tiriamieji traktoriai: a) – *John Deere 3640*; b) – *Valtra A92*

Tiriamųjų traktorių kinematinės klamos indekso ir tankio priklausomybę nuo alyvos įdirbio aprašo lygtys(8) – (11).

Kinematinės klamos indekso priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*John Deere 3640*):

$$y = -3 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 3,4 \cdot 10^{-2} \cdot x + 131. \quad (8)$$

čia: y – kinematinės klamos indeksas; x – alyvos darbo laikas, motoval.

Alyvos tankio priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*John Deere 3640*):

$$y = 5 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 1,8 \cdot 10^{-2} \cdot x + 876,6. \quad (9)$$

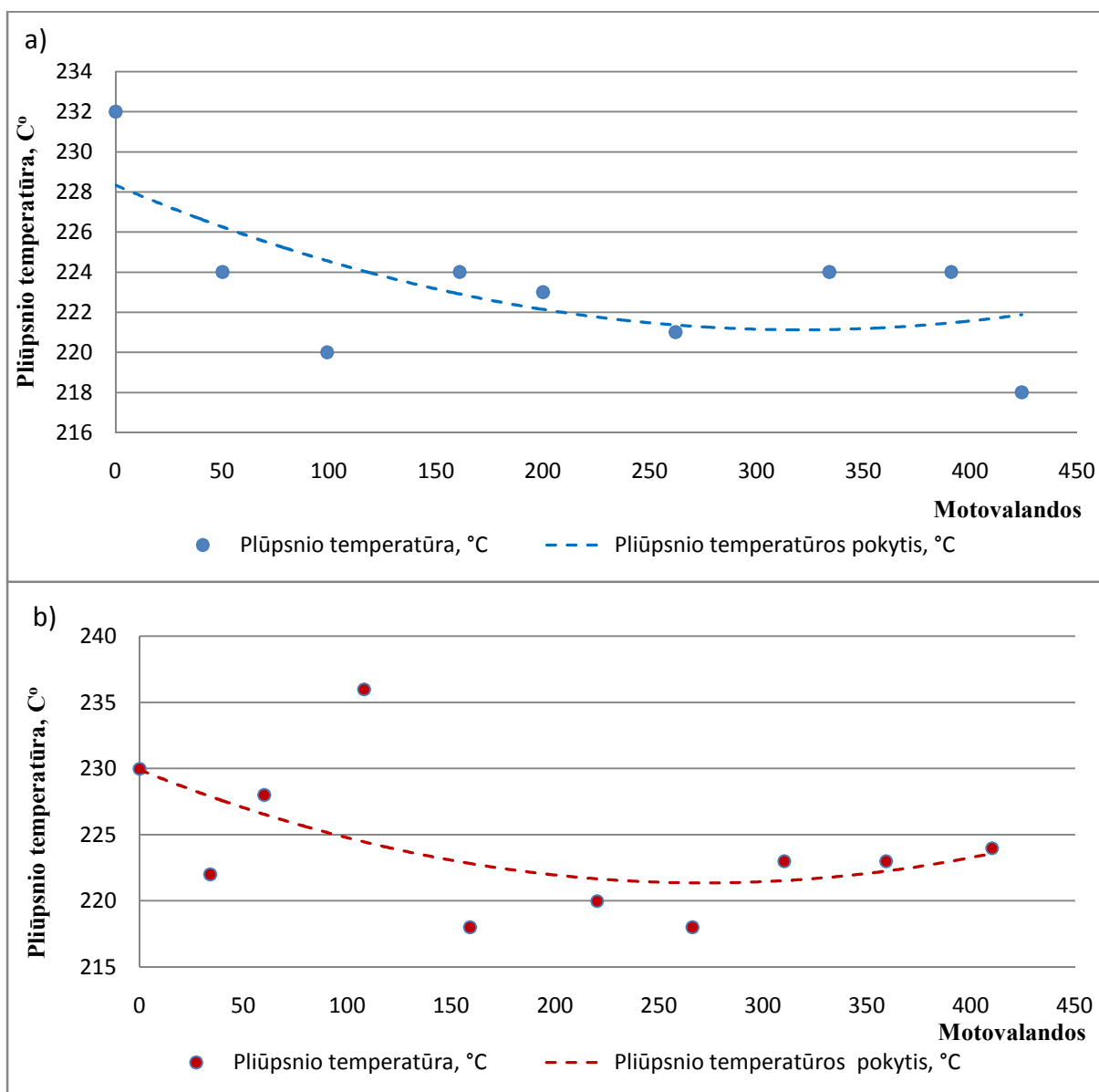
Kinematinės klampos indekso priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*Valtra A92*):

$$y = 4 \cdot 10^{-7} \cdot x^3 - x^2 + 0,134x + 133,2. \quad (10)$$

Alyvos tankio priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*Valtra A92*):

$$y = -4 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 2,8 \cdot 10^{-2} x + 861,6. \quad (11)$$

Tiriamųjų traktorių alyvos pliūpsnio temperatūros priklausomybė nuo alyvos įdirbio pateikta 3.3. paveiksle.



3.3. pav. Pliūpsnio temperatūros priklausomybė nuo alyvos įdirbio.

Tiriamieji traktoriai: a) – *John Deere 3640*; b) – *Valtra A92*

Pliūpsnio temperatūra – svarbus variklinių alyvų rodiklis. Alyvos pliūpsnio temperatūra priklauso nuo naftos produktų frakcinės sudėties. Lengvesniųjų naftos produktų

pliūpsnio temperatūra būna žemesnė, nes greičiau susidaro galinčios užsidegti koncentracijos garų ir oro mišinys. Kuo ji žemesnė, tuo daugiau alyvos išgaruoja ir sudega variklyje. Iš pliūpsnio temperatūros galima spręsti, ar į alyvą nepateko degalų, tai yra netiesioginis indikatorius degalų patekimui vertinti.

Pliūpsnio temperatūra tiriamuose traktoriuosevisą alyvos įdirbio laiką mažėjo. Pliūpsnio temperatūra tiriamajame traktoriuje Nr. 1 kito 14 °C intervale (žr. 3.3. a paveikslą), tiriamajame traktoriuje Nr. 2 – 18 °C intervale (žr. 3.3. b paveikslą). Pliūpsnio temperatūros mažėjimas reiškia greitesnį užsiliepsnojamą. Galima teigti, jog tai atsitiko dėl tos pačios priežasties, kaip ir nagrinėjant kinematinės klampos kitimą – degalų degimo produktų kondensacijos į alyvą. Reikia atsižvelgti į tai, kad pliūpsnio temperatūros nustatymo paklaida pagal AB „Lietuvos geležinkeliai“ laboratorijos metodiką: ± 6 °C.

Pliūpsnio temperatūros priklausomybę nuo alyvos įdirbio tiriamuose traktoriuose aprašo lygtys (12) – (13).

Pliūpsnio temperatūros priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*John Deere 3640*):

$$y = 7 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 - 4,5 \cdot 10^{-2} x + 228,3. \quad (12)$$

čia: y – pliūpsnio temperatūra, °C; x – alyvos darbo laikas, motoval.

Pliūpsnio temperatūros priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*Valtra A92*):

$$y = x^2 - 6,2 \cdot 10^{-2} x + 229,8. \quad (13)$$

3.2. Alyvos užterštumas ir senėjimas

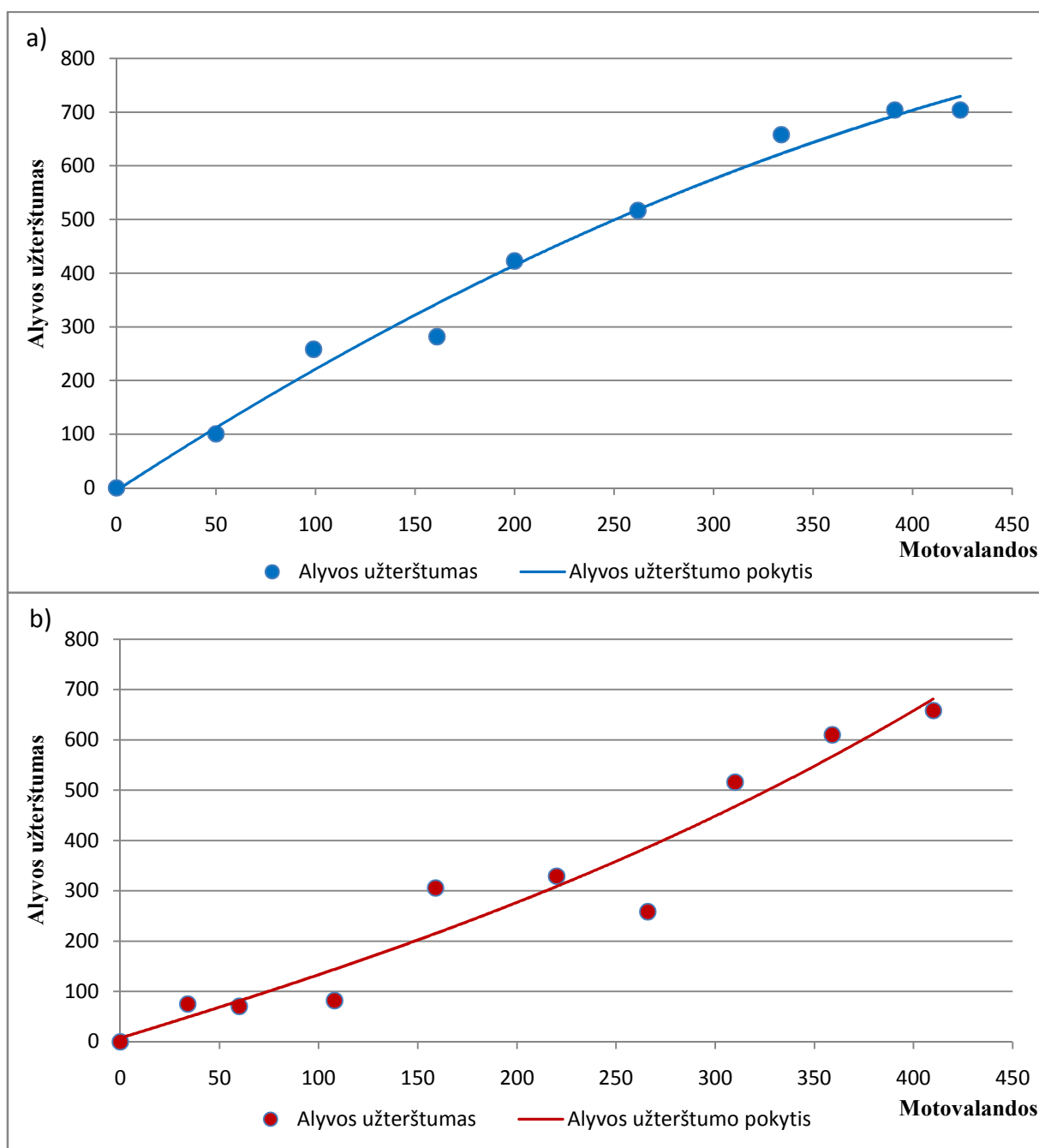
Dirbant varikliams, alyvų fizikinės ir cheminės savybės keičiasi – alyva sensta. Dažniausiai alyvų senėjimas susijęs su jos angliavandenilių oksidacija. Vienas iš alyvos taupymo rezervų yra jos keitimo periodiškumo ilginimas. Ar būtina alyvą keisti, galima spręsti iš jos kokybės pasikeitimo. Tam nustatyti dažniausiai taikomi alyvos senėjimo tyrimai.

Alyvosenėjimą parodo:

- alyvos užterštumas;
- alyvos oksidacija (dervos), sulfatacija (siera), nitrifikacija (azotas);
- suodžių atsiradimas alyvoje.

Gauti tyrimų rezultatai, kurie pateikiami 3.2. – 3.4. poskyriuose, yra reikšminiai, todėl, kaip minėta šio skyriaus pradžioje, bus pateikiamos ne tik rezultatų priklausomybės formulės nuo alyvos įdirbio, išvestos pagal gautus tyrimų rezultatus, bet ir įvertintas koreliacijos koeficientas r_{xy} .

Tiriamųjų traktorių alyvos užterštumo priklausomybė nuo alyvos įdirbio pateikta 3.4. paveiksle.



3.4. pav. Alyvos užterštumo priklausomybė nuo alyvos įdirbio.

Tiriamieji traktoriai: a) – *John Deere 3640*; b) – *Valtra A92*

Tiriamųjų traktorių alyvos užterštumo priklausomybę nuo alyvos įdirbio aprašo lygtys(14) – (15).

Alyvos užterštumo priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*John Deere 3640*):

$$y = -1 \cdot 10^{-3} x^2 + 2,424x - 5,109. \quad (14)$$

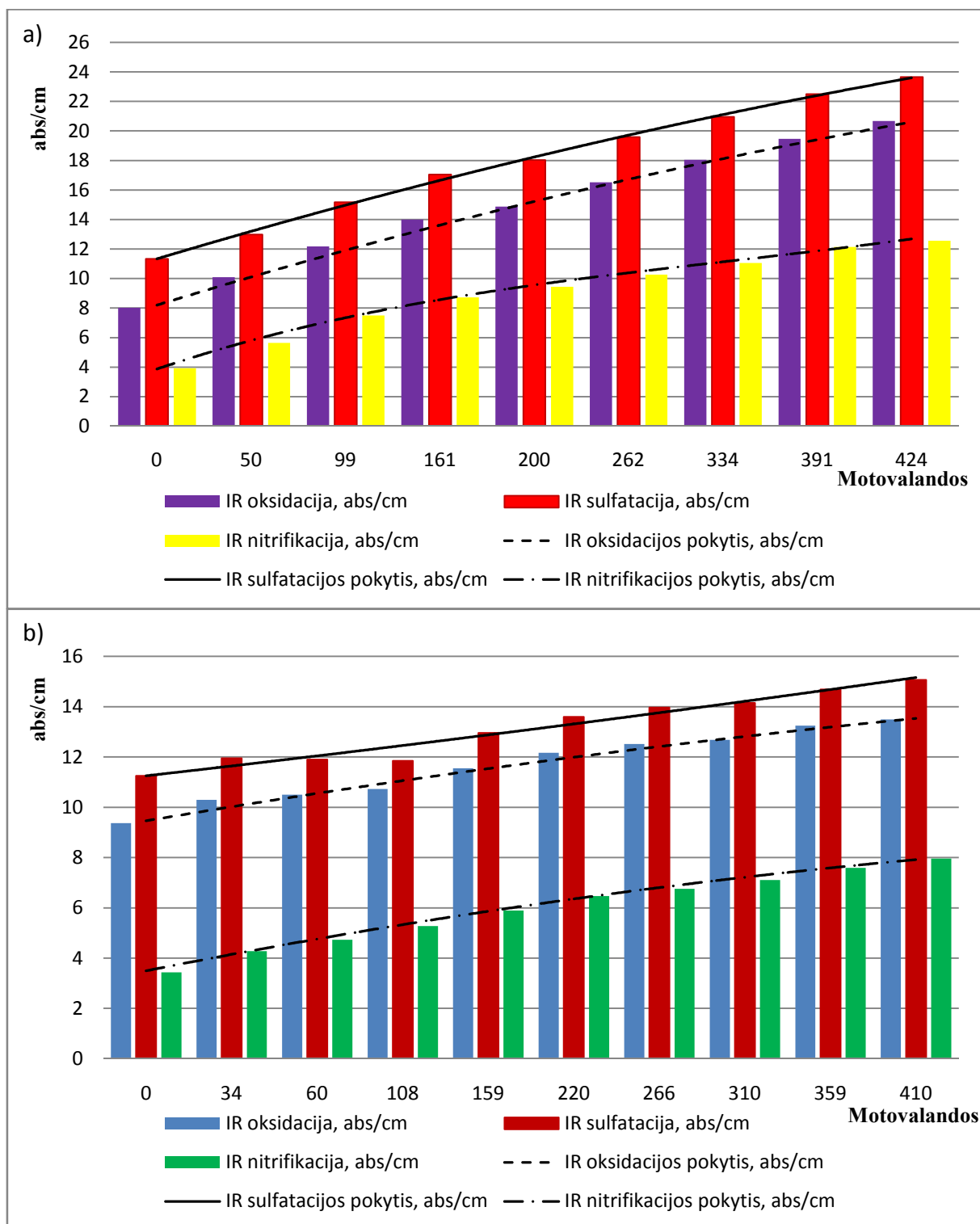
čia: y – alyvos užterštumas; x – alyvos darbo laikas, motoval.

Alyvos užterštumo priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*Valtra A92*):

$$y = 2 \cdot 10^{-6} \cdot x^3 + x^2 + 1,202x + 7,262. \quad (15)$$

Alyvos užterštumo apskaičiuotas koreliacijos koeficientas: $r_{xy(\text{užterštumas})}$ lygus 0,897.

Tiriamųjų traktorių alyvos oksidacijos, sulfatacijos ir nitrifikacijos priklausomybė nuo alyvos įdirbio pateikta 3.5. paveiksle.

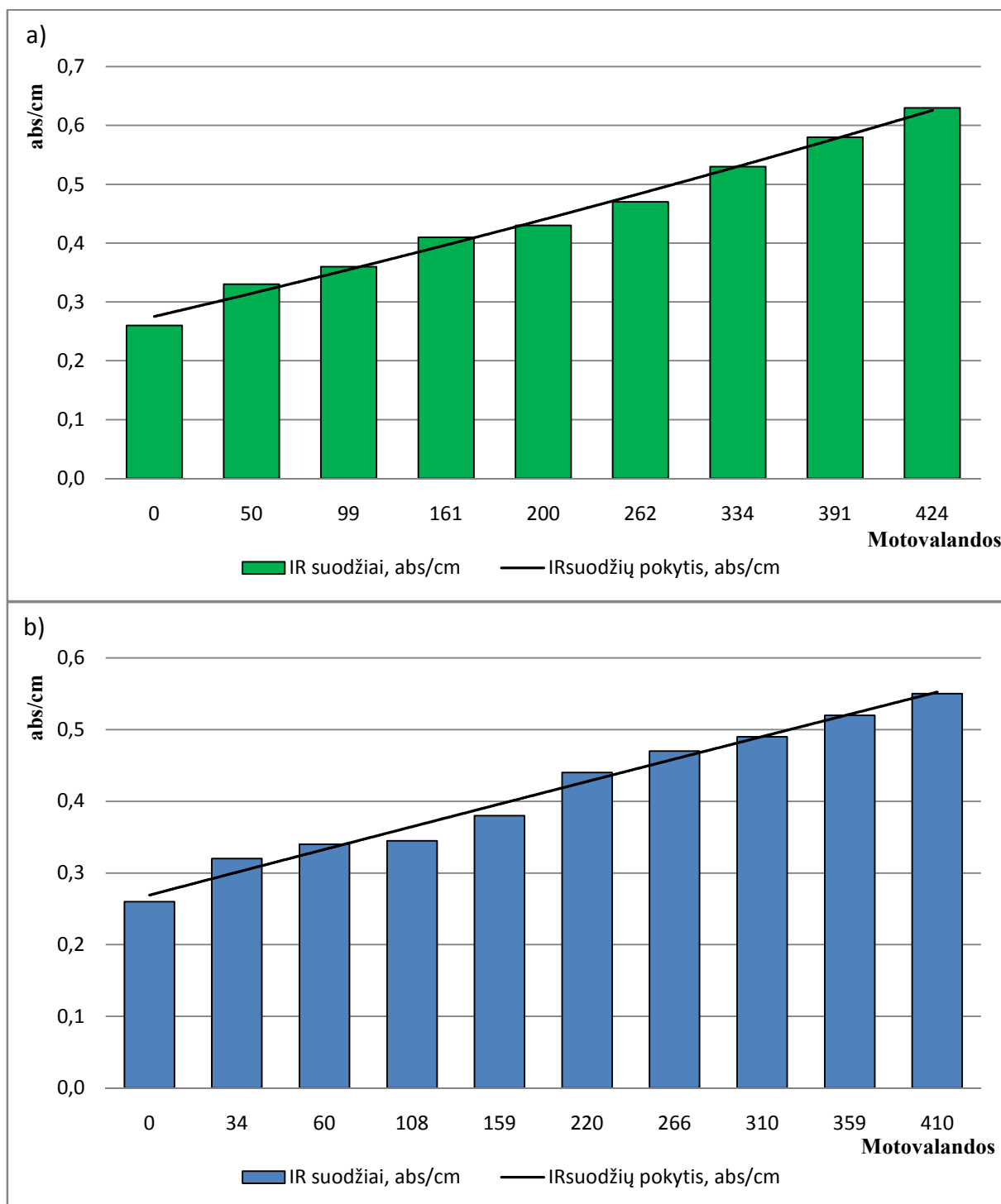


3.5. pav. Alyvos oksidacijos, sulfatacijos ir nitrifikacijos priklausomybė nuo alyvos įdirbio.

Tiriamieji traktoriai: a) – *John Deere 3640*; b) – *Valtra A92*

Oksidacija gali didėti dėl perkaitintos alyvos ir per ilgo alyvos naudojimo intervalo. Sulfatacijos didėjimas atsiranda dėl sieringų degalų, per ilgo alyvos naudojimo intervalo. Rekomenduojama oksidacijos riba – 25 abs/cm. Tyrimu metu didžiausia oksidacijos reikšmė užfiksuota tiriamąjo traktoriaus nr. 2 (*John Deere 3640*) – 21 abs/cm.

Tiriamųjų traktorių alyvos suodžių susidarymo priklausomybė nuo alyvos įdirbio pateikta 3.6. paveiksle.



3.6. pav. Suodžių priklausomybė nuo alyvos įdirbio.

Tiriamieji traktoriai: a) – *John Deere 3640*; b) – *Valtra A92*

Tiriamųjų traktorių alyvos oksidacijos, sulfatacijos ir nitrifikacijos priklausomybę nuo alyvos įdirbio aprašo lygtys(16) – (21).

Alyvos oksidacijos priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*John Deere 3640*):

$$y = -5,1 \cdot 10^{-2} \cdot x^2 + 2,06x + 6,19. \quad (16)$$

Alyvos sulfatacijos priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*John Deere 3640*):

$$y = -4,7 \cdot 10^{-2} \cdot x^2 + 2,009x + 9,376. \quad (17)$$

Alyvos nitrifikacijos priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*John Deere 3640*):

$$y = 1,2 \cdot 10^{-2} \cdot x^3 - 0,272x^2 + 2,655x + 1,484. \quad (18)$$

Alyvos oksidacijos priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*Valtra A92*):

$$y = -1,3 \cdot 10^{-2} \cdot x^2 + 0,624x + 8,262. \quad (19)$$

Alyvos sulfatacijos priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*Valtra A92*):

$$y = 5 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 + 0,363x + 10,49. \quad (20)$$

Alyvos nitrifikacijos priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*Valtra A92*):

$$y = -2 \cdot 10^{-2} \cdot x^2 + 0,71x + 2,811. \quad (21)$$

Apskaičiuoti koreliacijos koeficientai: oksidacija $r_{xy(oksidacija)}$ lygus 0,984, sulfatacijos: $r_{xy(sulfatacija)}$ lygus 0,955, nitrifikacijos: $r_{xy(nitrifikacija)}$ lygus 0,99.

Alyvoje suodžiai atsirasti gali dėl cilindų įvorių, stūmoklio žiedų, guolių dėvėjimosi. Taip pat dėl cilindų įvorių ir molibdeno junginiais dengtų kompresinių žiedų (ilgiau eksploatuoti varikliai) dėvėjimosi, esant dideliame suodžių kiekiui alyvoje.

Suodžiai variklinėje alyvoje neturėtų įtakos kokybei, jei jie *nesiaglomerizuotų (sukibtų), suodžiams sukibus – didėja alyvos klampa ir jie pradeda veikti kaip abrazyvinė medžiaga. Aglomerizacijos procesą mažina dispersiniai priedai.

Suodžių susidarymo alyvoje priklausomybę nuo alyvos įdirbio tiriamuose traktoriuose aprašo lygtys(22) – (23).

Suodžių susidarymo alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*John Deere 3640*):

$$y = x^2 + 3,7 \cdot 10^{-2} \cdot x + 0,237. \quad (22)$$

Suodžių susidarymo alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*Valtra A92*):

$$y = -6 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 3,2 \cdot 10^{-2} \cdot x + 0,237. \quad (23)$$

Apskaičiuotas suodžių susidarymo koreliacijos koeficientas: $r_{xy(suodžiai)}$ lygus 0,986.

Alyvos užterštumas (žr. 3.4. paveikslą), oksidacija, sulfatacija, nitrifikacija (žr. 3.5. paveikslą) ir suodžiai alyvoje (žr. 3.6. paveikslą) didėja tolygiai per visą alyvos darbo laiką. Tai parodo, kad dirbant alyvoje kaupiasi vis didesnis kiekis teršalų (degimo produktų), alyva sensta prarasdama eksploatacines savybes.

Alyvos užterštumo, oksidacijos, sulfatacijos, nitrifikacijos ir suodžių susidarymo apskaičiuotos koreliacijos koeficientų reikšmės kinta 0,897–0,99 intervale (minėtų reikšmių koreliacijos vidurkis 0,962). Remiantis gautais rezultatais, galima teigti, kad alyvos užterštumo ir senėjimo tendencijų ryšys tarp tiriamuose traktoriuose naudojamų alyvų yra stiprus. Jis parodo skirtingų traktorių darbo pobūdį atitinkančių parametų panašų kitimą.

3.3. Alyvų priedai ir jų išsieikvojimas

Gamybos stadijoje bazinės alyvos, skirtos tepimo produktams, per daug kokybės gerinimo ir valymo stadijų, kurios padeda pritaikyti savybes būsimam panaudojimui. Priedai taip pat gali pagerinti alyvos savybes esant neigiamai temperatūrai, padidinti klampos indeksą ir atsparumą oksidacijai, apsaugo nuo kontaktinio detalių slėgio, detalių dėvėjimosi, korozijos ir putų susidarymo. Pagal savo funkcijas sąlyginai jie yra skirstomi į tris grupes, nes kai kurie iš jų gali atlikti ir keletą funkcijų: modifikuojantys alyvos savybes, saugantys alyvą, saugantys detalių paviršius (Machinery 2015).

Kalcis, cinkas ir fosforas yra alyvos priedai, kurie neturi išsieikvoti. Koncentracijos šuoliai susidaro dėl prietaiso paklaidos.

Kalcio ir fosforo junginiai alyvoje saugo paviršius nuo korozijos. Lėtina spalvotųjų metalinių paviršių koroziją, apsaugo geležies ir plieninius paviršius nuo korozijos.

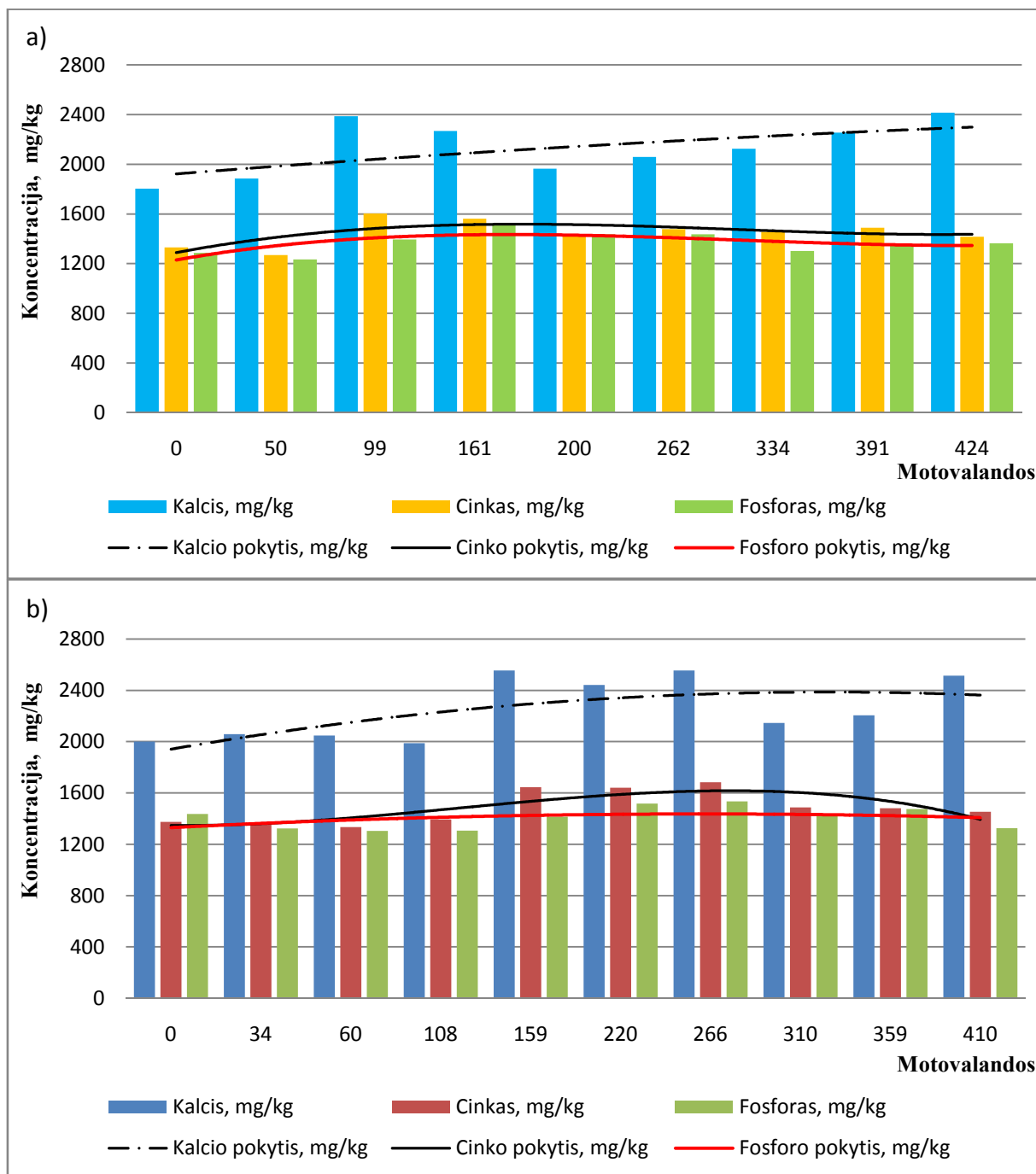
Apsaugantys nuo korozijos priedai. Oksiduojantis alyvai susidaro rūgštys, kintant temperatūrai gali kauptis drėgmė, o tai gali turėti didelę įtaką metalų paviršių korozijai. Šių priedų veikimas – detalių paviršiuje sudaro tvirtą netirpių junginių apsauginę plėvelę, kuri apsaugo po ja esančius sluoksnius nuo agresyvių rūgščių ar vandens poveikio.

Kalcio priedai alyvoje *disperguoja dervas, neleidžia alyvoje susidariusioms dervų dalelėms jungtis tarpusavyje ir nusėsti.

Fosforo junginiai taip pat alyvoje apsaugo nuo oksidacijos ir metalo deaktyvacijos. Saugo alyvą – stabdo oksidaciją, neutralizuoja oksidacijos produktus, pailgina alyvos veikimo trukmę. Ribinė alyvosplėvelė ant įkaitusių metalinių variklio detalių gali intensyviai oksiduotis, todėl antioksidantai neutralizuoja aktyvius radikalus, kurie susidaro alyvai sąveikaujant su oro deguonimi, taip pat skaido hidroperoksidus, deaktyvuoja metalų paviršius.

Cinko junginių priedai alyvoje apsaugo trinties paviršius nuo dilimoesant didelėms apkrovoms ir temperatūroms. Šie priedai sudaro absorbcinę plėvelę ant metalo paviršiaus, kuri apsaugo nuo žalingo trinties ir kitokio poveikio.

Kalcio, cinko ir fosforo koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio tiriamuose traktoriuose pateikta 3.7. paveiksle.



3.7. pav. Kalcio, cinko ir fosforo koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio.

Tiriamieji traktoriai: a) – *John Deere 3640*; b) – *Valtra A92*

Kalcio, cinko ir fosforo koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio tiriamuose traktoriuose aprašo lygtys(24) – (29).

Kalcio koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*John Deere 3640*):

$$y = -1,962x^2 + 66,83x + 1856. \quad (24)$$

Cinko koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*John Deere 3640*):

$$y = 5 \cdot 10^{-2} \cdot x^4 + 0,935x^3 + 31,83x^2 + 210,6x + 1108. \quad (25)$$

Fosforo koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*John Deere 3640*):

$$y = 1,774x^3 - 35,4x^2 + 206,9x + 1056. \quad (26)$$

Kalcio koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*Valtra A92*):

$$y = -1,2 \cdot 10^{-2} \cdot x^3 - 8,083x^2 + 137,1x + 1811. \quad (27)$$

Cinko koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*Valtra A92*):

$$y = -2,453x^3 + 30,91x^2 - 62,4x + 1380. \quad (28)$$

Fosforo koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*Valtra A92*):

$$y = -3,045x^2 + 42,15x + 1291. \quad (29)$$

Apskaičiuoti kalcio, cinko ir fosforo koncentracijos alyvoje koreliacijos koeficientai:

$r_{xy(\text{kalcis})}$ lygus -0,125, $r_{xy(\text{cinkas})}$ lygus 0,5163, $r_{xy(\text{fosforas})}$ lygus -0,1564.

Magnio organiniai metalų junginiai atlieka detalių plovimo funkciją: saugo paviršių, lėtina dervų susidarymą ir neleidžia joms prilipti prie detalių paviršių.

Plaunantys priedai, naudojami šiuolaikinėje variklių alyvoje, apsaugo stūmoklių ir vidinių variklio dalių paviršius nuo anglies, dervų ir teršalų nuosėdų, kurios linkusios formuoti junginius ir padidinti darbinės temperatūras. Pagerinus alyvos plovimo savybes, daugiau netirpių medžiagų (senėjimo produktų) gali būti alyvoje neišsiskirdamos į nuosėdas – tuo mažiau lakų ir priedegų susidaro, lėtinama oksidacija, neutralizuojamos pavojingos rūgštys.

Šie priedai absorbuojasi (prilimpa) prie paviršių ir sudaro neabrazyvinį sluoksnį, kuris ir neleidžia dervoms prie jų prilipti, išlaiko jas tirpias, trukdo jungtis ir susidaryti oksidacijos produktų nuosėdoms. Magnio priedai taip pat didina alyvos terminį stabilumą.

Tiriamųjų traktorių magnio koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio aprašo lygtys (30) – (31).

Magnio koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*John Deere 3640*):

$$y = 0,198x^2 + 5,12x + 254,4. \quad (30)$$

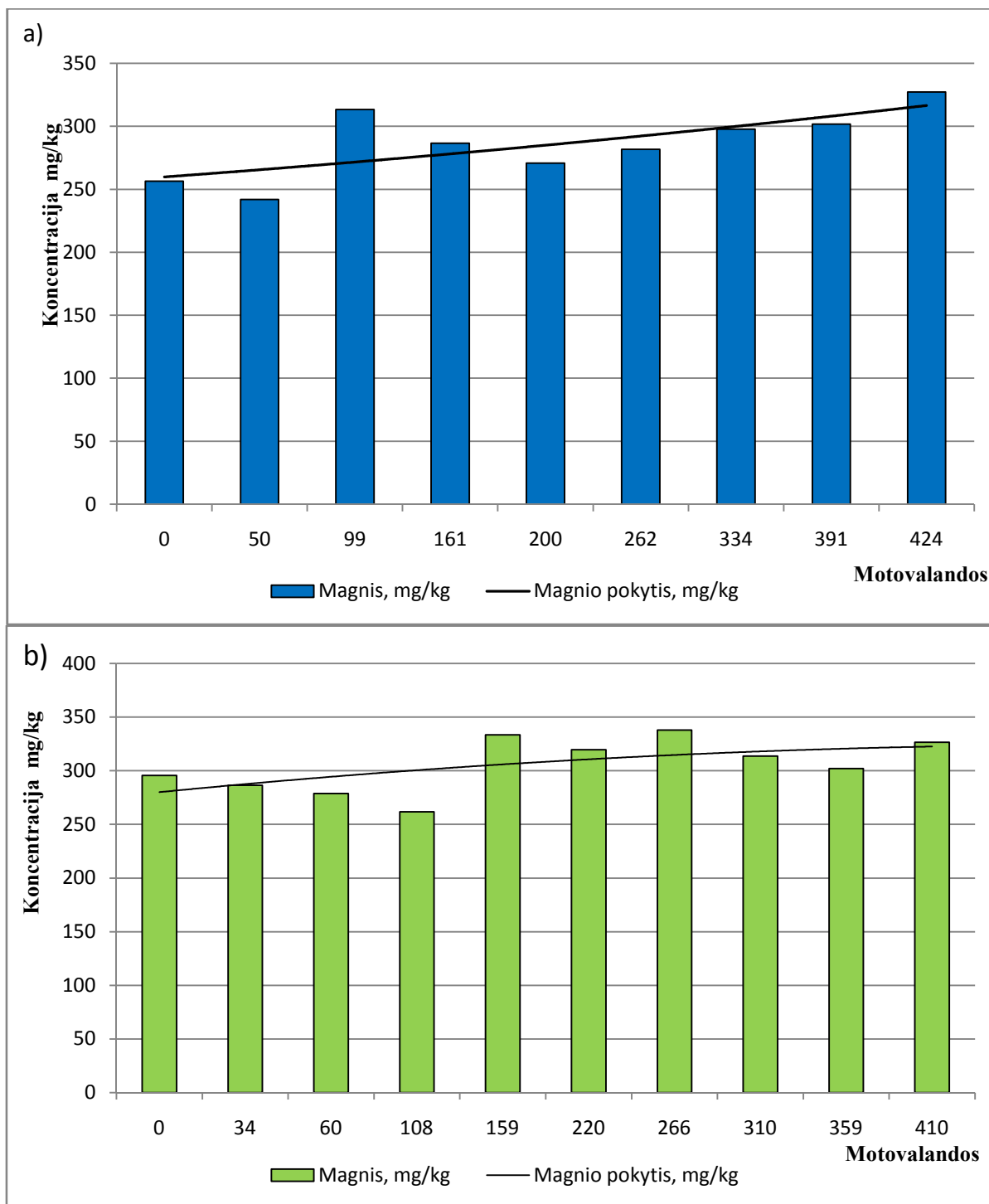
Magnio koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*Valtra A92*):

$$y = -0,348x^2 + 8,538x + 272. \quad (31)$$

Apskaičiuotas magnio koncentracijos naudotose alyvose koreliacijos koeficientas:

$$r_{xy(\text{magnis})} = 0,047.$$

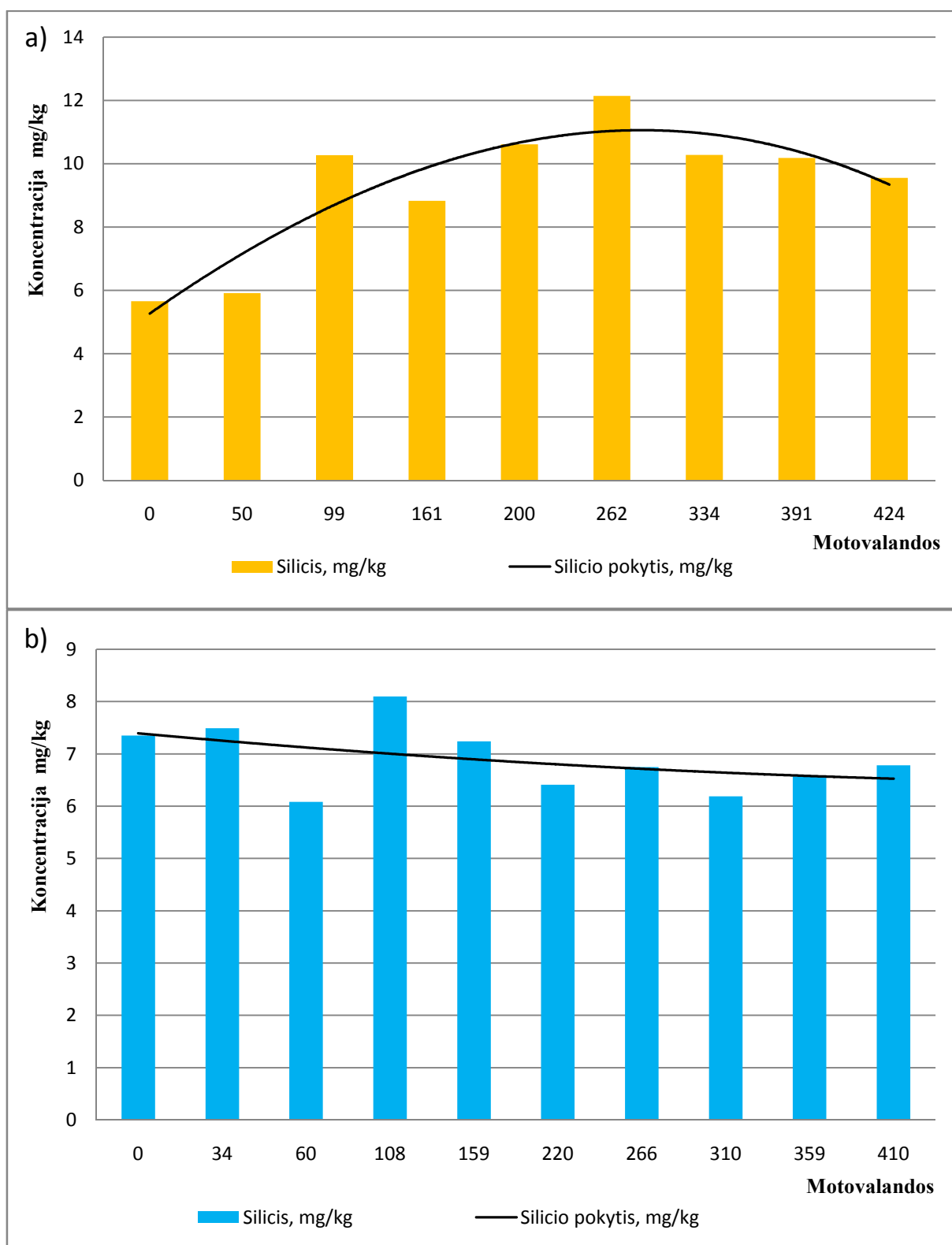
Tiriamųjų traktorių magnio koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio pateikta 3.8. paveiksle.



3.8. pav. Magnio koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio.

Tiriamieji traktoriai: a) – *John Deere 3640*; b) – *Valtra A92*

Tiriamųjų traktorių silicio koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio pateikta 3.9. paveiksle.



3.9. pav. Silicio koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio.

Tiriamieji traktoriai: a) – *John Deere 3640*; b) – *Valtra A92*

Silicis taip pat yra alyvos priedas, kuris darbo metu neturi išsieikvoti. Silicis yra antiputojimo priedas. Alyvos putojimas blogina trinties paviršių tepimą, alyva greičiau

oksiduojasi. Putos susidaro, kai alyva yra intensyviai sumaišoma su oru. Labiau putoja didesnės klampios alyvos, taip pat krintant alyvos temperatūrai. Putojimą taip gali skatinti ir plaunantys priedai. Šis priedas sumažina oro burbuliukų plėvelės stiprumą, todėl ji greičiau trūkinėja.

Tiriamųjų traktorių silicio koncentracijos alyvoje priklausomybę nuo alyvos įdirbio aprašo lygtys (32) – (33).

Silicio koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*John Deere 3640*):

$$y = -4 \cdot 10^{-3} \cdot x^3 - 0,143x^2 + 2,349x + 3,064. \quad (32)$$

Silicio koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*Valtra A92*):

$$y = 5 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 - 0,158x + 7,549. \quad (33)$$

Apskaičiuotas silicio koncentracijos naudotose alyvose koreliacijos koeficientas:

$r_{xy(silicis)}$ lygus -0,58.

Iš apskaičiuotų alyvų priedų koncentracijos kitimo koreliacijos koeficientų matyti, kad cinko ir silicio kitimo tendencijos tarp naudotų alyvų ryšio stiprumas yra vidutinis. Apskaičiuotas silicio koreliacijos koeficientas yra neigiamas ($r_{xy(silicis)}$ lygus -0,58), tai parodo, kad didėjant alyvos darbo laikui, silicio koncentracija mažėja (žr. 2.3.2.7. poskyrį). Gauti kalcio, cinko ir magnio koreliacijos koeficientai yra mažesni už 0,2, todėl šių priedų koncentracijos kitimo tendencijų ryšio stiprumas yra labai silpnas. Kalcio ir cinko, kaip ir silicio koreliacija, yra neigiamia, didėjant alyvos darbo laikui, kalcio ir cinko koncentracija mažėja.

Apskaičiuoti alyvose esančių alyvų priedų koncentracijos koreliacijos koeficientai parodė vidutinį ir labai silpną tarpusavio ryšį. Taip yra todėl, nes traktoriuose naudojamos skirtingos alyvos, su skirtingomis alyvų priedų kompozicijomis, taip pat tiriamieji traktoriai turi skirtingos konstrukcijos variklius. Dėl konstrukcinių variklio skirtumų alyvai tenka atlikti skirtingo intensyvumo ir pobūdžio funkciją (detalių aušinimas, detalių plovimas, dervų dispergavimas, absorbcinės plėvelės sudarymas, putų skaidymas ir pan). Dėl šių minėtų priežasčių alyvos priedų darbas ir jų išsieikvojimas naudotose alyvose yra skirtingas.

Iš gautų alyvų priedų išsieikvojimo rezultatų (žr. 3.7. – 3.9. pav.) galima teigti, kad naudojamose alyvose yra visi traktorių variklių gamintojų nurodyti alyvų priedai (2.3. lentelė). Priedų koncentracijos alyvoje atitinka nurodytas ribas, priedai alyvos darbo metu neišsieikvoja. Kritinė alyvos priedų koncentracija nesumažėjo ir alyvos intensyvaus darbo metu.

3.4. Dilimo produktai ir alyvos teršalai

Dilimo pobūdį ir intensyvumą parodo besikaupiančių alyvoje dilimo produktų ir teršalų sudėtis bei kiekis. Dilimo produktų sudėtis ir kiekis priklauso nuo variklio konstrukcijos, būklės, naudojamos alyvos ir jos eksploatacijos sąlygų. Nustatant šiuos veiksnius, tai yra vienas iš pagrindinių uždavinių atliekant alyvų tyrimus.

Bendri veiksniai, kurie turi įtakos dilimo produktų ir teršalų atsiradimui alyvoje:

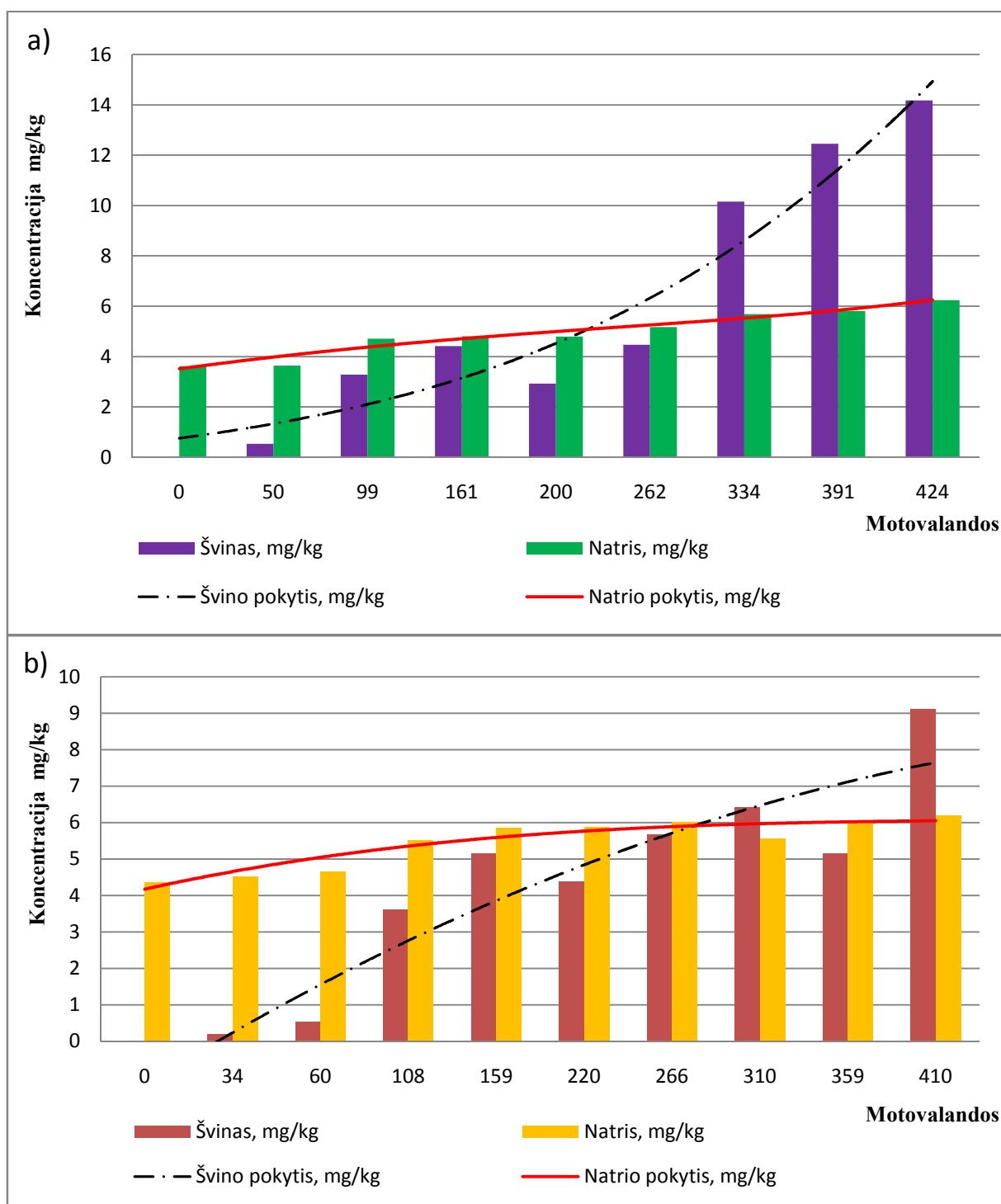
- variklio eksploatacinė būklė;
- darbo aplinka;
- atliekamas darbo pabūdis;
- operatoriaus įgūdžiai;
- alyvos darbo laikas;
- degalų sąnaudos.

Tiriant atsirandančius dilimo produktus alyvoje ir jų susidarymo greitį, galima spręsti apie dilimo produktų atsiradimo šaltinį, prognozuoti galimus gedimus ir gedimų atsiradimo priežastis. Gauti dilimo produktų tyrimų rezultatai turi būti nagrinėjami kompleksiskai, norint adekvačiai nustatyti variklio dilimo pobūdį ir priežastis.

Švinas dažniausiai yra slydimo guoliūdilimo produktas, gali pakeisti alyvos tepimo savybes. Švino didėjimas, mažėjimas gali atsirasti dėl prietaiso paklaidos ir filtravimo sistemos darbo, taip pat metalų pasiskirstymas alyvoje yra netolygus. Mėginiai imami iš cirkuliuojančio alyvos srauto. Todėl yra gaunamos paklaidos. Tai yra taikoma visiems alyvoje tirtiems metalams.

Tiriamą traktoriaus nr. 1 didžiausia nustatyta švino koncentracija alyvos įsidirbimo ir normalaus darbo metu buvo daugiau nei du kartus mažesnė už minimalią leidžiamą koncentraciją – 4,47 mg/kg. Dirbant alyvai daugiau kaip 300 motval., intensyvaus alyvos darbo metu, nustatytas staigus švino koncentracijos didėjimas. Poėmio metu, esant 334 motval., nustatyta 10,16 mg/kg, tai yra minimali leistina švino koncentracija, paskutinio poėmio metu (esant 424 motval. – 14,17 mg/kg (žr. 3.10. a paveikslą). Tiriamojo traktoriaus nr. 2 švino koncentracija alyvoje didėjo tolygiai visą alyvos darbo laiką, neviršijant minimalios nustatytos švino koncentracijos (10 mg/kg), didžiausia švino koncentracija buvo paskutinio alyvos poėmio metu, esant 410 mot/h – 9,10 mg/kg (žr. 3.10. b paveikslą).

Tiriamųjų traktorių švino ir natrio koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio pateikta 3.10. paveiksle.



3.10. pav. Švino ir natrio koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio.

Tiriamieji traktoriai: a) – John Deere 3640; b) – Valtra A92

Švino ir natrio koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio tyrimuose traktoriuose aprašo lygtys (34) – (37).

Švino koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (John Deere 3640):

$$y = 12 \cdot 10^{-3} \cdot x^3 + 24 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 + 0,419x + 0,298. \quad (34)$$

Natrio koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*John Deere 3640*):

$$y = x^4 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot x^3 - 3 \cdot 10^{-2} \cdot x^2 + 0,566x + 2,987. \quad (35)$$

Švino koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*Valtra A92*):

$$y = -5,6 \cdot 10^{-2} \cdot x^2 + 1,599x - 2,743. \quad (36)$$

Natrio koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*Valtra A92*):

$$y = 1 \cdot 10^{-3} \cdot x^3 - 5,6 \cdot 10^{-2} \cdot x^2 + 0,641x + 3,581. \quad (37)$$

Apskaičiuoti švino ir natrio koncentracijos alyvoje koreliacijos koeficientai:

$r_{xy(\text{švinas})}$ lygus 0,781, $r_{xy(\text{natrias})}$ lygus 0,838.

Natris alyvoje gali atsirasti dėl aušinimo skysčio patekimo arba patekti kaip teršalas iš aplinkos. Remiantis AB Lietuvos geležinkeliai laboratorijos tyrimų statistika natrio vertė turi būti daugiau kaip 100 mg/kg, kad būtų galima teigti, jog tai yra aušinimo skystis. Natris gali patekti į alyvą imant mėginį arba per variklio nesandarumus, tikrinant alyvos lygį ir pan. Natrio padidėjimas gali būti pastebėtas, jeimėginis imamas atviroje erdvėje lyjant arba kai yra didelė dregmės koncentracija ore.

Remiantis AB Lietuvos geležinkeliai laboratorijos tyrimų statistika, prietaisas nepriklausomai nuo kitų veiksnių visada rodo 4–6 mg/kg natrio. Statistikos duomenys rodo, kad tiriant šviežias ir eksploatuotas alyvas be aušinimo skysčio patekimo ir kitokio užteršimo, prietaiso natrio duomenys būna 4–6 mg/kg.

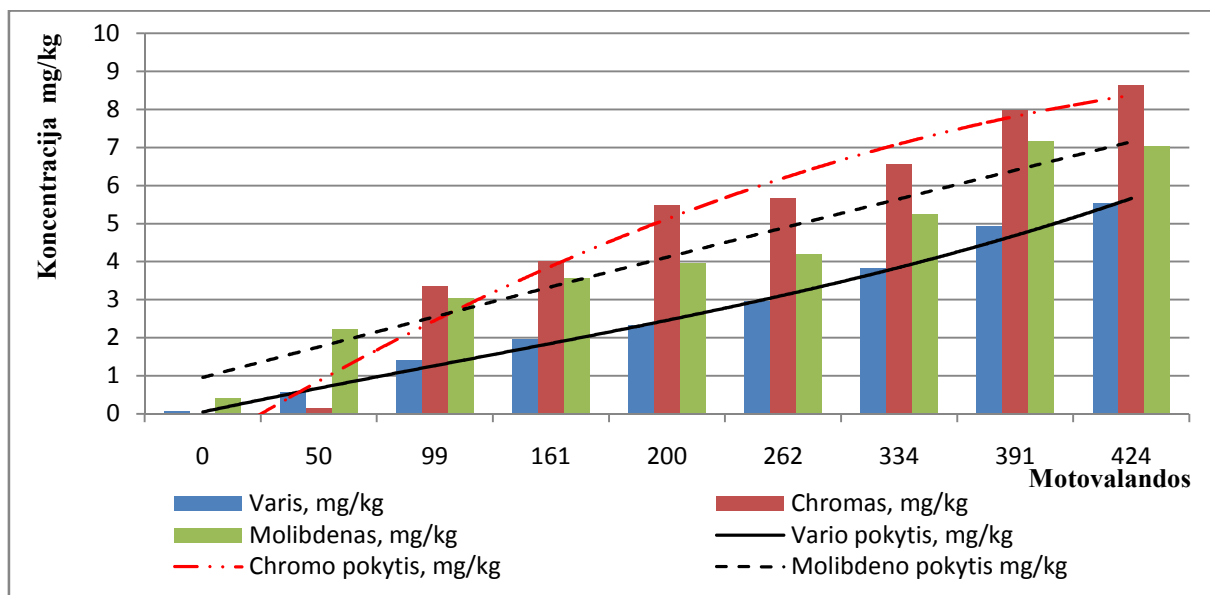
Iš atliktų alyvų tyrimų matyti, kad natrio vertės abiejuose tiriamuose traktoriuose neviršija 6,25 mg/kg (žiūrėti 3.10 paveikslą), todėl galima daryti išvadą, kad ištirtu atveju alyvoje aušinimo skysčio nėra. Kaip alyvos priedai, natrio junginiai neegzistuoja. Galima daryti išvadą, kad natris alyvoje atsirado iš aplinkos, imant mėginius.

Apskaičiuotas natrio alyvoje koncentracijos koreliacijos koeficientas lygus 0,838, tai rodo stiprų natrio susidarymo alyvoje ryšį tarp tiriamųjų traktorių. Kaip ir minėta, remiantis gautais natrio tyrimų rezultatais, padaryta išvada, kad natris tyrimų metu alyvoje atsirado iš aplinkos imant mėginius. Atsižvelgiant į natrio koreliacijos ryšio stiprumą, galima teigti, kad imant alyvų mėginius iš tiriamųjų traktorių sąlygos buvo vienodos.

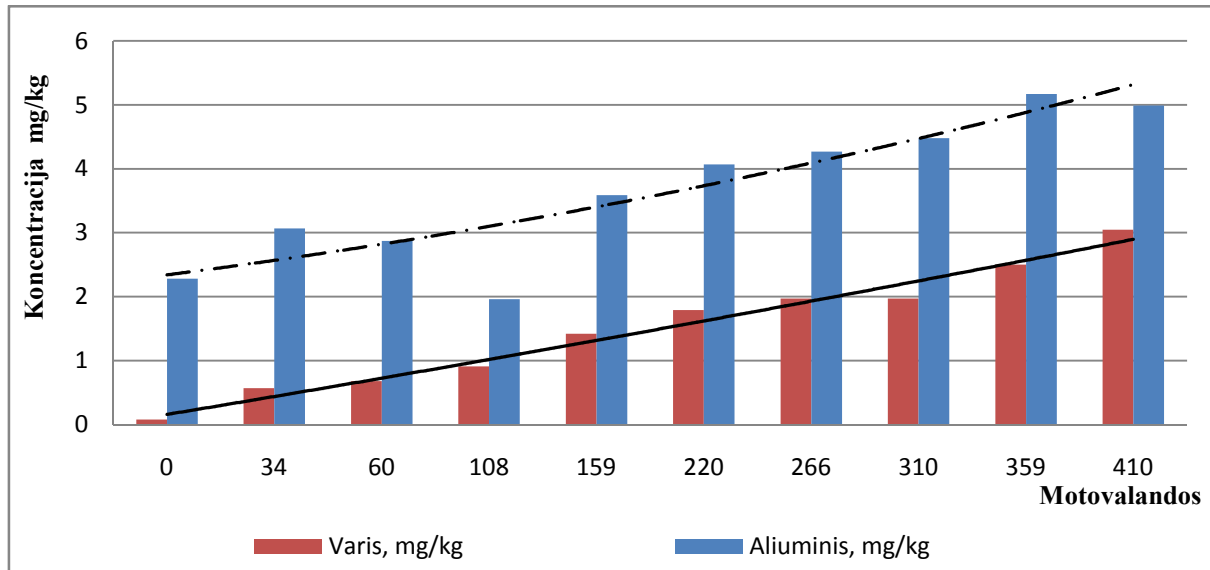
Gautas švino koncentracijos alyvoje koreliacijos koeficientas taip pat rodo stiprų šio metalo koncentracijos kitimo ryšį ($r_{xy(\text{švinas})}$ lygus 0,781), pagal šiuos duomenis galima vertinti, kad slydimo guolių dilimo tendencija tiriamų traktorių varikliuose yra panaši.

Dažniausias vario atsiradimo šaltinis variklinėje alyvoje yra slydimo guoliai, švaistiklio įvorės ir kitos variklyje esančios bronzinės įvorės. Iš atliktų alyvų tyrimų matyti, kad vario vertės tiriamuose traktoriuose didėja tolygiai ir nesiekia minimalios leidžiamos

koncentracijos: tiriamajame traktoriuje nr. 1 didžiausia koncentracija esant intensyviai alyvos darbui – 4,95 mg/kg (žr. 3.11 paveikslą), tiriamajame traktoriuje nr. 2 didžiausia koncentracija – 3,05 mg/kg (žr. 3.12 paveikslą). Iš to galima spręsti, kad nurodytų detalių dilimo pobūdis yra normalus ir neintensyvus.



3.11. pav. Vario, chromo ir molibdeno koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*John Deere 3640*)



3.12. pav. Vario ir aliuminio koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*Valtra A92*)

Chromas variklinėje alyvoje darbo metu susidaro dėvintis stūmoklio žiedams, slydimo guoliams, kartais stūmoklių pirštams. Tiriamajame traktoriuje Nr. 1 chromo koncentracija didėja tolygiai. Ties 200 motoval. nustatyta didesnė koncentracija už mažiausią leidžiamą – 5,48 mg/kg, didžiausia koncentracija esant intensyviai alyvos darbui – 7,97 mg/kg (žr. 3.11

paveikslą), tai neviršija leidžiamos kritinės koncentracijos (28 mg/kg). Tiriamojo traktoriaus nr. 2 didžiausia koncentracija buvo paskutinio poėmio metu (1,19 kg/mg) (žr. 3.14 paveikslą), gauta reikšmė yra per maža (nepasiekta minimali leidžiama reikšmė, 4 mg/kg) ir šiuo atveju yra nevertinama.

Vario, chromo ir molibdeno koncentracijos alyvoje priklausomybę nuo alyvos įdirbio tiriamajame traktoriuje *John Deere 3640* aprašo lygtys (38) – (40).

Vario koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*John Deere 3640*):

$$y = 4 \cdot 10^{-3} \cdot x^3 - 4,4 \cdot 10^{-2} \cdot x^2 + 0,726x - 0,639. \quad (38)$$

Chromo koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*John Deere 3640*):

$$y = -8,7 \cdot 10^{-2} \cdot x^2 + 2,03x - 2,857. \quad (39)$$

Molibdeno koncentracijos priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*John Deere 3640*):

$$y = -3 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 + 0,813x + 0,146. \quad (40)$$

Vario ir aliuminio koncentracijos alyvoje priklausomybę nuo alyvos įdirbio tiriamajame traktoriuje *Valtra A92* aprašo formulės (41) – (42).

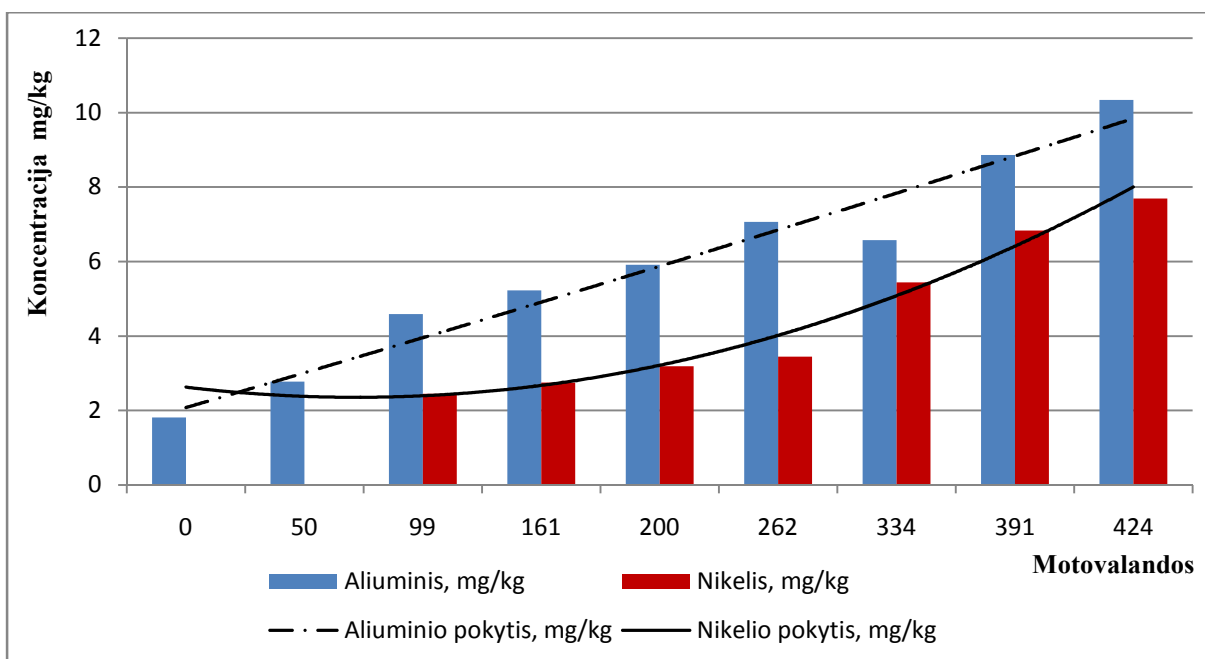
Vario koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*Valtra A92*):

$$y = 3 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 + 0,271x - 0,114; \quad (41)$$

Aliuminio koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*Valtra A92*):

$$y = 13 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 + 0,188x + 2,141; \quad (42)$$

Apskaičiuotas vario koncentracijos alyvoje koreliacijos koeficientas: $r_{xy(varis)}$ lygus 0,965.



3.13. pav. Aliuminio ir nikelio koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*John Deere 3640*)

Aluminio darbo metu alyvoje atsiranda dylant stūmokliams, turbokompresoriui arba cirkuliuojant alyvai nuo variklinės alyvos aušintuvo vidinių sienelių. 3.12. ir 3.13 paveiksluose matomi aliuminio šuoliai, tai gali atsirasti dėl nehomogeniško dalelių pasiskirstymo alyvoje. Tiriamuosiuose traktoriuose aliuminio didėjimas alyvoje tolygus, ir nesiekia minimalios leidžiamos koncentracijos: tiriamajame traktoriuje nr. 1 didžiausia koncentracija paskutinio alyvos poėmio metu – 10,34 mg/kg (žr. 3.13 paveikslą), tiriamajame traktoriuje nr. 2 didžiausia koncentracija priešpaskutinio alyvos poėmio metu – 5,17 mg/kg (žr. 3.12 paveikslą). Minimali leidžiama aliuminio koncentracija alyvoje šiems traktoriams – 12 mg/kg.

Aluminio ir nikelio koncentracijos alyvoje priklausomybę nuo alyvos įdirbio tiriamajame traktoriuje *John Deere 3640* aprašo lygtys (43) – (44).

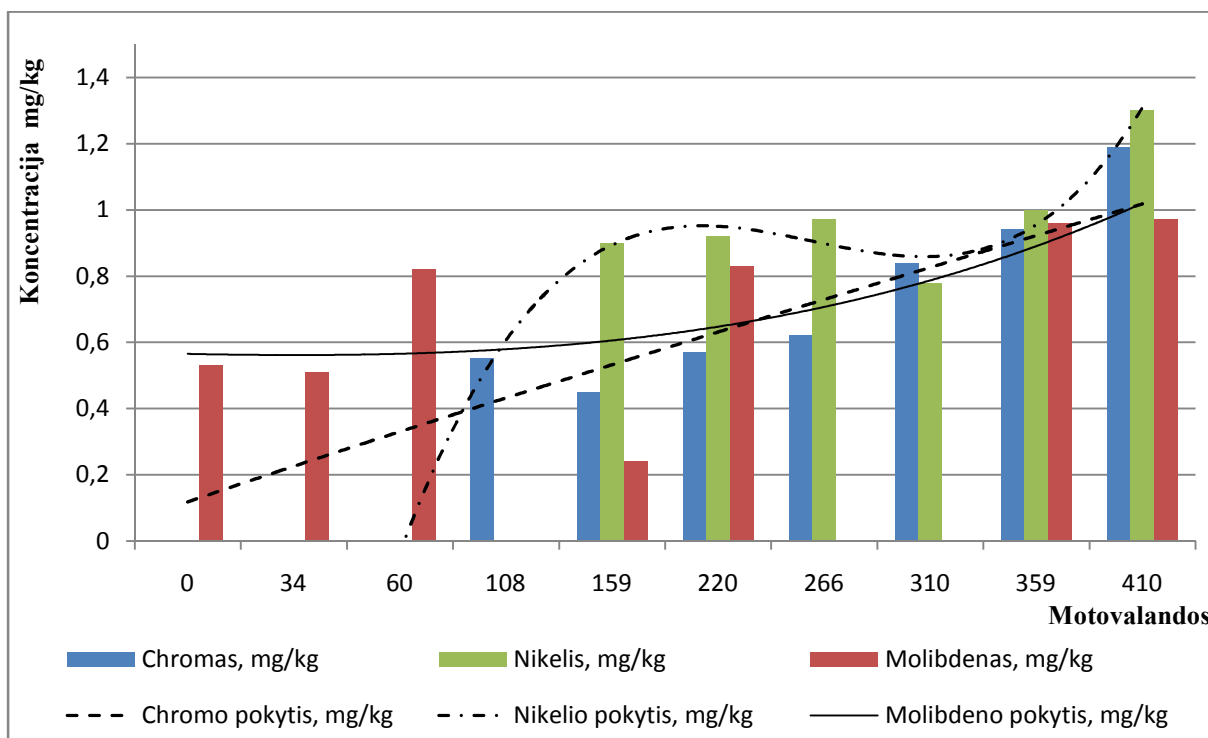
Aluminio koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*John Deere 3640*):

$$y = 5 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 + 0,915x + 1,159. \quad (43)$$

Nikelio koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*John Deere 3640*):

$$y = 0,131x^2 - 0,639x + 3,137. \quad (44)$$

Apskaičiuotos aliuminio koncentracijos alyvoje koreliacijos koeficientas: $r_{xy(\text{aliuminis})}$ lygus 0,957.



3.14. pav. Chromo, nikelio ir molibdeno koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*Valtra A92*).

Chromo, nikelio ir molibdeno koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio tiriamajame traktoriuje *Valtra A92* aprašo lygtys(45) – (47).

Chromo koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*Valtra A92*):

$$y = 11,8 \cdot 10^{-2} \cdot x^{0,935}. \quad (45)$$

Nikelio koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*Valtra A92*):

$$y = 2 \cdot 10^{-2} \cdot x^3 - 0,421x^2 + 2,836x - 5,302. \quad (46)$$

Molibdeno koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*Valtra A92*):

$$y = x^3 + 1 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 - 9 \cdot 10^{-3} \cdot x + 0,574. \quad (47)$$

Apskaičiuotos chromo, nikelio ir molibdeno koncentracijos alyvoje koreliacijos koeficientai: $r_{xy(chromas)}$ lygus 0,93, $r_{xy(nikelis)}$ lygus 0,779, $r_{xy(molibdenas)}$ lygus -0,133.

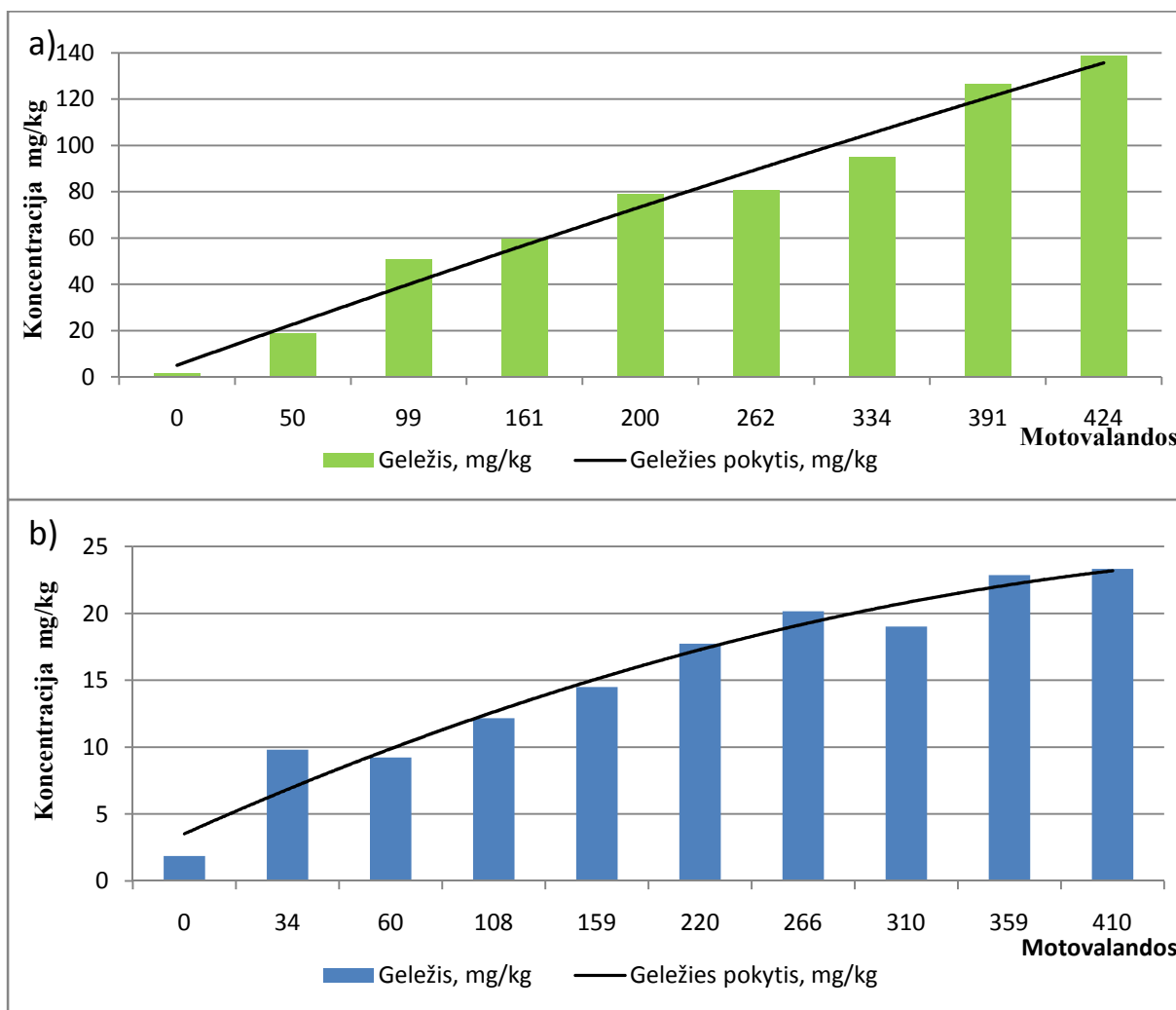
Dylant stūmoklio žiedams ir molibdeno junginiais dengtiems kompresiniams žiedams (būdinga ilgiau eksploatuotiems varikliams), vaiklinėje alyvoje atsiranda molibdeno. Tiriamajame traktoriuje Nr. 1 ištirta didžiausia molibdeno koncentracija paskutinio alyvos poėmio metu – 7,03 mg/kg (žr. 3.11 paveikslą), tiriamajame traktoriuje nr. 2 didžiausia molibdeno koncentracija paskutinio alyvos poėmio metu – 0,97 mg/kg (žr. 3.14 paveikslą). Metodikos nurodymai pasiteisina: tiriamasis traktorius nr. 1 yra ilgai eksploatuotas, molibdeno leidžiama minimali koncentracija – 4 mg/kg atsirado esant normaliam alyvos darbui, ties 260 motoval, tačiau per visą tyrimo laiką neviršijo leidžiamos, 20 mg/kg koncentracijos. Tiriamasis traktorius nr. 2 yra naujas, variklio įdirbis tyrimo pradžioje buvo 2 172 motoval., molibdeno koncentracija visų poėmių metu šiame traktoriuje nesiekė 1 mg/kg, gauta reikšmė yra keturis kartus mažesnė už minimalią leidžiamą ir šiuo atveju yra nevertinama.

Variklio darbo metu nikelis, kaip dilimo produktas, gali atsirasti dėl išmetimo vožtuvų ir vožtuvų kreipiančiųjų dilimo. Kadangi nikelio dengtų detalių variklyje yra labai mažai, jo koncentracijos ribos alyvoje labai mažos 1 – 3 mg/kg. Tiriamajame traktoriuje Nr. 1 nikelio koncentracijos viršijimas nustatytas esant alyvos įsidirbimo laikui, ties 99 motoval. alyvos poėmiu, nikelio koncentracija buvo 2,45 mg/kg. 200 motoval. poėmio metu, vykstant normaliam alyvos darbui, nustatytas leidžiamas nikelio koncentracijos viršijimas – 3,19 mg/kg. Paskutinio, devinto poėmio metu šiame traktoriuje nustatyta 2,5 karto didesnė nikelio koncentracija, nei kritinė leidžiama – 7,69 mg/kg. Traktoriuje nr. 2 nikelis aptiktas tik penkto poėmio metu, ties 159 motoval – 0,90 mg/kg. Paskutinio, dešimto poėmio metu, nikelio koncentracija buvo šiek tiek didesnė už minimalią leidžiamą – 1,30 mg/kg. Pagal gautus nikelio koncentracijos rezultatus galima daryti hipotezę, kad tiriamame traktoriuje nr. 1 vyksta intensyvus vožtuvų ir kitų vožtuvų detalių dilimas. Traktoriuje nr. 2 nikelio koncentracija alyvoje minimali, atitinka nustatytas ribas, vyksta normalaus pobūdžio dilimas.

Vario, aliuminio, chromo, nikelio apskaičiuoti koreliacijos koeficientai svyruoja nuo 0,779 iki 0,965 (vidurkis lygus 0,908), gautas koreliacijos ryšys – stiprus. Vertinant apskaičiuotą koreliaciją, galima teigti, kad nepriklausomai nuo traktorių eksploatacijos laiko ir jų konstrukcijos skirtumų, išvardytų metalų susidarymo alyvoje tendencijų ryšys yra panašus.

Apskaičiuota molibdeno koncentracijos alyvoje koreliacija lygi -0,133. Kaip buvo minėta, molibdeno atsiradimas alyvoje yra būdingas ilgiau eksploatuotiems varikliams, kadangi tiriamųjų traktorių eksploatacijos laikas yra skirtingas, galima daryti prielaidą, jog dėl šios priežasties molibdeno koncentracijos alyvoje koreliacijos ryšys yra labai silpnas. Traktoriuje *Valtra A92* tyrimų metu nustatyta molibdeno koncentracija alyvoje buvo labai maža (mažiau nei 1mg/kg), kai kurių poėmiu metu neužfiksuota visiškai (žr. 3.14 pav.). Dėl minėtų priežasčių šio metalo koreliacija gauta neigiama (didėjant alyvos darbo laikui, molibdeno koncentracija mažėja).

Tiriamųjų traktorių geležies koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio pateikta 3.15. paveiksle.



3.15. pav. Geležies koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio.

Tiriamieji traktoriai: a) – *John Deere 3640*; b) – *Valtra A92*.

Geležies koncentracijos alyvoje priklausomybę nuo alyvos įdirbio tiriamuose traktoriuose aprašo lygtys(48) – (49).

Geležies koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*John Deere 3640*):

$$y = -19,2 \cdot 10^{-2} \cdot x^2 + 18,27x - 13,15. \quad (48)$$

Geležies koncentracijos alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*Valtra A92*):

$$y = -14,2 \cdot 10^{-2} \cdot x^2 + 3,75x - 8,9 \cdot 10^{-2}. \quad (49)$$

Apskaičiuotas geležies koncentracijos alyvoje koreliacijos koeficientas: $r_{xy(\text{geležis})}$ lygus 0,938.

Pagrindinis metalas variklinėje alyvoje – geležis. Šis metalas sudaro didžiausią koncentraciją alyvoje ir veikia kaip abrazyvas. Pagrindiniai atsiradimo šaltiniai yra cilindro blokas, alkūninis ir dujų skirstymo velenai, taip pat dalis gali atsirasti iš vožtuvų. Leidžiama metalo koncentracija alyvoje tiriamiems traktoriams: $80 \div 180$ mg/kg. Tiriamajame traktoriuje nr. 1 nustatytas minimalios leistinos geležies koncentracijos reikšmė, alyvai dirbant intensyvaus darbo režimu, septinto poėmio metu – 80,38 mg/kg, Didžiausia geležies koncentracija nustatyta paskutinio poėmio metu, 138,58 mg/kg, neviršijant kritinės ribos (žr. 3.15a paveikslą). Tiriamojo traktoriaus nr. 2 gauti daug geresni rezultatų, viso tyrimo metu nenustatyta didesnė nei leidžiamą minimali geležies koncentracija. Didžiausia geležies koncentracija nustatyta paskutinio poėmio metu – 23,33 mg/kg (žr. 3.15b paveikslą).

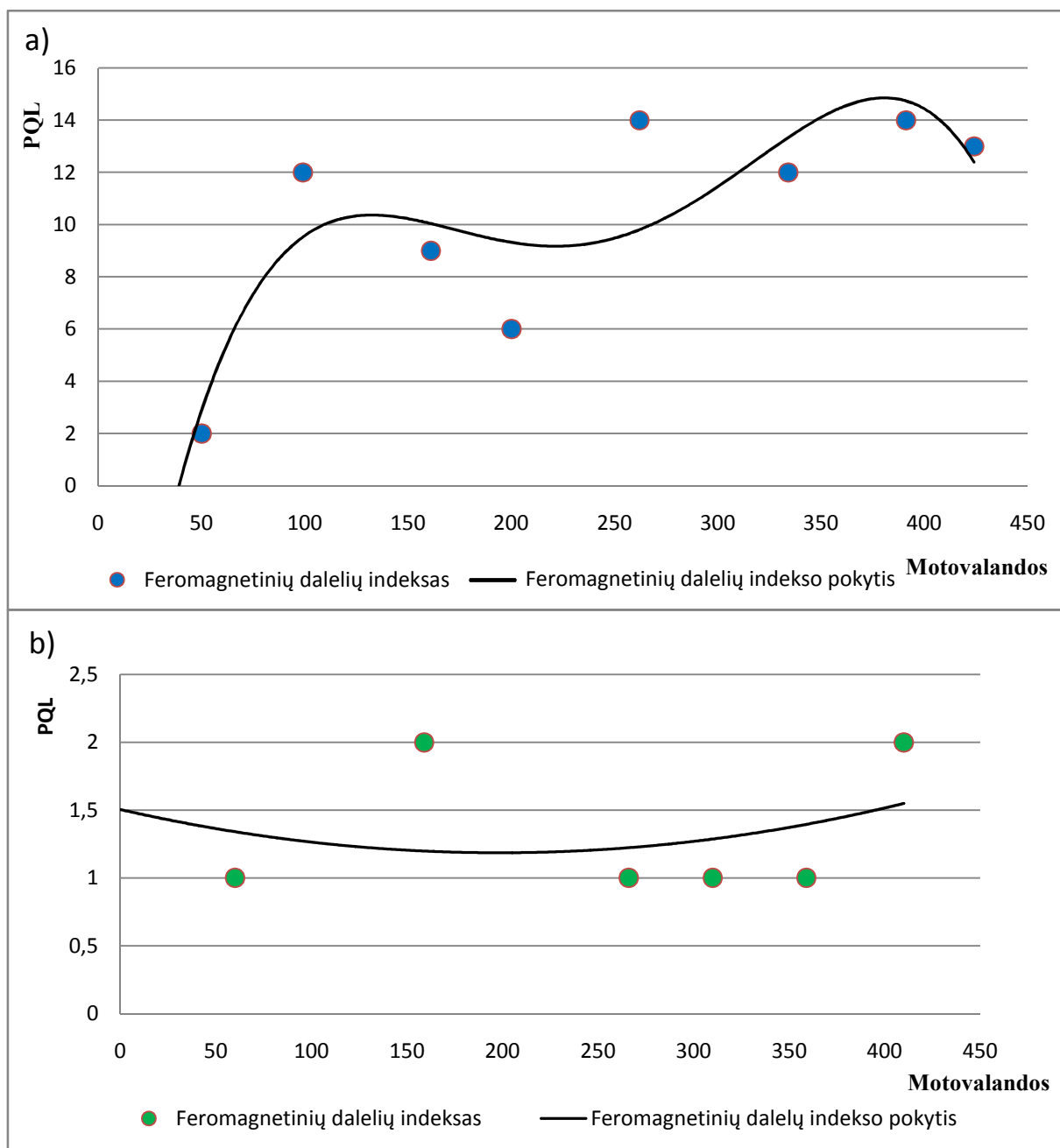
Iš gautų geležies koncentracijos alyvoje rezultatų galima teigti, kad tiriamajame traktoriuje Nr. 1 (*John Deere 3640*) pagrindinių variklių detalių (variklio blokas, alkūninis velenas) dilimas ir jo greitis yra spartesnis, dilimas vyksta tolygiai. Tiriamajame traktoriuje Nr. 2 (*Valtra A92*) geležies koncentracijos didėjimas ir dydis darbo metu yra itin mažas, pagrindinių variklių detalių dilimas ir jo greitis yra labai mažas, dilimas vyksta tolygiai.

Geležies koncentracijos alyvoje kitimo greitis tiriamuose traktoriuose yra skirtingas (žr. 3.15. pav.), tačiau apskaičiuotas geležies koreliacijos koeficientas rodo stiprų šio metalo atsiradimo ryšį tarp tiriamųjų traktorių ($r_{xy(\text{geležis})}$ lygus 0,938). Remiantis gautais rezultatais, galima daryti išvadą, kad geležies susidarymo alyvoje tendencija tarp tiriamųjų traktorių, nepriklausomai nuo jų eksploatacijos laiko ir jų konstrukcijos skirtumų, yra panaši.

Nustatant feromagnetinių dalelių indeksą iš 3.16. paveikslo matyti, kad indekso reikšmės kinta (laikui bėgant didėja arba mažėja), taip yra dėl to, nes didesnės dalelės užsilaiko alyvos filtravimo elemente, be to, alyva yra *nehomogeniškas darinys, ne visos dalelės pasiskirsto alyvoje vienodai, todėl ne visos feromagnetinės dalelės patenka į imant alyvos mėginį. Šiuo indeksu nustatomos geležies dalelės alyvoje, kurios yra didesnės kaip $10 \mu m$. Tokio dydžio dalelės variklinėje alyvoje daro didžiausią įtaką abrazyviniam dilimui. Feromagnetinių dalelių indeksas variklinėje alyvoje, remiantis

AB Lietuvos geležinkeliai laboratorijos statistika, laikomas normaliu, kai galima saugiai eksploatuoti variklį – $10 \div 25 PQL$.

Feromagnetinių dalelių indekso alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio tiriamuose traktoriuose pateikta 3.16. paveiksle.



3.16. pav. Feromagnetinių dalelių indeksopriklausomybė nuo alyvos įdirbio.

Tiriamieji traktoriai: a) – *John Deere 3640*; b) – *Valtra A92*.

Iš gautų tyrimų rezultatų (žr. 3.16 paveikslą), matyti, kad tiriamajame traktoriuje nr. 1 didžiausias nustatytas PQL indeksas esant normaliam alyvos darbui (262 motoval.), 14 PQL ir intesyviam alyvos darbui (391 motoval.) – 14 PQL . Remiantis LG laboratorijos duomenimis gauta PQL reikšmė – maža. Tiriamajame traktoriuje nr. 1 didžiausias nustatytas PQL indeksas – 2,0 (esant normaliam alyvos darbui (159 motoval) ir intesyviam alyvos darbui (410

motoval.), ši vertė yra penkis kartus mažesnė už mažiausią leidžiamą, todėl vertinama kaip itin maža.

Remiantis 3 priedu, pagal gautas *AES* nustatytą geležies koncentraciją ir *PQL* indeksus galima spręsti apie variklio dilimo pobūdį. Traktoriuje nr. 1 (*John Deere 3640*) nustatyta geležies koncentracija didelė, *PQL* vertė maža, konstatuojamas dilimo pobūdis Nr. 2 (žr. 3 priedą): alyvoje yra daug mažų geležies dalelių ir beveik nėra didelių geležies dalelių. Spartesnis dilimo pobūdis dėl variklio eksploatacijos laiko arba variklio darbo režimų kaitos.

Traktoriuje Nr. 2 (*Valtra A92*) geležies koncentracija maža, *PQL* vertė maža, konstatuojamas dilimo pobūdis Nr. 1 (žr. 3 priedą): geležies dalelių nedaug, itin mažos. Normalus dilimo pobūdis. Pagal nustatytus dilimo pobūdžius ir dilimo greitį tiriamuose traktoriuose galima spręsti apie jų eksploatacinę būklę, ilgaamžiškumą ir kapitalinio remonto laiką.

Feromagnetinių dalelių indekso alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio tiriamuose traktoriuose aprašo lygtys (50) – (51).

Feromagnetinių dalelių indekso alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*John Deere 3640*):

$$y = 4 \cdot 10^{-7} \cdot x^3 - x^2 + 0,103x - 0,276. \quad (50)$$

Feromagnetinių dalelių indekso alyvoje priklausomybė nuo alyvos įdirbio (*Valtra A92*):

$$y = 8 \cdot 10^{-6} \cdot x^2 - 3 \cdot 10^{-3} x + 1,505. \quad (51)$$

Koreliacijos koeficiento skaičiavimai pagal gautus feromagnetinių dalelių indekso (*PQL*) tyrimų rezultatus nebuvo atliekami, nes tai yra parodomąjo pobūdžio parametras, atsižvelgiant į tai, kad nėra žinoma kiek didesnių nei $10 \mu m$ dalelių užsilaikė alyvos filtravimo elemente, be to, alyva yra nehomogeniškas darinys, todėl ne visos feromagnetinės dalelės galėjo patekti į alyvos mėginį. *PQL* indeksas yra vertinamas kompleksiskai, pagal bendrą feromagnetinių dalelių susidarymo greitį ir dydį viso alyvos darbo metu.

3.5. 3 skyriaus išvados

1. Tyrimo metu tiriamų alyvų kinematinė klampa esant $40^\circ C$ mažėjo $8 \text{ mm}^2/s$ intervale (traktoriuje *John Deere 3640*) ir $19,3 \text{ mm}^2/s$ intervale (traktoriuje *Valtra A92*) dėl mechaninės molekulių ir terminės destruktijos, degalų degimo produktų kondensacijos patekimo į alyvą. Pliūpsnio temperatūra tiriamose alyvose darbo metu mažėjo dėl degalų degimo produktų kondensacijos patekimo į alyvą. Alyvų tankiai didėjo visą alyvos darbo laiką dėl užteršimo suodžiais, dilimo produktais ir kitais teršalais.

2. Tiriamųjų alyvų senėjimas (užterštumas, oksidacija, sulfatacija, nitrifikacija ir suodžiai) kito tolygiai visą alyvos tyrimų darbo laiką. Apskaičiuoti minėtų reikšmių koreliacijos koeficientai rodo stiprų alyvos senėjimo tendencijų ryšį tarp tiriamuose traktoriuose naudojamų alyvų (minėtų reikšmių koreliacijos koeficientų vidurkis – 0,962).

3. Tiriamuose traktoriuose naudotose alyvose esantys priedai (kalcis, cinkas, fosforas, magnis ir silicis) neišsieikvojo alyvos tyrimų darbo metu. Apskaičiuoti alyvose esančių alyvų priedų koncentracijos koreliacijos koeficientai parodė vidutinį ir labai silpną tarpusavio ryšį dėl traktoriuose naudojamų skirtingų alyvų su skirtingomis alyvų priedų kompozicijomis ir dėl tiriamuose traktoriuose esančių skirtingos konstrukcijos variklių.

4. Pagrindinių alyvoje susidarančių dilimo produktų (švinas, chromas, nikelis, varis, geležis) koreliacijos koeficientų reikšmės rodo stiprų tarpusavio ryšį (vidurkis lygus 0,879), pagal apskaičiuotą koreliaciją galima teigti, kad nepriklausomai nuo traktorių eksploatacijos laiko ir jų konstrukcijos skirtumų, išvardytų metalų susidarymo alyvoje tendencijų ryšys yra panašus. Vertinant dilimo produktų koncentracijas alyvoje, tiriamajame traktoriuje nr. 1 (*John Deere 3640*) leidžiama didžiausia nikelio koncentracija alyvoje buvo viršyta 2,5 karto, galima daryti hipotezę, kad tiriamame traktoriuje Nr. 1 vyksta intensyvus vožtuvų ir kitų vožtuvų detalių dilimas. Pagal gautus geležies koncentracijos alyvoje rezultatus galima teigti, kad tiriamajame traktoriuje Nr. 1 (*John Deere 3640*) pagrindinių variklių detalių (variklio blokas, alkūninis velenas) dilimas ir jo greitis yra spartesnis, dilimas vyksta tolygiai. Tiriamajame traktoriuje Nr. 2 (*Valtra A92*) minėtų metalų koncentracijos didėjimas ir dydis darbo metu yra minimalus. Remiantis gautais rezultatais, galima teigti, vyksta normalaus pobūdžio detalių tolygus dilimas.

5. Pagal nustatytas geležies koncentracijas ir *PQL* indeksus nustatyti tiriamųjų traktorių dilimo pobūdžiai. Traktoriuje nr. 1: spartesnis dilimo pobūdis dėl variklio eksploatacijos laiko arba variklio darbo režimų kaitos. Traktoriuje nr. 2 normalus dilimo pobūdis.

4. Alyvos būvio ciklo vertinimas

Pagal Europos Parlamento ir Tarybos reglamentą (EB) Nr. 1907/2006 (Europos Sąjunga 2006) siekiama efektyviau tvarkyti atliekas. Remiantis šiuo reglamentu, alyvas kaip ir kitas atliekas privalu tvarkyti aprašytomis procedūromis ir tvarka. Įteisinamas pagrindinis šūkis „Teršėjas moka“ yra įgyvendinamas ir Lietuvoje, jai tapus visateise ES nare. Reglamentas apima netik galutinio produkto – atliekos stebėseną, bet ją seka nuo gamybos pradžios iki jos galutinio utilizavimo. Tam tikslui naudojamas ekologinis atliekos vertinimas, kuris dažniausiai atliekamas SSGG analizės pavidalu. Tai leidžia indentifikuoti ne tik produkto žalą, bet kompleksiskai jį įvertinti per stiprybių, silpnybių, galimybių ir grėsmių prizmes.

Kitas svarbus būvio ciklo vertinimo etapas yra jos ekonominis įvertinimas, kuris labai dažnai yra naudojamas kaip produkto patrauklumo vartotojui įrankis. Jis nusako, kiek reikės lėšų per visą produkto gyvavimo ciklą – ne tik kiek jis kainuos pirminėje gamybos ir eksploatacijos stadijoje, bet ir kiek kainuos tolimesnis šio produkto utilizavimas.

4.1. Ekologinis vertinimas

Ekologinis vertinimas bus atliekamas įvertinus SSGG analizę, bei būvio ciklo vertinimą.

4.1 lentelė. SSGG alyvos analizė

Stiprybės	Silpnybės
1. Patikimai atlieka savo darbo funkcijas (tepa, plauna, aušina detales).	1. Palyginus brangūs alyvos gamybos kaštai (gamybos linijos derinimas, bazinė alyva, alyvos priedų komponentai).
2. Gerai išvystyta jų gamyba.	2. Alyvos priedus gamina tik keli gamintojai.
3. Alyvos priedų naudojimas atitinka laboratorijoje testuotomis sąlygomis ir remiantis gautais bandymų rezultatais sudaromos alyvų priedų kompozicijos.	3. Būtinios specialios žinios alyvoms parinkti.
4. Išvystytas alyvų marketingas ir distribucija.	4. Palyginus trumpas eksploatacijos laikotarpis.
5. Išvystyta panaudotų alyvų surinkimo sistema (veikia specializuotos įmonės užsiimančios pavojingų atliekų tvarkymu).	5. Stipri alyvos gamintojų marketingo įtaka alyvos kainai (prekinis ženklas).
6. Papildoma panaudotos alyvos regeneracija iki bazinės alyvos.	6. Panaudotos alyvos naudojimas nepagal paskirtį (pažeidžiant surinkimo sistemos principus, pvz.: naudojant kaip kurą šildymui)

4.1 lentelės pabaiga. SSGG alyvos analizė

Galimybės	Grėsmės
1. Atliekant alyvų tyrimus pasirinktiems regionams (klimatas, reljefas, abrazyvinė aplinka), pagal alyvos būklės tyrimus, galima prailginti jos eksploatacijos terminą. 2. Prailginus alyvos eksploatacijos terminą, sumažėja techninio aptarnavimo kaštai. 3. Griežtai prisilaikant naudotos alyvos surinkimo reikalavimų, galima minimizuoti panaudotos alyvos, kaip atliekos kiekius. 4. Atliekant alyvų tyrimus galima stebėti variklio eksploatacinę būklę, prognozuoti gedimus, einamo ir kapitalinio remonto periodiškumą. 5. Perdirban naudotas alyvas ir jas regeneruojant, galima išvalyti ir pagaminti bazinių alyvų, taip taupant naftos išteklius.	1. Gaminant alyvas iš naftos, išsiskiria anglies dioksidas, kuris sukelia šiltnamio efektą. 2. Vandens ir žemės tarša. Naftos ir jos produktų išsiliejimai sukelia didelę taršą, dėl to žūsta tūkstančiai gyvūnų, niokojama gamta. 3. Emisijos metu išsiskiria sieros dioksidas, anglies monoksidas. Šie junginiai sukelia rūgštinį lietų. Moderni įranga sumažina šių kenksmingų medžiagų išmetimą, bet jos vis dar yra labai pavojingas žmogui. 5. Alyva ir kiti naftos produktai naudojami plastiko gamyboje, kurio metu išsiskiria anglies monoksidas ir kietosios dalelės.

Atliekant SSGG analizę pastebėta:

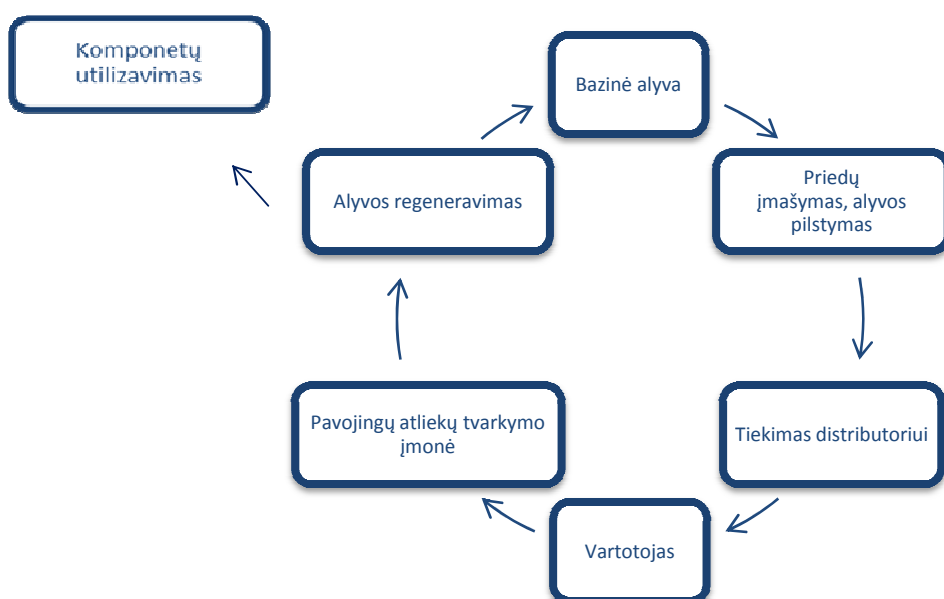
1. Šiuolaikinės variklinės alyvos yra patikimos eksploatuojant transporto priemones, pasižymi geromis tepumo, plovimo savybėmis (naudojant plaunančius priedus), bei atitinkamai gerai aušina trinties paviršius.
2. Nuolatinė alyvų gamintojų konkurencija skatina rinkai tiekti išskirtinės kokybės produktus, todėl gamintojai yra išvystę ir pastoviai tobulina distribucijos tinklą.
3. Anksčiau buvusi labai opi alyvų atliekų problema yra išspręsta įstatimiškai įpareigojus tokio tipo atliekas surinkti ir perduoti licenzijuotai įmonei tolimesniam tvarkymui. Šias atliekas tvarkanti įmonė taipogi prisideda prie ES baltojoje knygoje išsakytų teiginių dėl energijos resursų tausojimo, nes šios atliekos toliau yra valomos iki bazinės alyvos ir tiekiamos pakartotiniam naudojimui.
4. Reikia konstatuoti, kad alyvų priedų gamintojų nėra labai daug, todėl jie išlieka brangūs ir tai įtakoja galutinio produkto kainą – variklinę alyvą
5. Siekiant, kad variklinė alyva, kaip galima geriau atliktų visas savo funkcijas, būtina naudoti labai aukštos kokybės efektyvius komponentus, kurie dėl išsieikvojimo gali neužtikrinti alyvos ilgaamžiškumo darbo metu, todėl visą transporto priemonės

eksploatavimo laikotarpį būtina sekti pagrindinius alyvos rodiklius, norint efektyviau eksploatuoti transporto priemones, didinant ilgaamžiškumą.

6. Pasitaiko negatyvių alyvos, kaip atliekos naudojimo pavyzdžių, tokių kaip jos naudojimas vietoje skysto kuro patalpų šildymui mažose įmonėse. Griežti ES aplinkosaugos reikalavimai nurodo tokiose įmonėse naudoti atitinkamas oro valymo technologijas, kurios yra brangios ir dažniai smulkiai įmonei yra neįperkamos. Tad minėti veiksmai, valymo technologijų nebuvimas didina atmosferos taršą įvairiomis, ne tik kancerogeninėmis medžiagomis, bet ir lokaliaisiais organiniais junginiais kurie formuoja antrinius ir tretinius aerozolius, dalyvaujančius rūgščiųjų lietų formavimosi procese.

Beto dalis alyvos atliekų yra naudojama ir plastikų gamyboje, kas leidžia tausoti šios rūšies išteklius.

7. Alyvų gamintojai dažniausiai pateikia rekomendacijas vartotojui pagal transporto priemonės eksploatavimo regioną. Dažniausiai regionai būna masyvūs, su besikeičiančiu reljefu ir klimatu. Tai lemia skirtingas transporto priemonių eksploatavimo sąlygas. Todėl gamintojo rekomendacijos nevisada tiksliai atitinka alyvos naudojimo realijas.
8. Savalaikis alyvos keitimas leidžia užtikrinti efektyvesnę transporto priemonės eksploatavimą, bei tausoti išteklius. Alyvos parametrų nuolatinis monitoringas leidžia netik spręsti apie alyvos tinkamumą, bet ir yra kaip diagnostinis įrankis vartotojui pasakantis transporto priemonės mazgų dėvėjimąsi ir galimus gedimus.



4.1. pav. Alyvos būvio ciklas (sudaryta autoriaus)

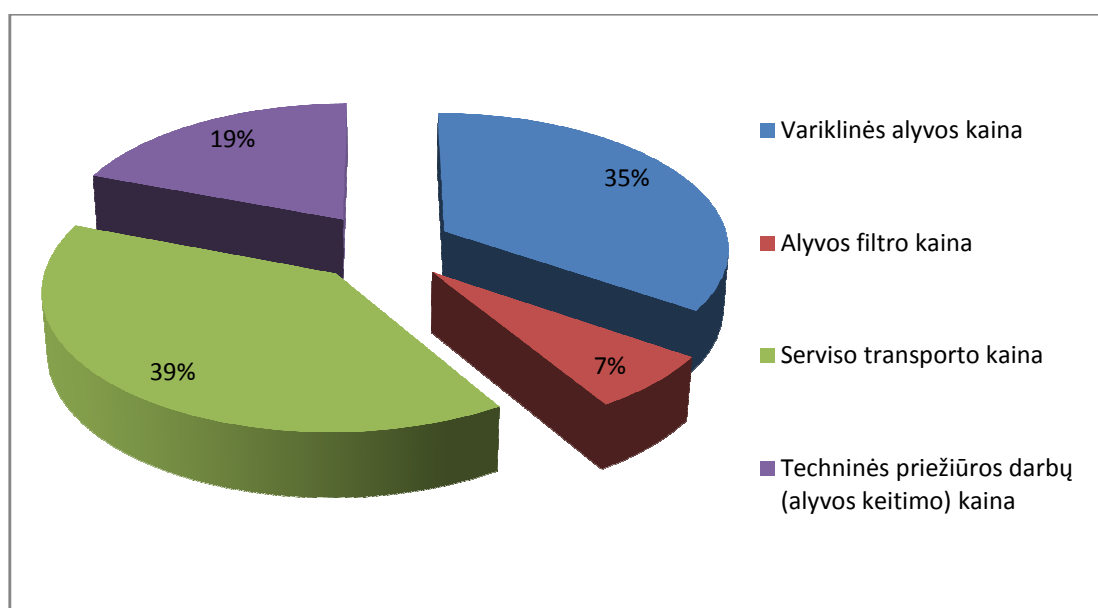
Alyvos būvio ciklo vertinimas yra labai svarbus, remiantis juo galima užtikrinti alyvos, kaip produkto kelią nuo gamintojo iki galutinės jos utilizacijos. Šis procesas nusako alyvos galutinį perdirbimą į bazinę alyvą. Mano atveju alyva pagaminta Danijoje ir per distribucinius kelius buvo parduota galutiniam vartotojui. Alyva buvo naudojama pagal paskirtį iki numatyto jos eksploatacijos resurso pabaigos. Panaudota alyva buvo priduta legaliai (turinčiai visus leidimus minėti veiklai vykdyti) dirbančiai pavojingų atliekų tvarkymo bendrovei *UAB Žalvaris*. Surinkus pakankamą kiekį, ši bendrovė, jas parduoda įmonėms specializuojančioms į bazinių alyvų gamybą. Alyva išvaloma iki bazinės ir vėl įmaišius atitinkamų priedų kiekius, paruošiama šviežia alyva tolimesniam naudojimui. Nepanaudoti alyvos metu gauti komponentai yra utilizuojami.

4.2. Ekonominis vertinimas

Atliekant variklinės alyvos ekonominį vertinimą labai svarbu tampa identifikuoti visas jos eksploatacines dedamąsias. Eksploatuojant transporto priemones yra labai svarbus rodiklis kaip savikaina, jis lemia transporto priemonės eksploatacijos pagrindimą, nes kai ekonominiu požiūriu techninis transporto priemonės aptarnavimas yra labai brangus, tada nuo jos atsisakoma. Kalbant apie variklinės alyvos ekonominį vertinimą svarbu išskirti šias tris dedamąsias:

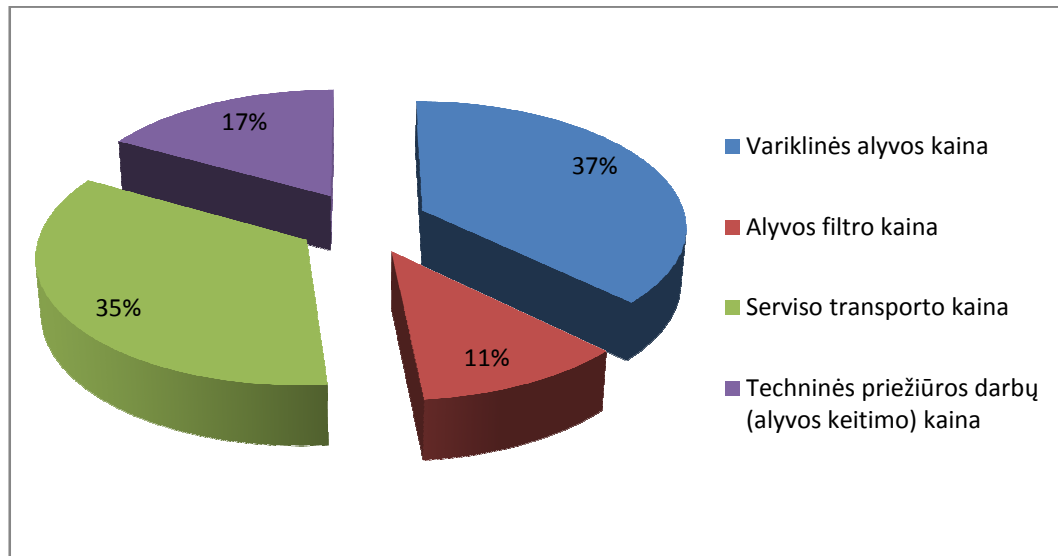
1. Produkto (alyvos) ir kitų reikalingų komponentų atlikti alyvos keitimą (filtrų) kaina;
2. Eksploatacijos kaina (serviso transportas, techninės priežiūros darbai).
3. Utilizavimo kaina (panaudota alyva ir filtrai).

Tiriamųjų traktorių techninės priežiūros alyvos keitimo kaštų diagramos pateiktos 4.2. ir 4.3. paveiksluose.



4.2. pav. Techninės priežiūros alyvos keitimo kaštų pasiskirtymas, proc (*John Deere 3640*)

Šios dedamosios yra labai svarbios galutiniam vartotojui, kuris turi pasirinkti tinkamiausią transporto priemonę numatytoms veikloms atlikti, kad būtų užtikrintas didžiausias darbo našumas. Lietuvos sąlygomis žemės ūkio transporto parkas yra nuolat atnaujinamas, nors tai reikalauja didelių išlaidų, kurios turi būti pagrįstos ekonominiu požiūriu. Tad turint naujos ir senos „kartos“ traktorius (jų aprašymas pateiktas antrame skyriuje) mes galime nors dalinai pagrįsti jų eksploatacijos ekonominį efektą per vieno iš pagrindinių transporto priemonių eksploatacinių skysčių– variklinės alyvos prizmę.



4.3. pav. Techninės priežiūros alyvos keitimo kaštų pasiskirtymas, proc (*Valtra A92*)

Variklinės alyvos, variklio tepalo filtrai tiriamiesiems traktoriams pirkti iš *UAB DOJUS AGRO*, laikantis traktorių gamintojų rekomendacijų variklinėms alyvoms. Traktorių techninę priežiūrą atliko minėtos įmonės technikas atvykęs į nurodyto ūkio vietą. Reikalingas variklinės alyvos kiekis tiriamajam traktoriui nr. 1 (*John Deere 3640*) – 11,5 ltr, variklinės alyvos *Mobil Delvac 15W-40* vieno litro kaina: 3,69 eur/ltr, viso variklinės alyvos kaina, jos keitimo metu yra 42,45 eur. Variklio alyvos filtras šiam traktoriui – 8,17 eur. Tiriamajam traktoriui nr. 2 (*Valtra A92*), reikalingas variklinės alyvos kiekis– 9,0 ltr, variklinės alyvos *Mobil Delvac MX EXTRA 10W-40* vieno litro kaina: 5,80 eur/ltr, viso variklinės alyvos kaina, jos keitimo metu yra 52,2 eur. Variklio alyvos filtras minėtam traktoriui – 15,73 eur. Šios išlaidos yra priskiriamos prie produkto ir kitų reikalingų komponentų atlikti alyvos keitimą kainos.

Techninės priežiūros serviso darbas (alyvos keitimas) tiriamiesiems traktoriams kainavo 47,19eur, kiekvienam traktoriui atskirai – 23,60 eur. Serviso transporto kelionės išlaidos iki ūkio – 96,92eur. Nagrinėjamu atveju serviso transporto kelionės išlaidos iki ūkio dalinasi pusiau, nes vienos kelionės metu, buvo atlikta techninė priežiūra abiem

tiriamiesiems traktoriams. Viso traktorių techninė priežiūra variklinės alyvos keitimui kainavo 262,61eur (žr. 5 priedą).

Naudota alyva ir naudoti alyvos filtrai priduoti bendrovei, kuri tvarko pavojingas atliekas. Alyvą ir filtrus, *UAB Žalvaris* tiesiai iš ūkio pasiimė nemokamai (dėl šios priežasties ši dedamoji nėra vaizduojamos kaštų pasiskirtymo diagramose, 4.2. ir 4.3. paveiksluose). Pavojingų atliekų (naudotos alyvos, filtrų) perdavimo – priėmimo aktas ir lydraštis pateikti 6 ir 7 prieduose.

4.3. 4 skyriaus išvados

1. Konkurencija tarp alyvų gamintojų skatina plėsti gamybą ir į rinką tiekti kokybiškas alyvas.
2. Stebint pagrindinius alyvos parametrus darbo metu, galima spręsti apie variklio dėvėjimąsi, jo pobūdį, alyvos parinkimo tinkamumą, galimus gedimus ir planuoti techninės priežiūros darbų atlikimo datas, einamojo ir kapitalinio remonto periodiškumą. Taip pat tausoti išteklius, nustatant tinkamą alyvos keitimo intervalą.
3. Naudota alyva yra pavojinga atlieka. Todėl jos nepriduodant utilizavimui ar tolimesniam perdibimui, bet naudojant nepagal paskirtį individualioms reikmėms, dažniausiai yra teršiama aplinka ir atmosfera.
4. Šiuo metu Lietuvoje veikianti pavojingų atliekų tvarkymo sistema leidžia priduoti naudotas alyvas ir filtrus įmonėms, kurios tvarko tokio tipo atliekas, nepatiriant papildomų išlaidų. Ši paslauga yra vieša ir prieinama kiekvienam vartotojui, norinčiam priduoti pavojingas atliekas.
5. Didžiausia kaštų dalį atliekant techninę priežiūrą variklinės alyvos keitimui sudaro serviso kelionės išlaidos iki ūkio ir variklinės alyvos kaina. Tai sudaro daugiau kaip tris ketvirtadalius visų išlaidų.

Bendrosios išvados

1. Tyrimo metu tiriamų alyvų kinematinė klampa esant 40 °C mažėjo 8 mm²/s intervale (traktoriuje *John Deere 3640*) ir 19,3 mm²/s intervale (traktoriuje *Valtra A92*) dėl mechaninės molekulių ir terminės destruktijos. Plūpsnio temperatūra tiriamose alyvose darbo metu mažėjo dėl degalų degimo produktų kondensacijos patekimo į alyvą. Alyvų tankiai didėjo visą alyvos darbo laiką dėl užteršimo suodžiais, dilimo produktais ir kitais teršalais.

2. Tiriamųjų alyvų senėjimas (užterštumas, oksidacija, sulfatacija, nitrifikacija ir suodžiai) kito tolygiai visą alyvos tyrimų darbo laiką. Apskaičiuoti minėtų reikšmių koreliacijos koeficientai rodo stiprų alyvos senėjimo tendencijų ryšį tarp tiriamuose traktoriuose naudojamų alyvų (minėtų reikšmių koreliacijos koeficientų vidurkis – 0,962).

3. Tiriamuose traktoriuose naudotose alyvose esantys priedai (kalcis, cinkas, fosforas, magnis ir silicis) neišsieikvojo alyvos tyrimų darbo metu. Apskaičiuoti alyvose esančių alyvų priedų koncentracijos koreliacijos koeficientai parodė vidutinį ir labai silpną tarpusavio ryšį dėl traktoriuose naudojamų skirtingų alyvų su skirtingomis alyvų priedų kompozicijomis ir dėl tiriamuose traktoriuose esančių skirtingos konstrukcijos variklių.

4. Pagrindinių alyvoje susidarančių dilimo produktų (švinas, chromas, nikelis, varis, geležis) koreliacijos koeficientų reikšmės rodo stiprų tarpusavio ryšį (vidurkis lygus 0,879), pagal apskaičiuotą koreliaciją galima teigti, kad nepriklausomai nuo traktorių eksploatacijos laiko ir jų konstrukcijos skirtumų, išvardytų metalų susidarymo alyvoje tendencijų ryšys yra panašus. Vertinant dilimo produktų koncentracijas alyvoje, tiriamajame traktoriuje nr. 1 (*John Deere 3640*) leidžiama didžiausia nikelio koncentracija alyvoje buvo viršyta 2,5 karto.

5. Didžiausią kaštų dalį atliekant techninę priežiūrą variklinės alyvos keitimui sudaro serviso kelionės išlaidos iki ūkio ir variklinės alyvos kaina. Tai sudaro daugiau kaip tris ketvirtadalius visų išlaidų.



Literatūra

Arumugam, S.; Sriram, G.; Ellappan, R. 2014. Bio-lubricant-biodiesel combination of rapeseed oil: An experimental investigation on engine oil tribology, performance, and emissions of variable compression engine, *Energy* 72: 618–627.

Asadauskas, S.; Perez, J.M.; Duda, J.L. 1996. Oxidative stability and antiwear properties of high oleic vegetable oils, *Lubr. Eng* 52: 877–882.

Bartz, W. J. 1998. Lubricants and the environment, *Tribology International* 31: 35–47.

Basinger, M., *et al.* 2010. Durability testing modified compression ignition engine fueled with straight plant oil, *Energy* 35: 3204–3220.

Bekal, S.; Bhat, N. R. 2012. Bio-lubricant as an alternative to mineral oil for a CI engine an experimental investigation with pongamia as a lubricant, *Energy Sources Part A Recover Utili Environ Eff* 34(11): 1016–1026.

Blau, P. J. 2001. A review of sub-scale test methods to evaluate the friction and wear of ring and liner materials for spark and compression ignition engines, in *ORNL/TM-2001/184, Oak Ridge National Laboratory, 2001*.

Booker, J. F. 1998. Dynamically loaded journal bearings: mobility method of solution, *Trans ASME* 120: 537–546.

Bordatchev, E.; Aghayan, H.; Yang, J. 2013. Object shape-based optical sensing methodology and system for condition monitoring of contaminated engine lubricants, *Optics and Lasers in Engineering* 54: 128–138.

Buika, G., *et al.* 2007. *Organinių junginių spektroskopija*. Kaunas: Kauno technologijos universitetas.

Dong, L.; Shu, G.; Liang, X. 2012. Effect of lubricating oil on the particle size distribution and total number concentration in a diesel engine, *Fuel Processing Technology* 109: 78–83.

Dorany, A.; Nezhaad, G. R. 2009. Investigation of the effect of multiwalled carbon nanotubes on the viscosity index of lube oil cuts, *Chemical Engineering Communications* 196 (9): 997–1007.

Erhan, S. Z.; Sharma, B. K.; Perez, J. M. 2006. Oxidation and low temperature stability of vegetable oil-based lubricants, *Industrial Crops and Products* 24: 292–299.

Espacenet. *Espacenet patent search* [interaktyvus]. [žiūrėta 2015 m. lapkričio 8 d.]. Prieiga per internetą: http://worldwide.espacenet.com/?locale=en_EP.

Ettafaghi, E., *et al.* 2013. Preparation and thermal properties of oil-based nanofluid from multi-walled carbon nanotubes and engine oil as nano-lubricant, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 21: 20–26.

Europos sąjunga. *Europos Sąjungos oficialusis leidinys* L 396, 2006 m. gruodžio 30 d. [interaktyvus]. [žiūrėta 2016 m. kovo 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/ALL>

Gapinski, R. E.; Joseph, I. E.; Layzell, B. D. 1994. A vegetable oil based tractor lubricant, *SAE Tech Paper* 941785: 1–9.

George, S., et al. 2007. Effect of diesel soot on lubricant oil viscosity, *Tribology International* 40: 809–818.

Harish, S., et al. 2012. Enhanced thermal conductivity of ethylene glycol with single-walled carbon nanotube inclusions, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 55: 3885–3890.

Jost, P. 1966. Lubrication (Tribology) – A report on the present position and industry's needs, in *Department of Education and Science, HMSO, UK, 1966*.

Jučas, P. 1992. *Degalai ir tepalai*. Vilnius: Mokslas.

Kaminskienė, B. 1976. *Matematinės statistikos elementai*. Vilnius: Mokslas.

Kėdaitis, V. 2009. *Koreliacinės ir regresinės analizės pagrindai: mokomoji knyga*. Vilnius: Technika.

Kim, Y., et al. 2013. Classification and individualization of used engine oils using elemental composition and discriminant analysis, *Forensic Science International* 230: 58–67.

Lee, C. G., et al. 2009. A study on the tribological characteristics of graphite nano lubricants, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing* 10 (1): 85–90.

LSD. *Lietuvos standartizacijos departamentas* [interaktyvus]. žiūrėta 2015 m. gruodžio 9 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.lsd.lt/>.

Lukoševičienė, N., et al. 1995. Variklinės alvos tyrimai, atliekant jos darbingumo ir variklio techninės būklės monitoringą, *Transportas* 1(10): 135–144

Machinery lubrication. *How to Select the Right Oil Analysis Lab* [interaktyvus]. [žiūrėta 2016 m. sausio 8 d.]. Prieiga per internetą: <http://machinerylubrication.com/Read/30287/oil-analysis-lab>

Macian, V., et al. 2014. Assessment of the effect of low viscosity oils usage on a light duty diesel engine fuel consumption in stationary and transient conditions, *Tribology International* 79: 132–139.

NMA. *Nacionalinė mokėjimo agentūra* [interaktyvus]. [žiūrėta 2016 m. balandžio 28 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.nma.lt/index.php/naudinga-informacija/projektai/303>

Nagendramma, P.; Kaul, S. 2012. Development of ecofriendly/biodegradable lubricants, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 764–774.

Priest, M.; Taylor, C. M. 1998. Automobile engine tribology – approaching the surface, in *AUSTRIB '98 : Tribology at Work, Australia, 1998* . The Institution of Engineers, 353–363.

Rounds, F. G. 1977. Carbon: cause of diesel engine wear?, in *SAE paper*. 770829.

Rudy, B. L.; Dowson, D.; Economou, P. N. 1992. A review of studies of piston ring lubrication, in *Proceeding of 9th Leeds – Lyon Symposium on Tribology: Tribology of Reciprocating Engines, 1992*. Paper V (i), 109–121.

Sokolovskij, E.; Matijošius, J. 2012. *Transporto priemonių konstrukcinės ir eksploatacinės medžiagos*. Vilnius: Technika.

Souza, M. J., *et al.* 2010. Lubricant viscosity and viscosity improver additive effects on diesel fuel economy, *Tribology International* 43: 2298–2302.

Truhan, J. J.; Kodali, P. 2001. A comparison of rig and engine testing to measure in – cylinder wear in heavy duty diesel engines, in *Proceedings of the fourth International Filtration Conference, San Antonio, TX: Southwest Research Institute, 2001*, 76.

Truhan, J. J.; Qu, J.; Blau, P. J. 2005. A rig test to measure friction and wear of heavy duty diesel engine piston rings and cylinder liners using realistic lubricants, *Tribology International* 38: 211–218.

Vasheghani, M. H., *et al.* 2011. Effect of Al₂O₃ phases on the enhancement of thermal conductivity and viscosity of nanofluids in engine oil, *Heat and Mass Transfer* 47: 1401–1405.

Wander, P. R., *et al.* 2011. Durability studies of monocylinder compression ignition engines operating with diesel, soy and castor oil methyl esters, *Energy* 36: 3917–3923.

Yu, B., *et al.* 2012. Oil-miscible and non-corrosive phosphonium – based ionic liquids as candidate lubricant additives, *Wear* 289: 58–64.

Zulkifli, N. W. M., *et al.* 2013. Wear prevention characteristics of a palm oil – based TMP (trimethylolpropane) ester as an engine lubricant, *Energy* 54: 167–173.