

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

**Šarūnas Bartkus**

**BIODYZELINO POVEIKIS NAUJAUSIOMS „COMMON RAIL“  
ĮPURŠKIMO SISTEMOMS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

**doc. dr. Ramūnas Skvireckas**

**KAUNAS, 2017**

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

**BIODYZELINO POVEIKIS NAUJAUSIOMS „COMMON RAIL“  
ĮPURŠKIMO SISTEMOMS**

Baigiamasis magistro projektas  
Transporto priemonių inžinerija (kodas 621E20001)

**Vadovas**

(parašas) doc. dr. Ramūnas Skvireckas  
(data)

**Recenzentas**

(parašas) doc. dr. Vardenis Pavardenis  
(data)

**Projektą atliko**

(parašas) Šarūnas Bartkus  
(data)

**KAUNAS, 2017**

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

**Suderinta:**

Studijų krypties programų vadovas  
prof. Artūras Keršys

Transporto inžinerijos katedros vedėjas  
doc. Rolandas Makaras

2016 m. vasario mėn. 8 d.

**MAGISTRO BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS**

Išduota studentui: Šarūnui Bartkui.

1. Projekto tema: Biodyzelino poveikis naujausioms „common rail“ įpurškimo sistemoms.

Patvirtinta: 2017 m. balandžio mėn. 21 d. dekanų įsakymu Nr. V25-11-8

2. Projekto tikslas:

Ištirti „Common rail“ purkštuvų išpurškimo savybes esant skirtingiems degalų mišiniams.

3. Projekto uždaviniai ir reikalavimai:

1. Atlikti teorinę „Common rail“ degalų sistemos apžvalgą.

2. Apžvelgti ir ištirti dyzelino, biodyzelino ir bei jų mišinių fizinius parametrus.

3. Atlikti analitinius skaičiavimus išpurškto degalų kiekiui nustatyti.

4. Atlikti tyrimą išpurškiamo degalų kiekiui nustatyti purkštuvuose su elektromagnetine ir pjezoelektrine pavara.

5. Nustatyti ir ištirti biodyzelino bei jo mišinių su grynais dyzeliniais degalais poveikį „Common rail“ sistemos purkštuvams, bei pasiūlyti atitinkamas priemones siekiant užtikrinti efektyvų variklio darbą, esant skirtingiems degalų mišiniams.

4. Projekto konsultantai (nurodant projekto skyrius)<sup>1</sup>:

5. Užduoties išdavimo terminas: 2016 m. vasario mėn. 8 d.

Užbaigto projekto pateikimo terminas: 2017 m. gegužės mėn. 18 d.

Vadovas: Ramūnas Skvireckas  
(vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

---

<sup>1</sup> Esant reikalui, suderinus su katedros vedėju

Užduotį gavau: Šarūnas Bartkus

(vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_

(parašas)



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

(Fakultetas)

Šarūnas Bartkus

(Studento vardas, pavardė)

Transporto priemonių inžinerija (kodas 621E20001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

**„BIODYZELINO POVEIKIS NAUJAUSIOMS „COMMON RAIL“ ĮPURŠKIMO SISTEMOMS“**  
**AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA**

20 \_\_\_\_\_ m. \_\_\_\_\_ d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Šarūno Bartkaus**, baigiamasis projektas tema „Biodyzelino poveikis naujausioms „common rail“ įpurškimo sistemoms“ 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)

Šarūnas Bartkus. Biodyzelino poveikis naujausioms „common rail“ įpurškimo sistemoms. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Ramūnas Skvireckas; Kauno technologijos universitetas, mechanikos ir dizaino fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis:

Reikšminiai žodžiai: *biodyzelinas, „common rail“ kuro sistema, elektromagnetiniai purkštuvai, pjezoelektriniai purkštuvai.*

Kaunas, 2017. 68 p.

## SANTRAUKA

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjamas biodyzelino poveikis naujausioms „Common rail“ įpurškimo sistemoms. Europos sąjungos šalyse vis labiau didėjantis biodyzelino kiekis dyzeliniuose degaluose gali skirtingai paveikti naujausius dyzelinius variklius. Todėl šiame darbe tiriama, kaip keičiasi išpurškimo savybės didėjant biodyzelino santykiui su grynais dyzeliniais degalais.

Baigiamąjį magistro darbą sudaro keturios dalys. Pirmoje ir antroje dalyje, remiantis literatūros šaltiniais atliekama teorinė „Common rail“ degalų sistemos apžvalga. Taip pat analizuojami ir ištiriami dyzelino, biodyzelino bei jų mišinių fiziniai parametrai.

Praktinėje darbo dalyje pritaikyti teorinėje dalyje aprašyti tyrimo metodai. Atliktas tyrimas išpurškiamo degalų kiekiui nustatyti purkštuvuose su elektromagnetine ir pjezoelektrine pavara. Tyrimui atlikti naudotas „Bosch EPS 815“ purkštuvų tikrinimo stendas. Tyrime naudoti tik „Bosch“ firmos pagaminti degalų purkštuvai su skirtingomis pavaramis: elektromagnetiniai ir pjezoelektriniai. Taip pat, aprašoma atlikto tyrimo metodika, kuria remiantis visame pasaulyje tikrinami šie purkštuvai. Iš gautų rezultatų pasiūlytas sprendimo būdas, kuris leistų naudoti norimą degalų mišinį tinkamą „common rail“ degalų sistemoms.

Surname, Name. *THE EFFECT OF BIODIESEL ON THE MODERN COMMON RAIL INJECTION SYSTEMS*. thesis in *Master's*. Supervisor assoc. prof. Ramūnas Skvireckas. The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Research area and field:

Key words: biodiesel, common rail fuel system, electromagnetic injectors, piezoelectric injectors.

Kaunas, 2017. 68 p.

## **SUMMARY**

The Master's thesis deals with the effect of biodiesel on the modern common rail injection systems. Increasingly growing biodiesel content in diesel may differently affect the latest diesel engines in the European Union countries. Therefore, this study will investigate the change in spray characteristics with increasing ratio of biodiesel with pure diesel fuel.

The Master's thesis consists of four parts. The first and second part, based on the literature performed theoretical common rail fuel system overview. It is also analyzing and testing for diesel and biodiesel and mixtures of physical settings.

In the practical part of the work are adapted methods, which were described on the theoretical part. A study conducted to determine the amount of fuel sprayed sprayer with electromagnetic and piezoelectric actuator. The study used to carry out the "Bosch EPS 815" nozzle tester. The study used only the "Bosch" company manufactured injectors with different gears: electromagnetic and piezoelectric. Thesis also describes the survey methodology, according to which the entire world check's these sprayers. The results suggest a solution that would allow to use of the desired fuel mixture suitable to common rail fuel systems.

# TURINYS

ĮVADAS.....	8
1. DYZELINIŲ VARIKLIŲ DEGALAI .....	10
1.1. Dyzelinas .....	10
Kokybė ir savybės .....	10
1.1.1. Dyzelinių degalų svarbiausi rodikliai .....	11
1.1.2. Priedai degaluose .....	15
1.2. Biodyzelinas .....	17
1.2.1. Biodegalai .....	17
1.2.2. Biodyzelino savybės .....	18
1.2.3. Riebalų rūgščių metilo esteris .....	18
1.3. Mokslinių straipsnių analizė biodyzelino tematika .....	19
2. DYZELINIŲ VARIKLIŲ DEGALŲ ĮPURŠKIMO „COMMON RAIL“ SISTEMOS PAGRINDAI .....	21
2.1. „Common rail“ sistemos veikimo principas.....	22
2.2. Elektromagnetiniai purkštuvai .....	24
2.3. Pjezoelektrinis purkštuvas .....	29
3. ANALITINIS PURKŠTUKO ĮPURŠKIMO PARAMETRŲ SKAIČIAVIMAS.....	33
4. EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ METODIKA.....	38
4.1. Elektromagnetinių purkštuvų tyrimas.....	41
4.2. Pjezoelektrinių purkštuvų tyrimas .....	54
4.3. Ekspermentinių tyrimų išvados.....	65
IŠVADOS.....	67
LITERATŪROS SĄRAŠAS .....	68

## IVADAS

Technologijoms žengiant vis toliau į priekį reikalingi dideli energijos išteklių, kurie yra riboti mūsų planetoje. Pasaulyje energijos sunaudojimas nuolat didėja, iškastiniai išteklių mažėja, o jos išgavimas tampa žalingas aplinkai. Norėdamos patenkinti vis didėjantį dyzelinių degalų poreikį, naftos perdirbimo įmonės vis daugiau į dyzeliną deda bio produktų. Europos Sąjungos bendri susitarimai, vis labiau įdiegti ir plėtoti energijos naudojimą iš atsinaujinančių išteklių, nuolat griežtinami. Reikalavimai aplinkosaugos tematika, šiltnamio efektą keliančių išmetamųjų dujų emisijų ir atliekų mažinimui, skatina kuo labiau panaudoti atsinaujinančius energijos išteklius, įskaitant ir biodegalus. Nuolat augantis transporto priemonių su vidaus degimo varikliais skaičius pasaulyje didina naftos poreikius, iš kurių gaminami degalai, tai vidutiniškai yra 3,5 mlrd. tonų grynų degalų per metus. Svarbiausia yra tai, jog iš naftos gaminami degalai nėra amžinas ir nesibaigiantis išteklius, šie išteklių išgauti iš žemės gelmių yra riboti, kurių gavyba yra sutelkta, tik tam tikrose pasaulio vietose, kuriuose jų randama. Biodegalų gamyba leidžia naudoti vietinius energijos išteklius, tuo sumažinant importuojamų mineralinių degalų vartojimą, tai pat plėtojamas žemės ūkis, ne tik maisto produktų gamybai. Atsinaujinančių energijos išteklių naudojimas sumažina ūkio mašinų priklausomybę nuo mineralinių degalų ir leidžia išvengti pasėkmių, susijusių su degalų aprūpinimo sutrikimais. Biodyzelinas yra alternatyvūs degalai mineraliniam dyzelinui, koreliuojantys su darniu tobulėjimu, energijos sutaupymu, efektyvumu ir aplinkosauga. Europos Sąjungoje rapsų aliejus yra dažniausiai biodyzelino gamybai naudojama žaliava, iš šios žaliavos pagaminama apie 84 % biodyzelino. Siekiant plėsti žaliavų įvairovę ir dyzeliniuose degaluose didinti atsinaujinančių išteklių dalį, pastaruoju metu vis labiau vystomi tyrimai bioetanolio naudojimui dyzeliniame variklyje, tačiau reikia pabrėžti, jog mineralinius degalus pakeičiant biodegalais, degalų cheminės, tai pat ir fizinės savybės keičiasi. Šios degalų savybės turi įtakos išpurškimo į degimo kamerą charakteristikoms, savaiminio užsiliepsnojimo laikui, degimui ir šilumos išsiskyrimui variklio cilindre, dėl to keičiasi degalų lyginamosios efektyvios sąnaudos, deginių emisija ir dūmingumas, indikatoriniai, efektyvieji variklio rodikliai. Dyzelinio vidaus degimo variklio darbo procesų tobulinimas ir kūrimas leidžiantis dirbti alternatyviais biodegalais yra glaudžiai susijęs su variklio efektyvumu, ekonomiško didinimu ir ekologinių rodiklių gerinimu, kuris įmanomas tobulinant išpurškimo, degalų lašelių išsiskaidymo, degaus mišinio susidarymo ir degimo proceso valdymu.

Šiuolaikinių vidaus degimo variklių įpurškimo sistemoms užduodami griežti reikalavimai, nuolatos mažinamos deginių toksiškumo ir triukšmo leistinos normos, siekiant mažinti degalų sąnaudas. Beveik prieš du dešimtmečius sukurta „Common Rail“ (CR) degalų įpurškimo sistema padarė tikrą perversmą dyzelinių variklių pramonėje, nepaisant to, ji buvo nuolatos tobulinama ir įdiegiami nauji sistemos elementai. CR degalų sistema leidžia tiksliau valdyti degalų įpurškimo greitį, momentą, degalų ištekėjimo iš purkštuko skylučių greitį, jų išskaidymą, varikliui dirbant plačiu apkrovos ir sūkių kitimo



diapazonu. Pagrindinis CR sistemos privalumas – didelės įpurškimo slėgio ir įpurškimo momento pasirinkimo galimybės. Pirmosios CR sistemos naudojo purkštuvus su elektromagnetiniais vožtuvais, dar maždaug po dešimtmečio buvo sukurti purkštuvai su pjezoelektriniais vožtuvais, kurie leido dar tiksliau ir greičiau išpurkšti į degimo kamerą degalus. Dėl to, kad, purkštuvai tapo sudėtingi ir labai tikslų matmenų. Dėl to degalų savybės pasidarė labai svarbios, siekiant pailginti šios sistemos eksploatavimo laiką. Degalų tankis, klampa ir tamprumas turi svarbia reikšmę vykstant hidrodinaminiam procesams aukšto degalų slėgio įpurškimo sistemoje, didėjantis slėgis, suteikia didelę įtaką degalų įpurškimo procesui. Šio darbo tikslas yra ištirti, kokį poveikį daro biodegalų naudojimas naujose CR sistemose, nes gamintojai rekomenduoja nenaudoti biodegalų varikliuose su nauja CR sistema. Dauguma tyrimų nagrinėja variklio darbo ir deginių emisijos rezultatus, šiame darbe nagrinėjama senos ir naujos kartos CR purkštuvų išpurškimo savybės, naudojant dyzeliną be priemaišų ir biodyzeliną.

**Temos aktualumas.** Vis didėjantis energijos gavybos poreikis skatina gaminti biodyzelį, tausoti aplinką ir jos išteklius. Tačiau dauguma automobilių gamintojų nerekomenduoja naudoti biodegalus naujausioms „Common rail“ degalų sistemoms. Todėl svarbu išsiaiškinti ar biodegalai gali turėti neigiamos įtakos naujausioms įpurškimo sistemos, ar vis dėl to tai neturi reikšminės įtakos sistemos darbui ir jos nusidėvėjimui.

**Darbo objektas** – „Common rail“ degalų purkštuvai su elektromagnetine ir piezoelektrine pavara.

**Darbo tikslas** – Ištirti „Common rail“ purkštuvų išpurškimo savybes esant skirtingiems degalų mišiniams (vis labiau didinant biodyzelino kiekį grynuose dyzeliniuose degaluose).

**Darbo uždaviniai:**

1. Atlikti teorinę „Common rail“ degalų sistemos apžvalgą.
2. Apžvelgti ir ištirti dyzelino, biodyzelino bei jų mišinių fizinius parametrus.
3. Atlikti tyrimą išpurškiamo degalų kiekiui nustatyti purkštuvuose su elektromagnetine ir pjezoelektrine pavara.
4. Nustatyti ir ištirti biodyzelino ir jo mišinių su grynais dyzeliniais degalais poveikį „Common rail“ sistemos purkštuvams, bei pasiūlyti atitinkamas priemones siekiant užtikrinti efektyvų variklio darbą esant skirtingiems degalų mišiniams.

**Darbe naudoti tyrimo metodai:** Siekiant išsikelti tikslo ir sprendžiant iškeltus uždavinius buvo atlikta mokslinių straipsnių analizė bei apžvelgta įvairi literatūra. Tyrimuose buvo naudojama modernia įranga, kuri leidžia gauti patikimus ir tikslus tyrimo rezultatus. Įpurškimo proceso eksperimentiniai tyrimai atlikti moderniausiu purkštuvų tikrinimo stendu, esančiu šiuo metu rinkoje „Bosch EPS 815“. Tyrimui naudoti dyzeliniai degalai iš „Neste“ degalų tinklo ir tai pat biodyzeliniai degalai iš „Rapsoila“ įmonės, gaminančios biodyzelinius degalus. Tyrimas atliekamas pagal „Bosch“ tam tikro purkštuvo numerio užduotus parametrus.

# 1. DYZELINIŲ VARIKLIŲ DEGALAI

## 1.1. Dyzelinas

Dyzeliniai degalai gaunami palaipsniui distiliuojant naftą. Juos sudaro daugybė atskirų angliavandenių, kurių virimo temperatūra yra maždaug tarp 180 °C ir 370 °C. Dyzelinių degalų vidutinė užsiliepsnojimo temperatūra – maždaug 350 °C ( apatinė riba – 220 °C). Tai labai žema temperatūra, palyginus su „Otto“ degalais, kurių vidutinė užsiliepsnojimo temperatūra yra 500 °C.

Norėdamos patenkinti didėjančią dyzelinių degalų poreikį, naftos perdirbimo įmonės į dyzelinius degalus deda vis daugiau konversijos produktų, t. y. terminio ir katalinio krekingo komponentų. Jie gaunami skaidant didelės naftos molekules [3].

### Kokybė ir savybės

Dyzelino kokybės reikalavimus Europoje nustato EN 590 standartas. Svarbiausi rodikliai pateikti 1.1 lentelėje. Ribinės vertės nustatomos dėl to, kad būtų garantuojamas patikimas variklio darbas ir ribojama kenksmingų medžiagų emisija.

1.1 lentelė. Europos standartas EN 590: kai kurie dyzelino kokybės reikalavimai [16]

Rodiklis	Vertė	Matavimo vienetas
Cetaninis skaičius	≥51	
Cetano indeksas	≥46	
CFPP <sup>1</sup> (daugiausia 6 metų laikų klasės) <sup>2</sup>	+5 – -20 <sup>2</sup> )	°C
Plyksnio temperatūra	≥55	°C
Tankis 15 °C temperatūroje	820 – 845	kg/m <sup>3</sup>
Klampa 40 °C temperatūroje	2,00 – 4,50	mm <sup>2</sup> /s
Tepumas	≤460	µm (nudilimo žymės skersmuo)
Sieros kiekis	≤350 (iki 2004 - 12 - 31); ≤50 (su mažu sieros kiekiu, nuo 2005 iki 2008); ≤10 (besieriai, nuo 2009) <sup>4</sup> )	mg/kg
Vandens kiekis	≤200	mg/kg
Bendras užterštumas	≤24	mg/kg
RRME kiekis	≤5	tūris %
<sup>1</sup> ) filtravimosi riba <sup>2</sup> ) skaičių nustato kiekviena šalis <sup>3</sup> ) ES direktyva <sup>4</sup> ) ES pasiūlymas		

Kitos valstybės ar regionai yra nusistatę mažiau griežtas degalų kokybės normas. Pavyzdžiui, JAV dyzelinių degalų kokybės standartas ASTM D975 nurodo mažiau kokybės kriterijų bei ne tokias griežtas ribinės vertes. Laivų ir stacionarių variklių degalams reikalavimai tai pat yra daug mažesni.

Aukštos kokybės degalams būdingas:

- didelis cetaninis skaičius;
- iš dalies žema virimo pabaigos temperatūra;
- vienodas tankis ir klampa;
- mažas aromatinių ir ypač poliaromatinių angliavandenių kiekis;
- mažas sieros kiekis.

Įpurškimo sistemos ilgaamžiškumui ir funkcionalumui ypač svarbu, kad degalai:

- gerai teptų;
- neturėtų laisvojo vandens;
- nebūtų užteršti kietosiomis dalelėmis [16].

### 1.1.1. Dyzelinių degalų svarbiausi rodikliai

Svarbiausi rodikliai yra: cetaninis skaičius, cetano indeksas, virimo sritis, filtravimosi riba, plyksnio taškas, tankis, klampa, tepumas sieros kiekis, polinkis kokuotis, bendras užterštumas, vandens kiekis.

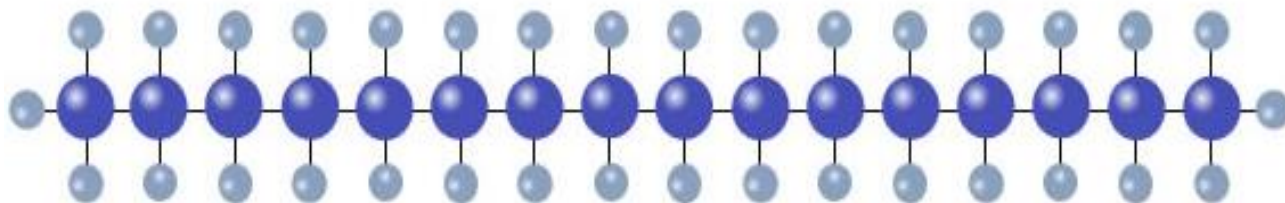
#### **Cetaninis skaičius, cetano indeksas**

Cetaninis skaičius apibūdina dyzelinių degalų užsiliepsnojimo savybes. Kuo skaičius didesnis, tuo lengviau užsiliepsnoja degalai. Kadangi dyzelinis variklis veikia be pašalinio užsidegimo, į degimo kameros karštą suspaustą orą įpurkšti degalai turi kuo greičiau savaime užsiliepsnoti (po kuo trumpesnio užsiliepsnojimo indukcijos periodo) [3].

Labai lengvai užsiliepsnojančio n-heksadekano (cetano) skaičius lygus 100, sunkiai užsiliepsnojančio metilnaftaleno cetaninis skaičius lygus 0. Dyzelinių degalų cetaninis skaičius nustatomas specialiaame vieno cilindro variklyje su keičiamu suspaudimo laipsniu. Keičiant suspaudimo laipsnį, gaunamas reikiamas tiriamų degalų užsiliepsnojimo indukcijos periodas. Po to variklis, nekeičiant suspaudimo laipsnio, veikia etaloniniais degalais, sudarytais iš cetano ir  $\alpha$ -metilnaftaleno (žr. 1.1.1.1 pav.). Mišinio sudėtis tol keičiama, kol gaunamas tokios pačios trukmės indukcijos periodas. Cetaninis skaičius rodo cetano dalį etaloniniuose degaluose. Pavyzdžiui, mišinio iš 52 % cetano ir 48 %  $\alpha$ -metilnaftaleno cetaninis skaičius lygus 52 [3].

Siekiant, kad modernūs varikliai veiktų optimaliai (būtų išlaikomos eigos tolygumas, kenksmingų medžiagų emisija), pageidaujama didesnė nei 51 cetaninio skaičiaus vertė. Aukštos kokybės dyzelinas turi nemažai parafinų, kurių cetaninis skaičius aukštas. Aromatiniai angliavandeniliai, veikia priešingai ir tik blogina užsiliepsnojimo savybes [3].

Kitas rodiklis, charakterizuojantis užsiliepsnojimo savybes, yra cetano indeksas, šis rodiklis apskaičiuojamas iš grafiko kreivės taškų, kuriuose yra degalų tankio ir virimo charakteristikos. Šis skaičiavimo metodu gaunamas dydis neturi įtakos užsidegimą gerinančiam priedui. Norint apriboti galimybę cetaninių skaičių pagerinti šiais priedais, EN 590 standarte nurodomi reikalavimai ir cetaninio skaičiaus padidėjęs dėl užsidegimą gerinančių priedų, variklyje dega kitaip negu degalai, turintys tokio pačio dydžio natūralų cetaninį skaičių [3].



#### 1.1.1.1. pav. Cetanas (n-heksadekanas) etaloniniai degalai labai lengvai užsiliepsnojantys

##### **Virimo sritis**

Degalų virimo sritis, t. y. temperatūrų sritis, kurioje degalai išgaruoja, priklauso nuo jų sudėties.

Kai degalų virimo pradžios temperatūra žemesnė, degalai tinkamesni žemoms temperatūroms, tačiau pablogėja jų cetaninis skaičius ir tepimo savybės. Dėl to padidėja degalų įpurškimo aparatūros sudilimo pavojus [3].

Jei degalų virimo pabaigos temperatūra yra aukšta, gali padidėti suodžių susidarymas ir purkštukų koksavimasis (teršalų sluoksnio susidarymas ant purkštuko snapelio chemiškai skylant sunkiai garuojamiems degalų komponentams bei susidarant degenoms). Todėl virimo pabaigos temperatūra turi būti ne per aukšta. Europos automobilių gamintojų sąjunga (ACEA) nustatė 350 °C ribą [3].

##### **Filtravimosi riba**

Išsiskiriant parafino kristalams žemoje temperatūroje gali užsikimšti degalų filtras ir dėl to nutrūkti degalų tiekimas. Nepalankiais atvejais parafino išsiskyrimas gali prasidėti jau 0 °C arba net aukštesnėje temperatūroje. Degalų atsparumą šalčiui charakterizuoja filtravimosi riba (CFPP – *Cold Filter Plugging Point*, t. y. filtro užsikimšimo taškas šaltyje) [3].

EN 590 standartas CFPP suskirsto į klases, kurias gali nustatyti atskiros šalys, atsižvelgdamos į geografines ir klimato sąlygas [16].

Anksčiau siekiant pagerinti dyzelinių degalų atsparumą šalčiui kartais į baką buvo įpilama šiek tiek benzino. Dabar tai nebūtina, jei yra normos atitinkančių degalų. Be to, įvykus gedimui prarandamos visos garantijos [16].

## **Plyksnio temperatūra**

Tai temperatūra, kai iš degiojo skysčio į orą išgaruoja tiek garų, kad uždegimo šaltinis gali uždegti virš skysčio esantį oro ir garų mišinį. Saugumo sumetimais (pvz., transportuojant ir saugant) dyzeliniai degalai turi priklausyti A III saugumo klasei, t. y. plyksnio temperatūra turi būti aukštesnė nei 55 °C. Mažesnė nei 3% benzino dalis dyzeliniuose degaluose gali taip smarkiai sumažinti plyksnio temperatūrą, kad užsiliepsnojimas galimas jau kambario temperatūroje [5].

## **Tankis**

Energijos kiekis dyzelinių degalų tūrio vienetu didėja didėjant tankiui. Jei nekintant įpurškimo siurblio nustatymams (t. y. esant pastoviam tūriniam dozavimui) naudojami labai skirtingo tankio degalai, dėl šilumos svyravimo pasikeičia degiojo mišinio sudėtis [5].

Naudojant didesnio tankio, kuris priklauso nuo degalų rūšies, degalus, padidėja variklio galia ir deginių dūmingumas; mažėjant tankiui, jie mažėja. Todėl reikalaujama, kad degalų tankis atsižvelgiant į degalų rūšį, mažai kistų [5].

## **Klampa**

Tai degalų takumo, t. y. pasipriešinimo, kuris tekant kyla dėl vidinės trinties matas. Jei dyzelinių degalų klampa per maža, įpurškimo siurblyje padidėja pratekėjimų nuostoliai ir todėl sumažėja galia.

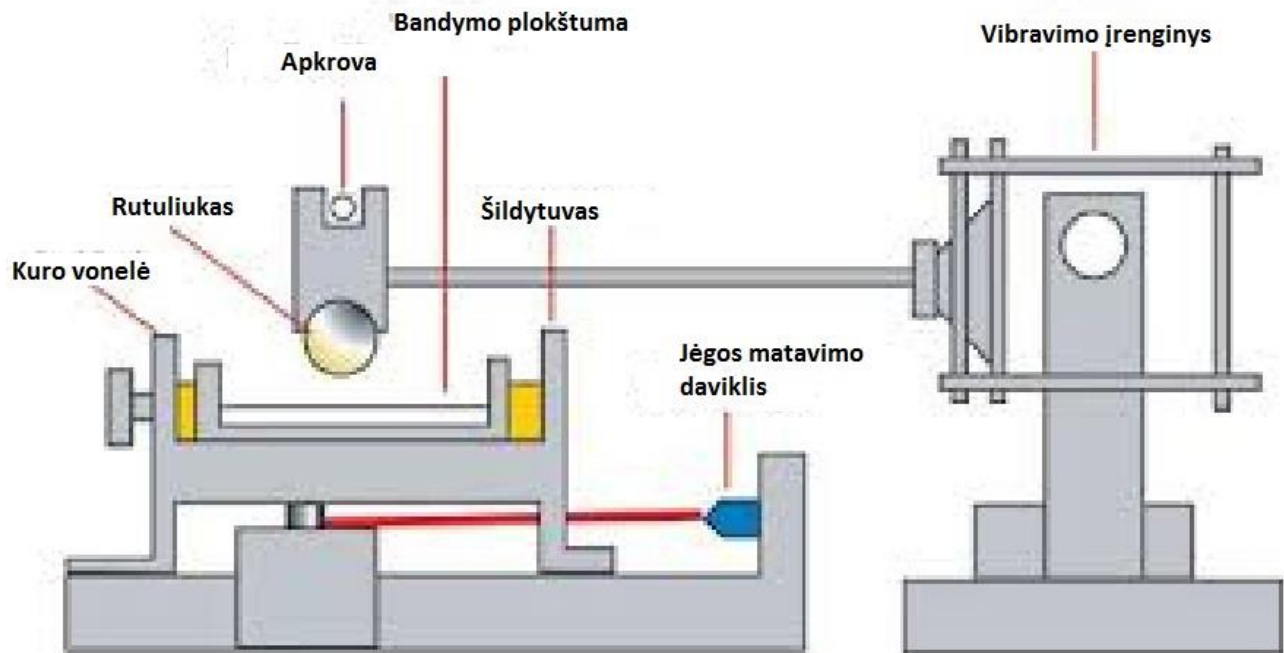
Kai klampa ženkliai didesnė (taip yra ir naudojant RRME: biodyzeliną), sistemose, kuriose slėgis nereguliuojamas (pvz., siurblio-purkštuvu), esant aukštai temperatūrai padidėja maksimalus slėgis. Todėl šios sistemos negali maksimaliai leistinu sistemos slėgiu naudoti mineralinį dyzeliną. Be to, didelė klampa pakeičia čiurkšlės kokybinį vaizdą, nes susidaro didesni lašeliai [8].

## **Tepumas**

Norint pašalinti sierą iš dyzelinių degalų, jie hidrinami. Hidrinimo procesas be sieros pašalina ir poliarizuotus degalų komponentus, kurie gerai tepa. Pradėjus naudoti dyzelinius degalus be sieros, iškilo skirstomojo tipo įpurškimo siurblių sudilimo problema dėl nepakankamo degalų tepumo. Todėl į dyzelinius degalus dedama tepumą gerinančių priedų [5].

Tepumas nustatomas atliekant dilimo testą. 1.1.1.2 pav. pavaizduotas dilimo testo stendas. Tvirtai įtvirtintas plieninis rutuliukas degaluose dideliu dažniu yra trinamas į plokštę. Susidariusios plokštumos dydis (WSD: *angl. Wear Scar Diameter* – dilimo pėdsako skersmuo, išmatuotas  $\mu\text{m}$ ) parodo nudilimą, todėl yra degalų tepumo matas [5].

Pagal EN590 reikalavimus dyzeliniams degalams  $WSD \leq 460 \mu\text{m}$ .



1.1.1.2 pav. Dilimo testo stendas

### Sieros kiekis

Dyzelinuose degaluose yra sieros, kuri chemiškai surišta ir kurios kiekis priklauso nuo naftos kokybės ir pridedamų komponentų. Dažniausiai daug sieros yra krekingo produktuose.

Siera iš degalų pašalinama apdorojant vidurinę distiliato frakciją vandeniliu (hidrinimas) esant dideliame slėgiui ir aukštai temperatūrai ir dalyvaujant katalizatoriui. Taikant šį metodą, pirmiausia susidaro sieros vandenilis ( $H_2S$ ), kuris paverčiamas elementaria siera. Nuo 2000 m. pradžios EN 590 dyzeliniuose degaluose leidžia daugiausiai 350 mg/kg sieros. Nuo 2005 m. Europoje turi būti naudojami „Otto“ ir dyzeliniai degalai, kurių sudėtyje yra mažai sieros (sieros kiekis  $<50$  mg/kg). O nuo 2009 m. turi būti naudojami tik besieriai degalai (sieros kiekis  $<10$  mg/kg).

2003 m. Vokietijoje padidintas mokestis degalams su siera. Todėl Vokietijos rinkoje parduodami tik besieriai dyzeliniai degalai. Dėl to sumažėjo ir tiesioginė  $SO_2$  (sieros dioksido) emisija, ir išmetamųjų kietųjų dalelių masė (prie suodžių prilipusio sulfato).

Deginių nukenksminimo sistemose, pvz.,  $NO_x$ , ir kietųjų dalelių filtruose naudojami katalizatoriai. Šioms sistemoms reikalingi besieriai degalai, nes siera užteršia aktyvųjį katalizatoriaus paviršių [5].

### Polinkis kokuotis

Tai matas, nustatantis degalų tendenciją ant purkštukų sudaryti degenų sluoksnį. Koksavimosi procesas yra labai sudėtingas. Koksavimosi pirmiausia skatina komponentai, kurie dyzeliniuose degaluose lieka virimo pabaigoje (ypač krekingo produktai) [5].

### Bendrasis užterštumas

Bendroju užterštumu vadinamas suminis svetimų netirpių medžiagų kiekis degaluose, pvz., smėlio, rūdžių, ir netirpių organinių sudėtinių medžiagų, kurioms priklauso senėjimo metu susidarę

polimerai. EN 590 leidžia maksimaliai 24 mg/kg. didelio slėgio įpurškimo sistemoms, kurių detalės pagamintos labai tiksliai, ypač kenksmingi mineralinėse dulkėse esantys kieti silikatai. Net ir nedidelė dalis šių kietų dalelių leidžiamose bendrojo užterštumo ribose gali sukelti erozinį ir abrazyvinį dilimą (pvz., elektromagnetinio vožtuvo lizdo). Dėl išdilimo gali atsirasti nesandarumų, kurie sumažina įpurškimo slėgį ir variklio galią bei padidina kietųjų dalelių emisiją [5].

Tipiniuose europietiškuose dyzeliniuose degaluose yra maždaug 100000 dalelių 100 ml. Ypač pavojingos 6 – 7 µm dydžio dalelės. Efektyvūs degalų filtrai, turintys labai gerą išvalymo laipsnį, apsaugo nuo šių dalelių sukeliama gedimų [5].

### **Vanduo dyzeliniuose degaluose**

Dyzeliniai degalai gali absorbuoti maždaug 100 mg/kg vandens. Tirpumo riba priklauso nuo degalų sudėties ir aplinkos temperatūros. EN 590 leidžia 200 mg/kg maksimalų vandens kiekį. Nors daugelio šalių dyzeliniuose degaluose yra daug daugiau vandens, rinkoje atliekami degalų tyrimai retai parodo vandens kiekį, didesnį nei 200 mg/kg. Dažnai imant bandinį degaluose esantis vanduo nepaimamas arba paimama tik jo dalis, nes jis būna neištirpęs, bet laisvojo vandens pavidalu prilipęs prie sienelių ar kaip atskira fazė nusėdęs ant dugno. Jei ištirpęs vanduo įpurškimo sistemos nekenkia, tai laisvasis vanduo jau po trumpo darbo laiko gali pakenkti įpurškimo siurbliui.

Neįmanoma išvengti vandens patekėjimo į degalų baką dėl jo kondensacijos iš oro. Todėl tam tikruose regionuose rekomenduojama naudoti vandens skyriklius. Be to, automobilių gamintojai turi taip sukonstruoti bako ventiliavimo sistemą ir prijungimo atvamzdžius, kad būtų išvengta papildomo vandens patekimo [5].

## **1.1.2. Priedai degaluose**

Dyzelinių degalų kokybei pagerinti plačiai naudojami priedai. Dažniausiai taikomi priedų paketai, kurie turi skirtingą poveikį. Bendra priedų koncentracija yra <0,1 %. Dėl tokios koncentracijos fizinės degalų savybės - tankis, klampa ir virimo sritis - nepasikeičia [3].

### **Tepumą gerinantys priedai**

Blogomis tepimo savybėmis pasižyminčių dyzelinių degalų tepumą galima pagerinti įmaišant riebalų rūgščių, riebalų rūgščių esterių arba glicerino. Biodyzelinas taip pat yra riebalų rūgščių esteris. Todėl į dyzelinius degalus, kurių sudėtyje yra biodyzelino, tepumą gerinantys priedai papildomai nededami [3].

### **Užsiliepsnojimo savybes gerinantys priedai**

Užsiliepsnojimo savybes gerinantys priedai - tai alkoholių azoto rūgšties esteriai, kurie trumpina indukcijos periodą. Taip sumažinama kenksmingų medžiagų emisija ir triukšmas (degimo triukšmas) [5].

### Takumą gerinantys priedai

Takumą gerinančius priedus sudaro polimerinės medžiagos, kurios mažina filtravimosi ribinę vertę. Jie dedami tik žiemą (jei reikia), norint garantuoti variklio darbą be sutrikimų esant žemai temperatūrai. Nors takumą gerinantys priedai nesustabdo parafino kristalų išsiskyrimo iš dyzelinių degalų, tačiau labai smarkiai sumažina jų augimą. Tada susidarantys kristalėliai yra tokie maži, kad dar gali praeiti pro filtro poras [5].

### Detergentai

Tai valymo priedai, kurie dedami, kad neužsiterštų įpurškimo sistema. Detergentai neleidžia susidaryti prielipoms ant detalių paviršiaus bei mažina purkštukų koksavimąsi [5].

### Korozijos inhibitoriai

Korozijos inhibitoriai nusėda ant metalinių detalių paviršių ir patekus vandeniui saugo juos nuo korozijos [5].

### Putojimą mažinantys priedai

Per didelį putojimą greitai pripildant degalų baką galima sumažinti pridedant putojimą mažinančių priedų [5].

Toliau 1.1.2.1 lentelėje pateikiami pagrindiniai dyzelinių degalų priedai ir jų poveikis.

1.1.2.1 lentelė. Dyzelinių degalų svarbiausių priedų poveikis [5]

Priedas		Poveikis
Užsiliepsnojimo savybes gerinantys priedai	→	Padidina cetaninį skaičių.
	↘ ↗	Pagerėja: <ul style="list-style-type: none"><li>• Variklio užvedimas;</li><li>• Sumažėja išmetamų baltų dūmų;</li><li>• Sumažėja variklio triukšmas;</li><li>• Deginių emisija;</li><li>• Sumažėja degalų sąnaudos.</li></ul>
Detergentai	→	Purkštukai išlieka švaresni.
Takumą gerinantys priedai	→	Patikimesnis darbas esant žemai temperatūrai.
Parafinų išsiskyrimą stabdantys priedai	→	Geresnės užvedimo savybės.
Tepumą gerinantys priedai	→	Mažesnis degalų įpurškimo sistemos komponentų dilimas, ypač naudojant mažai sieros turinčius degalus.
Putojimą mažinantys priedai	→	Patogus bako užpildymas.
Korozijos inhibitoriai	→	Apsaugo degalų sistemos komponentus.



## 1.2. Biodyzelinas

### 1.2.1. Biodegalai

**Biodegalai** – tai yra atsinaujinantis energijos šaltinis, biodegalai pagaminti iš biomasės ir naudojami kaip degalai vidaus degimo dyzeliniuose ir kitokiuose varikliuose, dažniausiai automobilių transporto reikmėms [13].

#### **Alternatyvūs degalai**

Alternatyviems dyzeliniams degalams priklauso biologinės kilmės degalai, o platesne prasme - ir iškastiniai degalai, kurie gaminami ne iš naftos. Šiuo metu reikšmingiausi yra augalinių aliejų esteriai.

Alkoholiai (metanolis ir etanolis) dyzeliniuose varikliuose naudojami nedideliais kiekiais ir tik kaip emulsija su dyzeliniais degalais [13].

Automobiliuose ir kitose transporto priemonėse dažniausiai naudojamos biodegalų rūšys:

- bioetanolis;
- biodyzelinas;
- augalinis aliejus;
- bioalyva.

Biodegalai tai pat skirstomi į kartas.

**Pirmos kartos biodegalai** – degalai, kuriuose žaliavai naudojami maistiniai augalai, kuriuose lengvai išgaunamas cukrus, krakmolai ir aliejus. Gamybos metu cukrus fermentuojamas į bioetanolį, o iš jo riebalinių rūgščių transesterifikacijos būdu gaunamas biodyzelinas. Šios pirmos kartos biodegalai turi nemažai problemų, nes jų gamybos apimtys didinimas kelia grėsmes maisto produktų gamybos apimčiai ir bio įvairovei. Tai pat, jų gamyba brangesnė, palyginus su degalų gamyba iš naftos. Kartais šių degalų gamybos metu išsiskiriantis dujų kiekis skatina šiltnamio efektą, poveikis yra didesnis nei mineralinių degalų, bet tik tuo atveju, jeigu vertinamas visas gamybos ciklas, įskaitant visas sąnaudas reikalingas užauginti biomasę, transportuoti ją ir panašiai [13].

**Antros kartos biodegalai** – tai degalai, kuriems gaminti naudojama žaliava yra lignoceliuliozės turinti biomasė. Tai mediena, krūmai ir jų atliekos, tai pat žemės ūkio atliekos, kurios lieka nuėmus derlių (šiaudai, kukurūzų kotai ir kita.) tai pat energetiniai augalai, tokie kaip sora, drambliažolė. Šių žaliavų kiekiai yra labai dideli ir jie maisto produktų gamybai nedaro konkurencijos. Antros kartos biodegalų gamybai sunaudojami ne tik atskiri komponentai, o visa žaliava. Palyginus pirmos ir antros kartos biodegalus, antrosios galima pagaminti žymiai daugiau iš biomasės, užauginamos tokiam pačiame pagal ploto dydį žemės plote.

**Trečios kartos biodegalų** gamintojų tikslas yra pagerinti pačią žaliavą, t. y., sukurti aliejingesnius augalų veisles, pagrinde mokslininkai darbuojasi su atskirais augalų genais, kurie daro įtaką aliejaus gamybai ir panašiai [13].

**Ketvirtos kartos biodegalai** – degalai, kurių gamybai naudojama žaliava iš genetiškai modifikuotų augalų. Augalo gyvavimo ciklo metu iš atmosferos sukaupiamas didelis anglies dioksido kiekis, kuris lieka saugomas augalo šakose, stiebuose ir lapuose. Biodegalai gaminami iš biomasės, kuri apdorojama pasitelkiant biochemines priemones, t.y. genomiškai sintezuotus mikrobus [13].

### 1.2.2. Biodyzelino savybės

**Biodyzelinas** – gaminamas iš augalinio aliejaus ir alkoholio (metanolio arba etanolio), tai augalinio aliejaus esteris, rapsų etilo esteris, rapsų metilo esteris. Jis gali būti naudojamas neperdirbant variklio. Vis dėl to dabatiniu metu automobilių gamintojai neteikia garantijų varikliams, kurie naudoja gryną biodyzeliną [13].

2013 m. biodegalais buvo pakeista 5 % transporte sunaudojamų degalų ir didžiąją dalį sudarė biodyzelinas. Tiek Lietuvos Respublikos atsinaujinančių išteklių įstatymas, tiek poįstatyminiai aktai įpareigoja iki 2020 m. padidinti biodegalų suvartojimą iki 10 % bendro degalų kiekio, todėl būtina ieškoti būdų didinti suvartojamo biodyzelino kiekį, nes jo indėlis, lyginant su bioetanoliu, yra svaresnis. Vienas būdų - biodyzelino įterpimas į mineralinius degalus ištikus metus. Šiuo metu Lietuvos teisės aktuose yra numatyta, kad į mineralinę dyzeliną privaloma įmaišyti 7 % biodyzelino, išskyrus žiemos laikotarpį. Į arktinį dyzeliną įmaišyti biodegalų neprivaloma.

UAB „Rapsoila“ - pirmoji Lietuvoje gamykla, kuri iš lietuviškų rapsų gamina biodyzeliną, glicerolį ir rapsų išspaudas. Būtent šios įmonės biodyzelinas ir bus naudojamas tolesniems tyrimams atlikti [13].

### 1.2.3. Riebalų rūgščių metilo esteris

Riebalų rūgščių metilo esteris (RRME) dar vadinamas biodyzelinu. Tai metanoliu peresterinti augaliniai arba gyvūniniai aliejai ir riebalai. RRME gaminami iš įvairių žaliavų, daugiausiai iš rapsų (RME -rapsų aliejaus metilo esteris, Europoje) ir sojos (SME - sojos aliejaus metilo esteris, JAV). Tačiau taip pat naudojami saulėgrąžų ir palmių aliejai, naudoto maistinio aliejaus ir galvijų taukų esteriai, dažniausiai sumaišyti su kitais RRME. Vietoj metanolio peresterinimui gali būti naudojamas ir etanolis, pvz.: Brazilijoje gaminant sojos aliejaus etilo esterį [15].

RRME naudojamas arba grynas (B 100, t.y. 100 % biodyzelinas), arba įmaišant maksimaliai leistiną RRME 5 % kiekį į mineralinę dyzeliną (B5 mišinys). EN 590 dyzelinių degalų standartas B5 mišinį leidžia [15].

Kadangi blogesnės kokybės RRME naudojimas gali sukelti variklio ir įpurškimo sistemos darbo sutrikimų ir gedimų, Europoje yra nustatyti RRME kokybės reikalavimai (EN 14214), (žr. 1.2.3.1 lentelę). Ypač reikalaujama, kad būtų užtikrintas atsparumas senėjimui (oksidacinis stabilumas) ir

išvengta užteršimo gamybos metu, EN 14214 normos galioja ir RRME grynam (B 100), ir maišomam su kitais dyzeliniais degalais. Įmaišant RRME susidarantis B5 mišinys turi atitikti gryno dyzelino reikalavimus (EN 590) [15].

Gryni, neperesterinti augaliniai aliejai tiesioginio įpurškimo dyzeliniuose varikliuose beveik nebenaudojami, nes iškyla nemažos problemos, visų pirma, didelės augalinių aliejų klampos ir stipraus purkštukų koksavimosi [15].

**1.2.3.1 lentelė. Europos standartas EN 14214; RRME kokybės reikalavimas [15]**

Kriterijus	Vertė	Matavimo vienetas
CFPP <sup>1</sup> (daugiausia 6 klasės)	+5 - -20 <sup>2</sup> )	°C
Plyksnio temperatūra	≥120	°C
Tankis 15 °C temperatūroje	860 - 900	kg/m <sup>3</sup>
Klampa 40 °C temperatūroje	3,5 - 5,0	mm <sup>2</sup> /s
Sieros kiekis	10	mg/kg
Bendras užterštumas	≤24	mg/kg
<sup>1</sup> ) filtravimosi riba		
<sup>2</sup> ) skaičių nustato kiekviena šalis		

### 1.3. Mokslinių straipsnių analizė biodyzelino tematika

Prasidėjus biodyzelino erai dauguma mokslininkų tyrinėjo jo įtaką dyzeliniams varikliams ir nagrinėjo jo skirtumus nuo grynojo dyzelino.

Aptariant medžiagas: naftą ir aliejų, tai jos labai panašios medžiagos, jei nagrinėjamos fizinės savybės – abi medžiagos galima apibūdinti kaip degų, klampų skystį. Tačiau aliejaus cheminės savybės ir jo pritaikymas degalams net ir šiandien sukelia diskusijas, nors daugiau nei dešimtmetį mokslininkai vykdo tyrimus jo panaudojimui transporto srityje. Verta paminėti tai, kad Vokietijoje yra įteisintas benzino su 10 % etanolio gaminimas ir naudojimas. Nagrinėjant eksperimentą masiniu mastu, kuris susijęs su dyzelino maišymu panašiu santykiu su biologinės kilmės priedais, tai jis pradėtas visai neseniai.

Nuo 2009 metų Vokietijos Bundestagas priėmė sprendimą, kad į dyzeliną su biologiniais priedais būtų maišoma 7 % priedų. Tokį mišinį degalinėse vartotojai atskirtų su simboliu B7. Politikus tai verčia būtinai spręsti ekologines problemas, kurios jau vis labiau tampa globalia grėsme. Praktika rodo, kad galimi sprendimai dažnai neįgyvendinami dėl specialistų – transporto priemonių, chemikų ir degalų

gamybos technologų ir pan. – nuomonių, kurios prieštarauja potencialiems sprendimo būdams. Bundestago aplinkos, gamtosaugos ir reaktorių saugumo komitetas, pateikė išvadas, kuriose įvertinta 7 % biodyzelino mišinio rizika. Visi diskusijų dalyviai pasisakė už tai, kad grynas rapsų aliejus tiesioginio įpurškimo dyzelinui netinka. Jį būtina maišyti su metanolium, siekiant, kad jis nebūtų per klampus ir neužšaltų, esant minusinei temperatūrai. Tik atlikus šią procedūrą galima toliau svarstyti apie biodyzelino, tiksliau – rapsų metilo esterio (RME) panaudojimo galimybes [14].

„Chulalongkorn“ universiteto mokslininkai atliko biodyzelino degimo analizę dyzeliniuose varikliuose su netiesioginio ir tiesioginio įpurškimo sistemomis. Jie padarė išvadas, kad biodyzelinas turi aukštą cetaninį skaičių, bet greitesnį užsiliepsnojimą, lyginant su dyzeliniais degalais. Paprastųjų, netiesioginio įpurškimo variklių, didesnis degalų įpurškimo slėgis gali sumažinti variklių degimo triukšmą, dirbant vidutinių ir didelių sukimosi greičio diapazone dėl trumpesnio uždegimo laiko. Šiuolaikiniuose tiesioginio įpurškimo varikliuose su „Common rail“ sistema, šis variklis turi aukštą sukimo momentą dideliame variklio sūkių diapazone. Todėl biodyzelino poveikis yra mažiau juntamas ir cetaninio skaičiaus skirtumas kompensuojamas daugkartiniu įpurškimu. Taip pat atliktas tyrimas degimo laikui degimo kamaroje įvertinti. Tyrime buvo nustatyta, kad biodyzelinas B100 11 % laiko dega trumpiau už gryną dyzeliną B0. Dyzelino ir biodyzelino cetaninis skaičius yra nuo 64 iki 70, dėl to degalų užsidegimas įvyksta greičiau. Esant mažam variklio sukimo greičiui ir didelėms apkrovoms didesnis degalų cetaninis skaičius pagerina degalų konversijos efektyvumą, ir leidžia varikliui išvystyti didesnę sukimo momentą. Todėl, mažas sukimosi greitis ir didelės apkrovos yra specifinis darbo režimas, kai daugiausia įtakos turi biodyzelino aukštesnis cetaninis skaičius [11].

Nagrinėjant Lietuvoje atliktus tyrimus, kurie susiję su biodyzelino poveikiu naujausioms CR įpurškimo sistemoms, verta paminėti Tomo Mickevičiaus daktaro disertacijos tyrimą: „Dyzelino ir biodegalų mišinių savybių įtaka „Common rail“ sistemos įpurškimo procesui“. Šiame darbe atlikti dyzelinio variklio „Common Rail“ degalų įpurškimo sistemos įpurškimo proceso eksperimentiniai ir analitinių skaičiavimų tyrimai. Buvo naudomi dyzeliniai degalai ir įvairūs biodegalų mišiniai. Tyrimuose padarytos išvados, kad etanolio priedai dyzeliniuose degaluose sumažina įpurškimo greitį ir įpurškimo pradžios gaisties trukmę. Buvo iširta, kad purkštuko pralaidumo koeficientas, 100,0 MPa slėgiu įpurškiant dyzelino ir etanolio mišinius E5, E10 ir E15, mažesnis atitinkamai 2,6 %, 6,9 % ir 9,4 %, lyginant su pralaidumo koeficientu, kai buvo įpurškiami gryni dyzeliniai degalai. Prieita prie išvalgos, kad įpurškimas lengvesniais degalais kavitacijos procesui daro įtaką pasireikšti anksčiau ir baigtis vėliau, kas mažina purkštuko pralaidumo koeficientą. Taip pat didesnis procentas etanolio degaluose turi įtakos greitesnio didelio slėgio siurblio mažiausių ir tiksliausių detalių dilimui ir ilgaamžiškumo mažinimui [12].

## 2. DYZELINIŲ VARIKLIŲ DEGALŲ ĮPURŠKIMO „COMMON RAIL“ SISTEMOS PAGRINDAI

Analizuojant trisdešimėčio laikotarpį matoma, jog lengvųjų automobilių ir sunkvežimių eismas, kartu ir iškastinių degalų poreikis beveik padidėjo tris kartus, kas lemia, jog nuodingos deginių emisijos vis labiau kelia globalią grėsmę aplinkai. Nors ir kaip jau minėta, yra nustatytos griežtos emisijos normos vis dėl to oro tarša vis didėja ir viena iš pagrindinių priežasčių yra - augantis energijos poreikis, o ypač – didėjantis naudojamų transporto priemonių kiekis. Emisijų standartai reglamentuoja benzininių ir dyzelinių variklių išmetamų aplinkos teršalų mažinimą. Jie per pastarąjį dešimtmetį buvo smarkiai sugriežtinti. Vadovaujantis šiais standartais, variklių gamintojai turi smarkiai dirbti, kad pasiektų optimalaus variklio efektyvumo ir deginių emisijų santykius. Deginių emisijoms įtaką daro šie rodikliai - variklio tipas, galia ir darbinė apkrova. Kenksmingų medžiagų emisija sumažėja jei degalai visiškai sudega. Užtikrinus įpurškimo proceso tikslumą ir kruopščiai parinkus oro ir degalų mišinį degalus visiškai sudeginti yra įmanoma. Sumažinti ( $\text{NO}_x$ ) ir kietųjų dalelių emisijas yra įvairių būdų. Dažnai išmetamųjų dujų recirkuliacijos sistema taikoma ( $\text{NO}_x$ ) emisijai mažinti, tačiau atsiranda šalutiniai efektai: didėja kietųjų dalelių emisija, tai pat atsiranda suodžių sankaupos ant variklio oro įsiurbimo elementų, dėl to mažėja variklio patvarumas. Taikant deginių recirkuliacijos sistemą, išmetamosios dujos dar kartą patenka į deginimo kamerą kartu su šviežiu oru, dėl to degimo mišinyje yra mažiau deguonies. Mažesnis oro kiekis lemia sumažėjusį oro bei degalų santykį. Maksimali ciklo temperatūra gali būti sumažinta papildomais deginiais, kurie padidina įsiurbiamo mišinio savitąją šilumą. Dėl mažo oro kiekio ir mažesnės išmetamųjų dujų temperatūros ( $\text{NO}_x$ ) susidarymo greitis sumažėja, o kietųjų dalelių emisija padidėja, be to, sumažėja variklio galia. Emisijos gali būti sumažintos ir kitokiu būdu, pavyzdžiui, panaudojant išmetamųjų dujų sistemoje papildomus prietaisus: kietųjų dalelių filtrą ir selektyvinę katalitinę redukavimo sistemą. Kietųjų dalelių filtrų paskirtis surinkti iš išmetamųjų dujų dyzelino kietąsias detales ir suodžius, selektyvinė katalitinė redukavimo sistema sugeba katalitinėmis reakcijomis paversti ( $\text{NO}_x$ ) emisiją į azotą ir vandenį. Tačiau priežiūra šių prietaisų reikalauja nemažų išlaidų nepaisant to, kad papildomo apdorojimo prietaisai sumažina ( $\text{NO}_x$ ) ir kietųjų dalelių emisijas. Mokslininkai įrodė, kad efektyvus degimo procesas kartu su variklio dinamika yra glaudžiai susijusi su degalų išpurškimo į degimo kamerą charakteristika: garavimo, degiojo mišinio susidarymo ir šilumos susidarymo degant degalams dėsningumui. Atsižvelgus į šią charakteristiką ir įvykdant degalų išpurškimo optimizaciją, įmanoma efektyviau sumažinti kenksmingas variklio deginių emisijas. Precizinė kontrolė: degalų slėgio, išpurškimo greičio ir išpurškimo pradžios laiko, naudojant naujausios lartos „Common rail“ degalų įpurškimo sistemą, leidžia sumažinti azoto oksido emisijas ir kietųjų dalelių susidarymą, bei variklio skleidžiamą garsą. Elektroninė degalų įpurškimo sistema ir variklio savybės: tokia kaip įpurškimo laikas, įpurškimo greičio grafiko forma, išpurškimo į degimo kamerą savybės, turi milžinišką įtaką norint kontroliuoti parametrus ir deginių emisijas varikliui dirbant [4].

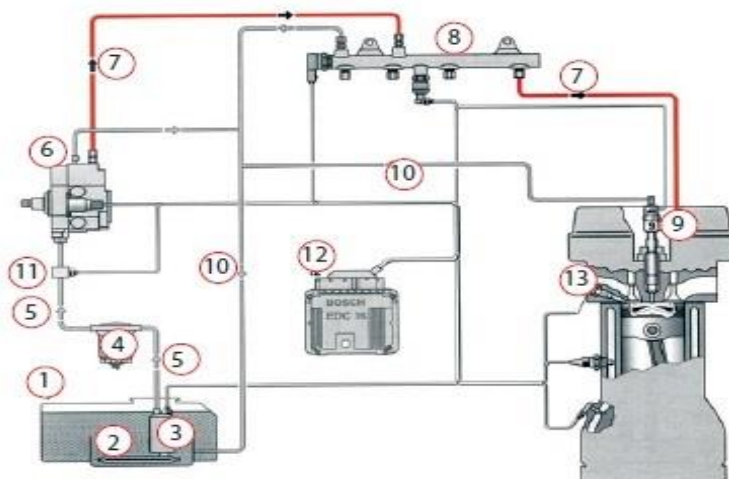
Pirmasis CR sistemos prototipas išrastas šveicarijos mokslininkų 1960 metais. 1990 - 1995 metais, didelis įdirbis atliktas „Magneti Marelli“ ir „Fiat“ kompanijos inžinierių. 1995 metais „Denso Corporation“ sukūrė krovininį sunkvežimį "Hino Raising Ranger" su savo „Common rail“ sistema ECD-U2.

Verta atkreipti dėmesį į tai kaip intensyviai „Bosch“ kompanijos specialistai dirbo su CR projektu, būtent šioje kompanijoje buvo sukurta šios sistemos serijinė gamyba lengviesiems automobiliams. Jau šimtą metų visi inovatyvūs atradimai automobilių technologijos srityje siejami su „Bosch“ vardu.

Pirmasis lengvasis automobilis su „Bosch“ CR sistema 1997 metais pagamintas yra „Alfa Romeo 156 1.9JTD“. Tais pačiais metais ši sistema buvo įdiegta ir į „Mercedes-Benz E 320 CDI“. „Common rail“ sistema savo veikimo principu panaši į benzininio variklio daugtaškį įpurškimo sistemą. Aukšto slėgio siurblys iš degalų bako degalus gauna žemo slėgio siurbliuko pagalba. Iš aukšto slėgio siurblio degalai patenka į aukšto slėgio vamzdį - skirstytuvą, iš čia degalai tiekiami į kiekvieno cilindro elektrohidraulinį purkštuvą. Purkštuvus valdo variklio valdymo kompiuteris, kuris įvertiną visų variklio jutiklių parametrus ir parenka optimaliausia įpurškimo laiką ir kiekį. Palyginus su skirstomaisiais ar sekcijiniais siurbliais, konstrukcija paprastesnė [12].

## 2.1. „Common rail“ sistemos veikimo principas

Toliau analizuojamas „Common rail“ sistemos veikimo principas, kuris pavaizduotas 2.1.1 pav.



2.1.1 pav. „Common rail“ sistemos veikimo principas

**Žymėjimai:** 1 – degalų bakas; 2 - pirminis degalų filtras; 3 - žemo slėgio degalų siurblys; 4 - degalų filtras; 5 - žemo slėgio degalų vamzdeliai; 6 - aukšto slėgio degalų siurblys; 7 - aukšto slėgio degalų vamzdeliai; 8 - aukšto slėgio degalų rezervuaras; 9 - purkštuvai; 10 - grįžtamasis degalų vamzdelis; 11 - degalų temperatūros jutiklis; 12 - elektroninis valdymo blokas; 13 - kaitinimo žvakė.

Vienas iš CR sistemos elementų aukšto slėgio siurblys. Iki dabar „Bosch“ jau pagamino aukšto slėgio siurblius: CP1,CP2,CP3,CP4. Maksimalus slėgis kurį siurblys siekia yra 1100 - 2700 Bar, priklausomai nuo tipo [5].

Didelis slėgis išpurškiamų degalų leidžia degalus išpurkšti garų pavidalu. Tokie degalai lengvai maišo su oru ir nereikalauja jokio papildomo išgarinimo. Dėl šitokio slėgio CR sistemos nelabai reiklios žvakių pakaitinimui jeigu temperatūra nėra labai žema.

„Bosch“ firmos siurblio konstrukciją sudaro trys stūmokliai, kurie yra išdėstyti vienoje plokštumoje kas  $120^\circ$ . Variklio darbo metu siurblio degalų slėgis pastoviai keičiasi, nes jis yra sukamas per grandinę, krumpliaračius arba diržą: kuo aukštesni apsisukimai - tuo didesnis slėgis. Varikliu dirbant laisvomis apskukomis apie 800 aps/min metu CP1 siurblys sudaro apie 350 bar slėgį, o variklio užvedimui reikia mažiausiai 250 bar slėgio.

Tikslų degalų slėgį skirstymo vamzdyje palaiko slėgio vožtuvas - DRV. Pirmoje CR sistemoje slėgio vožtuvas yra sumontuotas degalų skirstymo vamzdžio gale, o CP3 aukšto slėgio siurblyje vožtuvas yra sujungtas tiesiogiai su siurbliu. Norint sumažinant slėgį, kompiuteris duoda signalą ir atidaro slėgio vožtuvą ir degalų perteklius grąžinamas į baką [5].

Skirtingai negu benzininių variklių įpurškimo sistemos, elektromagnetinį purkštuvą valdo ne tiesiogiai, o per degalų hidraulinį kanalą. Atidarant arba uždarant šį kanalą atitinkamai leidžiama įpurkšti degalus arba uždaryti purkštuvą. Netiesioginis valdymas būdas naudoti žymiai kompaktiškesnius elektromagnetinius ar pjezoelektrinius valdymo vožtuvus kuriems nereikia daug energijos. Greitam veikimui purkštovo pavaros atidarymui reikalinga maždaug 90V įtampa. Purkštovo tarnavimo laikas yra apie vienas milijardas įpurškimo taktų, bet dažniausiai, būtent dėl to atsiranda gedimai susidėvėjus kanalo uždarymo ir slėgio sandarinimo dalims: spyruoklėms ir šaratakui. Nuo smūgių šitos dalys susidėvi 2 - 4 kartus greičiau nei kitos purkštovo dalys. Taip pat purkštovas nuo nekokybiškų degalų gali greitai užsiteršti. Purkštovo adatos išpurškimo skylutės labai nedidelės - apie 1 - 1,5  $\mu\text{m}$  [5].

Dažniausia CR aukšto slėgio siurbliui degalai tiekiami iš žemo slėgio elektrinio siurblio, kitu atveju pats aukšto slėgio siurblys turi įmontuotą mechaninę žemo slėgio pompą. Daugumoje automobilių žemo slėgio siurblys yra įmontuotas degalų bake.

Dyzeliniam variklyje, kuris turi tiesioginį degalų įpurškimą, degimo procesas cilindre įvyksta kaip sproginimas, sukiantis labai staigų slėgio šuolį degimo kameroje, dėl to variklis dirba daug garsiau. Degimo procesui švelninti, buvo išrasti dviejų pakopų dyzeliniai purkštuvai, kurie kelis kartus įpurškdamo kura vieno takto metu su šiais purkštuvais variklis dirbo tyliau.

Gebėjimas elektromagnetiniams purkštuvams greitai veikti dar labiau leido patobulinti dyzelinių degalų dozavimo į degimo kamerą procesą. Visas įpurškimo ciklas yra padalintas į kelias atskiras dalis. Naudojant mažą degalų kiekį prieš pagrindinį įpurškimą, leidžia žymiai sumažinti triukšmą ir vibracijas, o dar vienas įpurškimas po pagrindinio įpurškimo leidžia sumažinti teršalų išmetimą.

Šiuolaikiniuose varikliuose su pačia naujausia CR sistema, įpurškimo taktas gali būti padalintas į 10 atskirų įpurškimų. Toliau tobulinant šią degalų sistemą atsirado poreikis vis greitesnių dyzelinių purkštuvų. Nuo 2000 metų firma „Siemens VDO“ pradėjo įdieginėti į purkštuvus pjezoelementus. Pjezoelementai turi savybę deformotis veikiant elektros srovei. Gavęs reikiamos įtampos signalą, pjezoelementas deformuojasi ir pastumia purkštuvo antgalio adatą, taip uždarydamas degalų padavimą į kanalą. Degalų padavimo greitis tiesiogiai priklauso nuo to, kiek pjezoelemento pailgėjimas užtrunka ir priešingai kiek sutrumpėjimas užtrunka. Purkštuvai su pjezoelementu greičiau ir tiksliau įpurškia norimą degalų kiekį ir, yra labiau kompaktiškesnis už elektromagnetinį. Tokie purkštuvai turi mažiau judamų detalių, todėl mažiau susidėvi. Tačiau praktikoje purkštuvai su pjezoelementais genda tiek pat dažnai kaip ir elektromagnetiniai. Taip pat purkštuvai su pjezoelementu yra praktiškai neremontuojami.

Naudojant purkštuvus su pjezoelementu degalų sąnaudos gali sumažėti iki 20 %. 2005 metais „Siemens VDO“ ir „Bosch“ kompanijos buvo apdovanotos prestižiniais apdovanojimais: "Germany Future Prize" už pasiekimus taikant pjezoelementų technologiją benzininiuose ir dyzeliniuose purkštuvuose. Visos didžiausios dyzelinės įrangos gamintojos: „Bosch“, „Denso“, „Delphi“ ir „Siemens“ savo tolimesnius projektus sieja tik pjezo purkštuvais.

Šiuo metu beveik visos automobilių gamyklos į savo dyzelinius variklius montuoja tik CR sistemą.

Viena iš CR sistemos trūkumų – labai aukšti reikalavimai dyzelinui. Amerikoje dėl žemos dyzelino kokybės lengvuosiuose automobiliuose rečiau naudojama CR sistema. Dėl nekokybiškų degalų, o taip pat ir biodegalų naudojimo, dažnai užsiteršia purkštuvai.

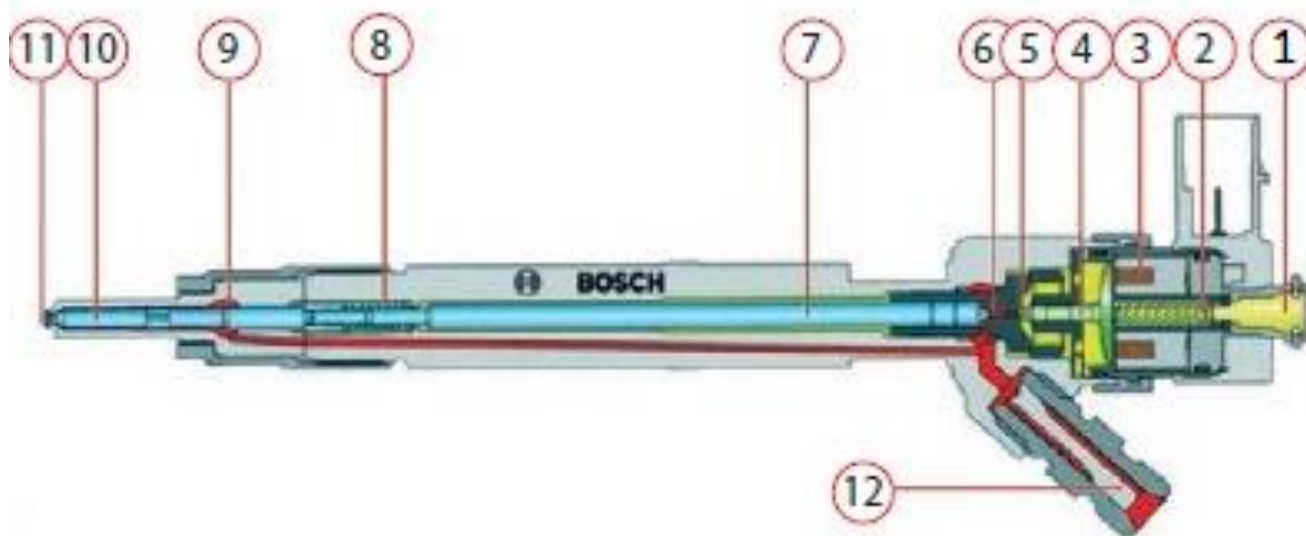
## **2.2. Elektromagnetiniai purkštuvai**

Dyzelinių degalų „Common rail“ įpurškimo sistemoje purkštuvai trumpais didelio slėgio degalų vamzdeliais sujungti su degalų slėgio akumuliatoriumi. Purkštuvus degimo kameroje sandarina varinės tarpinės. Purkštuvai tvirtinimo elementais įtvirtinti cilindro galvutėje. CR purkštuvai, atsižvelgiant į purkštukų konstrukcijas, pritaikyti montuoti į tiesioginio įpurškimo dyzelinius variklius vertikalia ar pasvira padėtimi.

Sistemos ypatybė - sukuriamas įpurškimo slėgis nepriklausomai nuo variklio apsisūkimų ir įpurškiamų degalų kiekio. Įpurškimo pradžia ir įpurškiamų degalų kiekis keičiami elektra valdomais purkštuvais. Įpurškimo momentą valdo elektroninės dyzelinio variklio valdymo sistemos (EDC) kamplaikio sistema. Tam reikalingi du sūkių dažnio jutikliai ant alkūninio veleno ir skirstymo veleno, kad būtų galima atpažinti cilindrus (fazių atpažinimas). Dyzelinių variklių deginių toksiškumo ir triukšmo mažinimas reikalauja optimalaus mišinio paruošimo, todėl purkštuvai privalo įpurškėti labai mažus pagalbinius degalų kiekius ir turi būti pritaikyti daugkartiniam įpurškimui.



Toliau 2.2.1 pav. pateikiama firmos „Bosch“ elektromagnetinio purkštovo sandara.



**2.2.1 pav. Firmos „Bosch“ elektromagnetinio purkštovo sandara:**

1 - grįžtamųjų degalų jungtis; 2 - spyruoklė; 3 - elektromagnetinė ritė; 4 - elektromagnetinis inkaras; 5 - vožtuvo rutuliukas; 6 - vožtuvo valdymo kamera; 7 - stūmiklis; 8 - purkštuko adatos spyruoklė; 9 - antgalio kamera; 10 - antgalio adata; 11 - įpurškimo adata; 12 - suslėgtų degalų tiekimo jungtis.

### **Elektromagnetinio purkštovo sandara**

Purkštuvą galima padalyti į atskirus funkcinis blokus:

- daugiasrautį purkštuką;
- hidraulinę stiprinimo sistemą;
- elektromagnetinį vožtuvą.

Degalai nuo didelio slėgio jungties tiekiami įtekėjimo kanalu prie purkštuko, taip pat pro įtekėjimo droselį į valdymo ertmę. Valdymo ertmė ištekėjimo droseliu, kurį gali atidaryti elektromagnetinis vožtuvas, sujungta su degalų nupylimo kanalu.

### **Veikimo principas**

Veikiant varikliui ir tiekiant degalus didelio slėgio siurbliui, purkštovo veikimą galima suskirstyti į keturis režimus:

- purkštuvus uždarytas (jį veikia didelis slėgis);
- purkštuvus atsidaro (įpurškimo pradžia);
- purkštuvus visiškai atidarytas;
- purkštuvus užsidaro (įpurškimo pabaiga).

Šie režimai gaunami paskirstant purkštovo elementus veikiančias jėgas. Kai variklis neveikia ir akumuliatoriuje slėgio nėra, purkštuvą uždaro purkštuko spyruoklė.

Purkštuvus uždarytas (ramybės būsenai). Esant ramybės būsenai purkštuvui valdymo signalas netiekiamas. Elektromagnetinio vožtuvo spyruoklė spaudžia vožtuvo rutuliuką prie ištekėjimo droselio

lizdo. Valdymo ertmėje slėgis padidėja iki degalų slėgio akumuliatoriuje. Toks pat slėgis veikia ir purkštuko kameros tūryje. Į valdymo plunžerio galinį paviršių veikianti slėgio akumuliatoriuje jėga ir purkštuko spyruoklės jėga laiko purkštuko adatą uždarytą, nugalėdamos atidarantią jėgą, kuri veikia į pastarosios slėgio kūgį.

Purkštuvas atsidaro (įpurškimo pradžia). Purkštuvas yra ramybės būsenoje. Elektromagnetiniam vožtuvui tiekama „įtraukimo srovė“, kuri reikalinga greitam elektromagnetinio vožtuvo atidarymui. Reikalingi trumpi įjungimo laikai pasiekiami atitinkama valdymo bloko elektromagnetinio vožtuvo valdymo aukštomis įtampomis ir didelėmis srovėmis sistema.

Dabar jau įjungto elektromagneto magnetinė jėga nugalė vožtuvo spyruoklės jėgą. Inkaras pakelia vožtuvo rutuliuką nuo lizdo ir atidaro ištekėjimo droselį. Po trumpo laiko didelė įtraukimo srovė sumažinama iki nedidelės elektromagneto palaikymo srovės. Atsidarius ištekėjimo droseliui, degalai iš valdymo ertmės gali ištekėti į virš jos esančią ertmę ir degalų nupylimo kanalą į baką. Įtekėjimo droselis neleidžia slėgiams visiškai susilyginti. Taigi slėgis valdymo ertmėje mažėja. Dėl to slėgis valdymo ertmėje tampa mažesnis už slėgį purkštuko kameros ertmėje, kuris vis dar lygus slėgiui akumuliatoriuje. Mažėjant degalų slėgiui valdymo kameros ertmėje, sumažėja valdymo plunžerį veikianti jėga, todėl purkštuko adata pakyla. Įpurškimas prasideda.

Purkštuvas visiškai atidarytas. Purkštuko adatos pakilimo laikas ir greitis priklauso nuo degalų debito skirtumo pro įtekėjimo ir ištekėjimo droselius. Valdymo plunžeris pasiekia viršutinę atramą ir ten pasilieka, atsirėmęs į degalų pagalvę (hidraulinė atrama). Pagalvę sudaro degalų srautas, kuris nusistovi tarp įtekėjimo ir ištekėjimo droselių. Purkštuvas dabar yra visiškai atidarytas. Degalai įpurškiami į degimo kamerą slėgiu, kuris artimas slėgiui akumuliatoriuje.

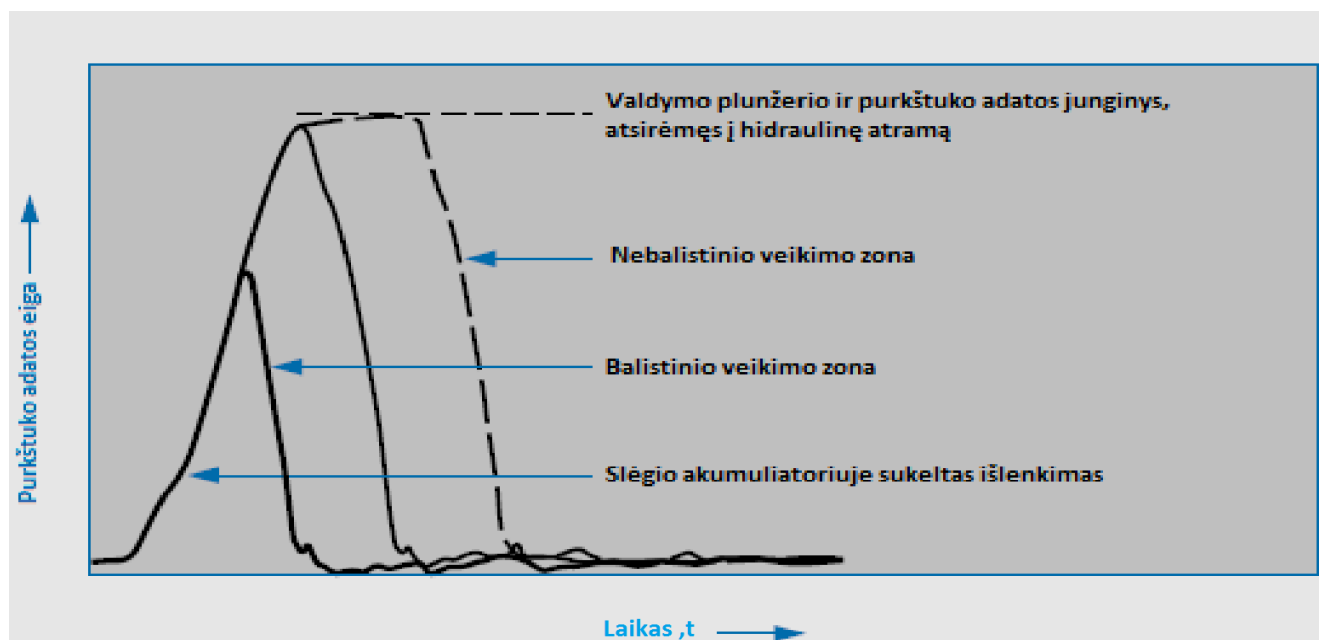
Jėgų pasiskirstymas purkštuve panašus į jėgų pasiskirstymą atidarymo fazės metu. Įpurkštų degalų kiekis, esant duotam slėgiui, proporcingas elektromagnetinio vožtuvo įjungtos padėties trukmei ir nepriklauso nuo variklio arba siurblio sūkių dažnio (laiko trukme valdomas įpurškimas).

Purkštuvas užsidaro (įpurškimo pabaiga) - išjungus elektromagnetinį vožtuvą, vožtuvo spyruoklė spaudžia inkarą žemyn, todėl vožtuvo rutuliukas uždaro ištekėjimo droselį. Uždarius ištekėjimo droselį, pro įtekėjimo droselį įtekantys degalai valdymo ertmėje vėl sukuria tokį patį slėgį, kaip ir akumuliatoriuje. Padidėjęs slėgis didesne jėga spaudžia valdymo plunžerį. Ši jėga iš purkštovo valdymo ertmės ir purkštuko spyruoklės jėga dabar nugalė purkštuko adatą keliančią jėgą ir purkštukas uždaromas. Įtekėjimo droselio pralaidumas nulemia purkštuko uždarymo greitį. Įpurškimas baigiasi, kai purkštuko adata vėl pasiekia purkštuko korpuso lizdą ir uždaro įpurškimo skylutes.

Šis netiesioginis purkštuko adatos valdymas hidrauline jėgos sustiprinimo sistema naudojamas todėl, kad purkštuko adatai greitai atidaryti reikalingų jėgų elektromagnetiniu vožtuvu tiesiogiai gauti negalima. Greita įpurškiamo degalų kiekio papildomai reikalingas „valdymo kiekis“ pro valdymo ertmės droselius patenka į degalų nupylimo kanalą.

Prie valdymo kiekio prisideda pro purkštuko adatą ir vožtuvo plunžerio kreipiamąją pratekančių degalų kiekis. Valdymo ir pratekančių degalų kiekiai nupylimo kanalu ir magistraliniu vamzdeliu, prie kurio prijungtas praleidimo vožtuvas, didelio slėgio siurblys ir slėgio reguliavimo vožtuvas, grąžinami atgal į degalų baką.

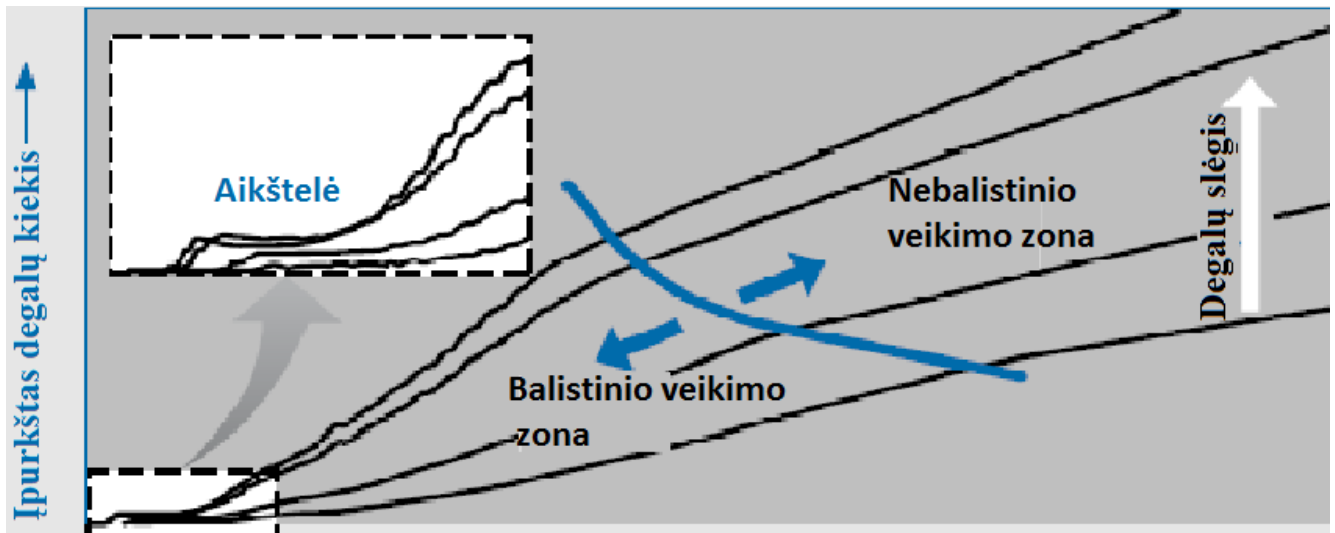
Toliau 2.2.2 pav. pavaizduotos purkštovo su eigos atrama purkštuko adatos eigų charakteristikos.



2.2.2 pav. Purkštovo su eigos atrama purkštuko adatos eigų charakteristikos [5]

### Charakteristikų variantai. Charakteristikos su kiekio aikštelėmis

Purkštuvų charakteristikose galima išskirti balistinio ir nebalistinio veikimo zonas. Esant pakankamai ilgai įjungimo trukmei, valdymo plunžerio ir purkštuko adatos junginys pasiekia hidraulinę atramą ( 2.2.2 pav.). Zona, kol purkštuko adata pasiekia maksimalią eigą, yra balistinio veikimo zona. Kiekio charakteristikoje, kuri vaizduoja įpurškiamų degalų kiekio priklausomybę nuo įjungimo trukmės (žr. 2.2.3 pav.), balistinio ir nebalistinio veikimo zonas skiria staigus charakteristikos lūžis. Kita kiekio charakteristikos ypatybių aikštelė esant mažoms įjungimo trukmėms. Ši aikštelė susidaro dėl elektromagneto inkaro vibracijų atidarant. Šioje zonoje įpurškiamų degalų kiekis nepriklauso nuo įjungimo trukmės. Todėl galima stabiliai pasiekti mažus įpurškiamų degalų kiekius. Tik pasibaigus inkaro vibracijoms, pasiekiamas tiesiškas įpurškiamų degalų kiekio didėjimas, didėjant įjungimo trukmei [5].



2.2.3 pav. Purkštovo su eigos atrama įpurškiamų degalų kiekio charakteristikos [5]

Mažo degalų kiekio įpurškimai (trumpa įjungimo trukmė) buvo pradėti naudoti kaip pagalbina įpurškimai triukšmui sumažinti. Papildomi įpurškimai po pagrindinio įpurškimo pagerina suodžių oksidaciją tam tikrose darbo režimų srityse [5].

Charakteristikos be kiekio aikštelių, kad deginių toksiškumas atitiktų vis griežtėjančias normas, buvo pradėtos naudoti purkštuvų įpurškiamų kiekų išlyginimo (PKI) ir nulinio kiekio kalibravimo (NKK) funkcijoms, taip pat trumpi tarpai tarp pagalbinių, pagrindinio ir papildomo įpurškimų. (PKI) funkcija galima tiksliai nustatyti purkštuvų be aikštelės zonos pagalbinių įpurškimo kiekį. (NKK) funkcija galima koreguoti įpurškiamo degalų kiekio dreifą mažų slėgių zonoje eksploatacijos metu. Šių abiejų sistemos funkcijų naudojimo būtina sąlyga yra pastovus tiesiškas kiekio didėjimas, t. y. įpurškiamų degalų kiekio charakteristika be aikštelės (2.2.4 pav.). Jei papildomai valdymo plunžerio ir purkštuko adatos junginys vardiniam režime nesiekia atramos, tai pasiekiamas visiškai balistinis valdymo plunžerio veikimas be degalų kiekio charakteristikos išlinkimo [5].



2.2.4 pav. Purkštovo be eigos atramos įpurškiamų degalų kiekio charakteristikos [5]

## **Purkštuvų variantai**

Skiriamos dvi elektromagnetinių purkštuvų elektromagnetų konstrukcijos:

- purkštuvai su vienos dalies inkaru (1 spyruoklės sistema);
- purkštuvai su dviejų dalių inkaru (2 spyruoklių sistema).

Garantuojami trumpi tarpai tarp įpurškimų, kai uždarant inkaras labai greitai grįžta į ramybės būseną. Tai geriausiai realizuojama dviejų dalių inkaru su papildomos eigos atrama. Uždarymo metu inkaro plokštelė juda žemyn. Inkaro plokštelės spyruokliavimą riboja papildomos eigos atrama, todėl visas inkaras greičiau grįžta į ramybės padėtį. Atskyrus mases prie inkaro ir suderinus parametrus, inkaro atšokimai uždarant baigiasi greičiau. Todėl dviejų dalių inkaru galima pasiekti trumpesnius tarpus tarp dviejų įpurškimų.

## **2.3. Pjezoelektrinis purkštuvas**

Sandara ir reikalavimai: pjezoelektrinio purkštuvo sandarą schematiškai galima suskirstyti į šias grupes:

- aktyvatoriaus modulį;
- hidraulinę sąsają arba perdavą;
- valdymo arba sekos vožtuvą;
- purkštuko modulį.

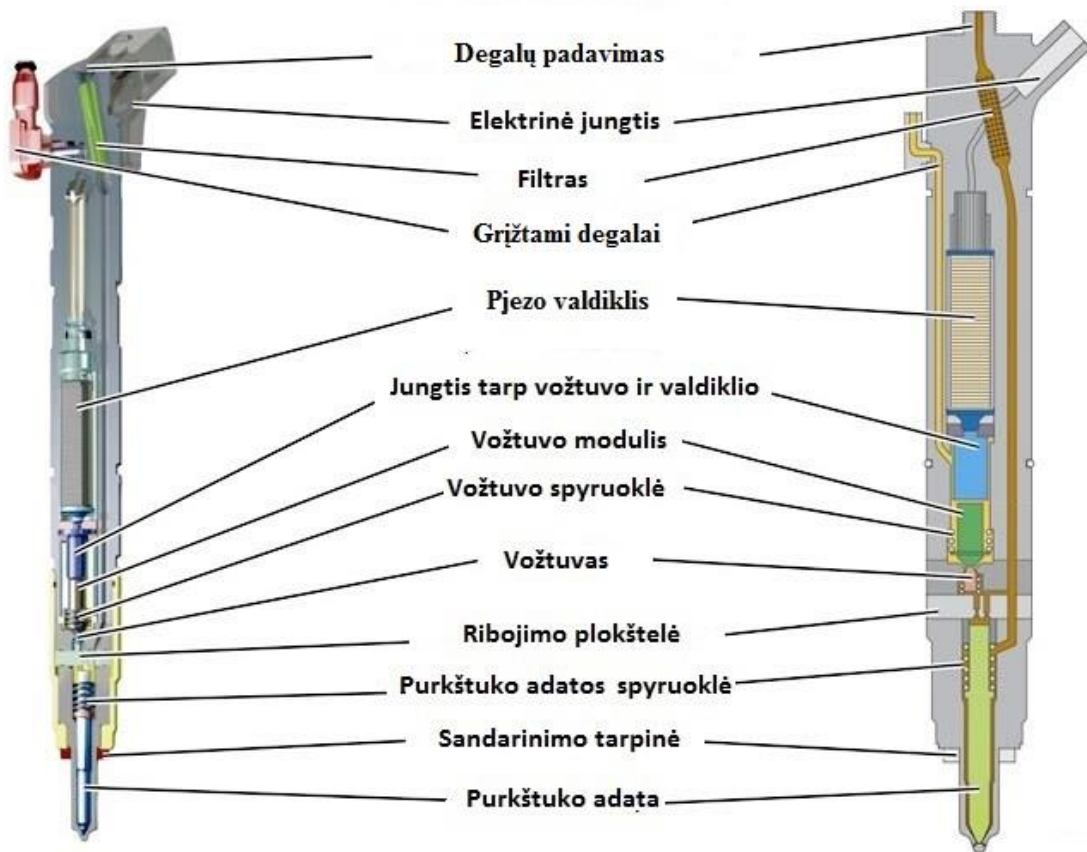
Kuriant purkštuvą stengiamasi pasiekti didelį bendrą pavaros grandinės, sudarytos iš aktyvatoriaus, hidraulinės sąsajos ir valdymo vožtuvo, standumą. Kita konstrukcinė ypatybė - nebėra purkštuko adatą veikiančių mechaninių jėgų, kurias iki tol naudotuose elektromagnetais valdomuose purkštuvuose sukurdavo valdymo plunžeris. Šiomis priemonėmis buvo efektyviai sumažintos judančios masės bei trintis ir, palyginus su tradicinėmis sistemomis, pagerintas purkštuvo stabilumas bei sumažintas įpurškimo nukrypimas.

Papildomai ši sistema gali pasiekti labai trumpus atstumus („hidraulinį nulį“) tarp įpurškimų. Degalų dozavimo procesas gali būti sudarytas taip, kad vienam darbo ciklui skiriama iki penkių įpurškimų ir taip priderinama prie variklio darbo režimo reikalavimų.

Valdymo vožtuvą priartinus prie purkštuko adatos, adata tiesiogiai reaguoja į aktyvatoriaus suveikimą. Uždelsimo trukmė nuo elektrinio valdymo signalo pradžios iki purkštuko adatos hidraulinės reakcijos lygio maždaug 150 milisekundžių. Taip galima įvykdyti vienas kitam prieštaraujančius didelio adatos greičio ir kartu mažiausių atkartojamų įpurškimų realizavimo reikalavimus.

Be to, veikimo principas nereikalauja purkštuke tiesioginio degalų nupylimo iš didelio slėgio kontūro į mažo slėgio kontūrą. Dėl to padidėja visos sistemos hidraulinis naudingumo koeficientas [10].

Toliau 2.3.1 pav. pavazduota pjezoelektrinio purkštuvo sandara.



**2.3.1 pav. Pjezoelektrinio purkštuvo sandara**

### **Veikimo principas**

Pjezoelektrinio purkštuvo purkštuko adata valdoma netiesiogiai sekos vožtuvu. Norimas įpurškti degalų kiekis reguliuojamas vožtuvo įjungimo trukme. Kai valdymo signalas netiekiamas, aktyvatorius yra išėitęs padėtyje su uždarytu sekos vožtuvu, t. y. didelio slėgio kontūras atskirtas nuo mažo slėgio kontūro.

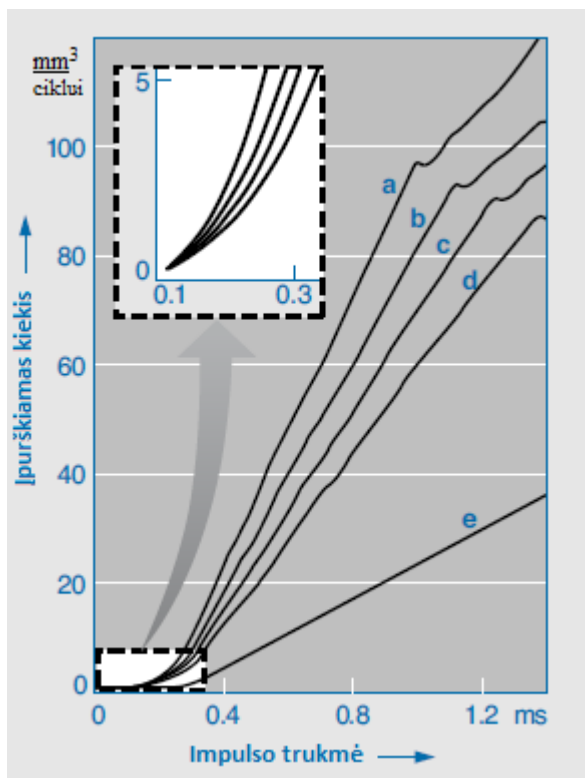
Valdymo ertmėje veikiantis akumulatoriaus slėgis laiko purkštuką uždarytą. Įjungiant pjezo aktyvatorių, atidaromas sekos vožtuvas ir uždaromas praleidimo kanalas. Dėl ištekėjimo ir įtekėjimo droselių pralaidumo skirtumo slėgis valdymo ertmėje mažėja ir purkštukas atidaromas. Valdant ištekantis degalų kiekis pro sekos vožtuvą teka į visos sistemos mažo slėgio kontūrą.

Kad būtų pradėtas uždarymo procesas, aktyvatorius iškraunamas ir sekos vožtuvas vėl atidaro praleidimo kanalą. Dabar pro įtekėjimo ir ištekėjimo droselius priešinga kryptimi valdymo ertmė užpildoma ir slėgis joje didėja. Kai tik pasiekiamas reikiamas slėgio lygis, purkštuko adata pradeda judėti ir įpurškimo procesas baigiamas.

Dėl tokios vožtuvo konstrukcijos ir vykdymo sistemos didesnės dinamikos gaunama, palyginti su tradicinės sandaros purkštuvais, t. y. su valdymo plunžeriu ir 2/2 vožtuvu, ženkliai mažesnė purškimo trukmė. Tai teigiamai veikia deginių emisiją ir variklio galią. Dėl variklio reikalavimų EU4 atžvilgiu

purkštuvu charakteristikos buvo optimizuotos koregavimo funkcijoms (purkštuvų įpurškiamų degalų kiekio išlyginimui ir nulinio kiekio kalibravimui) panaudoti. Taip pagalbinį įpurškimą galima atlikti bet kaip, o purkštuvui veikiant visiškai balistiškai, degalų kiekio išlyginimo funkcija degalų kiekio netolygumą charakteristikoje gali sumažinti iki minimumo [10].

Toliau pateikiami įpurškiamų degalų kiekiai esant įvairiems slėgiams: a – 1600 bar; b – 1200 bar; c – 1000 bar; d – 800 bar; e – 250 bar (žr. 2.3.2 pav.).



2.3.2 pav. Įpurškiamų degalų kiekiai esant įvairiems slėgiams: [5]

a – 1600 bar; b – 1200 bar; c – 1000 bar; d – 800 bar; e – 250

### Hidraulinės sąsajos veikimas

Kitas pagrindinis pjezoelektrinio purkštuvu konstrukcinis elementas yra hidraulinė sąsaja, kuri turi atlikti tokias funkcijas:

- perduoti ir sustiprinti aktyvatoriaus eigą;
- kompensuoti galintį atsirasti (pvz., dėl šiluminio plėtimosi) tarpelį tarp aktyvatoriaus ir sekos vožtuvo;
- „Fail-safe“ funkciją (automatinį apsauginį įpurškimo išjungimą elektrinio gedimo atveju).

Aktyvatoriaus modulį ir hidraulinę sąsają supa dyzeliniai degalai, kurių slėgis lygus -10 bar. Kai aktyvatoriui netiekiamas valdymo signalas, hidraulinėje sąsajoje slėgis yra pusiausvyroje su jį supančių degalų slėgiu. Temperatūros svyravimų sukelti ilgio pokyčiai kompensuojami nedideliais pratekėjimais pro tarpelius tarp abiejų plunžerių ir jų kreipiamųjų. Todėl visą laiką išlaikomas aktyvatoriaus ir sekos

vožtuvo jėginis sujungimas. Dabar norint gauti įpurškimą, aktyvatoriui tol tiekama įtampa (110 - 150 V), kol pažeidžiama įjungimo vožtuvo ir aktyvatoriaus jėgų pusiausvyra. Dėl to slėgis sąsajoje didėja, o nedidelis pratekančių degalų kiekis teka pro plunžerių kreipiamąsias iš sąsajos į purkštovo mažo slėgio kontūrą. Kai įjungimo trukmė lygi kelioms milisekundėms, dėl to atsirandantis slėgio kritimas sąsajoje neturi įtakos purkštovo veikimui.

Kai įpurškimo procesas baigiasi, hidraulinė sąsaja turi būti vėl užpildoma trūkstamu degalų kiekiu. Dabar tai vyksta priešinga kryptimi: pro plunžerio kreipiamosios tarpelį, veikiant slėgių hidraulinėje sąsajoje ir purkštovo mažo slėgio kontūre skirtumui. Kreipiamosios tarpelis ir mažo slėgio lygis taip suderinami, kad iki kito įpurškimo ciklo hidraulinė sąsaja būtų vėl visiškai užpildyta [5].

### **„Common rail“ pjezoelektrinio „in-line“ purkštovo valdymas**

Purkštuvą valdo variklio valdymo blokas, kurio galinė pakopa sukurta specialiai šiems purkštuvams. Pagal priderintą darbo režimui reikalingą slėgį akumuliatoriuje nustatoma reikiama valdymo įtampa. Srovė tiekama impulsais, kol pasiekiamas minimalus reikiamos ir valdymo įtampų nukrypimas. Įtampos didėjimas proporcingai paverčiamas pjezo aktyvatoriaus eiga. Hidrauline pavara aktyvatoriaus eiga didina slėgį sąsajoje, kol pažeidžiama valdymo vožtuvą veikiančių jėgų pusiausvyra ir vožtuvas atsidaro. Kai tik valdymo vožtuvas pasiekia galinę padėtį, slėgis valdymo kameroje virš purkštuko adatos pradeda mažėti ir įpurškimas prasideda [9].

Pjezoelektrinio „in-line“ purkštovo privalumai:

- Daugkartinis įpurškimas su keičiama įpurškimo pradžia ir laiko tarpais tarp atskirų įpurškimų;
- Labai maži pagalbinio įpurškimo degalų kiekiai;
- Mažas purkštovo dydis ir svoris (270 g. vietoje 490 g.);
- Mažas triukšmas (-3 dB [A]).
- Mažesnės degalų sąnaudos (-3 %).
- Mažesnė kenksmingų medžiagų emisija (-20 %);
- Variklio galios padidėjimas (+7 %). [9]



### 3. ANALITINIS PURKŠTUKO ĮPURŠKIMO PARAMETRŲ SKAIČIAVIMAS

Analitiniai skaičiavimai atlikti pagal konkrečius purkštuko antgalio (purkštuko) parametrus, iš šių parametrų apskaičiuoti įpurškimo parametrai iš hidraulinių - mechaninių sistemos dinamikos lygčių.

Įpurškimo greičiui suskaičiuoti taikoma formulė vienai slėgio bangai skysčio sraute (žr. 3.1. formulę):

$$p = a \cdot \rho \cdot u; \quad (3.1)$$

čia:  $p$  – slėgis, Pa;

$a$  – garso greitis degaluose,  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;

$\rho$  – degalų tankis,  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ;

$u$  – degalų srauto greitis,  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Iš srauto vientisumo formulės gauname, jog srauto debitas yra lygus srauto greičiui ir vamzdelio vidinio ploto sandaugai (4.2.) formulė:

$$\frac{dq}{dt} = u \cdot A; \quad (3.2)$$

čia:  $q$  – tūris,  $\text{m}^3$ ;

$t$  – laikas, s;

$A$  – vamzdelio vidinis plotas,  $\text{m}^2$ .

Iš 4.1 lygties gauname (žr. 3.3. formulę):

$$u = p a \cdot \rho; \quad (3.3)$$

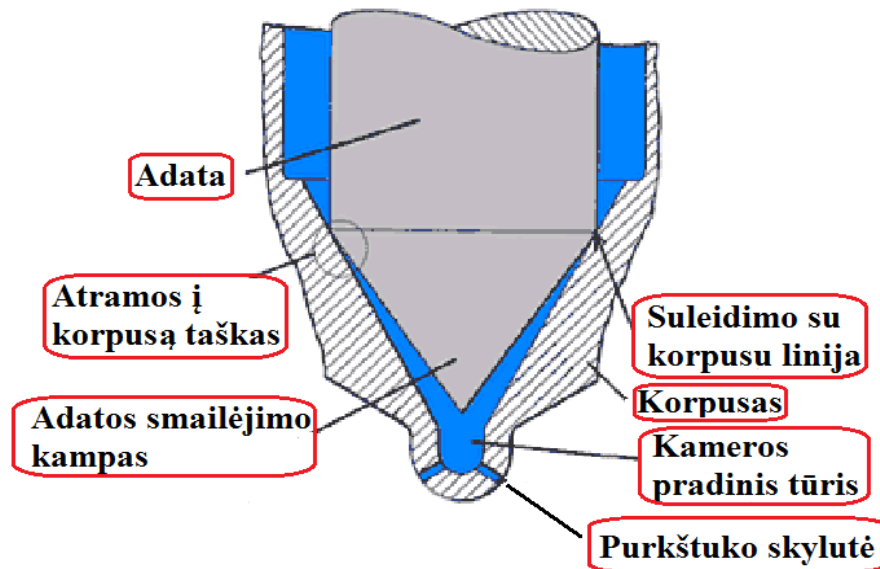
Įstačius šią išraišką į 3.2 lygtį, gavome tūrinio įpurškimo greitį:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{A}{a(p) \cdot \rho(p)} p(t); \quad (3.4)$$

Atitinkamas masinis įpurškimo greitis yra lygus:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{A}{a(p)} p(t); \quad (3.5)$$

Toliau 3.1 pav. vizualiai pateikti purkštuko antgalio (purkštuko) pagrindiniai elementai.



3.1 pav. Purkštuko pagrindiniai elementai

3.1 lentelėje surašyti iš „Bosch“ katalogo duoti purkštuko parametrai.

3.1 lentelė. „Bosch“ katalogo duoti purkštuko parametrai

Paramteras	Reikšmė
Skylučių skaičius $N$	6
Skylutės skersmuo $d$	50 $\mu\text{m}$
Skylutės ilgis $l$	1,2 mm
Adatos skersmuo ties įpurškimo skylute $d_{adat}$	1,55 mm
Adatos masė $m_{adat}$	0,0039 kg
Tarpas tarp purkštuko korpuso ir adatos	0,004 m
Adatos lizdo skersmuo $d_{liza}$	0,0021
Adatos eiga $x_{adat}$	0,25 mm
Mažiausias pratekėjimo skersplotis prieš išpurškimo skylutę $A_{min}$	$1,824 \times 10^{-9}$
Išpurškimo skylutės skersplotis $A_{skylut}$	$1,954 \times 10^{-9}$
Išpurškimo skylutės pralaidumo koeficientas $C_{d\ skylut}$	0.765

Tūrinis srautas apskaičiuojamas pagal Bernulio formulę:

$$Q = \text{sign}(p_{\text{purkšt}} - p_{\text{kamer}}) \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{C_{d \text{ skylut}} \cdot A_{\text{min}}} + \frac{1}{C_{d \text{ skylut}} \cdot A_{\text{skylut}}}}} \sqrt{\frac{2}{\rho}} |p_{\text{purkšt}} - p_{\text{kamer}}| ; \quad (3.6)$$

$Q$  – tūrinis įpurškimo greitis;

$C_{d \text{ skylut}}$  – išpurškimo skylutės pralaidumo koeficientas;

$A_{\text{min}}$  – mažiausias pratekėjimo skersplotis prieš išpurškimo skylutę;

$A_{\text{skylut}}$  – išpurškimo skylutės vidinis plotas;

$p_{\text{purkšt}}$  – slėgis purkštuvo viduje;

$p_{\text{kamer}}$  – slėgis įpurkštoje aplinkoje (degimo kameroje).

Masinis tiekimo greitis purkštuve skaičiuojamas pagal formulę:

$$\dot{m} = Q \cdot \rho_D ; \quad (3.7)$$

čia:  $\dot{m}$  – masinis tiekimo greitis;

$\rho_D$  – degalų tankis;

$Q$  – tūrinis įpurškimo greitis.

Efektyvusis plotas:

$$C_d A = Q \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta p}} ; \quad (3.8)$$

čia:  $A$  – efektyvus plotas;

$\rho$  – degalų tankis;

$\Delta p$  – slėgio skirtumas.

Pralaidumo pro purkštuko skylutes koeficientas skaičiuojamas pagal Bernulio formulę:

$$C_d = \frac{Q_m}{A} \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta p_m}} ; \quad (3.9)$$

Kavitacijos koeficientas analitiškai modelyje skaičiuojamas iš slėgių skirtumų purkštuve ir įpurkštoje aplinkoje:

$$C_{kav.(P_{purkst}-P_{kamer})} = \frac{P_{purkst}-P_{kamer}}{P_{purkst}} ; \quad (3.10)$$

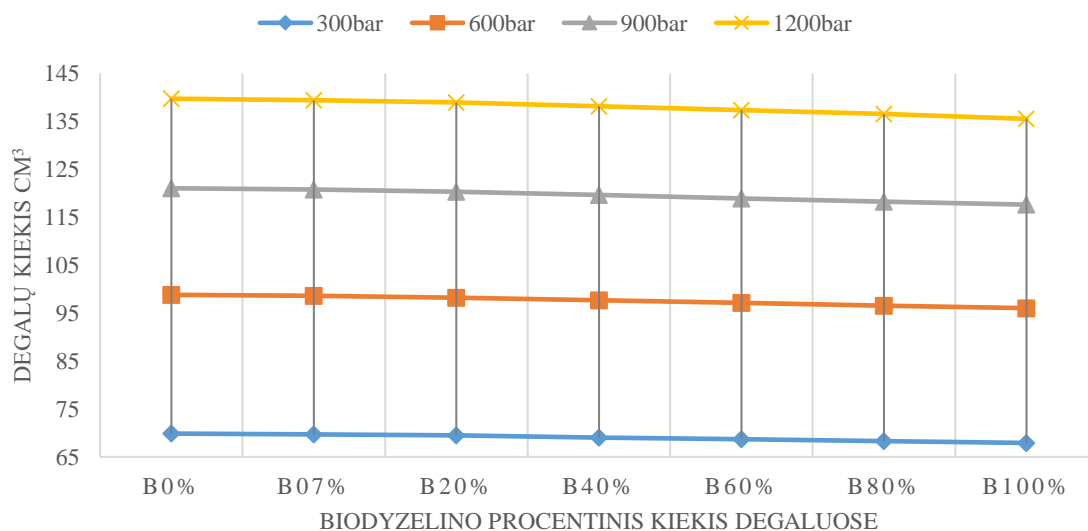
Suskaičiuotas degalų kiekis, kurį pro skylutes išpurškia purkštukas pagal duotus purkštuko parametrus, skaičiavimai atlikti su slėgiu 300, 600, 900, 1200 bar įpurškimo trukmė 500  $\mu$ s skaičiavimams atlikti panaudota 4.6 formulė. Skaičiavimo rezultatai surašyti 3.2 lentelėje.

3.2 lentelė. Išpurkštas suskaičiuotas degalų kiekis

Degalai Degalų slėgis, bar	B0%	B07%	B20%	B40%	B60%	B80%	B100%
300	69,86	69,71	69,46	69,05	68,67	68,28	67,91
600	98,80	98,59	98,23	97,66	97,11	96,56	96,03
900	121,03	120,75	120,31	119,61	118,93	118,27	117,62
1200	139,72	139,43	138,92	138,11	137,34	136,56	135,51

Teoriniuose rezultatuose iš 4.2 pav. matoma, jog pagal Bernulio formulę, esant skirtingam degalų tankiui įpurkštas degalų kiekis nuo B0 iki B100 skiriasi prie 300 bar slėgio - 2,79 % prie 600 bar - 2,80 % , prie 900 bar - 2,81 % , prie 1200 bar - 3,01 %.

### SUSKAIČIUOTAS ĮPURKŠTAS KIEKIS SKIRTINGAIS SLĖGIAIS IR DEGALŲ MIŠINIAIS



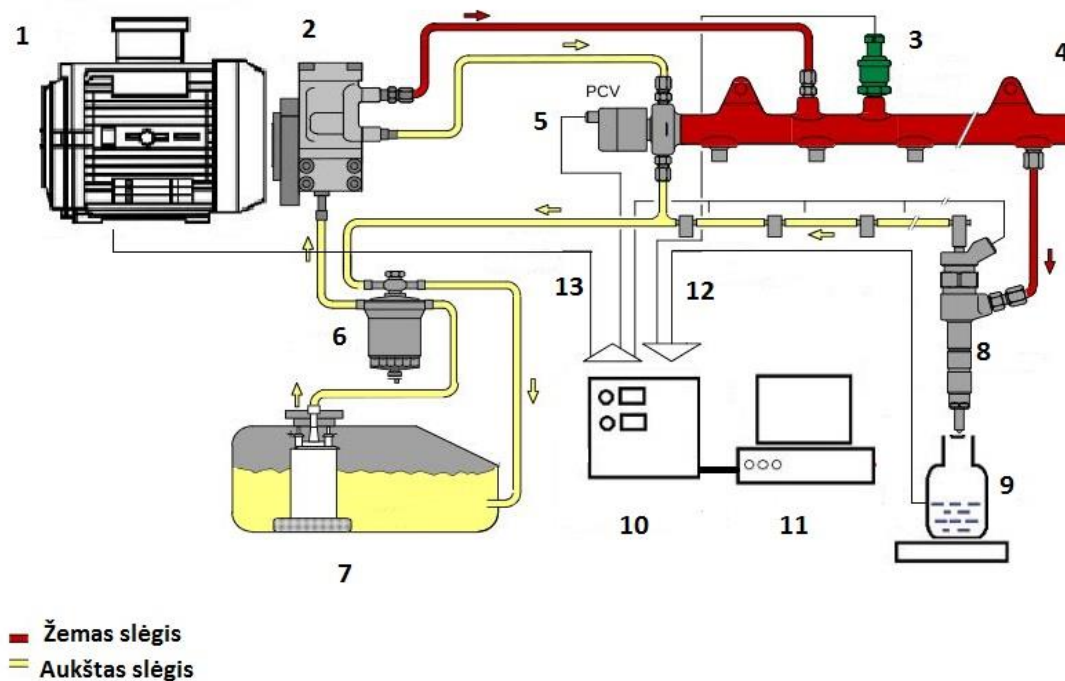
3.2 pav. Suskaičiuotas įpurkštas degalų kiekis

Apibendrinant analitiniu purkštuvo įpurškimo parametrų skaičiavimus, galima daryti tokias esmines išvadas - įpurkštas degalų kiekis prie įvairių slėgių mažėja dėl skirtingo degalų tankio, skirtumas tarp B0 ir B100 degalų variacijų yra vidutiniškai 2,8 %, tačiau didėjant slėgiui iki 1200 bar, santykinis skirtumas nežymiai didėja iki 3%.

## 4. EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ METODIKA

### Degalų įpurškimo charakteristikos tyrimo metodika

„Common rail“ purkštuvų įpurškimo proceso tyrimas buvo atliktas uždarojoje akcinėje bendrovėje „Dizrida“, kuri remontuoja ir aptarnauja visas dyzelinių degalų sistemas. Tyrimas atliktas „Bosch“ purkštuvų - degalų siurblių tikrinimo stendu „Bosch EPS 815“. Įpurškimo charakteristikos buvo gaunamos analizuojant degalų purkštuvų išpurškiamo degalų kiekio nuo paduodamos įtampos ir padavimo laiko į purkštuvo inkarą. Tai pat šiuo stendu tikrintas slėgio bangos greitis purkštuve. Tai laikas nuo įtampos padavimo į purkštuvo inkarą iki laiko, kai degalai išpurškiami pro purkštuko antgalio skylutes. Įpurškimo tyrimo stendo principinė schema pateikta 4.1 pav.



4.1 pav. „Bosch EPS 815“ įpurškimo stendo principinė schema:

1 - elektros variklis; 2 - aukšto slėgio degalų siurblys; 3 - slėgio jutiklis; 4 - slėgio akumuliatorius; 5 - slėgio reguliavimo vožtuvas; 6 - degalų filtras; 7 - degalų rezervuaras ir jo padavimo siurblys; 8 - degalų purkštukas; 9 - degalų kiekio ir išpurškimo laiko matavimo jutiklis; 10 - kompiuteris apdorojantis informaciją; 11 - operatoriaus kompiuteris; 12 - įeinantys elektriniai signalai; 13 - išeinantys elektriniai signalai.

Tiriamas purkštukas įtvirtinamas bandymo stende, prie jo prisukamas aukšto slėgio degalų vamzdelis taip pat pritvirtinamas ir grįžtamų degalų vamzdelis. Prijungiama elektrinė jungtis, kuri duoda įtampą į purkštuvą. Prie išpurškimo skylių uždedami jutikliai, kurie matuoja kiekį ir išpurškimo laiką. Stende yra elektrinis variklis, kuris suka aukšto slėgio degalų siurblių iš degalų rezervuaro žemu slėgiu

pro filtrą degalai patenka į degalų siurblių. Degalai aukštu slėgiu kaupiami slėgio akumuliatoriuje iš jo nukreipiami į purkštuvą. Kompiuteriu galima nustatyti norimą degalų temperatūrą, slėgį, įpurškimo trukmę. Iš įvairių jutiklių į kompiuterį grįžta signalai, kurie matuoja slėgį, temperatūrą, siurblio apsisukimus, degalų kiekį, išpurškimo laiką, grįžtamų degalų kiekį iš purkštuvo.



**4.2 pav. Purkštuvų tyrimo vieta ir įranga**

Tyrimui atlikti naudoti septyni skirtingi degalų mišiniai:

1. Dyzeliniai degalai, „Neste Pro Diesel“;
2. Dyzeliniai degalai, kuriuos naudoja dauguma vairuotojų. RRME iki 7 %;
3. Dyzeliniai degalai „Neste Pro Diesel“ ir 20 % biodyzelino;
4. Dyzeliniai degalai „Neste Pro Diesel“ ir 40 % biodyzelino;
5. Dyzeliniai degalai „Neste Pro Diesel“ ir 60 % biodyzelino;
6. Dyzeliniai degalai „Neste Pro Diesel“ ir 80 % biodyzelino;
7. Grynas 100 % biodyzelinas.

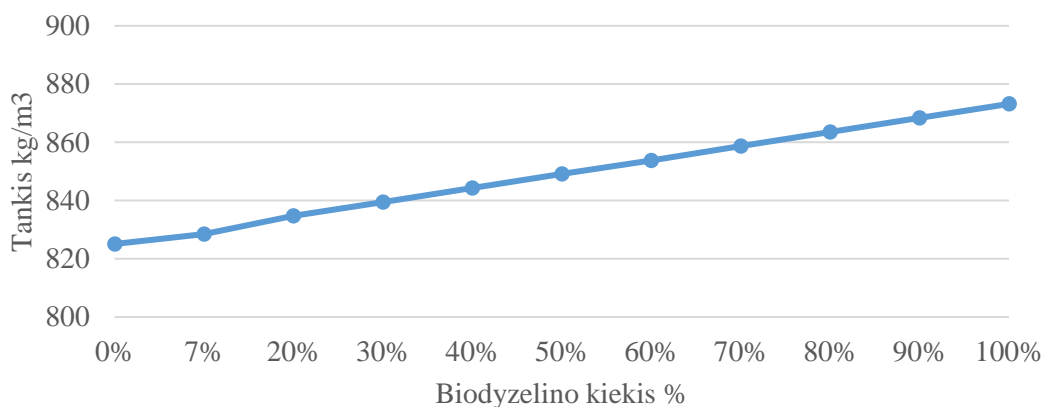
Tyrimuose šie degalai atitinkamai žymimi B0 – 0 % ; B07 – 7 %; B20 – 20 %; B30 – 30 %; B40 – 40 %; B50 – 50 %; B60 – 60 %; B70 – 70 %; B80 – 80 %; B90 – 90 %; B100 – 100 % biodyzelino kiekis procentais.

Sumaišius šiuos mišinius atlikti klampumo ir tankio matavimai kiekvienam mišiniui esant 20 °C temperatūroje. Šie matavimai surašyti 4.1 lentelėje.

#### 4.1 lentelė. Degalų mišinio tankio priklausomybė nuo jame esančio biodyzelino kiekio

Tankis kg/m <sup>3</sup>	825,08	828,45	834,7	839,51	844,32	849,13	853,94	858,75	863,56	868,37	873,18
RME kiekis degaluose, %	B0	B07	B20	B30	B40	B50	B60	B70	B80	B90	B100

Degalų mišinio tankio priklausomybė nuo jame esančio biodyzelino kiekio pavaizduota 4.3 pav.



#### 4.3 pav. Degalų mišinio tankio priklausomybė nuo jame esančio biodyzelino kiekio grafikas

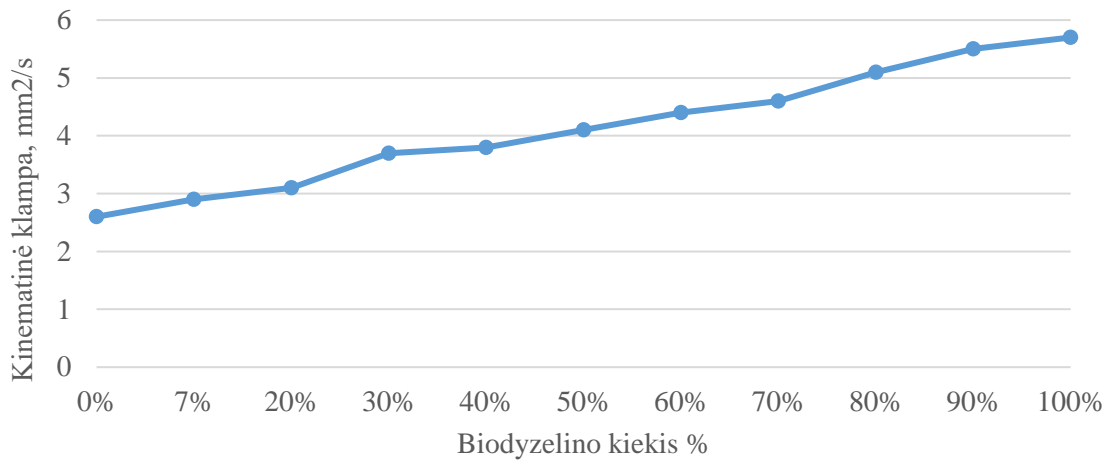
Toliau nagrinėjama degalų mišinio kinematinės klamos priklausomybė nuo jame esančio biodyzelino kiekio (4.2 lentelė).

#### 4.2 lentelė. Degalų kinematinės klamos priklausomybė nuo jame esančio biodyzelino kiekio

Kinematinė klampa, mm <sup>2</sup> /s	2,6	2,9	3,1	3,7	3,8	4,1	4,4	4,6	5,1	5,5	5,7
RME kiekis degaluose, %	B0	B07	B20	B30	B40	B50	B60	B70	B80	B90	B100

Degalų mišinio kinematinės klamos priklausomybė nuo jame esančio biodyzelino kiekio grafiškai matoma 4.4 pav.





**4.4 pav. Degalų mišinio kinematinės klamos priklausomybė nuo jame esančio biodyzelino kiekio grafikas**

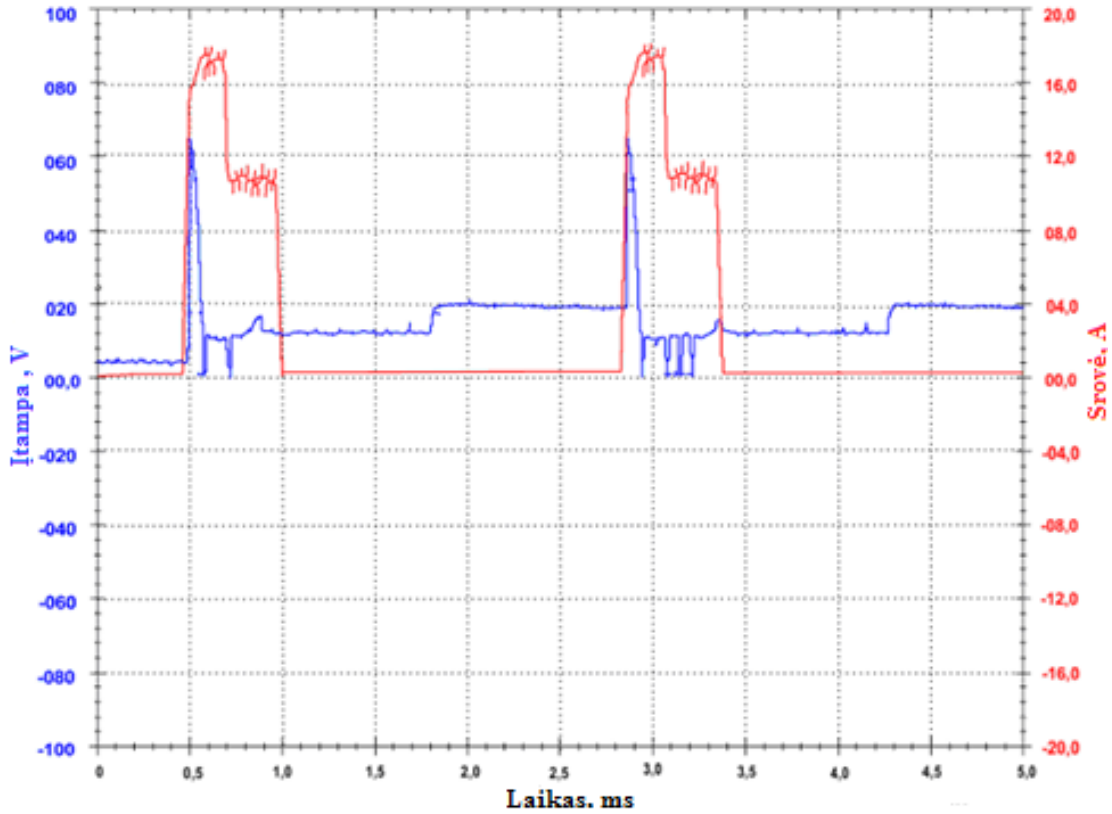
#### **4.1. Elektromagnetinių purkštuvų tyrimas**

Toliau tiriamas purkštuvas pagal „Ditex“ firmos užduotą testą būtent tokiam purkštovo modeliui.

Tikrinamas purkštuvas:

- Purkštovo kodas #0445110219;
- Purkštuko antgalio numeris DLLA 145 P927;
- Purkštuvas naudojamas variklyje BMW 535D;
- Gamybos metai nuo 2004 m. iki 2007 m.;
- Variklio kodas: M57TUD30.

Purkštovo valdymo signalo oscilograma pateikta 4.1.1 pav. Purkštuvas atidaromas 85 V įtampa ir 7 A srove. Purkštovo adatos palaikymo srovė 2 A ir 12 V įtampa. Valdymo impulso trukmė buvo keičiama, keičiant palaikymo srovės trukmę.



4.1.1 pav. Elektromagnetinio purkštuvo valdymo oscilograma

Toliau pateikiamas „Ditex“ firmos purkštuvo testo lapo pavyzdys (4.1.2 pav.).

DITEX TECHNOLOGIES - Loc. Mandella - 37019 Peschiera del Garda VR - ITALY info@ditex.it 15/11/2011-12:59

**dx** www.ditex.it

2006  
DEC

**#0445110219**

EQUIPMENT #1	CRI 1000 NEW STYLE
EQUIPMENT #2	
EQUIPMENT #3	DX73815
ADAPTOR	
DELIVERY PIPE	DX73260
BACKLEAKAGE PIPE	DX73261
CURRENT PROFILE	
INJ TYPE	CRIP 2.2

IMA

WORKSHOP	DIZRIDA				
CUSTOMER #ID	02.22.0018				
EMAIL	info@dizrida.it				
ORDER #ID					

**TURAN**

PIEZO REFILL	V					
	µW					
DYNAMIC CAPACITANCE	µF					
Bottom L	µH					
Top L	µH					
COIL LIFT	A					
	µm					
PIEZO LIFT	V					
	µm					
RESISTANCE	Ω					
ISOLATION	MG					

#	RAIL PRESSURE	CRI 1000 NEW STYLE	Q_MIN	Q_MAX	BL
	BAR	OPENING TIME pos/µsec	cm <sup>3</sup> /1000 strokes	cm <sup>3</sup> /1000 strokes	cm <sup>3</sup> /1000 strokes
A	1600	pos 6	3 min		
B	1650	OFF			≤40
1	1600	800 µsec	65,0	81,0	70
2	600	630 µsec	9,9	18,7	
3	1200	245 µsec	0,5	2,7	
4	300	640 µsec	1,5	8,1	
5	600	260 µsec	0.2	2,8	
6					
7					

INJ 1		INJ 2		INJ 3		INJ 4		INJ 5		INJ 6	
Q	BL	Q	BL	Q	BL	Q	BL	Q	BL	Q	BL

ISO 4113 40°C ±2°C

15/11/2011-12:59 DITEX TECHNOLOGIES reserves the right to change, modify and/or withdraw the information in this TEST DATA at any time without notice. Therefore it is recommended to order latest test plan from http://codec.ditex.it whenever is needed.

4.1.2 pav. „Ditex“ firmos purkštuvo testo lapo pavyzdys

Šis testas sudaromas kiekvienam purkštuvu modeliui pagal jo tipą ir jo kodą.

Pirmas šio testo etapas: purkštuvą sušildomas, sušildymo metu degalų kiekiai nematuojami, jam užduodamas 1600 bar degalų slėgis ir įjungta 6 stendo pozicija, kuri nustato purkštuvu atidarymo laiką.

Antras etapas: Matuojamas grįžtamas degalų kiekis, šio testo metu purkštuvą turi būti uždarytas ir nepurkšti degalų, o grįžtamas degalų kiekis neviršyti  $40 \text{ cm}^3$ , užduotas degalų slėgis 1650 bar.

Trečias etapas: Matuojamas įpurškamas degalų kiekis per 1000 ciklą esant 1600 bar slėgiui ir purkštuvu atidarymo laikui esant 800  $\mu\text{sec}$ , degalų kiekis turi būti tarp 65 ir 81  $\text{cm}^3$  grįžtamas degalų kiekis turi būti mažesnis negu  $70 \text{ cm}^3$ .

Ketvirtas etapas: Matuojamas įpurškamas degalų kiekis per 1000 ciklą esant 600 bar degalų slėgiui ir 630  $\mu\text{sec}$  atidarymo laikui, įpurškamas degalų kiekis turi būti tarp 9,9 ir 18,7  $\text{cm}^3$ , grįžtamas degalų kiekis nebematuojamas toliau.

Penktas etapas: Matuojamas įpurškamas degalų kiekis per 1000 ciklą esant 1200 bar degalų slėgiui ir 245  $\mu\text{sec}$  atidarymo laikui, degalų kiekis turi būti tarp 0,5 ir 2,7  $\text{cm}^3$ .

Šeštasis etapas: Matuojamas įpurškamas degalų kiekis per 1000 ciklą esant 300 bar degalų slėgiui ir 640  $\mu\text{sec}$  atidarymo laikui, degalų kiekis turi būti tarp 1,5 ir 8,1  $\text{cm}^3$ .

Septintasis etapas: Matuojamas įpurškamas degalų kiekis per 1000 ciklą esant 600 bar degalų slėgiui ir 260  $\mu\text{sec}$  atidarymo laikui, degalų kiekis turi būti tarp 0,2 ir 2,8  $\text{cm}^3$ .

„Ditex“ purkštuvu testo specifikacijos aprašytos 4.1.1 lentelėje.

#### 4.1.1 lentelė. „Ditex“ purkštuvu testo specifikacijos

#0445110219 purkštuvu testo specifikacijos				
Degalų slėgis, BAR	Atidarymo laikas, $\mu\text{sec}$	Q_min, $\text{cm}^3/1000$ taktų	Q_max, $\text{cm}^3/1000$ taktų	Grįžtamas degalų kiekis, $\text{cm}^3$
1600	6 stendo pozicija	3 min, apšildomas prieš testą		
1650	atjungtas vožtuvas	0	0	$\leq 40$
1600	800	65	81	$\leq 70$
600	630	9,9	18,7	-
1200	245	0,5	2,7	-
300	640	1,5	8,1	-
600	260	0,2	2,8	-

Vienu metu tiriami 6 purkštuvai išimti iš vieno automobilio, todėl galima daryti prielaidą, kad šie purkštuvai visi dirbė vienodą laiką. Pirmiausia tyrimai atlikti su degalais „Neste Pro Diesel“ tyrimo rezultatai surašyti į 4.1.2 lentelę.

#### 4.1.2 lentelė. Purkštuvų tyrimo rezultatai su „Neste Pro Diesel“ degalais.

Dyzeliniai degalai, „Neste Pro Diesel“ B0											
1 purkštuvas		2 purkštuvas		3 purkštuvas		4 purkštuvas		5 purkštuvas		6 purkštuvas	
Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>
0	36	0	37	0	35	0	40	0	31	0	32
71	61	76	69	74	60	77	69	79	55	69	54
14,6	-	14,8	-	13,1	-	18,3	-	16,8	-	16,2	-
2,5	-	0,9	-	0,6	-	1,7	-	0,7	-	2,5	-
2,4	-	1,5	-	1,6	-	1,8	-	2,3	-	1,9	-
1,4	-	0,5	-	0,4	-	1,0	-	0,5	-	1,8	-

Atlikus pirma tyrimą iš rezultatų matoma, kad visi purkštukai atitinka testo parametrus.

Antras tyrimas daromas su dyzeliniais degalais, kuriuose yra iki 7 % biodyzelino. Tyrimo rezultatai surašyti į 4.1.3 lentelę.

#### 4.1.3 lentelė. Purkštuvų tyrimo rezultatai su degalais iki 7 % biodyzelino.

Degalai B07											
1 purkštuvas		2 purkštuvas		3 purkštuvas		4 purkštuvas		5 purkštuvas		6 purkštuvas	
Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>
0	36	0	37	0	36	0	41	0	31	0	32
70	60	76	69	75	59	76	70	78	55	70	53
14,3	-	14,0	-	12,9	-	18,5	-	16,9	-	16,2	-
2,4	-	0,9	-	0,7	-	1,6	-	0,9	-	2,2	-
2,3	-	1,5	-	1,5	-	1,7	-	2,3	-	2	-
1,4	-	0,5	-	0,4	-	1,1	-	0,4	-	1,5	-

Trečias tyrimas daromas su dyzeliniais degalais, kuriuose yra 20 % biodyzelino. Tyrimo rezultatai surašyti į 4.1.4 lentelę.

#### 4.1.4 lentelė. Purkštuvų tyrimo rezultatai su degalais iki 20 % biodyzelino.

Degalai B20											
1 purkštuvas		2 purkštuvas		3 purkštuvas		4 purkštuvas		5 purkštuvas		6 purkštuvas	
Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>
0	35	0	37	0	35	0	40	0	31	0	33
68	59	74	67	74	59	75	69	77	55	69	54
14	-	14,1	-	12,8	-	17,8	-	16,7	-	16,5	-
2,5	-	0,8	-	0,8	-	1,5	-	0,6	-	2,0	-
2,1	-	1,4	-	1,7	-	1,5	-	2,1	-	1,7	-
1,2	-	0,5	-	0,4	-	1,1	-	0,4	-	1,4	-

Ketvirtas tyrimas daromas su dyzeliniais degalais, kuriuose yra 40 % biodyzelino. Tyrimo rezultatai surašyti į 4.1.5 lentelę.

**4.1.5 lentelė. Purkštuvų tyrimo rezultatai su degalais iki 40 % biodyzelino.**

Degalai B40											
1 purkštuvas		2 purkštuvas		3 purkštuvas		4 purkštuvas		5 purkštuvas		6 purkštuvas	
Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>
0	35	0	37	0	35	0	40	0	31	0	32
67	59	73	67	74	59	74	68	75	55	70	53
13,7	-	14,0	-	12,7	-	17,6	-	16,5	-	16,5	-
2,4	-	0,8	-	0,6	-	1,4	-	0,5	-	1,9	-
2,1	-	1,5	-	1,6	-	1,4	-	2,0	-	1,7	-
1,1	-	0,5	-	0,4	-	1,0	-	0,3	-	1,2	-

Penktas tyrimas daromas su dyzeliniais degalais, kuriuose yra 60 % biodyzelino. Tyrimo rezultatai surašyti į 4.1.6 lentelę.

**4.1.6 lentelė. Purkštuvų tyrimo rezultatai su degalais iki 60 % biodyzelino.**

Degalai B60											
1 purkštuvas		2 purkštuvas		3 purkštuvas		4 purkštuvas		5 purkštuvas		6 purkštuvas	
Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>
0	35	0	37	0	34	0	41	0	31	0	33
65	59	73	66	72	58	74	67	76	54	68	52
13,5	-	13,9	-	12,7	-	17,5	-	16,4	-	16,6	-
2,2	-	0,9	-	0,6	-	1,3	-	0,5	-	1,8	-
2,0	-	1,6	-	1,5	-	1,4	-	1,8	-	1,5	-
1,1	-	0,5	-	0,3	-	1,0	-	0,3	-	1,1	-

Šeštas tyrimas daromas su dyzeliniais degalais, kuriuose yra 80 % biodyzelino. Tyrimo rezultatai surašyti į 4.1.7 lentelę.

**4.1.7 lentelė. Purkštuvų tyrimo rezultatai su degalais iki 80 % biodyzelino.**

Degalai B80											
1 purkštuvas		2 purkštuvas		3 purkštuvas		4 purkštuvas		5 purkštuvas		6 purkštuvas	
Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>
0	35	0	36	0	34	0	40	0	31	0	32
63	58	71	65	72	56	73	65	74	54	70	52
13,2	-	13,6	-	12,4	-	17,1	-	16,6	-	16,0	-
1,8	-	0,7	-	0,6	-	1,1	-	0,2	-	1,5	-
1,9	-	1,6	-	1,3	-	1,0	-	1,6	-	1,5	-
0,9	-	0,5	-	0,3	-	0,9	-	0,2	-	1,0	-

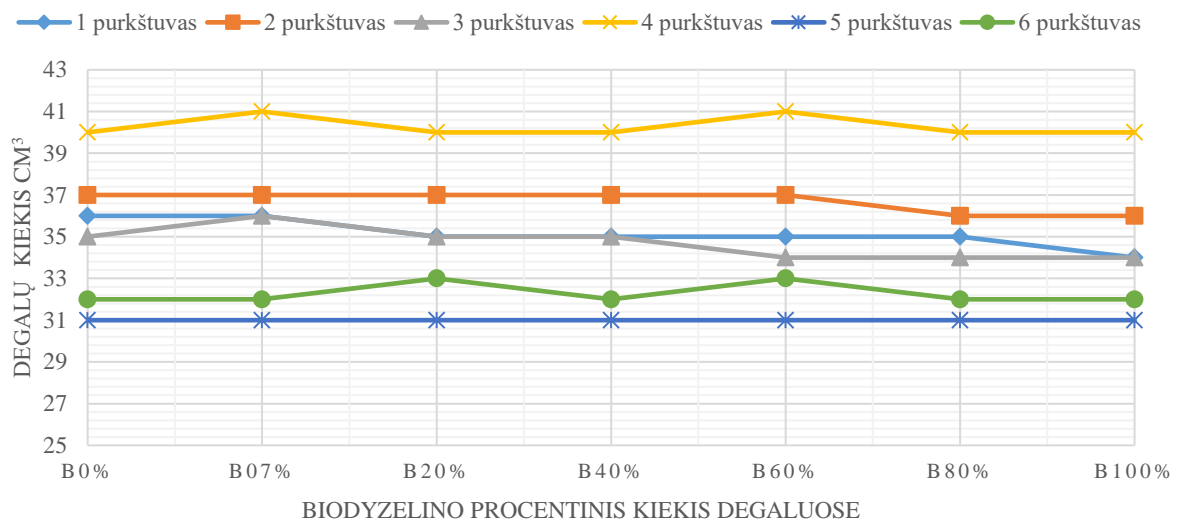
Septintas tyrimas daromas su degalais, kuriuose yra 100 % biodyzelino. Tyrimo rezultatai surašyti į 4.1.8 lentelę.

**4.1.8 lentelė. Purkštuvų tyrimo rezultatai su degalais iki 100 % biodyzelino.**

Degalai B100											
1 purkštuvas		2 purkštuvas		3 purkštuvas		4 purkštuvas		5 purkštuvas		6 purkštuvas	
Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>
0	34	0	36	0	34	0	40	0	31	0	32
61	58	70	64	70	55	72	65	74	53	68	51
13,1	-	13,0	-	12,1	-	16,6	-	16,3	-	15,6	-
1,4	-	0,6	-	0,3	-	0,9	-	0,4	-	1,2	-
1,8	-	1,5	-	1,3	-	0,9	-	1,5	-	1,3	-
0,7	-	0,3	-	0	-	0,7	-	0,1	-	0,8	-

Antro etapo grafinis rezultatų vaizdavimas matomas 4.1.3 pav. Aptariant pirmojo purkštovo grįžtamųjų degalų kiekį: daugiausiai grįžtamųjų degalų gauta su „Neste pro diesel“ degalais ir dyzelinu iki 7 % biodyzelio – 36 cm<sup>3</sup>, toliau didinant biodyzelio kiekį degaluose grįžtamasis degalų kiekis mažėja, labiausiai sumažėjęs jis su B100 degalais – 34 cm<sup>3</sup>. Antro purkštovo rezultatai: naudojant B0, B07, B20, B40, B60 dyzeliną grįžtamasis degalų kiekis vienodas – 37 cm<sup>3</sup>. Tiriant antrąjį purkštuvą su biodyzelinu iki 80 % ir 100 %, grįžtamasis degalų kiekis nukrito iki 36 cm<sup>3</sup>. Trečiojo purkštovo grįžtamųjų degalų rezultatai svyruoja nuo 34 cm<sup>3</sup>, naudojant B60, B80, B100 dyzeliną iki 36 cm<sup>3</sup>, su B07 dyzelinu. Ketvirtojo purkštovo rezultatai: grįžtamųjų degalų kiekis lygus 40 cm<sup>3</sup>, naudojant B0, B20, B40, B60, B100, didesnis grįžtamųjų degalų kiekis t.y. 41 cm<sup>3</sup> buvo gautas tiriant ketvirtąjį purkštuvą su dyzelinu iki 7 % biodyzelio ir su dyzelinu iki 60 % biodyzelio (B07 ir B60). Penkto purkštovo grįžtamas degalų kiekis su visais degalų mišiniais lygus 31 cm<sup>3</sup>. Iš šeštojo purkštovo kreivės matyti, kad didžiausias grįžtamųjų degalų kiekis gautas su degalais B20, B60 – 33 cm<sup>3</sup>, naudojant kitus degalų mišinius grįžtamas degalų kiekis nukrito vienu kūbiniu centimetru t.y. iki 32 cm<sup>3</sup>.

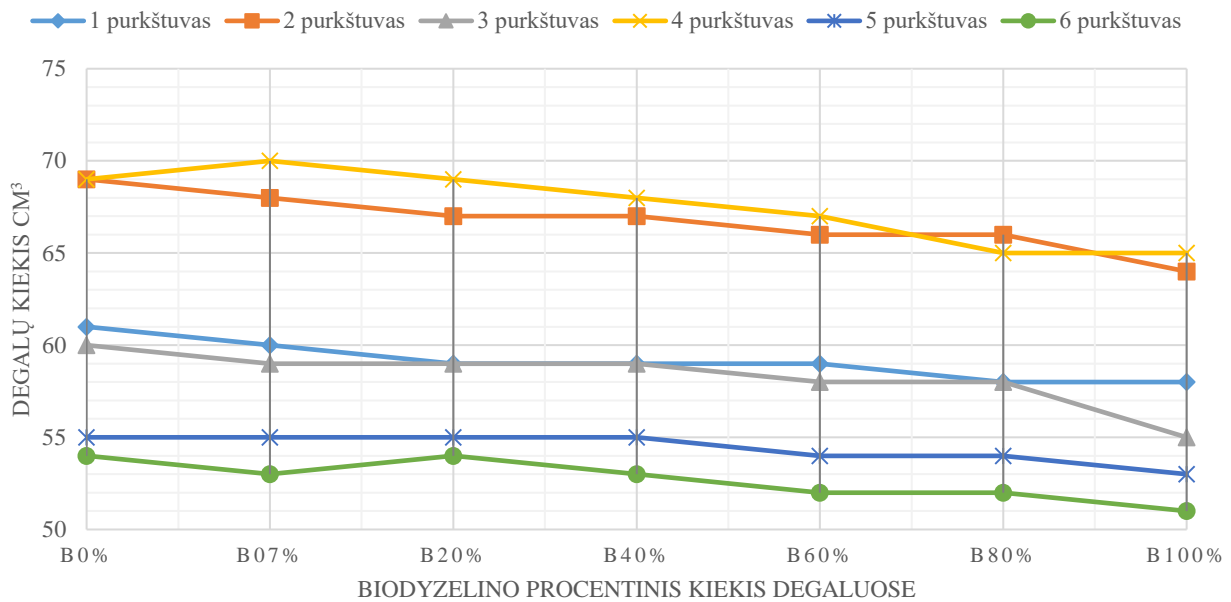
## ANTRO ETAPO TESTAS:GRĮŽTAMAS DEGALŲ KIEKIS



### 4.1.3 pav. Antro etapo grafinis rezultatų vaizdavimas

Trečio etapo pirmos dalies grafinis rezultatų vaizdavimas matomas 4.1.4 pav. Vertinamas grįžtamasis degalų kiekis. Aptariant pirmojo purkštuvo grįžtamųjų degalų kiekį: daugiausiai grįžtamųjų degalų gauta su „Neste pro diesel“ degalais -  $61 \text{ cm}^3$ , toliau didinant biodyzelio kiekį degaluose grįžtamasis degalų kiekis mažėja, labiausiai sumažėjęs jis su B80 ir B100 degalais –  $58 \text{ cm}^3$ . Antro purkštuvo rezultatai: naudojant įvairius degalų mišinius grįžtamieji degalai turi mažėjimo tendenciją t.y. didinant biodyzelio kiekį, grįžtamųjų degalų kiekis mažėja. Grįžtamųjų degalų kiekis svyruoja nuo  $64 \text{ cm}^3$ , naudojant B100 iki  $69 \text{ cm}^3$ , naudojant B0 degalus. Trečiojo purkštuvo grįžtamųjų degalų rezultatai svyruoja nuo  $55 \text{ cm}^3$ , naudojant B100 dyzeliną iki  $60 \text{ cm}^3$ , su B0 dyzelinu. Ketvirtojo purkštuvo rezultatai: grįžtamųjų degalų kiekis lygus  $69 \text{ cm}^3$ , naudojant B0, didesnis grįžtamųjų degalų kiekis t.y.  $70 \text{ cm}^3$  buvo gautas tiriant ketvirtąjį purkštuvą su dyzelinu iki 7 % biodyzelio, toliau didinant biodyzelio kiekį degaluose purkštuvo grįžtamasis degalų kiekis mažėja -  $69 \text{ cm}^3$ , su B20 degalais, mažiausiai grįžtamųjų degalų gauta su B80 ir B100 degalais –  $65 \text{ cm}^3$ . Penkto purkštuvo grįžtamųjų degalų kiekis su degalų mišiniais B0, B07, B20, B40 lygus  $55 \text{ cm}^3$ , toliau degalų kiekis mažėja, didinant biodyzelio kiekį degaluose, degalų kiekis sumažėja dviem kubiniais centimetrais iki  $53 \text{ cm}^3$  su grynu biodyzeliu. Iš šeštojo purkštuvo kreivės matyti, kad didžiausias grįžtamųjų degalų kiekis gautas su degalais B20, B0 –  $54 \text{ cm}^3$ , naudojant kitus degalų mišinius – B07, B60 grįžtamųjų degalų kiekis „nukrito“ vienu kubiniu centimetru iki  $53 \text{ cm}^3$ , toliau didinant biodyzelio kiekį degaluose su B100 degalais kreivė pasiekia žemiausią grįžtamųjų degalų tašką  $51 \text{ cm}^3$ .

### TREČIO ETAPO: GRYŽTAMAS DEGALŲ KIEKIS

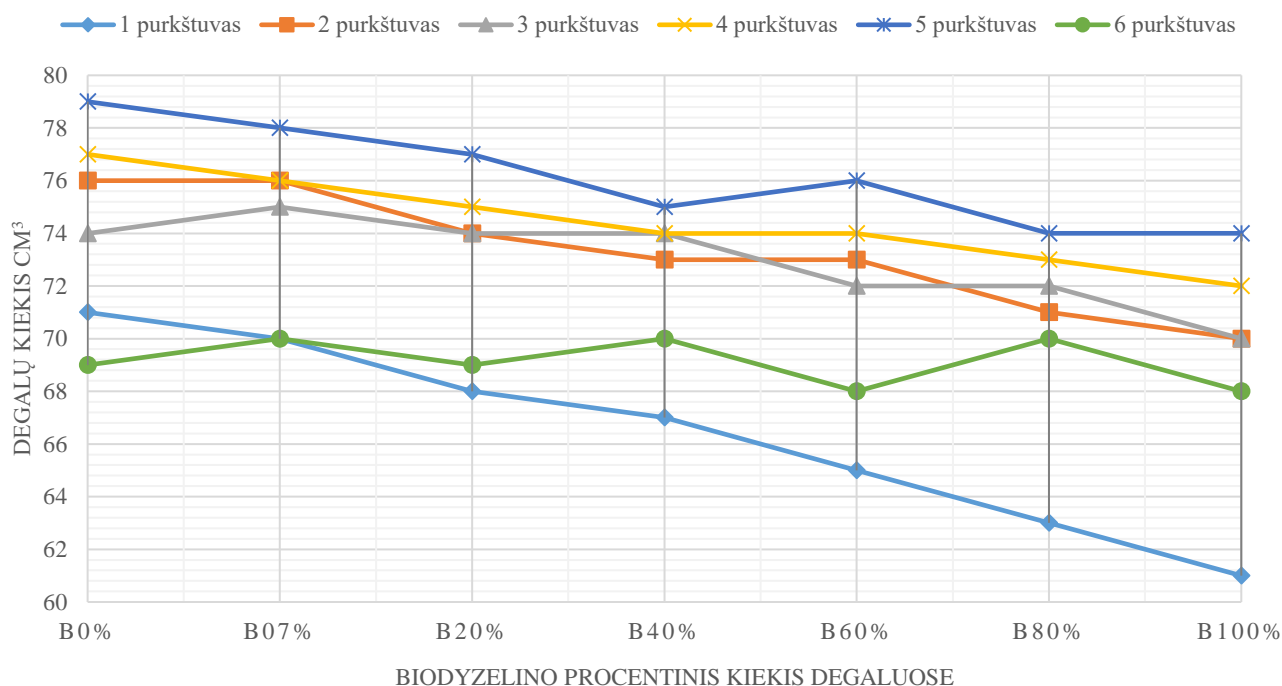


4.1.4 pav. Trečio etapo pirmos dalies grafinis rezultatų vaizdavimas

Trečio etapo antros dalies grafinis rezultatų vaizdavimas matomas 4.1.5 pav. Grafike matuojamas įpurškamas degalų kiekis. Pirmojo purkštuvu įpurškto degalų kiekio rezultatų amplitudė svyruoja nuo 61 cm<sup>3</sup>, su B100 degalais iki 71 cm<sup>3</sup>, su B0 degalais, didinant biodyzelio koncentraciją degaluose, įpurškamas degalų kiekis tendencingai mažėja. Antro purkštuvu rezultatai: naudojant įvairius degalų mišinius įpurškta degalų daugiausiai su B0, B20 degalais – 76 cm<sup>3</sup>, naudojant kitus degalų mišinius įpurškamas degalų kiekis mažesnis, labiausiai jis sumažėjęs, lyginant su B0 gautais rezultatais, su grynu biodyzelinu 7,89 % mažesnis kiekis, siekia vos 70 cm<sup>3</sup>. Trečiojo purkštuvu įpurškto degalų rezultatai svyruoja nuo 70 cm<sup>3</sup>, naudojant B100 dyzeliną iki 75 cm<sup>3</sup>, su B07 dyzelinu. Ketvirtojo purkštuvu rezultatai: įpurškto degalų kiekis didžiausias naudojant B0 degalus, lygus 77 cm<sup>3</sup>, toliau didinant biodyzelio kiekį degaluose grafiko linija leidžiasi, įpurškiamo degalų kiekis mažėja ir su B100 degalais pasiekia žemiausią įpurškiamų degalų kiekį - 72 cm<sup>3</sup>. Penkto purkštuvu įpurškto degalų kiekis su degalų mišiniu B0 pasiekia aukščiausią tašką - 79 cm<sup>3</sup>, toliau degalų kiekis mažėja po vieną kubinį centimetrą, didinant biodyzelio kiekį degaluose (B07, B20), su degalų mišiniu B40 grafiko linija nusileidžia dviem kubiniais centimetrais iki 75 cm<sup>3</sup>. Naudojant degalus B60 rezultatai – 76 cm<sup>3</sup>, su likusiais degalų mišiniais B80, B100 įpurškto degalų kiekis lygus 74 cm<sup>3</sup>. Iš šeštojo purkštuvografiko linijos matome, kad didžiausias įpurškto degalų kiekis gautas su degalais B07, B40, B80 – 70 cm<sup>3</sup>, naudojant kitus degalų mišinius – B0, B20 įpurškamas degalų kiekis nukrito vienu kubiniu centimetru. Su degalų mišiniais B60, B100 pasiekta žemiausia įpurškto degalų kiekio riba – 68 cm<sup>3</sup>.



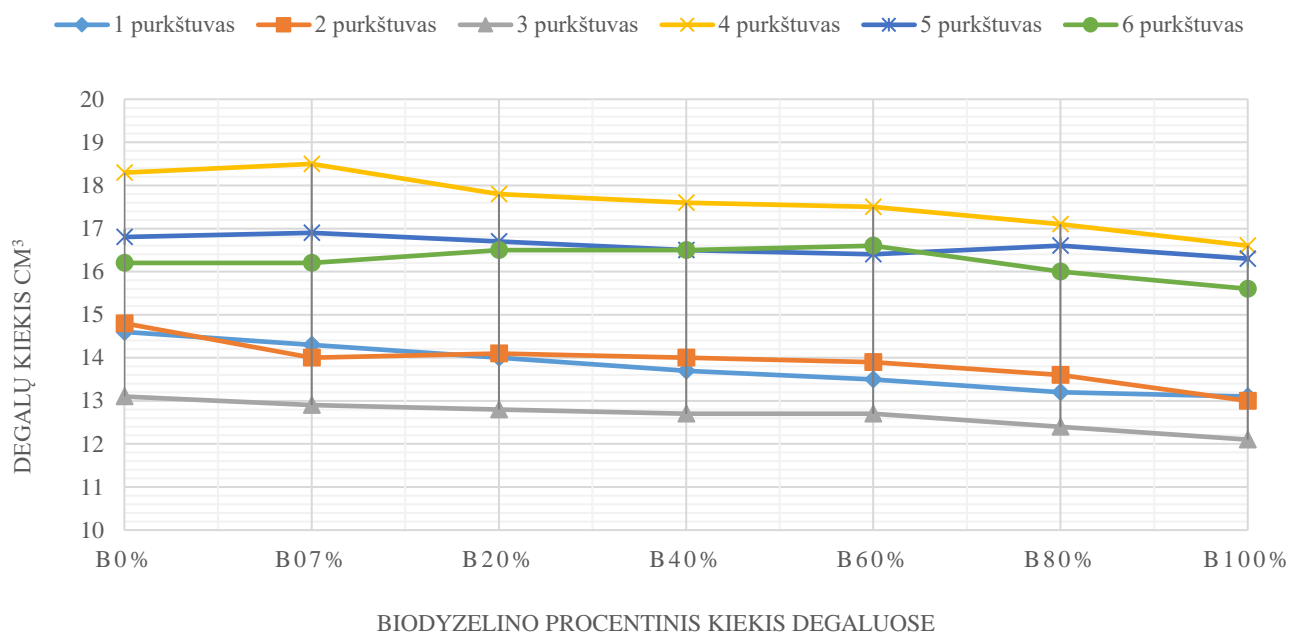
### TREČIAS ETAPAS: ĮPURKŠTAS DEGALŲ KIEKIS



**4.1.5 pav. Trečio etapo antros dalies grafinis rezultatų vaizdavimas**

Ketvirto etapo grafinis rezultatų vaizdavimas matomas 4.1.6 pav. Grafike matuojamas įpurkštas degalų kiekis. Pirmojo purkštovo įpurkštų degalų kiekio rezultatai: daugiausiai įpurkšta degalų su B0 degalais  $14,6 \text{ cm}^3$ , toliau didinant biodyzelio kiekį degaluose, kreivė nežymiai leidžiasi iki  $13,1 \text{ cm}^3$ , naudojant B100 degalus. Antro purkštovo rezultatai: naudojant įvairius degalų mišinius įpurkštas degalų kiekis svyruoja nuo  $13,0 \text{ cm}^3$ , naudojant B100 degalus iki  $14,8 \text{ cm}^3$ , naudojant B0 degalus. Trečiojo purkštovo įpurkštų degalų rezultatai: kreivė leidžiasi didinant biodyzelio koncentraciją degaluose, sumažėjimas  $8,4 \%$ , nuo  $13,1 \text{ cm}^3$ , naudojant B0 dyzeliną iki  $12,1 \text{ cm}^3$ , su B100 dyzelinu. Ketvirtojo purkštovo rezultatai: įpurkštų degalų kiekis didžiausias naudojant B07 degalus, lygus  $18,5 \text{ cm}^3$ , toliau didinant biodyzelio kiekį degaluose grafiko linija leidžiasi, įpurškiamų degalų kiekis mažėja ir su B100 degalais pasiekia žemiausią įpurškiamų degalų kiekį –  $16,6 \text{ cm}^3$ . Penkto purkštovo įpurkštų degalų kiekis keičiant degalų mišinius svyruoja  $3,55 \%$ , didžiausi parodymai pasiekti su B07 su degalų mišiniu  $16,9 \text{ cm}^3$ , mažiausi su B100 degalais –  $16,3 \text{ cm}^3$ . Iš šeštojo purkštovo kreivės matome, kad ji lyginant B0 ir B60 degalų mišinius pakyla  $2,4 \%$ , pasiekia aukščiausią rodiklį prie B60 degalų mišinio –  $16,6 \text{ cm}^3$ , toliau didinant biodyzelio koncentracija sparčiai mažėja įpurškiamas degalų kiekis ir palyginus su B60 gautais rezultatais kuro kiekis sumažėja  $6,02 \%$  naudojant gryną biodyzelį iki  $15,6 \text{ cm}^3$ .

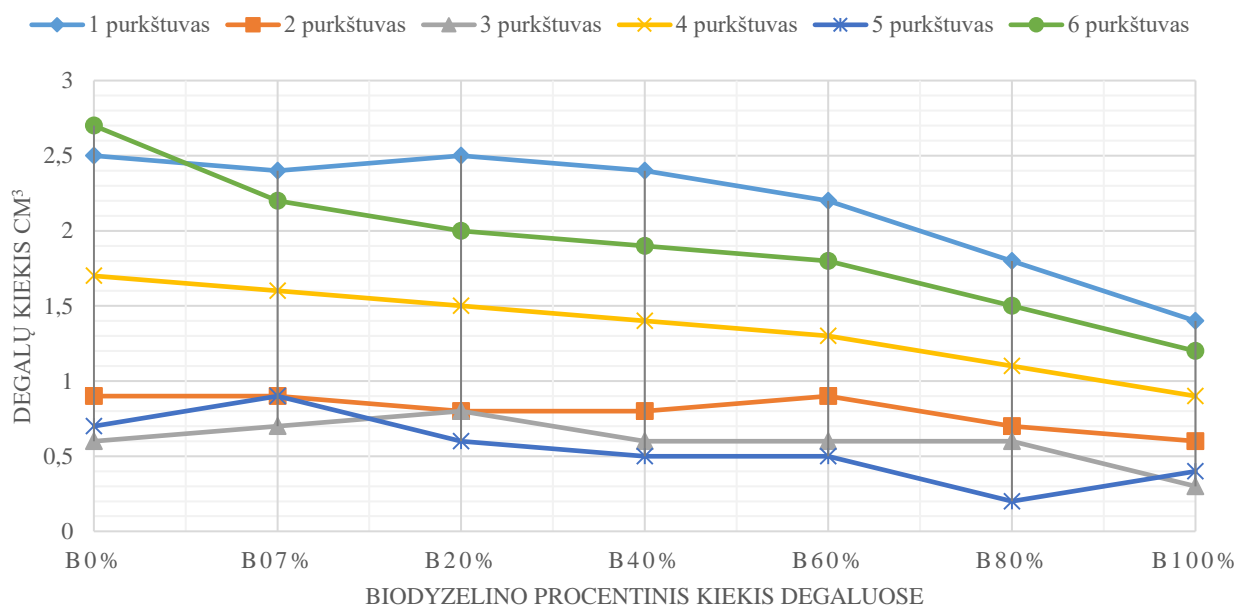
## KETVIRTO ETAPO: ĮPURKŠTAS DEGALŲ KIEKIS



4.1.6 pav. Ketvirto etapo grafinis rezultatų vaizdavimas

Penkto etapo grafinis rezultatų vaizdavimas matomas 4.1.7 pav. Grafike matuojamas įpurkštas degalų kiekis. Pirmojo purkštuvu įpurkštų degalų kiekio rezultatai: daugiausiai įpurkšta degalų su B0 ir B20 degalais  $2,5 \text{ cm}^3$ , su likusiais degalų mišiniais įpurkštas degalų kiekis mažesnis, didžiausias skirtumas gautas su B100 degalais net 44 % mažiau įpurkšta degalų, lyginant su prieš tai paminėtais degalų mišiniais (B0,B20). Antro purkštuvu bandymo rezultatai: naudojant įvairius degalų mišinius įpurkštas degalų kiekis svyruoja nuo  $0,6 \text{ cm}^3$ , naudojant B100 degalus iki  $0,9 \text{ cm}^3$ , naudojant B0 ir B60 degalus. Trečiojo purkštuvu įpurkštų degalų rezultatai: grafiko linija kyla didinant biodyzelio koncentraciją degaluose, padidėjimas 33,33 % , nuo  $0,6 \text{ cm}^3$ , naudojant B0 dyzeliną iki  $0,8 \text{ cm}^3$ , su B20 dyzelinu, tačiau toliau didėjant biodyzelio kiekiui degaluose įpurškiamas kiekis mažėja ir nukrenta iki  $0,3 \text{ cm}^3$ , su B100 degalais. Ketvirtojo purkštuvu rezultatai: įpurkštų degalų kiekis didžiausias naudojant B0 degalus, lygus  $1,7 \text{ cm}^3$ , toliau didinant biodyzelio kiekį degaluose kreivė leidžiasi, įpurškiamų degalų kiekis mažėja ir su B100 degalais pasiekia žemiausią įpurškiamų degalų kiekį –  $0,9 \text{ cm}^3$ , sumažėjimas 52,94 % . Penkto purkštuvu įpurkštų degalų didžiausi parodymai pasiekti su B07 su degalų mišiniu  $0,9 \text{ cm}^3$ , mažiausi su B80 degalais –  $0,2 \text{ cm}^3$ . Iš šeštojo purkštuvu kreivės matome, kad ji leidžiasi didinant biodyzelio kiekį degaluose, nuo  $2,5 \text{ cm}^3$ , su B0 degalais iki  $1,2 \text{ cm}^3$ , su B100 degalais, sumažėjimas  $1,3 \text{ cm}^3$ .

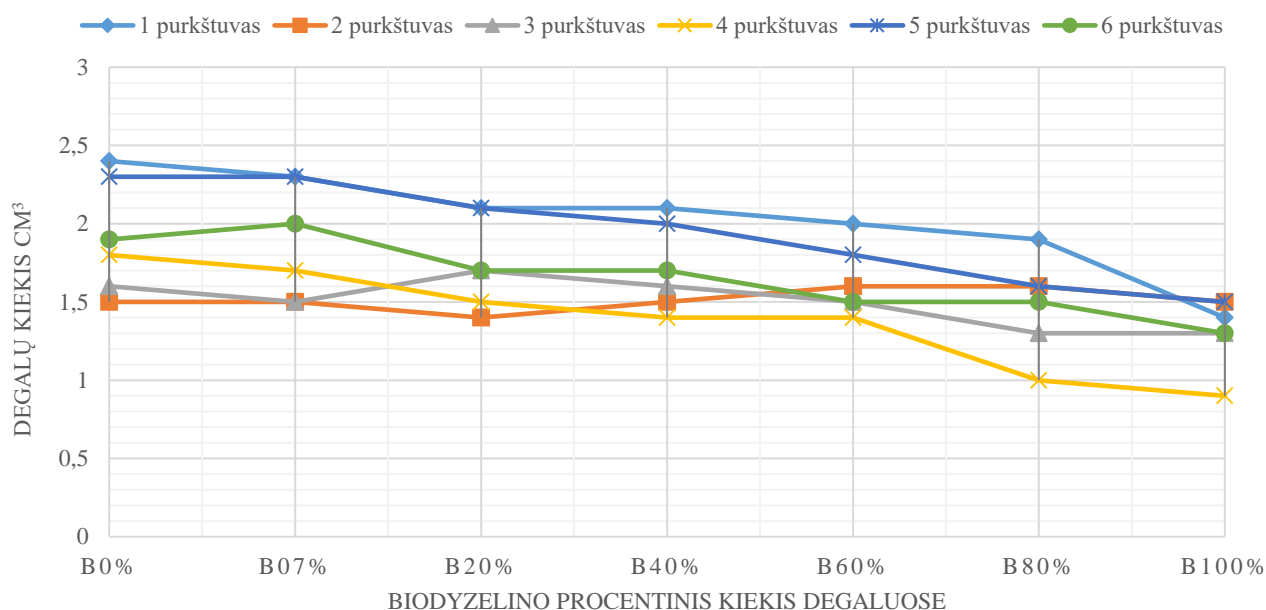
## PENKTO ETAPO: ĮPURKŠTAS DEGALŲ KIEKIS



4.1.7 pav. Penkto etapo grafinis rezultatų vaizdavimas

Šešto etapo grafinis rezultatų vaizdavimas matomas 4.1.8 pav. Grafike matuojamas įpurkštas degalų kiekis. Pirmojo purkštovo įpurkštų degalų kiekio rezultatai: daugiausiai įpurkšta degalų su B0 degalais  $2,4 \text{ cm}^3$ , su likusiais degalų mišiniais įpurkštas degalų kiekis mažesnis, didžiausias skirtumas gautas su B100 degalais 25 % mažiau įpurkšta degalų, lyginant su B0 degalų mišiniu, sumažėjimas iki  $1,8 \text{ cm}^3$ . Antro purkštovo rezultatai: naudojant įvairius degalų mišinius įpurkštas degalų kiekis svyruoja nuo  $1,4 \text{ cm}^3$ , naudojant B20 degalus iki  $1,6 \text{ cm}^3$ , naudojant B60 ir B80 degalus. Trečiojo purkštovo įpurkštų degalų rezultatai: kreivė svyruoja  $1,3 \text{ cm}^3 - 1,7 \text{ cm}^3$  ribose. Ketvirtojo purkštovo rezultatai: įpurkštų degalų kiekis didžiausias naudojant B0 degalus, lygus  $1,8 \text{ cm}^3$ , toliau didinant biodyzelio kiekį degaluose kreivė leidžiasi, įpurškiamų degalų kiekis mažėja ir su B100 degalais pasiekia žemiausią įpurškiamų degalų kiekį –  $0,9 \text{ cm}^3$ , sumažėjimas 50 %. Penkto purkštovo įpurkštų degalų didžiausi parodymai pasiekti su B0 ir B07 su degalų mišiniais  $2,3 \text{ cm}^3$ , mažiausi su B100 degalais –  $1,5 \text{ cm}^3$ . Iš šeštojo purkštovo rezultatų matoma, kad kreivės taškų amplitudė –  $1,3 \text{ cm}^3 - 2 \text{ cm}^3$ , skirtingi degalų mišiniai lemia tik  $0,7 \text{ cm}^3$  pokytį.

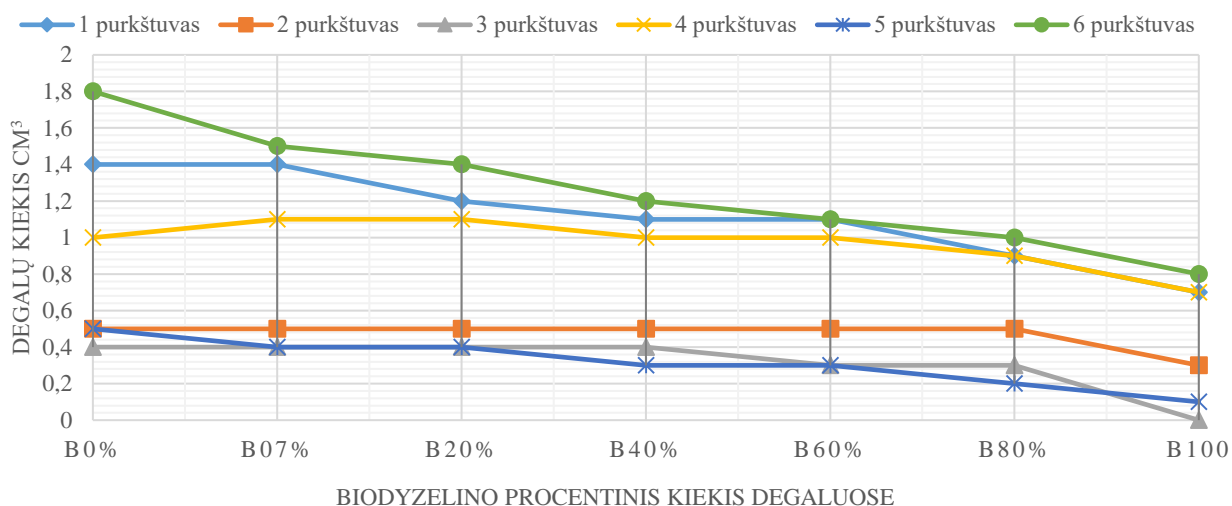
## ŠEŠTO ETAPO: ĮPURKŠTAS DEGALŲ KIEKIS



4.1.8 pav. Šešto etapo grafinis rezultatų vaizdavimas

Septinto etapo grafinis rezultatų vaizdavimas matomas 4.1.9 pav. Grafike matuojamas įpurkštas degalų kiekis. Pirmojo purkštuvu įpurkštų degalų kiekio rezultatai: daugiausiai įpurkšta degalų su B0 ir B07 degalais  $1,4 \text{ cm}^3$ , su likusiais degalų mišiniais įpurkštas degalų kiekis mažesnis, didžiausias skirtumas gautas su B100 degalais net 2 kartus mažiau įpurkšta degalų, lyginant su prieš tai paminėtais degalų mišiniais (B0, B07). Antro purkštuvu rezultatai: naudojant įvairius degalų mišinius įpurkštas degalų kiekis lygus  $0,5 \text{ cm}^3$ , išskyrus su B100 degalais sumažėja iki  $0,3 \text{ cm}^3$ . Trečiojo purkštuvu įpurkštų degalų rezultatai: grafikas svyruoja  $0,3 \text{ cm}^3$  iki  $0,4 \text{ cm}^3$ , svarbu atkreipti į B100 degalų tyrimo rezultatus – įpurkšta  $0 \text{ cm}^3$ . Ketvirtojo purkštuvu rezultatai: įpurkštų degalų kiekis didžiausias naudojant B07 ir B20 degalus, lygus  $1,1 \text{ cm}^3$ , toliau didinant biodyzelio kiekį degaluose kreivė leidžiasi, įpurškiamų degalų kiekis mažėja ir su B100 degalais pasiekia žemiausią įpurškiamų degalų kiekį –  $0,7 \text{ cm}^3$ , sumažėjimas  $0,4 \text{ cm}^3$ . Penkto purkštuvu įpurkštų degalų didžiausi parodymai pasiekti su B0 degalų mišiniu  $0,5 \text{ cm}^3$ , jokių skirtumų nepastebėta tarp B07 ir B20 degalų mišinių įtakos purkštuvams, abiem atvejais įpurkštas kiekis  $0,4 \text{ cm}^3$ . Su degalų mišiniais B40 ir B60 taip pat buvo įpurkštas vienodas degalų kiekis –  $0,3 \text{ cm}^3$ , mažiausiai degalų buvo įpurkšta naudojant B100 degalus –  $0,1 \text{ cm}^3$ . Iš šeštojo purkštuvu kreivės matome, kad ji leidžiasi didinant biodyzelio kiekį degaluose, nuo  $1,8 \text{ cm}^3$ , su B0 degalais iki  $0,8 \text{ cm}^3$ , su B100 degalais, sumažėjimas  $1 \text{ cm}^3$ .

## SEPTINTO ETAPO: ĮPURKŠTAS DEGALŲ KIEKIS



### 4.1.9 pav. Septinto etapo grafinis rezultatų vaizdavimas

Sekančiame tyrime ieškomas minimalus impulso laikas, per kurį purkštuvas sugeba išpurkšti degalus. Šiam tyrimui atlikti naudoti tie patys purkštuvai ir testas atliekamas su visais degalų mišiniais.

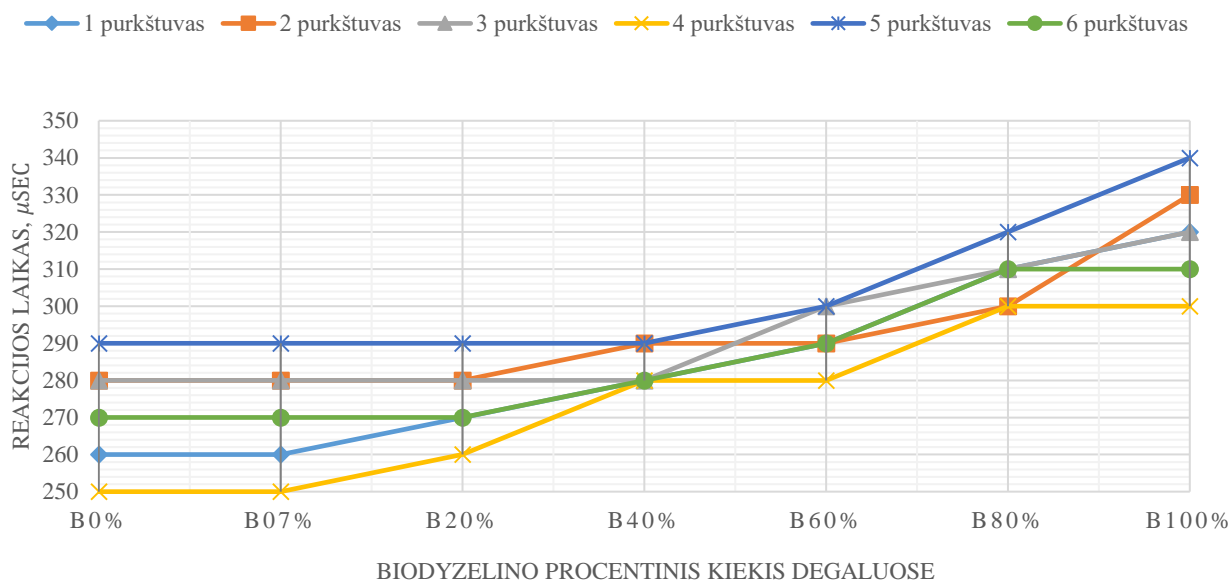
Pradinis laikas purkštuvų tikrinimo stendui užduotas 100  $\mu\text{sec}$  ir keltas kas 10  $\mu\text{sec}$ , tol kol bus išvystas išpurkšti degalai. Degalų slėgis slėgio akumuliatoriuje nustatytas ties 300 bar, šis slėgis automobilio variklyje būna varikliui dirbant laisvomis apsukomis, kad variklis dirbtų kuo tyliau ir švelniau reikalingas degalų įpurškimas prieš pagrindinį įpurškimą. Tai leidžia varikliui dirbti tolygiau ir skleidžiant mažesnę triukšmą.

4.1.9 lentelėje surašytas purkštuvų reakcijos laikas, esant skirtingiems degalų mišiniams.

### 4.1.9 lentelė. Purkštuvų reakcijos laikas esant skirtingiems degalų mišiniams

	1 Purkštuvu reakcijos laikas, $\mu\text{sec}$	2 Purkštuvu reakcijos laikas, $\mu\text{sec}$	3 Purkštuvu reakcijos laikas, $\mu\text{sec}$	4 Purkštuvu reakcijos laikas, $\mu\text{sec}$	5 Purkštuvu reakcijos laikas, $\mu\text{sec}$	6 Purkštuvu reakcijos laikas, $\mu\text{sec}$
B0 degalai	260	280	280	250	290	270
B07 degalai	260	280	280	250	290	270
B20 degalai	270	280	280	260	290	270
B40 degalai	280	290	280	280	290	280
B60 degalai	290	290	300	280	300	290
B80 degalai	310	300	310	300	320	310
B100 degalai	320	330	320	300	340	310

Toliau grafiškai pavaizduota purkštuvų reakcijos laiko priklausomybė nuo degalų mišinio (žr. 4.1.10 pav.). Trumpai apžvelgiant kiekvieno purkštuko reakcijos laiko priklausomybę nuo degalų mišinio, tai visiems purkštukams galima pritaikyti tą pačią tendenciją – didinant biodyzelio kiekį degaluose, degalų įpurškimo reakcijos laikas lėtėja. Pirmo purkštuko degalų įpurškimo reakcijos laikas sulėtėjo 60  $\mu$ sec. Antro purkštuko reakcijos laikas sulėtėjo 50  $\mu$ sec. Trečio purkštuko reakcijos laikas sulėtėjo 40  $\mu$ sec. Ketvirto purkštuko reakcijos laikas sulėtėjo 50  $\mu$ sec. Penkto purkštuko reakcijos laikas sulėtėjo 50  $\mu$ sec. Šešto purkštuko reakcijos laikas sulėtėjo 40  $\mu$ sec.



**4.1.10 pav. Purkštuvų reakcijos laiko priklausomybė nuo degalų mišinio**

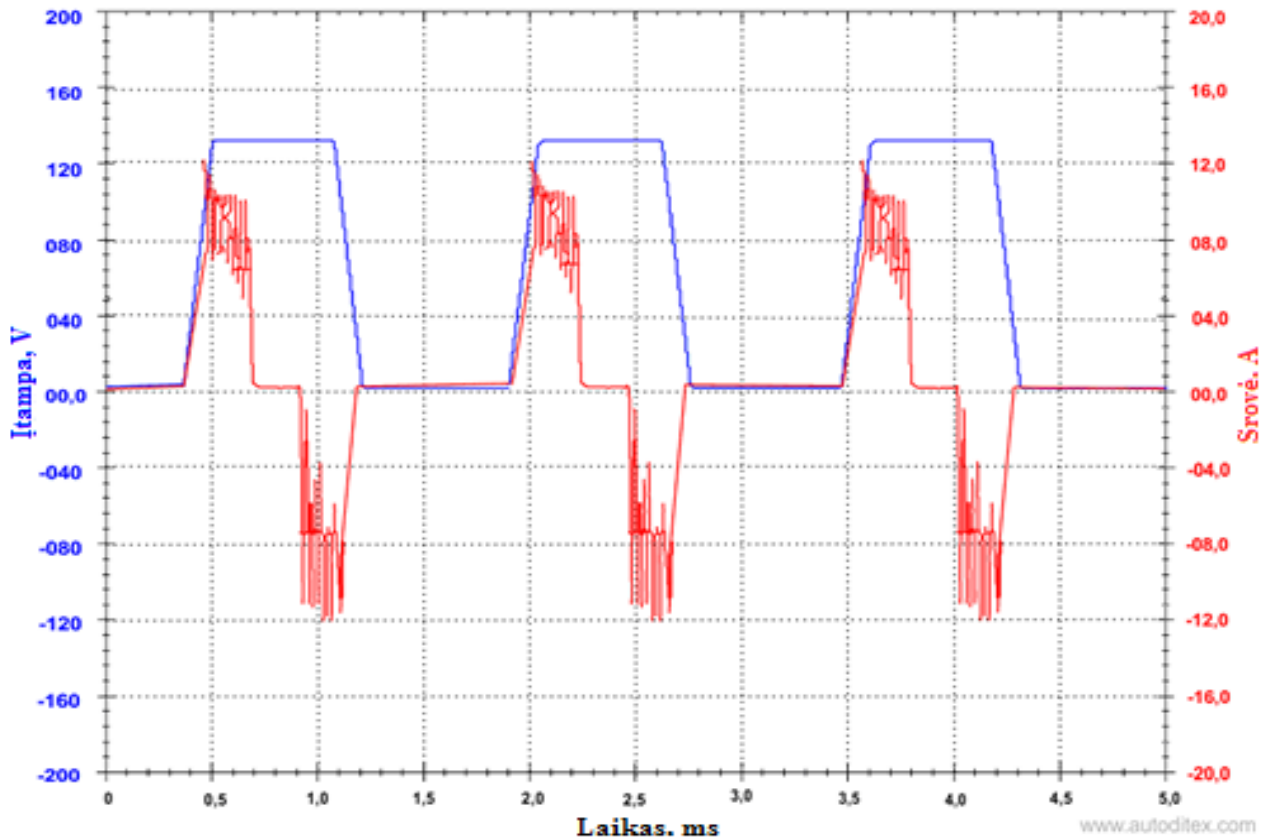
## 4.2. Pjezoelektrinių purkštuvų tyrimas

Purkštuvai su pjezoelektrine pavara tai pat tiriama pagal „Ditex“ firmos užduotą testą būtent tokiam purkštuvo modeliui.

Tikrinamas purkštukas:

- Purkštuko kodas #04451105070;
- Purkštuko antgalio numeris DLLA 145 P568;
- Purkštukas naudojamas variklyje BMW 535D;
- Gamybos metai nuo 2007 m. iki 2010 m.;
- Varikio kodas: M57TU2D30TOP

Purkštuvo valdymo signalo oscilograma pateikta 4.2.1 pav. Purkštukas atidaromas su 130 V įtampa ir  $\pm 12$  A srove.



4.2.1 pav. Pjezoelektrinio purkštuvo valdymo oscilograma

Toliau pateikiamas „Ditex“ firmos pjezo purkštuvo testo lapo pavyzdys (žr. 4.2.2 pav.).

DITEX TECHNOLOGIES - Loc. Mandella - 37019 Peschiera del Garda VR - ITALY info@ditex.it 07/06/2012-14.57

**dx** www.ditex.it 2008 JUL

WORKSHOP	DIZRIDA
CUSTOMER #ID	02.22.0018
EMAIL	info@dizrida.it
ORDER #ID	

**#0445115070**

EQUIPMENT #1	CRI 1000 S
EQUIPMENT #2	CRI 1000 NEW STYLE
EQUIPMENT #3	DX73625+DX73615
ADAPTOR	
DELIVERY PIPE	DX73260
BACKLEAKAGE PIPE	DX73253+DX73261
CURRENT PROFILE	3
INJ TYPE	PIEZO

▲ TEST PLAN NOT SUITABLE FOR CODING PURPOSES

<b>TURAN</b>		INJ 1	INJ 2	INJ 3	INJ 4	INJ 5	INJ 6
PIEZO REFILL	V						
DYNAMIC CAPACITANCE	µW						
Bottom L	µF						
Top L	µH						
COIL LIFT	A						
	µm						
PIEZO LIFT	V						
	µm						
RESISTANCE	Ω						
INSULATION	MΩ						

#	RAIL PRESSURE	CRI 1000 S	Q_MIN	Q_MAX	BL
	BAR	OPENING TIME pos/µsec	cm <sup>3</sup> /1000 strokes	cm <sup>3</sup> /1000 strokes	cm <sup>3</sup> /1000 strokes
A	1600	pos 6	3 min		
B	500→800	OFF			<1
1	1600	500 µsec	39,1	45,9	≤20
2	800	530 µsec	17,3	22,8	
3	800	245 µsec	2,9	3,9	
4	250	360 µsec	2,0	2,7	
5					
6					
7	1600→130	OFF	0,0	NO DX73260	

INJ 1		INJ 2		INJ 3		INJ 4		INJ 5		INJ 6	
Q	BL	Q	BL	Q	BL	Q	BL	Q	BL	Q	BL

ISO 4113:0012C

4.2.2 pav. „Ditex“ purkštuvo testo lapo pavyzdys

Pjezoelektrinių purkštuvų testas sudaromas kiekvienam purkštuvo modeliui pagal jo tipą ir jo kodą.

Pirmas šio testo etapas: purkštuvas sušildomas, tuo metu degalų kiekiai nematuojami, jam užduodamas 1600 bar degalų slėgis ir įjungta 6 stendo pozicija, kuri pati nustato purkštuvo atidarymo laiką.

Antras etapas: Matuojamas grįžtamas degalų kiekis, šio testo metu purkštuvas turi būti uždarytas ir nepurkšti degalų, o grįžtamas degalų kiekis neviršyti  $1 \text{ cm}^3$ , užduotas degalų slėgis keičiamas nuo 500 iki 800 bar.

Trečias etapas: Matuojamas įpurškamas degalų kiekis per 1000 ciklą esant 1600 bar slėgiui ir purkštuvo atidarymo laikui esant 500  $\mu\text{sec}$ , degalų kiekis turi būti tarp 39,1 ir 45,9  $\text{cm}^3$ , grįžtamas degalų kiekis turi būti mažiau negu  $20 \text{ cm}^3$ .

Ketvirtas etapas: Matuojamas įpurškamas degalų kiekis per 1000 ciklą esant 800 bar degalų slėgiui ir 530  $\mu\text{sec}$  atidarymo laikui, įpurškamas degalų kiekis turi būti tarp 17,3 ir 22,8  $\text{cm}^3$ , grįžtamas degalų kiekis nebematuojamas toliau.

Penktas etapas: Matuojamas įpurškamas degalų kiekis per 1000 ciklą esant 800 bar degalų slėgiui ir 245  $\mu\text{sec}$  atidarymo laikui, degalų kiekis turi būti tarp 2,9 ir 3,9  $\text{cm}^3$ .

Šeštasis etapas: Matuojamas įpurškamas degalų kiekis per 1000 ciklą esant 250 bar degalų slėgiui ir 360  $\mu\text{sec}$  atidarymo laikui, degalų kiekis turi būti tarp 2,0 ir 2,7  $\text{cm}^3$ .

Septintasis etapas: Matuojamas ar purkštuvo antgalis sandarus esant 1600 bar degalų slėgiui ir mažinant jį iki 130 bar purkštuvas turi būti uždarytas ir nepraleisti degalų pro purkštuko antgalį.

„Ditex“ purkštuvo testo specifikacijos aprašytos 3.2.1 lentelėje.

#### 4.2.1 lentelė. „Ditex“ purkštuvo testo specifikacijos

#0445115070 purkštuvo testo specifikacijos				
Degalų slėgis, BAR	Atidarymo laikas, $\mu\text{sec}$	Q_min, $\text{cm}^3 / 1000$ taktų	Q_max, $\text{cm}^3 / 1000$ taktų	Grįžtamas degalų kiekis , $\text{cm}^3$
1600	6 stendo pozicija	3min. apšildomas prieš testą		
500→800	atjungtas vožtuvas	0	0	<1
1600	800	39,1	45,9	≤20
800	630	17,3	22,8	-
800	245	2,9	3,9	-
250	640	2,0	2,7	-

Vienu metu tiriami 6 purkštuvai išimti iš vieno variklio. Pirmiausia tyrimai atlikti su degalais „Neste Pro Diesel“ tyrimo rezultatai surašyti į 4.2.2 lentelę.



#### 4.2.2 lentelė. Purkštuvų tyrimo rezultatai su „Neste Pro Diesel“ degalais

Dyzeliniai degalai, „Neste Pro Diesel“ B0											
1 purkštuvas		2 purkštuvas		3 purkštuvas		4 purkštuvas		5 purkštuvas		6 purkštuvas	
Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41,7	16	43,2	14	42,7	15	39,9	13	42,8	12	43,1	16
19,7	-	20,3	-	20,4	-	21,4	-	19,6	-	19,7	-
3,0	-	3,6	-	3,9	-	3,5	-	3,7	-	3,3	-
2,6	-	2,2	-	2,3	-	2,3	-	2,5	-	2,1	-

Atlikus pirmą tyrimą iš rezultatų matoma, kad visi purkštukai atitinka testo parametrus.

Antras tyrimas daromas su dyzeliniais degalais kuriuose yra iki 7 % biodyzelino. Tyrimo rezultatai surašyti į 4.2.3 lentelę.

#### 4.2.3 lentelė. Purkštuvų tyrimo rezultatai su degalais iki 7 % biodyzelino.

Degalai B07											
1 purkštuvas		2 purkštuvas		3 purkštuvas		4 purkštuvas		5 purkštuvas		6 purkštuvas	
Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41,6	17	43,3	14	42,7	15	40,2	14	42,5	13	43,0	16
19,7	-	20,1	-	20,5	-	21,4	-	19,5	-	19,5	-
3,0	-	3,5	-	3,8	-	3,4	-	3,7	-	3,3	-
2,5	-	2,3	-	2,2	-	2,3	-	2,5	-	2,0	-

Trečias tyrimas daromas su dyzeliniais degalais, kuriuose yra 20 % biodyzelino. Tyrimo rezultatai surašyti į 4.2.4 lentelę.

#### 4.2.4 lentelė. Purkštuvų tyrimo rezultatai su degalais iki 20 % biodyzelino.

Degalai B20											
1 purkštuvas		2 purkštuvas		3 purkštuvas		4 purkštuvas		5 purkštuvas		6 purkštuvas	
Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41,4	17	43,1	14	42,7	14	40,1	15	42,2	12	42,7	16
19,6	-	20,1	-	20,2	-	21,2	-	19,5	-	19,6	-
3,0	-	3,3	-	3,5	-	3,0	-	3,5	-	3,1	-
2,3	-	2,0	-	2,1	-	2,3	-	2,3	-	1,9	-

Ketvirtas tyrimas daromas su dyzeliniais degalais kuriuose yra 40 % biodyzelino. Tyrimo rezultatai surašyti į 4.2.5 lentelę.

**4.2.5 lentelė. Purkštuvų tyrimo rezultatai su degalais iki 40 % biodyzelino.**

Degalai B40											
1 purkštuvas		2 purkštuvas		3 purkštuvas		4 purkštuvas		5 purkštuvas		6 purkštuvas	
Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41,3	17	42,9	13	42,6	14	40,0	15	41,8	13	42,7	16
19,4	-	20,0	-	20,1	-	20,9	-	19,5	-	19,4	-
2,7	-	3,2	-	3,4	-	3,0	-	3,1	-	2,9	-
2,0	-	1,5	-	1,8	-	1,9	-	2,2	-	1,6	-

Penktas tyrimas daromas su dyzeliniais degalais kuriuose yra 60 % biodyzelino. Tyrimo rezultatai surašyti į 4.2.6 lentelę.

**4.2.6 lentelė. Purkštuvų tyrimo rezultatai su degalais iki 60 % biodyzelino.**

Degalai B60											
1 purkštuvas		2 purkštuvas		3 purkštuvas		4 purkštuvas		5 purkštuvas		6 purkštuvas	
Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41,0	17	42,5	14	42,2	13	39,8	15	41,2	12	42,0	16
19,0	-	19,5	-	19,8	-	20,2	-	19,3	-	19,1	-
2,2	-	2,8	-	3,2	-	2,9	-	2,7	-	2,5	-
1,5	-	1,1	-	1,4	-	1,5	-	1,9	-	1,5	-

Šeštasis tyrimas daromas su dyzeliniais degalais, kuriuose yra 80 % biodyzelino. Tyrimo rezultatai surašyti į 4.2.7 lentelę.

**4.2.7 lentelė. Purkštuvų tyrimo rezultatai su degalais iki 80 % biodyzelino.**

Degalai B80											
1 purkštuvas		2 purkštuvas		3 purkštuvas		4 purkštuvas		5 purkštuvas		6 purkštuvas	
Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40,2	17	41,5	14	41,4	14	39,2	15	39,5	12	41,3	15
18,4	-	19,1	-	19,3	-	19,9	-	19,1	-	18,9	-
1,8	-	2,2	-	2,5	-	2,3	-	2,5	-	2,3	-
1,1	-	0,6	-	0,5	-	0,8	-	1,0	-	0,8	-

Septintasis tyrimas daromas su degalais kuriuose yra 100 % biodyzelino. Tyrimo rezultatai surašyti į 4.2.8 lentelę.

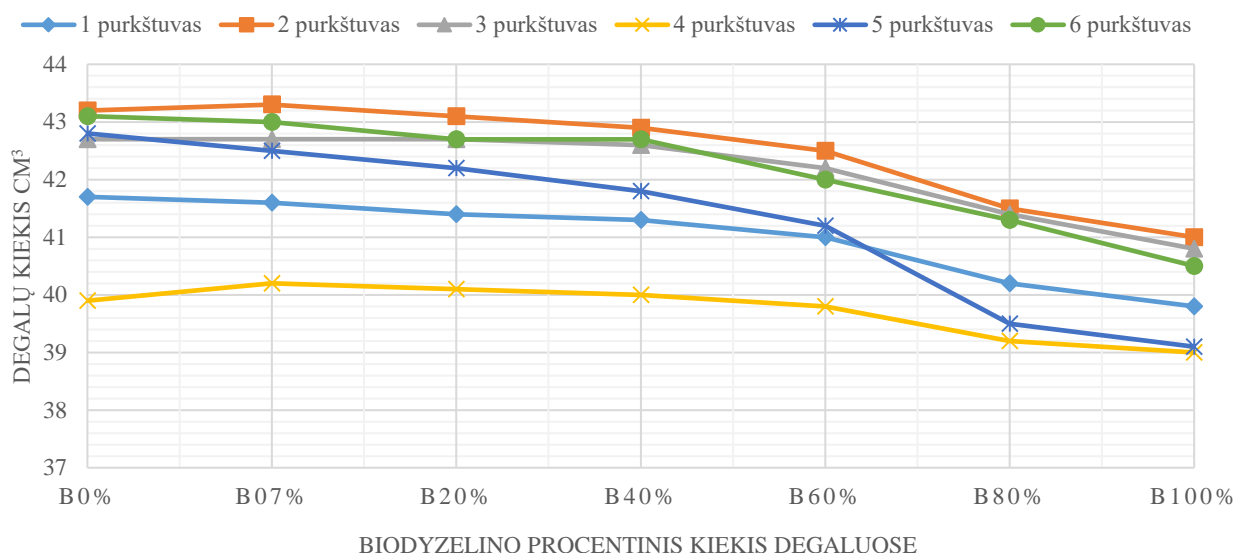
#### 4.2.8 lentelė. Purkštuvų tyrimo rezultatai su degalais iki 100 % biodyzelino.

Degalai B100											
1 purkštuvas		2 purkštuvas		3 purkštuvas		4 purkštuvas		5 purkštuvas		6 purkštuvas	
Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>ip</sub> cm <sup>3</sup>	Q <sub>gržt</sub> cm <sup>3</sup>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39,8	16	41,0	14	40,8	13	39,0	15	39,1	12	40,5	14
18,0	-	18,6	-	18,9	-	19,1	-	19,0	-	18,7	-
1,8	-	1,5	-	1,3	-	0,9	-	1,5	-	1,3	-
0,7	-	0	-	0	-	0,4	-	0,2	-	0,2	-

Iš gautų duomenų matoma, kad antrame testo etape grįžtamas degalų kiekis nepasikeitė ir liko visur 0 cm<sup>3</sup>.

Trečio testo etapo grafinių rezultatų vaizdavimas matomas 3.2.3 pav. Grafike matuojamas įpurškamas degalų kiekis. Pirmojo purkštovo įpurškamų degalų kiekio rezultatai: daugiausiai įpurškama degalų su B0 degalais 41,7 cm<sup>3</sup>, su likusiais degalų mišiniais įpurškamas degalų kiekis mažesnis, didžiausias skirtumas gautas su B100 degalais 1,9 cm<sup>3</sup> mažiau įpurškama degalų, lyginant su B0 degalų mišiniu. Antro purkštovo rezultatai: naudojant įvairius degalų mišinius įpurškamas degalų kiekis svyruoja ribose tarp 41,0 cm<sup>3</sup>, su B100 iki 43,3 cm<sup>3</sup>, su B07. Trečiojo purkštovo įpurškamų degalų rezultatai: kreivė svyruoja 40,8 cm<sup>3</sup>, su B100 iki 42,7 cm<sup>3</sup>, su B0, B07, B20. Ketvirtojo purkštovo rezultatai: įpurškamų degalų kiekis didžiausias naudojant B07, lygus 40,2 cm<sup>3</sup>, toliau didinant biodyzelio kiekį degaluose kreivė leidžiasi, įpurškamų degalų kiekis mažėja ir su B100 degalais pasiekia žemiausią įpurškamų degalų kiekį – 39,0 cm<sup>3</sup>, sumažėjimas 1,2 cm<sup>3</sup>. Penkto purkštovo įpurškamų degalų didžiausi parodymai pasiekti su B0 degalų mišiniu 42,8 cm<sup>3</sup>, mažiausiai degalų buvo įpurškama naudojant B100 degalus – 39,1 cm<sup>3</sup>. Iš šeštojo purkštovo kreivės matome, kad ji leidžiasi didinant biodyzelio kiekį degaluose, nuo 43,1 cm<sup>3</sup>, su B0 degalais iki 40,5 cm<sup>3</sup>, su B100 degalais, sumažėjimas 2,6 cm<sup>3</sup>.

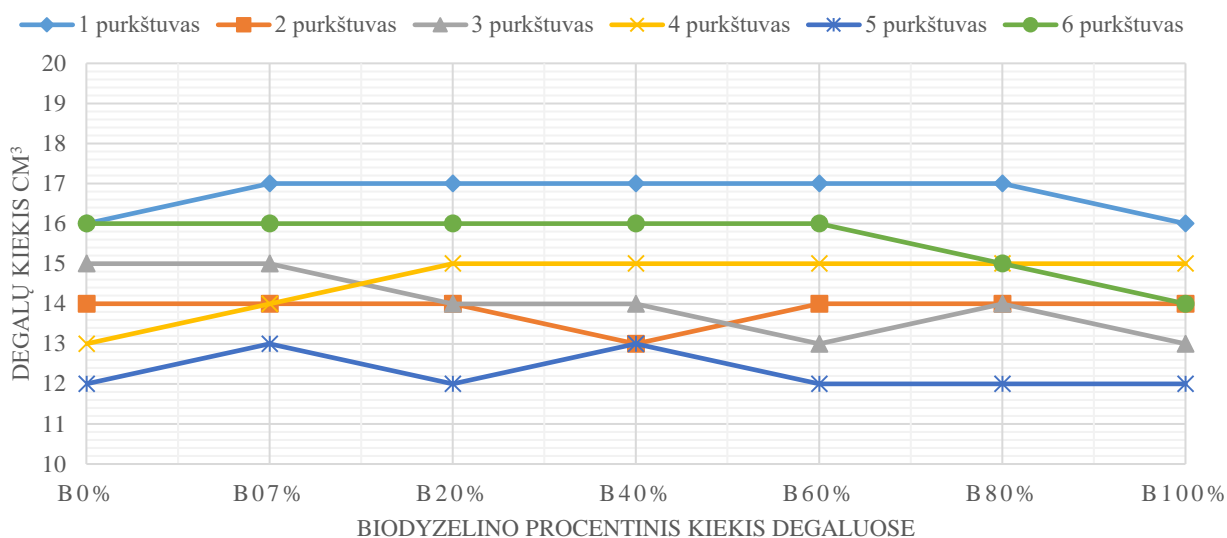
### TREČIO ETAPO TESTAS: ĮPURKŠTI DEGALAI



4.2.3 pav. Trečio etapo grafinis rezultatų vaizdavimas

Trečio testo etapo grįžtamo degalų kiekio grafinis rezultatų vaizdavimas matomas 4.2.4 pav. Aptariant pirmojo purkštovo grįžtamųjų degalų kiekį: daugiausiai grįžtamųjų degalų gauta su degalais – B07, B20, B40, B60, B80, visais atvejais  $17 \text{ cm}^3$ , su likusiais degalų mišiniais B0 ir B100 degalais –  $16 \text{ cm}^3$ . Antro purkštovo rezultatai: naudojant B0, B07, B20, B60, B80, B100 dyzeliną grįžtamasis degalų kiekis vienodas –  $14 \text{ cm}^3$ , pokyčiai pastebėti tik su B40 degalų mišiniu, grįžtamasis kuras sumažėjo iki  $13 \text{ cm}^3$ . Trečiojo purkštovo grįžtamųjų degalų rezultatai svyruoja nuo  $13 \text{ cm}^3$ , naudojant B60, B100, dyzeliną iki  $15 \text{ cm}^3$ , su B0 ir B07 dyzelinu. Ketvirtojo purkštovo rezultatai: grįžtamųjų degalų kiekis lygus  $15 \text{ cm}^3$ , naudojant B20, B40, B60, B80, B100, mažesnis grįžtamųjų degalų kiekis t.y.  $13 \text{ cm}^3$  buvo gautas tiriant ketvirtąjį purkštuvą su dyzelinu iki 0 % biodyzelio ir su dyzelinu iki 7 % biodyzelio -  $14 \text{ cm}^3$ . Penkto purkštovo grįžtamas degalų kiekis su visais degalų mišiniais svyruoja vos vienu kubiniu centimetru nuo  $12 \text{ cm}^3$  iki  $13 \text{ cm}^3$ . Iš šeštojo purkštovo kreivės matome, kad didžiausias grįžtamųjų degalų kiekis gautas su degalais B0, B07, B20, B40, B60 –  $16 \text{ cm}^3$ , naudojant kitus degalų mišinius su didesniu biodyzelio kiekiu, grįžtamas degalų kiekis nukrito vienu kubiniu centimetru iki  $15 \text{ cm}^3$ , su B80, su grynu biodyzelinu iki  $14 \text{ cm}^3$ .

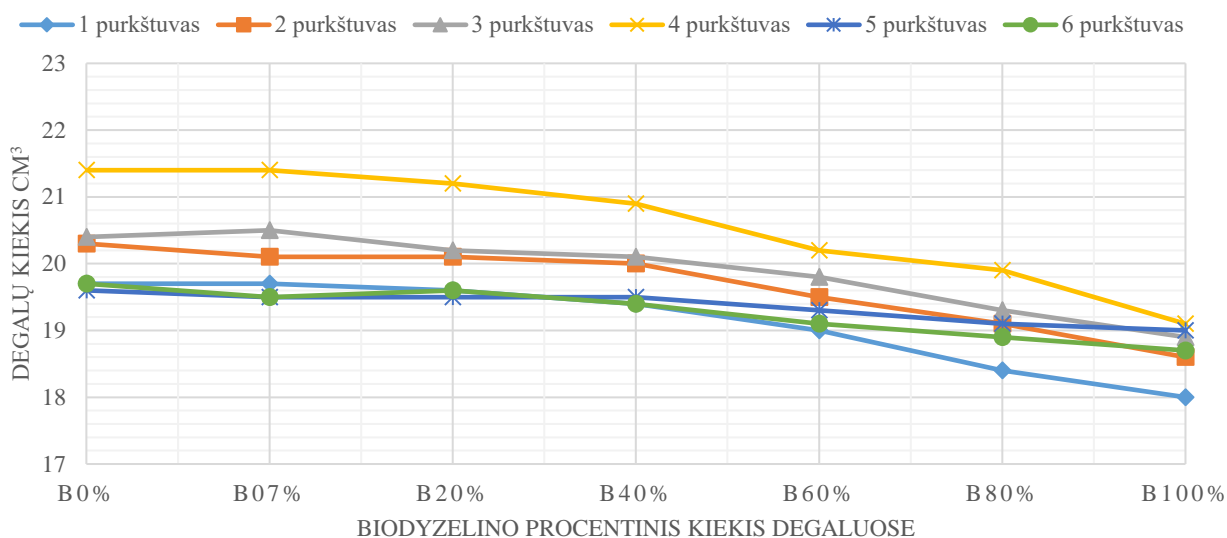
### TREČIO ETAPO TESTAS: GRĮŽTAMAS DEGALŲ KIEKIS



**4.2.4 pav. Trečio etapo grįžtamo degalų kiekio grafinis rezultatų vaizdavimas**

Ketvirto testo degalų kiekio grafinis rezultatų vaizdavimas matomas 4.2.5 pav. Grafike matuojamas įpurškamas degalų kiekis. Pirmojo purkštovo įpurškų degalų kiekio rezultatai: daugiausiai įpurškta degalų su B0 ir B07 degalais  $19,7 \text{ cm}^3$ , su likusiais degalų mišiniais įpurškamas degalų kiekis mažesnis, didžiausias skirtumas gautas su B100 degalais net 9,44 % mažiau įpurškta degalų, lyginant su prieš tai paminėtais degalų mišiniais (B0, B07). Antro purkštovo rezultatai: naudojant įvairius degalų mišinius įpurškamas degalų kiekis svyruoja nuo  $18,6 \text{ cm}^3$ , naudojant B100 degalus iki  $20,3 \text{ cm}^3$ , naudojant B0 degalus. Trečiojo purkštovo įpurškų degalų rezultatai: kreivė kyla didinant biodyzelio koncentraciją degaluose, nuo  $20,4 \text{ cm}^3$ , naudojant B0 dyzeliną iki  $20,5 \text{ cm}^3$ , su B07 dyzelinu, tačiau toliau didėjant biodyzelio kiekiui degaluose įpurškiamas kiekis mažėja ir nukrenta iki  $18,9 \text{ cm}^3$ , su B100 degalais. Ketvirtojo purkštovo rezultatai: įpurškų degalų kiekis didžiausias naudojant B0 ir B07 degalus, lygus  $21,4 \text{ cm}^3$ , toliau didinant biodyzelio kiekį degaluose kreivė leidžiasi, įpurškiamų degalų kiekis mažėja ir su B100 degalais pasiekia žemiausią įpurškiamų degalų kiekį –  $19,1 \text{ cm}^3$ , sumažėjimas 10,75 % . Penkto purkštovo įpurškų degalų didžiausi parodymai pasiekti su B0 degalų mišiniu  $19,6 \text{ cm}^3$ , mažiausi su B100 degalais –  $19,0 \text{ cm}^3$ . Iš šeštojo purkštovo kreivės matome, kad ji leidžiasi didinant biodyzelio kiekį degaluose, nuo  $19,7 \text{ cm}^3$ , su B0 degalais iki  $18,7 \text{ cm}^3$ , su B100 degalais, sumažėjimas  $1 \text{ cm}^3$ .

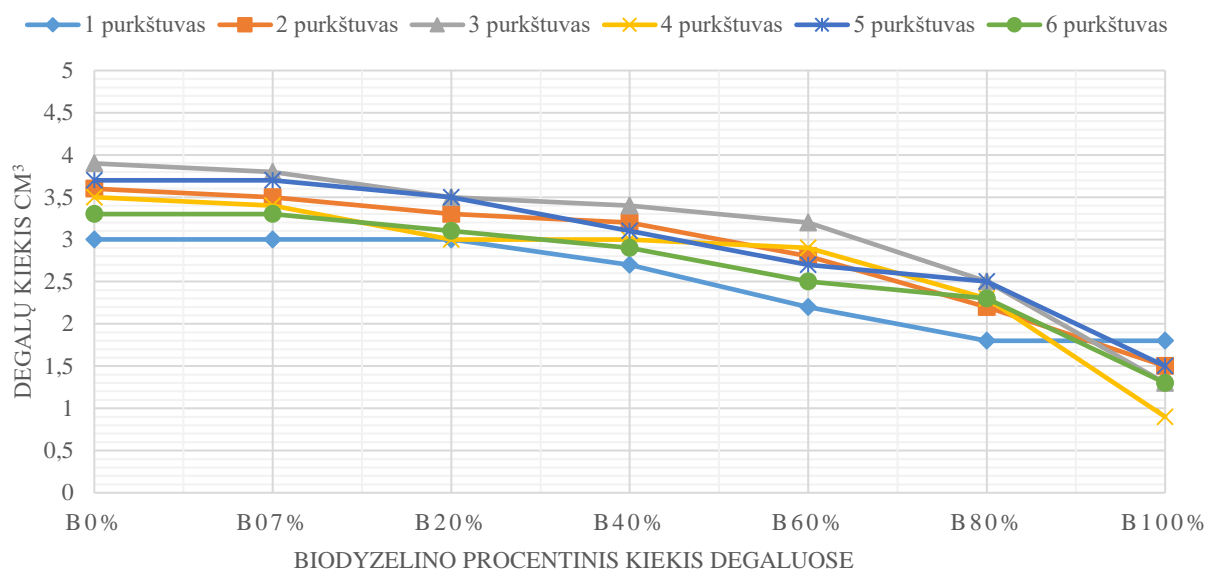
## KETVIRTO ETAPO TESTAS



### 4.2.5 pav. Ketvirto etapo degalų kiekio grafinis rezultatų vaizdavimas

Penkto etapo testo degalų kiekio grafinis rezultatų vaizdavimas matomas 4.2.6 pav. Grafike matuojamas įpurškamas degalų kiekis. Pirmojo purkštuvu įpurškų degalų kiekio rezultatai: daugiausiai įpurškta degalų su B0, B07, B20 degalais  $3,0 \text{ cm}^3$ , su likusiais degalų mišiniais įpurškamas degalų kiekis mažesnis, didžiausias skirtumas gautas su B80 ir B100 degalais  $66,7 \%$  mažiau įpurškta degalų, lyginant su B0 degalų mišiniu, sumažėjimas iki  $1,8 \text{ cm}^3$ . Antro purkštuvu rezultatai: naudojant įvairius degalų mišinius įpurškamas degalų kiekis svyruoja nuo  $1,5 \text{ cm}^3$ , naudojant B100 degalus iki  $3,6 \text{ cm}^3$ , naudojant B0 degalus. Trečiojo purkštuvu įpurškų degalų rezultatai: grafikas svyruoja  $1,3 \text{ cm}^3 - 3,9 \text{ cm}^3$  ribose. Ketvirtojo purkštuvu rezultatai: įpurškų degalų kiekis didžiausias naudojant B0 degalus, lygus  $3,5 \text{ cm}^3$ , toliau didinant biodyzelio kiekį degaluose kreivė leidžiasi, įpurškiamų degalų kiekis mažėja ir su B100 degalais pasiekia žemiausią įpurškiamų degalų kiekį –  $0,9 \text{ cm}^3$ , sumažėjimas 3,89 karto. Penkto purkštuvu įpurškų degalų didžiausi parodymai pasiekti su B0 ir B07 su degalų mišiniais  $3,7 \text{ cm}^3$ , mažiausi su B100 degalais –  $1,5 \text{ cm}^3$ . Iš šeštojo purkštuvu rezultatų matoma, kad kreivės taškų amplitudė –  $1,3 \text{ cm}^3 - 3,3 \text{ cm}^3$ , skirtingi degalų mišiniai lemia tik  $2 \text{ cm}^3$  pokytį.

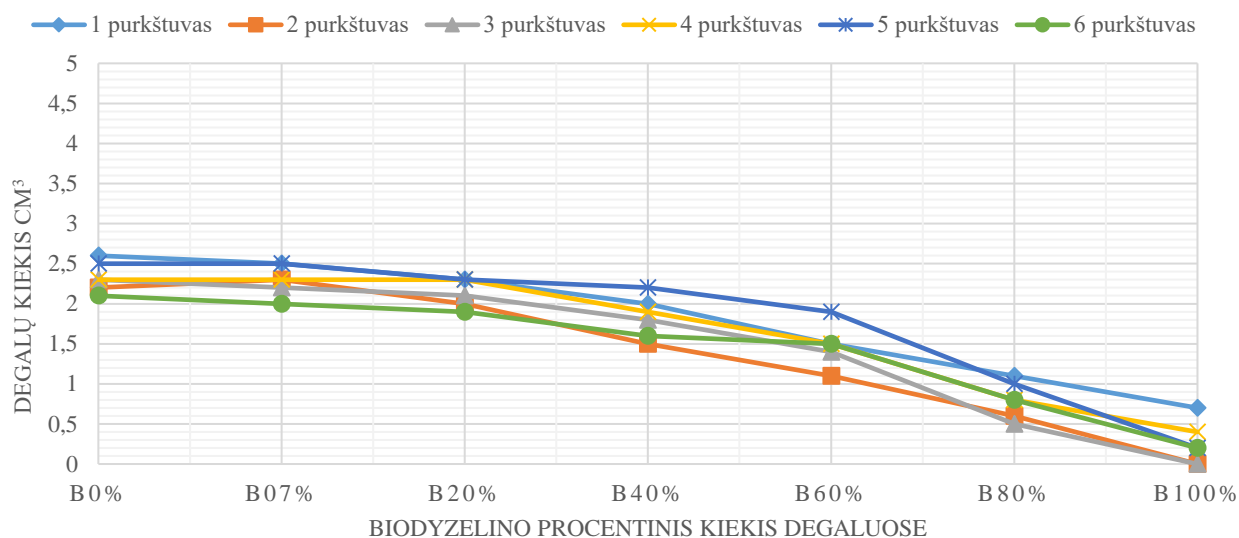
## PENKTO ETAPO TESTAS



4.2.6 pav. Penkto etapo degalų kiekio grafinis rezultatų vaizdavimas

Šešto etapo testo degalų kiekio grafinis rezultatų vaizdavimas matomas 4.2.7 pav. Grafike matuojamas įpurkštas degalų kiekis. Pirmojo purkštuvu įpurkštų degalų kiekio rezultatai: daugiausiai įpurkšta degalų su B0 degalais  $2,6 \text{ cm}^3$ , su likusiais degalų mišiniais įpurkštas degalų kiekis mažesnis, didžiausias skirtumas gautas su B100 degalais net 3,71 karto mažiau įpurkšta degalų, lyginant su degalų mišiniu B0. Antro purkštuvu rezultatai: naudojant įvairius degalų mišinius įpurkštas degalų kiekis didžiausias gautas su B07 degalų mišiniu  $2,3 \text{ cm}^3$ , verta atkreipti dėmesį į tai, kad su B100 degalais įpurkšta  $0 \text{ cm}^3$ . Trečiojo purkštuvu įpurkštų degalų rezultatai: grafikas svyruoja  $0,5 \text{ cm}^3$  iki  $2,3 \text{ cm}^3$ , svarbu atkreipti į B100 degalų tyrimo rezultatus – įpurkšta  $0 \text{ cm}^3$ . Ketvirtojo purkštuvu rezultatai: įpurkštų degalų kiekis didžiausias naudojant B0, B07 ir B20 degalus, lygus  $2,3 \text{ cm}^3$ , toliau didinant biodyzelio kiekį degaluose kreivė leidžiasi, įpurškiamų degalų kiekis mažėja ir su B100 degalais pasiekia žemiausią įpurškiamų degalų kiekį –  $0,4 \text{ cm}^3$ , sumažėjimas  $1,9 \text{ cm}^3$ . Penkto purkštuvu įpurkštų degalų didžiausi parodymai pasiekti su B0, B07 degalų mišiniais  $2,5 \text{ cm}^3$ , mažiausiai degalų buvo įpurkšta naudojant B100 degalus –  $0,2 \text{ cm}^3$ . Iš šeštojo purkštuvu kreivės matome, kad ji leidžiasi didinant biodyzelio kiekį degaluose, nuo  $2,1 \text{ cm}^3$ , su B0 degalais iki  $0,2 \text{ cm}^3$ , su B100 degalais, sumažėjimas  $1,9 \text{ cm}^3$ .

## ŠEŠTO ETAPO TESTAS



4.2.7 pav. Šešto etapo kuro kiekio grafinis rezultatų vaizdavimas

Toliau, randamas pjezoelektrinės pavaros minimalus impulso laikas, per kurį purkštuvai sugeba išpurkšti degalus. Šiam tyrimui atlikti naudoti tie patys purkštuvai ir testas atliktas su visais degalų mišiniais.

Pradinis laikas purkštuvų tikrinimo stendui užduotas 100  $\mu\text{sec}$  ir keltas kas 10  $\mu\text{sec}$ , tol kol bus pastebėti išpurkšti degalai. Degalų slėgis slėgio akumuliatoriuje nustatytas ties 300 bar.

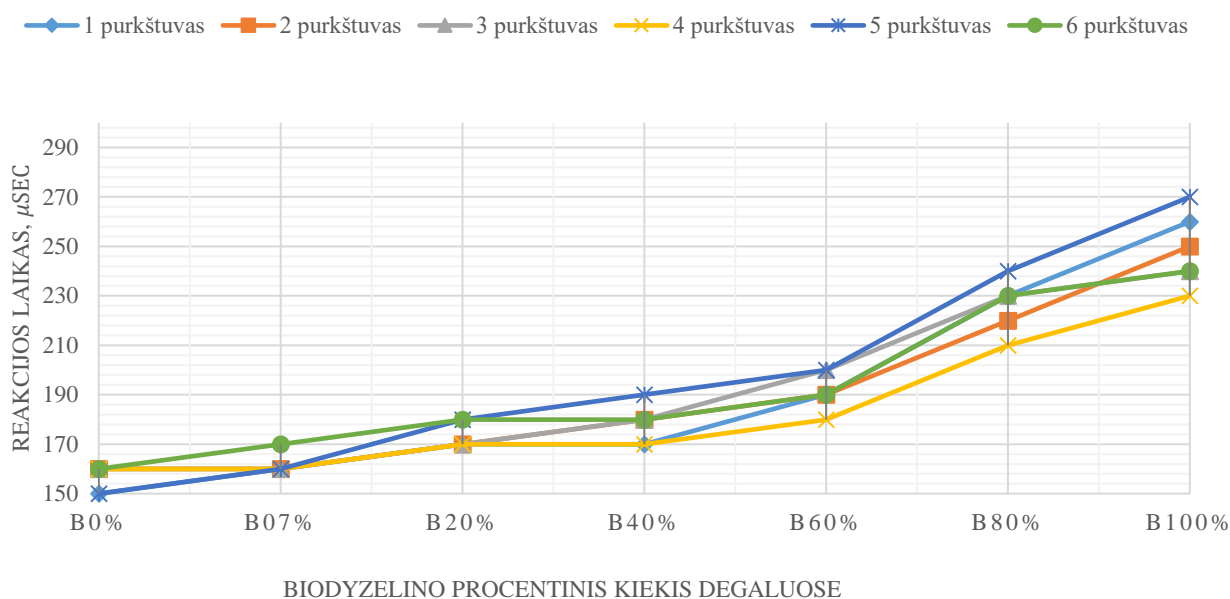
4.2.9 lentelėje surašytas purkštuvų reakcijos laikas, esant skirtingiems degalų mišiniams.

4.2.9 lentelė. Purkštuvų reakcijos laikas esant skirtingiems degalų mišiniams

	1 Purkštuvo reakcijos laikas, $\mu\text{sec}$	2 Purkštuvo reakcijos laikas, $\mu\text{sec}$	3 Purkštuvo reakcijos laikas, $\mu\text{sec}$	4 Purkštuvo reakcijos laikas, $\mu\text{sec}$	5 Purkštuvo reakcijos laikas, $\mu\text{sec}$	6 Purkštuvo reakcijos laikas, $\mu\text{sec}$
B0 degalai	150	160	160	160	150	160
B07 degalai	160	160	160	160	160	170
B20 degalai	170	170	170	170	180	180
B40 degalai	170	180	180	170	190	180
B60 degalai	190	190	200	180	200	190
B80 degalai	230	220	230	210	240	230
B100 degalai	260	250	240	230	270	240



Grafiškai pavaizduojama purkštuvų reakcijos laiko priklausomybė nuo degalų mišinio (4.2.8 pav.). Trumpai apžvelgiant kiekvieno purkštovo reakcijos laiko priklausomybę nuo degalų mišinio, tai visiems purkštuvams galima pritaikyti tą pačią tendenciją – didinant biodyzelio kiekį degaluose, degalų įpurškimo reakcijos laikas lėtėja. Pirmo purkštovo degalų įpurškimo reakcijos laikas sulėtėjo 110  $\mu\text{sec}$ . Antro purkštovo reakcijos laikas sulėtėjo 90  $\mu\text{sec}$ . Trečio purkštovo reakcijos laikas sulėtėjo 80  $\mu\text{sec}$ . Ketvirto purkštovo reakcijos laikas sulėtėjo 70  $\mu\text{sec}$ . Penkto purkštovo reakcijos laikas sulėtėjo 120  $\mu\text{sec}$ . Šešto purkštovo reakcijos laikas sulėtėjo 80  $\mu\text{sec}$ .



**4.2.8 pav. Purkštuvų reakcijos laiko priklausomybė nuo degalų mišinio**

### 4.3. Eksperimentinių tyrimų išvados

4. Iš degalų tankio lentelės matoma, jog biodyzelino tankis už dyzelinius degalus yra  $48,1 \text{ kg/m}^3$  didesnis. Taip pat kinematinė klampa daugiau kaip du kartus didesnė,  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  temperatūroje.

5. Atlikus tyrimą su pirmu komplektu purkštuvų su elektromagnetine pavara matoma, kad grįžtamas degalų kiekis labai nežymiai kinta nuo skirtingo degalų mišinio, todėl galima teigti, kad šiam procesui įtakos neturi biodyzelinas, nes visi purkštuvai atitinka nustatytus parametrus. Trečiame etape bendras visų purkštuvų įpurškimas degalų kiekis su B0 degalais yra  $253,4 \text{ cm}^3$  o su B100 degalais  $240,3 \text{ cm}^3$ , tai 5,2 % mažiau. Ketvirtame etape įpurškimas bendras degalų kiekis su B0 -  $93,8 \text{ cm}^3$ , o su B100 -  $86,6 \text{ cm}^3$ , tai 7,7 %. Šeštame etape purškiami maži degalų kiekiai, jie įpurškiami pagalbinio įpurškimo metu prieš pagrindinį purškimą, bendras kiekis B0 -  $11,5 \text{ cm}^3$ , o B100 -  $7,9 \text{ cm}^3$ , tai yra 31,3 % mažiau. Paskutiniame testo etape tikrinamas pats mažiausias reikalingas įpurškimas degalų kiekis, bendras visų šešių purkštuvų kiekis yra, B0 -  $5,6 \text{ cm}^3$ , B100 -  $2,6 \text{ cm}^3$  ir santykinai šis kiekis sumažėja netgi iki 53,6 %. Elektromagnetinio purkštovo reakcijos laikas vidutiniškai su B100 degalais sulėtėjo  $48,33 \mu\text{s}$ .

6. Antrasis purkštuvų kompleksas yra su pjezoelektrine pavara. Šių purkštuvų atiduodamas degalų kiekis nepasikeitė antrame teste nuo naudojamo degalų mišinio, nes jeigu jis pradėtų praleisti degalus, jis būtų laikomas mechaniškai sugadintu. Trečio testo grįžtamas degalų kiekis nežymiai keitėsi su skirtingo mišinio degalais, bet jokios kryptingos tendencijos nebuvo išvelgta. Trečio testo įpurškimas bendras degalų kiekis yra su B0 - 254,6 cm<sup>3</sup>, o su B100 - 239,3 cm<sup>3</sup> santykinai sumažėjo 5,6 %. Ketvirto testo bendras kiekis su B0 degalais yra 121,4 cm<sup>3</sup>, su B100 - 112,4 cm<sup>3</sup>, santykinai sumažėjo 7,9 %. Penktame teste pradami purkšti „maži įpurškimai“, kurie nėra pagrindiniai, bendras kiekis su B0 - 20,8 cm<sup>3</sup>, o su B100 - 8,3 cm<sup>3</sup>, santykinis sumažėjimas 60 %. Penkto testo mažiausi įpurškimai su B0 bendras kiekis 14 cm<sup>3</sup>, o su B100 - 1,5 cm<sup>3</sup> santykinis sumažėjimas 89,3 %. Galima teigti, kad patys mažiausi prieš įpurškiminius purškimus beveik išnyko. Pjezo pavaros reakcijos laikas vidutiniškai sulėtėjo 91,67 μs.

## IŠVADOS

1. Atlikus tyrimą su komplektu purkštuvų su elektromagnetine pavara matoma, kad grįžtamas degalų kiekis per purkštuvą nuo degalų mišinio beveik nesikeičia ir yra toks pats. Naudojant B100 degalus labiausiai sumažėjęs degalų įpurškimas gautas pagalbinio įpurškimo metu, kada buvo siekiama įpurškšti patį mažiausią degalų kiekį, šis kiekis sumažėjo 53,6% pagrindinio įpurškimo metu kiekis sumažėjo 5,2 %. Dėl B100 degalų didesnės kinematinės klampos sulėtėjo visos elektromagnetinės pavaros sistema, vidutiniškai ji dirbo lėčiau - 48,33  $\mu$ s.

2. Atlikus tyrimą su komplektu purkštuvų su pjezoelektrine pavara matoma, kad grįžtamas degalų kiekis per purkštuvą nuo degalų mišinio, taip pat kaip ir su elektromagnetiniais purkštuvais, beveik nesikeičia. Naudojant B100 degalus labiausiai sumažėjęs degalų įpurškimas gautas pagalbinio įpurškimo metu, kada buvo siekiama įpurškšti patį mažiausią degalų kiekį, šis kiekis nukrito 89,3 % nuo pradinio kiekio su B0 degalais. Šis pagalbinis įpurškimas praktiškai išnyko, kai buvo naudojami B100 degalai, todėl galima teigti, kad yra galimybė atsirasti netolygiam variklio darbui laisvomis apsukomis, didesniai variklio triukšmui. Pagrindinis įpurškimas naudojant B100 degalus sumažėjo 5,6 %, dėl tokio skirtumo transporto priemonės naudotojas neturėtų pajusti kitokio variklio darbo, įmanomas tik galios sumažėjimas esant mažesniai įpurškiamam degalų kiekiui. Pjezo pavaros reakcijos laikas vidutiniškai sulėtėjo 91,67  $\mu$ s dėl didesnės B100 degalų kinematinės klampos.

3. Suskaičiuotas analitiškai įpurškimas degalų kiekis sumažėjo apie 3 %, dėl didesnio B100 degalų tankio, tačiau šiuose skaičiavimuose nevertinta kinematinė klampa, kuri lėtina viso purkštuvų pavaros veikimą.

4. Iš atlikto įpurškimo degalų kiekio testo matoma, kad purkštuvai su pjezoelektrine pavara yra labiau jautrūs biodyzelinui lyginant su purkštuvais su elektromagnetine pavara. Todėl nerekomenduojama varikliams su šia sistema naudoti gryną biodyzeliną, patartina jį naudoti maišant nedideliais kiekiais su grynu mineraliniu dyzelinu.

5. CR įpurškimo sistemos charakteristikai įtaką daro degalų klampos ir tankio skirtumai. Įpurškimo reakcijos laikui ir purkštuvų pralaidumo koeficientui. Įpurškiant grynus dyzelinius degalus įpurškimo kiekis buvo gautas didesnis, o reakcijos laikas mažesnis, negu naudojant biodyzelinius degalus. Norint CR sistemą su elektromagnetiniais purkštuvais pritaikyti 100% biodyzelino naudojimui, reikia koreguoti įpurškimo slėgį ir laiką.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Alfredas Balandis, Irmantas Barauskas, Anatolijus Eisinas, Zenonas Valančius (2012). Srautų dinamika 194p.
2. Dernote, Jérémie, et al. 2012. Influence of physical fuel properties on the injection rate in a Diesel injector. Fuel, 96: 153-160.
3. E. Sokolovskij, J. Matijošius (2012). Transporto priemonių konstrukcinės ir eksploatacinės medžiagos: mokomoji knyga. Vilnius: Technika, , 48 p.
4. Nikolić, Boban D., et al. (2012). Determining the speed of sound, density and bulk modulus of rapeseed oil, biodiesel and diesel fuel. Thermal Science, 16.suppl. 2: 505-514.
5. Robert Bosch GmbH (2006). Diesel-Engine Management, 4th Edition 506p
6. Article in Journal of KONES (2016). „Determination of commonrail injector flow characteristics with the use of diesel and biodiesel fuels“ [žiūrėta 2017- 04-05] Prieiga per internetą: <https://www.researchgate.net/publication/307916677>
7. D.Tziourtzioumis A.Stamatelos. „Effects of a 70% biodiesel blend on the fuel injection system operation during steady-state and transient performance of a common rail diesel engines“. [žiūrėta 2017- 04-15] Prieiga per internetą: <https://www.researchgate.net/publication/307916677>
8. Mokslinė ataskaita „Riebalų rūgščių metilesterio įmaišymo į dyzeliną žiemos laikotarpiu galimybių vertinimas“ (2015) [žiūrėta 2017- 05-02] Prieiga per internetą: [https://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/A\\_%20Stulginskio%20universiteto%20studija%20d%C4%97I%20RRME.pdf](https://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/A_%20Stulginskio%20universiteto%20studija%20d%C4%97I%20RRME.pdf)
9. Elektromagnetinių purkštuvų specifikacija: [žiūrėta 2017- 04-14] Prieiga per internetą: <http://autoditex.com/page/common-rail-injector---electromagnetic-crie-25-1.html>
10. Pjezo purkštovo specifikacijos: [žiūrėta 2017- 04-14] Prieiga per internetą: <http://autoditex.com/page/common-rail-injector--piezo-crip-26-1.html>
11. Somnuek Jaronjitsathian, Pattarawit Sae-ong, Somchai Siangsantorh and Nirod Akarapanjavit ;Kaukeart Boonchukosol Department of Mechanical Engineering, Chulalongkorn University „An Analysis of Biodiesel Combustion on Diesel Technologies“ .
12. „Dyzelino ir biodegalų mišinių savybių įtaka „common rail“ sistemos įpurškimo procesui“ Tomas Mickevičius daktaro disertacija 2015 [žiūrėta 2017- 04-20] Prieiga per internetą: [http://asu.lt/wp-content/uploads/2015/11/Disertacija\\_Mickevicius.pdf](http://asu.lt/wp-content/uploads/2015/11/Disertacija_Mickevicius.pdf)

13. Biodegalų panaudojimo bukletas [žiūrėta 2017- 04-01] Prieiga per internetą:  
[http://www.lei.lt/ img/ up/File/atvir/bioenerlt/index\\_files/Biodegalai\\_galut.pdf](http://www.lei.lt/img/up/File/atvir/bioenerlt/index_files/Biodegalai_galut.pdf)
14. „Biodyzelinas: antroji medalio pusė“ Tomas Labžentis mokslinis straipsnis žiūrėta [2017- 04-05] Prieiga per internetą: [http://www.tp.cargo.lt/content.php?art\\_id=2453](http://www.tp.cargo.lt/content.php?art_id=2453)
15. „Biodegalai: naudojimas ir aplinkosauga“ Dr.Sigitas Lazauskas mokslinis straipsnis žiūrėta [2017- 04-07] Prieiga per internetą:<http://www.agroakademija.lt/inzinerija/energetika/?SId=907>
16. Europos standartas EN 590 dyzelinui žiūrėta [2017- 04-07] Prieiga per internetą:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/EN\\_590](https://en.wikipedia.org/wiki/EN_590)