



**Kauno technologijos universitetas**  
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

**Lokomotyvų vidaus degimo varikliuose naudojamos alyvos  
senėjimo ir susidarančių dilimo produktų tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Rimas Jaškevičius**  
Projekto autorius

**Doc. dr. Robertas Keršys**  
Vadovas

---

**Kaunas, 2018**



**Kauno technologijos universitetas**  
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

**Lokomotyvų vidaus degimo varikliuose naudojamos alyvos  
senėjimo ir susidarančių dilimo produktų tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas  
Transporto priemonių inžinerija (621E20001)

---

**Rimas Jaškevičius**  
Projekto autorius

**Doc. dr. Robertas Keršys**  
Vadovas

**Prof. dr. Žilvinas Bazaras**  
Recenzentas

---

**Kaunas, 2018**



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

Studijų programa: Transporto priemonių inžinerija

**MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ BAIGIAMOJO PROJEKTO**  
**UŽDUOTIS**

Studentui: *Rimui Jaškevičiui*

1. Baigiamojo projekto tema:

*„Lokomotyvų vidaus degimo varikliuose naudojamos alyvos senėjimo ir susidarančių dilimo produktų tyrimas“*

*“Investigation of locomotive combustion engine oil condition and generating wear products”*

2. Projekto tikslas:

*Nustatyti variklinėje alyvoje susidarančias dilimo medžiagas, įvertinti jų įtaką lokomotyvų vidaus degimo variklių ilgaamžiškumui, remiantis literatūros apžvalga ir tyrimo rezultatais, pateikti rekomendacijas alyvos keitimo intervalams.*

3. Projekto uždaviniai:

- 1. Atlikti literatūros apžvalgą: lokomotyvo konstrukcija, vidaus degimo variklis, tepimo sistema, eksploatacija, techninė priežiūra;*
- 2. Apžvelgti alyvos monitoringo taikymo galimybes, reikalavimus. Nustatyti, kokie teršalai, dilimo produktai bus tiriami, kokie mėginių paėmimo intervalai;*
- 3. Palyginti tyrimų metu variklinėje alyvoje susidariusius dilimo produktus su aprašytais mokslinėje literatūroje bei tarptautiniuose standartuose;*
- 4. Ištirti variklinės alyvos kokybės pokyčius eksploatuojant lokomotyvus skirtingomis darbo sąlygomis. Atlikti gautų duomenų analizę, įvertinti atskirų parametru tarpusavio priklausomybę;*
- 5. Remiantis literatūros apžvalga ir tyrimų rezultatais, pateikti rekomendacijas dėl lokomotyvuose naudojamos variklinės alyvos atitikimo bei keitimo intervalų.*

4. Užduoties išdavimo data:

*2017 m. lapkričio mėn. 20 d.*

Magistrantas: .....  
(vardas, pavardė, parašas, data)

Projekto vadovas.....  
(vardas, pavardė, parašas, data)

Krypties studijų programos vadovas.....  
(vardas, pavardė, parašas, data)



**Kauno technologijos universitetas**  
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas  
Rimas Jaškevičius

## **Lokomotyvų vidaus degimo varikliuose naudojamos alyvos senėjimo ir susidarančių dilimo produktų tyrimas**

### Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Rimo Jaškevičiaus, baigiamasis projektas tema „Lokomotyvų vidaus degimo varikliuose naudojamos alyvos senėjimo ir susidarančių dilimo produktų tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

---

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

---

(parašas)

Jaškevičius Rimas. Lokomotyvų vidaus degimo varikliuose naudojamos alyvos senėjimo ir susidarančių dilimo produktų tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Robertas Keršys; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Technologiniai mokslai, transporto priemonių inžinerija

Reikšminiai žodžiai: variklinė alyva, alyvos būklė, tepimas, dilimo produktai, užterštumas.

Kaunas, 2018. 70 p.

## SANTRAUKA

Vidaus degimo variklio ilgaamžiškumui didelę įtaką turi jame naudojama alyva, degalai, variklio darbo režimai, todėl būtinas atskirų variklio būklės parametrų stebėjimas ir prevencinių priemonių naudojimas. Magistro darbo tikslas nustatyti tiriamoje alyvoje susidarančių dilimo produktų koncentraciją, įvertinti jų įtaką lokomotyvų vidaus degimo variklių ilgaamžiškumui, remiantis literatūros apžvalga ir tyrimo rezultatais, pateikti apibendrinančias išvadas ir rekomendacijas apie alyvos keitimo intervalus.

Pirmoje darbo dalyje atlikta lokomotyvuose TEM TMH naudojamų vidaus degimo variklių apžvalga, išanalizuota tepimo sistema ir joje atsirandantys gedimai. Apžvelgta naudojama variklinė alyva bei jai keliami reikalavimai, alyvų specifikacijos. Antrame darbo skyriuje apžvelgta monitoringo metodika. Pasirinkti variklinės alyvos mėginių ėmimo intervalai, aptarti pagrindiniai stebimi alyvos būklės parametrai ir susidarantys dilimo produktai. Trečioje dalyje atliktas dviejų lokomotyvų TEM TMH serijos vidaus degimo variklių tyrimas. Tyrimo metu lokomotyvų vidaus degimo varikliuose buvo naudojama „Q8 T860“ ir „Lukoil Avantgarde Professional“ variklinės alyvos. Atliekant variklinės alyvos analizę buvo stebima geležies koncentracijos bei alyvos klampumo kitimas. Pagrindinis bandymo tikslas – nustatyti alyvos keitimo intervalus.

Atlikus tyrimą nustatyta, kad eksploatuojant lokomotyvą 1000 motoval. jo variklinėje alyvoje geležies koncentracija padidėja nuo 2,5 iki 5 kartų. Stebimas intensyvus alyvos būklės blogėjimas po pirmųjų 500 motoval. darbo. Galima daryti išvadą, jog dėl intensyvių eksploatacinių sąlygų alyva greičiau praranda savo tepimo savybes ir nebegali užtikrinti reikiamo atskirų vidaus degimo variklio komponentų tepimo bei apsaugos.

Jaškevičius Rimas. Investigation of locomotive combustion engine oil condition and generating wear products: Master's thesis in transport engineering / supervisor assoc. prof. dr. Robertas Keršys. The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Transport engineering, operation and maintenance of rolling stock

Key words: engine oil, oil condition, lubrication, wear products, contamination

Kaunas, 2018. 70 p.

## **SUMMARY**

The longevity of the combustion engine is heavily influenced by the using oil, fuel, engine operating way, therefore it requires monitoring of individual engine status parameters and the use of preventive measures. The purpose of the the master's thesis is to determine the concentration of the wear products, to evaluate their impact on the longevity of locomotive combustion engine, based on the literature review and the results of the research, to submit the resume and recommendation for the oil change intervals.

The first part of the work reviewed the combustion engines used on the TEM TMH locomotives, performed and analysis of the engine lubrication system and its faults. The used engine oil and oil specifications have been revised. In the second part of the work outlines the monitoring methodology. Selected engine oil sampling intervals, consider the main monitored oil condition parameters and emergent wear products. In the third part of the research the main attention was assigned for two locomotives TEM TMH series combustion engines analysis. In the study locomotives combustion engines used the “Q8 T860” and “Lukoil Avantgarde Professional” engine oils. During the analysis of engine oil was monitored a change of the concentration of iron and viscosity of oil. The main purpose of the test is to determine the oil change intervals.

The investigation revealed that during the operation of a locomotive for 1000 motohr. in locomotive engine oil iron concentration increases from 2,5 to 5 times. Observing an intense deterioration of the oil after the first 500 motohr. work. The research showed that, due to intense operating conditions, the engine oil faster loses its lubricating properties and can no longer ensure the proper lubrication and protection of the individual components in the combustion engine.

## Turinys

<b>Įvadas</b> .....	11
<b>1. Literatūros apžvalga</b> .....	12
1.1. Lokomotyvo vidaus degimo variklis.....	12
1.1.1. Vidaus degimo variklio tepimo sistema.....	13
1.1.2. Didelis variklinės alyvos sunaudojimas.....	17
1.1.3. Netinkamas variklinės alyvos cirkuliavimas .....	18
1.1.4. Netinkamas variklio alyvos slėgis .....	18
1.1.5. Kuro elektroninė valdymo sistema .....	19
1.1.6. Darbinių parametrų valdymo sistema ir jos jutikliai .....	21
1.2. Lokomotyvo techninė priežiūra .....	24
1.2.1. Variklinėms alyvoms keliami reikalavimai .....	26
1.2.2. „Caterpillar“ vidaus degimo varikliuose naudojama alyva .....	27
<b>2. Tyrimo metodika ir eiga</b> .....	29
2.1. Alyvų monitoringas.....	29
2.1.1. Alyvos vertinimo kriterijai.....	30
2.1.2. Mėginių tikslumas ir paėmimas .....	31
2.2. Alyvos mėginių ėmimas ir parametrų nustatymas .....	32
2.2.1. Alyvos užterštumo nustatymas .....	34
2.2.2. Kinematinės klampos nustatymas.....	35
2.2.3. Pliūpsnio temperatūros nustatymas .....	36
2.3. Dilimo kombinacijos vidaus degimo varikliuose.....	37
<b>3. Tyrimo rezultatai</b> .....	40
3.1. TEM TMH serijos lokomotyvai.....	40
3.2. Manevrinio lokomotyvo TEM TMH 007 variklinės alyvos senėjimo tyrimas.....	41
3.2.1. Variklinėje alyvoje susidarančių dilimo produktų tyrimas.....	44
3.2.2. Vidaus degimo variklio cilindų vizualinė analizė .....	48
3.3. Manevrinio lokomotyvo TEM TMH 012 variklinės alyvos senėjimo tyrimas.....	54
3.3.1. Variklinėje alyvoje susidarančių dilimo produktų tyrimas.....	58
3.3.2. Vidaus degimo variklio cilindų vizualinė analizė .....	61
3.3. Dviejų lokomotyvų variklinės alyvos tyrimų rezultatų palyginimas .....	64
<b>Darbo apibendrinimas</b> .....	66
<b>Išvados</b> .....	67
<b>Literatūros ir šaltinių sąrašas</b> .....	69
<b>Priedai</b> .....	71

## Paveikslų sąrašas

1. pav. Vidaus degimo variklio cilindrų ir vožtuvų išdėstymo schema.....	12
2. pav. Vidaus degimo variklis „CATERPILLAR“ .....	13
3. pav. Lokomotyvo vidaus degimo variklio tepimo sistemos schema.....	14
4. pav. Alyvos siurblio darbo schema.....	16
5. pav. Alyvos slėgio priklausomybė nuo alkūninio veleno apsisukimų skaičiaus.....	19
6. pav. Kuro valdymo sistemos schema.....	20
7. pav. Degalų purkštuko išpurškiamas dyzelino kiekis į cilindrą.....	20
8. pav. Jutikliai esantys „Caterpillar“ variklio priekinėje dalyje.....	21
9. pav. Alyvos slėgio jutiklis.....	22
10. pav. Slėgio jutikliai.....	22
11. pav. Jutikliai esantys „Caterpillar“ variklio dešinėje pusėje.....	22
12. pav. Dujų temperatūros jutiklis.....	23
13. pav. Alyvos karteryje slėgio jutiklis.....	23
14. pav. Jutikliai esantys „Caterpillar“ variklio kairėje pusėje.....	23
15. pav. Alyvos po filtro slėgio jutiklis.....	24
16. pav. Kuro slėgio jutikliai.....	24
17. pav. Aušinimo vandens temperatūros jutiklis.....	24
18. pav. Išmetamųjų dujų temperatūros jutiklis.....	24
19. pav. Lokomotyvų remonto depas.....	25
20. pav. ACEA E4 ir E7 standartų palyginimas.....	28
21. pav. Sulūžęs veleno guolis.....	30
22. pav. Mėginio paėmimo schema.....	31
23. pav. Galimi mėginių paėmimo taškai.....	31
24. pav. Alyvos mėginio tara.....	32
25. pav. Alyvos mėginio etiketė.....	32
26. pav. Alyvos mėginio paėmimo vožtuvas.....	33
27. pav. Alyvos mėginio paėmimas.....	33
28. pav. Lokomotyvo TEM TMH 007 alyvoje esančios geležies koncentracija.....	41
29. pav. Lokomotyvo TEM TMH 007 alyvos oksidacijos grafikas.....	43
30. pav. Lokomotyvo TEM TMH 007 alyvos klampos grafikas.....	44
31. pav. Lokomotyvo TEM TMH 007 alyvoje susidarantys dilimo produktai.....	45
32. pav. Lokomotyvo TEM TMH 007 alyvoje „Q8 T860“ esančios geležies koncentracijos ir klampos tarpusavio priklausomybė.....	45



33. pav. Lokomotyvo TEM TMH 007 alyvoje „Lukoil Avantgarde Professional“ esančios geležies koncentracijos ir klampos tarpusavio priklausomybė.....	47
34. pav. Karterio dujų alsuoklio filtras užterštas varikline alyva.....	49
35. pav. TEM TMH Nr. 007 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 1-ojo cilindro nuotraukos.....	49
36. pav. TEM TMH Nr. 007 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 2-ojo cilindro nuotraukos.....	50
37. pav. TEM TMH Nr. 007 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 3-ojo cilindro nuotraukos.....	50
38. pav. TEM TMH Nr. 007 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 4-ojo cilindro nuotraukos.....	51
39. pav. TEM TMH Nr. 007 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 5-ojo cilindro nuotraukos.....	51
40. pav. TEM TMH Nr. 007 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 6-ojo cilindro nuotraukos.....	52
41. pav. TEM TMH Nr. 007 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 7-ojo cilindro nuotraukos.....	52
42. pav. TEM TMH Nr. 007 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 8-ojo cilindro nuotraukos.....	52
43. pav. TEM TMH Nr. 007 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 9-ojo cilindro nuotraukos.....	53
44. pav. TEM TMH Nr. 007 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 10-ojo cilindro nuotraukos.....	53
45. pav. TEM TMH Nr. 007 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 11-ojo cilindro nuotraukos.....	53
46. pav. TEM TMH Nr. 007 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 12-ojo cilindro nuotraukos.....	54
47. pav. Lokomotyvo TEM TMH 012 alyvoje esančios geležies koncentracija.....	55
48. pav. Lokomotyvo TEM TMH 012 alyvos oksidacijos grafikas.....	57
49. pav. Lokomotyvo TEM TMH 012 alyvos klampos grafikas.....	57
50. pav. Lokomotyvo TEM TMH 012 alyvoje susidarantys dilimo produktai.....	58
51. pav. Lokomotyvo TEM TMH 012 alyvoje „Q8 T860“ esančios geležies koncentracijos ir klampos tarpusavio priklausomybė.....	58
52. pav. Lokomotyvo TEM TMH 012 alyvoje „Lukoil Avantgarde Professional“ esančios geležies koncentracijos ir klampos tarpusavio priklausomybė.....	60
53. pav. TEM TMH Nr. 012 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 1-ojo cilindro nuotraukos.....	61
54. pav. TEM TMH Nr. 012 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 2-ojo cilindro nuotraukos.....	61
55. pav. TEM TMH Nr. 012 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 3-ojo cilindro nuotraukos.....	62
56. pav. TEM TMH Nr. 012 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 4-ojo cilindro nuotraukos.....	62
57. pav. TEM TMH Nr. 012 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 5-ojo cilindro nuotraukos.....	62
58. pav. TEM TMH Nr. 012 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 6-ojo cilindro nuotraukos.....	62
59. pav. TEM TMH Nr. 012 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 7-ojo cilindro nuotraukos.....	63
60. pav. TEM TMH Nr. 012 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 8-ojo cilindro nuotraukos.....	63
61. pav. TEM TMH Nr. 012 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 9-ojo cilindro nuotraukos.....	63
62. pav. TEM TMH Nr. 012 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 10-ojo cilindro nuotraukos.....	63
63. pav. TEM TMH Nr. 012 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 11-ojo cilindro nuotraukos.....	64
64. pav. TEM TMH Nr. 012 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 12-ojo cilindro nuotraukos.....	64

## Lentelių sąrašas

1 lentelė. Alyvos klampumas pagal ISO VG klases.....	36
2 lentelė. Variklinėje alyvoje susidarančių cheminių elementų šaltiniai.....	38
3 lentelė. Cheminiai elementai charakterizuojantys alyvą.....	39
4 lentelė. Stebimų lokomotyvų sąrašas.....	40
5 lentelė. Lokomotyvų palyginimas naudojant „Lukoil Avantgarde Professional“ SAE 10W-40 alyvą.....	65

## Ivadas

Lietuvoje geležinkelių transportu pervežama didžioji dalis krovinių. Kiekvienais metais AB „Lietuvos geležinkeliai“ perveža nuo 40 mln. iki 50 mln. tonų krovinių. Norint sėkmingai vežti tokius didelius srautus krovinių, būtina užtikrinti eksploatacinio parko gerą techninį stavį. Vidaus degimo variklis yra vienas iš plačiausiai naudojamų energijos šaltinių keleiviams ir kroviniams vežti. Vidaus degimo variklyje degimo metu išsiskiria medžiagų kurios išmetamos į atmosferą, tačiau dalis medžiagų pasilieka variklyje ir su alyva sudaro neorganinius junginius, kurie blogina variklinės alyvos tepimo savybes. Vidaus degimo variklio ilgaamžiškumui didelę įtaką turi jame naudojama alyva, degalai, variklio darbo režimai, todėl būtinas atskirų variklio būklės parametrų stebėjimas ir prevencinių priemonių naudojimas. Šiame darbe bus apžvelgiama lokomotyvuose naudojami vidaus degimo varikliai „Caterpillar“ PWG, 3ZW ir F2X serijos. Aptarsime vidaus degimo variklių konstrukciją, naudojamas stebėjimo bei kontrolės priemones, priežiūros darbus.

Pagrindinė nagrinėjama problema darbe – eksploatavimo metu vidaus degimo variklyje susidarantys dilimo produktai, dėl kurių variklinė alyva praranda savo tepimo savybes.

Pagal aukščiau išvardintas aplinkybes buvo suformuluotas darbo tikslas ir uždaviniai skirti tikslo įgyvendinimui.

Darbo tikslas – nustatyti variklinėje alyvoje susidarancias dilimo medžiagas, įvertinti jų įtaką lokomotyvų vidaus degimo variklių ilgaamžiškumui, remiantis literatūros apžvalga ir tyrimo rezultatais, pateikti rekomendacijas alyvos keitimo intervalams.

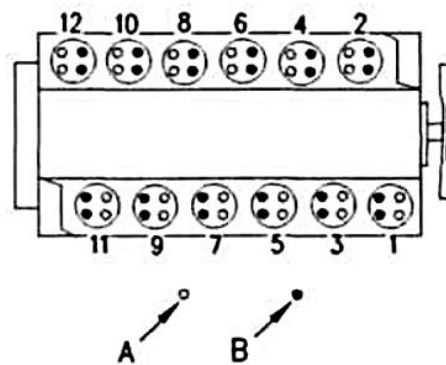
Uždaviniai tikslui pasiekti:

1. Atlikti literatūros apžvalgą: lokomotyvo konstrukcija, vidaus degimo variklis, tepimo sistema, eksploatacija, techninė priežiūra;
2. Apžvelgti alyvos monitoringo taikymo galimybes, reikalavimus. Nustatyti, kokie teršalai, dilimo produktai bus tiriami, kokie mėginių paėmimo intervalai;
3. Palyginti tyrimų metu variklinėje alyvoje susidariusius dilimo produktus su aprašytais mokslinėje literatūroje bei tarptautiniuose standartuose;
4. Ištirti variklinės alyvos kokybės pokyčius eksploatuojant lokomotyvus skirtingomis darbo sąlygomis. Atlikti gautų duomenų analizę, įvertinti atskirų parametrų tarpusavio priklausomybę;
5. Remiantis literatūros apžvalga ir tyrimų rezultatais, pateikti rekomendacijas dėl lokomotyvuose naudojamos variklinės alyvos atitikimo bei keitimo intervalų.

# 1. Literatūros apžvalga

## 1.1. Lokomotyvo vidaus degimo variklis

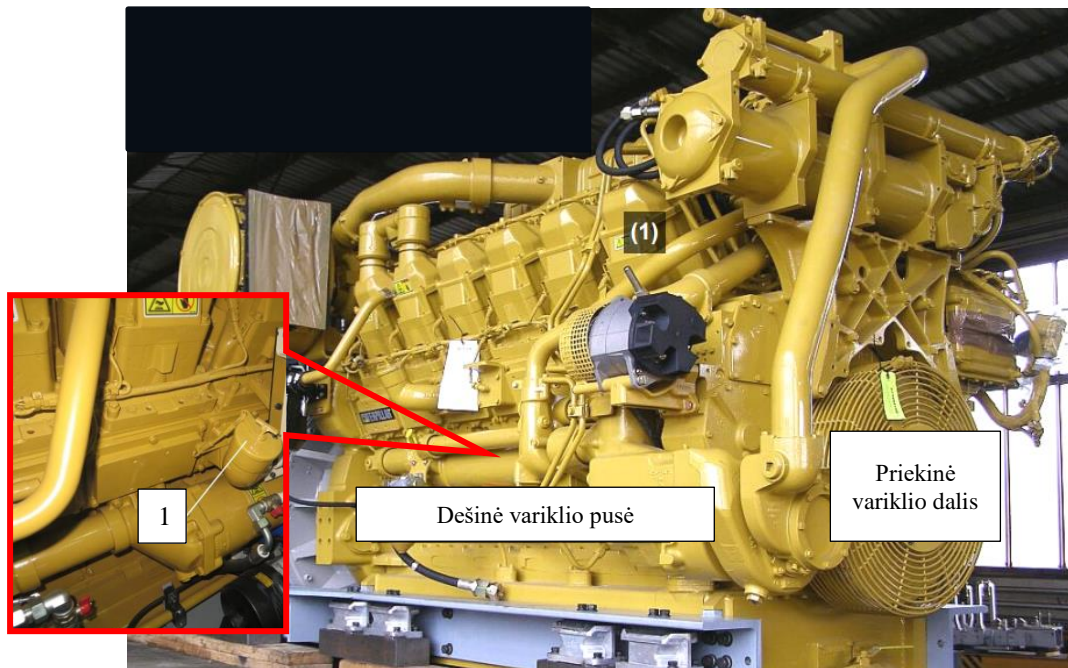
Lokomotyvuose montuojami 3 tipų „Caterpillar“ serijos vidaus degimo varikliai. PWG – 1700 kW, 3ZW – 1455 kW ir F2X – 1550 kW galingumo. Varikį sudaro 12 cilindrų išdėstytų 60 laipsnių kampu. Kiekvienas cilindras turi 4 vožtuvus, po 2 įsiurbimo ir po 2 išmetimo vožtuvus. Vidaus degimo variklis kontroliuojamas elektroniniu būdu, paleidžiamas mechaniškai. Elektroninis kontrolės modulis (ECM) kontroliuoja variklio darbą: 1) aušinimo skysčio temperatūrą; 2) turbokompresoriaus įeinančio oro slėgį; 3) turbokompresoriaus išeinančio oro slėgį; 4) atmosferos slėgį; 5) alyvos slėgį; 6) degalų slėgį; 7) karteryje esantį slėgį. Elektroninės kontrolės modulis aušinamas cirkuliuojančių degalų pagalba. Variklis konfigūruotas su aušinimo sistema, kuri yra atskira grandinė. Variklis naudoja dviejų dalių stūmoklį su kalto plieno vainikėliu ir lieto aliuminio sijonėliu [1]. Variklis pavaizduotas 1 ir 2 paveikslėliuose.



1 pav. Vidaus degimo variklio cilindrų ir vožtuvų išdėstymo schema:

A – įsiurbimo vožtuvas, B – išmetimo vožtuvas [1]

Alyvos slėgis skirstomajame velene ar pagrindiniuose guoliuose tikrinamas abiejose cilindro bloko pusėse. Kai variklis yra darbinės temperatūros, minimalus alyvos slėgis esant didžiausiai leistinai apkrovai turėtų būti apytiksliai 280 kPa. Minimalus alyvos slėgis esant tuščiosios eigos sūkiams turėtų būti apytiksliai 140 kPa [1].



2 pav. Vidaus degimo variklis „CATERPILLAR“: 1 – alyvos užpylimo vieta [2]

Vidaus degimo variklis pritaikytas dirbi naudojant dyzelinius degalus, kuriuose pagal LST EN 590 standartą yra ne daugiau kaip 1% sieros. Aušinimo sistemoje naudojamas aušinimo skystis „CAT ELC UN 3082“, į aušinimo sistemą supilama apie 500 ltr. aušinimo skysčio, aušinimo skystis yra keičiamas po 8000 motoval. darbo. Dyzeliniame variklyje gamintojas rekomenduoja naudoti specialią variklinę alyvą, kurios specifikacija yra ne žemesnė kaip API CH-4 / CI-4, tenkinanti gamintojo „Caterpillar“ technines sąlygas ECF-1 SAE 15W-40 ištisus metus. Į dyzelinį variklį pilama 320 ltr. alyvos. Norint užtikrinti, kad alyva neprarastų savo tepimo savybių įvairiomis darbo sąlygomis yra naudojami įvairūs priedai. Dėl vyraujančios aukštos temperatūros vidaus degimo variklio darbo metu vyksta alyvos oksidacija, todėl yra naudojami antioksidantai. Didelis temperatūrų pokytis variklyje veikia alyvos klampą, esant aukštai temperatūrai klampa mažėja, esant žemai temperatūrai klampa didėja.

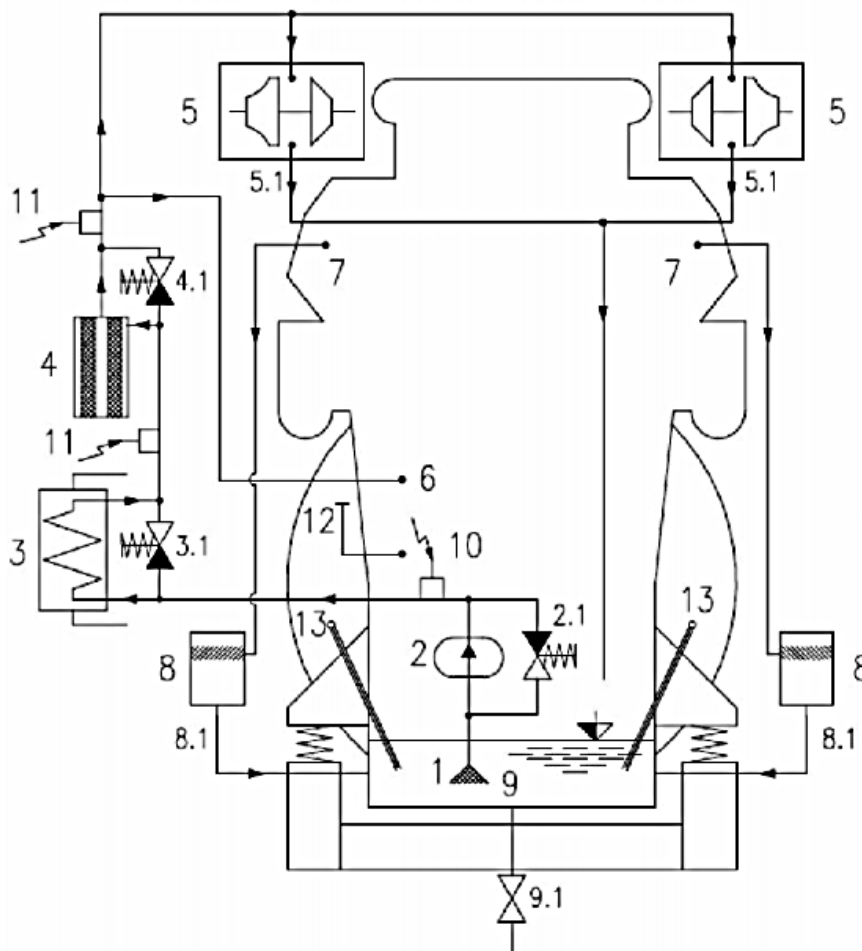
#### 1.1.1. Vidaus degimo variklio tepimo sistema

Vidaus degimo variklio tepimo sistema ir joje esanti alyva atlieka keletą funkcijų: palaiko variklį švarų, apsaugo jį nuo rūdžių ir korozijos, veikia kaip aušinimo sistema, mažina trintį ir nusidėvėjimą. Alyvos būklė parodo bendrą variklio būklę. Apie bendrą variklio būklę galima spręsti ir pagal alyvos temperatūrą. Aukščiau nustatytos ribos pakilusi temperatūra parodo galimas problemas tepimo ir aušinimo sistemose. Pernelyg aukšta alyvos temperatūra gali neigiamai paveikti visų tepamų detalių būklę. Kad variklyje nesikaupytų alyvos garai, jame įrengta karterio vėdinimo sistema [3].

Jeigu aušinimo skysčio temperatūra pagrindiniame aušinimo kontūre 5 sekundžių laikotarpyje pakils virš 102 °C, diagnostikos monitoriuje pasirodys įspėjimas. Kad įspėjimas išnyktų, aušinimo skysčio temperatūra turi nukristi iki 97 °C. Jeigu aušinimo skysčio temperatūra 5 sekundžių

laikotarpyje daugiau kaip  $107\text{ }^{\circ}\text{C}$ , sustos vidaus degimo variklis. Esant žemai aušinimo skysčio temperatūrai, vidaus degimo variklio sistema veikia toliau nurodytu būdu. Jeigu vidaus degimo variklis 10 minučių dirbo vidutiniu 20% galingumu, o aušinimo skysčio temperatūra 5 sekundėms nukrito iki  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , diagnostikos monitoriuje pasirodys įspėjimas. Įspėjimas nebus aktualus, jei per 10 minučių vidutinis galingumas sumažės iki 20% arba aušinimo skysčio temperatūra pakils iki  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$  [3].

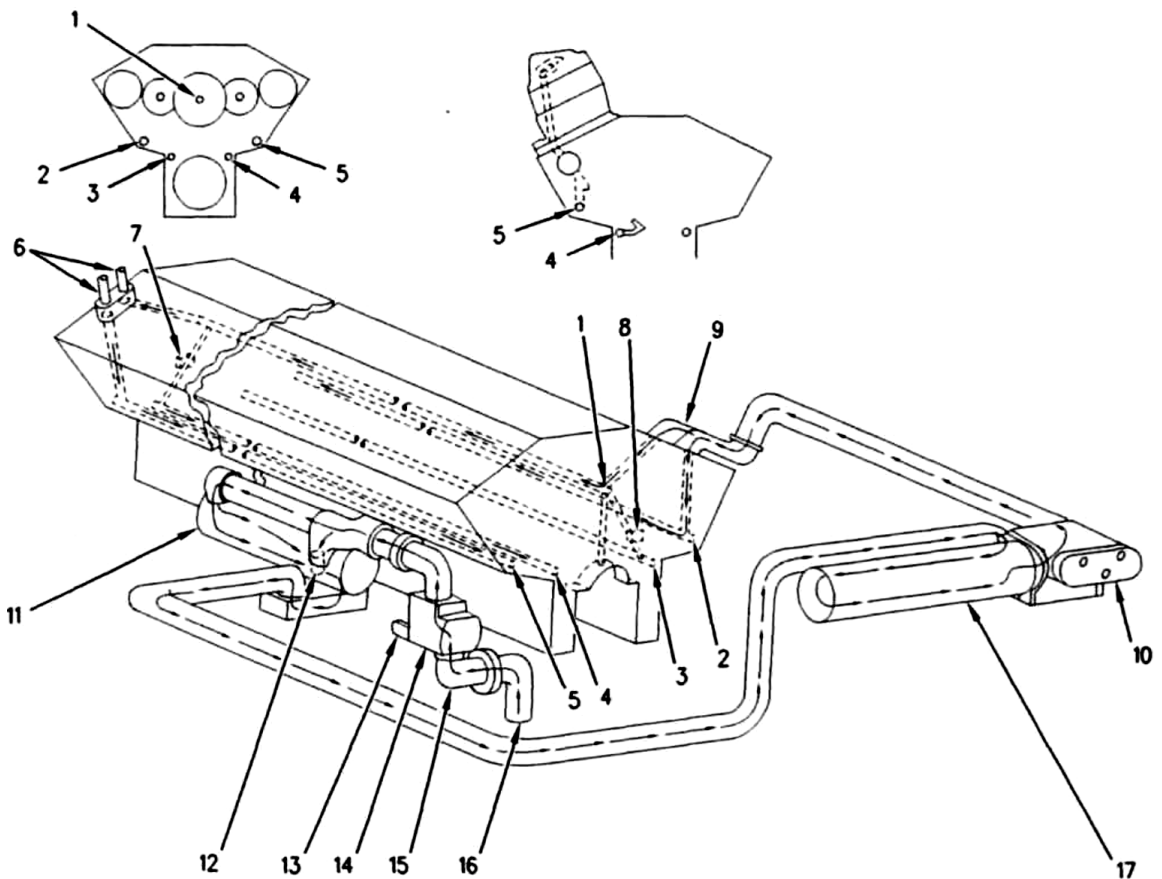
Vidaus degimo variklio tepimo kontūras pavaizduotas 3 pav.



3 pav. Lokomotyvo vidaus degimo variklio tepimo sistemos schema: 1 – alyvos siurblio tinklinis filtras; 2 – alyvos siurblys; 2.1 – alyvos siurblio redukcinis vožtuvas; 3 – alyvos aušintuvas; 4 – alyvos filtras; 4.1 – alyvos filtro redukcinis vožtuvas; 5 – turbokompresorius; 5.1 – alyvos nusipylimas iš turbokompresoriaus į karterį; 6 – dyzelinio variklio alyvos kolektorius; 7 – karterio ventiliacija; 8 – alyvos atskyrėjas; 8.1 – alyvos nusipylimas iš atskyrėjo į karterį; 9 – dyzelinio variklio karteris; 9.1 – alyvos išpylimo čiapas; 10 – alyvos temperatūros jutiklis; 11 – alyvos slėgio jutiklis; 12 – alyvos užpylimo anga; 13 – alyvos matuoklis [3]

Vidaus degimo variklio tepimas yra cirkuliacinis ir veikia naudojant slėgį. Alyvos cirkuliaciją tepimo kontūrą užtikrina krumpliaratinis alyvos siurblys Nr. 2, varomas krumpliaratine pavara nuo skirstomųjų dantračių. Tepimo alyva pumpuojama iš variklio apatinėje dalyje esančio karterio, kuris taip pat yra ir alyvos vonia Nr. 9. Iš siurblio Nr. 2 alyva patenka į tepalų aušintuvą Nr. 3, kuriame ji aušinama, šilumą perduodant pagrindinio aušinimo kontūro skysčiui. Paskui alyva patenka į tepalo

filtrą Nr. 4 ir vamzdynu per angas vidaus degimo variklyje pasiekia visus tepimo taškus. Viena tepimo atšaka – tai tepalo vamzdynas įpūtimo kompresorių turbinoms Nr. 5 tepti. Pasiekusi visus tepimo taškus, įskaitant turbokompresorius, alyva grįžta atgal į alyvos vonią karteryje Nr. 9. Tepimo kontūre yra perleidimo vožtuvai pažymėti Nr. 3.1, 4.1, užtikrinantys pakankamą alyvos pritekėjimą į tepimo taškus, esant per dideliu alyvos klampumui arba užsiteršus alyvos aušintuvui ar alyvos filtro įdėklui. Tepimo kontūre yra keletas slėgio daviklių Nr. 10, pateikiančių informaciją apie alyvos filtro ir alyvos būklę. Siekiant apsaugoti variklį nuo galimų pažeidimų, alyvos slėgiui nukritus žemiau nustatytos reikšmės, variklis bus nedelsiant sustabdytas. Alyvos lygis variklio karteryje esančioje alyvos vonioje Nr. 9 neturi viršyti ant lygio tikrinimo matuoklio Nr. 13 esančios žymos „FULL“. Alyvos lygiui viršijus nurodytą žymą, gali būti apsemtas alkūninis velenas. Dėl to gali susidaryti alyvos purlai, mažinantys alyvos tepimo savybes, alyva gali pradėti tekėti per karterio vėdinimo sistemą, be to, gali labiau susidėvėti cilindrus įvorės. Dėl alyvos paviršio gali padidėti kuro sąnaudos ar ant cilindrus bei degimo kameroje atsirasti degimo produktų nuosėdos, gali padidėti slėgis karteryje ar atsirasti kitų problemų. Jeigu alyvos lygis viršija nustatytą žymą ant lygio tikrinimo matuoklio, dalį alyvos būtina nedelsiant išleisti. Alyva iš alyvos vonios karteryje išleidžiama pro lokomotyvo šone išvestą vamzdinę, atidarius išleidimo kraną pažymėtą Nr. 9.1, 9.2. Išleidžiant visą alyvą (keičiant tepalus), pageidautina, kad ji būtų šilta, priešingu atveju alyvos vonioje liks į alyvą įsimaišiusios trinties dalelės, kurios gali vėl užteršti naujai pakeistą alyvą. Alyvos vonia karteryje užpildoma pro dešinėje variklio pusėje esančią įpylimo angą Nr. 11. Kontroliuoti alyvos lygį alyvos vonioje padeda alyvos lygio matuoklė Nr. 13. Matuoklė padeda kontroliuoti alyvos lygį, kai variklis veikia ar kai jis yra išjungtas. Jeigu alyvos lygis matuojamas, kai veikia variklis, tai prieš matavimą variklio apsukas būtina sumažinti iki tuščiosios eigos apsukų. Mažiausias ir didžiausias leistinas alyvos lygis ant matuoklės yra pažymėtas brūkšneliais su užrašu. Variklio darbo metu alyvos lygis turi būti tarp šių dviejų brūkšnelių [4].



4 pav. Alyvos siurblio darbo schema: 1 – Pagrindinė alyvos talpykla; 2 – Skirstomojo veleno alyvos talpykla; 3 - Stūmoklio aušinimo srauto talpykla; 4 - Stūmoklio aušinimo srauto talpykla; 5 - Skirstomojo veleno alyvos talpykla; 6 - Turbokompresoriaus alyvos padavimas; 7 - Nuoseklumo vožtuvas; 8 - Nuoseklumo vožtuvas; 9 – Alkūnė; 10 - Variklio alyvos filtro apėjimo vožtuvas; 11 - Variklio alyvos aušintuvas; 12 - Variklio alyvos aušintuvo apėjimo vožtuvas; 13 - Variklio alyvos atleidimo vožtuvas; 14 - Variklio alyvos siurblys; 15 – Alkūnė; 16 - Siurbimo praplatėjimo anga; 17 - Variklio alužyvos filtro korpusas [1]

Variklio alyvos siurblyje randasi variklio alyvos atleidimo vožtuvas, pažymėta Nr. 13. Variklio alyvos atleidimo vožtuvas Nr. 13 kontroliuoja variklio alyvos slėgį, esantį variklio alyvos siurblyje. Variklio alyvos siurblys pažymėtas Nr. 14 gali sistemą pripildyti per dideliu variklio alyvos kiekiu. Atsiradus per dideliu variklio alyvos kiekiui, variklio alyvos slėgis pakils, o atleidimo vožtuvas atsidarys. Tai leis nereikalingam variklio alyvos kiekiui grįžti atgal į variklio alyvos siurblio įleidimo kanalą. Variklio alyvos siurblys stumia variklio alyvą per variklio alyvos aušintuvą pažymėtą Nr. 11 ir variklio alyva filtruojama į pagrindinę tepalo talpyklą pažymėtą Nr. 1 bei skirstomojo veleno talpyklą pažymėtą Nr. 2. Variklio tepalo aušintuvas sumažina variklio alyvos temperatūrą iki jo padavimo į filtrus. Variklio alyvos aušintuvo apėjimo vožtuvas pažymėtas Nr. 12 leidžia variklio alyvai tiesiogiai tekėti į filtrus, užsikimšus variklio alyvos aušintuvui. Variklio alyvos aušintuvo apėjimo vožtuvas taip pat leidžia variklio alyvai tekėti tiesiai į filtrus, sutirštėjus variklio alyvai. Variklio alyvos aušintuvo apėjimo vožtuvas leis variklio alyvai patekti į filtrus, alyvos slėgio diferencialą viršijant  $180 \pm 20$  kPa. Naudojami kasetės tipo filtrai. Filtrai randasi variklio alyvos filtro



corpuse. Kasetės tipo filtrai naudoja vieno apėjimo vožtuvą, kuris randasi variklio alyvos filtro corpuse. Švari variklio alyva iš filtrų teka variklio tepimo linija, į bloką per alkūnę pažymėtą Nr. 9. Variklio alyvos dalis teka į kairiojo skirstomojo veleno alyvos talpyklą pažymėtą Nr. 2. Variklio alyvos likutis teka į pagrindinę alyvos talpyklą. Skirstomojo veleno alyvos talpykla Nr. 2 ir skirstomojo veleno alyvos talpykla Nr. 5 yra pajungtos prie kiekvieno skirstomojo veleno guolio išgręžtos skylutės pagalba. Variklio alyva teka aplink kiekvieno skirstomojo veleno kakliuką. Po to, variklio alyva keliauja per cilindro galvutę ir sverto peties korpusą į sverto peties veleną. Išgręžta skylutė jungia vožtuvo keltuvų kanalus prie sverto peties veleno alyvos angos. Vožtuvo keltuvai sutepami kiekvieno takto viršuje. Pagrindinė alyvos talpykla Nr. 1 yra pajungta prie pagrindinių guolių išgręžtų skylučių pagalba. Skylutės išgręžtos alkūniniame velene jungia pagrindinio guolio alyvos pajungimą prie strypo guolių. Variklio alyva iš užpakalinės pagrindinės alyvos talpyklos dalies teka į užpakalinę dešinio skirstomojo veleno alyvos talpyklos dalį Nr. 5. Nuoseklumo vožtuvas pažymėtas Nr. 7 ir nuoseklumo vožtuvas pažymėtas Nr. 8 leidžia variklio alyvai iš pagrindinės alyvos talpyklos Nr. 1 tekėti į stūmoklio aušinimo srauto talpyklą Nr. 3 ir stūmoklio aušinimo purkštuko talpyklą Nr. 4. Nuoseklumo vožtuvai pradeda atsidaryti apytiksliai esant 130 kPa slėgiui. Nuoseklumo vožtuvai neleidžia variklio alyvos į stūmoklio aušinimo purkštuko talpyklą kol pagrindinėje talpykloje išsilaikys slėgis. Tai sumažina laiko kiekį, būtiną slėgio susikaupimui, paleidus variklį. Tai taip pat padeda sulaikyti slėgį, esant tuščiai eigai [1].

#### 1.1.2. Didelis variklinės alyvos sunaudojimas

Variklinė alyva prateka į variklio išorę. Gali atsirasti pratekėjimas per sandarinimo sluoksnius – riebokšlius, esančius kiekvieno alkūninio veleno gale. Taip pat gali atsirasti variklio alyvos praleidimas per karterio alsuoklį. Taip gali nutikti dėl deginimo metu susidariusių dujų pratekėjimo apie stūmoklius. Nešvarus karterio alsuoklis sukels aukštą slėgį karteryje. Tuo pačiu, nešvarus karterio alsuoklis įtakos pratekėjimą per tarpiklius ir sandarinimo sluoksnius.

Variklio alyva patenka į cilindrų deginimo skyrių. Variklio alyva, pratekanti į cilindrų deginimo skyrių, gali būti mėlynų dūmų priežastis. Gali būti keletas priežasčių, susijusių su variklio alyvos pratekėjimu į cilindrų deginimo skyrių:

- pratekėjimas tarp nusidėvėjusio vožtuvo kreiptuvų ir vožtuvo rankenėlių;
- nusidėvėję ar apgadinti komponentai (stūmokliai, stūmoklio žiedai ar nešvarios variklio tepalo gražinimo angos);
- neteisinga suspaudimo žiedo ir/ arba tarpinio žiedo instaliacija;
- pratekėjimas už sandarinimo žiedų turbokompresoriaus ašies rotorius gale;
- karterio perpildymas;
- neteisingas lygio matuoklis arba kreipiamasis vamzdelis.

Naudojant netinkamo klampumo variklio alyvą gali atsirasti per didelis variklio alyvos sunaudojimas. Skysto klampumo variklio alyva gali atsirasti dėl degalų pratekėjimo į karterį arba dėl padidėjusios variklio temperatūros [1].

#### 1.1.3. Netinkamas variklinės alyvos cirkuliavimas

Egzistuoja keletas faktorių, kurie gali sukelti netinkamą variklio alyvos cirkuliavimą:

- variklio alyvos filtras yra užsikimšęs. Tokiu atveju būtina pakeisti variklio alyvos filtrą nauju;
- variklio alyvos linija arba kanalas yra atjungtas arba apgadintas;
- variklinės alyvos aušintuvas yra užsikimšęs. Tokiu atveju būtina kruopščiai išvalyti variklio alyvos aušintuvą [5];

Egzistuoja problema, liečianti stūmoklio aušinimo purkštuką. Stūmoklio aušinimo purkštukai nukreipia variklio tepalą į stūmoklių dugną, norint juos atšildyti. Tokiu būdu taip pat sutepamas stūmoklio pirštas. Stūmoklio aušinimo purkštuko gedimas, apribojimas ar netinkama instaliacija įtakos stūmoklio užkirtimą [5].

Gali būti apribotas variklio alyvos siurblio siurbimo vamzdelio įleidimo ekranas. Toks apribojimas sukels tuštumą ir variklio alyvos slėgio praradimą. Reikia patikrinti įleidimo ekraną ant siurbimo vamzdelio bei pašalinti visas medžiagas, ribojančias variklio alyvos tekėjimą [5].

Siurbimo vamzdelis traukia orą. Patikrinti siurbimo vamzdelio sujungimus, norint nustatyti, ar nėra įtrūkimų ar O-žiedo sandarinimo sluoksnio apgadinių.

Variklio alyvos siurblio problema. Patikrinkite, ar variklio alyvos siurblio pavaros nėra per daug nusidėvėjusios. Variklio alyvos slėgį sumažina per daug nusidėvėjusios variklio alyvos siurblio pavaros [5].

#### 1.1.4. Netinkamas variklio alyvos slėgis

Žemiau išdėstytos sąlygos gali sukelti aukštą variklio alyvos slėgį:

- variklio alyvos lygis yra per aukštas;
- variklio alyvos temperatūra yra per žema. Žema variklio alyvos temperatūra didina variklio alyvos klampumą;
- variklio alyvos filtro apėjimo vožtuvas yra užsikirtęs uždarytoje padėtyje. Kruopščiai išvalyti vožtuvą. Pakeisti variklio alyvos filtrus;

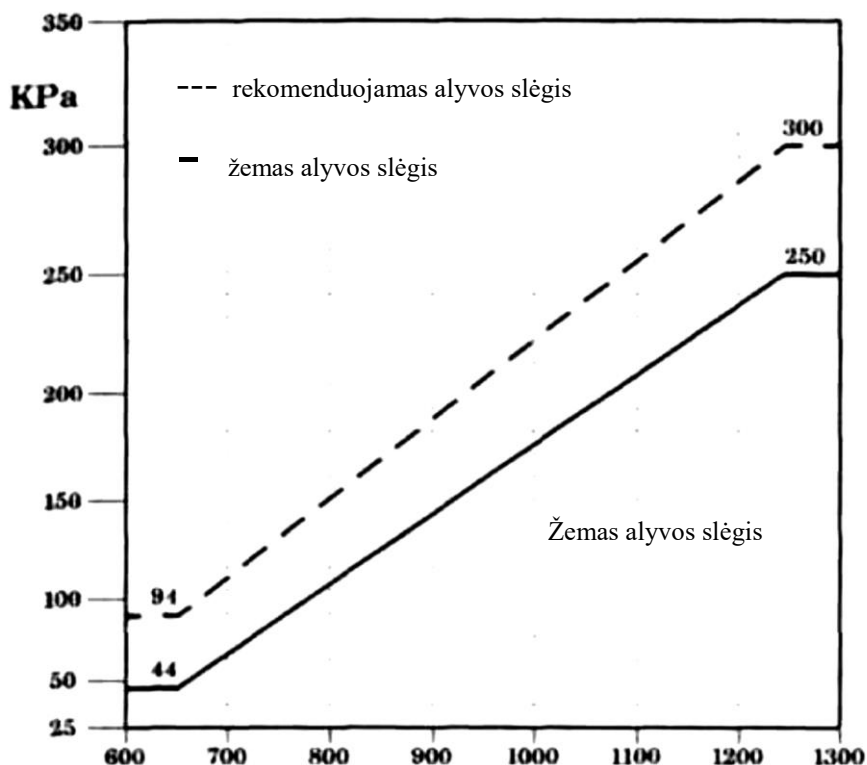
- yra apribota variklio alyvos linija arba kanalas. Išvalyti komponentą;

Šios sąlygos gali įtakoti žemo variklio alyvos slėgio indikaciją:

- žemas variklio alyvos lygis;
- variklio alyvos slėgio problema;
- užteršta variklio alyva;
- netinkama variklio alyvos cirkuliacija;

- nusidėvėję komponentai [4].

Variklio alyvos slėgio priklausomybė pavaizduota 3 paveiksle. Tinkamas alyvos slėgis variklyje turi būti tarp 100 kPa ir 280 kPa.

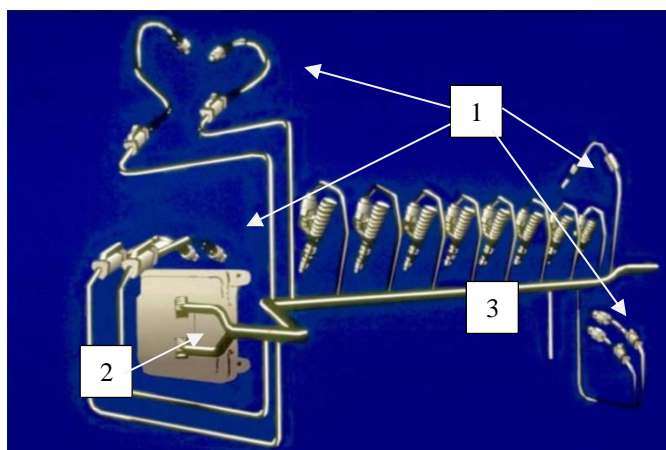


5 pav. Alyvos slėgio priklausomybė nuo alkūninio veleno apsisukimų skaičiaus [1]

Variklio alyvos slėgis priklauso nuo visų variklio komponentų tinkamo darbo. Aušinimo sistema turi užtikrinti reikiamą variklio darbo temperatūrą, aušinimo skysčio temperatūrai pakilus virš 107 °C variklis automatiškai yra gėsinamas. Dyzelinis variklis yra gėsinamas kai alkūninio veleno apsisukimų skaičius viršiją 2124 aps/min. Kuro valymo filtruose slėgis negali būti didesnis kaip 700 MPa, oro filtruose normalus slėgis apie 300 MPa, esant užterštiems filtrams 600 MPa, jei siekia 700 MPa tokius filtrus reikia nedelsiant keisti naujais. Alyvos valymo sistemoje filtruose esant normaliam užterštumui slėgis neviršija 600 MPa, alyvos filtruose slėgiui pakilus iki 1050 MPa tokie filtrai turi būti keičiami.

#### 1.1.5. Kuro elektroninė valdymo sistema

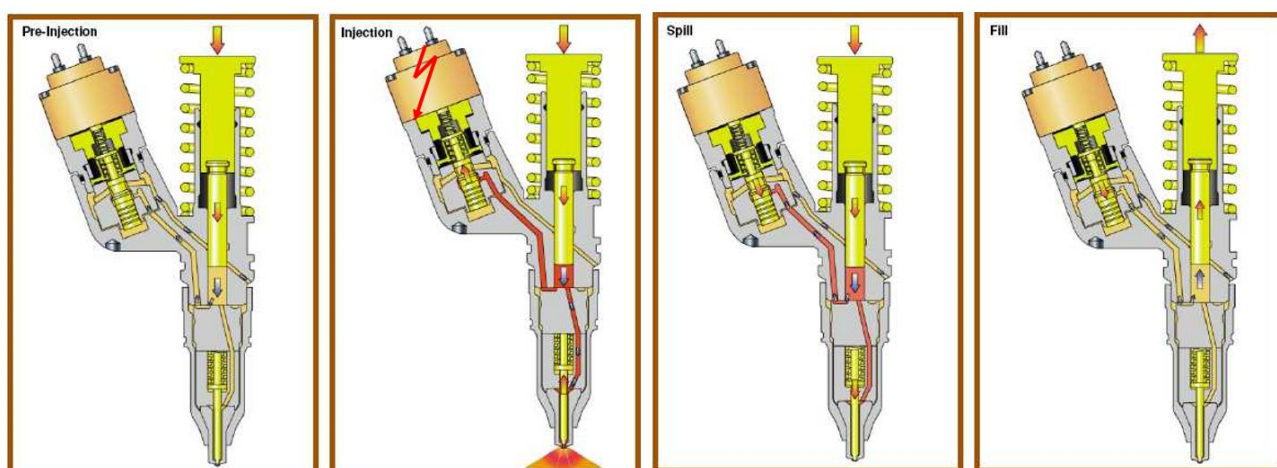
Lokomotyvo variklis suprojektuotas taip, kad daugelį jo funkcijų būtų galima valdyti ir kontroliuoti elektroniniu būdu. Tokia kuro valdymo sistema pavaizduota 6 paveiksle.



6 pav. Kuro valdymo sistemos schema:

1 - Greičio, laiko, slėgio ir temperatūros jutikliai, 2 - valdymo blokas, 3 – kuro purkštukai [6]

Iš jutiklių surinkta informacija yra apdorojama valdymo bloke, iš kur siunčiamas signalas į kuro purkštukus, kurių pagalba yra reguliuojamas variklio apkrova ir maksimalus apkrovimas. Degalų purkštukai veikia gaudami signalą kuris priklauso nuo oro sklendės padėties. Pagal jos padėtį valdymo blokas ECM reguliuoja kuro purkštukų veikimo laiką. Kuro purkštukai yra montuojami prie kiekvieno cilindro. Caterpillar varikliuose naudojamo purkštuko pjūvis pateiktas 7 paveiksle.



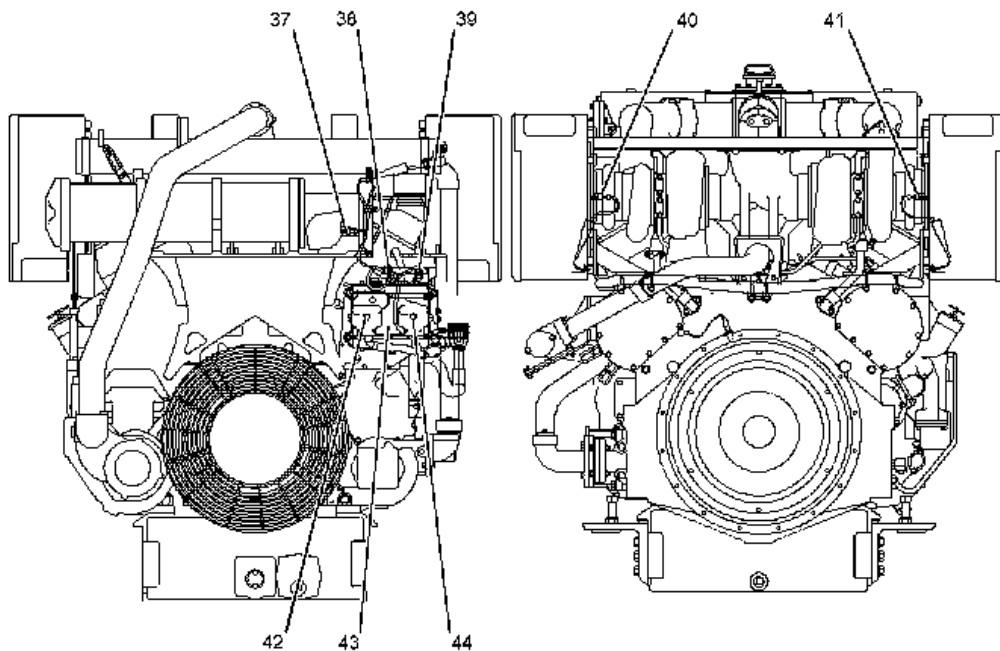
7 pav. Degalų purkštuko išpurškiamas dyzelino kiekis į cilindrą [6]

Purkštukai, priklausomai nuo spaudimo ir gaunamo el. signalo mikrosekundžių tikslumu paduoda reikiamą kuro kiekį kiekvienam cilindriui. Per vieną ciklą kiekvienas purkštukas atlieka nuo 3 iki 6 skirtingų įpurškimų, kurių pagalba pasiekiamas optimaliausias kuro pasiskirstymas ir tolimesnis degimas, taip kompensuojamas netolygus variklio darbas. Skiriasi paduodamo kuro kiekis, įpurškimo laikas bei purškimo spindulys. Visa tai įvyksta per 1 - 2 mikrosekundes. Būtent toks tikslumas leidžia labai efektyviai naudoti kurą. Toks sprendimas leidžia greitai pritaikyti kuro slėgį prie variklio apkrovos pokyčių. Elektroninis valdymo blokas gauna signalus apie momentines variklio darbo sąlygas: alkūninio veleno kampinį greitį ir veleno padėties kampą, kuro slėgį aukšto slėgio rezervuare, turbo įpūtimo slėgį, oro temperatūrą įsiurbimo kolektoriuje, aušinimo skysčio ir

kuro temperatūrą, į variklį patenkančią oro masę. Valdymo blokas apdoroja įeinančius signalus ir apskaičiuoja valdymo signalus reguliavimo vožtuvui arba kuro dozatoriui, purkštukams. Pagal alkūninio veleno ir paskirstymo veleno kampinio greičio daviklių duomenis valdymo bloko sistema nustato įpurškimo momentą (laiko valdymas). Elektroninė valdymo sistema leidžia tiksliai dozuoti įpurškiamą kurą, be to, valdo kitas papildomas funkcijas, gerinančias variklio darbą.

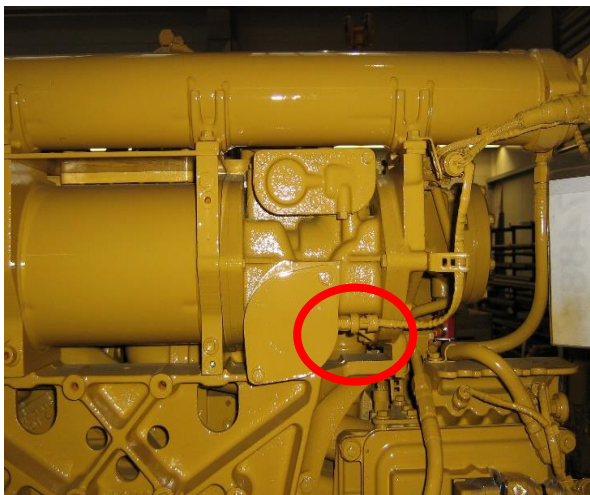
#### 1.1.6. Darbinių parametrų valdymo sistema ir jos jutikliai

Reikiamiems variklio darbo parametrams užtikrinti yra sumontuota begalė jutiklių. „Caterpillar“ variklio priekinėje dalyje montuojami davikliai pateikti 8 paveiksle.

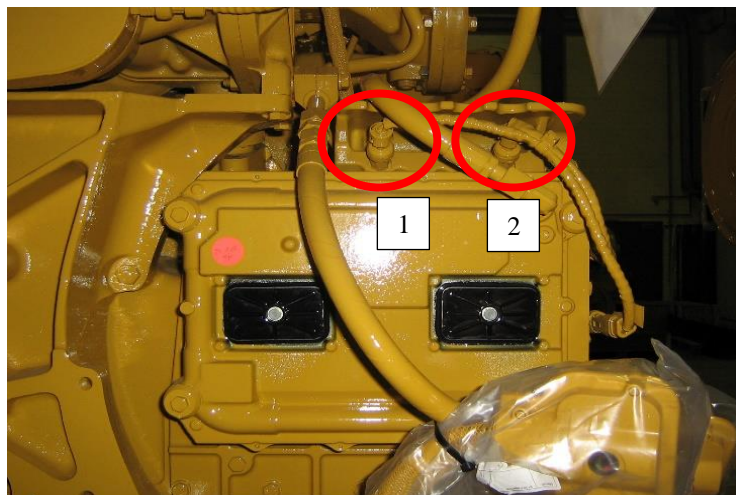


8 pav. Jutikliai esantys „Caterpillar“ variklio priekinėje dalyje: 37 – alyvos slėgio prieš filtrą daviklis; 38 – turbokompresoriaus išpučiamo slėgio jutiklis; 39 – atmosferos slėgio jutiklis; 40, 41 – kairės ir dešinės pusės turbokompresorių įeinančio oro slėgio jutiklis; 42,44 – elektroninio valdymo bloko ECM jungtys [6]

Nefiltruotos alyvos slėgio jutiklio vieta, turbokompresoriaus jutikliai lokomotyvo vidaus degimo variklyje pavaizduoti 9 ir 10 paveikslėliuose.

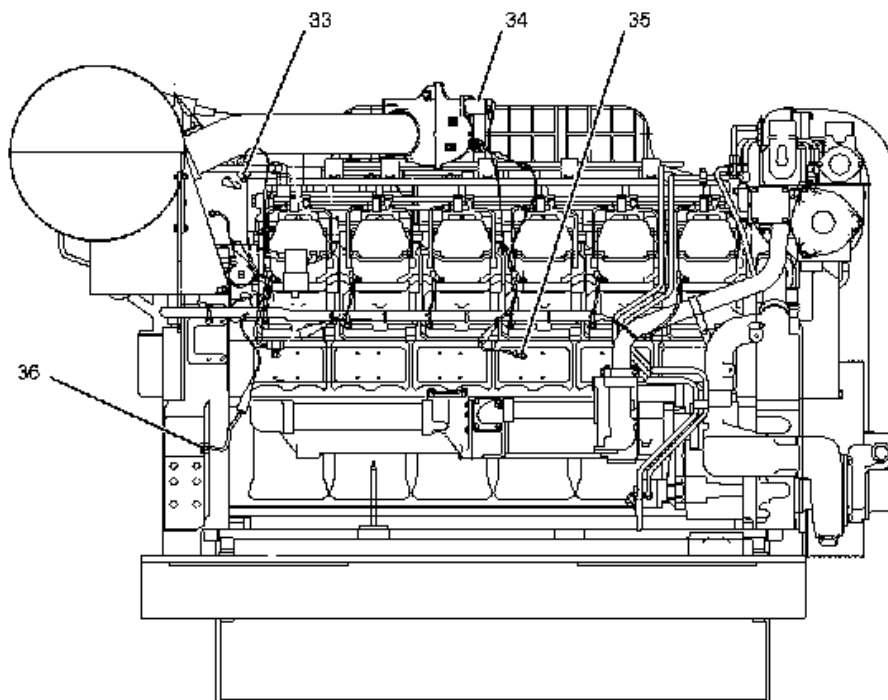


9 pav. Alyvos slėgio jutiklis



10 pav. Slėgio jutikliai: 1 – turbokompresoriaus išpučiamo slėgio jutiklis; 2 – atmosferos slėgio jutiklis (dešinėje)

Dešinėje lokomotyvo vidaus degimo variklio pusėje montuojami jutikliai pateikti 11 paveiksle.



11 pav. Jutikliai esantys „Caterpillar“ variklio dešinėje pusėje: 33 – dešinės pusės išmetamųjų dujų temperatūros jutiklis; 34 – dešinys oro srauto jutiklis; 35 – karteryje esančios alyvos slėgio jutiklis; 36 – variklio sukimosi greičio jutiklis [6].

Jutiklių vietą lokomotyvo variklyje pavaizduota 12 ir 13 paveikslėliuose.



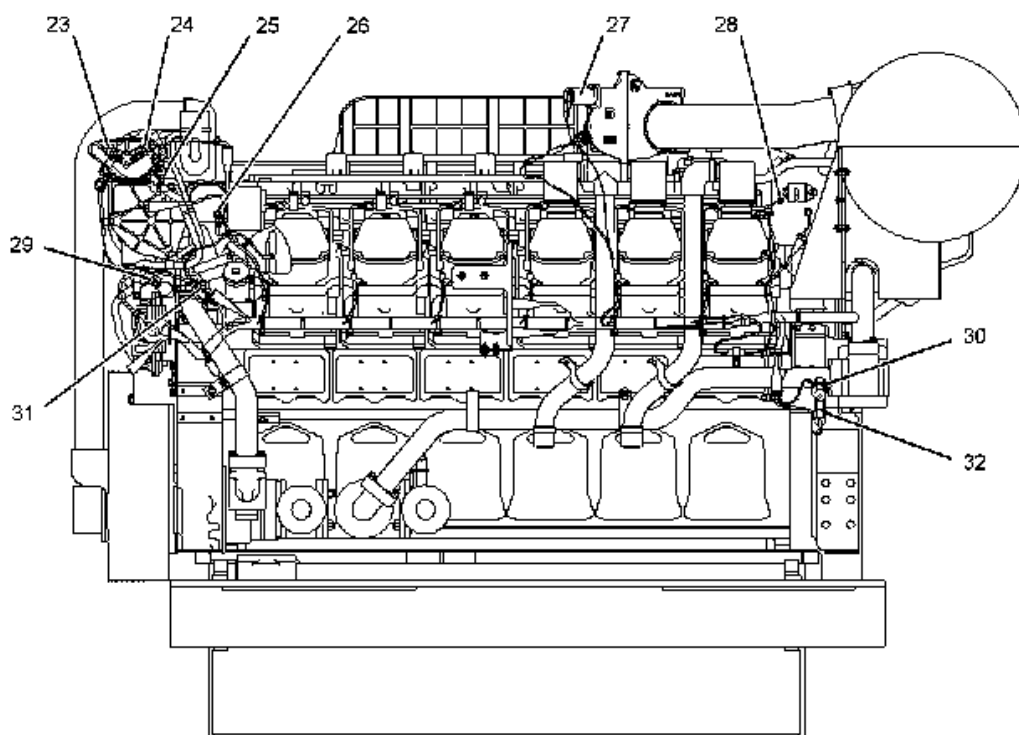
12 pav. Dujų temperatūros jutiklis



13 pav. Karteryje esančio slėgio jutiklis

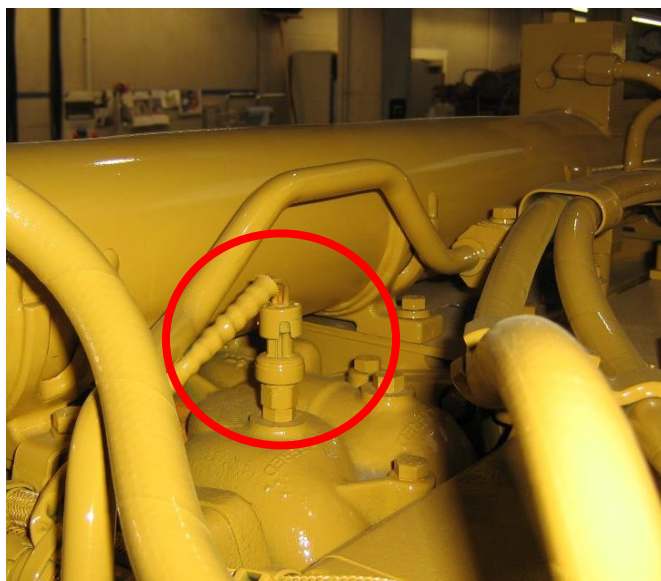
Elektroninė valdymo sistema gauna duomenis iš karterio slėgio daviklio, kuris pritvirtintas prie skirstomojo veleno dangtelio. Daviklis paduoda signalą „CAT“ duomenų grandies pagalba. Slėgis, viršijantis 3,6 kPa laikomas neleistinu [7].

Kairėje lokomotyvo vidaus degimo variklio pusėje montuojami jutikliai pateikti 14 paveiksle.

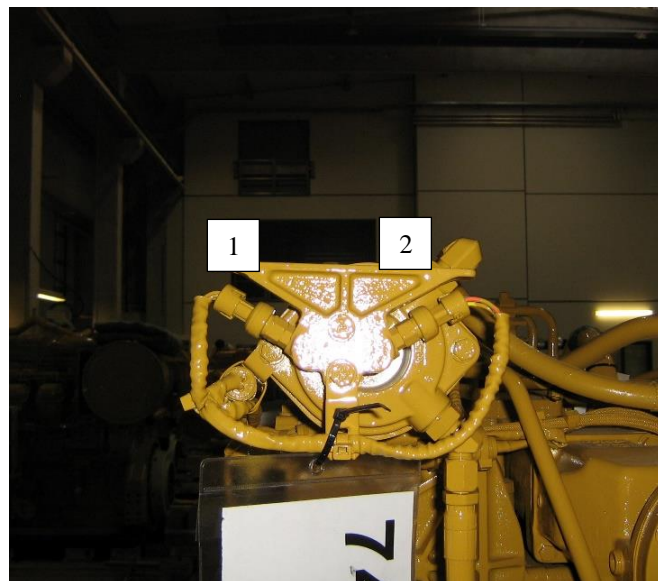


14 pav. Jutikliai esantys „Caterpillar“ variklio kairėje pusėje: 23 – kuro prieš filtrą slėgio jutiklis; 24 – kuro po filtro slėgio jutiklis; 25 – alyvos po filtro slėgio jutiklis; 26 – aušinimo skysčio temperatūros jutiklis; 27 – kairys oro srauto jutiklis; 28 – kairės pusės išmetamųjų dujų temperatūros daviklis; 29 – atmosferos slėgio daviklis; 30 – pirminis alkūninio veleno sūkių daviklis; 31 – oro aušintuvo temperatūros daviklis; 32 – pagalbinis alkūninio veleno sūkių daviklis [6]

Alyvos po filtro slėgio jutiklio, kuro prieš filtrą ir po filtro slėgio jutiklių vieta lokomotyvo variklyje pateikta 15 ir 16 paveiksluose. Aušinimo vandens ir išmetamųjų dujų temperatūros jutikliai pavaizduoti 17 ir 18 paveiksluose.



15 pav. Alyvos po filtro slėgio jutiklis



16 pav. Kuro slėgio jutikliai: 1-prieš, 2-po filtro



17 pav. Aušinimo vandens temperatūros jutiklis



18 pav. Išmetamųjų dujų temperatūros jutiklis

## 1.2. Lokomotyvo techninė priežiūra

Techninės priežiūros tikslas yra užtikrinti šilumvežio saugų ir patikimą darbą be gedimų eksploatacijos metu. Techninė priežiūra yra tiek planinio, tiek prevencinio pobūdžio. Priežiūros ir remonto darbus turi atlikti apmokyti, turintys atitinkamą kvalifikaciją ir su TEM TMH serijos lokomotyvų konstrukcija ir veikimu susipažinę asmenys. Šie darbai turi būti atliekami tam skirtuose cechuose ar remonto dirbtuvėse, naudojant tam tinkamus įrankius. Sutrikus normaliam lokomotyvo veikimui ir kilus pavojui žmonių saugumui, saugiam, nepertraukiamam arba ekologiškam geležinkelių transporto eismui arba į lokomotyvo techninės būklės žurnalą mašinistui įrašius pastabą



apie tokią būklę, nepriklausomai nuo nustatytų periodinės techninės priežiūros ir remonto terminų, būtina nedelsiant pašalinti atsiradusius gedimus [7].

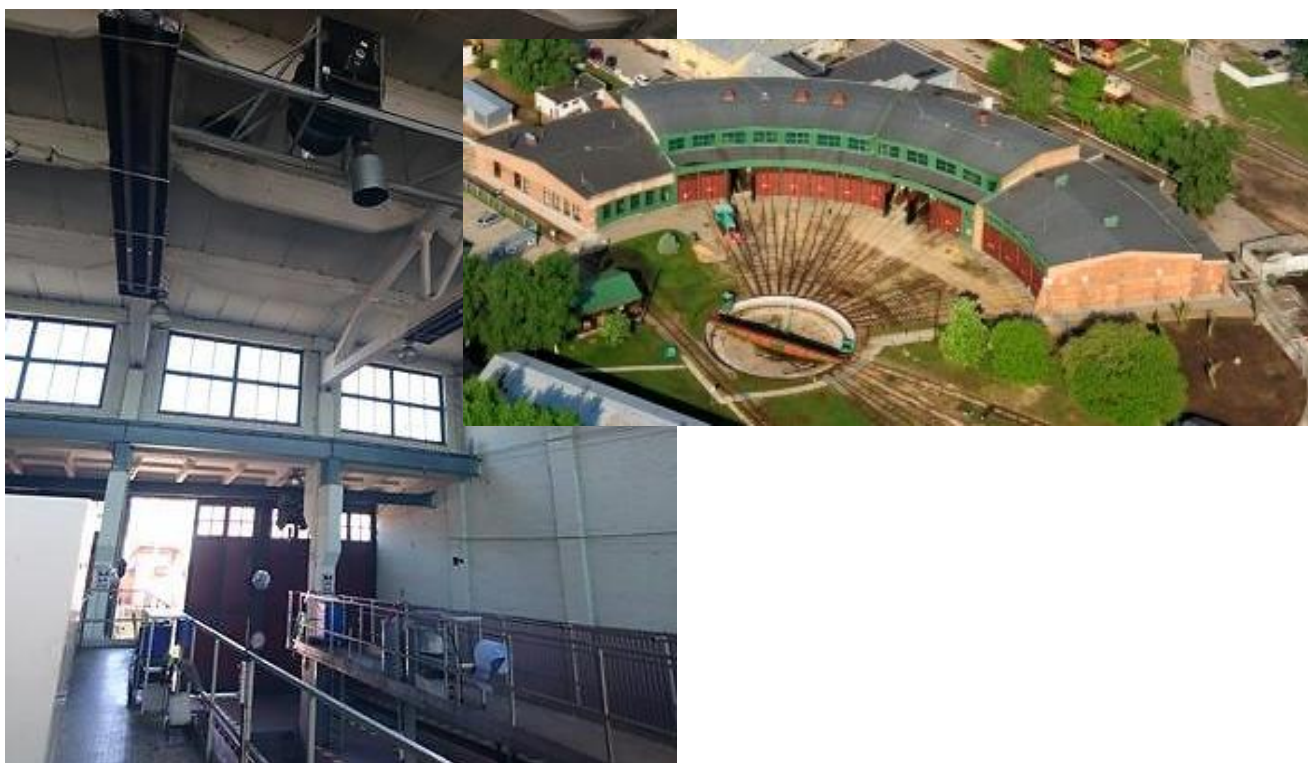
Siekiant neriboti lokomotyvų garantijos, lokomotyvo priežiūros metu reikia vadovautis šia instrukcija. Pasibaigus garantiniam laikotarpiui, nurodytus duomenis galima naudoti kaip pagrindinę lokomotyvo gamintojo rekomenduojamą techninės priežiūros ir remonto tvarką tam, kad būtų pasiekta saugi, patikima ir ekonomiška lokomotyvo eksploatacija.

Techninė priežiūra TP-1:

Šią apžiūrą atlieka lokomotyvų brigados jų paminos keitimosi metu, arba jas ekipiruojuant, taip pat lokomotyvo darbo metu. Techninė priežiūra TP-1 skirta vizualiai patikrinti lengvai prieinamų važiuoklės detalių, lokomotyvo stabdžių ir kitų įrenginių būklę, nenaudojant specialių įrankių ir nevežant lokomotyvo į specializuotus cechus. Lokomotyvo veikimo metu aptiktus gedimus reikia įrašyti į lokomotyvo techninės būklės žurnalą [7].

Techninės priežiūros TPP ir TP3:

Šios apžiūros – tai profilaktinės priežiūros pagrindas. Jos atliekamos atitinkamame lokomotyvų depo ceche. UAB „Vilniaus lokomotyvų remonto depo“ Kauno cecho dirbtuvės pavaizduotos 19 paveiksle. Pavaizduota remonto stovinė kurioje atliekami planiniai remontai.



19 pav. Lokomotyvų remonto depas: 1 – vaizdas iš išorės, 2 – vaizdas cecho viduje

Planiniai einamieji remontai. Gamintojas nustatė du periodinių remontų tipus:

- einamieji remontai ER1, ER2 ir ER3;
- kapitaliniai remontai KR1, KR2 (modernizavimas).

Skirtingai nei profilaktinė priežiūra, prieš tai nurodyti remontai atliekami specializuotose remonto dirbtuvėse.

Einamieji remontai:

Einamojo remonto metu išmontuojami atskiri lokomotyvo mazgai, jie tikrinami ir keičiamos susidėvėjusios dalys. Einamuosius remontus gali atlikti mašinos naudotojas atitinkamais įrenginiais ir pasitelkęs į pagalbą kvalifikuotą personalą. Kitais atvejais remontą reikia atlikti specialiose remonto dirbtuvėse arba jį atlieka lokomotyvo gamykla [7].

Remonto metu dyzeliniuose varikliuose keičiama alyva, šiuo metu naudojama „Lukoil Avantgarde Professional“ SAE 10W-40 alyva, taip pat buvo naudotos „Q8 T 860“ SAE 10W-40, bei „CAT DEO“ SAE 15W-40 alyvos. Prieš papildant medžiagas ir alyvas būtina rūpestingai išvalyti papildymo vietas ir imtis visų apsaugojimo priemonių, kad į pildymo vietas nepatektų teršalai ir drėgmė. Einamojo remonto metu yra reguliuojami vožtuvų tarpeliai ir kuro purkštukų aukštis.

Kapitalinis remontas:

Lokomotyvo kapitalinio remonto darbų apimtis priklauso nuo anksčiau atliktų jo remontų ir priežiūros darbų skaičiaus ir kokybės, faktinės lokomotyvo būklės, priklausančios nuo konkrečių eksploatacijos sąlygų, įvertinimo. Šioje instrukcijoje aprašomų pagrindinių kapitalinio remonto darbų apimtis yra informacinio pobūdžio. Kapitaliniai remontai atliekami tik specializuotose lokomotyvo remonto dirbtuvėse arba lokomotyvo gamintojo gamykloje [7].

Tokio remonto metu yra pilnai išardomas lokomotyvo variklis atliekamas atskirų jo dalių defektavimas. Keičiami turbokompresorių įdėklai, sparnuotės, keičiami alkūninio veleno priekinėje ir galinėje dalyje esantys sandarikliai. Sumontuojamos atnaujintos cilindro galvutės, keičiamos tarpinės esančios po cilindro galvutėmis.

#### 1.2.1. Variklinėms alyvoms keliami reikalavimai

Transporto priemonių variklių alyvas galima išsirinkti pagal atitinkamą SAE žymėjimą, taip pat pagal API, ACEA ir transporto priemonės gamintojo nurodytas specifikacijas. Šie parametrai yra nurodyti transporto priemonės techninėje dokumentacijoje ir produkto pakuotėje. Variklinių alyvų specifikacijos pagal API(American Petroleum Institute):

- benzininių variklių alyvų klasės: SA...SM;
- dyzelinių variklių alyvų klasės: CA...CK-4.

Kuo tolimesnė antroji specifikacijos raidė pagal alfabetą ir kuo didesnis skaičius, tuo alyvos klasė aukštesnė. Alyvų gamintojai rekomenduoja nemaišyti skirtingų tipų alyvų tarpusavyje. CA klasė yra pati seniausia ir nerekomenduojama tokios klasės alyvos naudoti dyzeliniuose varikliuose, pagamintuose po 1959 m. CF klasės alyva skirta dyzeliniams varikliams, kuriuose naudojami degalai turi daugiau kaip 0,5 % sieros. CH-4 klasės alyva sukurta 1998 m. ir skirta naudoti dyzeliniuose

varikliuose, kuriuose naudojamas dyzeliniai degalai, turintis iki 0,5 % sieros. 2002 m. pasirodė alyva atitinkanti CI-4 standartą, šio tipo alyva pritaikyta naudoti dyzeliniuose varikliuose, kuriuose sumontuota išmetamųjų dujų recirkuliacijos sistema EGR. Ši sistema dalį panaudotų dujų grąžina į oro įsiurbimo kolektorių. Pagrindinė sistemos paskirtis – sumažinti išmetamųjų dujų toksiškumą varikliui šylant ir staiga kylant alkūninio veleno apsisukimams, kuomet variklis dirba riebesniu degių mišiniu nei įprasta. EGR paskirtis – sumažinti degimo temperatūrą iki to lygio, kad NOx dujos neatsirastų. Dėl NOx dujų poveikio variklio alyvai susidaro nepalankios sąlygos, pačiam varikliui tenka dirbti ekstremalesniais darbo režimais, alyva greičiau praranda savo tepimo savybes. NOx dujos per kompresinius žiedus patenka į karterį ir reaguoja tiesiogiai su variklio alyva, dėl to laikui bėgant alyva degradoja, NOx trumpina alyvos naudojimo laiką, naikina plovimo savybes. Alyva tampa klampesnė, suprastėja cirkuliacija, labiau kaista variklio galvutė, velenai. Tai trumpina paties variklio resursą [8].

Klasifikacija pagal ACEA (Association of European Automotive Manufacturers):

- lengvųjų automobilių benzininių ir dyzelinių variklių alyvų klasės: A1/B1, A3/B3, A3/B4 ir A5/B5;
- lengvųjų automobilių benzininių ir dyzelinių variklių, su išmetamųjų dujų apdorojimu (alyvos suderintos su katalizatoriais), alyvų klasės: C1, C2, C3 ir C4;
- sunkvežimių dyzelinių variklių alyvų klasės: E2, E5, E4, E6, E7 ir E9.

Lyginant su API klasifikacijos sistema, ACEA specifikacijos geriau atitinka šiuolaikinių Europos variklių ir važiavimo sąlygų reikalavimus. Europos Sąjungoje leidžiamų vartoti variklių tūriai yra mažesni, varikliai yra specialiai sureguliuoti, juose įdiegtos daugiavožtuvės sistemos, taip pat vis labiau populiarėja turbokompresoriai. Papildydami ACEA ir API specifikacijas, dauguma automobilių gamintojų nustato ir publikuoja savus – gamyklinius standartus, kurie dažniausiai yra aukštesni nei ACEA ir API nustatyti, pavyzdžiui VW 503.00, MB 228.5 ir kiti.

API dvitakčių variklių alyvų klasifikacija (American Petroleum Institute):

- oru aušinamų dvitakčių variklių alyvų klasės: TA, TB ir TC.

Kuo antroji specifikacijos raidė abėcėlėje yra labiau nutolusi nuo pradžios, tuo aukštesnės klasės alyva. Anksčiau API buvo nustatę ir atskirą klasę laivų dvitakčiams varikliams – TD [9].

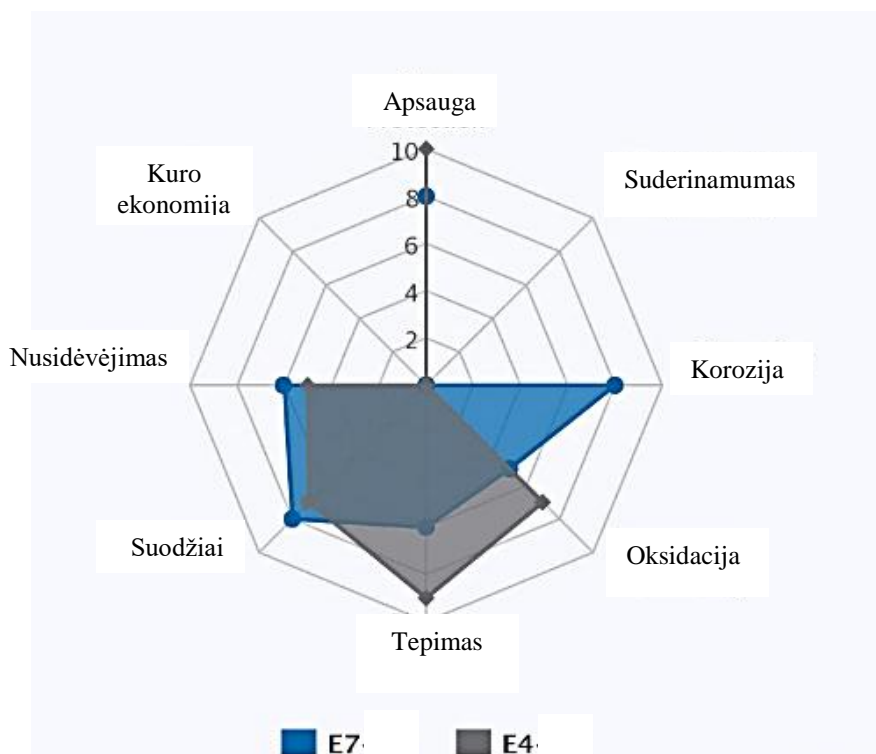
### 1.2.2. „Caterpillar“ vidaus degimo varikliuose naudojama alyva

Lokomotyvuose, kuriuose sumontuoti „Caterpillar“ serijos vidaus degimo varikliai, naudojama „Lukoil“ gamintojo alyva. „Lukoil Avantgarde Professional“ SAE 10W-40 alyvos gamintojas nurodo, jog alyva atitinka šiuos standartus: API CI-4, ACEA E4/E7, Caterpillar ECF-2, MAN M M3277, MAN M M3377, MTU OIL Category 3, Scania LDF-3. Alyva atitinka sintetinei alyvai keliamus reikalavimus, yra pritaikyta naudoti didelio darbinio tūrio ir didelės galios turbodieseliniams

varikliams. Tinka įvairių gamintojų dyzeliniams varikliams, užtikrina ilgesnius alyvos keitimo intervalus. Alyvos klampumo lygis užtikrina mažesnę trintį užvedus variklį žiemos metu, greitą visų variklio dalių sutepimą bei variklio apsaugą nuo nusidėvėjimo. SAE 40 pastovus alyvos klampumo lygis įvairiomis aplinkos temperatūros sąlygomis užtikrina aukščiausio lygio apsaugą, net esant didžiausioms galimoms variklio apkrovoms. Alyvos tankis esant 20 °C temperatūrai pagal DIN 51575 standartą – 867 kg/m<sup>3</sup>. Įsiplieskimo temperatūra pagal ISO 2592 standartą – 220 °C. Klampumo klasė pagal SAE J300 standartą – 10W-40 [10].

Alyvą „Lukoil Avantgarde Professional“ SAE 10W-40 sudaro distiliatai (naftos produktai), hidrinti sunkūs parafinai, cinko junginiai, ditiofosfatas, alkilo fenolis, visos šios medžiagos yra toksiškos, pavojingos įkvėpus. Standartas ACEA E4/E7 nurodo, jog alyva užtikrina gerą variklio komponentų tepimą, rekomenduojama naudoti didelio darbinio tūrio dyzeliniuose varikliuose, kurie atitinka teršalų išmetimo standartus Euro I, Euro II, Euro III, Euro IV, Euro V. Alyva pritaikyta naudoti varikliuose, kuriuose nėra įrengti kietųjų dalelių filtrai [11].

20 paveiksle pateikiama alyvų, kurios atitinka ACEA E4 ir ACEA E7 standartus, palyginimas.



20 pav. ACEA E4 ir E7 standartų palyginimas [12]

Iš grafiko matyti, jog ACEA E7 standarto alyva pasižymi žemesne variklio komponentų apsauga, tačiau ši alyva užtikrina gerą apsaugą nuo korozijos susidarymo, tai sumažina variklio komponentų nusidėvėjimą ir pailgina naudojimo laiką. ACEA E4 standarto alyva užtikrina geresnes tepimo sąlygas ir geresnę apsaugą nuo alyvos oksidacijos ir tai padeda pailginti alyvos keitimo intervalus. „Lukoil Avantgarde Professional“ SAE 10W-40 alyva pasižymi visomis šiomis savybėmis.

## 2. Tyrimo metodika ir eiga

### 2.1. Alyvų monitoringas

Vidaus degimo variklių alyva skirta mažinti trintį ir nusidėvėjimą, pašalinti ir neleisti kauptis teršalams, todėl nuolatinė alyvos analizė gali parodyti agregatų būklę ir užkirsti kelią galimiems gedimams. Daugeliu atveju senstanti alyva nebegali užtikrinti reikiamo tepimo ir apsaugos. Naftos produktų analizė yra vienas efektyviausių būdų siekiant aptikti problemas ir optimizuoti techninės priežiūros intervalus [13].

Monitoringas – sistemingas, nuolatinis ar periodinis tam tikro svarbaus reiškinių, taršos ar kokybės stebėjimas, renkant informaciją, reikalingą sistemos valdymui, reiškinių paieška ir aptikimas. Monitoringui dažnai priskiriamas ir po to sekantis tolimesnės raidos bei galimų poveikių prognozavimas. Dažnai monitoringas apima ne tik patį stebėjimą, bet ir susijusį prognozavimą, tam tikrų išvadų darymą. Monitoringui paprastai reikalingi:

- paruoštas personalas – kvalifikuoti žmonės, gebantys prižiūrėti monitoringo įrangą ir ja naudojantis rinkti informaciją;
- techninė įranga – matavimo prietaisai, jutikliai, informacijos įrašymo ir perdavimo įranga;
- tinklas – įrengtos vietos, kuriose renkama informacija, pagal kurią galima apibendrintai įvertinti visos sistemos būseną [14].

Analizuojant alyvą atliekami šie tyrimai: – besidėvintys metalai (geležis, chromas, cinkas, aliuminis, nikelis, varis, švinas, molibdenas), –PQ indeksas (įsimagnetinančios geležinės dalys), – priedai (kalcis, magnis, cinkas, fosforas, baris, boras), – teršalai (silicis, kalis, natris, vanduo %), –KF vanduo, –alyvos būklė (klampumas esant +40° ir +100°C), –klampumo indeksas, –oksidacija, –neutralizacijos vertinimas, –alyvos išorė, –spalvų vertinimas, –tankis, –dalelių skaičiavimas pagal standartus ISO 4406, SAE 4059 [14].

„Caterpillar“ vidaus degimo variklių gamintojas siūlo monitoringo paslaugų programą „CAT S.O.S. Services“, skirtą apsaugoti naudojamus „Caterpillar“ variklius. Programa skirta skatinti racionalų išteklių naudojimą ir užtikrinti įrangos ilgaamžiškumą. Bendradarbiaujant su „CAT S.O.S. Services“ galima parinkti optimalius agregatų darbo režimus taip taupant išlaidas. Norint, jog monitoringas būtų efektyvus, o rezultatai tikslūs, reikalinga griežta mėginių kontrolė. Mėginius būtina pateikti tendencingai. Vienas alyvos mėginys gali užfiksuoti rimtą problemą, tokią kaip dulkių patekimas į alyvą, aušinimo skysčio ar degalų pėdsakai alyvoje. Norint gauti visą monitoringo teikiamą informaciją, reikalingas nuolatinis alyvos mėginių ėmimas. Mažiausias galimas ėminių kiekis, norint gauti tikslią informaciją – 3 vnt. Visuose vidaus degimo varikliuose vyrauja tendencija susidaryti metalinių dalelių priemaišoms variklinėje alyvoje. Stebint šių dalelių susidarymo intensyvumo pokyčius galima nustatyti vidaus degimo variklio būklę [15].

### 2.1.1. Alyvos vertinimo kriterijai

Naudojamą alyvą galima suskirstyti į 5 rūšis: 1) vidaus degimo variklių; 2) hidraulinių pavarų; 3) kompresoriaus; 4) krumplinių pavarų; 5) guolių. Visos šios alyvos skirtos sutepti judantiems ir tarpusavyje kontaktuojantiems metaliniams paviršiams. Net esant idealiems tepimo sąlygoms, dėl dažno metalinių paviršių kontakto, susidaro alyvos užterštumas. Didžioji dalis susidariusių alyvos teršalų yra pašalinama filtravimo elementais. Smulkesnės nuosėdos lieka alyvoje ir didėjant jos išdirbiui teršalų kiekis tampa vis didesnis. Susikaupus daug teršalų alyvoje, ji praranda savo tepimo savybes [14].

Alyvos užterštumą taip pat gali sukelti išoriniai veiksniai tokie kaip aušinimo sistemos vanduo, į degimo kamerą įsiurbiamas oras, dulkės. Kai kurie iš šių elementų yra pašalinami filtravimo elementais, tačiau į alyvą patekus vandeniui ar degalams, reikalingas dalinis arba visiškas alyvos keitimas. Teršalam viršijus nustatytą ribą, alyva praranda savo tepimo savybes, tai savo ruožtu padidina trintį tarp atskirų vidaus degimo variklio komponentų, padidėja variklio dilimo greitis, sumažėja naudojimo laikas. Reguliarus alyvos monitoringas gali įspėti apie gresiančias problemas ir užkirsti kelią dideliems gedimams [16].

Dėl per mažo tepimo sulūžęs guolis pavaizduotas 21 paveiksle. Atsiradus didelei trinčiai, paviršiai įkaito, metalas prarado savo savybes ir buvo deformuotas.



21 pav. Sulūžęs veleno guolis [16]

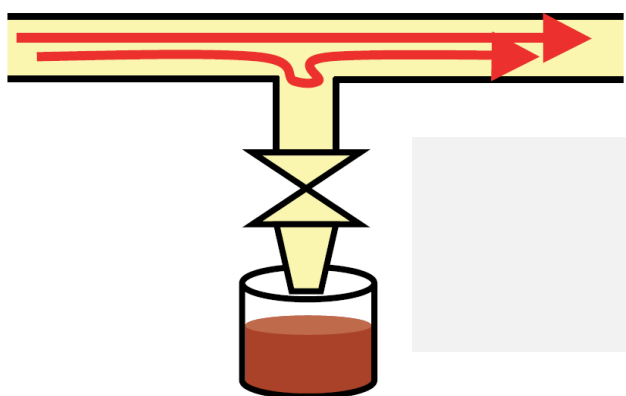
Kai kuriuose įrenginiuose nėra būtinas alyvos monitoringas. Jei tokie įrenginiai veikia ne daug arba mažu greičiu tokiems įrenginiams rekomenduojama paimti alyvos ėminį tik prieš atliekant alyvos keitimą. Rekomenduojami alyvos būklės vertinimo kriterijai: alyvos tarša, klampa, aukšto slėgio komponentų trintis, guolių trintis. Atliekant alyvos tyrimus siekiama išsiaiškinti, ar neatsirado pokyčių cilindrių įvorėse ir žieduose.

### 2.1.2. Mėginių tikslumas ir paėmimas

Mėginių tikslumas priklauso nuo alyvos mėginio paėmimo metodo. Mėginių paėmimui keliami reikalavimai:

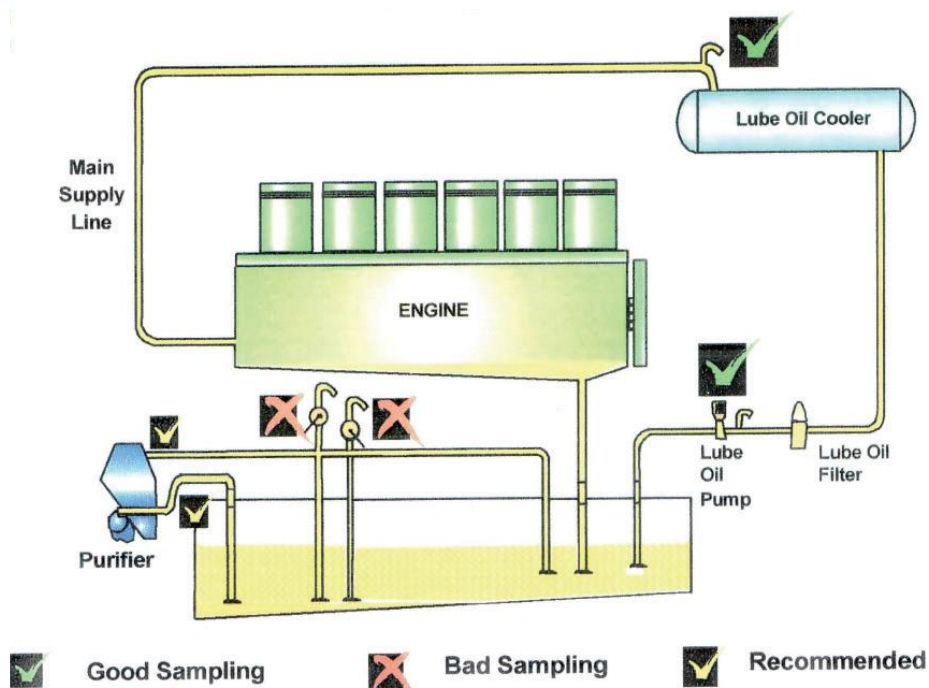
- vidaus degimo variklis turi veikti normaliu nusistovėjusiu darbo režimu;
- mėginio paėmimo vieta visuomet turi būti toje pačioje vietoje;
- rekomenduojama imti mėginius prieš filtrus ir po jų [16].

Tikslingiau imti alyvos mėginius prieš filtrą, nes filtras pašalina daugumą susidariusių dilimo produktų, jei ėminys imamas po filtro, reikia įvertinti filtro efektyvumą. Dizeliniuose varikliuose rekomenduojamas alyvos mėginio paėmimo taškas yra už alyvos siurblio bet prieš filtrą. Mėginio paėmimo vietoje alyva turėtų turėti turbulentinį tekėjimą [16].



22 pav. Mėginio paėmimo schema [16]

Mėginių ėmimui sudaromas griežtas mėgimo intervalas, naudojama tik sterili tara. Mėginių paėmimo vietos lokomotyvų dizeliniuose varikliuose pavaizduotos 23 paveiksle.



23 pav. Galimi mėginių paėmimo taškai [16]

Iš vidaus degimo variklio karterio alyvos siurbliu alyva yra tiekama į alyvos filtravimo elementus. 23 paveiksle matyti, jog alyvos mėginiui paimti, kelyje tarp vidaus degimo variklio karterio ir filtruojančių elementų yra padaryta speciali alyvos paėmimo vieta.

## 2.2. Alyvos mėginių ėmimas ir parametrų nustatymas

Atliekant vidaus degimo variklių būklės stebėseną (monitoringą) ir alyvų planinę ir neplaninę patikrą, imami atskiri variklinės alyvos mėginiai. Alyvos mėginio paėmimo intervalas iš „Caterpillar“ serijos variklių imamas kas 500 motoval. vykdant traukos riedmenų techninę priežiūrą. Naudojamos variklinės alyvos darbo resursas yra 1000 motoval. + 10%. Esant poreikiui, pakartotinis alyvos ėminių paėmimas gali būti inicijuojamas tyrimus atliekančios laboratorijos darbuotojų. Alyvos mėginys imamas į švarią vienkartinio naudojimo plastikinę tarą pavaizduotą 24 paveiksle. Ant mėginio taros yra užklijuojama mėginio etiketė. Užpildytos etiketės pavyzdys pateiktas 25 paveiksle. Mėginys imamas esant užvestam varikliui ir pasiekusiam darbinę temperatūrą. Nuo mėginiui paimti skirto vožtuvo nuimamas apsauginis dulkių gaubtas pavaizduotas 26 paveiksle. Vožtuvas nuvalomas popierine šluoste ar švaria audeklo skiaute.



24 pav. Alyvos mėginio tara

Alyvai paimti naudojama speciali vienkartinio naudojimo žarnelė, 6 mm vidinio skersmens ir 150 – 200 mm ilgio, kuria alyvos srautas nukreipiamas į alyvos mėginio tarą. Pakartotinis vienkartinio indelio ar žarnelės panaudojimas gali užteršti analizuojamąjį mėginį.

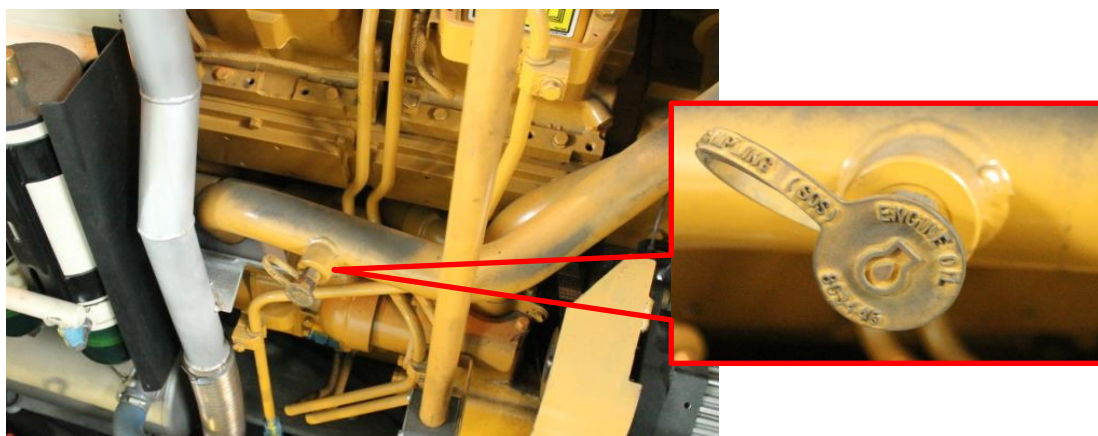
<b>LUKOIL AVANTGARDE PRO SAE 10W-40</b>		Ėminio Nr.	<b>LTB-1/ 1466</b>
Variklinė alyva			
<b>Techninės priežiūros koordinavimo skyrius</b>		<b>2018-02-28 16:00</b>	
Įrenginio savininkas		Ėminio paėmimo data ir laikas	
<b>TEM TMH 7</b>	<b>32432</b>	<b>264</b>	
Lokomotyvo Nr.	VDV skaitliuko parad., mh	Alyvos išdirbis, mh	
<b>3ZW 01066</b>	<b>0</b>	<b>320</b>	
VDV Nr.	Papildytos alyvos tūris tarp dviejų ėminių, L	Įpiltos/esančios karteryje .alyvos tūris, L	
<b>PAKARTOTINIS</b>	<b>4200</b>	<b>9210</b>	
Ėminio tipas	Kuro likutis bake, L	Papild. kuro kiekis tarp 2 ėminių, L	

25 pav. Alyvos mėginio etiketė [17]



Alyvos mėginio etiketėje nurodoma alyvos rūšis, depo kuriame paimtas mėginys kodas, lokomotyvo bei jo vidaus degimo variklio numeriai, alyvos darbo valandos, mėginio paėmimo data bei mėginio rūšis: einamasis, pakartotinis, nupiltas, užpiltas.

Prieš imant mėginį užvedamas vidaus degimo variklis, palaukiama kol variklio tepimo sistemoje esanti alyva sušils ir pasiskirstys tepimo sistemoje. Alyvos temperatūra ir pasiskirstymas tepimo sistemoje užtikrina mėginio kokybę. Dalis alyvos apie 100 ml yra nuleidžiama į atliekų tarą, nes ties paėmimo vožtuvu gali būti susikaupę papildomų teršalų. Šio proceso metu yra išvalomas vožtuvas. Vožtuvas pavaizduotas 26 paveiksle. Esant per mažam variklinės alyvos tekėjimo srautui, mėginio paėmimo metu, galima padidinti vidaus degimo variklio apsisukimų skaičių.



26 pav. Alyvos mėginio paėmimo vožtuvas

Alyvos paėmimo procesas pavaizduotas 27 paveiksle. Paimamas mėginio paėmimui skirtas indelis. Viena žarnelės dalis įstatoma į indelį, kita dalis su antgaliu dar kartą įstatoma į vožtuvą. Nupilant alyvą būtina laikytis visų saugaus darbo reikalavimų ir naudoti asmenines apsaugos priemones siekiant išvengti karštos alyvos sukeltų nudegimų. Indelis užpildomas iki nurodytos žymos arba 80 – 90% indelio tūrio. Būtina saugoti vienkartinio naudojimo tarą ir jos dangtelį nuo nešvarumų, kurie gali turėti neigiamos įtakos tyrimų rezultatams.



27 pav. Alyvos mėginio paėmimas

Laboratorijos darbuotojai, vadovaudamiesi eksploatuojamų variklių gamintojų pateikta techninės priežiūros ir eksploatacijos technine dokumentacija bei bendrovės vidinėmis instrukcijomis atlieka gautų mėginių tyrimus. Traukos riedmenų vidaus degimo variklių būseną vertinama nuosekliai ir sistemingai, pagal eksploatuojamuose varikliuose naudojamos alyvos kokybės rodiklių faktines reikšmes bei šių reikšmių pokyčius. Esant poreikiui, laboratorijos darbuotojai gali inicijuoti tiriamų alyvų mėginių siuntimą kokybinių rodiklių tyrimui bei vertinimui alyvų gamintojų akredituotoms ar kitoms įgaliotoms tyrimų laboratorijoms. Kiekvienam traukos riedmenyje eksploatuojamam varikliui laboratorijos darbuotojai pildo alyvos stebėsenos duomenų žurnalą kurio forma nustato tyrimų užsakovas. Alyvos duomenų žurnale yra pildomi duomenys apie variklyje naudojamą alyvą, alyvos ir variklio darbo laiką, alyvos kokybinių rodiklių reikšmės bei jų pokyčiai, variklio alyvoje susidarantys dilimo produktai ir jų kiekiai, fizikiniai – cheminiai rodikliai: kinematinė klampa 100 °C temperatūroje, šarmingumas – parodo alyvos degradacijos lygį, pliūpsnio temperatūra, oksidacijos, nitrifikacijos, sulfatacijos intensyvumai. Alyvos duomenų žurnale pateikiamos išvados bei rekomendacijos dėl vidaus degimo variklių būklės. Esant alyvos būklės parametrų faktinių reikšmių nukrypimams nuo normos arba staigiems jų pokyčiams, laboratorijos darbuotojai papildomai konsultuoja traukos riedmenų valdytojus dėl gautų duomenų interpretacijos bei galimų prevencinių priemonių. Tyrimo metu nuo 2016 m. rugsėjo 8 d. iki 2018 m. sausio 18 d. buvo paimti 353 alyvos mėginiai.

### 2.2.1. Alyvos užterštumo nustatymas

Alyvos užterštumas susidaro alyvai maišantis su pašaliniais komponentais. Skysto kuro – degalų tiekiamas kiekis gali įtakoti degimo efektyvumą. Didesnių kuro lašelių susidarymas sąlygoja prastas degimo sąlygas ir didina organinių junginių formavimosi variklinėje alyvoje tikimybę. Dažniausiai skysto kuro lašelių dydžio pasiskirstymą sąlygoja kuro klampumas priklausantis nuo temperatūros bei esamų kuro purkštukų nusidėvėjimas [18].

Alyvos klampumo apskaičiavimui reikalinga nustatyti suodžių (amorfines anglies) kiekį esamoje alyvoje. Suodžių kiekis nustatomas naudojant spektrofotometrą „Shimadzu UVMMini-1240“. Jo veikimo principas pagrįstas spinduliuojamų dviejų spindulių tarpusavio palyginimo. Naujos alyvos Lukoil Avantgarde Professional 10W-40 spektrofotometru nustatytas optinis tankis  $\rho$ :

$$\rho = 0,18 \text{ kg/m}^2$$

Užterštumas  $\tau$  apskaičiuojamas:

$$\tau = \frac{2,303 \cdot (v_p + v_m) / v_m \cdot \rho}{\sigma} \quad (1)$$

čia:  $v_p$  – naudojamas skiediklio kiekis,  $\text{cm}^3$

$v_m$  – naudojamas alyvos kiekis,  $\text{cm}^3$

$\rho$  – optinis tankis,  $\text{kg}/\text{m}^3$

$\sigma$  – naudojamos kiuvetės matmenys,  $\text{cm}$ .

Naudojant 1 formulę apskaičiuojamas užterštumas  $\tau_n$  naujai alyvai:

$$\tau_n = \frac{2,303 \cdot (20+0,4)/0,4 \cdot 0,18}{1} = 21,14 \text{ cm}^{-1}$$

Remiantis AB „Lietuvos geležinkeliai“ naudojamu alyvoms keliamų reikalavimų standartu CTČ28/8 užterštumas negali viršyti  $650 \text{ cm}^{-1}$  ribos.

### 2.2.2. Kinematinės klampos nustatymas

Klampai nustatyti naudojama termostatinė vonia „Tamson“. Alyvos tirpalas sudarytas iš 100 ml skiediklio ir 100 ml naujos alyvos supilamas į viskozimetrą. Stikliniai kapiliariniai viskozimetrai yra skirti kinematiniam klampumui matuoti. Žinomas naftos kiekis yra leidžiamas per tiksliai suformuotus kapiliarus ir išmatuojamas pratekėjimo laikas. Kuo klampesnė nafta tuo platesni turi būti kapiliarai. Jų ilgis priklauso nuo viskozimetro rūšies ir dažniausiai būna nuo 70 iki 210 mm. Kuo kapiliaras ilgesnis tuo tikslesnis matuoklis. Pagrindiniai šios rūšies matuokliai kurie atitinka standartus yra gaminami su 400 mm ilgio kapiliarais, o visas matuoklio ilgis būna dvi pėdos. Naftos tūris, kuris turi pratekėti, yra laikomas kapiliaro išgaubime, pažymėtu kalibravimo linijomis, kuris yra kapiliaro viršuj ir kai jis atidaromas skystis dėl sunkio jėgos ima tekėti. Naudojamas viskozimetras kurio Nr. 489. Esant alyvai viskozimetre skaičiuojamas jos pratekėjimo laikas  $t$ . Kinematinė klampa apskaičiuojama esant  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  temperatūrai. Kinematinės klampos  $v$  apskaičiavimo formulė:

$$v = t \cdot C \quad (2)$$

čia:  $t$  – pratekėjimo laikas, s.

$C$  – viskozimetro kalibravimo konstanta,  $\text{mm}^2/\text{s}^2$ .

Naudojant 2 formulę apskaičiuojama kinematinė klampa  $v_n$  naujai alyvai:

$$v_n = 166,71 \cdot 0,07798 = 13,00 \text{ mm}^2/\text{s}$$

Vizkozimetro kurio Nr. 489 kalibravimo konstanta  $C = 0,07798 \text{ mm}^2/\text{s}^2$ .

Remiantis AB „Lietuvos geležinkeliai“ naudojamu alyvoms keliamų reikalavimų standartu LST EN ISO 3104 klampa  $v$  turi būti ribose:  $10,2 \leq v \leq 16,2 \text{ mm}^2/\text{s}$ . Tarptautinė standartų organizacija ISO pramoninėms alyvoms yra sudariusi ypatingą klasifikacijos sistemą, kurios pagrindas yra alyvos klampumas. Sistemą sudaro 18 klampumo klasių, kurios pateiktos  $\text{mm}^2/\text{s}$  prie  $40^\circ\text{C}$  laipsnių temperatūros. Klampumas nurodytas 1 lentelėje ISO VG skaičiais, kurie atitinka klampumo klasės vidutinį dydį.

1 lentelė. Alyvos klampumas pagal ISO VG klases [19]

ISO VG klasė	Vidutinis klampumas mm <sup>2</sup> /s prie 40°C (paklaida ± 10%)
ISO VG 2	2,2
ISO VG 3	3,2
ISO VG 5	4,6
ISO VG 7	6,8
ISO VG 10	10,0
ISO VG 15	15,0
ISO VG 22	22,0
ISO VG 32	32,0
ISO VG 46	46,0
ISO VG 68	68,0
ISO VG 100	100,0
ISO VG 150	150,0
ISO VG 220	220,0
ISO VG 320	320,0
ISO VG 460	460,0
ISO VG 680	680,0
ISO VG 1000	1000,0
ISO VG 1500	1500,0

### 2.2.3. Pliūpsnio temperatūros nustatymas

Pliūpsnio temperatūra – mažiausia temperatūra, iki kurios reikia pašildyti produktą, kad standartinėmis sąlygomis iš jo išsiskyrę garai akimirksniu užsiliepsnotų, jei yra liepsnos šaltinis. Už pliūpsnio temperatūrą šiek tiek aukštesnė yra degimo temperatūra – temperatūra, kurioje garai (išsiskiriančios dujos) toliau dega bent 5 sekundes ir be pradinio liepsnos šaltinio [19].

Testas atliekamas tiek uždaruose, tiek atviruose induose. Užsiliepsnojimo temperatūra atvirame inde yra aukštesnė nei uždareme. Užsiliepsnojimo temperatūra nurodo apytikslę ribą, ties kuria prasideda alyvos garavimas. Bet pagal tai negalima spręsti, ar atitinkamo produkto garavimas ir nusidėvėjimas aukštoje temperatūroje yra didesnis nei kitų tepalų. Reikia atkreipti dėmesį ir į tai, kad užsiliepsnojimo temperatūra ne visada yra aukščiausia darbo temperatūra, prie kurios galima naudoti konkretų produktą – pavyzdžiui vidaus degimo varikliuose, laivų garo varikliuose ir pan. Naudojimo temperatūra yra daug aukštesnė nei užsiliepsnojimo temperatūra [19].

Naudojamas prietaisas pliūpsnio temperatūrai nustatyti „NORMALAB ANALIS NCL 440“ su atviru tigliu. Naujos alyvos pliūpsnio temperatūra  $t = 236$  °C. Remiantis AB „Lietuvos geležinkeliai“ naudojamu alyvoms keliamų reikalavimų standartu LST EN ISO 2592 pliūpsnio temperatūra  $t$  turi būti ribose:  $210 \leq t \leq 260$  °C.

### 2.3. Dilimo kombinacijos vidaus degimo varikliuose

Variklių tepimo sistemos skirtos besitrinantiems detalių paviršiams sutepti, jiems aušinti, pašalinti iš besitrinančių paviršių tarpų atsiradusioms smulkioms metalo dalelėms, variklių darbo resursui pratęsti. Variklius tepti galima benzino-alyvos mišiniu, suslėgta alyva, alyvos taškymu ir kombinuotuoju būdu. Tepimas benzino-alyvos mišiniu naudojamas mažos galios dviejų taktų varikliuose, tepimas alyvos taškymu vartojamas mažos galios varikliuose. Šiuolaikiniuose varikliuose taikomos kombinuotojo tepimo sistemos, kai tam tikri (visada uždari) didelių apkrovų detalių paviršiai tepami priverstinai – slegiama alyva, o kiti – taškymu [20].

Atskiri variklio komponentai yra pagaminti iš skirtingų metalų lydinių. Geležies, chromo, aliuminio koncentracijos padidėjimas variklinėje alyvoje gali būti susijęs su intensyvesniu stūmoklinių grupių dilimu. Intensyvesnis šių detalių dilimas prasideda variklinę alyvą eksploatuojant aukštesnėse temperatūrose nei numato gamintojas. Vario koncentracijos padidėjimas variklinėje alyvoje susijęs su vidaus degimo variklio eksploatavimo temperatūra, palankiausios sąlygos susidaryti vario sulfidui 104 °C temperatūra. Švino koncentracijos padidėjimas variklinėje alyvoje gali būti susijęs su intensyvesniu slydimo guolių dilimu. Natrio, etilenglikolio (aušinimo skysčio) patekimas į alyvą signalizuoja apie aušinimo sistemos gedimus.

Alyvos senėjimo procesų oksidacijos, nitrifikacijos, sulfatacijos kitimo intensyvumas priklauso nuo darbinės temperatūros. Kuo aukštesnė variklinės alyvos temperatūra, tuo šie procesai intensyvesni.

Atliekant alyvos mėginių tyrimus galima nustatyti kokių dilimo produktu padidėjo esamoje alyvoje. Alyvoje galima nustatyti metalų bei pašalinių skysčių priemaišas bei jų dydį. Galimų priemaišų sąrašas pateiktas 2 lentelėje.

2 lentelė. Variklinėje alyvoje susidarantių cheminių elementų šaltiniai

<b>Atlikus alyvos tyrimus matomas padidėjimas</b>	<b>Šaltinis</b>
Fe, Cr	Cilindrų įvorės, stūmoklio žiedai
Fe, Cr, Al	Cilindrų įvorės, stūmoklio žiedai, aliuminis stūmoklio „sijonėlis“
Pb	Švaistiklio apatinė dalis ir pagrindinio guolio dangalas
Pb, Al, Fe	Švaistiklio apatinė dalis ir pagrindiniai guoliai, alkūninis velenas
K ir/arba Na, Cu	Aušinimo skystis ELC
Na, Si, Cu	Aušinimo skystis DEAC arba lygiavertis
Si>Al, Fe, Cr	Dulkės/oro tarša, cilindrų įvorės, stūmoklio žiedai
Si>Al, Fe, Pb, Cr	Dulkės/oro tarša, cilindrų įvorės, guolių dangalas, stūmoklio žiedai
Cu>Pb arba Cu>Sn	Bronzinės įvorės, atraminis tarpiklis (thrust washer)
Cu>Pb, Sn	Bronzinės įvorės, atraminis tarpiklis (thrust washer)
Suodžiai, Fe, Pb, Cr	Cilindrų įvorių dėvėjimasis dėl didelio suodžių kiekio, stūmoklio žiedai, guoliai
Suodžiai, Fe, Mo, Cr	Cilindrų įvorių ir molibdeno junginiais dengtų viršutinių žiedų (ilgiau eksploatuoti varikliai) dėvėjimasis dėl didelio suodžių kiekio
Cu	Alyvos šilumokaitis
Oksidacija, Fe, Pb	Perkaitinta alyva, per ilgas alyvos naudojimo intervalas
Sulfatacija, Fe	Sieringas kuras, per ilgas alyvos naudojimo intervalas
Ženklus K.Klampos padidėjimas, oksidacija, Fe, Pb	Perkaitinta alyva, cilindrų įvorių, guolių dangalų, stūmoklio žiedų dėvėjimasis
Ženklus K.Klampos padidėjimas, suodžiai, Fe, Pb	Labai didelis suodžių kiekis alyvoje, cilindrų įvorių, guolių dangalų, stūmoklių žiedų dėvėjimasis
Ženklus K.Klampos sumažėjimas	Visasezoninėje alyvoje esančių klampos modifikatorių (priedų didinančių klampos indeksą) irimas
Ženklus K.Klampos sumažėjimas, Pb	Didelis kuro degimo produktų patekimas į variklinę alyvą, guolių dangalų dėvėjimasis
Ženklus K.Klampos sumažėjimas, Fe, Pb	Didelis kuro degimo produktų patekimas į variklinę alyvą, cilindrų įvorių, alkūninio veleno, guolių dangalų dėvėjimasis
Mo, B, Ba, Cu	Galimi variklinės alyvos priedai
Vanduo	Aušinimo skysčio papuolimas, vandens kondensacija

Alyvos dilimo produktų analizė gali būti vadinama elementine arba spektrochemine analize. Ji parodo alyvos sudedamąsias dalis. Skirtingiems varikliams būdingi skirtingi dilimo produktai bei kritinės vertės. Atskiri cheminiai elementai gali parodyti alyvos senėjimą, cheminės sudėties pasikeitimą susijusį su variklio dilimu. Cheminių elementų įtaka alyvai pateikta 3 lentelėje.

3 lentelė. Cheminiai elementai charakterizuojantys alyvą [21]

Tiriamasis parametras	Cheminiai elementai susiję su variklio dilimu	Alyvos degradavimą atspindintys tyrimieji parametrai	Alyvos tarša ir ją atspindintys tyrimieji parametrai	Alyvos cheminė sudėtis (priedai) ir ją atspindintys tyrimieji parametrai
Aliuminis (Al)	×		×	
Baris (Ba)				×
Boras (B)			×	×
Kalcis (Ca)				×
Chromas (Cr)	×			
Varis (Cu)	×			
Geležis (Fe)	×			
Švinas (Pb)	×			
Magnis (Mg)				×
Molibdenas (Mo)	×			×
Nikelis (Ni)	×			
Fosforas (P)				×
Kalis (K)			×	
Silicis (Si)	×		×	×
Natris (Na)			×	
Alavas (Sn)	×			
Cinkas (Zn)				×
Nitrifikacija		×		
Oksidacija		×		
Suodžiai			×	
Sulfatacija		×		
Kuro degimo produktai			×	
Glikolis			×	
Vanduo			×	
Kinematinė klampa		×	×	×

Daugelis dilimo metu susidariusių metalų yra oksidų ir chloridų sudėtinės dalys, tik maža dalis teršalų yra garų fazėje. Mažiau stabilūs elementai linkę kondensuotis ant mažų dalelių paviršiaus dujų sraute. Degimo metu pasikeičia dalelių junginiai ir tokiu būdu skatinamas alyvoje teršalų atsiradimas [18].

Didėjant teršalų kiekiui alyva praranda savo tepimo savybes, tai savo ruožtu padidina trintį tarp atskirų vidaus degimo variklio komponentų, padidėja variklio dilimo greitis. Dilimo produktų susidarymo greitis priklauso nuo naudojamos alyvos charakteristikų, vidaus degimo variklio eksploatavimo ciklą ir pobūdžio.

### 3. Tyrimo rezultatai

#### 3.1. TEM TMH serijos lokomotyvai

Tyrimo metu buvo imamai alyvos mėginiai iš Kaune eksploatuojamų lokomotyvų Caterpillar serijos vidaus degimo variklių. Atliekant tyrimą nuo 2016 m. rugsėjo 8 d. iki 2018 m. gegužės 15 d. buvo paimti 427 alyvos mėginiai. Taip pat vidaus degimo variklių alyvos mėginiai buvo imami iš lokomotyvų eksploatuojamų Vilniuje bei Radviliškyje. Į mėginio tarą paimama apie 250 ml tiriamos alyvos. Mėginių paėmimo dažnis pritaikytas remontų ridoms, mėginiai imami kas 500 motoval. Mėginių dažnis atsižvelgiant į rezultatus buvo koreguojamas kartu su laboratorijos darbuotojais. Tyrimų metu buvo siekiama nustatyti pagrindinių dilimo produktų alyvoje susidarymo intensyvumus. 4 Lentelėje pateikiamas tyrime dalyvavusių lokomotyvų sąrašas.

4 lentelė. Stebimų lokomotyvų sąrašas

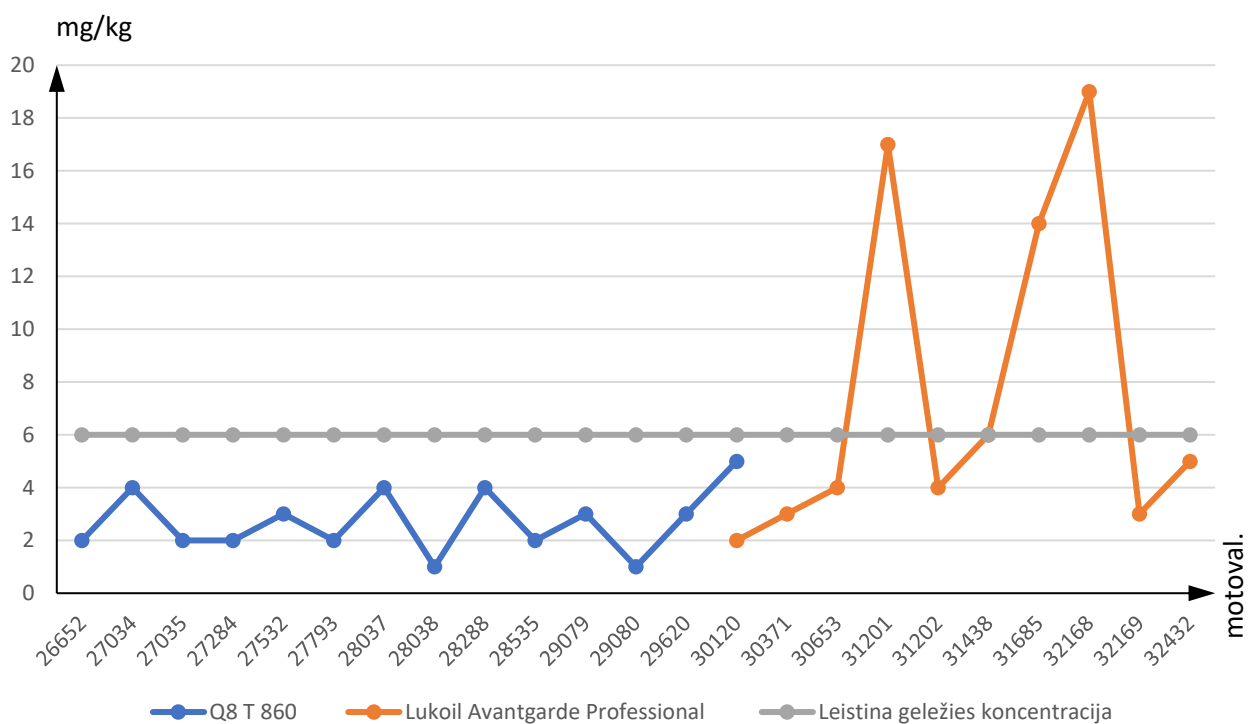
Nr.	Transporto priemonė/ riedmuo	Priklausomybė	2017-11-14 rida, motoval	Nuvažiuotas atstumas/motoval. per metus				Gamybos metai	Išmetamų teršalų normos kvalifikacija / Euro standartas
				2014 m.	2015 m.	2016 m.	2017 m.		
1	TEM TMH 002	LT-1	33 958	4 664	3 424	2 452	3 465	2009-10-12	Euro II
2	TEM TMH 003	LT-1	30 065	4 001	3 082	3 140	4 274	2010-06-30	Euro II
3	TEM TMH 004	LT-1	31 580	4 225	3 279	3 603	3 813	2010-08-12	Euro II
4	TEM TMH 005	LT-1	31 466	2 596	3 068	3 872	5 417	2010-09-15	Euro II
5	TEM TMH 006	LT-1	34 742	5 444	4 874	2 505	3 505	2010-11-30	Euro II
6	TEM TMH 007	LT-1	31 407	3 889	3 692	3 477	3 989	2010-12-20	Euro II
7	TEM TMH 008	LT-1	31 391	5 562	3 775	3 621	3 973	2010-12-30	Euro II
8	TEM TMH 009	LT-1	29 712	3 651	3 065	3 828	4 376	2011-02-15	Euro II
9	TEM TMH 010	LT-1	31 407	4 069	4 792	3 726	3 661	2011-02-28	Euro II
10	TEM TMH 011	LT-1	33 483	5 405	4 700	4 455	4 244	2011-04-15	Euro II
11	TEM TMH 012	LT-1	29 605	4 164	3 145	4 399	4 689	2011-06-30	Euro II
12	TEM TMH 022	LT-1	20 932	3 014	3 321	3 841	4 080	2012-06-12	EU Stage IIIA
13	TEM TMH 024	LT-1	22 566	3 962	3 952	3 535	3 351	2012-07-10	EU Stage IIIA
14	TEM TMH 025	LT-1	21 963	3 527	2 705	4 218	4 240	2012-07-27	EU Stage IIIA
15	TEM TMH 026	LT-1	21 190	5 128	3 785	3 647	2 797	2012-08-21	EU Stage IIIA
16	TEM TMH 027	LT-1	21 239	4 068	3 205	3 752	4 482	2012-09-10	EU Stage IIIA
17	TEM TMH 028	LT-1	21 715	4 803	4 210	3 580	3 889	2012-10-01	EU Stage IIIA



Lokomotyvų kurių serijinis numeris nuo 002 iki 012 sumontuota pirmos modernizacijos „Caterpillar“ varikliai 3ZW, o lokomotyvuose kurių numeris nuo 022 iki 028 sumontuoti „Caterpillar“ varikliai F2X su papildomais išmetamųjų dujų filtrais.

### 3.2. Manevrinio lokomotyvo TEM TMH 007 variklinės alyvos senėjimo tyrimas

Tyrimo metu vienas lokomotyvas TEM TMH Nr. 007 buvo eksploatuojamas kaip magistralinis traukinys kroviniams vežti, o lokomotyvas TEM TMH Nr. 012 buvo eksploatuojamas kaip manevrinis lokomotyvas geležinkelio stotyse. Tyrimo metu buvo siekiama nustatyti geležies dalelių alyvoje susidarymo ir oksidacijos intensyvumą, bei alyvos klampos pokytį. Žemiau 28 paveiksle pateikta geležies koncentracijos kitimas lokomotyvo TEM TMH Nr. 007 eksploatavimo metu naudojant „Q8 T 860“ SAE 10W-40 ir „Lukoil Avantgarde Professional“ SAE 10W-40 alyvas (duomenys paimti iš 1 priedo).



28 pav. Lokomotyvo TEM TMH 007 alyvoje esančios geležies koncentracija

Kaip matyti iš 28 paveikslo lokomotyve TEM TMH Nr. 007 naudojant „Caterpillar“ vidaus degimo variklių gamintojo „CAT“ nurodytą alyva „Q8 T 860“ SAE 10W-40 geležies koncentracija užpiltame alyvos mėginyje po 1 motoval. darbo sudarydavo 1-2 mg/kg. Variklinės alyvos mėginyje paimtame po 1000 motoval. darbo geležies koncentracija padidėdavo iki 4-6 mg/kg. Lokomotyvo TEM TMH Nr. 007 vidaus degimo variklyje „Caterpillar“ naudojant gamintojo keliamus reikalavimus ir nurodytą specifikaciją atitinkančią alyvą „Lukoil Avantgarde Professional“ SAE 10W-40 geležies koncentracija užpiltame alyvos mėginyje po 1 motoval. darbo siekia 2-4 mg/kg.

Variklinės alyvos mėginyje paimtame po 1000 motoval. darbo geležies koncentracija padidėjo iki 17-19 mg/kg.

Naudodami programinę įrangą „Mathcad“ 2016 atlikta statistinių duomenų analizė. Geležies koncentracija alyvoje mg/kg parinkta imtis  $n=13$ . Laikomasi prielaidos, jog duomenys tolydūs, apskaičiuojama empirinės imties charakteristikos „Q8 T860“ SAE 10W-40 alyvai:

Tiriamų duomenų skaičius – imties tūris  $n$ :  $length(z) = 13$ ;

Grupavimo intervalų skaičius  $k$ :  $floor(1 + 3,32 \cdot \log(length(z))) = 4$ ;

Grupavimo intervalų ilgis – imties plotis:  $max(z) - min(z) = 4$ ;

Tiriamų duomenų vidurkis:  $mean(z) = 2,769$ ;

Labiausiai tikėtinas eilinio matavimo vertės nuokrypis nuo vidurkio – dispersija:

$var(z) = 1,254$ ;

Atsitiktinio dydžio reikšmių sklaida apie vidurkį – standartinis nuokrypis:  $Stdev(z) = 1,166$ ;

Dažniausiai pasikartojanti reikšmė – moda:  $mode(z) = 2$ ;

Reikšmė dalijanti variacinę eilutę į dvi lygias dalis – mediana:  $median(z) = 2$ ;

25% apatinių duomenų – pirmas kvartilis:  $percentile(z; 0,25) = 2$ ;

75% apatinių duomenų Trečias kvartilis:  $percentile(z; 0,75) = 4$ ;

Skirtumas – kvartilinis plotis:  $percentile(z; 0,75) - percentile(z; 0,25) = 2$ ;

Standartinio nuokrypio ir vidurkio santykis – variacijos koeficientas:  $\frac{Stdev(z)}{mean(z)} = 0,421$ ;

Variacijos koeficientas yra ieškomo vidurkio matavimo santykinės paklaidos charakteristika.

Skirstinio grafines funkcijos asimetriškumas – asimetrijos koeficientas:  $skew(z) = 0,525$ .

Naudojant minėtas funkcijas apskaičiuojama empirinės imties charakteristikos „Lukoil Avantage Professional“ SAE 10W-40 alyvai:

Imties tūris  $r$ :  $length(r) = 13$ ;

Grupavimo intervalų skaičius  $k$ :  $floor(1 + 3,32 \cdot \log(length(r))) = 4$ ;

Imties plotis:  $max(r) - min(r) = 17$ ;

Vidurkis:  $mean(r) = 7,462$ ;

Dispersija:  $var(r) = 12,249$ ;

Standartinis nuokrypis:  $Stdev(r) = 5,724$ ;

Moda:  $mode(r) = 3$ ;

Mediana:  $median(r) = 5$ ;

Pirmas kvartilis:  $percentile(r; 0,25) = 3$ ;

Trečias kvartilis:  $percentile(r; 0,75) = 13$ ;

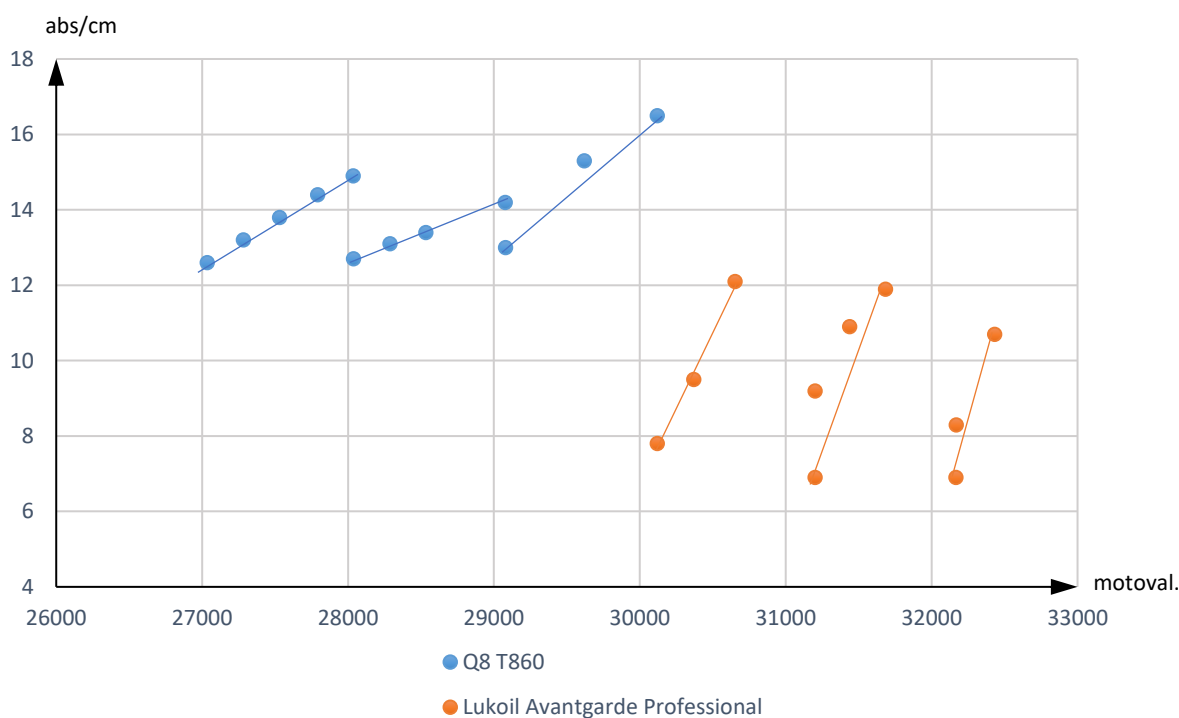
Kvartilinis plotis:  $percentile(r; 0,75) - percentile(r; 0,25) = 10$ ;

Variacijos koeficientas:  $\frac{Stdev(r)}{mean(r)} = 0,767$ ;

Asimetrijos koeficientas:  $skew(z) = 1,049$ ;

Vidaus degimo variklyje „Caterpillar“ 3ZW serijos alyvos filtravimui naudojami „CAT“ gamintojo variklinės alyvos filtrai 1R-0726 – 3 vnt., taip pat kuro smulkaus valymo filtrai 1R-0756 – 5 vnt., ir kuro grubaus valymo filtrai 111-0716 – 3 vnt. Variklinės alyvos filtrai teršalus pašalina dėl absorbcijos, nusodinimo ir filtravimo visame užpildo sluoksnyje. Teršalai nepašalinami šalia įtekėjimo esančiuose sluoksniuose, susikaupią teršalai pašalinami gilesniuose filtro sluoksniuose.

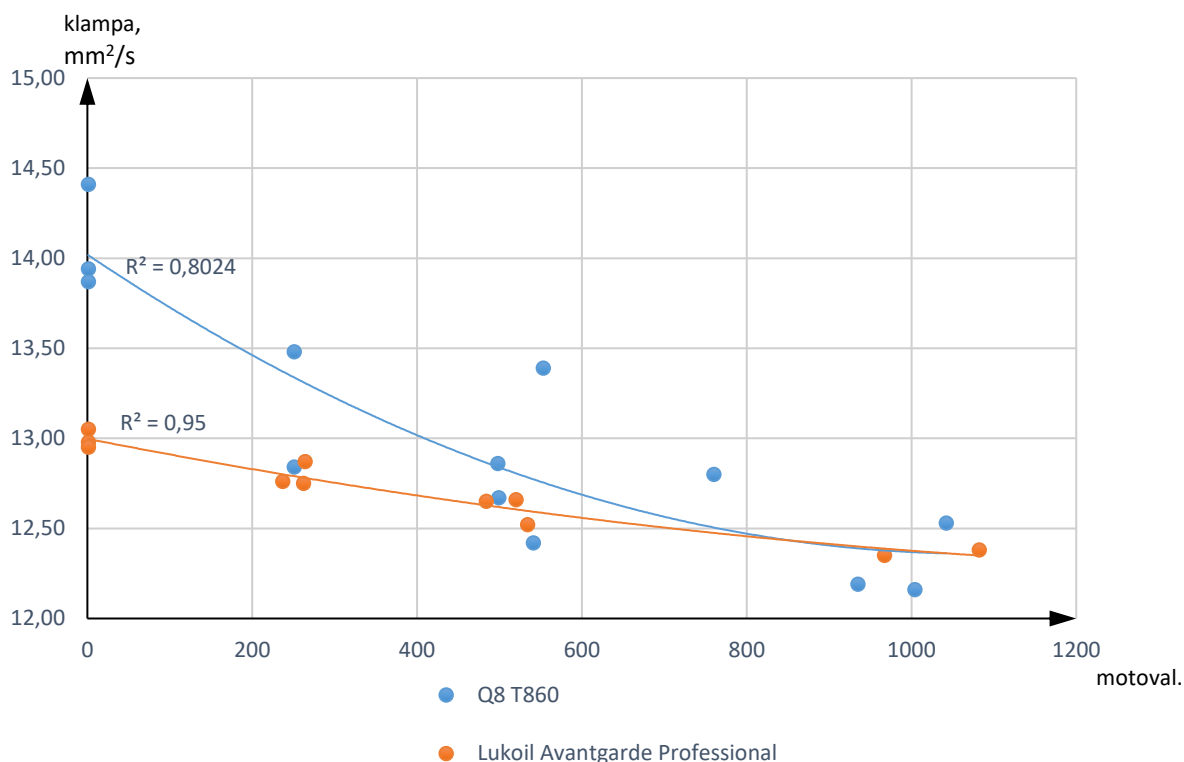
Žemiau 29 paveiksle pateikta eksploataavimo metu vykstančio alyvoje cheminio proceso oksidacijos kitimas lokomotyvo TEM TMH Nr. 007 eksploataavimo metu naudojant „Q8 T 860“ SAE 10W-40 ir „Lukoil Avantgarde Professional“ SAE 10W-40 alyvas (duomenys paimti iš 1 priedo).



29 pav. Lokomotyvo TEM TMH 007 alyvos oksidacijos grafikas

Oksidacija yra toks procesas kurio metu kokia nors medžiaga jungiasi su deguonimi. Alyvos oksidacija vyksta dėl dujų papuolimo į vidaus degimo variklio karterį. Naudojant gamintojo rekomenduojamą alyva „Q8 T860“ SAE 10W-40 pastebimas oksidacijos kitimas tarp 12 abs/cm ir 16 abs/cm. Naudojant „Lukoil Avantgarde Professional“ SAE 10W-40 alyvą oksidacijos kitimas tarp 7 abs/cm ir 12 abs/cm. Iš grafiko matyti, jog išdirbus alyvai 1000 motoval. didesnis oksidacijos pokytis stebimas „Lukoil“ gamintojo alyvoje. Tokioje alyvoje yra mažiau antioksidantų, todėl oksidacijos procesai spartesni.

Alyvos klampos priklausomybė nuo alyvos motoval. pateikta 30 pav.

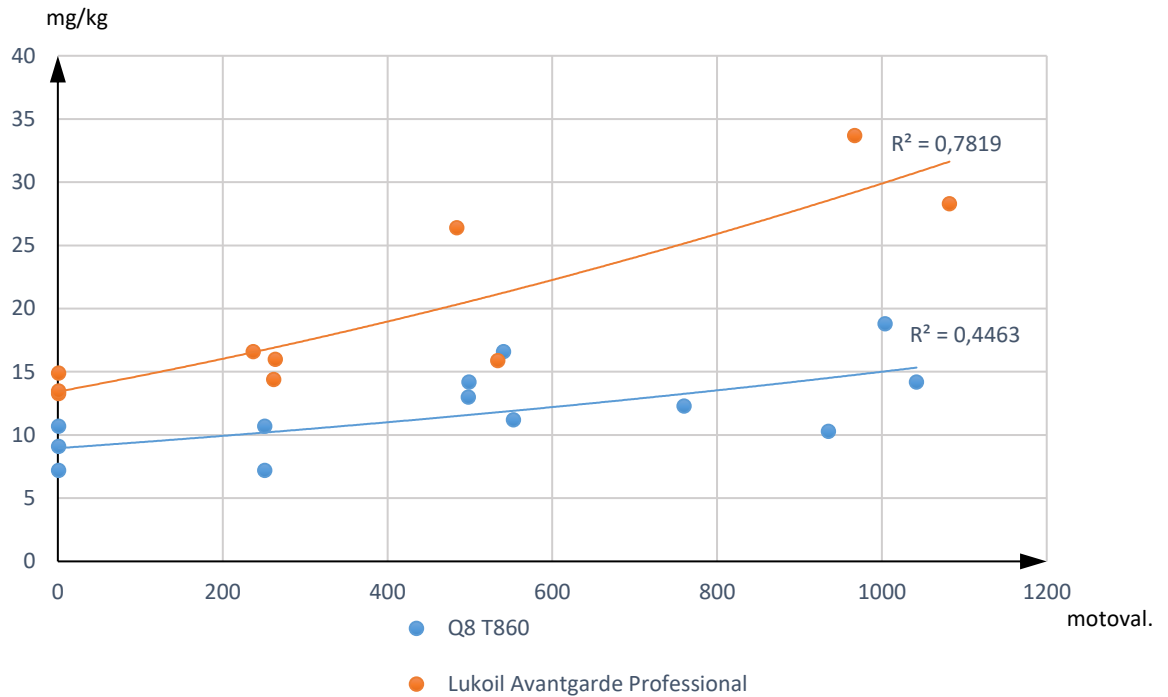


30 pav. Lokomotyvo TEM TMH 007 alyvos klampos grafikas

Naudojant „Q8 T860“ SAE 10W-40 alyvą, jos klampumas apie 1 mm<sup>2</sup>/s yra didesnis už alyvos „Lukoil Avantgarde Professional“ SAE 10W-40. Pagal klampos duomenis matyti, jog „Lukoil“ gamintojo alyva yra skystesnė, tai palengvina variklio darbą, tačiau padidina variklio dilimą. Tokia alyva mažiau saugo variklį darbinėje temperatūroje.

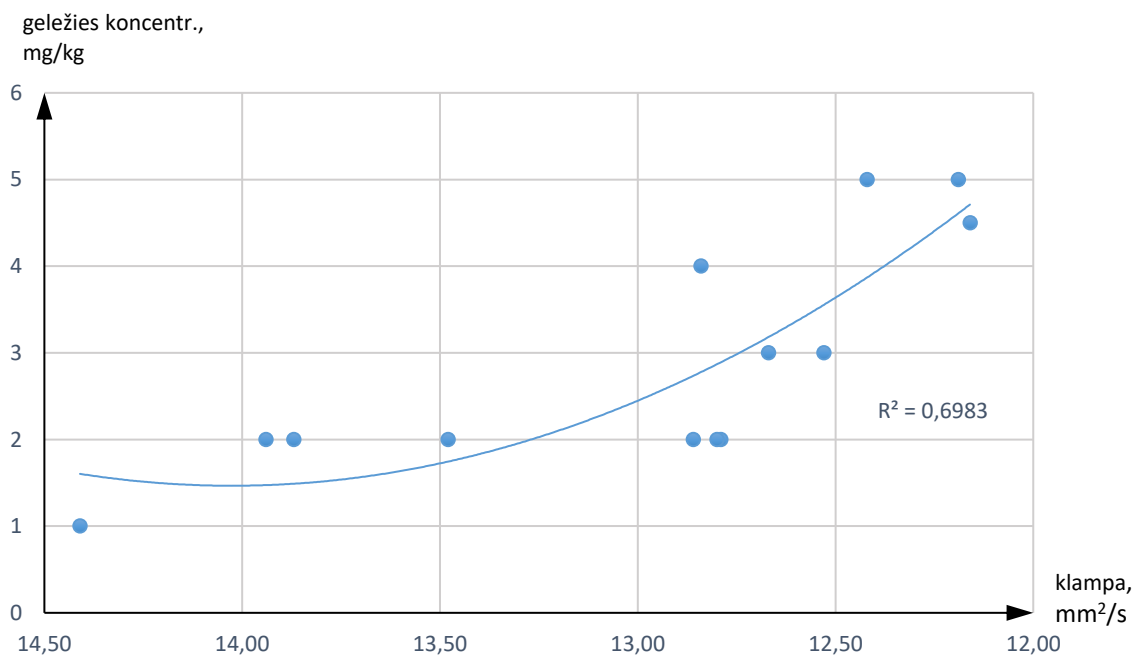
### 3.2.1. Variklinėje alyvoje susidarantių dilimo produktų tyrimas

Vidaus degimo variklio dilimą atspindi šie elementai susidarantys variklinėje alyvoje: aliuminis, chromas, geležis, švinas, molibdenas, nikelis, silicis, alavas. 31 paveiksle pateikiama dilimo produktų koncentracijos priklausomybė nuo alyvos išdirbio motoval. (duomenys paimti iš 1 priedo).



31 pav. Lokomotyvo TEM TMH 007 alyvoje susidarantys dilimo produktai

Intensyviausiai susidarantis dilimo produktas – geležis. Tyrimo metu pastebėta, jog didėjant geležies koncentracijai alyvoje mažėja jos klampa. Atliktas dviejų parametų tarpusavio priklausomybės nustatymas. Geležies koncentracijos priklausomybė nuo alyvos klamos naudojant „Q8 T860“ SAE 10W-40 alyvą pateikiama 32 paveiksle.



32 pav. Lokomotyvo TEM TMH 007 alyvoje „Q8 T860“ esančios geležies koncentracijos ir klamos tarpusavio priklausomybė

Turint du atsitiktinius dydžius X ir Y ir norint nustatyti tikimybių pasiskirstymo funkciją, t. y. tikimybes, kad vienu metu būtų  $X > x$  ir  $Y > y$  apskaičiuojama koreliacijos koeficientas  $\rho(XY)$ :

$$\rho(XY) = \frac{cov(XY)}{\sigma_x \cdot \sigma_y} = E \cdot \left( \frac{(X-\bar{x})}{\sigma_x} \cdot \frac{(Y-\bar{y})}{\sigma_y} \right) = \rho(UV) \quad (3)$$

$$-1 \leq \rho(UV) \leq 1$$

Koreliacijos koeficientui esant -1 arba 1 tarp dviejų dydžių yra stiprus ryšys. Koreliacijos koeficientui esant 0 tarp dviejų dydžių nėra ryšio [22].

Geležies koncentracijos ir klampos tarpusavio priklausomybės analizė atlikta programa „Mathcad“ 2016. Pirmame stulpelyje pateikta naudojant alyva „Q8 T860“ SAE 10W-40 geležies koncentracija Z – mg/kg, antrame stulpelyje – klampa R – mm<sup>2</sup>/s.

$$Z = \begin{pmatrix} 2 \\ 4 \\ 2 \\ 2 \\ 3 \\ 2 \\ 4 \\ 2 \\ 4 \\ 2 \\ 3 \\ 1 \\ 5 \end{pmatrix} \quad R = \begin{pmatrix} 12,79 \\ 12,19 \\ 13,89 \\ 13,48 \\ 12,67 \\ 12,80 \\ 12,06 \\ 13,94 \\ 12,64 \\ 12,99 \\ 12,33 \\ 14,41 \\ 12,32 \end{pmatrix}$$

Apskaičiuojami pirmojo ir antrojo stulpelių vidurkiai EZ ir ER:

$$EZ = \text{mean}(Z) = 2,769 \quad ER = \text{mean}(R) = 12,962$$

$$\begin{aligned} EZR &:= \frac{(2 \cdot 12,79 + 4 \cdot 12,19 + 2 \cdot 13,89 + 2 \cdot 13,48 + 3 \cdot 12,67 + 2 \cdot 12,80)}{13} \\ &= \frac{+4 \cdot 12,06 + 2 \cdot 13,94 + 4 \cdot 12,64 + 2 \cdot 12,99 + 3 \cdot 12,33 + 1 \cdot 14,41 + 5 \cdot 12,32}{13} \\ &= 35,258 \end{aligned}$$

Surandama kiekvieno stulpelio dispersija dz ir dr – statistinė imties charakteristika, atspindinti labiausiai tikėtiną eilinio matavimo vertės nukrypimą nuo aritmetinio vidurkio.

$$dz = \text{Var}(Z) = 1,359 \quad dr = \text{Var}(R) = 0,554$$

Apskaičiuojamas teorinis standartinis nuokrypis sz ir sr. Parodo kiek vidutiniškai reikšmės nukrypsta nuo vidurkio.

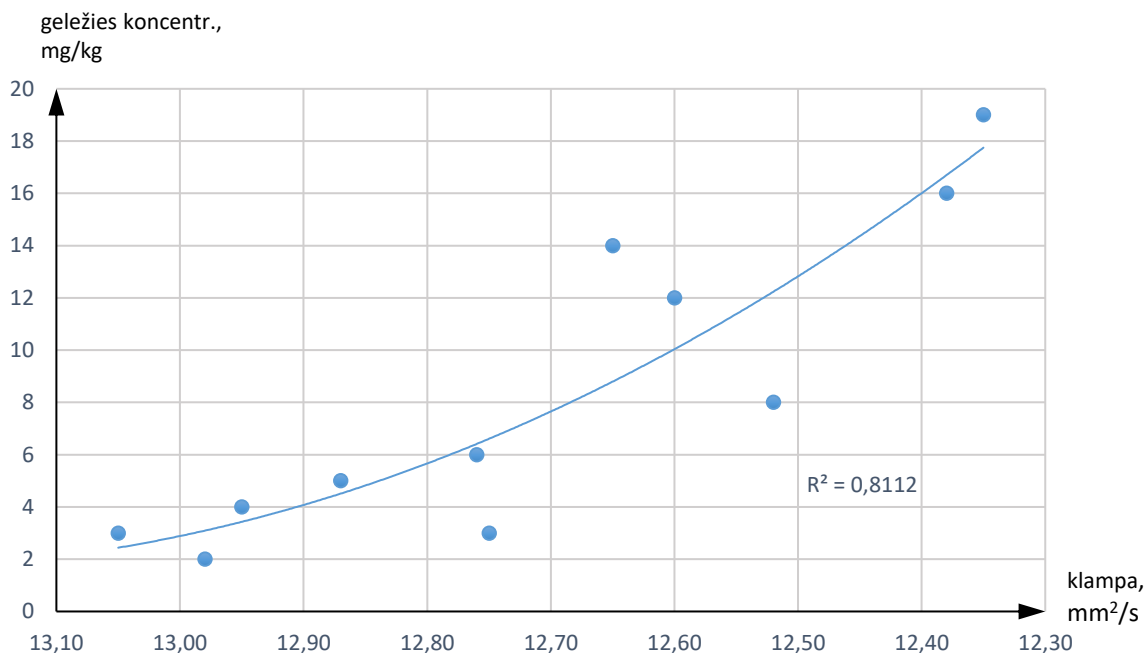
$$sz = \sqrt{dz} = 1,166 \quad sr = \sqrt{dr} = 0,744$$

Tuomet koreliacijos koeficientas r bus:

$$r_{zr} = \rho(XY) = \frac{EZR - EZ \cdot ER}{sz \cdot sr} = -0,735$$

Gautas koreliacijos koeficientas  $r = -0,735$  patenka į intervalą tarp  $-0,7$  ir  $-1$ . Tai parodo, jog naudojant „Q8 T860“ SAE 10W-40 alyva, tarp geležies koncentracijos alyvoje ir alyvos klamos yra stiprus ryšys.

Geležies koncentracijos priklausomybė nuo alyvos klamos naudojant „Lukoil Avantgarde Professional“ SAE 10W-40 alyvą pateikiama 33 paveiksle.



33 pav. Lokomotyvo TEM TMH 007 alyvoje „Lukoil Avantgarde Professional“ esančios geležies koncentracijos ir klamos tarpusavio priklausomybė

Geležies koncentracijos ir klamos tarpusavio priklausomybės analizė atlikta programa „Mathcad“ 2016. Pirmame stulpelyje pateikta naudojant alyva „Lukoil Avantgarde Professional“ SAE 10W-40 geležies koncentracija  $C$  – mg/kg, antrame stulpelyje – klampa  $V$  – mm²/s.

$$C = \begin{pmatrix} 2 \\ 3 \\ 4 \\ 16 \\ 4 \\ 6 \\ 14 \\ 19 \\ 3 \\ 5 \\ 7 \end{pmatrix} \quad V = \begin{pmatrix} 13,00 \\ 12,75 \\ 12,45 \\ 12,28 \\ 12,88 \\ 12,65 \\ 12,45 \\ 12,25 \\ 13,15 \\ 12,87 \\ 12,60 \end{pmatrix}$$

Apskaičiuojami pirmojo ir antrojo stulpelių vidurkiai  $EC$  ir  $EV$ :

$$EC = \text{mean}(C) = 7,545 \quad EV = \text{mean}(V) = 12,666$$

$$ECV: = \frac{(2 \cdot 13,00 + 3 \cdot 12,75 + 4 \cdot 12,45 + 16 \cdot 12,28 + 4 \cdot 12,88 + 6 \cdot 12,65)}{11}$$

$$= \frac{+14 \cdot 12,45 + 19 \cdot 12,25 + 3 \cdot 13,15 + 5 \cdot 12,87 + 7 \cdot 12,60}{11} = 94,273$$

Surandama kiekvieno stulpelio dispersija  $dc$  ir  $dv$  – statistinė imties charakteristika, atspindinti labiausiai tikėtiną eilinio matavimo vertės nukrypimą nuo aritmetinio vidurkio.

$$dc = Var(C) = 35,073 \quad dv = Var(V) = 0,086$$

Apskaičiuojamas teorinis standartinis nuokrypis  $sc$  ir  $sv$ . Parodo kiek vidutiniškai reikšmės nukrypsta nuo vidurkio.

$$sc = \sqrt{dc} = 5,922 \quad sv = \sqrt{dv} = 0,293$$

Tuomet koreliacijos koeficientas  $r$  bus:

$$r_{cv} = \rho(XY) = \frac{ECV - EC \cdot EV}{sc \cdot sv} = -0,749$$

Gautas koreliacijos koeficientas  $r = -0,749$  patenka į intervalą tarp  $-0,7$  ir  $-1$ . Tai parodo, jog naudojant „Lukoil Avantgarde Professional“ SAE 10W-40 alyva, tarp geležies koncentracijos alyvoje ir alyvos klampos yra stiprus ryšys.

Atlikus parametrų tarpusavio priklausomybės analizę, matyti, jog naudojant abiejų rūšių alyvas yra stipri priklausomybė tarp geležies koncentracijos ir alyvos klampos. Ši priklausomybė dar labiau padidėjo naudojant „Lukoil Avantgarde Professional“ SAE 10W-40 alyvą. Iš grafikų matyti, jog užpiltose alyvoje geležies koncentracija siekia apie 2-3 mg/kg. Naudojant „Q8 T860“ gamintojo alyvą užpiltos alyvos klampos vidurkis siekė apie 14,03 mm<sup>2</sup>/s, nupiltos vidurkis – 12,33 mm<sup>2</sup>/s, „Lukoil Avantgarde Professional“ gamintojo užpiltos alyvos klampos vidurkis – 12,98 mm<sup>2</sup>/s, nupiltos – 12,45 mm<sup>2</sup>/s. Remiantis AB „Lietuvos geležinkeliai“ naudojamu alyvoms keliamų reikalavimų standartu LST EN ISO 3104 klampa  $v$  turi būti ribose:  $10,2 \leq v \leq 16,2$  mm<sup>2</sup>/s.

### 3.2.2. Vidaus degimo variklio cilindų vizualinė analizė

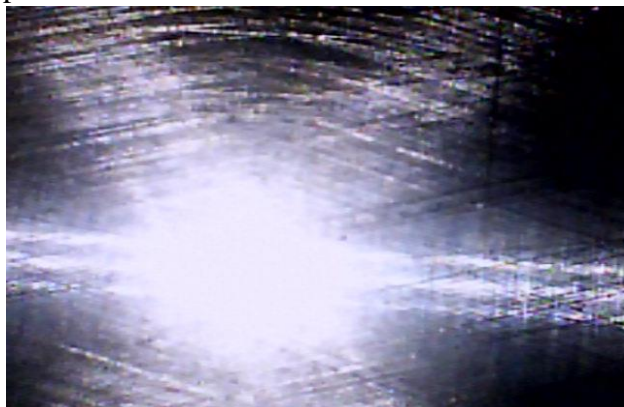
Lokomotyviui TEM TMH Nr. 007 pasiekus 32 168 motoval. ribą geležies koncentracija pasiekė didžiausią vertę 19 mg/kg. Atlikus pirminę apžiūrą buvo nustatyta, jog karterio alsuoklio filtrai yra užsikimšę, juose susikaupusi variklinė alyva. Lokomotyvo TEM TMH Nr. 007 karterio dujų alsuoklio filtras pavaizduotas 34 paveiksle.





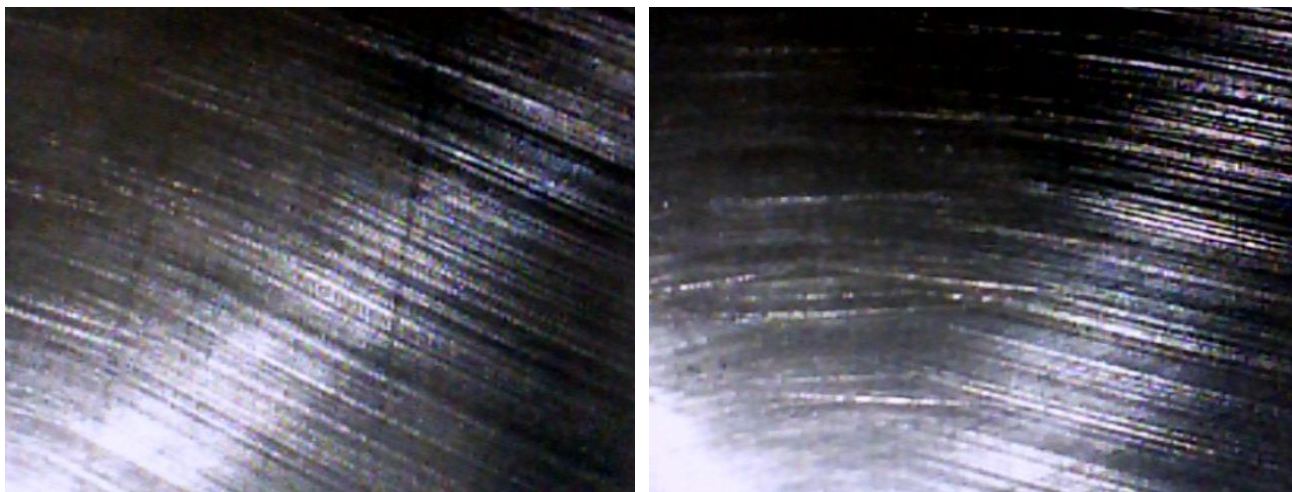
34 pav. Karterio dujų alsuoklio filtras užterštas varikline alyva

Tokius filtrus būtina pakeisti, tačiau alyvos papuolimas į karterio alsuoklių filtrus indikuoja didesnę vidaus degimo variklio gedimą. Galimai yra pažeista cilindų įvorės ir stūmoklių žiedai, todėl dalis susidariusio slėgio degimo kameroje patenka į karterį, alyvoje intensyviau vyksta oksidacijos procesas. Lokomotyvo TEM TMH Nr. 007 vidaus degimo varikliui „Caterpillar“ 3ZW buvo atlikta cilindų darbinių paviršių vizualinė analizė. Endoskopo „Autel Maxvideo Mv400“ pagalba buvo padarytos 12 cilindų darbinių paviršių nuotraukos. Cilindų nuotraukos pateiktos 35-46 paveiksluose.



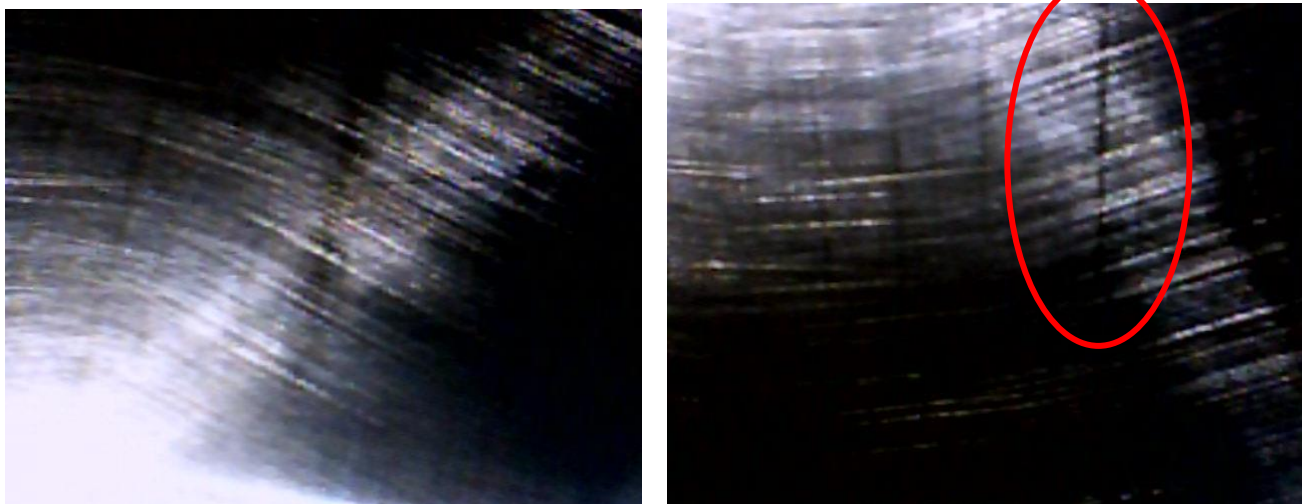
35 pav. TEM TMH Nr. 007 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 1-ojo cilindro nuotraukos

Atlikus cilindrų darbinių paviršių vizualinę apžiūrą pirmajame cilindre pastebimi smulkūs defektai cilindro darbiniam paviršiuje. Defektai galėjo atsirasti dėl per aukštos darbinės temperatūros, įkaitus žiedui sumažėjo tarpelis tarp stūmoklio ir cilindro darbinio paviršiaus. Šie defektai yra minimalūs, tačiau būtinas vidaus degimo variklio darbinių parametrų stebėjimas. Didesnis vidaus degimo variklio komponentų kaitimas galėjo atsirasti dėl pastebimai išaugusios alyvos oksidacijos, tokia alyva praranda savo tepimo ir aušinimo savybes.



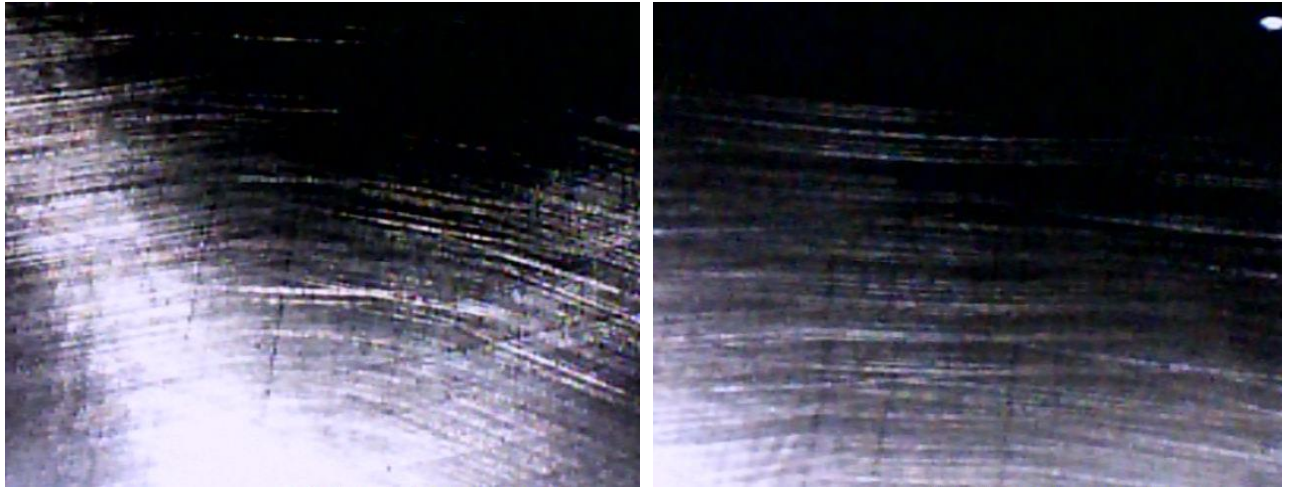
36 pav. TEM TMH Nr. 007 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 2-ojo cilindro nuotraukos

Cilindrų darbinis paviršius apdirbtas honingavimo būdu. Tokio proceso metu cilindro darbiniam paviršiuje atsiranda mažiųjų įbrėžimų, kurie reikalingi geresniam tepimui. honingavimo nudilimai pastebimi visose cilindrų nuotraukose.



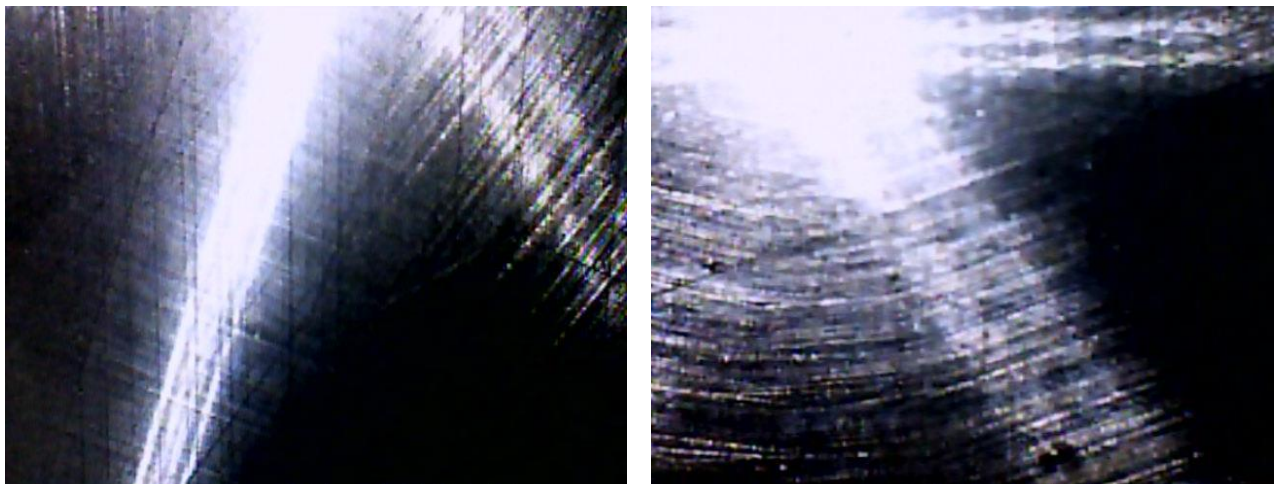
37 pav. TEM TMH Nr. 007 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 3-iojo cilindro nuotraukos

Vidaus degimo variklio 3-ioji cilindro įvorės darbiniam paviršiuje aptikti smulkūs įdrėskimai, taip pat matoma honingavimo nudilimas įvorės apatinėje dalyje, taip pat stebima kaitimo žymės.

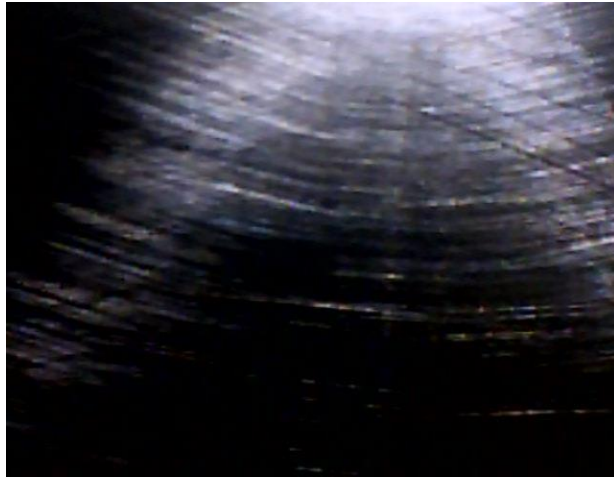


38 pav. TEM TMH Nr. 007 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 4-ojo cilindro nuotraukos

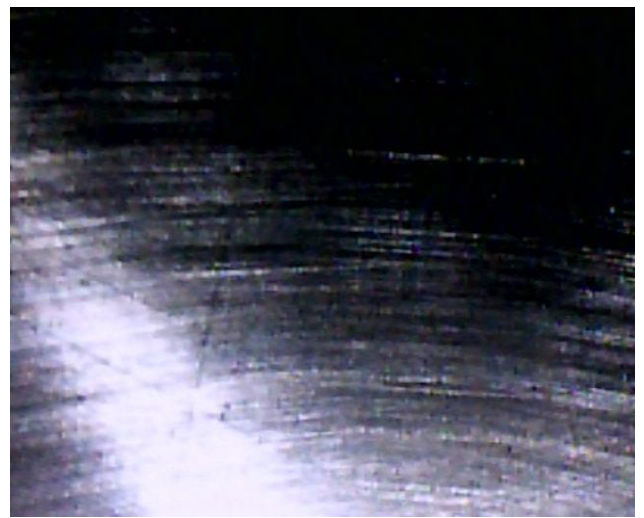
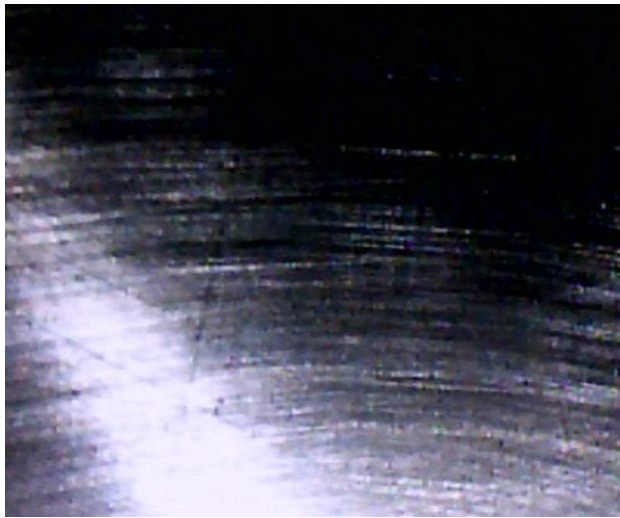
Cilindrų vizualizacijos metu pastebėta suodžių (amorfinės anglies) ant cilindrų išmetimo vožtuvų. Palankiausios suodžių susidarymo sąlygos netinkamas oro ir kuro mišinio santykis, per aukšta vidaus degimo variklio darbinė temperatūra. Spartesnę suodžių susidarymą lemia alyvos filtravimo elementų efektyvumo sumažėjimas. Susidarę suodžiai vidaus degimo variklio sistemoje papuola į alyvą, blogina jos tepimo savybes, sukuria papildomą trintį. Dėl intensyvaus suodžių susidarymo cilindrų darbiname paviršiuje gali atsirasti smulkių defektų, kurie pastebimi 37 paveiksle pavaizduotame 5-ame cilindre. Taip pat tokių smulkių defektų pastebima ir kituose lokomotyvo vidaus degimo variklio cilindruose.



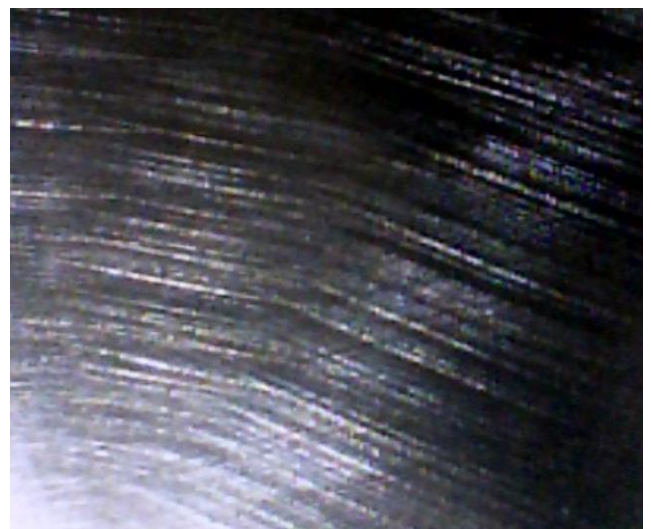
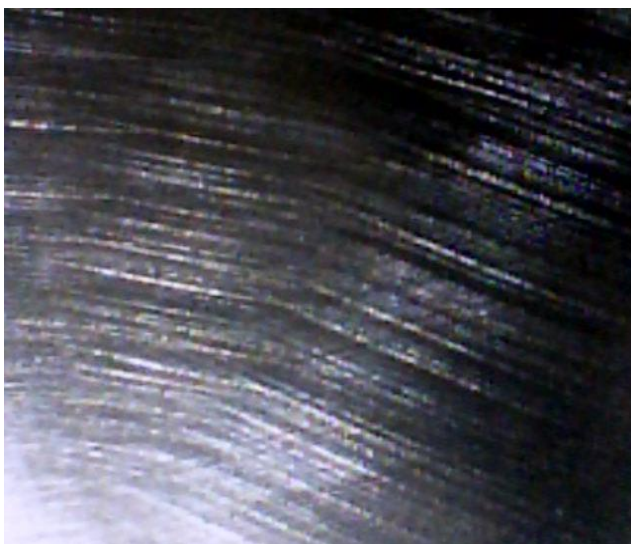
39 pav. TEM TMH Nr. 007 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 5-ojo cilindro nuotraukos



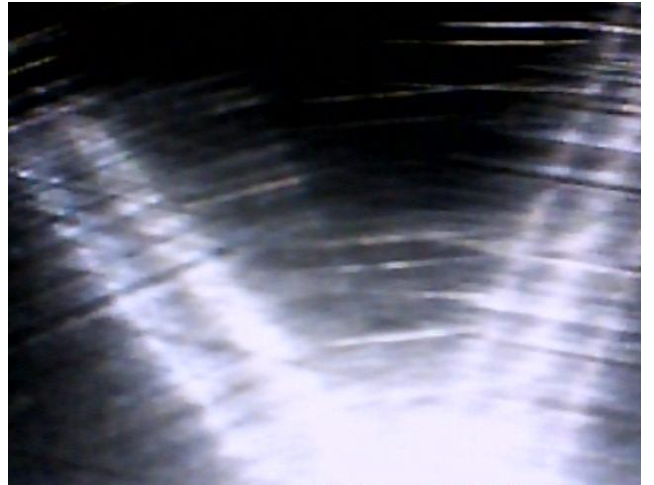
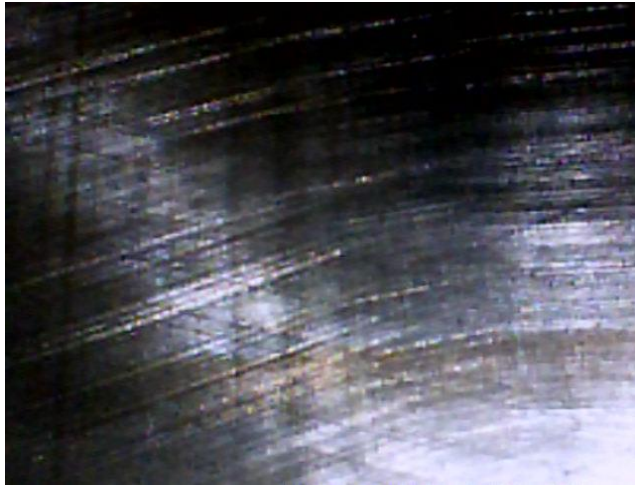
40 pav. TEM TMH Nr. 007 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 6-ojo cilindro nuotraukos



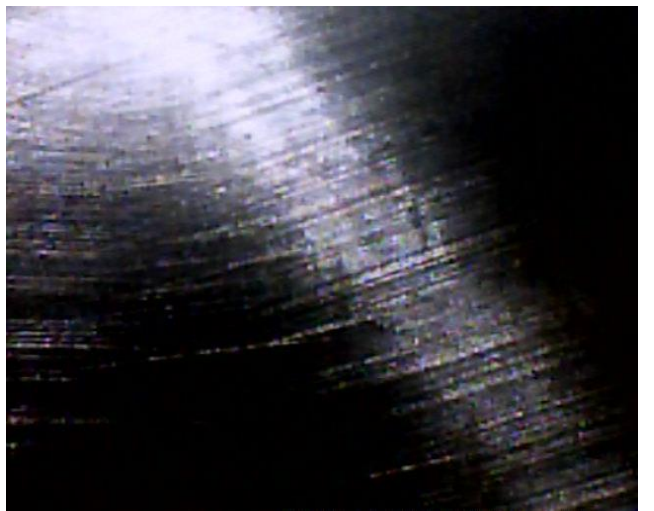
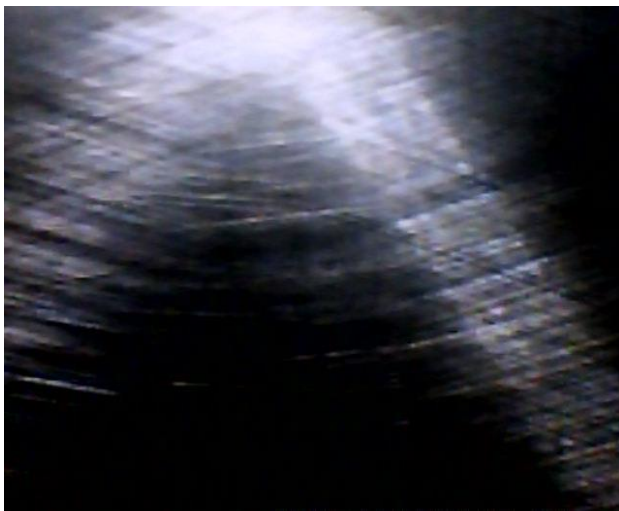
41 pav. TEM TMH Nr. 007 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 7-ojo cilindro nuotraukos



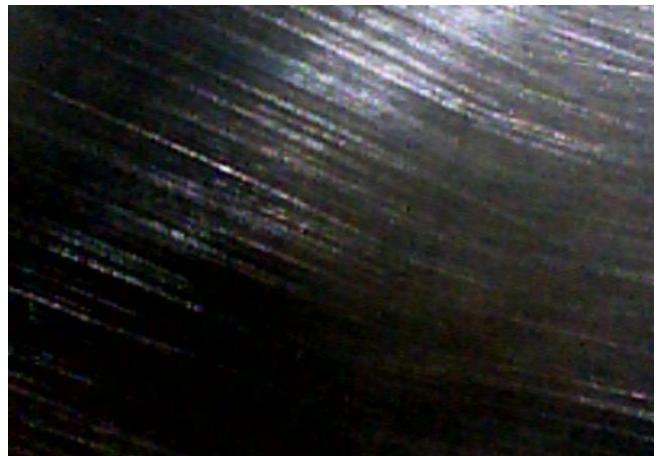
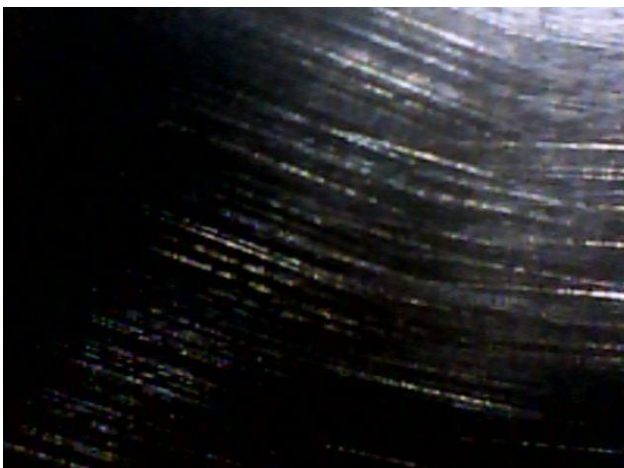
42 pav. TEM TMH Nr. 007 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 8-ojo cilindro nuotraukos



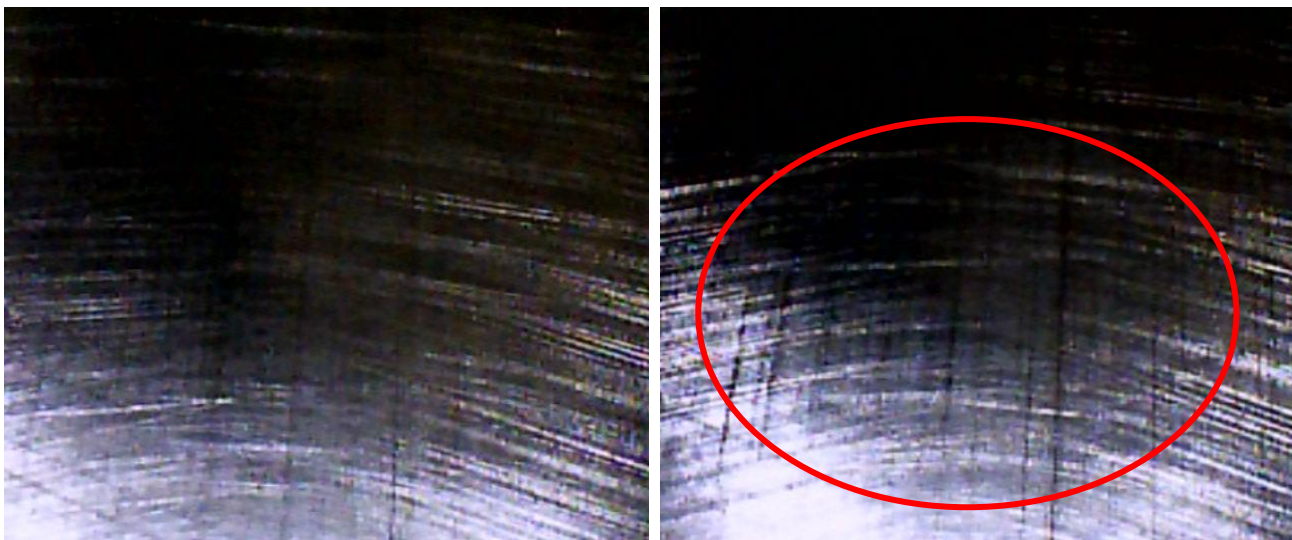
43 pav. TEM TMH Nr. 007 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 9-ojo cilindro nuotraukos



44 pav. TEM TMH Nr. 007 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 10-ojo cilindro nuotraukos



45 pav. TEM TMH Nr. 007 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 11-ojo cilindro nuotraukos

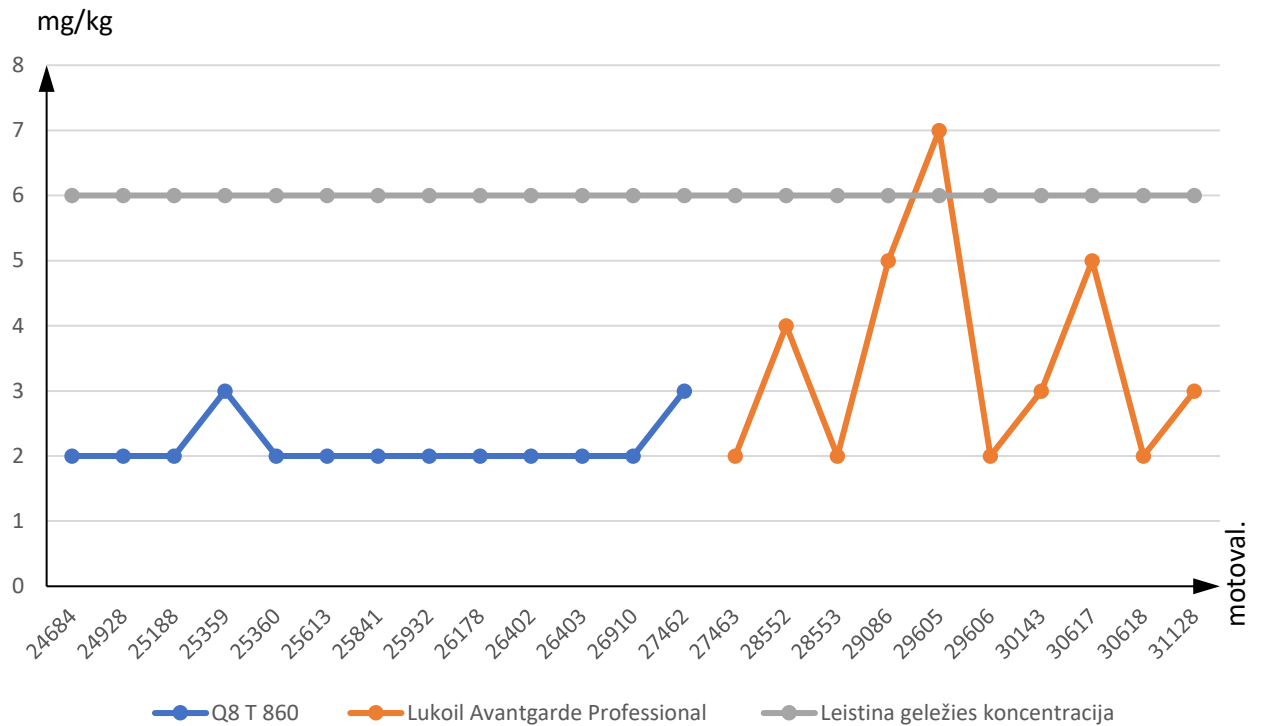


46 pav. TEM TMH Nr. 007 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 12-ojo cilindro nuotrauka

Viso tyrimo metu buvo stebimas geležies koncentracijos padidėjimas alyvoje. Tačiau nebuvo užfiksuota PQI – feromagnetinių dalelių indeksas. Šis indeksas skirtas identifikuoti didesnių nei 10  $\mu\text{m}$  geležies dalelių buvimą variklinėje alyvoje. Kuo didesnis šis indeksas, tuo daugiau didelių geležies dalelių yra variklinėje alyvoje. Naudojant spektrinės analizės prietaisą galima identifikuoti iki 10  $\mu\text{m}$  dydžio daleles. Nustačius PQI indeksą galima daryti prielaidą, jog variklinėje alyvoje vyrauja didelės geležies dalelės. Toks didelių geležies dalelių atsiradimas rodo neįprastą geležinių dalelių dilimo pobūdį. Esant nustatytam PQI indeksui būtina atlikti vidaus degimo variklio alyvos filtrų vizualizaciją ir nustatyti ar ant filtro nėra nusėdusių didelių blizgančių geležies dalelių. Jeigu būtų aptiktą blizgių geležies dalelių tokio lokomotyvo eksploatacija sustabdoma ir ieškoma agresyvaus dilimo priežastis.

### 3.3. Manevrinio lokomotyvo TEM TMH 012 variklinės alyvos senėjimo tyrimas

Lokomotyvas TEM TMH Nr. 012 buvo eksploatuojamas kaip manevrinis lokomotyvas Kauno, Palemono, Alytaus, Šeštokų, Kybartų ir Marijampolės geležinkelio stotyse. Tyrimo metu buvo siekiama nustatyti geležies dalelių alyvoje susidarymo ir oksidacijos intensyvumą, bei alyvos klampos pokytį. Žemiau 47 paveiksle pateikta geležies koncentracijos kitimas lokomotyvo TEM TMH Nr. 012 eksploatavimo metu naudojant „Q8 T 860“ SAE 10W-40 ir „Lukoil Avantgarde Professional“ SAE 10W-40 alyvas (duomenys paimti iš 2 priedo).



47 pav. Lokomotyvo TEM TMH 012 alyvoje esančios geležies koncentracija

Kaip matyti iš 45 paveikslo lokomotyve TEM TMH Nr. 012 naudojant „Caterpillar“ vidaus degimo variklių gamintojo „CAT“ nurodytą alyvą „Q8 T 860“ SAE 10W-40 geležies koncentracija užpiltame alyvos mėginyje po 1 motoval. darbo sudarydavo 2 mg/kg. Variklinės alyvos mėginyje paimtame po 1000 motoval. darbo geležies koncentracija padidėdavo iki 2-3 mg/kg. Lokomotyvo TEM TMH Nr. 012 vidaus degimo variklyje „Caterpillar“ naudojant gamintojo keliamus reikalavimus ir nurodytą specifikaciją atitinkančią alyvą „Lukoil Avantgarde Professional“ SAE 10W-40 geležies koncentracija užpiltame alyvos mėginyje po 1 motoval. darbo taip pat siekia 2 mg/kg. Variklinės alyvos mėginyje paimtame po 1000 motoval. darbo geležies koncentracija padidėdavo iki 4-7 mg/kg. Leistina geležies koncentracija alyvoje yra 6 mg/kg.

Naudodami programinę įrangą „Mathcad“ 2016 atlikta statistinių duomenų analizė. Geležies koncentracija alyvoje mg/kg parinkta imtis  $n=13$ . Laikomasi prielaidos, jog duomenys tolydūs, apskaičiuojama empirinės imties charakteristikos „Q8 T860“ SAE 10W-40 alyvai:

$$\text{Imties tūris } n: \text{length}(n) = 13;$$

$$\text{Grupavimo intervalų skaičius } k: \text{floor}(1 + 3,32 \cdot \log(\text{length}(n))) = 4;$$

$$\text{Imties plotis: } \max(n) - \min(n) = 1;$$

$$\text{Vidurkis: } \text{mean}(n) = 2,154;$$

$$\text{Dispersija: } \text{var}(n) = 0,133;$$

$$\text{Standartinis nuokrypis: } \text{Stdev}(n) = 0,376;$$

$$\text{Moda: } \text{mode}(n) = 2;$$

Mediana:  $median(n) = 2$ ;

Pirmas kvartilis:  $percentile(n; 0,25) = 2$ ;

Trečias kvartilis:  $percentile(n; 0,75) = 2$ ;

Kvartilinis plotis:  $percentile(n; 0,75) - percentile(n; 0,25) = 0$ ;

Variacijos koeficientas:  $\frac{Stdev(n)}{mean(n)} = 0,174$ ;

Asimetrijos koeficientas:  $skew(n) = 2,179$ ;

Apskaičiuojama empirinės imties charakteristikos „Lukoil Avantgarde Professional“ SAE 10W-40 alyvai:

Imties tūris  $r$ :  $length(r) = 10$ ;

Grupavimo intervalų skaičius  $k$ :  $floor(1 + 3,32 \cdot \log(length(r))) = 4$ ;

Imties plotis:  $max(r) - min(r) = 5$ ;

Vidurkis:  $mean(r) = 3,502$ ;

Dispersija:  $var(r) = 2,65$ ;

Standartinis nuokrypis:  $Stdev(r) = 1,716$ ;

Moda:  $mode(r) = 2$ ;

Mediana:  $median(r) = 3$ ;

Pirmas kvartilis:  $percentile(r; 0,25) = 2$ ;

Trečias kvartilis:  $percentile(r; 0,75) = 5$ ;

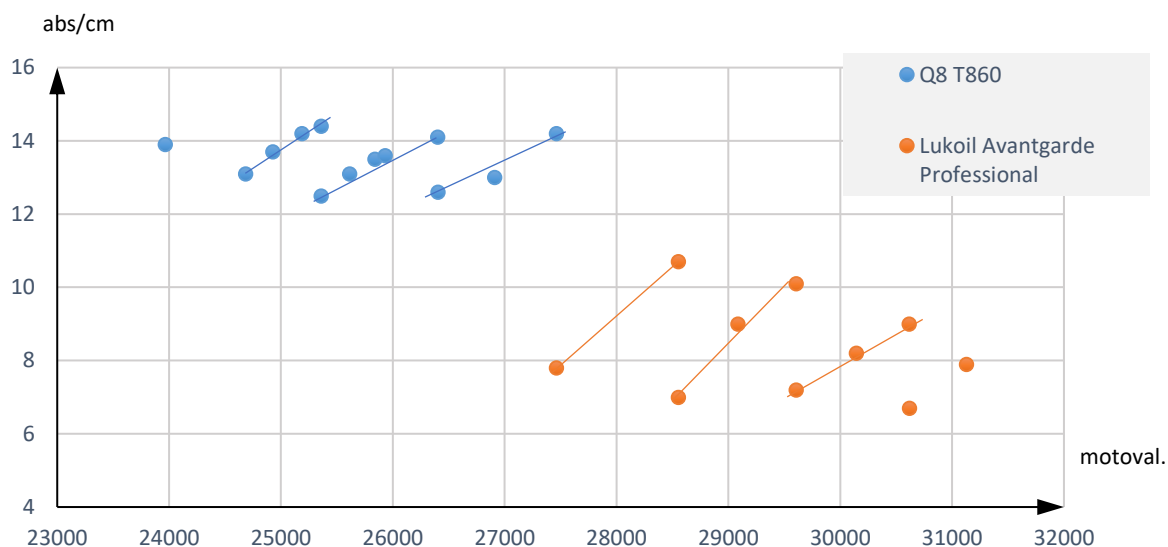
Kvartilinis plotis:  $percentile(r; 0,75) - percentile(r; 0,25) = 3$ ;

Variacijos koeficientas:  $\frac{Stdev(r)}{mean(r)} = 0,49$ ;

Asimetrijos koeficientas:  $skew(z) = 0,99$ ;

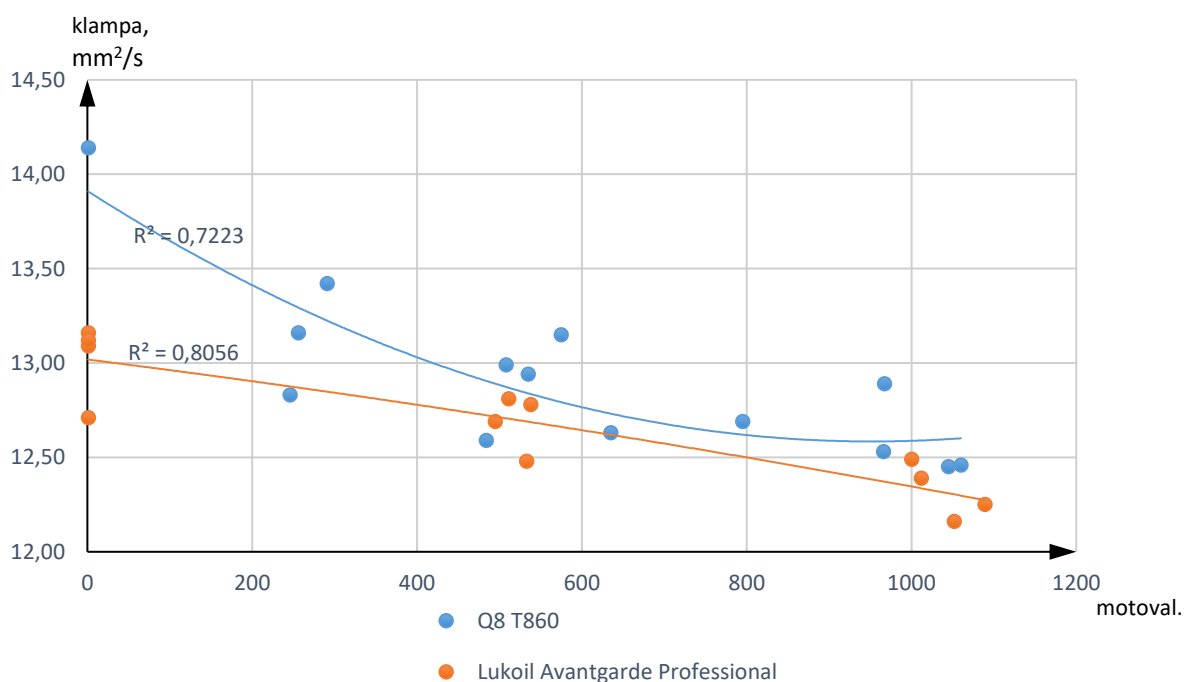
Žemiau 48 paveiksle pateikta eksploataavimo metu vykstančio alyvoje cheminio proceso oksidacijos kitimas lokomotyvo TEM TMH Nr. 012 eksploataavimo metu naudojant „Q8 T 860“ SAE 10W-40 ir „Lukoil Avantgarde Professional“ 10W-40 alyvas (duomenys paimti iš 2 priedo).





48 pav. Lokomotyvo TEM TMH 012 alyvos oksidacijos grafikas

Alyvos klamos priklausomybė nuo alyvos motoval. pateikta 49 pav.

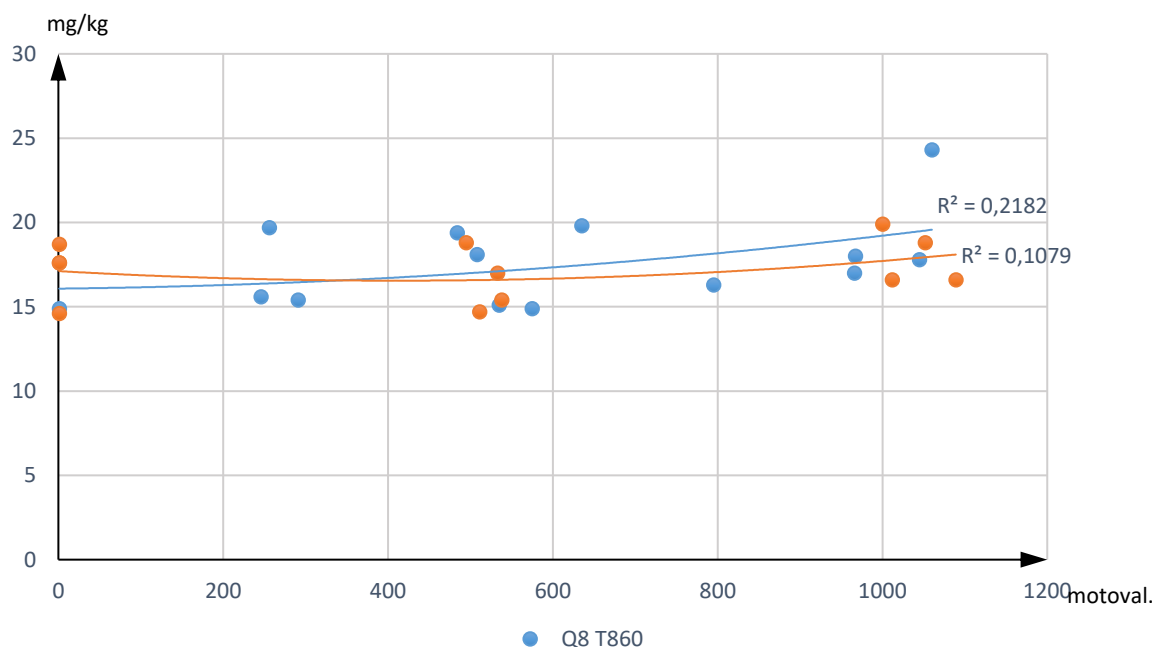


49 pav. Lokomotyvo TEM TMH 012 alyvos klamos grafikas

Alyvos oksidacija vyksta dėl dujų papuolimo į vidaus degimo variklio karterį. Naudojant gamintojo rekomenduojamą alyvą „Q8 T860“ SAE 10W-40 pastebimas oksidacijos kitimas tarp 12,5 abs/cm ir 14,5 abs/cm. Naudojant „Lukoil Avantgarde Professional“ SAE 10W-40 alyvą oksidacijos kitimas tarp 7 abs/cm ir 11 abs/cm. Iš grafiko matyti, jog išdirbus alyvai 1000 motoval. didesnis oksidacijos pokytis stebimas Lukoil gamintojo alyvoje.

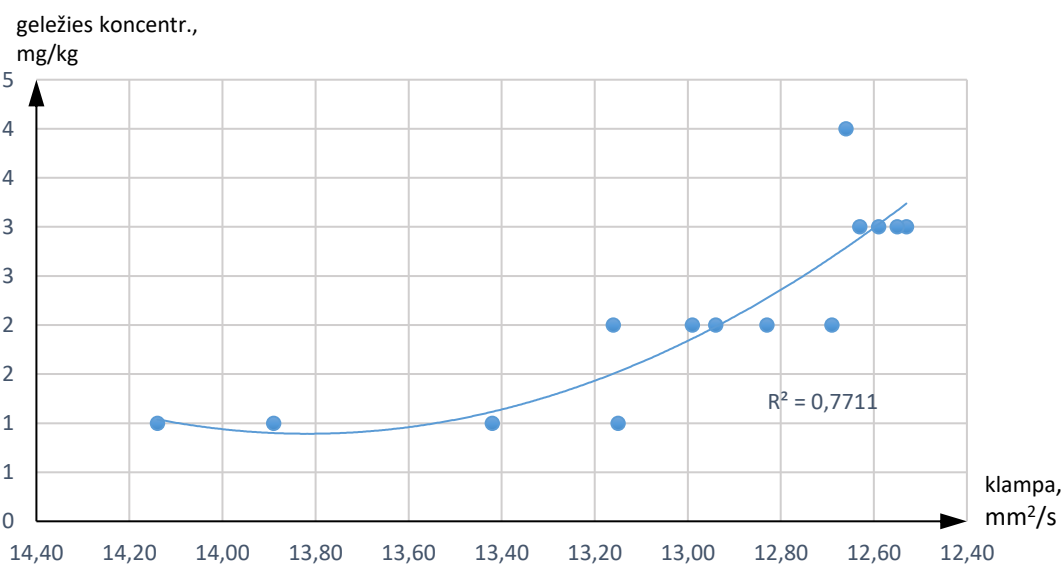
### 3.3.1. Variklinėje alyvoje susidarantių dilimo produktų tyrimas

Vidaus degimo varikliui dirbant dėl trinties tarp atskirų komponentų, variklinėje alyvoje susidaro dilimo produktai: geležis, varis, nikelis, alavas, molibdenas, chromas, sidabras ir kt. Sudarytas grafikas dilimo produktų koncentracijos priklausomybės nuo alyvos išdirbio motoval. Grafikas pateiktas 50 paveiksle (duomenys paimti iš 2 priedo).



50 pav. Lokomotyvo TEM TMH 012 alyvoje susidarantių dilimo produktai

Atliktas dviejų parametų tarpusavio priklausomybės nustatymas. Geležies koncentracijos priklausomybė nuo alyvos klampos naudojant „Q8 T860“ SAE 10W-40 alyvą pateikiama 51 paveiksle.



51 pav. Lokomotyvo TEM TMH 012 alyvoje „Q8 T860“ esančios geležies koncentracijos ir klampos tarpusavio priklausomybė

Geležies koncentracijos ir klamos tarpusavio priklausomybės analizė atlikta programa „Mathcad“ 2016. Pirmame stulpelyje pateikta naudojant alyva „Q8 T860“ SAE 10W-40 geležies koncentracija C – mg/kg, antrame stulpelyje – klampa V – mm<sup>2</sup>/s.

$$C = \begin{pmatrix} 3 \\ 1 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \\ 3 \\ 1 \\ 2 \\ 2 \\ 1 \\ 2 \\ 2 \\ 1 \\ 2 \\ 2 \\ 1 \\ 2 \\ 4 \end{pmatrix} \quad V = \begin{pmatrix} 12,63 \\ 13,42 \\ 12,94 \\ 12,69 \\ 12,53 \\ 13,89 \\ 13,16 \\ 12,59 \\ 13,15 \\ 12,83 \\ 12,55 \\ 14,14 \\ 12,99 \\ 12,66 \end{pmatrix}$$

Apskaičiuojami pirmojo ir antrojo stulpelių vidurkiai EC ir EV:

$$EC = \text{mean}(C) = 2,071 \quad EV = \text{mean}(V) = 13,012$$

$$ECV = \frac{(3 \cdot 12,63 + 1 \cdot 13,42 + 2 \cdot 12,94 + 2 \cdot 12,69 + 3 \cdot 12,53 + 1 \cdot 13,89 + 2 \cdot 13,16 + 2 \cdot 12,59 + 1 \cdot 13,15 + 2 \cdot 12,83 + 2 \cdot 12,55 + 1 \cdot 14,14 + 2 \cdot 12,99 + 4 \cdot 12,66)}{14} = 26,629$$

Surandama kiekvieno stulpelio dispersija dc ir dv – statistinė imties charakteristika, atspindinti labiausiai tikėtiną eilinio matavimo vertės nukrypimą nuo aritmetinio vidurkio.

$$dc = \text{Var}(C) = 0,841 \quad dv = \text{Var}(V) = 0,253$$

Apskaičiuojamas teorinis standartinis nuokrypis sc ir sv. Parodo kiek vidutiniškai reikšmės nukrypsta nuo vidurkio.

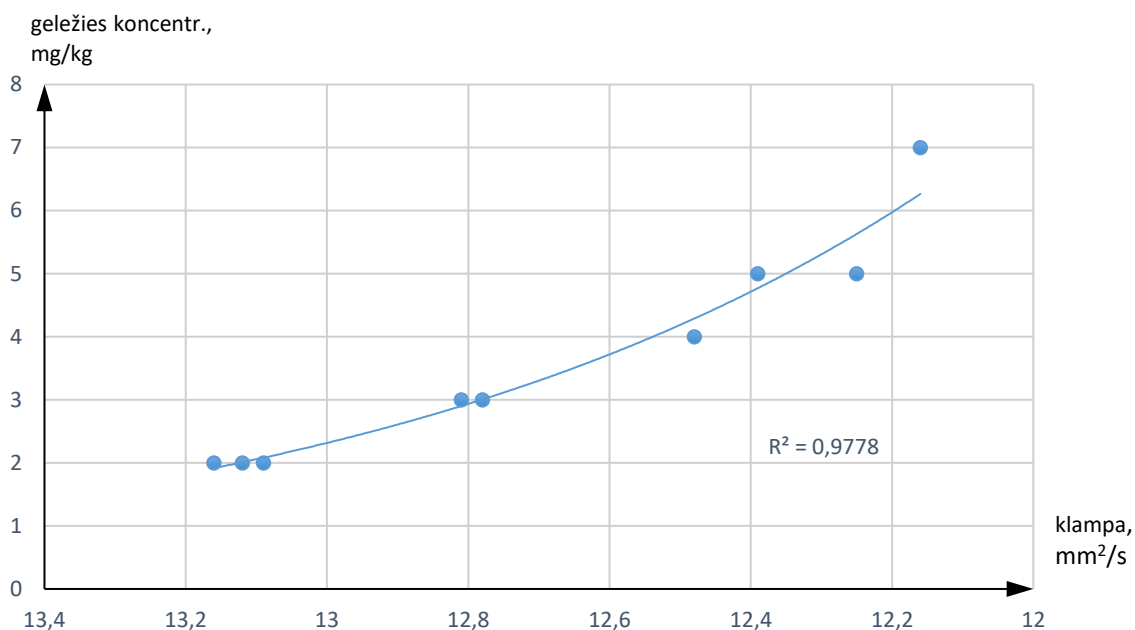
$$sc = \sqrt{dc} = 0,917 \quad sv = \sqrt{dv} = 0,503$$

Tuomet koreliacijos koeficientas r bus:

$$r_{cv} = \rho(XY) = \frac{ECV - EC \cdot EV}{sc \cdot sv} = -0,704$$

Gautas koreliacijos koeficientas r = -0,704 patenka į intervalą tarp -0,7 ir -1. Tai parodo, jog naudojant „Q8 T860“ SAE 10W-40 alyva, tarp geležies koncentracijos alyvoje ir alyvos klamos yra stiprus ryšys.

Geležies koncentracijos priklausomybė nuo alyvos klamos naudojant „Lukoil Avantgarde Professional“ SAE 10W-40 alyvą pateikiama 52 paveiksle.



52 pav. Lokomotyvo TEM TMH 012 alyvoje „Lukoil Avantgarde Professional“ esančios geležies koncentracijos ir klamos tarpusavio priklausomybė

Geležies koncentracijos ir klamos tarpusavio priklausomybės analizė atlikta programa „Mathcad“ 2016. Pirmame stulpelyje pateikta naudojant alyva „Lukoil Avantgarde Professional“ SAE 10W-40 geležies koncentracija  $Z$  – mg/kg, antrame stulpelyje – klampa  $R$  – mm<sup>2</sup>/s.

$$Z = \begin{pmatrix} 4 \\ 2 \\ 5 \\ 7 \\ 2 \\ 3 \\ 5 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix} \quad R = \begin{pmatrix} 12,25 \\ 13,09 \\ 12,48 \\ 12,16 \\ 13,16 \\ 12,78 \\ 12,39 \\ 13,12 \\ 12,81 \end{pmatrix}$$

Apskaičiuojami pirmojo ir antrojo stulpelių vidurkiai  $EZ$  ir  $ER$ :

$$EZ = \text{mean}(Z) = 3,667 \quad ER = \text{mean}(R) = 12,693$$

$$EZR := \frac{(4 \cdot 12,25 + 2 \cdot 13,09 + 5 \cdot 12,48 + 7 \cdot 12,16 + 2 \cdot 13,16 + 3 \cdot 12,78 + 5 \cdot 12,39 + 2 \cdot 13,12 + 3 \cdot 12,81)}{9} = 45,998$$

Surandama kiekvieno stulpelio dispersija  $dz$  ir  $dr$  – statistinė imties charakteristika, atspindinti labiausiai tikėtiną eilinio matavimo vertės nukrypimą nuo aritmetinio vidurkio.

$$dz = \text{Var}(Z) = 3,00 \quad dr = \text{Var}(R) = 0,15$$

Apskaičiuojamas teorinis standartinis nuokrypis  $sz$  ir  $sr$ . Parodo kiek vidutiniškai reikšmės nukrypsta nuo vidurkio.

$$sz = \sqrt{dz} = 1,732 \quad sr = \sqrt{dr} = 0,387$$

Tuomet koreliacijos koeficientas  $r$  bus:

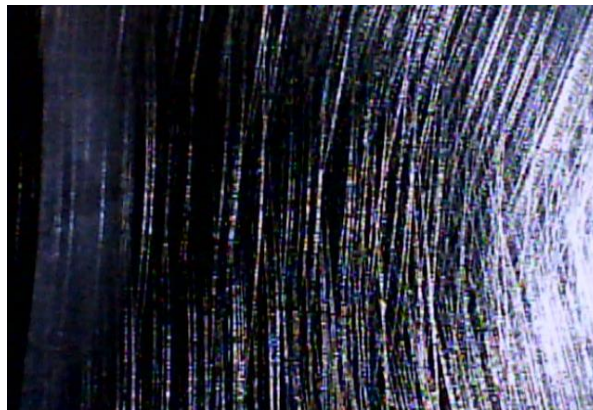
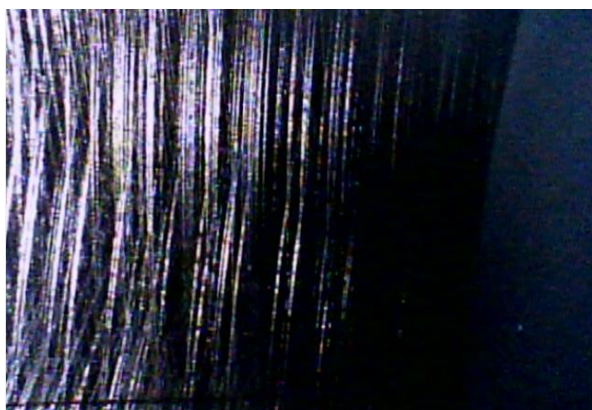
$$r_{zr} = \rho(XY) = \frac{EZR - EZ \cdot ER}{SZ \cdot SR} = -0,813$$

Gautas koreliacijos koeficientas  $r = -0,813$  patenka į intervalą tarp  $-0,7$  ir  $-1$ . Tai parodo, jog naudojant „Lukoil Avantgarde Professional“ SAE 10W-40 alyva, tarp geležies koncentracijos alyvoje ir alyvos klamos yra stiprus ryšys.

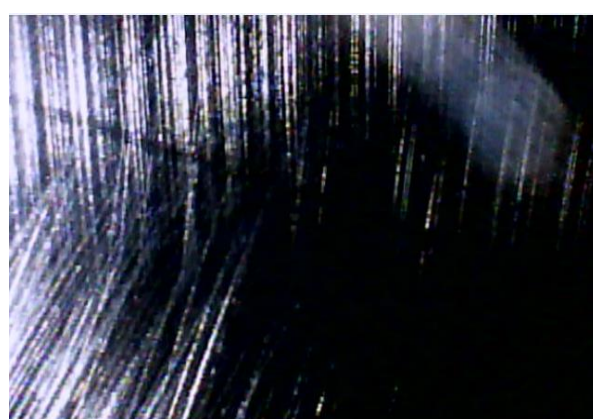
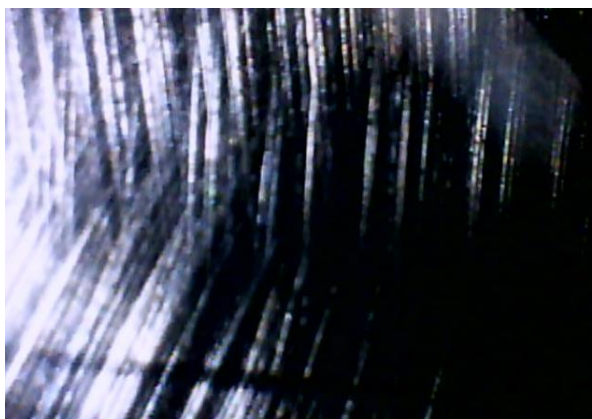
Atlikus parametrų tarpusavio priklausomybės analizę, matyti, jog naudojant abiejų rūšių alyvas yra stipri priklausomybė tarp geležies koncentracijos ir alyvos klamos. Ši priklausomybė dar labiau padidėjo naudojant „Lukoil Avantgarde Professional“ SAE 10W-40 alyvą. Iš grafikų matyti, jog užpiltoje alyvoje geležies koncentracija siekia apie  $2 \text{ mg/kg}$ . Naudojant „Q8 T860“ gamintojo alyvą užpiltos alyvos klamos vidurkis siekė apie  $13,85 \text{ mm}^2/\text{s}$ , nupiltos vidurkis –  $12,51 \text{ mm}^2/\text{s}$ , „Lukoil Avantgarde Professional“ gamintojo užpiltos alyvos klamos vidurkis –  $13,04 \text{ mm}^2/\text{s}$ , nupiltos –  $12,35 \text{ mm}^2/\text{s}$ . Remiantis AB „Lietuvos geležinkeliai“ naudojamu alyvoms keliamų reikalavimų standartu LST EN ISO 3104 klampa  $v$  turi būti ribose:  $10,2 \leq v \leq 16,2 \text{ mm}^2/\text{s}$ .

### 3.3.2. Vidaus degimo variklio cilindų vizualinė analizė

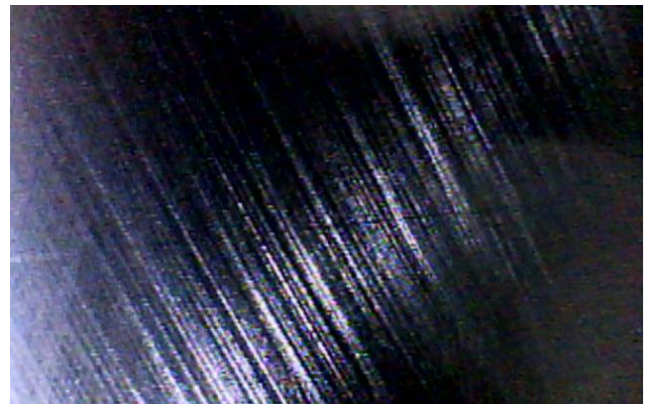
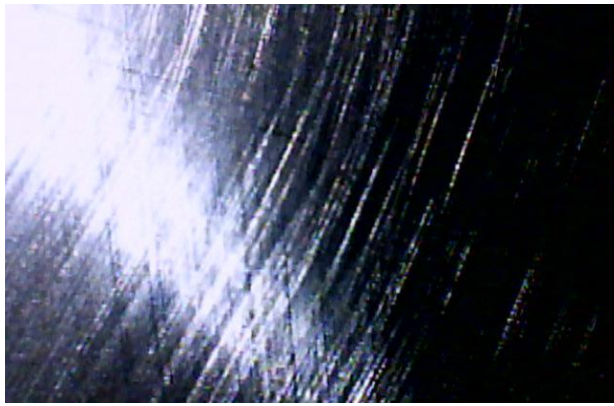
Lokomotyvo TEM TMH Nr. 012 vidaus degimo varikliui „Caterpillar“ 3ZW buvo atlikta cilindų darbinių paviršių vizualinė analizė. Endoskopo „Autel Maxvideo Mv400“ pagalba buvo padarytos 12 cilindų darbinių paviršių nuotraukos. Cilindrų nuotraukos pateiktos 53-64 paveiksluose.



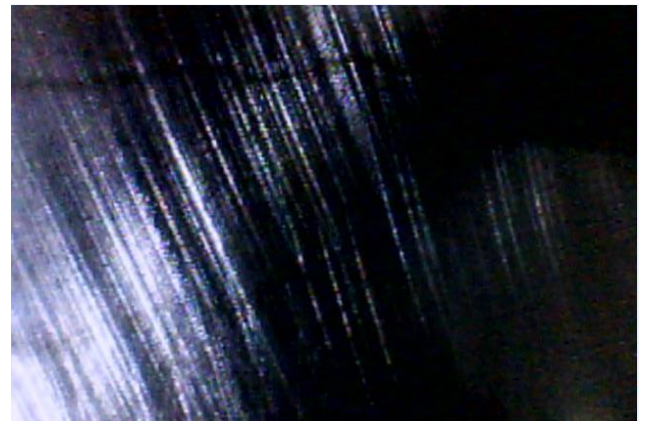
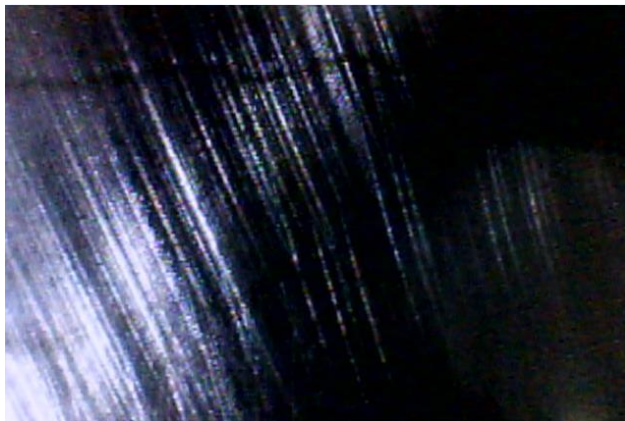
53 pav. TEM TMH Nr. 012 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 1-ojo cilindro nuotraukos



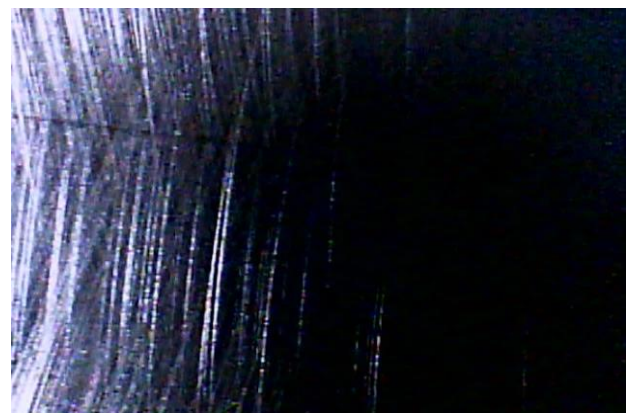
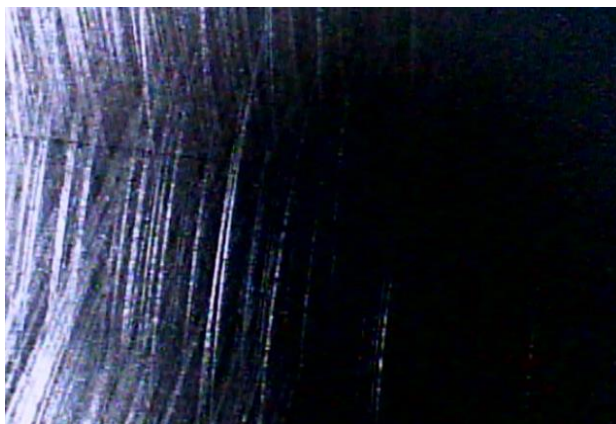
54 pav. TEM TMH Nr. 012 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 2-ojo cilindro nuotraukos



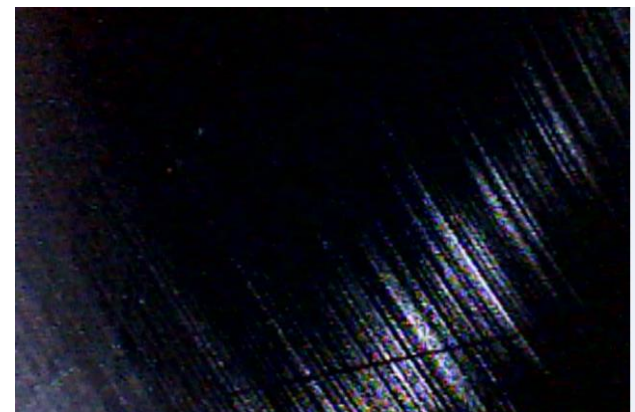
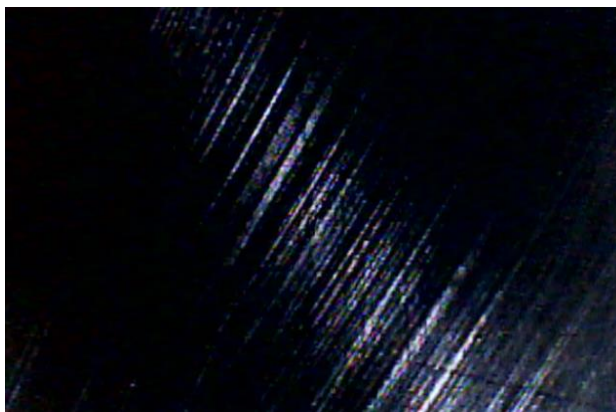
55 pav. TEM TMH Nr. 012 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 3-ojo cilindro nuotraukos



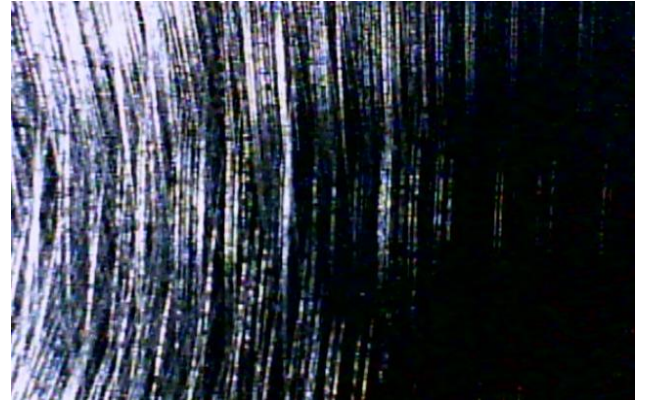
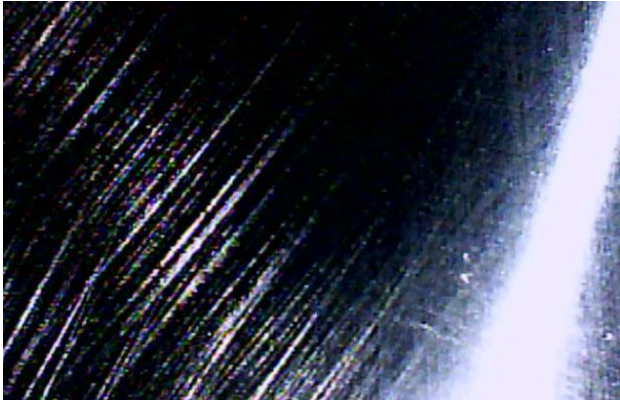
56 pav. TEM TMH Nr. 012 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 4-ojo cilindro nuotraukos



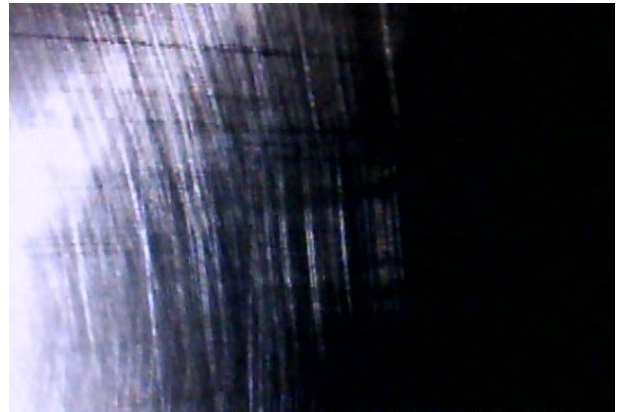
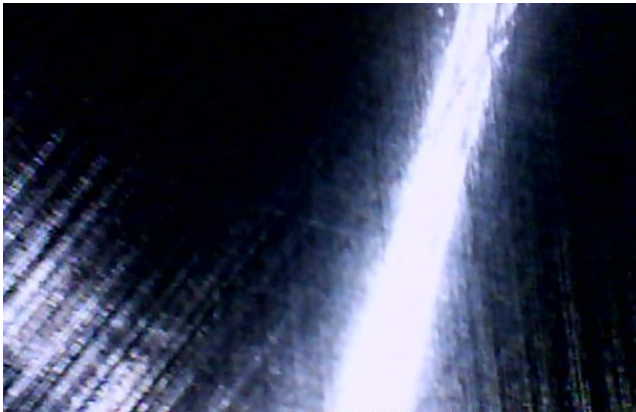
57 pav. TEM TMH Nr. 012 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 5-ojo cilindro nuotraukos



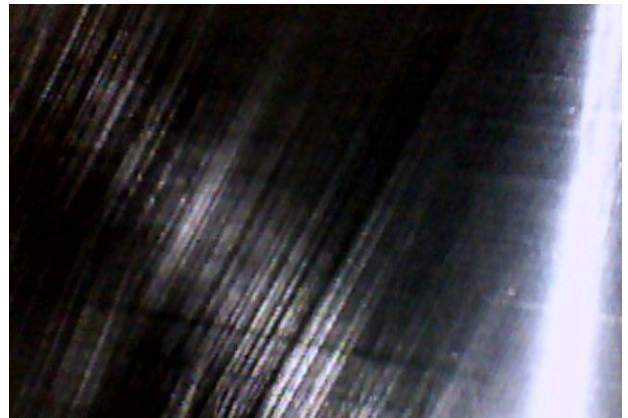
58 pav. TEM TMH Nr. 012 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 6-ojo cilindro nuotraukos



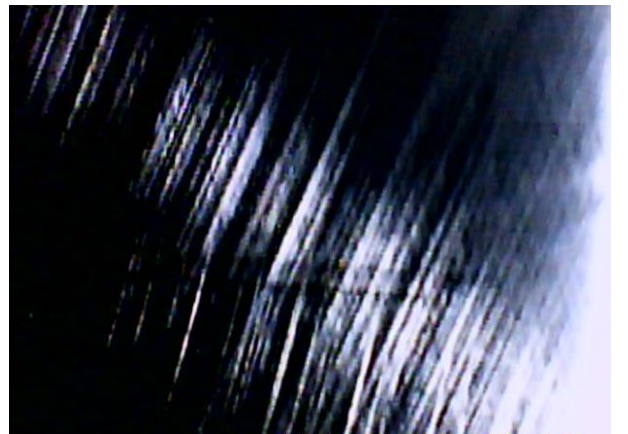
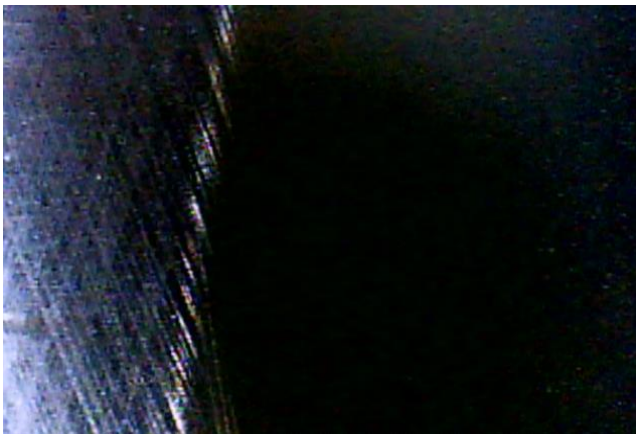
59 pav. TEM TMH Nr. 012 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 7-ojo cilindro nuotraukos



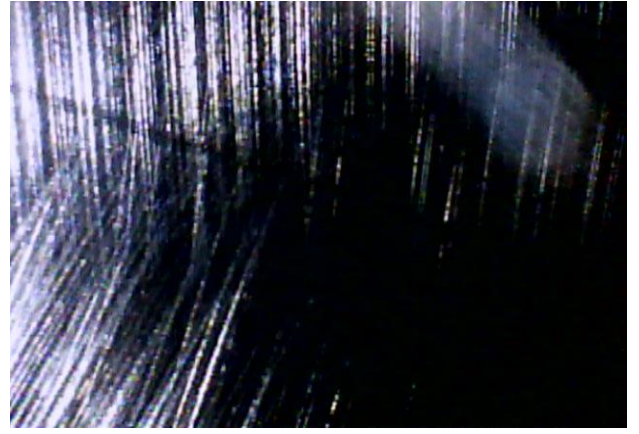
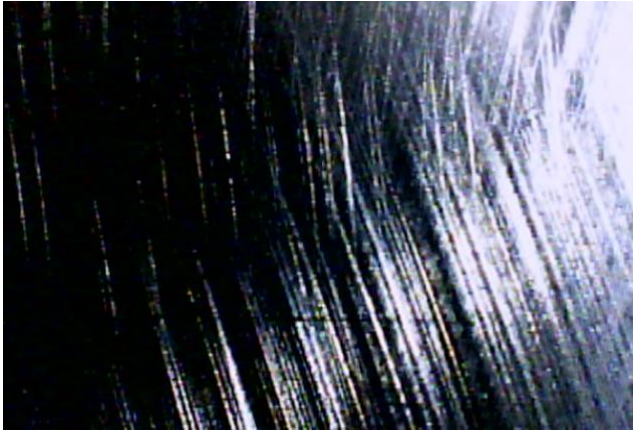
60 pav. TEM TMH Nr. 012 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 8-ojo cilindro nuotraukos



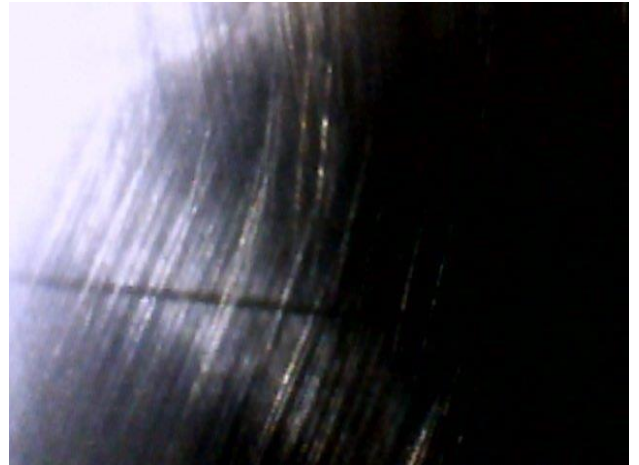
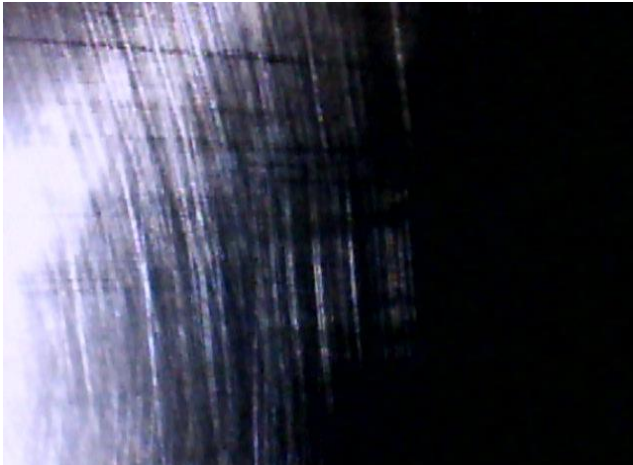
61 pav. TEM TMH Nr. 012 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 9-ojo cilindro nuotraukos



62 pav. TEM TMH Nr. 012 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 10-ojo cilindro nuotraukos



63 pav. TEM TMH Nr. 012 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 11-ojo cilindro nuotraukos



64 pav. TEM TMH Nr. 012 serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio 12-ojo cilindro nuotraukos

Atlikus lokomotyvo TEM TMH Nr. 012 cilindrų darbinių paviršių vizualinę analizę matyti, jog cilindrų įvorės nėra pažeistos. Nors variklinės alyvos mėginiuose matyti išaugęs užterštumas, padidėjusi geležies koncentracija, tačiau cilindrų įvorėse nėra mechaninių pažeidimų. Su lokomotyvu TEM TMH Nr. 012 atliekant manevrinį darbą, vidaus degimo variklis buvo eksploatuojamas esant mažesnėms apkrovoms, tai leido prailginti alyvos tarnavimo laiką ir užtikrinti geresnę vidaus degimo variklio komponentų apsaugą. Dirbant mažesnėmis apkrovomis, vidaus degimo variklio temperatūra neviršija nustatytos darbinės temperatūros, alyva patiria mažesnę trintį.

### 3.3. Dviejų lokomotyvų variklinės alyvos tyrimų rezultatų palyginimas

Tyrimo metu pastebėta, jog naudojant variklinę alyva „Lukoil Avantgarde Professional“ SAE 10W-40 maždaug po 500 motoval. pradeda intensyviai didėti geležies koncentracija. Intensyvus geležies didėjimas stebimas lokomotyvui ilgą laiką dirbant didesnėmis apkrovomis, vidaus degimo variklio apkrova daugiau kaip 50%. Lokomotyvo TEM TMH Nr. 007 alyvoje geležies koncentracijos kitimas per pirmąsias 500 motoval. stebimas apie 2 mg/kg, tačiau per sekančias 500 motoval. kuomet alyva artėja prie 1000 motoval. stebimas geležies koncentracijos kitimas apie 14 mg/kg. Toks spartus geležies koncentracijos kitimas parodo, jog alyva nebegali užtikrinti reikiamo tepimo, variklio



komponentai nėra apsaugoti nuo padidėjusios trinties. Per 500 motoval. lokomotyvas TEM TMH Nr. 007 vidutiniškai sudegindavo 15 000 ltr. dyzelinių degalų.

Lokomotyvo TEM TMH Nr. 012 vidaus degimo variklyje naudojant „Lukoil Avantgarde Professional“ SAE 10W-40 alyvą per pirmąsias 500 motoval. stebimas geležies koncentracijos alyvoje kitimas apie 1 mg/kg. Nuo 500 motoval. iki 1000 motoval. alyvoje geležies koncentracijos kitimas suintensyvėja ir siekia 3 mg/kg. Per 500 motoval. lokomotyvas TEM TMH Nr. 012 vidutiniškai sudegindavo apie 11 000 ltr. dyzelinių degalų. Lokomotyvų duomenys pateikti 5 lentelėje.

5 lentelė. Lokomotyvų palyginimas naudojant „Lukoil Avantgarde Professional“ SAE 10W-40 alyvą

	Lokomotyvas eksploatuojamas tarpstotyje traukiniams vežti		Lokomotyvas eksploatuojamas stotyse manevriniame darbe	
	TEM TMH 007	TEM TMH 007	TEM TMH 012	TEM TMH 012
Lokomotyvo rida, motoval.	30 653	31 201	31 128	31 617
Lokomotyvo remonto rūšis	TP3	TP3+P3	TP3	TP3+P4
VDV alyvos, motoval	534	1 082	511	1 000
Sunaudotas kuras, ltr	13 450	19 170	10 110	15 900
Geležies koncentracija, mg/kg	4	16	3	5

Apibendrinus rezultatus pastebima, jog alyva po 500 motoval. darbo išlaiko savo tepimo savybes ir užtikrina reikiamą vidaus degimo variklio apsaugą nuo nusidėvėjimo. Eksploatuojant lokomotyvą TEM TMH 012 pagal gamintojo numatytas instrukcijas ir neapkraunant vidaus degimo variklio „Lukoil Avantgarde Professional“ SAE 10W-40 alyvoje geležies koncentracija neviršijo ribinės reikšmės 6 mg/kg. Lokomotyvą TEM TMH 007 eksploatuojant tarpstočiuose traukiniams vežti dėl kelio profilio ir krovinio masės lokomotyvo vidaus degimo variklis buvo labiau apkrautas. Dirbant aukštesnėje temperatūroje alyvos senėjimo procesai vyko intensyviau, todėl sumažėjo variklio apsauga. Tokiuose lokomotyvuose kurie eksploatuojami sunkesnėmis sąlygomis racionalu keisti alyvą po 500 motoval. darbo TP3 remonto metu. Remonto metu kartu su alyva pakeisti ir alyvą filtruojančius elementus. Taip būtų užtikrinama reikiama variklio apsauga ir atskirų komponentų tepimas. Pagal atliktų tyrimų rezultatus matyti, jog visomis lokomotyvų eksploatavimo sąlygomis alyva atitinka keliamus reikalavimus iki 500 motoval, darbo.

## Darbo apibendrinimas

Darbe aptarta TEM TMH serijos lokomotyvo vidaus degimo variklio konstrukcija. Didžiausias dėmesys buvo skirtas vidaus degimo variklio tepimo sistemai. Tepimo sistemos efektyvumas priklauso nuo naudojamos alyvos, todėl būtinas atskirų vidaus degimo variklio būklės parametrų stebėjimas.

Nagrinėjant esamas problemas vidaus degimo variklio tepimo sistemoje, kaip prevencinė priemonė pasirinkta alyvos būklės stebėseną – monitoringą. Parinkta alyvos mėginių ėmimo intervalas – 500 motoval. Remiantis literatūros analize darbe ištirta variklinėje alyvoje susidarantys cheminiai elementai. Pagal atliktų tyrimų duomenis variklinėje alyvoje stebimas geležies koncentracijos padidėjimas nuo 2,5 iki 5 karto. Atlikus statistinių duomenų analizę gauta stipri priklausomybė tarp alyvos klampos ir geležies koncentracijos alyvoje. Buvo atlikta dviejų lokomotyvų vidaus degimo variklių cilindrių įvorių vizualinė analizė, kurios metu nustatyta smulkūs įdrėskimai cilindrių įvorių paviršiuje.

Darbe nustatyta, jog dabar naudojama alyva neišlaiko savo tepimo savybių gamintojo nurodyto eksploataavimo ciklo metu, todėl būtinas dažnesnis variklinės alyvos keitimas. Tolimesnis šio darbo tikslas ištirti kaip dažnesnis variklinės alyvos keitimas įtakos vidaus degimo variklio darbą bei jo nusidėvėjimą.

## Išvados

1. Remiantis AB „Lietuvos geležinkeliai“ naudojamais ISO standartais nustatyta leistinas alyvos užterštumas iki  $650 \text{ cm}^{-1}$ , klampos ribos nuo 10,2 iki  $16,2 \text{ mm}^2/\text{s}$ , pliūpsnio temperatūra nuo 210 iki  $260 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
2. Pagrindinis alyvos senėjimą skatinantis procesas – oksidacija. Naudojant „Q8 T860“ alyvą per 1000 motoval. darbo stebimas 2 abs/cm oksidacijos kitimas, naudojant „Lukoil Avantgarde Professional“ – 4 abs/cm.
3. Naudojant „Q8 T860“ alyvą lokomotyvo TEM TMH Nr. 007 vidaus degimo variklyje nustatyta: naujos alyvos po 1 motoval. darbo paimtame mėginyje, klampos vidutinė vertė –  $14,03 \text{ mm}^2/\text{s}$ , geležies koncentracijos vidutinė vertė –  $2 \text{ mg/kg}$ , panaudotos alyvos po 1000 motoval. darbo klampos vidutinė vertė –  $12,33 \text{ mm}^2/\text{s}$ , geležies koncentracijos vidutinė vertė –  $5 \text{ mg/kg}$ . Geležies koncentracija padidėja 2,5 karto;
4. Naudojant „Lukoil Avantgarde Professional“ alyvą lokomotyvo TEM TMH Nr. 007 vidaus degimo variklyje nustatyta: naujos alyvos po 1 motoval. darbo paimtame mėginyje, alyvos klampos vidutinė vertė –  $13,00 \text{ mm}^2/\text{s}$ , geležies koncentracijos vidutinė vertė –  $3 \text{ mg/kg}$ , panaudotos alyvos po 1000 motoval. darbo klampos vidutinė vertė –  $12,41 \text{ mm}^2/\text{s}$ , geležies koncentracijos vidutinė vertė –  $16 \text{ mg/kg}$ . Geležies koncentracija padidėja 5,3 karto;
5. Naudojant „Q8 T860“ alyvą lokomotyvo TEM TMH Nr. 012 vidaus degimo variklyje nustatyta: naujos alyvos po 1 motoval. darbo paimtame mėginyje, klampos vidutinė vertė –  $13,82 \text{ mm}^2/\text{s}$ , geležies koncentracijos vidutinė vertė –  $1 \text{ mg/kg}$ , panaudotos alyvos po 1000 motoval. darbo klampos vidutinė vertė –  $12,58 \text{ mm}^2/\text{s}$ , geležies koncentracijos vidutinė vertė –  $2,5 \text{ mg/kg}$ . Geležies koncentracija padidėja 2,5 karto;
6. Naudojant „Lukoil Avantgarde Professional“ alyvą lokomotyvo TEM TMH Nr. 012 vidaus degimo variklyje nustatyta: naujos alyvos po 1 motoval. darbo paimtame mėginyje, klampos vidutinė vertė –  $13,12 \text{ mm}^2/\text{s}$ , geležies koncentracijos vidutinė vertė –  $2 \text{ mg/kg}$ , panaudotos alyvos po 1000 motoval. darbo klampos vidutinė vertė –  $12,49 \text{ mm}^2/\text{s}$ , geležies koncentracijos vidutinė vertė –  $6 \text{ mg/kg}$ . Geležies koncentracija padidėja 3 kartus;
7. Atliktas parametrų priklausomybės palyginimas. Nustatyta priklausomybė tarp klampos ir geležies koncentracijos. Koreliacijos koeficientas naudojant „Q8 T860“ alyvą lokomotyve TEM TMH Nr. 007 –  $r_{Q8} = -0,735$ , lokomotyve TEM TMH Nr. 012 –  $r_{Q8} = -0,704$ . Naudojant „Lukoil Avantgarde Professional“ alyvą lokomotyve TEM TMH Nr. 007 –  $r_{LUKOIL} = -0,749$ , lokomotyve TEM TMH Nr. 012 –  $r_{LUKOIL} = -0,813$ . Abiem atvejais tarp klampos ir geležies koncentracijos yra stipri priklausomybė, didėjant geležies koncentracijai alyvos klampa mažėja;

8. Atlikta cilindrų paviršių vizualizacija, lokomotyvo TEM TMH Nr. 007 vidaus degimo variklyje nustatyti 1-ame, 3-iame ir 12-ame cilindruose įvorių paviršių defektai. Lokomotyvo TEM TMH Nr. 012 cilindrų įvorėse defektų nenustatyta.
9. Pastebėta, jog dirbant lokomotyvui TEM TMH Nr. 007 po 600 motoval. darbo pradeda sparčiai didėti susidarantių dilimo produktų koncentracija. Lokomotyvui TEM TMH Nr. 012 dilimo produktų koncentracija sparčiau didėja po 1000 motoval. darbo. Sparčiausiai auga geležies koncentracija variklinėje alyvoje.
10. Variklinės alyvos senėjimui ir joje susidarantiems dilimo produktams didžiausią įtaką turi lokomotyvo eksploatavimo sąlygos, todėl tarpstočiuose su sąstatais dirbantiems lokomotyvams rekomenduojama alyvą keisti TP3 remonto metu po 500 motoval. darbo.

## Literatūros ir šaltinių sąrašas

1. CATERPILAR „Sistemų valdymas, tikrinimas ir reguliavimas“ aukšto litražo lokomotyvų varikliai 2001 m. Nr. SENR5098-02.
2. CAT variklių katalogas, [interaktyvus] [žiūrėta 2017-06-09]. Prieiga per: <http://capitalremanexchange.com/cat-3512-engines/>
3. „Lokomotyvo TEM TMH mašinisto instrukcija“ 2009 m., parengė: UAB „Geležinkelio produkcijos atitikties vertinimo centras – direktorius Žilvinas Urbutis.
4. Тепловоз ТЭМ ТМХ Техническое описание 4-8090-099-00/ П. Станек, Я. Джурны., CZ LOKO a.s. 2013 г.
5. „Tepimo medžiagų riedmenyje naudojimo instrukcija“ 208/T 2014 m. lapkričio 26 d. Į-1066.
6. Electrical system engal ZEPPELIN Power system CAT 2016 m.
7. CZ LOKO priežiūros instrukcija lokomotyvo TEM TMH Nr. 4-8092-097-00.
8. EGR vožtuvo gedimai ir įtaka variklio darbui [interaktyvus] [žiūrėta 2018-01-18]. Prieiga per: <https://www.autoprof.lt/egr-voztuvo-gedimai/>
9. Variklių alyvų specifikacijos [interaktyvus] [žiūrėta 2018-02-20]. Prieiga per: <http://shell.jungent.lt/lt/kaip-pasirinkti/alyvavimo-mokslinis-pagrindimas/transporto-priemoniu-alyvos/varikliu-alyvu-specifikacijos/>
10. Lukoil alyvos techninė dokumentacija „Lukoil Lubricants Company“ LLK-INTERNATIONAL 2017 m. 1220 Vienna Austria.
11. Alyvų specifikacija ACEA standarto reikalavimai [interaktyvus] [žiūrėta 2018-02-22]. Prieiga per: <https://www.oilspecifications.org/acea.php>
12. ACEA E4/E7 [interaktyvus] [žiūrėta 2018-02-22]. Prieiga per: <https://www.lubrizol.com/Lubricant-and-Fuel-Additives/Engine-Oil-Additives/ACEA/Sequences/ACEA-E7-16>
13. Shell LubeAnalyst User Guide 2016 m.
14. Monitoringas, jo esmė [interaktyvus] [žiūrėta 2018-01-20]. Prieiga per: <https://lt.wikipedia.org/wiki/Monitoringas>
15. CAT S.O.S. Services Management Guide „Committed to keeping your equipment moving“ 2017 m. Straipsnis.
16. „Oil Codition Monitoring“ report published by Allianz Risk Consulting, Nr. 31, 2001 m.
17. AB „Lietuvos geležinkeliai“ Įsakymas „Dėl traukos riedmenyse naudojamų variklinių alyvų patikros ir variklių būklės stebėsenos paslaugų teikimo lokomotyvų depams tvarkos aprašo patvirtinimas“ 2013 m. lapkričio 22 d. Nr. Į(DK)-362 Vilnius.

18. Mokslinis darbas „Išmetamų į atmosferą teršalų tyrimai, įvertinimas, prognozė bei antropogeninės taršos lygių ir kritinių apkrovų ekosistemoms vertinimas“ Fizinių ir technologijos mokslų centras 2013 m. Vilnius.
19. Alyvų specifikacija [interaktyvus] [žiūrėta 2018-01-22]. Prieiga per: <http://shell.jungent.lt/lt/kaip-pasirinkti/alyvavimo-mokslinis-pagrindimas/alyvu-ir-plastiskuju-tepalu-klasifikacija-ir-specifikacija/>
20. „Automobilių sandara ir priežiūra“ mokomoji knyga, S. BUTELIAUSKAS, Vilnius 2008 m.
21. Mokslinis straipsnis „Oil Analyzers“ 1-715395-0222 Oil Analysis services 2015 m.
22. Mokomoji knyga „Eksperimento duomenų statistinė analizė“ 2-asis pataisytas ir papildytas leidimas B. MARTINĖNAS Vilnius 2004 m.

## **Priedai**





