

AZOTO SUBOKSIDO TIEKIMO SISTEMOS PANAUDOJIMO *TOYOTA GT86 4U-GSE* VARIKLYJE EFEKTYVUMO TYRIMAS

Alfredas Rimkus, Aleksandr Robert Ščerbuk, Mindaugas Melaika
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Anotacija

Šiame tyrime nagrinėjamas variklio galios didinimas naudojant azoto suboksido tiekimo sistemą (toliau *NOS* (angl. *Nitrous Oxide System*). Straipsnyje pateikta *NOS* sistemų apžvalga. Variklio rodiklių skaitinis modeliavimas atliekamas programa *AVL BOOST*, prototipu pasirinktas kibirkštinio uždegimo atmosferinis *Toyota GT86 4U-GSE* variklis. Atlikti standartinio variklio ir *NOS* sistema modifikuoto variklio šiluminiai ir dinaminiai skaičiavimai, nustatyti energetiniai rodikliai (variklio galia išaugo ~24 %, efektyvusis naudingumo koeficientas padidėjo ~8,3 %), sudarytas indikatorinio slėgio grafikas, patikrintas alkūninio–švaistiklinio mechanizmo detalių atsparumas.

Reikšminiai žodžiai: kibirkštinio uždegimo variklis, variklio galios didinimas, azoto suboksidas, *AVL BOOST*.

Įvadas

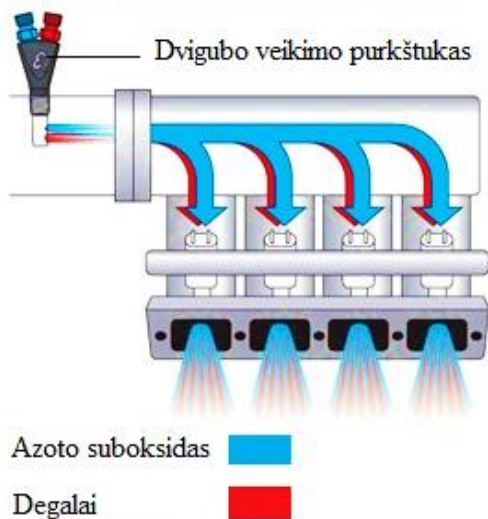
Tobulėjant technologijoms automobilių pramonė nuolat vystosi. Kiekvienais metais pristatoma nauji ir galingi automobiliai. Jų pagaminimo kaštai labai dideli, tad nenuostabu, kad išauga ir jų kaina. Toli gražu, ne kiekvienas gali tokį automobilį įsigyti. Tačiau norint turėti galingą automobilį, nebūtina pirkti naujo modelio, aukštą galią galima pasiekti ir su senesniu varikliu, naudojant tam tikrus modifikavimo metodus. Metodų yra labai įvairių, tačiau dauguma jų ganėtinai pasenę, todėl nėra tokie efektyvus. Šiame tyrime nagrinėjamas azoto suboksido sistemos metodas – vienas efektyviausių variklio galios didinimo būdų, kuris plačiai taikomas *JAV* populiariose traukos lenktynėse (angl. *drag*), kurio svarbu išgauti didžiausią variklio galią. Azoto suboksido sistema modifikuotų variklių maksimali galia išauga, tačiau taip pat išauga ir variklių detalių apkrova. Variklio efektyvumo didinimas naudojant azoto suboksido sistemą Lietuvoje mažai taikomas ir nėra išsamiai ištirtas, todėl tai paskatino imtis tyrimo šį metodą taikant *Toyota GT86* automobilio variklyje.

Azoto suboksido sistemų apžvalga

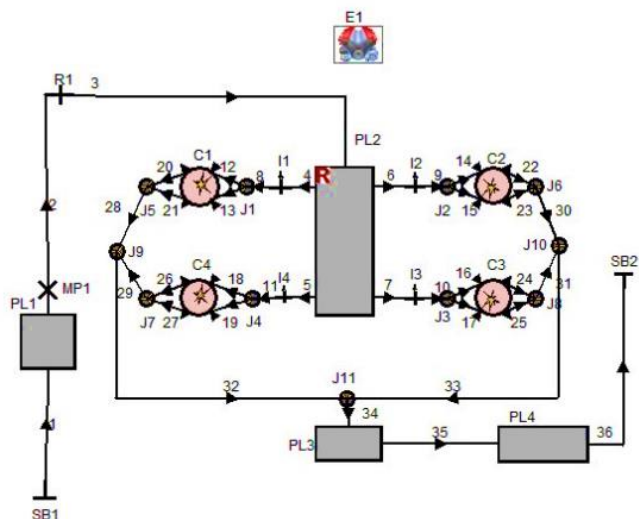
Remiantis literatūra, variklių su integruota azoto suboksido sistema galia, priklausomai nuo konkrečios sistemos, padidėja nuo 20 % iki 50 %. Pirmoji – azoto suboksidas sudarytas iš vieno deguonies ir dviejų azoto atomų, jame deguonies yra 36 %, o atmosferoje jo yra 23 % pagal tūrį. Dėl papildomai įsiurbto deguonies, automobilio variklis gali sudeginti daugiau degalų, taip padidindamas galią. Antroji priežastis – azoto suboksido specifinė garavimo šiluma, dėl kurios sumažinama įsiurbiamo oro temperatūra, padidėja jo tankis ir tai gerina cilindrų pripildymą oru (Bobolts, 2010; Davis et al., 2002.).

Norint, kad sistema gerai veiktų, reikia tinkamai sureguliuoti azoto suboksido ir degalų tiekimą. Jei mišinys bus per riebus, tai padidins degimo temperatūrą, kuri gali išlydyti variklio stūmoklį ir pažeisti žiedus – variklis bus sugadintas. Blogai suregulius uždegimo momentą gali kilti variklio detonacija, kuri pažeistų pagrindines variklio detales. Kadangi *NOS* veikimas apskaičiuotas 10–20 sekundžių darbo laikui, neigiamų reiškinų dažniausia nepastebima. Detalių temperatūra nespėja viršyti leistinos ribos standartuose, tačiau išaugęs slėgis gali mechaniškai pažeisti detales (Davis et al., 2002.; Tuningavimas, 2008).

Toyota GT86 automobilio varikliui *4U-GSE* parenkama „šlapia“ azoto suboksido tiekimo sistema (angl. *Wet nitrous oxide system*) (1 pav.). Šioje sistemoje purkštuvai, skirtas azoto suboksidiui įpurkšti į įsiurbimo traktą, yra dvigubas – kartu su azoto suboksidu įpurškiami ir papildomi degalai. Dėl šios savybės, sistema ir vadinama „šlapia“, nes papildomi degalai sušlapina oro įsiurbimo traktą. Azoto suboksidas, susimaišęs su degalais, patenka į cilindrus ir sudega. Naudojant šią sistemą nereikia perprogramuoti variklio valdymo bloko, nes papildomi degalai tiekiami per dvigubą purkštuvą. Šiuo atveju reikia rasti vietą degalų tiekimo linijoje, kurioje būtų galima sumontuoti papildomų degalų vožtuvą. Vožtuvas yra standartiniame *NOS* komplekte, jis – raudonos spalvos, o azoto suboksido vožtuvas – mėlynas. Pagrindinė šios sistemos montavimo taisyklė – purkštuvą montuoti kuo arčiau įsiurbimo kolektoriaus. Geriausiai ši sistema tinka varikliams, kuriems oras tiekiamas aukšto slėgio kompresoriumi arba turbokompresoriumi. Reikia paminėti, kad šios sistemos montavimas yra sudėtingesnis ir brangesnis, tačiau ji gerokai efektyvesnė. Taip pat šiam varikliui parinkta speciali modifikacija, kai vietoje dvigubo purkštuvo, kuris montuojamas pragręžus įsiurbimo kolektorių, parenkamas specialus antgalis – azoto suboksido purkštuvai, kuris įstatomas į įsiurbimo kolektorių, o į antgalį įstatomas benzino purkštuvai (Cold Fusion Wet Kits, 2015.).



1 pav. „Šlapia“ azoto suboksido tiekimo sistema
Šaltinis: Nitrous oxide systems



2 pav. AVL BOOST programa sudarytas variklio skaitinis modelis su NOS
Šaltinis: sudaryta autorių

Be jau pasirinktos „šlapios“ azoto suboksido sistemos gali būti naudojamos ir kitos NOS modifikacijos:

- „Sausa“ azoto suboksido tiekimo sistema (angl. *Dry nitrous oxide system*), kai azoto suboksidas purškiamas per atskirą purkštuvą į oro padavimo kanalą.
- „Plokštelinė“ azoto suboksido tiekimo sistema skirta karbiuratoriniams varikliams. Po karbiuratoriumi montuojama plokštelė–intarpas ir pro joje esančias kiaurymes azoto suboksidas purškiamas į įsiurbimo kolektorių.
- Tiesioginė azoto suboksido tiekimo sistema (angl. *Direct port nitrous oxide system*) kai azoto suboksidas purškiamas tiesiai į variklio cilindrus.

Kiti azoto suboksido tiekimo sistemų komponentai yra panašūs. Azoto suboksidas laikomas skystas, kreogeniniame inde, kuriame dujų slėgis yra nuo 6,2 MPa iki 7,2 MPa. Priklausomai nuo sistemos, azoto suboksido inde yra 4,54 kg arba 2,27 kg. Automobilyje reikia sumontuoti azoto suboksido ir degalų tiekimo vožtuvus, armuotus vamzdelius ir valdymo sistemą (Cold Fusion Wet Kits, 2015.; Toyota-GT86-2-0l-nos-controller, 2014.).

Tyrimo tikslas – nustatyti, kaip pakis *Toyota* automobilio *GT86* variklio *4U-GSE* energetiniai rodikliai, sumontavus NOS sistemą ir išsiaiškinti, ar išaugusios apkrovos tenkančios variklio alkūniniam veleniui, švaistikliui ir stūmokliui neviršys šių detalių atsparumo ribos.

Išanalizavus teorinę bei praktinę medžiagą buvo iškeltos tokios variklio su NOS sistema rodiklių pokyčių hipotezės:

1. Įsiurbimo takto pabaigos temperatūra sumažės ir tai gerins cilindrų pripildymą oru.
2. Variklio galia padidės, nes, pagerėjus cilindrų pripildymui deguonimi, per ciklą bus sudeginamas didesnis degalų kiekis.
3. Didesnė degalų energijos dalis bus paverčiama naudingu darbu – didės variklio mechaninis naudingumo koeficientas ir išaugs efektyvusis naudingumo koeficientas.
4. Padidėjus efektyviajam naudingumo koeficientui lyginamosios degalų sąnaudos sumažės.

Tyrimo metodai

Kaip jau buvo minėta, tiriama azoto suboksido sistema montuojama į variklį, kurio kodas *4U-GSE*. Šio modelio variklis pasirinktas, nes yra pakankamai naujas, o jo dinaminės savybės tinkamos NOS montavimui. Tyrimo tikslai įgyvendinami naudojant *AVL BOOST* programą, kuria sukuriamas *4U-GSE* variklio skaitinis modelis (2 pav.). Variklio tiriamo darbo ciklo skaitinis modeliavimas atliekamas naudojant aprobuotas, variklyje vykstančių fizinių procesų metodikas. Aproximuojant variklio šilumos išsiskyrimo charakteristikas taikoma *Vibe* funkcija (*AVL BOOST*, 2011):

$$\frac{dx}{d\varphi} = \frac{a}{\Delta\varphi_c} \cdot (m_v + 1) \cdot y^{m_v} \cdot e^{-a \cdot y^{(m_v+1)}} ; \quad (1)$$

$$dx = \frac{dQ}{Q}, \quad (2)$$

čia Q – per darbo ciklą degalų išskirtas šilumos kiekis; φ – alkūninio veleno pasisukimo kampas; m_v – degimo intensyvumo formos parametras; a – Vibe konstanta, esant 99,9 % degalų sudegimui, $a = 6,905$; y – santykinis degimo laikas:

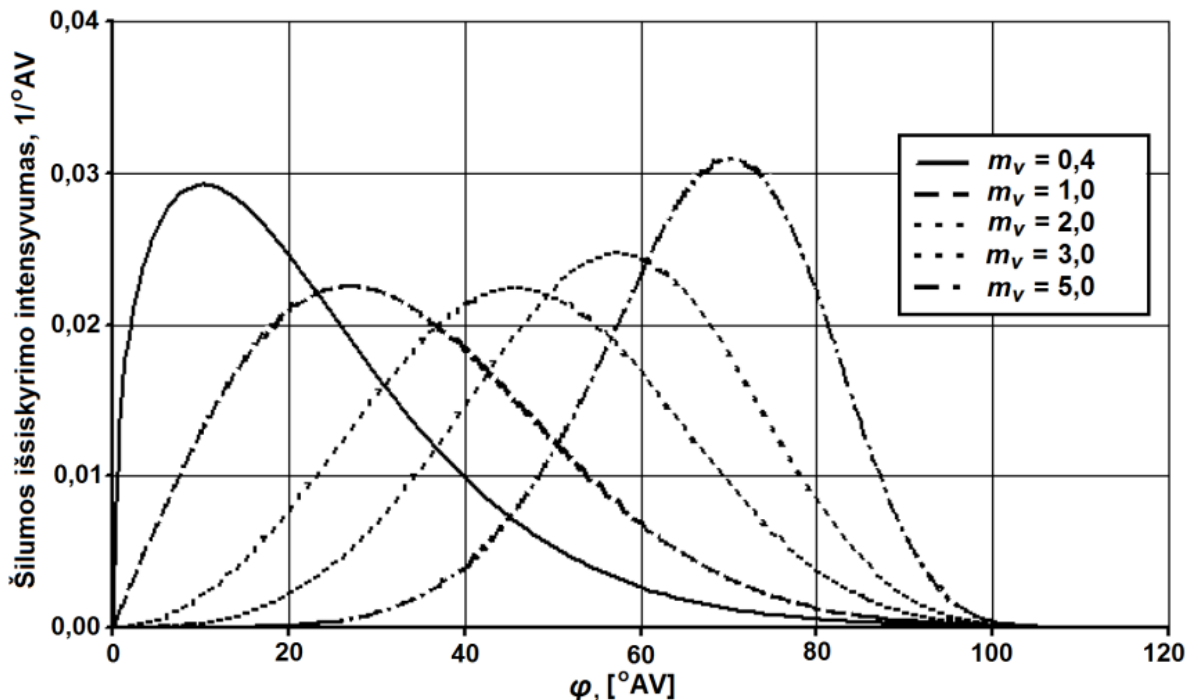
$$y = \frac{\varphi - \varphi_0}{\Delta\varphi_c}, \quad (3)$$

čia φ_0 – degimo pradžia išreiškiama alkūninio veleno (AV) padėties kampas; $\Delta\varphi_c$ – degimo trukmė.

Integruojant Vibe funkciją apskaičiuojame degalų masės dalį, kuri sudegė nuo degimo proceso pradžios:

$$x = \int \frac{dx}{d\varphi} \cdot d\varphi = 1 - e^{-a \cdot y^{(m_v+1)}}. \quad (4)$$

3-čiame paveiksle parodyta, kaip degimo intensyvumo formos parametras lemia šilumos išsiskyrimo intensyvumo funkcijos formą.



3 pav. Degimo intensyvumo formos parametro m_v įtaka Vibe šilumos išsiskyrimui
Šaltinis: AVL BOOST theory

Sukūrus prototipui adekvatų modelį, toliau modeliavimas buvo atliekamas su *NOS*, nes skaitinio modeliavimo programoje yra galimybė naudoti papildomus priedus, pavyzdžiui, azoto suboksidadą. Parinkta *NOS* sistema, įvertinant azoto suboksido kiekį, leidžia atlikti penkiasdešimt įjungimų. Vieno įjungimo metu, kurio trukmė 10 sekundžių, *NOS* purkštukai į įsiurbimo traktą įpurškia apie 181 g. azoto suboksido. Žinant, kiek yra įpurškiamas azoto suboksido per konkretų laiką ir variklio sukimosi dažnį, nustatome, kad vienam ciklui azoto suboksido įpurškiamas ~65 mg/cikl. Įvertinus temperatūrą bei dujų tankį, apskaičiuota, kad per vieną ciklą į cilindrą patenka ~49 cm³/cikl. azoto suboksido. *AVL BOOST* programoje nustačius, kad į degujį mišinį bus papildomai tiekiamas azoto suboksidas, įrašomas jo kiekis per ciklą ir atliekamas skaitinis modeliavimas. Siekiant, kad gauti duomenys būtų kuo tikslesni, nustatyta penkiasdešimt modeliavimo ciklų.

Norint sužinoti, kaip pasikeis modifikuoto variklio indikatoriai ir efektyvieji rodikliai lyginant su gamykliniais, pirmiausia atliekami prototipo termodinaminių rodiklių (slėgių ir temperatūrų vertės cilindre per darbo ciklą), variklio galios bei naudingumo koeficiento skaičiavimai, nustatomos alkūninio stūmoklinio

mechanizmo detales veikiančios jėgos ir temperatūros. Naudojant lyginamąjį metodą gretinami sukurtojo prototipo (*4U-GSE* variklio) teoriniai skaičiavimai ir *4U-GSE* variklio su *NOS* skaičiavimų rezultatai. Taip pat, remiantis papildoma literatūra (Butkus, 2007: 91-145), atliekami variklio detalių atsparumo skaičiavimai.

Tyrimo rezultatai ir jų analizė

AVL BOOST skaitinio modeliavimo programa gauti *Toyota GT86 4U-GSE* variklio rodiklių skaičiavimo duomenys varikliui veikiant benzinu ir benzinu + *NOS* surašyti palyginamojoje lentelėje (1 lentelė).

1 lentelė

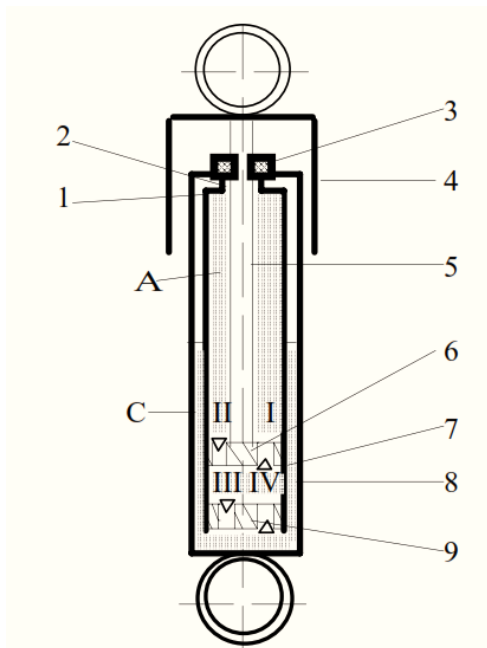
Variklio rodikliai veikiant benzinu ir benzinu + *NOS*

Eil. Nr.	Rodikliai	Benzinas	Benzinas + <i>NOS</i>	Skirtumas	Skirtumas, %
1.	Cilindro pripildymo slėgis p_a (MPa)	0,095	0,101	0,006	6,3
2.	Išsiurbimo pabaigos temperatūra T_a (K)	348,06	321,77	-26,29	-7,6
3.	Slėgimo pabaigos slėgis p_c (MPa)	3,29	3,50	0,21	6,4
4.	Slėgimo pabaigos temperatūra T_c (K)	928,25	958,55	30,3	3,3
5.	Degimo pradžia φ_o , ° AV	-16	-18	-2	12,5
6.	Degimo trukmė $\Delta\varphi_c$, ° AV	50	45	-5	-10,0
7.	Degimo intensyvumo faktorius m_v	2,5	2,2	-0,3	-12,0
8.	Degimo pabaigos slėgis p_z (MPa)	9,21	12,39	3,18	34,5
9.	Didžiausio slėgio kampas už VRT (φ , ° AV)	14,90	12,17	-2,73	-18,3
10.	Degimo slėgio augimo intensyvumas (MPa/ φ)	3,12	4,85	1,73	55,4
11.	Degimo pabaigos temperatūra T_z (K)	2600,1	2637,5	37,4	1,4
12.	Didžiausios temperatūros kamp. už VRT (φ , ° AV)	22,90	20,86	-2,04	-8,9
13.	Slėgis plėtimosi pabaigoje p_b (MPa)	0,55	0,38	-0,17	-30,9
14.	Temperatūra plėtimosi pabaigoje T_b (K)	1456,8	1320,3	-136,5	-9,4
15.	Indikatorinis slėgis p_i (MPa)	1,82	2,48	0,66	36,3
16.	Liekamųjų dujų slėgis p_r (MPa)	0,175	0,181	0,006	3,4
17.	Liekamųjų dujų temperatūra T_r (K)	977,2	964,1	-13,1	-1,3
18.	Mechaninių nuostolių slėgis p_m (MPa)	0,27	0,29	0,02	7,4
19.	Vidutinis efektyvusis slėgis p_e (MPa)	1,34	1,56	0,22	16,4
20.	Efektyvusis naudingumo koeficientas η_e	0,36	0,39	0,03	8,3
21.	Indikatorinė galia P_i (kW)	182,38	219,80	37,42	20,5
22.	Mechaninių nuostolių galia P_m (kW)	32,49	33,80	1,31	4,0
23.	Efektyvioji galia P_e (kW)	149,80	186,00	36,2	24,2
24.	Litrinė galia P_l (kW/l)	75,01	93,08	18,07	24,1
25.	Efektyvus sukimo momentas M_s (Nm)	204,47	253,70	49,23	24,1
26.	Oro pertekliaus koeficientas, λ	0,94	1,01	0,07	7,4
27.	Lyginamosios degalų sąnaudos b_e (g/kWh)	275,46	251,48	-23,98	-8,7
28.	Valandinės degalų sąnaudos B_d (kg/h)	43,09	46,62	3,53	8,2

Šaltinis: sudaryta autorių

Analizuodami variklio darbo ciklo skaitinio modeliavimo rezultatus matome, kad išsiurbimo pabaigos temperatūra su *NOS* yra $\sim 26^\circ$ K ($\sim 7,6\%$) mažesnė negu variklio prototipo. Taip nutinka dėl dviejų priežasčių: pirma – liekamųjų dujų temperatūra 13° K mažesnė; antra – azoto suboksido specifinė garavimo šiluma, kuri sumažina išsiurbiamo dujų mišinio temperatūrą (Žarnauskas et al. 2008). Tai yra vienas iš šios sistemos privalumų, nes, esant žemesnei temperatūrai, padidėja dujų tankis ir geriau pripildomas cilindras. Su *NOS* sistema $\sim 0,17$ MPa ($\sim 30\%$) sumažėja plėtimosi pabaigos slėgis ir temperatūra ~ 136 K ($\sim 9,4\%$). Šių rodiklių reikšmės mažesnės, nes degimas baigiasi anksčiau ir plečiantis sumažėja dujų temperatūra bei slėgis. Su *NOS* degimas paankstinamas 2 AV, degimo trukmė sutrumpėja ~ 5 AV ($\sim 10\%$).

Rodiklis, labiausiai išaugęs varikliui veikiant su *NOS*, tai degimo pabaigos slėgis, kuris priklauso ir nuo degimo intensyvumo faktoriaus m_v . Degimo intensyvumui pakitus nuo 2,5 iki 2,2, degimo pabaigos slėgis su *NOS* išaugo nuo 9,21 MPa iki 12,39 MPa ($\sim 34\%$) (4 pav.). Tai galima paaiškinti tuo, jog dėl azoto suboksido geriau pripildomas cilindras ir galima sudeginti daugiau degalų, todėl išsiskiria didesnis šiluminės energijos kiekis, kuris padidina slėgį ir degimo pabaigos temperatūrą. Vienas labiausiai vertinamų rodiklių sportiniuose automobiliuose – efektyvioji variklio galia. Kaip buvo minėta anksčiau, dėl *NOS* variklio galia turėtų išaugti nuo 20% iki 50%. Tiriamu atveju galia padidėjo ~ 36 kW ($\sim 24\%$). Tai rodo, kad sistema yra efektyvi. Variklio su tiekiamu azoto suboksidu sukimo momentas padidėjo ~ 49 Nm ($\sim 24\%$).



1 pav. Principinė amortizatoriaus schema

Norint įvertinti amortizatorių būklę naudojami du metodai, paprastai yra naudojami dinamometriniai bandymai, kurie naudoja elektrinę-hidraulinę cilindrinę pavarą ar elektros variklį, kurie kartu su švaistiklio mechanizmu tikrina amortizatorius (kurie turi būti išimti iš transporto priemonės) prie skirtingų įėjimo sąlygų ar skirtingų sinusinių dažnių.

Atstojamosios jėgos tarp amortizatoriaus ir vykdymo mechanizmo matavimas bei rezultatų pateikimas kaip greičio funkcija suteikia tikslius rezultatus ir aiškiai indentifikuoja amortizatoriaus parametrus [Dixon 1999, Kowalski 2002, Kowalski 2001, Rao 1999, Rao 2002].

Kita vertus, apatinės pakabos testuose (kur amortizatoriaus pašalinimas yra nebūtinai) taikomas padangų kratymas poslinkiu prie skirtingų dažnių ir tada išmatuojama padangų kontakto su platforma jėga. Gautas po tokių bandymų rezultatas, vadinamas adhezija, yra gera priemonė pakabos sistemos būklei nustatyti, bet nėra pakankami informatyvūs būdas amortizatoriaus būklei nustatyti [Balsarotti 2000].

Nozaki ir Inagaki [Nozaki 1999] pristatė naujos koncepcijos bandymų įrenginį, galintį matuoti amortizavimo jėgą; tačiau šiame įrenginyje turi būti naudojama atitinkami įrankiai (vibracijas sukeliantis įrenginys, skaičiavimo įranga, poslinkio jutiklis ir padangos apkrovos matavimo daviklis), kurie apriboja naudojimo ir perkeliavimo lankstumą.

Šiuolaikiniuose automobiliuose naudojami MEMS (Mikro elektroninė mechaninė sistema) jutikliai, kurie įvertina amortizatorių būklę, ir kurių tikslumo pakanka įvertinti ar amortizatorių dar galima eksploatuoti. Dėl mažo dydžio, bendrų galimybių ir mažos kainos vienetui MEMS jutikliai yra naudojami daugelyje automobiliams [Marek 2002, McDonald 1990, Müller-Fiedler 2003].

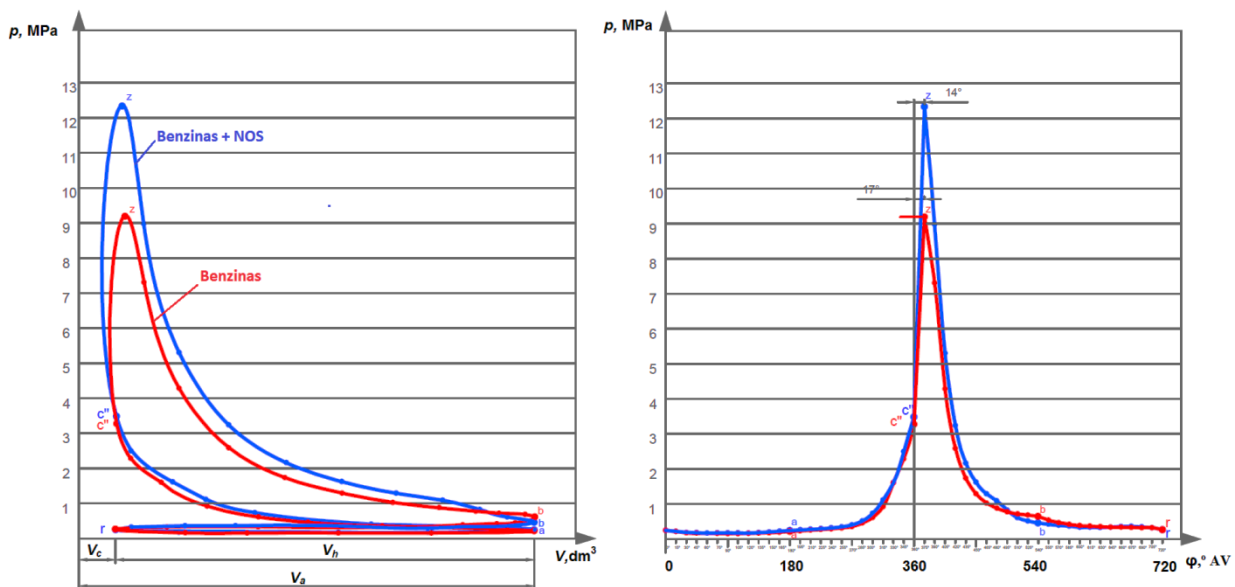
Amortizatoriaus būklės vertinimo metodas. Pakabos analizės būdas. Šiuo analizės būdu atliekama vieno ketvirčio teorinė analizė, tiriama automobilio pakabos sistema turi du laisvės laipsnius (2 pav.), ir tai padaryta dėl to, kad virpesiai atsiranda nepriklausomai kiekvienam ratui.

Amortizuojamos ir neamortizuojamos masės jėgų-balanso lygtys (M_u ir M_s):

$$\begin{cases} M_S \ddot{x}_2 = K_S(x_1 - x_2) + C_D(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) \\ M_U \ddot{x}_1 = K_T(x_0 - x_1) - K_S(x_1 - x_2) - C_D(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) \end{cases} \quad (1)$$

Sprendžiant minėtas lygtis dažninėje formoje galima nustatyti perduodamumą T_R , išėjimo į išėjimo dydžių santykis M_u ir M_s pagreičių (\ddot{X}_2 ir \ddot{X}_1) dažninėje formoje:

$$T_R = \left| \frac{\ddot{X}_2(\omega)}{\ddot{X}_1(\omega)} \right| = \sqrt{\frac{1+(2\zeta r)^2}{(1-r^2)^2+(2\zeta r)^2}} \quad (2)$$



4 pav. Variklio veikimo tik benzinu ir benzinu su NOS indikatorinio slėgio diagrama

Šaltinis: sudaryta autorių

Vienas iš pagrindinių parametru, pagal kurį galima įvertinti degiojo mišinio sudėtį, yra oro pertekliaus koeficientas λ , kuris parodo sunaudoto oro kiekį kilogramui degalų sudeginti. Prototipui atlikus skaitinį modeliavimą gauta $\lambda = 0,94$. Tai reiškia, kad mišinys yra pariebintas – jame yra degalų perteklius. Veikdamas tokiu mišiniu variklis išvysto didžiausią galią. Naudojant NOS $\lambda = 1,01$. Tai reiškia, kad mišinys gaunamas artimas stecheometriniams, nes oro ir degalų santykis idealus. Naudojant NOS, stechiometrinis degusis mišinys rodo, kad sukurtas AVL BOOST modelis sureguliuotas tinkamai – t.y. degalų, oro bei azoto suboksido santykis nustatytas teisingai. Pariebinus mišinį būtų gaunama dar didesnė variklio galia, tačiau papildomai išaugtų variklio detalių mechaninė ir šiluminė apkrova.

Kitas svarbus variklio rodiklis, rodantis variklio energetinį efektyvumą, yra lyginamosios degalų sąnaudos. Variklio su NOS lyginamosios degalų sąnaudos sumažėjo ~24 g/kWh (~8,7 %). Degalų sąnaudų sumažėjimą galima paaiškinti išaugusiu variklio efektyvumu naudingumo koeficientu. Tai rodo, kad didesnė degalų energijos dalis paverčiama naudingu darbu. Naudojant NOS, efektyvusis naudingumo koeficientas padidėjo nuo 0,36 iki 0,39 (~8,3 %), nes degimas vyksta intensyviau – santykinai mažiau energijos netenkama aušinant variklį, išmetant deginius ir įveikiant mechaninius nuostolius.



5 pav. Variklio detalių atsparumo skaitinis modeliavimas SolidWorks programa

Šaltinis: sudaryta autorių

Atlikus variklio stūmoklio, švaistiklio piršto ir švaistiklio atsparumo skaičiavimus klasikine metodika ir SolidWorks skaitinio modeliavimo programa nustatyta, kad šių detalių metalo įtempiai, naudojant NOS, neviršija leistinų ribų – atsargos koeficientas yra ~2,1 (5 pav.). Palyginus AVL BOOST gautus Toyota GT86 4U-GSE variklio darbo ciklo skaitinio modeliavimo duomenis ir įvertinus variklio detalių atsparumo

skaitinio modeliavimo *SolidWorks* programa rezultatus, galima daryti išvadą, kad *NOS* sistema yra efektyvi didinant galią bei gerinant variklio dinamines savybes.

Išvados

Atlikus *Toyota GT86 4U-GSE* variklio su azoto suboksido tiekimo sistema termodinaminius skaičiavimus ir skaitinį modeliavimą *AVL BOOST* programa, pateikiamos apibendrintos azoto suboksido įtakos variklio rodikliams išvados:

1. Įsiurbimo takto pabaigos temperatūra sumažėjo nuo $T_a = 348,06$ K iki $T_{a\text{NOS}} = 321,77$ K (7,6 %).
2. Maksimali variklio galia padidėjo nuo $P_e = 149,8$ kW iki $P_{e\text{NOS}} = 186$ kW (~24 %).
3. Lyginamosios degalų sąnaudos sumažėjo nuo $b_e = 275,46$ (g/kWh) iki $b_{e\text{NOS}} = 251,48$ (g/kWh) (8,7 %).
4. Variklio efektyvusis naudingumo koeficientas išaugo nuo $\eta_e = 0,36$ iki $\eta_{e\text{NOS}} = 0,39$ (8,3 %).
5. Variklio veikimo efektyvumas išaugo, nes naudojant *NOS* gerėja cilindų pripildymas – išauga ciklinis deguonies ir benzino kiekis, degimas vyksta intensyviau, per ciklą išsiskiria didesnis energijos kiekis ir santykinai mažiau energijos netenkama aušinant variklį, išmetant deginius bei įveikiant mechaninius nuostolius.
6. Išaugus variklio detalių mechaninėms apkrovoms jų sukelti įtempiai neviršija leistinų.

Literatūra

1. AVL BOOST. 2011. *AVL BOOST theory*. Graz, Austria. 113 p.
2. AVL BOOST. 2011. *AVL BOOST Users Guide*. Graz, Austria. 297 p.
3. Bobolts, T. *Track Testing the LS2 Nitrous Kit from NOS*. 2010 [Interaktyvus] [žiūrėta 2015 m. balandžio 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.lsxtv.com/tech-stories/power-adders/track-testing-the-ls2-nitrous-kit-from-nos/>.
4. Butkus, A. 2009. *Vidaus degimo variklių projektavimo pagrindai*. Vilnius: Technika. 203 p.
5. *Cold Fusion Wet Kits*. [Interaktyvus] [žiūrėta 2015 m. vasario 20 d.]. Prieiga per internetą: <http://nitrousdirect.com/wetnitrouskits.html>.
6. Davis, E and Davis, D.P. 2002. *Supercharging, Turbocharging and Nitrous Oxide*. 160 p.
7. *Nitrous oxide systems*. [Interaktyvus] [žiūrėta 2015 m. balandžio 25 d.]. prieiga per internetą: <http://www.precisionautomotivespecialists.com/Edelbrock-Nitrous-Oxide-Systems.html>.
8. *Tuningavimas*. 2008 [Interaktyvus] [žiūrėta 2015 m. Balandžio 25 d.]. Prieiga per internetą: <http://tuningavimas.blogas.lt/>.
9. *Toyota-GT86-2-0l-nos-controller*. [Interaktyvus] [žiūrėta 2014 m. gruodžio 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.unichipwholesale.com/product/2013-toyota-gt86-2-0l-nos-controller>.
10. Žarnauskas A., Ancutienė I., Ivanauskas R., Petrašauskienė N. 2008. *Neorganinė chemija*. Kaunas: Technologija, 197 p.

Padėka

Straipsnyje atlikti tyrimo rezultatai gauti naudojant vidaus degimo variklių modeliavimo programą *AVL BOOST*, kurios vartotojo licencija įgyta pagal VGTU Transporto inžinerijos fakulteto ir *AVL Advanced Simulation Technologies* bendradarbiavimo sutartį.

ANALYSIS OF NITROUS OXIDE INJECTION SYSTEM EFFICIENCY IN *TOYOTA GT86 4U-GSE* ENGINE

Summary

This research analyses one of the ways how to increase internal combustion engine power – nitrous oxide (*NOS*) injection system application. Paper presents *NOS* systems overview. Spark ignition atmospheric *Toyota GT86 4U-GSE* engine was chosen as prototype to do numerical simulation using software *AVL BOOST*. Thermal and dynamic calculations, efficient parameters of standard and upgraded engine, also stress analysis of engine parts were carried out.

Keywords: spark ignition engine, increase of engine power, nitrous oxide, *AVL BOOST*.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Alfredas Rimkus.

Mokslų laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

Darbo vieta 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