



16-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos
TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,
vykusios 2013 m. gegužės 8 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 16th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'
TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT, 8 May 2013, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 16-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»
ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, 8 мая 2013 г., Вильнюс, Литва

UŽDEGIMO ŽVAKIŲ ĮTAKA BENZININIO VARIKLIO SU DUJINE ĮRANGA DARBUI

Donatas Morkūnas¹, Saulius Nagurnas², Alfredas Rimkus³, Mindaugas Melaika⁴

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

*El. paštas: ¹dmorkunass@gmail.com, ²saulius.nagurnas@vgtu.lt,
³alfredas.rimkus@vgtu.lt, ⁴mindaugas.melaika@dok.vgtu.lt*

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjama uždegimo žvakių įtaka benzininio variklio su dujine įranga darbui. Naudojant dinamometrinių automobilių traukos stendą išmatuoti skirtingų žvakių tipų (su vienu, keturiais elektrodais) išmetamųjų dujų CO₂, O₂, CO, HC kiekiai ir variklio galia prie skirtingų apkrovų. Antrajame tyrimų etape slėgio kameroje nustatytos uždegimo žvakių kibirkšties elektrinės charakteristikos: įtampa ir kibirkšties degimo laikas.

Reikšminiai žodžiai: uždegimo žvakė, išmetamosios dujos, įtampa, kibirkšties degimo laikas, variklio galia.

Įvadas

Uždegimo žvakės automobiliuose turi nemažą reikšmę. Dažniausiai automobiliai, kuriems montuojama dujų įranga yra 5–10 metų senumo. Tai automobiliai, pravažiuojantys 100 tūkstančių kilometrų ir daugiau. Kadangi gaminama daug žvakių tipų ir variantų, tokiuose automobiliuose turi būti sumontuotos žvakės, geriausiai užtikrinančios puikų suskystintų dujų uždegimą. Uždegimo procesai, vykstantys variklyje naudojant dujas, šiek tiek skiriasi nuo benzininių, nes ten didesnė degimo kameros darbo temperatūra. Žvakės, tinkamos darbui varikliui su benzinu, nevisiškai tinka darbui su dujomis, todėl atsiranda problema parinkti ir rasti tinkamiausias. Be to, nuo uždegimo žvakių darbo kokybės priklauso automobilio išmetamosios dujos – kuo geriau uždegami degalai, tuo mažiau teršiama gamta.

Pasaulyje atliekami įvairūs uždegimo žvakių tyrimai. Jungtinėse Amerikos Valstijose buvo atliktas uždegimo žvakių automobiliuose su dujine įranga optinis spektroskopinis tyrimas. Bandymo metu nagrinėjama erozijos ir korozijos įtaka žvakių tarnavimo laikui (Lin H. T. *et al.* 2005).

Korejiečių profesorius atliko bandymą su vieno ir dviejų kontaktų uždegimo žvakėmis naudojant HCNG

degalus. Uždegimo žvakės lyginamos fotografuojant degalų uždegimą ir matuojant šilumos išsiskyrimą (Seang – Wock Lee *et al.* 2012).

Šio darbo tikslas ištirti uždegimo žvakių įtaką benzininio variklio su dujine įranga darbui, palyginti skirtingų žvakių tipus eksperimentiškai, ištirti senų ir naujų uždegimo žvakių veikimo įtaką taršai, naudojant traukos stendą išsiaiškinti ar uždegimo žvakės turi didelę reikšmę automobilio su dujine įranga traukos parametrams.

Uždegimo žvakių eksperimentinių tyrimų metodika su stendu MAHA LSP 3000 PKW

Bandymai daryti Vilniaus Gedimino Technikos universitete, Transporto inžinerijos fakultete, Automobilių katedros laboratorijoje.

Eksperimentui atlikti buvo naudojamas dinamometrinis automobilių traukos stendas MAHA LPS 3000 PKW. Prietaiso aprašas pateiktas 1 lentelėje. Naudojant šią įrangą galima imituoti tikras važiavimo sąlygas. Stendas turi: ritinius įtvirtintus metaliniame rėme ir sujungtus su elektromagnetiniais stabdžiais, specialią programą duomenims apdoroti, jungtį išmetamosioms dujoms matuoti, nuotolinį valdymo pultą, aušintuvą, bei OBD II diagnostinę jungtį, skirtą skenuoti automobilio variklio ir kitų mechanizmų parametrus realiuoju laiku. Šiuo prietai-

su galima tirti visų degalų rūšių automobilius: varomus dyzelinu, benzinu ar dujomis. Stendas skirtas automobiliams, varomiems viena ašimi – priekine arba galine.

1 lentelė. Traukos stendo techniniai duomenys

Stendo parametras	Reikšmė
Ritinių matmenys, mm ilgis/plotis/aukštis	3345/1100/520
Mažiausias bandomo automobilio rato skersmuo, mm	9,46
Ritinių skersmuo, mm	318
Didžiausias bandymo greitis, km/h	260
Traukos galia, kW	260
Traukos jėga, kN	6
Stabdymas sukūrinėmis srovėmis, kW	260
Didžiausia apkrova, kg	2 500

Tyrimams atlikti buvo naudojamas automobilis SAAB 9-3, kurio parametrai nurodyti 2 lentelėje. Šio automobilio ratus suka benzininis variklis su dujine įranga.

2 lentelė. Automobilio techniniai duomenys

Markė, modelis	SAAB 9–3 (YS3D)
Pagaminimo metai	1998
Variklis	2,0 i (B204I)
Maksimali galia	131 AG / 6100 aps.
Didžiausias sukimo momentas	177 / 4300 Nm
Transmisija	5 Mechaninė
Padangos (priekyje ir gale)	195/65 R15
Kėbulo tipas	Hečbekas
Varantieji ratai	Priekiniai
Paskirstymo mechanizmas	DOCH
Cilindrų skaičius	4
Suspaudimo laipsnis	10,1
Katalizatoriaus tipas	3 dalių konverteris
Degalų tipas	Benzinas / dujos
Dujų sistema	įpurškimas
Išoriniai matmenys	
Aukštis, mm	1436
Plotis, mm	1711
Ilgis, mm	4637
Masė (nepakrauto), kg	1315
Masė (pakrauto), kg	1810

Tiriamą automobilio varomieji priekiniai ratai užvaromi ant stendo ritinių, ant kurių jie yra sukami ir taip apskaičiuojami automobilio techniniai parametrai, taip pat imituojamos apkrovos. Automobilio priekyje pastaty-

tas ventiliatorius sukuria dideli oro srautą, kuris vėdina SAAB 9–3 variklį ir neleidžia jam perkaisti. Gaunamos tokios pat sąlygos kaip automobilis važiuotų tikrame kelyje. Atliekami bandymai su 3 rūšių uždegimo žvakėmis: naudotomis vieno kontakto Bosch su yttrium elektrodu, naujomis vieno kontakto NGK ir naujomis keturių kontaktų BERU su platinos elektrodu. Su kiekvienomis žvakėmis buvo atlikti 2 bandymai su skirtingais degalais: benzinu ir suskystintomis dujomis. Kad būtų galima nustatyti išmetamųjų dujų kiekius, į automobilio dujų išmetimo vamzdį buvo įkištas jutiklis, kuris perduodavo duomenis į stendo kompiuterį.

Atliekant šį tyrimą su skirtingomis uždegimo žvakėmis visų bandymų sąlygos buvo sudaromos vienodos. Įjungiamo trečia pavara ir automobilis pasiekia maksimalų 60 km/h greitį, nes toks nustatomas MAHA LPS 3000 PKW stendo kompiuteryje. Nebandome automobilio maksimalios galios, kadangi šio bandymo tikslas ištirti uždegimo žvakių charakteristikas, palyginti išmetamųjų dujų kiekius bei galią prie tos pačios apkrovos. Bandymo metu automobilis dirba keturiais skirtingais režimais, pradeda mažesne apkrova ir etapais ji didinama. Paspaudus stipriau akseleratoriaus pedalą, stendo būgnuose padidėdavo apkrova, tačiau greitis 60 km/h ir variklio sūkiai 1943 rpm likdavo nepakitę.

Ekspimentinių tyrimų rezultatai ir jų analizė

Gavus bandymų rezultatus, jie buvo apibendrinti ir palyginti. Bandymų rezultatai atrenkami ir lyginami prie panašiausios apkrovos (žr. 3 lentelė).

3 lentelė. Uždegimo žvakių bandymo rezultatai

Uždegimo žvakė	Degalų rūšis	Apkrova F [N]	Galia P [kW]
Bosch yttrium	benzinas	1803,9	30,04
	dujos	1814,8	30,24
NGK	benzinas	1811	30,17
	dujos	1814,8	30,24
BERU Ultra-x platina	benzinas	1783,6	29,77
	dujos	1784,6	29,65

Šioje lentelėje matosi, kad išvystoma galia keičiant uždegimo žvakes ir degalų tipą nesikeičia arba skiriasi tik paklaidų ribose. Galima teigti, kad išbandytos uždegimo žvakės prie tos pačios apkrovos neturėjo įtakos galios parametrui ir buvo gauti stabilūs rezultatai.

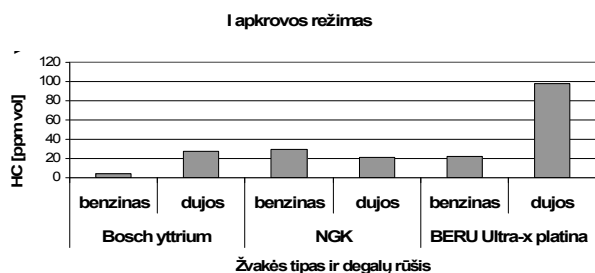
Ekspimentas buvo atliekamas 4 apkrovų režimais: 660 N, 1260 N, 1800 N, 2150 N. Analizuojant duomenis

prie kiekvienos apkrovos lyginami išmetimo dujose esančių medžiagų skirtumai CO₂, O₂, CO, HC. Parenkamos tos apkrovų atkarpos, kurių reikšmės labiausiai sutampa.

Bandyimų rezultatai parodė, kad išmetamosiose dujose CO₂ kiekiai naudojant skirtingus degalus šiek tiek skyrėsi, tačiau visuose apkrovų režimuose uždegimo žvakės įtakos neturėjo. Didelio anglies dvideginio kiekio parodymai rodo beveik idealų oro ir kuro santykį ir efektyvų degimo procesą. Jeigu išmatuojamas mažas CO₂ kiekis, tada kuro mišinys yra arba pernelyg riebus, arba pernelyg liesas galimi išmetimo sistemos nuotėkiai, arba matavimo mėginys praskiestas oru. Pastebėtina, kad naudojant benzino degalus CO₂ kiekis buvo didesnis nei naudojant dujas. Uždegimo žvakės tam įtakos neturėjo, tai nulėmė liesesnis dujų mišinys – galima spręsti pagal O₂ parodymus.

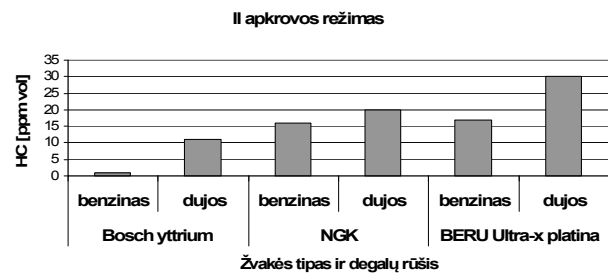
Atliekant eksperimentą buvo fiksuojami O₂ parodymai. Deguonis, matuojamas išmetamųjų dujų tūrio procentais, parodo deguonies kiekį, likusį išmetamosiose dujose po įvykusio degimo proceso. Idealių reikšmių diapazonas automobiliams su antrinio oro padavimo sistema yra mažiau nei 1,5 %. Jei yra oro priverstinio padavimo sistema, O₂ lygis dažniausiai būna nuo 3% iki 4%. Automobilis SAAB 9–3 turi antrinę oro padavimo sistemą. Rezultatai parodė, kad gauti deguonies kiekiai patenka į idealių reikšmių diapazonus, išskyrus ketvirtame apkrovos režime su benzino degalais BERU uždegimo žvakės pasiekia 2 % ribą.

Diagramoje (žr. 1 pav.) matomas aiškus skirtumas angliavandenių kiekio išmetamosiose dujose tarp benzino ir dujų degalų.



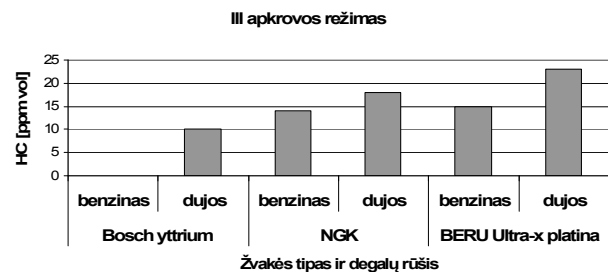
1 pav. Išmetamųjų dujų HC kiekiai I apkrovos režime

Verta pažymėti, kad mažiausios reikšmės buvo užfiksuotos su BOSCH uždegimo žvakėmis, o naudojant benzina jos buvo labai minimalios. Šiame apkrovos režime naudojant dujų degalus buvo užfiksuotos didžiausios HC reikšmės su BERU žvakėmis.



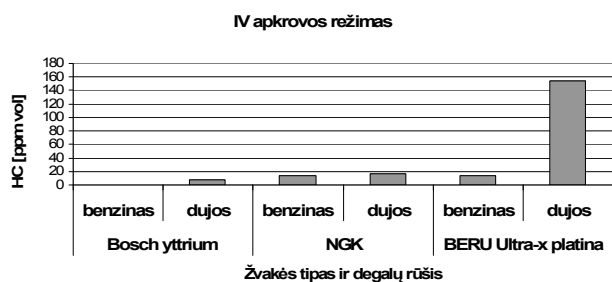
2 pav. Išmetamųjų dujų HC kiekiai II apkrovos režime

Antrame apkrovos režime vėl daugiausia angliavandenių išmetama naudojant dujų degalus, tik šį kartą tai pasitvirtino su visų tipų uždegimo žvakėmis. Tai pat matosi, kad su „BOSCH“ uždegimo žvakėmis naudojant benzina ir dujas išmetama mažiausiai HC, o daugiausiai naudojant „BERU“ žvakes. NGK uždegimo žvakių HC kiekiai diagramoje pasiskirsto per vidurį (žr. 2 pav.).



3 pav. Išmetamųjų dujų HC kiekiai III apkrovos režime

Pastebėtina, kad šiame apkrovos režime geriausi rezultatai gaunami su BOSCH uždegimo žvakėmis, nes naudojant benzino degalus angliavandenių neišmetama. Su NGK ir BERU uždegimo žvakėmis gaunamos panašios reikšmės kaip II apkrovos režime.

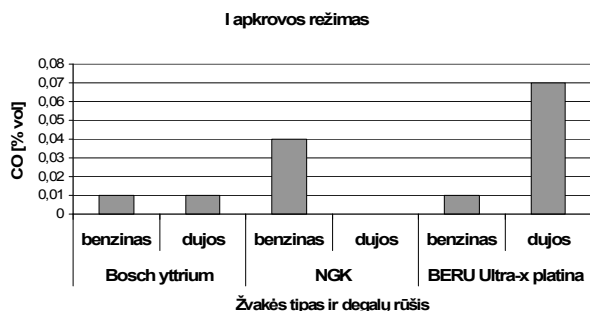


4 pav. Išmetamųjų dujų HC kiekiai IV apkrovos režime

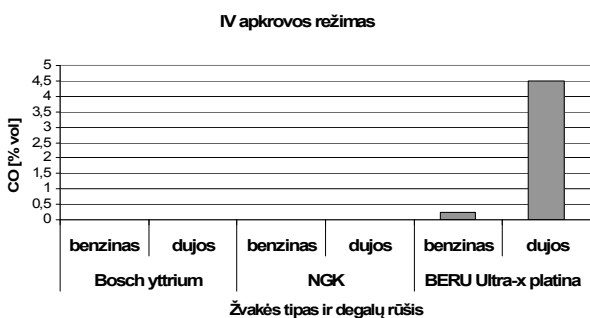
Paskutiniame apkrovos režime gaunami rezultatai labai panašūs į III apkrovos režimo, tačiau šiek tiek mažesnės reikšmės, išskyrus BERU uždegimo žvakių. Naudojant dujų degalus 2 127,4 N apkrovos gaunamos

maksimalios šio bandymo angliavandenių reikšmės (žr. 4 pav.).

Dideli anglies monoksido (HC) parodymai dažniausiai rodo pernelyg didelį nesudegusio kuro kiekį dėl to, kad mišinys nebuvo uždegtas arba sudegė ne visiškai. Koncentracija matuojama teršalų dalelių skaičiumi milijone išmetamųjų dujų dalelių (PPM).



5 pav. Išmetamųjų dujų CO kiekiai I apkrovos režime



6 pav. Išmetamųjų dujų CO kiekiai IV apkrovos režime

Iš bandymo grafikų (žr. 5 ir 6 pav.) matosi, kad anglies monoksido išmetamosiose dujose nebuvo, arba buvo labai maži kiekiai, išskyrus su BERU uždegimo žvakėmis naudojant dujų degalus. CO koncentracija yra degimo efektyvumo rodiklis, todėl galime teigti, kad BERU uždegimo žvakės ketvirtame apkrovos režime dirbo nesklaidžiai.

Uždegimo žvakių eksperimentiniai tyrimai, naudojant testerį KES-200

Bandymams atlikti buvo naudojamas KES-200 variklių testeris, kuris gali dirbti su beveik visomis šiuo metu naudojamomis uždegimo sistemomis, rodyti signalus iš visų šiuolaikinių automobilių jutiklių ir paleidiklių grandinių. Jis padeda diagnozuoti problemas uždegimo, užvedimo, įkrovimo ir kuro įpurškimo sistemose, taip pat įvairiuose transporto priemonės davikliuose. Šiuo atveju šis prietaisas buvo naudojamas žvakių uždegimo ir ki-

birškšties trukmės matavimams. Prietaisas turi 4 kanalų osciloskopą su atmintimi, skaitmeniniu multimetru yra grafinio vaizdavimo galimybė ir integruotas dujų analizatorius. Taip pat šiam eksperimentui reikėjo žvakių uždegimo sistemos su aukštos įtampos indukcinė rite bei oro kompresoriaus su slėgio kamera. Naudojant šią įrangą galima imituoti žvakės uždegimo procesą stebint kibirkštį.

Tyrimo metu bandomos 3 tipų žvakės: BOSCH ir NGK vieno kontakto ir BERU keturių kontaktų. Įjungiamą uždegimo žvakių sistema, bei etapais į slėgio kamerą leidžiamas oras. Naudojant KES-200 variklių testerį fiksuojama uždegimo žvakės įtampa ir kibirkšties degimo laikas prie skirtingų slėgių: 0, 2, 4, 6 bar. Kiekvienu atveju užfiksuojami duomenys skenerio ekrane įtraukiami į 4 rezultatų lentelę.

Tyrimų rezultatai ir jų analizė

Atlikus eksperimentą duomenys suvedami į lentelę ir palyginami. Iš rezultatų matosi (žr. 4 lentelė), kad žvakės NGK ir Bosch turėjo vienodą uždegimo įtampą prie visų slėgių, nors jų kontaktų tarpeliai skirtingi: 0,9 mm ir 1,1 mm.

4 lentelė. Uždegimo žvakių įtampos ir kibirkšties degimo laiko matavimų rezultatai

Žvakės tipas	BERU platina (4 kontaktai)			
	0	2	4	6
Slėgis (bar)	0	2	4	6
Įtampa (kV)	8	9	14	19
Kibirkšties degimo laikas (ms)	0,6	0,6	0,5	0,2
Žvakės tipas	BOSCH yttrium (1 kontaktas)			
Slėgis (bar)	0	2	4	6
Įtampa (kV)	9	12	12	13
Kibirkšties degimo laikas (ms)	0,6	0,6	0,5	0,5
Žvakės tipas	NGK nikelis (1 kontaktas)			
Slėgis (bar)	0	2	4	6
Įtampa (kV)	9	12	12	13
Kibirkšties degimo laikas (ms)	0,6	0,6	0,7	0,6

Teoriškai NGK žvakių uždegimo įtampa turėjo būti didesnė, tačiau atlikus bandymą tai nepasitvirtino. BERU uždegimo žvakės įtampa buvo mažesnė esant 2 barų slė-

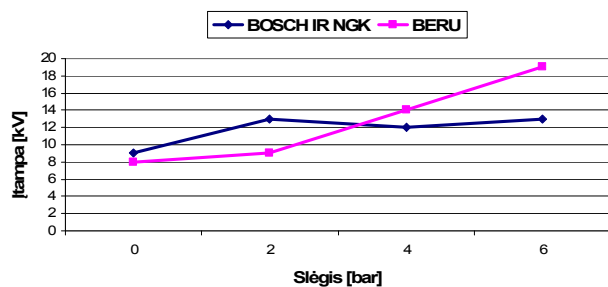
giui, tačiau jam padidėjus uždegimo įtampos reikšmės viršijo anksčiau minėtų Bosch ir NGK rezultatus.

Uždegimo žvakės įžiebimo įtampa – tai įtampa, kurios reikia, kad tarp žvakės elektrodų prasidėtų oro ir degalų mišinio jonizacija. Kad mišinys būtų uždegamas patikimai, uždegimo ritės tiekiamą aukštą įtampa turi būti didesnė nei didžiausias įtampos poreikis kibirkščiai įžiebtai. Padidėjusios įžiebimo įtampos priežastys gali būti per dideli žvakių tarpeliai arba susidėvėjusios žvakės, nutrūkęs aukštos įtampos laidas arba liesas kuro mišinys. Neįprastai mažos įžiebimo įtampos priežastis gali būti užterštas žvakės tarpelis, pažeista antrinės grandinės izoliacija arba maža kompresija. Paprastai reali įžiebimo įtampa yra nuo 5 iki 10 kV esant stabiliems sūkiams, o didžiausia nuo mažiausios neturi skirtis daugiau nei 5 kV (Ferret Instruments 2009).

5 lentelė. Uždegimo žvakių pagrindiniai parametrai

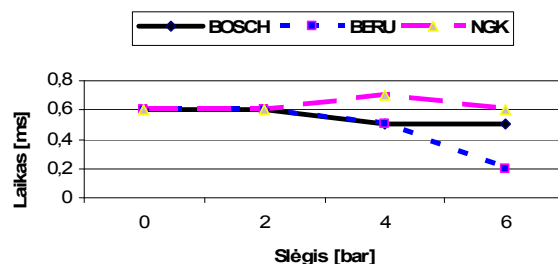
Informacija	Žvakės tipas		
	BOSCH	NGK	BERU
Kodas	0242235666	BCP6ES	UXF79P
Kontaktų skaičius	1	1	4
Centrinis elektrodas	Itrio	Nikelio	Platinos
Tarpas tarp elektrodų (mm)	0,9	1,1	-
Kibirkšties padėtis (mm)	3	3	-

Iš bandymo grafiko (žr. 7 pav.) matosi, kad BOSCH ir NGK žvakių uždegimo įtampa sutapo prie visų slėgių. BERU žvakių įtampa didėjo esant 4 ir 6 barų slėgiui.



7 pav. Uždegimo žvakių įžiebimo įtampa

Kibirkšties degimo trukmė paprastai yra nuo 0.5 iki 1.5 ms. Kibirkšties trukmė didėja dėl mažo arba užteršto žvakės tarpelio, pramušto izoliatoriaus, mažos kompresijos cilindruose ir riebaus kuro mišinio. Kibirkšties trukmė mažėja dėl uždegimo ritės antrinės apvijos trūkių, per didelio žvakės tarpelio, susidėvėjusių žvakių, didelės varžos antrinėje grandinėje ir lieso kuro mišinio (Ferret Instruments 2009).



8 pav. Uždegimo žvakių kibirkšties degimo trukmė

Palyginus žvakių kibirkšties degimo trukmę (žr. 8 pav.), konstatuotina, kad Bosch žvakių laikas trumpesnis nei NGK, bet skirtumas atsiranda prie 4–6 barų slėgio. Esant 6 barų slėgiui trumpiausias uždegimo laikas buvo BERU žvakių, tai įtakoją didesnė uždegimo įtampa.

Išvados

Atlikus uždegimo žvakių charakteristikų eksperimentinius tyrimus, naudojant traukos stendą bei variklių patikros testerį, formuluojamos šios išvados:

1) Naudojant visų tipų uždegimo žvakes, su benzino degalais išmetamosiose dujose HC ir CO kiekis yra mažesnis nei su dujomis.

2) Važiuojant tuo pačiu greičiu ir esant tai pačiai apkrovai išvystoma galia keičiant uždegimo žvakes ir degalų tipą nesikeičia.

3) Visų tipų uždegimo žvakės CO₂ kiekiui įtakos neturėjo.

4) Su Bosch uždegimo žvakėmis naudojant benzino degalus išmetama mažiausiai HC. Daugiausiai angliavandenilių išmetama naudojant dujų degalus su BERU uždegimo žvakėmis. Tai įtakoją trumpiausias 0,2 ms žvakės kibirkšties degimo laikas, dėl to nepilnai sudegė degalai.

5) Bosch ir NGK žvakių uždegimo įtampa sutapo prie visų slėgių. BERU žvakių įtampa didėjo esant 4 ir 6 barų slėgiui (nuo 14 iki 19 kV).

6) Esant 6 barų slėgiui trumpiausias kibirkšties degimo laikas buvo BERU žvakių, tai įtakoją didesnė uždegimo įtampa.

7) Pagal gautus rezultatus galima spręsti, kad Bosch uždegimo žvakės tinkamiausios dujų ir benzino degalams, o BERU žvakės visiškai netinka dujų degalams.

Literatūra

Ferret Instruments, Inc., 1310 Higgins Dr., Cheboygan, MI 49721-1061, 2009 Prieiga per internetą: http://autotestas.lt/autotest/pages/prodktai/pdfs/manuals/Diagnostikos_analiztorius_F55.pdf.

Ferret Instruments, Inc., 1310 Higgins Dr., Cheboygan, MI 49721-1061, 2009 Prieiga per internetą: <http://www.servisuiranga.lt/index.php?&menu=prekes&gr=17&pog=17&show=205>.

Lin H. T., Brady M. P., Richards R. K., Layton D. M. 2005. *Characterization of erosion and failure processes of spark plugs after field service in natural gas engines*. Usa: Wear.

Seang-Wock Lee, Woongchul Choi, 2012. Characterization of HCNG combustion and emission characteristics in a constant volume chamber with a single and a dual spark plug configuration. *International Journal of Hydrogen Energy*.