



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS

GELEŽINKELIŲ TRANSPORTO KATEDRA

Gintaras Laurinėnas

**CAT 3512B TIPO VIDAUS DEGIMO VARIKLIŲ NAUDOJIMO
ŠILUMVEŽIUOSE 2M62M EFEKTYVUMO TYRIMAS**

**RESEARCH ON EFFICIENCY OF USING CAT3512B TYPE ENGINES IN
2M62M DIESEL LOCOMOTIVES**

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621E20003

Geležinkelių transporto inžinerijos specializacija

Sausumos transporto inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2014

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS

GELEŽINKELIŲ TRANSPORTO KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Gediminas Vaičiūnas

(Vardas, pavardė)

(Data)

Gintaras Laurinėnas

**CAT 3512B TIPO VIDAUS DEGIMO VARIKLIŲ NAUDOJIMO
ŠILUMVEŽIUOSE 2M62M EFEKTYVUMO TYRIMAS**

**RESEARCH ON EFFICIENCY OF USING CAT3512B TYPE ENGINES IN
2M62M DIESEL LOCOMOTIVES**

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621E20003

Geležinkelių transporto inžinerijos specializacija

Sausumos transporto inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

doc. dr. Rimantas Subačius

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

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

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

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantė lekt. Angelika Petrėtienė

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

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2014

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Transporto inžinerijos fakultetas
Geležinkelių transporto katedra

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

Antrosios pakopos studijų **Transporto inžinerijos** programos magistro baigiamasis darbas
Pavadinimas **CAT3512B tipo variklių naudojimo šilumvežiuose 2M62M efektyvumo tyrimas**
Autorius **Gintaras Laurinėnas**
Vadovas **doc. dr. Rimantas Subačius**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe išnagrinėta šilumvežių 2M62 situacija iki modernizavimo. Apžvelgtas šilumvežių 2M62 parkas, neplaniniai remontai bei eksploatacijos ir remonto sąnaudos.

Nagrinėtas variklių CAT3512B panaudojimo lokomotyvuose tikslingumas. Pateikta variklių 14D40, 5-26DG ir CAT3512B eksploatacijos ir remontų sąnaudų palyginimas.

Ištirti lokomotyvų 2M62M vidaus degimo variklių CAT3512B gedimai garantiniu laikotarpiu. Surinkus ir apdorojus visus duomenis sudarytas matematinis statistinis variklių patikimumo modelis. Pagal gautus skaičiavimo rezultatus nubraižyti variklių CAT3512B negendamumo tikimybės ir gedimų intensyvumo grafikai.

Apskaičiuota, kiek vidutiniškai lokomotyvas 2M62M buvo neeksploatuojamas dėl variklių CAT3512B gedimų garantiniu laikotarpiu ir kiek AB „Lietuvos geležinkeliai“ patyrė nuostolių dėl lokomotyvų prastovų.

Darbą sudaro: 9 dalys, įvadas, 5 skyriai, išvados ir pasiūlymai, literatūros sąrašas, priedai. Darbo apimtis - 70 p. teksto be priedų, 15 lentelių, 40 iliustracijų, 15 santrumpų.

Prasminiai žodžiai: šilumvežis 2M62, variklis CAT3512B, eksploatacijos ir remontų sąnaudos, matematinis statistinis modelis, negendamumo tikimybė, gedimų intensyvumas, prastova.

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

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

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

Title	Research on efficiency of using CAT3512B type engines in 2M62M diesel locomotives
Author	Gintaras Laurinėnas
Academic supervisor	Assoc Prof Dr Rimantas Subačius

Thesis language:
Lithuanian

Annotation

The Master's thesis analyzed locomotives 2M62 situation before upgrading. Locomotives 2M62 park, unscheduled repairs and maintenance and repair costs were reviewed.

The use of locomotives engines CAT3512B expediency was examined. Maintenance and repairs cost comparison of engines 14D40, 5-26DG and CAT3512B were presented.

Locomotives 2M62M engines CAT3512B failures during the warranty period were explored. Mathematical statistical model of reliability of power was created according to the collected and processed data. Engine CAT3512B failure probabilities and failure intensity graphs were drawn based on the calculation results.

It is estimated how long averagely the locomotive 2M62M was out of service due to the engines CAT3512B failure during the warranty period. And it was assessed what loss was met by SC "Lithuania Railways" because of locomotive 2M62M outage.

Structure consists of nine parts: introduction, 5 chapters, conclusions and suggestions, references, extras. Thesis consists of: 70 p. text without extras, 40 tables, 15 figures, 15 abbreviations.

Keywords: locomotive 2M62, engine CAT3512B, costs of exploitation and repair, mathematical statistical model, probability of no-failure, failure intensity, outage.

TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	10
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	11
SANTRUMPOS	13
ĮVADAS	14
1. ŠILUMVEŽIŲ 2M62 SITUACIJOS ANALIZĖ IKI MODERNIZACIJOS	16
1.1. Šilumvežių 2M62 ir M62 parko analizė	16
1.2. Šilumvežių 2M62 neplaninių remontų analizė 2005 metais	19
1.3. Šilumvežių 2M62 eksploatacijos ir remonto sąnaudų analizė.....	22
2. VARIKLIŲ CAT3512B PANAUDOJIMO LOKOMOTYVUOSE TIKSLINGUMAS	28
3. LOKOMOTYVŲ 2M62M VARIKLIŲ CAT3512B GEDIMŲ ANALIZĖ	34
3.1. Lokomotyvų 2M62M VDV gedimų apimtys garantiniu laikotarpiu	34
3.2. Pagrindinės gedimų rūšys ir jų priežastys	41
4. VARIKLIŲ CAT3512B PATIKIMUMO STATISTINIS MODELIS.....	51
4.1. Pradinių duomenų statistinės eilutės sudarymas	53
4.2. Variklių resurso teorinio pasiskirstymo dėsnio parinkimas	56
4.3. Teorinių pasiskirstymo funkcijų $f(T)$, $F(T)$ skaičiavimas.....	58
4.4. Gedimų intensyvumo $\lambda(T)$ ir negendamumo tikimybės $P(T)$ skaičiavimas	62
5. VARIKLIŲ CAT3512B GARANTINIŲ REMONTŲ EKONOMINĖ ANALIZĖ	65
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI	71
LITERATŪRA	72

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Variklio 14D40 gedimai, dėl kurių lokomotyvai stovėjo neplaniniuose remontuose (2003-2005 m.).....	18
2 lentelė. Šilumvežių 2M62 su skirtingais VDV eksploatacijos sąnaudų palyginimas.....	26
3 lentelė. Šilumvežių 2M62 su skirtingais VDV lyginamųjų sąnaudų palyginimas.....	26
4 lentelė. Lokomotyvų 2M62M VDV CAT3512B grupių gedimai garantiniu laikotarpiu.....	33
5 lentelė. Lokomotyvų 2M62M VDV CAT3512B detalių gedimai garantiniu laikotarpiu.....	34
6 lentelė. Variklių CAT3512B gedimų pasiskirstymas pagal gedimų grupes.....	40
7 lentelė. Variklių CAT3512B gedimų pasiskirstymas pagal gedimų priežastis.....	42
8 lentelė. Variklių CAT3512B gedimų pasiskirstymas pagal atsiradimo laiką.....	43
9 lentelė. Lokomotyvų 2M62M variklių CAT3512B ikiremontinis resursas.....	49
10 lentelė. Pradinių duomenų statistinės eilutės lentelė.....	53
11 lentelė. $f(T)$ ir $F(T)$ reikšmės Veibulo pasiskirstymo dėsniai.....	58
12 lentelė. Negendamumo tikimybės $P(T)$ ir gedimų intensyvumo $\lambda(T)$ reikšmės.....	60
13 lentelė. Garantinių remontų atlikimas pagal eksploatacijos metus.....	63
14 lentelė. Variklių CAT3512B remonto suminiai darbų imlumai.....	65
15 lentelė. Darbo valandų sąnaudos.....	66

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav.	Prekinių magistralinių traukos riedmenų parko struktūra.....	14
2 pav.	2M62 serijos prekinį lokomotyvų amžius (2006 metais).....	15
3 pav.	M62 serijos prekinį lokomotyvų amžius (2006 metais).....	15
4 pav.	Lokomotyvų 2M62 ir M62 amžiaus vidurkis ir amortizacinis resursas (2006 metais).....	16
5 pav.	Vilniaus lokomotyvų depe 2005 m. šilumvežiams atlikti neplaniniai remontai.....	17
6 pav.	2M62 serijos šilumvežių 2003-2005 m. įvykusių gedimų skaičius.....	18
7 pav.	Neplaniniai remontai dėl VDV gedimų (2003-2005 m.).....	19
8 pav.	Eksploatacijos išlaidų schema.....	20
9 pav.	2M62 serijos lokomotyvų 14D40 variklių lyginamųjų degalų sąnaudų kitimas.....	21
10 pav.	2M62 serijos 14D40 variklių skirtingo amžiaus lokomotyvų lyginamosios alyvos sąnaudos.....	22
11 pav.	2M62 serijos skirtingo amžiaus lokomotyvų lyginamosios techninės priežiūros TP-3 prastovų trukmės.....	23
12 pav.	2M62 serijos skirtingo amžiaus lokomotyvų lyginamosios prastovos ER-1 remonte.....	24
13 pav.	2M62 serijos šilumvežių VDV 14D40, 5-26DG ir CAT3512B degalų sąnaudos.....	27
14 pav.	2M62 serijos šilumvežių VDV 14D40, 5-26DG ir CAT3512B alyvos sąnaudos.....	27
15 pav.	2M62 serijos šilumvežių VDV 14D40, 5-26DG ir CAT3512B techninės priežiūros TP-3 darbų imlumas.....	28
16 pav.	2M62 serijos šilumvežių VDV 14D40, 5-26DG ir CAT3512B einamojo remonto ER-1 darbų imlumas.....	28
17 pav.	2M62 serijos šilumvežių VDV 14D40, 5-26DG ir CAT3512B lyginamosios išlaidos degalams.....	29
18 pav.	2M62 serijos šilumvežio su skirtingais VDV lyginamosios išlaidos alyvai.....	29
19 pav.	2M62 serijos šilumvežių VDV 14D40, 5-26DG ir CAT3512B lyginamosios išlaidos prastovų remonte metu.....	30
20 pav.	CAT3512B gedimų identifikavimo ir šalinimo schema.....	32
21 pav.	Lokomotyvų 2M62M variklių CAT3512B gedimų pasiskirstymas.....	33
22 pav.	Turbokompresorių gedimai.....	35
23 pav.	Cilindrinų galvučių mazgo gedimai.....	36
24 pav.	Tepimo sistemos elementų gedimai.....	36
25 pav.	Aušinimo sistemos mazgų gedimai.....	37
26 pav.	VDV gedimo atsiradimo struktūrinė schema.....	39
27 pav.	Gedimų pasiskirstymas pagal gedimų grupes.....	41

28 pav.	Gedimo priežasčių struktūra.....	42
29 pav.	Gedimų atsiradimo laikas.....	44
30 pav.	Naudotų dujų prasiskverbimo vietos turbokompresoriaus srityje.....	45
31 pav.	PG pavaros skriemulio susidėvėjimo vietos.....	46
32 pav.	Diagnostika su CAT ET.....	47
33 pav.	Atsitiktinio dydžio pasiskirstymo histograma ir diferencialinė funkcija.....	54
34 pav.	Teorinio pasiskirstymo diferencialinė funkcija.....	59
35 pav.	Teorinio pasiskirstymo integralinė funkcija.....	59
36 pav.	Negendamumo tikimybės grafikas.....	61
37 pav.	Gedimų intensyvumo grafikas.....	62
38 pav.	Gedimų pasiskirstymas pagal eksploatacijos metus.....	65
39 pav.	Lokomotyvų variklių CAT3512B mazgų gedimų šalinimo darbų imlumas.....	67
40 pav.	Lokomotyvų variklių CAT3512B gedimų šalinimo darbų kaina.....	67

SANTRUMPOS

2M62 – šilumvežis su 14D40 varikliu;

2M62K – šilumvežis su 5-26DG varikliu;

2M62M – šilumvežis su CAT3512B varikliu;

CAT ET – kompiuterinė diagnostikos programa, naudojama CAT3512B variklių gedimams nustatyti;

ER – einamasis remontas;

EVB (ECM) – elektroninis valdymo blokas (angl. *electronic control module*);

KP – kapitalinis remontas;

LG – AB „Lietuvos geležinkeliai“;

LT-1 – Vilniaus lokomotyvų depas;

LT-2 – Radviliškio lokomotyvų depas;

PG – pagalbinis generatorius (naudojamas lokomotyvo akumuliatoriams krauti);

PVM – pridėtinės vertės mokestis;

TP – techninė priežiūra;

VDV – vidaus degimo variklis;

VLRD – Vilniaus lokomotyvų remonto depas.

IVADAS

Geležinkelių transportas – viena svarbiausių Lietuvos transporto šakų, pervežant keleivius ir krovinius dideliais atstumais. Tai ekonomiška, saugi ir ekologiška transporto šaka. Geležinkelių transportu dideli krovinių kiekiai sėkmingai transportuojami dideliais nuotoliais. Įgyvendinus „Rail Baltica“ projektą geležinkelių transportas taps dar reikšmingesniu ir sėkmingesniu Lietuvos bei Europos krovinių transportavimo ir keleivių vežimo dalimi. Prioritetinis Europos, taip pat ir Lietuvos geležinkelių transporto sistemos tikslas yra efektyvus, patogus ir saugus krovinių ir keleivių vežimas be valstybinių sienų kirtimo formalumų ir apribojimų. Siekiant įgyvendinti šį tikslą, būtina visoje Europoje sukurti ir priimti tai reglamentuojančius teisės aktus, kurie apimtų greitą, patikimą krovinių transportavimą ir keleivių vežimą.

Norint, kad Lietuvos geležinkeliai būtų patrauklūs savo klientams ir partneriams bei konkurencingi ir integruoti į Europos geležinkelių transporto sistemą, būtina įsigyti arba modernizuoti esamus traukos riedmenis. Jie leistų maksimaliai panaudoti turimus materialinius, techninius bei ekonominius išteklius ir užtikrintų nepertraukiamą krovinių ir keleivių vežimą.

2006 metais Lietuvos geležinkelių traukos riedmenų parko susidėvėjimas siekė net 60 procentų. Esant tokiai būklei buvo būtina imtis šilumvežių modernizacijos. Be traukos riedmenų parko atnaujinimo labai svarbu geležinkelių, ryšio priemonių ir įrenginių modernizacija. Magistralinių lokomotyvų resursas paprastai būna 25 metų. Dauguma lokomotyvų buvo eksploatuojami jau ilgesnį laiką. Šis faktas lėmė didėjančias eksploataavimo išlaidas, degalų, alyvos sąnaudas, mažėjančias tarpremontines ridas, laiko sąnaudų priežiūrai augimą, prastovas dėl neplaninių remontų. Kadangi keleivių vežimas Lietuvos geležinkeliais yra nuostolingas, todėl ypač svarbu įmonei turėti pakankamo dydžio prekinį lokomotyvų ir vagonų parką, kad bendrovė sugebėtų visiškai patenkinti klientų poreikį vežti krovinius (Steišūnas *et al.* 2012). Lietuvos geležinkeliai nusprendė, kad traukos riedmenų parko naujinimas yra neišvengiamas.

Problemos aktualumas

Įsibėgėjus šilumvežių 2M62M modernizacijai bei pradėjus naudoti modernizuotus šilumvežius neturėta pakankamai duomenų apie vidaus degimo variklių CAT3512B patikimumą, gendamumą, atsarginių detalių poreikį. Kadangi modernizuotiems šilumvežiams 2M62M šiuo metu atliekami kapitaliniai remontai (po 30 000 motoval), jų resursas vėl atkuriamas. Todėl atsirado galimybė išanalizuoti ir prognozuoti šilumvežių 2M62M vidaus degimo variklių įvykusius būsimus gedimus, planuoti atsarginių detalių poreikį, tokiu būdu sumažinant lokomotyvų neplanines prastovas. Taip pat šiuo metu yra modernizuojami manevriniai lokomotyvai TEM TMH, į kuriuos montuojami naujesnės kartos vidaus degimo varikliai

CAT3512C, todėl surinkus ir apdorojus šių vidaus degimo variklių duomenis būtų galima daryti gedimų palyginimus, kurie priklauso nuo lokomotyvo eksploatacijos ypatumų. Vis daugiau įsigyjant naujų prekių lokomotyvų „Siemens“ ER20CF į kuriuos yra sumontuoti vokiški MTU vidaus degimo varikliai, būtų galima atlikti variklių patikimumo palyginimą.

Tyrimo objektas

Šilumvežių 2M62M vidaus degimo variklių CAT3512B gedimų tendencijos garantiniu laikotarpiu (~9000 motoval).

Tyrimo tikslas

Išanalizuoti šilumvežių 2M62M vidaus degimo variklių CAT3512B gedimus garantiniu laikotarpiu (~9000 motoval). Nustatyti gedimų tendencijas ir dažnį. Sudaryti tikimybinį vidaus degimo variklių CAT3512B patikimumo statistinį modelį, kuriuo būtų galima nustatyti patikimumo kriterijus: variklio negendamumą, patikimumą, gedimų intensyvumą. Nustatyti atsarginių detalių poreikį vidaus degimo varikliui CAT3512B po šilumvežio 2M62M kapitalinio remonto dviejų metų laikotarpiui. Nustatyti lokomotyvų 2M62M serijos prastovų kaštus dėl vidaus degimo variklių CAT3512B gedimų.

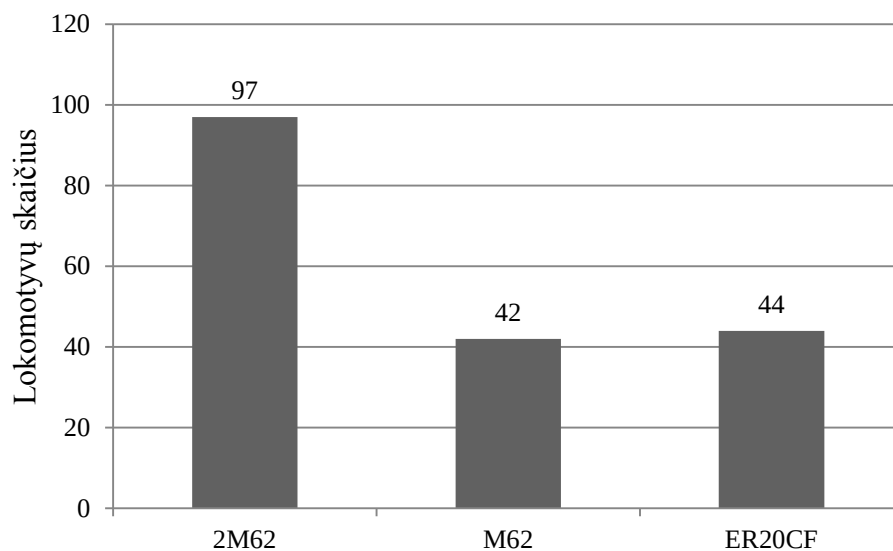
Darbo uždaviniai

1. Išanalizuoti situaciją iki lokomotyvų 2M62 modernizacijos.
2. Išanalizuoti lokomotyvų 2M62 modernizavimo tikslus.
3. Įvertinti vidaus degimo variklių CAT3512B panaudojimo lokomotyvuose tikslingumą.
4. Atlikti vidaus degimo variklių CAT3512B gedimų analizę garantiniu laikotarpiu.
5. Sudaryti tikimybinį vidaus degimo variklių CAT3512B patikimumo statistinį modelį.
6. Įvertinti ekonominius lokomotyvų 2M62M prastovų kaštus dėl CAT3512B variklių gedimų garantiniu laikotarpiu.
7. Pateikti išvadas ir pasiūlymus.

1. ŠILUMVEŽIŲ 2M62 SITUACIJOS ANALIZĖ IKI MODERNIZACIJOS

1.1. Šilumvežių 2M62 ir M62 parko analizė

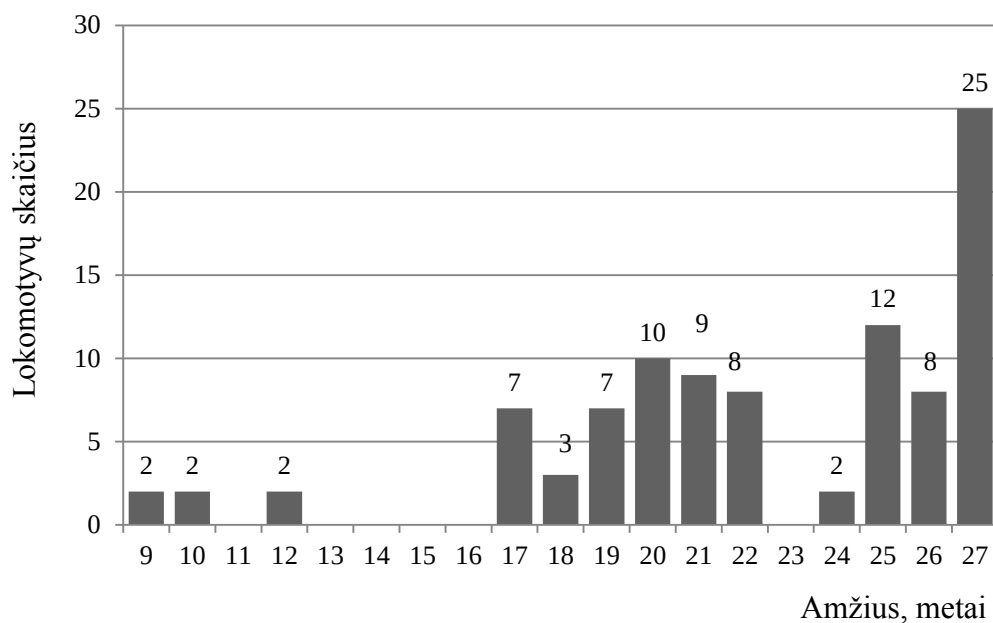
Pervežant krovinius, svarbiausi yra prekiniai lokomotyvai, nes juos eksploatuojant, gaunama didžiausia pelno dalis. Šilumvežis 2M62 yra pagrindinis AB „Lietuvos geležinkeliai“ magistralinis lokomotyvas. AB „Lietuvos geležinkeliai“ prekinį traukos riedmenų parką sudaro 97 – 2M62 serijos lokomotyvai ir 42 – M62 serijos lokomotyvų, tik 2008 metais buvo įsigyta nauji „Siemens“ ER20CF lokomotyvai.



1 pav. Prekinių magistralinių traukos riedmenų parko struktūra

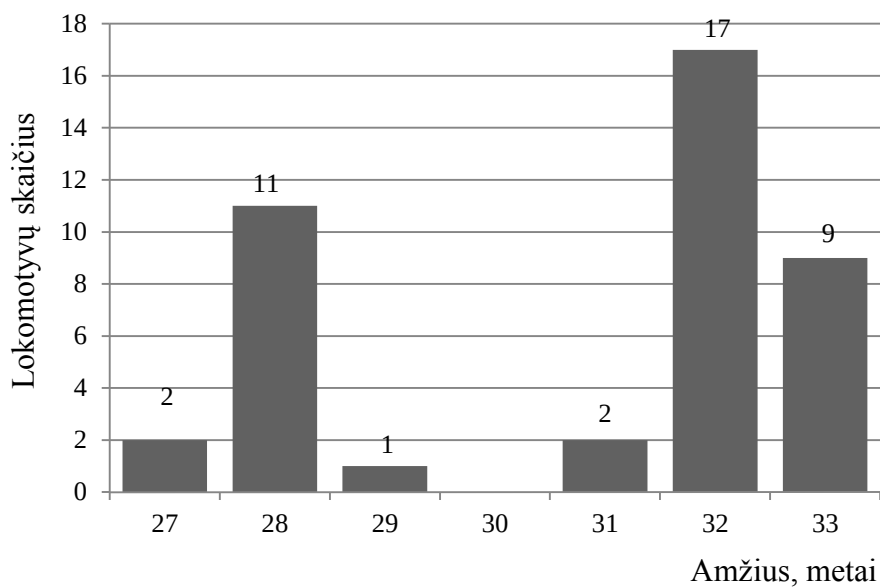
Iš 1 paveikslo matyti, kad daugiau nei pusę prekinį traukos riedmenų parko pagrindą sudaro 2M62 serijos lokomotyvai (53 %). Tik 2008 metais buvo įsigyta nauji „Siemens“ ER20CF prekiniai lokomotyvai, kurie savo galimybėmis pranoksta visus turimus prekinis lokomotyvus.

2006 metais atlikus išsamų lokomotyvų 2M62 ir M62 parko analizę matyti (žr. 2 pav.), kad apie 57 % 2M62 serijos prekinį lokomotyvų buvo senesni kaip 24 metai, apie 37 % yra (17–22) metų ir tik 6 % yra pagaminti mažiau kaip prieš 14 metų. Vertinant M62 serijos prekinį lokomotyvų parką pagal amžių (žr. 3 pav.), matyti, kad 69 % šios serijos lokomotyvų yra senesni kaip 31 metų, likusieji ne mažiau kaip 29 metų amžiaus. Remiantis 4 pav. akivaizdu, kad 2006 metais lokomotyvai 2M62 ir M62 buvo visiškai susidėvėję, juos buvo būtina keisti naujais arba modernizuoti.



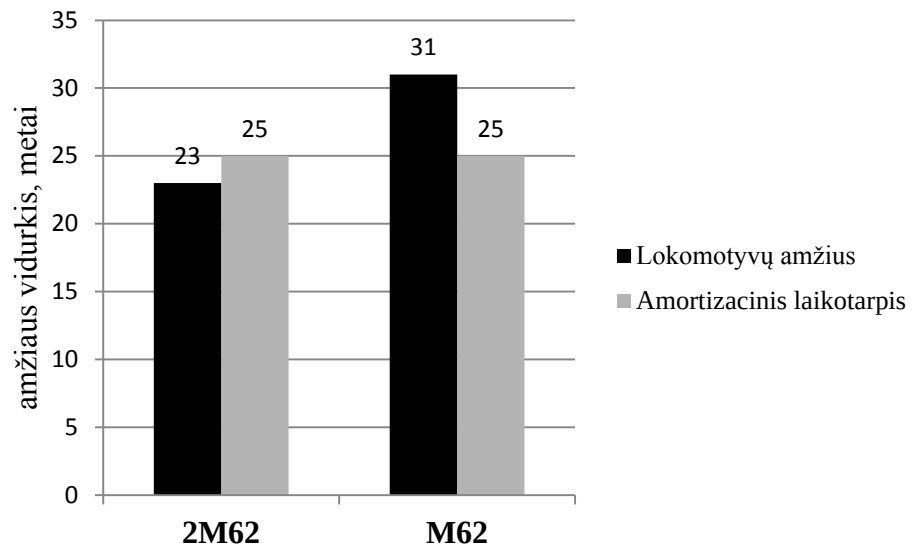
2 pav. 2M62 serijos prekinį lokomotyvų amžius (2006 metais)

Išnagrinėjus 2 pav. matyti, kad net 46 % prekinį lokomotyvų 2M62 amžius buvo didesnis nei 25 metai, tai reiškia, kad beveik pusė lokomotyvų buvo eksploatuojami pasibaigus jo amortizacijos resursui.



3 pav. M62 serijos prekinį lokomotyvų amžius (2006 metais)

Išnagrinėjus 3 pav. matyti, kad net 100 % prekinį lokomotyvų M62 amžius buvo didesnis nei 25 metai, tai reiškia, kad visi lokomotyvai buvo eksploatuojami pasibaigus jo amortizacijos resursui.



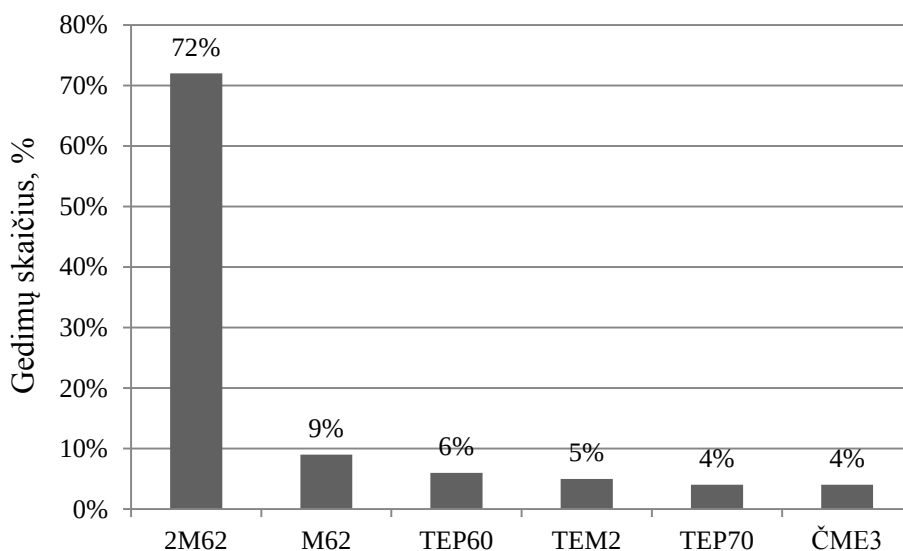
4 pav. Lokomotyvų 2M62 ir M62 amžiaus vidurkis ir amortizacinis resursas (2006 metais)

Iš 4 paveikslo matyti, kad pagal amžiaus vidurkį lokomotyvai 2M62 buvo beveik išnaudoję savo amortizacinį resursą, o lokomotyvai M62 buvo viršiję savo amortizacinį resursą vidutiniškai 6 metais.

1.2. Šilumvežių 2M62 neplaninių remontų analizė 2005 metais

Labai aktualu, kad traukos riedmenys visuomet būtų techniškai tvarkingi ir patikimi (retai gendantys) eksploatuoti ir užtikrintų traukai reikiamą šilumvežių galingumą (Steišūnas *et al.* 2012). Transporto priemonių eksploatacijos patikimumui užtikrinti plačiai taikoma planinė profilaktinė remontų sistema, padedanti sumažinti avarinių prastovų skaičių (Lingaitis 2000). Norint, kad lokomotyvas dirbtų kuo ilgiau be gedimų, kad būtų palaikomas pakankamas jo patikimumas, atliekama techninė priežiūra (TP) ir einamieji remontai (ER), kurie atliekami periodiškai, atsižvelgiant į ridą ir eksploatacijos trukmę. Šie remontai ir techninė priežiūra yra planiniai, kurie trunka nustatytą laiką ir jų metu atliekami instrukcijose nustatyti darbai. Racionaliai organizuoti planiniai remontai ir gera jų atlikimo kokybė padeda išvengti neplaninių remontų ir su jais susijusių išlaidų. Neplaninių remontų trukmė ir darbų pobūdis iš anksto nežinomi. Jie padaro daug žalos trukdydami normalų traukinių eismą, sunaudoja neplanuotų materialinių išteklių, sugaištama daug laiko juos remontuojant ir įjungiant atgal į eksploataciją. Analizuojant 1.1. poskyrį galima numanyti, kad neplaninių remontų pagrindinė priežastis – pasibaigęs lokomotyvų amortizacinis resursas. Kad ir kaip gerai būtų atliekamas TP ir ER lokomotyvo amortizacinis resursas nėra atkuriamas visu 100 %.

Analizuojant Vilniaus lokomotyvų depo riedmenų 2005 m. neplaninius remontus akivaizdu, kad didžioji dauguma gedimų tenka 2M62 šilumvežiams – net 72 %, o kiti pasiskirsto taip: M62 – 9,0 %, TEP60 – 6,0 %, TEM2 – 5 %, ČME3 – 4,0 % (žr. 5 pav.).

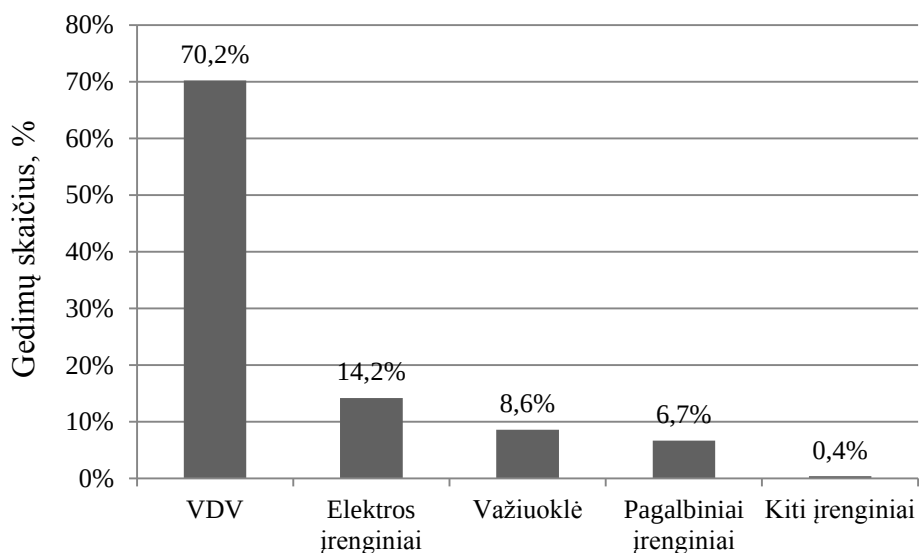


5 pav. Vilniaus lokomotyvų depe 2005 m. šilumvežiams atlikti neplaniniai remontai

Iš 5 pav. matyti, kad prekinį lokomotyvų neplaniniai remontai sudaro net 81 % visų lokomotyvų neplaninių remontų.

Žinant lokomotyvų amžių ir jo amortizacinį resursą, galima numanyti, kad kiekvienais metais šilumvežių gedimų dažnumas tik didės.

2M62 serijos lokomotyvuose buvo sumontuoti 14D40 vidaus degimo varikliai, o atliekant šilumvežio kapitalinį remontą, dalis senų variklių pakeista į tos pačios gamyklos naujesnius 5-26DG vidaus degimo variklius.



6 pav. 2M62 serijos šilumvežių 2003-2005 m. įvykusių gedimų skaičius

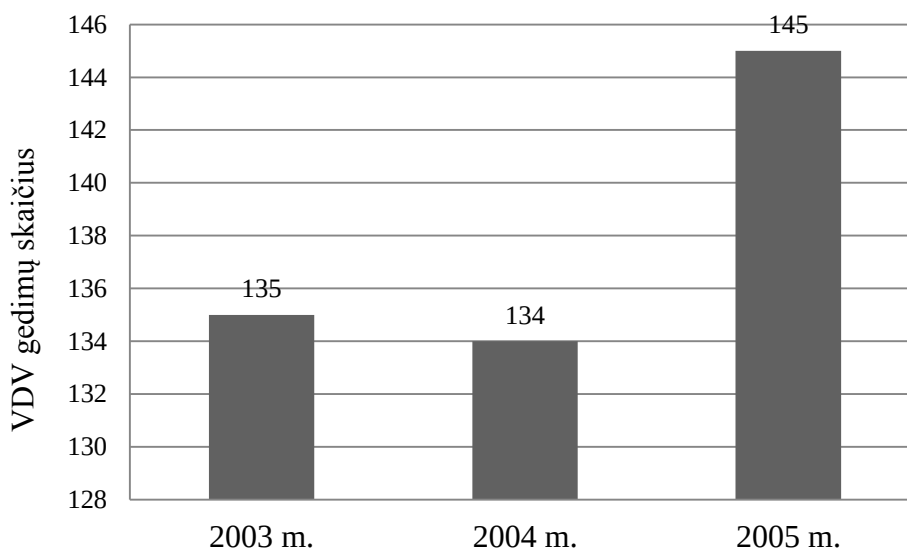
2M62 serijos lokomotyvui buvo būdingi dyzelinių variklių 14D40 gedimai. Tai sudarė apie 70,2 % visų lokomotyvo gedimų.

1 lentelė. Variklio 14D40 gedimai, dėl kurių lokomotyvai stovėjo neplaniniuose remontuose (2003-2005 m.)

Eil.Nr.	Mazgai	2003 m.	2004 m.	2005 m.
1	Stūmoklinė – švaistiklinė grupė	100	118	118
2	Degalų tiekimo sistema	15	23	27
3	Aušinimo sistema	14	4	2
4	Oro tiekimo sistema	-	3	11
	Iš viso	135	134	145

Vidaus degimo variklio mazgų gedimų skaičius nurodytas 1 lentelėje, kurioje 2-ame stulpelyje nurodyti sugedę mazgai, 3, 4, 5-gedimų skaičius nuo 2003 iki 2005 metų. Nagrinėjant 1 lentelę matyti, kad dažniausiai gendantys vidaus degimo variklio mazgai yra stūmoklinė – švaistiklinė grupė. Jos gedimai sudarė net apie 81 % visų variklio gedimų. Šios grupės remontas

užtrunka ilgą laiką, reikia brangių ir kokybiškų detalių bei reikalauja aukštos kvalifikacijos žmonių atliekant stūmoklinės – švaistiklinės grupės remontą.



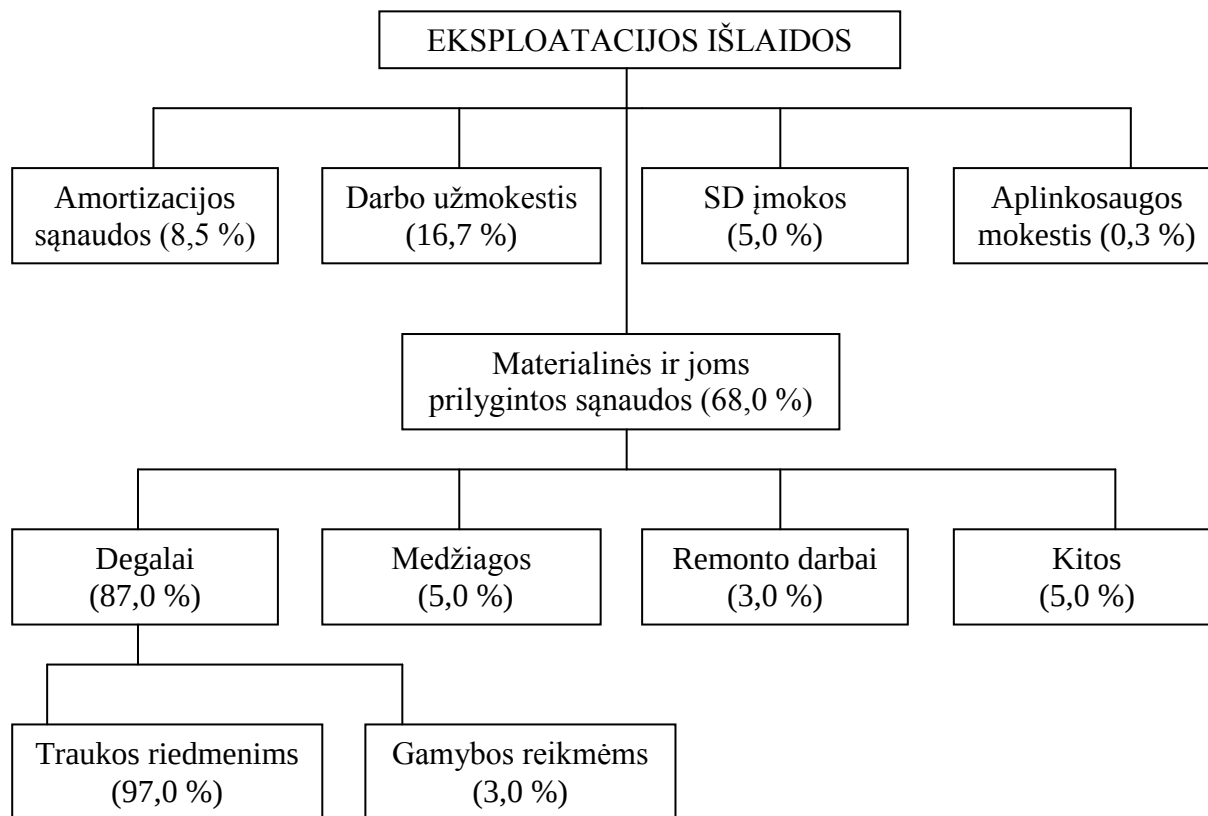
7 pav. Neplaniniai remontai dėl VDV gedimų (2003-2005 m.)

Iš 7 pav. matyti, kad lokomotyvų 2M62 vidaus degimo variklių neplaninių remontų daugėja kiekvienais metais. Gedimus galima nusakyti tokia seka: lokomotyvas senėja – amortizacinis resursas mažėja – vidaus degimo variklių gedimų daugėja.

1.3. Šilumvežių 2M62 eksploatacijos ir remonto sąnaudų analizė

Norint modernizuoti ar keisti šilumvežius naujais traukos riedmenimis, labai svarbi yra prekinų šilumvežių degalų, alyvos ir remonto sąnaudų analizė. Taip pat griežtinant aplinkosaugos reikalavimus būtina atsižvelgti į išmetamųjų dujų kiekį.

Lokomotyvų eksploatacijos sąnaudos priklauso nuo sąstato masės, važiavimo greičio, atliktos techninės priežiūros ir einamojo remonto kokybės, techninę priežiūrą bei einamąjį remontą atliekančio personalo kvalifikacijos ir kt.



8 pav. Eksploatacijos išlaidų schema

Kaip matyti iš 8 paveikslą schemos, traukos riedmenų parko eksploatacijos išlaidas sudaro: materialinės ir joms prilygintos sąnaudos (68,0 %), nusidėvėjimo (amortizacijos) sąnaudos (8,5 %), darbo užmokestis (16,7 %), socialinio draudimo įmokos (5,0 %), aplinkosaugos mokestis (0,3 %). Materialines ir joms prilygintas sąnaudas sudaro: degalai (87,0 %), medžiagos (alyva, smėlis) (5,0 %), remonto darbai (3,0 %) ir kitos (5,0 %). Traukos riedmenys degalų sunaudoja 97,0 % visų degalų, o gamybos reikmėms sunaudojama apie 3,0 % degalų.

Degalų sąnaudos yra esminis traukos riedmens darbo kokybės rodiklis. Jos pateikiamos kaip santykinis dydis, t. y. degalų kiekis, sunaudojamas 10 tūkst. tkm. Šį dydį vadiname lyginamosiomis degalų sąnaudomis.

Degalų sąnaudos, kurių reikia sąstatui traukti, priklauso nuo šių veiksnių: kelio profilio, sąstato masės, sąstato ašių skaičiaus, važiavimo greičio, lokomotyvo galingumo, valdymo režimo, ekonomiško, sustojimų skaičiaus. Lokomotyvų degalų sąnaudos priklauso ir nuo variklio tuščiosios eigos sąnaudų (Kosovski *et al* 2013).

Lyginamosios degalų sąnaudos d , skaičiuojamos atliktam transportiniam darbui $Q \cdot S$, yra lygios:

$$d = D/(Q \cdot S) \cdot 10^4; \quad (1)$$

čia:

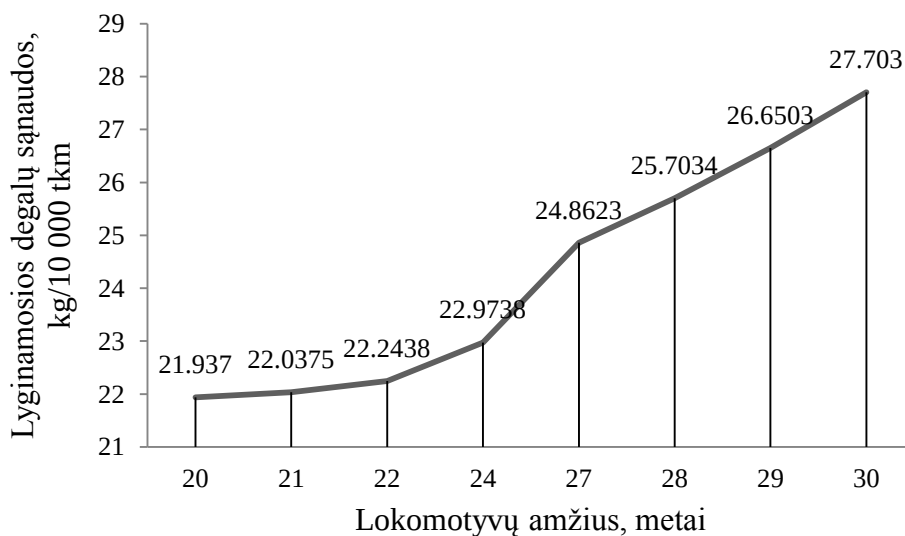
d – lyginamosios degalų sąnaudos, $\text{kg}/10^4 \text{ tkm}$ bruto;

Q – pervežtų krovinių svoris, t;

S – bendroji rida, km;

D – bendros degalų sąnaudos.

Remiantis Vilniaus lokomotyvų depo surinktais statistiniais duomenimis (atliktas darbas (tkm) ir degalų sąnaudos (kg)) galima išnagrinėti, kaip kinta lokomotyvo 2M62 degalų sąnaudos pagal lokomotyvo amžių.



9 pav. 2M62 serijos lokomotyvų 14D40 variklių lyginamųjų degalų sąnaudų kitimas

Iš 9 paveikslą diagramos matoma, kad pasibaigus lokomotyvo 2M62 eksploataciniam resursui, kuris lygus 25 metams, degalų sąnaudos smarkiai padidėja. Tarp 20-ties ir 30-ties metų senumo 2M62 lokomotyvų lyginamųjų degalų sąnaudų yra 5,7 $\text{kg}/10$ tūkst. tkm skirtumas, tai sudaro apie 20,8 % padidėjimą.

Eksplloatuojant traukos riedmenis naudojami ne tik degalai, bet ir kitos eksploatacinės

medžiagos: variklinė alyva, tirštieji tepalai, aušinimo skystis ir kt. Variklinės alyvos sąnaudos charakterizuoja techninę lokomotyvų būklę ir nebūtinai priklauso nuo lokomotyvų amžiaus. Naujas, tos pačios serijos lokomotyvas, gali sunaudoti daugiau alyvos negu senas lokomotyvas. Variklinės alyvos sąnaudos daugiau priklauso nuo techninės priežiūros, remonto kokybės, naudojamų atsarginių detalių kokybės, taip pat nuo eksploatacijos sąlygų.

Alyvos lyginamosios sąnaudos a skaičiuojamos pagal formulę:

$$a = A / (Q \cdot S) \cdot 10^4; \quad (2)$$

čia:

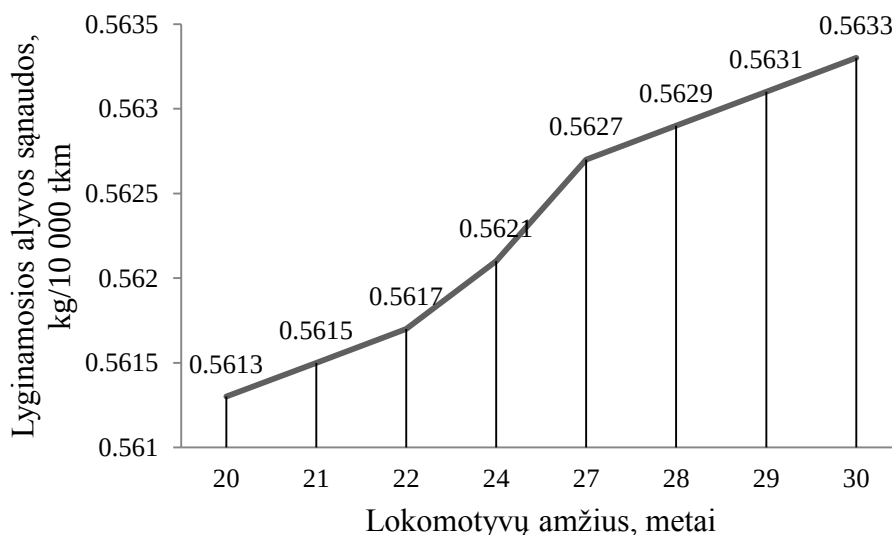
a – lyginamosios alyvos sąnaudos, $\text{kg}/10^4 \text{ tkm}$ bruto;

Q – pervežtų krovinių svoris, t;

S – bendroji rida, km;

A – bendros alyvos sąnaudos; kg.

Iš 10 paveikslą diagramos matyti, kad skirtingo amžiaus 2M62 serijos lokomotyvų alyvos lyginamosios sąnaudos skiriasi nežymiai. Tarp 20-ties ir 30-ties metų senumo 2M62 lokomotyvų lyginamosios alyvos sąnaudų skirtumas per metus sudaro apie $0,002 \text{ kg}/10\,000 \text{ tkm}$ alyvos, o tai sudaro apie 0,35 % padidėjimą. (2005 metų duomenimis, vienas 2M62 serijos lokomotyvas atliko 366,67 mln. tkm bruto darbą.) Šis kiekis nėra reikšmingas.

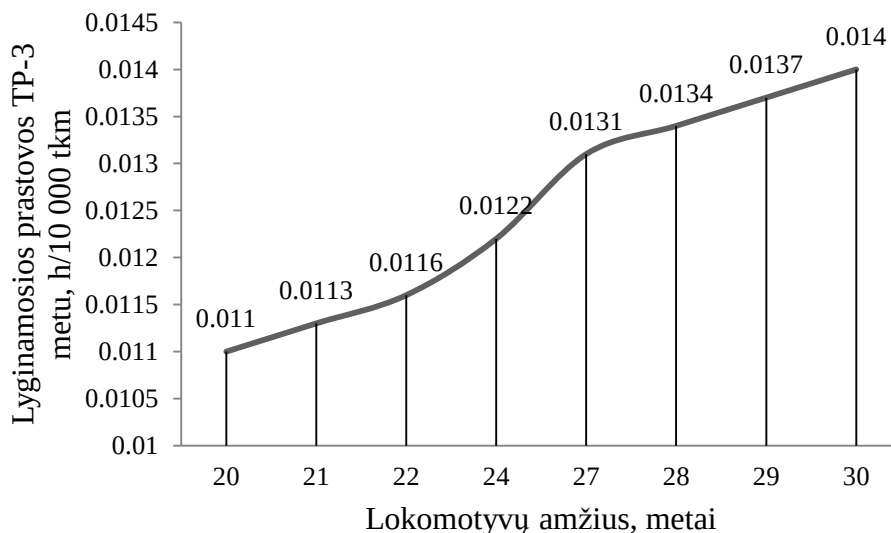


10 pav. 2M62 serijos variklių 14D40 skirtingo amžiaus lokomotyvų lyginamosios alyvos sąnaudos

Kiekvieno riedmens (lokomotyvo, vagono) techninę būklę galima apibūdinti daugybe kokybinių ir kiekybinių parametrų. Eksploatuojant struktūriniai parametrai kinta ir blogėja tam

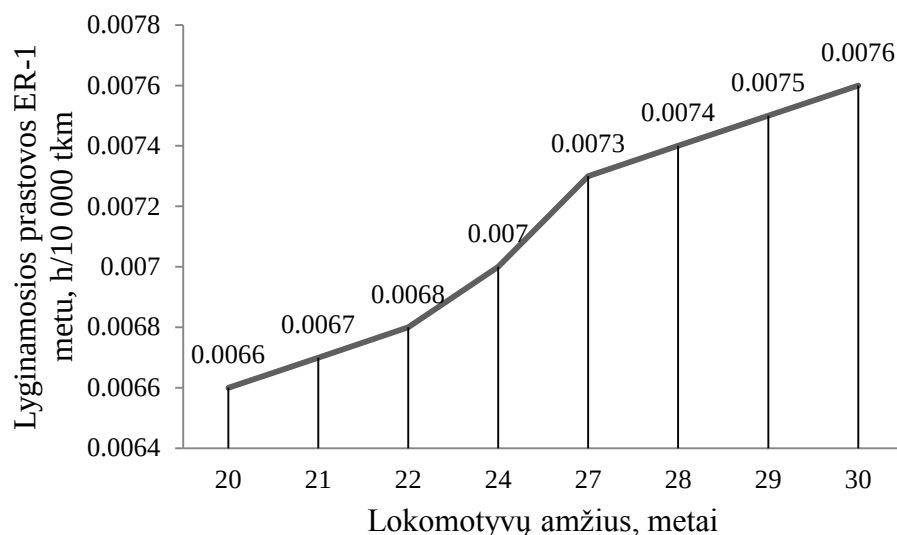
tikrų mazgų, agregatų bei viso objekto būklė. Kai kada tai turi neigiamos įtakos ekonomiškam riedmenų eksploatavimui, eismo ir krovinių vežimo saugumui, blogėja techniniai bei ekonominiai agregatų veikimo rodikliai (Lingaitis 2000).

Lokomotyvui artėjant prie amortizacinio resurso ribos, didėja techninės priežiūros (TP) ir einamųjų remontų (ER) prastovos laikas bei didėja remontuojamų agregatų bei mazgų skaičius.



11 pav. 2M62 serijos skirtingo amžiaus lokomotyvų lyginamosios techninės priežiūros TP-3 prastovų trukmės

Iš 11 paveikslo diagramos matyti, kad skirtingo amžiaus 2M62 serijos lokomotyvų lyginamosios techninės priežiūros TP-3 prastovos didėja, didėjant lokomotyvo amžiui. Tai galima paaiškinti, kad pasibaigus lokomotyvo amortizaciniam resursui, reikia atlikti daugiau darbų norint priartinti lokomotyvą prie buvusių eksploatacinių savybių. Tarp 20-ties ir 30-ties metų senumo 2M62 lokomotyvų lyginamųjų TP-3 prastovų sąnaudų skirtumas per metus sudaro apie 0,03 h/10 000 tkm, o tai sudaro apie 21% padidėjimą.



12 pav. 2M62 serijos skirtingo amžiaus lokomotyvų lyginamosios prastovos ER-1 remonte

Iš 12 paveikslo diagramos matoma, kad skirtingo amžiaus 2M62 serijos lokomotyvų lyginamosios einamojo remonto ER-1 prastovos didėja, didėjant lokomotyvo amžiui. Tai galima paaiškinti, kad pasibaigus lokomotyvo amortizaciniam resursui, reikia atlikti daugiau darbų norint priartinti lokomotyvą prie buvusių eksploatacinių savybių. Tarp 20-ties ir 30-ties metų senumo 2M62 lokomotyvų lyginamųjų ER-1 prastovų sąnaudų skirtumas per metus sudaro apie 0,001 h/10 000 tkm, o tai sudaro apie 13 % padidėjimą.

Skyriaus išvados

1. 2006 metais 57 % 2M62 serijos lokomotyvų buvo senesni nei 24 metai.
2. 2006 metais 2M62 serijos lokomotyvai buvo beveik išnaudoję savo amortizacinį resursą. Amžiaus vidurkis – 23 metai, amortizacinis amžius – 25 metai.
3. 2003-2005 metais 70,2 % visų lokomotyvų 2M62 gedimų sudarė vidaus degimo variklio gedimai.
4. 2003-2004 metais šilumvežių 2M62 vidaus degimo variklių gedimų skaičius išliko pastovus, bet 2005 metais VDV gedimų skaičius padidėjo 8 %.
5. Lokomotyvų 2M62 amortizacinis resursas buvo išnaudotas, vadinasi, 14D40 variklių gedimų skaičius kiekvienais metais būtų tik didėjęs.
6. Tarp 20-ties ir 30-ties metų senumo 2M62 lokomotyvų lyginamųjų degalų sąnaudų yra 5,7 kg/10 000 tkm skirtumas, tai yra apie 20,8 % padidėjimas kiekvienais metais.
7. Tarp 20-ties ir 30-ties metų senumo 2M62 lokomotyvų lyginamųjų alyvos sąnaudų skirtumas per metus sudaro apie 0,002 kg/10 000 tkm alyvos, o tai yra apie 0,35 % padidėjimas kiekvienais metais.
8. Tarp 20-ties ir 30-ties metų senumo 2M62 lokomotyvų lyginamųjų TP-3 prastovų sąnaudų skirtumas per metus sudaro apie 0,03 h/10 000 tkm, o tai yra apie 21 % padidėjimas kiekvienais metais.
9. Tarp 20-ties ir 30-ties metų senumo 2M62 lokomotyvų lyginamųjų ER-1 prastovų sąnaudų skirtumas per metus sudaro apie 0,001 h/10 000 tkm, o tai yra apie 13 % padidėjimas kiekvienais metais.
10. Atsižvelgus į eksploatacinių ir remonto rodiklių didėjimą, esant tokiai situacijai toliau eksploatuoti šilumvežius 2M62 buvo ekonomiškai nenaudinga.

2. VARIKLIŲ CAT3512B PANAUDOJIMO LOKOMOTYVUOSE TIKSLINGUMAS

Kadangi šilumvežių pagrindinės eksploatacijos sąnaudos yra degalai, tai pagrindinis modernizavimo tikslas yra degalų sąnaudų mažinimas. Tam būtina buvo parinkti ekonomišką, patikimą vidaus degimo variklį.

2 lentelė. Šilumvežių 2M62 su skirtingais VDV eksploatacijos sąnaudų palyginimas

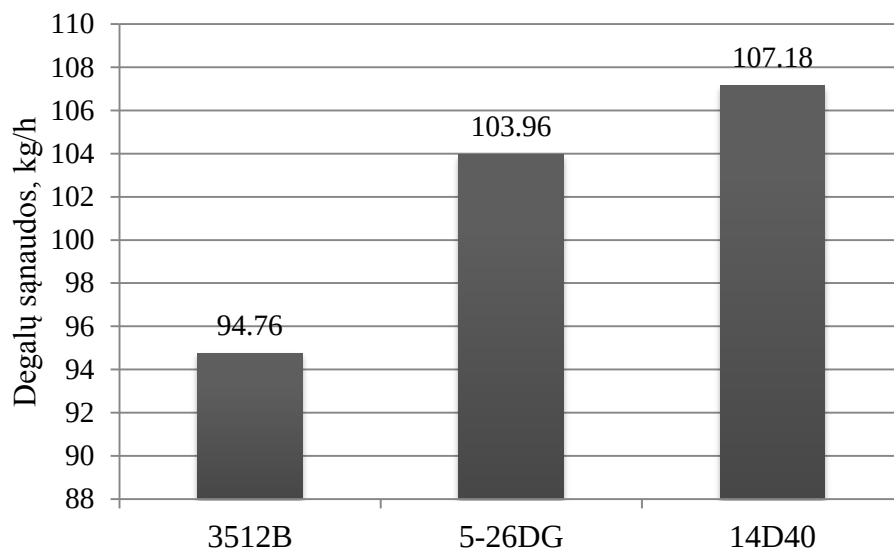
Parametras	Šilumvežio 2M62 vidaus degimo variklio modelis		
Vidaus degimo variklis, modelis	14D40	5-26DG	CAT3512B
Maksimalus įmanomas vežti traukinio svoris, t	3800	3800	5000
Vidutinis pasiekiamas galingumas, kW	460	460	530
Sąlyginis degalų suvartojimas atsižvelgus į apkrovos režimus, g/kWh	233	226	206
Degalų sąnaudos, kg/h	107,18	103,96	94,76
Alyvos sunaudojimas nuo degalų sunaudojimo kiekio, %	3,5	1,0	0,3
Alyvos sąnaudos, kg/h	3,75	1,04	0,28
Techninės priežiūros TP-3 trukmė, h	99,80	81,27	68,24
Remonto trukmė, h	223,51	170,00	134,00

2 lentelėje pateikiami pagrindiniai šilumvežių 2M62 eksploataciniai rodikliai, kurioje 1-ame stulpelyje parametras, o 2, 3, 4-ame skirtingų vidaus degimo variklių modelių parametro vertė. Iš 4 lentelės duomenų matyti, kad lokomotyvas su varikliu CAT3512B gali tempti didesnę traukinio svorį, tuo pačiu naudodamas mažiau eksploatacijos sąnaudų.

3 lentelė. Šilumvežių 2M62 su skirtingais VDV lyginamųjų sąnaudų palyginimas

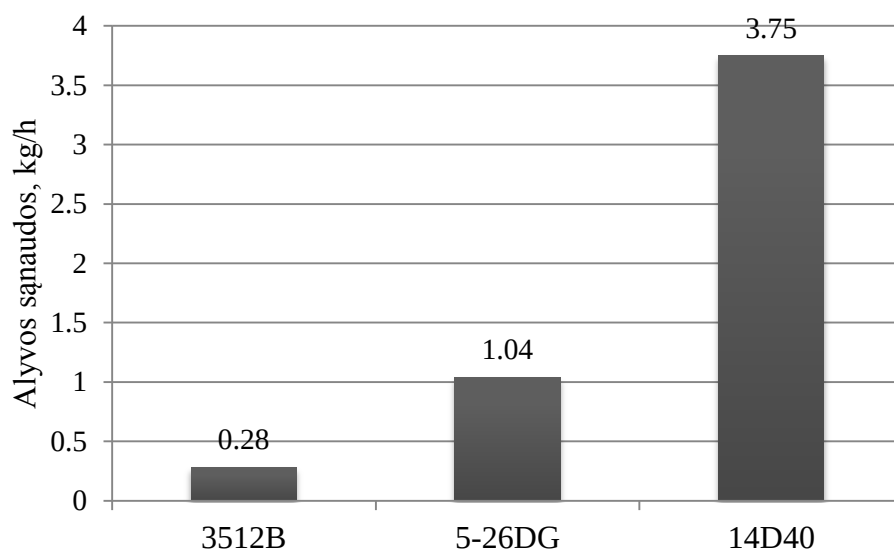
Parametras	Šilumvežio 2M62 vidaus degimo variklio modelis		
Vidaus degimo variklis, modelis	14D40	5-26DG	CAT3512B
Lyginamosios išlaidos degalams, Lt/10 000 tkm	59,75	47,80	41,83
Lyginamosios išlaidos alyvai, Lt/10 000 tkm	1,14	0,47	0,44
Lyginamosios išlaidos dėl prastovų remonte, Lt/10 000 tkm	2,00	1,66	1,39

3 lentelėje pateikiama lyginamosios šilumvežių 2M62 eksploatacijos sąnaudos, kurioje 1-ame stulpelyje parametras, o 2, 3, 4-ame skirtingų vidaus degimo variklių modelių lyginamųjų sąnaudų vertė. Iš 3 lentelės matyti, kad variklis CAT3512B yra ekonomiškiausias, kadangi lyginamųjų išlaidų tenka mažiausiai.



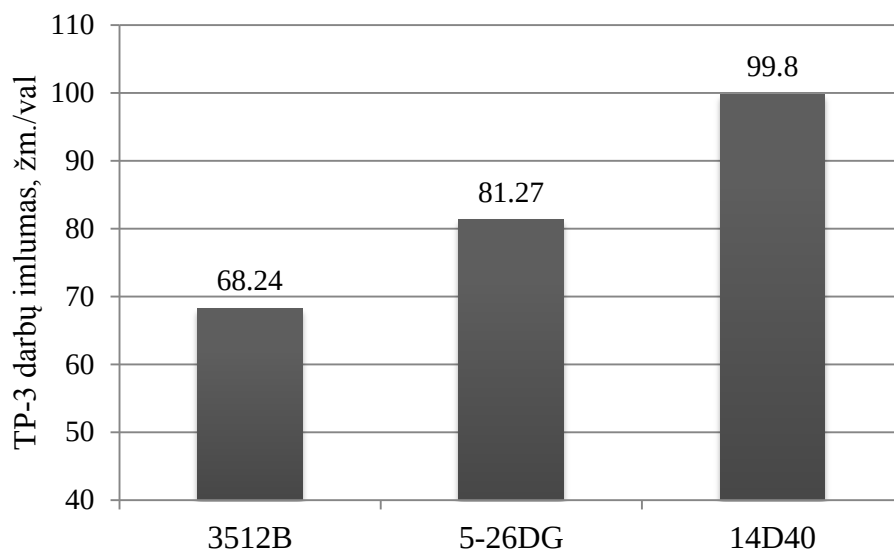
13 pav. 2M62 serijos šilumvežių VDV 14D40, 5-25DG ir CAT3512B degalų sąnaudos

13 paveiksle parodyta, kad modernizuotas lokomotyvas 2M62M degalų sunaudoja 9 % mažiau už remotorizuotą lokomotyvą, o už 2M62 lokomotyvą net 12 % mažiau.



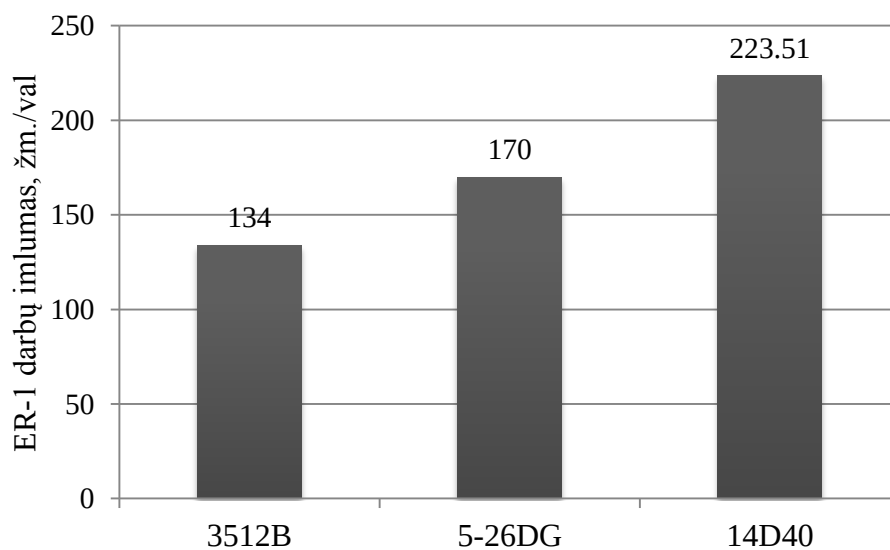
14 pav. 2M62 serijos šilumvežių VDV 14D40, 5-26DG ir CAT3512B alyvos sąnaudos

14 paveiksle parodyta, kad modernizuotas lokomotyvas 2M62M alyvos sunaudoja apie 3,5 kartų mažiau už remotorizuotą lokomotyvą, o už 2M62 lokomotyvą net apie 13 kartų mažiau alyvos.



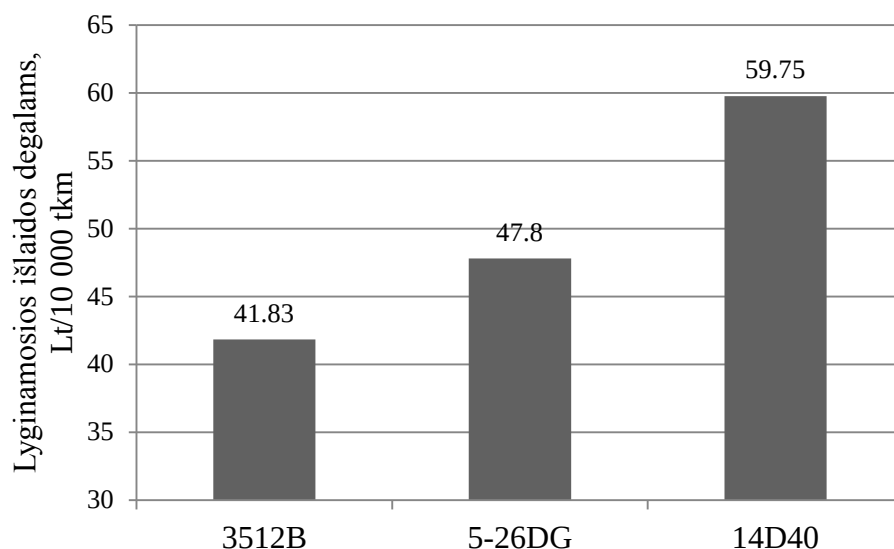
15 pav. 2M62 serijos šilumvežių VDV 14D40, 5-26DG ir CAT3512B techninės priežiūros TP-3 darbų imlumas

Iš 15 paveikslo matyti, kad modernizuoto lokomotyvo 2M62M techninės priežiūros TP-3 trukmė yra 16 % trumpesnė už remotorizuoto lokomotyvo, o už 2M62 lokomotyvo net 31 % trumpesnė.



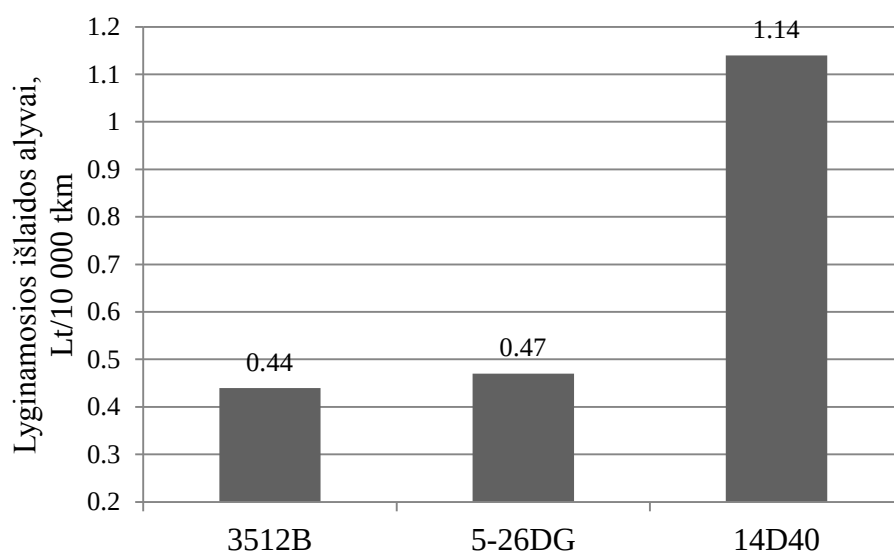
16 pav. 2M62 serijos šilumvežių VDV 14D40, 5-26DG ir CAT3512B einamojo remonto ER-1 darbų imlumas

Iš 16 paveikslo matyti, kad modernizuoto lokomotyvo 2M62M einamojo remonto ER-1 trukmė yra 21% trumpesnė už remotorizuoto lokomotyvo, o už 2M62 lokomotyvo net 40 % trumpesnė.



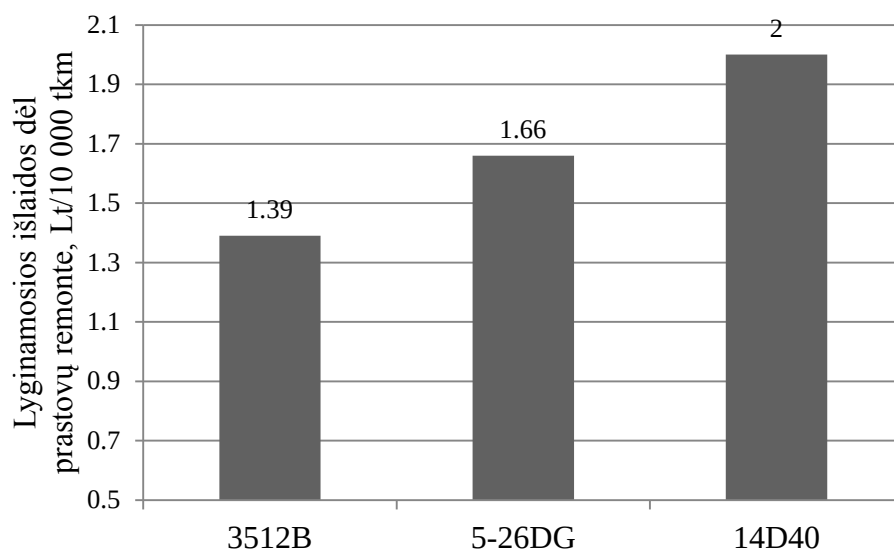
17 pav. 2M62 serijos šilumvežių VDV 14D40, 5-26DG ir CAT3512B lyginamosios išlaidos degalams

Iš 17 paveikslo matyti, kad modernizuoto lokomotyvo 2M62M lyginamosios išlaidos degalams yra 12 % mažesnės už remotorizuoto lokomotyvo, o už 2M62 lokomotyvo mažesnės net 30 %.



18 pav. 2M62 serijos šilumvežių VDV 14D40, 5-26DG ir CAT3512B lyginamosios išlaidos alyvai

Iš 18 paveikslo matyti, kad modernizuoto lokomotyvo 2M62M lyginamosios išlaidos alyvai yra 6 % mažesnės už remotorizuoto lokomotyvo, o už neremontuoto lokomotyvo mažesnės net 61 %.



19 pav. 2M62 serijos šilumvežių VDV 14D40, 5-26DG ir CAT3512B lyginamosios išlaidos prastovų remonte metu

Iš 19 paveikslo matyti, kad modernizuoto lokomotyvo 2M62M lyginamosios išlaidos dėl prastovų remonte yra 16 % mažesnės už remotorizuoto lokomotyvo, o už 2M62 lokomotyvo mažesnės net 30 %.

Iš pateiktos informacijos akivaizdu, kad modernizuoto šilumvežio 2M62M su CAT3512B vidaus degimo varikliu eksploatacijo sąnaudos yra gerokai mažesnės, nei neremontuoto šilumvežio ar šilumvežio, kuriam atliktas KR-2 su 5-26DG varikliu. Daugiausiai sutaupoma degalų, alyvos ir techninių priežiūrų bei einamųjų remontų išlaidoms.

Išvados

1. Šilumvežio 2M62 su CAT3512B varikliu degalų valandinės sąnaudos 9 % mažesnės už variklio 5-26DG ir 12 % mažesnės už variklio 14D40.
2. Šilumvežio 2M62 su CAT3512B varikliu alyvos sąnaudos 3,5 karto mažesnės už variklio 5-26DG ir 13 kartų mažesnės už variklio 14D40.
3. Šilumvežio 2M62 su CAT3512B varikliu techninės priežiūros TP-3 darbų imlumas 16 % mažesnis už variklio 5-26DG ir 31 % mažesnis už variklio 14D40.
4. Šilumvežio 2M62 su CAT3512B varikliu einamojo remonto ER-1 darbų imlumas 21 % mažesnis už variklio 5-26DG ir 40 % mažesnis už variklio 14D40.
5. Šilumvežio 2M62 su CAT3512B varikliu lyginamosios išlaidos degalams yra 12 % mažesnės už variklio 5-26DG, 30 % mažesnės už variklio 14D40.

6. Šilumvežio 2M62 su CAT3512B varikliu lyginamosios išlaidos alyvai yra 6 % mažesnės už variklio 5-26DG, 61 % mažesnės už variklio 14D40.
7. Šilumvežio 2M62 su CAT3512B varikliu lyginamosios išlaidos prastovoms remonte yra 16 % mažesnės už variklio 5-26DG, 30 % mažesnės už variklio 14D40.

3. LOKOMOTYVŲ 2M62M VARIKLIŲ CAT3512B GEDIMŲ ANALIZĖ

3.1. Lokomotyvų 2M62M VDV gedimų apimties garantiniu laikotarpiu

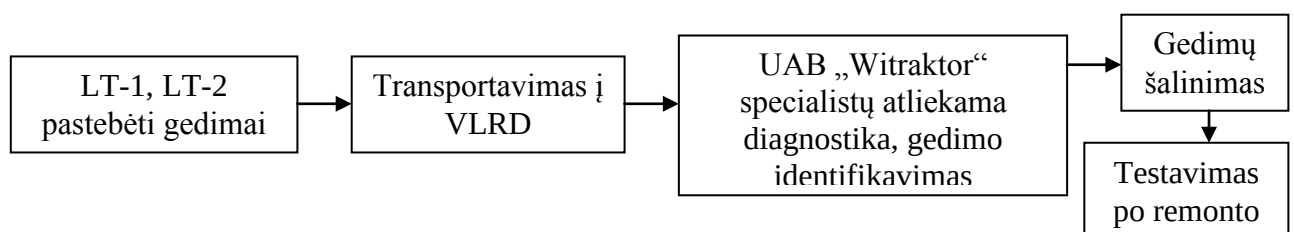
Prekinio lokomotyvo 2M62 vidaus degimo variklis 14D40 buvo vienas iš mažiausiai patikimų šilumvežio agregatų. Didžiausią gedimų dalį sudarė stūmoklinė – švaistiklinė grupė. Daugeliu atvejų pagrindinių variklių detalių – cilindrų ir stūmoklių resursai lemia viso variklio darbo resursą (Pikūnas *et al.* 1999). Todėl modernizuojant lokomotyvus buvo labai svarbu parinkti patikimus, kokybiškus vidaus degimo variklius.

Gaminio patikimumas – tai objekto, dirbančio nustatytu režimu ir nustatytomis darbo, techninės priežiūros sąlygomis, savybė nustatytą laiką atlikti savo funkcijas, išlaikant nustatytas eksploatacines savybes (Vyšniakas *et al.* 2005). AB „Lietuvos geležinkeliai“, naudodami modernizacijai CAT3512B vidaus degimo variklius, tikėjosi, kad jie pasižymės pagrindiniais patikimumo kriterijais: negendamumu, darbingumu, pataisomumu, ilgaamžiškumu ir išsilaikymu.

Negendamumas – tai objekto gebėjimas nepertraukiamai išlaikyti tam tikrą savo darbingumą. Darbingumas – tai objekto būseną, kai jis gali atlikti savo funkciją. Pataisomumas – tai objekto savybė, leidžianti numatyti, aptikti ir pašalinti jo gedimus, palaikyti ir atkurti darbingumą, atliekant remontą arba techninę priežiūrą. Ilgaamžiškumas – tai objekto savybė išlikti darbingam iki susidėvėjimo su pertraukomais remontais ir techninei priežiūrai. Išsilaikymas – tai objekto savybė išlaikyti savo darbingumą sandėliuojant ar transportuojant (Vyšniakas *et al.* 2005).

Akivaizdu, jei vidaus degimo varikliai pasižymi šiais kriterijais, lokomotyvą galima eksploatuoti ilgą laiką be didelių neplaninių remontų. Vidaus degimo variklių patikimumas, negendamumas labai priklauso ir nuo eksploatacijos, aplinkos sąlygų, darbo režimų, techninės priežiūros atlikimo kokybės.

Šilumvežių 2M62M vidaus degimo variklių gedimų tyrimai buvo atlikti UAB „Vilniaus lokomotyvų remonto depas“. Tyrimo metu buvo numatyta kaupti ir apdoroti lokomotyvų 2M62M vidaus degimo variklių CAT3512B gedimus garantiniu laikotarpiu. Kadangi oficialus „Caterpillar“ atstovas Lietuvoje yra UAB „Witraktor“, tai gedimus garantiniu laikotarpiu šalino šios įmonės darbuotojai. Garantinis laikotarpis – 2 metai be ridos apribojimo. 20 paveiksle pavaizduota variklių CAT3512B gedimų identifikavimo ir šalinimo schema garantiniu laikotarpiu.



20 pav. Variklių CAT3512B gedimų identifikavimo ir šalinimo schema

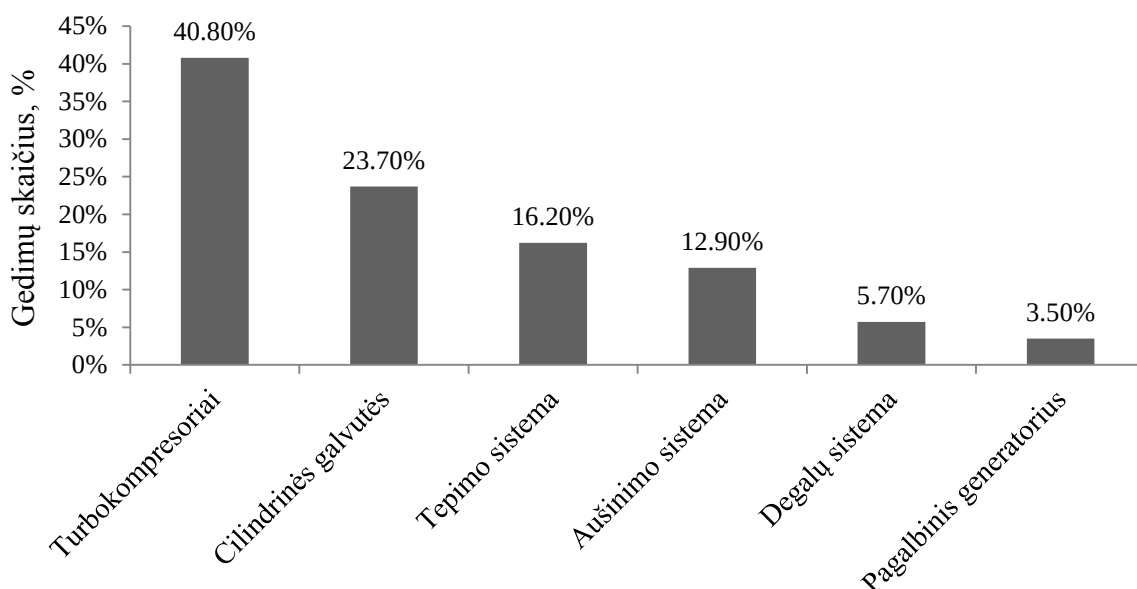
Variklio gedimai buvo nustatomi naudojant kompiuterinę įrangą (CAT ET) bei per vizualinę patikrą. Visi lokomotyvų 2M62M variklių nustatyti gedimai garantiniu laikotarpiu pateikti 1 priede. Išnagrinėjus ir susisteminus 1 priedo duomenis sudaryta 6 lentelė.

4 lentelėje pateikti lokomotyvų 2M62M vidaus degimo variklio CAT3512B mazgų gedimai garantiniu laikotarpiu.

4 lentelė. Lokomotyvų 2M62M VDV CAT3512B grupių gedimai garantiniu laikotarpiu

Gedimų grupė	Gedimų skaičius, vnt	Gedimų skaičius, %
Turbokompresoriai	93	40,8
Cilindrinės galvutės	54	23,7
Tepimo sistema	37	16,2
Aušinimo sistema	23	10,9
Degalų sistema	13	5,7
Pagalbinis generatorius	8	3,5
	Σ228	Σ100

Iš 21 pav. matyti, kad apie 41 % visų variklio CAT3512B gedimų sudarė turbokompresorių gedimai, vadinasi, atliekant TP-3 ir ER-1 būtina skirti daugiau dėmesio šiam mazgui.



21 pav. Lokomotyvų 2M62M VDV CAT3512B gedimų pasiskirstymas

5 lentelėje nurodyti lokomotyvų 2M62M vidaus degimo variklių CAT3512B detalių gedimai garantiniu laikotarpiu. Čia 1-ame stulpelyje sugedusios detalės pavadinimas, 2-ame – gedimų skaičius vienetais, 3-ame – gedimų skaičius procentais.

5 lentelė. Lokomotyvų 2M62M VDV CAT3512B detalių gedimai garantiniu laikotarpiu

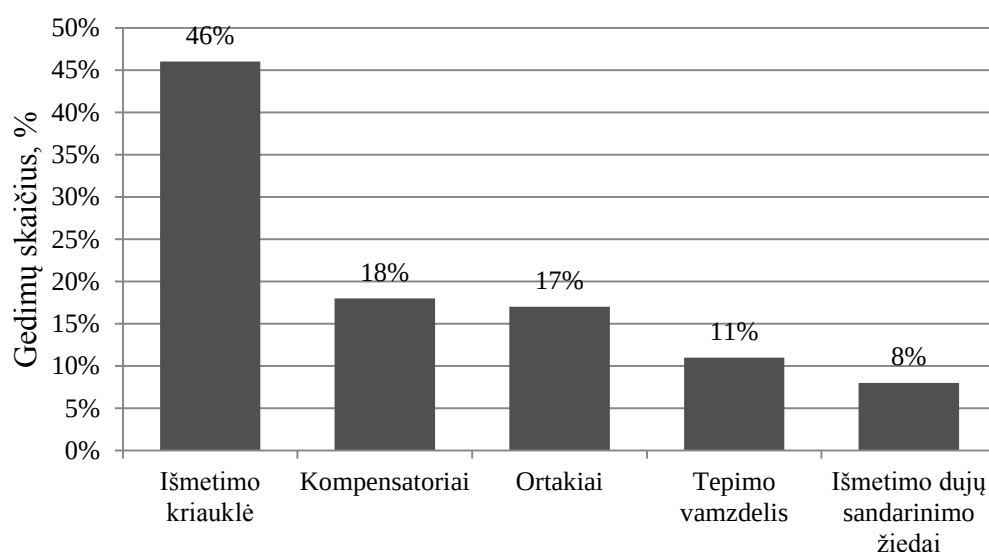
Gedimai	Gedimų skaičius, vnt	Gedimų skaičius, %
Turbokompresorių išmetimo kriauklė	43	18,9
Turbokompresorių kompensatoriai	17	7,5
Cilindrinės galvutės	17	7,5
Turbokompresorių ortakiai	16	7,0
Alkūninio veleno riebokšlis	15	6,6
Alyvos sistemos sandarinimo žiedai	14	6,1
Pirminis degalų siurblys	13	5,7
Turbokompresoriaus tepimo vamzdelis	10	4,4
Vožtuvų tiltelių bazės tarpinė	10	4,4
Cilindrinų galvučių paaukštinimų tarpinė	9	3,9
Termostatai	8	3,5
Pagalbinis generatorius	8	3,5
Vožtuvų tiltelių bazė	8	3,5
Cilindrinų galvučių tarpinė	8	3,5
Aušinimo sistemos sandarinimo žiedai	7	3,1
Turbokompresorių išmetimo dujų sandarinimo žiedai	7	3,1
Pagalbinio generatoriaus pavaros sandarinimo riebokšlis	4	1,8
Aušinimo skysčio siurblys	4	1,8
Alyvos slėgio daviklis	4	1,8
Aušinimo skysčio temperatūros daviklis	4	1,8
Vožtuvų spyruoklė	2	0,9
	Σ228	Σ100%

Garantiniu laikotarpiu degalų sistemoje buvo tik pirminio degalų siurblio (naudojamas pripildyti degalams į degalų sistemą) gedimai. Garantiniu laikotarpiu siurblių sugedo 13 vienetų, tai rodo mažą šių siurblių patikimumą, tačiau likusi degalų sistema (purkštukai, transferinis siurblys) nesugedo nė karto. Tai rodo, kad variklių CAT3512B degalų sistema yra kokybiškai

suprojektuota ir surinkta. Kadangi degalų sistema variklyje CAT3512B yra patikima, tai lemia didesnę degalų ekonomiją ir sklandesnį variklio darbą.

Mažu patikimumu pasižymi pagalbinis variklio generatorius, naudojamas lokomotyvo akumuliatorių reikiamai įtampai (~24 V) palaikyti. Garantiniu laikotarpiu jų sugedo 8 vienetai. Kiti elektrinės dalies komponentai negedo (alyvos slėgio ir aušinimo skysčio jutiklius priskyriau prie alyvos ir aušinimo sistemos).

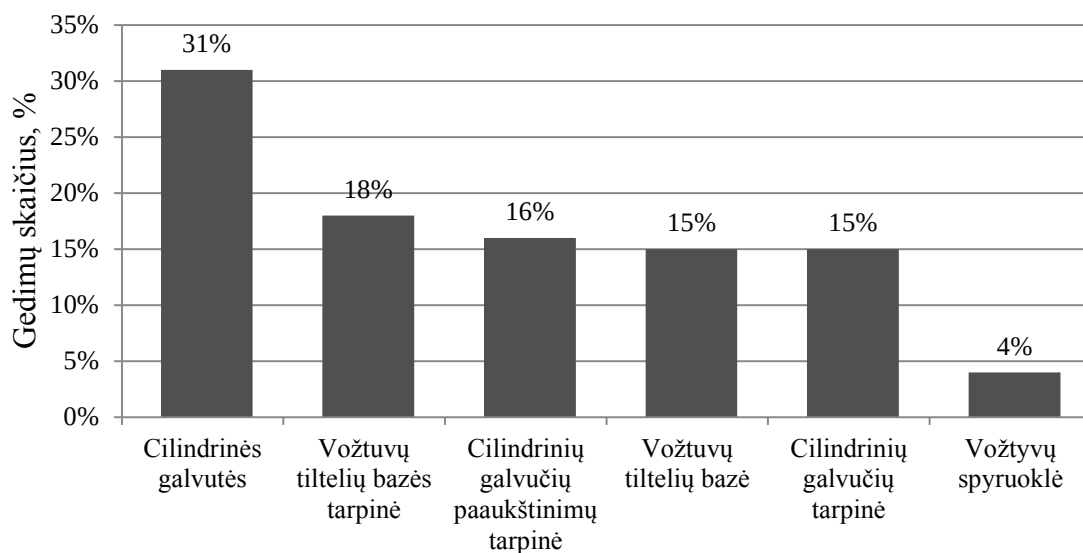
Kadangi garantiniu laikotarpiu nenustatytas nė vienas stūmoklinės – švaistiklinės grupės gedimas, galima daryti išvadą, kad šie vidaus degimo varikliai pasižymi ilgu darbo resursu.



22 pav. Turbokompresorių gedimai

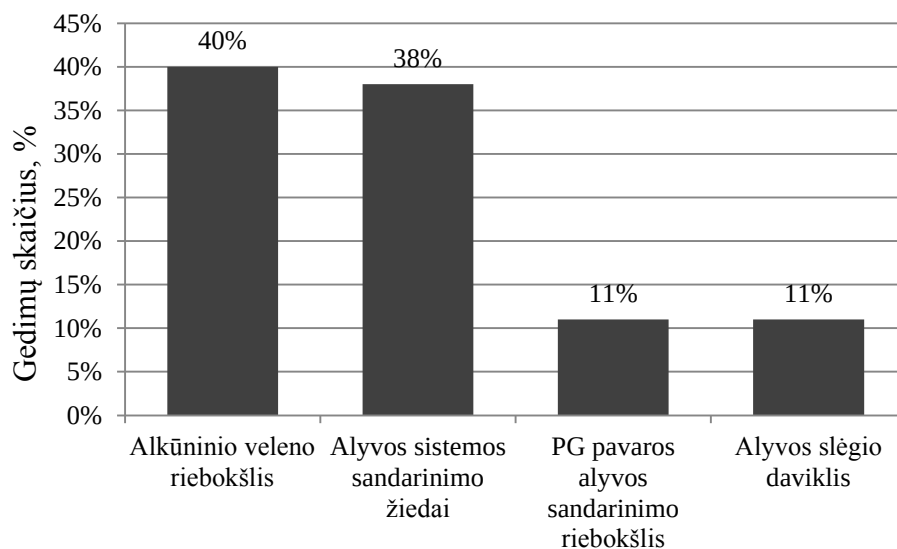
Lokomotyvų 2M62M vidaus degimo variklių daugiausiai gedimų garantiniu laikotarpiu sudarė turbokompresorių gedimai. Nagrinėjant 22 pav. matyti, kad net 46 % visų turbokompresorių gedimų sudarė išmetimo kriauklės gedimai. Galima daryti išvadą, kad dar projektuojant variklį buvo padaryta klaida. Dėl šios priežasties gamyklos nurodymu buvo pakeistos visų lokomotyvų variklių turbokompresorių išmetimo kriauklės, net tiems varikliams, kurie išvengė šių gedimų. Naujausiomis žiniomis, naujesnės serijos variklių CAT3512C, kurie montuojami į manevrinius lokomotyvus TEM TMH, šių gedimų nebepasitaiko, nors techniniai parametrai yra vienodi. Variklių CAT3512C turbokompresoriai yra pakeistos konstrukcijos. Tai padidino šių variklių turbokompresorių patikimumą.

Nagrinėjant 23 pav. matyti, kad cilindrinų galvučių grupės daugiausia sudaro cilindrinų galvučių gedimai, tai sudaro 31 % visų šios grupės gedimų. Palyginti tai didelis skaičius, nes cilindrinė galvutė yra viena iš svarbiausių detalių. Cilindrinė galvutė turi pasižymėti aukštu patikimumo laipsniu, mažu gendamumu. Norint remontuoti cilindrinę galvutę, reikia turėti aukštos kvalifikacijos specialistų.



23 pav. Cilindrinė galvutės mazgo gedimai

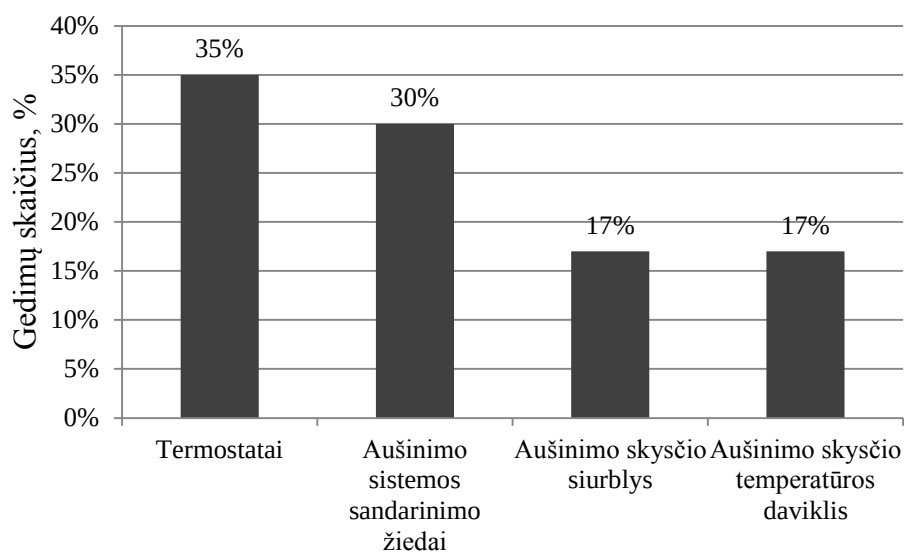
Korporacijos „Caterpillar“ oficialusis atstovas Lietuvoje UAB „Witraktor“ cilindrinė galvutės gedimus šalino, keisdami cilindrinės galvutės naujomis. Tai brangus ir neracionalus sprendimas. Toks sprendimas priimtas, nes Lietuvoje nėra reikiamų sąlygų cilindrinė galvutės remontui, kad remontas būtų atliktas technologiškai teisingai. Žvelgiant iš AB „Lietuvos geležinkeliai“ pozicijos, šis sprendimas juos tenkina, nes atkuriamas cilindrinės galvutės resursas.



24 pav. Tepimo sistemos elementų gedimai

Iš 24 pav. matyti, kad alyvos sistemos pagrindinius gedimus sudarė dvi grupės: alkūninio veleno alyvos pralaidumas – 40 %, alyvos sandarinimo žiedų pralaidumas – 38 % visų alyvos sistemos grupės gedimų. Jei alyvą leidžia priekinis alkūninio veleno riebokšlis, remontas atliekamas greitai. Jei alyvą leidžia galinis alkūninio veleno riebokšlis, remontas reikalauja daug

laiko resurso, nes reikia nukelti lokomotyvo stogą, atjungti pagrindinį generatorių bei jį atitraukti nuo variklio. Šis remontas atliekamas naudojant spec. įrankius. Alyvos sandarinimo žiedų keitimas yra pigiai ir greitai pašalinamas gedimas.



25 pav. Aušinimo sistemos mazgų gedimai

Iš 25 pav. matyti, kad aušinimo sistemos pagrindinius gedimus sudarė dvi grupės: termostatų gedimai – 35 %, aušinimo sistemos sandarinimo žiedų pralaidumas – 30 % visų aušinimo sistemos grupės gedimų. Pagrindiniai aušinimo sistemos gedimai šalinami greitai. Nereikalauja spec. įrankių ar specifinių aptarnaujančio personalo žinių. Nuo šios sistemos tinkamo funkcionavimo labai priklauso variklio eksploatacinės savybės, todėl šios sistemos gedimus būtina šalinti nedelsiant.

Išvados:

1. Garantiniu laikotarpiu nenustatytas nė vienas stūmoklinės – švaistiklinės grupės gedimas, galima daryti išvadą, kad CAT3512B vidaus degimo varikliai pasižymi ilgu darbo resursu.
2. Garantiniu laikotarpiu 41 % visų variklio CAT3512B gedimų sudarė turbokompresorių gedimai.
3. Atliekant TP-3 ir ER-1 būtina atkreipti daugiau dėmesio į turbokompresorius.
4. 46 % visų turbokompresorių grupės gedimų sudarė išmetimo kriauklės gedimai.
5. Siekiant padidinti turbokompresorių mazgo patikimumą, būtinas turbokompresorių mazgo konstrukcinis pakeitimas.

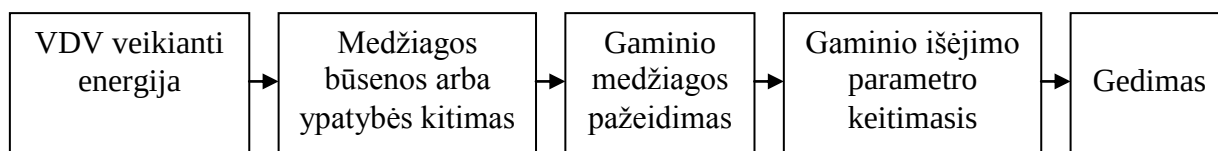
6. 31 % visų cilindrinų galvučių grupės gedimų sudarė cilindrinų galvučių gedimai.
7. Alyvos sistemos grupės pagrindiniai gedimai: alkūninio veleno riebokšlio alyvos pralaidumas – 40 %, alyvos sandarinimo žiedų pralaidumas – 38 % visų šios grupės gedimų.
8. Aušinimo sistemos grupės pagrindiniai gedimai: termostatų gedimai – 35 %, aušinimo sistemos sandarinimo žiedų pralaidumas – 30 % visų grupės gedimų.

3.2. Pagrindinės gedimų rūšys ir jų priežastys

Vidaus degimo variklių gedimus galima suskirstyti į dvi pagrindines grupes:

1. Funkciniai – nutraukia mašinos (įrenginio) darbą, įvykus tokiam gedimui, mašina (įrenginys) negali atlikti savo funkcijų (Vyšniakas *et al.* 2005).
2. Parametriniai – gedimai, kai įrenginys dirba, bet jo charakteristikos neatitinka reikalavimų (Vyšniakas *et al.* 2005).

Sąlygos gedimams atsirasti susidaro dėl klaidų ir defektų visose variklio gyvavimo stadijose, t. y. projektuojant, gaminant ir eksploatuojant (Medekšas 2003). Objektai ir jų elementai gali sugesti dėl nuo medžiagos nepriklausančių priežasčių: surinkimo klaidų, paviršiaus įbrėžimų, sandarumo praradimo, tvirtinimų atsipalaidavimo, padidėjusių vibracijų ir triukšmo, prastos priežiūros (Čereška *et al.* 2005).



26 pav. VDV gedimo atsiradimo struktūrinė schema

Gedimo priežastys skirstomos į dvi klases:

- a) priklausomos nuo elemento medžiagos savybių;
- b) nepriklausomos nuo medžiagos savybių.

Nuo medžiagos savybių priklausantys gedimai yra plastinės deformacijos, veikiant statinei apkrovai, išsidėvėjimas, smūginis suirimas, irimas dėl korozijos, irimas dėl aukštos temperatūros (Jonaitis 1990). Šiuolaikinių mašinų ir įrenginių patikimumą nemažai lemia trinties procesai kinematinėse porose (Rymeikis *et al.* 1990). Suirimas apkrovimo metu įvyksta deformuojamame kūne susikaupus didelėms plastinėms deformacijoms (Medekšas 2003). Eksploatacijos metu veikia trys svarbiausi veiksniai, dėl kurių mažėja jų kokybė, gali atsirasti gedimai: aplinkos energija, vidiniai energijos šaltiniai, potencinė energija (Mickūnaitis 2006).

Pagal atsiradimo priežastis gedimai skirstomi į konstrukcinius, technologinius ir eksploatacinius. Konstrukciniai gedimai įvyksta dėl projektavimo klaidų, kai nesilaikoma standartų, sumažinami detalių atsparumo atsargos koeficientai, parenkamos netobulos principinės schemos (Vyšniakas *et al.* 2005). Technologiniai gedimai atsiranda, kai pažeidžiama gamybos technologija, nesilaikoma techninės dokumentacijos reikalavimų, naudojamos nekokybiškos medžiagos ir komplektinės detalės, netikrinama gamybos technologija bei gaminių kokybė. Eksploataciniai gedimai įvyksta tuomet, kai eksploatuojama ne tam skirtomis sąlygomis,

nesilaikoma techninėje dokumentacijoje nurodytų eksploataavimo taisyklių, naudojama netinkama alyva ir kitos eksploatacinės medžiagos, žema aptarnaujančio personalo kvalifikacija.

Priklausomai nuo gedimo atsiradimo laiko jie gali būti staigūs, lėtiniai ir protarpiniai (Vyšniakas *et al.* 2005). Staigūs gedimai yra tada, kai detalė sugenda staiga, netikėtai, ją vienu metu veikiant vienam ar keliems atsitiktiniams veiksniams. Vykstant lėtiniam gedimui, detalės kokybė mažėja palaipsniui ir kritinę ribą pasiekia per tam tikrą laiko tarpą. Protarpinis gedimas – tai daugkartinis trumpalaikis objekto funkcijų sutrikimas, atsikuriantis vykstant gaminyje atvirkštiniais pokyčiams (Rymeikis *et al.* 1990).

Variklio eksploatacijos metu dėl gedimų mazguose bei detalių sujungimuose blogėja jo galingumo ir ekonomiškumo rodikliai, mažėja variklių patikimumas ir ilgaamžiškumas (Pikūnas *et al.* 1999). Pagrindiniai variklių gedimai atsiranda dėl nevienodos temperatūros. Tiek cilindro, tiek ir stūmoklio grupės darbo metu yra nevienoduose temperatūros laukuose. Eksploatacijos metu atsiradęs nevienodas temperatūrinis laukas tiesiogiai lemia nevienodų deformacijų atsiradimą. Veikiamos skirtingų temperatūrų tarpusavyje sujungtos detalės veikia viena kitą, kinta detalių forma bei paviršius. Dėl šių priežasčių variklio cilindrų ir stūmoklių temperatūrinis laukas ir nuo jo priklausančios temperatūrinės deformacijos yra vieni iš pagrindinių faktorių, lemiančių variklių mechaninį naudingumo koeficientą (Medekšas 2003).

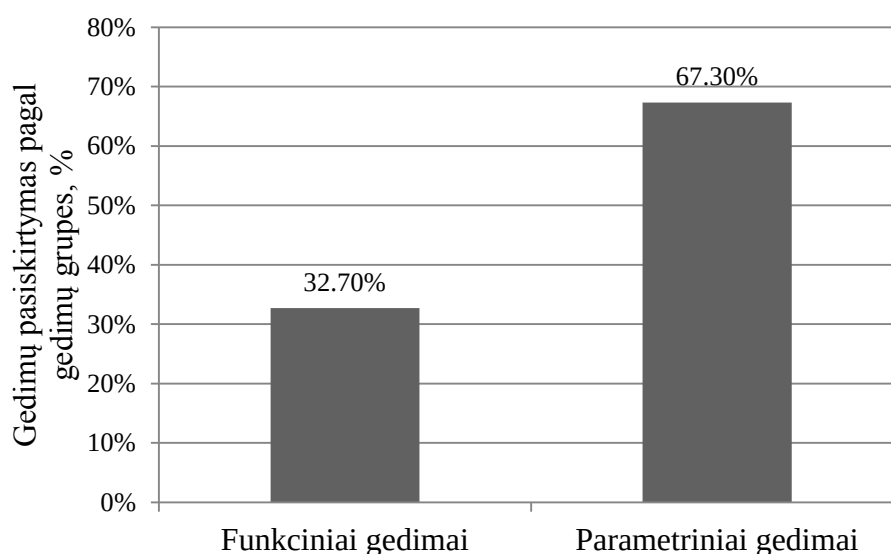
6 lentelėje pateiktas variklių CAT3512B gedimų pasiskirstymas pagal grupes. 1-ame stulpelyje pateikti gedimai, patenkantys į funkcinį gedimų grupę, 2-ame stulpelyje pateikti gedimai, patenkantys į parametrinių gedimų grupę, o paskutinėje eilutėje pateiktas gedimų skaičius procentais.

6 lentelė. Variklių CAT3512B gedimų pasiskirstymas pagal gedimų grupes

Funkciniai gedimai	Parametriniai gedimai
1	2
Turbokompresorių kompensatoriai	Turbokompresorių išmetimo kriauklė
Turbokompresorių tepimo vamzdelis	Ortakiai
Cilindrinės galvutės	Išmetimo dujų sandarinimo žiedai
Vožtuvų spyruoklė	Vožtuvų tiltelių bazės tarpinė
Alyvos slėgio daviklis	Cilindrinų galvučių paaukštinimo tarpinė
Termostatai	Vožtuvų tiltelių bazė
Aušinimo skysčio siurblys	Cilindrinų galvučių tarpinė
Aušinimo skysčio temperatūros daviklis	Alkūninio veleno riebokšlis
Pagalbinis generatorius	Alyvos sistemos sandarinimo žiedai

1	2
	PG pavaros alyvos sandarinimo riebokšlis
	Aušinimo sistemos sandarinimo žiedai
	Pirminis degalų siurblys
Iš viso gedimų garantiniu laikotarpiu: $\Sigma 32,7 \%$	Viso gedimų garantiniu laikotarpiu: $\Sigma 67,3 \%$

Iš 27 paveikslo matyti, kad garantiniu laikotarpiu 67,3 % gedimų sudarė parametriniai gedimai, tai reiškia, kad šiuos gedimus galima buvo pašalinti lokomotyvui 2M62M atliekant techninę priežiūrą TP-3 arba einamąjį remontą ER-1, taip lokomotyvai galėjo išvengti neplaninių prastovų, o AB „Lietuvos geležinkeliai“ – neplaninių išlaidų, dėl šilumvežių prastovų atliekant neplaninį variklio CAT3512B remontą. 32,7 % funkcinį gedimų rodo, kad lokomotyvo 2M62M vidaus degimo varikliui CAT3512B buvo atliekamas neplaninis remontas. Remonto metu lokomotyvas neatliko jokio darbo, t. y. nevežė krovinių, todėl AB „Lietuvos geležinkeliai“ patyrė nuostolių.



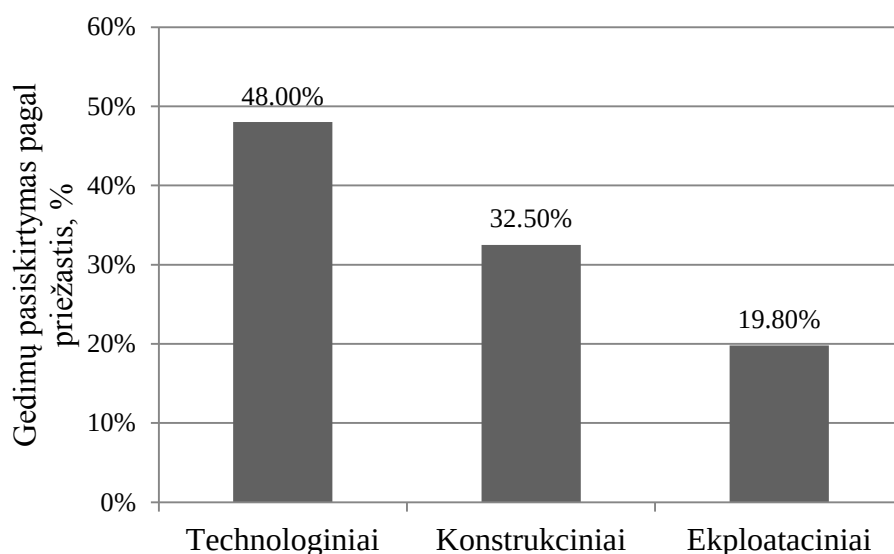
27 pav. Gedimų pasiskirstymas pagal gedimų grupes

7 lentelėje pateikta variklių CAT3512B gedimų pasiskirstymas pagal priežastis. 1-ame stulpelyje pateikta gedimai nutikę dėl konstrukcinių priežasčių, 2-ame stulpelyje pateikti gedimai, nutikę dėl technologinių priežasčių, 3-ame stulpelyje pateikti gedimai, nutikę dėl eksploatacinių priežasčių, o paskutinėje eilutėje pateiktas gedimų skaičius procentais.

7 lentelė. Variklių CAT3512B gedimų pasiskirstymas pagal gedimų priežastis

Konstrukciniai	Technologiniai	Eksploataciniai
Turbokompresorių išmetimo kriauklė	Alyvos sistemos sandarinimo žiedai	Turbokompresorių kompensatoriai
Pagalbinis generatorius	Cilindrinės galvutės	Turbokompresorių ortakiai
Vožtuvų tiltelių bazė	Alkūninio veleno riebokšlis	Termostatai
Cilindrinų galvučių tarpinė	Pirminis degalų siurblys	Aušinimo skysčio siurblys
Turbokompresorių išmetimo dujų sandarinimo žiedai	Turbokompresoriaus tepimo vamzdelis	Σ 19,8 %
Σ 32,5 %	Vožtuvų tiltelių bazės tarpinė	
	Cilindrinų galvučių paaukštinimų tarpinė	
	Aušinimo sistemos sandarinimo žiedai	
	PG pavaros sandarinimo riebokšlis	
	Alyvos slėgio daviklis	
	Aušinimo skysčio temperatūros daviklis	
	Vožtuvų spyruoklė	
	Σ 48,0 %	

Kaip matyti iš 28 paveikslo daugiausia įvykusių gedimų buvo dėl technologinių priežasčių 48 %, o mažiausiai – dėl eksploatacinių 19,8 %.



28 pav. Gedimo priežasčių struktūra

Lengviausia ir greičiausia išvengti dėl eksploatacinių priežasčių atsitiksiančių gedimų. Pakanka pakeisti eksploatacinius režimus, naudoti rekomenduojamus lokomotyvo variklio eksploatacijai skysčius, pakelti aptarnaujančio personalo kvalifikaciją. Kadangi dėl eksploatacinių priežasčių nutiko apie 20 % gedimų, galima teigti, kad lokomotyvo 2M62M vidaus degimo varikliai eksploatuojami nevisiškai pagal reikalavimus, naudojami ne visada tinkami eksploataciniai skysčiai ir per žema aptarnaujančio personalo kvalifikacija.

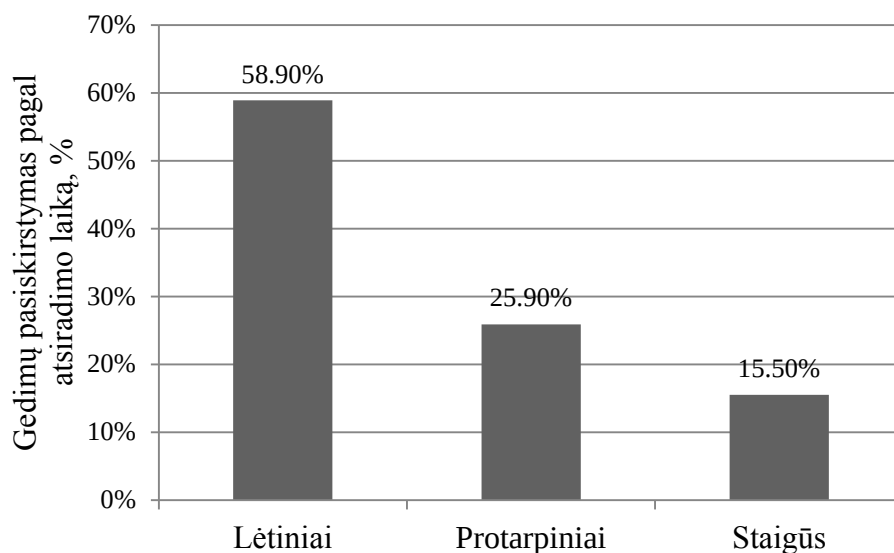
Dėl technologinių priežasčių gedimų buvo daugiausia. Paprastai įvykus ir pašalinus tokius gedimus ateityje jie nebepasikartoja.

Sudėtingiausia šalinti dėl konstrukcinių priežasčių įvykusius gedimus. Nes jei šalinant gedimą bus naudojama analogiška detalė, po kurio laiko gedimas vėl įvyks. Šalinant tokius gedimus būtina naudoti patobulintos konstrukcijos detales ir mazgus.

8 lentelėje pateiktas variklių CAT3512B gedimų pasiskirstymas pagal atsiradimo laiką. 1-ame stulpelyje pateikti gedimai, atsiradę staigiai, 2-ame stulpelyje pateikti gedimai, atsiradę lėtai, 3-ame stulpelyje pateikti gedimai buvę protarpiniai, o paskutinėje eilutėje pateiktas gedimų skaičius procentais.

8 lentelė. Variklių CAT3512B gedimų pasiskirstymas pagal atsiradimo laiką

Staigūs	Lėtiniai	Protarpiniai
Pagalbinis generatorius	Turbokompresorių išmetimo kriauklė	Alyvos sistemos sandarinimo žiedai
Alyvos slėgio daviklis	Turbokompresorių ortakiai	Pirminis degalų siurblys
Aušinimo skysčio temperatūros daviklis	Cilindrinų galvučių paaukštinimų tarpinė	Turbokompresorių išmetimo dujų sandarinimo žiedai
Vožtuvų spyruoklė	Turbokompresorių kompensatoriai	Aušinimo sistemos sandarinimo žiedai
Cilindrinės galvutės	Alkūninio veleno riebokšlis	Vožtuvų tiltelių bazės tarpinė
Σ15,5 %	Vožtuvų tiltelių bazė	Termostatai
	Cilindrinų galvučių tarpinė	Σ25,9 %
	Turbokompresoriaus tepimo vamzdelis	
	PG pavaros sandarinimo riebokšlis	
	Aušinimo skysčio siurblys	
	Σ58,9 %	



29 pav. Gedimų atsiradimo laikas

Iš 29 paveikslo matyti, kad net apie 60 % lokomotyvų 2M62M vidaus degimo variklių CAT3512B gedimų garantiniu laikotarpiu buvo lėtiniai. Juos galima pastebėti iš anksto, ir neturint reikiamų detalių sandėlyje gedimų šalinimą galima atidėti vėlesniam laikui. Lėtinius gedimus galima šalinti atliekant techninę priežiūrą TP-3 arba einamąjį remontą ER-1, nes didelės įtakos eksploatacijai neturi.

Protarpiniai gedimai sudarė apie 26 % visų garantiniu laikotarpiu užfiksuotų gedimų. Juos kaip ir lėtinius gedimus galima šalinti lokomotyvui esant planiniuose remontuose ar techninės priežiūros metu.

Staigūs lokomotyvų 2M62M vidaus degimo variklių CAT3512B gedimai sudarė tik apie 15 %. Tai palyginti maža dalis visų įvykusių gedimų. Staigūs gedimai turi tiesioginį ryšį su lokomotyvo variklio patikimumu. Norint išvengti neplaninių remontų, būtina kokybiškai atlikti ER-1 ir TP-3, naudoti kokybiškas atsargines detales bei naudoti rekomenduojamus eksploatacinius skysčius. Esant staigiam gedimui paprastai remontuoti būtina nedelsiant, tai reiškia, kad lokomotyvas bus siunčiamas į neplaninį remontą, o tai lemia lokomotyvo prastovą.

Turbokompresorių grupės gedimai paprastai pasireiškia išmetamųjų dujų prasiskverbimu į išorę. Tai buvo būdinga turbokompresorių išmetimo kriauklėms, išmetimo dujų sandarinimo žiedams, turbokompresorių kompensatoriams. Tai pavojingas gedimas mašinisto sveikatai, nes naudotos dujos gali rinktis lokomotyvo variklio skyriuje, taip apnuodyti aptarnaujantį personalą. Taip pat šis gedimas gali būti gaisro priežastimi, nes išmetamosios dujos būna aukštos temperatūros. Šis gedimas paprastai aptinkamas apžiūrint variklį, paprastai yra pastebimi suodžių pėdsakai prie variklio turbokompresoriaus.



30 pav. Naudotų dujų prasiskverbimo vietos turbokompresoriaus srityje

Cilindrinėms galvutėms būdingas aušinimo skysčio arba alyvos prasiskverbimas pro sandarinimo tarpines į išorę. Paprastai šie gedimai atsiranda dėl temperatūrų skirtumų, kurie veikia sandarinimo tarpines, tad po kiek laiko jos praranda savo eksploatacines savybes. Šie gedimai pastebimi variklio apžiūros metu. Yra buvę keletas gedimų dėl pačios cilindrinės galvutės nesandarumo, dėl mikrotrūkių aušinimo skystis ar alyva patekdavo į variklio cilindrų arba variklio išorę. Šie gedimai identifikuojami apipresuojant cilindrines galvutes vandeniu. Apipresuojant yra užsandarinami visi aušinimo ir alyvos kanalai. Į kanalus tiekiamas vanduo, kurio slėgis apie 5 barus. Jei vanduo pasirodo išorėje, tai reiškia, kad cilindrinė galvutė sugedusi, ji keičiama nauja.

Tepimo sistemos grupės gedimai pasižymi alyvos pratekėjimu į išorę. Paprastai tai būna praradę savo darbines savybes sandarinimo žiedai, tarpinės. Taip pat sandarumą praranda besisukančių detalių poros, t. y. alkūninio veleno ir pagalbinių generatoriaus pavaros riebokšliai. Dėl vienos iš besisukančios poros ribinio susidėvėjimo alyva prateka į išorę. Šie gedimai aptinkami apžiūros metu.



31 pav. PG pavaros skriemulio susidėvėjimo vietos

Aušinimo sistemos grupės gedimai pasižymi alyvos pratekėjimu į išorę. Paprastai tai būna praradę savo darbinės savybes sandarinimo žiedai, tarpinės. Šie gedimai aptinkami apžiūros metu. Labai svarbu naudoti tinkamą aušinimo skystį, nes dėl aušinimo skysčio savybių priklauso termostatų ir aušinimo siurblio ilgaamžiškumas. Blogai veikiant termostatams ir aušinimo skysčio siurbliui, variklis gali nepasiekti savo darbinės temperatūros, o tai lemia vidaus degimo variklio naudingumo koeficiento mažėjimą.

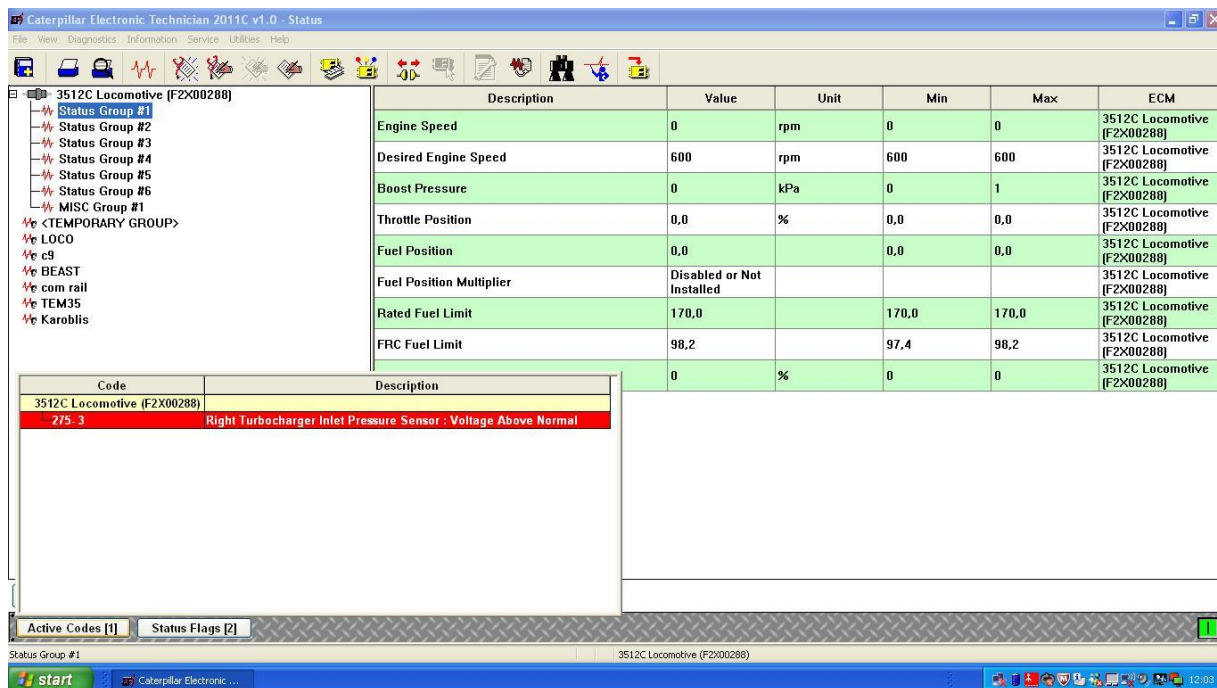
Pagalbinio generatoriaus gedimai būdavo šie:

- a) nesuteikia įtampos lokomotyvo akumuliatoriams;
- b) užstringa pagalbinio generatoriaus velenėlis.

Kai nesuteikiama įtampos lokomotyvo generatoriams, paprastai būna sugedęs diodinis tiltelis. Kai užstringa pagalbinio generatoriaus velenėlis, paprastai būna subyrėjęs velenėlio guolis. Šis gedimas nėra iki galo iširtas, bet manoma, kad eksploatacijos metu smarkiai pakyla guolio temperatūra. Pakilus guolio temperatūrai, pasikeičia guolio tiršto tepalo savybės ir jis išteka į išorę. Sumažėjus guolio tiršto tepalo kiekiui padidėja trinties jėgos, po kurio laiko guolis nebeatlaiko apkrovų ir sulūžta.

Slėgio ir temperatūros jutiklių gedimai nustatomi naudojant CAT ET programą. Jutikliai gali generuoti šias klaidas:

- a) labai aukšta/žema temperatūra;
- b) labai aukštas/žemas slėgis;
- c) EVB negauna signalo iš jutiklių.



32 pav. Diagnostika su CAT ET

32 paveiksle pavaizduota diagnostika su CAT ET. Prisijungus su programine įranga, randama aktyvi klaida, kuri nusako, kad neveikia dešinės pusės turbokompresoriaus įpūtimo slėgio jutiklis.

Išvados:

1. Nustatyta, kad garantiniu laikotarpiu variklių CAT3512B 67% buvo parametriniai gedimai. Esant parametriniam gedimui lokomotyvą galima eksploatuoti toliau.
2. Nustatyta, kad gedimų garantiniu laikotarpiu priežastys buvo: 48 % visų gedimų buvo technologiniai, 32 % konstrukciniai, o 20 % eksploataciniai.
3. Technologines gedimų priežastis galima pašalinti pakeičiant reikiamą mazgą ar detalę.
4. Konstrukcinius, tik suprojektavus ir patobulinus mazgus ar detales. Tai būdinga turbokompresorių grupei.
5. 20 % buvusių gedimų dėl eksploatacinių priežasčių rodo, kad būtina kelti aptarnaujančio personalo kvalifikaciją, naudoti reikiamas eksploatacines medžiagas, laiku ir kokybiškai atlikti TP-3 ir ER-1.
6. Nustatyta, kad 59 % visų garantiniu laikotarpiu įvykusių gedimų buvo lėtiniai. Todėl juos buvo galima pašalinti TP-3 arba ER-1 metu, iš anksto užsisakius ir gavus reikiamas detales.

7. Apie 15 % visų gedimų buvo staigūs. Tai sąlyginai mažas procentas. Tai reiškia, kad variklis CAT3512B yra pakankamai patikimas.

4. VARIKLIŲ CAT3512B PATIKIMUMO STATISTINIS MODELIS

Stebėjimo objektas yra šilumvežių 2M62M vidaus degimo varikliai CAT 3512B. Vilniaus lokomotyvų remonto depe 2004- 2009 metais atliekant lokomotyvų 2M62 modernizaciją juose sumontuota 58 CAT3512B varikliai, vietoj buvusių 14D40 variklių. Buvo nutarta 14D40 variklius keisti naujais, nes šių variklių amortizacinis resursas buvo viršytas bei variklis pasižymėjo nepatikimumu bei didelėmis eksploatacijos ir remonto sąnaudomis. Iki 2013 metų surinkus statistinę medžiagą apie CAT3512B variklių gedimus [duomenys pateikti 1 priede] nustatyti visi įvykę variklių gedimai garantiniu laikotarpiu.

Šiame skyriuje keliama du uždaviniai:

1. Apskaičiuoti variklio vidutinį ikiremontinį resursą.
2. Nustatyti variklio gedimo tikimybę, jo įdirbiui esant 9000 motovalandų (garantinio laikotarpio pabaiga).

Siekiant įgyvendinti šiuos uždavinius bus taikomas matematinis statistinis modelis. Pasirinkto patikimumo statistinio modelio metodikoje fiksuojamas pirmas variklio gedimas nuo eksploatacijos pradžios, vėliau įvykę gedimai skaičiavimams reikšmės neturi.

Pirmiausia yra sudaroma variacinė eilutė. Variacinė eilutė – pradiniai duomenys apie atsitiktinio dydžio reikšmes, gautas stebėjimo metu (9 lentelė) (Vestartas *et al.* 2004). Šiuo atveju tai bus lokomotyvų 2M62M variklių CAT3512B ikiremontiniai išdirbiai. Variacinė eilutė rodo atsitiktinio dydžio kitimo ribas (Vestartas *et al.* 2004). Ikiremontinis išdirbis – variklio eksploatavimas iki pirmo gedimo.

Stebėjimo metu surinkti duomenys apie variklių CAT 3512B ikiremontinį resursą, kurie pateikti 9 lentelėje. 9 lentelės 2-ame stulpelyje nurodytas šilumvežio tipas, registracijos numeris, bei lokomotyvo sekcija. 3-ame stulpelyje nurodytas variklio serijos numeris, kuris modernizavimo metu buvo įmontuotas į šilumvežį. 4-ame stulpelyje nurodytas šilumvežio įdirbis nuo eksploatacijos pradžios iki pirmo variklio gedimo (motovalandomis). 5-ame stulpelyje nurodyta, į kurį gedimų intervalą patenka pirmas variklio gedimas, gedimų intervalai yra paskaičiuoti naudojant (3), (4) ir (5) formules. 6-ame stulpelyje nurodytas sugedęs mazgas.

9 lentelė. Lokomotyvų 2M62M variklių CAT3512B ikiremontinis resursas

Eil. Nr.	Šilumvežio registracijos Nr.	Variklio serijos Nr.	Pirmo gedimo motoval	Gedimų intervalas	Sugedęs mazgas
1	2	3	4	5	6
1	2M62 0537 B	PWG00123	4027	3	Turbokompresoriai
2	2M62 0537 A	PWG00124	9025	6	Cilindrinės galvutės
3	2M62 0677 B	PWG00125	3853	3	Turbokompresoriai

1	2	3	4	5	6
4	2M62 0569 A	PWG00127	4327	3	Turbokompresoriai
5	2M62 0566 A	PWG00129	1057	1	Tepimo sistema
6	2M62 0569 B	PWG00133	6191	4	Tepimo sistema
7	2M62 0566 B	PWG00134	6072	4	Alkūninis velenas
8	2M62 0752 A	PWG00135	2641	2	Tepimo sistema
9	2M62 0677 A	PWG00136	5433	4	Aušinimo sistema
10	2M62 0752 B	PWG00140	4251	3	Cilindrinės galvutės
11	2M62 0567 B	PWG00139	7182	5	Cilindrinės galvutės
12	2M62 0567 A	PWG00149	9089	6	Cilindrinės galvutės
13	2M62 0672 B	PWG00147	6008	4	Degalų sistema
14	2M62 1199 A	PWG00169	1803	2	Tepimo sistema
15	2M62 0672 A	PWG00151	5552	4	Aušinimo sistema
16	2M62 1199 B	PWG00156	2270	2	Cilindrinės galvutės
17	2M62 1061 B	PWG00155	6954	5	Tepimo sistema
18	2M62 1061 A	PWG00158	3134	2	Cilindrinės galvutės
19	2M62 0536 B	PWG00157	7063	5	Turbokompresoriai
20	2M62 0536 A	PWG00130	9000	6	Turbokompresoriai
21	2M62 0949 B	PWG00162	10190	7	Turbokompresoriai
22	2M62 0949 A	PWG00159	4244	3	Degalų sistema
23	2M62 0673 B	PWG00160	1698	1	Aušinimo sistema
24	2M62 0673 A	PWG00161	9632	7	Turbokompresoriai
25	2M62 0538 B	PWG00164	10290	7	Turbokompresoriai
26	2M62 0538 A	PWG00163	3301	3	Degalų sistema
27	2M62 1164 A	PWG00165	947	1	Aušinimo sistema
28	2M62 1164 B	PWG00166	2451	2	Aušinimo sistema
29	2M62 1162 A	PWG00168	5247	4	Aušinimo sistema
30	2M62 1162 B	PWG00167	5230	4	Aušinimo sistema
31	2M62 0670 A	PWG00171	8746	6	Aušinimo sistema
32	2M62 0670 B	PWG00172	9014	6	Turbokompresoriai
33	2M62 0676 A	PWG00174	9094	6	Turbokompresoriai
34	2M62 0676 B	PWG00173	2100	2	Tepimo sistema
35	2M62 0674 A	PWG00175	3662	3	Tepimo sistema
36	2M62 0674 B	PWG00176	2072	2	Elektrinė sistema

1	2	3	4	5	6
37	2M62 0675 A	PWG00178	6310	5	Tepimo sistema
38	2M62 0675 B	PWG00188	6565	5	Cilindrinės galvutės
39	2M62U0383A	PWG00185	8463	6	Elektrinė sistema
40	2M62U0383B	PWG00177	6780	5	Tepimo sistema
41	2M62U0283A	PWG00190	8950	6	Turbokompresoriai
42	2M62U0283B	PWG00189	9020	6	Alkūninis velenas
43	2M62U0386A	PWG00193	290	1	Elektrinė sistema
44	2M62U0386B	PWG00191	523	1	Elektrinė sistema
45	2M62U0382A	PWG00199	1525	1	Aušinimo sistema
46	2M62U0382B	PWG00200	7690	5	Turbokompresoriai
47	2M62U0385A	PWG00198	6852	5	Tepimo sistema
48	2M62U0385B	PWG00217	3167	2	Turbokompresoriai
49	2M62U0284A	PWG00202	2780	2	Tepimo sistema
50	2M62U0284B	PWG00201	5047	4	Turbokompresoriai
51	2M62 0671 A	PWG00205	5205	5	Elektrinė sistema
52	2M62 0671 B	PWG00206	2967	2	Elektrinė sistema
53	2M62 0568 A	PWG00209	508	1	Turbokompresoriai
54	2M62 0568 B	PWG00210	591	1	Turbokompresoriai
55	2M62 1161 A	PWG00212	833	1	Elektrinė sistema
56	2M62 1161 B	PWG00211	2548	2	Aušinimo sistema
57	2M62 1198 A	PWG00214	6989	5	Tepimo sistema
58	2M62 1198 B	PWG00215	668	1	Degalų sistema

Tolesnių poskyrių skaičiavimai atliekami norint gauti teorinį lokomotyvų 2M62M vidaus degimo variklių resursą. Pagrindinis tikslas – nustatyti gendamumo tikimybės ir gedimų intensyvumo priklausomybę nuo variklio CAT3512B eksploatavimo laiko (motovalandomis).

4.1. Pradinių duomenų statistinės eilutės sudarymas

Duomenys, surašyti tokia tvarka, kokia jie buvo gauti eksperimento metu, sudaro vadinamąją statistinę eilutę. Statistinė eilutė – tai pirminių duomenų tvarka, atitinkanti imties objektų tvarką (Čekanavičius *et al.* 2001). Statistinę eilutę lengviausia pavaizduoti lentelės pavidalu (žr. 10 lentelę) (Vestartas *et al.* 2004).

Norint sudaryti statistinę eilutės lentelę pirmiausia apskaičiuojama intervalų dydžiai ir intervalų skaičius.

$$H = \frac{\Delta L}{1 + 3,3 \lg N}; \quad (3)$$

čia: H – intervalų dydis, motoval;

N – stebimų objektų skaičius, vnt;

ΔL – vėliausiai ir anksčiausiai įvykusio pirmo gedimo skirtumas, motoval.

Šiuo atveju N yra lygus tyrimo metu stebėtų variklių skaičiui, t. y. 58 vnt.

$$\Delta L = t_{\max} - t_{\min}; \quad (4)$$

čia: $t_{\max}$ – vėliausiai įvykęs lokomotyvo 2M62M variklio pirmas gedimas;

$t_{\min}$ – anksčiausiai įvykęs lokomotyvo 2M62M variklio pirmas gedimas.

$t_{\max} = 10290 \text{ motoval}$ ir $t_{\min} = 290 \text{ motoval}$ – reikšmės imamos iš 9 lentelės.

$$\Delta L = t_{\max} - t_{\min} = 10290 - 290 = 10000 \text{ motoval}.$$

Apskaičiavus ΔL toliau galima apskaičiuoti intervalo dydžius H , motoval:

$$H = \frac{\Delta L}{1 + 3,3 \lg N} = \frac{10000}{1 + 3,3 \lg 58} = 1466 \approx 1500 \text{ motoval};$$

Žinant intervalo dydžius H toliau apskaičiuojamas intervalų skaičius k :

$$k = \frac{\Delta L}{H} = \frac{10000}{1500} \approx 7 \text{ int.} \quad (5)$$

čia: k – intervalų skaičius, vnt.

Statistinė eilutė sudaroma tam, kad būtų galima nubraižyti atsitiktinio dydžio pasiskirstymo histogramą ir diferencialinę funkciją – tai pirmas žingsnis variklių resurso pasiskirstymo teorinio dėsnio parinkimo link.

Statistinė tikimybė p_i nustatoma kaip santykis atsitiktinio dydžio atsiradimo atvejų skaičiaus kiekviename intervale (m_i) su bendru informacijos (atsitiktinio dydžio reikšmių) skaičiumi (N) (Vestartas *et al.* 2004):

$$p_i = \frac{m_i}{N}; \quad (6)$$

čia: N – bendras atsitiktinių dydžių reikšmių skaičius, ($N = 58$);

m_i – atsitiktinio dydžio reikšmių skaičius (dažnis).

Atsitiktinio dydžio reikšmių dažnis m_i rodo, koks atsitiktinio dydžio reikšmių skaičius (iš bendro skaičiaus N) patenka į i -ąjį intervalą. Atsitiktinio dydžio reikšmių dažnis m_i randamas pagal 9 lentelę, t. y. nustatoma, koks skaičius sugedusių variklių patenka į kiekvieną intervalą. Jeigu sugedusio variklio išdirbis sutampa su intervalo pabaigos pradžios ar pabaigos reikšme, į tą intervalą įtraukiamas gedimas, sutapęs su pradine intervalo reikšme. Sutapus su galine intervalo reikšme, jis įtraukiamas į kito intervalo skaičių (Vestartas *et al.* 2004).

Sudarant statistinę eilutę, reikia atminti, kad dažnių suma turi būti lygi N ($\sum m_i = N$),

o tikimybių suma $\sum \frac{m_i}{N} = 1,000$.

Apskaičiuojame statistinę tikimybę p_i :

$$p_1 = \frac{10}{58} = 0,1724; \quad p_2 = \frac{11}{58} = 0,19; \quad p_3 = \frac{7}{58} = 0,1207; \quad p_4 = \frac{8}{58} = 0,1379;$$

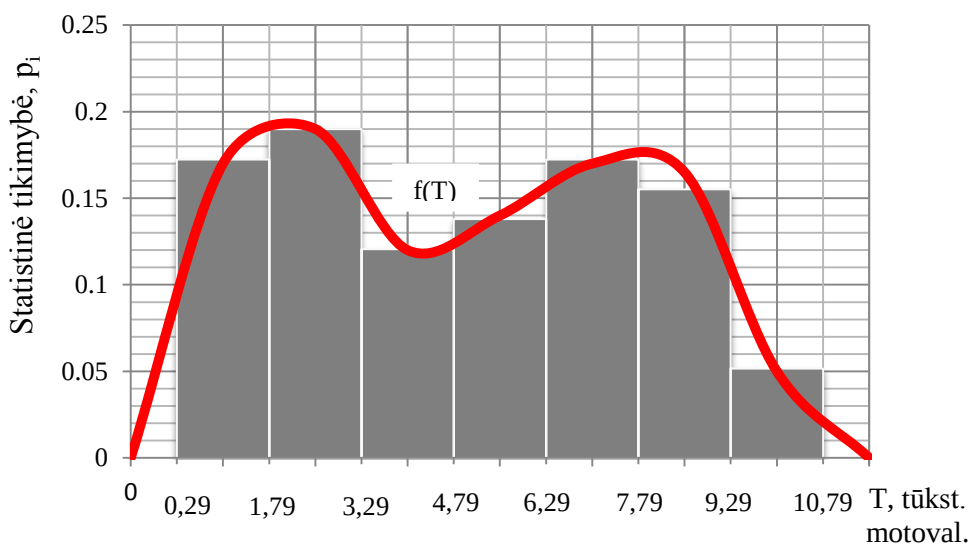
$$p_5 = \frac{10}{58} = 0,1724; \quad p_6 = \frac{9}{58} = 0,1552; \quad p_7 = \frac{3}{58} = 0,0517.$$

Statistinė eilutė sudaroma lentelės forma (10 lentelė), kurios 1-oje eilutėje nurodomi intervalai, į kurią patenka pirmas variklio gedimas, 2-oje eilutėje nurodomas gedimų intervalo dydis, 3-oje – intervalo vidurio reikšmė T_{Vi} , 4-oje – atsitiktinio dydžio reikšmių skaičius (dažnis m_i), 5-oje – atsitiktinio dydžio atsiradimo statistinė tikimybė p_i ir 6-oje – integralinė statistinė tikimybė $\sum p_i$ (dar vadinama gedimo empirine tikimybe).

10 lentelė. Pradinių duomenų statistinės eilutės lentelė

Intervalai	1	2	3	4	5	6	7
Intervalų dydžiai, motoval	290–1790	1790–3290	3290–4790	4790–6290	6290–7790	7790–9290	9290–10790
Intervalų vidurkiai, motoval	1040	2540	4040	5540	7040	8540	10040
Gedimų dažnis m_i	10	11	7	8	10	9	3
Statistinė tikimybė p_i	0,1724	0,1900	0,1207	0,1379	0,1724	0,1552	0,0517
Integralinė statistinė tikimybė $\sum p_i$	0,1724	0,3624	0,4831	0,6210	0,7934	0,9486	1,0003

Iš statistinės eilutės duomenų sudaroma histograma. Sudarant histogramą, ant abscisių ašies atidedami intervalų sklaidos dydžiai, o ordinačių ašyje – tikimybės p_i . Toliau braižomi stačiakampiai, kurių pagrindas lygus intervalų dydžiams, o aukštis – atskirų intervalų tikimybėms (Vestartas *et al.* 2004). Histogramoje pažymėjus ir sujungus taškus ant statistinių tikimybių (taškai turi būti pažymėti intervalo viduryje) – gaunama diferencialinė funkcija $f(T)$ (Vestartas *et al.* 2004).



33 pav. Atsitiktinio dydžio pasiskirstymo histograma ir diferencialinė funkcija

Paprastai pradinių duomenų statistinė eilutė atspindi realius reiškinius su tam tikra paklaida. Tas paklaidas galima panaikinti, panaudojant patikimumo rodiklius nustatyti teorinius pasiskirstymo dėsnius, kurie charakterizuoja santykį tarp galimų atsitiktinio dydžio reikšmių ir jų tikimybių (Vestartas *et al.* 2004). Pagal diferencialinę funkciją galima atlikti pirmą spėjimą nustatant teorinį pasiskirstymo dėsnį. Nagrinėjant 2 priedą, galima teigti, kad mūsų teorinis pasiskirstymo dėsnis yra Veibulo skirstinys.

4.2. Variklių resurso teorinio pasiskirstymo dėsnio parinkimas

Nubraižius atsitiktinio dydžio diferencialinę funkciją ir atlikus numatomą spėjimą, pagal kokį teorinį dėsnį yra pasiskirsčiusios mūsų atsitiktinio dydžio reikšmės, reikia atlikti tolesnius skaičiavimus šiam dėsniui patvirtinti.

Atsitiktiniu vadinamas dydis, kuris bandymo metu gali įgyti vieną ar kitą vertę, būtent kokią – tai priklauso nuo atsitiktinių bandymų sąlygų (Čekanavičius *et al.* 2001). Nagrinėjamu atveju tai yra variklių gedimai.

Pirmiausia apskaičiuojama resurso vidutinė matematinė reikšmė (vidutinis resursas), arba vidutinis resursas $\overline{T_{vid}}$:

$$\overline{T_{vid}} = \sum_{i=1}^n T_{v_i} \cdot \frac{m_i}{N}, \quad (7)$$

čia: T_{v_i} – i-ojo intervalo vidurys, motoval;

n – statistinės eilutės intervalų skaičius;

m_i – atsitiktinio dydžio reikšmių skaičius (dažnis).

$$T_{v_i} = \frac{T_{i_{\min}} + T_{i_{\max}}}{2}; \quad (8)$$

čia: $T_{i_{\min}}$ – i-tojo intervalo pradžia (intervalų pradžios duomenys pateikti 10 lentelėje);

$T_{i_{\max}}$ – i-tojo intervalo pabaiga (intervalų pabaigos duomenys pateikti 10 lentelėje);

tada:

$$T_{v_1} = \frac{290 + 1790}{2} = 1040 \text{ motoval}; \quad T_{v_2} = \frac{1790 + 3290}{2} = 2540 \text{ motoval};$$

$$T_{v_3} = \frac{3290 + 4790}{2} = 4040 \text{ motoval}; \quad T_{v_4} = \frac{4790 + 6290}{2} = 5540 \text{ motoval};$$

$$T_{v_5} = \frac{6290 + 7790}{2} = 7040 \text{ motoval}; \quad T_{v_6} = \frac{7790 + 9290}{2} = 8540 \text{ motoval};$$

$$T_{v_7} = \frac{9290 + 10790}{2} = 10400 \text{ motoval}.$$

Apskaičiavus i – tojo intervalo vidurį T_{v_i} , skaičiuojamas vidutinis resursas $\overline{T_{vid}}$:

$$\overline{T_{vid}} = \frac{1}{58} (1,04 \cdot 10 + 2,54 \cdot 11 + 4,04 \cdot 7 + 5,54 \cdot 8 + 7,04 \cdot 10 + 8,54 \cdot 9 + 10,04 \cdot 3) = 4971 \text{ motoval}.$$

Resurso nukrypimo nuo $\overline{T_{vid}}$ laipsnis charakterizuojamas vidutiniu kvadratinu nukrypiu σ , kuris apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (T_{v_i} - \overline{T_{vid}})^2 \cdot \frac{m_i}{N}}; \quad (9)$$

tada:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{58} \left((1,04 - 4,971)^2 \cdot 10 + (2,54 - 4,971)^2 \cdot 11 + (4,04 - 4,971)^2 \cdot 7 + (5,54 - 4,971)^2 \cdot 8 + \right. \\ \left. + (7,04 - 4,971)^2 \cdot 10 + (8,54 - 4,971)^2 \cdot 9 + (10,04 - 4,971)^2 \cdot 3 \right)} =$$

$$= 2824,5 \text{ motoval}.$$

Atsitiktinio dydžio išsisklaidymas charakterizuojamas ir santykinio dydžio – standartiniu nuokrypiu v (Vestartas *et al.* 2004):

$$v = \frac{\sigma}{\overline{T_{vid}} - T_p}, \quad (10)$$

čia: T_p – pradinis informacijos pasislinkimas, priimamas lygus pirmo intervalo pradžiai;

tada:

$$v = \frac{2,8245}{4,971 - 0,29} = 0,6.$$

Pagal gautą standartinį nuokrypį galima parinkti teorinį pasiskirstymo dėsnį (Vestartas *et al.* 2004). Kadangi gautas standartinis nuokrypis $v = 0,6$ tenkina sąlygą $0,3 \leq v \leq 0,8$, todėl atsitiktinio dydžio resursą galima priskirti Veibulo teorinio pasiskirstymo dėsnui.

Veibulo skirstinys – tai vienas iš plačiausiai naudojamų skirstinių atliekant patikimumo skaičiavimus, nes juo naudojantis galima sumodeliuoti įvairius gedimo srauto atvejus: įdirbimo periodą, normalaus darbo periodą ar intensyvaus darbo periodą. Tai priklauso nuo priimtų Veibulo skirstinio parametrų reikšmių (Vyšniakas *et al.* 2005).

4.3. Teorinių pasiskirstymo funkcijų $f(T)$, $F(T)$ skaičiavimas

Tiek diskretinių, tiek ir tolydinių atsitiktinių dydžių pasiskirstymo bendriausia charakteristika yra integralinė funkcija $F(T)$, kuri rodo tikimybę to įvykio, kad atsitiktinis dydis T bus lygus arba mažesnis už iš anksto gautą reikšmę t (Vestartas *et al.* 2004):

$$F(T) = P(T \leq t) \quad (11)$$

Empirinė integralinė funkcija rodo, kokia įvykio $T \leq t$ statistinė tikimybė, o teorinė integralinė funkcija – nagrinėjamo įvykio tikimybę. Pasiskirstymo funkciją $F(T)$ galima išreikšti analitine priklausomybe arba grafiškai (Vestartas *et al.* 2004).

Teorinio pasiskirstymo diferencialinės $f(T)$ ir integralinių $F(T)$ funkcijų reikšmių atskiriems statistinės eilutės intervalams skaičiavimas (Vestartas *et al.* 2004):

$$f(T) = \frac{b}{a} \cdot \left(\frac{T}{a}\right)^{b-1} \cdot e^{-\left(\frac{T}{a}\right)^b}, \quad (12)$$

$$F(T) = 1 - e^{-\left(\frac{T}{a}\right)^b}, \quad (13)$$

čia: b , C_v , K_v – Veibulo pasiskirstymo koeficientai, parenkami pagal standartinio nuokrypio reikšmę iš 3 priedo. Kadangi standartinis nuokrypis $v = 0,6$, tai koeficientai $C_v = 0,54$, $b = 1,7$, $K_v = 0,892$ [3 priedas].

Koeficientas a apskaičiuojamas pagal formulę:

$$a = \frac{\sigma}{C_v}, \quad (14)$$

$$a = \frac{2,8245}{0,54} = 5,231.$$

Patiksliname vidutinį resursą pagal formulę:

$$\bar{T}_{vid} = a \cdot K_v + T_p, \quad (15)$$

$$\bar{T}_{vid} = 5,231 \cdot 0,892 + 0,29 = 4956 \text{ motoval.}$$

$f(T)$ reikšmes pagal T_{v_i} (i – ojo intervalo vidurio reikšmė), ir $F(T)$ reikšmes pagal T_i^v (i – ojo intervalo kraštinės didžiausia reikšmė) imu iš 4 ir 5 priedų, įvertinant pradinį informacijos pasislinkimą T_p .

Norint nubraižyti Veibulo pasiskirstymo dėsnio diferencinę ir integralinę funkciją atliekami tolesni skaičiavimai. Gauta Veibulo pasiskirstymo dėsnio parametrų reikšmes surašau į 11 lentelę, kurioje 1-oje eilutėje – daliniai intervalai įvertinant pradinį informacijos pasislinkimą T_p , 2-oje – i-tojo intervalo vidurio reikšmė T_{v_i} , 3-oje – intervalo vidurio reikšmės T_{v_i} ir koeficiento a santykis, 4-oje – Veibulo dėsnio tikimybės tankio funkcija $a \cdot f(T)$, 5-oje – teorinio pasiskirstymo diferencialinė funkcija $f(T)$, 6-oje – i-tojo intervalo kraštinė didžiausia reikšmė T_i^v , 7-oje intervalo kraštinės didžiausios reikšmės T_i^v ir koeficiento a santykis, 8-oje teorinio pasiskirstymo integralinė funkcija $F(T)$.

Pirmiausia suskaičiuoju i-tojo intervalo vidurio reikšmės T_{v_i} ir koeficiento a santykį:

$$\frac{T_{v_1}}{a} = \frac{1,04}{5,231} = 0,1988, \quad \frac{T_{v_2}}{a} = \frac{2,54}{5,231} = 0,4856, \quad \frac{T_{v_3}}{a} = \frac{4,04}{5,231} = 0,7723, \quad \frac{T_{v_4}}{a} = \frac{5,54}{5,231} = 1,0591,$$

$$\frac{T_{v_5}}{a} = \frac{7,04}{5,231} = 1,3458, \quad \frac{T_{v_6}}{a} = \frac{8,54}{5,231} = 1,6326, \quad \frac{T_{v_7}}{a} = \frac{10,04}{5,231} = 1,9193.$$

Diferencialinės funkcijos reikšmės $f(T)$ apskaičiuojamos pagal formulę:

$$f(T) = \frac{a \cdot f(T)}{a}, \quad (16)$$

čia: $a \cdot f(T)$ – Veibulo dėsnio tikimybės tankio funkcija – i intervale [4 priedas].

$$f_1(T) = \frac{0,518}{5,231} = 0,099, \quad f_2(T) = \frac{0,768}{5,231} = 0,147, \quad f_3(T) = \frac{0,733}{5,231} = 0,140, \quad f_4(T) = \frac{0,626}{5,231} = 0,119,$$

$$f_5(T) = \frac{0,428}{5,231} = 0,082, \quad f_6(T) = \frac{0,25}{5,231} = 0,048, \quad f_7(T) = \frac{0,135}{5,231} = 0,026.$$

Apskaičiuoju i-tojo intervalo vidurio didžiausios reikšmės T_i^v ir koeficiento a santykį:

$$\frac{T_1^v}{a} = \frac{1,79}{5,231} = 0,342, \quad \frac{T_2^v}{a} = \frac{3,29}{5,231} = 0,629, \quad \frac{T_3^v}{a} = \frac{4,79}{5,231} = 0,916, \quad \frac{T_4^v}{a} = \frac{6,29}{5,231} = 1,202,$$

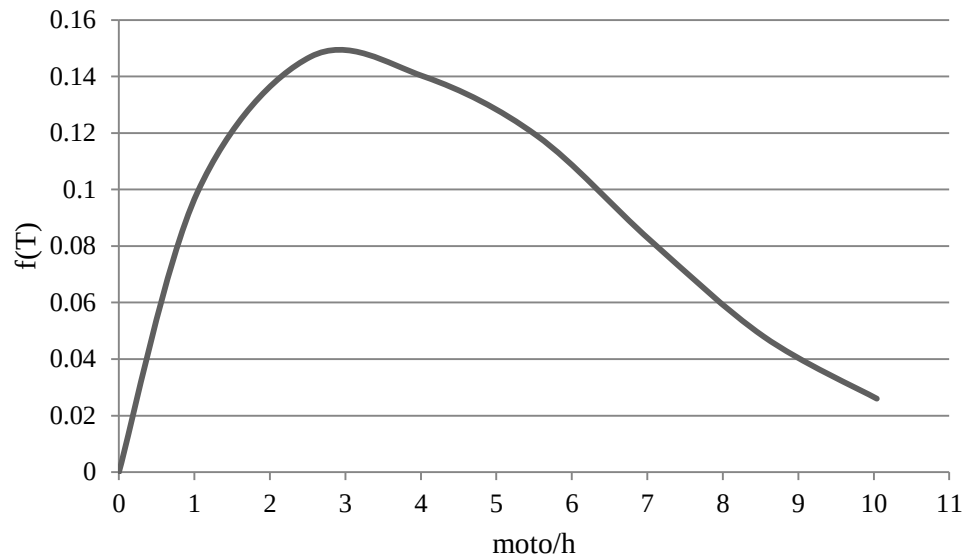
$$\frac{T_5^v}{a} = \frac{7,79}{5,231} = 1,489, \quad \frac{T_6^v}{a} = \frac{9,29}{5,231} = 1,776, \quad \frac{T_7^v}{a} = \frac{10,7}{5,231} = 2,045.$$

11 lentelė. $f(T)$ ir $F(T)$ reikšmių apskaičiavimas Veibulo pasiskirstymo dėsniai

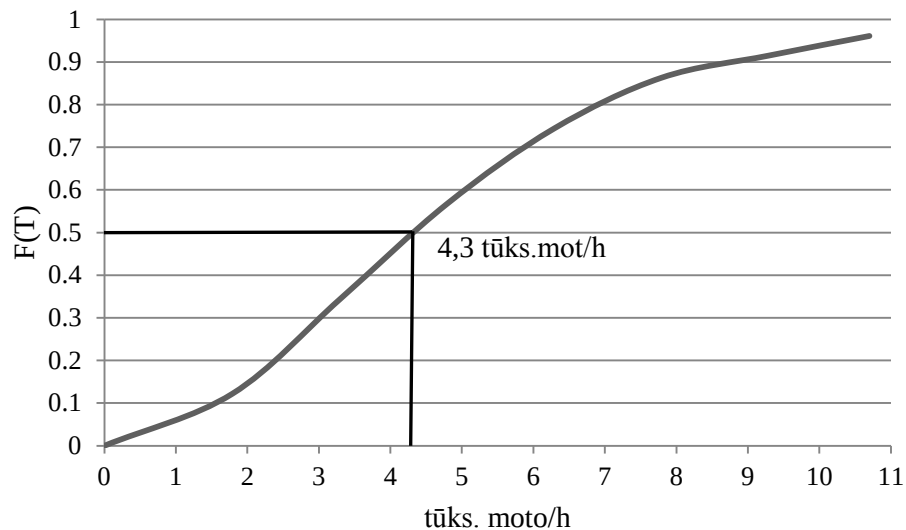
Daliniai intervalai, įvertinant T_p	290– 1790	1790– 3290	3290– 4790	4790– 6290	6290– 7790	7790– 9290	9290– 10790
Intervalo vidurio reikšmės T_{v_i} , motoval	1,04	2,54	4,04	5,54	7,04	8,54	10,04
Intervalo vidurio reikšmės T_{v_i} ir koef. a santykis T_{v_i}/a	0,1988	0,4856	0,7723	1,0591	1,3458	1,6326	1,9193
Tankio funkcija $a \cdot f(T)$ [5 priedas]	0,518	0,768	0,733	0,626	0,428	0,250	0,135
Diferencialinė funkcija $f(T)$	0,099	0,147	0,140	0,119	0,082	0,048	0,026
Intervalo kraštinės didžiausia reikšmė T_i^v , motoval	1,79	3,29	4,79	6,29	7,79	9,29	10,7
Intervalo kraštinės didžiausios reikšmės ir koef. a santykis T_i^v /a	0,342	0,629	0,916	1,202	1,489	1,776	2,045
Integralinė funkcija $F(T)$ [4 priedas]	0,122	0,343	0,567	0,744	0,863	0,915	0,961

Diferencialinės kreivės taškai atidedami intervalo viduryje, o integralinės kreivės – intervalo pabaigos taškuose.

Teorinio pasiskirstymo diferencialinė funkcija suteikia galimybę prognozuoti variklio gedimo pateikimo į tam tikrą intervalą tikimybę (Jasulionis *et al.* 2012). Taip pat teorinio pasiskirstymo diferencialinės funkcijos reikšmės bus naudojamos apskaičiuojant gedimų intensyvumą $\lambda(T)$.



34 pav. Teorinio pasiskirstymo diferencialinė funkcija



35 pav. Teorinio pasiskirstymo integralinė funkcija

Iš pasiskirstymo teorinės integralinės funkcijos grafiko galima nustatyti gaminio garantinį resursą (35 pav.). Pavyzdžiui, 50 % garantinis resursas rodo, kad yra tikimybė 0,50, jog kiekvienas gaminytis išdirbs ne mažiau kaip $T_{(50)}$ motovalandų, arba 50 % visų gaminių išdirbs ne mažiau kaip $T_{(50)}$ motovalandų (Vestartas *et al.* 2004).

Šiuo atveju pasirinkus tikimybę 0,5, 50 % visų variklių išdirbs ne mažiau nei 4300 motovalandų iki pirmo variklio gedimo.

4.4. Gedimų intensyvumo $\lambda(T)$ ir negendamumo tikimybės $P(T)$ skaičiavimas

Siekdamas atlikti pagrindinius šio skyriaus tikslus pirmiausia apskaičiuoju negendamumo tikimybes $P(T)$, paskui gedimų intensyvumą $\lambda(T)$:

$$P_i(T) = 1 - F_i(T), \quad (17)$$

čia: $F_i(T)$ – teorinio pasiskirstymo integralinė funkcija i -ajame intervale (duomenys imami iš 11 lentelės).

$$P_1(T) = 1 - 0,122 = 0,878, \quad P_2(T) = 1 - 0,343 = 0,657, \quad P_3(T) = 1 - 0,567 = 0,433,$$

$$P_4(T) = 1 - 0,744 = 0,256, \quad P_5(T) = 1 - 0,863 = 0,137, \quad P_6(T) = 1 - 0,915 = 0,085,$$

$$P_7(T) = 1 - 0,961 = 0,039.$$

Gedimų intensyvumas $\lambda(T)$ apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\lambda_i = \frac{f_i(T)}{P_i(T)}, \quad (18)$$

čia: $f_i(T)$ – teorinio pasiskirstymo diferencialinė funkcija i -ajame intervale (duomenys imami iš 11 lentelės).

$$\lambda_1 = \frac{0,099}{0,878} = 0,113, \quad \lambda_2 = \frac{0,147}{0,657} = 0,224, \quad \lambda_3 = \frac{0,14}{0,433} = 0,323, \quad \lambda_4 = \frac{0,119}{0,256} = 0,465,$$

$$\lambda_5 = \frac{0,082}{0,137} = 0,599, \quad \lambda_6 = \frac{0,048}{0,085} = 0,565, \quad \lambda_7 = \frac{0,026}{0,039} = 0,667.$$

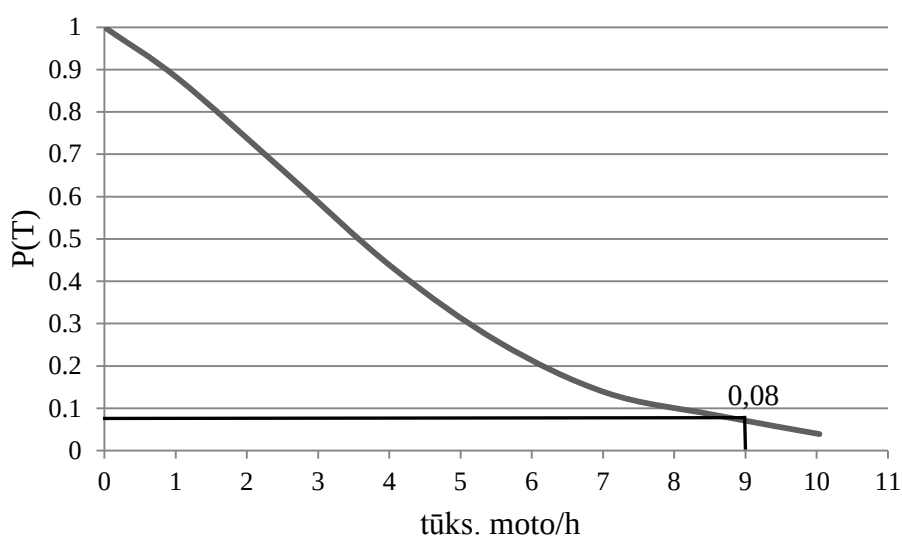
Negendamumo tikimybės $P(T)$ ir gedimų intensyvumo $\lambda(T)$ reikšmės surašau į 12 lentelę, kurioje 1-oje eilutėje – daliniai intervalai įvertinant pradinę informacijos pasislinkimą T_p , 2-oje – i -tojo intervalo vidurio reikšmė T_{v_i} , 3-oje – teorinio pasiskirstymo diferencialinė funkcija $f(T)$, 4-oje – teorinio pasiskirstymo integralinė funkcija $F(T)$, 5 – negendamumo tikimybė $P(T)$, 6 – gedimų intensyvumas $\lambda(T)$.

12 lentelė. Negendamumo tikimybės $P(T)$ ir gedimų intensyvumo $\lambda(T)$ reikšmės

1	2	3	4	5	6	7	8
Daliniai intervalai, įvertinant T_p	290– 1790	1790– 3290	3290– 4790	4790– 6290	6290– 7790	7790– 9290	9290– 10790
Intervalo vidurio reikšmės T_{v_i} , motoval	1,04	2,54	4,04	5,54	7,04	8,54	10,04
Teorinio pasiskirstymo diferencialinė funkcija $f(T)$	0,099	0,147	0,140	0,119	0,082	0,048	0,026

1	2	3	4	5	6	7	8
Teorinio pasiskirstymo integralinė funkcija $F(T)$	0,122	0,343	0,567	0,744	0,863	0,915	0,961
Negendamumo tikimybė $P(T)$	0,878	0,657	0,433	0,256	0,137	0,085	0,039
Gedimų intensyvumas $\lambda(T)$	0,113	0,224	0,323	0,465	0,599	0,565	0,667

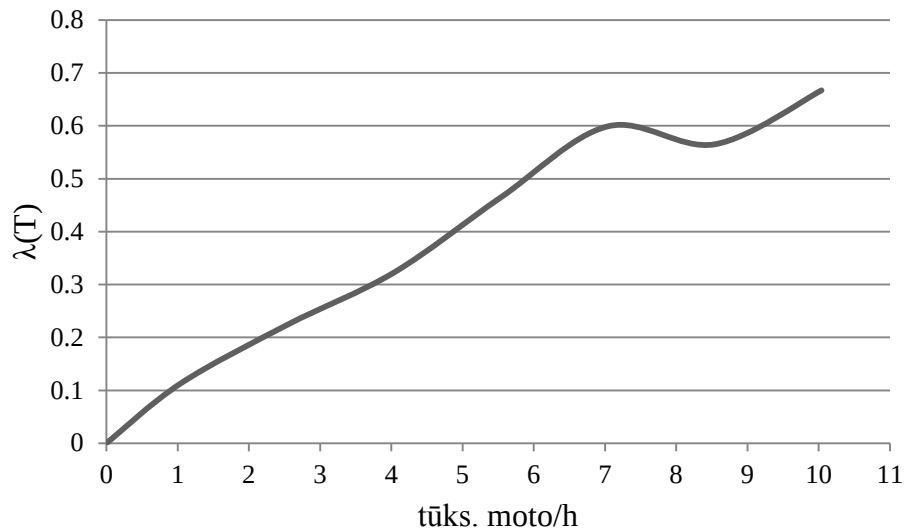
Iš 12 lentelės duomenų braižau negendamumo tikimybės $P(T)$ ir gedimų intensyvumo $\lambda(T)$ grafikus.



36 pav. Negendamumo tikimybės grafikas

Pasirinkęs 4000 motovalandų ribą, gaunu negendamumo tikimybę $P(4000)=0,42$, tai reiškia, kad apie 50 % vidaus degimo variklių CAT3512B sumontuoti į lokomotyvus 2M62M po 4000 motvalandų bus nors kartą sugedę. Šios tikimybės parodo, kad variklio įdirbiui pasiekus 4000 motovalandų vienoda tikimybė, kad variklis nesuges ar suges.

Žinant, kad šilumvežio 2M62M vidaus degimo varikliams CAT3512B yra suteikiama 2 metų (be ridos apribojimo) garantija, o garantiniu laikotarpiu variklis eksploatuojamas apie 9000 motovalandų, tai tikimybė, kad variklis garantiniu laikotarpiu nesuges, yra: $P(9000) = 0,08$, t. y. tikimybė, kad variklis CAT3512B suges bent kartą garantiniu laikotarpiu, yra 99,92 %.



37 pav. Gedimų intensyvumo grafikas

Gedimų intensyvumas sparčiausiai ima didėti nuo 4000 motovalandų, tai reiškia, kad varikliams CAT3512B pasiekus 4000 motovalandų įdirbį tikimybė, kad variklis suges smarkiai išauga. Varikliui CAT3512B pasiekus garantinio laikotarpio pabaigą gedimų intensyvumas šiek tiek sumažėja.

Išvados:

1. Pagal atsitiktinio dydžio diferencialinės funkcijos formą ir gautą standartinio nuokrypio reikšmę $v=0,6$ nustatyta, kad teorinis pasiskirstymo dėsnis yra Veibulo skirstinys.
2. Iš pasiskirstymo teorinės integralinės funkcijos grafiko nustatėme, kad pasirinkus tikimybę 0,5, 50 % visų variklių išdirbs ne mažiau nei 4300 motovalandų iki pirmo variklio gedimo.
3. Iš negendamumo tikimybės grafiko nustatyta, kad variklis garantiniu laikotarpiu nesuges, yra: $P(9000) = 0,08$, t. y. tikimybė, kad variklis CAT3512B suges garantiniu laikotarpiu yra 98 %.
4. Iš gedimų intensyvumo grafiko nustatyta, kad varikliams CAT3512B pasiekus 4000 motovalandų įdirbį tikimybė, kad variklis suges, smarkiai išauga.
5. Sudarytas matematinės statistikos modelis leidžia prognozuoti variklių CAT3512B gedimų patekimo į tam tikrą intervalą tikimybes. Todėl šis modelis gali būti taikomas prognozuojant būsimus variklių gedimus po atlikto kapitalinio remonto bei prognozuoti atsarginių dalių poreikį 2 metų laikotarpiui.

5. VARIKLIŲ CAT3512B GARANTINIŲ REMONTŲ EKONOMINĖ ANALIZĖ

Kadangi lokomotyvo 2M62M vidaus degimo varikliui CAT3512B suteikiama dvejų metų garantija, be ridos apribojimo, darbe surinkta informacija apie įvykusius gedimus per pirmus ir antrus metus. Garantiniu laikotarpiu lokomotyvas eksploatuojamas apie 10 000 motovalandų. Tai pirmiems metams parenku intervalą nuo eksploatacijos pradžios iki 5000 motovalandų, o antriems metams nuo 5001 motovalandos iki garantinio laikotarpio pabaigos.

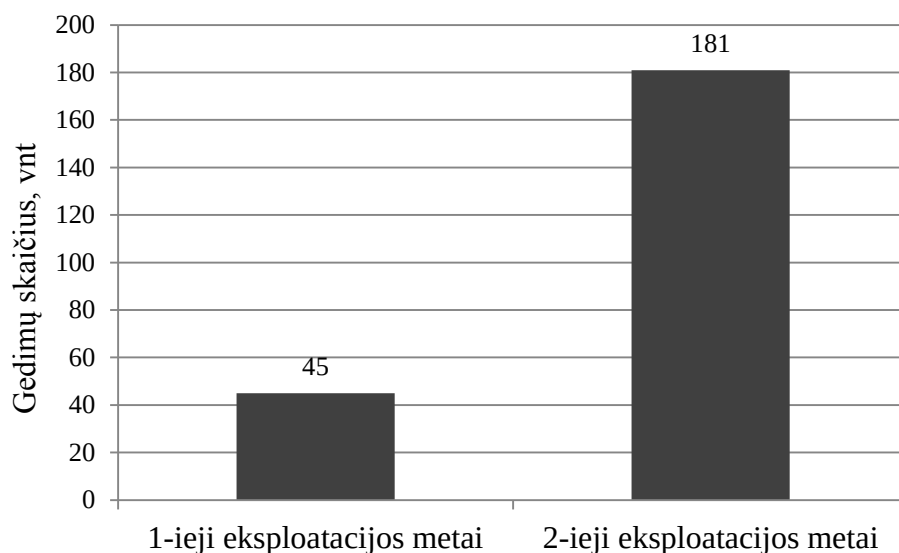
13 lentelėje pateikti lokomotyvų 2M62M vidaus degimo variklių CAT3512B gedimai, įvykę pirmaisiais ir antraisiais eksploatacijos metais.

13 lentelė. Garantinių remontų atlikimas pagal eksploatacijos metus

Detalių grupė	Detalė	Gedimai įvykę 1-aisiais eksploatacijos metais, vnt	Gedimai įvykę 2-aisiais eksploatacijos metais, vnt
Turbokompresoriai	Išmetimo kriauklės gedimai	1	42
	Kompensatorių lūžiai	4	13
	Išmetimo dujų sandarinimo žiedų nesandarumas	2	5
	Ortakių įtrūkiai	-	16
	Tepimo vamzdelio įtrūkiai	4	5
Cilindrinės galvutės	Cilindrinės galvutės nesandarumas	-	17
	Cilindrinių galvučių paaukštinimų tarpinių nesandarumas	-	9
	Cilindrinių galvučių tarpinių nesandarumas	1	7
	Vožtuvų tiltelių bazės tarpinių nesandarumas	3	7
	Vožtuvų tiltelių bazės įtrūkiai	4	4
	Vožtuvų spyruoklių lūžiai	-	2
Tepimo sistema	Alkūninio veleno riebokšlių nesandarumas	-	15

1	2	3	4
	Alyvos sistemos sandarinimo žiedų nesandarumas	8	6
	PG pavaros alyvos sandarinimo riebokšlių nesandarumas	1	3
	Alyvos slėgio daviklio gedimas	-	4
Aušinimo sistema	Aušinimo skysčio siurblio gedimas	-	4
	Termostatų gedimai	5	3
	Aušinimo sistemos sandarinimo žiedų nesandarumas	4	2
	Aušinimo skysčio temperatūros daviklio gedimas	3	1
Degalų sistema	Pirminių degalų siurblių gedimai	3	10
Pagalbinis generatorius (PG)	Pagalbinių generatorių gedimai	2	6
		Σ45	Σ181

Iš 38 pav. matyti, kad apie 80 % visų variklio CAT3512B gedimų įvyko antraisiais eksploataavimo metais, vadinasi, mažiausiai nuostolių dėl neplaninių lokomotyvo variklio remontų buvo pirmaisiais eksploatacijos metais.



38 pav. Gedimų pasiskirstymas pagal eksploatacijos metus

14 lentelėje pateikti variklių CAT3512B remonto darbų atlikimo normatyvai UAB „Witraktor“ darbuotojams bei suminis darbų imlumas.

14 lentelė. Variklių CAT3512B remonto suminiai darbų imlumai

Detalių grupė	Detalė	Vieno agregato remonto darbo imlumas, žm/val.	Gedimų skaičius, vnt.	Darbo sąnaudos, žm/val.
Turbokompresoriai	Išmetimo kriauklė	14	43	602
	Kompensatoriai	14	17	238
	Išmetimo dujų sandarinimo žiedai	14	7	98
	Ortakiai	7	16	112
	Tepimo vamzdelis	2	9	18
				Σ1068
Cilindrinės galvutės	Cilindrinė galvutė ¹	16	17	272
	Cilindrinių galvučių paaukštinimų tarpinė	16	9	144
	Cilindrinių galvučių tarpinė	16	8	128
	Vožtuvų tiltelių bazės tarpinė	6	10	60
	Vožtuvų tiltelių bazė	6	8	48
	Vožtuvų spyruoklė	4	2	8
				Σ660
Tepimo sistema	Alkūninio veleno riebokšlis ²	8	15	120
	PG pavaros alyvos sandarinimo riebokšlis	4	4	16
	Alyvos slėgio daviklis	1	4	4

1	2	3	4	5
	Tepimo sistemos sandarinimo žiedai	2	14	28
				Σ168
Aušinimo sistema	Aušinimo skysčio siurblys	6	4	24
	Termostatai	3	8	24
	Aušinimo sistemos sandarinimo žiedai	2	6	12
	Aušinimo skysčio temperatūros daviklis	1	4	4
				Σ64
Degalų sistema	Pirminis degalų siurblys	1	13	13
				Σ13
Pagalbinis generatorius	Pagalbinis generatorius	4	8	32
				Σ32
Suminis darbų imlumas				Σ2005

Paiškinimai: 1 – remontuojant cilindrinės galvutės grupę, kai reikia nuimti cilindrinę galvutę, lokomotyvo stogo nukėlimo ir aušinimo skysčio nupylimo darbus atlieka VLRD specialistai. Šių darbų laiko sąnaudos neįskaičiuotos.

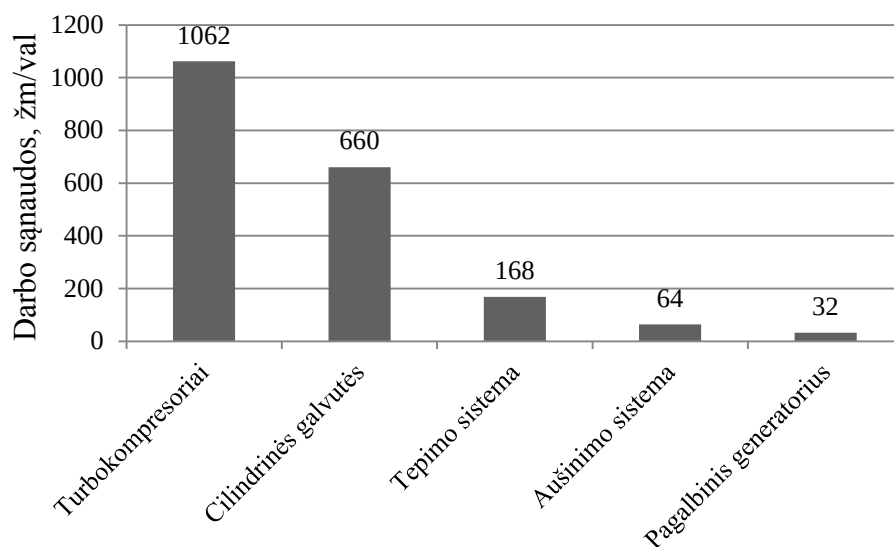
2 – keičiant alkūninio veleno riebokšlius, lokomotyvo stogo nukėlimo darbus atlieka VLRD specialistai. O keičiant galinį alkūninio veleno riebokšlį – generatoriaus nuėmimo, uždėjimo ir išcentravimo darbus atlieka VLRD specialistai. Šių darbų laiko sąnaudos neįskaičiuotos.

Kadangi UAB „Witraktor“ darbo valanda įkainota 120 litų be PVM, galima paskaičiuoti kiek kainavo darbo sąnaudos „Caterpillar“ gamyklai, garantiniu laikotarpiu įvykę gedimai. Skaičiavimai pateikiami 15 lentelėje.

15 lentelė. Darbo valandų sąnaudos

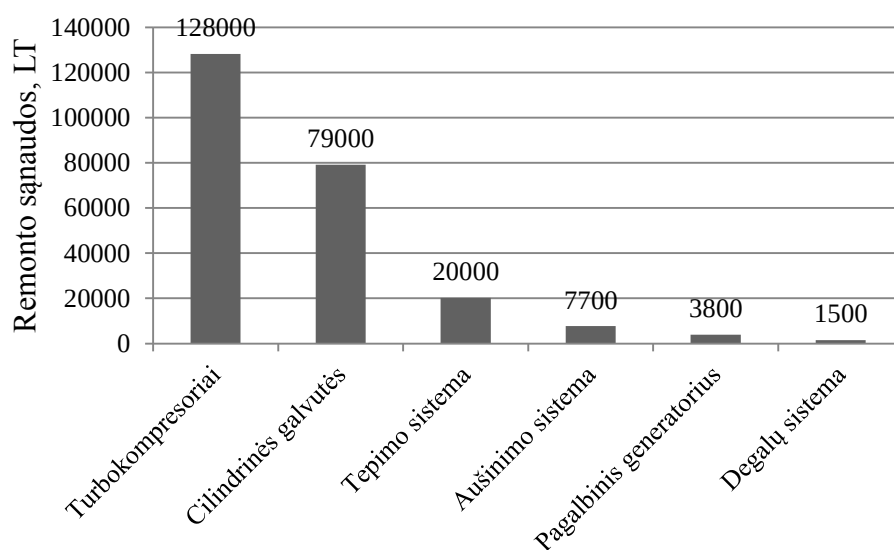
Detalių grupė	Visų remontų darbo sąnaudos, žm/val	Remontų kaina, Lt
Turbokompresoriai	1068	128160
Cilindrinės galvutės	660	79200
Tepimo sistema	168	20160
Aušinimo sistema	64	7680
Degalų sistema	13	1560
Pagalbinis generatorius	32	3840
	Σ2005	Σ240600¹

Paiškinimas: 1 – kaina nurodyta litais, be PVM.



39 pav. Lokomotyvų variklių CAT3512B mazgų gedimų šalinimo darbų imlumas

Kaip matyti iš 39 paveikslo, daugiausia sąnaudų reikalavo turbokompresorių grupės gedimų šalinimas. Šių gedimų šalinimas užtruko 1062 valandas, o tai sudarė apie 53 % visų darbo valandų sąnaudų.



40 pav. Lokomotyvų variklių CAT3512B gedimų šalinimo darbų kaina

Analizuojant 40 paveikslą matyti, kad 53 % visų remonto sąnaudų sudarė turbokompresorių mazgo gedimams šalinti.

2013 metais vidutinis lokomotyvo 2M62M paros našumas buvo $1,1 \cdot 10^6$ tkm bruto. Lokomotyvų 2M62M variklių CAT3512B remontų prastovos garantiniu laikotarpiu buvo 2005 valandos, o tai sudaro 83,54 paros. Vidutiniškai vienas lokomotyvas 2M62M garantiniu laikotarpiu neplaniniame remonte buvo apie 3 paras. Vadinasi, lokomotyvai 2M62M dėl variklio

CAT3512B gedimų garantiniu laikotarpiu neatliko $91,3 \cdot 10^6$ tkm bruto darbo. 2013 metais krovinių tranzito rinkliavos dydis buvo 0,0368 Lt/tkm neto. Vadinasi Lietuvos geležinkeliai dėl lokomotyvų 2M62M variklių CAT3512B gedimų garantiniu laikotarpiu vidutiniškai galėjo patirti apie 3,36 milijonų litų nuostolių.

Išvados:

1. 80 % visų variklio CAT3512B gedimų įvyko antraisiais eksploataavimo metais.
2. 53 % visų remonto darbų laiko sąnaudų sudarė turbokompresorių grupės gedimų šalinimas.
3. Garantinių remonto darbų (be detalių) atlikimo kaina: 240 600 litų.
4. Dėl variklių gedimų garantiniu laikotarpiu lokomotyvai 2M62M neatliko $91,3 \cdot 10^6$ tkm bruto darbų.
5. Vidutiniškai vienas lokomotyvas 2M62M garantiniu laikotarpiu neplaniniame remonte buvo apie 72 valandas.
6. AB „Lietuvos geležinkeliai“ dėl lokomotyvų 2M62M variklių CAT3512B remontų galėjo patirti apie 3,36 milijonų litų nuostolių.

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

1. Garantiniu laikotarpiu nenustatyta stūmoklinės – švaistiklinės grupės gedimų.
2. Garantiniu laikotarpiu 41% visų gedimų sudarė turbokompresorių mazgo gedimai. Siekiant padidinti turbokompresorių mazgo patikimumą būtini turbokompresorių mazgo konstruktyviniai pakeitimai.
3. Nustatyta, kad gedimų garantiniu laikotarpiu priežastys pasiskirstė taip: 48% visų gedimų buvo technologinės, 32% konstrukcinės, 20% eksploatacinės.
4. Nustatyta, kad garantiniu laikotarpiu sugedo 4 vienetai aušinimo skysčio siurblių. Trys sugedę siurbLIAI patenka į intervalą nuo 5000 iki 5900 motovalandų. Galime daryti prielaidą, kad atliekant ER-1 (5000 motoval) nebuvo pakeistas, arba nepilnai pakeistas aušinimo skystis.
5. Tikimybė, kad garantinio laikotarpio pabaigoje variklis CAT3512B nesuges yra $P(9000)=0,08$.
6. Vidutiniškai vienas lokomotyvas 2M62M garantiniu laikotarpiu neplaniniame remonte buvo apie 72 valandas. Lietuvos geležinkeliai dėl lokomotyvų 2M62M variklių CAT3512B neplaninių remontų galėjo patirti apie 3,36 milijonų litų nuostolių.

LITERATŪRA

- Čereška, A., Pauža, V. Kokybės analizė ir valdymas. Vilnius, Technika, 2005. 134 p.
- Čekanavičius, V., Murauskas, G., Statistika ir jos taikymai I. Vilnius, TEV, 2001. 241 p.
- Dėl rinkliavų už viešosios geležinkelių infrastruktūros valdytojo teikiamas paslaugas dydžių nustatymo [interaktyvus]. 2013. [žiūrėta 2014 m. balandžio 13 d.]. Prieiga per internetą: <
http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=442384>.
- Jasulionis, A., Nagurnas, S., Melaika, M. 2012. Matematinės statistikos metodų taikymas analizuojant variklių technines charakteristikas [Use of mathematical methods of statistics for analyzing engine characteristics]. *Mokslas – Lietuvos ateitis: statyba, transportas, aviacinės technologijos [Science – Future of Lithuania: civil and transport engineering, aviation technologies]*. Vilnius, Technika. ISSN 2029-2341. T. 4, nr. 4. 351-356 p.
- Jonaitis L. Mašinų servisas. Kaunas, Smaltija, 1998. 312 p.
- Katkus, A. 14D40 variklio gedimų analizė: mokslo darbo ataskaita. Vilnius, 1997. 18 p.
- Kosovski, S., Sivilevičius, H. 2013. Prekinių traukinių lokomotyvų techninių ir eksploatacinių parametrų analizė ir vertinimas. *Mokslas – Lietuvos ateiti: Transporto inžinerija ir vadyba*. Vilnius, Technika. ISSN 2029-7157. 300-305 p.
- Lingaitis, L. P. Riedmenų diagnostika. Vilnius, Technika, 2000. 224 p.
- Medekšas, H. Gaminių kokybė ir patikimumas. Kaunas, Technologija, 2003. 279 p.
- Mickūnaitis, V. Transporto priemonių kokybės valdymas. Vilnius, Technika, 2006. 174 p.
- Pikūnas, A., Garbinčius G. 1999. Automobilių variklių pagrindinių detalių techninio būvio įtaka degalų sąnaudoms. [Influence of technical state of basic automobilį engine components on fuel consumption]. *Transportas – transport engineering*. Vilnius, Technika. ISSN 1392-1533. T. 14, nr. 1. 33 – 41 p.
- Rymeikis, V., Audzevičius, V., Padgurskas, J. Mašinų patikimumas ir remontas. Vilnius: Mokslas, 1990. 325 p.
- Steišūnas, S.; Bureika, G. 2012. Prekinių šilumvežių magistralei „RAIL BALTICA“ parinkimo algoritmas [Algorithm for choosing traction rolling-stock for railway line Rail Baltica]. *Mokslas – Lietuvos ateitis: statyba, transportas, aviacinės technologijos [Science – Future of Lithuania: civil and transport engineering, aviation technologies]*. Vilnius, Technika. ISSN 2029-2341. T. 4, nr. 4. 386-390 p.
- Vestartas, A.; Nagurnas, S. Transporto mašinų patikimumo teorija. Namų darbo metodiniai nurodymai. Vilnius, Technika. 2004. 13 p.
- Vyšniakas, I.; Slivinskas, K. Patikimumo teorija. Objektų kokybės vertinimo ir patikimumo skaičiavimų metodikos nurodymai. Vilnius, Technika, 2005. 90 p.