

## Oro tarpinio aušintuvo įtaka slėginio uždegimo variklio energetiniams rodikliams

Tadas Vipartas, Alfredas Rimkus\*, Audrius Matulis

Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Technikos fakultetas  
Olandų g. 16, 01100 Vilnius, LT. El. paštas [a.rimkus@vtdko.lt](mailto:a.rimkus@vtdko.lt)

(Gauta 2019 m. sausio mėn.; atiduota spaudai 2019 m. balandžio mėn.; prieiga internete nuo 2019 m. gegužės 10 d.)

### Anotacija

Straipsnyje pateikti slėginio uždegimo variklio eksperimentiniai bandymai, keičiant įsiurbiamo oro tarpinio aušintuvo aušinimo intensyvumą – naudojant įvairių konstrukcijų oro aušintuvus. Automobilis su slėginio uždegimo turbokompresoriniu varikliu išbandytas matuojant maksimalią galią ir važiuojant įvairiais greičiais. Variklio apkrova sukurta automobilio traukos standu. Oro tarpinio aušintuvo efektyvumas ištirtas išmatavus į variklį tiekiamo oro temperatūrą. Variklio energetinis efektyvumas nustatytas įvertinus degalų sąnaudas.

**Reikšminiai žodžiai:** oro aušintuvai, turbokompresorius, slėginis uždegimas.

### Abstract

The paper presents experimental testing of compression-ignition engine by changing the cooling intensity of the intake air intercooler - using coolers of different constructions. Compression-ignition turbocharged vehicle has been tested at maximum power and at various speeds. The engine load is created by the car dynamometer stand. The efficiency of the air intercooler has been tested by measuring the intake air temperature to the engine. The energetic efficiency of the engine is determined by the fuel consumption.

**Key words:** Intercooler, turbocharger, compression-ignition

### Įvadas

Energijos vartojimas turi įtakos klimato kaitai, kuri pastaraisiais metais kelia didelį susirūpinimą. Energijos gamyba sudaro, generuoja apie 4/5 viso šiltnamio efekto sukeliančių dujų kiekio. Beveik vienas trečdalis šio kiekio sudaro transporto sektoriaus (vidaus degimo variklių) emisijos (Europos, 2016). Automobiliai – vieni svarbiausių ir daugiausia diskusijų sukeliančių objektai dėl jų neigiamo poveikio gamtai ir žmogui.

Plėtodami degalų gamybos technologijas ir tobulindami „žaliosios“ energijos strategiją, mokslininkai atliko nemažai atsinaujinančios energetikos srities tyrimų ir technologinių patobulinimų. Pagrindinė automobilių projektuotojų, konstruktorių ir tyrėjų užduotis – automobilio energetinio efektyvumo didinimas. Užduoties pagrindinis tikslas – degalų sąnaudų sumažinimas bei išmetamų dujų kenksmingų emisijų mažinimas. Tyrėjai numato potencialias galimybes automobilio efektyvumui didinti optimizuojant degalų (alyvų) savybes bei variklį ir perdavimo mechanizmų konstrukcijas. Viena iš vidaus degimo variklio efektyvumo didinimo galimybių – tai variklio cilindro pripildymo gerinimas, didinant pripūtimo slėgį. Didinant pripūčiamo oro kiekį, galima generuoti norimą variklio galingumą, pasiekti optimalias degalų sąnaudas.

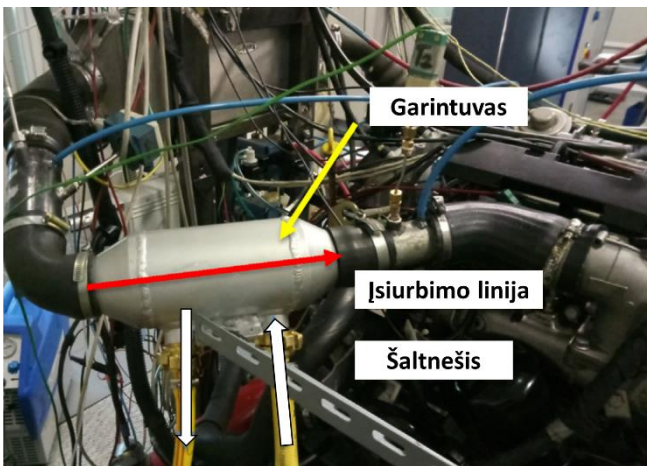
Suslėgto oro tarpinis aušintuvas (angl. intercooler) – tai radiatorius, kurio paskirtis – aušinti turbinoje suslėgtą orą prieš jam patenkant į variklio cilindrą. Tai sumažina oro tankį ir gerina cilindro pripildymą. Suslėgto oro tarpiniai aušintuvai būna dviejų rūšių: oro-oro ir oro-vandens. Oro-oro tipo aušintuvų veikimo principas – kompresoriaus suspaustą orą aušina iš aplinkos į aušintuvą nukreiptas oro srautas. Oro-vandens tipo aušintuvuose suspaustą orą aušina aušinimo skystis, kuris vėliau aušinamas aplinkos oru. Oro aušintuvą apibūdina du parametrai: efektyvumas ir slėgio kritimas. Efektyvumas nurodo, kiek sumažėja suspausto oro temperatūra (procentais). Slėgio kritimas apibūdina į įrenginį įeinančio ir išeinančio oro slėgio pokytį.

Buvo tirta tarpinio aušintuvo efektyvumo mažėjimo problema šalyse, kuriose vasarą oro temperatūra įkaista iki 40 °C (Muqem, 2012). Tyrimams atlikti naudotas automobilio keturių taktų keturių cilindro turbokompresorinis dyzelinis variklis su tarpiniu aušintuvu. Temperatūra dviem

jutikliais (termistoriais) matuota aušintuvo įėjimo ir išleidimo angose varikliui veikiant skirtingais režimais. Palaipsniui didinant variklio sukimosi greitį, buvo atlikti 6 matavimai, esant aplinkos temperatūrai 20 °C. Tyrėjas nustatė, kad, pritaikius turbopripūtimą, variklio į cilindrą tiekiamas deguonies masė padidina 1,43 kartų, o, panaudojus oro aušintuvą, ji padidėja 2,62 kartų. Padidėjus deguonies kiekiui ore, padidėja degimo greitis ir gebėjimas mažinti išmetamųjų teršalų emisijas. Papildomas deguonies padavimas leidžia sudeginti didesnę dyzelino kiekį ir padidinti variklio galią. Aplinkos oro temperatūrai kylant, tarpinio aušintuvo efektyvumas mažėja. Kita mokslininko tyrimų išvada – tarpinis aušintuvas veikia efektyviai, kai automobilis važiuoja dideliu greičiu. Mokslininkas teigia, kad automobiliui važiuojant, temperatūros kritimas tarpiniame aušintuve gali būti 40 °C.

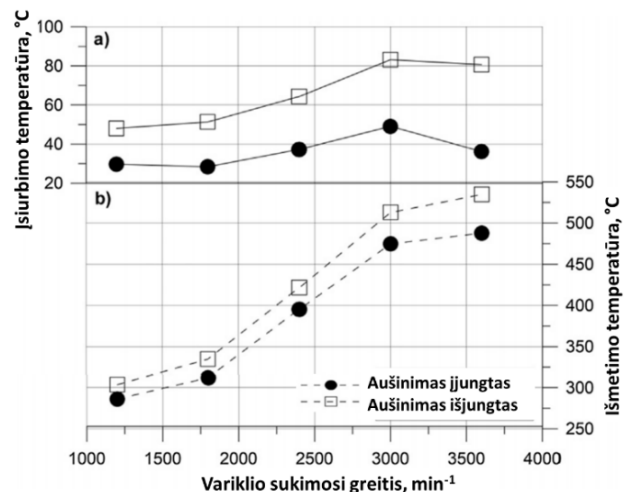
Siekiant taupyti degalus ir nustatyti optimalią aušinimo elemento galią buvo tirta, kokią įtaką daro pastovios temperatūros palaikymas vidaus degimo variklio įsiurbimo kolektoriuje (Karnauchova, 2014). Bandymais nustatyta, kad, kai oro temperatūra įsiurbimo kolektoriuje yra aukštesnė kaip 67 °C, cilindro pripildymas sumažėja 3–5 %, kai oras išyla iki 90–100 °C, pripildymas sumažėja daugiau nei 8 %. Padaryta išvada, kad įsiurbiamo oro temperatūra kolektoriuje turi būti ne daugiau kaip 67–76 °C. Aušinimo laipsnis priklauso nuo oro slėgio, aušinimo elemento ploto, oro judėjimo per aušinimo elementą greitis ir temperatūra. Remiantis skaičiavimais ir eksperimentais, nustatyta: siekiant išlaikyti tam tikrą temperatūrą įsiurbimo kolektoriuje ir taupant iki 25–30 % degalų, ekonomiškiausias yra kintamųjų galios aušintuvų naudojimas.

Tiriant variklio įsiurbiamo oro temperatūros įtaką degalų sąnaudoms ir oro taršai, įsiurbiamo oro temperatūrai reguliuoti pritaikytas aušintuvas, į kurį tiekiamas šaltnešis (Battista et al., 2018) (1 pav.). Tai suteikia galimybę reguliuoti įsiurbiamo oro temperatūrą (2 pav.). Kartu kinta ir išmetamųjų dujų temperatūra, tai keičia išmetamųjų dujų recirkuliacijos (EGR) efektyvumą. Optimizuotas oro aušinimas ir EGR apie 2,6 % sumažina degalų sąnaudas ir padidina variklio šiluminį efektyvumą, tiek pat sumažėja CO<sub>2</sub> emisija, tačiau išauga CO emisija, NO<sub>x</sub> emisija sumažėja apie 9,0 %, dūmingumas sumažėja nežymiai.



1 pav. Tarpinis oro aušintuvas, šaldomas šaltnešiu (Battista et al., 2018)

Fig. 1. Intercooler, cooled by refrigerant (Battista et al., 2018)



2 pav. Įsiurbiamo oro (a) ir išmetamųjų dujų (b) temperatūros priklausomybė nuo oro aušinimo (Battista et al., 2018)

Fig. 2. Intake air (a) and exhaust gas (b) temperature dependence on air cooling (Battista et al., 2018)

Tiriant suslėgto oro tarpinio aušintuvo efektyvumo priklausomybę nuo jo konstrukcijos nustatyta, kad naudojant įprastinį aušintuvą, oro temperatūra įsiurbimo kolektoriuje svyravo nuo 70 °C iki 80 °C, esant slėgiui nuo 99 kPa iki 165 kPa (Kumar and Muqem, 2013). Šiame intervale oro tankis svyruoja nuo 1,0053 kg/m<sup>3</sup> iki 1,6281 kg/m<sup>3</sup>. Tyrimo metu nustatyta, kad maksimalus

aktyvios tarpinio aušintuvo zonos tūris yra  $0,0131 \text{ m}^3$ , o šilumos atidavimas proporcingas variklio sukimosi greičiui. Tyrimo metu naudojamas tarpinio aušintuvo skerspjūvio plotas –  $0,25 \text{ m}^2$ , aušintuvo šerdies matmenys: ilgis –  $0,5 \text{ m}$ , plotis –  $0,5 \text{ m}$ , aukštis –  $0,0524 \text{ m}$ . Naudojant apskaičiuotus tarpinio aušintuvo šerdies matmenis, įsiurbimo kolektoriaus temperatūra išliks  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , slėgis  $99\text{--}165 \text{ kPa}$ . Šiame temperatūros ir slėgio intervale oro tankis bus nuo  $1,1769 \text{ kg/m}^3$  iki  $1,9614 \text{ kg/m}^3$ . Tyrimų metu nustatyta, kad naudojant tokių matmenų tarpinį aušintuvą, žymiai padidėja oro masės srautas į variklį. Padidėjus deguonies kiekiui, išauga degimo greitis ir sumažėja išmetamųjų teršalų emisijos, taupomi degalai.

Analizuojant oro tarpinio aušinimo efektą buvo sukurtas vidaus degimo variklio, kaip atviros termodinaminės sistemos, skaitinis modelis (Lajqi et al., 2016). Tyrimo objektas – turbokompresorinio dyzelinio variklio su tarpiniu aušintuvu veikimo rodikliai. Variklis suskirstytas į stūmoklių grupę, kompresorių, tarpinį aušintuvą, įsiurbimo kolektorių, turbiną, išmetimo kolektorių. Tyrimų išvadose mokslininkai teigia, kad skaitinio modeliavimo būdu numatomi procesai, vykstantys vidaus degimo variklyje, gali būti nustatomi labai mažais pokyčiais, kurių neįmanoma atlikti eksperimentiškai dėl matavimo paklaidų. Rezultatai gali būti naudojami būtiniais parametrams prognozuoti. Naudojant šį skaitinį modelį, galima stebėti tokių parametru, kaip įpurškimo pradžios momento, tarpinio aušintuvo efektyvumo, turbokompresoriaus charakteristikų, įsiurbimo ir išmetimo kolektoriaus geometrijos ir kt. įtaką variklio energetiniams ir ekologiniams rodikliams.

Atlikti standiniai šešių cilindrų turbokompresorinio dyzelinio variklio tyrimai, naudojant dviejų pakopų oro tarpinius aušintuvus (Hlavna et al., 2011). Pirmajame etape buvo naudojamas oro-oro tipo tarpinis aušintuvas, antrajame etape buvo naudojamas oro-vandens tipo tarpinis oro aušintuvas. Be energetinių ir ekonominių variklio rodiklių pagėrėjimo, pastebėtas nemažas jo ekologinių parametru gerėjimas ( $\sim 14\%$  sumažėjo variklio oksido emisija, sumažėjo ir dūmingumas). Dviejų pakopų tarpinis aušinimas  $\sim 7\%$  sumažino anglies dioksido išskyrimą. Eksperimento metu buvo nustatytas neaukšta anglies monoksido koncentracija – apie  $0,1\%$ . Naudojant oro-oro aušintuvą nustatytas temperatūros sumažėjimas cilindru įėjime apie  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ . Naudojant dviejų pakopų tarpinius aušintuvus nustatytas oro temperatūros sumažėjimas cilindruose vidutiniškai apie  $28 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Analizuoti moksliniai tyrimai, kuriais siekiama geresnių dyzelinių varikliu energetinių ir ekologinių rodikliu, tobulinant oro tarpinį aušintuvą. Buvo taikoma skirtinga tyrimu atlikimo metodika. Apibendrinat mokslinius tyrimus daroma išvada, kad tobulinant oro tarpinio aušintuvo techninius sprendimus, keičiamas įpučiamo oro kiekis bei temperatūra ir tai lemia variklio energetinius ir ekologinius parametrus.

Tyrimo tikslas – atlikti dyzelinio turbokompresorinio variklio energetinių rodikliu pokyčiu eksperimentinį tyrimą naudojant įvairių konstrukcijų oro tarpinius aušintuvus.

### **Tyrimo metodika**

Eksperimentiniai tyrimai atlikti Vilniaus technologiju ir dizaino kolegijos Automobiliu diagnostikos laboratorijoje. Siekiant nustatyti variklio galios, sukimo momento, degalu sąnaudų, įsiurbiamo oro temperatūros pokytį, naudotas kompiuterizuotas lengvųjų automobiliu traukos stendas „CARTEC LPS 2510“ (4 pav.), diagnostinis prietaisas „ROSS-TECH VCDS“, degalu sąnaudų matuoklis „AIC-1204 HD 2000“ ir programinė duomenų fiksavimo įranga „IFTECH DATALOGGER“. Traukos stendo pagrindiniai techniniai duomenys pateikti 1 lentelėje.

**1 lentelė.** Automobilių traukos stendo techniniai duomenys (Snap, 2007)**Table 1.** Technical data of the dynamometer stand (Snap, 2007)

Parametras	Įrenginys	Automobilio traukos stendas CARTEC LPS 2510
Apkrovos įrenginys		Elektromagnetinis sukurinių srovių stabdys
Maksimali matuojama apkrova, t		3,5
Didžiausia stendo matavimo galia, kW		400
Didžiausia stendo stabdymo galia, kW		360
Matavimo paklaida, %		± 2

Bandymams atlikti naudotas automobilis „Volkswagen Golf III“, turintis 4 cilindrų, 1896 cm<sup>3</sup> darbinio tūrio TDI (kodas – 1Z) slėginio uždegimo variklį. Išvystoma maksimali variklio galia 66 kW esant 4000 min<sup>-1</sup>, maksimalus sukimo momentas 202 Nm esant 1900 min<sup>-1</sup>. Degalų sąnaudų matuoklė AIC-1204 HD 2000 papildomai įmontuota į automobilio variklio maitinimo sistemą. Matuoklės pagrindiniai techniniai rodikliai yra pateikti 2 lentelėje.

**2 lentelė.** Degalų sąnaudų matuoklės pagrindiniai techniniai duomenys (AIC, 2008)**Table 2.** Main technical data of the fuel metering unit (AIC, 2008)

Parametras	Įrenginys	Degalų sąnaudų matuoklis AIC-1204 HD 2000
Matavimo ribos		4 iki 200 l/h
Maksimali variklio galia		515 kW
Tikslumas		<1 %
Atkartojamumas		<0,2 %
Leidžiamas slėgis		-1 iki 20 bar
Darbinė temperatūra		-30 iki 90 °C
Maitinimo įtampa		8 – 28 VDC

Tyrimai atlikti variklio maitinimo sistemoje pritaikius skirtingus oro tarpinius aušintuvus (3 pav.). Naudota: „Volkswagen Golf III“ 1.9 TDI oro tarpinis aušintuvas – Nr. 1; „Opel Frontera A“ 2.3 TD – Nr. 2 ir „Lexus IS220d“ – Nr. 3. Taip pat buvo atlikti bandymai maitinimo sistemoje nenaudojant oro tarpinio aušintuvo (toliau – Nr. 0). Degalų sąnaudų matavimo įrangos principinė montavimo schema yra pateikta 5 pav.

**3 pav.** Tyrime naudoti maitinimo sistemos oro tarpiniai aušintuvai**Fig. 3.** Air intercoolers used in the research

Degalų sąnaudos ir įsiurbiamo oro temperatūra matuota esant fiksuotai ( $F = 500$  N) varomųjų ratų apkrovai, automobiliui važiuojant skirtingais greičiais – 60 km/h, 70 km/h, 80 km/h ir 90 km/h, esant įjungtai IV pavarai. Bandymų metu buvo matuojama automobilio varomųjų ratų  $P_{rat}$  (kW) traukos galia, važiavimo greitis  $v$  (km/h), variklio sūkių dažnis  $n$  (rpm), nuostoliai automobilio transmisijoje  $P_{tr}$  (kW), valandinės tūrinės degalų sąnaudos  $B_{V\_AIC}$  (l/h) ir įsiurbiamo oro temperatūra  $T_k$  (°C).



**4 pav.** Variklio energetinių rodiklių matavimas naudojant lengvųjų automobilių traukos stendą „CARTEC LPS 2510“

*Fig. 4. Measuring the engine's energetic performance using a CARTEC LPS 2510 dynamometer stand*

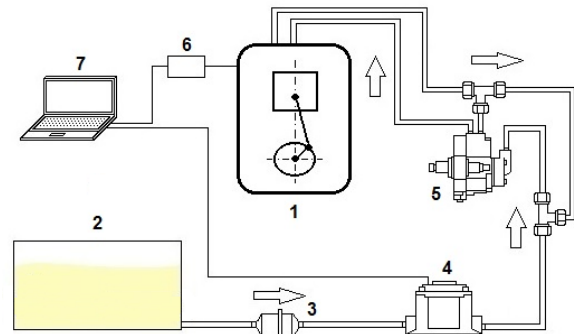
Bandymai buvo pakartoti tris kartus ir pateikti gautų rezultatų vidurkiai.

### Tyrimų rezultatai ir jų analizė

Naudojant kompiuterizuotą lengvųjų automobilių traukos stendą buvo nustatytas variklio galios ir sukimo momento pokytis pritaikius skirtingus oro tarpinius aušintuvus (Nr. 1, Nr. 2 Nr. 3). Taip pat matavimai buvo atliekami nenaudojant oro tarpinio aušintuvo (Nr. 0). Nustatyta, kad didžiausias variklio galingumas  $P_{Nr.1}$  buvo pasiektas naudojant gamyklinę maitinimo sistemą (aušintuvus Nr. 1) – 65,9 kW esant  $4133 \text{ min}^{-1}$  alkūninio veleno sūkių (6 pav.). Maitinimo sistemoje nenaudojant oro tarpinio aušintuvo variklio maksimali galia  $P_{Nr.0}$  sumažėjo 6,5 % esant  $4106 \text{ min}^{-1}$  alkūninio veleno sūkiams. Pritaikius skirtingus tarpinius oro aušintuvus Nr. 2 ir Nr. 3, variklio maksimali galia  $P_{Nr.2}$  ir  $P_{Nr.3}$  atitinkamai sumažėjo 3,5 % esant  $3605 \text{ min}^{-1}$  ir 7,1 % esant  $3600 \text{ min}^{-1}$ , palyginti su gamyklina maitinimo sistema. Tačiau alkūninio veleno sūkiams didėjant iki  $\sim 3700 \text{ min}^{-1}$ , matomas žymus variklio galios  $P_{Nr.2}$  ir  $P_{Nr.3}$  bei sukimo momento  $M_{Nr.2}$  ir  $M_{Nr.3}$  sumažėjimas:  $\sim 20 \text{ kW}$  ir  $\sim 55 \text{ Nm}$ .

Maitinimo sistemoje pritaikius didesnio aušinamo paviršiaus ploto (skirtus didesniam oro srautui) oro tarpinius aušintuvus, per juos einantis įkaitęs oras atvėsta labiau (8 pav.) ir į cilindrų patenkanti oro masė padidėja. Tikėtina, kad toks variklio galios ir sukimo momento sumažėjimas, diapazone tarp  $\sim 3600 \text{ min}^{-1}$  ir  $\sim 3700 \text{ min}^{-1}$  alkūninio veleno sūkių, yra dėl nepakankamo degalų kiekio – degusis mišinys tampa per liesas. Variklio elektroninio valdymo blokas gauna informaciją iš oro matuoklės, kuri neatitinka numatytų ribų ir degalų tiekimas yra sumažinamas.

Bandymų metu variklio maksimalus sukimo momento pokytis nenustatytas, nes maksimalus sukimo momentas pasiekiamas esant  $\sim 2000 \text{ min}^{-1}$ . Naudojant gamyklinę maitinimo sistemą (aušintuvus Nr. 1), išvystytas didžiausias variklio sukimo momentas  $M_{Nr.1}$  198 Nm esant  $2201 \text{ min}^{-1}$  alkūninio veleno sūkių. Maitinimo sistemoje nenaudojant tarpinio oro aušintuvo, sukimo momentas  $M_{Nr.0}$  sumažėjo 2,5 %, pritaikius tarpinius aušintuvus Nr. 2 ir Nr. 3 – atitinkamai padidėjo 2,5 % ir 2 %.

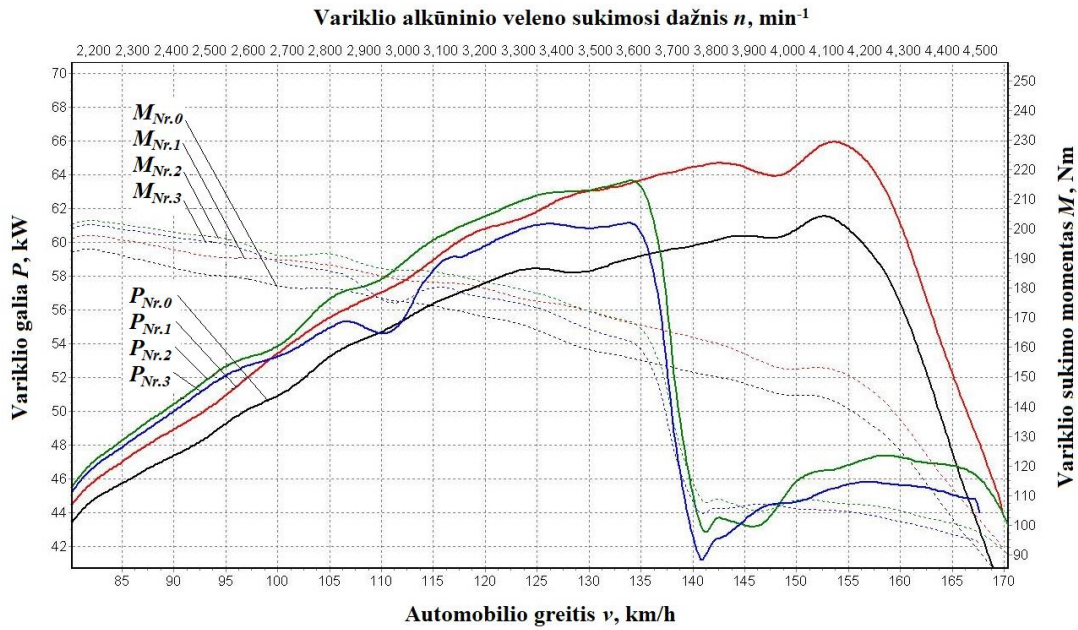


**5 pav.** Degalų sąnaudų matavimas.

1 – vidaus degimo variklis; 2 – degalų bakas;  
3 – degalų filtras; 4 – degalų sąnaudų matuoklis AIC-1204 HD 2000; 5 – aukšto slėgio degalų siurblys; 6 – elektroninis variklio valdymo blokas;  
7 – duomenų fiksavimo įranga

*Fig. 5. Measuring of fuel consumption.*

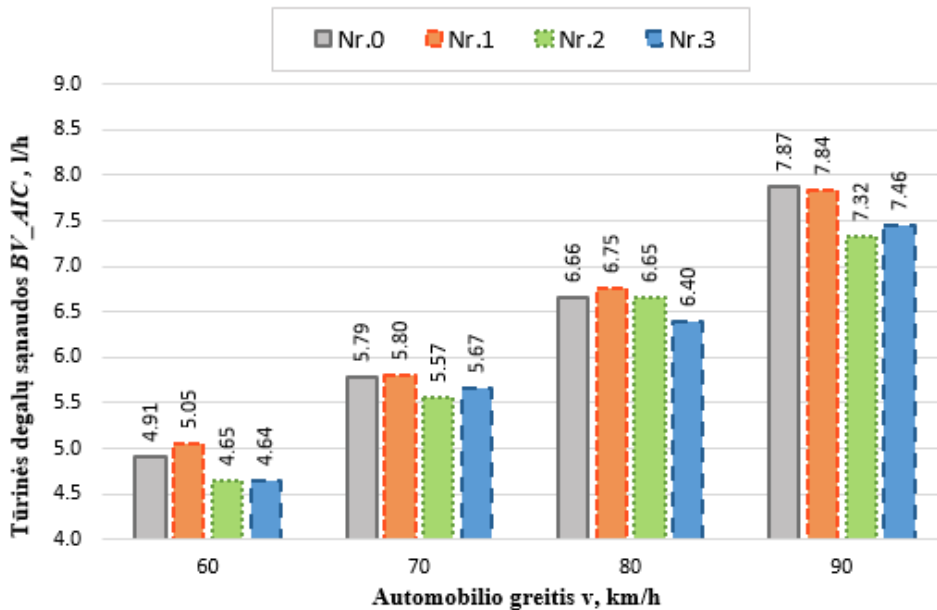
1 – internal combustion engine; 2 – fuel tank;  
3 – fuel filter; 4 – fuel measuring unit AIC-1204 HD 2000; 5 – high pressure pump; 6 – electronic control unit; 7 – data capture software



6. pav. Variklio galios ir sukimo momento pokytis pritaikius skirtingus tarpinius oro aušintuvus

Fig. 6. Variation of engine power and engine torque when using different air intercoolers

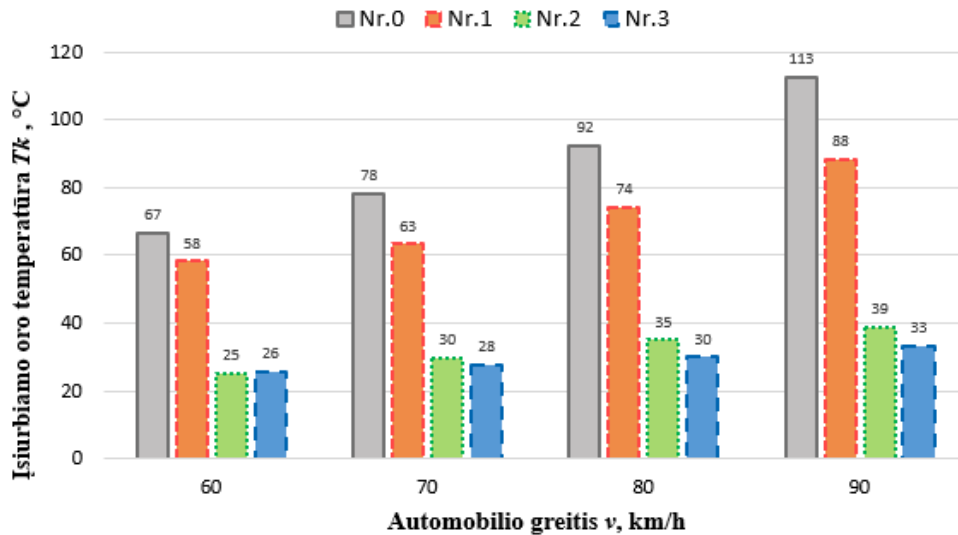
Valandinių tūrinių degalų sąnaudų  $B_{V\_AIC}$  matavimai atlikti automobiliui važiuojant skirtingais greičiais (60, 70, 80 ir 90 km/h) ir pateikti 7 pav. Apskaičiavus vidutines degalų sąnaudas, didžiausias degalų sunaudojimas buvo nustatytas esant gamyklinei variklio maitinimo sistemai (aušintuvus Nr. 1) – 6,36 l/h. Variklio maitinimo sistemoje nenaudojant oro tarpinio aušintuvo, degalų sąnaudų sumažėjimas užfiksuotas įrangos matavimo paklaidų ribose – 0,8 %. Tačiau maitinimo sistemoje pritaikius tarpinius oro aušintuvus Nr. 2 ir Nr. 3 degalų sąnaudos atitinkamai sumažėjo 4,9 % ir 5,0 % palyginti su gamykline automobilio variklio maitinimo sistema. Šį pokytį galima paaiškinti tuo, kad įkaitęs oras, einantis per didesnę paviršiaus plotą, turintį oro tarpinį aušintuvą, labiau atvėsta, keičiasi jo tankis ir masė, todėl daugiau oro patenka į cilindrus – degusis mišinys geriau sudega. Tačiau lygindami oro tarpinius aušintuvus Nr. 2 ir Nr. 3 matome, kad degalų sąnaudų teigiamas efektas mažai pastebimas.



7 pav. Variklio valandinių degalų sąnaudų pokytis pritaikius skirtingus oro tarpinius aušintuvus

Fig. 7. Variation of engine hourly fuel consumption when using different air intercoolers

Įsiurbiamo oro temperatūra  $T_k$  nustatyta naudojant kompiuterizuotą diagnostinę įrangą „ROSS-TECH VCDS“ automobiliui važiuojant skirtingais greičiais (60, 70, 80 ir 90 km/h) ir pateikta 8 pav. Apskaičiuota vidutinė įsiurbiamo oro temperatūra: esant gamyklinei variklio maitinimo sistemai (aušintuvas Nr. 1) temperatūra įsiurbimo kolektoriuje siekė  $\sim 71$  °C. Maitinimo sistemoje nenaudojant oro tarpinio aušintuvo temperatūra padidėjo  $\sim 17$  °C, sumontavus aušintuvus Nr. 2 ir Nr. 3 gerokai sumažėjo – atitinkamai  $\sim 39$  °C ir  $\sim 42$  °C.



8 pav. Įsiurbiamo oro temperatūros pokytis pritaikius skirtingus tarpinius oro aušintuvus  
 Fig. 8. Variation of intake air temperature when using different air intercoolers

Mažėjant įsiurbiamo oro temperatūrai didėja oro tankis ir masė bei gerėja cilindrų pripildymas, tačiau per daug atvėsinus orą, įpurkšti degalai blogiau išgaruoja ir sudega. Todėl įsiurbiamo oro temperatūra turėtų būti koreguojama atsižvelgiant į energetinius ir ekologinius rodiklius.

## Išvados

Atlikus slėginio uždegimo turbokompresorinio variklio eksperimentinius bandymus, matuojant maksimalią galią ir važiuojant įvairiais greičiais, nustatyti šie įsiurbiamo oro tarpinio aušinimo intensyvumo lemiami energetinių variklio rodiklių pokyčiai ir jų priežastys:

1. Variklio didžiausia galia buvo pasiekta naudojant automobilio gamintojo sumontuotą oro aušintuvą. Išmontavus aušintuvą variklio galia sumažėjo  $\sim 6,5$  %, nes pablogėjo cilindrų pripildymas. Išbandžius įvairius didesnio efektyvumo, nei pateikia gamintojas, aušintuvus nustatyta, kad didinant oro aušinimo intensyvumą galia taip pat mažėja. Tikėtina, kad tai lemia liesnesnis degusis mišinys.
2. Padidinus oro tarpinio aušinimo intensyvumą (sumontavus aušintuvą, kurio aušinamas plotas apie du karus didesnis už gamintojo naudojamą) degalų sąnaudos mažėjo iki  $\sim 4,9$  %. Aušintuvo aušinamą plotą padidinus dar apie du kartus, degalų sąnaudos daugiau mažai kito, nes mišinio didesnis liesinimas jo degimo efektyvumo negerino.
3. Oro tarpiniu aušintuvu mažinant į variklį tiekiamo oro temperatūrą didėja jo tankis ir į variklio cilindrus įsiurbama didesnė oro masė – gerėja cilindrų pripildymas. Tačiau per daug atvėsinus orą, įpurkšti degalai blogiau garuoja ir dega. Variklio maksimali galia mažėja ir dėl per daug lieso degiojo mišinio. Siekiant variklio maksimalaus energetinio ir ekologinio efektyvumo įsiurbiamo oro temperatūra turi būti koreguojama atsižvelgiant į variklio veikimo režimą.

## Literatūra

1. AIC systems AG. *Fuel flow meter AIC – 1200 series*. Technical Information, 2008 [interactive]. Internet link: [http://reicon.us/TIcurrent/1200/TI%201000\\_e\\_07.08.pdf](http://reicon.us/TIcurrent/1200/TI%201000_e_07.08.pdf).
2. Battista, D., Bartolomeo, M., Cipollone, R. Flow and thermal management of engine intake air for fuel and emissions saving. *Energy Conversion and Management*, 173. 2018. P. 46–55.
3. Europos Komisijos – pranešimas spaudai. *Europos Komisija griežtina taisyklės, kad automobiliai būtų saugesni ir ekologiškesni*. Briuselis, 2016 [interactive]. Internet link: [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-16-167\\_lt.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-16-167_lt.htm).
4. Hlavna, V., Kovalčík, A., Krakovsky, J., Labuda, R. The influence of intensity of charge air intercooler on diesel engine gas. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, Vol. 18, No. 2. 2011. P. 178 – 184.
5. Kumar, M., Muqeem, M. Design of an intercooler of a turbocharger unit to enhance the volumetric efficiency of diesel engine. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, Vol. 4, Issue 3. 2013. P. 01-10.
6. Lajqi, N., Doc, I. I., Lajqi, Sh. Modelling and Simulation of the Turbocharged Diesel Engine with Intercooler. *IFAC-PapersOnLine* 49-29, 2016. P. 237–242.
7. Muqeem, M. Turbocharging With Air Conditioner Assisted Intercooler. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, Volume 2, Issue 3. 2012., P. 38-44.
8. Snap-on Equipment GmbH. CARTEC Chassis dynamometers LPS for cars. Germany, 2007.
9. Карнаухова, В.Н. Оптимизация мощности нагревательного элемента для поддержания оптимальной температуры воздуха во впускном коллекторе ДВС. *Современные проблемы науки и образования*. 2014, № 3.

## Air Intercooler Influence on Compression-Ignition Engine Energetic Indicators

(Received in January, 2019; Accepted in April, 2019; Available Online from 10th of May, 2019)

### Summary

The main task of car designers, constructors and researchers is to increase the energetic and ecological efficiency of the car. One of the way to increase engine efficiency is to improve cylinder filling by ensuring effective air intercooler. The paper presents a research aiming to perform experimental study of energetic indicators variation of a turbocharged diesel engine using air intercoolers with different constructions.

Experimental research was carried out at Vilnius College of Technology and Design, Car Diagnostic Laboratory. In order to determine engine power, torque, fuel consumption, intake air temperature, there were used a computerized dynamometer stand CARTEC LPS 2510, fuel measuring unit AIC-1204 HD 2000, temperature sensors. The Volkswagen Golf III 1.9 TDI with compression-ignition engine was used for testing. Researches were carried out in the engine power system applying three different air intercoolers and without using it.

During experimental research, maximum engine power and torque were measured and indicators at various speeds were investigated. Influence of the air intercooler intensity and its causes on engine energetic indicators were determined. The engine's maximum power was achieved by using manufacturer-mounted intercooler. Maximum engine power decreased by ~6,5% after dismounting of intercooler, because the filling of the cylinders has deteriorated. However, there was no significant change in fuel consumption. When testing higher efficiency of intercoolers, maximum engine power has also been decreased. This is likely due to a leaner flammable mixture. However, improving air cooling up to a certain limit, fuel consumption has been reduced up to ~5%.

Reducing the intake air temperature by higher efficiency intercooler, air density increases and more air mass is sucked into the engine cylinders - filling of the cylinders is improved. However, when the intake air is overcooled, the injected fuel evaporates and burns worse. The engine's maximum power is also decreased due to too lean burning mixture.

In order to maximize the energetic and ecological efficiency of the engine, the intake air temperature should be adjusted to the engine operating mode.