



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

**Aldas Steponavičius**

**VANDENS ĮPURŠKIMO Į DEGUJŲ MIŠINĮ ĮTAKOS VIDAUS  
DEGIMO VARIKLIO PARAMETRAMS TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Doc. dr. Rolandas Makaras

**KAUNAS, 2015**

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

**VANDENS ĮPURŠKIMO Į DEGUJŲ MIŠINIŲ ĮTAKOS VIDAUS  
DEGIMO VARIKLIO PARAMETRAMS TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas  
Transporto priemonių inžinerija (621E20001)

**Vadovas**

(parašas) Doc. dr. Rolandas Makaras  
(data)

**Recenzentas**

(parašas) Doc. dr. Regita Bendikienė  
(data)

**Projektą atliko**

(parašas) Aldas Steponavičius  
(data)

**KAUNAS, 2015**

# MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

## TRANSPORTO INŽINERIJOS KATDERA

Suderinta:

2015 m. vasario mėn. 17 d.

### MAGISTRO BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS

Išduota studentui: *Aldas Steponavičius*

1. Darbo tema:

Vandens įpurškimo į degųjų mišinį įtakos vidaus degimo variklio parametrams tyrimas

Investigation of influence of water injection into combustive mixture on the internal combustion engine parameters

Patvirtinta: 2015 m. gegužės mėn. 11 d. dekanų įsakymu Nr. ST17-F-11-2

2. Darbo tikslas:

Ištirti vandens įpurškimo į degųjų mišinį įtaką vidaus degimo variklio parametrams.

3. Darbo uždaviniai ir reikalavimai:

Apžvelgti galimus vandens pridėjimo į degųjų mišinį būdus. Nustatyti ir palyginti variklio sukuriamas emisijas, degalų suvartojimą, variklio sukuriamą galią ir automobilio įsibėgėjimo pagreitį naudojant ir nenaudojant vandens įpurškimo į degųjų mišinį. Taip pat išmatuoti ir palyginti visus šiuos parametrus įpurškiant skirtingą vandens kiekį.

4. Užduoties išdavimo terminas: 2015 m. vasario mėn. 17 d.

Užbaigto darbo pateikimo terminas: 2015 m. gegužės mėn. 29 d.

Vadovas: Rolandas Makaras  
(vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

Užduotį gavau: Aldas Steponavičius  
(studento vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_  
(parašas)



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

---

(Fakultetas)

ALDAS STEPONAVIČIUS

---

(Studento vardas.pavardė)

TRANSPORTO PRIEMONIŲ INŽINERIJA (621E20001)

---

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

VANDENS ĮPURŠKIMO Į DEGŪJŲ MIŠINĮ ĮTAKOS VIDAUS DEGIMO VARIKLIO  
PARAMETRAMS TYRIMAS

**AKADEMINIO SAŽINGUMO DEKLARACIJA**

2015 m. gegužės 28 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Aldo Steponavičiaus**, baigiamasis projektas tema „Vandens įpurškimo į degųjų mišinį įtakos vidaus degimo variklio parametrus 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)

Steponavičius, A. Vandens įpurškimo į degųjų mišinį įtakos vidaus degimo variklio parametrų tyrimas. Sausumos transporto priemonių inžinerijos baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Rolandas Makaras; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Kaunas, 2015. 68 p.

## SANTRAUKA

Kaip teigia įvairūs šaltiniai, vandens įpurškimas į degųjų mišinį pagerina kai kuriuos vidaus degimo variklio parametrus. Teigiama, kad vandens įpurškimas į degųjų mišinį ženkliai sumažina  $\text{NO}_x$  emisijų kiekį išmetamosiose dujose, taip pat sumažina degalų sąnaudas ir padidina variklio sukuriamą galią.

Atliekant vandens įpurškimo į degųjų mišinį įtakos vidaus degimo variklio parametrų tyrimą buvo išmatuotos variklio, kai vanduo nebuvo įpurškiamas, kai buvo įpurškiamas 300 ml/100km vandens kiekis ir kai buvo įpurškiamas 600 ml/100km vandens kiekis, išmetamųjų dujų optinis tankis, sukuriamos CO,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  ir  $\text{O}_2$  dujų emisijos prie tam tikrų alkūninio veleno apsisukimų skaičiaus ir važiavimo metu. Taip pat degalų sąnaudos miesto ir užmiesčio režimais ir varikliui dirbant laisvais alkūninio veleno apsisukimais. Be to išmatuota variklio sukuriama galia ir automobilio įsibėgėjimo pagreitis. Bandymui atlikti, automobilyje Volkswagen Golf, su netiesioginio įpurškimo dyzeliniu varikliu, buvo sumontuota vandens įpurškimo į oro įsiurbimo angą sistema.

Tyrimo metu gauti rezultatai rodo, kad naudojant vandens įpurškimo sistemą išmetamųjų dujų optinis tankis mažėjo didėjant įpurškiamo vandens kiekiui. Dūmingumo sumažėjimas svyravo nuo 20 iki 50%, prie skirtingų alkūninio veleno apsisukimų skaičiaus ir įpurškiamo vandens kiekio. Taip pat pastebėtas  $\text{NO}_x$  emisijų mažėjimas didinant įpurškiamo vandens kiekį. Šios emisijos mažėjo nuo 15 iki 30%. Tyrimo metu taip pat pastebėtas nedidelis CO ir  $\text{CO}_2$  emisijų sumažėjimas, kai vanduo buvo įpurškiamas į degųjų mišinį. Vandens įpurškimo sistemos naudojimas degalų sąnaudas padėjo sumažinti daugiau negu vienu litru šimtui kilometrų miesto režimu ir beveik puse litro šimtui kilometrų užmiesčio režimu, lyginant su sąnaudomis išmatuotomis, kai vanduo nebuvo įpurškiamas. Tačiau įpurškiamo vandens kiekis nedarė beveik jokios įtakos degalų sąnaudoms - degalų sąnaudos gautos beveik tokios pačios kai buvo įpurškiamas 300 ml/100km vandens kiekis ir kai buvo įpurškiamas 600 ml/100km vandens kiekis. Varikliui dirbant laisvais alkūninio veleno apsisukimais didelių pasikeitimų degalų sąnaudose neužfiksuota. Išmatavus variklio sukuriamą galią ir automobilio įsibėgėjimo pagreitį pastebėta, kad prie kai kurių alkūninio veleno apsisukimų skaičiaus variklio galia ir įsibėgėjimo pagreitis sumažėjo, kai vanduo buvo įpurškiamas, tačiau maksimali pasiekiamą galia ir didžiausias įsibėgėjimo pagreitis buvo beveik identiškai visais išmatuotais atvejais.

Steponavičius, A. Investigation of influence of water injection into combustive mixture on the internal combustion engine parameters. Motor vehicle engineering final project / supervisor assoc. dr. Rolandas Makaras; Kaunas University of Technology, Faculty of mechanical engineering and design. Kaunas, 2015. 68 p.

## SUMMARY

According to the various sources water injection into combustive mixture improves some of the internal combustion engine parameters. It is argued that water injection into combustive mixture significantly reduces NO<sub>x</sub> emissions in the exhaust gases, it also reduces fuel consumption and increases engine power.

During research of influence of water injection into combustive mixture on the internal combustion engine parameters was measured the optical density of exhaust gases, emissions of CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and O<sub>2</sub> at certain crankshaft speeds and while driving. Also measured urban and extra-urban fuel consumptions and fuel consumptions at idle speed. Moreover was measured engine power and vehicle acceleration. All measurement were made while engine was working without fuel injection, when was injected 300 ml/100km amount of water and when was injected 600 ml/100km amount of water. For this test, into Volkswagen Golf with indirect diesel injection engine, was installed water injection, into the air intake, system.

The study results indicate that use of water injection reduces optical density of exhaust gases with increasing water amount of the injection. Smoke reduction is in range of 20 to 50% to the different crankshaft speed and amount of water injected. It is also observed a decrease of NO<sub>x</sub> emissions by increasing the amount of water injected. These emission levels decreased from 15 to 30%. The study also observed a small CO<sub>2</sub> and CO emission reduction, when water was injected into the combustive mixture. Fuel consumption measured when the water injection system was used decreased by more than one liter per hundred kilometers at urban mode, and almost half a liter per hundred kilometers extra-urban mode, compared with an consumptions measured when the water wasn't injected. However, the injection amount of water did almost no impact on fuel consumption - fuel consumption is almost the same when was injected 300 ml/100km water amount and 600 ml/100km water amount. When engine was running at idle speed almost no change in fuel consumption was observed. Measuring the power generated by the engine and the vehicle acceleration observed that at some crankshaft revolutions power and acceleration reduced when water was injected, but the maximum power and maximum acceleration was nearly identical to those measured in all cases.

## Turinys

Santrumpų (ir terminų) žodynas .....	9
ĮVADAS.....	10
1. VANDENS NAUDOJIMAS VIDAUS DEGIMO VARIKLIO DEGALŲ MIŠINIO DEGIMO PROCESĖ .....	11
1.1 Vandens įpurškimo sistemų naudojimo istorija .....	11
1.1.1 Naudojimas orlaiviuose .....	11
1.1.2 Naudojimas automobiliuose.....	12
1.2. Vandens įpurškimas .....	13
1.3 Vandens įpurškimo į degųjų mišinį privalumai ir trūkumai .....	14
1.4 Vandens pridėjimo į vidaus degimo variklio degųjų mišinį būdai.....	15
1.4.1 Emulsinių degalų naudojimas .....	16
1.4.2 Vandens įpurškimas į cilindrą.....	17
1.4.3 Vandens įpurškimas į oro įsiurbimo angą.....	17
1.4.4 Vandens įpurškimas už turbokompresoriaus prieš tarpinį oro aušintuvą .....	18
1.4.5 Vandens įpurškimas prieš turbokompresorių.....	18
1.4.6 Vandens įpurškimas prieš cilindrą.....	18
1.5 Vandens įpurškimo poveikis variklio eksploataciniams parametrams.....	19
1.6 Vandens įpurškimo poveikis variklio sukuriams $\text{NO}_x$ ir CO emisijoms .....	23
1.7 Detonacija.....	25
1.8 Įsiurbimo kolektorius .....	26
1.8.1 Plenumas .....	28
1.9 Vandens ir metanolio mišinio naudojimas .....	29
1.9.1 Metanolio naudojimas didesniu negu 50:50 santykiu.....	30
1.9.2 Vandens/metanolio mišinio naudojimo privalumai ir trūkumai .....	30
1.9.3 Vandens įpurškimo sistemos naudojimas žiemą.....	30
1.10 Apibendrinimas .....	30
2. PROJEKTINĖ DALIS .....	32
2.1 Naudojamas vandens pridėjimo į degųjų mišinį būdas .....	32
2.2 Naudojama vandens įpurškimo sistema .....	32
2.3 Sistemos kalibravimas.....	33
2.4 Sistemos veikimo principas.....	35
2.5 Oro srauto pasiskirstymas oro įsiurbimo kolektoriuje .....	36
2.6 Apibendrinimas .....	38
3. VANDENS ĮPURŠKIMO Į DEGŪJŲ MIŠINĮ ĮTAKOS VIDAS DEGIMO VARIKLIO PARAMETRAMS TYRIMAS .....	39
3.1 Tyrimo metodika .....	39
3.1.1 Emisijų ir dūmingumo matavimas .....	40
3.1.2 Emisijų matavimas važiuojant .....	40

3.1.2 Degalų sąnaudų matavimas.....	40
3.1.3 Įsibėgėjimo pagreičio ir variklio galios matavimas .....	41
3.2 Naudota įranga .....	41
3.2.1 Tecnomotor Gas Analyzer 810 išmetamųjų dujų analizatorius.....	41
3.2.2 DO-1 dūmomatis.....	42
3.2.3 Race Technology DL1 data logger duomenų kaupiklis.....	44
3.2.4 Svarstyklės .....	45
3.3 Rezultatai.....	45
3.3.1 Dūmingumas .....	45
3.3.2 Emisijos.....	47
3.3.3 Emisijos važiavimo metu.....	54
3.3.3 Degalų sąnaudos .....	58
3.3.4 Variklio sukuriama galia.....	61
3.4 Apibendrinimas .....	63
IŠVADOS .....	65
LITERATŪROS SĄRAŠAS .....	67
PRIEDAI.....	69
P-1 AUTOMOBILIAI SU DYZELINIAIS VARIKLIAIS. IŠMETAMŲJŲ DUJŲ DŪMINGUMAS NORMOS IR MATAVIMO METODAI.....	69



## **Santrumpų (ir terminų) žodynas**

**Akselerometras** - prietaisas pagreičiams matuoti.

**Detonacija** - degiojo mišinio užsiliepsnojimas anksčiau negu jį pasiekia liepsnos frontas.

**Emisijos** - teršalų patekimas (išmetimas) į aplinką.

**Emulsija** - sistema sudaryta iš dviejų nesimaišančių skysčių, iš kurių vienas yra smulkiai disperguotas kitame.

**Išmetamųjų dujų optinis tankis** - išmetamųjų dujų neskaidrumo skaitmeninė vertė.

**Plenumas** - vidaus degimo variklio oro įsiurbimo kolektoriaus dalis iš kurios oras tiekiamas į cilindrus.

**Savitosios degalų sąnaudos** - sds

**Stechiometrinė vertė** - idealus oro ir degalų kiekis degiajame mišinyje.

## IVADAS

Vis didėjant naftos produktų kainoms, daugelis vairuotojų norėtų, kad jų automobilis naudotų mažiau degalų. Vieni vairuotojai perka ekonomiškесnius naujus automobilius, kiti stengiasi pradėti vairuoti ekonomiškiau, renkasi važiavimo laiką, kai gatvėse mažiau automobilių ir panašiai, dar kiti montuoja įvairias elektronines sistemas, kurios kaip teigiama gamintojų, padeda sutaupyti iki 50% degalų. Dar viena ypač opi problema - oro užterštumas. Naujiems automobiliams keliami vis didesni ekologiniai kriterijai, kuriuos jie turi atitikti. Tačiau labiausiai orą teršia seni automobiliai, gaminti dar tada, kai jokių ekologinių reikalavimų nebuvo arba jie nebuvo tokie griežti.

Vienas iš abejų problemų sprendimo būdų gali būti vandens įpurškimo į degųjų mišinį sistemos naudojimas. Yra teigiama, kad tokios sistemos padeda ne tik sumažinti degalų sąnaudas, bet tuo pačiu padidėja variklio galia ir sumažėja variklio sukuriamos emisijos išmetamosiose dujose. Teigiama, kad naudojant vandens įpurškimo į degųjų mišinį sistemas, galima sumažinti azoto oksidų ( $\text{NO}_x$ ) kiekį išmetamosiose dujose, kurie yra vieni iš pagrindinių rūgštaus lietaus atsiradimo priežasčių, taip pat galima sumažinti anglies monoksido (CO) ir kietųjų dalelių kiekį, kurios kenkia žmogaus sveikatai ir gali sukelti įvairias ligas.

Šio darbo tikslas atlikti vandens įpurškimo į degųjų mišinį įtakos vidaus degimo variklio parametrų tyrimą. Palyginti kaip pasikeičia vidaus degimo variklio degalų sąnaudos, išmetamųjų dujų emisijos, išmetamųjų dujų optinis tankis, variklio sukuriama galia ir automobilio įsibėgėjimo pagreitis įpurškiant vandenį į degųjų mišinį.

Darbe apžvelgta vandens įpurškimo į degųjų mišinį sistemų istorija, išnagrinėtas vandens įpurškimo į degųjų mišinį tinkamumas vidaus degimo varikliams, aprašyti galimų vandens pridėjimo į degųjų mišinį būdai, išnagrinėti vandens įpurškimo į degųjų mišinį privalumai ir trūkumai, apžvelgtos galimybės įpurškšti vandens ir metanolio mišinį, aprašyti panašaus tyrimo rezultatai, kad būtų galima palyginti gautus duomenis.

Projektinėje dalyje aprašyta naudojama vandens įpurškimo į degųjų mišinį sistema, aprašytas jos veikimo principas ir sudaryta įrangos pajungimo principinė schema. Taip pat nubraižytas tyrimo metu naudojamo variklio oro įsiurbimo kolektorius ir SolidWorks Flow Simulation programos pagalba patikrinta kaip pasikeičia oro srautas įpurškus vandenį.

Tiriamąoje dalyje aprašytas atliktas vandens įpurškimo į degųjų mišinį įtakos vidaus degimo variklio parametrų tyrimas, aprašyti ir išanalizuoti gauti emisijų, išmetamųjų dujų optinio tankio, variklio sukuriamos galios ir automobilio įsibėgėjimo pagreičių rezultatai.

# 1. VANDENS NAUDOJIMAS VIDAUS DEGIMO VARIKLIO DEGALŲ MIŠINIO DEGIMO PROCESE

## 1.1 Vandens įpurškimo sistemų naudojimo istorija

Inžinierius Seras Harry Ricardo (angl. *Sir Harry Ricardo*) paprastai siejamas su pirmuoju asmeniu pradėjusiu naudoti vandens įpurškimą 1940 metų pradžioje. Jis iš pradžių eksperimentavo bandydamas vandenių padidinti degalų oktaninio skaičiaus efektyvumą tam, kad galėtų padidinti galią, didelio slėgio, kibirkštinio uždegimo orlaivių varikliuose. Tokios sistemos buvo dažniausiai naudojamos antrojo pasaulinio karo metu lėktuvams kylant. Taip pat buvo naudojama naikintuvuose mūšių metu [9].

### 1.1.1 Naudojimas orlaiviuose

Vandens įpurškimas buvo naudojamas ne tik stūmokliniuose, bet ir turbininiuose orlaivių varikliuose. Šių sistemų naudojimo efektas abiejų tipų varikliuose yra panašus, išskyrus tai, kad paprastai turbininiuose varikliuose detonacijos sumažinimas nėra pagrindinis tikslas. Vanduo yra paprastai įpurškiamas kompresoriaus įėjime arba į difuzorių prieš pat degimo kameras. Vanduo pagerina variklio trauką, taip pat aušina turbinas. Paprastai temperatūra yra ribojantis faktorius, neleidžiantis pasiekti didelio galingumo turbininiuose varikliuose. Esant mažame aukštyje, vanduo, vėsindamas turbinas, leidžia varikliui pasiekti didesnius apsisukimus, įpurkšti daugiau degalų ir sukurti daugiau traukos, neperkaitinant variklio. Sistemos trūkumas šiuose varikliuose yra tas, kad vanduo įpurškiamas į degimo kamerą slopina liepsną. Tai veda prie nesudegusių degalų išmetimo per išmetimo sistemą ir juodų dūmų debesų paskui lėktuvą (1.1 pav.).



1.1 pav. Lėktuvas paliekantis didelius juodus debesis nesudegusių degalų dėl vandens įpurškimo sistemos naudojimo pakilimo metu [17]

Stūmokliniuose varikliuose vandens įpurškimas pradėtas naudoti Antrojo pasaulinio karo metu, kariniuose lėktuvuose, siekiant padidinti variklio galią pakilimo metu. To reikėjo tam, kad sunkios amunicijos prikrauti lėktuvai galėtų pakilti nuo trumpesnių takų, greičiau kilti ir greičiau pasiekti reikiamą aukštį. Kai kuriuose naikintuvuose taip pat buvo naudojama vandens įpurškimo sistema. Vanduo buvo įpurškiamas trumpą laiką, norint didesnio variklio galingumo artimų kovų su kitais naikintuvais metu.

Paprastai, norint pasiekti didesnę variklio galingumą (pavyzdžiui pakilimo metu), į variklį paduodamas maksimalus degalų kiekis. Papildomi degalai nesudega, jo funkcija yra išgaruojant absorbuoti šilumą. Tokiu atveju naudojama daug daugiau degalų, taip pat sumažina degimo proceso efektyvumą. Tačiau, naudojant vandens įpurškimo technologiją, vanduo vėsindamas degimo kamerą, leidžia naudoti liesesnę degalų mišinį [17].

Net ir po antrojo pasaulinio karo vandens įpurškimo sistemos buvo naudojamos, bet pažanga chemijos pramonėje gaminant benziną ir tarpinių oro aušintuvų atsiradimas vandens sistemas padarė mažiau reikalingomis. Dauguma gamintojų rinkosi variklius, kurie galėjo išvysti reikiamą galią be papildomų išorinių sistemų. (t.y. tik pilant degalus į degalų baką) [9].

### 1.1.2 Naudojimas automobiliuose

Nedaug automobilių turėjo gamykloje sumontuotas vandens įpurškimo sistemas. Daugiausiai jos buvo naudojamos gamintojų kūrusių didelio darbinio tūrio variklius, tokių kaip *Chrysler*. 1962 metų *Oldsmobile F85* turėjo *Fluid-Injection Jetfire* variklį (1.2 pav.), kuriame buvo sumontuota vandens įpurškimo sistema. *Saab* siūlė vandens įpurškimo sistemą automobilyje *Saab 99 Turbo* [17].



1.2 pav. Automobilio *Oldsmobile F85 Fluid-Injection Jetfire* variklis [5]

Su tarpinių oro aušintuvų atsiradimu, susidomėjimas vandens įpurškimo sistemomis beveik išnyko, bet pastaruoju metu vėl prisimintas, kadangi jo naudojimas gali potencialiai sumažinti azoto oksido (NO<sub>x</sub>) ir anglies monoksido (CO) kiekį išmetamosiose dujose. Tačiau, šiuo metu, labiausiai paplitęs vandens įpurškimo sistemų naudojimas yra didelio galingumo sportiniuose varikliuose su turbokompresoriais ar kompresoriais. Tokiems varikliams reikalinga apsauga nuo detonacijos [17].

## 1.2. Vandens įpurškimas

Vandens įpurškimo sistemos dažniausiai naudojamos vidaus degimo varikiuose, kurie turi priverstinio oro suslėgimo sistemas (kompresorius ar turbokompresorius). Vandens įpurškimo sistema gali būti naudojama ir atmosferiniuose varikiuose, tokiais atvejais, kai variklio suspaudimo laipsnis yra labai didelis, naudojamas labai mažo oktano degalai arba labai ankstyvas degalų uždegimas [16].

Vandens įpurškimo sistemų naudojimas gali padėti sumažinti variklio sukuriamas emisijas, padidinti variklio galią, sumažinti degalų sąnaudas. Vandens įpurškimo į vidaus degimo variklį samprata gali skambėti prieštaringai. Visgi inžinieriai daug dėmesio skyrė pasiekti priešingam efektui - apsaugoti degimo kamerą nuo užteršimo vandeniu, gaunamo iš degalų ar vandens kondensato iš tarpinių oro aušintuvų. Vandens patekimo į cilindrą baimė remiasi tuo, kad vandens lašeliai gali labai greitai nuplauti alyvos apsauginę plėvelę nuo cilindro sienelių. Tačiau šis pavojus nors ir yra labai realus, yra keliamas tik skysto vandens. Kai vanduo išgaruoja, jis nebegali paveikti apsauginės alyvos plėvelės [14]. Taigi, teisingai parinkta ir naudojama vandens įpurškimo sistema ir įpurškiamas reikiamas vandens kiekis nekenkia varikliui, taipogi pagerina kai kurias jo charakteristikas. Vandens įpurškimo sistemos neturėtų būti maišomos su vandens purškimo ant tarpinių oro aušintuvų sistemomis, vandens purškimas yra daug mažiau efektyvus ir kur kas mažiau sudėtingas.

Jei įpurškiamas vanduo nėra visiškai išgarinamas, jis gali pažeisti cilindro sieneles, nuplaudamas apsauginę tepalo plėvelę, ir sukelti variklio gedimus. Saugesnis metodas yra įpurškšti vandens garus, o ne skystį. Vandens garai gali būti sukuriama naudojant nenaudingą variklio šilumą, pavyzdžiui, iš išmetamųjų dujų ar turbokompresoriaus.

Yra nemažai vandens įpurškimo sistemų rūšių. Viena iš jų tiesioginio vandens įpurškimo į cilindrą sistema. Šio tipo sistema veikia labai panašiai kaip ir degalų tiekimo sistema, tik vietoje degalų į cilindrą labai smulkiais lašeliais purškiamas vanduo. Ši sistema leidžia pasiekti bene didžiausius variklio parametrų pokyčius, tačiau yra pakankamai sudėtinga, reikalaujanti labai tikslaus ir sudėtingo valdymo ir nemažų pakeitimų variklyje ją montuojant [16].

Kita daug paprastesnė ir dažniau naudojama yra vandens įpurškimo į variklio oro įsiurbimo angą sistema. Kai mišinys patenka į oro padavimo angą, jis sugeria šilumos energiją iš oro ir kartu su juo keliauja toliau. Kai mišinys patenka į cilindrą ir įsiurbimo vožtuvas užsidaro, skystis toliau sugeria šilumos energiją. Stūmokliui pradėjus spausti mišinį, jis lieka aukščiau vadinamos soties temperatūros

(temperatūra, kurioje skystis keičia savo fazę virsdamas garais, kaip, pavyzdžiui, verdantis vanduo tam tikroje temperatūroje). Kai stūmoklis toliau spaudžia mišinį, skystis gali absorbuoti vis daugiau šilumos energijos. Tada kai degalai yra įpurškiami į cilindrą ir užsidega, temperatūra pasiekia soties tašką ir skystis tampa garais (arba dujomis). Šios fazės kitimo metu, deguonies molekulės iš vandens gali sąveikauti su degalų molekulėmis ir suteikti daugiau deguonies degimo procesui [9].

### **1.3 Vandens įpurškimo į degųjų mišinį privalumai ir trūkumai**

Yra nemažai vandens įpurškimo naudojimo privalumų. Kai skystis sugeria šilumos energiją iš supančio oro, jis iš esmės sumažina įsiurbiamo oro temperatūrą. Kaip žinoma žemesnėje temperatūroje oras yra tankesnis. Taigi mažinant įsiurbiamo oro temperatūrą variklis gauna daugiau deguonies per tūrio vienetą. Tokiu atveju padidėja tiek arklio galių skaičius, tiek sukimo momentas.

Poveikis yra tuo didesnis, kuo daugiau padidėja slėgis ir kuo labiau sumažėja įsiurbiamo oro temperatūra. Antras efektas mažinti įsiurbiamo oro temperatūrą yra išmetamųjų dujų temperatūros sumažinimas. Jei oro/degalų mišinys yra žemesnės temperatūros prieš degimą, tai nudegimas bus mažesnis ir tokiu būdu, daugeliu atveju, variklio išmetamųjų dujų temperatūrą galima sumažinti naudojant gryną vandenį [9, 13].

Dažniausiai pasitaikanti problema naudojant vandens įpurškimo sistemas yra korozija. Kai vanduo yra įpurškiamas į oro įsiurbimo angą, jis įpurškiamas labai smulkiais lašeliais. Purkštukai yra sukurti taip, kad purkštų reikiamo kampo ir formos srovę, tačiau smulkus vanduo gali prasiskverbti pro mažiausius plyšelius ir patekti ant nuo rudžių neapsaugotų paviršių, taip sukeldami rūdijimą. Yra keletas priedų, kurių galima pridėti į įpurškiamą vandenį, kad išvengtų šios problemos.

Pavyzdžiui galima pridėti 0,5% antikorozinės alyvos. Be to priklausomai nuo variklio tipo, tokia problema gali ir neiškilti. Daugelis naujesnių variklių yra pagaminti iš aliuminio, kuris nėra linkęs rūdyti.

Kita problema, galinti kilti labai didelės galios varikliuose, kur vandens įpurškimo sistema naudojama kaip variklio atvėsavimo priemonė. Tokiu atveju, pasibaigus vandeniui variklis gali paprasčiausiai perkaisti, sudegti jo dalys. Su tokia problema dažniausiai susiduria tik sportiniai automobiliai. Tačiau kai kuriuose sportiniuose automobiliuose, kurių varikliuose yra smarkiai padidintas tiekiamo oro slėgis ir jų varikliai neturi tarpinio oro aušintuvo, vandens įpurškimo sistema naudojama išlaikyti tinkamą oro temperatūrą [9, 16].

Teigiama, kad vandens įpurškimo naudojimas vidaus degimo varikliuose turi daug privalumų, tačiau taip pat yra ir keli trūkumai.

Privalumai:

- Padeda išvengti detonacijos (savaiminio degalų užsiliepsnojimo).
- Padidina naudojamų degalų oktanių skaičių.

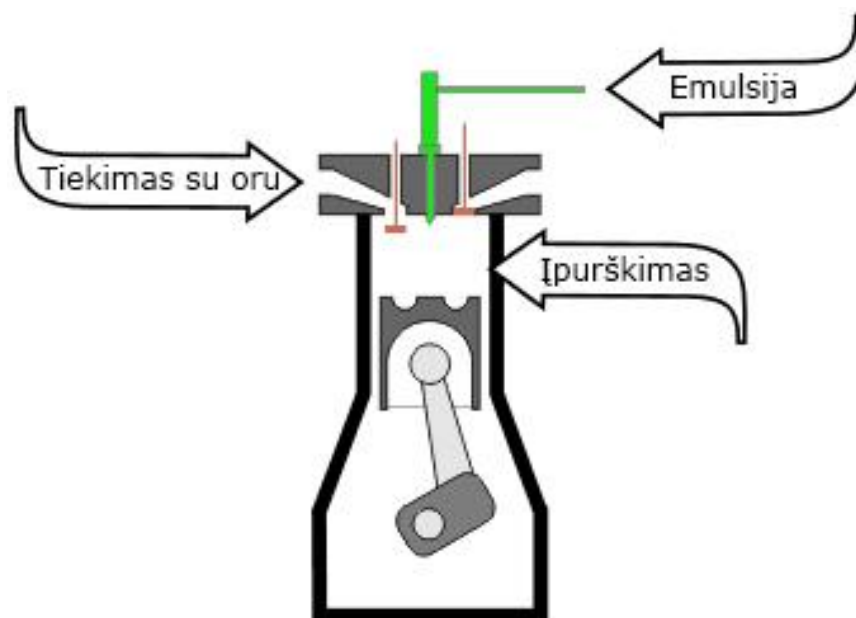
- Mažinant detonaciją galima padidinti slėgį arba naudoti mažesnio oktaninio skaičiaus degalus.
- Vanduo sugeria šilumos energiją iš į variklį patenkančio oro, variklis aušinamas iš vidaus.
- Vandens garai nuvalo anglies nuosėdas esančias variklio viduje.
- Sumažėja vidaus degimo variklio sukuriamos emisijos.
- Sumažėja degalų sąnaudos.
- Padidėja variklio galia.

Trūkumai:

- Variklio viduje esančios metalinės dalys gali pradėti rūdyti.
- Įpurškus per didelį kiekį vandens galima pažeisti kai kurias variklio dalis.
- Jeigu vandens įpurškimas naudojamas kaip aušinimo sistema, pasibaigus vandeniui ar sugedus sistemai variklis gali perkaisti.
- Reikalinga papildoma sistema su papildoma vandens talpykla [9, 16].

#### 1.4 Vandens pridėjimo į vidaus degimo variklio degųjų mišinį būdai

Yra du pagrindiniai vandens pridėjimo į vidaus degimo variklio degųjų mišinį būdai, tai naudoti emulsinius degalus arba įpuršksti vandenį į variklį. Galimi vandens pridėjimo į degųjų mišinį būdai pavaizduoti 1.3 pav.



1.3 pav. Vandens pridėjimo į vidaus degimo variklio degųjų mišinį būdai [14]

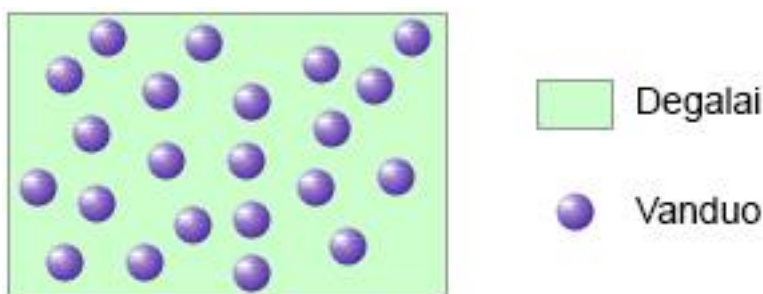
Priklausomai nuo vandens įpurškimo į variklį vietos jie dar yra skirstomi į vandens įpurškimo į cilindrą, vandens įpurškimo į oro įsiurbimo angą, vandens įpurškimo už turbokompresoriaus prieš tarpinį oro aušintuvą, vandens įpurškimo prieš turbokompresorių ir vandens įpurškimo prieš cilindrą.

Būdas, kuris gali būti naudojamas priklauso nuo variklio naudojamų degalų tipo, variklio tipo, siekiamų rezultatų ir norimos naudoti sistemos sudėtingumo.

#### 1.4.1 Emulsinių degalų naudojimas

Emulsija yra sistema sudaryta iš dviejų nesimaišančių skysčių, iš kurių vienas yra smulkiai disperguotas kitame. Visose vandens / degalų emulsijose yra svarbu, kad vanduo būtų tik maži lašeliniai elementai nesuardytose degalų fazėse.

Šis emulsijos tipas schematiškai parodytas 1.4 pav., dažnai vadinamas vandens-degaluose emulsija. Priešinga konfigūracija yra degalai disperguoti nepertraukiamoje vandens fazėje. Naudojant tokią emulsiją būtų daug didesnė tikimybė, kad vanduo sureaguotų su cilindrų linijiniu paviršiumi ir kitomis metalinėmis dalimis ir sukeltų koroziją ir kitas variklio problemas.



1.4 pav. Emulsiniai degalai [14]

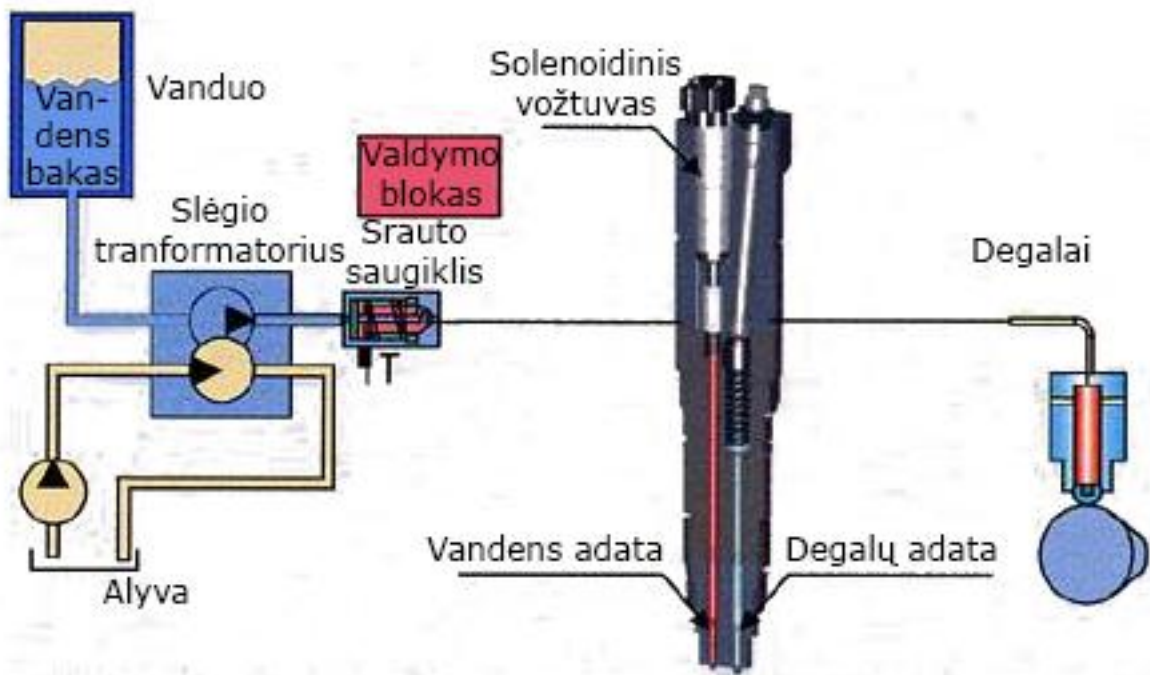
Praktikoje vandens/degalų emulsijos naudojimas leidžia sumažinti NOx emisijas iki 50%, kai reikalingas vandens kiekis yra maždaug 1 procentas kiekvienam procentiniam punktui NOx [Holtbecker 1998]. Vandens emulsijos naudojimo efektyvumą ribojantis faktorius yra įpurškimo sistemos tiekimo pajėgumas. Jeigu emulsiniai degalai naudojami be variklio modifikacijų (pavyzdžiui, norint pakeisti reguliarius degalus), didžiausias galimas vandens kiekis ir NOx sumažinimo laipsnis yra 10-20%. Net ir naudojant tokį vandens kiekį variklis gali nepasiekti savo reglamentuojamos galios ir veikti šiek tiek sumažėjusia galia.

Degalų emulsijos naudojimas skiriasi nuo kitų vandens naudojimo varikliuose sistemų tuo, kad vanduo tiekiamas tais pačiais degalų tiekimo kanalais kaip ir įprasti degalai ir vandens lašeliai išpurškiami tiesiogiai degimo liepsnos srityje, ten kur ir formuojasi variklio sukuriamos emisijos. Be NOx sumažinimo, kur visuose metoduose pirmiausia išskiriamas degimo temperatūros sumažinimas, emulsijos naudojimas gali padidinti degalų garavimą ir maišymąsi. Geresnis maišymasis gali sumažinti kietųjų dalelių kiekį išmetamosiose dujose. Kaip rezultatas vandens/degalų emulsijos naudojimas yra vienas iš būdų kontroliuoti dyzelinio variklio emisijas, kuris gali padėti sumažinti kartu NOx ir kietųjų dalelių emisijas, be jokių ar su labai mažais pokyčiais degalų sąnaudose. Kietųjų dalelių sumažėjimas naudojant emulsijas dar nėra taip kruopščiai ištirtas kaip NOx sumažėjimas [14].



### 1.4.2 Vandens įpurškimas į cilindrą

Tiesioginio vandens įpurškimo į cilindrą sistema reikalauja atskiros, visiškai nepriklausomos, įpurškimo sistemos, pageidautina su elektroniniu valdymu. Šis metodas leidžia įpurkšti labai didelius kiekius vandens, nesumažinant variklio galios. Ši sistema taip pat suteikia galimybę įjungti ir išjungti vandens įpurškimą norimu metu ir vandenį įpurkšti tik tada kai reikia. Tiesioginio įpurškimo sistema reikalauja tikslaus reguliavimo, atsižvelgiant į įpurškimo laiką, įpurškiamą vandens kiekį, emisijas ir kitus parametrus. Šis reguliavimo lankstumas leidžia pasiekti  $\text{NO}_x$  sumažinimo lygį panašų į emulsiinių degalų naudojimo atveju. Tačiau kietųjų dalelių sumažėjimas, jeigu toks atsiranda, yra daug mažesnis negu naudojant emulsijas. Norint pasiekti geresniu rezultatus, reikalinga labai detali variklio analizė ir sistemos pritaikymas būtent tam variklio tipui pagal jo darbinius parametrus. Ši sistema labiau tinkama gamintojams, o ne kaip variklio modifikavimas iš vartotojo pusės [15].



1.5 pav. Tiesioginis vandens įpurškimas į cilindrą [15]

1.5 pav. pavaizduota principinė tiesioginė vandens įpurškimo į cilindrą schema. Kaip matome reikalingas pakankamai sudėtingas bendras vandens ir degalų įpurškimo purkštukas ir jo valdymo sistema.

### 1.4.3 Vandens įpurškimas į oro įsiurbimo angą

Naudojant šį metodą vanduo įpurškiamas tiesiogiai į oro padavimo sistemą. Naudojant vandens įpurškimo į oro įsiurbimo angą metodą, priklausomai nuo naudojamos sistemos modernumo ir

funktionalumo, dažniausiai galimi kontroliuoti parametrai yra tokie kaip įpurškimo laikas, įpurškiamo vandens kiekis ir purkštuko montavimo vieta ir kampas. Dėl nedaug galimų reguliuoti parametru emisijų sumažėjimas yra šiek tiek mažesnis negu naudojant emulsijas ar tiesioginį vandens įpurškimą. Vandens įpurškimas į oro padavimo sistemą paprastai sumažina NO<sub>x</sub> emisijas 10% - 20%.

Ši sistema dėl paprasto montavimo ir veikimo yra labiausiai paplitusi. Dažniausiai naudojama ir daugelio gamintojų rekomenduojama purkštuko montavimo vieta yra ant oro įsiurbimo alkūnės, arčiau įsiurbimo kolektoriaus [9, 14].

#### **1.4.4 Vandens įpurškimas už turbokompresoriaus prieš tarpinį oro aušintuvą**

Naudojant šią sistemą vandens įpurškimo purkštukas montuojamas už turbokompresoriaus prieš tarpinį oro aušintuvą. Ši sistema labai panaši į vandens įpurškimą į oro įsiurbimo angą, tačiau naudojant ją atsiranda keletas problemų. Vanduo turi keliauti per tarpinį oro aušintuvą. Dalis mišinio gali nepraeiti pro tarpinį oro aušintuvą, likęs skystis tarpiniame oro aušintuve gali sukelti tam tikrų problemų, pavyzdžiui, sumažinti tarpinio oro aušintuvo efektyvumą, taip sumažindamas variklio pasiekiamą galingumą. Taip pat, mažiau vandens nukeliamas per sistemą ir mažiau vandens bus tiekiamas į degimo procesą [9].

#### **1.4.5 Vandens įpurškimas prieš turbokompresorių**

Vandens įpurškimas prieš turbokompresorių galimas, tačiau daugeliu atveju nerekomenduojamas. Netgi ir labai smulkūs vandens lašeliai gali sukelti turbokompresoriaus sparnuotės eroziją, kas gali privesti prie variklio gedimo. Taip pat vanduo iki pačio degimo preso turėtų nukeliauti nemažą atstumą ir per tą laiką jis gali paprasčiausiai išgaruoti. Vandens įpurškimas prieš turbokompresorių rekomenduojamas tik tuo atveju jeigu oro srautas per turbokompresorių yra ekstremaliai aukštos temperatūros [9]

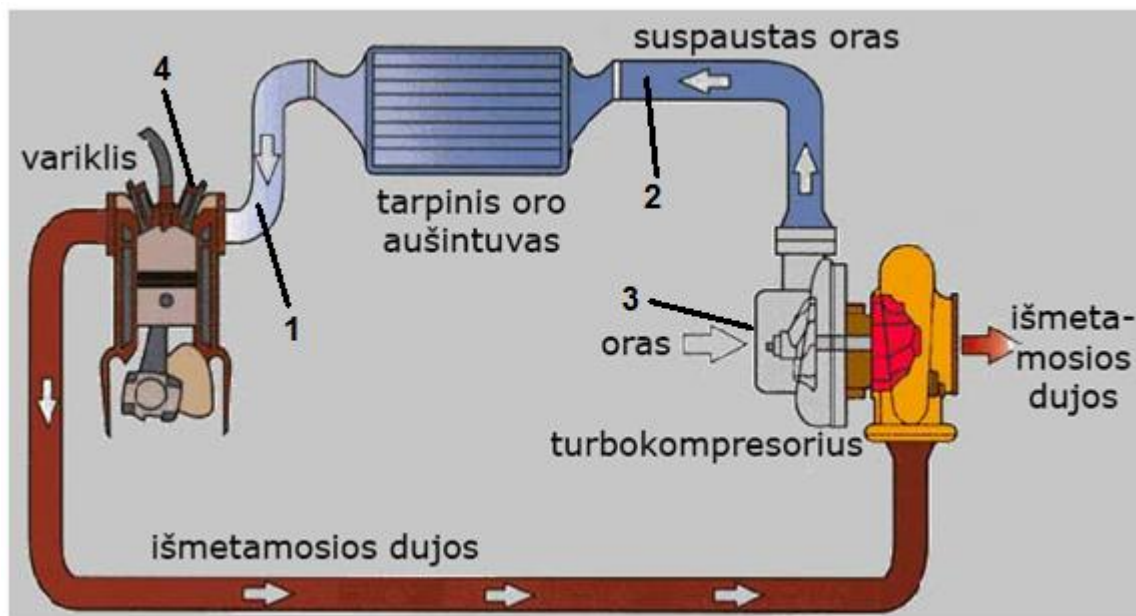
#### **1.4.6 Vandens įpurškimas prieš cilindrą**

Kita vandens purkštukų montavimo vieta yra, kai vanduo įpurškiamas tiesiai prieš vožtuvus. Tokiu atveju didžioji proceso dalis vyksta degimo kameroje, o ne oro įsiurbimo sistemoje, taip sumažinamas oro ir vandens maišymasis ir vanduo mažiau pakeičia patenkančio į cilindrą oro temperatūrą. Tai reiškia, kad oro įleidimo angos temperatūra (ir atstojamasis oro tankis) patenkantis į cilindrą ne daug skirsis nuo to atvejo kai vandens įpurškimo sistema nėra naudojama.

Todėl didžioji dalis skysčio sugertos šilumos bus tiesiogiai iš cilindro, taip suteikiant potencialiai didesnę išmetamųjų dujų temperatūros sumažėjimą priklausomą nuo vandens tūrio. Tačiau tai padidina per didelio vandens kiekio įpurškimo riziką ir per daug nuslopintą degimo procesą cilindre.

Kai per daug skysčio patenka į cilindrą, per daug šilumos gali būti absorbuojama suspaudimo cikle, tai geriausiu atveju gali sukelti galios sumažėjimą (sumažėjusi šiluma ir sumažėjęs slėgis lygus

mažesniai atliekamam darbui virš stūmoklio), o blogiausiu atveju - slopinamas savaiminis dyzelinio uždegimo procesas. Iš esmės vandens įpurškimas kiekvienam cilindrai gali pagerinti įpurškiamo vandens pasiskirstymą tarp cilindru, bet suteikiama mažiau laiko skysčiui išgaruoti ir padidinti oro tankį, patenkantį per įsiurbimo vožtuvą, taip sumažinant galingumą ir slopinant dyzelino degimo procesą, jeigu įpurškiamas per didelis kiekis vandens [9].



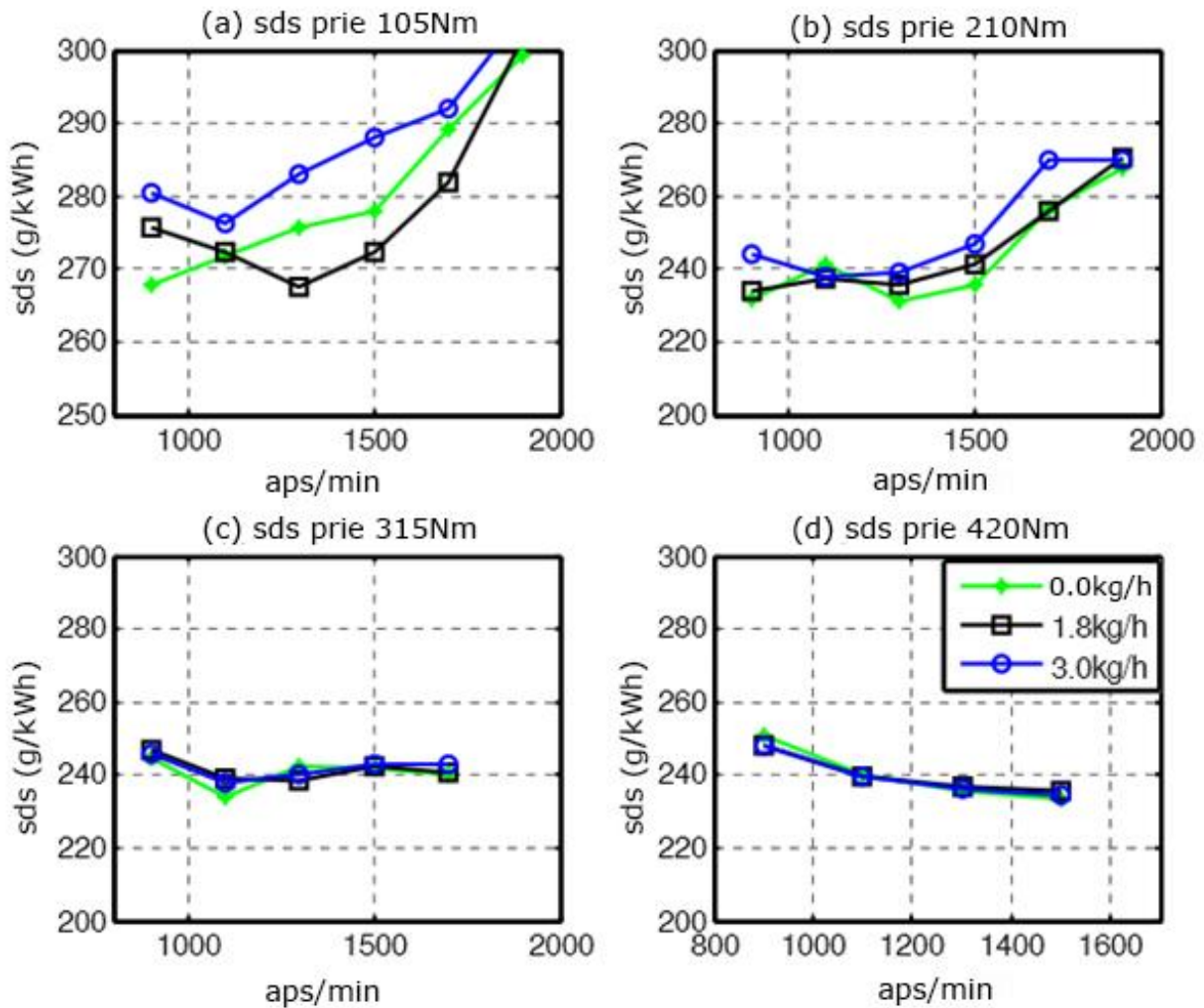
1.6 pav. Oro tiekimo į variklį schema ir galimos vandens tiekimo į variklį vietos [8]

1.6 pav. pavaizduota oro tiekimo į variklį schema ir galimos purkštuko montavimo vietos. Pirmu numeriu pažymėta purkštuko montavimo vieta į oro įsiurbimo angą (varikliams be tarpinio oro aušintuvo ir turbokompresoriaus) arba už tarpinio oro aušintuvo (varikliams su tarpiniu oro aušintuvu ir turbokompresoriumi), antruoju - prieš tarpinį oro aušintuvą, trečiu - į oro įsiurbimo angą prieš turbokompresorių, ketvirtuoju - prieš cilindrą.

### 1.5 Vandens įpurškimo poveikis variklio eksploataciniams parametrams

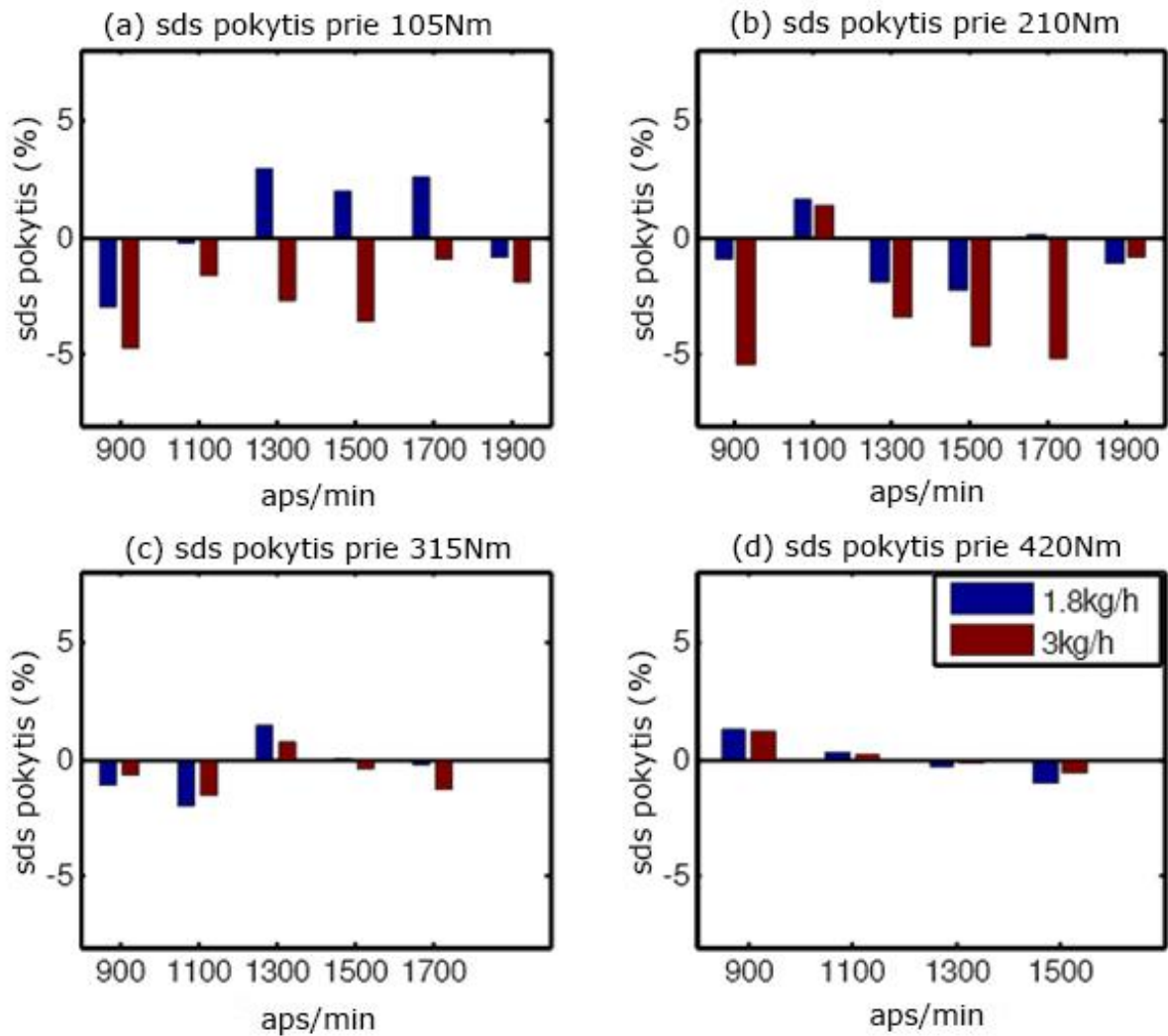
Pagrindiniai variklio eksploataciniai parametrai yra galia, savitasis degalų suvartojimas ir šilumos efektyvumas. 1.7 pav. pavaizduotos savitosios degalų sąnaudos (sds) priklausomai nuo variklio alkūninio veleno apsisukimų skaičiaus ir skirtingų įpurškiamo vandens kiekio (be vandens, 1,8 kg/h vandens kiekiu ir 3,0 kg/h vandens kiekiu), esant skirtingoms variklio apkrovoms. Savitosios degalų sąnaudos apskaičiuojamos pagal variklio galią ir degalų masės srautą. Kaip matoma iš grafiko savitosios degalų sąnaudos mažėja didėjant variklio alkūninio veleno apsisukimų skaičiui, pasiekia minimalų tašką ir pradeda vėl didėti esant dideliame variklio alkūninio veleno apsisukimų skaičiui. Tai gali būti paaiškinta tuo, kad važiuojant nedideliu greičiu, šilumos nuostoliai degimo kameroje yra proporcingai didesni ir degimo efektyvumas yra prastesnis. Tai sukelia didesnę degalų suvartojimą

pagaminant tokį patį kiekį energijos. Prie didesnio greičio variklio galia turi nugalėti didesnę trintį, todėl galia didėja lėčiau ir didėja savitosios degalų sąnaudos [18].



1.7 pav. Savitosios degalų sąnaudos prie skirtingų variklio apkrovų [18]

Procentinis savitųjų degalų sąnaudų pokytis dėl vandens įpurškimo pavaizduotas 1.8 pav. Iš jo matyti, jog esant mažesnėms variklio apkrovoms (105 Nm ir 210 Nm) savitųjų degalų sąnaudų pokytis yra minimalus, lyginant su gautais rezultatais be vandens įpurškimo. Esant didesniam variklio apkrovimui (315 Nm ir 420 Nm) vandens įpurškimas neturi jokio reikšmingo poveikio savitosioms degalų sąnaudoms [18].



1.8 pav. Savitųjų degalų sąnaudų pokytis prie skirtingų variklio apkrovų [18]

Vandens įpurškimo poveikis šiluminiam variklio efektyvumui pavaizduotas 1.9 pav. Šiluminis variklio efektyvumas apskaičiuotas pagal (1.1) formulę.

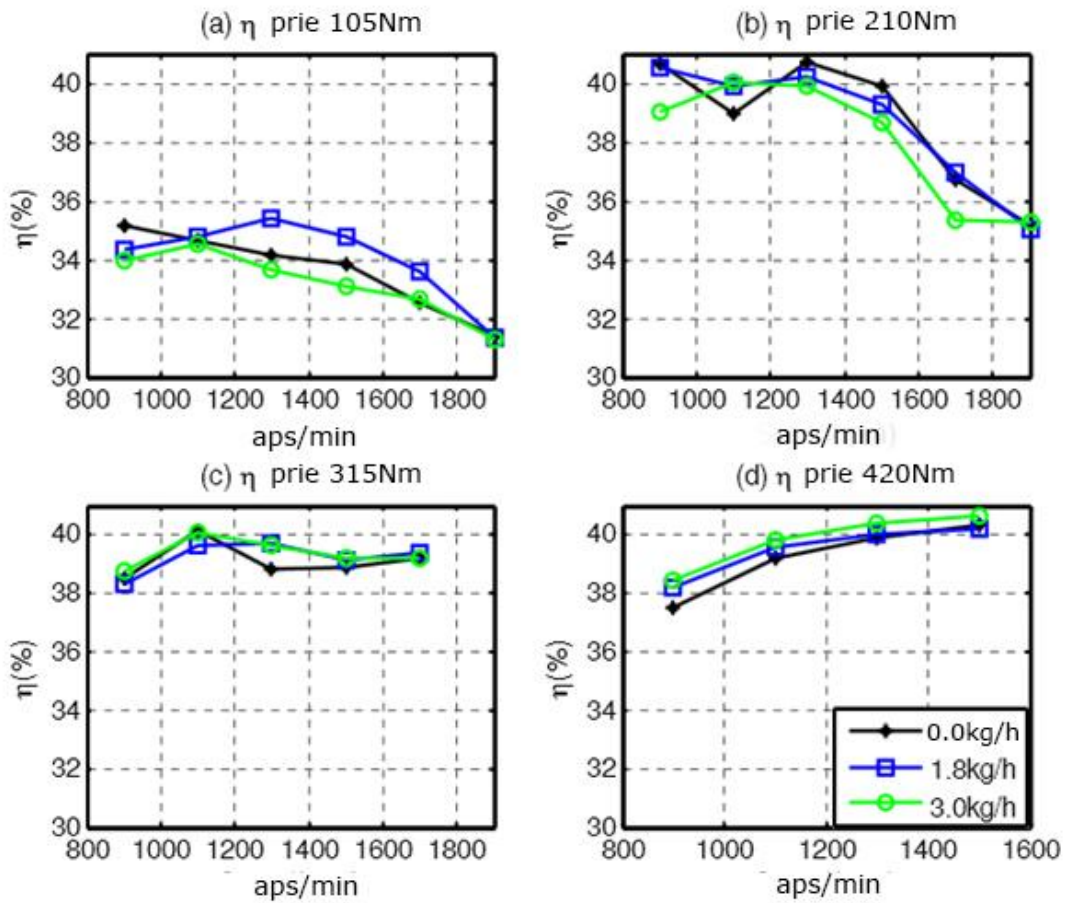
$$\eta = \frac{3600}{sds \cdot LHV} \cdot 100 \quad (1.1)$$

čia,

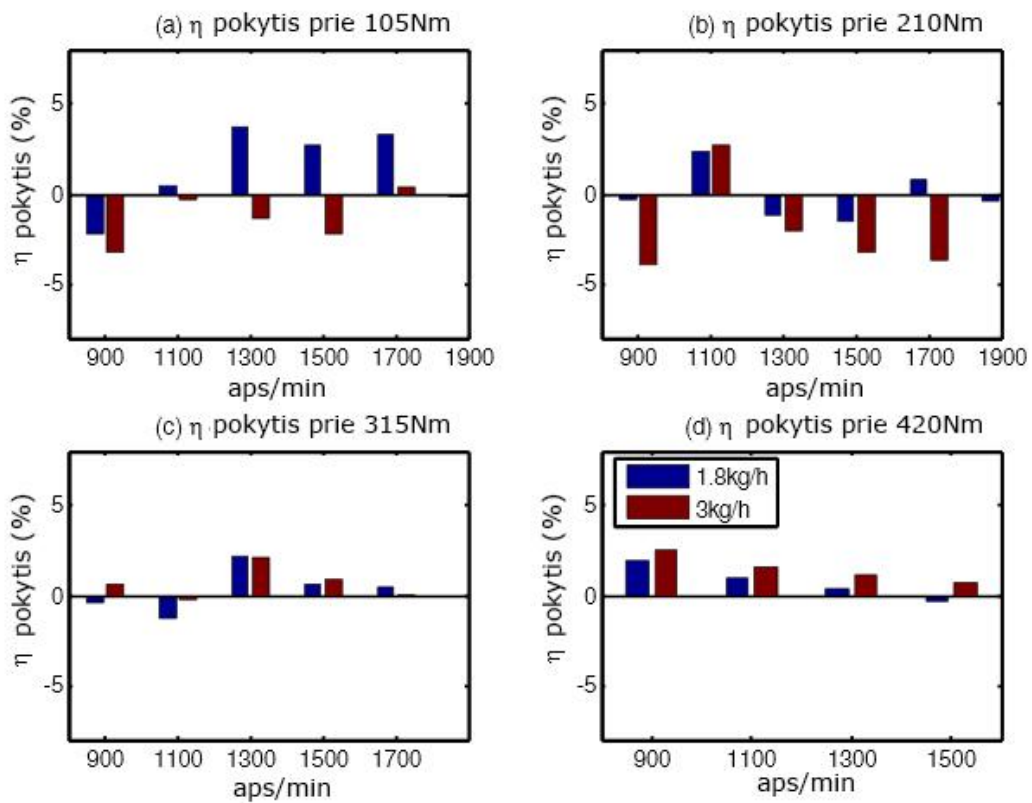
$\eta$  - šiluminis efektyvumas;

$sds$  - savitosios degalų sąnaudos (g/kWh);

$LHV$  - apatinė šilumingumo vertė (kJ/kg).



1.9 pav. Variklio šiluminis efektyvumas prie skirtingų apkrovų [18]

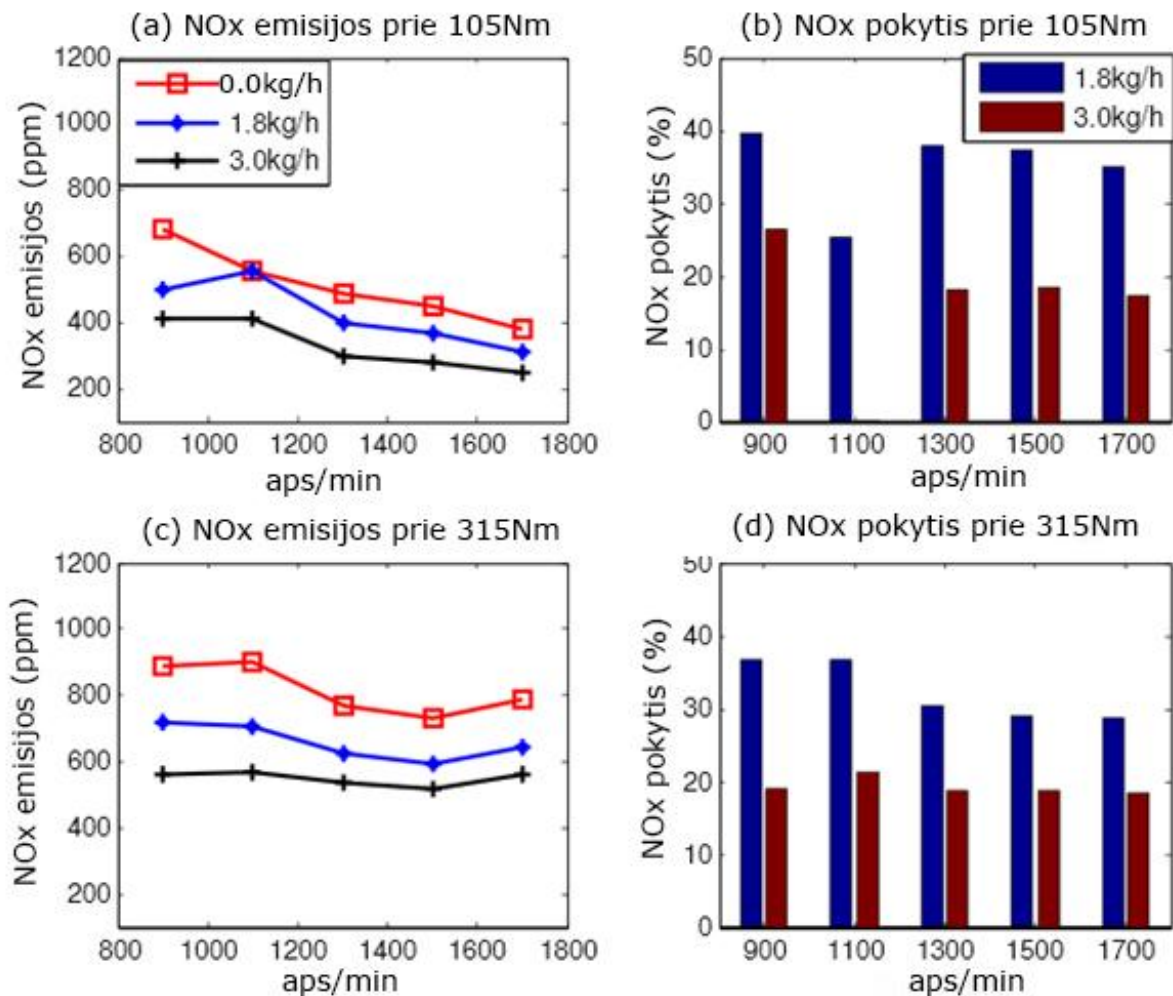


1.10 pav. Variklio šiluminio efektyvumo pokytis prie skirtingų apkrovų [18]

Iš 1.9 pav. ir 1.10 pav. galima pastebėti, kad visomis darbo sąlygomis šiluminis efektyvumas padidėja esant mažesniems alkūninio veleno apsisukimams, pasiekia didžiausią vertę ir pradeda mažėti. Esant mažam variklio apkrovimui, variklio šiluminis efektyvumas, naudojant 3 kg/h vandens kiekį, sumažėja 3% lyginant su gautais duomenimis, kai į variklį nebuvo įpurškiamas vanduo. Prie didesnio variklio apkrovimo (210 Nm ir 420 Nm) variklio šiluminis efektyvumas yra šiek tiek didesnis lyginant su šiluminiu efektyvumu be vandens įpurškimo [18].

### **1.6 Vandens įpurškimo poveikis variklio sukuriams $\text{NO}_x$ ir CO emisijoms**

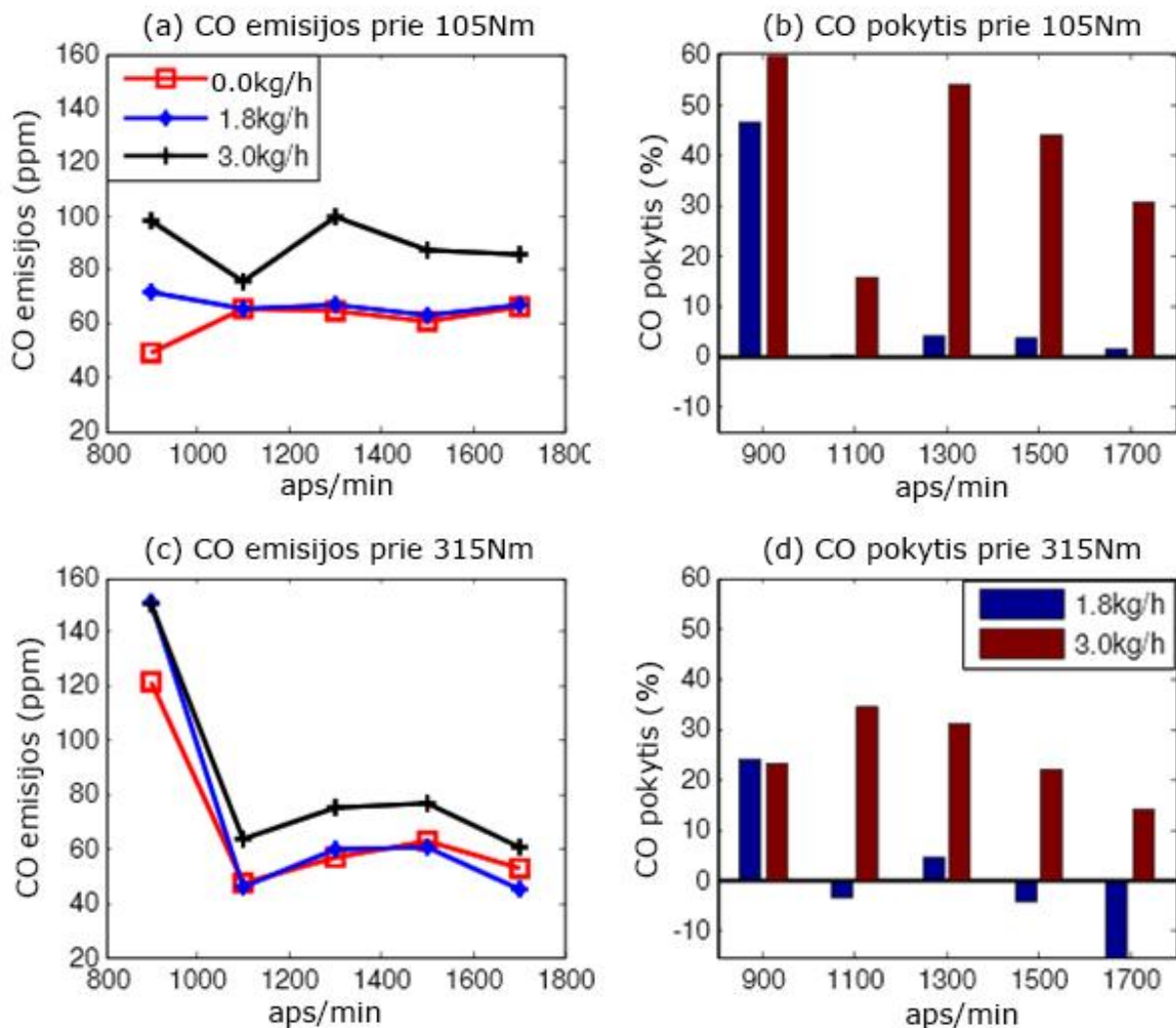
Iš 1.11 pav. matyti dyzelinio variklio, naudojančio biodyzeliną,  $\text{NO}_x$  emisijos prie skirtingų variklio apkrovų. Išmatuotos emisijos nenaudojant vandens įpurškimo, įpurškiant 1,8 kg/h ir 3,0 kg/h vandens kiekius. Visomis darbo sąlygomis pastebėta, kad  $\text{NO}_x$  emisijos mažėjo didinant variklio alkūninio veleno apsisukimų skaičių. Tai gali būti paaiškinta tuo, kad prie didesnio variklio alkūninio veleno apsisukimų skaičiaus tūrinis efektyvumas ir dujų srauto judėjimas per degimo kamerą padidėja, o tai savo ruožtu veda prie greitesnio oro ir degalų mišinio susimaišymo ir uždegimo vėlavimo sumažėjimo. Uždegimo vėlavimo sumažinimas sumažina laisvo azoto ir deguonies dujų reakciją degimo kameroje, kuri ir yra pagrindinė  $\text{NO}_x$  emisijų susidarymo priežastis. 1.11 pav. a ir c grafikuose matyti, kad padidinus įpurškiamo vandens kiekį  $\text{NO}_x$  emisijos taip pat proporcingai sumažėja. Vandens įpurškimas į oro padavimo angą sumažina išmetamųjų dujų  $\text{NO}_x$  emisijas 30% ir 50% atitinkamai įpurškiant 1,8 kg/h ir 3,0 kg/h vandens kiekį į variklį. Tai matoma 1.11 pav. b ir d grafikuose. Šis reiškinys gali būti paaiškintas remiantis tuo, kad kai vandens ir oro mišinys yra įleidžiamas į degimo kamerą, vanduo absorbuoja dalį karščio, vandens išgarinimo proceso metu. Procesas sumažina didžiausią liepsnos temperatūrą degimo kameroje, kuri neigiamai veikia azoto oksidų ( $\text{NO}_x$ ) emisijų formavimąsi [18].



1.11 pav. NO<sub>x</sub> emisijos ir jų pokytis [18]

1.12 pav. matyti vandens įpurškimo poveikis išmetamo CO kiekiui esant įvairioms variklio apkrovoms ir įpurškiamo vandens kiekiui. Kaip matome CO emisijos didėja visomis darbo sąlygomis, kai įpurškiamas 3,0 kg/h vandens kiekis. Yra dvi pagrindinės CO emisijų padidėjimo priežastys, visų pirma išankstinis degimo temperatūros sumažinimas dėl vandens įpurškimo į variklį lėtina chemines CO į CO<sub>2</sub> konversijas. Antra, kietos anglies su vandens garais reakcija aukštoje temperatūroje pagerina CO ir H<sub>2</sub>O susidarymą cilindre.





1.12 pav. CO emisijų emisijos ir jų pokytis [18]

Iš 1.12 pav. taip pat matyti, kad padidinus apkrovą ir variklio alkūninio veleno apsisukimų skaičių CO emisijos sumažėjo. Taip yra todėl, kad esant didesniai variklio alkūninio veleno apsisukimų skaičiui padidėja oro/degalų lygiavertiškumo koeficientas. Šio koeficiento padidėjimas lemia dujų, esančių cilindre, temperatūros padidėjimą, o tai sukelia greitesnę virsmą iš CO į CO<sub>2</sub> [18].

## 1.7 Detonacija

Turbokompresorius spaudžia į variklį paduodamą orą, siekiant paduoti daugiau oro, nei tai būtų įmanoma su atmosferos slėgiu. Daugiau tiekiamo oro į variklį automatiškai reiškia, kad turi būti tiekama daugiau degalų, siekiant išlaikyti atitinkamą stochiometrinę vertę (oro/degalų santykis, optimalus santykis maždaug 14:1). Daugiau oro ir degalų į variklį reiškia daugiau galios. Tačiau spausdamas orą turbokompresorius jį taip pat šildo. Šildamas oras retėja ir dėl to keičiasi stochiometriniai skaičiai, todėl į variklį gali būti paduodamas per daug liesas oro/degalų mišinys, gali atsirasti nepageidaujama detonacija. Detonacija atsiranda tada, kai oro/degalų mišinys užsidega per

anksti arba sudega neteisingai. Normaliu variklio veikimo režimu liepsnos frontas iš uždegimo žvakės keliauja per cilindrą, iš anksto nustatytu modeliu. Didžiausias degimo kameros slėgis pasiekiamas maždaug 12 laipsnių po viršutinio stūmoklio taško ir stūmoklis stumiamas žemyn cilindru.

Kai kuriais atvejais ir dėl tokių priežasčių kaip prastas mišinys, per didelė variklio ar įleidimo temperatūra, per mažo oktominio skaičiaus degalai, per ankstyvas degalų uždegimas, per didelis turbino slėgis ir pan., pirminis liepsnos frontas iš uždegimo žvakės gali būti sekamas antro liepsnos fronto. Degimo kameros slėgis, tuo metu, pakyla per daug greitai, kad stūmoklio judėjimas žemyn sumažintų jį pakankamai. Slėgis ir temperatūra tampa tokie dideli, kad mišinys visoje kameroje pradeda sprogti nekontroliuojamai. Jei ta sprogo jėga yra pakankamai didelė, judančios variklio dalys, tokios kaip stūmokliai, švaistikliai, vožtuvai ar velenai, gali būti sugadinti.

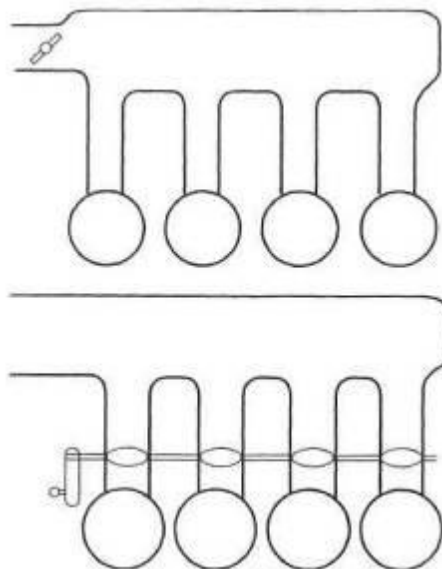
Detonacijos turi būti išvengta bet kokiame variklyje. Tą padaryti galima sumažinant įsiurbiamo oro temperatūrą, naudojant didesnio oktominio skaičiaus degalus, pavėlinus uždegimą (taip sumažinant variklio galią), paduodant į variklį šiek tiek riebesnį oro/degalų mišinį (didesnis stechiometrinis santykis), sumažinant variklio suspaudimo laipsnį ir/arba sumažinant paduodamo oro į variklį slėgį.

Vandens įpurškimas naudojamas siekiant sumažinti temperatūrą cilindre ir efektyviau sudeginti oro/degalų mišinį, taip išvengiant detonacijos.

Didelio slėgio turbininiuose varikliuose oro/degalų mišinys patenkantis į variklį, tam tikrais atvejais, gali sprogti anksčiau negu jį uždegs uždegimo žvakė. Ši situacija yra labai pavojinga ir gali sukelti didelius variklio gedimus, tokius kaip stūmoklių skilimas ar švaistiklių linkimas. Kad būtų išvengta variklio sugadinimo dėl detonacijos ar per ankstyvo degalų užsiliepsnojimo, kartu su degalais į variklį purškiamas vanduo, siekiant užtikrinti vandens/oro/degalų mišinį, kuris dega ne tik efektyviau, sumažina detonacijos ar per ankstyvo užsiliepsnojimo tikimybę, bet ir suteikia papildomą paduodamo oro aušinimą, kas reiškia tankesnę paduodamą orą [16].

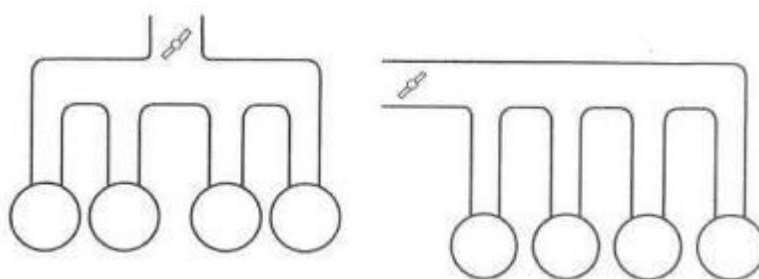
## **1.8 Įsiurbimo kolektorius**

Įsiurbimo kolektoriaus forma ir sandara skiriasi priklausomai nuo variklio naudojimo paskirties. Sportiniams automobiliams paprastai daroma po vieną droselio plokštelę kiekvienam cilindrui, kai tuo tarpu standartiniuose automobiliuose paprastai naudojama vienos droselio plokštelės visiems cilindrų struktūra. Droselio plokštelė paprastai montuojama ties ta vieta, kur įsiurbimo kolektorius išsišakoja taip, kad oras patektų į cilindrus (1.13 pav.) [3].



1.13 pav. Įsiurbimo kolektorius su droselio plokštelėmis (viršuje su viena plokštele visiems cilindrams, apačioje su viena plokštele kiekvienam cilindru) [3]

Abi skirtingos įsiurbimo kolektorių konstrukcijos (1.14 pav.) turi daug bendrų bruožų. Abiejų konstrukcijų kolektoriuose oras turi būti idealiai nukreipiamas į degimo kameras, tad įsiurbimo kolektoriaus angos turi būti atitinkamos formos. Taip pat reikalingas tinkamas kolektoriaus susiaurėjimas. Be to pageidautina kolektorių suprojektuoti taip, kad oro tekėjimas jame būtų greitinamas. Tai padaroma palaipsniui mažinant kiekvieno kolektoriaus išsišakojimo skerspjūvio plotą artėjant link cilindrų. Oro srauto greitinimas iki pagrįstai didelio greičio yra naudingas, kadangi skatina oro turbulenciją. Tokiu būdu sukuriama geresnis degimas. Projektuojant įsiurbimo kolektorių taip pat siekiama geresnio degimo kameros pripildymo, kas suteikia daugiau galios [3].



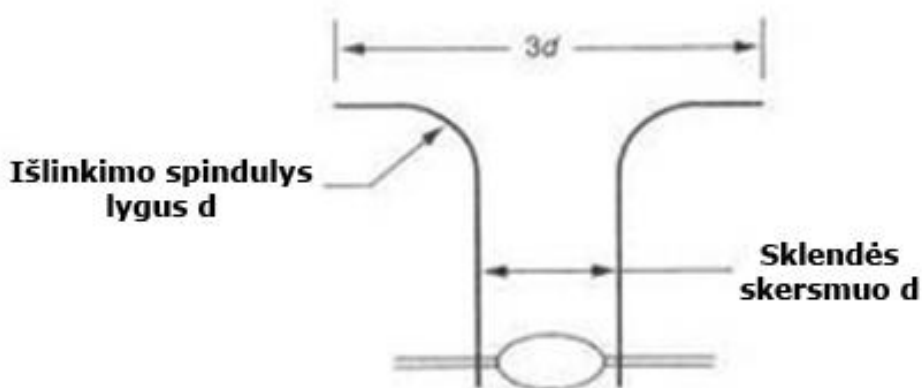
1.14 pav. Simetriškas įsiurbimo kolektorius (kairėje) sukuria vienodesnę oro srauto pasiskirstymą į kiekvieną cilindrą, nei labiau kompaktiškas nesimetriškas įsiurbimo kolektorius (dešinėje) [3]

Įsiurbimo kolektoriaus išsišakojimo (nuo pagrindinės kolektoriaus dalies iki cilindro) ilgis turi didelį poveikį oro kiekiui, kuris iš tikrųjų patenka į degimo kamerą atsidaręs įsiurbimo vožtuvui, jeigu variklis neturi priverstinio oro suslėgimo sistemos. Didesnio greičio varikliams labiau tinkamas trumpesnis atstumas iki kolektoriaus. Tuo tarpu mažo ir vidutinio greičio varikliams labiau tinkamas

įsiurbimo kolektorius, kuris turi didesnius atstumus nuo pagrindinės dalies iki cilindrų. Taip pasiekiamas didesnis sukimo momentas.

Varikliai, turintys priverstinį oro suslėgimą, geresnius rezultatus pasiekia su ilgesniais įsiurbimo kolektoriaus atstumais nuo pagrindinės dalies iki cilindrų. Tai suteikia plokščiau sukimo momento kreivę esant nedideliam alkūninio veleno apsisukimų skaičiui, o turbokompresorius išlaiko galingumą prie didesnių alkūninio veleno apsisukimų skaičiaus.

Simetrija yra pageidautina įsiurbimo kolektoriuje, ji palengvina vienodą oro pasiskirstymą į kiekvieną cilindrą [3].



1.15 pav. Ideali oro įėjimo angos forma [3]

### 1.8.1 Plenumas

Beveik visi įsiurbimo kolektoriai turi plenumą. Vienas svarbiausių įsiurbimo kolektoriaus dizaino taškų yra plenumo-išsišakojimo sankirta. Ši vieta turi būti varpo kaklelio formos (1.16 pav.) [3].



1.16 pav. Plenumo ir išsišakojimo sankirtos forma turi būti arti idealios oro įleidimo formos [3]

Plenumo tūris paprastai sutampa su variklio darbinio tūriu. Tai reiškia, kad jeigu variklis yra  $2000 \text{ cm}^3$  tūrio, tai plenumas taip pat paprastai būna apie  $2000 \text{ cm}^3$  tūrio. Paprastai tokio dizaino įsiurbimo kolektoriuose nei vienam cilindriui nepritrūksta oro, nes plenumo esančio oro užtenka užpildyti visus cilindrus vienu metu.

Jeigu plenumo tūris yra per mažas variklis gali vangiai reaguoti į akseleratoriaus paspaudimą, todėl, kad degimo metu oras gali būti sunaudojamas greičiau negu vėl užpildomas įsiurbimo kolektorius. Variklis su mažu plenumo tūriu gali pasiekti pakankamą galią prie mažų alkūninio veleno apsisukimų, tačiau netekti galio prie didesnių alkūninio veleno apsisukimų.

Per didelis plenumo tūris gali sukelti pernelyg daug greičio nuostolių kai įsiurbiamas oras per daug sulėtėja patekęs į įsiurbimo kolektorius. Tai gali sukelti galios nuostolius dėl to, kad oras nebus į cilindrus tiekiamas taip greitai kaip turėtų. [10]

## 1.9 Vandens ir metanolio mišinio naudojimas

Norint pasiekti dar geresnių variklio darbo parametrų naudojant vandens įpurškimo sistemą, ypač variklio galingumo padidėjimo, dažnai vietoje vandens naudojamas vandens ir metanolio mišinys santykiui iki 50:50. Vandens ir metanolio mišinys patekęs į degimo kamerą sumažina degimo temperatūras degimo kameroje ir tuo pačiu pagerina degalų degimą. Pridėjus tam tikrą kiekį metanolio

jis sudega degimo kameroje, taip pagerindamas ir pagreitindamas degalų mišinio sudegimą. Efektas panašus kaip ir naudojant didesnio oktaninio skaičiaus degalus [15].

### **1.9.1 Metanolio naudojimas didesniu negu 50:50 santykiu**

Vandens ir metanolio mišinys santykiu iki 50:50 išlaiko mišinio stabilumą ir neleidžia metanoliui tapti degiu, taip neleisdamas mišiniui būti charakterizuojamam kaip degalai. Jeigu metanolio santykis padidinamas virš 50:50 ribos, padidinamas mišinio degumas ir taip sumažinamas mišinio valdymo saugumas. Tai reikštų, kad reikia sukurti įpurškimo sistemą panašią į degalų įpurškimo sistemą, kas sudarytų daugiau išlaidų ir priverstų naudoti papildomas saugumo priemones.

Taip pat atlikti testai rodo, kad naudojant didesnės koncentracijos negu 50:50 vandens/metanolio mišinį, išmetamųjų dujų temperatūra, prie didelių variklio apkrovų, padidėja. Šis padidėjimas paaiškinamas tuo, kad viršijus 50:50 įpurškiamo vandens ir metanolio santykį, metanolis tampa antriniu kuru degimo procese [9, 16].

### **1.9.2 Vandens/metanolio mišinio naudojimo privalumai ir trūkumai**

Be jau išvardintų vandens įpurškimo į variklį naudojimo privalumų ir trūkumų į vandenį pridėjus tam tikrą procentą metanolio gaunami privalumai ir trūkumai.

Privalumai:

- Padidėjusi variklio galia.

Trūkumai:

- Pridėjus per didelį kiekį metanolio degalų mišinys gali pradėti degti nekontroliuojamai.
- Metanolis gali pažeisti kai kurias gumines dalis. [9, 16]

### **1.9.3 Vandens įpurškimo sistemos naudojimas žiemą**

Norint naudoti vandens įpurškimo sistemą žiemą, būtina per sistemą tekantį ir į variklį įpurškiamą vandenį apsaugoti nuo užšalimo. Tai padaryti galima į vandenį pridėdant metanolio. Metanolio ir vandens santykis priklauso nuo temperatūros, kurioje bus naudojama sistema. Dažniausiai rekomenduojamas metanolio ir vandens santykis esant neigiamai temperatūrai yra maždaug nuo 1:10 esant  $-5^{\circ}\text{C}$  temperatūrai iki 1:1 esant  $-40^{\circ}\text{C}$  temperatūrai. Nerekomenduojama viršyti metanolio ir vandens santykio 1:1, kadangi tai gali sukelti metanolio, kaip antrinių degalų, degimą degimo kameroje. Taip pat, esant neigiamai temperatūrai, rekomenduojama sumažinti įpurškiamo vandens ir metanolio mišinio kiekį [11, 14].

## **1.10 Apibendrinimas**

Šiame skyriuje aprašyta vandens sistemų naudojimo istorija, apžvelgti galimi vandens pridėjimo į degujį mišinį būdai, išnagrinėtas vandens įpurškimo į degujį mišinį tinkamumas vidaus degimo

varikliams. Apžvelgti vandens pridėjimo į degųjį mišinį privalumai ir trūkumai, aprašytos galimybės įpurkšti vandens ir metanolio mišinį, išnagrinėta oro pasiskirstymo priklausomybė nuo oro įsiurbimo kolektorių formos ir sandaros, išnagrinėtas panašus tyrimas, kad būtų galima palyginti gautus rezultatus.

## 2. PROJEKTINĖ DALIS

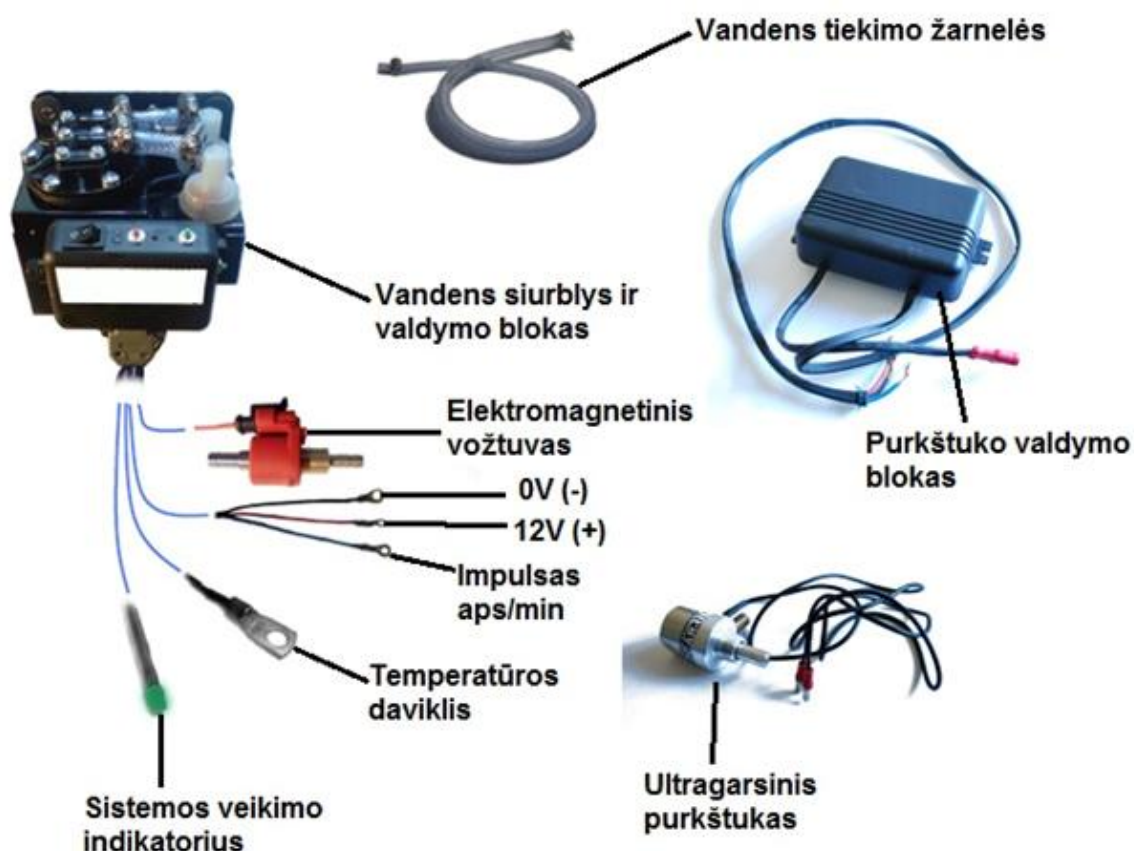
### 2.1 Naudojamas vandens pridėjimo į degųjį mišinį būdas

Eksperimentui atlikti pasirinkta vandens įpurškimo į oro įsiurbimo angą, prieš turbokompresorių sistema. Ši sistema pasirinkta todėl, kad palyginus su vandens įpurškimu į cilindrą yra daug kartų pigesnė ir paprastesnė. Taip pat, kadangi variklyje nėra tarpinio oro aušintuvo, oras kartu su įpurštu vandeniu iš turbokompresoriaus keliauja tiesiai į įsiurbimo kolektorių. Purkštuko montavimas už turbokompresoriaus prieš įsiurbimo kolektorių būtų daug sudėtingesnis dėl turbokompresoriaus sukuriama slėgio.

Emulsinių degalų naudojimas nepasirinktas, nes emulsinių degalų paruošimui reikalingos gana sudėtingos cheminės reakcijos ir degalų emulsijos, priklausomai nuo jų paruošimo būdo, gali išlikti stabilios tik kelias dienas ar savaites.

### 2.2 Naudojama vandens įpurškimo sistema

Eksperimentui atlikti panaudota automatinė vandens tiekimo sistema (2.1 pav.). Vandens įpurškimo purkštukas sumontuotas ant oro įsiurbimo alkūnės (3.1 pav.). Naudota sistema turi šilumos kontrolės, vandens srauto reguliavimo pagal variklio alkūninio veleno apsisukimų skaičių, įtaisus.



2.1 pav. Naudojamos sistemos sudedamosios dalys

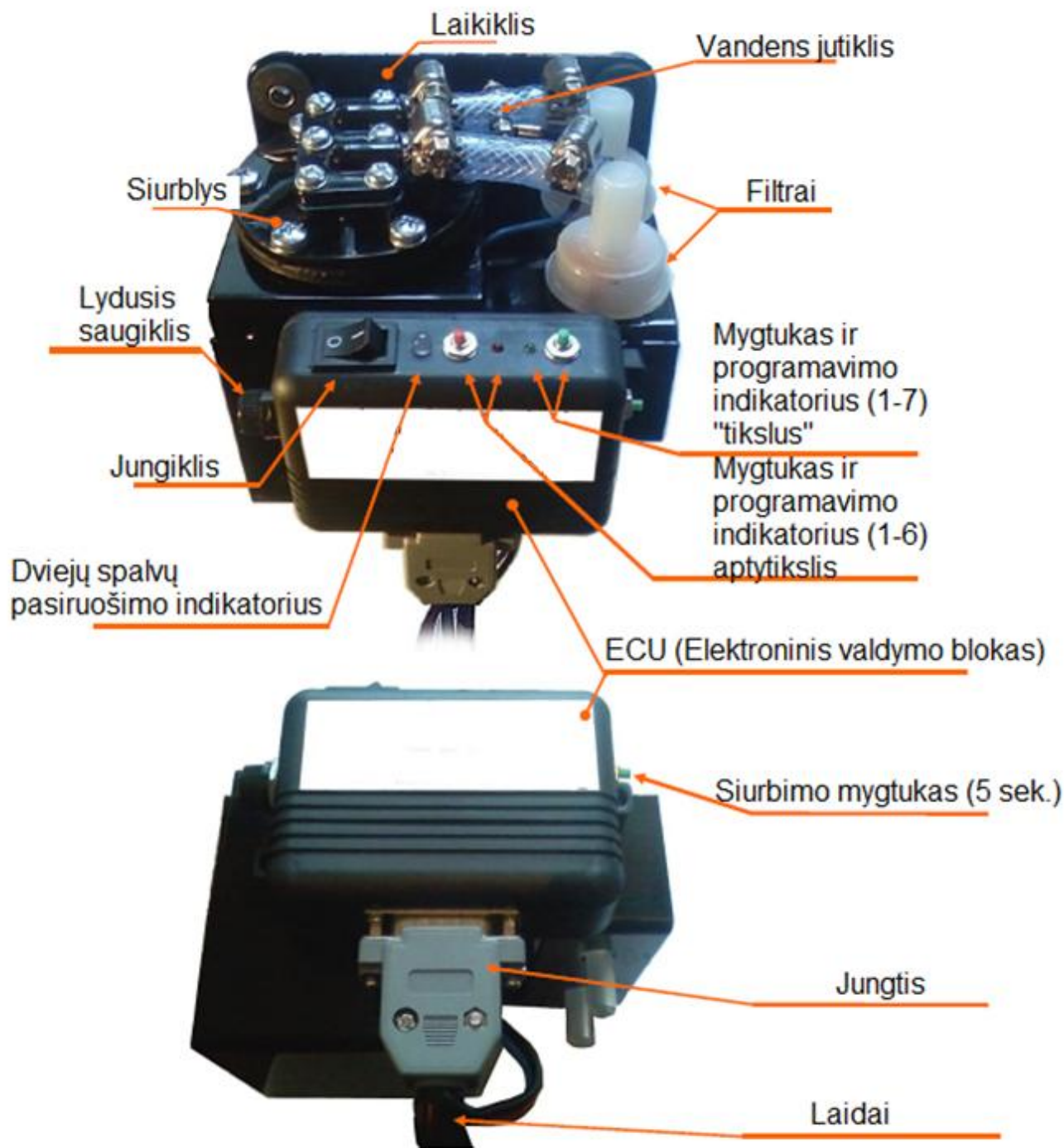


Sistemos gamintojas teigia, kad naudojant sistemą galima:

- Padidinti variklio sukuriamą sukimo momentą iki 30%.
- Sumažinti degalų sąnaudas 20-30%.
- Naudoti mažesnio oktaninio skaičiaus benzina.
- Pašalinti nuosėdas, nuo variklio sienelių, susidariusias dėl degalų degimo.
- Sumažinti variklio sukuriamas emisijas išmetamosiose dujose.
- Sumažinti kietųjų dalelių kiekį išmetamosiose dujose.
- Padidinti variklio ilgaamžiškumą iki 1.5 karto.
- Efektyviau aušinti variklį.
- Padidinti turbokompresoriaus efektyvumą (ataušinamas tiekiamas oras todėl padidėja turbokompresoriaus efektyvumas).
- Sumažinti variklio triukšmą.

### **2.3 Sistemos kalibravimas**

Gamintojo rekomenduojamas įpurškiamas vandens kiekis yra 0,25-2 litrai 100 kilometrų, priklausomai nuo variklio darbinio tūrio ir norimų pasiekti rezultatų. Įrangos kalibravimui reikalinga sugraduota vandens talpa. Vandens tiekimo žarna nuvedama į kitą talpą arba taip, kad paduodamas vanduo negalėtų pažeisti kokių nors variklio dalių, pavyzdžiui, variklio saugiklių bloko. Pravažiuojus 10 kilometrų tikrinama, kiek vandens buvo sunaudota. Jeigu sunaudoto vandens kiekis yra mažesnis negu norima, reikia pakeisti pratekančio vandens srautą. Norint padidinti pratekančią vandens srautą, ant elektroninio valdymo bloko spaudžiamas mygtukas „apytikslis programavimas“ (2.2 pav.) ir skaičiuojama, kiek kartų sumirksti programavimo indikatorius (1 - prateka mažiausias vandens srautas, 6 - prateka didžiausias vandens srautas). Tada vėl pravažiuojama 10 kilometrų ir tikrinama, kiek vandens buvo sunaudota. Sistemos apytikslis reguliavimas atliekamas tol, kol pasiekiamas apytikslis norimo įpurkšti vandens srautas.

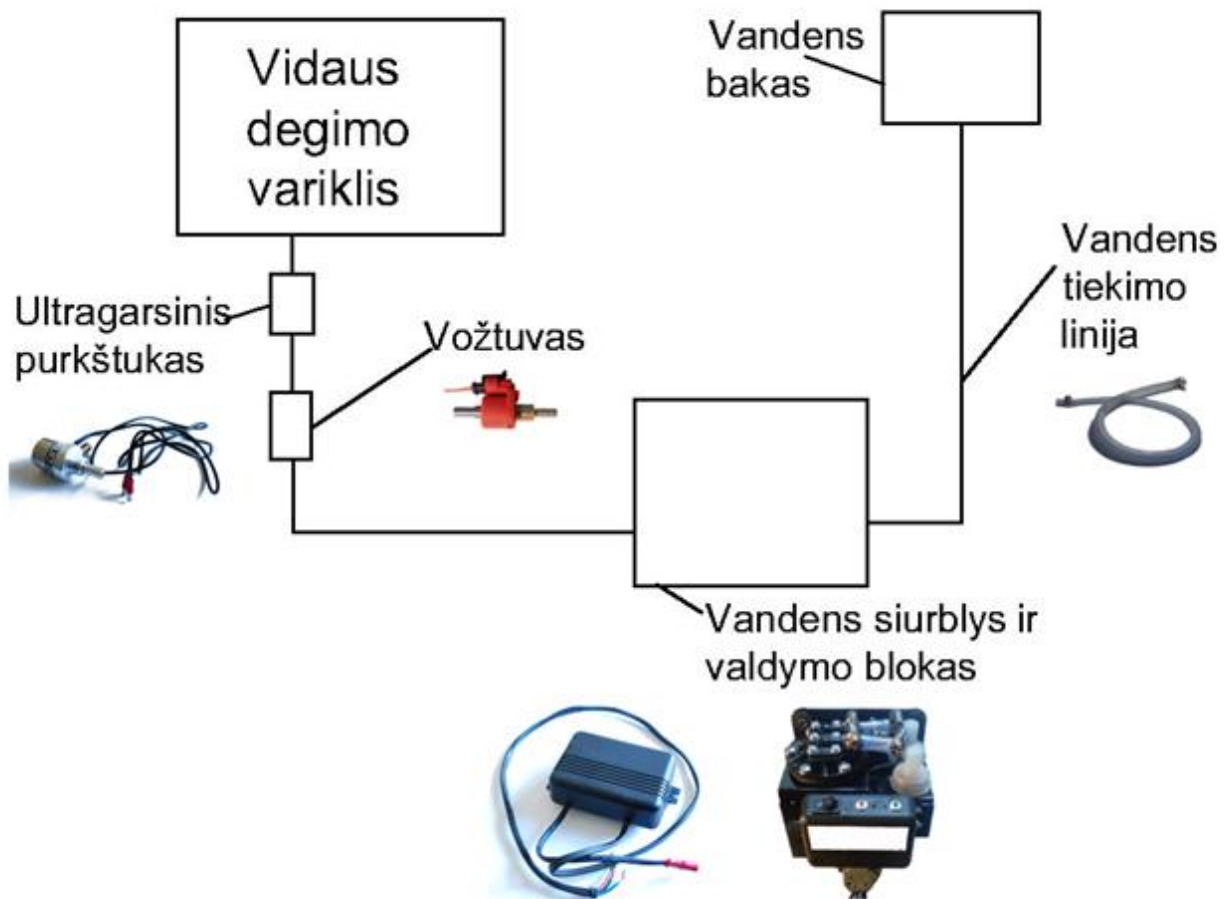


2.2 pav. Elektroninis sistemos valdymo blokas [2]

Lygiai tokiu pačiu principu atliekamas tikslus sistemos kalibravimas. Įpurškiamo vandens srautas keičiamas spaudžiant mygtuką „tikslus programavimas“. Yra 7 tikslaus kalibravimo padėtys (1 - prateka mažiausias vandens srautas, 7 - prateka didžiausias vandens srautas). Pasiekus norimą vandens srautą vandens padavimo žarna prijungiama prie ant oro padavimo alkūnės sumontuoto vandens purkštuko [2].

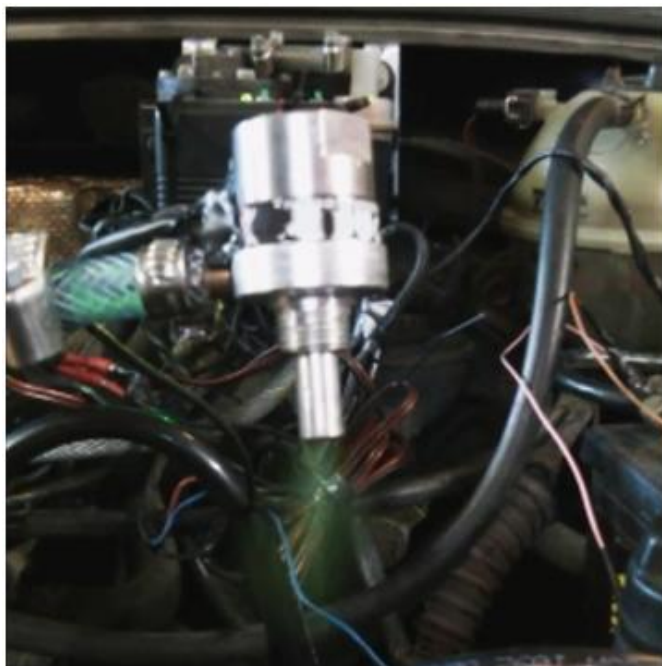
## 2.4 Sistemos veikimo principas

Variklio temperatūrai pasiekus 60°C sistema automatiškai įsijungia, gavusi signalą iš ant variklio sumontuoto temperatūros jutiklio. Vanduo iš bako pumpuojamas per elektromagnetinio siurblio įsiurbimo angoje esantį filtrą, sukuriant reikiamą slėgį vandens purkštukui. Per išėjimo filtrą vanduo tiekiamas į vožtuvą ir ultragarsinį purkštuką. Tarp filtrų esantis vandens srauto jutiklis matuoja pratekančio vandens srautą. Savo ruožtu vožtuvas dozuoja reikiamą kiekį vandens pagal srauto jutiklio parodymus ir alkūninio veleno apsisukimų skaičių matuojančio jutiklio parodymus. Toliau iš vožtuvo vanduo tiekiamas į ultragarsinį purkštuką, kuris vandenį purškia labai smulkiais lašeliais į varikliui tiekiamą oro srautą. Vandens kiekis nustatomas pagal variklio darbo režimą, gaunamą iš elektroninio valdymo bloko. Elektroninis valdymo blokas gauna signalą iš variklyje sumontuotų jutiklių. Vanduo įpurškiamas į oro padavimo angą, susimaišo su oru ir sukuria vandens ir oro emulsinį mišinį. Mišinys patenka į oro įsiurbimo kolektorių. Įpurškstas vanduo sumažina oro mišinio temperatūrą, tokiu būdu padidindamas oro tankį, todėl geriau sudega degalai ir gaunama didesnė variklio galia.



2.3 pav. Tyrimui atlikti naudojamos vandens įpurškimo sistemos schema

2.4 pav. pavaizduotas veikiantis ir vandenį purškiantis, šioje sistemoje naudojamas, ultragarsinis purkštukas.



2.4 pav. Sistemoje naudojamas ultragarsinis purkštukas ir iš jo purškiamas vanduo

Kaip matome iš 2.4 pav. purkštukas vandenį purškia labai smulkiais lašeliais, kurie susimaišę su oru patenka į degimo kamerą. Labai smulkiais lašeliais įpurškstas vanduo, patekęs į variklį, yra lengvai išgarinamas ir nepadarо neigiamos įtakos degimo procesui.

## 2.5 Oro srauto pasiskirstymas oro įsiurbimo kolektoriuje

SolidWorks programa nubraižytas tyrimui naudojamo dyzelinio vidaus degimo variklio oro įsiurbimo kolektorius ir Flow Simulation aplinkoje patikrintas oro srautų pasiskirstymas nenaudojant vandens ir įpurškus vandenį į oro įsiurbimo angą.

Į variklį tiekiamo oro srauto apskaičiavimas:

$$L = m \cdot n \quad (2.1)$$

čia:

$L$  - masės srautas (kg/s);

$m$  - oro masė (kg);

$n$  - alkūninio veleno apsisukimų skaičius per sekundę

Variklio darbinis tūris  $V = 1900 \text{ cm}^3 = 0,0019 \text{ m}^3$ ;

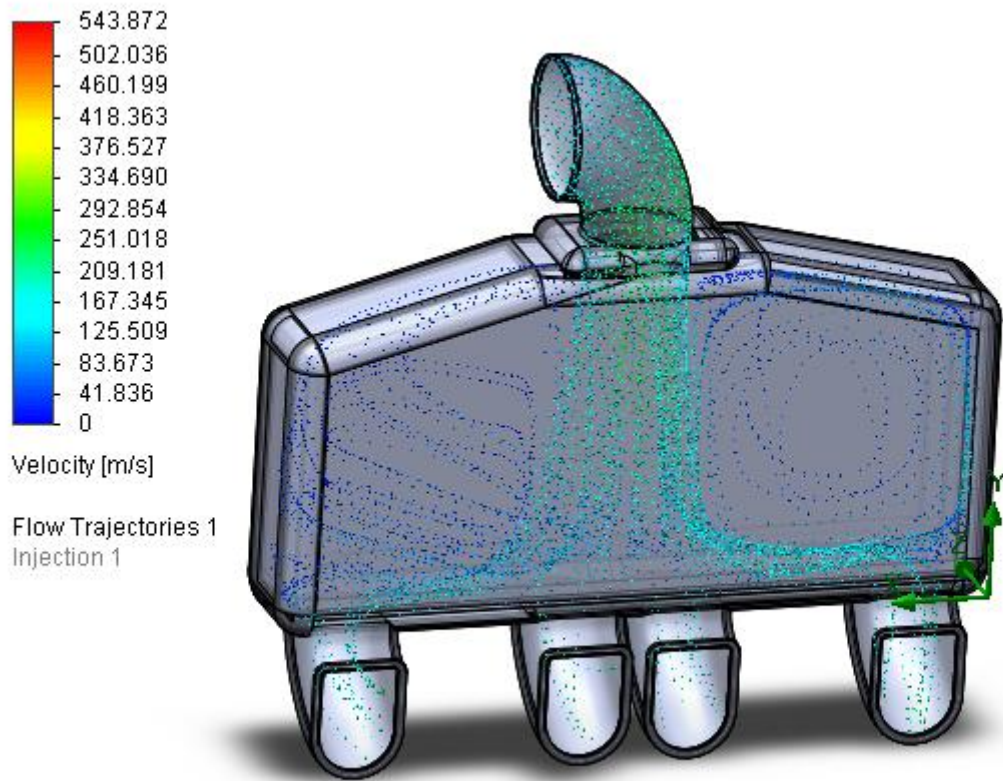
Oro tankis  $\rho = 1,293 \text{ kg/m}^3$ ;

Priimamas alkūninio veleno apsisukimų skaičius  $n = 2500 \text{ aps/min} = 41,66 \text{ aps/s}$ ;

$$m_{oro} = \rho \cdot V \quad (2.2)$$

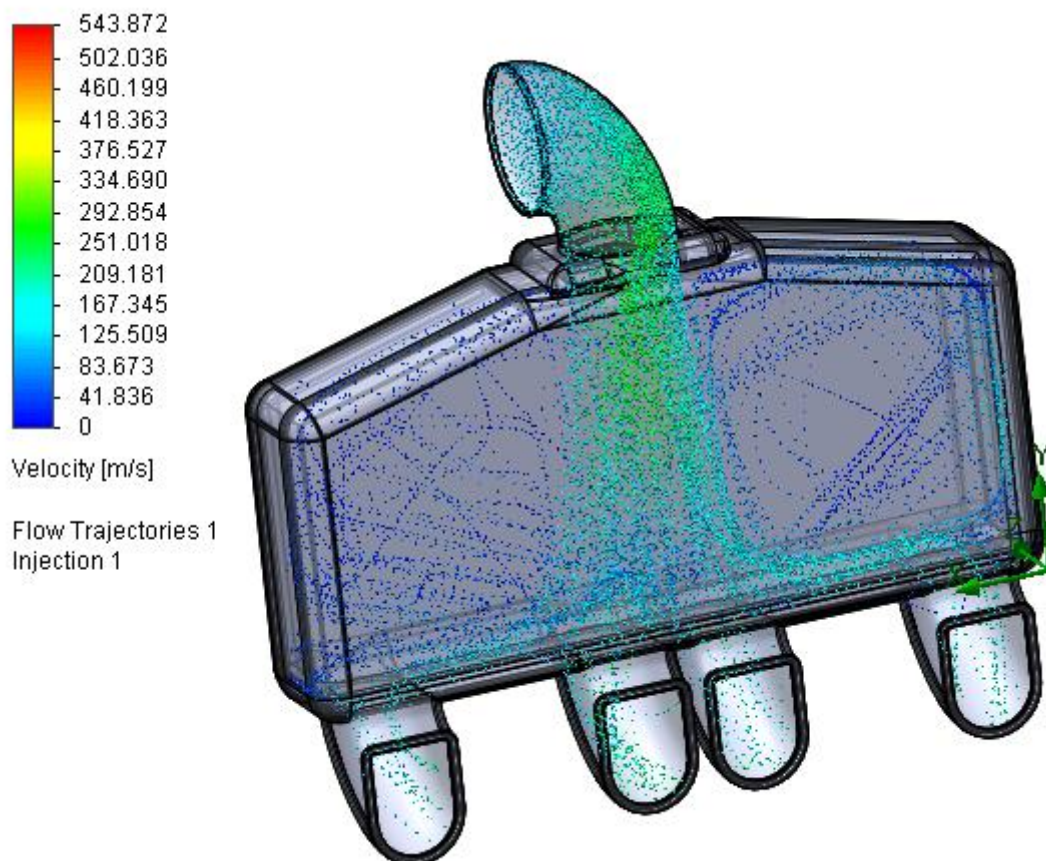
$$m_{oro} = \rho \cdot V = 1,293 \cdot 0,0019 = 0,0025\text{kg};$$

$$L = m \cdot n = 0,0025 \cdot 41,66 = 1,04\text{kg/s}.$$



2.5 pav. Oro srauto pasiskirstymas įsiurbimo kolektoriuje

2.6 pav. pavaizduotas oro įsiurbimo kolektorius ir oro srautų pasiskirstymas jame, gautas su SolidWorks Flow Simulation programa. Iš gauto oro pasiskirstymo galima teigti, kad įsiurbimo kolektorius yra tinkamai suprojektuotas, jame oro srautas pasiskirsto tolygiai į visus variklio cilindrus.



2.7 pav. Oro srauto ir vandens pasiskirstymas įsiurbimo kolektoriuje

Oro srauto pasiskirstymas įsiurbimo kolektoriuje, įpurškus į oro įsiurbimo angą vandens, pavaizduotas 2.7 pav. Kaip matome vandens įpurškimas nedaro jokios įtakos oro srauto pasiskirstymui, kadangi įpurškiamas vandens kiekis yra nedidelis ir vanduo įpurškiamas labai smulkiais lašeliais, kurie pasisklaido į variklį tiekiamame ore. Taip pat matome, kad jis pasiskirsto tolygiai į visus keturis variklio cilindrus, labai panašiai kaip ir oras.

## 2.6 Apibendrinimas

Pasirinktas vandens įpurškimo į oro padavimo angą, prieš turbokompresorių, vandens pridėjimo į degųjų mišinį būdas. Aprašyta tyrimo metu naudojama sistema, jos kalibravimas ir veikimo principas. Taip pat sudaryta sistemos principinė schema.

SolidWorks Flow Simulation programa patikrintas oro srauto pasiskirstymas įsiurbimo kolektoriuje.

### 3. VANDENS ĮPURŠKIMO Į DEGŪJŲ MIŠINĮ ĮTAKOS VIDAS DEGIMO VARIKLIO PARAMETRAMS TYRIMAS

#### 3.1 Tyrimo metodika

Vandens įpurškimo į degųjų mišinį įtakos vidaus degimo variklio parametrus tyrimo metu buvo naudotas Volkswagen Golf automobilis su 1.9 litro turbo dyzeliniu netiesioginio degalų įpurškimo varikliu. Bandymo metu buvo naudota vandens įpurškimo sistema, kurios veikimas ir sandara aprašyta 2 skyriuje. Sumontuota sistema pavaizduota 3.1 pav. Ši sistema pasirinkta dėl paprasto jos montavimo ir nesudėtingo valdymo. Taip pat ją galima naudoti ir su dyzeliniu ir su benzinu varomais varikliais.



3.1 pav. Sumontuota vandens įpurškimo sistema

Visi bandymai atlikti neįpurškiant vandens į degųjų mišinį, įpurškiant 300 ml/100km vandens kiekį ir įpurškiant 600 ml/100km vandens kiekį. Įpurškiamo vandens kiekis išmatuotas panaudojant matavimo talpą, kuri sugraduota kas 10 ml. Į talpą buvo įstatytas vandens purkštukas ir įjungus sistemą buvo važiuojama 10 km tuo pačiu maršrutu ir tikrinta kiek vandens yra įpurškiama.

Jokių papildomų pakeitimų nei degalų tiekimo sistemoje, nei variklio darbą reguliuojančiuose mechanizmuose nebuvo atlikta.

Visi matavimai (emisijų, išmetamųjų dujų optinio tankio, emisijų važiavimo metu, degalų sąnaudų mieste, užmiesto režimais ir tuščia eiga, variklio sukuriamos galios ir automobilio įsibėgėjimo pagreičio) atlikti po tris kartus fiksuojant gaunamus duomenis. Aprašant gautus rezultatus naudotas trijų matavimų aritmetinis vidurkis.

### 3.1.1 Emisijų ir dūmingumo matavimas

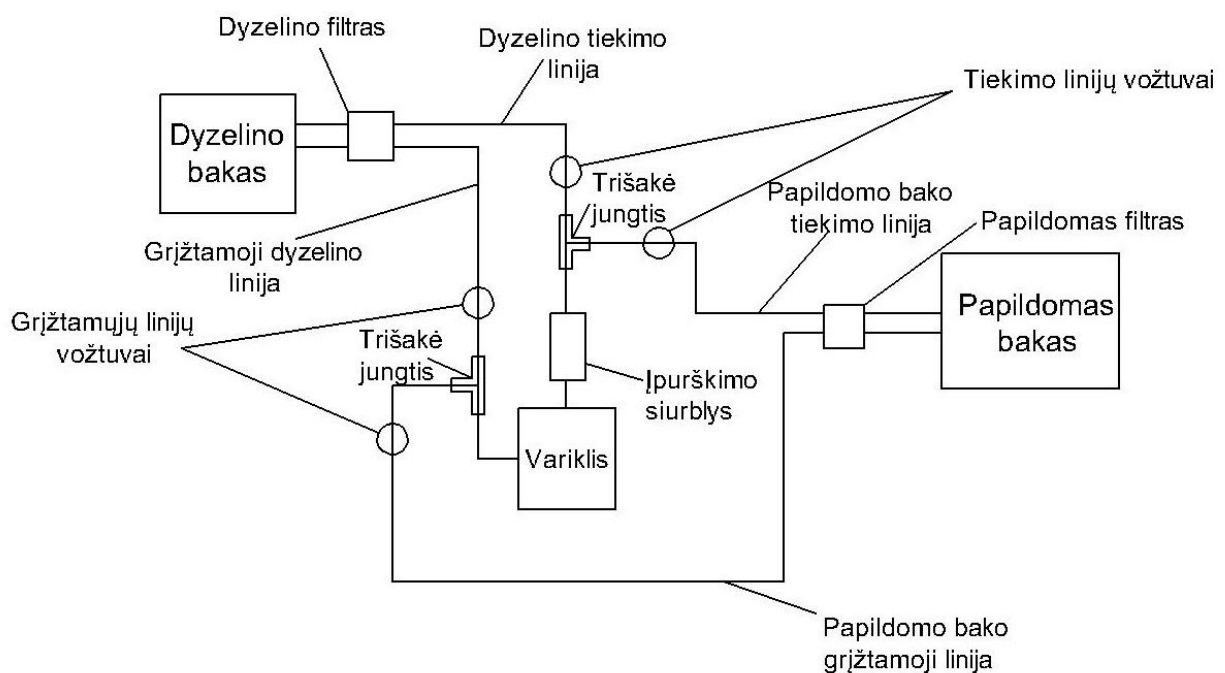
Emisijos ir dūmingumas išmatuotas trimis režimais: nenaudojant vandens įpurškimo, įpurškiant 300 ml/100km vandens kiekį ir įpurškiant 600 ml/100km vandens kiekį. Kiekvienu režimu buvo išmatuotos CO, CO<sub>2</sub>, CO<sub>C</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub> emisijos ir dūmingumas. Emisijos buvo išmatuotos prie 1000, 2000 ir 3000 variklio alkūninio veleno apsisukimų per minutę. Dūmingumas buvo išmatuotas prie 1000, 2000, 3000 ir 4000 variklio alkūninio veleno apsisukimų per minutę.

### 3.1.2 Emisijų matavimas važiuojant

Emisijos, važiavimo metu, buvo išmatuotos neįpurškiant vandens, įpurškiant 300 ml/100km vandens kiekį ir įpurškiant 600 ml/100km vandens kiekį. Išmatuotos CO, CO<sub>2</sub>, CO<sub>C</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub> emisijos. Kadangi naudota matavimo įranga nekaupia duomenų, matavimo prietaiso ekranas važiavimo metu buvo filmuojamas. Nufilmuota medžiaga padalinta į dalis, fiksuojant informaciją kas dvi sekundes. Duomenys suvesti į lentelę ir nubraižyti emisijų kitimo grafikai. Visų matavimų metu buvo važiuojama tuo pačiu maršrutu, stengiantis palaikyti tokį patį važiavimo režimą kaip ir kitų bandymų metu.

### 3.1.2 Degalų sąnaudų matavimas

Degalų sąnaudų matavimas buvo atliktas panaudojant dviejų degalų bakų sistemą, kurios pagalba galima sustabdyti degalų tiekimą iš pagrindinio automobilyje sumontuoto degalų bako ir degalus pradėti tiekti iš papildomos degalų talpos. Dviejų degalų bakų sistemos schema pateikta 3.2 pav.



3.2 pav. Dviejų degalų bakų sistemos schema



Degalų sąnaudos, kaip ir emisijos, buvo išmatuotos neįpurškiant vandens, įpurškiant 300 ml/100km vandens kiekį ir įpurškiant 600 ml/100km vandens kiekį. Degalų sąnaudos su visais įpurškiamo vandens kiekiais išmatuotos miesto režimu, užmiesčio režimu ir prie laisvų variklio alkūninio veleno apsisukimų.

Matuojant sąnaudas miesto režimu prieš kiekvieną bandymą papildoma degalų talpa su dyzelinu buvo pasveriami, prijungiami atgal į degalų tiekimo sistemą ir dviejų degalų bakų sistema perjungiami taip, kad degalai būtų tiekiami iš papildomos degalų talpos. Tada buvo važiuojama 10 km miesto režimu. Po važiavimo talpa buvo atjungiami ir vėl pasveriami. Pagal svorio skirtumą apskaičiuotas sunaudotas degalų kiekis. Visi matavimai atlikti tokiomis pačiomis sąlygomis ir važiuojant tuo pačiu maršrutu.

Matuojant sąnaudas užmiesčio režimu, papildoma degalų talpa buvo sveriami analogiškai kaip ir matuojant sąnaudas miesto režimu, tik šiuo atveju buvo važiuojama kitu maršrutu. Pasirinktas užmiesčio kelias ir važiuota 10 km pastoviu 70 km/h greičiu, penkta pavara.

Matuojant sąnaudas prie laisvų alkūninio veleno apsisukimų, papildoma degalų talpa buvo sveriami analogiškai kaip ir miesto ar užmiesčio režimu. Matuojant sąnaudas tuščia eiga, variklis buvo užkuriamas ir paliekamas dirbti laisvais alkūninio veleno apsisukimais 10 minučių. Praėjus 10 min talpa buvo pasveriami ir pagal svorio skirtumą apskaičiuotos degalų sąnaudos.

### **3.1.3 Įsibėgėjimo pagreičio ir variklio galios matavimas**

Įsibėgėjimo pagreičio ir variklio galios matavimas taip pat buvo atliekamas nenaudojant vandens įpurškimo, įpurškiant 300 ml/100km vandens kiekį ir įpurškiant 600 ml/100km vandens kiekį. Matavimas buvo atliekamas važiuojant trečia pavara, maksimaliai nuspaudus akceleratoriaus pedalą nuo laisvų alkūninio veleno apsisukimų skaičiaus iki kol variklio alkūninio veleno apsisukimų skaičius pasiekia maksimalią reikšmę. Matavimų rezultatams gauti naudotas duomenų kaupiklis, kuris bandymų metu buvo įjungtas. Duomenų kaupiklyje surinkta medžiaga panaudota įsibėgėjimo pagreičio ir variklio galios palyginimui.

## **3.2 Naudota įranga**

### **3.2.1 Tecnomotor Gas Analyzer 810 išmetamųjų dujų analizatorius**

Emisijų matavimui naudotas Tecnomotor Gas Analyzer 810 dujų analizatorius galintis matuoti CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> emisijas. Jo techninė specifikacija pateikta 3.1 lentelėje.



3.3 pav. Išmetamųjų dujų analizatorius Tecnomotor Gas Analyzer 810

3.1 lentelė

Išmetamųjų dujų Analizatoriaus Tecnomotor Gas Analyzer 810 techniniai duomenys [11]

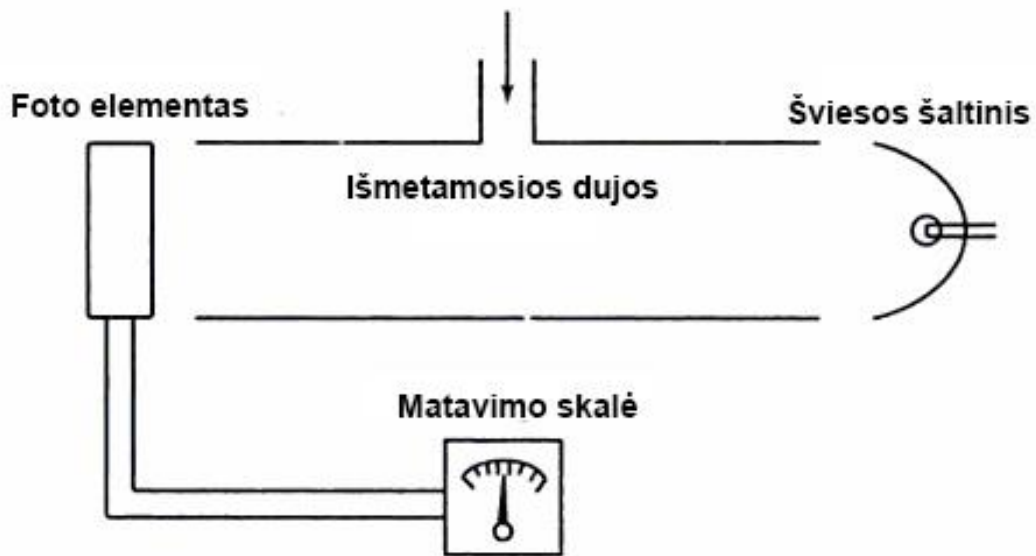
CO matavimo diapazonas	0 ÷ 10%, 0,01% tikslumu
CO <sub>2</sub> matavimo diapazonas	0 ÷ 20%, 0,01% tikslumu
HC matavimo diapazonas	0 ÷ 20000 ppm, 1 ppm tikslumu
O <sub>2</sub> matavimo diapazonas	0 ÷ 21%, 0,01% tikslumu
Lambda faktorius	0 ÷ 2, 0,001 tikslumu
Alkūninio veleno apsisukimų skaičius	0 ÷ 20000 aps/min, 10 aps/min tikslumu
Alyvos temperatūra	0 ÷ 150°C, 1°C tikslumu
NO <sub>x</sub> matavimo diapazonas	0 ÷ 5000 ppm, 1 ppm tikslumu
Įšilimo laikas	~3 min
Naudojamas energijos šaltinis	220/110 V - 50/60 Hz 30 W
Analizatoriaus gabaritai	23 x 34 x 22,5 cm

Kaip matome iš 3.1 lentelėje pateiktų duomenų įrangos tikslumas yra pakankamas, kad išmatuotus duomenis būtų galima naudoti tyrimo metu.

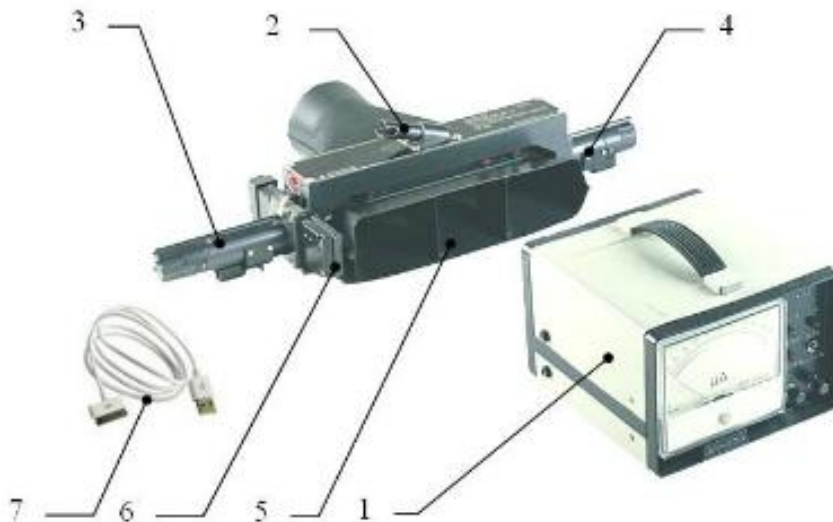
### 3.3.2 DO-1 dūmomatis

Dūmingumo matavimui naudotas DO-1 dūmomatis, matuojantis išmetamųjų dujų optinį tankį procentais nuo 0 iki 100%. Dūmomačio veikimo principas pagrįstas išmetamųjų dujų nepermatomumo

palyginimu su švariu oru. Išmetamosios dujos pastoviai leidžiamos pro maždaug 45cm ilgio vamzdį, kuris turi šviesos šaltinį viename gale ir foto elementą kitame. Šviesos kiekis praėjęs pro šį vamzdelį yra naudojamas kaip dūmingumo arba dūmų tankio indikatorius. Šviesos sumažėjimas foto elemento yra paverčiamas elektriniu signalu ir yra parodomas matavimo skalėje. Šio dūmomačio veikimo principo schema parodyta 3.4 pav.



3.4 pav. Dūmomačio DO-1 veikimo principo schema [1]



3.5 pav. DO-1 dūmomatis: 1 - duomenų apdorojimo blokas; 2 - rankena; 3 - imtuvo mazgas; 4 - spinduliuotojo mazgas; 5 - optinis detektorius; 6 - apkaba; 7 - sujungiamasis laidas [1]

3.2 lentelėje pateikti dūmomačio DO-1 techniniai duomenys.

Dūmomačio DO-1 techniniai duomenys [1]

Matavimo paklaida	±2%
Matavimo diapazonas	Nuo 0 iki 100%
Kontrolinio šviesos filtro praleidžiamumo koeficientas	0,74 ± 0,05
Efektyvus prašviečiamumo ilgis	0,43 m
Naudojama įtampa	220/12 V

Kaip matome iš 3.2 lentelėje pateiktų duomenų įrangos tikslumas yra pakankamas, kad išmatuotus duomenis būtų galima naudoti tyrimo metu.

### 3.2.3 Race Technology DL1 data logger duomenų kaupiklis

Automobilio įsibėgėjimo pagreičio ir variklio sukuriamos galios matavimui naudotas Race Technology DL1 duomenų kaupiklis (3.6 pav.). Įrenginys akcelerometro ir GPS duomenų pagalba išmatuoja išilginį pagreitį, šoninį pagreitį, variklio sukuriamą galingumą ir kitus duomenis. Įrenginio techniniai duomenys pateikti 3.3 lentelėje.



3.6 pav. Race Technology DL1 duomenų kaupiklis [6]

Race Technology DL1 duomenų kaupiklio techniniai duomenys [7]

GPS	Greičio ir pozicijos fiksavimas kas 200 ms be interpoliacijos
GPS antena	Magnetinis pagrindas, 3.3 V aktyvi antena su SMA jungtimi
Maitinimo įtampa	12 V nominali įtampa, 10 V minimali įtampa, 15 V maksimali įtampa
Energijos suvartojimas	~180 mA
Akselerometras	3-ašis
Veikimo temperatūra	-20°C - 70 °C
Matmenys (I, P, A)	107 mm, 68 mm, 30 mm.

Įrenginys greičio ir pozicijos duomenis fiksuoja kas 200 ms, todėl gauti duomenys yra pakankamai tikslūs, kad juos būtų galima naudoti tyrimo metu.

### 3.2.4 Svarstyklės

Degalų sunaudojimo svėrimui naudotos elektroninės svarstyklės SF-400. Svarstyklių techniniai duomenys pateikti 3.4 lentelėje.

3.4 lentelė

Svarstyklių techniniai duomenys

Minimalus svėrimo svoris	0,0001 kg
Maksimalus svėrimo svoris	5 kg
Tikslumas	1 g

Kaip matome iš 3.4 lentelėje pateiktų duomenų svarstyklių tikslumas yra pakankamas, kad jų parodymus būtų galima naudoti tyrimo metu.

## 3.3 Rezultatai

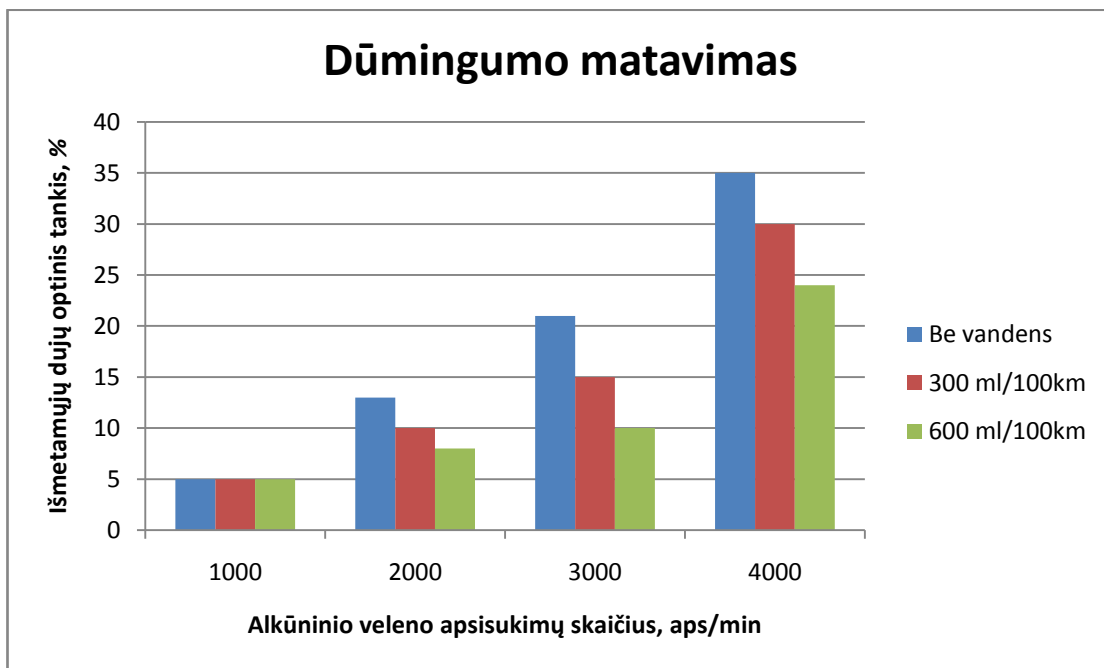
### 3.3.1 Dūmingumas

Dūmingumas buvo matuojamas neįpurškiant vandens į degujį mišinį, įpurškiant 300 ml/100km vandens kiekį ir įpurškiant 600 ml/100km vandens kiekį. Matavimai buvo atlikti prie 1000 aps/min, 2000 aps/min, 3000 aps/min ir 4000 alkūninio veleno apsisukimų per minutę. Matavimai buvo atliekami didinant variklio sūkius nuo laisvų apsisukimų iki reikšmės, prie kurios buvo matuojamas dūmingumas. Išmatuotos dūmingumo reikšmės pateiktos 3.5 lentelėje ir 3.7 pav.

3.5 lentelė

Išmatuotos išmetamųjų dujų optinio tankio reikšmės

	1000 aps/min	2000 aps/min	3000 aps/min	4000 aps/min
Be vandens	5 %	13 %	21 %	35 %
300 ml/100km	5 %	10 %	15 %	30 %
600 ml/100km	5 %	8 %	10 %	24 %



3.7 pav. Išmatuotų dūmingumo reikšmių palyginimas

Kaip matome iš 3.7 pav. pateiktos diagramos visais atvejais vandens įpurškimas sumažina išmetamųjų dujų optinį tankį.

Prie 1000 alkūninio veleno apsisukimų per minutę išmetamųjų dujų optinis tankis, nenaudojant vandens įpurškimo ir įpurškiant nesvarbu kokį vandens kiekį, išlieka toks pats - 5%.

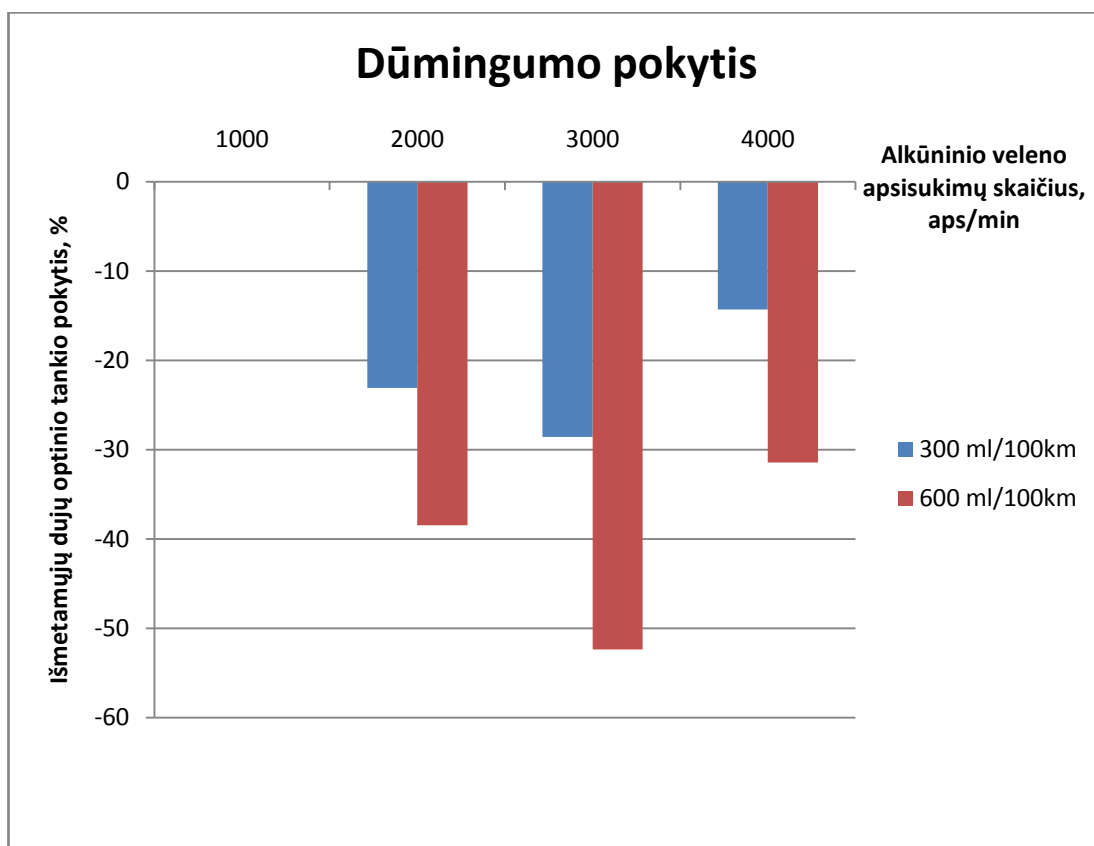
Prie 2000 aps/min pastebimas išmetamųjų dujų optinio tankio sumažėjimas. Sumažėjimas priklauso nuo įpurškiamo vandens kiekio. Įpurškiant 300 ml/100km vandens kiekį dūmingumas sumažėjo 23%, t.y. nuo 13% iki 10%. Įpurškiant 600 ml/100km vandens kiekį dūmingumas sumažėjo dar daugiau - 38,5%, t.y. nuo 13 iki 8 %.

Prie 3000 aps/min pastebimas dar didesnis išmetamųjų dujų optinio tankio sumažėjimas. Įpurškiant 300 ml/100km vandens kiekį išmetamųjų dujų optinis tankis sumažėjo beveik 29%, t.y. nuo 21 iki 15%. Įpurškiant 600 ml/100km vandens kiekį, išmetamųjų dujų optinis tankis prie šių alkūninio veleno apsisukimų skaičiaus sumažėjo 52% - nuo 21 iki 10%, t.y. daugiau nei dvigubai, lyginant su gauta dūmingumo reikšme, kai vanduo nebuvo įpurškiamas į degų mišinį.

Prie 4000 aps/min išmetamųjų dujų optinio tankio sumažėjimas šiek tiek sumažėja lyginant su duomenimis gautais prie mažesnių alkūninio veleno apsisukimų skaičiaus. Įpurškiant 300 ml/100km vandens kiekį dūmingumas sumažėjo 14,5%, t.y. nuo 35 iki 30%, o įpurškiant 600 ml/100km vandens kiekį sumažėjo 31,5%, t.y. nuo 35 iki 24%.

Kaip matome iš rezultatų vandens įpurškimas į degų mišinį daro teigiamą įtaką dūmingumui. Išmetamųjų dujų optinis tankis išliko toks pats tik prie 1000 aps/min, prie visų kitų alkūninio veleno apsisukimų skaičiaus išmetamųjų dujų optinis tankis sumažėjo net iki dviejų kartų (prie 3000 aps/min

naudojant 600 ml/100km įpurškiamo vandens kiekį). Taip pat iš rezultatų matome, kad didesnis įpurškiamo vandens kiekis daro didesnę įtaką išmetamųjų dujų optinio tankio sumažėjimui.



3.8 pav. Dūmingumo pokytis lyginant su 0 ml/100km įpurškiamo vandens kiekiu

3.8 pav. pavaizduotas išmetamųjų dujų optinio tankio pokytis procentais kai į degųjų mišinį buvo įpurškiamas 300 ml/100km vandens kiekis ir kai buvo įpurškiamas 600 ml/100km vandens kiekis, lyginant su išmetamųjų dujų optinio tankio reikšmėmis kai vanduo į degųjų mišinį įpurškiamas nebuvo.

Išmatuotas išmetamųjų dujų optinis tankis, visais matuotais atvejais, neviršijo Lietuvoje leistinos normos, kuri yra 66% dyzeliniams varikliams su turbokompresoriumi (P - 1.1 lentelė).

Išmetamųjų dujų optinio tankio sumažėjimas naudojant vandens įpurškimo sistemą gali būti paaiškinamas sumažėjusia į variklį tiekiamo oro temperatūra ir kartu padidėjusiu jo tankio, dėl vandens įpurškimo į oro srautą. Dėka didesnio oro tankio, tam pačiam kiekiui oro reikia mažiau degalų.

### 3.3.2 Emisijos

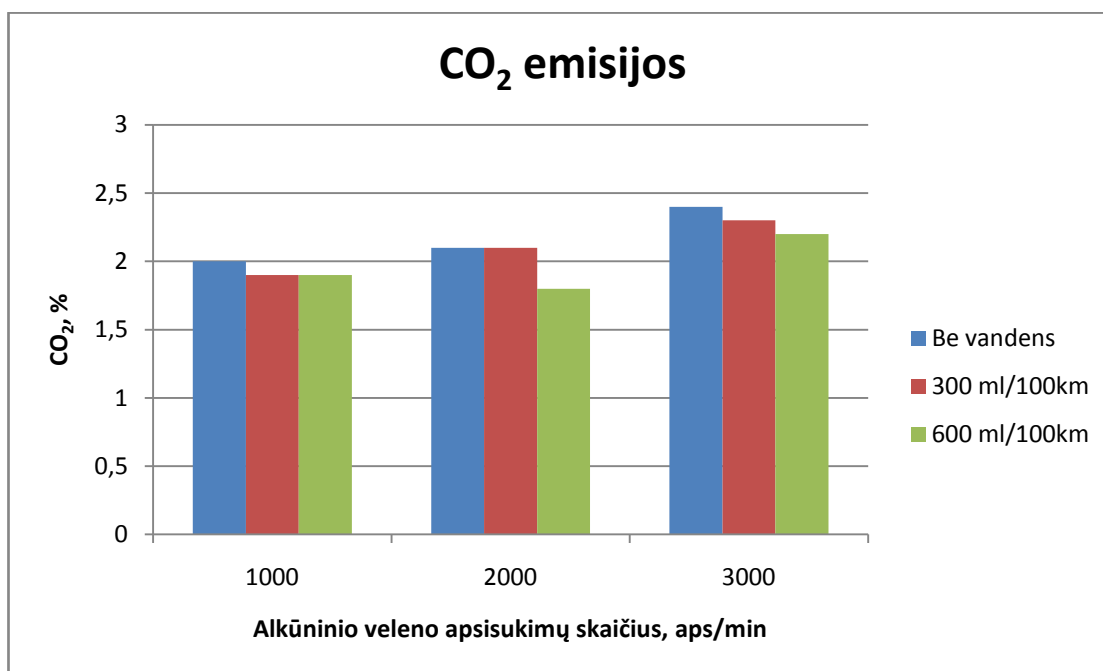
Visos emisijos buvo išmatuotos naudojant Gas Analyzer (Tecnomotor 810) dujų analizatorių. Emisijos buvo matuojamos prie 1000 aps/min, prie 2000 aps/min ir prie 3000 aps/min. Šios alkūninio veleno apsisukimų reikšmės buvo priimtose tokios, nes važiuojant automobilio variklis dažniausiai dirba būtent šiame alkūninio veleno apsisukimų diapazone.

Išmatuotos CO<sub>2</sub> emisijos neįpurškiant vandens, įpurškiant 300 ml/100km vandens kiekį ir įpurškiant 600 ml/100km vandens kiekį pavaizduotos 3.6 lentelė ir 3.9 pav. diagramoje.

3.6 lentelė

Išmatuotos CO<sub>2</sub> emisijų reikšmės

	1000 aps/min	2000 aps/min	3000 aps/min
Be vandens	2 %	2,1 %	2,4 %
300 ml/100km	1,9 %	2,1 %	2,3 %
600 ml/100km	1,9 %	1,8 %	2,2 %



3.9 pav. Išmatuotų CO<sub>2</sub> emisijų palyginimas

Kaip matome iš 3.6 lentelės ir 3.9 pav. esančios diagramos CO<sub>2</sub> emisijos įpurškiant vandenį į degujį mišinį skyrėsi nedaug, lyginant su rezultatais gautais, kai vanduo nebuvo įpurškiamas. Tačiau pastebimas CO<sub>2</sub> emisijų sumažėjimas, kai vanduo buvo įpurškiamas.

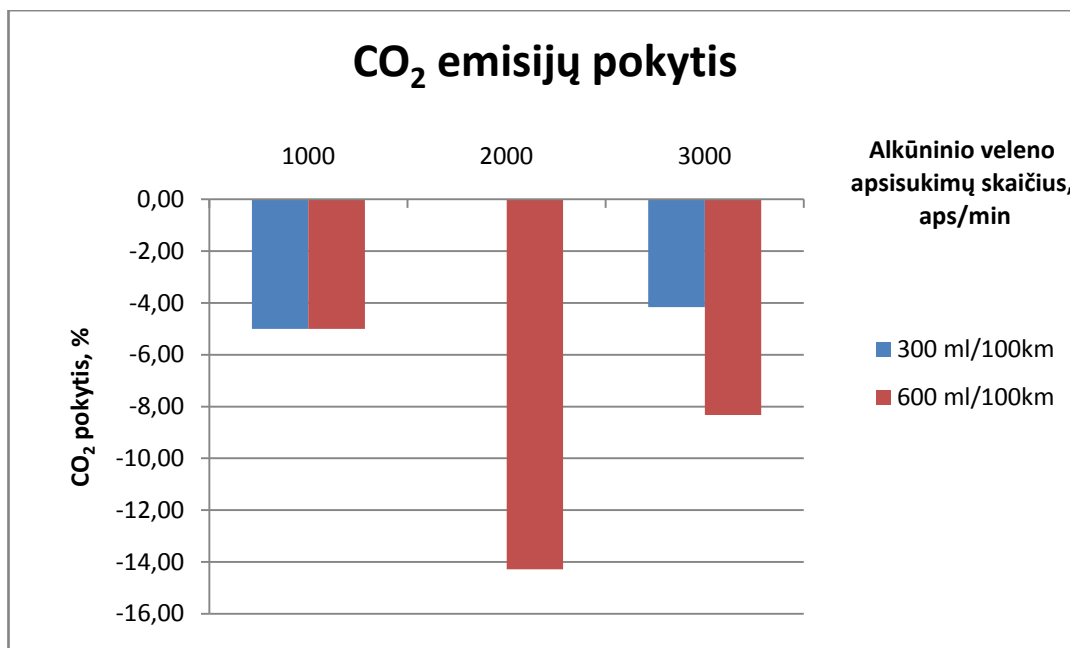
Prie 1000 aps/min CO<sub>2</sub> emisijos sumažėjo 5%, nepriklausomai nuo to ar buvo įpurškiamas 300 ml/100km, ar 600 ml/100km vandens kiekis.

Prie 2000 aps/min įpurškiamas 300 ml/100km vandens kiekis nepadare jokios įtakos CO<sub>2</sub> emisijų pokyčiui, lyginant su emisijomis išmatuotomis, kai vanduo nebuvo įpurškiamas. Tačiau įpurškus didesnį kiekį vandens - 600 ml/100km, CO<sub>2</sub> emisijos sumažėjo 14,5%, t.y. nuo 2,1 iki 1,8%.

Prie 3000 aps/min pastebimas proporcingas CO<sub>2</sub> emisijų mažėjimas didėjant įpurškiamo vandens kiekiui. Įpurškiant 300 ml/100km vandens kiekį CO<sub>2</sub> emisijos sumažėjo 4%, o įpurškiant 600 ml/100km vandens kiekį sumažėjo 8%, t.y. atitinkamai nuo 2,4 iki 2,3% ir nuo 2,4 iki 2,2%.



CO<sub>2</sub> emisijų pokytis procentais pateiktas 3.10 pav. diagramoje.



3.10 pav. CO<sub>2</sub> emisijų pokytis lyginat su 0 ml/100km įpurškiamo vandens kiekiu

Iš gautų rezultatų matome, kad į degujį mišinį įpurškiamas vanduo nežymiai sumažina CO<sub>2</sub> emisijas. Taip pat pastebimas proporcingas emisijų sumažėjimas priklausomai nuo įpurškiamo vandens kiekio.

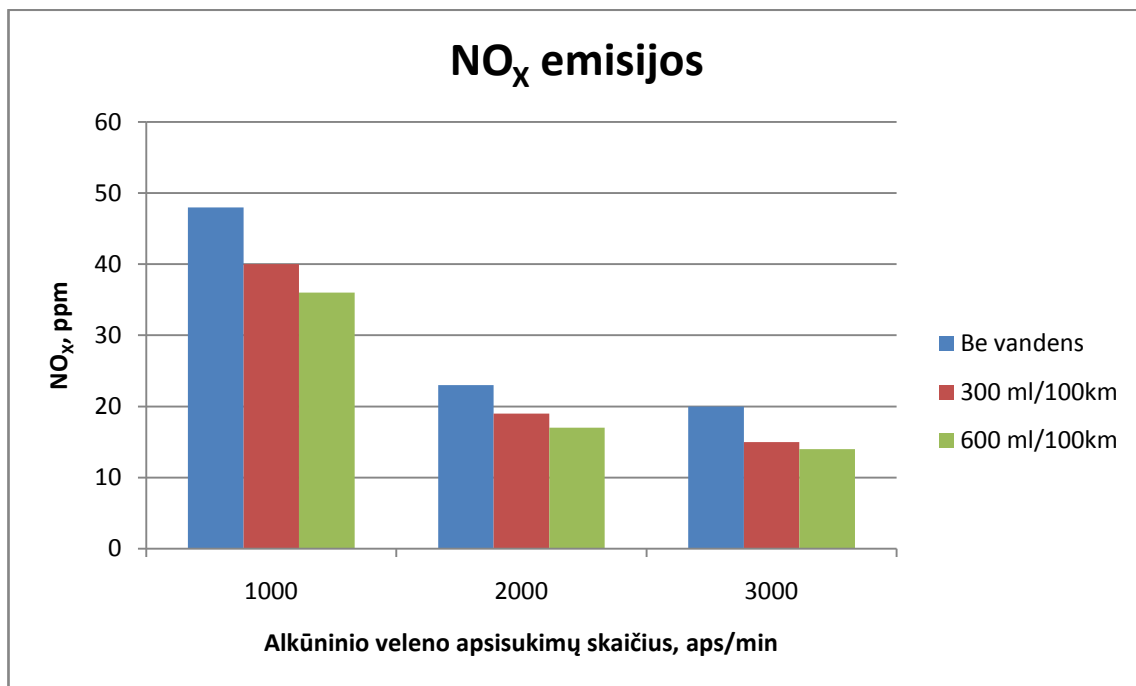
CO<sub>2</sub> emisijų sumažėjimas gali būti paaiškintas tuo, kad vanduo įpurškiamas į varikliui tiekiamą orą slopina degimo procesą, todėl sudeginama mažiau degalų ir tuo pačiu išskiriama mažiau CO<sub>2</sub> dujų.

Išmatuotos NO<sub>x</sub> emisijos neįpurškiant vandens, įpurškiant 300 ml/100km vandens kiekį ir įpurškiant 600 ml/100km vandens kiekį pavaizduotos 3.7 lentelė ir 3.11 pav. diagramoje.

3.7 lentelė

Išmatuotos NO<sub>x</sub> emisijų reikšmės

	1000 aps/min	2000 aps/min	3000 aps/min
Be vandens	48 ppm	23 ppm	20 ppm
300 ml/100km	40 ppm	19 ppm	15 ppm
600 ml/100km	36 ppm	17 ppm	14 ppm



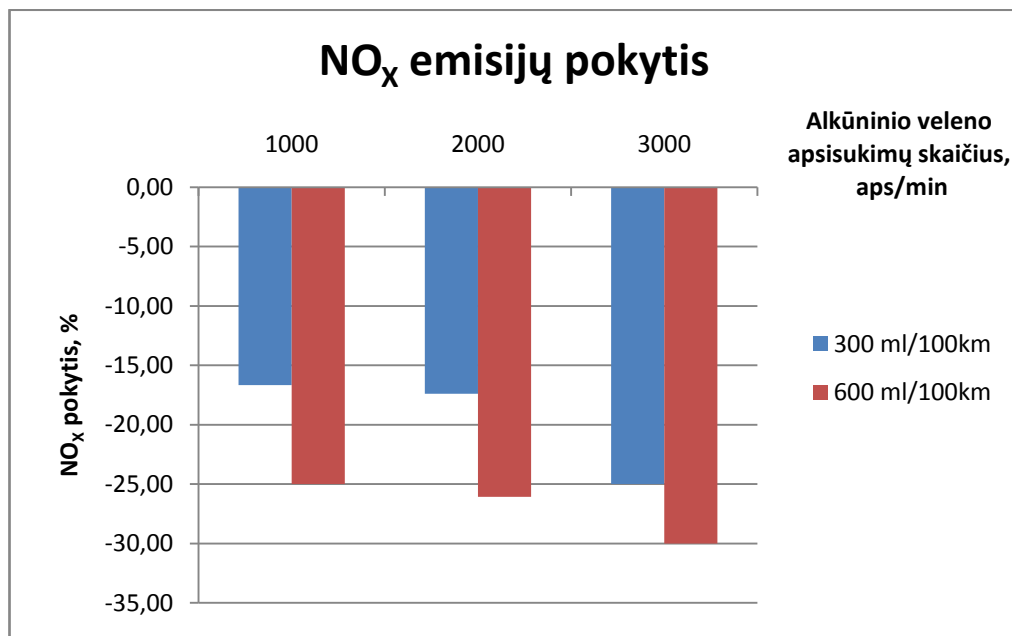
3.11 pav. Išmatuotų NO<sub>x</sub> emisijų palyginimas

Kaip matome iš 3.7 lentelėje ir 3.11 pav. diagramoje pateiktų duomenų, NO<sub>x</sub> emisijos mažėjo į degųjų mišinį įpurškiant vandens. Prie 1000 aps/min įpurškiant 300 ml/100km vandens kiekį NO<sub>x</sub> emisijos sumažėjo beveik 17%, o įpurškus 600 ml/100km vandens kiekį sumažėjo 25%.

Prie 2000 aps/min pastebimas labai panašus NO<sub>x</sub> emisijų sumažėjimas - 17 ir 26%, atitinkamai įpurškiant 300 ml/100km ir 600 ml/100km vandens kiekį.

Prie 3000 aps/min NO<sub>x</sub> emisijos taip pat mažėjo įpurškiant vandenį į degųjų mišinį. Įpurškus 300 ml/100km vandens kiekį NO<sub>x</sub> emisijos sumažėjo 25%, t.y. nuo 20 iki 15 ppm. Įpurškus 600 ml/100km vandens kiekį emisijos sumažėjo 30%, t.y. nuo 20 iki 14 ppm.

NO<sub>x</sub> emisijų pokytis pateiktas 3.12 pav. diagramoje.



3.12 pav. NO<sub>x</sub> emisijų pokytis lyginat su 0 ml/100km įpurškiamo vandens kiekiu

Kaip matome iš 3.12 pav. NO<sub>x</sub> emisijų sumažėjimas yra proporcingas į degųjų mišinį įpurškiamo vandens kiekiui. Didžiausias NO<sub>x</sub> emisijų sumažėjimas yra 30%, kas atitinka nuo 20 iki 14 ppm.

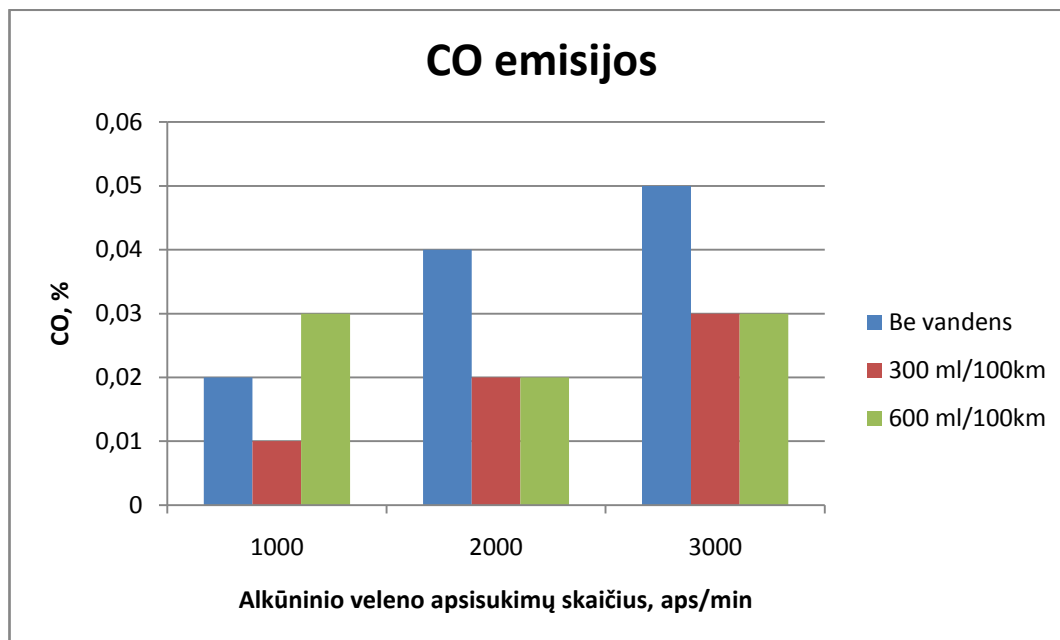
NO<sub>x</sub> išmetamųjų dujų sumažėjimas gali būti paaiškintas tuo, kad įpurškiamas vanduo slopina degimo procesą ir sumažina didžiausią liepsnos temperatūrą degimo metu, todėl mažėja degimo temperatūra ir tuo pačiu mažėja išmetamųjų dujų temperatūra kuri neigiamai veikia azoto oksidų (NO<sub>x</sub>) emisijų formavimąsi.

Išmatuotos CO emisijos neįpurškiant vandens, įpurškiant 300 ml/100km vandens kiekį ir įpurškiant 600 ml/100km vandens kiekį pavaizduotos 3.8 lentelė ir 3.13 pav. diagramoje.

3.8 lentelė

Išmatuotų CO emisijų reikšmės

	1000 aps/min	2000 aps/min	3000 aps/min
Be vandens	0,02 %	0,04 %	0,05 %
300 ml/100km	0,01 %	0,02 %	0,03 %
600 ml/100km	0,03 %	0,02 %	0,03 %



3.13 pav. Išmatuotų CO emisijų palyginimas

Kaip matome iš 3.13 pav. CO emisijos svyravo nuo 0,01 iki 0,05%. Prie 2000 ir 3000 aps/min matomas CO emisijų sumažėjimas įpurškiant vandenį į degųjų mišinį, tačiau įpurškiamo vandens kiekis nedaro įtakos CO emisijų sumažėjimui.

Iš gautų CO koncentracijos reikšmių galima teigti, kad automobilyje įmontuotas katalizatorius veikia gerai, nes katalizatorius suaktyvindamas oksidaciją kenksmingas CO dujas paverčia mažiau kenksmingomis CO<sub>2</sub> dujomis. Taip pat galima teigti, kad vandens įpurškimas į varikliui tiekiamą orą nedaro beveik jokios įtakos.

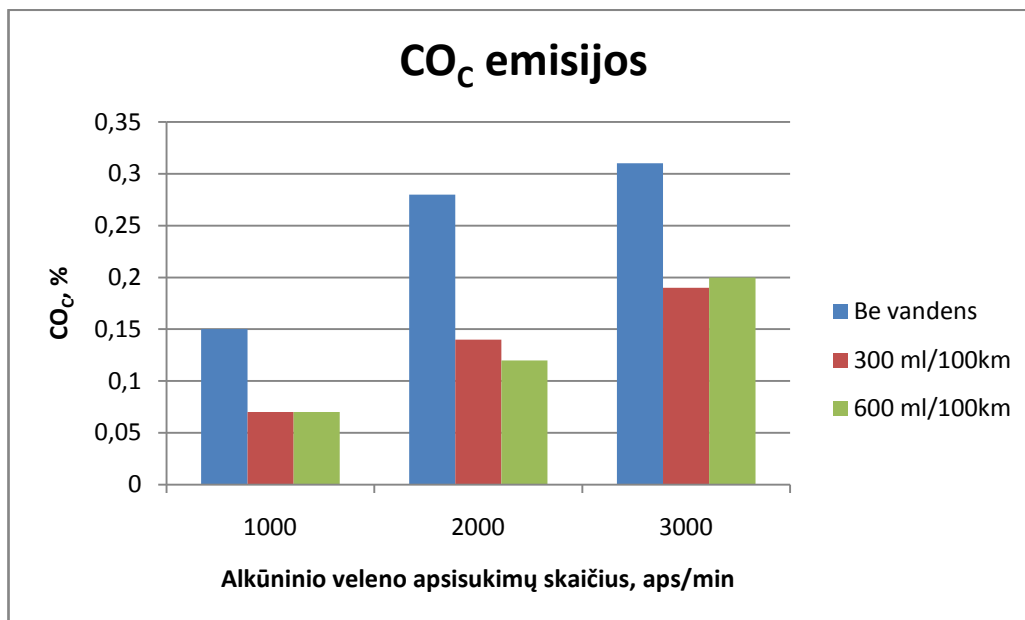
CO dujų sumažėjimas gali būti paremtas ta pačia priežastimi kaip CO<sub>2</sub> emisijų sumažėjimas - slopinamu degimo procesu ir mažesniu sudeginamo degalų kiekiu.

Išmatuotos CO<sub>C</sub> emisijos neįpurškiant vandens, įpurškiant 300 ml/100km vandens kiekį ir įpurškiant 600 ml/100km vandens kiekį pavaizduotos 3.9 lentelė ir 3.14 pav. diagramoje.

3.9 lentelė

Išmatuotų CO<sub>C</sub> emisijų reikšmės

	1000 aps/min	2000 aps/min	3000 aps/min
Be vandens	0,15 %	0,28 %	0,31 %
300 ml/100km	0,07 %	0,14 %	0,19 %
600 ml/100km	0,07 %	0,12 %	0,2 %



3.14 pav. Išmatuotų CO<sub>c</sub> emisijų palyginimas

Kaip matome iš 3.14 pav. vandens įpurškimas į degujį mišinį sumažina CO<sub>c</sub> emisijas iki 50-57%, esant 1000 ir 2000 aps/min ir iki 40%, esant 3000 aps/min. Iš gautų duomenų matyti, kad įpurškiamo vandens kiekis nesudaro didelės įtakos CO<sub>c</sub> emisijų sumažėjimui, esant abiem įpurškiamo vandens kiekiams CO<sub>c</sub> emisijos sumažėjo labai panašiai.

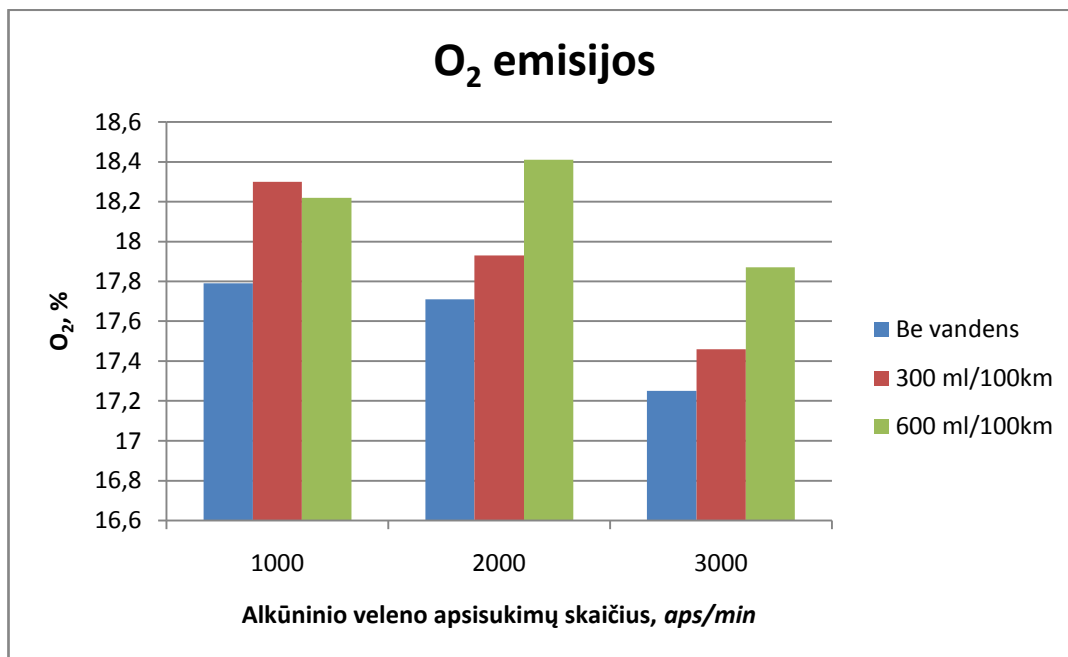
CO<sub>c</sub> emisijos priklauso nuo CO<sub>2</sub> ir CO emisijų kiekio, tad jų mažėjimas taip pat paaiškinamas degimo proceso slopinimu.

Išmatuotos O<sub>2</sub> emisijos neįpurškiant vandens, įpurškiant 300 ml/100km vandens kiekį ir įpurškiant 600 ml/100km vandens kiekį pavaizduotos 3.10 lentelė ir 3.15 pav. diagramoje.

3.10 lentelė

Išmatuotų O<sub>2</sub> emisijų reikšmės

	1000 aps/min	2000 aps/min	3000 aps/min
Be vandens	17,79 %	17,71 %	17,25 %
300 ml/100km	18,3 %	17,93 %	17,46 %
600 ml/100km	18,22 %	18,41 %	17,87 %



3.15 pav. Išmatuotų O<sub>2</sub> emisijų palyginimas

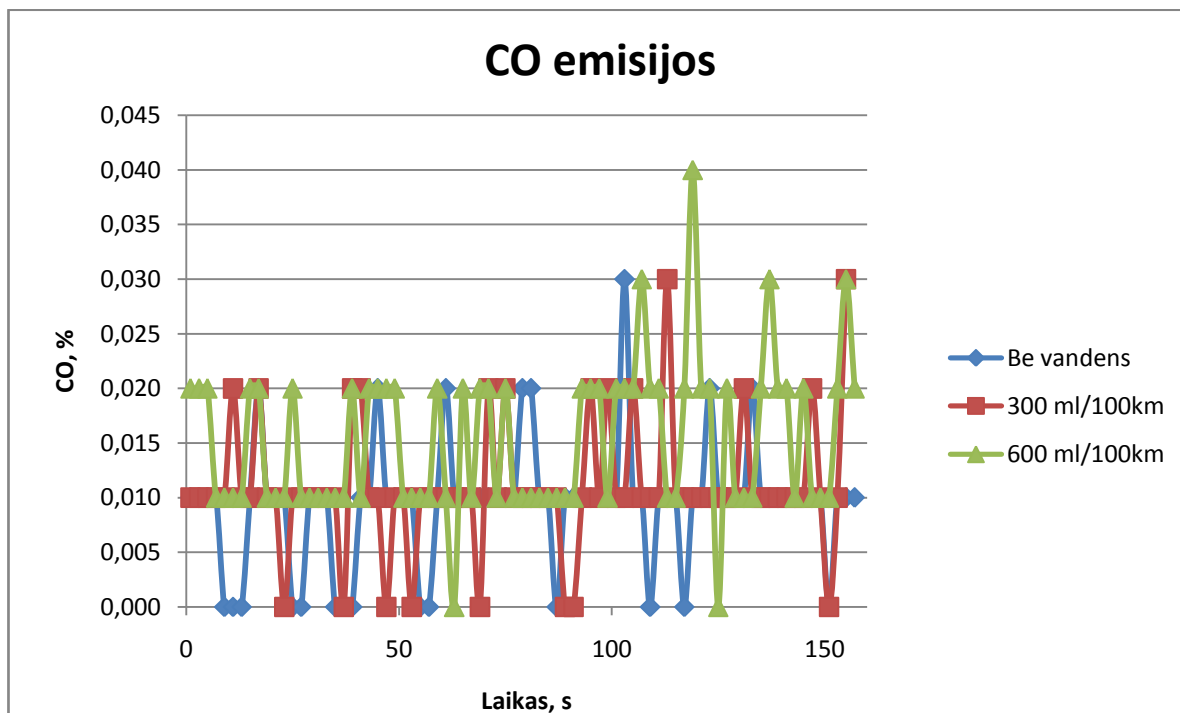
Išmatavus O<sub>2</sub> emisijas, iš gautų rezultatų, kurie pateikti 3.10 lentelėje ir 3.15 pav. diagramoje, matome, kad vandens įpurškimas nežymiai padidina O<sub>2</sub> emisijų kiekį išmetamosiose dujose. O<sub>2</sub> emisijos įpurškiant vandenį į degųjų mišinį didėja nuo 1 iki 4%.

Iš matomo O<sub>2</sub> dujų kiekio išmetamosiose dujose padidėjimo galima teigti, kad į variklį kartu su vandeniu patenka daugiau deguonies, todėl daugiau deguonies yra ir išmetamosiose dujose.

### 3.3.3 Emisijos važavimo metu

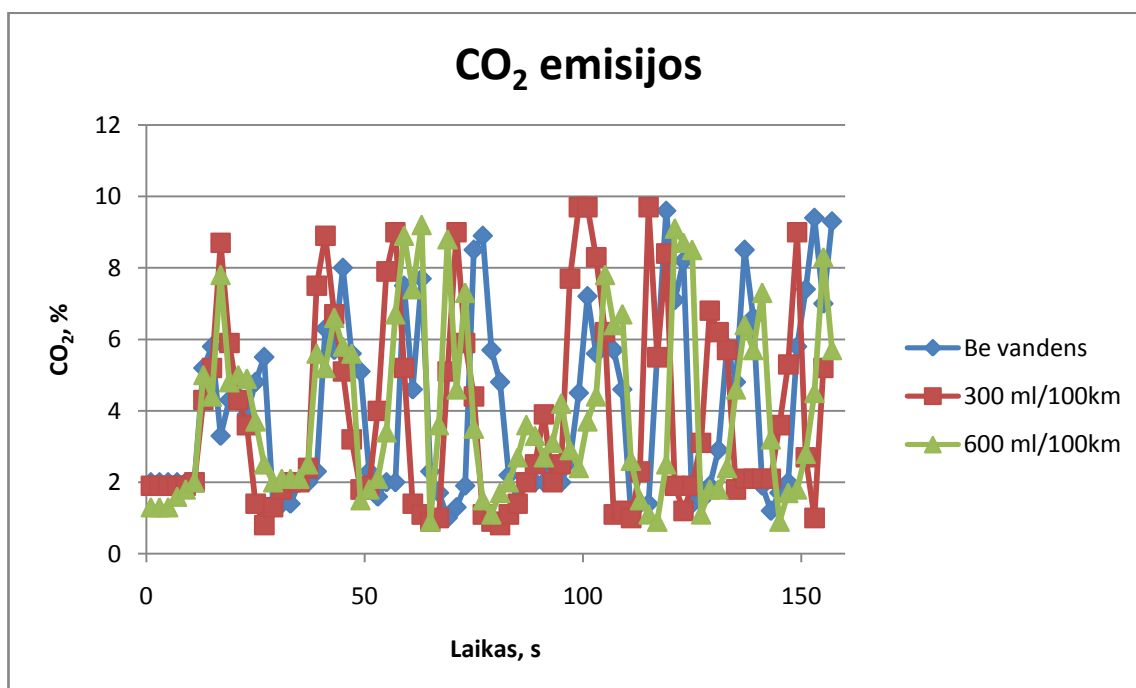
Visos variklio sukuriamos emisijos išmatuotos esant trim skirtingiems vandens kiekiams, neįpurškiant vandens, įpurškiant 300 ml/100km vandens kiekį ir įpurškiant 600 ml/100km vandens kiekį.

Gautos CO emisijos važavimo metu pavaizduotos 3.16 pav.



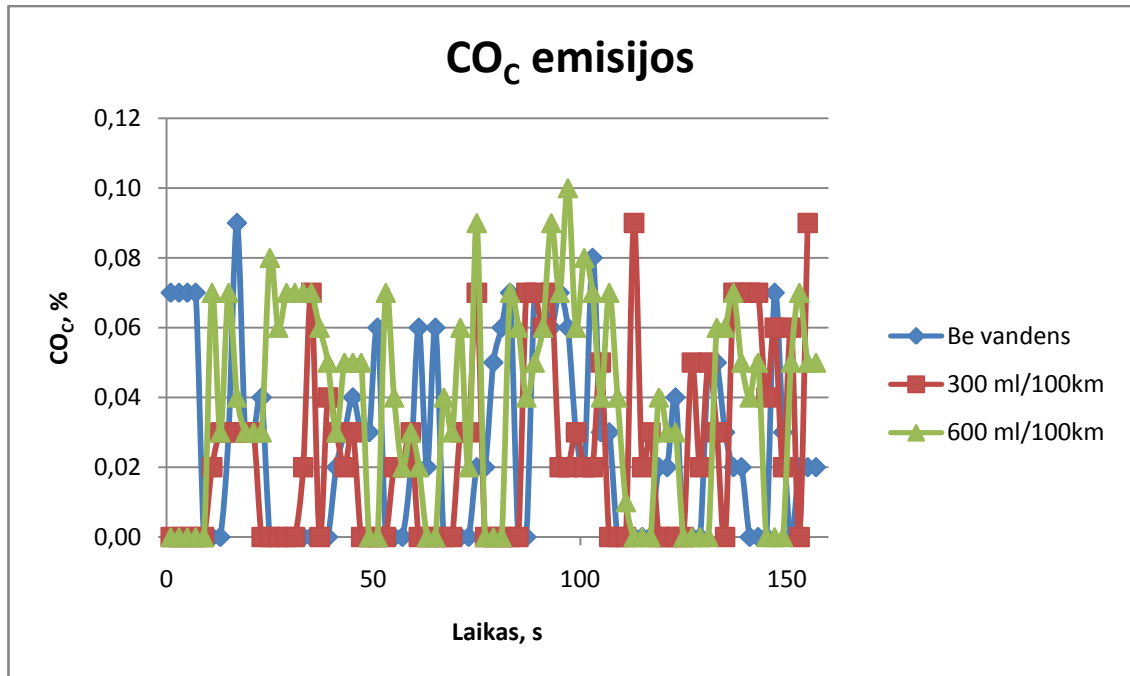
3.16 pav. CO emisijų kitimas važiavimo metu

Kaip matome iš 3.16 pav. diagramos CO emisijos važiavimo metu, įpurškiant skirtingą vandens kiekį, kito nedaug. Neįpurškiant vandens ir įpurškiant 300 ml/100km vandens kiekį, CO emisijos viso maršruto metu buvo beveik identiškos ir svyravo nuo 0 iki 0,03%. Matomas tik nežymus CO emisijų padidėjimas maršruto pabaigoje, kai buvo įpurškiamas 600 ml/100km vandens kiekis.



3.17 pav. CO<sub>2</sub> emisijų kitimas važiavimo metu

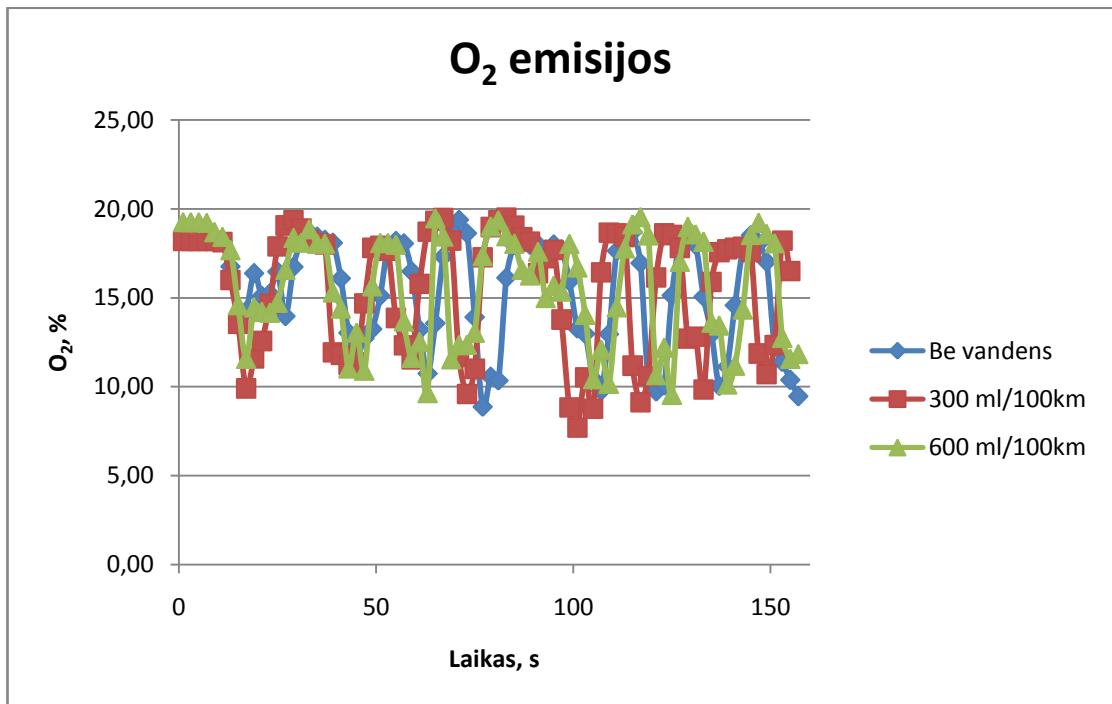
3.17 pav. pavaizduotos CO<sub>2</sub> emisijos važiavimo metu. Kaip matome iš diagramos įpurškiant 600 ml/100km vandens kiekį CO<sub>2</sub> emisijos šiek tiek sumažėjo, lyginant su emisijomis užfiksuotomis nenaudojant vandens ir įpurškiant 300 ml/100km vandens kiekį. Užfiksuotos maksimalios CO<sub>2</sub> emisijų reikšmės važiavimo metu: 9,6% - neįpurškiant vandens, 9,7% - įpurškiant 300 ml/100km vandens kiekį ir 9,2% - įpurškiant 600 ml/100km vandens kiekį.



3.18 pav. CO<sub>c</sub> emisijų kitimas važiavimo metu

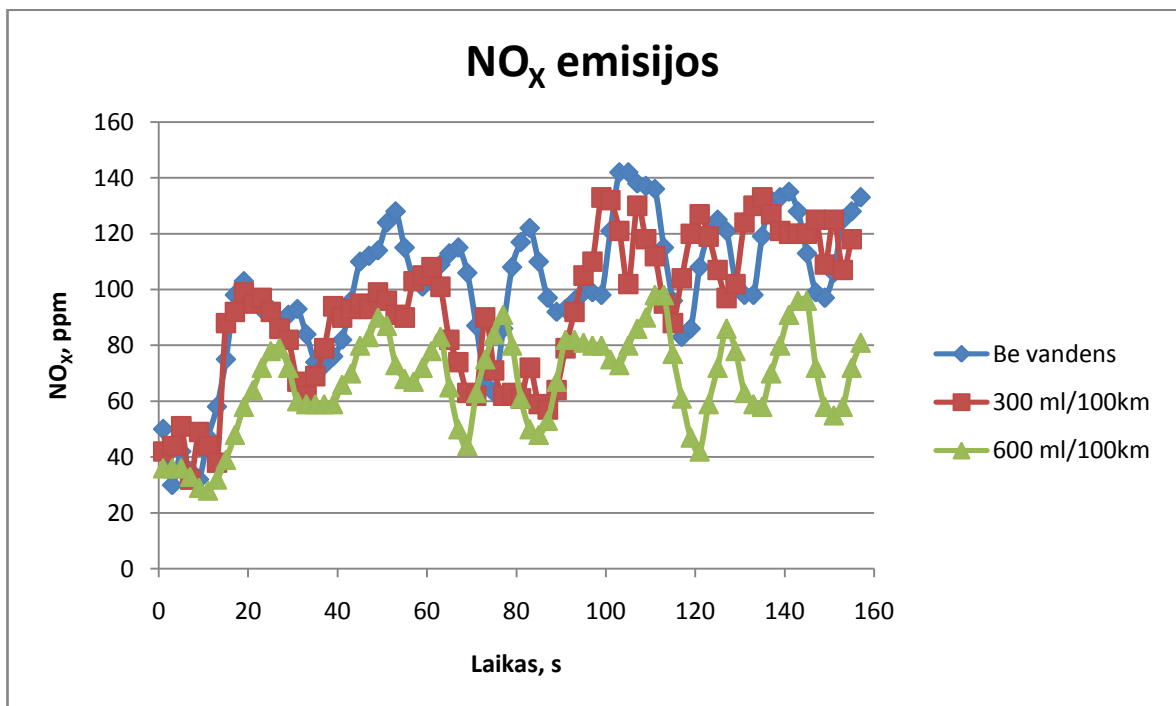
Iš 3.19 pav. pavaizduoto CO<sub>c</sub> emisijų kitimo grafiko, matome, kad vandens įpurškimas į degųjų mišinį didelės įtakos CO<sub>c</sub> emisijoms neturėjo. Gauti panašūs CO<sub>c</sub> emisijų rezultatai visais trim bandytais atvejais: kai vanduo nebuvo įpurškiamas, kai buvo įpurškiama 300 ml/100km vandens kiekis ir kai buvo įpurškiama 600 ml/100km vandens kiekis. Maksimalios užfiksuotos CO<sub>c</sub> emisijų reikšmės: 0,09% - kai vanduo nebuvo įpurškiamas ir kai buvo įpurškiama 300 ml/100km vandens kiekis, taip pat 0,10% - kai buvo įpurškiama 600 ml/100km vandens kiekis.





3.20 pav.  $O_2$  emisijų kitimas važiavimo metu

Kaip matome iš 3.20 pav., variklio sukuriams  $O_2$  emisijoms vandens įpurškimas taip pat nepadarė didelės įtakos. Visame važiuotame maršrute išmatuotos  $O_2$  emisijų reikšmės išliko labai panašios, palyginus su gautais rezultatais kai vanduo buvo įpurškiamas į degųjų mišinį ir kai vanduo į degųjų mišinį nebuvo įpurškiamas.



3.21 pav.  $NO_x$  emisijų kitimas važiavimo metu

Kaip matome iš 3.21 pav. vandens įpurškimas į degujį mišinį keičia variklio sukuriamų NO<sub>x</sub> emisijų skaičių. NO<sub>x</sub> yra vienintelės emisijos, kurioms vandens įpurškimas į degujį mišinį darė pastebimą įtaką važiavimo metu. Lyginant NO<sub>x</sub> emisijas kai vanduo nebuvo įpurškiamas ir kai buvo įpurškiamas 300 ml/100km vandens kiekis didelio skirtumo tarp užfiksuotų rezultatų nepastebima. Matomas tik nežymus NO<sub>x</sub> emisijų sumažėjimas maršruto viduryje, kai buvo įpurškiamas 300 ml/100km vandens kiekis, lyginant su gautais rezultatais, kai vanduo nebuvo įpurškiamas. Tačiau išmatavus NO<sub>x</sub> emisijas, kai buvo įpurškiamas 600 ml/100km vandens kiekis, matomas žymus NO<sub>x</sub> sumažėjimas beveik visame važiavimo maršrute.

Minimalios užfiksuotos NO<sub>x</sub> emisijos skyrėsi nedaug: 30 ppm - kai vanduo nebuvo įpurškiamas, 32 ppm - kai buvo įpurškiamas 300 ml/100km vandens kiekis ir 28 ppm - kai buvo įpurškiamas 600 ml/100km vandens kiekis. Tačiau maksimalios išmatuotos NO<sub>x</sub> emisijos skyrėsi daugiau, ypač, kai buvo įpurškiamas 600 ml/100km vandens kiekis. Maksimalios užfiksuotos NO<sub>x</sub> emisijos: 142 ppm - kai vanduo nebuvo įpurškiamas, 133 ppm - kai buvo įpurškiamas 300 ml/100km vandens ir 98 ppm - kai buvo įpurškiamas 600 ml/100km vandens. Kaip matome maksimalios NO<sub>x</sub> emisijos sumažėjo 31%, lyginant gautą maksimalią reikšmę, kai vanduo nebuvo įpurškiamas ir kai buvo įpurškiamas 600 ml/100km vandens.

### 3.3.3 Degalų sąnaudos

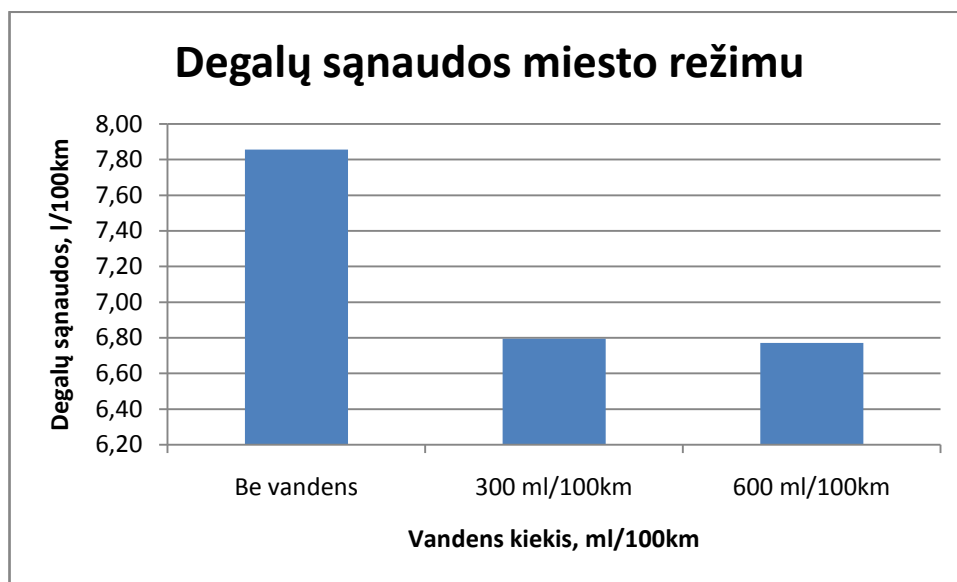
Degalų sąnaudos išmatuotos įpurškiant tris skirtingus vandens kiekius (0 ml/100km, 300 ml/100km ir 600ml/100km) ir trim skirtingais režimais (miesto, užmiesčio ir laisvai alkūninio veleno apsisukimais).

Degalų sąnaudos miesto režimu esant skirtingam įpurškiamo vandens kiekiui pavaizduotos 3.10 lentelėje ir 3.22 pav. diagramoje.

3.10 lentelė

Išmatuotos degalų sąnaudos miesto režimu

	Prieš, kg	Po, kg	Skirtumas, kg	Sąnaudos, l/10km	Sąnaudos, l/100km	Skirtumas, l (100km)	Skirtumas, % (100km)
Be vandens	0,866	0,214	0,652	0,79	7,86		
300 ml/100km	0,933	0,369	0,564	0,68	6,80	1,06	-13,50
600 ml/100km	0,966	0,404	0,562	0,68	6,77	1,08	-13,80



3.22 pav. Degalų sąnaudų pokytis miesto režimu

Kaip matome iš 3.10 lentelėje ir 3.22 pav. diagramoje pateiktų duomenų, degalų sąnaudos, įpurškiant vandenį į degųjį mišinį, sumažėjo. Neįpurškiant vandens išmatuotos degalų sąnaudos buvo 7,86 litro 100 kilometrų, o įpurškiant 300 ml/100km vandens kiekį sumažėjo iki 6,80 litro šimtui kilometrų. Įpurškiant 600 ml/100km degalų sąnaudos dar sumažėjo, tačiau labai nežymiai - iki 6,77 litro šimtui kilometrų. Išmatuotų sąnaudų skirtumas yra 1,06 l/100km (13,50%) ir 1,08 l/100km (13,80%) prie atitinkamo įpurškiamo vandens kiekio - 300 ml/100km ir 600 ml/100km.

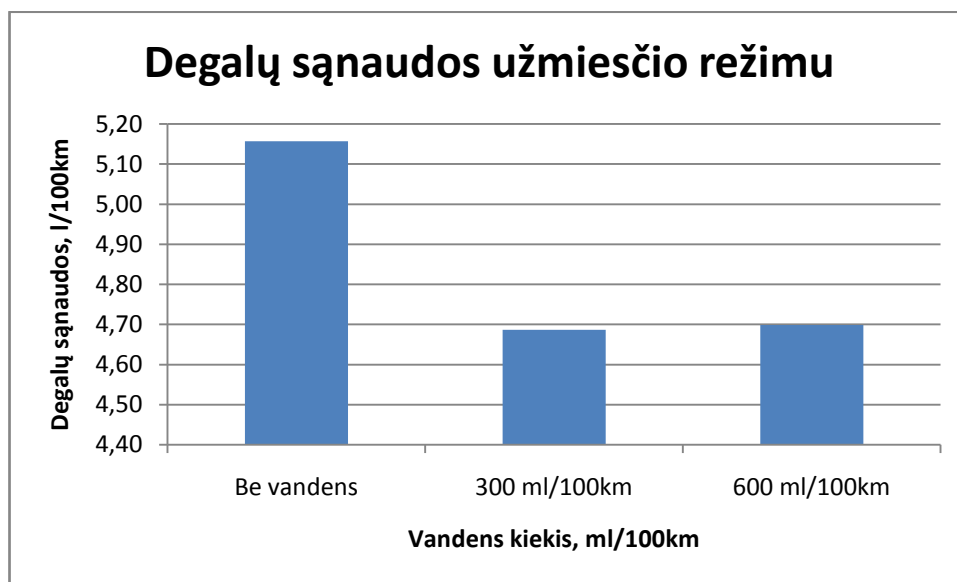
Gamintojo deklaruojamos degalų sąnaudos miesto režimu yra 8,1 l/100km [12].

Degalų sąnaudos užmiesčio režimu esant skirtingam įpurškiamo vandens kiekiui pavaizduotos 3.11 lentelėje ir 3.23 pav. diagramoje.

3.11 lentelė

#### Išmatuotos degalų sąnaudos užmiesčio režimu

	Prieš, kg	Po, kg	Skirtumas, kg	Sąnaudos, l/10km	Sąnaudos, l/100km	Skirtumas, l (100km)	Skirtumas, % (100km)
Be vandens	1,003	0,575	0,428	0,52	5,16		
300 ml/100km	0,945	0,556	0,389	0,47	4,69	0,47	-9,11
600 ml/100km	1,014	0,624	0,39	0,47	4,70	0,46	-8,88



3.23 pav. Degalų sąnaudų pokytis užmiesto režimu

Panašūs rezultatai gauti ir matuojant sąnaudas užmiesto režimu. Nepurškiant vandens išmatuotos degalų sąnaudos buvo 5,16 l/100km, įpurškiant 300 ml/100km vandens kiekį užfiksuotos 4,69 l/100km degalų sąnaudos, o įpurškiant 600 ml/100km degalų sąnaudos lyginant su mažesniu vandens kiekiu labai nežymiai padidėjo, iki 4,7 l/100km. Išmatuotų sąnaudų užmiesto režimu, skirtumas buvo atitinkamai 0,47 (9,11%) ir 0,46 (8,88%) l/100km.

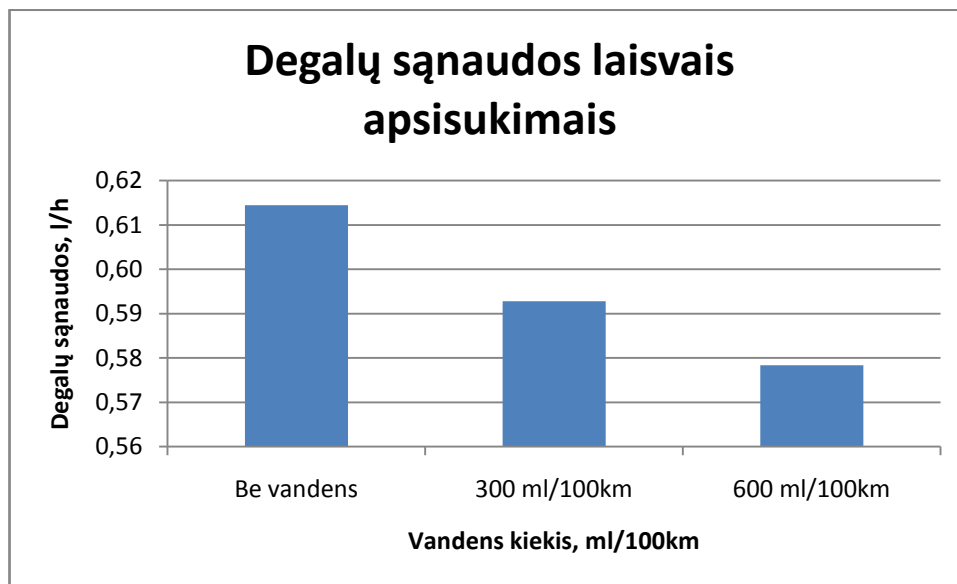
Gamintojo deklaruojamos degalų sąnaudos miesto režimu yra 5,0 l/100km [12].

Degalų sąnaudos laisvais alkūninio veleno apsisukimais esant skirtingam įpurškiamo vandens kiekiui pavaizduotos 3.24 lentelėje ir 3.12 pav. diagramoje.

3.12 lentelė

Išmatuotos degalų sąnaudos laisvais alkūninio veleno apsisukimais

	Prieš, kg	Po, kg	Skirtumas, kg	Sąnaudos, l/10min	Sąnaudos, l/h	Skirtumas, l (per 1h)	Skirtumas %
Be vandens	0,575	0,49	0,085	0,10	0,61		
300 ml/100km	0,581	0,499	0,082	0,10	0,59	0,02	-3,53
600 ml/100km	0,978	0,898	0,08	0,10	0,58	0,04	-5,88



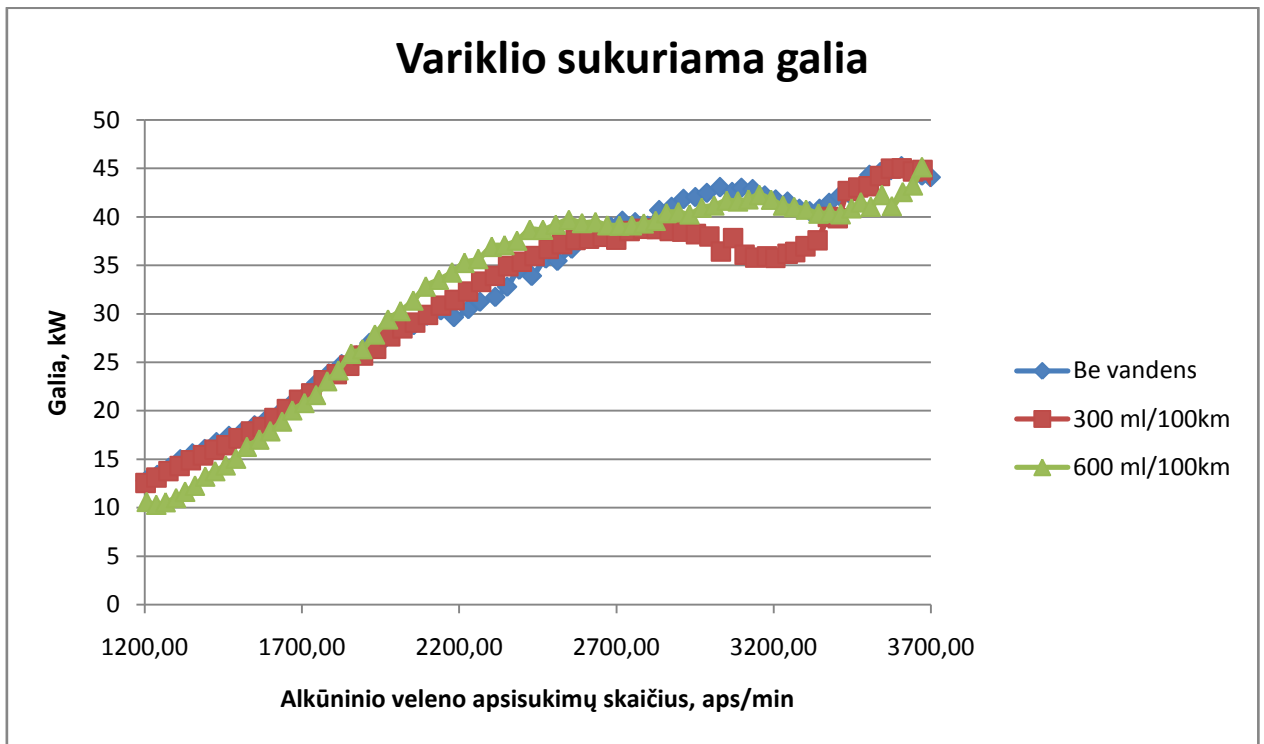
3.24 pav. Degalų sąnaudų, varikliui dirbant laisvais alkūninio veleno apsisukimais, kitimas

Kaip matome iš 3.12 lentelės ir 3.24 pav. diagramos vanduo įpurškiamas į degųjų mišinį daro labai nedidelę įtaką degalų sąnaudoms, esant laisviems alkūninio veleno apsisukimams. Degalų sąnaudos sumažėjo nuo 0,61 l/h iki 0,59 l/h įpurškiant 300 ml/100km vandens ir iki 0,58 l/h įpurškiant 600 ml/100km vandens kiekį.

Degalų sąnaudų sumažėjimas gali būti paaiškintas tuo, kad vanduo, įpurškiamas į oro įsiurbimo angą, atvėsina į variklį tiekiamą orą, todėl padidėja oro tankis ir todėl tam pačiam kiekiui oro reikalingas mažesnis degalų kiekis - galima į variklį tiekti liesesnį oro/degalų mišinį.

### 3.3.4 Variklio sukuriama galia

Panaudojus Race Technology DL1 duomenų kaupiklį išmatuota variklio sukuriama galia neįpurškiant vandens į degųjų mišinį, įpurškiant 300 ml/100km ir įpurškiant 600 ml/100km vandens kiekį. Gauti rezultatai pavaizduoti 3.25 pav. grafike.



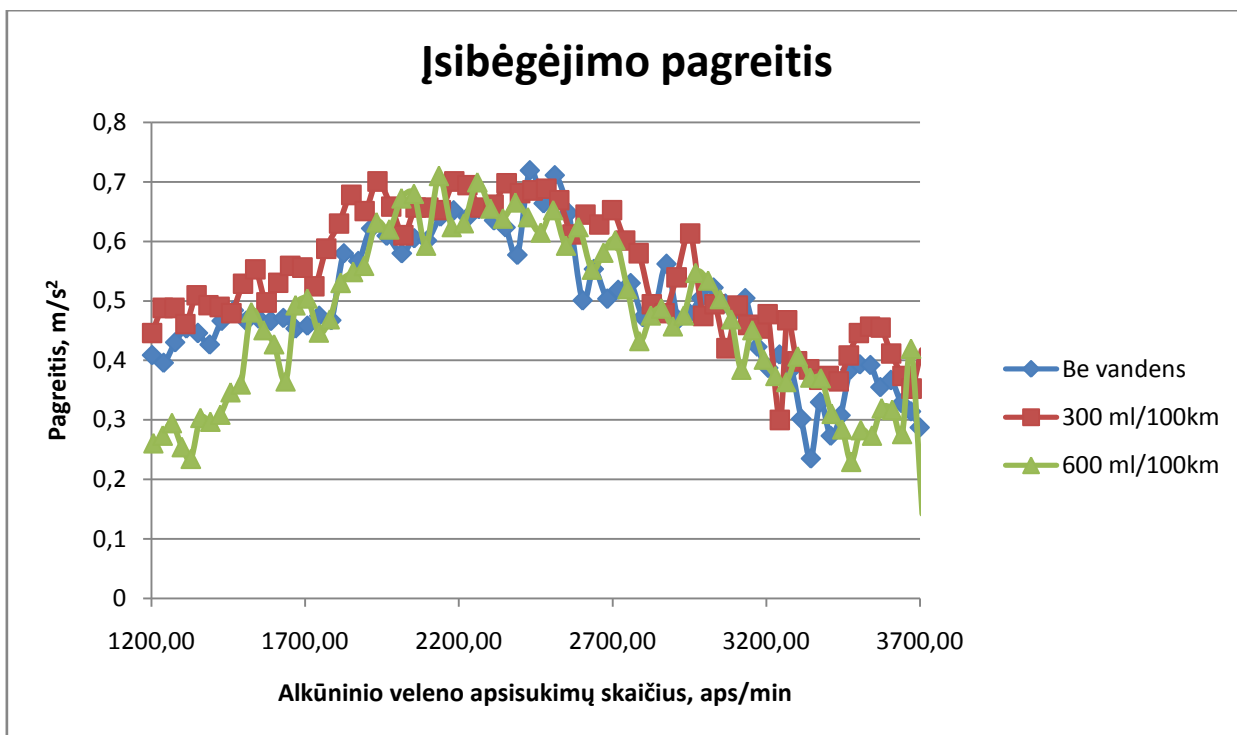
3.25 pav. Išmatuota variklio sukuriama galia

Kaip matome iš 3.25 pav. vandens įpurškimas į degųjų mišinį didelės įtakos variklio sukuriamai galiais neturi. Didžiausias skirtumas matomas tarp 3000 ir 3500 aps/min kur įpurškiant 300 ml/100km vandens kiekį matomas nežymus galios sumažėjimas, lyginant su gautais rezultatais, kai vanduo nebuvo įpurškiamas ir kai buvo įpurškiamas 600 ml/100km vandens kiekis. Taip pat matome, kad įpurškiant 600 ml/100km vandens kiekį, variklio galingumas prie mažo alkūninio veleno apsisukimų skaičiaus yra šiek tiek mažesnis, tačiau alkūninio veleno apsisukimų skaičiui padidėjus galia padidėja ir viršija išmatuotą galią, kai vanduo nebuvo įpurškiamas.

Iš gautų duomenų matome, kad vandens įpurškimas gali padidinti variklio sukuriamą galią, tačiau labai nežymiai. Norint pasiekti geresnių rezultatų ir mažesnių galios nuostolių prie tam tikrų alkūninio veleno apsisukimų skaičiaus reiktų kitokio įrangos derinimo, labiau pritaikyto būtent šiam varikliui. Tačiau nors ir prie kai kurių alkūninio veleno apsisukimų skaičiaus matomi galios nuostoliai įpurškiant vandenį, maksimali variklio pasiekama galia visais atvejais buvo labai panaši: 45,19 kW - neįpurškiant vandens, 45,00 kW - įpurškiant 300 ml/100km vandens kiekį ir 45,12 kW - įpurškiant 600 ml/100km vandens kiekį.

### 3.3.5 Automobilio įsibėgėjimo pagreitis

Panaudojus Race Technology DL1 duomenų kaupiklį, išmatuotas įsibėgėjimo pagreitis neįpurškiant vandens į degųjų mišinį, įpurškiant 300 ml/100km ir įpurškiant 600 ml/100km vandens kiekį. Gauti rezultatai pavaizduoti 3.26 pav. grafike.



3.26 pav. Išmatuotas įsibėgėjimo pagreitis

Kaip matome iš 3.26 pav. įsibėgėjimo pagreitis prie mažų alkūninio veleno apsisukimų skaičiaus įpurškiant 600 ml/100km vandens kiekį yra mažesnis negu įsibėgėjimo pagreitis gautas, kai vanduo nebuvo įpurškiamas ir kai buvo įpurškiamas 300 ml/100km vandens kiekis. Tačiau vėliau pagreitis suvienodėja. Mažesnis įsibėgėjimo pagreitis įpurškiant 600 ml/100km vandens kiekį gali būti paaiškintas tuo, kad prie mažų alkūninio veleno apsisukimų vandens kiekis tiekiamas iš sistemos yra per didelis ir jis per daug slopina degimo procesą, dėl to prarandama galia ir sumažėja įsibėgėjimo pagreitis. Norint, kad įsibėgėjimo pagreitis būtų didesnis naudojant 600 ml/100km vandens kiekį reikėtų sureguliuoti sistemą taip, kad prie mažų alkūninio veleno apsisukimų sistema tiektų mažesnę vandens kiekį.

Nors ir matomas įsibėgėjimo pagreičio sumažėjimas prie mažų alkūninio veleno apsisukimų skaičiaus, maksimaliam pasiekiamam pagreičiui tai didelės įtakos neturi. Visais atvejais maksimalus įsibėgėjimo pagreitis buvo labai panašus:  $0,719 \text{ m/s}^2$  - neįpurškiant vandens,  $0,7 \text{ m/s}^2$  - įpurškiant 300 ml/100km vandens kiekį ir  $0,709 \text{ m/s}^2$  - įpurškiant 600 ml/100km vandens kiekį.

### 3.4 Apibendrinimas

Atlikus vandens įpurškimo į degųjų mišinį įtakos vidaus degimo variklio parametrų tyrimą nustatyta, kad visos išmatuotos emisijos sumažėjo, išskyrus  $\text{O}_2$  emisijas, kurios padidėjo iki 4 %. Taip pat pastebėta, kad emisijos mažėja didėjant įpurškiamo vandens kiekiui.

CO emisijos mažėjo iki 50%, t.y. nuo 0,04 iki 0,02% esant 2000 alkūninio veleno apsisukimų skaičiui. CO<sub>2</sub> emisijos mažėjo iki 15% ir taip pat pastebėtas proporcingas CO<sub>2</sub> emisijų mažėjimas, įpurškiant didesnį kiekį vandens. CO<sub>C</sub> emisijos mažėjo iki 57%, t.y. nuo 0,28 iki 0,12%. NO<sub>x</sub> emisijos sumažėjo iki 30%, t.y. nuo 20 iki 14 ppm, esant 3000 aps/min.

Išmatavus emisijas važiavimo metu didelių pakitimų CO, CO<sub>2</sub>, CO<sub>C</sub> ir O<sub>2</sub> dujų išmetamųjų dujų kiekyje nepastebėta. Aiškus pokytis buvo matomas tik NO<sub>x</sub> emisijose, kai buvo įpurškiamas 600 ml/100km vandens kiekis.

Išmetamųjų dujų optinis tankis įpurškiant vandenį taip pat sumažėjo priklausomai nuo įpurškiamo vandens kiekio. Didžiausias išmetamųjų dujų optinio tankio sumažėjimas užfiksuotas įpurškiant 600 ml/100km vandens kiekį prie 3000 aps/min, lyginant su gautais duomenimis kai vanduo nebuvo įpurškiamas, dūmingumas sumažėjo 52%, t.y. nuo 21 iki 10%.

Išmatavus degalų sąnaudas pastebėta, kad degalų sąnaudos sumažėjo naudojant vandens įpurškimo sistemą. Didžiausias degalų sąnaudų sumažėjimas pastebėtas miesto režimu, šiek tiek mažesnis užmiesčio ir labai minimalus varikliui dirbant tuščia eiga.

Matuojant variklio galią ir įsibėgėjimo pagreitį pastebėti tam tikri galios ir įsibėgėjimo pagreičio sumažėjimai įpurškiant vandenį į degųjų mišinį, tačiau maksimali variklio pasiekiamą galia ir sukuriamas įsibėgėjimo pagreitis buvo labai panašūs į tuos, kurie išmatuoti kai vanduo nebuvo įpurškiamas.



## IŠVADOS

1. Aprašytas pasirinktas vandens įpurškimo į oro padavimo angą, prieš turbokompresorių, vandens pridėjimo į degųjų mišinį būdas. Aprašyta tyrimo metu naudojama sistema, jos kalibravimas ir veikimo principas. Taip pat sudaryta sistemos principinė schema.

2. SolidWorks Flow Simulation programa patikrintas oro srauto pasiskirstymas įsiurbimo kolektoriuje, gauti rezultatai rodo, kad smulkiais lašeliais įpurškiamas mažas vandens kiekis nedaro įtakos oro srauto pasiskirstymui oro įsiurbimo kolektoriuje. Abiem modeliuotais atvejais oras tolygiai pasiskirstė į visus keturis variklio cilindrus.

3. Išmatavus dyzelinio variklio išmetamųjų dujų optinį tankį pastebėta, kad šis parametras mažėja didinant įpurškiamo vandens kiekį. Didžiausias sumažėjimas prie 3000 alkūninio veleno apsisukimų per minutę, nuo 21%, kai vanduo nebuvo įpurškiamas, iki 15%, kai buvo įpurškiama 300 ml/100km vandens ir iki 10% kai buvo įpurškiama 600 ml/100km vandens, kas atitinka sumažėjimą 28,5% ir 52%.

4. CO<sub>2</sub> dujų koncentracija nežymiai mažėjo pradėjus įpurkšti vandenį į degųjų mišinį. Šių dujų koncentracija mažėjo nuo 4 iki 14%. Taip pat pastebėta, kad prie didesnio įpurškiamo vandens kiekio, dujų koncentracijos sumažėjimas yra didesnis. Išmatavus NO<sub>x</sub> dujų koncentraciją pastebėtas aiškus šių dujų koncentracijos mažėjimas, priklausantis nuo įpurškiamo vandens kiekio. Didžiausios NO<sub>x</sub> koncentracijos, prie atitinkamų sūkių, užfiksuotos bandymo metu, kai vanduo nebuvo įpurškiamas, o didinant įpurškiamo vandens kiekį - dujų koncentracija proporcingai mažėjo. NO<sub>x</sub> dujų koncentracijos sumažėjimas prie visų alkūninio veleno apsisukimų skaičiaus yra panašus, įpurškiant 300 ml/100km vandens NO<sub>x</sub> emisijos mažėjo nuo 16 iki 25%, o įpurškiant 600 ml/100km vandens kiekį, mažėjo nuo 25 iki 30%. Nustačius CO ir CO<sub>c</sub> dujų koncentraciją, pastebėtas jų sumažėjimas pradėjus įpurkšti vandenį. CO emisijos mažėjo nuo 0,05 iki 0,03% esant 3000 aps/min, o CO<sub>c</sub> emisijos mažėjo nuo 0,31 iki 0,19%. Išmatavus O<sub>2</sub> emisijas pastebėtas nežymus šių dujų koncentracijos didėjimas, kai buvo pradėta naudoti vandens įpurškimo sistema. Santykinis šių dujų padidėjimas svyravo nuo 1 iki 4%.

5. Išmatavus emisijas važiavimo metu didelių pakitimų CO, CO<sub>2</sub>, CO<sub>c</sub> ir O<sub>2</sub> dujų koncentracijose nepastebėta. Emisijos kito labai nežymiai. Išmatavus NO<sub>x</sub> dujų koncentraciją važiavimo metu, pastebėta panaši tendencija į užfiksuotas NO<sub>x</sub> koncentracijas, kai emisijos buvo matuojamos prie tam tikrų alkūninio veleno apsisukimų skaičiaus. Didžiausias NO<sub>x</sub> emisijų sumažėjimas matomas, kai buvo įpurškiamas 600 ml/100km vandens kiekis.

6. Išmatuotos degalų sąnaudos buvo skirtingos lyginant jas kai vandens įpurškimas nebuvo naudojamas ir kai vandens įpurškimo sistema pradėta naudoti. Tačiau degalų sąnaudos prie skirtingo įpurškiamo vandens kiekio skyrėsi labai nedaug arba iš vis nesiskyrė. Degalų sąnaudos miesto režimu sumažėjo nuo 7,86 l/100km iki 6,80 l/100km, įpurškiant 300 ml/100km vandens kiekį ir iki 6,77 l/100km, įpurškiant 600 ml/100km vandens kiekį, kas yra sumažėjimas 1,06 l/100km ir 1,08 l/100km prie atitinkamo vandens kiekio. Užmiesto režimu sąnaudų sumažėjimas yra šiek tiek mažesnis.

Sąnaudos sumažėjo nuo 5,16 l/100km iki 4,69 l/100km, įpurškiant 300 ml/100km vandens kiekį ir iki 4,70 l/100km, įpurškiant 600 ml/100km vandens kiekį, kas yra sumažėjimas 0,47 l/100km ir 0,46 l/100km prie atitinkamo vandens kiekio. Degalų sąnaudos varikliui dirbant tuščia eiga skyrėsi labai nedaug. Didžiausias užfiksuotas skirtumas buvo 0,04 l/h.

7. Išmatavus variklio sukuriamą galią ir automobilio įsibėgėjimo pagreitį didelių skirtumų, nenaudojant vandens įpurškimo ir jį naudojant nepastebėta. Prie kai kurių variklio alkūninio veleno apsisukimų skaičiaus vandens įpurškimo sistemos naudojimas sumažino variklio sukuriamą galią ir automobilio įsibėgėjimo pagreitį, tačiau prie kai kurių ir padidino. Nepaisant to, visais atvejais išmatuota maksimali galia ir įsibėgėjimo pagreitis buvo labai panašios reikšmės.

8. Palyginus tyrimo metu gautus rezultatus su literatūros apžvalgoje aprašytais panašaus tyrimo rezultatais matoma, kad abiem atvejais užfiksuotas panašus emisijų ir degalų sąnaudų pokytis.

9. Atlikus tyrimą matome, kad vandens įpurškimo į degujį mišinį naudojimas turėjo teigiamo įtakos išmetamųjų dujų optinio tankio ir NO<sub>x</sub> emisijų sumažinimui. Taip pat pastebėtas degalų sąnaudų sumažėjimas, tačiau norint plačiau ištirti įtaką vidaus degimo variklio parametrų ir ilgaamžiškumui, reikėtų atlikti daugiau bandymų su vandens įpurškimo sistema.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Skvireckas R., Makaras R. Kelių transporto priemonių priežiūra ir remontas. Kaunas: Technologija, 2012. 48p.
2. Vandens įpurškimo sistemos instrukcija, 2009, 17p.
3. Bell C. Maximum boost. JAV: Bentley publishers, 1999. 207p.
4. Automobilių su dyzeliniais varikliais išmetamųjų dujų dūmingumas. 2000, kovas. [žiūrėta 2015-05-07]. Prieiga per internetą: [http://www3.lrs.lt/pls/inter2/dokpaieska.showdoc\\_1?p\\_id=97168](http://www3.lrs.lt/pls/inter2/dokpaieska.showdoc_1?p_id=97168)
5. Cars of futures past - 1962 - 1963 Oldsmobile Jetfire [žiūrėta 2015-05-13]. Prieiga per internetą: <http://blog.hemmings.com/index.php/2013/04/18/yesterdays-car-of-tomorrow-1962-1963-oldsmobile-jetfire/>
6. DL1 Connector details. [žiūrėta 2015-05-15]. Prieiga per internetą: <http://www.race-technology.com/wiki/index.php/DL1/Connections>
7. DL1 / TechSpecification. [žiūrėta 2015-05-15]. Prieiga per internetą: <http://www.race-technology.com/wiki/index.php/DL1/TechSpecification>
8. G2IC Turbo guide. [žiūrėta 2015-05-08]. Prieiga per internetą: <http://www.beesandgoats.com/boostfaq/g2icturbo.html>
9. How It Works: Water Methanol Injection. [žiūrėta 2015-05-04]. Prieiga per internetą: <http://www.dieselarmy.com/engine-tech/how-it-works/how-it-works-water-methanol-injection/>
10. Tech Feature: Custom Racing Intake Manifolds [žiūrėta 2015-05-12]. Prieiga per internetą: <http://www.enginelabs.com/engine-tech/tech-feature-custom-racing-intake-manifolds/>
11. Tecnomotor Gas Analyzer 810. [žiūrėta 2013-05-17]. Prieiga per internetą: [http://www.costagarcia.pt/images/Tecnomotor/Tecnomotor\\_Car\\_2010\\_LP.pdf](http://www.costagarcia.pt/images/Tecnomotor/Tecnomotor_Car_2010_LP.pdf)
12. Volkswagen Golf 1.9 TD GL 1992 - 1997. [žiūrėta 2015-05-19]. Prieiga per internetą: <http://www.cars-data.com/en/volkswagen-golf-1.9-td-gl-specs/50201>
13. Water/Alcohol Injection "How-To". [žiūrėta 2015-05-07]. Prieiga per internetą: <http://www.turbomirage.com/water.html>
14. Water in Diesel Combustion. [žiūrėta 2015-05-08]. Prieiga per internetą: [https://www.dieselnet.com/tech/engine\\_water.php](https://www.dieselnet.com/tech/engine_water.php)
15. Water injection. [žiūrėta 2015-05-08]. Prieiga per internetą: [http://tesla3.com/free\\_websites/water\\_injection.html](http://tesla3.com/free_websites/water_injection.html)
16. Water Injection - Alcohol and Methanol - Stop Knock - How It Works and FAQs. [žiūrėta 2015-05-04]. Prieiga per internetą: <http://www.engineunup.com/>
17. Water injection (engine). [žiūrėta 2015-05-02]. Prieiga per internetą: [http://en.wikipedia.org/wiki/Water\\_injection\\_%28engine%29](http://en.wikipedia.org/wiki/Water_injection_%28engine%29)

18. Water Injection Effects on the Performance and Emission Characteristics of a CI Engine Operating with Biodiesel [žiūrēta 2015-05-10]. Prieiga per internetu: [http://eprints.hud.ac.uk/9678/1/Belachew\\_](http://eprints.hud.ac.uk/9678/1/Belachew_)

## **PRIEDAI**

### **P-1 AUTOMOBILIAI SU DYZELINIAIS VARIKLIAIS. IŠMETAMŲJŲ DUJŲ DŪMINGUMAS NORMOS IR MATAVIMO METODAI**

#### **LAND 15-2000**

Vadovaujantis Lietuvos Respublikos aplinkos apsaugos įstatymu (Žin., 1992, Nr. 5-75; 1997, Nr. 65-1540) bei Aplinkos ministerijos nuostatais (Žin., 1998, Nr. 84-2353), Aplinkos ministerijos patvirtinti aplinkos apsaugos reikalavimai yra privalomi visiems Lietuvos Respublikos juridiniams ir fiziniams asmenims bei įmonėms, neturinčioms juridinio asmens teisių.

#### **I. TAIKYMO SRITIS**

1. Šis normatyvinis dokumentas taikomas Lietuvos Respublikoje įregistruotiems, taip pat įregistruotiems užsienyje ir važiuojantiems Lietuvos Respublikos keliuose automobiliams su dyzeliniais varikliais (toliau - varikliai). Jis reglamentuoja automobilių variklių dūmingumo (toliau - dūmingumas) normas bei matavimo metodus.

2. Šis normatyvinis dokumentas netaikomas automobiliams, kurių gamintojo nustatytas maksimalus greitis neviršija 25 km/h, taip pat kurie pagaminti iki 1980 m. sausio 1 d.

#### **II. NUORODOS**

3. Normatyvinis dokumentas parengtas vadovaujantis:

3.1. Tarybos direktyva 96/96/EC 1996 09 20 dėl valstybių narių įstatymų, reglamentuojančių autotransporto priemonių ir jų priekabų patikrinimus dėl tinkamumo eksploatuoti keliuose derinimo (Council Directive 96/96/EC of 20 December 1996 on the approximation of the laws of the Member States relating to roadworthiness tests for motor vehicles and their trailers. OJ NoL046 p. 1, 1997/02/17);

3.2. Komisijos direktyva 1999/52/EC, pakoreguojančia pagal techninę pažangą Tarybos direktyvą 96/96/EC dėl valstybių narių įstatymų, susijusių su motorinių transporto priemonių ir priekabų technine apžiūra, derinimo (Commission Directive 1999/52/EC of 26 May 1999 adapting to technical progress Council Directive 96/96/EC on the approximation of the laws of the Member States relating to roadworthiness tests for motor vehicles and their trailers. OJ NoL142 p.26, 1999 06 05);

3.3. LST ISO 3173:1998. Kelių transporto priemonės. Prietaisai nekintamu režimu veikiančių dyzelinių variklių išmetamųjų dujų neskaidrumui matuoti (ISO 3173-74. Road vehicles. Apparatus for

measurement of the opacity of exhaust gas from diesel engines operating under steady state conditions);

3.4. LST ISO 7644:1998. Kelių transporto priemonės. Kompresinio uždegimo (dyzelinių) variklių išmetamųjų dujų neskaidrumo matavimas. Bandytas imitaciniame važiavimo stende (ISO 7644-88. Road vehicles. Measurement of opacity of exhaust gas from compression ignition (diesel) engines. Lug-down test);

3.5. LST ISO/TR 9310:1998. Kelių transporto priemonės. Kompresinio uždegimo (dyzelinių) variklių dūmingumo matavimas. Trumpų eksploataavimo bandymų apžvalga. (ISO/TR 9310-87. Road vehicles. Smoke measurement of compression-ignition (diesel) engines. Survey of short in-service tests).

### III. TERMINAI IR APIBRĖŽIMAI

4. Šiame normatyviniame dokumente vartojami terminai:

4.1. **automobilis** - vidaus degimo variklio varoma mechaninė kelių transporto priemonė, turinti keturis arba daugiau ratų, važiuojanti ne bėgiais ir naudojama:

- žmonėms ir (arba) kroviniams vežti;
- vilkti kelių transporto priemones, skirtas žmonėms ir (arba) kroviniams vežti;
- specialioms darbo funkcijoms ir (arba) technologiniams procesams atlikti;

4.2. **dyzelinis variklis** - įrenginys, kuriame suslėgtu oru uždegus degalus cilindruose gauta šiluminė energija paverčiama mechanine;

4.3. **dūmingumas** - išmetamųjų dujų neskaidrumo skaitmeninė vertė, išreiškiama šviesos absorbcijos koeficientu arba optiniu tankiu;

4.4. **degalai** - degiosios medžiagos vidaus degimo varikliams.

### IV. TECHNINIAI REIKALAVIMAI

5. Bendrieji reikalavimai:

5.1. dūmingumas turi būti vertinamas:

5.1.1. valstybinių techninių apžiūrų metu;

5.1.2. atliekant kontrolinius automobilių išmetamųjų dujų patikrinimus;

5.1.3. atliekant transporto priemonių priežiūrą, kai reguliuojami arba remontuojami sistemos arba mazgai, turintys įtakos dūmingumui;

5.1.4. kitais Lietuvos Respublikos įstatymų bei teisės aktų numatytais atvejais;

5.2. dūmingumo matavimai turi būti atliekami vadovaujantis šio normatyvinio dokumento 6 punkto reikalavimais;

5.3. matavimo prietaisai turi atitikti šio normatyvinio dokumento 7 punkto reikalavimus;

5.4. dūmingumas neturi viršyti šio normatyvinio dokumento 8 punkte nustatytų normų.

6. Dūmingumo matavimo tvarka:

6.1. vertinant dūmingumą, automobilio variklis turi būti įšilęs;

6.2. automobilio dujų išmetimo sistema turi būti sandari, joje privalo būti visi gamintojo numatyti elementai;

6.3. dūmingumas vertinamas varikliui veikiant laisvojo greitėjimo režimu. Pavarų perjungimo svirtis turi būti neutralioje padėtyje, sankaba turi būti įjungta;

6.4. matavimai vykdomi tokia tvarka:

6.4.1. dūmomatis paruošiamas matavimams pagal gamintojo pateiktą naudojimo instrukciją;

6.4.2. vykdomi ne mažiau kaip trys laisvojo greitėjimo ciklai arba išmetimo sistemos prapūtimas ekvivalentišku metodu;

6.4.3. prietaiso dūmingumui matuoti zondas įkišamas į išmetimo sistemos atvamzdį;

6.4.4. prieš kiekvieną bandomąjį laisvojo greitėjimo ciklą variklis turi veikti tuščiaja eiga, esant minimaliam variklio alkūninio veleno apsisukimų dažniui (toliau - apsisukimų dažnis), ne trumpesnį kaip 10 s laikotarpį;

6.4.5. laisvojo greitėjimo ciklo metu akceleratoriaus pedalas pakankamai greitai ir tolygiai nuspaudžiamas, kad būtų maksimaliai išnaudojamas įpurškimo siurblio galingumas;

6.4.6. kiekvieno laisvojo greitėjimo ciklo metu variklis turi pasiekti ribojamą arba gamintojo reglamentuojamą apsisukimų dažnį. Jei tokių duomenų nėra, didžiausias apsisukimų dažnis bandymo metu turi atitikti 2/3 maksimalaus apsisukimų dažnio;

6.4.7. vykdomi ne mažiau kaip trys laisvojo greitėjimo ciklai;

6.4.8. galutinis rezultatas yra trijų laisvojo greitėjimo ciklų nustatytų verčių aritmetinis vidurkis;

6.4.9. automobilių, kurie turi keletą išmetimo sistemos atvamzdžių, atveju matavimai atliekami kiekviename atvamzdyje atskirai. Tuo atveju galutinis rezultatas yra didžiausia nustatyta vertė.

7. Matavimo prietaisų reikalavimai:

7.1. matavimo prietaisai turi būti įtraukti į Lietuvos matavimo priemonių registrą ir privalo turėti galiojantį valstybinės patikros sertifikatą;

7.2. prietaiso matavimo intervalas, matuojant šviesos absorbcijos koeficientą, turi būti nuo  $0,25 \text{ m}^{-1}$  iki  $5,35 \text{ m}^{-1}$ . Prietaiso matavimo intervalas, matuojant optinį tankį, turi būti nuo 0 % iki 100 %;

7.3. prietaiso paklaida, tikrinant su neutraliu šviesos filtru, visoje skalėje turi būti ne didesnė kaip 2,5 %.

8. Dūmingumo normos:

8.1. dūmingumas neturi viršyti 1 lentelėje nurodytų ribinių verčių.

## Dūmingumo normos

Eil. Nr.	Automobiliai su dyzeliniais varikliais	Dūmingumo ribinės vertės	
		Šviesos absorbcijos koeficientas, $m^{-1}$	Optinis tankis, procentais
1.	Be turbopripūtimo	2,0	58
2.	Su turbopripūtimu	2,5	66

## 9. Saugos reikalavimai:

9.1. atliekant matavimus, turi būti vadovaujama gamintojo nurodytais bei galiojančiais bendraisiais darbų saugos reikalavimais. [4]

---