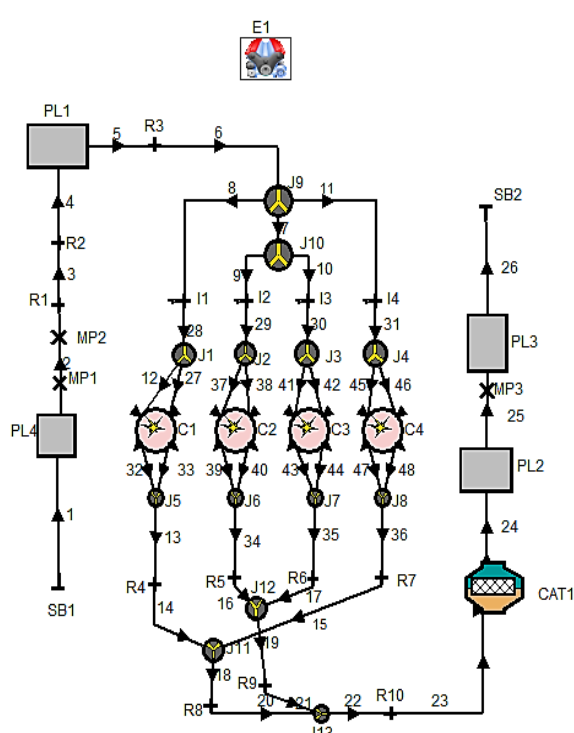


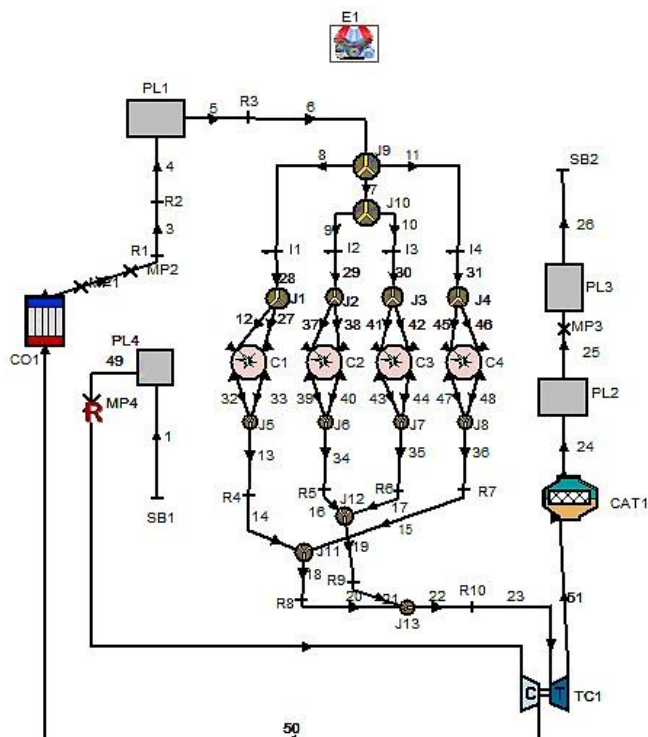
## Variklio rodiklių tyrimas „AVL Boost“ programa

„AVL Boost“ – tai kompiuterinė vidaus degimo variklių modeliavimo programa, leidžianti sukurti tiriamo variklio skaitinį modelį, keisti jo parametrus bei atlikti darbo ciklų simuliacijas panaudojant skirtingas degalų rūšis. Tiriant variklius šios skaitinio modeliavimo programos pagalba yra sutaupoma daug pinigų bei laiko, nes projektavimas vyksta virtualiai, o simuliacijos rezultatai gaunami labai greitai.

„AVL Boost“ kompiuterinėje programoje sukuriamas variklio prototipo modelis (1 pav.). Į programą suvedus reikiamus tyrinėjamo variklio parametrus atliekama prototipo simuliacija.



1 pav. „AVL Boost“ programa sumodeliuotas prototipas – BMW 318i N42B20 variklis



2 pav. „AVL Boost“ programa sumodeliuotas modifikuotas variklis

Skaičiai nuo 1 iki 48 – 48 vamzdiniai sujungimai; „PL1“ ir „PL4“ – įsiurbiamo oro tūrinės talpos; „PL2“ ir „PL3“ – išmetamų deginių talpos; „J1 – J13“ – sujungimai; „CAT1“ – deginių neutralizatorius; „MP1“ – „MP3“ – matavimo taškai; „I1“ – „I4“ – degalų purkštuvai; „R1“ – „R10“ – srauto apribojimai, įvertinantys vamzdžių skersmens pasikeitimus; „C1“ – „C4“ – cilindrai; „E1“ – vidaus degimo variklio sistema; „SB1“ – sistemos pradžia; „SB2“ – sistemos pabaiga; „CO1“ – tarpinis oro aušintuvas; „TC1“ – turbokompresorius.

Šaltinis: sudaryta autorių

Šio darbo prototipas – „BMW E46 318i“ automobilis, gamintas nuo 2001 iki 2006 metų. Variklis – benzininis „N42B20“, 4-ių cilindrų, turintis  $V_H = 1995 \text{ cm}^3$  darbinį tūrį,  $P_e = 105 \text{ kW}$  galią (esant variklio sukimosi greičiui  $n = 6000 \text{ min}^{-1}$ ) ir  $M_e = 200 \text{ Nm}$  sukimo momentą (esant  $3750 \text{ min}^{-1}$ ). Dujų skirstymo mechanizmas sudarytas iš 2-iejų paskirstymo velenų, kurių darbą reguliuoja „Double VANOS“ sistema. Vožtuvų skaičius, tenkantis cilindrui – 4. Dujų skirstymo mechanizmo pavara – grandininė (Двигатель N42, 2013). „AVL Boost“ programoje įvedus pariebiną benzino oro degųjų mišinį (oro pertekliaus koeficientas  $\lambda = 0,96$ ) apskaičiuoti variklio dinaminiai rodikliai sutampa su gamintojo pateiktomis charakteristikomis.

„AVL Boost“ kompiuterine programa sukurtas skaitinis prototipo modelis (2 lentelė) yra patobulinamas ir gaunamas modifikuotas simuliuojamas variklis (2 pav.). Modifikuoto variklio modelyje papildomai montuojamas turbokompresorius, kurio pagalba sukuriamas 1,2 bar pripučiamo oro slėgis. Turbokompresoriaus efektyvumo koeficientas – 0,65. Įrengiamas 10 l talpos tarpinis oro aušintuvas. Vidaus degimo variklio naudojami degalai yra pakeičiami iš benzino į suslėgtas gamtines dujas ( $\text{CH}_4$ ).

2 lentelė

### Pagrindiniai variklio parametrai, suvesti į „AVL Boost“, programą sudarant skaitinį modelį

Parametras	Matavimo vienetai	Reikšmė
Suslėgimo laipsnis		10
Isiurbimo vožtuvų skersmuo	mm	32

# AUTOMOBILIO „BMW 318i“ EKOLOGINIŲ IR ENERGETINIŲ PARAMETRŲ POKYČIO TYRIMAS NAUDOJANT SUSLĖGTAS GAMTINES DUJAS IR PRITAIKIUS TURBOKOMPRESORIŲ

Alfredas Rimkus, Jevgenij Kibickij, Mindaugas Melaika  
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

## Anotacija

Straipsnyje tiriami „BMW 318i N42B20“ variklio dinaminių, energetinių ir ekologinių rodiklių pokyčiai, benzina pakeitus suslėgtomis gamtinėmis dujomis (SGD) bei įdiegus priverstinį oro pripūtimą. Suslėgtų gamtinių dujų ir turbokompresoriaus panaudojimo vidaus degimo variklyje efektyvumas analizuojamas naudojant skaitinę modeliavimo programą „AVL Boost“. Gauti skaičiavimų rezultatai rodo, kad modifikuotam varikliui veikiant SGD degalais išauga jo galia, sumažėja lyginamosios degalų sąnaudos ir azoto oksidų (NO<sub>x</sub>) bei angliavandenilių (CH) koncentracija deginiuose.

**Reikšminiai žodžiai:** vidaus degimo variklis, suslėgtos gamtinės dujos, variklio galia, sukimo momentas, teršalų emisija.

## Įvadas

Pastaraisiais metais pasaulyje vis dažniau keliami automobilių ekologiškumo problema (Baltoji knyga, 2011). Griežtėjantys aplinkosaugos reikalavimai priverčia automobilių gamintojus ieškoti naujų sprendimų ir būdų, mažinančių išmetamųjų dujų emisiją į aplinką. Pamažu į rinką skverbiasi elektromobiliai, tačiau ribotas nuvažiuojamas atstumas, didelė elektromobilių kaina bei nepakankamai išvystyta infrastruktūra stabdo šių transporto priemonių paklausą. Todėl vidaus degimo varikliu varomi automobiliai vis dar išlieka perkamiausiais naujų ir naudotų automobilių rinkoje.

Sprendžiant išmetamųjų dujų emisijos problemą, automobilių gamintojai, projektuodami vidaus degimo variklius, vis dažniau panaudoja turbokompresorių. Šio sprendimo priežastis – naudojant turbokompresorių pagerėja cilindrų pripildymas, kas pagerina degimo procesą, padidina variklio galią bei sumažina teršalų kiekį, išmetamą į aplinką (Hartman, 2007). Taip pat turbokompresorius suteikia galimybę sumažinti variklio darbinį tūrį, sumažinant vidinius mechaninius nuostolius bei tuo pačiu degalų sąnaudas, neprarandant variklio išvystomos galios (Bosh, 2009).

Dar vienas išmetamųjų teršalų emisijos mažinimo sprendimas – suslėgtų gamtinių dujų panaudojimas. Sudegus šioms dujoms, į aplinką yra išmetama mažesnė kensmingų medžiagų emisija. Taip pat šios dujos turi didesnę oktanių skaičių nei benzinas ir tai leidžia padidinti suslėgimo pabaigos parametrus (slėgį ir temperatūrą) išvengiant detonacijos. Šiuo atveju didėja variklio galia (Heywood, 1988). Tačiau mokslininkai pastebi, kad naudojant gamtines dujas vietoje benzino būtina ankstinti uždegimo paskubos kampą bent keliais laipsniais. Taip pat nustatyta, kad naudojant gamtines dujas lyginamosios degalų sąnaudos sumažėja (Evans *et al.* 1997). Aslam *et al.* eksperimentiniu būdu nustatė, kad anglies monoksido (CO), anglies dvideginio (CO<sub>2</sub>) ir CH teršalų emisija sumažėjo, naudojant gamtinių dujų degalus. Tačiau palyginus su benzinu pastebėtas NO<sub>x</sub> padidėjimas.

Šio darbo tikslas – išanalizuoti „BMW 318i N42B20“ vidaus degimo variklio energetinių ir ekologinių rodiklių pokytį, pakeitus benzina į SGD bei panaudojus turbopripūtimą.

## Degalų savybės

Gamtinės dujos visame pasaulyje yra pigesnės negu naftos produktai. Naudojant gamtines dujas, išlaidos degalams sumažinamos 20 – 40 % (Tonkonogij, 2012). Todėl tai yra puiki alternatyva benzininiams ir dyzeliniams degalams. Taip pat gamtinių dujų šilumingumas yra ženkliai didesnis, negu kitų degalų rūšių, SGD sudėtyje mažesnis C/H santykis (1 lentelė). Gamtinių dujų telkinių kiekis Žemėje ženkliai viršija naftos atsargas (Tonkonogij, 2012).

1 lentelė

### Įvairių degalų savybių šilumingumo palyginimas

Eil. Nr.	Savybės	Degalų sudėties pagrindiniai elementai	Žemutinis šilumingumas $H_e$ , MJ/kg
1	Suslėgtos gamtinės dujos (97 % CH <sub>4</sub> )	76 C, 24 H	47,7
2	Benzinas	85 C, 15 H	43,5
3	Dyzelinas	86 C, 14 H	42,5
4	Suskystintos naftos dujos	82 C, 18 H	46,1

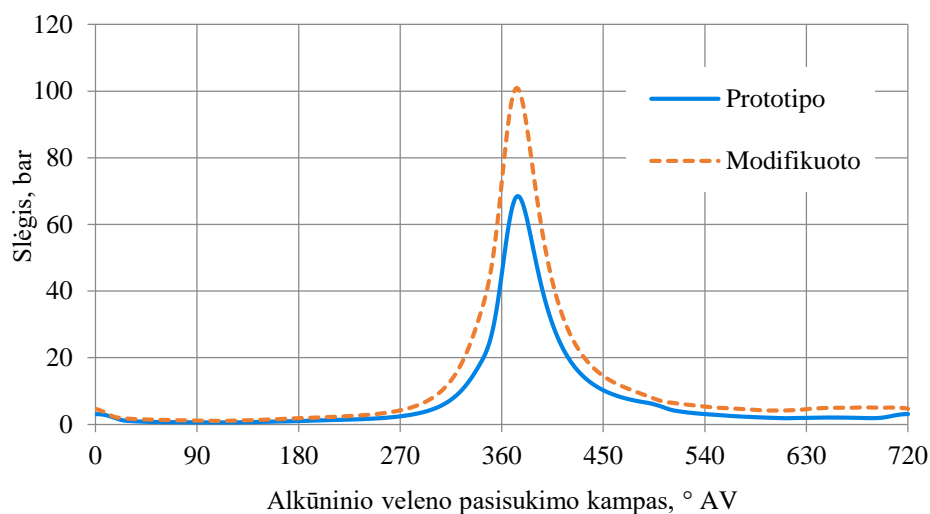
Šaltinis: Katinas *et al.*, 2012; Bosch, R. 2000

Parametras	Matavimo vienetai	Reikšmė	
Išmetimo vožtuvų skersmuo	mm	29	
Švaistiklio ilgis	mm	146	
Cilindro skersmuo	mm	84	
Stūmoklio paviršiaus plotas	mm <sup>2</sup>	5542	
Degimo kameros paviršiaus plotas	mm <sup>2</sup>	6096	
Stūmoklio eiga	mm	90	
Išsiurbimo kolektoriaus vamzdžių skersmenys	mm	40	
Uždegimo paskubos kampas	° AV (alkūninio veleno)	-20	
Degimo proceso trukmė	° AV	55°	
		Išsiurbimo vožtuvai	Išmetimo vožtuvai
Vožtuvų atidarymas	° AV	4 (prieš VRT)	74 (prieš ART)
Vožtuvų uždarymas	° AV	66 (po ART)	4 (po VRT)
Vožtuvų atidarymo trukmė	° AV	250	258
Vožtuvų eiga	mm	9,7	9,7

Šaltinis: *Двигатель N42, 2013*

### Skaičiavimų rezultatai ir jų analizė

Analizuojant skaičiavimų rezultatus matyti, jog įdiegus variklyje pripūtimą ir pagerinus cilindro pripildymą, ~48 % padidėjo maksimalus degimo slėgis (3 pav.). Padidėjęs slėgis sukelia alkūninio mechanizmo papildomas apkrovas, todėl svarbu, kad detalės būtų atsparios padidėjusioms mechaninėms apkrovoms. Taip pat modifikavus variklį, ~32 % padidėjo slėgio prieaugis, tačiau jis neviršija 4 bar/°AV (toks ir didesnis prieaugis būdingas detonaciniam degimui). Gamtinės dujos turi aukštesnį oktanių skaičių, todėl išaugęs slėgis neturėtų sukelti degalų mišinio detonacijos (Evans *et al.* 1997). Svarbu tai, jog įdiegus automobilyje suslėgtų gamtinių dujų įrangą ~8 % sumažėjo maksimali degimo temperatūra, todėl detalių terminė apkrova neišauga. Degimo temperatūra mažėja, nes modifikuotame variklyje degusis mišinys yra paliesintas ( $\lambda = 1,21$ ), todėl tikėtina, jog degimo procesas vyksta ilgiau. Degimo proceso skaičiavimų rezultatai pateikti 3 lentelėje.



3 pav. Slėgio cilindre kitimo kreivės

Šaltinis: *sudaryta autorių*

3 lentelė

### Prototipo ir modifikuoto variklių degimo proceso, dinaminių ir energetinių rodiklių skaičiavimo „AVL Boost“ programa rezultatai

Rodikliai	Variklis	Prototipas	Modifikuotas
Maksimalus degimo slėgis $p_z$ , bar		68,8	101,9
Alkūninio veleno pasisukimo kampas prie maksimalaus degimo slėgio $\phi_{p_z}$ , °AV		14,2	13,2
Slėgio prieaugis $\Delta p$ , bar/°AV		2,52	3,32
Maksimali degimo temperatūra $T_z$ , K		2634	2424
Alkūninio veleno pasisukimo kampas prie maksimalios degimo temperatūros $\phi_{T_z}$ , °AV		22,9	22,5

Rodikliai	Variklis	Prototipas	Modifikuotas
Vidutinis efektyvusis slėgis $p_e$ , bar		9,87	11,91
Lyginamosios efektyvios degalų sąnaudos $b_e$ , g/kWh		293,7	254,7
Indikatorinis efektyvumo koeficientas $\eta_e$		0,36	0,35
Oro pertekliaus koeficientas $\lambda$		0,96	1,21
Indikatorinis sukimo momentas $M_i$ , Nm		213,8	248,6
Indikatorinė galia $P_i$ , kW		134,4	156,2
Trinties momentas $M_{tr}$ , Nm		45,9	45,9
Efektyvusis sukimo momentas $M_e$ , Nm		167,9	202,7
Efektyvioji galia $P_e$ , kW		105,5	127,3

Šaltinis: sudaryta autorių

Iš variklio rodiklių skaičiavimų rezultatų (3 lentelė) matyti, jog ~13 % sumažėjo lyginamosios efektyvios degalų sąnaudos. Taip pat ~3 % sumažėjo indikatorinis efektyvumo koeficientas. Šiems rodikliams didžiausią įtaką turi dujinių degalų žemutinis šilumingumas: benzino žemutinis šilumingumas  $H_z = 43,5$  MJ/kg, o gamtinių dujų  $H_z = 47,7$  MJ/kg (~10 % didesnis). Taip pat matyti, jog modifikavus variklį padidėjo variklio sukimo momentas (~21 %) ir galia (~21 %). Tai įvyko dėl geresnio cilindų pripildymo ir išaugusio maksimalaus degimo slėgio.

#### 4 lentelė

##### Variklio išmetamųjų dujų taršos emisijos skaičiavimų rezultatai

Rodikliai	Variklis	Prototipas	Modifikuotas
Azoto oksidai $\text{NO}_x$ , g/kWh		10,11	6,83
Anglies monoksidas $\text{CO}$ , g/kWh		8,58	9,64
Angliavandeniliai $\text{CH}$ , g/kWh		1,23	0,36

Šaltinis: sudaryta autorių

Iš išmetamųjų dujų taršos emisijos skaičiavimų rezultatų matyti, jog ~32 % sumažėjo azoto oksidų ir ~71 % angliavandenilių emisija.  $\text{NO}_x$  emisija mažėja dėl žemesnės degimo temperatūros, o  $\text{CH}$  – dėl trumpesnės degalų angliavandenilių grandinės ir mažesnio C/H santykio dujose (Sendžikiene, 2015). Remiantis šiais duomenimis galima teigti, jog ekologiškumo atžvilgiu suslėgtos gamtinės dujos yra geresnės už benzininius degalus. Tačiau anglies monoksido emisija nors ir santykinai nedaug (~12 %), bet dėl mažesnio degimo intensyvumo (paliesintas mišinys) išaugo.

Įvertinus apskaičiuotus modifikuoto variklio energetinius ir ekologinius rodiklius galima daryti išvadą jog variklio modifikavimas benzina pakeičiant SGD ir pritaikant turbokompresorinį oro pripūtimą yra tikslingas. Tikėtina, kad variklio energetinius ir ekologinius rodiklius galima papildomai gerinti ankstinant uždegimo paskubos kampaną, tačiau tam reikalingi papildomi teoriniai ir eksperimentiniai tyrimai.

#### Išvados

Atliktas „BMW 318i“ variklio veikimo rodiklių tyrimas skaitinio modeliavimo „AVL Boost“ programa leidžia suformuluoti apibendrintas SGD dujų panaudojimo, pritaikius turbokompresorių, įtakos variklio dinaminiams, energetiniams ir ekologiniams rodikliams išvadas:

1. Modernizuotame variklyje dėl geresnio cilindų pripildymo ~48 % pakyla maksimalus degimo slėgis, dėl kurio ~21 % išauga variklio maksimalus sukimo momentas ir variklio galia, bet tuo pačiu išauga ir variklio detalių mechaninė apkrova. Esant paliesintam degiajam mišiniui ~8 % sumažėja maksimali degimo temperatūra ir terminė detalių apkrova.

2. Dėl didesnio gamtinių dujų žemutinio šilumingumo ~13 % sumažėja lyginamosios degalų sąnaudos, variklio efektyvusis naudingumo koeficientas mažai kinta.

3. ~32 % sumažėja azoto oksidų ir ~71 % angliavandenilių teršalų emisija, o anglies monoksido kiekis kinta mažai. Azoto oksidų emisija mažėja dėl žemesnės degimo temperatūros, o angliavandenilių – dėl trumpesnės angliavandenilių grandinės ir mažesnio C/H santykio dujiniuose degaluose.

#### Literatūra

- Aslam, M.U., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Abdesselam, H., Mahlia, T.M.I., Amalina, M.A. An experimental investigation of CNG as an alternative fuel for a retrofitted gasoline vehicle. *Fuel* 85 (2006) 717-724.
- Apie suslėgtas gamtines dujas. 2011 [interaktyvus] [žiūrėtas 2015 m. balandžio 16 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.sgdujos.lt/suslegtos-gamtines-dujos-ekologiskas-kuras-automobiliams/>>.
- „AVL Boost“. 2011. *Users Guide*.

4. Bosh, R. 2009. *Benzininių variklių valdymo sistemos*. Kaunas: „Smaltijos“ leidykla. 128 p.
5. Europos Komisija. Baltoji knyga. 2011. *Bendros Europos transporto erdvės kūrimo planas. Konkurencingos efektyviu išteklių naudojimu grindžiamos transporto sistemos kūrimas*. Briuselis.
6. Evans, R.L., Blaszczyk, J. 1997. A comparative study of the performance and exhaust emissions of a spark ignition engine fuelled by natural gas and gasoline. *Proc Instn Mech Engrs 211 Part D* (1997) 39-47.
7. Heywood, J. B. 1988. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw Hill Series. ISBN 0-07-028637-X.
8. Hartman, J. 2007. *Turbocharging Performance Handbook*. USA, Menasha: Motorbooks/Quarto Publishing Group. 272 p.
9. Katinas, V., Savickas, J. 2012. *Dujinių degalų vartojimo transporto plėtros analizė*. Kaunas: Lietuvos energetikos institutas. 151 p.
10. Sendzikiene, E., Rimkus A., Melaika M., Makareviciene V., Pukalskas S. 2015. Impact of biomethane gas on energy and emission characteristics of a spark ignition engine fuelled with a stoichiometric mixture at various ignition advance angles. *Fuel* 162 (2015) 194–201.
11. Tonkonogij, J. 2012. *Gamtinių dujų parametrų pokyčio analizė ir tinkamų vartotojams varčių nustatymas AB „Lietuvos dujos“ perdavimo sistemoje. Galutinė ataskaita*. Kaunas: Lietuvos energetikos institutas. 16 p.
12. Bosch, R. 2000. *Автомобильный справочник*. Москва: Зарулём, 895 p.
13. *Двигатель BMW N42 - характеристики - описание - фото*. 2012 [interaktyvus] [žiūrėtas 2015 m. balandžio 16 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.bimmerfest.ru/dvigatel-bmw-n42/>>.
14. *Двигатель N42*. 2013 [interaktyvus] [žiūrėtas 2015 m. balandžio 16 d.]. Prieiga per internetą: <<http://bmw-engines.ru/engines/seria-n42>>.

### Padėka

Straipsnyje atlikti tyrimo rezultatai gauti naudojant *AVL BOOST* vidaus degimo variklių modeliavimo programą, įsigyta pasirašius bendradarbiavimo sutartį tarp *AVL Advanced Simulation Technologies* ir VGTU Transporto inžinerijos fakulteto.

## IMPROVEMENT OF ECOLOGICAL AND EFFICIENT PARAMETERS OF THE CAR „BMW 318i“ ENGINE USING COMPRESSED NATURAL GAS AND TURBOCHARGER

### Summary

Paper presents research of the “BMW 318i N42B20” engine dynamic, efficient and ecological indicators change when the compressed natural gas (CNG) is used instead of gasoline fuel and the turbocharger is being adopted. Numerical simulation software *AVL BOOST* was used to investigate the efficiency of the turbocharged engine running on compressed natural gas. Obtained results show that modified engine running on CNG has increased power and lower specific fuel consumptions, also nitrous oxide and hydrocarbons concentration in exhaust gases decreased.

**Key words:** internal combustion engine, compressed natural gas, engine power, torque, exhaust emissions.

### AUTORIŲ LYDRAŠTIS

**Autoriaus vardas, pavardė:** Alfredas Rimkus.

**Mokslo laipsnis ir vardas:** daktaras, docentas.

**Darbo vietą ir pozicija:** VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Automobilių transporto katedros docentas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** Vidaus degimo varikliai, transporto ekologija, alternatyvioji energetika.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 61571161, [alfredas.rimkus@vgtu.lt](mailto:alfredas.rimkus@vgtu.lt)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Jevgenij Kibickij.

**Mokslo laipsnis ir vardas:** magistrantas.

**Darbo vieta ir pozicija:** VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto, Transporto inžinerijos vadybos katedros magistrantas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** alternatyvieji degalai, suslėgtos gamtinės dujos, vidaus degimo varikliai.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 862512973, [zennkaz4@gmail.com](mailto:zennkaz4@gmail.com)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Mindaugas Melaika.

**Mokslo laipsnis ir vardas:** magistras.

**Darbo vietą ir pozicija:** VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Automobilių transporto katedros asistentas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** Vidaus degimo varikliai, transporto ekologija, alternatyvioji energetika.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** [mindaugas.melaika@vgtu.lt](mailto:mindaugas.melaika@vgtu.lt)

### A COVER LETTER OF AUTHORS

**Author name, surname:** Alfredas Rimkus.

**Science degree and name:** associated professor.

**Workplace and position:** Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Transport department associated professor.

**Author's research interests:** Internal combustion engines, transport ecology, alternative energy.

**Telephone and e-mail address:** +370 61571161, [alfredas.rimkus@vgtu.lt](mailto:alfredas.rimkus@vgtu.lt)

**Author name, surname:** Jevgenij Kibickij.

**Science degree and name:** master student.

**Workplace and position:** Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Transport department master student.

**Author's research interests:** alternative fuels, compressed natural gas, internal combustion engines.

**Telephone and e-mail address:** +370 62512973, [zenkaz4@gmail.com](mailto:zenkaz4@gmail.com)

**Author name, surname:** Mindaugas Melaika.

**Science degree and name:** Master degree.

**Workplace and position:** Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Transport department, assistant.

**Author's research interests:** Internal combustion engines, transport ecology, alternative energy.

**Telephone and e-mail address:** [mindaugas.melaika@vgtu.lt](mailto:mindaugas.melaika@vgtu.lt)