

DYZELINIO VARIKLIO EKOLOGINIŲ IR ENERGETINIŲ RODIKLIŲ TYRIMAS NAUDOJANT DYZELINO BIOBUTANOLIO IR BRAUNO DUJŲ MIŠINIUS

THE RESEARCH OF DIESEL ENGINE ECOLOGICAL AND ENERGETIC PARAMETERS OF USING DIESEL, BIOBUTANOL AND BRAUN'S GASES MIXTURES

¹⁾Alfredas Rimkus, ²⁾Saugirdas Pukalskas, ³⁾Jonas Matijošius, ⁴⁾Jacek Biedrzycki

^{1), 2), 3)}Vilnius Gedimino technikos universitetas, Transporto inžinerijos fakultetas,
J. Basanavičiaus g. 28, 03224 Vilnius. ⁴⁾Pramoninis motorizacijos institutas „PIMOT“ ul.
Jagiellońska 55 03-301 Warszawa.
El. paštas: alfredas.rimkus@vgtu.lt, saugirdas.pukalskas@vgtu.lt, jonas.matijosius@vgtu.lt,
j.biedrzycki@pimot.org.pl

Gauta 2012-04-30, pateikta spaudai 2012-09-07

Atliekant dyzelinio variklio Peugeot 1.9 D (XUD9) stendinius bandymus, tirtos galimybės, naudojant 80 % dyzelino ir 20 % biobutanolio mišinį bei Brauno dujas (H₂, O₂), pagerinti variklio ekonominius ir ekologinius rodiklius. Tyrimai atlikti varikliui veikiant įvairiomis apkrovomis, esant pastoviam veleno sukimosi dažniui $n = 2000 \text{ min}^{-1}$ ir rezultatai lyginami su rodikliais, gautais naudojant dyzeliną. Brauno dujos gaminamos elektrolizės būdu. Tiekiant 12 V įtampos 30 A stiprio elektros srovę, pagaminama 2,5 l H₂ ir O₂ dujų mišinio per minutę. Priklausomai nuo apkrovos, su dujomis tiekiamo vandenilio masė degalų masės atžvilgiu kinta nuo 0,1 % iki 0,5 %. Į variklio siurbiamą orą papildomai tiekiant Brauno dujas, prie mažų ir vidutinių apkrovų, naudojant dyzelino ir biobutanolio degalų mišinį, apie 10 % išaugo variklio efektyvusis naudingumo koeficientas. Papildomas Brauno dujų tiekimas, naudojant degalų mišinį, pagerino angliavandenilių sudegimą ir iki 80 % sumažino CH kiekį deginiuose. Prie mažų ir vidutinių apkrovimų NO_x kiekis deginiuose sumažėjo 10÷30 %. Papildomas Brauno dujų tiekimas, naudojant dyzelino ir bioetanolio mišinį, deginių dūmingumą, palyginus su dyzelinių degalų dūmingumu, sumažino 10÷20 %.

Dyzelinis variklis, biobutanolis, Brauno dujos, efektyvieji rodikliai, deginių emisija, dūmingumas

Įvadas

Pagrindiniai energijos šaltiniai šiuo metu yra nafta, gamtinės dujos ir anglis, tačiau jie sparčiai senka, o iš jų pagaminta energija nuolat brangsta. Be to, deginant iš Žemės gaunamas iškaskas, į atmosferą išsiskiria dideli kiekiai žmonių bei gyvūnų sveikatai pavojingų junginių, ore sparčiai didėja anglies dvideginio

koncentracija, kuri didina šiltnamio efektą. Dėl šių priežasčių vis didesnis dėmesys skiriamas alternatyvioms degalų rūšims iš atsinaujinančių energijos šaltinių. Išskatinių degalų pakaitalai turi užtikrinti vis griežtėjančias variklių emisijos reikalavimus bei būti ekonomiškai pigesni. Kaip skelbiama ES Baltojoje transporto knygoje [3]: viena iš vidaus degimo variklių vystymosi sričių yra vidaus degimo variklių energetinių parametru gerinimas. Svarbiausias rodiklis šiems procesams užtikrinti yra variklio efektyvusis naudingumo koeficiento didinimas. Aukštesnis efektyvusis naudingumo koeficientas dyzeliniame variklyje suteikia jam daug privalumų: nuo energetinių išteklių tausojimo iki „šiltnamio“ dujų emisijos mažinimo.

Literatūros apžvalga

Lietuvoje butanolio ir jo mišinių su dyzelinu naudojimą dyzeliniame variklyje nagrinėjo prof. S. Lebedevas ir kt. [7]. Tyrimams buvo panaudoti trys skirtingi mišiniai, susidedantys iš biodyzelino, butanolio ir dyzelino. Pirmojo mišinio sudėtis: 70 % dyzelino, 30 % butanolio; antrojo: 70 % dyzelino, 15 % butanolio ir 15 % biodyzelino (RME); trečiasis mišinys susidėjo iš: 50 % dyzelino, 25 % butanolio ir 25 % biodyzelino. Pasak autorių, naudojant trijų komponentų mišinį – dyzelino, biodyzelino ir butanolio, gauti geresni galios, degalų sąnaudų ir ekologiniai rodikliai. Panaudojus mišiniuose iki 30 % biokomponentų, variklio efektyvumo koeficientas gaunamas toks pat geras kaip ir naudojant tik dyzeliną. Didinant biokomponentų koncentraciją iki 50 %, variklio efektyvumo koeficientas išaugo 4 %, lyginant su dyzelinu. Panaudoję mišinį su 30 % biokomponentų, autoriai gavo geresnius ekologinius variklio rodiklius, nei naudodami mišinį su 50 % biokomponento, kur anglies monoksido (CO) emisija išaugo 20÷25 %, bendra angliavandenilių (CH) ir azoto oksidų (NO_x) emisija išaugo 30÷35 %. Palyginę dyzelino, butanolio ir trikomponenčius dyzelino, biodyzelino ir butanolio mišinius, šie mokslininkai teikia pranašumą trikomponenčiam, nes jį panaudojus NO_x emisija sumažėjo 10÷15 % esant didelei variklio apkrovai, CO₂ emisija sumažėjo 20÷25 % esant mažai variklio apkrovai. CH sumažėjo 20 % esant visiems variklio apkrovos režimams, lyginant su dyzelino ir butanolio mišiniais.

Atėnų nacionalinio technologijos universiteto mokslininkai ištyrė n-butanolio, dyzelino mišinių naudojimą tiesioginio įpurškimo dyzeliniame variklyje ir konstatavo jų naudojimo efektyvumą [9]. Atlikto tyrimo tikslas – sužinoti, kaip variklio dinamines ir ekologines charakteristikas veikia butanolio priedas dyzeline. Eksperimentas atliktas laboratorijoje su standartiniu eksperimentiniu tiesioginio įpurškimo dyzeliniu varikliu „Ricardo/Cussons Hydra“, nedarant jokių modifikacijų. Tyrimas atliktas naudojant 99,9 % grynumo n-butanolį su įprastu dyzelinu, maišant juos 8 %, 16 % ir 24 % santykiu. Bandymas atliekamas esant pastoviems 2000 min⁻¹ variklio sūkiams, keičiant tik variklio apkrovą. Kiekvieno bandymo metu buvo matuojamas tūrinis degalų suvartojimas, išmetamųjų dujų temperatūra, dūmingumas, NO_x, CO ir CH. Eksperimentas pradėtas naudojant gryną dyzeliną, paskui naudojant n-butanolio ir dyzelino mišinius. Toks

eksperimentas leidžia palyginti variklio parametrus, kuriuos veikia butanolio priedas. Tyrimo metu paaiškėjo, kad kietųjų dalelių (PM) kiekis sumažėjo 37÷49 %, atsižvelgiant į butanolio kiekį mišinyje. NO_x koncentracija atitinkamai sumažėjo 10÷16 %, CO koncentracija sumažėjo 3÷6 %, o angliavandenilių kiekis ir degalų sąnaudos išaugo atitinkamai 5÷18 % ir 4÷6 %.

Sakarya universiteto (Turkija) mokslininkai nagrinėjo izobutanolio ir dyzelino mišinius [5]. Nagrinėtuose mišiniuose izobutanolio koncentracija sudarė 5 %, 10 %, 15 % ir 20 % mišinyje. Tyrimų metu patvirtintas perspektyvus šių mišinių naudojimas. Eksperimentui naudotas vieno cilindro dyzelinis variklis, kurio nominalioji galia – 14 kW, nominalieji sūčiai – 3000 min⁻¹. Atlikus bandymus paaiškėjo, kad, didinant izobutanolio kiekį mišinyje, variklio galia sumažėjo 4÷9 %, lyginant su dyzelinu plačiame variklio sūčių diapazone. Taip pat CO ir NO_x emisijos sumažėjo atitinkamai 1÷10 % ir 10÷20 % tame pačiame sūčių diapazone. Angliavandenilių koncentracija padidėjo 30÷55 %, priklausomai nuo izobutanolio kiekio mišinyje.

Pirmasis vandenilio dujų naudojimas vidaus degimo varikliuose kaip degalus buvo aprašytas Anglijoje Renevald Cecil 1820 metais. 1854 metais Bursanti ir Matteucci Italijoje sukonstravo pirmąjį vandenilinį variklį, tą patį pakartojo Vokietijoje Rudolf Erren 1920 metais, o Ricardo 1924 metais pažymėjo, kad, vandenilį naudojant kaip degalus, išauga variklio darbo efektyvumas [2].

Palyginus vandenilio dujas ar dujas prisotintas vandeniliu su kitais degalais pastebima, kad jos yra pilnai atsinaujinančios ir neribotų išteklių. Pagrindinis jų privalumas prieš angliavandenilinius degalus yra tas, jog jos neturi savyje anglies. Labai didelis vandenilio degimo greitis sąlygoja greitą degimo procesą ir platų liepsnos fronto kitimą, tai leidžia varikliui dirbti plačiame λ diapazone. Dėl mažos vandenilio užsiliepsnojimo energijos ir plataus liepsnos fronto plitimo varikliai dirba liesu mišiniu, kas didina variklio ekonomiškumą ir mažina išmetamųjų dujų emisijas. Naudojant vandenilį įmanoma sumažinti visas reglamentuojamų dujų emisijas išskyrus azoto oksidų. Brauno dujų (H₂, O₂) naudojimas yra vienas iš aprašytų realių atsinaujinančių energijos šaltinių panaudojimo būdų, kuris leistų ženkliai sumažinti „šiltnamio“ dujų emisijas iš vidaus degimo variklių [6].

Cukurova universiteto (Turkija) mokslininkai [4] tyrė Brauno dujų panaudojimo dyzeliniame variklyje galimybes. Keisdami katalizatorius, naudojamus Brauno dujų gamybai (KOH, NaOH ir NaCl), jie gavo, kad, naudojant Brauno dujas, 1700 min⁻¹ variklio sūčių diapazone sukimo momentas išauga iki 19,1 %, CO ir CH emisijos sumažėja atitinkamai 13,5 % ir 5 %, bet 14 % padidėja degalų sąnaudos.

Neigiama vandeniliu prisotinto mišinio efektą konstatavo Bukarešto Politechnikos (Rumunija) mokslininkai [1]. Jie konstatavo, kad vandenilio priedas pablogino efektyvųjų naudingumo koeficientą 2 %, azoto oksidų emisija išaugo iki 14 %, bet teigiamas efektas pasireiškė tuo, kad pavyko iki 30 % sumažinti dūmingumą.

Tyrimų tikslas ir uždaviniai

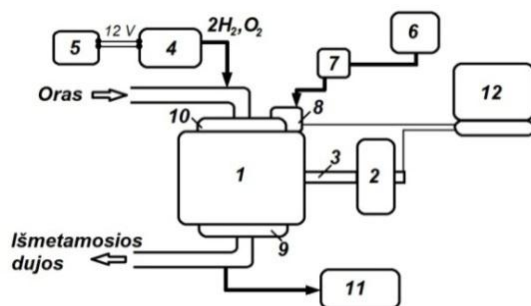
Išanalizavus mokslininkų darbus Brauno dujų panaudojimo vidaus degimo variklyje tema, galima teigti, kad skirtingų autorių gauti duomenys tarpusavyje blogai koreliuoja ir negalima padaryti vienareikšmiškos išvados apie Brauno dujų panaudojimo vidaus degimo varikliuose efektyvumą. Dėl to šio darbo tikslas nustatyti Brauno dujų įtaką energiniams bei ekologiniams rodikliams, naudojant dyzeliną bei dyzelino ir biobutanolio degalų mišinį.

Tikslui pasiekti buvo sprendžiami tokie uždaviniai:

1. Paruošti tyrimo metodiką ir Brauno dujų gamybos įrangą.
2. Atlikti variklio stendinius bandymus.
3. Apdoroti gautus tyrimo rezultatus ir surasti priežastinį ryšį tarp variklio darbo rodiklių ir emisijos pokyčių, naudojant tiriamus degalų mišinius.

Objektas ir metodika

Stendiniai bandymai atlikti Varšuvos Pramoninio motorizacijos instituto (PIMOT) Vidaus degimo variklių laboratorijoje, panaudojant dyzelinį Peugeot 1.9 D (XUD9) variklį, apkrovos stendą ir papildomą matavimo įrangą (1 pav.). Tiriama biobutanolio priedo į dyzelinius degalus ir Brauno dujų priedo į įsiurbiamą orą įtaka variklio energiniams ir ekologiniams rodikliams.

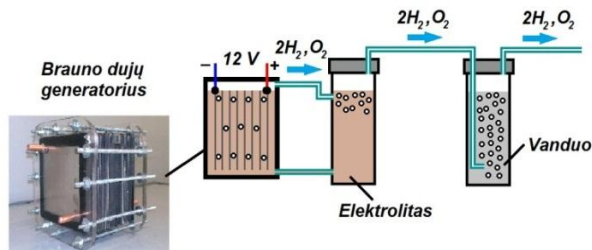


1 pav. Brauno dujų įtakos dyzeliniam varikliui stendinių tyrimų įrangos schema: 1 – dyzelinis vidaus degimo variklis; 2 – variklio apkrovos stendas AMX 200/100; 3 – kardaninis velenas; 4 – Brauno dujų generatorius; 5 – 12 V elektros energijos šaltinis; 6 – degalų bakas; 7 – degalų kiekio matuoklis AVL 733; 8 – didelio slėgio dyzelinių degalų siurblys; 9 – išmetimo kolektorius; 10 – įsiurbimo kolektorius; 11 – išmetamųjų dujų analizatorius AVL DICOM 4000; 12 – personalinis kompiuteris

Fig. 1. Stand scheme of Brown's gas impact on diesel engine: 1 – diesel internal combustion engine; 2 – dynamometer AMX 200/100; 3 – cardan-shaft; 4 – Brown's gas generator; 5 – the source of 12 V power; 6 – fuel tank; 7 – fuel consumption meter AVL 733; 8 – high pressure fuel pump; 9 – exhaust gas manifold; 10 – intake manifold; 11 – exhaust gas analyser AVL DICOM 4000; 12 – personal computer

Tyrimams panaudoto variklio pagrindiniai parametrai: cilindrų darbinis tūris $V_H = 1,905$ l; cilindro skersmuo $D = 83$ mm; stūmoklio eiga $S = 88$ mm; maksimali efektyvioji galia $P_{e\ max} = 47$ kW, esant $n = 4600$ min⁻¹; maksimalus efektyvusis sukimo momentas $P_{e\ max} = 120$ Nm, esant $n = 2000$ min⁻¹ sukiamas; suslėgimo laipsnis $\varepsilon = 23,5$. Degalai tiekiami mechaniškai valdomu skirstomuoju didelio slėgio degalų siurbliu į sukurinę degimo kamerą. Variklis be turbokompresoriaus ir deginių recirkuliacijos.

Brauno dujos gaminamos elektrolizės būdu Brauno dujų generatoriuje (2 pav.). Generatoriaus talpa užpildoma elektrolitu, sudarytu iš 97 % distiliuoto vandens ir 3 % kalio hidroksido (KOH) tirpalo.



2 pav. Brauno dujų generatoriaus veikimo schema
Fig. 2. Operation scheme of Brown's gas generator

Brauno dujų generatorius, naudodamas $U = 12$ V įtampos ir $I = 30$ A stiprios elektros srovę, kurią tiekia atskiras elektros energijos šaltinis, pagamina $V_{Br} = 2,5$ l/min vandenilio ir deguonies dujų mišinio. Iš 1 kg vandens pagaminama apie 1860 l Brauno dujų, kur H_2 ir O_2 dujų tūrių santykis 2:1 (1240 l:620 l). Esant $T_0 = 0$ °C temperatūrai ir $p_0 = 0,1$ MPa slėgiui, vandenilio dujų tankis $\rho_{H_2} = 0,09$ kg/m³, deguonies dujų tankis $\rho_{O_2} = 1,43$ kg/m³, Brauno dujų tankis $\rho_{Br} = 0,54$ kg/m³. Viename litre Brauno dujų yra $m_{H_2/l} = 0,06$ g vandenilio. Vandenilio apatinis šilumingumas $H_a = 120$ MJ/kg [10]. Elektrolizės būdu iš 1 litro vandens išgautose Brauno dujose yra 0,0744 kg vandenilio. Šiam dujų kiekiui idealiai sudegus išsiskirs 8,928 MJ šiluminės energijos. Brauno dujų gamybos ir panaudojimo vidaus degimo variklyje efektyvusis naudingumo koeficientas $\eta_{e_{Br}} \approx 0,2$.

Atliekant bandymus buvo matuoti šie parametrai:

1. Variklio sukiai n , min⁻¹;
2. Variklio efektyvusis sukimo momentas M_e , Nm;
3. Valandinės degalų sąnaudos B_d , kg/h;
4. CO kiekis išmetamosiose dujose, %;
5. CO₂ kiekis išmetamosiose dujose, %;
6. CH kiekis išmetamosiose dujose, ppm;

7. NO_x oksidų emisija išmetamosiose dujose, ppm;
8. Išmetamųjų dujų dūmingumas, %;
9. Oro pertekliaus koeficientas λ ;

Tyrimams naudojami degalai:

- D 100 % – dyzelinas;
- D 100 % + Br – dyzelinas ir papildomas Brauno dujų tiekimas;
- D 80 % + B 20 % – 80 % dyzelino ir 20 % biobutanolio degalų mišinys;
- D 80 % + B 20 % + Br – 80 % dyzelino ir 20 % biobutanolio degalų mišinys bei papildomas Brauno dujų tiekimas.

Tyrimai rezultatai fiksuoti prie pastovaus variklio sukimosi dažnio $n = 2000 \text{ min}^{-1}$, variklio apkrovos stendu keičiant apkrovimo (efektyvųjį) momentą M_e .

Kad gautus matavimo ir skaičiavimo rezultatus būtų galima palyginti su kitais analogiškais tyrimais, rezultatai pateikiami variklio vidutinio indikatorinio slėgio p_i atžvilgiu.

Nustatant energinius variklio rodiklius, įvertinta, kad, Brauno dujų gamybai elektrolizės būdu, panaudotas papildomas elektros energijos šaltinis.

Lyginamosios efektyviosios degalų sąnaudos, g/kWh:

$$b_e = \frac{1000 \cdot B_d}{P_e - P_{Br}}; \quad (1)$$

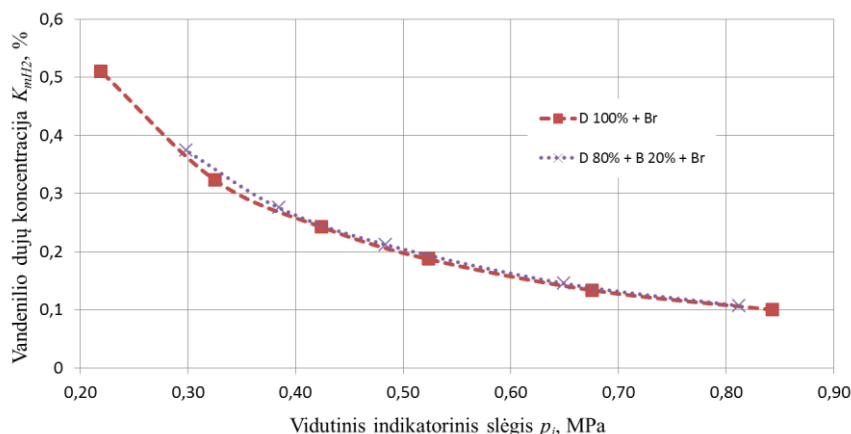
čia: B_d – valandinės degalų sąnaudos, kg/h; P_{Br} – elektrinė galia, naudojama Brauno dujų gamybai, kW:

Tyrimo rezultatai ir jų analizė

Didinant variklio apkrovą, didėja į cilindrų įpurškiamų degalų ciklinis kiekis ir auga vidutinis indikatorinis slėgis. Brauno dujų generatorius gamina pastovų dujų kiekį (2,5 l/min), todėl, didėjant cilindro indikatoriniam slėgiui, vandenilio masės, patenkančios į cilindrą su Brauno dujomis, dalis K_{mH_2} įpurškiamų degalų atžvilgiu mažėja nuo 0,5 % prie $p_i = 0,25$ iki 0,1 % prie $p_i = 0,85$ (3 pav.).

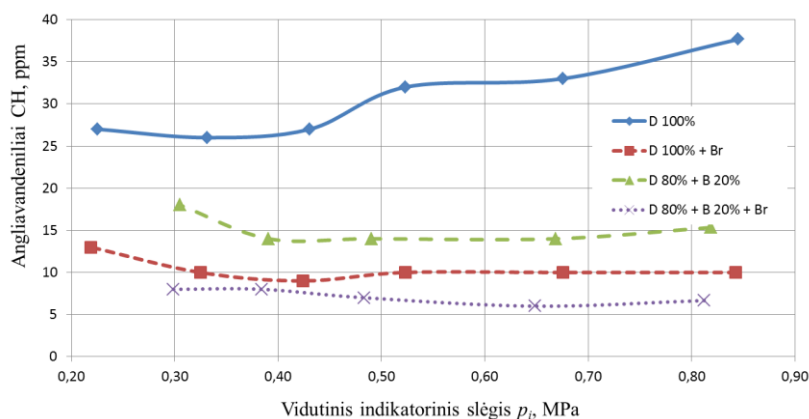
Tiriant CH kiekį išmetamosiose dujose nustatyta, kad didinant variklio apkrovą, visame tirtame indikatorinio slėgio diapazone $p_i = 0,25 \div 0,85 \text{ MPa}$, didžiausias jų kiekis išmetamas naudojant dyzeliną (4 pav.). Papildomai tiekiant Brauno dujas, prie mažų apkrovų ($p_i = 0,25 \div 0,45 \text{ MPa}$) CH kiekis sumažėjo nuo 27 ppm iki 10 ppm (~ 63 %), prie vidutinių ir didelių apkrovų ($p_i = 0,45 \div 0,85 \text{ MPa}$) nuo 35 ppm iki 10 ppm (~ 72 %). Naudojant dyzelino ir biobutanolio degalų mišinį, palyginus su dyzeliniu, prie mažų apkrovų CH kiekis sumažėjo iki 15 ppm (~ 44 %), prie vidutinių ir didelių iki 14 ppm (~ 60 %). Naudojant degalų mišinį ir papildomai tiekiant Brauno dujas, palyginus su

dyzelinu, prie mažų apkrovų CH kiekis sumažėjo iki 8 ppm (~ 70 %), prie vidutinių ir didelių iki 7 ppm (~ 80 %). CH kiekis deginiuose mažėja, nes Brauno dujose esantis vandenilio kiekis pagerina angliavandenilių sudegimą.



3 pav. Vandenilio koncentracijos priklausomybė nuo indikatorinio slėgio

Fig. 3. The dependence of the hydrogen concentration on indicated mean effective pressure

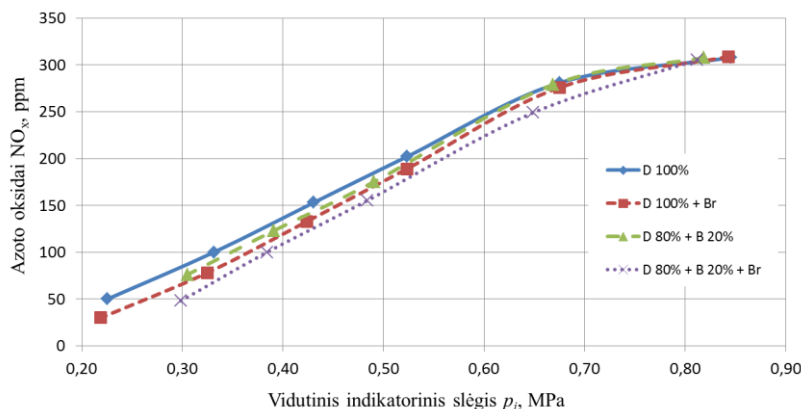


4 pav. CH kiekio išmetamosiose dujose priklausomybė nuo indikatorinio slėgio

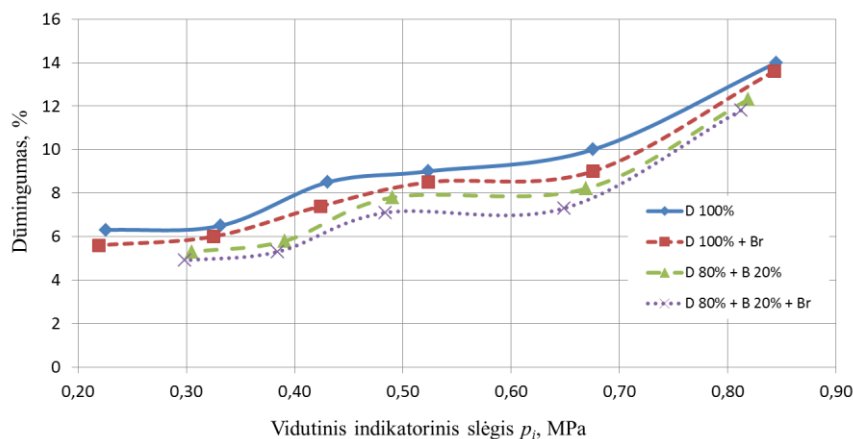
Fig. 4. The dependence of the HC on indicated mean effective pressure

Visame tirtame indikatorinio slėgio diapazone $p_i = 0,25 \div 0,85$ MPa azoto oksidų kiekis deginiuose didėjo didinant variklio apkrovą (5 pav.). Didžiausias NO_x kiekis išmetamas naudojant dyzeliną. Naudojant dyzeliną ir papildomą Brauno dujų tiekimą, palyginus su dyzelinu, prie mažų ir vidutinių apkrovų NO_x kiekis sumažėjo 18÷7 %. Naudojant dyzelino ir biobutanolio degalų mišinį, palyginus su dyzelinu, prie mažų ir vidutinių apkrovų NO_x kiekis sumažėjo 10÷5 %. Naudojant degalų mišinį ir papildomai tiekiant Brauno dujas, palyginus su

dyzelinu, prie mažų ir vidutinių apkrovų NO_x kiekis deginiuose sumažėjo $37 \div 10 \%$. NO_x kiekis mažėja, nes biobutanolis sumažina degalų mišinio šilumingumą ir degimo temperatūrą, o, degant H_2 ir O_2 dujoms, susidaro vandens garai, kurie taip pat mažina deginių temperatūrą.



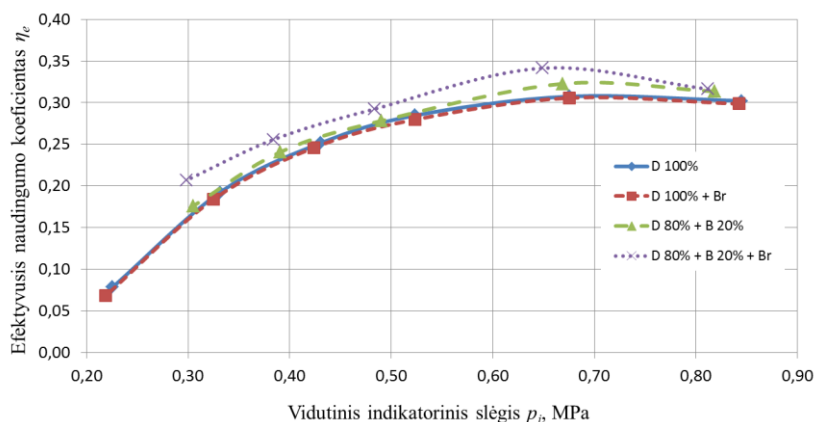
5 pav. NO_x kiekio išmetamosiose dujose priklausomybė nuo indikatorinio slėgio
Fig. 5. The dependence of the NO_x on indicated mean effective



6 pav. Išmetamųjų dujų dūmingumo priklausomybė nuo indikatorinio slėgio
Fig. 6. The dependence of the smokiness on indicated mean effective pressure

Visame indikatorinio slėgio diapazone $p_i = 0,25 \div 0,85$ MPa deginių dūmingumas didėja didinant variklio apkrovą (5 pav.). Naudojant dyzeliną ir papildomai tiekiant Brauno dujas, dūmingumas sumažėjo $5 \div 13 \%$. Naudojant dyzelino ir biobutanolio degalų mišinį, palyginus su dyzelinu, dūmingumas sumažėjo $5 \div 20 \%$. Naudojant degalų mišinį ir papildomai tiekiant Brauno dujas, palyginus su dyzelinu, dūmingumas deginiuose prie mažų apkrovų ($p_i = 0,3$ MPa) sumažėjo nuo $6,3 \%$ iki $4,9 \%$ ($\sim 22 \%$), prie vidutinių apkrovų ($p_i = 0,55$ MPa)

sumažėjo nuo 9,1 % iki 7,2 % (~21 %), prie didelių apkrovų ($p_i = 0,81$ MPa) sumažėjo nuo 13,1 % iki 11,8 % (~11 %). Dūmingumas mažėję galima paaiškinti trumpesnės biobutanolio angliavandenilio molekulos geresniu sudegimu ir mažesniu C/H elementiniu santykiu. Brauno dujose esantis vandenilis dėl didelės difuzijos pagerina anglies sudegimą.



7 pav. Variklio efektyvusis naudingumo koeficiento priklausomybė nuo indikatorinio slėgio

Fig. 7. The dependence of the effective engine efficiency ratio on indicated mean effective pressure

Didžiausias variklio efektyvusis naudingumo koeficientas η_e pasiekiamas prie vidutinių variklio apkrovų ($p_i = 0,65 \div 0,75$ MPa) (7 pav.). Naudojant dyzeliną, didžiausia η_e reikšmė siekia 0,31. Naudojant dyzeliną ir papildomai tiekiant Brauno dujas, visame tirtame indikatorinio slėgio diapazone $p_i = 0,25 \div 0,85$ MPa, variklio efektyvusis naudingumo koeficientas yra artimas reikšmėms, gautoms naudojant dyzeliną. Naudojant dyzelino ir biobutanolio degalų mišinį, efektyvusis naudingumo koeficientas prie mažų apkrovų ($p_i = 0,25 \div 0,50$ MPa) yra panašus kaip ir naudojant dyzeliną, bet prie vidutinių apkrovų pradeda augti ir prie $p_i = 0,70$ MPa $\eta_e = 0,325$ (išaugo ~5 %). Naudojant degalų mišinį ir papildomai tiekiant Brauno dujas, palyginus su dyzelinu, prie mažų apkrovų efektyvusis naudingumo koeficientas išaugo 10÷20 %, o prie vidutinių apkrovų siekia 0,34 MPa (išaugo ~9 %). Variklio darbo terminis efektyvumas, naudojant bioetanolio ir dyzelino mišinį išaugo, nes biobutanolis turi 22 % mažesnę šilumingumą nei dyzelinas, padidina bendrą deguonies kiekį degiamame mišinyje ir degimo procesas yra kokybiškesnis. Papildomai tiekiamos H_2 ir O_2 dujos aktyvina mišinio degimą ir didina degalų panaudojimo šiluminį efektyvumą. Biobutanolis, dėl mažesnio cetaninio skaičiaus, padidina degalų mišinio užsiliepsnojimo gaisties periodą, bet Brauno dujos dindina mišinio degimo greitį bei dalinai kompensuoja degimo

proceso charakteringų fazių pasikeitimus ir yra išlaikomas aukštas ciklo efektyvusis naudingumo koeficientas [8].

Išvados

Atliktų eksperimentinių tyrimų, varikliui veikiant 80 % dyzelino ir 20 % biobutanolio degalų mišiniu ir į įsiurbiamą orą tiekiant 2,5 l/min Brauno dujų, gautus rezultatus palyginus su rezultatais gautais varikliui veikiant dyzelinu, daromos tokios išvados:

1. Prie mažų variklio apkrovų ($p_i = 0,25 \div 0,45$ MPa) CH kiekis sumažėjo nuo 27 ppm iki 8 ppm (~ 70 %), prie vidutinių ir didelių ($p_i = 0,45 \div 0,85$ MPa) nuo 35 ppm iki 7 ppm (~ 80 %).
2. Prie mažų ir vidutinių apkrovų NO_x kiekis deginiuose sumažėjo 37÷10 %.
3. Prie mažų ir vidutinių apkrovų dūmingumas deginiuose sumažėjo ~20 %, prie didelių apkrovų ~10 %.
4. Prie mažų apkrovų efektyvusis naudingumo koeficientas η_e išaugo 10÷20 %, o prie vidutinių apkrovų maksimali variklio efektyvumo reikšmė nuo 0,31 pasiekė 0,34 MPa (išauga ~8 %).

Literatūra

1. Adrian B., Iulian V., Cristian P., Radu C., Nicolae A. The effect of HRG gas addition on diesel engine combustion characteristics and exhaust emissions. Int J Hydrogen Energy 3 (6), 2011; 12007-12014.
2. Akansu S.O., Dulger Z., Kahran N., Veziroglu T.N. Internal combustion engines fueled by natural gas-hydrogen mixtures. Int J Hydrogen Energy 2004; 29:1527-1539.
3. Baltoji knyga: Bendros Europos transporto erdvės kūrimo planas. Konkurencingos efektyviu išteklių naudojimu grindžiamos transporto sistemos kūrimas. Europos Komisijos 2011 kovo 28 d. nutarimas Nr. COM, 2011; 599. 22p.
4. Yilmaz A.C., Uludamar E., Aydin K. Effect of hydroxy (HHO) gas addition on performance and exhaust emissions in compression ignition engines. Int J Hydrogen Energy 35, 2010; 11366-11372.
5. Karabektas M., Hosoz M. Performance and emission characteristics of a diesel engine using isobutanol–diesel fuel blends Renewable Energy. Vol. 34 (6), 2009; 1554–1559.
6. Knop V., Benkenida A., Jay S., Colin O. Modelling of combustion and nitrogen oxide formation in hydrogen fuelled internal combustion engines within a 3D CFD code. Int J Hydrogen Energy 2008; 33:5083-5097.
7. Lebedevas S., Lebedeva G., Sendzikiene E., Makareviciene V. Investigation of the performance and emission characteristics of biodiesel fuel containing butanol under the conditions of diesel engine operation. Energy & Fuels.

Washington: American Chemical Society. ISSN 0887-0624. Vol. 24 (8), 2010; 4503-4509.

8. Matijošius J. Dyzelinio variklio ekologinių rodiklių gerinimas naudojant biobutanolio ir biodyzelino mišinius. Daktaro disertacija. Technologijos mokslai. Transporto inžinerija (03T), Vilnius: Technika. 2012; - 109 p
9. Rakopoulos D.C., Rakopoulos C.D., Giakoumis E.G., Dimaratos A.M., Kyritsis D.C. Effects of butanol-diesel fuel blends on the performance and emissions of a high speed DI diesel engine. *Energy Conversion and Management*, Vol. 51, 2010; 1989-1997.
10. Surygala J. Wodorod joko paliwo. [Vandenilis kaip degalas]. Warszawa: Wydawnictwa naukowo-techniczne. 2008; – 177 p (Lenkiškai).

Alfredas Rimkus, Saugirdas Pukalskas, Jonas Matijošius, Jacek Biedrzycki

THE RESEARCH OF DIESEL ENGINE ECOLOGICAL AND ENERGETIC PARAMETERS OF USING DIESEL, BIOBUTANOL AND BRAUN'S GASES MIXTURES

Abstract

Bench tests were carried out of Peugeot 1.9 D (XUD9) diesel engine to investigate the possibilities to improve economic and ecological indicators of engine using 80 % diesel 20 % biobutanol fuel blend and also Brown's gas (H₂, O₂). Research was performed in different engine loads at constant crankshaft speed $n = 2000 \text{ min}^{-1}$. Results were compared with rates obtained using diesel fuels. Brown's gas are produced by electrolysis. Using 12 V voltage 30 A strength electric current in a minute there are produced 2.5 l H₂ and O₂ gas blend. Depending on the load the hydrogen mass in supplied gas regarding fuel mass vary from 0.1 % to 0.5 %. Additionally supplying Brown's gas into intaken engine air when using diesel fuel and as well diesel and biobutanol fuel blend on small and medium loads the engine effective efficiency increased 10 %. Additional Brown's gas supply improves hydrocarbon combustion so in this case the HC amount in exhaust gases reduced to 80 %. On small and medium loads the NO_x amount in exhaust gases reduced 10÷30 %. Usage of additional Brown's gas supply with diesel fuel and biobutanol blend exhaust smoke comparing with diesel fuel smoke reduced 10÷20 %.

Diesel engine, biobutanol, effective parameters, exhaust emissions, smoke opacity

Альфредас Римкус, Саугирдас Пукалскас, Йонас Матийошиус, Яцек Биеджицкий

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ РАБОТЕ НА СМЕСЯХ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА БИОБУТАНОЛА И ГАЗА БРАУНА

Резюме

Во время стендовых испытаний дизельного двигателя Peugeot 1.9 D (XUD9) были изучены возможности улучшения экономических и экологических характеристик дизельного двигателя при использовании смесей, состоящих из 80 % дизельного топлива, 20 % биобутанола и газа Брауна (H_2 , O_2). Испытания проведены при постоянных оборотах коленчатого вала $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ и различных нагрузках двигателя, при этом полученные данные были сравнены с характеристиками двигателя работающего на дизельном топливе. Газ Брауна был получен во время процесса электролиза. Было получено 2,5 л смеси газа H_2 и O_2 в минуту, используя электрический ток 12 V, сила тока 30 A. В зависимости от нагрузки двигателя, масса подаваемого с газом водорода в сравнении с общей массой топлива, варьирует от 0,1 % до 0,5 %. При маленьких и средних нагрузках двигателя и используя и топливную смесь состоящую из дизельного топлива и биобутанола с дополнительной подачей газа Брауна в воздух, поступающий в двигатель, эффективный коэффициент полезного действия увеличивается на 10 % по сравнению с дизельным топливом. Дополнительная подача газа Брауна, при использовании смеси, улучшила сгорание углеводородов и снизила эмиссию СН до 80 %. При маленьких и средних нагрузках двигателя эмиссия NO_x снизилась на 10÷30 %. Дополнительная подача газа Брауна снизила эмиссию дымности до 10÷20 %.

Дизельный двигатель, биобутанол, газ Брауна, эффективные показатели, эмиссия выхлопных газов, дымность.