



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

# **Eksperimentiniai stabdžių skysčio virimo temperatūros tyrimai**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Dovydas Nėnys**  
Projekto autorius

**prof. Vaidas Lukoševičius**  
Vadovas

---

**Kaunas, 2020**



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

# **Eksperimentiniai stabdžių skysčio virimo temperatūros tyrimai**

Baigiamasis magistro projektas  
Transporto priemonių inžinerija (6211EX021)

---

**Dovydas Nėnys**  
Projekto autorius

**prof. Vaidas Lukoševičius**  
Vadovas

**doc. Rolandas Makaras**  
Recenzentas

---

**Kaunas, 2020**



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

## **Eksperimentiniai stabdžių skysčio virimo temperatūros tyrimai**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Dovydo Nėnio, baigiamasis projektas tema „Eksperimentiniai stabdžių skysčio virimo temperatūros tyrimai“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

---

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

---

(parašas)



## Kauno technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Studijų programa – Transporto priemonių inžinerija (6211EX021)

# Magistro baigiamojo projekto užduotis

Studentui(-ei) *Dovydas, Nėnys*

## 1. Baigiamojo projekto tema:

*Eksperimentiniai stabdžių skysčio virimo temperatūros tyrimai*

*Experimental investigations of the boiling temperature of brake fluid*

## 2. Projekto tikslas:

Eksperimentiškai ištirti stabdžių skysčio virimo temperatūrą ir jos priklausomybę nuo drėgmės kiekio stabdžių skystyje.

## 3. Projekto uždaviniai:

1. Atlikti literatūrinę analizę ir aprašyti stabdžių skysčius, jų tipus ir ypatumus, tyrimus, susijusius su stabdžių skysčiais.
2. Atlikti tyrimą su įvairių gamintojų naujais stabdžių skysčiais: išmatuoti drėgmės kiekį stabdžių skysčių mėginiuose ir nustatyti šių mėginių virimo temperatūrą.
3. Atlikti tyrimą su automobiliuose naudotais stabdžių skysčiais: išmatuoti drėgmės kiekį stabdžių skysčių mėginiuose ir nustatyti šių mėginių virimo temperatūrą.
4. Atlikti tyrimą su skirtingu drėgmės kiekiu pasižyminčiais stabdžių skysčių mėginiais ir nustatyti mėginių virimo temperatūrą.
5. Atlikti tyrimą su programoje MATLAB sumodeliuota stabdžių sistema ir nustatyti, ar stabdžių skysčio virimo temperatūra turi įtakos automobilio stabdymui.

## 4. Projekto aprašomosios dalies struktūra:

*Literatūros apžvalga, tyrimų aprašymas, eiga ir rezultatai, darbo apibendrinimas.*

## 5. Projekto konsultantai:

Baigiamojo projekto autorius

Dovydas Nėnys

*(pareigų sutrumpinimas, vardas, pavardė, parašas, data)*

Baigiamojo projekto vadovas

prof. Vaidas Lukoševičius

---

*(pareigų sutrumpinimas, vardas, pavardė, parašas, data)*

Krypties studijų programų vadovas

prof. Artūras Keršys

---

*(pareigų sutrumpinimas, vardas, pavardė, parašas, data)*

Autoriaus Nėnys, Dovydas. Eksperimentiniai stabdžių skysčio virimo temperatūros tyrimai. Magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. Vaidas Lukoševičius; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Transporto inžinerija (E12), Inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: stabdžių skystis, DOT 4, stabdžių skysčio virimo temperatūra, drėgmės kiekis.

Kaunas, 2020. 65 p.

## **Santrauka**

Teorinėje šio darbo dalyje aprašomi stabdžių skysčių tipai, klasifikacijos. Išsamiau išnagrinėjamos stabdžių skysčių charakteristikos ir savybės, taip pat aprašomi prietaisai, skirti stabdžių skysčių būklės nustatymui. Išanalizuoti ir trumpai aprašyti kitų autorių darbai, susiję su stabdžių skysčiais.

Tyrimo su įvairių gamintojų naujais stabdžių skysčiais dalyje atliekami bandymai su devyniais naujo DOT 4 klasifikacijos stabdžių skysčio mėginiais, išmatuojamas drėgmės stabdžių skysčio mėginiuose ir nustatoma mėginių virimo temperatūra. Nustatoma, ar stabdžių skysčiai atitinka DOT 4 klasifikacijos stabdžių skysčiams keliamus reikalavimus.

Tyrimo su automobiliuose naudotais stabdžių skysčiais dalyje atliekami bandymai su stabdžių skysčių mėginiais iš keturių automobilių, kuriuose stabdžių skystis naudotas tam tikrą laikotarpį: išmatuojamas drėgmės kiekis stabdžių skysčių mėginiuose ir nustatoma šių mėginių virimo temperatūra. Taip pat nustatoma, ar skiriasi stabdžių skysčio iš automobilio pagrindinio stabdžių cilindro rezervuaro ir stabdžių skysčio iš rato stabdžių cilindro virimo temperatūra.

Tyrimo su skirtingu drėgmės kiekiu pasižyminčiais stabdžių skysčių mėginiais dalyje atliekami bandymai su stabdžių skysčių mėginiais, pasižyminčiais 1 %, 2 %, 3% ir 4% drėgmės kiekiu. Atliekami šių stabdžių skysčio mėginių virimo temperatūros nustatymo bandymai.

Tyrimo su programa MATLAB dalyje, atliekama kompiuterinė automobilio stabdymo simuliacija ir nustatoma, ar stabdžių skysčio virimo temperatūra turi įtakos automobilio stabdymui.

Darbo apibendrinime ir išvadose aprašomi atliktų tyrimu rezultatai. Išanalizuojami su naujais stabdžių skysčiais atlikto tyrimo rezultatai ir nustatoma, kad aukščiausia vidutine virimo temperatūra pasižymi ATE gamintojo stabdžių skystis, kurio vidutinė virimo temperatūra lygi 261 °C, o mažiausia vidutine virimo temperatūra, kuri lygi 203 °C, pasižymi SCT gamintojo stabdžių skystis. Išanalizuojami su naudotais stabdžių skysčiais atlikto tyrimo rezultatai ir nustatoma, kad drėgmės kiekiui stabdžių skystyje ir stabdžių skysčio būklei didelę įtaką turi stabdžių skysčio naudojimo laikotarpis – kuo ilgesnį laikotarpį stabdžių skystis naudojamas, tuo didesnis drėgmės kiekis susikaupia stabdžių skystyje. Išanalizuojami su stabdžių skysčiais, pasižyminčiais skirtingu drėgmės kiekiu, atlikto tyrimo rezultatai ir nustatoma, kad stabdžių skysčio virimo temperatūrai didelę įtaką turi skystyje esantis drėgmės kiekis. Kai drėgmės kiekis stabdžių skystyje lygus 0,28 %, stabdžių skysčio virimo temperatūra lygi 233 °C, o drėgmės kiekiui padidėjus iki 4 %, stabdžių skysčio virimo temperatūra sumažėja iki 140 °C temperatūros. Išanalizuojami su programa MATLAB atlikto tyrimo – automobilio stabdymo kompiuterinės simuliacijos rezultatai ir nustatoma, kuo stabdžių skysčio, esančio automobilio stabdžių sistemoje, virimo temperatūra žemesnė, tuo ilgiau užtrunka sustabdyti automobilį.

Nėnys, Dovydas. Experimental investigations of the boiling temperature of brake fluid. Master's Final Degree Project / supervisor prof. Vaidas Lukoševičius; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Transport Engineering (E12), Engineering Science.

Keywords: brake fluid, DOT 4, brake fluid boiling temperature, moisture content.

Kaunas, 2020. 65 p.

### **Summary**

In the theory part of this paper the brake fluid types and classifications are described. The characteristics and properties of the brake fluids are described in more detail, as well as the devices, which are used to determine the condition of the brake fluids. Thesis, which are related to brake fluids and are written by other authors are also analysed and described in this part of the paper.

In the part of the investigation of new brake fluids from various manufacturers, the experiments are performed to measure the moisture content and the boiling temperature of nine unused DOT 4 classification brake fluid samples. It is determined if the brake fluids, which are used in the experiments, meet the requirements of DOT 4.

In the part of the investigation of the used brake fluids, where samples are taken out of four cars, where the brake fluid was used for some time period, experiments are performed to measure the moisture content and the boiling temperature of brake fluid samples. It is determined if there is any difference between the boiling temperature of brake fluid from the car's master cylinder reservoir and the brake fluid from the wheel brake cylinder.

In the part of the investigation of brake fluids with different moisture contents, the experiments are performed with four samples of the brake fluid, where the moisture content is equal to 1 %, 2%, 3% and 4 %. The experiments are made to determine the boiling temperature of the brake fluid samples.

In the part of the investigation using MATLAB program, computer simulation of brake system is performed, to determine how the boiling temperature of the brake fluid effects the braking of the vehicle.

The conclusions part of this paper describe the results of the investigations. By analysing the results of the investigation of the new brake fluids, it is determined that the ATE manufacturer brake fluid has the highest average boiling point, which is equal to 261 °C, and the SCT manufacturer brake fluid has the lowest average boiling point, which is equal to 203 °C. By analysing the results of the investigation of the used brake fluid it is determined that the moisture content of the brake fluid and the condition of the brake fluid highly depends on the period of time it is used – the longer the brake fluid is used in the car brake system, the more moisture it absorbs. By analysing the results of the investigation of the brake fluids, which are mixed with water to reach a certain percentage of water, it is determined that the boiling point of the brake fluid highly depends on the moisture content in the fluid. When the moisture content in the brake fluid is equal to 0,28 %, brake fluid boiling temperature is equal to 233 °C, and when the moisture content raises to 4 %, the brake fluid boiling temperature drops to 140 °. By analysing the results of the investigation, which is performed using MATLAB, by doing a computer simulation of car braking, it is determined, that the lower the boiling temperature of the brake fluid, the longer it takes to stop the car.

## Turinys

<b>Lentelių sąrašas .....</b>	<b>9</b>
<b>Paveikslų sąrašas .....</b>	<b>10</b>
<b>Įvadas.....</b>	<b>13</b>
<b>1. Literatūros apžvalga .....</b>	<b>14</b>
1.1. Stabdžių skystis ir jo vaidmuo stabdžių sistemoje .....	14
1.2. Stabdžių skysčiuose naudojamos medžiagos ir stabdžių skysčių klasifikacija .....	14
1.3. Stabdžių skysčių charakteristikos ir savybės.....	17
1.3.1. Stabdžių skysčio klampumas.....	18
1.3.2. Stabdžių skysčio virimo temperatūra .....	18
1.3.3. Hidroskopiškumas .....	20
1.3.4. Stabdžių skysčių suderinamumas su kitais stabdžių skysčiais .....	21
1.3.5. Fizikinių ir cheminių savybių stabilumas.....	22
1.3.6. Tepimo savybės.....	22
1.3.7. Antikorozinės savybės.....	22
1.3.8. Poveikis guminėms detalėms.....	23
1.3.9. Stabdžių skysčio spalva .....	24
1.4. Automobilių gamintojų rekomenduojami stabdžių skysčio keitimo intervalai.....	25
1.5. Stabdžių skysčio virimo temperatūros ir drėgmės kiekio nustatymas.....	25
1.6. Mokslinių darbų apžvalga .....	27
1.6.1. Hidrofilinis stabdžių skysčio charakterizavimas .....	27
1.6.2. Stabdžių skysčio klampumo savybių tyrimas.....	29
<b>2. Atlikti stabdžių skysčių tyrimai .....</b>	<b>32</b>
2.1. Naujų stabdžių skysčių virimo temperatūros tyrimas .....	32
2.1.1. Tyrime naudota įranga.....	32
2.1.2. Tyrimo eiga ir rezultatai .....	33
2.2. Naudotų stabdžių skysčių virimo temperatūros tyrimas .....	43
2.2.1. Tyrimo eiga ir rezultatai .....	43
2.3. Stabdžių skysčių, pasižyminčių skirtingu drėgmės kiekiu, virimo temperatūros tyrimas .....	51
2.3.1. Tyrimo eiga ir rezultatai .....	51
2.4. Stabdžių skysčio virimo temperatūros įtakos automobilio stabdymui tyrimas .....	55
2.4.1. Tyrimo eiga ir rezultatai .....	55
<b>Darbo apibendrinimas ir palyginimas.....</b>	<b>61</b>
<b>Išvados .....</b>	<b>63</b>
<b>Literatūros sąrašas .....</b>	<b>64</b>



## Lentelių sąrašas

1 lentelė. Stabdžių skysčių DOT klasifikacija ir charakteristikos [4] .....	16
2 lentelė. Stabdžių skysčių korozijos bandymuose naudojamų juostelių leistinos masės pokyčio ribos [11] .....	23
3 lentelė. Automobilių gamintojų nustatyti stabdžių skysčio tinkamumo naudoti laikotarpiai [14].	25
4 lentelė. Prietaiso TESTMATE DMM – 250T temperatūros matavimo paklaida [19] .....	32
5 lentelė. Stabdžių skysčių, naudotų bandymuose, sąrašas ir informacija .....	34
6 lentelė. Drėgmės kiekio naujo stabdžių skysčio mėginiuose matavimo rezultatai.....	36
7 lentelė. Stabdžių skysčių mėginių virimo temperatūra, atlikus 20 bandymų su kiekvienu naujo stabdžių skysčio mėginiu.....	37
8 lentelė. 20 kartų išmatuotos naujų stabdžių skysčių virimo temperatūros reikšmių aibės charakteristikos.....	40
9 lentelė. Duomenys apie naudotų stabdžių skysčių mėginius.....	45
10 lentelė. Drėgmės kiekis naudotų stabdžių skysčių mėginiuose.....	46
11 lentelė. Stabdžių skysčių mėginių virimo temperatūra, atlikus 20 bandymų su kiekvienu naudoto stabdžių skysčio mėginiu.....	47
12 lentelė. 20 kartų išmatuotos naudotų stabdžių skysčių virimo temperatūros reikšmių aibės charakteristikos.....	48
13 lentelė. Stabdžių skysčio mėginiams paruošti apskaičiuota stabdžių skysčio ir vandens masė ...	51
14 lentelė. Stabdžių skysčių mėginių virimo temperatūra, atlikus 20 bandymų su kiekvienu skirtingu drėgmės kiekiu pasižyminčių stabdžių skysčių mėginiu.....	52
15 lentelė. 20 kartų išmatuotos skirtingu drėgmės kiekiu pasižyminčių stabdžių skysčių virimo temperatūros reikšmių aibės charakteristikos.....	53
16 lentelė. Grafiko sudarymui surašytos skirtingu drėgmės kiekiu pasižyminčių stabdžių skysčių virimo temperatūros reikšmės .....	53
17 lentelė. Skaičiavimams atlikti reikalingos stabdžių skysčio EXPERT virimo temperatūros ir drėgmės kiekis stabdžių skystyje.....	56
18 lentelė. Stabdymo simuliacijai atlikti reikalingi duomenys.....	58
19 lentelė. Stabdymo simuliacijos bandymų rezultatai .....	58

## Paveikslų sąrašas

1 pav. Schema stabdžių veikimui paaiškinti [1] .....	14
2 pav. DOT klasifikacijos stabdžių skysčių virimo temperatūrų palyginimas [5] .....	16
3 pav. DOT klasifikacijos stabdžių skysčių didžiausių ir mažiausių klampumo reikšmių palyginimas [5] .....	17
4 pav. Intensyvaus stabdymo metu stabdžių magistralėse esančiame stabdžių skystyje vykstantys procesai, stabdžių skysčio virsmas dujomis [6].....	19
5 pav. „Sauso“ ir „drėgno“ stabdžių skysčių virimo temperatūrų palyginimas [5].....	20
6 pav. Gamintojo SHELL DOT 3, DOT 4, DOT 4 ESL ir DOT 4 ULTRA klasifikacijų stabdžių skysčių virimo temperatūros priklausomybė nuo drėgmės kiekio [7].....	20
7 pav. Stabdžių skysčių suderinamumo lentelė [8] .....	21
8 pav. Korozijos pažeistas stabdžių cilindro stūmokliukas, pažymėtas 1 Nr., ir naujas stūmokliukas, pažymėtas 2 Nr. [10] .....	23
9 pav. Guminiai stabdžių sistemos sandarikliai prieš ir po bandymų su jiems nepritaikytu skysčiu. 1. Guminis sandariklis prieš bandymą. 2. Guminis sandariklis po bandymo. 1. Guminis sandariklis prieš bandymą. 2. Guminis sandariklis po bandymo [12].....	24
10 pav. Skirtingų klasifikacijų stabdžių skysčių spalvos [13].....	24
11 pav. Stabdžių skysčio virimo temperatūros ir drėgmės kiekio jame nustatymui skirtas prietaisas – optinis refraktometras [15] .....	26
12 pav. Stabdžių skysčio virimo temperatūrai nustatyti skirtas prietaisas [16].....	26
13 pav. Stabdžių skysčio virimo temperatūrai nustatyti skirtas prietaisas [17].....	27
14 pav. Stabdžių skysčio virimo temperatūros priklausomybė nuo drėgmės kiekio [17].....	28
15 pav. Stabdžių skysčio virimo temperatūros priklausomybė nuo skysčio naudojimo laiko [17] ..	28
16 pav. Bandymams atlikti naudotas įrenginys LAUDA RL6. 1. Kriostatas. 2. Ubbelohde viskozimetras [18] .....	29
17 pav. Stabdžių skysčio kinematinio klampumo matavimo prietaisas: Ubbelohde viskozimetras [18] .....	30
18 pav. Stabdžių skysčio kinematinio klampumo priklausomybė nuo drėgmės kiekio, kai stabdžių skysčio temperatūra lygi -40 °C [18].....	30
19 pav. Stabdžių skysčio kinematinio klampumo priklausomybė nuo drėgmės kiekio, kai stabdžių skysčio temperatūra lygi 100 °C [18].....	31
20 pav. Stabdžių skysčio virimo temperatūros matavimui naudoti prietaisai. 1. Termopora. 2. Multimetro TESTMATE DMM – 250T .....	32
21 pav. Drėgmės kiekio stabdžių skystyje matavimo prietaisas DUOYI DY23B. 1. Prietaiso ekranėlis. 2. Drėgmės kiekio jutikliai. 3. Drėgmės kiekio skalė.....	33
22 pav. Įvairių gamintojų DOT 4 klasifikacijos stabdžių skysčiai, naudoti bandymuose.....	33
23 pav. 1 dalis drėgmės kiekio matavimo prietaiso parodymų naujame stabdžių skystyje .....	35
24 pav. 2 dalis drėgmės kiekio matavimo prietaiso parodymų naujame stabdžių skystyje .....	35
25 pav. Stabdžių skysčių virimo temperatūros nustatymo bandymams atlikti paruoštų prietaisų išdėstymo principinė schema. 1. Šildymo prietaisas. 2. Indas stabdžių skysčiui. 3. Termopora. 4. Multimetro.....	36
26 pav. Skirstinio asimetriškumas [20] .....	39
27 pav. Skirtingų gamintojų DOT 4 klasifikacijos stabdžių skysčių vidutinių virimo temperatūrų palyginimas.....	41

28 pav. Skirtingų gamintojų DOT 4 klasifikacijos stabdžių skysčių vidutinių virimo temperatūrų ir drėgmės kiekio palyginimas .....	42
29 pav. Naujo stabdžių skysčio mėginys. 1. Stabdžių skysčio mėginys, prieš virimo temperatūros nustatymo bandymą. 2. Stabdžių skysčio mėginys, po virimo temperatūros nustatymo bandymo ..	43
30 pav. Stabdžių skysčio mėginys švirkštu paimamas iš automobilio pagrindinio stabdžių cilindro rezervuaro .....	44
31 pav. Stabdžių skystis perpumpuojamas iš automobilio rato stabdžių cilindro į indą stabdžių skysčio mėginiui. 1. Rato stabdžių cilindras. 2. Rato stabdžių cilindro oro pašalinimo vožtuvas. 3. Žarnelė stabdžių skysčio perpumpavimui į stabdžių skysčio mėginiui skirtą indą. 4. Stabdžių skysčio mėginiui skirtas indas .....	44
32 pav. 1 dalis drėgmės kiekio matavimo prietaiso parodymų naudotame stabdžių skystyje .....	45
33 pav. 2 dalis drėgmės kiekio matavimo prietaiso parodymų naudotame stabdžių skystyje .....	45
34 pav. Naudotų stabdžių skysčių mėginių vizualus palyginimas .....	46
35 pav. Naudotų stabdžių skysčių mėginių vizualus palyginimas .....	47
36 pav. Stabdžių skysčio iš pagrindinio stabdžių cilindro rezervuaro virimo temperatūros priklausomybė nuo drėgmės kiekio skystyje.....	49
37 pav. Stabdžių skysčio iš rato stabdžių cilindro virimo temperatūros priklausomybė nuo drėgmės kiekio skystyje .....	49
38 pav. Verdantis naudoto stabdžių skysčio mėginys. 1. Stabdžių skysčio mėginys, tik pasiekęs virimo temperatūrą. 2. Stabdžių skysčio mėginys, kuris buvo verdamas ilgesnį laiko tarpą, pakeitęs spalvą.....	51
39 pav. Skirtingu drėgmės kiekiu pasižyminčių stabdžių skysčių virimo temperatūros priklausomybė nuo drėgmės kiekio skystyje .....	53
40 pav. MATLAB programoje, SIMSCAPE aplinkoje sumodeliuotos automobilio stabdžių sistemos schema. 1. Kelio savybių blokas. 2. Automobilio blokas. 3. Stabdžių ir ABS sistemos blokas .....	55
41 pav. Automobilio duomenys automobilio bloke. 1. Automobilio masė. 2. Automobilio ašių skaičius. 3. Automobilio masės centro ašies atstumas iki priekinės ašies. 4. Automobilio masės centro atstumas iki galinės ašies. 5. Automobilio masės centro aukštis. 6. Išorinė papildoma masė. 7. Laisvojo kritimo pagreitis.....	55
42 pav. Automobilio parametrai automobilio bloke. 8. Videlio plotas. 9. Oro pasipriešinimo koeficientas. 10. Oro tankis .....	56
43 pav. ABS valdiklio – stabdžių blokas. 1. Ratų stabdžių cilindro blokas. 2. ABS valdiklio blokas. 3. Vakuuminis stabdžių stiprintuvas ir pagrindinis stabdžių cilindras. 4 Hidraulinio skysčio blokas .....	56
44 pav. Hidraulinio skysčio parametrų įvedimo langas. 1. Pasirenkamas skysčio tipas 2. Įvedamas santykinis skystyje esančių dujų kiekis. 3. Įvedama skysčio temperatūra. 4. Įvedamas skysčio kinematinio klampumo koregavimo koeficientas. 5. Skysčio tankio reikšmė. 6. Skysčio kinematinis klampumas. 7. Tūrio tamprumo modulis .....	57
45 pav. Automobilio stabdymo laiko priklausomybė nuo automobilio greičio, kai stabdžių skysčio temperatūra yra lygi 100 °C.....	59
46 pav. Automobilio stabdymo laiko priklausomybė nuo automobilio greičio, kai stabdžių skysčio temperatūra yra lygi 100 °C.....	59
47 pav. Automobilio stabdymo laiko priklausomybė nuo automobilio greičio, kai stabdžių skysčio temperatūra yra lygi 120 °C.....	59

48 pav. Automobilio stabdymo laiko priklausomybė nuo automobilio greičio, kai stabdžių skysčio temperatūra yra lygi 120 °C.....	59
49 pav. Automobilio stabdymo laiko priklausomybė nuo automobilio greičio, kai stabdžių skysčio temperatūra yra lygi 140 °C.....	60
50 pav. Automobilio stabdymo laiko priklausomybė nuo automobilio greičio, kai stabdžių skysčio temperatūra yra lygi 140 °C.....	60

## Įvadas

Stabdžių sistema yra viena iš svarbiausių sistemų, užtikrinančių automobilio saugumą. Automobiliai šiais laikais kuriami vis greitesni ir manevringesni, tačiau svarbu ne tik greitai įsibėgėti, tačiau taip pat efektyviai ir greitai sustoti, todėl automobilių projektuotojai ir inžinieriai nuolat tobulina automobilių stabdžių sistemos komponentus. Stabdžių skystis yra vienas svarbiausių stabdžių sistemos elementų, kadangi tik dėl šio skysčio stabdžių sistema veikia tiek esant žemai tiek aukštai aplinkos temperatūrai ir net ekstremalaus stabdymo situacijomis. Šis skystis, kaip ir kiti automobilyje naudojami skysčiai, bėgant laikui dėvisi ir sensta, todėl, norint užtikrinti stabdžių sistemos efektyvumą, jį reikia reguliariai keisti ir stebėti jo būklę, kadangi stabdžių skystis pasižymi savybe kaupti drėgmę, o tai turi didelę įtaką stabdžių skysčio svarbiausioms charakteristikoms – virimo temperatūrai ir klampumui.

Darbo tikslas – eksperimentiškai ištirti stabdžių skysčio virimo temperatūrą ir jos priklausomybę nuo drėgmės kiekio stabdžių skystyje.

Darbo uždaviniai:

1. Atlikti literatūrinę analizę ir aprašyti stabdžių skysčius, jų tipus ir ypatumus, tyrimus, susijusius su stabdžių skysčiais.
2. Atlikti tyrimą su įvairių gamintojų naujais stabdžių skysčiais: išmatuoti drėgmės kiekį stabdžių skysčių mėginiuose ir nustatyti šių mėginių virimo temperatūrą.
3. Atlikti tyrimą su automobiliuose naudotais stabdžių skysčiais: išmatuoti drėgmės kiekį stabdžių skysčių mėginiuose ir nustatyti šių mėginių virimo temperatūrą.
4. Atlikti tyrimą su skirtingu drėgmės kiekiu pasižyminčiais stabdžių skysčių mėginiais ir nustatyti mėginių virimo temperatūrą.
5. Atlikti tyrimą su programoje MATLAB sumodeliuota stabdžių sistema ir nustatyti, ar stabdžių skysčio virimo temperatūra turi įtakos automobilio stabdymui.

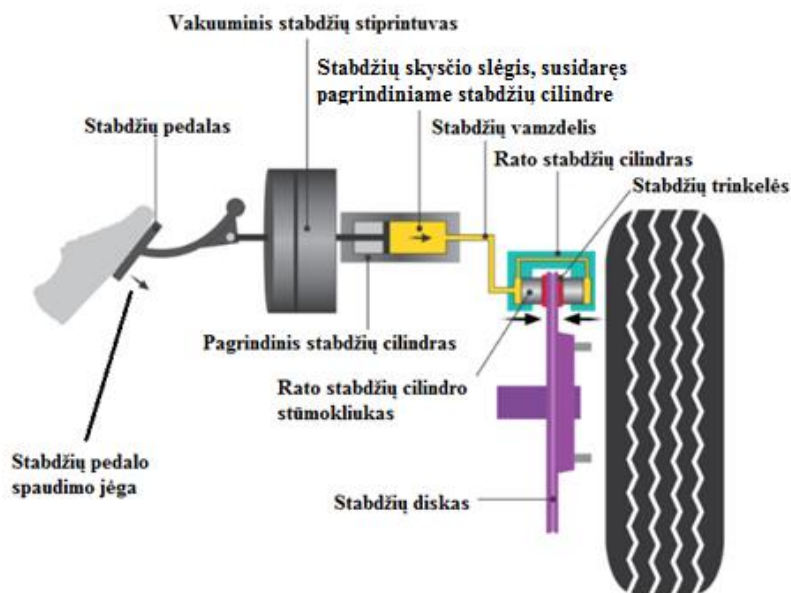
## 1. Literatūros apžvalga

### 1.1. Stabdžių skystis ir jo vaidmuo stabdžių sistemoje

Stabdžių skystis stabdžių sistemose naudojamas tiek lengvuosiuose, tiek mažesniuose krovininiuose automobiliuose, motocikluose ir kitose transporto priemonėse.

Stabdžių skystis stabdžių sistemoje atlieka šias funkcijas:

1. Perduoda slėgį iš pagrindinio stabdžių cilindro į stabdžių cilindrus ratuose.
2. Aušina detales, kurios stabdymo metu gali pasiekti didelę temperatūrą, pvz.: stabdžių cilindrai.
3. Sutepa ir sandarina hidraulinę stabdžių sistemą ir jos elementus.
4. Apsaugo nuo korozijos hidraulinės stabdžių sistemos elementus, tokius kaip stabdžių magistralės.



1 pav. Schema stabdžių veikimui paaiškinti [1]

1 paveiksle pateikta schema stabdžių veikimui paaiškinti. Automobilio vairuotojui nuspaudus stabdžių pedalą, pagrindiniame stabdžių cilindre susidaro slėgis. Slėgio veikiamas stabdžių skystis iš pagrindinio stabdžių cilindro stabdžių vamzdeliu perduodamas į rato stabdžių cilindrą. Slėgio veikiamas stabdžių skystis slegia stabdžių cilindre esančius stūmokliukus, dėl to jie išstumiami iš rato stabdžių cilindro, taip prispausdami rato stabdžių cilindre pritvirtintas stabdžių trinkelės prie stabdžių disko. Stabdžių trinkelėms spaudžiant stabdžių diską, vyksta stabdymas.

### 1.2. Stabdžių skysčiuose naudojamos medžiagos ir stabdžių skysčių klasifikacija

Stabdžių skysčio cheminės ir fizinės savybės priklauso nuo skysčio, kurio pagrindu jis pagamintas. Šiais laikais stabdžių skysčiai pagal sudėtį skirstomi į:

- glikolio pagrindo skysčiai;
- silikono pagrindo skysčiai;
- mineralinių alyvų pagrindo skysčiai.

Stabdžių skysčio pagrindas, ar tai būtų glikolis, silikonas ar mineralinė alyva, dažniausiai sudaro nuo 93 iki 98 % viso skysčio. Likusioji stabdžių skysčio dalis, nuo 2 iki 7 %, yra sudaryta iš įvairiausių priedų, dažų.

Glikolio pagrindo stabdžių skysčiai gali būti sudaryti net iš dešimties [2] skirtingų medžiagų, šias medžiagas galima suskirstyti į keturias pagrindines grupes:

- skysčio pagrindas: glikolio eteris, ši medžiaga turi didelę įtaką galutinio produkto – stabdžių skysčio klampumui ir virimo temperatūrai;
- korozijos inhibitoriai: šios medžiagos naudojamos tam, kad stabdžių skystis apsaugotų stabdžių sistemos dalis nuo korozijos ir oksidacijos;
- tepimo savybes pagerinantys priedai: dažniausiai tam naudojamos tokios medžiagos kaip polietilenas arba polipropilenas, taip užtikrinant sklandų stabdžių hidraulinės sistemos dalių, tokių kaip ratų ar pagrindinio stabdžių cilindro stūmokliai, judėjimą;
- modifikatoriai: šios medžiagos naudojamos tam, kad stabdžių skystis neigiamai neveiktų stabdžių sistemos guminių detalių, kadangi guminės stabdžių sistemos dalys, turinčios sąlytį su stabdžių skysčiu, neturi pakeisti savo formos ir matmenų.

Patys pirmieji, DOT ir DOT 2 klasifikacijos skysčiai buvo pagaminti ricinos aliejaus ir alkoholio pagrindu. Didžioji dalis, apie 95% [3] šiais laikais gaminamų stabdžių skysčių yra pagaminti glikolio eterio pagrindu, kiti 5% [3] stabdžių skysčių yra gaminami silikono pagrindu. DOT 4 stabdžių skystis pagamintas glikolio eterio pagrindu, tai pat šios klasifikacijos stabdžių skystyje yra dalis glikolio borato eterio, dėl to šis stabdžių skystis pasižymi aukštesnėmis „sausos“ ir „drėgnos“ virimo temperatūromis. DOT 5 klasifikacijos stabdžių skystis yra pagamintas silikono pagrindu, šis skystis sukurtas naudoti aplinkoje, kurioje svarbiausia atsparumas drėgmei ir korozijai, aukštomis ir žemoms temperatūroms. Šios klasifikacijos stabdžių skystis tinkamas naudoti ilgą laiką, todėl šis skystis naudojamas kariuomenės transporte, kadangi kariuomenės transportas dažniausiai sandėliuojamas ilgą laiką, taip pat šios klasifikacijos stabdžių skystis naudojamas laivyboje.

Įprastinė alyva pažeidžia gumines stabdžių sistemą sandarinančias detales ir žarneles, todėl stabdžių skysčiai negaminami iš naftos, tačiau tam tikri stabdžių – hidrauliniai skysčiai gaminami mineralinių alyvų pagrindu, tai LHM stabdžių skysčiai.

Reikalavimai, kuriuos turi atitikti stabdžių skystis, yra nustatyti kelių tarptautinių standartizacijos organizacijų:

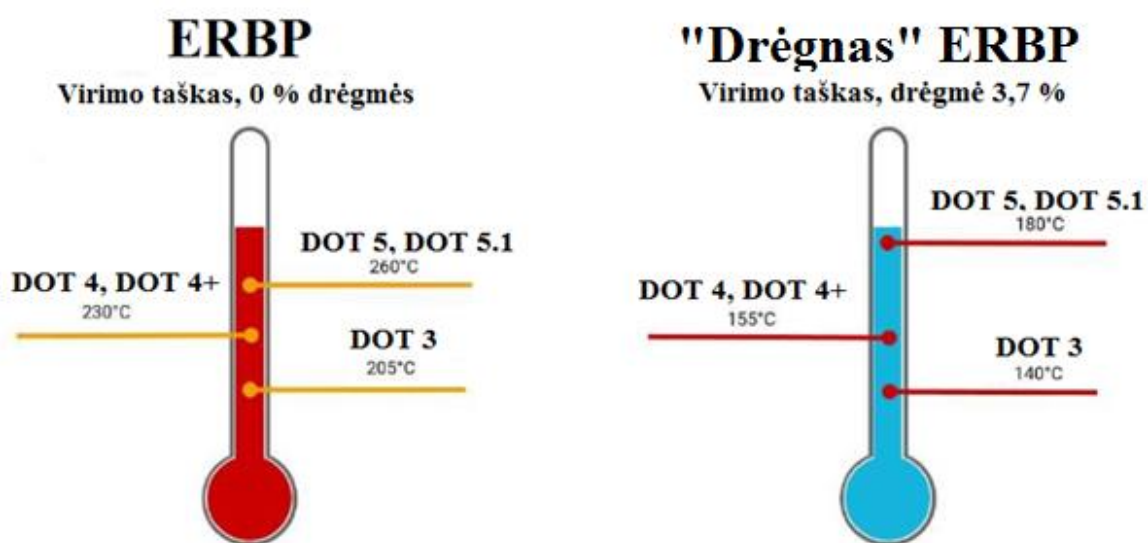
- Jungtinių Amerikos Valstijų transporto departamento federalinis motorinių transporto priemonių saugos standartas FMVSS Nr. 116 klasifikuoja tris pagrindines stabdžių skysčių rūšis, kurios yra DOT 3, DOT 4, ir DOT 5;
- automobilių inžinierių draugija (SAE) klasifikuoja kitas tris stabdžių skysčių rūšis: SAE J1703, SAE J1704 ir SAE J1705;
- tarptautinė standartų organizacija (ISO) klasifikuoja keletą kitų stabdžių skysčių rūšių, ISO 4925 dokumentu: 3 klasė, 4 klasė, 5.1 klasė ir 6 klasė.

1 lentelėje pateiktos skirtingų DOT klasifikacijų stabdžių skysčių charakteristikos.

1 lentelė. Stabdžių skysčių DOT klasifikacija ir charakteristikos [4]

Charakteristika Stabdžių skysčio klasifikacija	„Sausas“ virimo taškas, ° C	„Drėgnas“ virimo taškas	Klampa esant -40° C temperatūrai	Klampa esant 100° C temperatūrai	Skysčio pagrindas	Skysčio spalva
DOT 2	ne mažiau 190	ne mažiau 140	-	-	ricinos aliejus /alkoholis	bespalvis /šviesiai geltona
DOT 3	ne mažiau 205	ne mažiau 140	ne mažiau 1500 mm <sup>2</sup> /s	ne daugiau 1,5 mm <sup>2</sup> /s	glikolio eteris	bespalvis /šviesiai geltona
DOT 4	ne mažiau 230	ne mažiau 155	ne mažiau 1800 mm <sup>2</sup> /s	ne daugiau 1,5 mm <sup>2</sup> /s	glikolio eteris /glikolio eterio boratas	bespalvis /šviesiai geltona
DOT 4+	ne mažiau 230	ne mažiau 180	ne mažiau 750 mm <sup>2</sup> /s	ne daugiau 1,5 mm <sup>2</sup> /s	glikolio eteris /glikolio eterio boratas	bespalvis /šviesiai geltona
DOT 5	ne mažiau 260	ne mažiau 180	ne mažiau 900 mm <sup>2</sup> /s	ne daugiau 1,5 mm <sup>2</sup> /s	silikonas	violetinė
DOT 5.1	ne mažiau 260	ne mažiau 180	ne mažiau 900 mm <sup>2</sup> /s	ne daugiau 1,5 mm <sup>2</sup> /s	glikolio borato eteris/glikolio eteris	bespalvis /šviesiai geltona
LHM+	249	249	1000 - 1200 mm <sup>2</sup> /s	6 – 6,5 mm <sup>2</sup> /s	mineralinė alyva	žalia

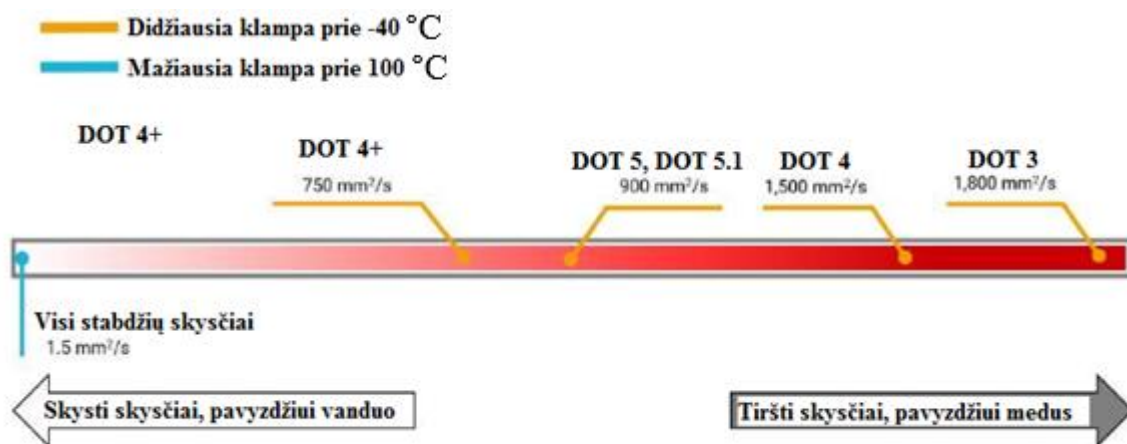
2 paveiksle pateiktas DOT klasifikacijos stabdžių skysčių virimo temperatūros palyginimas.



2 pav. DOT klasifikacijos stabdžių skysčių virimo temperatūrų palyginimas [5]



2 paveiksle matyti, kad aukščiausiu, tiek „drėgnu“ , tiek „sausu“ virimo tašku, pasižymi DOT 5 ir DOT 5.1 klasifikacijos stabdžių skysčiai, šių skysčių „sausas“ virimo taškas yra lygus 260 °C, o „drėgnas“ virimo taškas lygus 180 °C. Greičiausiai užverda DOT 3 klasifikacijos stabdžių skystis, šio skysčio „sausas“ virimo taškas lygus 205 °C, o „drėgnas“ – 140 °C. Matyti, kad DOT 5 ir DOT 5.1 klasifikacijos stabdžių skysčių „sauso“ virimo taško temperatūra yra 55 °C aukštesnė nei DOT 3 klasifikacijos skysčio, o „drėgno“ virimo taško temperatūra aukštesnė 40 °C.



**3 pav.** DOT klasifikacijos stabdžių skysčių didžiausių ir mažiausių klampumo reikšmių palyginimas [5]

3 paveiksle grafiškai pateiktoje stabdžių skysčių klampumo skalėje matyti, kad kuo temperatūra aukštesnė, tuo stabdžių skystis skystesnis, o kuo temperatūra žemesnė, tuo stabdžių skystis tirštesnis. Palyginus stabdžių skysčių klampumą esant žemai -40 °C temperatūrai matyti, kad klampiausias yra DOT 3 klasifikacijos skystis, šio skysčio klampa esant -40 °C temperatūrai yra 1800 mm<sup>2</sup>/s, o mažiausia klampa pasižymi DOT 4+ klasifikacijos stabdžių skystis.

Skirtingų klasifikacijų stabdžių skysčiai skirti tam tikro tipo automobiliams:

- DOT 3 klasifikacijos stabdžių skystis skirtas senesniems ir santykiniai lėčiau važiuojantiems automobiliams, kurių stabdžių sistema yra primityvesnė – priekyje įrengti diskiniai, o gale būgniniai stabdžiai;
- DOT 4 klasifikacijos stabdžių skystis skirtas greitesniems šiuolaikiniams automobiliams, kuriuose tiek priekyje, tiek gale būna įrengti diskiniai stabdžiai;
- DOT 5.1 klasifikacijos stabdžių skystis skirtas naudoti sportiniuose automobiliuose, kuriuose stabdžiai apkraunami ir įkaista labiau;
- DOT 5 įprastinėse transporto priemonėse kaip automobiliai praktiškai nenaudojamas;
- LHM stabdžių skystis naudojamas lengvuosiuose automobiliuose, tačiau šį skystį naudoja tik tam tikri automobilių gamintojai kaip Citroen, Rolls Royce.

### 1.3. Stabdžių skysčių charakteristikos ir savybės

Charakteristikos, kuriomis turi pasižymėti stabdžių skysčiai, aprašomos federaliniu motorinių transporto priemonių saugos standartu FMVSS Nr. 116. Siekiant nustatyti, ar stabdžių skystis atitinka DOT klasifikacijos reikalavimus, su stabdžių skysčiu atliekami bandymai.

Svarbiausios stabdžių skysčių charakteristikos ir savybės:

1. Stabdžių skysčio klampumas.
2. Stabdžių skysčio virimo temperatūra:
  - „sauso“ stabdžių skysčio virimo temperatūra;
  - „drėgno“ stabdžių skysčio virimo temperatūra.
3. Hidroskopiškumas.
4. Suderinamumas su kitais stabdžių skysčiais.
5. Fizikinių ir cheminių savybių stabilumas.
6. Cheminis inertiškumas.
7. Tepimo savybės.
8. Antikorozinės savybės.
9. Poveikis guminėms detalėms.
10. Stabdžių skysčio spalva

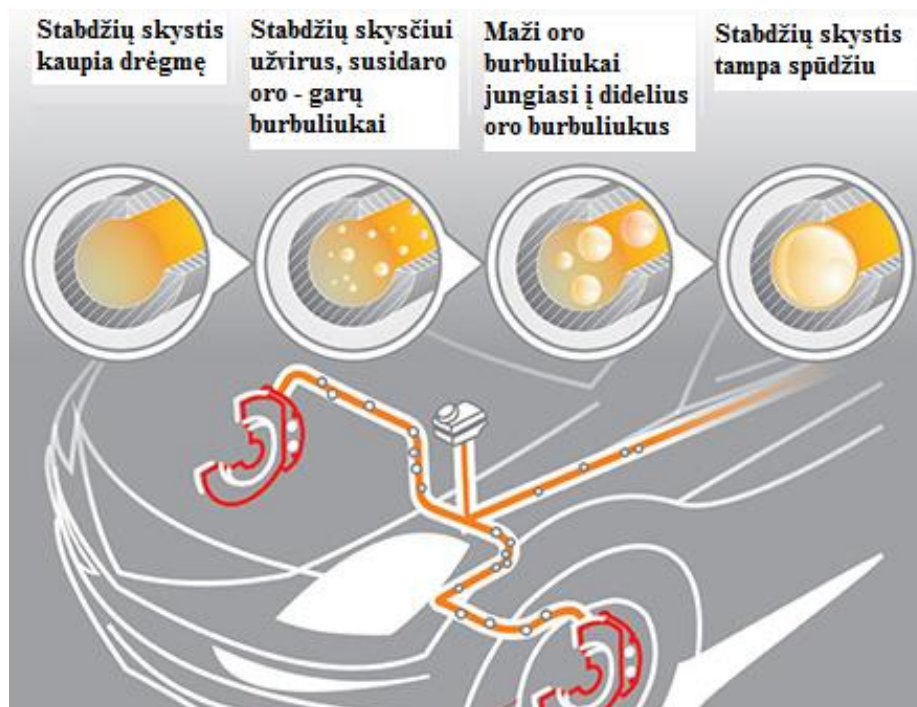
### **1.3.1. Stabdžių skysčio klampumas**

Klampumas yra skysčio savybė priešintis tekėjimui, šio fizikinio dydžio matavimo vienetas yra kvadratinis milimetras per sekundę ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ). Šis matavimo vienetas dar vadinamas „Stokso“ vienetu, sutrumpintai žymimas cSt. Daugumos skysčių klampumas kinta priklausomai nuo temperatūros. Kaip pavyzdį galima paimti medų, kurio klampumas temperatūrai žemėjant didėja, o temperatūrai kylant mažėja. Tas pats galioja ir stabdžių skysčiui, kinematinis klampumas yra svarbus stabdžių skystį charakterizuojančių dydžių – stabdžių skystis turi pasižymėti tinkamu ir standartuose nustatytu klampumu, siekiant užtikrinti sklandų stabdžių sistemos veikimą esant žemai ir aukštai temperatūrai aplinkos arba pačio stabdžių skysčio temperatūrai. Kinematinis klampumas – tai dinaminio klampumo ir skysčio tankio santykis. Stabdžių skysčio klampumo svyravimai daro didelę įtaką stabdžių sistemos reakcijos laikui ir pačios sistemos veikimui, todėl temperatūrų intervale nuo  $-40$  iki  $100$  °C stabdžių skysčio klampumas turi būti kuo pastovesnis, kadangi žiemą stabdžių skysčio temperatūra gali nukristi iki  $-40$  °C, vasarą pakilti iki  $100$  °C temperatūros, o intensyviai stabdant automobilį – iki  $200$  °C ir didesnės temperatūros. Aktyvios saugos sistemų, tokių kaip ESP – elektroninės stabilumo kontrolės, ABS – stabdžių antiblokavimo sistemos, sukibimo kontrolės sklandžiam veikimui reikalingas mažo klampumo skystis, kurį būtų galima greitai perduoti stabdžių magistralėms. Šiose saugos sistemose naudojami greito veikimo vožtuvėliai, kuriais kontroliuojamas stabdžių skysčio slėgis ir tekėjimas kritiniais stabdymo atvejais, o jeigu stabdžių skysčio klampumas būtų netinkamas, stabdžių magistralėms jį perduoti ir kontroliuoti jo tekėjimą būtų sunku.

### **1.3.2. Stabdžių skysčio virimo temperatūra**

Stabdžių skysčio virimo temperatūra yra dar vienas svarbus stabdžių skystį charakterizuojantis dydis. Intensyviai stabdant automobilį, stabdžių cilindrai ir juose esantis skystis iššyla, kadangi kuo greičiau automobiliu važiuojama, tuo daugiau šilumos išsiskiria jį stabdant. Esant tokioms sąlygoms, stabdžių skystis gali pasiekti virimo temperatūra ir užvirti, o jam užvirus dalis skysčio virsta dujomis, kaip pateikta 4 paveiksle – stabdžių skysčiui užvirus, po kiek laiko didžioji dalis stabdžių skysčio virsta dujomis – garais, o dujos yra spūdzios. Skysčio spūdimas yra skysčio savybė keisti tūrį, kai jį veikia slėgis. Automobilį intensyviai stabdant ilgesnį laiką, pavyzdžiui, važiuojant nuokalne, įkaitę stabdžių cilindrai ir juos jungiančios stabdžių magistralės nespėja atvėsti, tuomet, vairuotojui spaudžiant stabdžių pedalą, stabdžių skystyje susidarę dujų burbuliukai suslegiami ir ištirpsta likusiame stabdžių

skystyje, o slėgis stabdžių sistemoje dėl dujų burbuliukų spūdumo nepadidėja, to pasekmė – sumažėja stabdžių sistemos efektyvumas: sumažėja stabdžių suspaudimo jėga ir efektyvi stabdžių pedalo eiga, taip pat padidėja stabdžių sistemos reakcijos laikas. Stabdžių skystis, siekiant, kad stabdžių sistema esant intensyviai stabdymui neprarastų efektyvumo, gaminamas taip, kad pasižymėtų kuo aukštesne virimo temperatūra.

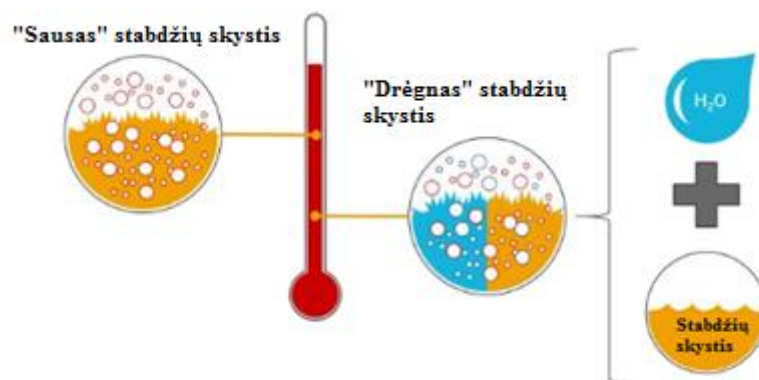


**4 pav.** Intensyvaus stabdymo metu stabdžių magistralėse esančiame stabdžių skystyje vykstantys procesai, stabdžių skysčio virsmas dujomis [6]

Stabdžių skysčio „sausas“ virimo taškas sutrumpintai vadinamas ERBP (Equilibrium reflux boiling point). „Sausas“ virimo taškas yra temperatūra, kuriai esant užverda neužterštas – „sausas“ (nesugėręs drėgmės) ir neturėjęs sąlyčio su atmosfera stabdžių skystis.

„Drėgnas“ stabdžių skysčio virimo taškas – tai temperatūra, kurią pasiekęs, užverda sąlytį su aplinka turėjęs – automobilio stabdžių sistemoje naudotas stabdžių skystis, kuriame drėgmės kiekis lygus apie 3,7 %. Didžioji dalis stabdžių skysčių yra hidroskopiški ir dėl šios savybės stabdžių skysčiai sugeria drėgmę iš atmosferos, o dėl to sumažėja šių skysčių virinimo temperatūra, kadangi vandens virimo taškas yra žemesnis. Sutrumpintai „drėgnas“ virimo taškas vadinamas Wet ERBP (Wet equilibrium reflux boiling point). Ši temperatūra yra rodiklis, pagal kurį galima spręsti ar stabdžių skystis dar tinkamas naudoti. Stabdžių skystį, kuris yra pasiekęs „drėgną“ arba žemesnę virimo temperatūrą, reikia pakeisti.

„Sauso“ ir „drėgno“ stabdžių skysčių virimo temperatūrų palyginimas pateiktas 5 paveiksle, kuriame aiškiai pavaizduota, kad stabdžių skystis, turėjęs sąlytį su atmosfera ir sugėręs tam tikrą drėgmės kiekį, užverda esant žemesnei temperatūrai nei „sausas“, neturėjęs sąlyčio su aplinka stabdžių skystis.



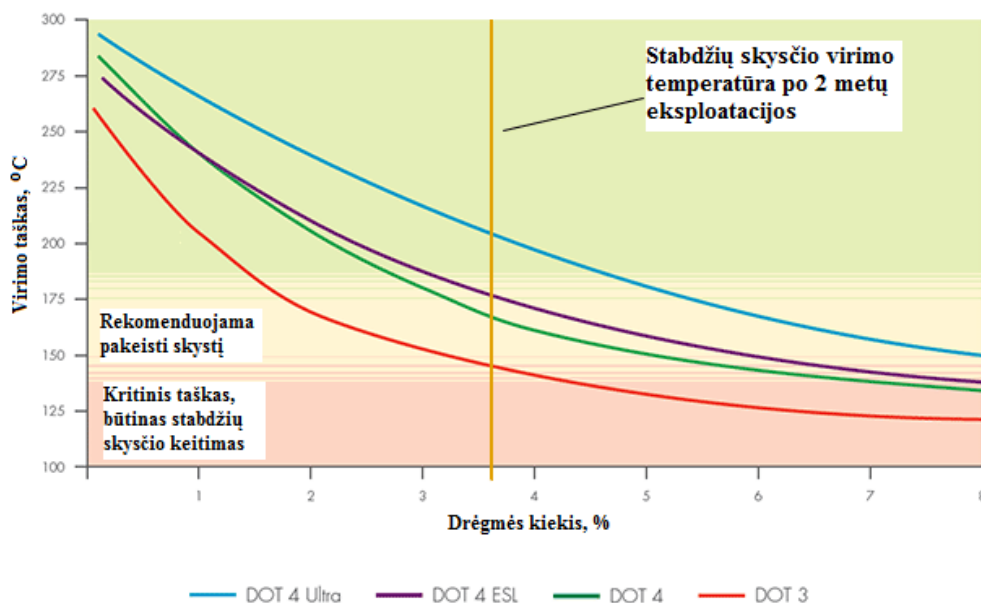
5 pav. „Sauso“ ir „drėgno“ stabdžių skysčių virimo temperatūrų palyginimas [5]

### 1.3.3. Hidroskopiškumas

Hidroskopiškumas – stabdžių skysčio savybė absorbuoti vandenį iš aplinkos. Visi glikolio pagrindu pagaminti stabdžių skysčiai absorbuoja drėgmę (vandenį) iš aplinkos, o šis drėgmės absorbavimo procesas vyksta per stabdžių pagrindinio cilindro rezervuaro dangtelio kompensacinę angą, mikroskopines stabdžių žarnelių poras, stabdžių hidraulinės sistemos sujungimus. Stabdžių skysčio temperatūra nuolat kinta: automobilį stabdant skystis įkaista, po to vėl pradėjus važiuoti jis atvėsinamas, todėl stabdžių skystyje susidaro ir kaupiasi kondensatas. Kuo daugiau vandens stabdžių skystis sugeria, tuo greičiau jis užverda, o žemoje temperatūroje greičiau sutirštėja. Esant žemai – minusinei temperatūrai, stabdžių skystyje esantis vanduo gali užšalti ir sudaryti stabdžių magistralėje kamštį. Stabdžių skystyje susikaupusi drėgmė taip pat skatina stabdžių sistemos detalių koroziją.

Hidroskopiškumu nepasižymintys, silikono ir mineralinių alyvų pagrindu pagaminti stabdžių skysčiai, priešingai nei prieš tai aprašyti stabdžių skysčiai, apsaugo stabdžių sistemą nuo jame besikaupiančio vandens, jį chemiškai suriša.

6 paveiksle pateikta drėgmės kiekio SHELL gamintojo stabdžių skystyje įtaka jo virimo temperatūrai.



6 pav. Gamintojo SHELL DOT 3, DOT 4, DOT 4 ESL ir DOT 4 ULTRA klasifikacijų stabdžių skysčių virimo temperatūros priklausomybė nuo drėgmės kiekio [7]

6 paveiksle pateiktame grafike matyti, kaip kinta įvairių DOT klasifikacijų stabdžių skysčių, pagamintų glikolio pagrindu, virimo temperatūra, priklausomai drėgmės kiekio stabdžių skystyje. Grafike pažymėta stabdžių skysčių virimo temperatūra, kurią pasiekus rekomenduojama keisti stabdžių skystį, tai yra 175 °C, taip pat temperatūra, kurią pasiekus skystį pakeisti būtina, tai yra 125 °C, šia virimo temperatūra stabdžių skysčiai pasižymi tuomet, kai drėgmės kiekis skystyje siekia 8 %. Grafike taip pat pažymėtas stabdžių skysčio drėgmės kiekis po dviejų metų automobilio eksploatacijos, kuris apytiksliai yra lygus 3,6 %. Pagal grafike pateiktus duomenis matyti, kad DOT 3 klasifikacijos stabdžių skystis pasižymi mažiausia virimo temperatūra: šios klasifikacijos stabdžių skystis, kai drėgmės kiekis stabdžių skystyje lygus 0 %, tai yra, stabdžių skystis yra „sausas“, siekia apie 260 °C, o po dviejų metų automobilio eksploatacijos stabdžių skystis pasižymi tik 150 °C virimo temperatūra, taigi virimo temperatūra per du metus automobilio eksploatacijos sumažėja 110 °C. Aukščiausia virimo temperatūra iš šiame grafike pateiktų stabdžių skysčių pasižymi DOT 4 ESL klasifikacijos stabdžių skystis: šios klasifikacijos stabdžių skystis, kai drėgmės kiekis skystyje lygus 0 %, siekia apie 280 °C, o po dviejų metų automobilio eksploatacijos stabdžių skystis pasižymi apie 220 °C virimo temperatūra, taigi virimo temperatūra per du metus automobilio eksploatacijos sumažėja apie 60 °C. Palyginus DOT 3 ir DOT 4 ESL klasifikacijų stabdžių skysčių virimo temperatūras po dviejų eksploatacijos metų matyti, kad DOT 4 ESL stabdžių skysčio virimo temperatūra sumažėja beveik du kartus mažiau nei DOT 3 klasifikacijos stabdžių skysčio ir DOT 4 ESL stabdžių skystis net ir po dviejų metų automobilio eksploatacijos pasižymi aukšta virimo temperatūra.

#### 1.3.4. Stabdžių skysčių suderinamumas su kitais stabdžių skysčiais

	DOT 3	DOT 4	DOT 5	DOT 5.1	Shimano Mineral Oil	Magura Royal Blood	LHM+ Mineral Oil
DOT 3	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗
DOT 4	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗
DOT 5	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗
DOT 5.1	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗
LHM+ Mineral Oil	✗	✗	✗	✗	⚠	⚠	✓

- ✓ Stabdžių skysčius galima maišyti tarpusavyje
- ✗ Stabdžių skysčių maišyti negalima, jokiais aplinkybėmis
- ⚠ Stabdžių skysčių suderinamumas ribotas - maišyti galima tik įvertinus riziką pakenkti stabdžių sistemos dalims

7 pav. Stabdžių skysčių suderinamumo lentelė [8]

Stabdžių skysčio suderinamumas yra stabdžių skysčio savybė maišytis su kitų klasifikacijų stabdžių skysčiais, nesudarant cheminės reakcijos tarpusavyje. Skysčiai, kurie yra pagaminti skirtingų medžiagų pagrindu, sumaišyti vienas su kitu, gali sudaryti cheminę reakciją ir dėl to gali atsirasti nuosėdos. Šių skysčių mišinio charakteristikos (virimo temperatūra, klampumas) būtų prastesnės nei atskirų tokių nesumaišytų skysčių, tai pat toks skysčių mišinys gali pakenti stabdžių sistemos guminėms detalėms. DOT 3, DOT 4 ir DOT 5.1 klasifikacijos stabdžių skysčius galima maišyti tarpusavyje bet kokiomis dalimis, tačiau DOT 5 skystis yra nesuderinamas su prieš tai minėtais skysčiais, kaip matyti 7 paveiksle pateiktoje stabdžių skysčių suderinamumo lentelėje, kadangi DOT 5 klasifikacijos stabdžių skystis yra pagamintas silikono pagrindu.

Norint patikrinti, ar turimi stabdžių skysčiai suderinami, galima tam tikrą jų dalį vienodu santykiu sumaišyti stiklinėje taroje ir stebėti, ar mišinys lieka skaidrus ar keičia spalvą, ar neatsiranda nuosėdų, jeigu šių požymių nėra, skysčiai suderinami, tačiau nerekomenduojama maišyti tarpusavyje skirtingų gamintojų stabdžių skysčių, kadangi sumaišius gali pasikeisti jų savybės.

### **1.3.5. Fizikinių ir cheminių savybių stabilumas**

Stabdžių skystis turi būti pagamintas taip, kad jį sandėliuojant, jame nesusidarytų nuosėdos, skystis neturi putoti, taip pat stabdžių skystis turi būti atsparus oksidacijai, aukštomis temperatūroms. Stabdžių skystyje esantys oksidacijos produktai neturi veikti metalinių detalių, esančių stabdžių hidraulinėje sistemoje, taigi skystis turi būti chemiškai inertiškas – nesukelti cheminių reakcijų su kitomis medžiagomis.

Stabdžių skysčio būklę galima patikrinti vizualiai, pagal jo išvaizdą: skystis turi būti skaidrus, be nuosėdų. Šiais laikais autorizuotuose automobilių servisuose stabdžių skysčio būklę galima patikrinti specialias indikatoriais, kuriais nustatoma stabdžių skysčio virimo temperatūra.

Stabdžių skystis cirkuliuoja stabdžių sistemoje, taigi jo savybės pagrindiniame stabdžių cilindre ir ratų stabdžių cilindruose gali skirtis. Pagrindiniame stabdžių cilindre esantis stabdžių skystis turi kontaktą su atmosfera, iš kurios jis sugeria drėgmę, o ratų stabdžių cilindruose toks reiškinys nevyksta, tačiau juose esantis stabdžių skystis stabdymo metu labai įkaista, taigi suprastėja jo fizikinės ir cheminės savybės, jų stabilumas. Dėl prieš tai aprašytų priežasčių keičiant stabdžių skystį nauju, jį reikia pakeisti visą, o ne tik pagrindiniame stabdžių cilindre ar ratų cilindruose.

### **1.3.6. Tepimo savybės.**

Stabdžių skysčio tepimo savybės priklauso nuo to, kokios medžiagos pagrindu jis pagamintas. Geriausiomis tepimo savybėmis pasižymi mineraliniai stabdžių skysčiai, kurie gaminami ricinos aliejaus ir alkoholio pagrindu. Glikolio pagrindu pagaminti stabdžių skysčiai pasižymi patenkinamomis tepimo savybėmis, tačiau, kadangi toki skysčiai linkę absorbuoti drėgmę iš aplinkos, jų tepimo savybės eksploatuojant automobilį ir bėgant laikui prastėja. Silikono pagrindu pagaminti skysčiai pasižymi prastesnėmis tepimo savybėmis nei prieš tai išvardinti skysčiai [9].

### **1.3.7. Antikorozinės savybės.**

Stabdžių skystis turi pasižymėti apsauginėmis – antikorozinėmis savybėmis, kadangi šis skystis nuo korozijos turi apsaugoti stabdžių sistemos cilindrus, stūmoklius ir tarpiklius. Stabdžių skystis turi tolygiai padengti darbinius sistemos elementų paviršius, taip pat šis skystis neturi sukelti korozijos iš plieno, ketaus ar aliuminio pagamintoms detalėms, kadangi jei stabdžių cilindruose esantys



stūmokliai bus pažeisti, greitai susidėvės jų darbiniai paviršiai ir tarpikliai, ištekės stabdžių skystis ir stabdžiai nustos veikti.



**8 pav.** Korozijos pažeistas stabdžių cilindro stūmokliukas, pažymėtas 1 Nr., ir naujas stūmokliukas, pažymėtas 2 Nr. [10]

8 paveiksle kairėje (pažymėta 1 nr.) pateiktas dėl stabdžių skystyje susikaupusių drėgmės korozijos pažeistas rato stabdžių cilindro stūmoklio darbinis paviršius, o dešinėje (pažymėta 2 nr.), naujas stūmoklis.

Pagal FMVSS Nr. 116, išbandant stabdžių skysčius, atliekami korozijos bandymai, tiriama, kaip tam tikras stabdžių skystis veikia metalines juosteles – bandinius. Šios juostelės prieš bandymą yra pasveriamos, tuomet panardinamos į stiklinį indą su stabdžių skysčiu ir po tam tikro laiko, išimamos iš talpos su stabdžių skysčiu ir pakartotinai pasveriamos. Po bandymų metalinių juostelių masė negali pakisti virš 2 lentelėje nurodytų ribų.

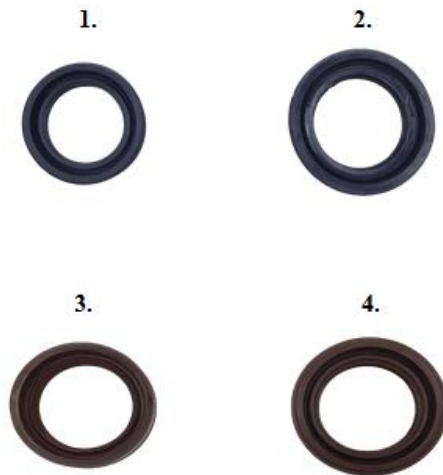
**2 lentelė.** Stabdžių skysčių korozijos bandymuose naudojamų juostelių leistinos masės pokyčio ribos [11]

Bandinio juostelės medžiaga	Didžiausias leidžiamas masės pakitimas, mg/cm <sup>2</sup> paviršiaus
Plienas, ketus	0,2
Aliuminis	0,1
Varis, bronzos	0,4

### 1.3.8. Poveikis guminėms detalėms.

Stabdžių skystis neturi neigiamai veikti iš gumos pagamintų stabdžių sistemos detalių. Panaudojus netinkamą stabdžių skystį arba sumaišius nesuderinamus stabdžių skystis, tai gali paveikti stabdžių sistemos gumines detales, kurios gali deformuotis ir dėl to stabdžių sistema taps nesandari. Su stabdžių skysčiu sąveikaujantys guminiai tarpikliai neturi pakeisti savo dydžio – išsipūsti, susitraukti, ar prarasti elastingumo.

9 paveiksle pateikti guminių stabdžių sistemos sandariklių pavydžiai, su kuriais buvo atlikti bandymai, siekiant nustatyti, kaip sandariklį veikia stabdžių sistemoje naudojamas skystis, kuriam sandariklis nėra pritaikytas.

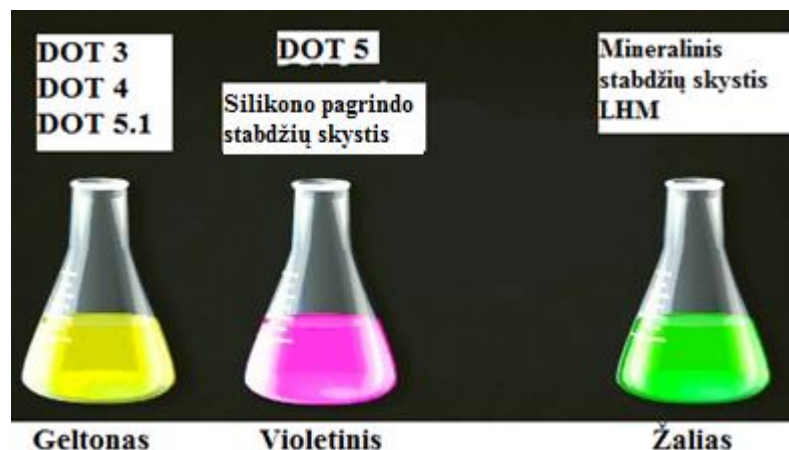


**9 pav.** Guminiai stabdžių sistemos sandarikliai prieš ir po bandymų su jiems nepritaikytu skysčiu. 1. Guminis sandariklis prieš bandymą. 2. Guminis sandariklis po bandymo. 1. Guminis sandariklis prieš bandymą. 2. Guminis sandariklis po bandymo [12]

9 paveiksle matyti, kaip pakinta stabdžių sistemos sandariklio dydis, jei jis turi sąlytį jam nepritaikytu skysčiu. Pirmu numeriu pažymėtas sandariklis atsparus stabdžių skysčiui. Antru numeriu pažymėtas sandariklis, su kuriuo buvo atlikti bandymai ir kuris turėjo sąlytį su mineraline alyva. Matyti, kad sandariklis yra pakeitęs dydį, o dėl to stabdžių sistemos veikimas gali sutrikti. Trečiu numeriu pažymėtas sandariklis, kuris atsparus mineralinei alyvai. Ketvirtu numeriu pažymėtas sandariklis, su kuriuo buvo atlikti bandymai. Jis turėjo sąlytį su stabdžių skysčiu, dėl to taip pat pakeitė dydį. Nors ir dydžio pokytis nėra didelis, palyginus su antru numeriu pažymėto sandariklio dydžio pokyčiu, tačiau ir toks sandariklio matmenų pasikeitimas gali neigiamai veikti stabdžių sistemos darbą.

### 1.3.9. Stabdžių skysčio spalva

Stabdžių skysčiai, pagaminti skirtingų medžiagų pagrindu, pažymimi tam tikra spalva. DOT 3, DOT 4, DOT 5.1 glikolio pagrindu pagamintiems skysčiams būdinga spalva – nuo bespalvės iki šviesiai geltonos ar rudos. DOT 5 silikono pagrindu stabdžių skysčiams būdinga violetinė spalva. LHM mineralinių alyvų pagrindu pagamintiems skysčiams būdinga žalia spalva. Spalvos, kuriomis pasižymi skirtingų klasifikacijų stabdžių skysčiai, pateiktos 10 paveiksle.



**10 pav.** Skirtingų klasifikacijų stabdžių skysčių spalvos [13]



#### 1.4. Automobilių gamintojų rekomenduojami stabdžių skysčio keitimo intervalai

Dažniausiai, aptarnaujant automobilio stabdžių sistemą, didžioji dalis stabdžių sistemos elementų pakeičiami naujais, tačiau stabdžių skystis keičiamas retai.

Tam tikri automobilių gamintojai yra nustatę stabdžių skysčio tinkamumo naudoti laikotarpius arba ridą, kurią pasiekus, reikia pakeisti automobilio stabdžių sistemoje esantį stabdžių skystį. 3 lentelėje pateikta keletas pavyzdžių, kokius stabdžių skysčio tinkamumo naudoti laikotarpius yra nustatę automobilių gamintojai.

**3 lentelė.** Automobilių gamintojų nustatyti stabdžių skysčio tinkamumo naudoti laikotarpiai [14]

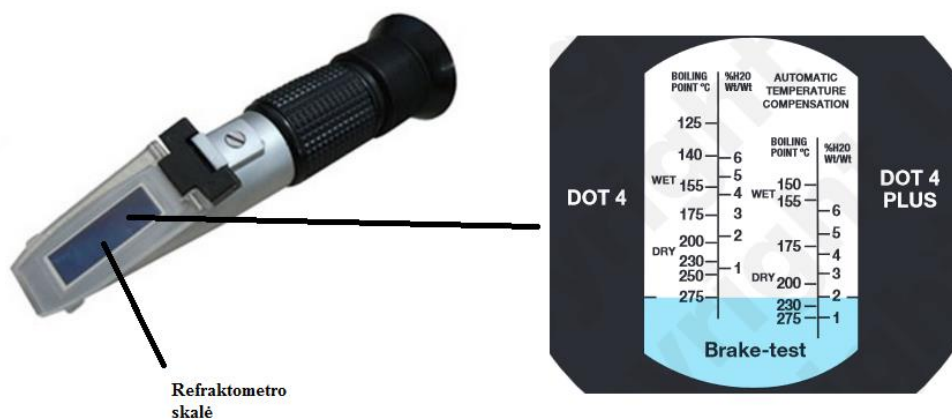
Automobilių gamintojas	Stabdžių skysčio tinkamumo naudoti laikotarpis
Audi	24 mėnesiai
BMW	24 mėnesiai
Honda	36 mėnesiai
Land Rover	36 mėnesiai
Mercedes - Benz	24 mėnesiai
Saab	48 mėnesiai

3 lentelėje matyti, kad didžioji dalis automobilių gamintojų rekomenduoja keisti stabdžių skystį kas 24 mėnesius, tačiau yra ir tokių gamintojų, kurie stabdžių skystį leidžia naudoti 2 kartus ilgesnį laiką, pavyzdžiui kaip kad automobilių gamintojas Saab, kuris rekomenduoja stabdžių skystį keisti kas 48 mėnesius.

#### 1.5. Stabdžių skysčio virimo temperatūros ir drėgmės kiekio nustatymas

Dažniausiai plika akimi sunku nustatyti ar stabdžių skystis yra stipriai užterštas ir ar jį reikia keisti, nebent stabdžių skystis yra pakeitęs spalvą, todėl skysčio būklei patikrinti yra naudojami specialūs tam skirti prietaisai.

Vienas iš tokių prietaisų yra optinis refraktometras, kurio pavyzdys pateiktas 8 pav. Šiuo prietaisu galima tiksliai nustatyti drėgmės kiekį stabdžių skystyje ir jo virimo temperatūrą. Mažas stabdžių skysčio lašelis padedamas ant šio prietaiso skalės, tuomet prietaisas nukreipiamas po šviesos šaltiniu, taip apšviečiant skalę, kurioje matomas drėgmės kiekis stabdžių skystyje ir jo virimo temperatūra. 11 paveiksle, dešinėje, pateikta, kaip atrodo optinio refraktometro skalė.



**11 pav.** Stabdžių skysčio virimo temperatūros ir drėgmės kiekio jame nustatymui skirtas prietaisas – optinis refraktometras [15]

Stabdžių skysčio virimo temperatūrai nustatyti naudojami ir prietaisai, kuriais stabdžių skysčio virimo temperatūra nustatoma tiesiog jį užvirus. Tokio prietaiso pavyzdys pateiktas 12 paveiksle. Šie prietaisai turi kaitinimo elementą, kuris kaitina nedidelį stabdžių skysčio kiekį indelyje. Stabdžių skysčio mėginys kaitinimui paimamas iš stabdžių pagrindinio cilindro rezervuaro švirkštu. Skystis kaitinamas tol, kol užverda, taip nustatant jo virimo temperatūrą, kuri parodoma ekranėlyje. Tai yra tikslus ir pakankamai efektyvus būdas virimo temperatūrai nustatyti, taip pat šie prietaisai savo atmintyje turi įvestus įvairių klasifikacijų stabdžių skysčių duomenis, su kuriais galima palyginti bandymų rezultatus – nustatytas stabdžių skysčių virimo temperatūras.



**12 pav.** Stabdžių skysčio virimo temperatūrai nustatyti skirtas prietaisas [16]

Drėgmės kiekiui nustatyti taip pat naudojami indikatoriniai lakmuso popierėliai, kurie pakeičia spalvą, priklausomai nuo stabdžių skysčio būklės. Šiais indikatoriniais popierėliais galima nustatyti tiek stabdžių skysčio pH, tiek drėgmės kiekį. Taip pat yra ir tokiu popierėlių, kuriais galima nustatyti vario kiekį stabdžių skystyje. Nustačius, kad vario lygis skystyje yra lygus 100, reiškia, kad skystyje korozijos inhibitorių kiekis yra sumažėjęs ir stabdžių skystį ateityje reiks keisti, o jei šis lygis yra lygus 200 arba daugiau, korozijos inhibitoriai yra praradę savo savybes ir skystį reikia pakeisti nedelsiant.

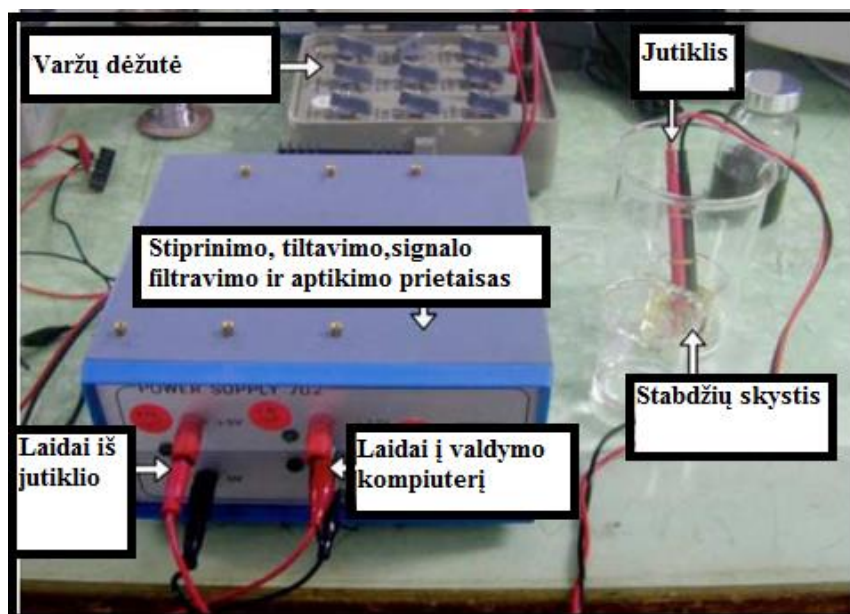
## 1.6. Mokslinių darbų apžvalga

### 1.6.1. Hidrofilinis stabdžių skysčio charakterizavimas

KAO, M. ir kt. „*Hydrophilic Characterization of Automotive Brake Fluid*“ [17] moksliniame darbe buvo atliktas tyrimas, siekiant hidrofiliškai charakterizuoti DOT 3 klasifikacijos stabdžių skystį ir suprojektuoti aktyvią stabdžių skysčio būklės nustatymo sistemą, kuri perspėtų vairuotoją apie tai, kad reikia keisti stabdžių skystį.

Stabdžių skystis yra hidroskopiškas, šio skysčio molekulinė struktūra pasižymi tuo, kad ji lengvai prisijungia vandens molekules. Drėgmė, kurią stabdžių skystis yra sugėręs, blogina jo savybes, o tai lemia sumažėjusį stabdžių sistemos efektyvumą. Stabdžių skystis pasižymi aukštesne nei vanduo virimo temperatūra, tačiau drėgmė, kurią stabdžių skystis sugeria, pakeičia stabdžių skysčio charakteristikas ir sumažina virimo temperatūrą

Bandymuose naudota įranga ir medžiagos pateiktos 13 pav.

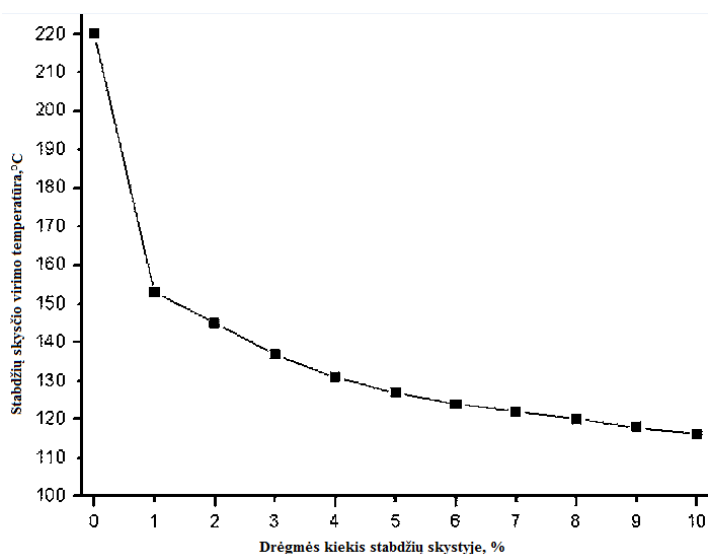


13 pav. Stabdžių skysčio virimo temperatūrai nustatyti skirtas prietaisas [17]

13 paveiksle pateiktas analizuojamame darbe bandymams atlikti naudotas kintamos srovės maitinimo šaltinis, stabdžių skystis, įtampos matavimo įranga. Stiprinimo, tiltavimo, signalo filtravimo ir aptikimo prietaisas tuo pačiu turi išėjimus, kurie jungiasi su automobilio valdymo kompiuteriu, taip perduodant jį informaciją apie stabdžių skysčio būklę. Bandymai buvo atliekami tokiu principu: kintama įtampa iš maitinimo šaltinio praeidama per stabdžių skystį pakinta, taip gaunama išėjimo įtampa. Panaudojus Omo dėsnį ( $V = I \cdot R$ ), pagal gautą išėjimo įtampą, apskaičiuojama stabdžių skysčio varža. Pagal stabdžių skysčio varžą nustatomas drėgmės kiekis stabdžių skystyje.

Atlikus bandymus buvo nustatyta stabdžių skysčių varža, jų virimo temperatūra ir drėgmės kiekis. Remiantis darbo autorių Čornak [17] ir Skokil [17] atliktų bandymų rezultatais, matyti, kad kuo drėgmės kiekis stabdžių skystyje didesnis, tuo mažesnė jo varža. Taip pat pagal atliktų bandymų rezultatus matyti, kad didėjant drėgmės kiekiui stabdžių skysčio elektrinis laidumas didėja, kadangi vanduo yra laidus elektrai.

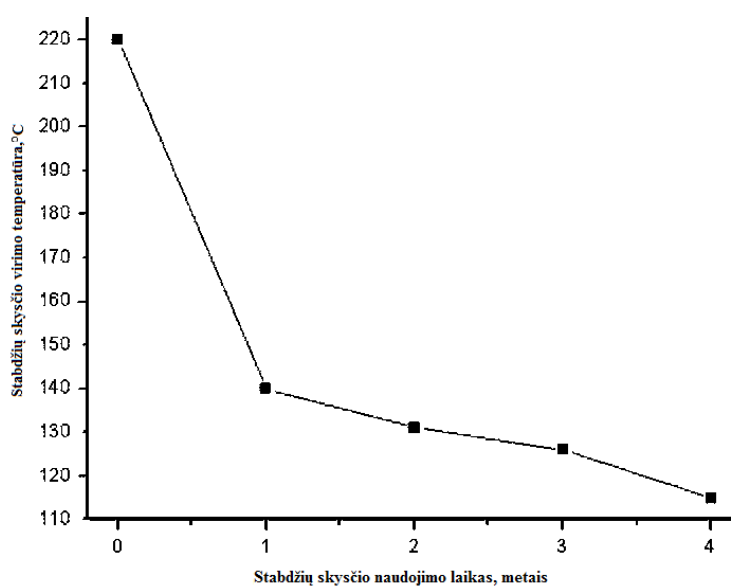
Pagal bandymais nustatytas stabdžių skysčių virimo temperatūras ir drėgmės kiekį stabdžių skysčiuose, sudarytas jų priklausomybės grafikas, kuris pateiktas 14 paveiksle.



**14 pav.** Stabdžių skysčio virimo temperatūros priklausomybė nuo drėgmės kiekio [17]

14 paveiksle pateiktame grafike matyti, kad bandymuose naudoto „sauso“ DOT 3 stabdžių skysčio, kuriame drėgmės kiekis lygus 0 %, virimo temperatūra lygi 220 °C. Drėgmės kiekiui DOT 3 stabdžių skystyje padidėjus iki 1 %, skysčio virimo temperatūra sumažėja iki 150 °C, taigi 1 % drėgmės sumažina stabdžių skysčio virimo temperatūrą 70 °C, tačiau toliau didėjant drėgmės kiekiui, stabdžių skysčio virimo temperatūra taip sparčiai nemažėja, didžiausias virimo temperatūros sumažėjimas matomas 0 – 1 % drėgmės kiekio ribose. Drėgmės kiekiui stabdžių skystyje pasiekus 10 %, virimo temperatūra sumažėja iki 120 °C, taigi virimo temperatūrų skirtumas, kai stabdžių skystyje drėgmės kiekis lygus 1 % ir 10 %, yra lygus tik 30 °C.

15 paveiksle pateiktas stabdžių skysčio virimo temperatūros priklausomybės nuo jo naudojimo laiko grafikas.



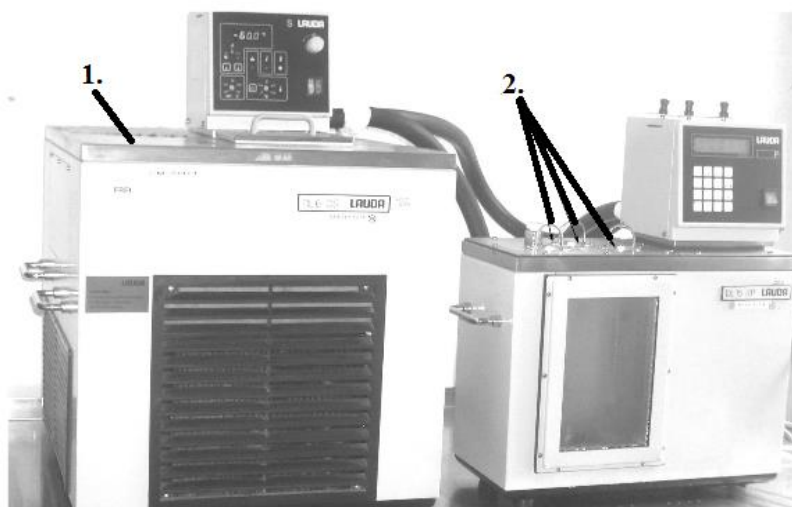
**15 pav.** Stabdžių skysčio virimo temperatūros priklausomybė nuo skysčio naudojimo laiko [17]

15 paveiksle pateiktame stabdžių skysčio naudojimo laiko grafike matyti, kad stabdžių skysčio virimo temperatūra daugiausiai sumažėja po vienų metų automobilio eksploatacijos. „Sauso“, nenaudoto stabdžių skysčio virimo temperatūra lygi 220 °C, o praėjus vieniems metams, ši temperatūra sumažėja iki 140 °C, taigi gaunamas 80 °C skirtumas. Toliau bėgant metams stabdžių skysčio virimo temperatūra taip smarkiai nesumažėja, kadangi praėjus keturių metų laikotarpiui virimo temperatūra sumažėja iki 120 °C, taigi per tris metus virimo temperatūra sumažėja tik 20 °C. Per pirmuosius automobilio eksploatacijos metus stabdžių skysčio virimo temperatūra sumažėja 4 kartus daugiau nei praėjus keturiems metams.

### 1.6.2. Stabdžių skysčio klampumo savybių tyrimas

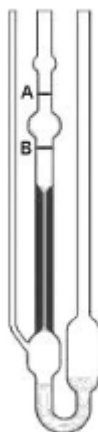
Š. ČORNAK & J. SKOKIL „*Research of brake fluid viscosity properties*“ [18] moksliniame darbe buvo atlikti bandymai, siekiant nustatyti, kokią įtaką stabdžių skysčio temperatūra ir drėgmės kiekis stabdžių skystyje turi jo klampumui. Šiame darbe bandymai atlikti su keturiais DOT4 klasifikacijos stabdžių skysčio SYNTOL HD 265 PLUS mėginiais. Drėgmės kiekis šiuose mėginiuose lygus: 1 mėginys: drėgmės kiekis 0,2 %, 2 mėginys: drėgmės kiekis 1,7 %, 3 mėginys: drėgmės kiekis 3,6 %, 4 mėginys: drėgmės kiekis 5,9 %. Drėgmės kiekis stabdžių skysčių mėginiuose išmatuotas pasitelkus Karlo Fišerio metodą.

Bandymams atlikti naudotas įrenginys LAUDA RL6, kurio vaizdas pateiktas 16 paveiksle, turintis kriostatą ir Ubbelohde viskozimetą.



**16 pav.** Bandymams atlikti naudotas įrenginys LAUDA RL6. 1. Kriostatas. 2. Ubbelohde viskozimetras [18]

Stabdžių skysčių kinematinis klampumas šiame darbe buvo išmatuotas Ubbelohde viskozimetru (17 pav.). Šio prietaiso veikimo principas yra paremtas tuo, kad matuojama, kiek laiko skystis teka vamzdeliu, kuriame yra dvi žymos A ir B (17 pav.), į šį vamzdelį tiekiant pastovų skysčio kiekį.

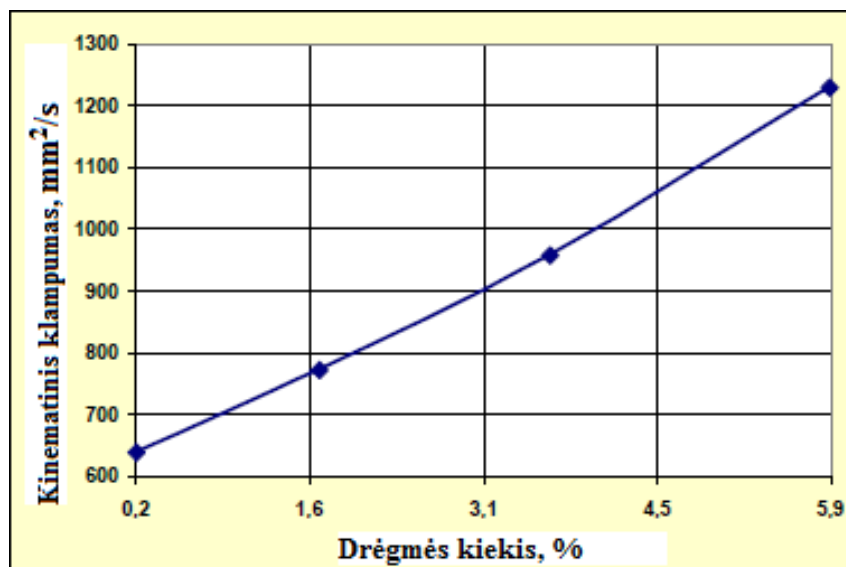


**17 pav.** Stabdžių skysčio kinematinio klampumo matavimo prietaisas: Ubbelohde viskozimetras [18]

Stabdžių skysčio mėginių kinematinio klampumo bandymai atlikti esant  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  ir  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  temperatūroms. Stabdžių skysčio mėginiai šių bandymų metu atšaldyti iki  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  panaudojus LAUDA RL6 įrenginio (16 pav.) kriostatą.

Atlikus bandymus, nustatytas kiekvieno stabdžių skysčio mėginio kinematinis klampumas, esant  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  ir  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  temperatūroms. Pagal gautus bandymų rezultatus sudarytas grafikas, kaip kinta stabdžių skysčio klampumas, priklausomai nuo skysčio temperatūros ir drėgmės kiekio jame.

18 paveiksle pateiktas grafikas, kuriame pateikta stabdžių skysčių kinematinio klampumo priklausomybė nuo drėgmės kiekio, kai skysčių temperatūra  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

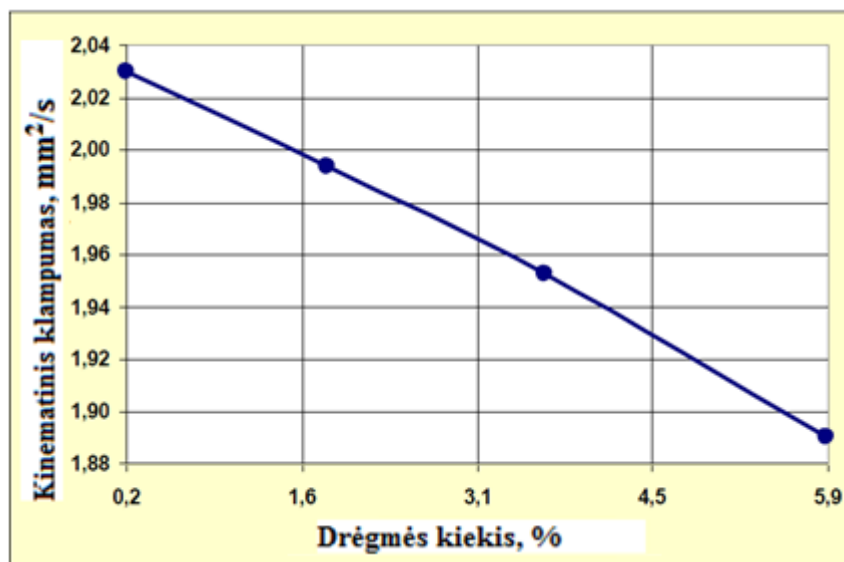


**18 pav.** Stabdžių skysčio kinematinio klampumo priklausomybė nuo drėgmės kiekio, kai stabdžių skysčio temperatūra lygi  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  [18]

Pateiktame grafike matyti, kad drėgmės kiekiui stabdžių skystyje, kurio temperatūra  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , didėjant, jo kinematinis klampumas taip pat didėja: kai drėgmės kiekis stabdžių skystyje lygus  $0,2\text{ }%$ , stabdžių skysčio kinematinis klampumas yra lygus apie  $630\text{ mm}^2/\text{s}$ , o drėgmės kiekiui padidėjus iki  $5,9\text{ }%$ , stabdžių skysčio kinematinis klampumas padidėja iki apie  $1220\text{ mm}^2/\text{s}$ . Grafike taip pat matyti, kad

ši stabdžių skysčio kinematinio klampumo priklausomybė nuo drėgmės kiekio, kai stabdžių skysčio temperatūra  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , yra artima tiesinei.

19 paveiksle pateiktas grafikas, kuriame pateikta stabdžių skysčių kinematinio klampumo priklausomybė nuo drėgmės kiekio, kai skysčių temperatūra  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



**19 pav.** Stabdžių skysčio kinematinio klampumo priklausomybė nuo drėgmės kiekio, kai stabdžių skysčio temperatūra lygi  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  [18]

Pateiktame grafike matyti, kad drėgmės kiekiui stabdžių skystyje, kurio temperatūra  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , didėjant, jo kinematinis klampumas mažėja: kai drėgmės kiekis stabdžių skystyje lygus  $0,2\text{ }\%$ , stabdžių skysčio kinematinis klampumas yra lygus apie  $2,03\text{ mm}^2/\text{s}$ , o drėgmės kiekiui padidėjus iki  $5,9\text{ }\%$ , stabdžių skysčio kinematinis klampumas sumažėja iki apie  $1,89\text{ mm}^2/\text{s}$ . Grafike taip pat matyti, kad stabdžių skysčio kinematinio klampumo priklausomybė nuo drėgmės kiekio, kai stabdžių skysčio temperatūra  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , taip pat yra artima tiesinei.

Atlikus bandymus su stabdžių skysčiais ir nustatius kiekvieno mėginio kinematinį klampumą, nustatyta, kad stabdžių skysčio kinematinio klampumui įtakos turi ne tik jo temperatūra, tačiau ir drėgmės kiekis jame.

Atliktų bandymų rezultatais darbo autoriai siekia atkreipti dėmesį į tai, kad svarbu stebėti stabdžių skysčio būklę, ateityje automobilių techninių apžiūrų stotis ir servisus rekomenduojama aprūpinti įranga, kuria būtų galima patikrinti stabdžių skysčio būklę, taip pat aprūpinti automobilius stabdžių skysčio būklės stebėjimo įranga.



## 2. Atlikti stabdžių skysčių tyrimai

### 2.1. Naujų stabdžių skysčių virimo temperatūros tyrimas

#### 2.1.1. Tyrime naudota įranga

Stabdžių skysčio virimo temperatūros nustatymo tyrimui atlikti naudoti šie prietaisai ir įrankiai:

1. Švirkštas stabdžių skysčio mėginiams paimti.
2. Šildymo prietaisas.

Stabdžių skystis atliekant tyrimą šildomas 2200W galios šildymo prietaisu.

3. Multimetras TESTMATE DMM – 250T



**20 pav.** Stabdžių skysčio virimo temperatūros matavimui naudoti prietaisai. 1. Termopora. 2. Multimetras TESTMATE DMM – 250T

Stabdžių skysčio virimo temperatūros matavimui panaudotas multimetras (20 pav.), turintis temperatūros matavimo funkcija ir termoporą. Multimetras pasižymi tam tikra temperatūros matavimo paklaida, kuri pateikta 4 lentelėje.

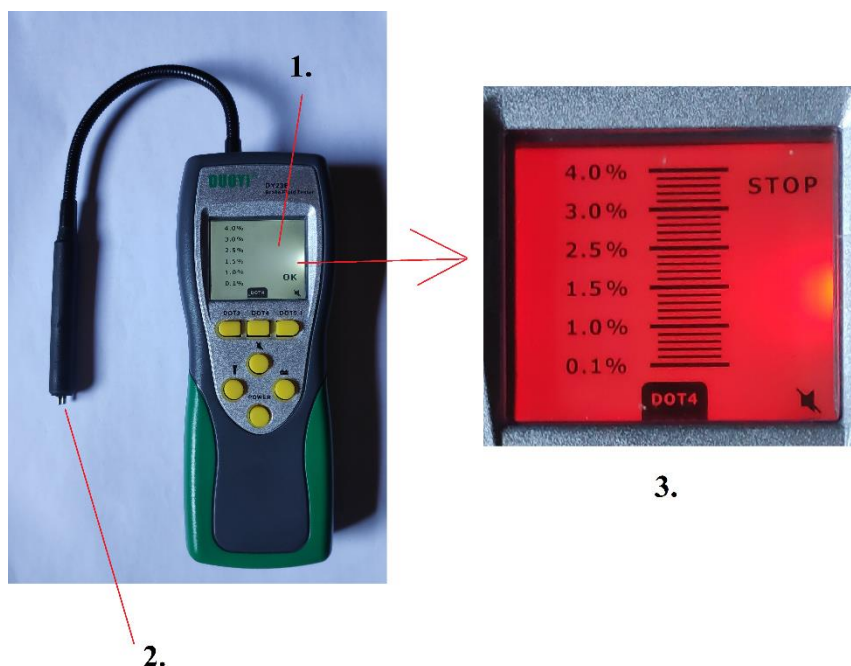
**4 lentelė.** Prietaiso TESTMATE DMM – 250T temperatūros matavimo paklaida [19]

Temperatūros matavimo ribos, °C	Paklaida
-20 ~ 0	± 5 % arba ± 3 °C
0 °C ~ 400	± 1 % arba ± 2 °C
400 ~ 1000	± 2 %

4 lentelėje matyti, kad multimetras paklaida, temperatūros matavimo ribose 0 °C ~ 400 °C, kuriose atliekamas tyrimas, yra nedidelė, lygi ± 1 % arba ± 2 °C, taigi bandymų rezultatams ši paklaida didelės įtakos neturi.



#### 4. Drėgmės kiekio stabdžių skystyje matavimo prietaisais



**21 pav.** Drėgmės kiekio stabdžių skystyje matavimo prietaisais DUOYI DY23B. 1. Prietaiso ekranėlis. 2. Drėgmės kiekio jutikliai. 3. Drėgmės kiekio skalė

Šis drėgmės kiekio matavimo prietaisais – DUOYI DY23B (21 pav.) ekranėlyje turi skalę, kuri parodo drėgmės kiekį stabdžių skystyje procentais. Drėgmės kiekio matavimo prietaisais skalė sugraduota nuo 0,1 iki 4 % (21 pav. 3).

#### 2.1.2. Tyrimo eiga ir rezultatai

Šioje darbo dalyje atliekamas tyrimas, siekiant nustatyti skirtingų gamintojų nenaudoto stabdžių skysčio virimo temperatūrą. Bandymams atlikti naudojami DOT 4 klasifikacijos stabdžių skystys, kadangi šios klasifikacijos stabdžių skystys yra dažniausiai naudojami šiuolaikiniuose automobiliuose. Stabdžių skystys, su kuriais buvo atlikti bandymai, pateikti 22 paveiksle.



**22 pav.** Įvairių gamintojų DOT 4 klasifikacijos stabdžių skystys, naudoti bandymuose

5 lentelėje pateiktas bandymuose naudotų stabdžių skysčių sąrašas. Lentelėje taip pat pateikta informacija apie stabdžių skystį, kuri pateikta ant kai kurių gamintojų stabdžių skysčių pakuočių, tai yra stabdžių skysčio kilmės šalis, standartai, kuriuos atitinka stabdžių skystis, tinkamumo naudoti laikas, „sausas“ ir „drėgnas“ virimo taškas.

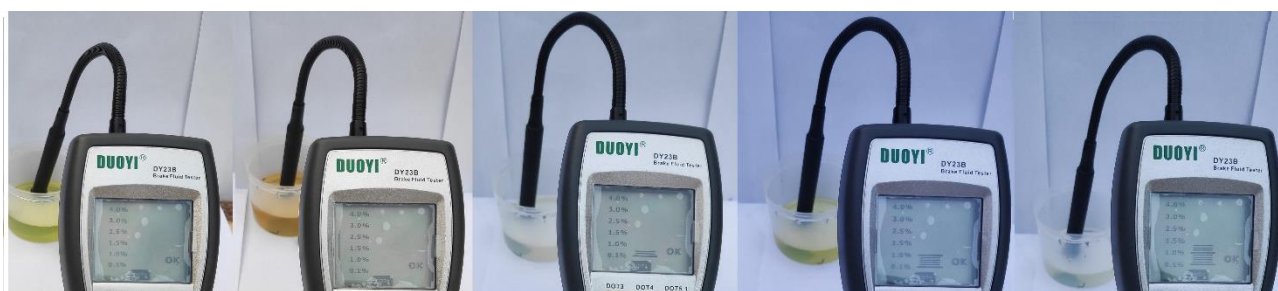
**5 lentelė.** Stabdžių skysčių, naudotų bandymuose, sąrašas ir informacija

Stabdžių skysčio nr.	Stabdžių skysčio gamintojas	Stabdžių skysčio kilmės šalis	Standartai, kuriuos atitinka stabdžių skystis	Tinkamumo naudoti laikotarpis, skystį laikant uždaroje pakuotėje	„Sausas“ virimo taškas, °C	„Drėgnas“ virimo taškas, °C
1.	ATE SL	Vokietija	SAE J 1704, SAE J 1703, FMVSS § 571.116/DOT 4, ISO 4925	5 metai	≥ 260	≥ 165
2.	BOSCH	Italija	SAE J 1704, FMVSS § 571.116 DOT 4, ISO 4925	30 mėnesių	≥ 230	≥ 155
3.	LESTA	Lietuva	SAE J 1704, SAE J 1703, ISO 4925	3 metai nuo pagaminimo datos	-	-
4.	FEBI	Vokietija	SAE J 1703, FMVSS 116 DOT 3, DOT 4, ISO 4925, VAG TL 766 X/Y	1 metai	-	-
5.	EGT	Lenkija	SAE J 1703	2 metai	-	-
6.	AUTOCHEMIJA	-	-	Tinkamumo naudoti laikas neribojamas	-	-
7.	DANUSHIS	-	-	Tinkamumo naudoti laikas neribojamas	230	-
8.	EXPERT	Ukraina	-	3 metai	≥ 230	-
9.	SCT	Europa	SAE J 1703, FMVSS 116 DOT 4, ISO 4925	5 metai nuo pagaminimo datos	-	-

Pagal 5 lentelėje pateiktą informaciją matyti, kad didžioji dalis bandymuose naudotų DOT 4 klasifikacijos skysčių atitinka stabdžių skysčių standartus SAE J 1703, SAE J 1704, FMVSS 116 DOT 4, ISO 4925. Standartai, kuriuos atitinka stabdžių skystis, nenurodyti tik ant dviejų iš bandymuose naudotų stabdžių skysčių – gamintojo AUTOCHEMIJA ir DANUSHIS pakuočių. Ant kai kurių stabdžių skysčių pakuočių taip pat nurodytas „sausas“ ir „drėgnas“ stabdžių skysčio virimo taškas. ATE stabdžių skystis pasižymi aukštesne arba lygia 260 °C „sausos“ stabdžių skysčio virimo temperatūra, BOSCH ir EXPERT stabdžių skysčiai pasižymi aukštesne arba lygia 230 °C „sausos“ stabdžių skysčio virimo temperatūra, o ant DANUSHIS gamintojo stabdžių skysčio pakuotės nurodyta, kad stabdžių skystis pasižymi 230 °C virimo temperatūra. „Drėgno“ stabdžių skysčio

virimo temperatūros nurodytos tik ant ATE ir BOSCH gamintojų pakuočių: ATE gamintojo stabdžių skystis pasižymi aukštesne arba lygia 165 °C virimo temperatūra, o BOSCH gamintojo stabdžių skystis aukštesne arba lygia 155 °C virimo temperatūra. Pagal pateiktą informaciją matyti, kad ATE stabdžių skystis pasižymi aukščiausia „sauso“ ir „drėgno“ stabdžių skysčio temperatūra, taip pat 30 °C aukštesne „sauso“ stabdžių skysčio virimo temperatūra, ir 10 °C aukštesne „drėgno“ stabdžių skysčio virimo temperatūra, nei reikalaujama DOT 4 standartu, kuriame teigiama, kad „sauso“ DOT 4 stabdžių skysčio virimo temperatūra turi būti ne mažesnė nei 230 °C, o „drėgno“ stabdžių skysčio virimo temperatūra turi būti ne mažesnė nei 155 °C.

Iš pradžių atliekami drėgmės kiekio stabdžių skystyje nustatymo bandymai: drėgmės kiekio matavimo prietaisu išmatuojamas drėgmės kiekis kiekvieno gamintojo naujame stabdžių skystyje. Išmatuotos drėgmės kiekio stabdžių skystyje reikšmės pateiktos 23 paveiksle, 24 paveiksle ir 6 lentelėje.



- |           |           |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>1.</b> | <b>2.</b> | <b>3.</b> | <b>4.</b> | <b>5.</b> |
| ATE       | BOSCH     | LESTA     | FEBI      | EGT       |

**23 pav.** 1 dalis drėgmės kiekio matavimo prietaiso parodymų naujame stabdžių skystyje



- |             |           |           |           |
|-------------|-----------|-----------|-----------|
| <b>6.</b>   | <b>7.</b> | <b>8.</b> | <b>9.</b> |
| AUTOCHEMIJA | DANUSHIS  | EXPERT    | SCT       |

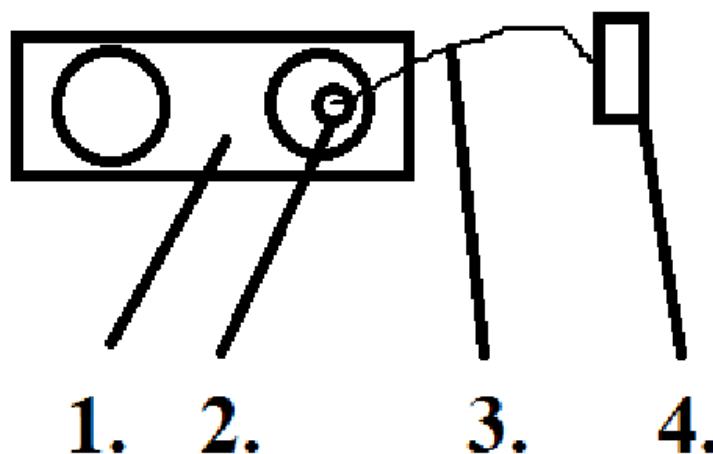
**24 pav.** 2 dalis drėgmės kiekio matavimo prietaiso parodymų naujame stabdžių skystyje

**6 lentelė.** Drėgmės kiekio naujo stabdžių skysčio mėginiuose matavimo rezultatai

Mėginio nr.	Stabdžių skysčio gamintojas	Drėgmės kiekis stabdžių skystyje, %
1.	ATE	0
2.	BOSCH	0
3.	LESTA	0,46
4.	FEBI	1
5.	EGT	1,3
6.	AUTOCHEMIJA	0
7.	DANUSHIS	0,64
8.	EXPERT	0,28
9.	SCT	1,7

Atlikus drėgmės kiekio stabdžių skysčiuose matavimus nustatyta, kad ATE, BOSCH ir AUTOCHEMIJA gamintojų stabdžių skysčiuose drėgmės kiekis siekia 0 %. LESTA, DANUSHIS ir EXPERT stabdžių skysčiuose nustatytas nedidelis drėgmės kiekis, atitinkamai 0,46 %, 0,64 % ir 0,28 %. Didžiausias drėgmės kiekis nustatytas SCT gamintojo stabdžių skystyje, drėgmės kiekis šiame skystyje lygus 1,7 %. Taip pat gana didelis drėgmės kiekis nustatytas EGT gamintojo stabdžių skystyje, drėgmės kiekis šiame skystyje lygus 1,3 % ir FEBI gamintojo stabdžių skystyje, 1 %.

Išmatavus drėgmės kiekį visuose stabdžių skysčių mėginiuose, atliekami stabdžių skysčių virimo temperatūros nustatymo bandymai. Šiems bandymams atlikti paruoštų prietaisų principinė schema pateikta 25 paveiksle.



**25 pav.** Stabdžių skysčių virimo temperatūros nustatymo bandymams atlikti paruoštų prietaisų išdėstymo principinė schema. 1. Šildymo prietaisas. 2. Indas stabdžių skysčiui. 3. Termopora. 4. Multimetras

Atliekant stabdžių skysčio virimo temperatūros nustatymo bandymą, stabdžių skysčio mėginys supilamas į metalinį indą, kuriame jis bus šildomas (25 pav., 2), tuomet į šį skystį panardinama termopora (25 pav., 3) ir indas su stabdžių skysčiu padedamas ant šildymo prietaiso kaitlentės. (25 pav., 1). Įjungus šildymo prietaisą stabdžių skystis šildomas tol, kol užverda, tuomet multimetras (25

pav., 4) ekranelyje užfiksuojama stabdžių skysčio virimo temperatūra. Stabdžių skysčio virimo temperatūra, siekiant tinkamai įvertinti stabdžių skysčio virimo temperatūra, išmatuota 20 kartų.

Atlikus stabdžių skysčio virimo temperatūros nustatymo bandymą su vienu mėginiu, palaukiama, kol mėginys atvės ir jis supilamas į tam skirtą bandymuose panaudoto stabdžių skysčio indą. Indas, kuriame buvo šildomas vienas stabdžių skysčio mėginys, švariai išplaunamas, kad neliktų prieš tai bandymuose naudoto stabdžių skysčio ar nuosėdų ir bandymas tokiomis pačiomis sąlygomis atliekamas su nauju mėginiu.

Atliktų stabdžių skysčių virimo temperatūros nustatymo bandymų rezultatai pateikti 7 lentelėje.

**7 lentelė.** Stabdžių skysčių mėginių virimo temperatūra, atlikus 20 bandymų su kiekvienu naujo stabdžių skysčio mėginiu

	Stabdžių skysčio gamintojas								
	ATE	BOSCH	LESTA	FEBI	EGT	AUTOCHEMIJA	DANUSHIS	EXPERT	SCT
Band. nr.	Stabdžių skysčio virimo temperatūra, °C								
1.	263	237	228	231	218	214	231	230	205
2.	258	231	229	228	220	215	228	236	202
3.	264	235	226	235	222	220	229	232	201
4.	260	235	231	226	216	219	230	233	207
5.	259	236	229	232	212	215	232	231	199
6.	259	240	229	235	218	219	231	234	200
7.	263	240	231	232	215	220	233	231	202
8.	264	239	230	230	219	220	235	236	203
9.	260	243	233	229	213	222	231	235	200
10.	257	236	232	230	220	218	230	234	198
11.	262	237	230	227	219	220	231	231	204
12.	260	239	228	234	214	216	230	230	203
13.	265	240	229	235	213	223	229	235	207
14.	261	242	232	233	218	222	229	230	205
15.	265	240	227	228	212	223	228	233	202
16.	258	239	235	229	221	223	227	233	203
17.	262	239	231	230	220	225	230	237	204
18.	260	239	228	231	219	220	231	231	205
19.	266	238	229	229	217	221	230	234	204
20.	261	240	230	232	215	218	229	235	203

Pagal atliktų bandymų rezultatus – 20 kartų išmatuotos kiekvieno stabdžių skysčio virimo temperatūros reikšmės, pateiktas 7 lentelėje, apskaičiuojamos naujų stabdžių skysčių virimo temperatūros reikšmių aibės charakteristikos: vidurkis, vidutinis kvadratinis nuokrypis, dispersija, asimetrijos koeficientas ir variacijos koeficientas.

Pagal 1 išraišką apskaičiuojamas kiekvieno bandymuose naudoto stabdžių skysčio virimo temperatūrų vidurkis –  $\bar{x}$ .

$$\bar{x} = \frac{x_1 + \dots + x_n}{n} \quad (1)$$

čia:

$x_1$  – pirmoji reikšmių aibės reikšmė,

$x_n$  – n – toji reikšmių aibės reikšmė,

$n$  – reikšmių aibės reikšmių skaičius.

Pateikiamas pavyzdys, kaip apskaičiuotas EGT stabdžių skysčio virimo temperatūrų reikšmių vidurkis:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + \dots + x_n}{n} = \frac{218 + 220 + 222 + 216 + 212 + 218 + 215 + 219 + 213 + 220 + 219 + 214 + 213 + 218 + 212 + 221 + 220 + 219 + 217 + 215}{20} = 217 \text{ }^\circ\text{C}$$

Vidutinis kvadratinis nuokrypis –  $\sigma$ , dydis, kuris apibūdina matuojamų dydžių reikšmių sklaidą apie vidurkį. Šis dydis apskaičiuojamas pagal 2 išraišką:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

Pateikiamas pavyzdys, kaip apskaičiuojamas EGT stabdžių skysčio virimo temperatūrų reikšmių vidutinis kvadratinis nuokrypis:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} =$$

$$\sqrt{\frac{1}{20} \cdot (218 - 217)^2 + (220 - 217)^2 + (222 - 217)^2 + (216 - 217)^2 + (212 - 217)^2 + (218 - 217)^2 + (215 - 217)^2 + (219 - 217)^2 + (213 - 217)^2 + (220 - 217)^2 + (219 - 217)^2 + (214 - 217)^2 + (213 - 217)^2 + (218 - 217)^2 + (212 - 217)^2 + (221 - 217)^2 + (220 - 217)^2 + (219 - 217)^2 + (217 - 217)^2 + (215 - 217)^2} = 3,02$$

Dispersija –  $\sigma^2$ , tai dydis, nusakantis išmatuotų dydžių reikšmių skirtingumą dėl matavimo procedūros netobulumo. Šis dydis apskaičiuojamas pagal 3 išraišką:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (3)$$

Pateikiamas pavyzdys, kaip apskaičiuojama EGT stabdžių skysčio virimo temperatūrų reikšmių dispersija:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 =$$

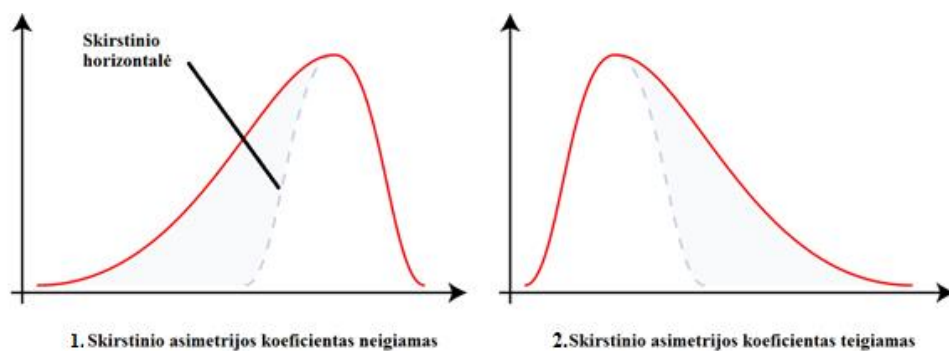
$$\frac{1}{20} \cdot (218 - 217)^2 + (220 - 217)^2 + (222 - 217)^2 + (216 - 217)^2 + (212 - 217)^2 +$$

$$(218 - 217)^2 + (215 - 217)^2 + (219 - 217)^2 + (213 - 217)^2 + (220 - 217)^2 +$$

$$(219 - 217)^2 + (214 - 217)^2 + (213 - 217)^2 + (218 - 217)^2 + (212 - 217)^2 +$$

$$(221 - 217)^2 + (220 - 217)^2 + (219 - 217)^2 + (217 - 217)^2 + (215 - 217)^2 = 9,63$$

Asimetrijos koeficientas – A, tai dydis, kuris charakterizuoja skirstinio grafines funkcijos asimetriškumą. Skirstinio asimetrijos koeficientas laikomas neigiamu, kai skirstinio reikšmės pagal skirstinio horizontalę yra pasiskirsčiusios dešinėje (26 pav. 1.) Skirstinio asimetrijos koeficientas laikomas teigiamu, kai skirstinio reikšmės pagal skirstinio horizontalę yra pasiskirsčiusios kairėje (26 pav. 2.).



26 pav. Skirstinio asimetriškumas [20]

Asimetrijos koeficientas apskaičiuojamas pagal 5 išraišką:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1) \cdot \sigma^3} \quad (4)$$

Pateikiamas pavyzdys, kaip apskaičiuojamas EGT stabdžių skysčio virimo temperatūrų reikšmių asimetrijos koeficientas:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1) \cdot \sigma^3} =$$

$$\frac{(218 - 217)^3 + (220 - 217)^3 + (222 - 217)^3 + (216 - 217)^3 + (212 - 217)^3 +$$

$$(218 - 217)^3 + (215 - 217)^3 + (219 - 217)^3 + (213 - 217)^3 + (220 - 217)^3 +$$

$$(219 - 217)^3 + (214 - 217)^3 + (213 - 217)^3 + (218 - 217)^3 + (212 - 217)^3 +$$

$$(221 - 217)^3 + (220 - 217)^3 + (219 - 217)^3 + (217 - 217)^3 + (215 - 217)^3}{(20 - 1) \cdot 2,99^3} = -0,3$$

Variacijos koeficientas – s, tai dydis, kuris apibūdina išmatuotų dydžių reikšmių nuokrypį nuo vidurkio. Šis dydis apskaičiuojamas pagal 4 išraišką:

$$s = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n}} \quad (5)$$

Pateikiamas pavyzdys, kaip apskaičiuojamas EGT stabdžių skysčio virimo temperatūrų reikšmių variacijos koeficientas:

$$s = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n}} =$$

$$\sqrt{\frac{(218 - 217)^2 + (220 - 217)^2 + (222 - 217)^2 + (216 - 217)^2 + (212 - 217)^2 + (218 - 217)^2 + (215 - 217)^2 + (219 - 217)^2 + (213 - 217)^2 + (220 - 217)^2 + (219 - 217)^2 + (214 - 217)^2 + (213 - 217)^2 + (218 - 217)^2 + (212 - 217)^2 + (221 - 217)^2 + (220 - 217)^2 + (219 - 217)^2 + (217 - 217)^2 + (215 - 217)^2}{20}} = 2,99$$

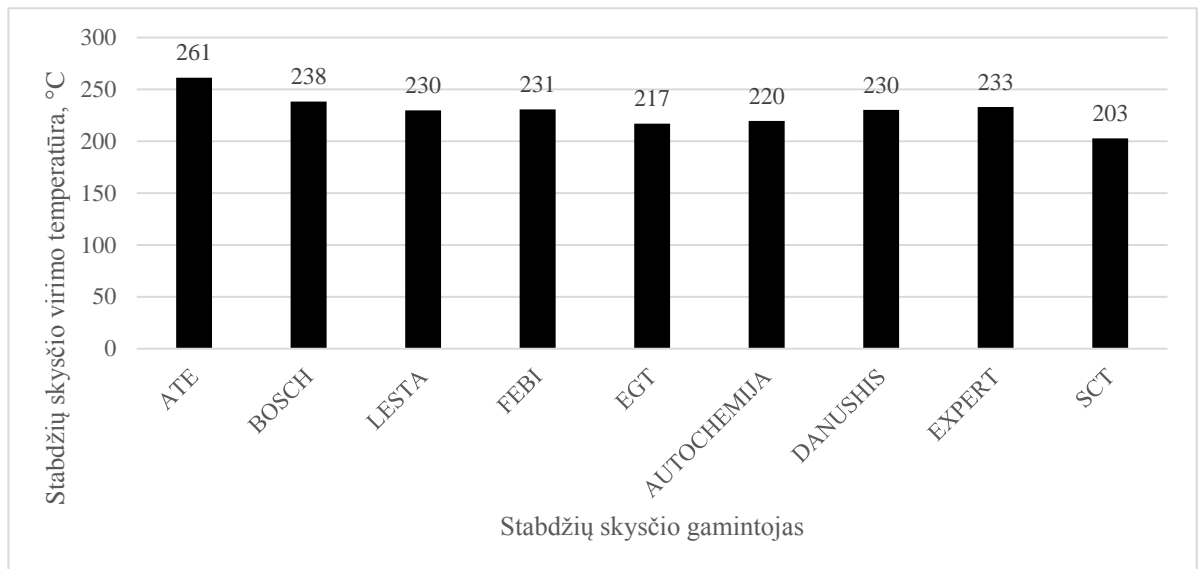
Pagal pateiktas formules apskaičiuotos 20 kartų išmatuotos naujų stabdžių skysčių virimo temperatūros reikšmių aibės charakteristikos pateiktos 8 lentelėje.

**8 lentelė.** 20 kartų išmatuotos naujų stabdžių skysčių virimo temperatūros reikšmių aibės charakteristikos

20 kartų išmatuotos naujų stabdžių skysčių virimo temperatūros reikšmių aibės charakteristikos							
Nr.	Stabdžių skysčio gamintojas	Stabdžių skysčio virimo temperatūros vidurkis $\bar{x}$ , °C	Vidutinis kvadratinis nuokrypis $\sigma$	Dispersija $\sigma^2$	Asimetrijos koeficientas A	Variacijos koeficientas s	Stabdžių skysčio gamintojo deklaruojama „sauso“ stabdžių skysčio virimo temperatūra, °C
1.	ATE	261	2,54	6,77	0,210	2,34	260
2.	BOSCH	238	2,66	7,46	-0,828	2,63	230
3.	LESTA	230	2,08	4,56	0,533	2,07	-
4.	FEBI	231	2,62	7,22	0,124	2,62	-
5.	EGT	217	3,02	9,63	-0,300	2,99	-
6.	AUTO-CHEMIJA	220	2,92	8,98	-0,305	2,92	-
7.	DANUSHIS	230	1,78	3,33	0,775	1,76	230
8.	EXPERT	233	2,16	4,89	0,091	2,14	230
9.	SCT	203	2,37	5,92	-0,194	2,36	-

Apskaičiuotos vidutinės stabdžių skysčių virimo temperatūros palyginamos grafiškai, kaip pateikta 27 paveiksle.





**27 pav.** Skirtingų gamintojų DOT 4 klasifikacijos stabdžių skysčių vidutinių virimo temperatūrų palyginimas

Palyginus apskaičiuotas stabdžių skysčių vidutines virimo temperatūras matyti, kad aukščiausia virimo temperatūra pasižymi ATE gamintojo stabdžių skystis, šis stabdžių skystis pasižymi 261 °C virimo temperatūra, tai atitinka ant šio stabdžių skysčio pakuotės nurodytą „sauso“ stabdžių skysčio virimo temperatūrą. Pagal apskaičiuotas vidutines stabdžių skysčio virimo temperatūros reikšmes taip pat matyti, kad FMVSS Nr. 116 standartu nustatyta DOT 4 klasifikacijos „sauso“ stabdžių skysčio virimo temperatūra, kuri lygi 230 °C, nepasižymi trys iš bandymuose naudotų devynių stabdžių skysčių. Šie standartų neatitinkantys stabdžių skysčiai yra:

- EGT, vidutinė virimo temperatūra lygi 217 °C;
- AUTOCHEMIJA, vidutinė virimo temperatūra lygi 220 °C;
- SCT, vidutinė virimo temperatūra lygi 203 °C.

Žemiausia virimo temperatūra pasižymi SCT gamintojo stabdžių skystis, šio stabdžių skysčio vidutinė virimo temperatūra lygi 203 °C, taigi ji 27 °C mažesnė nei standartuose nustatyta DOT 4 klasifikacijos stabdžių skysčių sauso virimo temperatūra. BOSCH, LESTA, FEBI, DANUSHIS ir EXPERT gamintojų stabdžių skysčiai atitinka FMVSS Nr. 116 standartu nustatyta DOT 4 klasifikacijos sauso stabdžių skysčio virimo temperatūrą. BOSCH gamintojo stabdžių skystis pasižymi vidutine 238 °C virimo temperatūra, taigi šio skysčio virimo temperatūra 8 °C aukštesnė nei reikalaujama DOT 4 standartu. LESTA ir DANUSHIS gamintojo stabdžių skysčiai pasižymi vidutine 230 °C virimo temperatūra, taigi šie skysčiai atitinka DOT 4 standartą. FEBI gamintojo stabdžių skystis pasižymi vidutine 231 °C virimo temperatūra, šio skysčio virimo temperatūra 1 °C aukštesnė nei reikalaujama DOT 4 standartu. EXPERT gamintojo stabdžių skystis pasižymi vidutine 233 °C virimo temperatūra, šio skysčio virimo temperatūra 3 °C aukštesnė nei reikalaujama DOT 4 standartu.

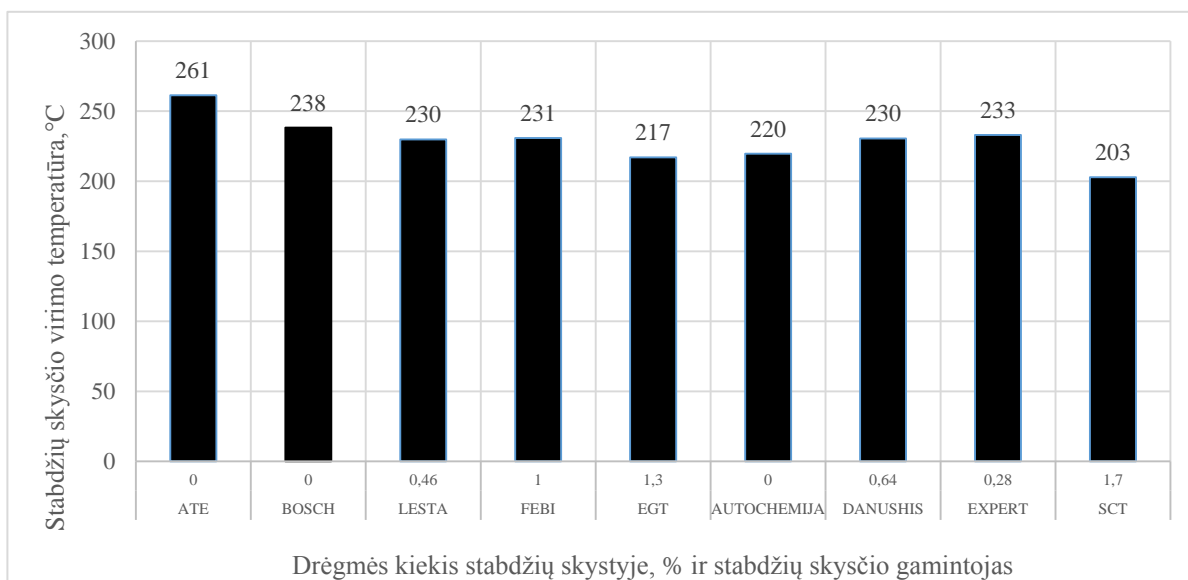
Palyginus apskaičiuotas stabdžių skysčio virimo temperatūrų vidutinio kvadratinio nuokrypio reikšmes matyti, kad didžiausia išmatuotų virimo temperatūrų sklaida apie vidurkį pasižymi EGT gamintojo stabdžių skysčio virimo temperatūros reikšmės, vidutinis kvadratinis nuokrypis šiuo atveju

lygus 3,02. Mažiausia išmatuotų virimo temperatūrų sklaida apie vidurkį pasižymi LESTA gamintojo stabdžių skysčio virimo temperatūros reikšmės, šio skysčio virimo temperatūrų vidutinis kvadratinis nuokrypis lygus 2,08.

Palyginus apskaičiuotas stabdžių skysčio virimo temperatūrų dispersijos reikšmes matyti, kad didžiausiu temperatūrų skirtingumu pasižymi EGT gamintojo stabdžių skysčio virimo temperatūros reikšmės, dispersija šiuo atveju lygi 9,63. Mažiausiu išmatuotų virimo temperatūrų skirtingumu pasižymi LESTA gamintojo stabdžių skysčio virimo temperatūros reikšmės, šio skysčio virimo temperatūrų dispersija lygi 4,56.

Palyginus apskaičiuotas stabdžių skysčio virimo temperatūrų asimetrijos koeficientų reikšmes matyti, kad didžiausiu neigiamu skirstinio grafinės funkcijos asimetriškumu pasižymi EGT gamintojo stabdžių skysčio virimo temperatūros skirstinys, skirstinio asimetrijos koeficientas lygus -0,828. Mažiausiu neigiamu skirstinio grafinės funkcijos asimetriškumu pasižymi SCT gamintojo stabdžių skysčio virimo temperatūros skirstinys, skirstinio asimetrijos koeficientas lygus -0,194. Didžiausiu teigiamu skirstinio grafinės funkcijos asimetriškumu pasižymi DANUSHIS gamintojo stabdžių skysčio virimo temperatūros skirstinys, skirstinio asimetrijos koeficientas lygus 0,775. Mažiausiu teigiamu skirstinio grafinės funkcijos asimetriškumu pasižymi SCT gamintojo stabdžių skysčio virimo temperatūros skirstinys, skirstinio asimetrijos koeficientas lygus 0,091.

Palyginus apskaičiuotas stabdžių skysčio virimo temperatūrų variacijos koeficientų reikšmes matyti, kad didžiausiu temperatūrų reikšmių nuokrypiu nuo vidurkio pasižymi EGT gamintojo stabdžių skysčio virimo temperatūros reikšmės, variacijos koeficientas šiuo atveju lygus 2,99. Mažiausiu išmatuotų virimo temperatūrų reikšmių nuokrypiu nuo vidurkio pasižymi LESTA gamintojo stabdžių skysčio virimo temperatūros reikšmės, šio skysčio virimo temperatūrų variacijos koeficientas lygus 2,07.



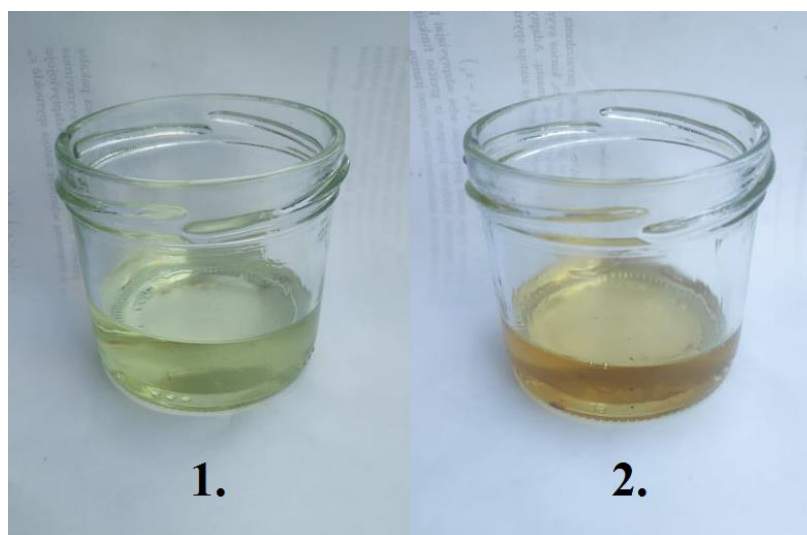
**28 pav.** Skirtingų gamintojų DOT 4 klasifikacijos stabdžių skysčių vidutinių virimo temperatūrų ir drėgmės kiekio palyginimas

28 paveiksle pateiktame stabdžių skysčių virimo temperatūrų ir drėgmės kiekio palyginime matyti, kad didžiausias drėgmės kiekis nustatytas SCT gamintojo stabdžių skystyje, drėgmės kiekis šiame skystyje lygus 1,7 %. Kadangi drėgmės kiekis SCT stabdžių skystyje pakankamai didelis, atlikus

bandymus nustatyta, kad stabdžių skystis pasižymi gana žema, 203 °C vidutine virimo temperatūra palyginus su kitų bandymuose naudotų stabdžių skysčių virimo temperatūromis. Gana dideliu drėgmės kiekiu taip pat pasižymi ir EGT gamintojo stabdžių skystis, drėgmės kiekis šiame skystyje lygus 1,3 %. EGT gamintojo stabdžių skystis taip pat pasižymi gana žema, 217 °C vidutine virimo temperatūra. AUTOCHEMIJA stabdžių skystyje nustatytas drėgmės kiekis lygus 0 %, tačiau šio gamintojo stabdžių skystis pasižymi tik 220 °C laipsnių virimo temperatūra, taigi šis stabdžių skystis neatitinka DOT 4 klasifikacijos stabdžių skysčiams keliamų reikalavimų.

Atlikus virimo bandymus taip pat nustatyta, kad stabdžių skysčiui pasiekus virimo temperatūra ir jį verdant šioje temperatūroje kiek ilgesnį laiką, apie 1 – 2 min, skystis pradeda keisti spalvą. Verdant naują stabdžių skystį, po kiek laiko stabdžių skysčio spalva pakinta iš skaidrios, šviesiai geltonos į tamsiai geltoną spalvą, tai pateikta 26 paveiksle.

Atliekant virimo temperatūros nustatymo bandymus taip pat pastebėta, kad su tuo pačiu stabdžių skysčio mėginiu pakartotinai atliekant bandymus, skystis ne tik pakeičia spalvą, tačiau pakinta ir stabdžių skysčio klampa – po bandymų atvėsinus stabdžių skystį iki kambario temperatūros, stabdžių skystis pasižymi didesniu klampumu nei naujas ir nenaudotas stabdžių skystis, stabdžių skystis sutirštėja, todėl su vienu stabdžių skysčio mėginiu bandymai atlikti tik keletą kartų, periodiškai pakeičiant skystį ir bandymus kartojant su bandymuose dar nenaudotu skysčiu.



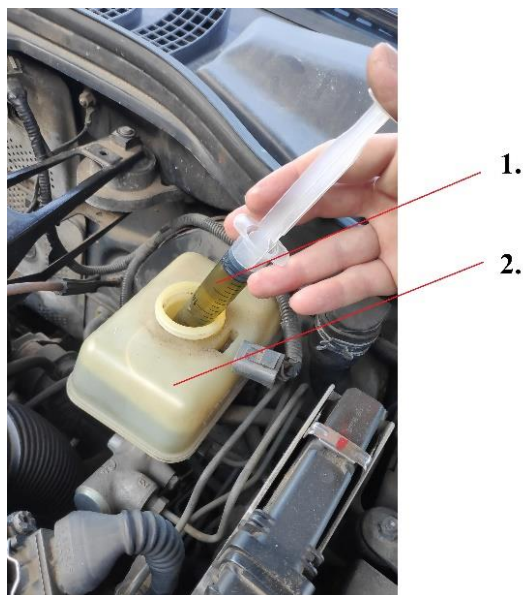
**29 pav.** Naujo stabdžių skysčio mėginys. 1. Stabdžių skysčio mėginys, prieš virimo temperatūros nustatymo bandymą. 2. Stabdžių skysčio mėginys, po virimo temperatūros nustatymo bandymo

## **2.2. Naudotų stabdžių skysčių virimo temperatūros tyrimas**

### **2.2.1. Tyrimo eiga ir rezultatai**

Šioje darbo dalyje atliekamas tyrimas, siekiant nustatyti, kokią įtaką stabdžių skysčio virimo temperatūrai turi stabdžių skystyje esantis drėgmės kiekis ir stabdžių skysčio naudojimo laikotarpis automobilio stabdžių sistemoje. Taip pat siekiama nustatyti, ar stabdžių skystis, esantis automobilio pagrindiniame stabdžių cilindro rezervuare ir rato stabdžių cilindre pasižymi vienoda ar skirtinga virimo temperatūra ir vienodu ar skirtingu drėgmės kiekiu.

Bandymams atlikti reikalingi stabdžių skysčių mėginiai iš keturių automobilių. Mėginiai paimami iš pagrindinio stabdžių cilindro rezervuaro (30 pav.), iš kurio stabdžių skystis ištraukiamas švirkštu, o iš rato stabdžių cilindro stabdžių skystis į stabdžių skysčių mėginio indą perpumpuojamas pagrindiniu stabdžių cilindru, per rato stabdžių cilindro oro pašalinimo vožtuvą, kaip pateikta 31 paveiksle. Stabdžių skysčių mėginiai supilamas į sandarią stabdžių skysčiui skirtą tarą, kadangi palikus skysčius atvirame inde, ilgainiui stabdžių skysčio mėginiai gali sugerti tam tikrą drėgmės kiekį iš atmosferos ir taip bandymų rezultatai būtų netikslūs.



**30 pav.** Stabdžių skysčio mėginys švirkštu paimamas iš automobilio pagrindinio stabdžių cilindro rezervuaro



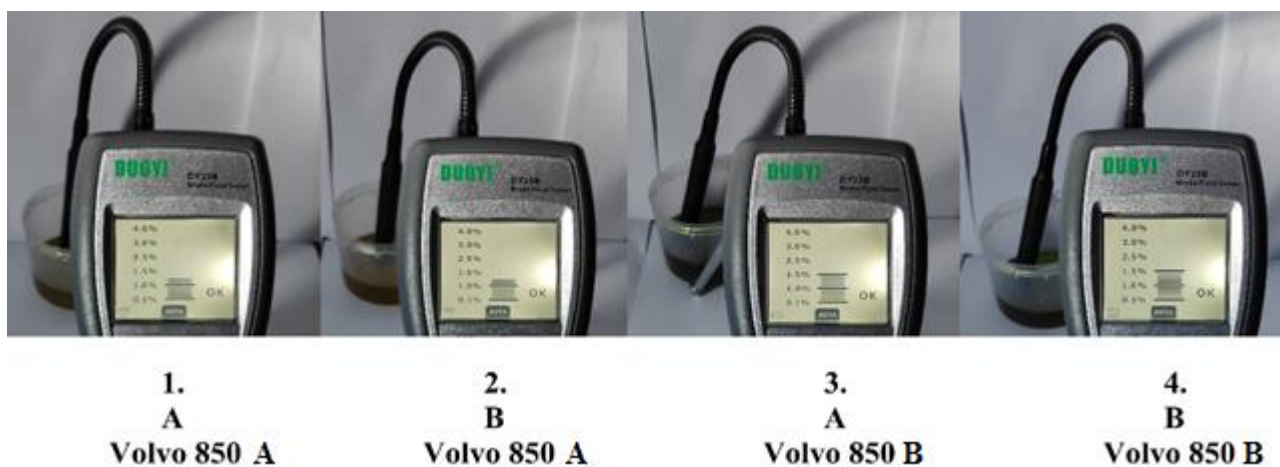
**31 pav.** Stabdžių skystis perpumpuojamas iš automobilio rato stabdžių cilindro į indą stabdžių skysčio mėginiui. 1. Rato stabdžių cilindras. 2. Rato stabdžių cilindro oro pašalinimo vožtuvas. 3. Žarnelė stabdžių skysčio perpumpavimui į stabdžių skysčio mėginiui skirtą indą. 4. Stabdžių skysčio mėginiui skirtas indas

9 lentelėje surašyti automobilių markės ir modeliai, iš kurių paimti stabdžių skysčių mėginiai, taip pat stabdžių skysčių klasifikacija, senumas ir stabdžių skysčio gamintojas, jei jis žinomas.

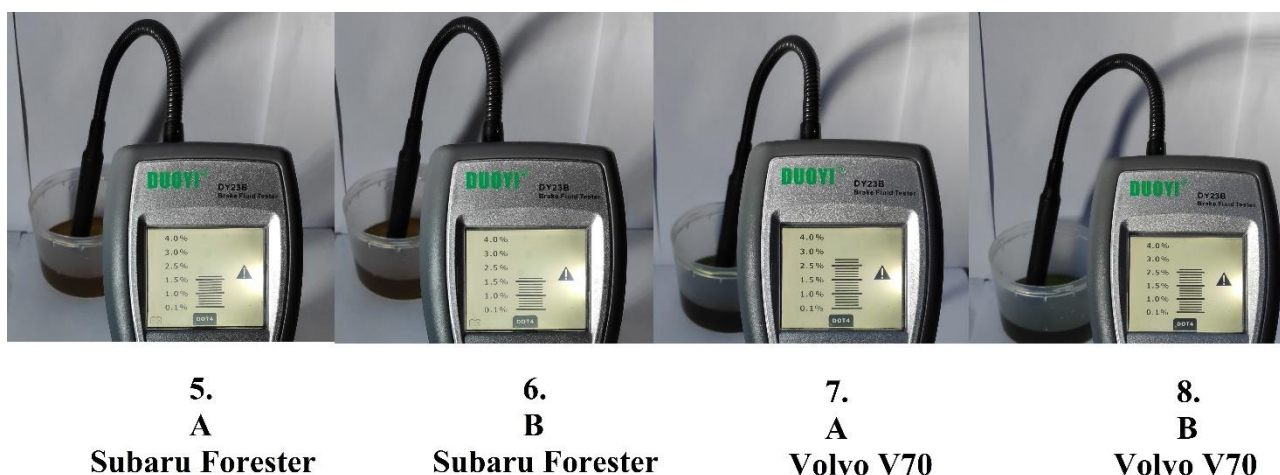
**9 lentelė.** Duomenys apie naudotų stabdžių skysčių mėginius

Nr.	Automobilio markė ir modelis	Automobilio pagaminimo metai	Automobilio stabdžių sistemoje naudojamo skysčio klasifikacija	Stabdžių skysčio naudojimo laikotarpis, mėn.	Stabdžių skysčio gamintojas
1.	Volvo 850 A	1997	DOT 4	8	LESTA
2.	Volvo 850 B	1994	DOT 4	13	LESTA
3.	Subaru Forester	2001	DOT 4	> 35	-
4.	Volvo V70	2007	DOT 4	> 48	-

Iš pradžių, prieš atliekant stabdžių skysčio virimo temperatūros nustatymo bandymus, drėgmės matavimo prietaisu išmatuotas drėgmės kiekis kiekviename stabdžių skysčio mėginyje. Matavimų rezultatai pateikti 32 paveiksle, 33 paveiksle 10 lentelėje.



**32 pav.** 1 dalis drėgmės kiekio matavimo prietaiso parodymų naudotame stabdžių skystyje



**33 pav.** 2 dalis drėgmės kiekio matavimo prietaiso parodymų naudotame stabdžių skystyje

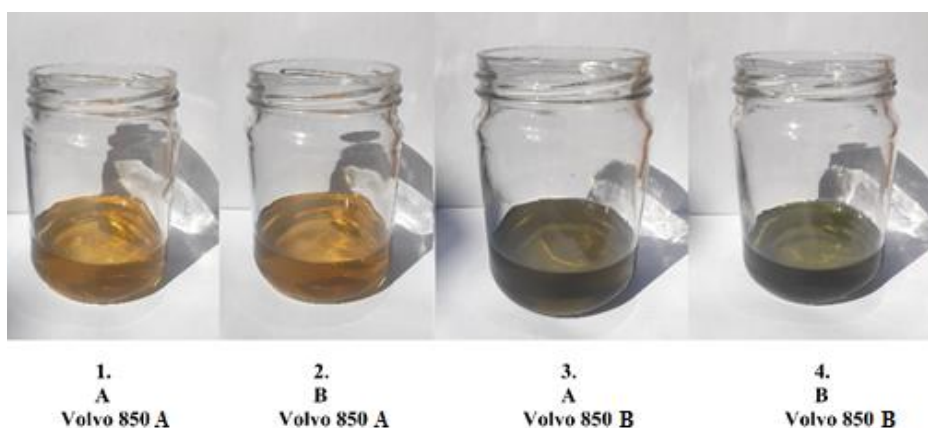


**10 lentelė.** Drėgmės kiekis naudotų stabdžių skysčių mėginiuose

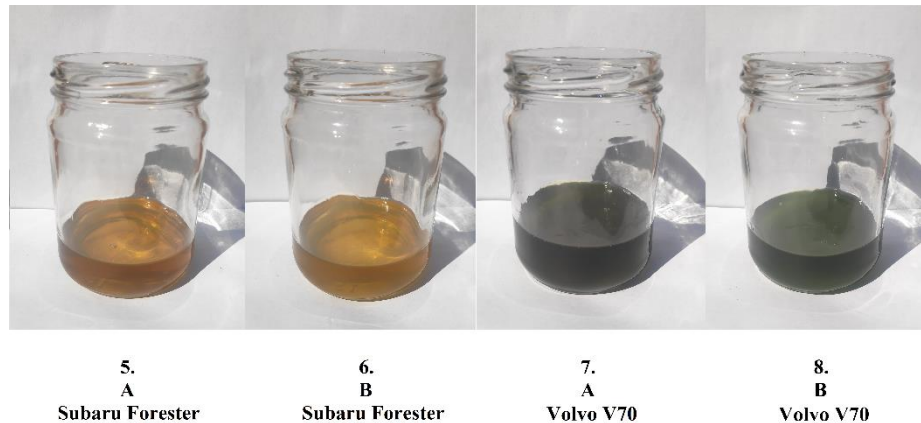
Mėginio Nr.	Automobilio markė ir modelis, iš kurio paimtas stabdžių skysčio mėginys	Stabdžių skysčio mėginys paimtas iš: A – pagrindinio stabdžių cilindro rezervuaro, B – rato stabdžių cilindro	Drėgmės kiekis stabdžių skystyje, %	Stabdžių skysčio naudojimo laikotarpis, mėn.
1.	Volvo 850 A	A	1,2	8
2.		B	1,2	
3.	Volvo 850 B	A	1,5	13
4.		B	1,5	
5.	Subaru Forester	A	1,7	> 35
6.		B	1,7	
7.	Volvo V70	A	2,7	> 48
8.		B	2,6	

Pagal 6 lentelėje pateiktus drėgmės kiekio naudotame stabdžių skystyje matavimo rezultatus matyti, kad mažiausiu drėgmės kiekiu pasižymi stabdžių skysčio mėginiai, paimti iš automobilio Volvo 850 A, drėgmės kiekis tiek mėginyje iš pagrindinio stabdžių cilindro rezervuaro, tiek mėginyje iš rato stabdžių cilindro lygus 1,2 %. Didžiausiu drėgmės kiekiu pasižymi stabdžių skysčio mėginiai, paimti iš automobilio Volvo V70, drėgmės kiekis mėginyje iš šio automobilio pagrindinio stabdžių cilindro rezervuaro lygus 2,7 %, o mėginyje iš rato stabdžių cilindro lygus 2,6 %. Didelį drėgmės kiekį šio Volvo V70 automobilio stabdžių skysčių mėginiuose lemia tai, kad stabdžių skystis šiame automobilyje naudotas ir nepakeistas ilgą laikotarpį – daugiau, nei 48 mėnesius. Automobilio Subaru Forester stabdžių skysčių mėginiuose tiek iš pagrindinio stabdžių cilindro rezervuaro, tiek iš rato stabdžių cilindro, drėgmės kiekis lygus 1,7 %. Šiame Subaru Forester automobilyje stabdžių skystis naudotas taip pat gana ilgą laikotarpį – daugiau, nei 35 mėnesius, tačiau automobiliu per šį laikotarpį nuvažiuotas mažesnis atstumas, nei automobiliu Volvo V70, taigi stabdžių skystyje įvyko mažiau įšilimo – atvėsimo ciklų, jame susikaupė mažesnis kiekis kondensato, ir tai lemia mažesnę drėgmės kiekį šio automobilio stabdžių skysčio mėginiuose.

Stabdžių skysčio mėginių būklė įvertinama ir vizualiai. 34 ir 35 paveiksluose pateikta, kaip stabdžių skysčių mėginiai iš automobilių pagrindinių stabdžių cilindrų rezervuarų ir ratų stabdžių cilindrų atrodo vizualiai.



**34 pav.** Naudotų stabdžių skysčių mėginių vizualus palyginimas



**35 pav.** Naudotų stabdžių skysčių mėginių vizualus palyginimas

Pagal 34 ir 35 paveiksluose pateiktas stabdžių skysčių mėginių nuotraukas matyti, kad jų spalva vyrauja nuo tamsiai geltonos iki tamsiai žalios ir spalvos. Pirmu ir antru numeriu pažymėti stabdžių skysčių mėginiai yra tamsiai geltonos spalvos ir skaidriausi iš visų naudotų stabdžių skysčių mėginių (1 – 8), kadangi šis stabdžių skystis naudotas trumpiausią laikotarpį, 8 mėnesius, ir yra sugėręs mažiausią kiekį drėgmės. Trečiu ir ketvirtu numeriu pažymėti stabdžių skysčio mėginiai yra tamsiai žalios spalvos, skaidrūs. Penktu ir šeštu numeriu pažymėti stabdžių skysčio mėginiai yra tamsiai geltonos spalvos, kaip pirmu ir antru numeriu pažymėti mėginiai, tačiau šie stabdžių skysčio mėginiai yra ne toki skaidrūs. Septintu ir aštuntu numeriu pažymėti stabdžių skysčio mėginiai yra tamsiai žalios spalvos, tačiau šie mėginiai yra neskaidrūs ir vizualiai atrodo prasčiausiai iš visų stabdžių skysčių mėginių, kadangi šis stabdžių skystis yra naudotas ilgiausią laikotarpį ir pasižymi didžiausi drėgmės kiekiu.

Atlikus drėgmės kiekio stabdžių skystyje matavimo bandymus ir vizualiai įvertinus jų būklę, atliekami stabdžių skysčio virimo temperatūros nustatymo bandymai, šildant stabdžių skystį, kol jis pasiekia virimo temperatūrą, tai yra, tokiu pačiu principu, kaip ir atliekant stabdžių skysčio virimo temperatūros nustatymo bandymus 2.1.2 darbo skyriuje. Atliktų bandymų rezultatai – stabdžių skysčių mėginių virimo temperatūros surašytos 11 lentelėje.

**11 lentelė.** Stabdžių skysčių mėginių virimo temperatūra, atlikus 20 bandymų su kiekvienu naudoto stabdžių skysčio mėginiu

	Automobilio markė ir modelis, iš kurio paimtas stabdžių skysčio mėginys							
	Volvo 850 A		Volvo 850 B		Subaru Forester		Volvo V70	
Mėginio Nr. Bandymo Nr.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
1.	176	173	160	160	170	166	169	168
2.	173	171	163	164	167	170	168	166
3.	174	174	160	162	168	170	168	165
4.	170	175	159	165	165	166	166	169
5.	174	176	165	166	167	169	169	168
6.	175	172	162	162	170	171	170	169
7.	169	176	163	160	168	165	165	165

	Automobilio markė ir modelis, iš kurio paimtas stabdžių skysčio mėginys							
	Volvo 850 A		Volvo 850 B		Subaru Forester		Volvo V70	
Mėginio Nr. Bandymo Nr.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
8.	171	175	159	161	169	166	167	166
9.	172	171	161	159	168	169	166	164
10.	172	175	160	164	170	168	165	167
11.	175	174	155	162	165	168	168	169
12.	176	175	159	160	168	168	165	170
13.	174	169	160	161	171	165	163	168
14.	171	170	163	164	172	167	164	165
15.	175	171	159	162	167	171	165	165
16.	176	176	158	163	166	170	169	169
17.	174	172	162	160	167	168	167	168
18.	172	173	165	161	166	164	170	163
19.	171	175	160	165	169	171	168	164
20.	174	170	161	163	171	169	165	164

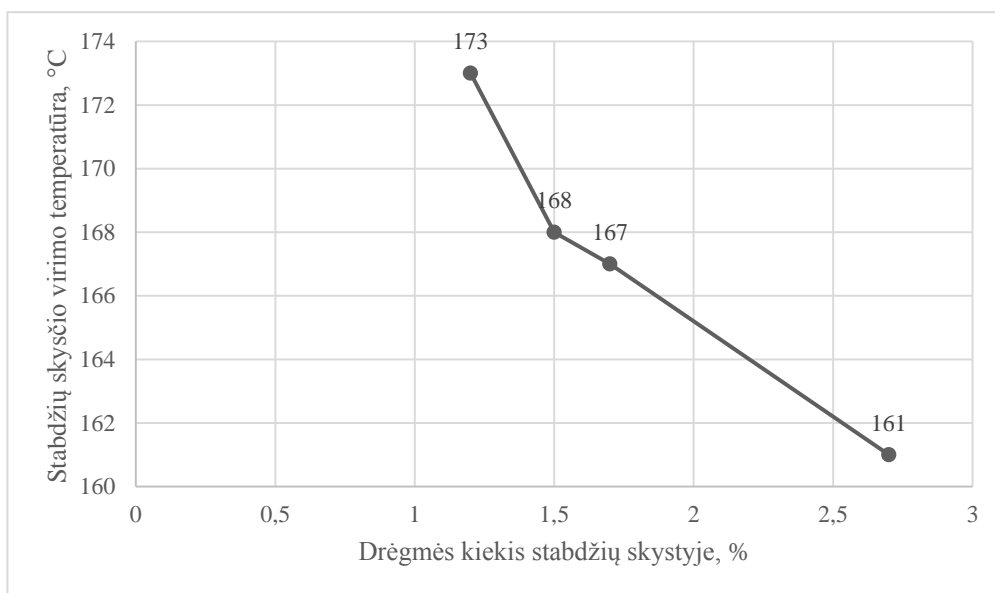
Pagal atliktų bandymų rezultatus – 20 kartų išmatuotos kiekvieno stabdžių skysčio mėginio virimo temperatūros reikšmės, pateiktas 11 lentelėje, ir 2.1.2 darbo skyriuje pateiktas formules, apskaičiuojamos naudotų stabdžių skysčių virimo temperatūros reikšmių aibės charakteristikos: vidurkis, vidutinis kvadratinis nuokrypis, dispersija, asimetrijos koeficientas ir variacijos koeficientas. Apskaičiuotos šių charakteristikų reikšmės pateiktos 12 lentelėje.

**12 lentelė.** 20 kartų išmatuotos naudotų stabdžių skysčių virimo temperatūros reikšmių aibės charakteristikos

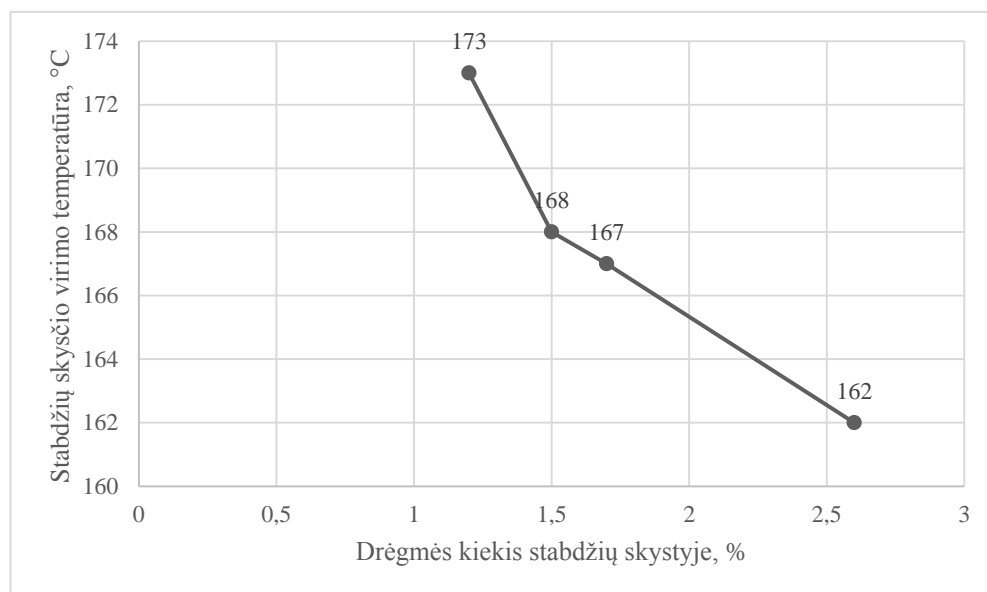
		20 kartų išmatuotos naujų stabdžių skysčių virimo temperatūros reikšmių aibės charakteristikos				
Mėginio Nr.	Automobilio markė ir modelis, iš kurio paimtas stabdžių skysčio mėginys	Stabdžių skysčio virimo temperatūros vidurkis $\bar{x}$ , °C	Vidutinis kvadratinis nuokrypis $\sigma$	Dispersija $\sigma^2$	Asimetrijos koeficientas A	Variacijos koeficientas s
1.	Volvo 850 A	173	2,04	4,38	-0,376	2,01
2.		173	2,20	5,08	-0,239	2,42
3.	Volvo 850 B	168	1,96	4,06	0,175	1,92
4.		168	2,11	4,68	-0,279	2,09
5.	Subaru Forester	167	2,01	4,24	-0,096	2,00
6.		167	2,08	4,57	-0,038	2,44
7.	Volvo V70	161	2,35	5,80	-0,108	2,34
8.		162	1,94	3,96	0,284	1,89



Pagal apskaičiuotas vidutines stabdžių skysčių virimo temperatūras sudaromi du grafikai – stabdžių skysčio iš pagrindinio stabdžių cilindro rezervuaro virimo temperatūros priklausomybė nuo drėgmės kiekio skystyje (36 pav.) ir stabdžių skysčio iš rato stabdžių cilindro rezervuaro virimo temperatūros priklausomybė nuo drėgmės kiekio skystyje (37 pav.).



**36 pav.** Stabdžių skysčio iš pagrindinio stabdžių cilindro rezervuaro virimo temperatūros priklausomybė nuo drėgmės kiekio skystyje



**37 pav.** Stabdžių skysčio iš rato stabdžių cilindro virimo temperatūros priklausomybė nuo drėgmės kiekio skystyje

Palyginus apskaičiuotas stabdžių skysčių vidutines virimo temperatūras matyti, kad stabdžių skysčio iš automobilio pagrindinio stabdžių cilindro rezervuaro ir stabdžių skysčio iš rato stabdžių cilindro virimo temperatūra nesiskiria, nežymus 1 °C temperatūros skirtumas nustatytas tik palyginus septinto ir aštunto stabdžių skysčio mėginių vidutines virimo temperatūras. Palyginus vidutines stabdžių skysčio virimo temperatūras taip pat nustatyta, kad aukščiausia virimo temperatūra pasižymi stabdžių skystis iš automobilio Volvo 850 A. Stabdžių skysčio iš šio automobilio pagrindinio stabdžių cilindro

rezervuaro ir rato stabdžių cilindro, pirmu ir antru numeriu pažymėtų mėginių virimo temperatūra lygi 173 °C. Žemiausia vidutine virimo temperatūra pasižymi stabdžių skystis iš automobilio Volvo V70. Stabdžių skysčio iš šio automobilio, mėginio, pažymėto septintu numeriu, virimo temperatūra lygi 161 °C, o stabdžių skysčio iš rato stabdžių cilindro, mėginio, pažymėto aštuntu numeriu, virimo temperatūra lygi 162 °C.

Palyginus apskaičiuotas naudoto stabdžių skysčio virimo temperatūrų vidutinio kvadratinio nuokrypio reikšmes matyti, kad didžiausia išmatuotų virimo temperatūrų sklaida apie vidurkį pasižymi septintu numeriu pažymėto stabdžių skysčio mėginio virimo temperatūros reikšmės. Šio stabdžių skysčio mėginio vidutinis kvadratinis nuokrypis lygus 2,35. Mažiausia išmatuotų virimo temperatūrų sklaida apie vidurkį pasižymi aštuntu numeriu pažymėto stabdžių skysčio mėginio virimo temperatūros reikšmės. Šio stabdžių skysčio virimo temperatūrų vidutinis kvadratinis nuokrypis lygus 1,94.

Palyginus apskaičiuotas stabdžių skysčio virimo temperatūrų dispersijos reikšmes matyti, kad didžiausiu temperatūrų skirtingumu pasižymi septintu numeriu pažymėto stabdžių skysčio mėginio virimo temperatūros reikšmės. Šio stabdžių skysčio mėginio dispersija lygi 5,80. Mažiausiu išmatuotų virimo temperatūrų skirtingumu pasižymi aštuntu numeriu pažymėto stabdžių skysčio mėginio virimo temperatūros reikšmės. Šio stabdžių skysčio virimo temperatūrų dispersija lygi 3,96.

Palyginus apskaičiuotas stabdžių skysčio virimo temperatūrų asimetrijos koeficientų reikšmes matyti, kad didžiausiu neigiamu skirstinio grafinės funkcijos asimetriškumu pasižymi pirmu numeriu pažymėto stabdžių skysčio mėginio virimo temperatūros skirstinys, skirstinio asimetrijos koeficientas lygus -0,376. Mažiausiu neigiamu skirstinio grafinės funkcijos asimetriškumu pasižymi šeštu numeriu pažymėto stabdžių skysčio mėginio virimo temperatūros skirstinys, skirstinio asimetrijos koeficientas lygus -0,038. Didžiausiu teigiamu skirstinio grafinės funkcijos asimetriškumu pasižymi aštuntu numeriu pažymėto stabdžių skysčio mėginio virimo temperatūros skirstinys, skirstinio asimetrijos koeficientas lygus 0,284. Mažiausiu teigiamu skirstinio grafinės funkcijos asimetriškumu pasižymi trečiu numeriu pažymėto stabdžių skysčio mėginio virimo temperatūros skirstinys, skirstinio asimetrijos koeficientas lygus 0,175.

Palyginus apskaičiuotas stabdžių skysčio virimo temperatūrų variacijos koeficientų reikšmes matyti, kad didžiausiu temperatūrų reikšmių nuokrypiu nuo vidurkio pasižymi šeštu numeriu pažymėto stabdžių skysčio mėginio virimo temperatūros reikšmės, variacijos koeficientas šiuo atveju lygus 2,44. Mažiausiu išmatuotų virimo temperatūrų reikšmių nuokrypiu nuo vidurkio pasižymi aštuntu numeriu pažymėto stabdžių skysčio mėginio virimo temperatūros reikšmės. Šio skysčio virimo temperatūrų variacijos koeficientas lygus 1,89.

Ilgesnį laiką verdant naudoto stabdžių skysčio mėginį, šiuo atveju, ketvirtu numeriu pažymėta stabdžių skystį, skysčio spalva pakito iš tamsiai oranžinės į juodą – tamsiai rudą spalvą, tai pateikta 38 paveiksle. Stabdžių skystyje taip pat susidarė nuosėdos, kurios nusėdo indo dugne.



1.

2.

**38 pav.** Verdantis naudoto stabdžių skysčio mėginys. 1. Stabdžių skysčio mėginys, tik pasiekęs virimo temperatūrą. 2. Stabdžių skysčio mėginys, kuris buvo verdamas ilgesnį laiko tarpą, pakeitęs spalvą

### 2.3. Stabdžių skysčių, pasižyminčių skirtingu drėgmės kiekiu, virimo temperatūros tyrimas

#### 2.3.1. Tyrimo eiga ir rezultatai

Šioje darbo dalyje atliekamas tyrimas, siekiant nustatyti, kaip kinta stabdžių skysčio temperatūra, į jį procentiškai įmaišius tam tikrą kiekį vandens.

Bandymams atlikti naudojamas EXPERT gamintojo stabdžių skystis. Bandymai atliekami su keturiais stabdžių skysčių mėginiais, į kuriuos procentiškai, pagal masę, įmaišyta 1 %, 2 % ir 3 % ir 4 % vandens.

Vanduo į stabdžių skystį įmaišomas apskaičiuavus, kokia stabdžių skysčio masės dalį sudaro 1 %, 2 % ir 3 % ir 4 % vandens. Paruošiamas pirmasis stabdžių skysčio mėginys, kuriame drėgmės kiekis lygus 1 %. Norint bandymams paruošti 200 g stabdžių skysčio, kuriame drėgmės kiekis būtų lygus 1 %, į 198 g stabdžių skysčio įlašinta 2 g vandens. Analogiškai, atlikus skaičiavimus, kurių rezultatai pateikti 13 lentelėje, paruošiami likusieji stabdžių skysčių mėginiai, kuriuose drėgmės kiekis lygus 2 %, 3 % ir 4 % pagal masę.

**13 lentelė.** Stabdžių skysčio mėginiams paruošti apskaičiuota stabdžių skysčio ir vandens masė

Mėginio Nr.	Norimas pasiekti drėgmės kiekis stabdžių skystyje, % pagal masę	Stabdžių skysčio masė, g	Vandens masė, g
1.	1	198	2
2.	2	196	4
3.	3	194	6
4.	4	192	8

Paruošus stabdžių skysčių mėginius, atlikti stabdžių skysčių virimo temperatūros nustatymo bandymai, šildant stabdžių skystį, kol jis pasiekia virimo temperatūrą, tai yra, tokiu pačiu principu, kaip ir atliekant virimo temperatūros nustatymo bandymus 2.1.2 darbo skyriuje. Bandymų rezultatai pateikti 14 lentelėje.

**14 lentelė.** Stabdžių skysčių mėginių virimo temperatūra, atlikus 20 bandymų su kiekvienu skirtingu drėgmės kiekiu pasižyminčių stabdžių skysčių mėginiu

	Drėgmės kiekis stabdžių skystyje, %			
	1	2	3	4
Bandymo Nr.	Stabdžių skysčio virimo temperatūra, °C			
1.	183	169	146	141
2.	185	165	148	142
3.	179	168	149	139
4.	178	164	148	143
5.	180	164	149	137
6.	182	169	152	139
7.	184	170	148	141
8.	183	166	150	140
9.	185	165	148	139
10.	183	169	148	140
11.	180	167	150	143
12.	182	169	151	138
13.	179	170	145	140
14.	182	166	146	142
15.	185	165	146	142
16.	183	167	148	144
17.	180	161	151	138
18.	180	164	150	139
19.	185	168	151	138
20.	184	170	148	143

Pagal atliktų bandymų rezultatus – 20 kartų išmatuotos kiekvieno stabdžių skysčio mėginio virimo temperatūros reikšmės, pateiktas 14 lentelėje, ir 2.1.2 darbo skyriuje pateiktas formules, apskaičiuojamos skirtingu drėgmės kiekiu pasižyminčių stabdžių skysčių virimo temperatūros reikšmių aibės charakteristikos: vidurkis, vidutinis kvadratinis nuokrypis, dispersija, asimetrijos koeficientas ir variacijos koeficientas. Apskaičiuotos šių charakteristikų reikšmės pateiktos 15 lentelėje.

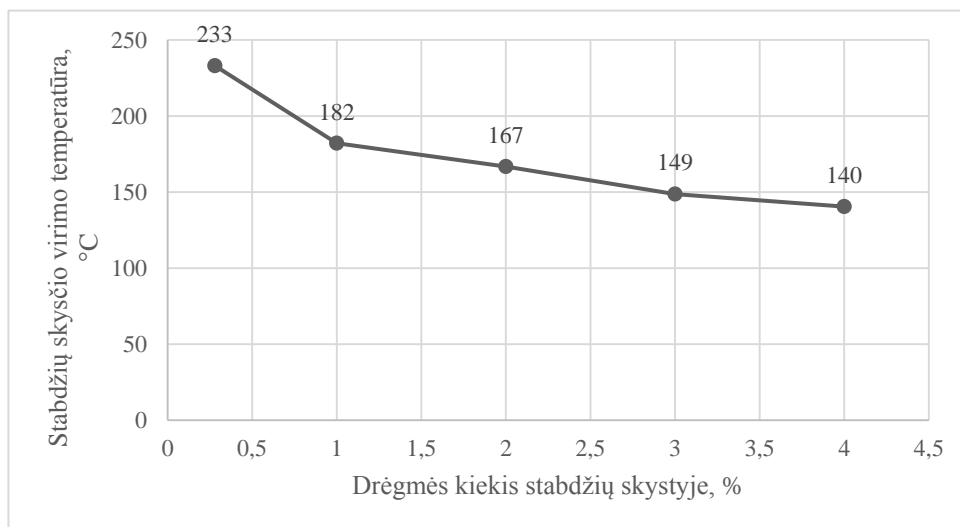
**15 lentelė.** 20 kartų išmatuotos skirtingu drėgmės kiekiu pasižyminčių stabdžių skysčių virimo temperatūros reikšmių aibės charakteristikos

20 kartų išmatuotos skirtingu drėgmės kiekiu pasižyminčių stabdžių skysčių virimo temperatūros reikšmių aibės charakteristikos						
Mėginio Nr.	Drėgmės kiekis stabdžių skystyje, %	Stabdžių skysčio virimo temperatūros vidurkis $\bar{x}$ , °C	Vidutinis kvadratinis nuokrypis $\sigma$	Dispersija $\sigma^2$	Asimetrijos koeficientas A	Variacijos koeficientas s
1.	1	182	2,21	5,15	-0,193	2,41
2.	2	167	2,46	6,38	-0,459	2,49
3.	3	149	1,88	3,73	-0,102	1,83
4.	4	140	1,98	4,15	0,088	2,29

Pagal apskaičiuotas vidutines stabdžių skysčių virimo temperatūros reikšmes, pateiktas 15 lentelėje, ir 2.1.1. darbo skyriuje apskaičiuotą EXPERT gamintojo stabdžių skysčio, kuriame drėgmės kiekis lygus 0,28 %, vidutinę virimo temperatūros reikšmę, bei nustatytą drėgmės kiekį stabdžių skystyje, sudaroma 16 lentelė ir pagal šią lentelę sudaromas stabdžių skysčio vidutinės virimo temperatūros priklausomybės nuo drėgmės kiekio skystyje grafikas, pateiktas 39 paveiksle.

**16 lentelė.** Grafiko sudarymui surašytos skirtingu drėgmės kiekiu pasižyminčių stabdžių skysčių virimo temperatūros reikšmės

Drėgmės kiekis stabdžių skystyje, %	Stabdžių skysčio virimo temperatūros vidurkis $\bar{x}$ , °C
0,28	233
1	182
2	167
3	149
4	140



**39 pav.** Skirtingu drėgmės kiekiu pasižyminčių stabdžių skysčių virimo temperatūros priklausomybė nuo drėgmės kiekio skystyje

Atlikus skirtingu drėgmės kiekiu pasižyminčių stabdžių skysčių mėginių virimo temperatūros nustatymo bandymus matyti, kad stabdžių skysčio temperatūra, kai drėgmės kiekis stabdžių skystyje lygus 4 % sumažėja iki 140 °C. Palyginus šio skysčio stabdžių skysčio, kuriame drėgmės kiekis lygus 4 %, virimo temperatūrą su naujo tokio pačio gamintojo stabdžių skysčio, kuriame drėgmės kiekis 0,28 %, virimo temperatūra, kuri lygi 233 °C matyti, kad dėl 3,72 % didesnio drėgmės kiekio, stabdžių skysčio virimo temperatūra sumažėja 93 °C. Didžiausias stabdžių skysčio virimo temperatūros sumažėjimas matomas drėgmės kiekio ribose nuo 0,28 % iki 1 %, stabdžių skysčio virimo temperatūra drėgmės kiekiui padidėjus nuo 0,28 % iki 1 %, sumažėja 51 °C, nuo 233 °C iki 182 °C.

Palyginus apskaičiuotas skirtingu drėgmės kiekiu pasižyminčių stabdžių skysčių virimo temperatūrų vidutinio kvadratinio nuokrypio reikšmes matyti, kad didžiausia išmatuotų virimo temperatūrų sklaida apie vidurkį pasižymi stabdžių skysčio mėginio, kuriame drėgmės kiekis lygus 2 %, virimo temperatūros reikšmės. Šio stabdžių skysčio mėginio vidutinis kvadratinis nuokrypis lygus 2,46. Mažiausia išmatuotų virimo temperatūrų sklaida apie vidurkį pasižymi stabdžių skysčio mėginio, kuriame drėgmės kiekis lygus 3 %, virimo temperatūros reikšmės. Šio stabdžių skysčio mėginio virimo temperatūrų vidutinis kvadratinis nuokrypis lygus 1,88.

Palyginus apskaičiuotas skirtingu drėgmės kiekiu pasižyminčių stabdžių skysčių virimo temperatūrų dispersijos reikšmes matyti, kad didžiausiu temperatūrų skirtingumu pasižymi stabdžių skysčio mėginio, kuriame drėgmės kiekis lygus 2 %, virimo temperatūros reikšmės. Šio stabdžių skysčio mėginio dispersija lygi 6,38. Mažiausiu išmatuotų virimo temperatūrų skirtingumu pasižymi stabdžių skysčio mėginio, kuriame drėgmės kiekis lygus 3 %, virimo temperatūros reikšmės. Šio stabdžių skysčio virimo temperatūrų dispersija lygi 3,73.

Palyginus apskaičiuotas skirtingu drėgmės kiekiu pasižyminčių stabdžių skysčių virimo temperatūrų asimetrijos koeficientų reikšmes matyti, kad didžiausiu neigiamu skirstinio grafines funkcijos asimetriškumu pasižymi stabdžių skysčio mėginio, kuriame drėgmės kiekis lygus 2 %, virimo temperatūros skirstinys, šio skirstinio asimetrijos koeficientas lygus -0,459. Mažiausiu neigiamu skirstinio grafines funkcijos asimetriškumu pasižymi stabdžių skysčio mėginio, kuriame drėgmės kiekis lygus 2 %, virimo temperatūros skirstinys, šio skirstinio asimetrijos koeficientas lygus -0,102. Teigiamu skirstinio grafines funkcijos asimetriškumu pasižymi tik vieno stabdžių skysčio mėginio, kuriame drėgmės kiekis lygus 4 %, virimo temperatūros skirstinys, kurio asimetrijos koeficientas lygus 0,088.

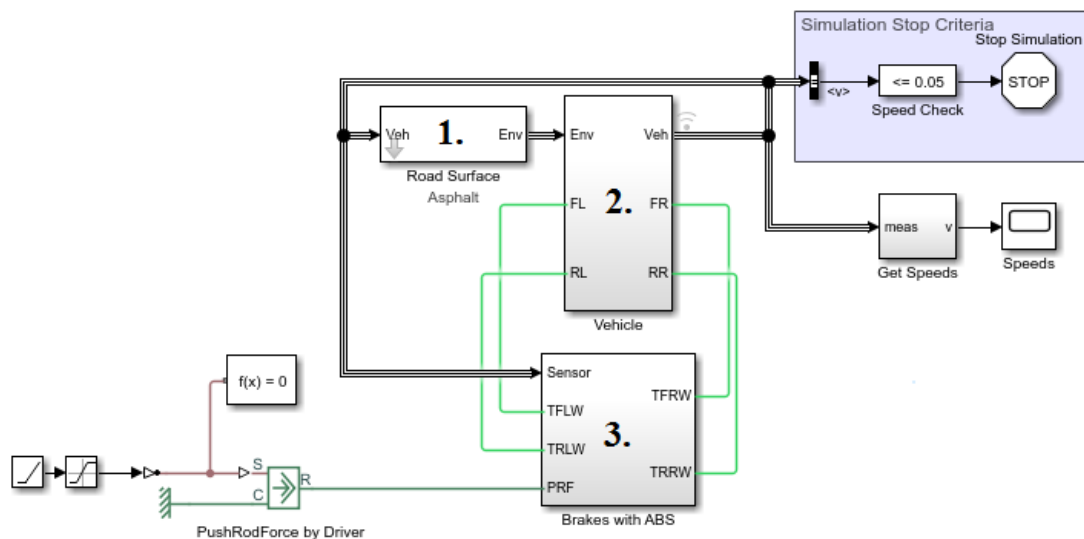
Palyginus apskaičiuotas skirtingu drėgmės kiekiu pasižyminčių stabdžių skysčių virimo temperatūrų variacijos koeficientų reikšmes matyti, kad didžiausiu temperatūrų reikšmių nuokrypiu nuo vidurkio pasižymi stabdžių skysčio mėginio, kuriame drėgmės kiekis lygus 2 %, virimo temperatūros reikšmės. Šio stabdžių skysčio variacijos koeficientas lygus 2,49. Mažiausiu išmatuotų virimo temperatūrų reikšmių nuokrypiu nuo vidurkio pasižymi stabdžių skysčio mėginio, kuriame drėgmės kiekis lygus 3 %, virimo temperatūros reikšmės. Šio skysčio virimo temperatūrų variacijos koeficientas lygus 1,83.

## 2.4. Stabdžių skysčio virimo temperatūros įtakos automobilio stabdymui tyrimas

### 2.4.1. Tyrimo eiga ir rezultatai

Šioje darbo dalyje atliekamas tyrimas, siekiant nustatyti, kokią įtaką automobilio stabdymui turi stabdžių skysčio virimo temperatūra. Tyrimas atliekamas naudojant MATLAB programą.

Bandymams – kompiuterinei stabdymo simuliacijai atlikti naudojama MATLAB programoje, SIMSCAPE aplinkoje sumodeliuota automobilio stabdžių sistema, sudaryta iš blokų, kurios schema pateikta 40 paveiksle.

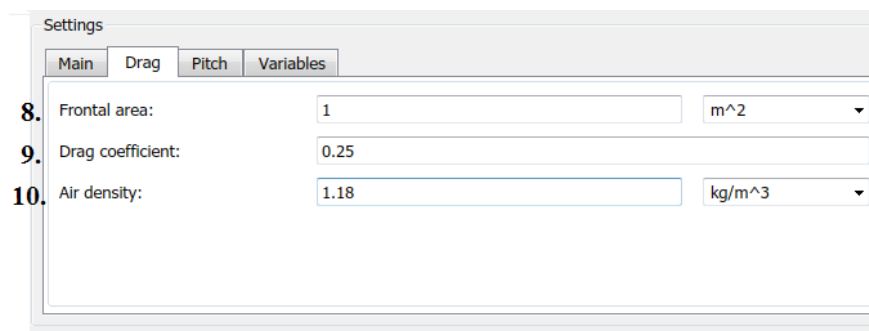


**40 pav.** MATLAB programoje, SIMSCAPE aplinkoje sumodeliuotos automobilio stabdžių sistemos schema. 1. Kelio savybių blokas. 2. Automobilio blokas. 3. Stabdžių ir ABS sistemos blokas

40 paveiksle pateiktoje sumodeliuotoje automobilio stabdžių sistemos schemoje, 1 numeriu pažymėtame bloke pasirenkama kelio danga, ant kurios automobilis važiuoja ir ant kurios vyksta stabdymas, tai šiuo atveju yra asfaltas. 2 numeriu pažymėtame automobilio bloke aprašomi automobilio duomenys: automobilio oro pasipriešinimo koeficientas, vidinio plotas, masė, važiavimo greitis. 3 numeriu pažymėtame stabdžių ir ABS sistemos bloke aprašomi stabdžių ir ABS sistemos parametrai. Automobilio duomenys pateikti 41 ir 42 paveiksluose.

Settings	
Main   Drag   Pitch   Variables	
1.	Mass: 1500 kg
2.	Number of wheels per axle: 2
3.	Horizontal distance from CG to front axle: 1.4 m
4.	Horizontal distance from CG to rear axle: 1.6 m
5.	CG height above ground: 0.5 m
6.	Externally-defined additional mass: Off
7.	Gravitational acceleration: 9.81 m/s <sup>2</sup>
	Negative normal force warning: Off

**41 pav.** Automobilio duomenys automobilio bloke. 1. Automobilio masė. 2. Automobilio ašių skaičius. 3. Automobilio masės centro ašies atstumas iki priekinės ašies. 4. Automobilio masės centro atstumas iki galinės ašies. 5. Automobilio masės centro aukštis. 6. Išorinė papildoma masė. 7. Laisvojo kritimo pagreitis

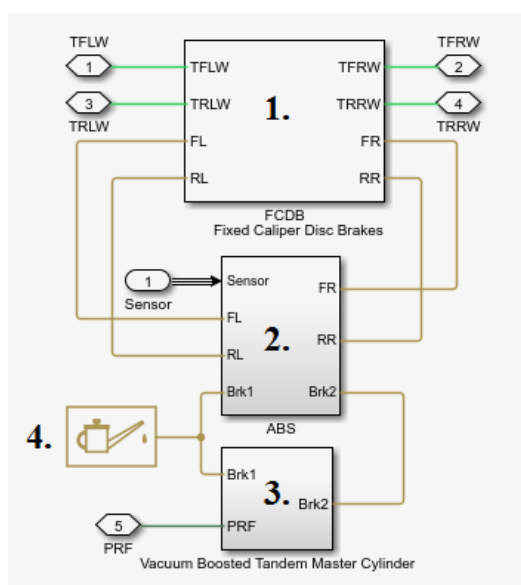


**42 pav.** Automobilio parametrai automobilio bloke. 8. Vidinio plotas. 9. Oro pasipriešinimo koeficientas. 10. Oro tankis

Stabdžių skysčio virimo temperatūrų reikšmės, pagal kurias apskaičiuojami bandymams atlikti reikalingi parametrai, panaudotos iš 2.1.2. ir 2.3.1. darbo skyrių, tai yra apskaičiuotos EXPERT stabdžių skysčio gamintojo vidutinės virimo temperatūros reikšmės. Stabdžių skysčio virimo temperatūra, kai drėgmės kiekis lygus 0,28 %, yra lygi 233 °C, šis stabdžių skystis šioje darbo dalyje žymimas 1 numeriu. Stabdžių skysčio virimo temperatūra, kai drėgmės kiekis lygus 4 %, yra lygi 140 °C, šis stabdžių skystis šioje darbo dalyje žymimas 2 numeriu. Stabdžių skysčio virimo temperatūros reikšmės, pateiktos ir 17 lentelėje. Šios reikšmės pasirinktos todėl, nes esant didesniai temperatūrų skirtumui yra lengviau įvertinti, ar stabdžių skysčio virimo temperatūra turi įtakos automobilio stabdymui.

**17 lentelė.** Skaičiavimams atlikti reikalingos EXPERT gamintojo stabdžių skysčio virimo temperatūros reikšmės ir drėgmės kiekis stabdžių skystyje

Stabdžių skysčio Nr.	Drėgmės kiekis stabdžių skystyje, %	Stabdžių skysčio virimo temperatūra, °C
1.	0,28	233
2.	4	140



**43 pav.** ABS valdiklio – stabdžių blokas. 1. Ratų stabdžių cilindų blokas. 2. ABS valdiklio blokas. 3. Vakuuminis stabdžių stiprintuvas ir pagrindinis stabdžių cilindras. 4 Hidraulinio skysčio blokas

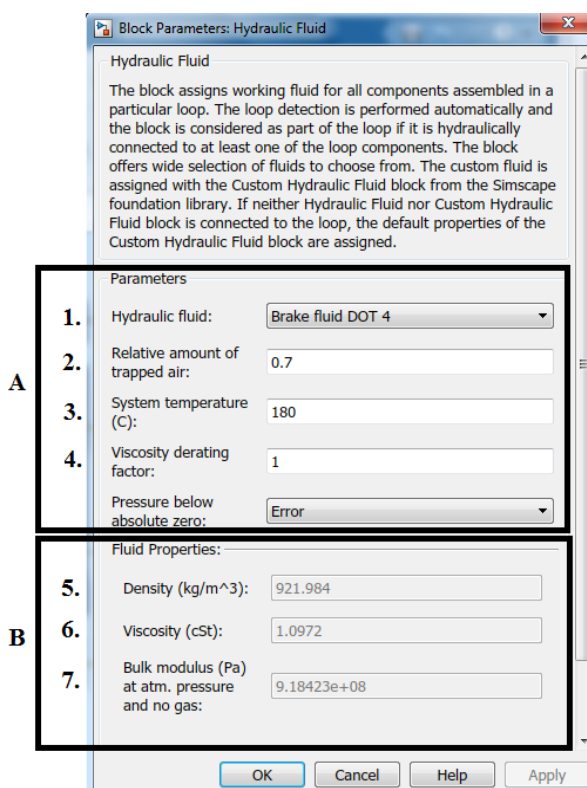


Sumodeliuota automobilio stabdžių sistema, siekiant atlikti bandymus su stabdžių skysčiais, pakoreguojama: prie stabdžių skysčio magistralės papildomai prijungiamas hidraulinio skysčio blokas (43 pav. 4.), kad atliekant bandymus būtų galima įvesti stabdžių skysčio temperatūros reikšmes, kitus parametrus. Atliekant bandymus, hidraulinio skysčio parametrų lange, kuris pateiktas 44 paveiksle, langeliuose, pažymėtuose A raide, reikia įvesti šiuos stabdžių skysčio parametrus:

1. Nurodyti hidraulinio skysčio tipą: iš MATLAB hidraulinių skysčių sąrašo pasirenkamas DOT 4 klasifikacijos stabdžių skystis.
2. Įvesti santykinį skystyje esančių dujų kiekį: šio parametro reikšmė turi būti didesnė nei 0 ir ne didesnė nei 1. Realiomis sąlygomis skystyje santykinis dujų kiekis visuomet yra daugiau nei 0, o skysčio temperatūrai kylant, dujų kiekis skystyje didėja, kadangi dalis skysčio jam užvirus virsta dujomis.
3. Įvesti bandymuose naudojamo skysčio temperatūrą.
4. Įvesti skysčio kinematinio klampumo koregavimo koeficientą: šis koeficientas skirtas koreguoti bandymuose naudojamo skysčio kinematinio klampumo reikšmę. Koeficiento reikšmės ribos: nuo 0,5 iki 1,5.

Hidraulinio skysčio parametrų lange suvedus reikalingus duomenis, programa apskaičiuoja skysčio savybes apibūdinančius dydžius (44 pav. B):

5. Skysčio tankį.
6. Skysčio kinematinį klampumą.
7. Tūrio tamprumo modulį.



**44 pav.** Hidraulinio skysčio parametrų įvedimo langas. 1. Pasirenkamas skysčio tipas 2. Įvedamas santykinis skystyje esančių dujų kiekis. 3. Įvedama skysčio temperatūra. 4. Įvedamas skysčio kinematinio klampumo koregavimo koeficientas. 5. Skysčio tankio reikšmė. 6. Skysčio kinematinis klampumas. 7. Tūrio tamprumo modulius

Apskaičiuojamos santykinės stabdžių skystyje esančių dujų kiekio reikšmės. Bandymai atliekami su stabdžių skysčiais, pasižyminčiais skirtingu drėgmės kiekiu ir skirtinga virimo temperatūra, o tai reiškia, kad antru numeriu pažymėtam stabdžių skysčiui pasiekus 140 °C temperatūrą, jis pradės virti, ir taip šiame skystyje susikaupusių dujų kiekis bus žymiai didesnis, nei pirmu numeriu pažymėtame, tokią pačią 140 °C temperatūrą pasiekusiame stabdžių skystyje, kadangi pirmu numeriu pažymėtas stabdžių skystis pasižymi aukštesne virimo temperatūra, ir esant 140 °C temperatūrai neverda.

Kompiuterinė stabdymo simuliacija atliekama trimis atvejais, darant prielaidą, kad stabdžių skysčio, esančio automobilio stabdžių sistemoje, temperatūra yra 100 °C, 120 °C ir 140 °C. Atliekant kompiuterinę stabdymo simuliaciją, automobilis stabdomas nuo 110 km/h iki 0 km/h greičio. Skaičiuojant pradinis stabdžių skysčio parametrus, reikalingus simuliacijai atlikti, daroma prielaida, kad santykinis stabdžių skystyje esančių dujų kiekis, kai stabdžių skystis pasiekia virimo temperatūrą, yra lygus 0,5. Apskaičiuojami santykiniai stabdžių skystyje esančių dujų kiekiai: sudaroma lygtis, kai pirmu numeriu pažymėto stabdžių skysčio virimo temperatūra lygi 233 °C, ir santykinis stabdžių skysčio mėginyje esančių dujų kiekis, pasiekus šią temperatūrą, yra lygus 0,5, o 100 °C temperatūros stabdžių skysčio mėginyje santykinis esančių dujų kiekis laikomas nežinomu dydžiu, tuomet išsprendus lygtį apskaičiuojamas santykinis skystyje esančių dujų kiekis. Analogiškai apskaičiuoti ir 18 lentelėje pateikti santykiniai stabdžių skysčiuose esančių dujų kiekiai, priklausomai nuo stabdžių skysčio temperatūros.

**18 lentelė.** Stabdymo simuliacijai atlikti reikalingi duomenys

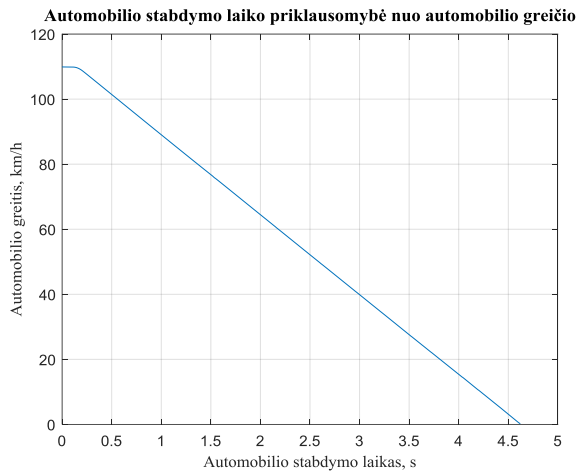
Stabdžių skysčio temperatūra, atliekant bandymą, °C	Santykinis 1 Nr. pažymėtame stabdžių skystyje esančių dujų kiekis	Santykinis 2 Nr. pažymėtame stabdžių skystyje esančių dujų kiekis
100	0,215	0,357
120	0,258	0,429
140	0,300	0,500

Apskaičiavus stabdžių skysčiuose esančius santykinis dujų kiekius, esant skirtingai temperatūrai, hidraulinio skysčio parametrų lange įvedama stabdžių skysčio temperatūra bei apskaičiuotas santykinis dujų kiekis stabdžių skystyje. Automobilio bloke įvedamas automobilio greitis ir MATLAB programa atliekami šeši stabdymo bandymai. Atliktų bandymų rezultatai pateikti 19 lentelėje ir 45, 46, 47, 48, 49, 50 paveiksluose.

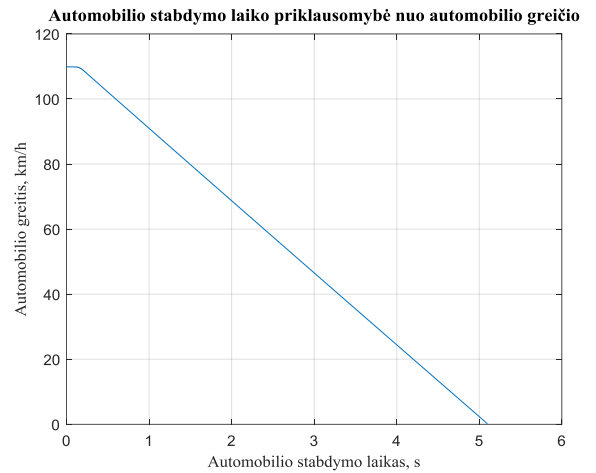
**19 lentelė.** Stabdymo simuliacijos bandymų rezultatai

Bandymo Nr.	Stabdžių skysčio temperatūra, prieš atliekant bandymą, °C	Stabdžių skysčio virimo temperatūra, °C	Automobilio greitis, m/s	Automobilio greitis, km/h	Automobilio stabdymo laikas, s
1.	100	233	30,5	110	4,62
2.		140			5,10
3.	120	233			4,75
4.		140			5,40
5.	140	233			4,89
6.		140			5,73

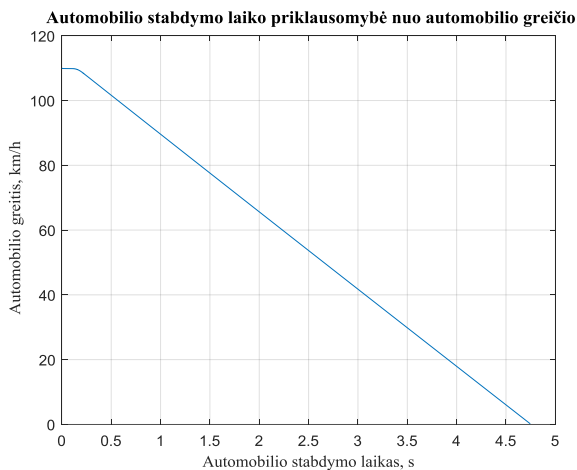
Paveiksluose kairėje pateikti automobilio stabdymo simuliacijos bandymų rezultatai, kai stabdžių sistemoje naudojamas stabdžių skystis, kurio virimo temperatūra lygi 233 °C. Paveiksluose dešinėje pateikti automobilio stabdymo simuliacijos bandymų rezultatai, kai stabdžių sistemoje naudojamas stabdžių skystis, kurio virimo temperatūra lygi 140 °C.



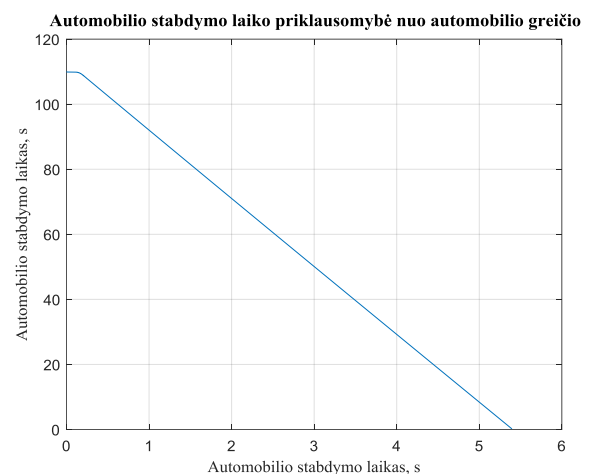
**45 pav.** Automobilio stabdymo laiko priklausomybė nuo automobilio greičio, kai stabdžių skysčio temperatūra yra lygi 100 °C



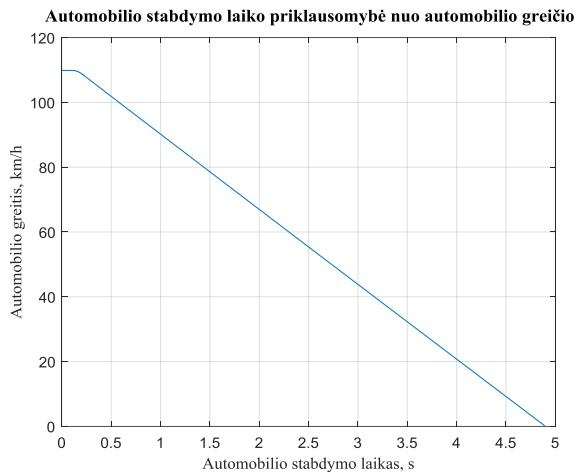
**46 pav.** Automobilio stabdymo laiko priklausomybė nuo automobilio greičio, kai stabdžių skysčio temperatūra yra lygi 100 °C



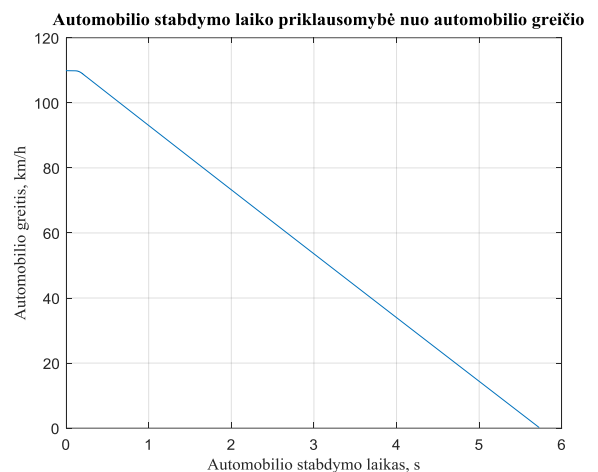
**47 pav.** Automobilio stabdymo laiko priklausomybė nuo automobilio greičio, kai stabdžių skysčio temperatūra yra lygi 120 °C



**48 pav.** Automobilio stabdymo laiko priklausomybė nuo automobilio greičio, kai stabdžių skysčio temperatūra yra lygi 120 °C



**49 pav.** Automobilio stabdymo laiko priklausomybė nuo automobilio greičio, kai stabdžių skysčio temperatūra yra lygi 140 °C



**50 pav.** Automobilio stabdymo laiko priklausomybė nuo automobilio greičio, kai stabdžių skysčio temperatūra yra lygi 233 °C

Atlikus bandymus – automobilio stabdymo kompiuterinę simuliaciją, nustatytos automobilio stabdymo laikų reikšmės. Palyginus šios simuliacijos rezultatus – automobilio stabdymo laikų reikšmes, matyti, kad didėjant stabdžių skysčio temperatūrai, automobilio stabdymo laikas ilgėja. Atlikus kompiuterinę simuliaciją, kai automobilio, važiuojančio 110 km/h greičiu, automobilio stabdžių sistemoje naudojamas stabdžių skystis, kurio virimo temperatūra lygi 233 °C, ir tokio stabdžių skysčio temperatūra pakilusi iki 100 °C temperatūros, nustatyta, kad automobilio stabdymo laikas yra lygus 4,62 s, tačiau, stabdžių skysčio, esančio stabdžių sistemoje, temperatūrai pakilus iki 140 °C, automobilis stabdymo laikas pailgėja iki 4,89 s, taigi 40 °C stabdžių skysčio temperatūros pokytis šiuo atveju lemia 0,27 s ilgesnį automobilio stabdymo laiką. Pagal atliktos kompiuterinės simuliacijos rezultatus taip pat matyti, kad automobilio stabdymo laikui įtakos turi automobilio stabdžių sistemoje esančio stabdžių skysčio virimo temperatūra: kai vieno iš automobilių, naudojamų simuliacijoje, važiavimo greitis lygus 110 km/h, o jo stabdžių sistemoje naudojamas stabdžių skystis, kurio virimo temperatūra lygi 140 °C, stabdžių skysčiui pasiekus 100 °C temperatūrą, tokio automobilio stabdymo laikas yra 5,10 s, o automobilio, važiuojančio tokiu pačiu greičiu, kurio stabdžių sistemoje naudojamas stabdžių skystis, pasižymi 233 °C virimo temperatūra, stabdymo laikas lygus 4,62 s, taigi automobilis, kurio stabdžių sistemoje naudojamas aukštesne virimo temperatūra pasižymintis stabdžių skystis, šiuo atveju sustoja 0,48 s greičiau.

## Darbo apibendrinimas ir palyginimas

Darbe atlikta su stabdžių skysčiais susijusios literatūros analizė, taip pat su stabdžių skysčiais susijusių mokslinių darbų analizė, aprašyti šiuose darbuose gauti rezultatai.

Atlikus tyrimą, kurio metu ištirti nauji skirtingų gamintojų stabdžių skysčiai, nustatyta, kad didžiausiu drėgmės kiekiu, kuris lygus 1,7 %, pasižymi SCT gamintojo stabdžių skystis. Drėgmė šio gamintojo stabdžių skystyje susikaupė dėl nesandarios stabdžių skysčio pakuotės arba per ilgo sandėliavimo laiko. ATE, BOSCH, AUTOCHEMIJA gamintojų stabdžių skysčiuose nustatytas drėgmės kiekis lygus 0 %, taigi galima teigti, kad šių gamintojų stabdžių skysčių pakuotės yra sandarios. Atlikus naujų stabdžių skysčių virimo temperatūros bandymus, pagal gautus rezultatus matyti, kad aukščiausia virimo temperatūra pasižymi ATE gamintojo stabdžių skystis, šis stabdžių skystis pasižymi 261 °C virimo temperatūra. Žemiausia virimo temperatūra pasižymi SCT gamintojo stabdžių skystis, šio stabdžių skysčio vidutinė virimo temperatūra lygi 203 °C. Žemai šio stabdžių skysčio virimo temperatūrai įtakos turi tai, kad stabdžių skystyje nustatytas didelis drėgmės kiekis. DOT 4 klasifikacijos „sausos“ stabdžių skysčio virimo temperatūra, kuri lygi 230 °C, nepasižymi trys iš bandymuose naudotų devynių stabdžių skysčių, tai yra EGT, AUTOCHEMIJA ir SCT gamintojų stabdžių skysčiai. Atliekant bandymais išmatuotų naujų stabdžių skysčių virimo temperatūros palyginimą su temperatūra, kuria turi pasižymėti DOT 4 klasifikaciją atitinkantys stabdžių skysčiai, reikia įvertinti ir tai, kad kai kurių gamintojų stabdžių skysčiuose nustatytas tam tikras drėgmės kiekis, kuris turi įtakos stabdžių skysčio virimo temperatūrai, ir dėl to bandymais išmatuotos stabdžių virimo temperatūros gali neatitikti realios naujo tokio paties gamintojo stabdžių skysčio virimo temperatūros, kai stabdžių skystyje drėgmės kiekis lygus 0 %.

Atlikus tyrimą su naudotais stabdžių skysčiais, nustatyta, kad mažiausiu drėgmės kiekiu pasižymi stabdžių skysčio mėginiai, pagauti iš automobilio Volvo 850 A, drėgmės kiekis tiek mėginyje iš šio automobilio pagrindinio stabdžių cilindro rezervuaro, tiek mėginyje iš rato stabdžių cilindro lygus 1,2 %. Gana mažą drėgmės kiekį šio automobilio stabdžių skysčio mėginiuose lemia tai, kad šis stabdžių skystis naudotas gana neilgą laikotarpį – 8 mėnesius, taigi per šį laikotarpį stabdžių skystis patyrė mažiau įšilimo – atvėsimo ciklų, jame susikaupė mažesnis kiekis kondensato ir drėgmės iš atmosferos. Didžiausiu drėgmės kiekiu pasižymi stabdžių skysčio mėginiai, pagauti iš automobilio Volvo V70, drėgmės kiekis stabdžių skysčio mėginyje iš šio automobilio pagrindinio stabdžių cilindro rezervuaro lygus 2,7 %, o mėginyje iš rato stabdžių cilindro lygus 2,6 %. Didelį drėgmės kiekį šio Volvo V70 automobilio stabdžių skysčio mėginiuose lemia tai, kad stabdžių skystis šiame automobilyje naudotas ir nepakeistas ilgą laikotarpį – daugiau, nei 48 mėnesius.

Atlikus tyrimą su skirtingu drėgmės kiekiu pasižyminčių stabdžių skysčių mėginiais, pagal bandymų rezultatus galima teigti, kad stabdžių skysčio virimo temperatūrai įtakos turi stabdžių skystyje esantis drėgmės kiekis: stabdžių skysčio temperatūra, kai drėgmės kiekis stabdžių skystyje lygus 0,28 %, yra lygi 233 °C, o drėgmės kiekiui padidėjus iki 4 %, stabdžių skysčio virimo temperatūra sumažėja iki 140 °C. Matyti, kad dėl 3,72 % didesnio drėgmės kiekio, stabdžių skysčio virimo temperatūra sumažėja 93 °C arba 40 %. Didžiausias stabdžių skysčio virimo temperatūros pokytis – sumažėjimas nustatytas drėgmės kiekiui padidėjus nuo 0,28 % iki 1 %, šiame drėgmės kiekio intervale stabdžių skysčio virimo temperatūra sumažėja 51 °C, nuo 233 °C iki 182 °C. Stabdžių skysčio virimo temperatūra, didėjant drėgmės kiekiui stabdžių skystyje, sumažėja dėl to, nes vanduo pasižymi tik 100 °C virimo temperatūra, taigi toks stabdžių skysčio ir vandens mišinys pasižymi mažesne virimo temperatūra.

Atlikus tyrimą su programa MATLAB, pasitelkus automobilio stabdymo kompiuterinę simuliaciją, pagal gautus simuliacijų rezultatus galima teigti, kad automobilio stabdymo laikas priklauso nuo automobilio stabdžių sistemoje naudojamo stabdžių skysčio virimo temperatūros: kuo automobilio stabdžių sistemoje naudojamas stabdžių skystis pasižymi žemesne virimo temperatūra, tuo yra ilgesnis automobilio stabdymo laikas. Atlikus kompiuterinę automobilio stabdymo simuliaciją, kai dviejų identišκών simuliacijoje naudojamų automobilių greitis prieš stabdymą yra 110 km/h, ir vieno iš automobilių stabdžių sistemoje naudojamas stabdžių skystis, kurio virimo temperatūra lygi 140 °C, stabdžių skysčiui stabdymo metu pasiekus 100 °C temperatūrą, automobilis sustos per 5,10 s, o automobilis, kurio stabdžių sistemoje naudojamas stabdžių skystis, pasižymintis 233 °C virimo temperatūra, sustos per 4,62 s, taigi automobilis, kurio stabdžių sistemoje naudojamas aukštesne virimo temperatūra pasižymintis stabdžių skystis, šiuo atveju sustoja 0,48 s greičiau.

Tyrimų naujumas. Atliktas tyrimas su automobilio stabdžių sistemoje naudotais stabdžių skysčiais, kurių metu iširta ir nustatyta, kad tiek automobilio pagrindinio stabdžių cilindro rezervuare, tiek rato stabdžių cilindre esatis stabdžių skystis pasižymi vienoda virimo temperatūra. Visi aštuoni stabdžių skysčio mėginiai, kurie buvo paimti iš keturių automobilių, pasižymi vienoda arba labai panašia virimo temperatūra.

Atliktas tyrimas su programa MATLAB, kuria, pasitelkus kompiuterinę stabdymo simuliaciją, iširta, kokią įtaką automobilio stabdžių sistemoje naudojamo stabdžių skysčio virimo temperatūra turi automobilio stabdymui. Pagal gautus kompiuterinės automobilio stabdymo simuliacijos rezultatus, matyti, kad automobilio stabdymo laikas priklauso nuo automobilio stabdžių sistemoje naudojamo stabdžių skysčio virimo temperatūros: kuo stabdžių skysčio virimo temperatūra žemesnė, tuo automobilio stabdymo laikas yra ilgesnis. Taip pat nustatyta, kad automobilio stabdymo laikas priklauso ir nuo automobilio stabdžių sistemoje esančio stabdžių skysčio temperatūros: kuo automobilio stabdžių sistemoje esančio stabdžių skysčio temperatūra aukštesnė – tuo ilgesnis automobilio stabdymo laikas.

Gautų rezultatų palyginimas su kituose moksliniuose darbuose gautais rezultatais. KAO, M. ir kt. „*Hydrophilic Characterization of Automotive Brake Fluid*“ [17] darbe autorių gautus rezultatus palyginus su šiame darbe, 2.3.1. skyriuje gautais rezultatais matyti, kad drėgmės kiekiui stabdžių skystyje didėjant, stabdžių skysčio virimo temperatūra palaipsniui mažėja. Didžiausias stabdžių skysčio virimo temperatūros sumažėjimas šių autorių moksliniame darbe nustatytas stabdžių skystyje drėgmės kiekiui padidėjus nuo 0 % iki 1 %, o šiame darbe, 2.3.1. skyriuje, didžiausias stabdžių skysčio virimo temperatūros sumažėjimas nustatytas stabdžių skysčio drėgmės kiekiui padidėjus nuo 0,28 % iki 1 %, taigi šie, tiek viename, tiek kitame darbe gauti rezultatai yra panašūs. Palyginus analizuojamame moksliniame darbe sudarytą stabdžių skysčio virimo temperatūros priklausomybę nuo stabdžių skysčio naudojimo laikotarpio ir šiame darbe, 2.2.1. skyriuje gautus rezultatus nustatyta, kad stabdžių skysčio virimo temperatūra priklauso nuo stabdžių skysčio naudojimo laikotarpio – kuo ilgesnį laikotarpį stabdžių skystis yra naudojamas automobilio stabdžių sistemoje, tuo labiau sumažėja stabdžių skysčio virimo temperatūra. „*Hydrophilic Characterization of Automotive Brake Fluid*“ [17] darbe tyrimas atliktas naudojant DOT 3 klasifikacijos stabdžių skystį, o šiame darbe – DOT 4 klasifikacijos stabdžių skystį, tačiau šių klasifikacijų stabdžių skysčiai yra pagaminti tos pačios medžiagos – glikolio pagrindu, taigi šie stabdžių skysčiai yra hidroskopiški, pasižymi panašiomis savybėmis, skiriasi tik jų virimo temperatūra.

## Išvados

1. Atlikus literatūrinę analizę aprašyti stabdžių skysčių tipai ir klasifikacijos. Išsamiau aprašytos stabdžių charakteristikos ir pagrindinės jų savybės. Teorinėje darbo dalyje taip pat aprašyti kitų autorių darbai, susiję su stabdžių skysčiais: pirmame išanalizuotame darbe atliktas tyrimas siekiant nustatyti, ar drėgmės kiekis stabdžių skystyje turi įtakos jo virimo temperatūrai, taip pat suprojektuota sistema, kuri automobilio vairuotoją perspėtų apie stabdžių skysčio būklę. Antrame darbe atliktas tyrimas, siekiant nustatyti stabdžių skysčio klampumo savybes, jų priklausomybę nuo drėgmės kiekio stabdžių skystyje.
2. Atlikus tyrimą ir ištyrus devynis skirtingų gamintojų naujus DOT 4 klasifikacijos stabdžių skysčius, nustatyta, kad aukščiausia vidutine virimo temperatūra, kuri lygi 261 °C, pasižymi ATE gamintojo stabdžių skystis. Žemiausia virimo temperatūra pasižymi SCT gamintojo stabdžių skystis, šio stabdžių skysčio vidutinė virimo temperatūra lygi 203 °C. Išanalizavus atliktų bandymų rezultatus taip pat nustatyta, kad DOT 4 klasifikacijos „sausos“ stabdžių skysčio virimo temperatūra, kuri lygi 230 °C, nepasižymi trys iš bandymuose naudotų devynių stabdžių skysčių, tai yra EGT, AUTOCHEMIJA ir SCT gamintojų stabdžių skysčiai.
3. Atlikus tyrimą ir ištyrus automobilių stabdžių sistemose naudotus stabdžių skysčius, nustatyta, kad stabdžių skysčio iš automobilio pagrindinio stabdžių cilindro rezervuaro ir stabdžių skysčio iš automobilio rato stabdžių cilindro virimo temperatūros sutampa. Taip pat nustatyta, kad stabdžių skysčio virimo temperatūrai didelę įtaką turi stabdžių skysčio naudojimo laikotarpis – kuo ilgesnį laikotarpį stabdžių skystis naudojamas automobilio stabdžių sistemoje, tuo labiau sumažėja stabdžių skysčio virimo temperatūra. Palyginus nustatytas naudotų stabdžių skysčių virimo temperatūras matyti, kad aukščiausia vidutine virimo temperatūra, kuri lygi 173 °C, pasižymi stabdžių skystis iš automobilio Volvo 850 A, kuriame stabdžių skystis naudotas trumpiausią laikotarpį – 8 mėn. Žemiausia vidutine virimo temperatūra, kuri lygi 161 °C, pasižymi stabdžių skystis iš automobilio Volvo V70, kuriame stabdžių skystis naudotas ir nepakeistas ilgiausią laikotarpį – daugiau, nei 48 mėnesius.
4. Atlikus tyrimą ir ištyrus skirtingu drėgmės kiekiu pasižyminčius stabdžių skysčių mėginius, nustatyta jų virimo temperatūra. Palyginus atliktų bandymų rezultatus, matyti, kad drėgmės kiekis turi didelę įtaką stabdžių skysčio virimo temperatūrai: stabdžių skysčio, kuriame drėgmės kiekis lygus 0,28 %, virimo temperatūra lygi 233 °C, o stabdžių skysčio, kuriame drėgmės kiekis lygus 4 %, virimo temperatūra yra lygi tik 140 °C, taigi dėl 3,72 % didesnio drėgmės kiekio, stabdžių skysčio virimo temperatūra sumažėja 93 °C.
5. Atlikus tyrimą su programa MATLAB, SIMSCAPE aplinkoje sumodeliuota automobilio stabdžių sistema, pasitelktus kompiuterinę automobilio, važiuojančio 110 km/h greičiu, stabdymo simuliaciją, nustatytos automobilio stabdymo laikų reikšmės, kurias palyginus, matyti, kad automobilio stabdymo laikui didelę įtaką turi automobilio stabdžių sistemoje naudojamo stabdžių skysčio virimo temperatūra – kuo ji žemesnė, tuo automobilio stabdymo laikas ilgesnis. Palyginus dviejų automobilių kompiuterinės stabdymo simuliacijos rezultatus, kai stabdžių skystis automobilių stabdžių sistemose yra pasiekęs 100 °C temperatūrą, ir vieno iš automobilių stabdžių sistemoje naudojamas stabdžių skystis, kurio virimo temperatūra lygi 140 °C, automobilio stabdymo laikas yra lygus 5,10 s, o automobilio, kurio stabdžių sistemoje naudojamas stabdžių skystis, pasižymintis 233 °C virimo temperatūra, stabdymo laikas lygus 4,62 s. Matyti, kad automobilis, kurio stabdžių sistemoje naudojamas aukštesne virimo temperatūra pasižymintis stabdžių skystis, šiuo atveju sustoja 0,48 s greičiau.

## Literatūros sąrašas

1. SHAHUU, Joseph-shaahu. *Coupling Numerical Analysis of Vibration and Thermal Buckling of Automotive Brake Disc*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-03-29]. Prieiga per: <https://digitalcommons.du.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2689&context=etd>
2. GILLES, Tim. *Automotive Service: Inspection, Maintenance, Repair*. USA: Delmar. [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-03-29]. ISBN 13:978-1-111-2861-6. Prieiga per: [https://books.google.lt/books?id=K0K9VcWtj80C&printsec=frontcover&dq=Automotive+Service:+Inspection,+Maintenance,+Repair&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjH4PSTwqrpAhXv\\_CoKHUCrAuYQ6AEIzAA#v=onepage&q=Automotive%20Service%3A%20Inspection%2C%20Maintenance%2C%20Repair&f=false](https://books.google.lt/books?id=K0K9VcWtj80C&printsec=frontcover&dq=Automotive+Service:+Inspection,+Maintenance,+Repair&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjH4PSTwqrpAhXv_CoKHUCrAuYQ6AEIzAA#v=onepage&q=Automotive%20Service%3A%20Inspection%2C%20Maintenance%2C%20Repair&f=false)
3. Stabdžių skystis. Gidas. [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-03-27]. Prieiga per: [https://www.voulis.com/files/voulis-handbook-brake-fluid\\_en.pdf](https://www.voulis.com/files/voulis-handbook-brake-fluid_en.pdf)
4. Stabdžių skysčiai. Praktiškas gidas. [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-03-28]. Prieiga per: <https://www.machinerylubrication.com/Read/30614/know-brake-fluids>
5. Stabdžių skysčiai: ką apie juos reikia žinoti. [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-03-28]. Prieiga per: <https://greenlab.lt/wp-content/uploads/2017/05/Brake-Fluid-what-you-should-know.pdf>
6. Stabdžių skysčiai: reikalavimai, savybės, sudėtis. [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-03-28]. Prieiga per: <https://autosteering.ru/blog/tormoznye-zhidkosti-trebovaniya-svoystva-sostav-68>
7. Gamintojo SHELL stabdžių skysčių virimo temperatūros palyginimas. [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-03-28]. Prieiga per: <https://epicbleedsolutions.com/blogs/faq/what-is-meant-by-wet-and-dry-boiling-points-of-brake-fluid#>
8. Koks skirtumas tarp DOT 4 ir DOT 5.1 stabdžių skysčių. [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-03-28]. Prieiga per: <https://epicbleedsolutions.com/blogs/faq/whats-the-difference-between-dot-4-and-dot-5-1-brake-fluid#>
9. Automobilių eksploatacinės medžiagos. [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-04-12]. Prieiga per: [https://www.spbgasu.ru/documents/docs\\_250.pdf](https://www.spbgasu.ru/documents/docs_250.pdf)
10. Kaip patikrinti, perrinkti ir atnaujinti automobilio stabdžių cilindro stūmoklius. [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-03-28]. Prieiga per: <https://blog.fcpeuro.com/how-to-rebuild-and-refresh-brake-caliper-pistons-on-the-car>
11. Standartas FMVSS Nr. 116. Motorinių transporto priemonių stabdžių skysčiai. [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-03-28]. Prieiga per: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/CFR-2012-title49-vol6/xml/CFR-2012-title49-vol6-sec571-116.xml>
12. Netinkamo skysčio panaudojimo hidraulinėse pavarose padariniai. [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-03-28]. Prieiga per: <https://ebs.co.uk/Downloads/Technical-Bulletins/February-2016/The-effects-of-using-the-incorrect-fluid-in-hydrau.aspx>
13. DOT stabdžių skysčių spalvos. [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-03-28]. Prieiga per: <https://etlib.ru/Templates/storage/blog/426/%D0%A6%D0%B2%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F%20%D0%BC%D0%B0%D1%80%D0%BA%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BA%D0%B0%20DOT.jpg>
14. Kodėl reikia keisti stabdžių skystį. [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-03-28]. Prieiga per: <https://www.aalcar.com/library/bfluid.htm>
15. DOT 4 stabdžių skysčio refraktometras. [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-04-11]. Prieiga per: [https://www.lasertools.co.uk/items/PDF/Products/5519\\_Instructions.pdf](https://www.lasertools.co.uk/items/PDF/Products/5519_Instructions.pdf)



16. Stabdžių skysčio virimo temperatūros nustatymo prietaisas. [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-04-15]. Prieiga per: <https://www.amazon.com/Laser-Brake-Fluid-Boiling-Tester/dp/B01N4TSBQ6>
17. KAO, M. ir kt. *Hydrophilic Characterization of Automotive Brake Fluid*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-03-30]. Prieiga per: [https://www.researchgate.net/publication/249957357\\_Hydrophilic\\_Characterization\\_of\\_Automotive\\_Brake\\_Fluid](https://www.researchgate.net/publication/249957357_Hydrophilic_Characterization_of_Automotive_Brake_Fluid)
18. Š. ČORNAK & J. SKOKIL. *Research of brake fluid viscosity properties*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-03-30]. Prieiga per: [https://www.researchgate.net/publication/287021673\\_Research\\_of\\_brake\\_fluids\\_viscosity\\_properties](https://www.researchgate.net/publication/287021673_Research_of_brake_fluids_viscosity_properties)
19. Multimetras TESTMATE DMM – 250T techninių duomenų lapas. [žiūrėta 2020-03-29]. Prieiga per: [http://www.testmate.co.uk/downloads/dl/file/id/2646/product/1800/testmate\\_dmm\\_250t\\_datash eet.pdf](http://www.testmate.co.uk/downloads/dl/file/id/2646/product/1800/testmate_dmm_250t_datash eet.pdf)
20. Neigiamu ir teigiamu asimetriškumu pasižyminčios histogramos iliustracija. [žiūrėta 2020-04-12]. Prieiga per: [https://www.researchgate.net/figure/An-illustration-of-positive-and-negative-skewed-histogram-courtesy-of-Skewness\\_fig1\\_236096384](https://www.researchgate.net/figure/An-illustration-of-positive-and-negative-skewed-histogram-courtesy-of-Skewness_fig1_236096384)