



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MATEMATIKOS IR GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS

Marius Ambrazevičius

DYZELINIŲ KURO PURKŠTUKŲ ULTRAGARSINIO VALYMO
SISTEMOS KŪRIMAS IR TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Leonas Jakevičius

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MATEMATIKOS IR GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS

DYZELINIŲ KURO PURKŠTUKŲ ULTRAGARSINIO VALYMO
SISTEMOS KŪRIMAS IR TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Studijų programa Medžiagų mokslas (kodas M5156N21)

Vadovas

(parašas) Doc. dr. Leonas Jakevičius

(data)

Recenzentas

(parašas) Doc. dr. Vytautas Stankus

(data)

Projektą atliko

(parašas) Marius Ambrazevičius

(data)

KAUNAS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

(Fakultetas)

(Studento vardas, pavardė)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Dyzelinių kuro purkštukų ultragarsinio valymo sistemos kūrimas ir tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 _____ m. _____ d.

_____ Kaunas _____

Patvirtinu, kad mano, **Mariaus Ambrazevičiaus**, baigiamasis projektas tema „Dyzelinių kuro purkštukų ultragarsinio valymo sistemos kūrimas ir tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

TURINYS

SANTRAUKA	5
SUMMARY	6
SANTRUMPOS	7
IŽANGA	8
1. LITERATŪROS APŽVALGA	9
1.1. Ultragarsinis valymas	9
1.1.1. Kavitacijos efektas	11
1.1.2. Šarminių ploviklių naudojimas ultragarsiniame valyme.....	13
1.1.3. Rūgštinių ploviklių naudojimas ultragarsiniame valyme.....	15
1.2. Kuro įpurškimo sistemos.....	16
1.2.1. EFI kuro įpurškimo sistemos veikimo principas.....	17
1.2.2. Kuro purkštuko veikimas	18
1.2.3. Pagrindiniai kuro įpurškimo parametrai.....	19
1.2.4. Kuro purkštukų eksploatacija, problemos.....	21
2. MEDŽIAGOS IR TYRIMO METODAI	24
2.1. Tyrimo eiga	24
2.2. Bandinių pasirinkimas.....	25
2.3. Purkštuko antgalio analizei naudoti metodai	28
2.3.1. Skenuojamoji elektroninė mikroskopija	28
2.3.2. Rentgeno spindulių energijos dispersijos spektroskopija	29
2.4 Kuro purkštukų ultragarsinis plovimas	31
2.4.1. Ultragarsinio plovimo terpė	31
2.4.2. Ultragarsinė plovimo vonelė	33
3. TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS.....	35
3.1. Kuro purkštukų ultragarsinio plovimo sistema	35
3.2. Kuro purkštukų antgalių paviršiaus analizė	37
3.3. Purkštukų antgalių ultragarsinis plovimas	42
IŠVADOS	51
PADĖKOS	52
LITERATŪROS SĄRAŠAS	53

Ambrazevičius, Marius. Dyzelinių kuro purkštukų ultragarsinio valymo sistemos kūrimas ir tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Leonas Jakevičius; Kauno technologijos universitetas, Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas.

Mokslų kryptis ir sritis: Fizikiniai mokslai, ultragarsinis valymas taikymas

Reikšminiai žodžiai: ultragarsas, kavitacija, valymas, kuro purkštukas

Kaunas, 2017. 55 p.

SANTRAUKA

Kiekviename šiuolaikiniame automobilyje yra įmontuota kuro įpurškimo sistema. Ši sistema laikui bėgant pasidengia nešvarumais, o tai trigdo variklio darbą. Sutrikus šiai sistemai automobilis naudoja daugiau degalų, suprastėja variklio darbo charakteristikos bei atsiranda rizika pažeisti kitus variklyje esančius komponentus.

Kuro purkštukai yra brangūs todėl dažnai vietoje jų pakeitimo naujais pasirenkamas buvusių purkštukų atnaujinimas. Kadangi purkštuko ertmės yra mažos, o nešvarumų adhezija įpatyngai didelė, cheminiai, mechaniniai valymo būdai yra neefektyvūs.

Šiame darbe sukurta efektyvi kuro purkštukų ultragarsinio valymo sistema. Šios sistemos pagalba galima stebėti valymo eigą ir analizuoti kuro purkštukų charakteristikas.

Pasinaudojant sukurta sistema, Kauno technologijos universitete esančia įranga bei UAB „REMSALIS“ įmonėje esančia ultragarsine plovimo vonele. Buvo atliktas šios sistemos efektyvumo tyrimas naudojant skirtingas plovimo medžiagas.

Prieš atliekant ultragarsinio plovimo tyrimą buvo nustatyta, jog kuro purkštukų antgalius dengia nešvarumai kurių sudėties didžiąją dalį sudaro: anglis (68,8%), deguonis (23,3%) ir kiti elementai (7,9%). Antgalių mikroskylutėse matomi nešvarumai, ertmių skersmuo ir forma pakitusi.

Atlikus tyrimą nustatyta jog sukurta ultragarsinio plovimo sistema efektyviai pašalina nešvarumus esančius ant kuro purkštuko paviršiaus bei jo mikroskylutėse. Gautos išvados parodo, jog dyzelinas yra netinkama ultragarsinio plovimo terpė, o efektyviausias nešvarumų valymas yra pasiekiamas naudojant šarminį pH ploviklį „P-122“. Naudojant 5% vandeninį šio ploviklio tirpalą nešvarumai pašalinami per 2 – 10 minučių. Naudojant rūgštinio pH ploviklio „Dekalcitas“ 5% vandeninį tirpalą ultragarsinio plovimo metu vyko antgalio ertmių išdėsinimas.

Plovimo metu pašalinama iki 93% nešvarumų, po ultragarsinio valymo kuro purkštukų mikroangų skersmuo bei forma atstatoma iki gamyklinių parametrų.

Ambrasevičius, Marius. DIESEL FUEL INJECTOR ULTRASONIC CLEANING SYSTEM CREATION AND ANALYSIS: Master's thesis in Materials Science / supervisor doc. dr. Leonas Jakevičius. The Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Kaunas University of Technology.

Research area and field: physical sciences, ultrasonic cleaning application

Key words: ultrasound, cavitation, cleaning, fuel injector

Kaunas, 2017. 55 p.

SUMMARY

Every car today has a fuel injection system. But time to time it gets clogged and that is stopping the engine from functioning properly. When this system isn't working properly the engine uses more fuel, the engine's overall work gets worse and the risk damaging other components of the engine increases.

Fuel injectors are expensive that's why it's better to clean them rather than change. The fuel injector cavities are small and the dirt adhesive is really good. That's why chemical and mechanical cleaning methods are ineffective.

This work created an effective fuel injector ultrasound cleaning system. This system helps monitor the whole process and analyze the injectors characteristics.

An analysis was conducted with different cleaning materials using the made system, Kaunas technology university tools and UAB Remsalis ultrasound washing bath.

Before beginning the analysis it was found that the fuel injector nossel was covered in dirt in which the main element was carbon(68.8%), oxygen (23.3%) and other elements (7.9%). Nossel diameter and form are altered and you can see dirt in the tip's microholes.

When the analysis was complete it was determined that the ultrasound cleaning system effectively cleaned the fuel injector nossel and the microholes. The overall showed that diesel isn't a good cleaning medium and the most effective cleaning was using alkaline solution "P-122". The dirt is cleaned after 2-10 minutes after using 5% water solution.

The cleaning method removed up to 93% dirt and injector's microhole diameter and form was restored to factory settings after using the ultrasound cleaning.

SANTRUMPOS

Ca – Kalcis

CO – Anglies monoksidas

CR – COMMON RAIL sistema

CR1 – Pirmos kartos COMMON RAIL sistema

ECU – Variklio valdymo blokas

EDS – Rentgeno spindulių energijos dispersijos spektroskopija

EFI – Elektroninis kuro įpurškimas

FI – Kuro įpurškimas

HC – Angliavandeniliai

MFI – Mechaninis kuro įpurškimas

Mg – Magnis

P – Fosforas

PAM – Paviršiaus aktyvios medžiagos

S – Siera

SEM – Skenuojamoji elektroninė mikroskopija

TPS – Akseleratoriaus padėties daviklis

Zn – Cinkas

IŽANGA

Daugumoje šiuolaikinių automobilių yra įdiegta kuro įpurškimo sistema, kurios pagrindinis tikslas – variklio našumo ir efektyvumo didinimas. Tačiau dėl ilgalaikio tokių sistemų naudojimo, jų komponentai pasidengia nešvarumais. Pagrindinės nešvarumų kuro įpurškimo sistemoje atsiradimo priežastys yra naudojamas prastos kokybės kuras ar laiku nekeičiami kuro sistemos filtrai. Nešvarumai kuro sistemoje dažniausiai kaupiasi mažas angas turinčiuose elementuose, tai yra kuro įpurškimo purkštukuose. Purkštukų angos pasidengia įvairiais nešvarumais – kietosiomis dalelėmis, nuosėdomis ar kure esančiomis priemaišomis. Dėl šių priežasčių sumažėja kuro purkštukų angų skersmuo, taip sumažinamas ir įpurškiamo kuro debitas. Tai yra, susikaupus nešvarumams kuro įpurškimo sistemoje, įpurškimo metu kuras prastai išsklaidomas (atomizuojamas). Tokios kuro įpurškimo sistemos veikimo aplinkybės skatina šių problemų atsiradimą: prastą kuro atomizavimą bei sumažėjusį jo kiekį. Ilgainiui šios pakitusios sąlygos lemia variklio darbo sutrikimus. Variklio cilindre susidaro “liesas” kuro ir oro mišinys, kuras sudega neefektyviai. Padidėja degimo temperatūra ir sumažėja išsiskiriančios energijos kiekis. Dirbant varikliui cilindru darbas tampa nevienodas, variklis išsibalansuoja ir atsiranda papildomos jėgos, didinančios kitų variklio dalių, tokių kaip alkūninis velenas, stūmokliai, švaistikliai ir kitos judančios dalys, dilimą. Dėl šių procesų sumažėja variklio galia, variklis lėčiau išvysto sukčius, padidėja išmetamųjų dujų tarša. Taigi, nešvarumai kuro įpurškimo sistemos elementuose lemia viso variklio darbo sutrikimus.

Minėtas variklio problemas galima spręsti keičiant kuro purkštukus naujais arba atliekant esamų kuro purkštukų valymą. Kuro purkštukų kaina yra ganėtinai didelė, todėl dažniausiai pasirenkamas jų valymas, atsižvelgiant į tai, kad visi kiti purkštukų mechaniniai ir elektriniai komponentai funkcionuoja tinkamai, šis būdas yra patikimas ir ekonomiškai patrauklus. Valymui dažniausiai naudojami kombinuoti metodai, kuriuose dominuoja ultragarsinis valymas ir cheminės valymo priemonės taip pat purkštuko veikimo kokybei įvertinti naudojami standai gebantys imituoti variklio darbą. **Darbo tikslas** pagaminti kuro purkštukų ultragarsinę valymo sistemą ir iširti jos efektyvumą, naudojant skirtingas valymo medžiagas.

Darbo uždaviniai:

- Atlikti literatūros analizę apie ultragarsinį valymą.
- Susipažinti su kuro purkštuko komponentais bei jų svarba variklio darbo kokybei.
- Suprojektuoti ir pagaminti purkštukų ultragarsinio plovimo, tikrinimo standą.
- Naudojantis pagamintu standu, EDS bei SEM nustatyti valomų purkštukų charakteristikas.
- Atlikti purkštukų ultragarsinį plovimą, naudojant skirtingas valymo terpes. Įvertinti kuro purkštukų ultragarsinio plovimo kokybę, nustatyti efektyviausią valymo terpę.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Ultragarsinis valymas

Ultragarso panaudojimas valymo procesuose pagrįstas jo poveikiu skystoms terpėms, jis skysčiuose sukelia intensyvius aukšto dažnio tampruosius virpesius. Taip pat ypatingą reikšmę turi kavitacijos reiškiniai, didelių pagreičių valymo terpėse atsiradimas, šiluminiai efektai ir kiti veiksniai. Kai kuriais atvejais, pavyzdžiui, valant kontaktiniu būdu, ultragarsiniai virpesiai sukeliama valomoje detalėje, nešvarumų plėvelė ardoma, atskiriama ir ištirpinama dėl terpės cheminio aktyvumo ir veiksnių, susidarančių dėl akustinio lauko poveikio terpei [1].

Nešvarumų šalinimo būdai yra plovimas, cheminis tirpdyimas ir mechaninis poveikis, visi jie dažnai taikomi kartu. Ypač efektyvus mechaninio poveikio derinimas su plovimu ir tirpdyimu. Ultragarsinis valymas paprastai trunka nuo kelių sekundžių iki keliolikos minučių ir priklauso nuo nešvarumų pobūdžio ir jų kiekio valomo paviršiaus ploto vienetu. Jeigu detalės paviršiuje nešvarumų yra daugiau kaip 200 mg/m², ultragarsinį valymą tikslinga derinti su cheminiais būdais.[2] Tokiu atveju aukštai paviršiaus kokybei pasiekti ultragarsinį lauką reikia naudoti tik paskutinėje valymo stadijoje. Valymo efektyvumas priklauso nuo dažnio ir ultragarsinių virpesių intensyvumo, tinkamo keitiklio parinkimo, jo galios, ultragarsinių virpesių perdavimo į vonią sistemos, kinematinės įtaisų schemos, švaraus valymo skysčio tiekimo, galimybės regeneruoti naudojamą terpę ir kt. Ultragarsinio valymo būdai [2]:

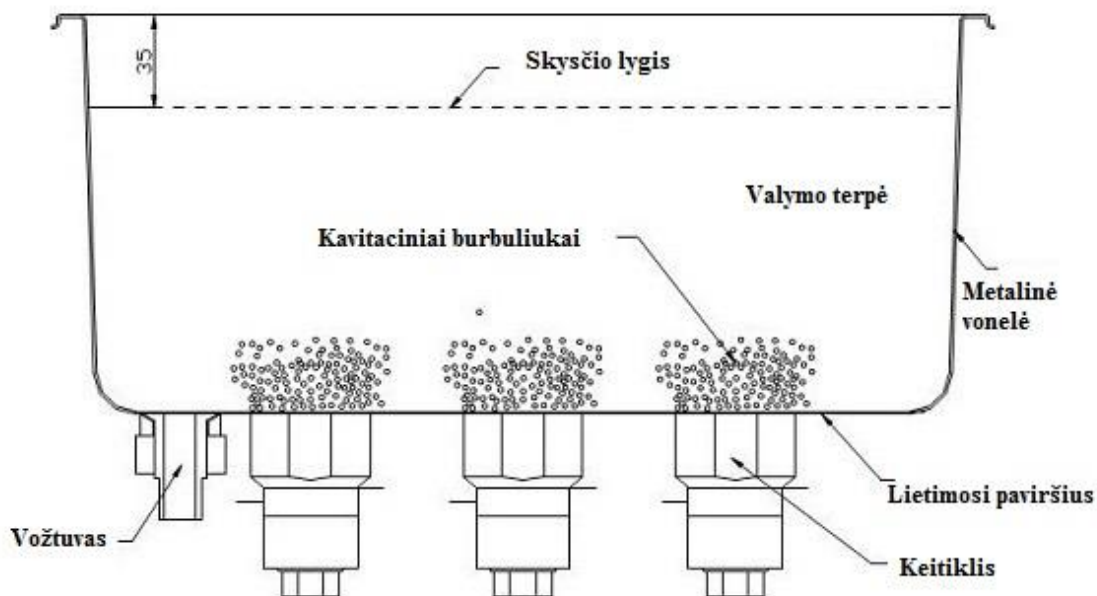
- **Panardinimas** – naudojamas mažų, vidutinių matmenų detalėms valyti. Detalės sudedamos į tinklelius ir panardinamos į valymo skystį kuo arčiau ultragarso šaltinio (žr. 1.1 pav.). Geriausia tai atlikti, prijungus prie detalių krepšio vibratorių arba vibruojantį tinklinį būgną.
- **Nepertraukiamai nuoseklus** – valoma dvejopai: *a)* ultragarso šaltinis perkeliama detalių atžvilgiu; *b)* detalės juda ultragarso šaltinio atžvilgiu. Juostos, lapai, vielos valomi antruoju būdu, naudojant įvairius transportavimo įrenginius.
- **Spinduliavimo šaltinis yra valymo zonoje** – naudojamas sunkiai pasiekiamoms vietoms, aklinosioms skylėms, kanalams apdirbti. Dažniausiai valoma rankomis, todėl tokie įrenginiai yra lengvi ir kompaktiški.

- **Kontaktinis** – taikomas vidiniams detalių paviršiams valyti, kai nešvarumų storis ne didesnis kaip 2 mm. Ultragarso valymo metu ultragarsiniai virpesiai detalėje sukeliama akustinio kontakto tarp detalės ir keitiklio metu. Detalė tampa antriniu spinduliavimo šaltiniu, todėl valymo procesas vyksta ne tik dėl sukkelto ultragarso skystyje, bet ir dėl pačios detalės virpesių, kurie sukelia nešvarumų sluoksniavimąsi. Apdirbant didelių matmenų detales, reikia keisti keitiklio vietą, nes sumažėja ultragarsinių virpesių intensyvumas dėl cilindrinio ultragarso bangos pobūdžio.

Ultragarso valymo būdas pasirenkamas atsižvelgiant į valomo objekto savybes bei siekiamus rezultatus.

Ultragarso valymui dažniausiai naudojama 18 – 40 kHz dažnio ultragarsiniai keitikliai, kurių galia 50 -60 w [3]. Keitikliai montuojami prie plovimo vonelės dugno (panardinimo valymo metodu). Ultragarso plovimas naudojamas ten kur reikalinga ypatinga švara, tai yra šiuo valymo metodu nepažeidžiamas paviršius, valymas vyksta visame detalės paviršiuje. Keičiant ultragarso dažnį galima keisti nuvalomų dalelių dydį, didinant dažnį pašalinamos vis mažesnės dalelės, bei ultragarso geriau įsiskverbia į mažesnius plyšius ir iš ten pašalina nešvarumus. Ultragarso valymui didelę reikšmę turi valymo terpė. Dažniausiai naudojamos šios valymo terpės: šarminiai valymo tirpalai, neutralūs valymo priemonių tirpalai, rūgštiniai tirpalai, emulsiniai, dvifaziai tirpalai ir emulsijos, kurios parenkamos atsižvelgiant į užterštumo pobūdį, valomos detalės medžiagą, jos konstrukcines savybes ir kt. Gamyboje įvairios metalinės detalės valomos daugiakomponenčiais šarminiais tirpalais, sumaišytais iš kelių skirtingų šarminių druskų ir paviršių aktyvinančių priemonių. Šarminių valymo priemonių gamybai naudojami šie šarminiai junginiai: natrio hidroksidas (NaOH); natrio karbonatas (Na_2CO_3); natrio metasilikatas ($\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2$); natrio ortosilikatas Na_4SiO_4 ; natrio trifosfatas (Na_3PO_4); natrio pirofosfatas ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$); boratai ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ arba NaBO_2) ir kt. [4].

Plovimo efektyvumas priklauso nuo plovimo skysčio temperatūros, kavitacijos intensyvumas, kintant temperatūrai, taip pat kinta. Plovimo metu naudojant distiliuotą vandenį, plovimo efektyvumas pasiekia maksimumą ties ~ 70 °C. Naudojant kitą ploviklį, dėl skirtingos cheminės sudėties, kuri daro įtaką ploviklio fizikiniams ir cheminiams parametrų, virimo temperatūrai, paviršiaus įtempiui, klampai, pH, efektyviausia plovimo temperatūra skirsis nuo plovimo vandenių temperatūros. Šios sąlygos įvertinamos pasirenkant efektyviausią ploviklio ir temperatūros santykį [2].



1.1 pav. Ultragarsinio valymo vonelės schema [5]

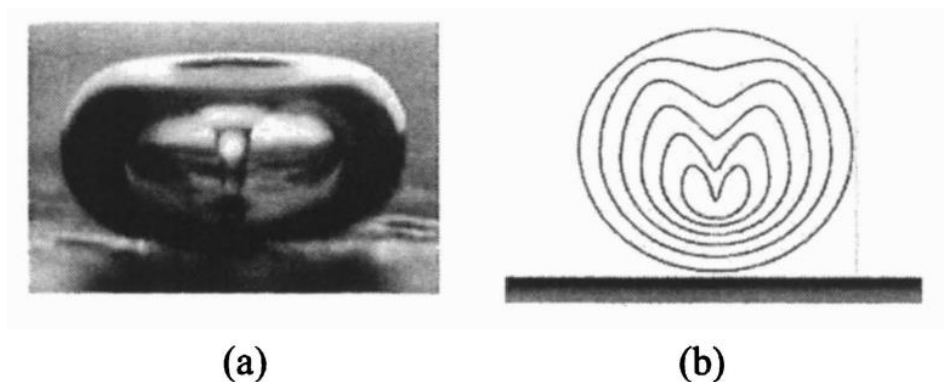
1.1.1. Kavitacijos efektas

Garsas sukelia slėgio svyravimus, kuo garso intensyvumas didesnis, tuo didesnis jo sukuriamas slėgio skirtumas. Viena iš unikalių vandeninių skysčių savybių yra gebėjimas atlaikyti didelius slėgio svyravimus, tačiau skysčiai labai neatsparūs tempimo įtempimams. Pereinant garso bangos fazę, skystis retėja ir trūkinėja. Trūkimo vietose dėl labai žemo slėgio susidaro maži dujų burbuliukai (jei skystis neužterštas, tai yra vandens garai), vadinami kavitaciniais burbuliukais. Maži burbuliukai susilieja į didesnius, o šie, pasikeitus bangos fazę, susitraukia, dėl staiga padidėjusio slėgio. Iš visų pusių į burbuliuko centrą didžiuliu greičiu artėjanti skysčio masė sukelia milžinišką dujų slėgį. Šis slėgis egzistuoja labai trumpai ir labai mažoje srityje. Susitraukimo metu, burbuliuko viduje susidaro slėgis, siekiantis šimtų ar net tūkstančių atmosferų [6]. Burbuliuko sferinė forma dažnai pasidaro nestabili ir jis subliūkšta nesimetriškai (žr. 1.2 pav.), sukeldamas kumuliatyviąsias skysčio mikrosroves, kurių greitis siekia kelis šimtus metrų per sekundę. Dėl šių burbuliukų sprogo susidaro didelės galios smūginės bangos, ardančios ir plėšančios nešvarumų daleles. Jei burbuliukas prieš susispausdamas turėjo tam tikrą formą, tai tarp jo suartėjančių sienelių gali įvykti mikro taškinis aukštos įtampos (dešimtys milijonų voltų) elektrinis išlydis, o jo viduje susidaro 8000 – 12000 K temperatūra. Nesusprogę kavitaciniai burbuliukai pradeda virpėti, o jų dydis bei dujų sudėtis nuolat kinta (žr. 1.3 pav.), burbuliuko sienelių spindulinid virpėjimo greitis didesnis už garso greitį. Nesusprogę burbuliukai prasiskverbia į tarpą tarp švaraus paviršiaus ir nešvarumų arba į paties nešvarumo tarpelius, ir virpamaisiais judesiais atplėšia nešvarumus nuo detalės paviršiaus, arba įvykus burbuliuko sprogo, suskaldo juos [7].

Paprastas būdas apskaičiuoti apytikslį, rezonancinį kavitacinio burbuliuko dydį pasitelkiant formulę (žr. 1.1 formulę):

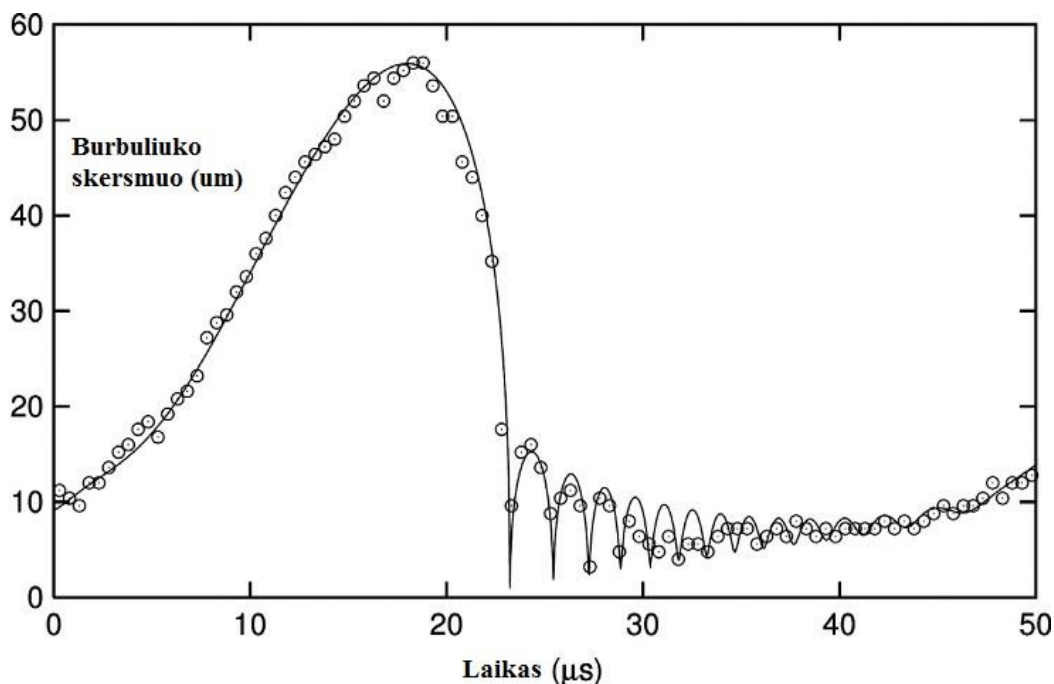
$$F \cdot R \approx 3 \quad (1.1)$$

Čia F – Ultragarso bangos dažnis (Hz), R – kavitacinio burbuliuko spindulys (m).



1.2 pav. Kavitacinio burbuliuko sproginas šalia kieto paviršiaus, **a** – nuotrauka, **b**- schema atitinkanti sproginimo srovės susidarymą [2]

Naudojant valymui ultragarsą, didelę reikšmę turi valomų detalių dydis, užteršimo laipsnis ir pobūdis. Nustatyta, kad leidžiant pro skystį dujas, palengvėja kavitacinių burbuliukų susidarymas, tačiau kartu sumažėja jų susitraukimo intensyvumas ir kavitacinė erozija. Jos intensyvumas priklauso nuo skysčio temperatūros, pakėlus valymo terpės temperatūrą, padidėja garų ir dujų slėgis kavitaciniuose burbuliukuose ir sumažėja burbuliukų susitraukimo jėga. Kartu sumažėja dujų tirpumas vandenyje, todėl padidėja susitraukiančių kavitacinių burbuliukų skaičius ir smūgių skaičius per laiko vienetą [8].



1.3 pav. Kavitacinio burbuliuko skersmens priklausomybė nuo laiko [8]

Paprastos formos (neturinčios aklinių skylių ir griovelių) detalės gali būti nuvalytos įrenginiuose, dirbančiuose 18 – 40 kHz dažniu. Sudėtingos formos (turinčios kreivųjų paviršių, aklinių skylių ir griovelių) detalės ne visada gerai nuvalomos apdirbant šiais dažniais, nes tokio dažnio bangų ilgiai skystyje susilygina su detalių dydžiais. Intensyvaus garso slėgio sritis, dirbant 18 – 40 kHz dažniu, yra arčiau spinduliavimo šaltinio, o toliau nuo jo greitai nuslopsta. Todėl efektyviausiai valoma tik kelių dešimčių milimetrų atstumu nuo šaltinio. Valymo procese panaudojus aukštesnio dažnio (200 – 1600 kHz) virpesius, gerokai sutrumpėja ultragarsinių virpesių banga, padidėja darbinės terpės dalelių pagreitis. Kartais naudinga valomą paviršių virpesiais veikti ne nuolat, bet darant ilgesnius tarpus tarp impulsų. Ultragarso pobūdis nėra svarbus dirbant 18 – 40 kHz dažniais, tačiau dirbant 300 – 500 kHz dažniais, impulsinis režimas yra efektyvesnis nei pastovus. Kai galios vienodos, valymas, dirbant impulsiniu režimu, trunka trumpiau nei dirbant pastoviu režimu. Efektyviausias valymas vyksta detalės temperatūrai susilyginus su skysto temperatūra. Taip pat valymo intensyvumas priklauso nuo detalės padėties ultragarsinėje vonioje – geriausia, kai detalė yra slėgių verpete, nes įprastinėmis sąlygomis intensyvesnė kavitacija esti tose vietose, kur dideli slėgių pokyčiai [9].

1.1.2. Šarminių ploviklių naudojimas ultragarsiniame valyme

Ultragarsinio valymo metu reikalinga skystoji terpė, kuri būtina kavitaciniui procesui įvykti. Dažniausiai atliekant ultragarsinį plovimą kaip skystoji terpė pasirenkamas distiliuotas vanduo. Norint pasiekti geresnių plovimo rezultatų į vandeninę terpę būtina pridėti papildomų cheminių medžiagų skatinančių valymo procesą. Dažniausiai pasirenkami šarminiai, rūgštiniai ar neneutralūs plovikliai kartu su PAM. Ploviklis parenkamas pagal nešvarumų tipą, taip pat atsižvelgiama į valomą paviršių, kadangi kai kurie plovikliai gali reaguoti su valomo paviršiaus medžiaga ir jį pažeisti. Šarminiai plovikliai naudojami riebaluotų pramoninių dalių valyme prieš jų remontą, automobilių dalių valyme, stiklinių talpų valyme, medicinos įrankių valyme bei daugelyje kitų detalių valyme.

Naudojant papildomas chemines medžiagas, padidinančias plovimo efektyvumą, būtina atsižvelgti į jų koncentraciją bei naudojamą temperatūrą plovimo metu. Bogdan Niemczewski savo straipsnyje apžvelgė valymo efektyvumo priklausomybę nuo temperatūros bei ploviklio koncentracijos [10]. Autorius pasirinko natrio karbonato, natrio metasilikato bei natrio fosfato 0 – 10% vandeninius tirpalus bei atliko tyrimus keičiant plovimo terpės temperatūrą 20 – 70°C intervale. Nustatyta, jog optimaliausia plovimo medžiagos koncentracija yra apie 3 %, didinant ploviklio koncentraciją plovimo intensyvumas nedidėja. Šio reiškinio priežastis yra kavitacijos proceso intensyvumo sumažėjimas. Pirmasis tokias išvadas padarė S. Fray, taip pat daugelis kitų autorių tiriančių ultragarsinį valymą, savo tyrimuose padarė tokias pačias išvadas [11]. Taigi

norint nesumažinti ultragarsinio valymo intensyvumo naudojant šarminius valiklius būtina neperžengti 3 % koncentracijos.

Kavitacijos efektas yra stipriai susijęs su šiais trimis parametrais: valomosios terpės temperatūra, ištirpusių dujų kiekiu terpėje bei skysčio aukščiui ultragarsinėje vonelėje [12]. Tyrimo autorius išlaikė vienodą dujų kiekį bei skysčio aukštį. Buvo keičiama tik temperatūra bei ploviklio koncentracija. Tyrimo metu buvo atliekami kavitacijos intensyvumo priklausomybės nuo temperatūros bei ploviklio koncentracijos matavimai, tiek kaitinant, tiek šaldant plovimo terpę. Tyrime kaip šarminė plovimo medžiaga buvo pasirinkta natrio fosfatas, natrio karbonatas ir natrio silikatas, ultragarsinės vonelės galia 360 – 530 W, veikimo dažnis – 26, 34, 38 kHz. Kavitacijos intensyvumas buvo matuojamas naudojant „Model 200 Cavitation meter“, kavitacijos intensyvumas pateiktas santykiniais vienetais.

Atlikus eksperimentus nustatyta, jog didžiausias kavitacijos intensyvumas stebimas 60°C temperatūroje, naudojant visus valiklius. Pastebėta jog šaldant valymo terpę stebimas didesnis kavitacijos intensyvumas nei kaitinant ją. Šį reiškinį galima paaiškinti tuo, kadangi kaitinant terpę pasišalina ištirpusios dujos, todėl pasiekus maksimalią temperatūrą pašalinama maksimalus kiekis ištirpusių dujų, toliau vėsinant terpę joje lieka mažiau ištirpusių dujų, nei kaitinimo metu. Svarbiausi nagrinėjamame tyrime gauti duomenys pateikti 1.1 lentelėje. Minimalus kavitacijos intensyvumas buvo stebimas atliekant terpės kaitinimą, maksimalus atvesinus terpę nuo 70°C iki 60°C temperatūros.

1.1 lentelė. Kavitacijos intensyvumas 60°C temperatūros tirpaluose[10]

Konc. (%)	26 kHz Na ₃ PO ₄			34 kHz Na ₂ CO ₃			38 kHz Na ₂ SiO ₃		
	Kavitacija (sant.vnt.)			Kavitacija (sant.vnt.)			Kavitacija (sant.vnt.)		
	Mak.	Min.	Vid.	Mak.	Min.	Vid.	Mak	Min.	Vid.
0	40	6	23	31	17	24	23	13	18
1	30	4	17	24	16	20	28	3	15.5
2	27	3	15	23	3	13	28	3	15.5
3	21	2	11.5	21	3	12	30	2	16
4	28	2	15	17	3	10	25	3	14
5	29	2	15.5	15	2	8.5	22	4	13
6	22	1	11.5	12	6	9	17	3	10
7	19	8	13.5	13	12	12.5	19	11	15
8	18	12	15	14	11	12.5	13	9	11
9	17	14	15.5	14	13	13.5	20	13	16.5
10	15	14	14.5	14	14	14	21	19	20

Atlikus tyrimą buvo nustatytos šios išvados [10]:

- Nepaisant temperatūros, ultragarso dažnio, galios ar koncentracijos, naudojant natrio karbonatą buvo stebimas mažiausias kavitacijos intensyvumas, lyginant su natrio fosfatu ir natrio metasilikatu.
- Naudojant natrio fosfato tirpalą iki 5 % koncentracijos, stebimas didesnis kavitacijos intensyvumas 34 ir 38 kHz ultragarso dažnio vonelėse, lyginant su grynu vandeniu.
- Naudojant 26 kHz ultragarso dažnį ir 3 – 4 % koncentracijos tirpalus kavitacijos intensyvumas nedaug skiriasi nuo distiliuoto vandens kavitacijos intensyvumo. Didinant ultragarso galią stipriai išauga vandens kavitacijos intensyvumas, o tirpalų kavitacijos intensyvumas pakinta nežymiai.
- 34 ir 38 kHz ultragarso dažnio vonelėse kavitacijos intensyvumas praktiškai nekinta didinant ploviklio koncentraciją virš 7 %.

Ultragarso valymo metu galima naudoti natrio fosfatą bei natrio metasilikatą (natrio karbonatas sumažina kavitacijos intensyvumą) kaip valymo priemonę. Geriausias efektyvumas pasiekiamas naudojant ploviklių tirpalus iki 5 % koncentracijos ir 60°C temperatūrą. Norint pasiekti geriausių rezultatų tirpalą pirmiausia reikia pakaitinti iki 70 °C, tada atvėsinti iki 60 °C ir atlikti ultragarso plovimą. Nepaisant padidėjusios kavitacijos naudojant plovimo medžiagas, plovimo efektyvumas padidėja ir dėl cheminių reakcijų vykstančių tarp nešvarumų ir ploviklio.

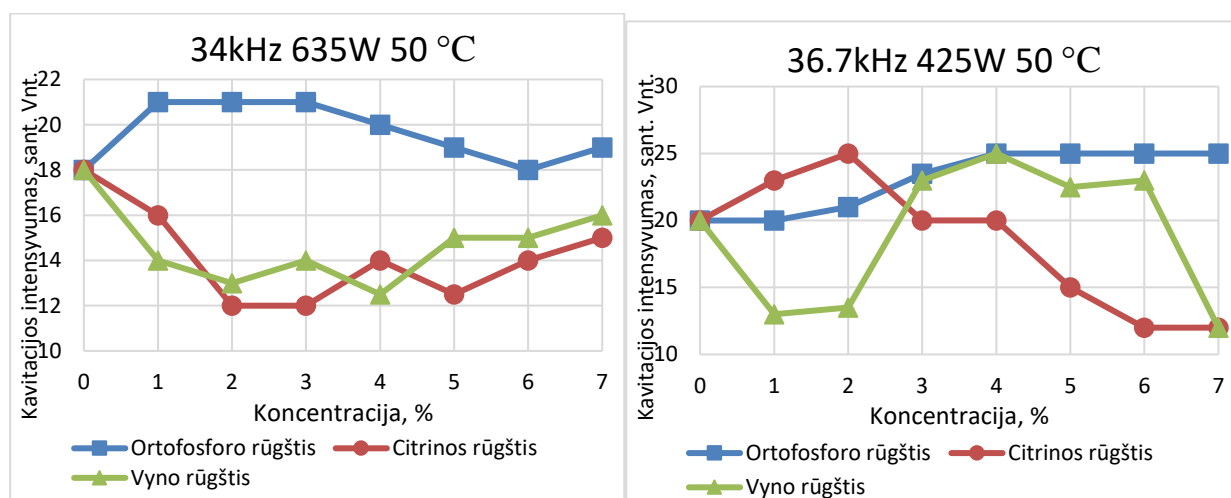
1.1.3. Rūgštinių ploviklių naudojimas ultragarso valyme

Norint atlikti aliuminių ar kitų metalų paviršiaus valymą būtina pasirinkti tinkamą plovimo terpę. Naudojant šarminius vandeninius ploviklius, metalų paviršių valyme, galima juos pažeisti. Šarminiai plovikliai gali reaguoti su valomu paviršiumi ir pakeisti jo struktūrą. Be to naudojant šarminius ploviklius didelėmis koncentracijomis ultragarso valyme, sumažėja kavitacijos intensyvumas [10]. Norint išvengti paviršiaus pažeidimų, atliekant metalinių paviršių valymą, renkama ne neutralūs arba rūgštiniai vandeniniai plovikliai. Būtina paminėti jog norint atlikti metalų paviršiaus valymą, svarbu pasirinkti silpnas rūgštis. Naudojant stiprias rūgštis (sieros rūgštį, azoto rūgštį, druskos rūgštį, fosforo rūgštį) atliekamas metalinių paviršių ėsdinimas, jis naudojamas norint pašalinti didelį paviršiaus storį (rūdis, metalo oksido sluoksnį bei patį metalą).

Atliekant ultragarso metalų paviršių valymą, kaip valomosios priemonės naudojamos šios rūgštys: ortofosforo rūgštis (H_3PO_4), citrinų rūgštis ($HO-C(CH_2COOH)_2-COOH-H_2O$), vyno rūgštis ($HOOC-CH(OH)CH(OH)-COOH$). Naudojant 2 – 5 % koncentracijos rūgščių tirpalus, terpės pH nusistovi ties 1 – 2. Naudojant 5 – 7 % koncentracijos ortofosforo rūgšties tirpalą pH nukrenta žemiau 1, tai padidina valomosios terpės valymo efektyvumą. Svarbu žinoti ar didesnės rūgščių koncentracijos nesumažina kavitacijos intensyvumo, kadangi šis parametras nulemia fizinių

valymo intensyvumą. Bogdan Niemczewski atliko šių rūgščių koncentracijos įtakos kavitacijos intensyvumui tyrimą [13].

Tyrimo metu buvo naudojamas „krano“ vanduo kuris buvo termiškai degazuojamas pakaitinant jo temperatūrą iki 70 °C. Po degazavimo vonelė buvo uždengiama ir paliekama atvėsti. Vandens lygis plovimo vonelėje buvo išlaikomas toks pat kiekvieno eksperimento metu. Vandeniui atvėsus iki kambario temperatūros jis buvo vėl pakaitinamas iki 60 laipsnių temperatūros ir buvo atliekami kavitacijos intensyvumo matavimai 60 °C ir 50 °C temperatūroje. Matavimai buvo atliekami naudojant 34 kHz 670 W, 35.5 kHz 520 W, 36.7 kHz 415 W ir 44 kHz 460 W dažnio ir galios ultragarsą. Rūgščių koncentracijos buvo keičiamos nuo 0 iki 7 %. Svarbiausi gauti duomenys pateikti (žr. 1.4 pav.).



1.4 pav. Kavitacijos intensyvumo priklausomybė nuo rūgšties koncentracijos

Nustatyta, jog nepaisant ultragarso dažnio, galios ar naudojamos rūgšties koncentracijos bei tipo visuose bandymuose buvo stebimas didesnis kavitacijos intensyvumas 50 °C temperatūros tirpaluose. Pastebėta, jog ultragarso dažnis stipriai įtakoja kavitacijos intensyvumo kitimą. Taip pat nustatyta, jog skirtingai, nei naudojant šarminius ploviklius, didinant rūgšties koncentraciją kavitacijos intensyvumas sumažėja nežymiai, tai ypač pastebima naudojant 34 kHz dažnio ultragarsą. Būtina paminėti jog naudojant ortofosforo rūgštį visais atvejais kavitacijos efektyvumas nesumažėjo, o priešingai padidėjo lyginant su vandens kavitacijos intensyvumu. Atlikus tyrimą, autorius padarė išvadą, jog didžiausias valymo efektyvumas bus pasiekiamas naudojant 5 – 7% ortofosforo rūgšties tirpalą kartu su 36.7 kHz dažnio ultragarsu [13].

1.2. Kuro įpurškimo sistemos

Pirmoji EFI sistema buvo sukurta 1957 metais „Bendix“ korporacijos. 1958 metais EFI sistemą taip pat pristatė ir „Chrysler“ gamintojai savo automobiliuose, tai buvo pirma kompanija, kuri pradėjo masiškai gaminti automobilius su šia sistema [14]. Vėliau EFI patentas buvo

parduotas Bosch kompanijai. Šiuo metu dauguma vidaus degimo variklių naudojančių EFI sistemas gaminamos Bosch kompanijoje.

Vienas pagrindinių faktorių nusakančių variklio darbo kokybę bei jo efektyvumą, tai kuro-oro mišinio sudarymas. Dyzelinių ir benzininių vidaus degimo variklių kuro padavimo sistemos tampa vis labiau panašios. Benzininiuose varikliuose už kuro-oro mišinio sudarymą buvo atsakingas karbiuratorius. Laikui bėgant bei tobulėjant technologijoms karbiuratoriai buvo pakeisti kuro įpurškimu į oro srautą sistemomis (tai įvyko 1980 metais) [15]. Šis metodas pagerino variklio efektyvumą, atsako laiką bei galios-svorio santykį. Šiuo metu benzininiuose varikliuose naudojamas tiesioginis kuro įpurškimas, kuris pirmiausia buvo pradėtas naudoti dyzeliniuose varikliuose. Šiuo metodu kuras yra tiesiogiai įpurškiamas į cilindrą ir tokiu būdu dar labiau pagerinamos variklio charakteristikos.

Visi dyzeliniai varikliai priešingai nei benzininiai, naudoja tiesioginę kuro įpurškimo sistemą. Šios sistemos gali skirtis jų valdymo būdais. Kuro įpurškimas gali būti valdomas elektroniškai arba mechaniškai. Dauguma senesnių dyzelinių variklių naudoja mechaninę kuro įpurškimo sistemą, tuo tapu šiuolaikiniai, efektyvūs, ekonomiškai dyzeliniai varikliai naudoja EFI.

Kuro įpurškimo sistemos paremtos kuro atomizavimu pasitelkiant mažas skylutes esančias purkštuko antgalyje ir didelį kuro slėgį, taip pat ši sistema individualiai paskirsto reikiamo kuro kiekį į kiekvieną cilindrą. Šio metodo privalumai:

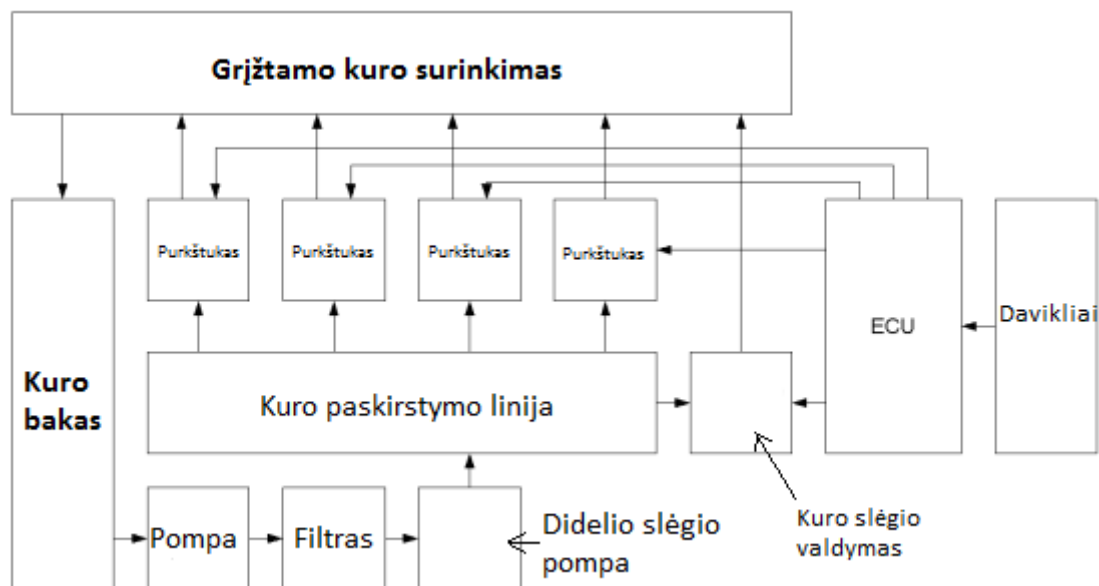
- Tolygesnis ir greitesnis atsakas į variklio apsukų keitimą.
- Lengvesnis užvedimas šaltuoju metu.
- Tikslus kuro kiekio paskirstymas atsižvelgiant į oro slėgį bei temperatūrą.
- Stabilesnis laisvų apsukų darbas.
- Sumažintos kuro sąnaudos.
- Mažesnė išmetamųjų dujų tarša.
- Mažesnis variklio dilimas.

1.2.1. EFI kuro įpurškimo sistemos veikimo principas

Variklio efektyvus darbas užtikrinamas tinkamu laiku įpurškiant į cilindrą reikiamą kuro kiekį. Pirmuosiuose varikliuose tai buvo atliekama mechaniniu būdu. Šiuo metu visi dyzeliniai varikliai naudoja elektroninį kuro padavimo valdymą. Nustatomas oro kiekis (pagal svorį), kuris patenka į cilindrą kiekvieno takto metu. Moderniuose varikliuose tai atlieka oro srauto matuoklė, kuri šią informaciją siunčia į variklio valdymo bloką (ECU). Kartu su šia informaciją ECU gauna signalą apie pageidaujamą variklio galią iš akseleratoriaus padėties sensoriaus (TPS). Taip pat dauguma šiuolaikinių variklių panaudoja aušinimo skysčio temperatūros kartu su alkūninio veleno bei velenėlio padėties daviklių informaciją. Nepaisant visų šių daviklių taip pat įvertinama

išmetimo dujų sudėtis su deguonies davikliu, kuris įmontuojamas išmetimo sistemos vamzdyje. Šis daviklis nusako ar kuras visiškai sudegė ir neliko perteklinio deguonies. Pasitelkiant visą šią informaciją ECU atlieka skaičiavimus ir nusprendžia kiek ir kada kuro reikia įpurkšti į cilindrą, norint gauti maksimalų efektyvumą. Visa ši informacija užtikrina uždara ratą, sistema kiekvieno takto metu atnaujina informaciją ir perskaičiuoja reikiamą kuro kiekį.

Kuras transportuojamas iš kuro bako pasinaudojant kuro pompa. Reikiamas kuro slėgis palaikomas naudojant kuro slėgio daviklį, kuris savo informaciją siunčia ECU. Suslėgtas kuras aukšto slėgio linijomis nukreipiamas į kiekvieną purkštuką. Kuro purkštukas atidaromas naudojant elektromagnetinį vožtuvą. Atidarymo laiką ir trukmę apskaičiuoja ECU panaudojant prieš tai minėtą informaciją. Optimaliausias teorinis kuro-oro mišinys yra 14.6 dalys oro ir 1 dalis dyzelinio kuro [16]. Keičiantis slėgiui bei temperatūrai deguonies kiekis ore keičiasi. Šiuos kitimus įvertina ECU. Supaprastinta Principinė EFI sistemos schema pateikta (žr. 1.5 pav.).



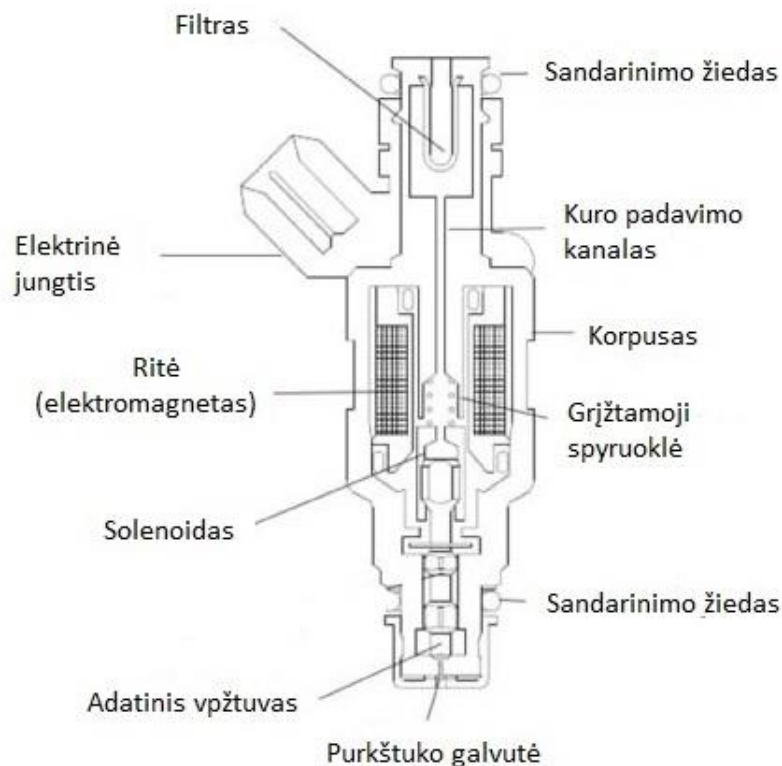
1.5 pav. Supaprastinta EFI sistemos schema

1.2.2. Kuro purkštuko veikimas

Kuro purkštukas atlieka kuro atomizavimą – sumaišymą su oru. Kuro purkštukai pagal jų valdymą skirstomi į mechaninius ir elektrinius. Aptarsime tik elektrinius kuro purkštukus. Elektriniai kuro purkštukai nuo mechaninių skiriasi tik kuro pratekėjimo valdymu. Elektriniai kuro purkštukai gali būti pjezoelektriniai arba elektromagnetiniai [17]. Elektromagnetiniuose purkštukuose naudojamas elektro magnetas (solenoidinis vožtuvas). Pjezoelektriniuose purkštukuose naudojama pjezoelektriniai kristalai, kurie panaudojus elektros srovę pakeičia matmenis ir veikia tarsi vožtuvas. Pjezoelektriniai purkštukai yra pranašesni už elektromagnetinius. Jie sugeba valdyti kuro pratekėjimą iki 7 kartų greičiau [18]. Suslėgtas kuras

nukreipiamas į purkštuką, kuris prijungtas prie ECU. Variklio valdymo blokas siunčia signalą, kuris atidaro purkštuko vožtuvą. Suslėgtas kuras prateka pro vožtuvą į purkštuko galvutę, kurioje per mažas skylutes yra išpurškiamas į cilindrą. Signalui išsijungus vožtuvas uždaromas ir kuras nebeprateka.

Šiuo metu degalų įpurškimo slėgiai siekia iki 3000 bar. priklausomai nuo degalų įpurškimo sistemos [19]. Aukšto slėgio CR įpurškimo sistemos kartu su pjezoelektriniais kuro įpurškimo purkštukais, leidžia itin lanksčiai reguliuoti kartotinių įpurškimų laiką ir kokybę, o pasinaudojus šia savybe galima gerokai sumažinti variklio triukšmą, deginių emisijas, neaukojant variklio darbo rodiklių. Pjezoelektriniai purkštukai naudojami sunkiojo transporto dyzeliniuose CR varikliuose bei didelio galingumo lengvųjų automobilių varikliuose. Mažo galingumo varikliai dažniausiai naudoja mažesnę kuro slėgį kartu su elektromagnetiniais purkštukais (žr. 1.6 pav.), tai sumažina sistemos kainą.

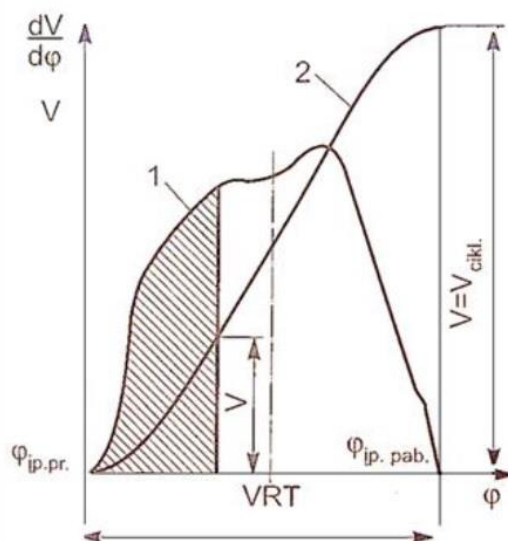


1.6 pav. Elektromagnetinio kuro purkštuko schema[20]

1.2.3. Pagrindiniai kuro įpurškimo parametrai

Degalų tiekimo procesas charakterizuojamas tokiais parametrais: įpurškimo pradžia ir tolimesne proceso tėkme, įpurškimo slėgio pokyčiu, ir degalų kiekiu, pratenkančiu pro purkštuvą per laiko vienetą. Šiuos parametrus įvertina diferencialinė ir integralinė įpurškimo charakteristikos (žr. 1.7 pav.). Diferencialinė charakteristika įvertina turinio ar masinio degalų tiekimo greičio priklausomybę nuo laiko arba siurblio veleno posūkio kampo. Integralinė degalų įpurškimo

proceso charakteristika parodo degalų kiekį, įpurkštą nuo pradžios iki bet kurio laiko momento formulė 1.2 [21].



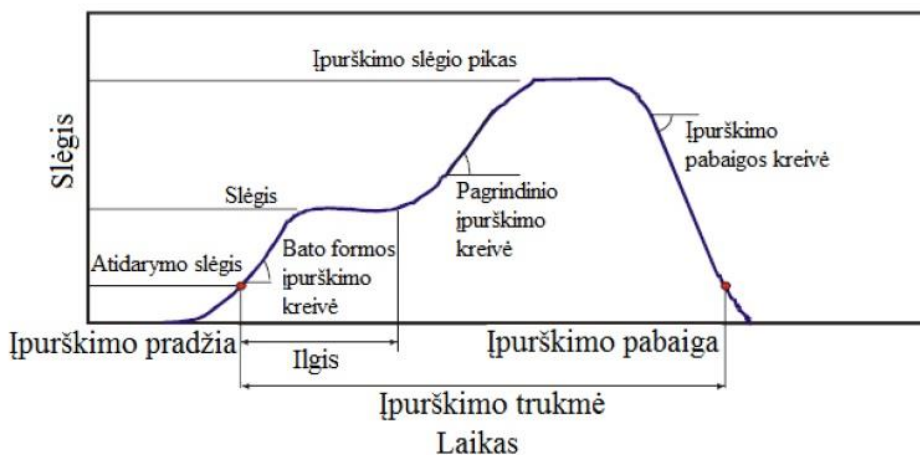
1.7 pav. Diferencialinė ir integralinė degalų įpurškimo charakteristikos [21]

$$V = \int_{\varphi_{ip.pr.}}^{\varphi_{ip.pab.}} \frac{dv}{d\varphi} * d\varphi \quad (1.2)$$

Čia $\varphi_{ip.pab}$ – įpurškimo pabaiga, $\varphi_{ip.pr.}$ – įpurškimo pradžia

Grafiškai V dydis lygus užbrūkšniuotam plotui. Kai $\varphi = \varphi_{ip.pab.}$, integralinėje charakteristikoje bus gautas visas degalų kiekis įpurkštas į variklio cilindrą per vieną ciklą ($V = V_{cikl.}$). Šis degalų kiekis vadinamas cikliniu, nuo kurio priklauso variklio sūkliai ir apkrova, kurią jis gali įveikti.

Šiuolaikinė dyzelinių variklių maitinimo sistema kartu su pjezoelektriniais ar elektromagnetiniais purkštukais paspartina purkštuko atidarymą ir uždarymą, o tai leidžia koreguoti ir įpurškimo charakteristiką. Degalų įpurškimo greičio profilio įtaka variklio galiai, deginių emisijai ir triukšmui pateikta (žr. 1.8 pav.).



1.8 pav. Degalų įpurškimo greičio charakteristika [22]

Naudojant elektronines degalų įpurškimo sistemas, degalų įpurškimo greitis priklauso ir nuo degalų purkštuko formos, todėl degalų įpurškimo įrangos gamintojai ieško purkštuko formos, kuri padėtų efektyviau formuoti įpurškimo greičio charakteristiką. Nehmer, Daniel A. Ir bendraautoriai, keisdami purkštukus, tyrė kelis įpurškimo charakteristikos profilius [23]. Naudojant purkštukus, kurių įpurškimo charakteristikos profilis lėtas, degimas plėtimosi takte tęsėsi ilgiau, dėl to pagerėjo oksidacijos procesas, sumažėjo suodžių emisija, tačiau padidėjo degalų sąnaudos. Taigi pagrindiniai parametrai nulemiantys kuro oksidavimosi kokybę yra:

- Įpurškiamo kuro laiko trukmė;
- Įpurškiamo kuro greičio charakteristika;
- Įpurškiamo kuro tūris (V);
- Įpurškiamo kuro slėgis (P);
- Purkštuko angos dydis, kryptis, matmenys, kampas.

1.2.4. Kuro purkštukų eksploatacija, problemos

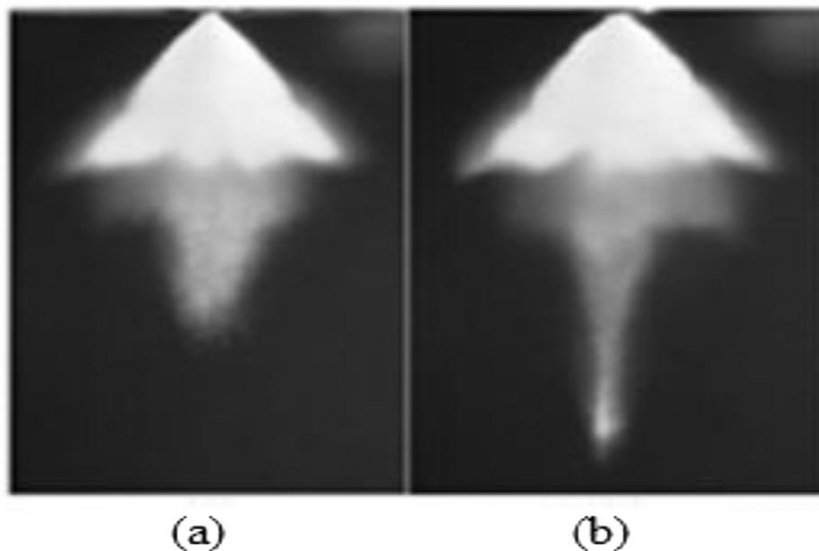
Dauguma šiuolaikinių atutomobilių vidaus degimo variklių naudoja tiesioginį kuro įpurškimą. Kuras yra įpurškiamas tiesiai į degimo kamerą, tai didina variklio efektyvumą, bei sumažina išmetamų dujų taršą. Naudojant tiesioginį kuro įpurškimą, kuro įpurškimo purkštukas turi būti nukreiptas į degimo kamerą. Tai reiškia jog degimo takto metu jis kontaktuoja su kuro sprogo metu išsiskiriančia energija, temperatūra bei slėgiu. Sprogimo metu degimo kameroje esančių dujų temperatūra gali siekti 1500 °C, o slėgis piko metu pakilti iki 200 Bar [24]. Nepaisant to degimo metu susidaro kietosios dalelės (suodžiai) bei kitos dujos, kurios taip pat saveikauja su purkštuko antgaliu. Jeigu automobilyje naudojamas nekokybiškas kuras ar laiku nekeičiami kuro valymo filtrai visi esantys nešvarumai patenka į kuro purkštukų kanalus. Kietosios dalelės gali užkimšti purkštukų angas, padidinti jų dydimą. Dėl šių priežasčių kuro purkštukai keičia savo išpurškimo charakteristikas.

Variklių gamintojai stengiasi sumažinti nešvarumų atsiradimo tikimybę kuro purkštukuose. Norint sumažinti nešvarumų susidarymo tikimybę, kuro purkštukų gamintojai stengiasi gaminti purkštukus su aštriu įpurškimo antgaliu bei sistema galinčia palaikyti optimalią purkštukų temperatūrą. Svarbu jog purkštukų antgalių paviršius būtų kuo lygesnis, taip pat naudojamos dangos neleidžiančios prilipti nešvarumams, tačiau jos tik atitolina purkštukų užteršimo laiką, bet ilgai neišvengiamai kuro įpurškimo purkštukuose vis vien atsiranda. Didėjant išmetamųjų dujų kontrolei, variklių gamintojai ieško naujų būdų siekdami sumažinti išmetamų dujų kiekį, neprarandant variklio galios. Vienas iš būdų kuro įpurškimo optimizavimas [25].

Purkštukų nešvarumai atsianda oksiduojantis, kondensuojantis nestabiliems kure esantiems alkenams (olefinams, bei aromatiniais angliavandeniliams) dėl jų silpno terminio stabilumo. Šie

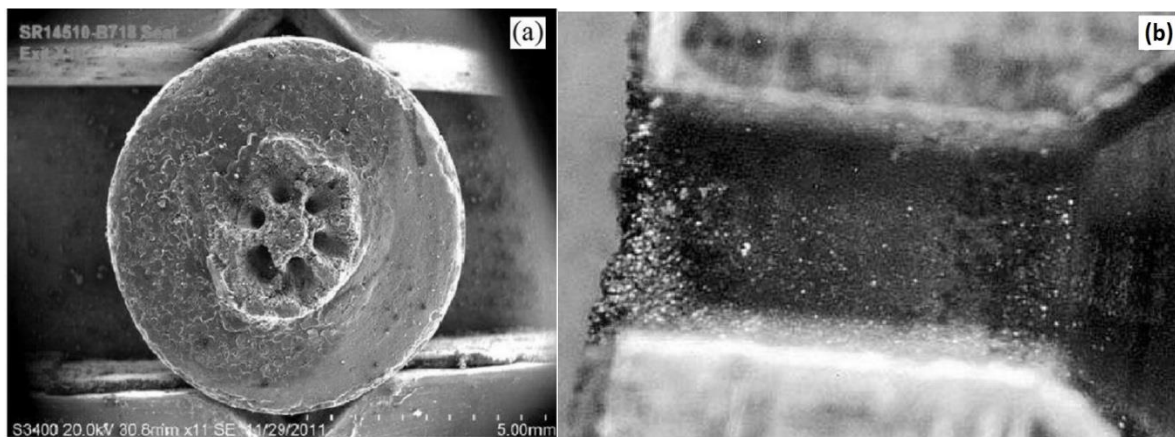
nešvarumai gali susidaryti dviem nestabilių radikalų oksidavimosi būdais: žemos temperatūros savaimine oksidacija ir aukštos temperatūros pirolize (anglies susidarymo). Temperatūra, kurios metu žemos temperatūros oksidacija pereina į savaiminės oksidacijos, nėra tiksliai žinoma. Šios reakcijos persidengia tam tikrame temperatūrų intervale. Alkilų oksidacijos metu susidaro hidroperoksidai ir kiti oksidacijos produktai, kurie manoma ir yra atsakingi už nešvarumų susidarymą [26]. Temperatūroje aukštesnėje nei 350 °C susidaro anglies dalelės, tai vyksta dviem būdais: anglevandenilių dekompozicija iki elementinės anglies ir vandenilio, anglevandenilių polimerizacija/kondencacija iki didesnių policiklinių aromatinių angliavandenilių, kurie vėliau atomizuojasi ir sudaro anglines nuosėdas. Taip pat degimo kameroje oksiduojasi ir nedidelis kiekis variklio alyvos, kuri taip pat sudaro kietąsias daleles bei kitus junginius kuriuose yra Ca, Zn, P, S ir Mg. Norint išvengti anglies dalelių susidarymo būtina atsižvelgti į naudojamo kuro T90 parametras (temperatūra prie kurios išgaruoja 90 % kuro) bei naudojamos alyvos kokybę. Jeigu kuro purkštuko temperatūra laikoma žemesnė nei T90 sumažinama anglies dalelių susidarymas purkštuko antgalyje [27].

Hongming Xu tyrė kuro purkštukuose susidariusius nešvarumus eksploatacijos metu, bei kaip jie keičia variklio darbą [28]. Autorius ištyrė benzininio variklio su tiesiogine kuro įpurškimo sistema purkštukus. Pirmas parametras nusakantis, jog kuro purkštukas pradeda prisipildyti nešvarumais yra kuro debito sumažėjimas. Antras būdas yra išpurškiamo kuro išpurškimo vizualizacija. Autorius atliko išpurškimo vizualizaciją naudojant 20 laipsnių kurą bei 1,5 Bar. kuro slėgį. Buvo atliktas naujų bei naudotų (nešvarių) purkštukų palyginimas (žr. 1.9 pav.)



1.9 pav. Išpurškimo vizualizacija (a) naujas purkštukas, (b) nešvarus purkštukas[29]

Matoma jog užsikišęs purkšukas koncentruoja srautą į siauresnį plotą, bei išpurškimo srovė prasiskverbia giliau ir greičiau lyginant su nauju purkštuku. Užsikišusio purkštuko srauto greitis 30 % didesnis, vidutinis išpurškiamo kuro skersmuo 17,5 % didesnis. Bendru atveju užsikišę kuro purkštukai linkę mažiau atomizuoti kurą, taip padidindami išpurškiamo kuro greitį ir išpurškimo atstumą. Atlikus naudoto kuro purkštuko SEM nuotraukas galima matyti nešvarumų susidarymą prie pat išpurškimo angų. Nešvarumai susidarę purkštuko angose sumažina kuro pratekamumą – debitą. Nešvarumai susidarę šalia išpurškimo angų paveikia išpurškiamo kuro kryptį, atomizavimo kokybę. (žr. 1.10 pav).



1.10 pav. Naudoto kuro purkštuko SEM nuotrauka (a) kuro purkštuko išpurškimo angos[30], (b) angos skersinis pjūvis[31]

Atlikus pagreitiną priverstinį purkštuko užteršimo bandymą naudojant 5 Bar kuro slėgį ir imituojant variklio darbą 2000 apsisukimų per minutę greičiu, po 55 valandų buvo stebimi šie rezultatai [32]:

- Kuro pratekėjimo debitas sumažėjo 23.5 %;
- HC, CO ir kuro sąnaudos padidėjo 20, 93 ir 2,45 % atitinkamai;
- Variklio galingumas sumažėjo 1 %;
- Taip pat buvo stebimas ansktyvas degimas.

Atlikus šiuos bandymus buvo patvirtinta, jog bet koks kuro įpurškimo srauto pakitimas sąlygoja sumažėjusį variklio darbo efektyvumą bei padidina išmetamųjų dujų taršą.

Atlikus literatūros analizę buvo susipažinta su ultragarsiniu plovimu bei jo naudojimo kryptimis. Sužinotos efektyviausios ultragarsinio plovimo sąlygos. Patvirtinta jog kuro purkštukų užterštumas stipriai pakeičia variklio darbą. Atsižvelgiant į surinktą informaciją patvirtinta jog ultragarsinis plovimas dėl savo efektyvumo šalinant mažas nešvarumų daleles yra vienas iš patraukliausių plovimo technikų norint pašalinti kuro purkštukų mikroskylutėse esančius nešvarumus.

2. MEDŽIAGOS IR TYRIMO METODAI

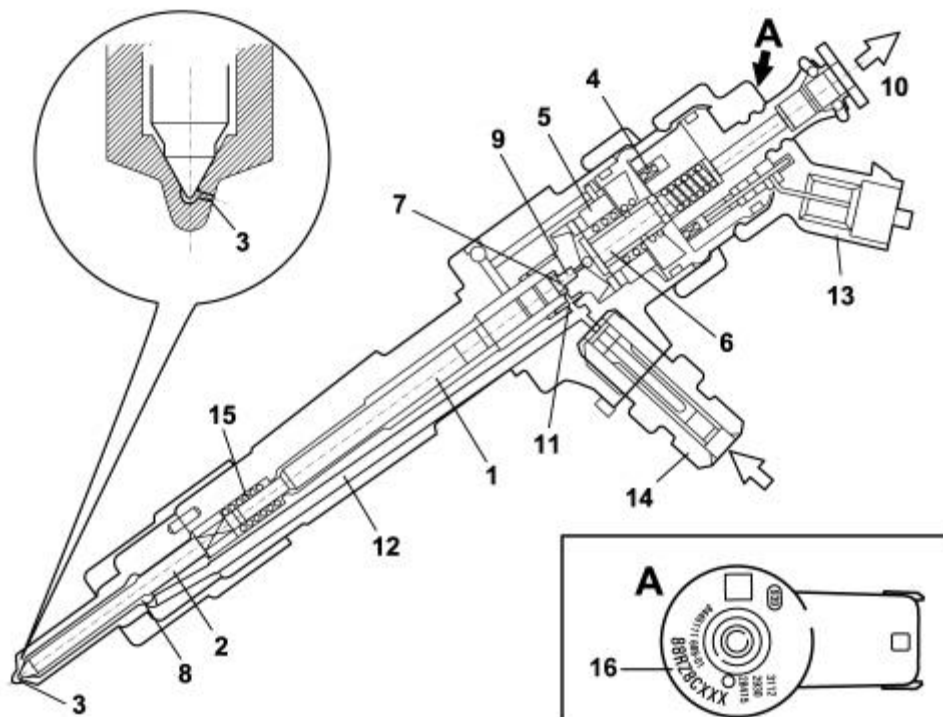
2.1. Tyrimo eiga

Norint įgyvendinti iškeltus tikslus buvo pagamintas kuro purkštukų ultragarsinio plovimo stendas. Taip pat atliktas dyzelinių kuro purkštukų plovimo ultragarsu tyrimas, naudojant skirtingas plovimo medžiagas. Šis tyrimas buvo atliekamas tokia tvarka:

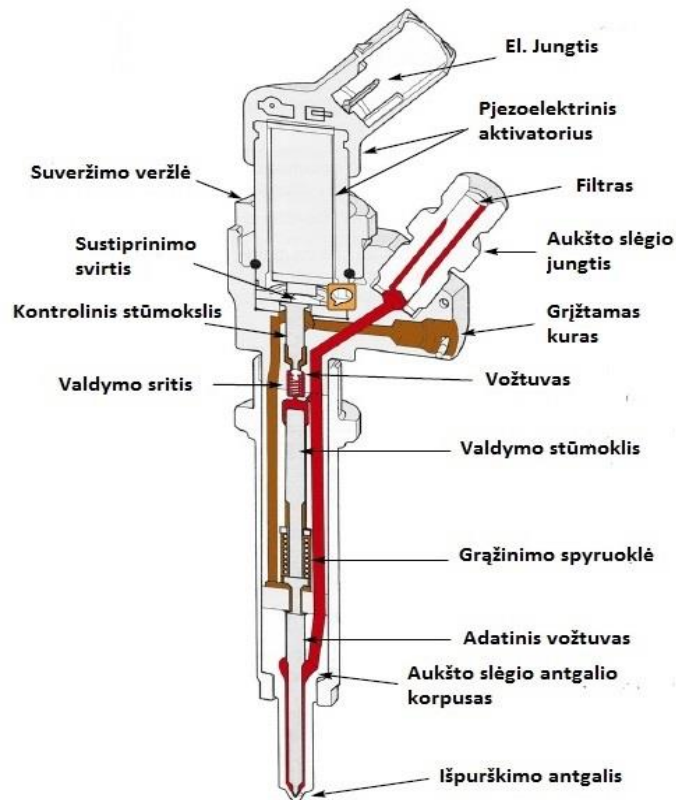
1. Suprojektuotas ir pagamintas kuro purkštukų tikrinimo stendas, galintis imituoti variklio darbą.
2. Atliktas stendo tikrinimas išmatuoti jo parametrai.
3. Pagamintas stendas pritaikytas naudojimui kartu su ultragarsine plovimo vonele.
4. Tyrimui naudoti kuro purkštukai buvo pilnai išrenkami iki jų sudedamųjų komponentų, komponentai buvo kruopščiai apžiūrėti, įvertinta jų fizinė būklė. Patvirtinta, kad visi komponentai yra fiziškai nepažeisti ir funkcionuoja nepriekaištingai.
5. Prieš ultragarsinį plovimą, atliktos kuro purkštukų antgalių angų bei viso paviršiaus SEM nuotraukos kartu su EDS paviršiaus bei ertmių elementine analize.
6. Norint gauti tikslius rezultatus, likusieji komponentai buvo kruopščiai išvalomi naudojant ultragarsą bei fizinį plovimo būdą. Plaunama tol, kol vizualiai nepastebima jokių likusių nešvarumų. Po plovimo visi kuro purkštuko komponentai praskalaujami distiliuotu vandeniu.
7. Tyrime naudojami purkštukai pilnai surenkami su išvalytais jų komponentais bei sumontuojami su neplautais kuro purkštukų antgaliais.
8. Atliekamas šių purkštukų tikrinimas naudojant tikrinimo stendą. Nustatomas išpurškiamo skysčio debitas.
9. Kiekvienas kuro purkštukas plaunamas naudojant skirtingas plovimo terpes. Visų ultragarsinių plovimų metu nekeičiamos šios sąlygos: plovimo terpės temperatūra, tūris, plovimo laikas bei purkštuko antgalio padėtis plovimo vonelėje.
10. Kuro purkštukai plaunami 120 s intervalais. Po 120 s atliekamas debito matavimas ir toliau kartojamas plovimas. Plaunama tol, kol nusistovi išpurškiamo skysčio debitas.
11. Atlikus visų kuro purkštukų plovimą, purkštukų antgaliai numontuojami ir atliekamos SEM nuotraukos kartu su EDS paviršiaus analize.
12. Gauti rezultatai palyginami bei pateikiamos išvados.
13. Nustatomas efektyviausias ploviklis tinkantis ultragarsiniam kuro purkštukų plovimui.
14. Įvertinamas ultragarsinio plovimo efektyvumas.

2.2. Bandinių pasirinkimas

Diždiają lengvųjų automobilių rinką Lietuvoje užima lengvieji automobiliai su dyzeliniais varikliais. Tai lemia mažesnė dyzelinio kuro kaina bei mažesnės kuro sąnaudos lyginant su benziniais varikliais [33]. Tyrimams naudoti kuro purkštukai išmontuoti iš dyzelinių lengvųjų automobilių variklių su CR sistema. Pasirinkti dviejų gamintojų kuro purkštukai - Bosch CR1 kuro purkštukai su elektromagnetiniu vožtuvu (žr. 2.1 pav.) ir Siemens gamybos kuro purkštukas su pjezoelektriniu vožtuvu (žr. 2.2 pav.). Visi tiriamieji purkštukai yra pilnai restauruojami. Juos galima išrinkti, o susidevėjusias dalis (jei reikia) pakeisti naujomis arba atlikti jų valymą.



2.1 pav. Bosch CR1 purkštuko schema. 1 - Valdymo stumoklis, 2 - adatinis vožtuvas, 3 - atomizavimo skylutė, 4 - elektrinė ritė, 5 - valdymo vožtuvo veržlė, 6 - solenoidinis vožtuvas, 7 - valdymo zona, 8 - purkštuko antgalis, 9 - išėjimo anga, 10 - grįžtamas kuras, 11 - įvesties anga, 12 - pagrindinis aukšto slėgio kanalas, 13 - elektrinė jungtis, 14 - aukšto slėgio jungtis, 15 - grąžinimo spyruoklė, 16 - purkštuko identifikavimo numeris [34]



2.2 pav. Siemens CR sistemos purkštuko schema[35]

Kuro išpurškimo galvutė yra nukreipta į degimo kamerą. Jos antgalis patiria didžiausias fizines apkrovas bei atlieka pagrindinę kuro atomizavimo funkciją. Kuro išpurškimo antgalyje esančios skylutės yra mažiausios lyginant su kitomis kuro purkštukų komponentuose esančiomis ertmėmis (žr. 2.3 pav.). Išpurškimo antgalis greičiausiai susidėvi, pasidengia nešvarumais. Todėl šis komponentas buvo pasirinktas kaip pagrindinis tyrimo objektas (žr. 2.4 pav).



2.3 pav. Kuro purkštuko antgalis Nr. 3 prieš ultragarsinį plovimą



2.4 pav. Tyrime naudoti kuro purkštuko antgaliai prieš plovimą

Pagrindiniai pasirinktų kuro purkštukų duomenys bei parametrai pateikti 2.1 lentelėje. Tiriamieji purkštukai sugrupuoti eilės tvarka nuo 1 iki 5. Pirmieji keturi kuro purkštukai yra Bosch gamintojo, o penktasis Siemens gamintojo. Nepaisant skirtingų kuro purkštukų numerių, visų Bosch CR1 purkštukų veikimo principas bei komponentai išlieka tokie patys, kinta tik jų matmenys bei forma. Antrasis ir ketvirtasis kuro purkštukai yra identiški. Visų kuro purkštukų aukšto slėgio bei grįžtamo kuro jungtys yra vienodos. Elektromagnetų ričių varžos išmatuotos multimentru EXCEL DT-9205A. Antgalio matmenų pirmasis numeris nurodo angų skaičių, antras – nurodo angos skersmenį milimetrais, trečiasis - nurodo išpurškimo kampą laipsniais. Matmenys pateikti pasinaudojant gamintojo teikiama informacija [36].

2.1 lentelė. Tyrime naudotų kuro purkštukų parametrai.

Nr.	OE Nr.	Ritės varža	Naudojamas ^a	Gamintojas	Antgalio OE Nr.	Antgalio matmenys
1	0445110 146	0,3 Ω	RENAULT	BOSCH	DSL140P862+	5x0,185x140°
2	0445110 076	0,3 Ω	CITROEN RHY/RHZ	BOSCH	DSL142P988	5x0,170x142°
3	0445110 110	0,3 Ω	RENAULT F9Q 680	BOSCH	DSL140P1142	5x0,180x140°
4	0445110 076	0,3 Ω	CITROEN RHY/RHZ	BOSCH	DSL142P988+	5x0,170x142°
5	9636819380	197,5 kΩ	PEUGEOT DW10TD	SIEMENS	V0600P142	5x0,165x140°

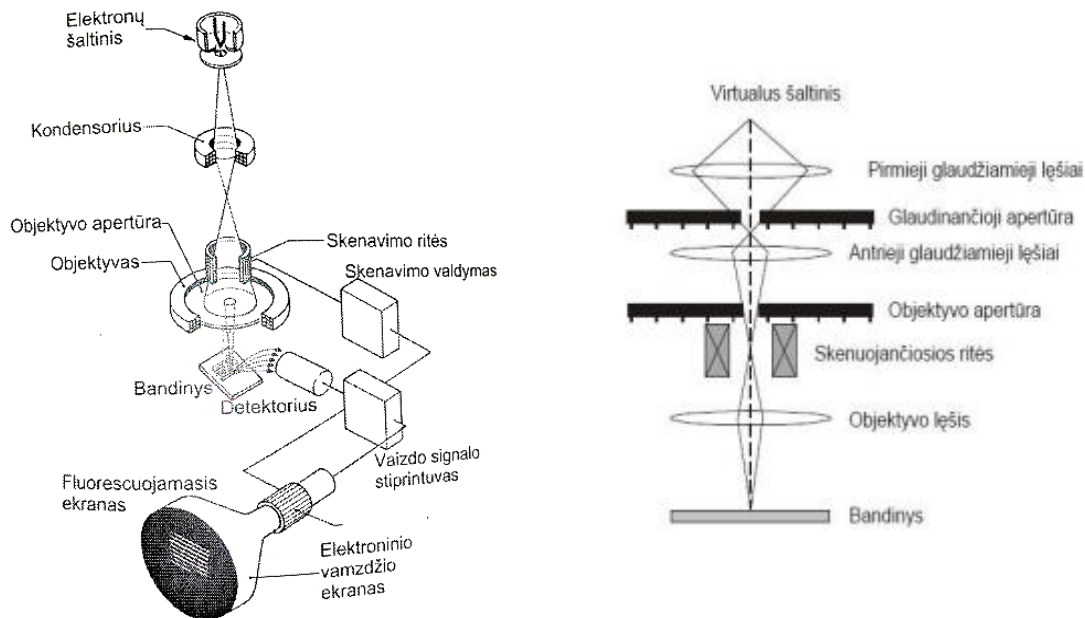
^aNurodoma automobilio markė kartu su variklio modeliu kuriame naudojami šie purkštukai

2.3. Purkštuko antgalio analizei naudoti metodai

2.3.1. Skenuojamoji elektroninė mikroskopija

Norint ištirti purkštukų antgalių paviršiaus morfologiją buvo pasinaudotas SEM JSM5600, esantis Lietuvos energetikos institute. Šis prietaisas skirtas daug kartų padidinto kietojo kūno paviršiaus analizei. Naudojami įgreitinti elektronai, galima pasiekti iki 10 000 000 kartų didinimą. Šis tyrimo metodas leido įvertinti kuro purkštukų antgalių ertmių užterštumo lygį, teršalų kiekį bei išpurškimo angų dydį.

SEM naudoja sufokusuotą elektronų spindulį, kuris iš dalies atsispindi ir sužadina antrinių elektronų bei rentgeno spindulių emisiją. Prietaiso principinė veikimo schema pavaizduota (žr. 2.5 pav.).



2.5 pav. SEM principinė veikimo schema [37]

Iš katodo emitavę elektronai elektriniais laukais įgreitinami, sufokusuojami į siaurą pluoštelį, kuris panaudojamas bandinio paviršiaus analizei. Vaizdas formuojamas dviem skirtingais principais, pasitelkiant du skirtingus detektorius. Pirmasis – tai antrinių elektronų detektorius, reaguojantis į elektronus, kurie emituoja iš tiriamojo bandinio kai pastarasis sąveikauja su pirminiu elektronų pluošteliumi. Antriniai elektronai patenka į detektorių, kuris registruoja energijas ir emisijos kampus. Taip suformuojamas vaizdas. Antrasis detektorius – pirminių arba išsklaidytų elektronų detektorius. Jis registruoja pirminius elektronus, kurie atsispindi nuo bandinio ir pagal sklaidos kampus formuoja vaizdą. Konkretaus skenuojančio elektroninio mikroskopo formuojamų vaizdų kokybę apsprendžia elektronų šaltinio dydis ir forma, o taip pat elektronų įgreitinimo įtampa ir pluoštu pernešamos srovės dydis [38].

Vakuumo sudarymo sistema reikalinga, jog elektronai susidūrę su atmosferos dujų molekulėmis neišsisklaidytų. Susidūrę elektronai praranda energijos, pakinta jų trajektorija, o tai blogina vaizdo ryškumą bei kontrastą. Kuo didesnis vakuumas tuo geresnis vaizdo ryškumas ir kontrastas.

Kadangi kuro purkštuko antgaliuose cirkuliavo dyzelinis kuras, prieš atliekant SEM tyrimą būtina pašalinti lakiuosius produktus, kitu atveju bus sudėtinga gauti aukštą vakuumo lygį. Prieš atliekant tyrimus antgaliai buvo kruošpčiai praskalauti acetonu, taip pašalinta didžioji dalis ertmėse esančio dyzelinio kuro. Kuro purkštukų mikrofotografijos buvo darytos esant 15000 V įtampai. Vienam antgaliui buvo daromos 3 mikrofotografijos. Norint gauti bendrą antgalio paviršiaus vaizdą buvo naudojamas mažiausias – 50 kartų didinimas. Į šio didinimo lauką tilpo dvi antgalio ertmės. Norint gauti detalesnę antgalio ertmių vaizdą buvo pakartotinai atliekamos dvi mikrofotografijos naudojant 500 kartų didinimą.

2.3.2. Rentgeno spindulių energijos dispersijos spektroskopija

Kartu su SEM atliktomis mikrofotografijomis buvo pasinaudota Bruker X FLASH QUAD 5040 spektroskopas, kuris sumontuotas Lietuvos energetikos institute, taip pat buvo panaudota programinė įranga, kuri komplektuojama kartu su spektroskopu. EDS spektrai buvo fiksuojami kartu su SEM mikrofotografijomis. Gauti spektrai apibūdina SEM mikrofotografijose matomo paviršiaus elementinę sudėtį.

EDS naudojama išskirti įvairių elementų charakteringus rentgeno spindulius į energijos spektrus. Šie spektrai išanalizuojami programinės įrangos pagalba, tokiu būdu nustatomi atitinkami elementų kiekiai. EDS analizės metodu galima nustatyti cheminę bei elementinę medžiagos sudėtį. Elektronų spindulys sužadina bandinio atomus, kurie vėliau pereidami į stabilią būseną, išspinduliuoja rentgeno spindulius. Kiekvieno elemento atomai gali spinduliuoti tik tam tikros energijos rentgeno spindulius. Bandinio spinduliai spektre suformuoja charakteringas smailes. EDS nefiksuoja lengvesnių atomų už borą [39].

Energijos dispersijos sistemos dažniausiai yra integruojamos į SEM. EDS sistemoje yra jautrus rentgeno spindulių detektorius. Detektorius pritvirtintas darbinėje kameroje prie stovo. Detektoriaus aušinimui naudojamas skystas azotas, o programinė įranga surenka ir išanalizuoja gautus energijos spektrus. EDS detektorius susideda iš kristalo, kuris absorbuoja krintančių rentgeno spindulių energiją, tuomet laisvieji elektronai kristale sukuria elektros srovę. Rentgeno spindulių absorbcija paverčiama atitinkamo dydžio elektros srove. Šie elektriniai signalai yra proporcingi charakteringiems rentgeno spindulių spektrams [39].

2.3.3. Kuro purkštukų tikrinimo, plovimo stendas

Tyrimui atlikti buvo panaudotas pagamintas kuro purkštukų tikrinimo stendas (žr. 3.5 pav.). Šio stendo nustatyti parametrai pateikti 2.2 lentelėje.

2.2 lentelė. Kuro purkštukų tikrinimo stendo parametrai.

Maksimalus skysčio slėgis	Darbinis slėgis	Skysčio pompos galia	Maksimalus skysčio debitas	Signalų dažnis
9 Bar	0,2 – 8,5 Bar	80 W	5,5 L/min	1 Hz – 1 MHz

Išpurškiamo kuro debitas nustatytas pasinaudojant laikmatį ir pasveriant išpurškto skysčio masę elektroninėmis svarstyklėmis DS-22 (žr. 2.6 pav.). Pasirinktas statinis debito matavimas (purkštuko vožtuvas viso matavimo metu išliko pilnai atidarytas). Purkštukų tikrinimui buvo naudojamas distiliuotas vanduo, taip išvengiama galimos purkštuko ertmių korozijos. Debito matavimo metu naudojamas skystis nėra keičiamas, o gražinamas atgal į sistemą. Skystis buvo suslėgiamas iki 8,5 Bar slėgio, slėgio regulatoriaus pagalba buvo nustatomas 7,8 Bar darbinis tikrinimo slėgis, kuro purkštukas buvo laikomas atidarytas 60 s. Svarstyklių parametrai pateikti 2 lentelėje. Išpurškiamo skysčio debitas apskaičiuojamas pagal formulę (žr. 2.1). Vieno purkštuko debitas fiksuojamas tris kartus, o rezultatams naudojamas aritmetinis gautų matavimų vidurkis. Visų tikrinimų metu išlaikomas vienodas skysčio slėgis bei laiko intervalas. Pasvertas skystis supilamas atgal į skysčio rezervuarą. Vienu metu tikrinamas vienas kuro purkštukas.

$$Q = \frac{m}{t} \quad (2.1)$$

čia Q - debitas (g/s); m - masė (g); t - laikas (s)



2.5 Pav. Kuro purkštuko debito matavimas naudojantis pagamintu stendu



- 1 – Korpusas,
- 2 – sverimo pagrindas,
- 3 – jungiklis Įjungti/Išungti,
- 4 – matavimo vieneto pasirinkimas,
- 5 – taros jungiklis.

2.6 pav. Elektroninės svarstyklės DS-22

2.3 lentelė. Elektroninių svarstyklių parametrai.

Dydis, cm	Maksimalus svoris	Padalos vertė ^a	Svarstyklių svoris	Galimi matavimo vienetai
7.5x4.5x1.3	500 g	0.01 g (iki 200 g) 0,01 g (virš 200 g)	36 g	g/oz/T/gn/ ozt/dwt/ct

^a Padalos vertė kinta priklausomai nuo sveriamo svorio.

2.4 Kuro purkštukų ultragarsinis plovimas

2.4.1. Ultragarsinio plovimo terpė

Tyrimui naudoti komerciškai prieinamų valiklių vandeniniai tirpalai. Atsižvelgiant į literatūros apžvalgoje aptartą informaciją buvo pasirinkta naudoti šarminio, rūgštinio bei neutralaus pH ploviklius. Renkantis ploviklius buvo atsižvelgiama į jų sudėtį bei pH. Visi plovikliai gaminami UAB HIGĖJA įmonėje. Norint įsitikinti ploviklių efektyvumu taip pat buvo atliekamas kontrolinis plovimas naudojant distiliuotą vandenį bei LUKOIL degalinėje išgytą dyzelinį kurą. Vandenei plovimo terpei paruošti buvo naudojami 4 litrai distiliuoto vandens ir 200 ml ploviklio. Naudotų ploviklių veikliųjų medžiagų sudėtis ir fizikinės savybės pateiktos 2.3 lentelėje.

2.3 lentelė. Naudotų ploviklių veikliosios medžiagos bei jų fizinės savybės.

Pavadinimas	Veiklioji medžiaga	Masės dalis. %	pH ^a	Tankis, g/cm ³ ^b
S-PLOVIKLIS	TEA-dodecilbenzensulfonatas	< 10	8,0 – 9,0	1,032 – 1,042
	Alkoholiai, C12-14, etoksilinti, sulfatai, natrio druskos	< 5		
	Dietanolamidas	< 3		
	Natrio hidroksidas	< 0,5		
DEKALCITAS	Fosforo rūgštis	< 30	1,0 – 2,0	1,200 – 1,300
	Azoto rūgštis	< 20		
	Alkoholiai C12-C14, etoksilinti	< 1		
P-113	Dodecilbenzensulfoninė rūgštis	< 15	11,5 – 12,0	1,085 – 1,105
	Natrio hidroksidas	< 5		
	Natrio karbonatas	< 5		
	Kokosų aliejaus dietanolamidas	< 5		
	Natrio lauretsulfatas	< 5		
	Dinatrio metasilikatas	< 5		
Dyzelinas^c	Sodieji angliavandeniliai	~ 75	-	0,800 – 0,845
	Aromatiniai angliavandeniliai	~ 25		

^a pH nurodytas 1 % koncentracijos vandeninio tirpalo.

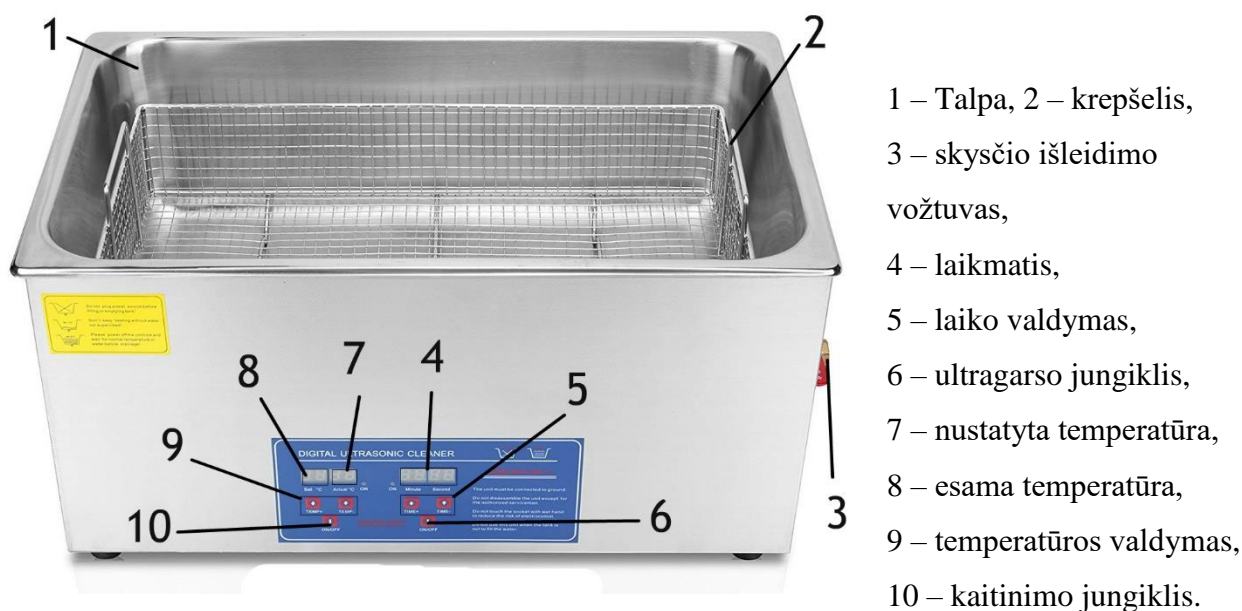
^b Tankis nurodytas 20 °C temperatoroje.

^c Pilną sudėtį galima rasti literatūros šaltinyje [40].

Pirmiausiai į ultragarsinės plovimo vonelės talpą supilamas distiliuotas vanduo. Norint pašalinti vandenyje esančias dujas vanduo pakaitinamas iki 70 °C temperatūros naudojant vonelėje esantį kaitintuvą. Temperatūra fiksuojama ultragarsinės vonelės ekrane. Į 70 °C temperatūros distiliuotą vandenį supilama 200 ml. atitinkamo ploviklio. Skystis kruopsčiai išmaišomas ir atvėsinaamas iki 60 °C temperatūros. Visų plovimų metu išlaikoma 60 °C temperatūra. Atlikus plovimus panaudota plovimo terpė išpilama, ultragarsinės vonelės talpa išplaunama 1 l. distiliuotu vandeniu ir nusausinama. Visos plovimo terpės paruošiamos identišškai, pakeičiamas tik ploviklis. Atliekant plovimą distiliuotu vandeniu proceso eiga išlieka tokia pati tik nenaudojamas ploviklis. Atliekant plovimus dyzeliniame kure naudojama 4 l. dyzelinio kuro. Dyzelinio kuro temperatūra plovimų metu išlaikoma 50 °C temperatūros. Ši temperatūra pasirenkama dėl saugumo. Šioje temperatūroje ultragarsinio plovimo metu dyzelinas stipriai garavo, plovimo patalpoje buvo jaučiamas stiprus dyzelino kvapas, todėl norint išvengti didesnio garavimo bei galimo apsinuodijimo temperatūra nebuvo didinama.

2.4.2. Ultragarsinė plovimo vonelė

Tyrime buvo naudota ultragarsinė plovimo vonelė Generic JPS-100A (žr. 2.7 pav.). Plovimo vonelėje sumontuota 10 ultragarsinių keitiklių bei 4 šildymo elementai. Ultragarsinės vonelės skysčio temperatūra kontroliuojama rankiniu būdu. Šioje ultragarsinėje plovimo vonelėje nėra galimybės keisti ultragarso galios. Ekране rodoma esama skysčio temperatūra. Rankiniu būdu pasirinkus norimą temperatūrą ultragarsinė plovimo vonelė automatiškai įjungia šildymo elementus. Pasiekus nustatytą temperatūrą kaitinimo elementai automatiškai išsijungia. Vonelėje įmontuotas laikmatis, veikimo laikas pasirenkamas rankiniu būdu, pasibaigus plovimo laikui vonelė automatiškai išsijungia. Ultragarsinės vonelės parametrai pateikti 2.4 lentelėje.



2.7 pav. Ultragarsinė plovimo vonelė Generic JPS-100A

2.4 lentelė. Generic JPS-100A Ultragarsinės plovimo vonelės parametrai.

Dažnis	Galia	Laikmatis	Matmenys, cm	Talpos tūris	Šildymo galia	Svoris	Keitiklių kiekis
40 kHz	600 W	1 – 60 min	53x33x33	30l	800 W	16 kg	10 vnt

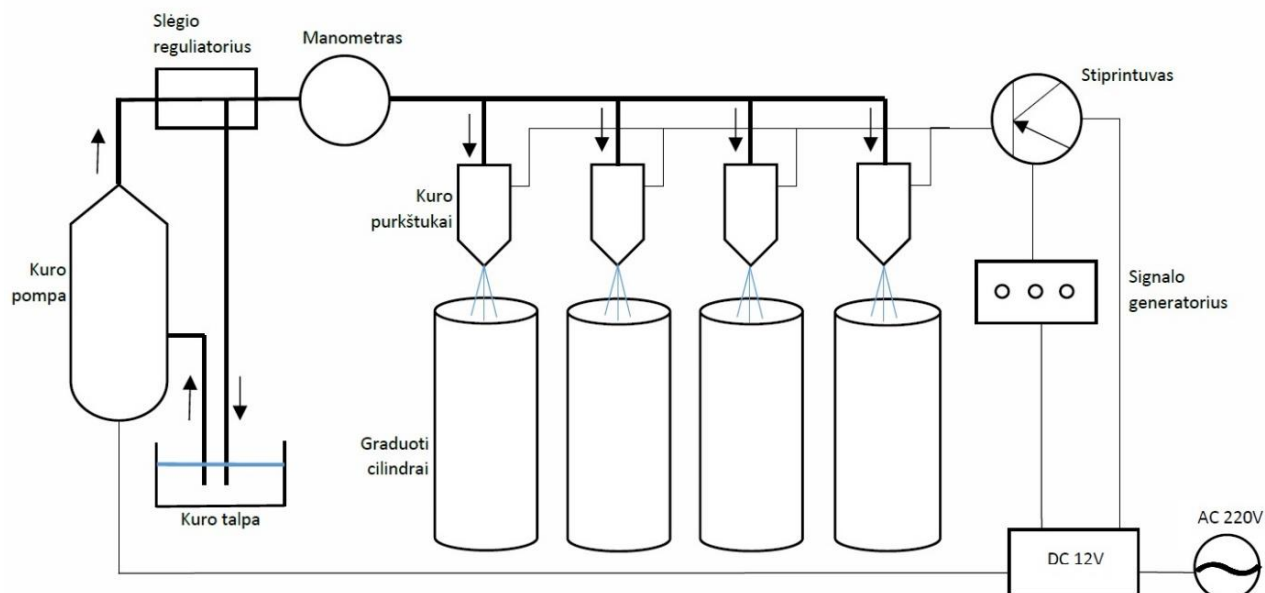
Kuro purkštukų antgaliai plaunami pritvirtinant kuro purkštuką statmenai į vonelės dugną. Purkštuko antgalis nenumontuojamas nuo purkštuko korpuso. Atstumas tarp vonelės dugno ir purkštuko antgalio viso plovimo metu išlaikomas 10 mm. Purkštukas tvirtinamas virš vieno iš 10 esamų ultragarsinių keitiklių. Vieno plovimo trukmė yra 120 s. Kuro purkštuko antgalis plovimo metu panardintas plovimo skystyje, purkštuko vožtuvas stendo pagalba yra laikomas atidarytas. Stendo pompos įsiurbimo žarna patalpinama į ultragarsinio plovimo vonelę. Tokiu būdu ultragarsinio plovimo metu plovimo skystis pompos pagalba įsiurbiamas ir suslegiamas iki 7.8 Bar slėgio, suslėgtas skystis keliauja iki purkštuko antgalio per kurį išpuršiakams atgal į ultragarsinės plovimo vonelės talpą. Tokiu būdu plovimo metu palaikoma ploviklio cirkuliacija ir užtikrinama jog ultragarsinio plovimo metu visos purkštuko angos užpildytos skysčiu. Tokiu būdu kavitacija vyksta viso purkštuko tūryje. Plovimo metu atplėšti nešvarumai esantys ne purkštuko paviršiuje, o jo kanaluose srovės pagalba išpurškiami į plovimo vonelę. Šis metodas užtikrina nešvarumų pasišalinimą iš visų purkštuko kanalų.

Vienu metu plaunamas vienas kuro purkštukas. Atlikus plovimą atliekamas debito matavimas. Plovimo ciklai kartojami tol, kol nebekinta išpurškiamo skysčio debitas.

3. TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

3.1. Kuro purkštukų ultragarsinio plovimo sistema

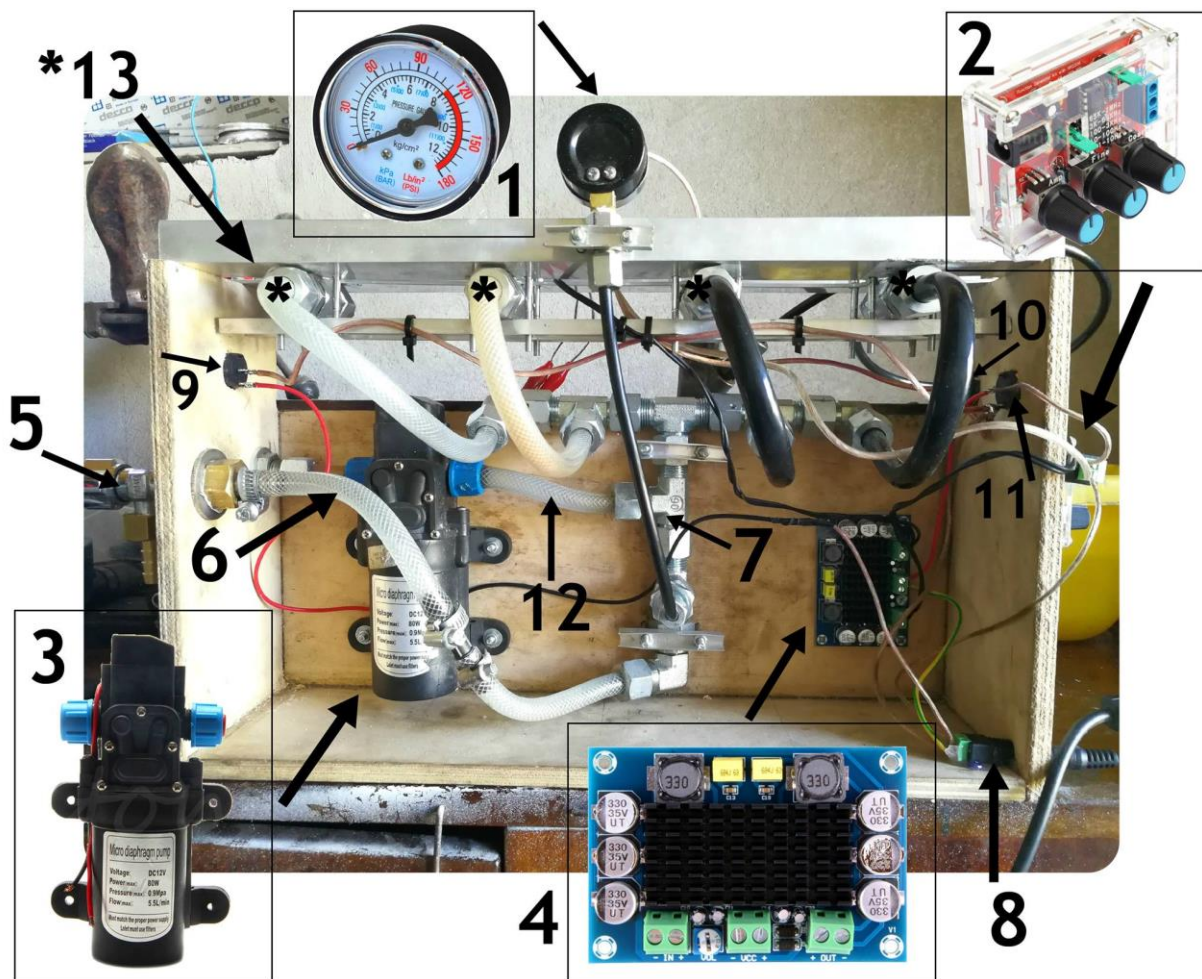
Tyrimui atlikti buvo pagamintas stendas, leidžiantis tikrinti kuro purkštukų išpurškiamo skysčio srautą bei debitą. Šis stendas naudotas kartu su ultragarsinio plovimo vonele. Panaudojant šiuos prietaisus kartu, gaunama efektyvi plovimo sistema, kuri užtikrina viso kuro purkštuko tūrio plovimą. Stendu galima plauti keturis kuro purkštukus vienu metu. Taip pat plovimo eigoje galima greitai ir patogiai patikrinti visų keturių kuro purkštukų debitą. Tai praktiška, kadangi dauguma šiuolaikinių dyzelinių automobilių gaminami su keturių cilindrų varikliais. Tikrinant iškart keturis purkštukus galima matyti skirtumus ir nustatyti kurie purkštukai užsiteršė labiausiai. Atliekant vienodų purkštukų plovimą galima stebėti jų debitus ir plauti tol kol visų purkštukų debitai susilygins. Šio stendo principinė schema pateikta (žr. 3.1 pav.). Rodyklėmis pažymėta skysčio judėjimo kryptis.



3.1 pav. Kuro purkštukų tikrinimo stendo principinė schema

Stendas sudarytas iš kuro talpos, iš kurios kuras (ar kitas skystis) pompos pagalba tiekiamas į sistemą. Ultragarsinio plovimo metu vietoje kuro talpos yra naudojama vonelės talpa ir joje esantis plovimo skystis, tokiu būdu plovimo metu palaikoma ploviklio cirkuliacija purkštuko angose. Kuro tikrinimo stende yra išvestos skysčio padavimo bei gražinimo žarnos, kurios gali būti patalpinamos į bet kokią talpą su skysčiu. Pompa automatiškai sudaro vakuumą ir žarnų pagalba įtraukia norimą skystį. Skysčio slėgį galima valdyti mechaniniu slėgio reguliatoriu, o perteklinis skystis žarnos pagalba nukreipiamas atgal į norimą kuro talpą. Jeigu naudojami labai (> 300g/min) didelio debito purkštukai yra sudaryta galimybė prijungti papildomą aukšto slėgio talpą tarp kuro pompos ir slėgio reguliatoriaus. Tokiu būdu suslėgtas skystis bus laikomas talpoje

ir taip bus sumažinamas slėgio kritimas darbo metu. Taip pat ši talpa pagerina tiekiamo skysčio slėgio stabilumą esant dideliems tikrinimo slėgiams (> 5 Bar.). Sistemos slėgis fiksuojamas mechaniniu manometru. Suslėgtas skystis toliau tiekiamas į kuro purkštukus, kurie yra sujungti lygiagrečiai. Kiekvienas kuro purkštukas prijungiamas per rankinį vožtuvą. Šio vožtuvo dėka pasirenkama kuriuos purkštukus tikrinti. Purkštukų išpurškiamas skystis surenkamas stiklinėse talpose. Purkštuko vožtuvo atidarymo greitis bei intervalas nustatomas naudojant funkcinį generatorių XR2206. Šio generatoriaus signalas sustiprinamas skaitmeniniu stiprintuvu TPA3116DA. Visa sistema maitinama 12 V maitinimo šaltiniu. Išpurškiamo kuro srautas stebimas vizualiai. Pagaminto stendo nuotrauka kuriuose matoma pagrindiniai komponentai (žr. 3.2 pav.).



3.2 pav. Ultragarinio plovimo stendo nuotrauka (galintė stendo pusė). 1 – Skysčio slėgio manometras, 2 – signalo generatorius, 3 – aukšto slėgio pompa, 4 – signalo stiprintuvas, 5 – slėgio reguliatorius, 6 – grįžtamo skysčio žarna, 7 – skysčio paskirstymo linija, 8 – 12 V maitinimo šaltinio jungtis, 9 – pompos jungiklis (išjungti/ijungti), 10 – statinio debito matavimo jungiklis (išjungti/ijungti), 11 – signalo generatoriaus, stiprintuvo jungiklis (išjungti/ijungti), 12 – suslėgto skysčio padavimo žarna, 13 – rankiniai vožtuvai (4 vnt.)

3.2. Kuro purkštukų antgalių paviršiaus analizė

Prieš atliekant kuro purkštukų antgalių plovimą buvo padarytos jų SEM mikrofotografijos kartu su EDS elementiniu spektru. Iš gautų SEM mikrofotografijų buvo nustatytas antgalių skylių skersmuo, įvertintas skylių užterštumo lygis bei esamų dalelių dydis. Pasinaudojant EDS spektru išanalizuota paviršiaus elementinė sudėtis. Gauti duomenys pateikti 5 lentelėje.

3.1 lentelė. Purkštukų antgalių elementinė paviršiaus sudėtis.

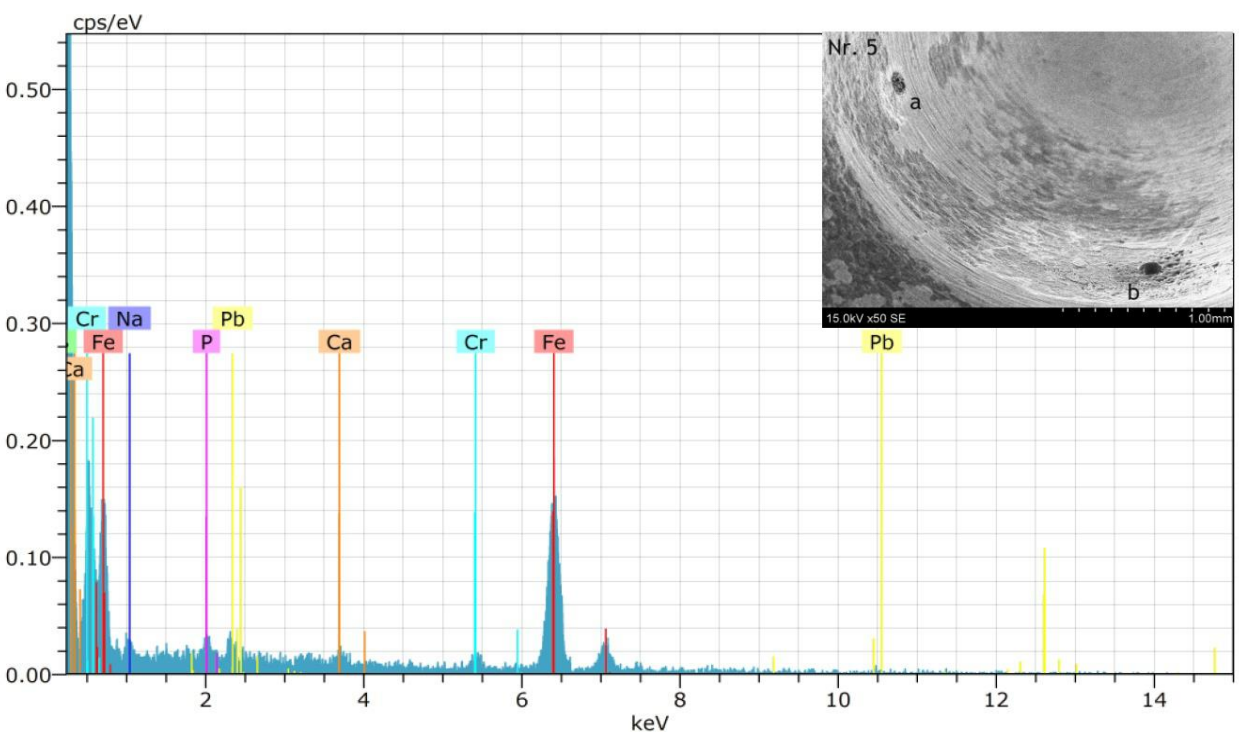
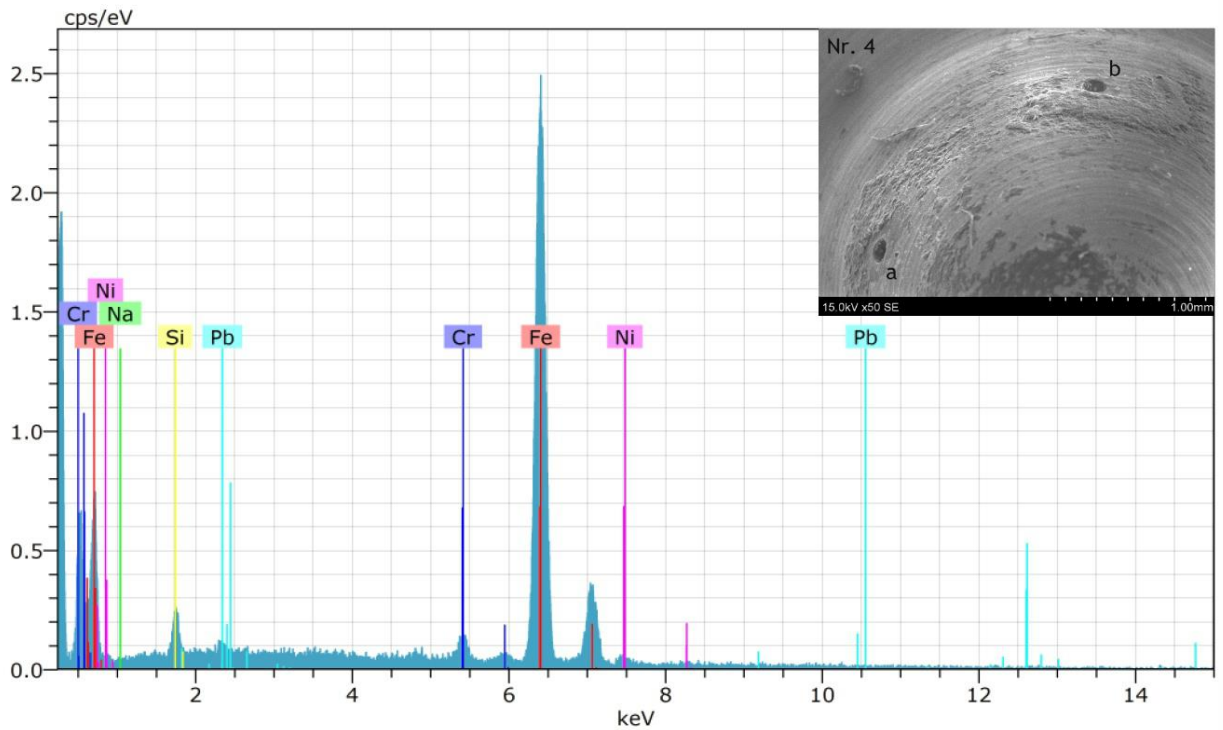
Elemento pavadinimas	Masės dalis, % ^a				
	Antgalis Nr.1	Antgalis Nr.2	Antgalis Nr.3	Antgalis Nr.4	Antgalis Nr.5
Geležis	73,54	55.61	56.88	77,80	53,07
Chromas	2,01	1.93	-	2,10	2,95
Nikelis	2,29	2.37	-	2,09	
Švinas	-	-	-	15,84	5,20
Silicis	0,74	1.97	-	1,72	1,32
Anglis	12,96	24.89	39.98	-	33,84
Deguonis	7.15	11.74	-	-	-
Fosforas	0,36	0.43	1.37	-	1,16
Natris	1,33	0.38	-	0,45	2,45
Siera	-	0.68	1.77	-	-

^a EDS tyrimo metu neužfiksuoti elementai pažymėti „-“,

Analizuojant gautą elementinę sudėtį pastebėta jog antgalių Nr. 1, 2 ir 3 metalo paviršiaus spalva yra vienoda, o antgaliai Nr. 3 ir 5 išsiskiria dėl savo melsvesnio metalo paviršiaus atspalvio (žr. 4 pav.). Tai galima paaiškinti ir atsižvelgus į elementinę šių antgalių paviršiaus sudėtį. Matome jog antgaliuose Nr. 1, 2 ir 4 dominuoja geležis, nikelis, chromas ir silicis - šie elementai naudojami gaminant mechaniškai tvirtus geležies lydinius. Galima daryti prielaidą, jog šių antgalių gamyboje buvo pasirinkta naudoti vienodus metalo lydinius. Be to, žinome jog antgalių Nr. 2 ir Nr. 4 gamintojo numeriai sutampa, todėl tikėtina, kad šie antgaliai gaminami toje pačioje gamykloje iš to pačio metalo lydinio.

Antgalyje Nr. 5 nefiksuojamas nikelis, taip pat matomas panašus chromo kiekis kaip prieš tai aptartuose antgaliuose. Verta pabrėžti jog šis antgalis gaminamas kito gamintojo, todėl ir gamyboje naudojamo lydinio sudėtis gali skirtis. Galime teigti, jog šio antgalio gamyboje naudojamas lydinys iš geležies, chromo ir silicio.

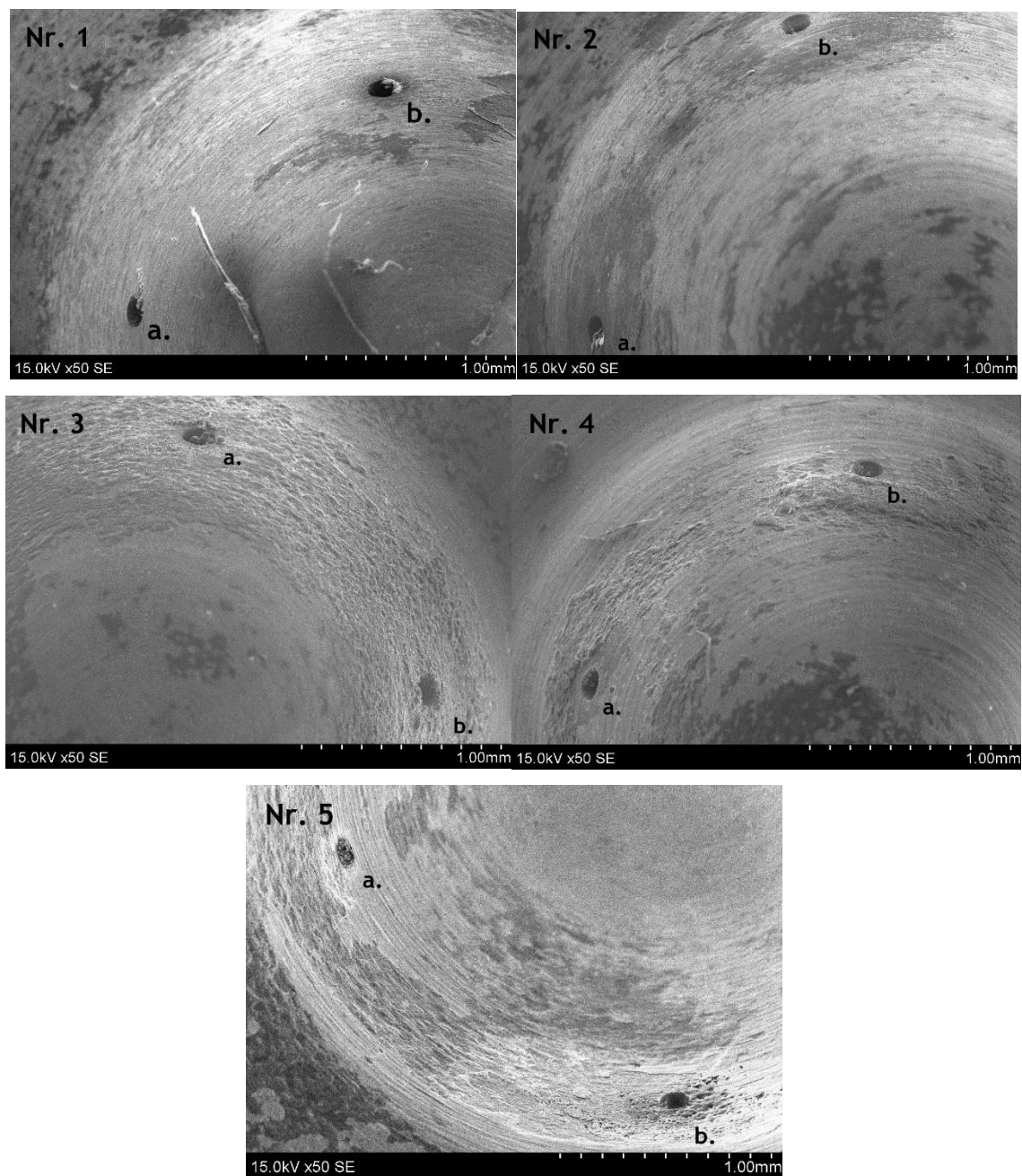
Antgalyje Nr. 3 pastebima nedidelė elementų įvairovė, dominuoja anglis ir geležis. Galima teigti, jog šis antgalis gaminamas iš anglinio plieno. Kadangi anglinio plieno gamyboje naudojama iki 2 % masės anglies, likusi anglis gali būti sudegusių angliavandenilių anglinės nuosėdos. Pastebėtas didelis švino kiekis antgaliuose Nr. 4 ir Nr. 5 (žr. 3.1 pav.).



3.3 pav. Antgalių Nr. 4 (viršuje) ir Nr. 5 (apačioje) EDS spektrai bei 50 kartų didinimo SEM mikrofotografijos.

Nustatyta, jog prastos kokybės dyzeliniame kure arba jo prieduose galima rasti švino bei jo junginių [41]. Galima teigti, jog šie antgaliai buvo naudojami automobilyje kuriame buvo naudojamas nekokybiškas dyzelinis kuras arba dyzelino priedai kartu su kuru. Įdomu tai jog antgalyje Nr. 4 nefiksuoja anglis. Tai galėjo nutikti dėl tyrimo metu esančių triukšmų, paklaidos. Likusieji elementai - natrias, siera, fosforas yra naudojami kaip priedai automobilineje alyvoje bei dyzeliniame kure. Degimo metu šie elementai galėjo nusėsti antgalio paviršiuje. Deguonies ir anglies buvimą galima paaiškinti susidariusiomis nepilnai oksiduoto dyzelinio kuro nuosėdomis.

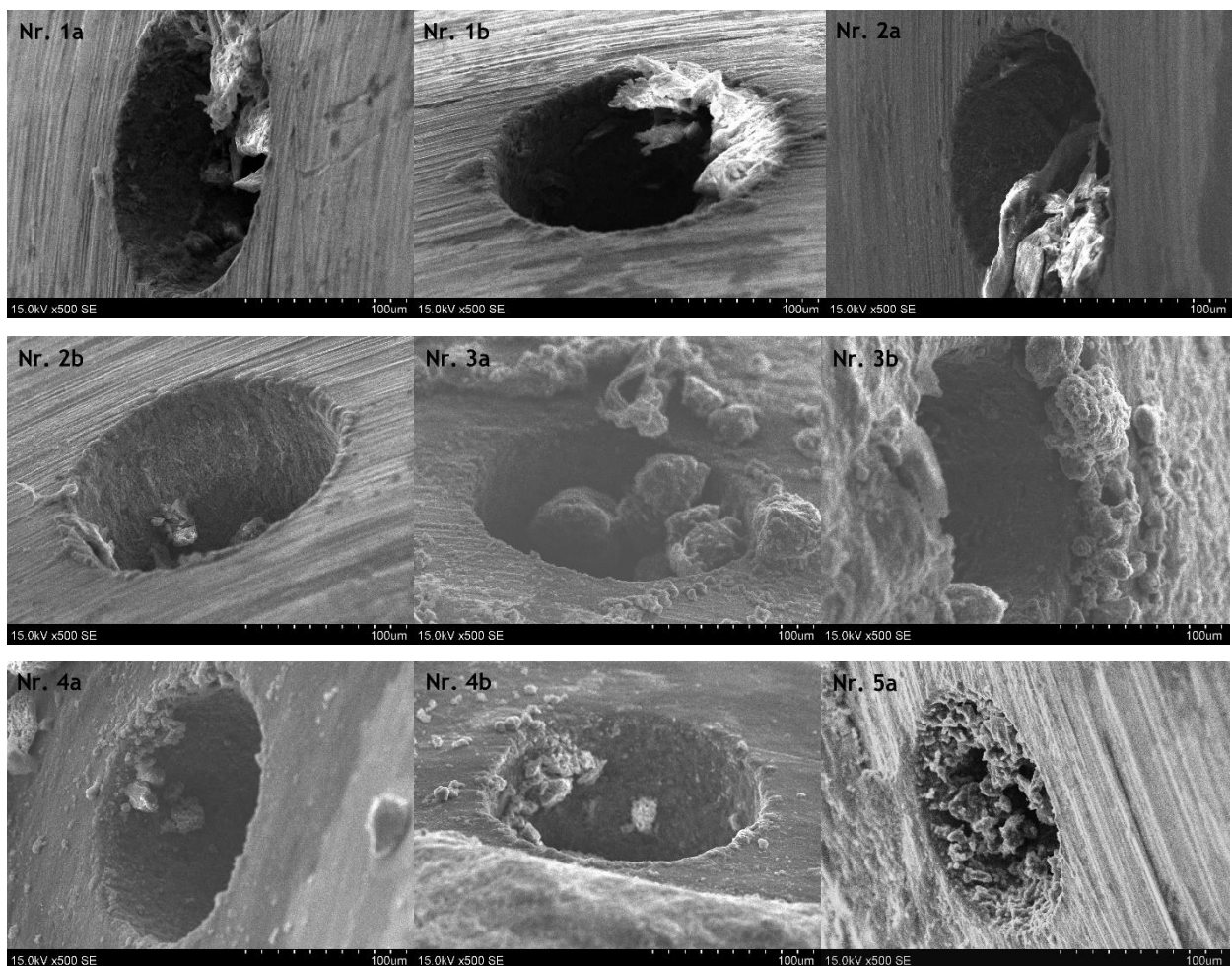
SEM mikrofotografijose pastebimas nevienodas purkštukų antgalių užterštumo lygis (3.2 pav.).



3.4 pav. Antgalių paviršiaus SEM mikrofotografijos naudojant 50 kartų didinimą

Analizuojant paviršiaus morfologiją pastebima jog nešvarumų storis ir plotas antgalių paviršiuje nevienodas, bet matoma tendencija nešvarumams kauptis aplink antgalio skylutes. Mikrofotografijose matoma tamsesnės paviršiaus zonos aplink antgalio ertmes, šios zonos galētu būti anglinės nuosėdos. Mažiausias antgalio paviršiaus užterštumas stebimas antgalyje Nr. 1. Antgalyje Nr. 3 ir 5 stebimas didžiausias paviršiaus užterštumas, bei paviršiaus netolygumas. Antgalyje Nr. 5 žemiau b skylutės matome didelio storio ir ploto užterštumo dėmę, atsižvelgiant į prieš tai aptartą elementinę sudėtį galime teigti jog tai švinas. Šie paviršiniai antgalių nešvarumai nedaro didelės įtakos kuro atomizavimui.

Didžiausią įtaką kuro išpurškimo srautui bei debitui daro nešvarumai susikaupę pačiose mikroskylutėse. Todėl norint detaliau išanalizuoti mikroskylučių užterštumą atliktos jų mikrofotografijos naudojant 500 kartų didinimą. (žr. 3.3 pav.)



3.5 pav. Antgalių ertmių SEM mikrofotografijos naudojant 500 kartų didinimą

Ant kiekvieno antgalio paviršiaus pastebimi įbrėžimai tiek naudojant 50 ir 500 kartų didinimus. Šie įbrėžimai tai gamybos metu (tekinimo) paliktos antgalio apdirbimo žymės. Atsižvelgiant į šiuos paviršinius įbrėžimus galima patvirtinti jog vietos kur šie įbrėžimai yra matomi, matomas neužterštas antgalio paviršius. Vidinėse antgalių skylučių sienelėse

nepastebėtos skylučių gręžimo žymės, todėl galima teigti jog visos skylučių sienelės pasidengusios nešvarumų sluoksniu.

Matomi nešvarumai kurių dydis ir forma bei pasiskirtymo lygis nepastovus. Išmatuoti antgalių skylučių parametrai prieš plovimą pateikti 3.2 lentelėje. Panaudojus 500 kartų didinimą pastebėta, jog metalo apdirbimo įbrėžimų nematyti ant antgalių Nr. 3 ir Nr. 4. paviršiaus. Tai patvirtina, jog antgalių paviršius ties ertmėmis yra pasidengęs nešvarumų sluoksniu. Taip pat Nr. 3 antgalio ertmėse bei ant paviršiaus stebimi dideli apvalios formos dalelių dariniai. Šie dariniai anglinės nuosėdos tai patvirtina EDS spektras. Matome, jog didžioji antgalio Nr. 1 ir Nr. 2 ertmės dalis padengta nešvarumų dalelėmis kurios prilipusios prie skylutės sienelės. Pastebėta, jog purkštuko Nr. 5 skylutė ypatingai užteršta, nešvarumų forma skiriasi nuo likusiųjų antgalių skylučių nešvarumų. Šie nešvarumai susijungia taip, jog sudaro porėtą struktūrą, todėl skystis vistiek gali pratekėti. Kadangi prieš tai nustatyta jog šio antgalio paviršiuje yra gausu švino tai galėtų būti matomi švino kristalai. Visų šių nešvarumų adhezija ypatingai gera, kadangi purkštuko darbo metu per šias angas išpurškiamo kuro slėgis siekia 1500 Bar. Net ir tokio slėgio skystčio tekėjimas neturi pakankamai energijos atplėšti šiuos nešvarumus. Šie nešvarumai stipriai pakenkia išpurškiamo kuro debitui bei išpurškimo srauto formai.

3.2 lentelė. Išmatuoti purkštukų antgalių skylučių parametrai

Antgalio Nr.	1		2		3		4		5	
Skylutė	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Skersmuo, μm	180	175	164	174	174	176	169	171	163	160
Vidutinis, μm	177,5		169		175		170		161,5	
Paviršiaus plotas, μm^2	24732,4		22420,4		24040,6		22686,5		20474,6	
Gamyklinis skersmuo, μm	185		170		180		170		165	
Gamyklinis paviršiaus plotas, μm^2	26866,6		22686,5		25434,0		22686,5		21371,6	
Paviršiaus ploto užterštumas ^a , %	7,9		1,2		5,5		0,0		4,2	

^aPaviršiaus ploto užterštumas nusako tik dalinį angos užterštumo lygį, kadangi neįmanoma įvertinti užterštumo būklės visos skylutes gylyje.

3.3. Purkštukų antgalių ultragarsinis plovimas

Atsižvelgiant į gautas purkštukų antgalių SEM mikrofotografijas bei jų elementinę sudėtį buvo pasirenkamos atitinkamos ultragarsiniame plovime naudojamos skysčio terpės. Kadangi antgalis Nr. 1 pasižymėjo įvairia elementine paviršiaus sudėtimi, jis buvo plaunamas distiliuotame vandenyje. Plovimo metu negalėjo vykti cheminės reakcijos. Vyko tik fizinis kavitacinių ultragarso burbuliukų plovimas. Šis antgalis yra kontrolinis. Antgalis Nr. 2 plaunamas naudojant S-ploviklį. Antgalis Nr. 3 taip pat kontrolinis tik jo plovime naudojamas dyzelinis kuras. Naudojant dyzeliną kaip plovimo terpę išvengiama purkštuko kanalų užteršimas vandeniu bei išvengiama galima korozija. Antgalis Nr. 4 plaunamas naudojant ploviklį Dekalcitą, kuris yra apibūdinamas kaip stiprus rūgštinis valiklis. Šis ploviklis pasirinktas dėl didelio švino kiekio antgalio paviršiuje. Šarminis ploviklis P-113 naudojamas antgalio Nr. 5 plovime.

Atliekant išpurškiamo skysčio debito matavimus nepavyko atlikti antgalių Nr. 3 ir Nr. 5 matavimų dėl fizinių priežasčių. Purkštuko vožtuvui atidaryti nepakako naudojamo darbinio slėgio tikrinimo metu. Šie antgaliai buvo analizuojami vizualiai atliekant jų fotografijas plovimo eigoje kas 240 s. Gautos fotografijos pateiktos 3.6 pav.



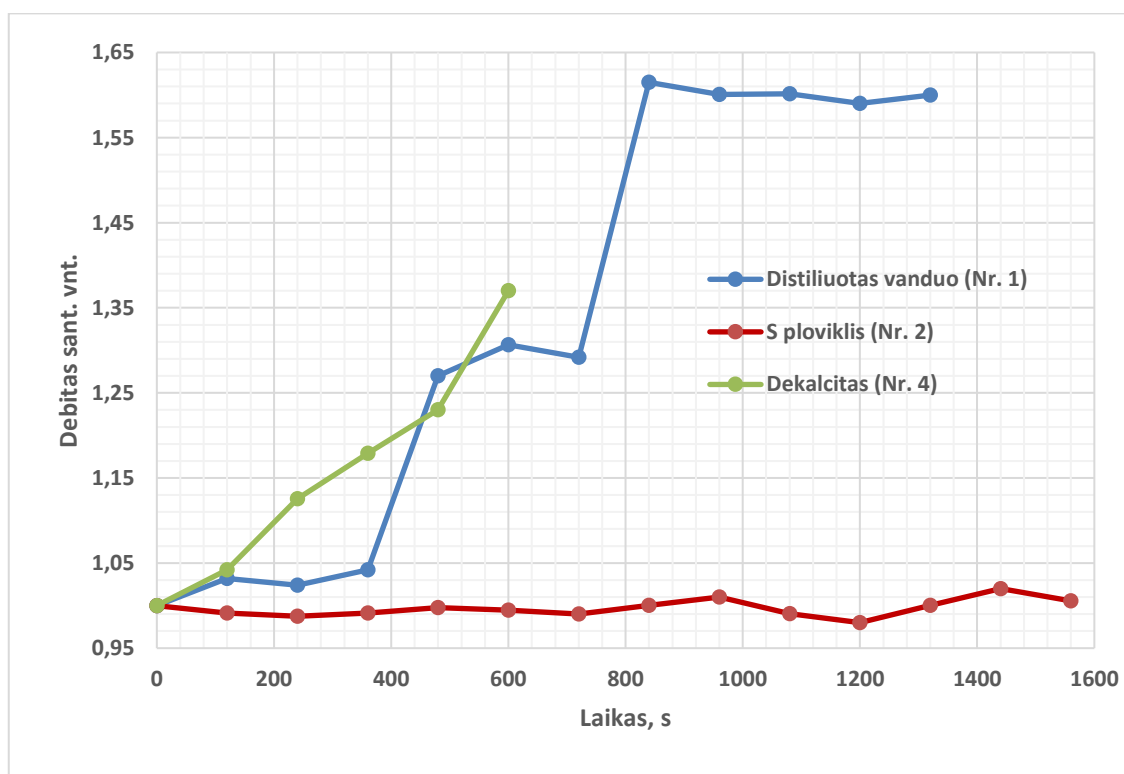
3.6 pav. Antgalių Nr. 3 ir Nr. 4 fotografijos ultragarsinio plovimo eigoje

Atlikus vizualią analizę matyti jog antgalio Nr. 3 paviršius pasidengęs tamsios spalvos nuosėdomis. Prieš tai apžvelgus paviršiaus elementinę analizę nustatyta, jog antgalio Nr. 3 paviršiuje nustatytas didelis anglies kiekis. Fotografijoje matomas vaizdas patvirtina, jog tai anglinės nuosėdos. Antgalio Nr. 5 paviršius taip pat pasidengęs tamsios spalvos nuosėdomis, tačiau lyginant su antgaliu Nr. 3 padengimo plotas ganėtinai mažas.

Plovimo eigos metu matomas didelis skirtumas tarp antgalio paviršiaus morfologijos kitimo. Matoma, jog jau po pirmo plovimo ciklo (240 s) antgalyje Nr. 5 nebematomos juodos spalvos nuosėdos, matomas visas blizgus metalo paviršius. Toliau atliekant šio antgalio plovimą nepastebima didesnių pakitimų, paviršiaus spalva bei tekstūra išlieka nepakitusi. Kita vertus atliekant antgalio Nr. 3 plovimą, po pirmo plovimo ciklo matoma, jog dižioji dalis juodos spalvos nuosėdų pasišalino, bet ant paviršiaus matomas ganėtinai didelis kiekis likusiųjų nuosėdų. Atliekant sekančius plovimo ciklus matomas nežymus paviršiaus šviesėjimas.

Atlikus plovimus ir sulyginus bandinius, matome jog plovimo efektyvumas stipriai išsiskyrė. Atlikus antgalio Nr. 3 plovimą dyzelinu po 720 s matoma likusių nešvarumų, kita vertus atlikus antgalio Nr. 5 plovimą šarminiu plovikliu jau po 240 s nepastebima jokių likutinių nešvarumų.

Atliekant likusiųjų antgalių plovimą ultragarsu buvo fiksuojamas jų debitas plovimo eigoje. Gautas procentinis antgalių išpurškiamo skysčio debito kitimas pateiktas (žr. 3.7 pav.). Skaiciuojant santykinį debitą pradinis debitas buvo laikomas lygus 1.



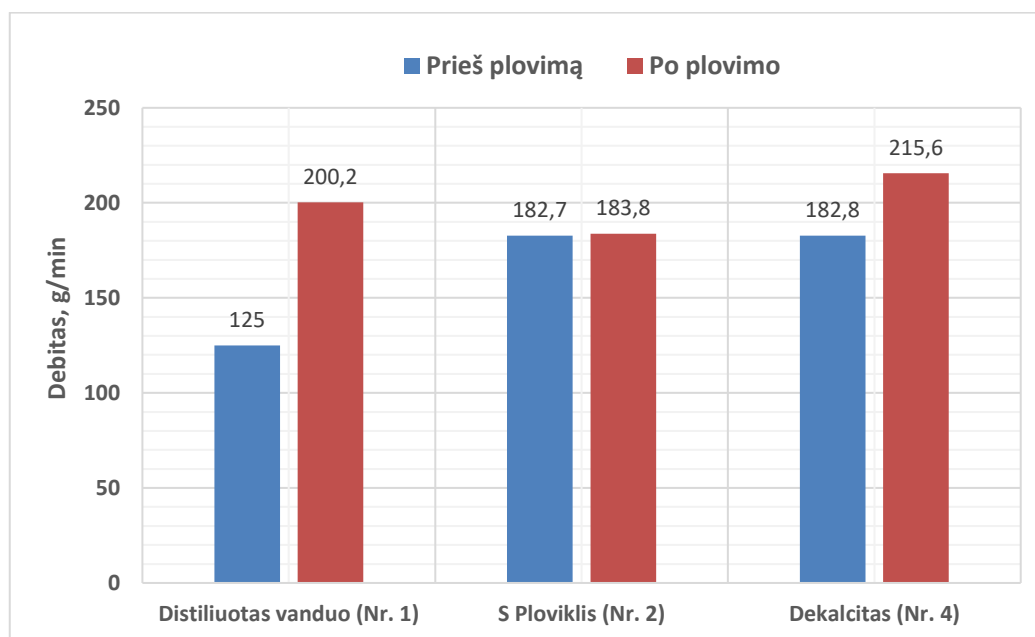
3.7 pav. Santykinis purkštukų debito kitimas ultragarsinio plovimo eigoje

Kadangi kuro purkštukų antgalių ertmių užterštumas labai įvairus, bei nurodytas purkštukų antgalių skylučių dydis yra ne vienodas visų purkštukų debitas nebus gaunamas vienodas (žr. 3.6 pav.). Del šios priežasties buvo pasirinkta vertinti santykinį debito didėjimą.

Pastebėta jog antgalis Nr. 2, kurio plovime buvo naudojamas neutralus ploviklis (S ploviklis) nekeitė skysčio debito net ir po 26 min plovimo. Tai galima paaiškinti nedideliu šio antgalio ertmių užterštumu, bei silpnomis valiklio valymo sąvybėmis. Didžioji šio antgalio teršalų dalis buvo nusėdusi ne antgalio skylutėse, o ant antgalio paviršiaus.

Didžiausias debito padidėjimas buvo stebimas naudojant distiliuotą vandenį antgalio Nr. 1 plovime. Tačiau iš gautų SEM mikrofotografijų buvo matoma, jog didžioji dalis nešvarumų buvo antgalio ertmėse, todėl pradinis šio antgalio debitas buvo žymiai mažesnis nei likusiųjų antgalių. Antgalio plovimas stipriai pakeitė skysčio tekėjimo debitą. Matomi du staigūs debito padidėjimo šuoliai po 480 s ir po 840 s plovimo, plaunant toliau debitas nebekito. Šuolinių debito didėjimą galima paaiškinti įvairių nešvarumų dydžiu angose. Kadangi didelės nešvarumų dalelės stipriai sumažina angos skersmenį bei skysčio tekėjimo debitą, atliekant ultragarsinį plovimą atitrūkus šioms didesnėms dalėlėms kartu fiksuojamas didelis debito padidėjimas.

Atliekant plovimą su plovikliu Dekalcitu buvo stebimas linijinis debito didėjimas, be to po kiekvieno plovimo ciklo buvo stebimas antgalio paviršiaus spalvos kitimas. Plovimas buvo nutrauktas po 600 s kadangi padaryta išvada jog ploviklyje esančios rūgštys chemiškai reaguoja su antgalio paviršiumi. Todėl šio plovimo metu kartu su plovimu galėjo vykti paviršiaus ėsdinimas.



3.8 pav. Purkštukų debitas prieš ir po ultragarsinio plovimo

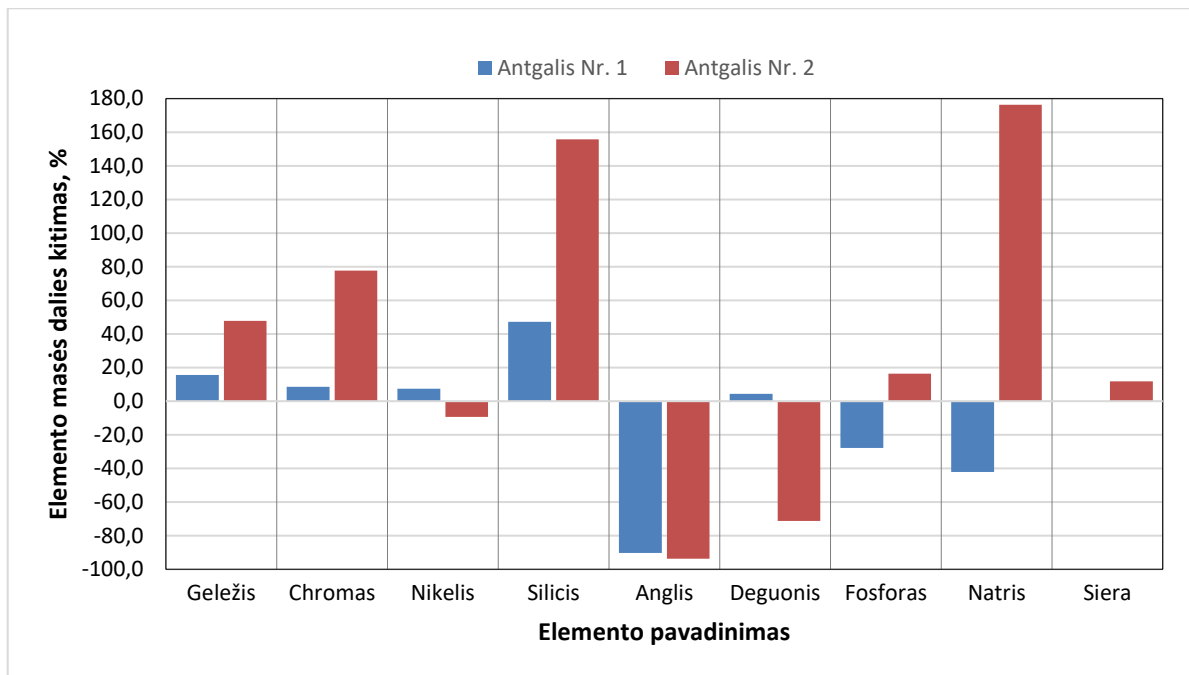
Pastebėta jog antgalių Nr. 1 ir Nr. 4 pradiniai debitai praktiškai lygūs. Yra žinoma, jog šie antgaliai yra vienodi, be to iš SEM fotografijų įvertinus skylučių skersmenį nustatyta, jog jų skersmuo vienodas bei užteršimo laipsnis nežymiai skiriasi. Vienodas šių purkštukų debitas tai patvirtina. Atlikus šių antgalių plovimą išmatuota, jog antgalio Nr. 4 debitas didesnis nei identiško antgalio Nr. 2. Šis debito padidėjimas paaiškinamas skylučių ertmių padidėjimu dėl rugštinio ploviklio ėsdinimo. Analizuojant antgalį Nr. 1 matome jog jo debitas prieš plovimą yra mažiausias nors išmatuotas skylučių skersmuo yra didesnis. Tai parodo jog šis antgalio skylutės yra užterštos nešvarumais giliau, kurių nebuvo galima stebėti SEM mikrofotografijose, dėl fotografuojamo kampo tarp skylutės ir detektoriaus. Atsižvelgus į gautus duomenis po atlikto ultragarsinio plovimo galima teigti, jog antgalio Nr. 4 skylučių skersmuo yra didesnis nei antgalio Nr. 1.

Po antgalių ultragarsinio plovimo buvo atlikta pakartotinė EDS elementinė paviršiaus analizė. Gauta elementinė antgalių Nr. 1 ir Nr. 2 paviršiaus sudėtis prieš ultragarsinį plovimą ir po jo pateikta 3.3 lentelėje. Taip pat išanalizuotas procentinis antgalių paviršiaus individualių elementų kitimas (žr. 3.7 pav.).

3.3 lentelė. Antgalių Nr. 1 ir Nr. 2 paviršiaus sudėtis prieš ir po ultragarsinio plovimo

	Masės dalis, %		Elemento masės dalies kitimas, % ^a	Masės dalis, %		Elemento masės dalies kitimas, % ^a
	Nr. 1 Prieš	Nr. 2 Po		Nr. 1 Prieš	Nr. 2 Po	
Geležis	73,54	85,08	+15,7	55,61	82,14	+47,7
Chromas	2,01	2,18	+8,5	1,93	3,43	+77,7
Nikelis	2,29	2,46	+7,4	2,37	2,15	-9,3
Silicis	0,36	0,53	+47,2	1,97	5,04	+155,8
Anglis	12,96	1,26	-90,3	24,89	1,55	-93,8
Deguois	7,15	7,46	+4,3	11,74	3,38	-71,2
Fosforas	0,36	0,26	-27,8	0,13	0,50	+16,3
Natris	1,33	0,77	-42,1	0,38	1,05	+176,3
Siera	-	-	-	0,68	0,76	+11,8

^aElemento masės dalies kitimas parodo individualaus elemento masės dalies pasikeitimą procentais po ultragarsinio plovimo, laikant, jog individualaus elemento masės dalis prieš ultragarsinį plovimą lygi 100 %. + ar – ženklas nurodo kitimo kryptį (+ elemento masės dalis padidėjo, - elemento masės dalis sumažėjo).



3.9 pav. Antgalių Nr. 1 ir Nr. 2 paviršiaus elementų masės dalies kitimas

Analizuojant gautus duomenis pastebėta, jog po ultragarsinio plovimo abėjuose bandiniuose stebimas didelis anglies sumažėjimas. Matoma, jog didesnis kiekis anglies sumažėjo naudojant S ploviklį - 93,4 %, tuo tarpu naudojant distiliuotą vandenį anglies kiekis sumažėjo – 90,3 %. Tai patvirtina, jog purkštukų antgalių paviršiuje didžioji dalis nuosėdų yra anglinės kilmės. Kadangi nėra žinoma tiksli antgalio metalo lydinio sudėtis likutinis anglies kiekis gali būti likusios nešvarumų dalelės arba elementas įeinantis į antgalių metalo lydinio sudėtį. Pastebėta, jog naudojant S ploviklio tirpalą ultragarsinio plovimo metu pašalinoma didelis deguonės kiekis (71.2 %). Deguonis kartu su anglimi sudaro nepilnai oksiduotus dyzelinio kuro degimo metu išskirtus produktus, kurie kondensuojasi antgalio paviršiuje. Pasišalinus dižiajai daliai anglies, kartu stebimas ir deguonies sumažėjimas. Įdomu tai, jog deguonies mažėjimas stebimas tik naudojant S ploviklį, galima daryti prielaidą, jog dėl ploviklyje esančių medžiagų nepilnai oksiduoti angliavandeniliai šalinami geriau nei naudojant distiliuotą vandenį. Tap pat verta paminėti jog šie antgaliai išmontuoti iš skirtingų variklių, todėl ir nešvarumuose esančių nepilnai oksiduotų angliavandenilių anglies ir deguonies sudėtis gali skirtis. Dalis deguonies taip pat gali būti metalų druskų sudėtyje. Abėjose antgaliuose stebimas geležies, chromo, silicio masės dalies padidėjimas. Po ultragarsinio plovimo fiksuojamas didesnis metalo lydinio paviršius, kadangi plovimo metu pašalinami lydinį dengiantys nešvarumai. Šių elementų masės dalies didėjimas patvirtina, jog metalo lydinyje naudojama geležis, chromas, silicis. Kadangi nikelio svyravimai nedideli bei žinoma, jog nikelio pridėjimas į geležies lydinius padidina korozijos atsparumą bei lydinio tvirtumą [42], daroma prielaida, jog šis elementas taip pat įeina į lydinio sudėtį. Fosforo bei natrio sumažėjimas stebimas antgalio Nr. 1 plovime naudojant distiliuotą vandenį. Šie elementai yra

nešvarumų dalis susidariusi sudegus variklinėje alyvoje bei dyzeline esantiem priedams [43]. Naudojant S ploviklį stebimas šių elementų bei sieros masės dalies padidėjimas. Tai paaiškinama atsižvelgiant į šio ploviklio sudėtį. S ploviklio sudėtyje naudojamos natrio druskos (natrio šarmas, fosfatai, sulfatai (žr. 2.3 lentelę). Po ultragarsinio plovimo dalis ploviklio medžiagų galėjo likti ant antgalio paviršiaus ar jo mikroertmėse.

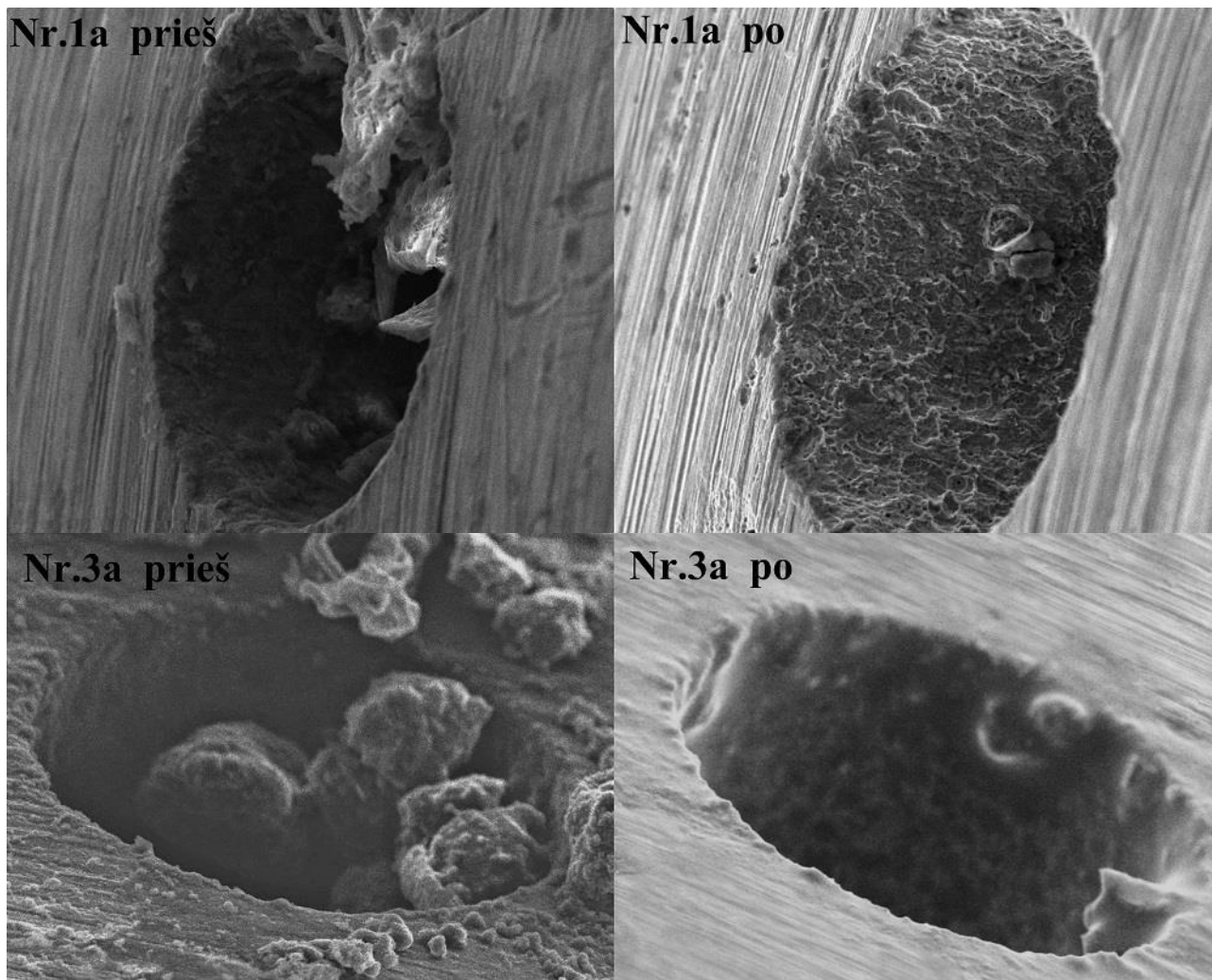
Vizualiai įvertinami kuro purkštukai po ultragarsinio plovimo (žr. 3.10 pav.).



3.10 pav. Kuro purkštukų antgalių fotografijos po ultragarsinio plovimo

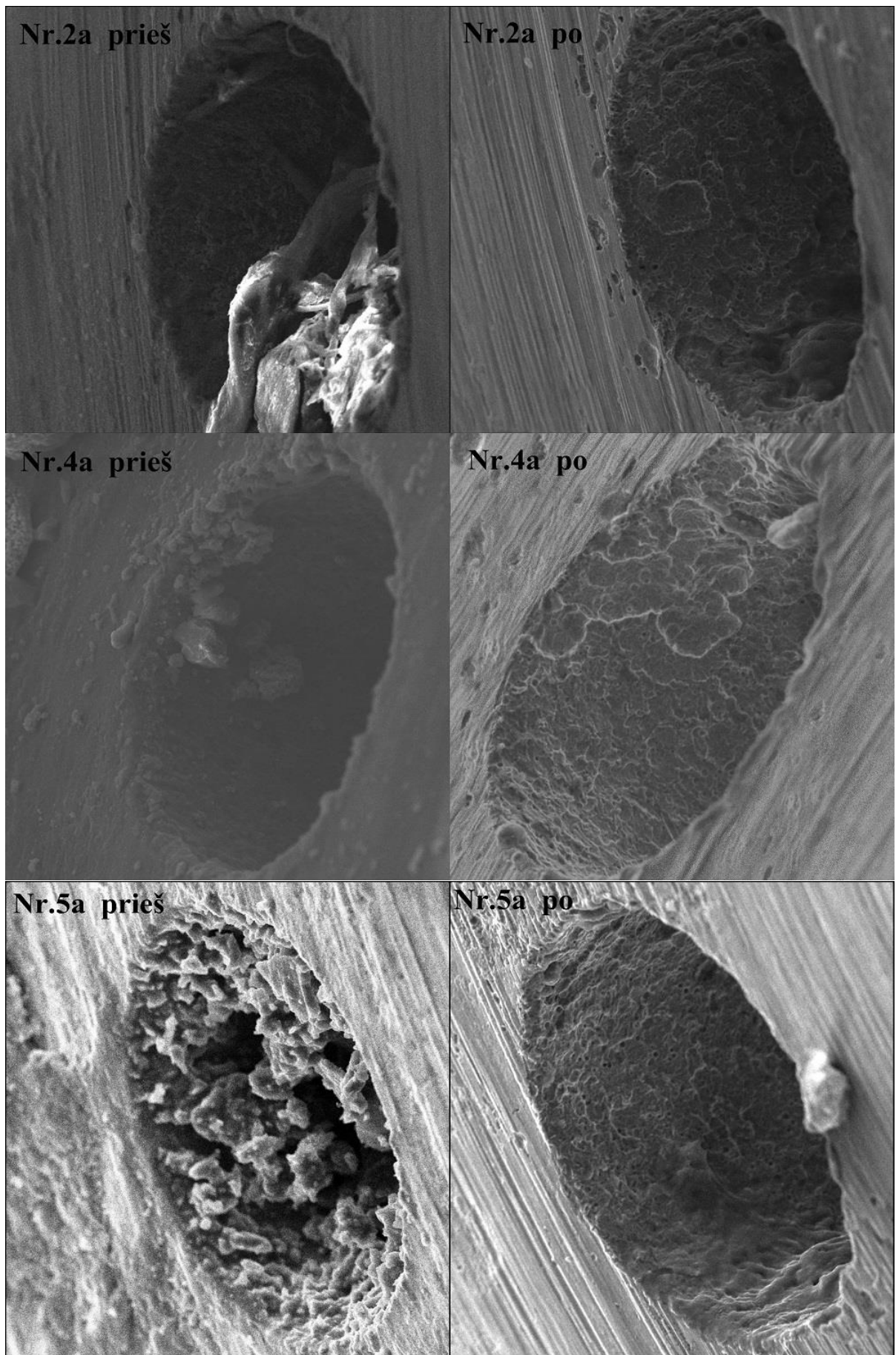
Vizualiai vertinant antgalių paviršių po ultragarsinio plovimo pastebima jog antgalių Nr. 1, 2, 3 paviršiaus spalva bei tekstūra skiriasi nežymiai. Šie antgaliai buvo plaunami naudojant santykinai silpnas plovimo terpes. Antgalių paviršiaus spalva netolygi matomos tamsesnės dėmės.

Panaudojant ploviklį P-112 antgalio Nr. 5 ultragarsiniame plovime matoma, jog šio antgalio paviršiuje nematomos tamsios dėmės, visas paviršius turi metališką blizgesį bei tolygią paviršiaus spalvą. Antgalis Nr. 4 išsiskiria savo melsvesniu atspalviu, šiam antgaliui buvo naudojamas stiprus rūgštinis ploviklis – Dekalcitas. Paviršiuje nematomos tamsios dėmės, priešingai nei likusieji antgaliai šio antgalio paviršius po plovimo tapo matiniu. Norint išanalizuoti antgalių mikroertmių plovimo kokybę buvo atliktos išplautų antgalių SEM mikrofotografijos. Sulygintos mikrofotografijos pateiktos 3.9 pav.



3.11 pav. Kontrolinių atgalių Nr. 1a bei Nr. 3a mikroertmių SEM fotografijos naudojant 500 kartų didinimą
 Analizuojant kontrolinių bandinių mikroertmių plovimo kokybę matoma, jog abi plovimo terpės pašalino didesnes nešvarumų daleles. Kita vertus atliekant valymą dyzelinu (atgalis Nr. 3) matoma, jog antgalio paviršiuje sunkiai išūrimos tekinimo žymės. Tai parodo, jog mažesnės nešvarumų dalelės likusios ant paviršiaus. Tuo tarpu Antgalyje Nr.1a matomos tekinimo žymės visame paviršiuje. Taip pat galima patvirtinti, jog kavitacija intensyviau vyko distiliuotame vandenyje. Ties antgalio ertmės briauna matomas netolygus paviršius, paviršinės duobutės, bei antgalio ertmės sienelėse matoma pasikartojanti paviršiaus morfologija kurioje taip pat matomos apvalios duobutės. Šias duobutes galėjo išmušti plovimo metu sprogstantys mikro kavitaciniai burbuliukai. Iš šių mikrofotografijų bei kitų duomenų galima teigti, jog distiliuotas vanduo yra efektyvesnė ultragarsinio plovimo terpė nei dyzelinis kuras. Be to dyzelinis kuras skleidžia nemalonų kvapą, yra toksiškas bei sunkiai išvalomas.

Antgalių plautų skirtingais plovikliai SEM mikrofotografijos prieš ir po ultragarsinio plovimo pateiktos 3.12 pav.



3.12 pav. Ertmių Nr. 2a, Nr. 4a, Nr. 5a SEM mikrofotografijos prieš ir po ultragarsinio plovimo. 500 kartų didinimas

Matoma, jog visų ploviklių vandeniniai tirpalai pašalino dižiąją dalį ertmėse esančių nešvarumų dalelių. Ultragarso plovimas naudojant vandenines plovimo terpes yra efektyvesnis nei naudojant dyzelinį kurą. Iš SEM fotografijos 3.11 pav. matoma, jog Nr. 3a paviršiuje nematyti antgalio apdirbimo įbrėžimo, be to antgalio ertmėje matomos santykinai didelės likusios nešvarumų dalelės. Tuo tarpų visų kitų antgalių paviršiuje po ultragarso plovimo aiškiai matomos antgalio apdirbimo žymės. Paviršinių nešvarumų pašalinimas aiškiai matomas Nr. 4a ir Nr. 5a antgalių paviršiuje. Taip pat atlikus plovimus vandeniniuose plovikliuose visų antgalių ertmėse nepastebima didesnių dalelių likučių. Šių skylučių paviršiuje matome vienodos tekstūros paviršius. Ertmėse nematomos skylutės gręžimo linijos nei prieš ultragarso plovimą nei po jo. Pastebėta jog po plovimų antgalių ertmių briaunos prarado simetrinę apskritimo formą. Perėjimas tarp antgalio paviršiaus ir ertmės briaunos po ultragarso plovimo tapo statesnis. Šie nukrypimai nuo simetrinės formos atsirado dėl kavitacinių burbuliukų sprogo metu sukuriama paviršių ardančio jėgos.

Iš gautų SEM fotografijų po ultragarso plovimo apskaičiuotas ertmių skersmuo. Gauti duomenys sulyginami su atitinkamų ertmių skersmenimis prieš ultragarso plovimą. Gauti duomenys pateikti lentelėje.

3.4 lentelė. Antgalių ertmių skersmens kitimas.

	Nr. 1a	Nr. 2a	Nr. 3a	Nr. 4a	Nr. 5a
Prieš plovimą, μm	180	164	174	169	163
Po plovimo, μm	184	165	177	185	165
Gamyklinis, μm	185	170	180	170	165

Matoma, jog antgalių Nr. 2a ir Nr. 5a ertmių skersmenys po ultragarso plovimo susilygino su gamykliniais matmenimis. Antgalio Nr. 4a ertmės skersmuo po ultragarso plovimo tapo didesnis nei gamyklinis skersmuo. Šio antgalio plovimo metu naudotas rūgštis ploviklis sustiprino kavitacijos intensyvumą, bei galėjo vykti reakcija tarp metalo ir azoto rūgšties. Žinoma, jog fosforo, azoto rūgštys naudojama pasivuoti plieno lydinių paviršių taip sudarant apsauginę metalo oksido plėvelę [44]. Kadangi kartu su šiuo plovikliu buvo naudojamas ultragarso, kavitaciniai burbuliukai galėjo pažeisti pasyvią metalo oksido plėvelę. Pažeidžiant oksido plėvelę tarp metalo ir azoto rūgšties galėjo vykti cheminė reakcija kuri išdino metalo paviršių. Del šios priežasties kito antgalio spalva bei didėjo angos skersmuo.

IŠVADOS

- Suprojektuota, pagaminta bei patikrinta kuro purkštukų ultragarsinė plovimo sistema. Patvirtintas sistemos efektyvumas atliekant bandinių plovimą. Pasinaudota stendu atliekant purkštukų srauto, debito matavimus.
- Išanalizuota naudotų kuro purkštukų paviršiaus morfologija bei elementinė sudėtis. Nustatyta, jog pagrindinėje nešvarumų elementinėje sudėtyje gausu anglies bei deguonies. Kai kuriais atvejais nešvarumuose taip pat randama švino, nedidelis kiekis fosforo ir kalcio. Antgalių ertmių skersmenys pakitę dėl ant skylučių sienelių nusėdusių nešvarumų. Angų skersmuo sumažėja iki 8 % (priklausomai nuo užterštumo lygio).
- Atliktas kuro purkštukų plovimas panaudojant skirtingus pramoninius plovimo skysčius. Apibendrinus visus rezultatus nustatyta, jog dyzelinas yra netinkamas plovimo skystis. Rūgštinis ploviklis Dekalcitas išdina plovimo paviršių ir keitė išpurškimo angos formą, todėl šis ploviklis netinkamas ultragarsiniame kuro purkštukų plovime.
- Patvirtinta, jog ultragarsinis plovimas yra efektyvus kuro purkštukų paviršiaus bei angų nešvarumų šalinimo metodas. Plovimo metu efektyviai pašalinamos anglinės nešvarumų dalelės, pašalinama iki 93 % anglies. Po ultragarsinio plovimo antgalių ertmių skersmuo atstatomas iki gamyklinių dydžių.
- Naudojant distiliuotą vandenį nešvarumai pašalinami per 10 – 15 min. Efektyviausia naudoti P-112 ploviklio 5 % tirpalą, kadangi ploviklyje esantys šarmai padeda chemiškai pašalinti nešvarumus, taip pat ploviklis nešdina plaunamo paviršiaus bei plovimo metu pašalinamos įvairaus dydžio nešvarumų dalelės. Nešvarumai nuplaunami per 2-10 min. Plovimo laikas priklauso nuo užterštumo lygio.

Patvirtinta, jog variklio darbo eigoje kuro purkštukai pasidengia nešvarumais. Nešvarumų sudėtis atitiko literatūroje aprašytą nešvarumų sudėtį. Stendo pagalba patvirtinta, jog dėl šių nešvarumų pakinta pagrindinės išpurškiamo skysčio charakteristikos. Šia plovimo ir tikrinimo sistemą planuojama toliau tobulinti ir panaudoti teikiant purkštukų valymo paslaugas.

Šis tyrimas apibendrina ultragarsinio plovimo panaudojimo galimybę kuro purkštukų valyme. Norint nustatyti ryškesnius plovimo dėsningumus būtina atlikti tolimesnius tyrimus. Detalesniems tyrimams nepakako turimų bandinių (purkštukų) kiekio, kadangi šie purkštukai yra pilnai restauruojami, todėl net ir nenaujų purkštukų kaina yra didelė).

PADĖKOS

- Baigiamojo magistro projekto vadovui doc. dr. Leonui Jakevičiui už pagalbą atliekant tyrimą, bei ruošiant šio darbo ataskaitą
- Kristinai Bočkutei už bandinių tyrimų atlikimą bei jų aprašymą, interpretavimą
- UAB „REMSALIS“ už galimybę naudotis ultragarsine plovimo vonele, kuro purkštukais bei už stendo gamybos finansavimą.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Power Ultrasonics - Applications of High-Intensity Ultrasound, Juan A Gallego-Juárez, Karl F Graff, (2014) - 1167p [žiūrėta 2017-04-15]. Prieiga per: https://books.google.lt/books?hl=lt&lr=&id=vpeuAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Power+Ultrasonics+-+Applications+of+High-Intensity+Ultrasound&ots=14nKiSe4Hf&sig=ixhS82hU6DpouW1xtPQof0zEn20&redir_esc=y#v=onepage&q=Power%20Ultrasonics%20-%20Applications%20of%20High-Intensity%20Ultrasound&f=false;
2. Practical Sonochemistry- Power Ultrasound Uses and Applications, Timothy J Mason, Dietmar Peters, (2002)- 166p [žiūrėta 2017-03-25]. Prieiga per: <https://books.google.lt/books?id=ZwbnAgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=2.%09Practical+Sonochemistry+Power+Ultrasound+Uses+and+Applications,+Timothy+J+Mason,+Dietmar+Peters&hl=lt&sa=X&ved=0ahUKEwjJp7i0uv7TAhXI7RQKHVrZDFEQ6AEIJTAA#v=onepage&q&f=false>
3. M. Greenspan, F. R. Breckenridge, and C. E. Tschiegg. Ultrasonic transducer power output by modulated radiation pressure. The Journal of the Acoustical Society of America 63, 1031 1978.
4. Cleaning agent [žiūrėta 2017-04-02]. Prieiga per: https://en.wikipedia.org/wiki/Cleaning_agent
5. The Structure Of Ultrasonic Cleaner [žiūrėta 2017-04-03]. Prieiga per: <http://cnultrasonic.com/the-structure-of-ultrasonic-cleaner/>
6. Riesz, P. Berdahl, D. Christman, C.L.. Free radical generation by ultrasound in aqueous and nonaqueous solutions. Environmental Health Perspectives. 64: 233–252 1985.
7. Fundamentals of Cavitation- Jean-Pierre Franc, Jean-Marie Michel- (2004)-321p [žiūrėta 2017-04-22]. Prieiga per: https://books.google.lt/books?id=QJOQYa_oo24C&printsec=frontcover&hl=lt#v=onepage&q&f=false
8. Cavitation and Bubble Dynamics-Brennen C.E.- (2013)-270p [žiūrėta 2017-04-22]. Prieiga per: https://books.google.lt/books?id=yRhaAQAAQBAJ&pg=PA86&dq=Cavitation+and+Bubble+Dynamics-Brennen+C.E&hl=lt&sa=X&ved=0ahUKEwi_7tu8v_7TAhVGXRQKHx6DDfQQ6AEIJTAA#v=onepage&q=Cavitation%20and%20Bubble%20Dynamics-Brennen%20C.E&f=false
9. Ultrasonics: data, equations, and their practical uses, Volume 10. Ensminger Dale, Boca Raton, Florida: CRC Press (Taylor & Francis Group 2009)-508p [žiūrėta 2017-04-24]. Prieiga per: https://books.google.lt/books?id=u2XIPFCbVPgC&dq=ultrasonic+cleaning&source=gbs_navlinks
10. Bogdan Niemczewski. Influence of concentration of substances used in ultrasonic cleaning in alkaline solutions on cavitation intensity. Ultrasonics Sonochemistry 16 (2009) 402–407p
11. S. Frey, Ultrasonic News, May–June 1958, p. 8.
12. B. Niemczewski, Ultrasonics – Sonochem. Vol-14 (2007) 13–18p.
13. B. Niemczewski. Influence of acid concentration on cavitation intensity in ultrasonic cleaning in aqueous solutions of acids. The International Journal of Surface Engineering and Coatings Volume 90, 2012 - Issue 1
14. Fuel injection [žiūrėta 2017-04-29]. Prieiga per: https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_injection#cite_note-14
15. Welshans Terry. A Brief History of Aircraft Carburetors and Fuel Systems. Enginehistory.org. US: Aircraft Engine Historical Society 2013 [žiūrėta 2017-04-26]. Prieiga per: <https://www.scribd.com/document/314438658/A-Brief-History-of-Aircraft-Carburetors-and-Fuel-Systems>
16. MOLES, MASS, CONCENTRATION AND DEFINITIONS [žiūrėta 2017-04-26]. Prieiga per: <http://eyrie.shef.ac.uk/eee/cpe630/comfun1.html>

17. Combustion engines 3/2016 (166) [žiūrėta 2017-04-29]. Prieiga per: http://www.combustion-engines.eu/entityfiles/files/numbers/PTNSS-2016-03_All.pdf
18. Piezo Fuel Injectors Explained [žiūrėta 2017-04-29]. Prieiga per: <http://www.caranddriver.com/features/tech-department-piezo-fuel-injectors-explained>
19. Welcome to a technical overview of Common Rail Diesel Fuel Systems (AK Training) [žiūrėta 2017-04-30]. Prieiga per: <http://www.yildiz.edu.tr/~sandalci/dersnotu/AKTraining.pdf>
20. Everything You Need to Know About Injectors [žiūrėta 2017-04-30]. Prieiga per: <https://www.mrk-motorsports.com/everything-you-need-to-know-about-injectors/>
21. Архангельский, В. М.; Вихерт, М. М.; Воинов, А. Н. Автомобильные двигатели. М.: Машиностроение, 1977, 591.
22. Tomas Mickevičius. Daktaro disertacija. Dyzelinio ir biodegalų mišinių savybių įtaka „Common Rail“ sistemos įpurškimo procesui. Akademija, 2015
23. Nehmer, Daniel A.; Reitz, Rolf D. Measurement of the effect of injection rate and split injections on diesel engine soot and NOx emissions. SAE Technical Paper, 1994.
24. Jūri Olta, Villu Mikitaa, Jūri Roots, Algirdas Jasinskas. Cylinder Pressure Characteristics of Turbocharged and Naturally Aspirated Diesel Engines. Procedia Engineering 100 (2015) 350 – 359p
25. Nao Hua, Peilin Zhoua, Jianguo Yangb. Reducing emissions by optimising the fuel injector match with the combustion chamber geometry for a marine medium-speed diesel engine. Transportation Research Part D: Transport and Environment Volume 53 (2017)
26. Altin O, Eser S. Carbon deposit formation from thermal stressing of petroleum fuels. Prep. Pap-Am Chem Soc, Div. Fuel Chem Vol-49 765p (2004)
27. Manbae Han. The effects of synthetically designed diesel fuel properties – cetane number, aromatic content, distillation temperature, on low-temperature diesel combustion. Fuel Volume 109, July 2013, 512–519p
28. Hongming Xu, Chongming Wang, Xiao Ma, Asish K. Sarangi, Adam Weall, Jens Krueger-Venus. Fuel injector deposits in direct-injection spark-ignition engines. Progress in Energy and Combustion Science 50 63-80p
29. Lindgren R., Skogsberg M., Sandquist H., Denbratt I. The influence of injector deposits on mixture formation in a DISC SI engine. JSAE Technical Paper, No. 20030110. (2003)
30. Imoehl W., Gestri L., Maragliulo M., Del-Frate L., Klepatsch M., Wildeson R. A DOE approach to engine deposit testing used to optimize the design of a gasoline direct injector seat and orifice. SAE Int J Fuels Lubr DOI: 10.4271/2012-01-1642
31. Arters DC., Bardasz EA., Schiferl EA., Fisher DW. A comparison of gasoline direct injection part I e fuel system deposits and vehicle performance. SAE Technical Paper, No. 1999-01-1498. (1999)
32. Joedicke, A., Krueger-Venus, J., Bohr, P., Cracknell, R. et al., Understanding the Effect of DISI Injector Deposits on Vehicle Performance. SAE Technical Paper 2012-01-0391, 2012
33. Ketvirtinė automobilių rinkos apžvalga, 2017 m. 1 ketvirtis [žiūrėta 2017-05-15]. Prieiga per: https://autoptlius.lt/tyrimai/barometras/ketvirtine-automobiliu-rinkos-apzvalga-2017m-1-ketvirtis?page_nr=1
34. Internetinė prieiga: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bosch_Common_Rail_Injector_cross_section.png
35. Bosch Common Rail Injector cross section [žiūrėta 2017-05-15]. Prieiga per: <http://boursinp.free.fr/pgdies3.htm>

36. Nozzles Catalogue 2015/03 [žiūrėta 2017-05-16]. Prieiga per:
http://www.kosser.net/catalogs/Nozzles_Catalogue_2014-09.pdf
37. Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-ray analysis [žiūrėta 2017-05-16]. Prieiga per:
http://www.vub.ac.be/META/toestellen_sem-edx.php
38. Stokes, Debbie J. Principles and Practice of Variable Pressure Environmental Scanning Electron Microscopy (VP-ESEM). Chichester: John Wiley & Sons. 2008
39. Energy Dispersive Spectroscopy, Second Edition, 2015 [žiūrėta 2017-05-15]. Prieiga per:
http://www.edax.com/download/EKB_Energy_Dispersive_Spectroscopy_LR.pdf
40. Saugos duomenų lapai [Žiūrėta 2017-05-17]. Prieiga per:
<http://www.orlenlietuva.lt/LT/OurOffer/Products/Puslapiai/Saugos-duomenu-lapai.aspx>
41. Tetraethyllead [Žiūrėta 2017-05-15]. Prieiga per: <https://en.wikipedia.org/wiki/Tetraethyllead>
42. Flint, G.N. and W. Oldfield. Corrosion of Iron–Nickel Alloys and Maraging Steel. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering, 2017.
43. Oil additive [Žiūrėta 2017-05-16]. Prieiga per: https://en.wikipedia.org/wiki/Oil_additive.
44. Passivation (chemistry) [Žiūrėta 2017-05-17]. Prieiga per:
[https://en.wikipedia.org/wiki/Passivation_\(chemistry\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Passivation_(chemistry))