



DYZELINIŲ VARIKLIŲ SU ĮVAIRIOMIS ĮPURŠKIMO SISTEMOMIS IŠMETAMŲJŲ DUJŲ TYRIMAS

Mantas SMOLNIKOVAS¹, Gintas VISELGA², Greta VISELGAITĖ³, Algirdas JASINSKAS⁴

¹Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

²Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Lietuvos edukologijos universitetas, Vilnius, Lietuva

³Kauno technologijos universitetas, Kaunas, Lietuva

⁴Aleksandro Stulginskio universitetas, Kaunas, Lietuva

El. paštas: ¹mantas.smolnikovas@stud.vgtu.lt; ²gintas.viselga@vgtu.lt;

³greta.viselgaite@ktu.edu; ⁴algirdas.jasinskas@asu.lt

Santrauka. Apžvelgta dyzelinių variklių įpurškimo sistemų konstrukcijų raida, aplinkos oro tarša dyzelinių variklių išmetamomis dujomis ir leistinos jų emisijų normos, atlikti analitiniai oro taršos tyrimai. Eksperimentiniais tyrimais įvertinta oro tarša į aplinką išmetamomis kietosiomis dalelėmis iš skirtingų konstrukcijų ir eksploatacijos laiko dyzelinių variklių.

Reikšminiai žodžiai: dyzeliniai varikliai, išmetamosios dujos, oro tarša, dyzelinės įpurškimo sistemos, kietosios dalelės.

Įvadas

Automobiliai atsirado daugiau nei prieš šimtą metų, ir nuolat tobulėjo tiek jų agregatų konstrukcija, dizainas, tiek ir techninės galimybės. Augantis automobilių skaičius yra viena iš šiandienos globalių pasaulio problemų pirmiausia dėl didėjančios aplinkos taršos jų išmetamomis dujomis (Emission facts... 2008). Palyginti su elektrinėmis ir pramonės įmonėmis, automobilių išmetamų kenksmingų medžiagų praktiškai neįmanoma sulaikyti, todėl visos jos patenka į atmosferą. Su automobilių išmetamomis dujomis į orą patenka anglies monoksidas ir dioksidas, sieros dioksidas, azoto oksidai, lakieji organiniai junginiai, sunkieji metalai ir kietosios dalelės (KD) (Maki, Prabhakaran 2011). KD visų pirma sietinos su dyzelinių variklių veikla (jų emisija šiuo atžvilgiu yra 30 ar 70 kartų didesnė, lyginant su benzininiais varikliais). Šios dalelės išlieka ore gana ilgą laiką ir prisideda prie smogo susidarymo. Toks smogas gali turėti neigiamos įtakos žmonių sveikatai, lemdamas kvėpavimo takų ir plaučių ligas. Dėl kelių transporto veiklos į atmosferą patenka apytikriai 27 % visų išmetamųjų kietųjų dalelių (Skaržauskas, Pikūnas 2008).

Nuolatinis dyzelinių degalų įpurškimo technikos tobulinimas leido išvystyti didesnį variklio sukimo momentą ir galią, mažinant degalų sąnaudas. Per visą dyzelinių variklių raidos laikotarpį buvo sukurta ne viena įpurškimo sistema. Pati pirma, 1927 m. sukurta, įpurškimo sistema buvo su

sekcijiniu siurbliu, vėliau ši sistema buvo patobulinta, atsirado skirstomojo tipo siurbliai. Laikui bėgant, atsirado naujų sistemų: siurblio–purkštuvų, siurblio–vamzdelio–purkštuvų bei elektroninė *Common-rail* (CR). Paskutinės dyzelinių variklių įpurškimo sistemos su siurbliu–purkštuvu bei CR padarė dyzelinį automobilį patrauklų visiems žmonėms, nes joms būdingas tylesnis veikimas, ekonomiškumas, ekologija bei didesnė galia. Pirmas lengvasis automobilis su *Bosch* CR įpurškimo sistema 1997 metais tapo *Alfa Romeo*.

Dyzelinių variklių konstrukcijų tobulėjimas turėjo didelę įtaką ir gerinant dyzelinių variklių parametrus. Purkštukai ir aukšto slėgio siurbliai dyzelyje turi didelę įtaką ne tik mišinio sandarai ir degimui, bet ir variklio galiai, deginių sudėčiai bei triukšmui (Bose, Maji 2008). Siurbliai–purkštuvai ir aukšto slėgio siurbliai gaminami įvairių konstrukcijų, kad įpurškimo sistema veiktų optimaliai (Dieselreiheinspritzpumpen 1993). Keičiantis įpurškimo sistemos konstrukcijai, turėjo keistis ir variklio konstrukcija, kad atitiktų sistemos keliamus reikalavimus, pavyzdžiui, slėgio, valdymo ir kitus (You *et al.* 2013).

Šio darbo tikslas – tarpusavyje palyginti dyzelinius automobilius su įvairiomis įpurškimo sistemomis pagal jų aplinkos oro taršą kietosiomis dalelėmis, esant didžiausioms variklio apkrovoms. Šiam tikslui pasiekti atlikta mokslinė literatūros analizė, analitiniai ir eksperimentiniai tyrimai.

Literatūros apžvalga

Modernėjant dyzelinio variklio degalų tiekimo sistemoms, keliami vis griežtesni aplinkosaugos reikalavimai. Visos sistemos turi atitikti griežtėjančius išmetamųjų dujų sudėties, triukšmo lygio bei degalų sąnaudų reikalavimus (Bose, Maji 2008). Aukšto slėgio degalų tiekimo sistemos viena nuo kitos skiriasi slėgio dydžiu ir įpurškimo pradžios bei trukmės valdymo būdu. Senesnės įpurškimo sistemos buvo valdomos mechanškai, o šiandien labiausiai paplitęs elektroninis valdymas. Mechanškai valdomos aukšto slėgio degalų tiekimo sistemos turi po vieną pagrindinę degalų įpurškimo fazę, todėl sunku optimizuoti variklio veikimą. Šiuolaikiniuose varikliuose, kai sistemą valdo elektronika, taikomas daugiatazės dyzelino įpurškimas. Tokie varikliai veikia švelniau, naudoja mažiau degalų ir mažiau teršia aplinką (Dieselreiheneinspritzpumpen 1993).

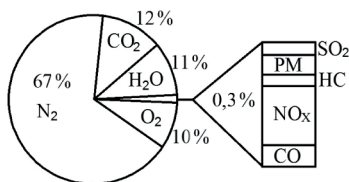
Degimo proceso parametrai dyzeliniame variklyje tam tikru mastu priklauso nuo degalų kiekio ir to, koku būdu jie įpurškiami į degimo kamerą. Čia svarbiausi kriterijai yra: degalų įpurškimo momentas ir įpurškimo trukmė, degalų paskirstymas degimo kameroje, degimo pradžios momentas, įpurškiamas degalų kiekis alkūniniame velenui pasisukus 1 laipsnio kampą ir bendras įpurkštų degalų kiekis, atitinkantis variklio apkrovą. Siekiant nepriekaištingo dyzelinio variklio darbo, visi šie parametrai optimizuojami.

Įpurškimo sistemų tipai:

- su sekcijiniu įpurškimo siurbliu;
- su skirstomojo tipo vieno stūmoklio ar rotoriniu siurbliu;
- kompaktinė siurblio–purkštuvų sistema;
- modulinė degalų įpurškimo sistema „siurblys–vamzdelis–purkštuvai“;
- CR sistema.

Teršalai susidaro transporto priemonių varikliuose dėl nevisiškai sudeginamų degalų, kuriuos sudaro įvairūs organiniai junginiai, daugiausia – angliavandenilių mišiniai. Degalų pagrindą sudaro angliavandeniliai ir priemaišos: anglies monoksidas CO, vandenilis H₂, sieros vandenilis H₂S, anglies dioksidas CO₂, azotas N₂ ir deguonis O₂ (1 pav.).

Tiek benzininių, tiek dyzelinių automobilių variklių į aplinką išmetamų teršalų kiekis priklauso nuo degalų ir



1 pav. Dyzelinių variklių deginių sudėtis
Fig. 1. Diesel engine exhaust gas composition

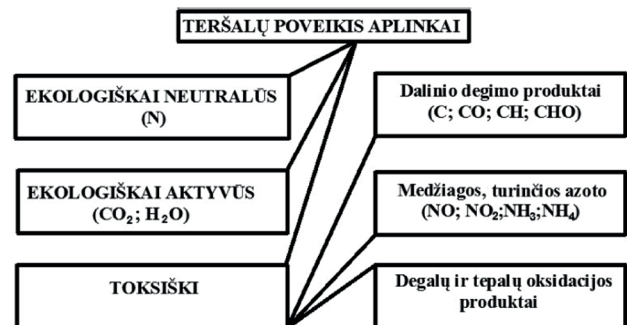
oro mišinio susidarymo sąlygų, kurios ir lemia nevisišką degalų sudegimą.

Dyzeliniai varikliai dėl nevisiškai sudeginto kuro išmeta daug kietųjų dalelių – suodžių bei ypač nuodingų kvapiųjų medžiagų – formaldehido, akroleino ir kt. Šios medžiagos sudaro apie 2–3 % visų išmetamųjų kenksmingų dujų tūrio. Ypač nuodinga kancerogeninė medžiaga 3,4 benzpirenas C₂₀H₁₂.

Dyzelino kokybei keliami reikalavimai: šiluminguumas, švarumas ir būtinai – lengvas užsiliepsnojimas.

Užsiliepsnojimo savybes įvertina cetano skaičius. Pagal reikalavimus mažiausias cetano skaičius, nustatomas dyzelinui, yra 49. Didesnis dyzelino VERVA cetano skaičius (didesnis kaip 51) pagerina automobilio eksploatacines savybes – palengvina paleidimą ir sumažina variklio veikimo temperatūrą (Verva D 2015).

Bendrai vertinant, pastebėta, kad žalingų vidaus degimo variklių išskiriamų medžiagų kiekis ir jų toksiškumas priklauso nuo automobilio variklio techninės būklės, darbo režimo, kuro kokybės, įpurškimo sistemos (Guibet, Faure-Birchem 1999; Wielligh *et al.* 2003). Pagal tai, kokį poveikį aplinkai turi teršalai, yra skiriami ekologiškai neutralūs, ekologiškai aktyvūs ir toksiški teršalai (2 pav.).

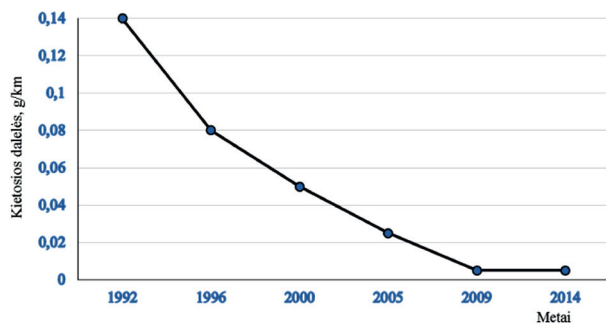


2 pav. Teršalų poveikio aplinkai klasifikacija

Fig. 2. Classification of the pollutants effects on the environment

Teisiniai reikalavimai ir programos

Teršalų kiekį variklinėms transporto priemonėms nustato Europos Parlamento ir Tarybos reglamentai, dar kitaip vadinami Europos standartais (žr. lentelę) (Artioli 2012). Nuo pat 1992 metų šie standartai buvo tobulinami, kuriama nauji. Patvirtinti taikomi automobilių gamybos ir eksploatacijoje srityse. Šiuo metu jau yra patvirtinti ir taikomi Europos standartai EURO 5 ir EURO 6, kurių reikalavimai kur kas griežtesni nei pirmųjų dokumentų (Europos Parlamento... 2007). Ypač griežtėja reikalavimai dyzelinių variklių kietųjų dalelių emisijoms, kurios nuo pirmojo iki šeštojo standarto sumažėjo 28 kartus (3 pav.). Pagrindinė



3 pav. Europos standartų raida
Fig. 3. Evolution of Euro standards

tokių dokumentų paskirtis – juose nustatomi bendri varikli- nių transporto priemonių ir pakaitinių dalių, pvz., pakaitinių taršos kontrolės įtaisų, patvirtinimo techniniai reikalavimai, susiję su jų išmetamais teršalais.

Reglamente, nustatančiame naujausius EURO 6 stan- dartus, pažymima, kad nuo 2015 m. rugsėjo 1 d. naciona- linės institucijos laiko naujų transporto priemonių, kurios neatitinka šio reglamento ir jo įgyvendinimo priemonių, ypač EURO 6, ribinių verčių atitiktis sertifikatus nebegaliojančiais ir dėl su išmetamais teršalais ar kuro suvartoji- mu susijusių priežasčių uždraudžia registruoti, prekiauti ar pradėti eksploatuoti tokias transporto priemones (Europos Parlamento... 2007). Šis reglamentas svarbus pirmiausia siekiant išlaikyti konkurencingumą bei sumažinti poveikį aplinkai.

Lentelė. Europos standartais nustatytos teršalų normos dyzeli- niams varikliams, g/km

Table European emission standards for diesel engines, g/km

Norma ir įsigaliojimo metai	HC+NO _x	CO	NO _x	Kietosios dalelės
Euro 1 (1993)	0,97	2,72	–	0,14
Euro 2 (1996)	0,90	1,00	–	0,10
Euro 3 (2000)	0,56	0,64	0,50	0,05
Euro 4 (2005)	0,30	0,50	0,25	0,025
Euro 5 (2009)	0,25	0,50	0,18	0,005
Euro 6 (2014)	0,17	0,50	0,08	0,005

Analitinis tyrimas

Teršalų kiekio skaičiavimai atliekami įvertinus turimą statistinę medžiagą pagal du variantus (Dyzelinių variklių... 2007).

Bendras automobilių į atmosferą išmetamų teršiančių medžiagų kiekis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$W = \sum_k \sum_i W_{(k,i)}, \quad (1)$$

čia: W – bendras teršalų kiekis; $W_{(k,i)}$ – k -tosios teršiančios medžiagos kiekis sudegus i -tosios rūšies degalams; k – teršiančios medžiagos: CO, CH, NO_x, SO₂, kietosios dalelės;

i – degalų rūšys: benzinas, dyzelinis kuras, suskystintos naftos dujos, suslėgtos gamtinės dujos.

Teršiančios medžiagos k kiekis sudegus i rūšies de- galams apskaičiuojamas:

$$W_{(k,i)} = m_{(k,i)} \cdot Q_{(i)} \cdot K1_{(k,i)} \cdot K2_{(k,i)} \cdot K3_{(k,i)}, \quad (2)$$

čia: $m_{(k,i)}$ – lyginamasis teršiančios medžiagos k kiekis sudegus i rūšies degalams (kg/t); $Q_{(i)}$ – sunaudotas i rūšies degalų kiekis (t); $K1_{(k,i)}$ – koeficientas, įvertinantis ma- šinos variklio, naudojančio i rūšies degalus, darbo sąlygų daromą įtaką teršiančios medžiagos k kiekiui; $K2_{(k,i)}$ – koeficientas, įvertinantis mašinos, kuri naudoja i rūšies degalus, amžiaus įtaką teršiančios medžiagos k kiekiui; $K3_{(k,i)}$ – koeficientas, įvertinantis mašinos, naudojančios i rūšies degalus, konstrukcijos ypatumų daromą įtaką teršiančios medžiagos k kiekiui.

Bendras teršiančios medžiagos k kiekis sudegus i rū- šies degalams apskaičiuojamas:

$$W_{(k,i)} = WA_{(k,i)} + WT_{(k,i)} + WN_{(k,i)}, \quad (3)$$

čia: $W_{(k,i)}$ – bendras teršiančios medžiagos k kiekis sudegus i rūšies degalams, $WA_{(k,i)}$, $WT_{(k,i)}$, $WN_{(k,i)}$ – automobilių, traktorių ir savaeigių mašinų, nesavaeigių ir stacionarių mašinų teršiančios medžiagos k kiekis sudegus i rūšies degalams.

Pateikiamas dyzelinių lengvųjų automobilių išmetamų teršalų kiekio skaičiavimas:

– Nustatomos dyzelinių transporto priemonių ko- eficiento $K1$ reikšmės, kurios įvertina variklio darbo sąlygų įtaką teršalų kiekiui. Kadangi leng- vieji automobiliai didžiąją dalį (>60 %) darbo lai- ko būna mieste, tai mašinų degalų sunaudojimo rodiklis $M = 1,0$, o išmetamų teršalų iš mobilių taršos šaltinių koeficientas $K1$ bus toks:

CO – 1,0; CH – 1,0; NO_x – 1,0; SO – 1,0; kietosios dalelės (k. d.) – 1,0.

– Nustatomas koeficientas $K2$ pagal mašinos arba apskaičiuotos grupės mašinų vidutinį amžių R . Kai 2 automobiliai yra 4 metų senumo, tai atitinkamų teršalų $K2$ bus toks: CO – 1,25; CH – 1,4; NO_x – 1,05; SO₂ – 1,0; kietosios dalelės (k. d.) – 1,1.

– Nustatomas koeficientas $K3$. Kadangi dyzeliniai lengvieji automobiliai atitinka Tarybos direktyvos 91/524 EEB (EURO 5) reikalavimus, tai atitinka- mų teršalų $K3$, atspindintis dyzelinių automobilių konstrukcinius ypatumus, bus: CO – 0,29; CH – 0,31; NO_x – 0,39; SO₂ – 1,0; kietosios dalelės (k. d.) – 0,3.

Apskaičiuojamas 2 dyzelinių lengvųjų automobilių atitinkamas teršiančios medžiagos kiekis per vieną pusmetį:

$$W_{CO} = 130,0 \cdot 3,0 \cdot 1,0 \cdot 1,25 \cdot 0,29 = 0,14 \text{ t};$$

$$W_{CH} = 40,7 \cdot 3,0 \cdot 1,0 \cdot 1,4 \cdot 0,31 = 0,05 \text{ t};$$

$$W_{NOx} = 31,3 \cdot 3,0 \cdot 1,0 \cdot 1,05 \cdot 0,39 = 0,04 \text{ t};$$

$$W_{SO_2} = 1,0 \cdot 3,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,003 \text{ t};$$

$$W_{k.d.} = 4,3 \cdot 3,0 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 0,3 = 0,004 \text{ t}.$$

Eksperimentinių tyrimų metodika ir įranga

Pagal LST EN 590:2014 standartą ir LAND 15-2000 metodiką Vilniaus automechanikos ir verslo mokykloje atlikti lengvųjų automobilių su skirtingomis dyzelinių variklių degalų tiekimo sistemomis kietųjų dalelių išmetimo kiekio eksperimentiniai tyrimai.

Tyrimė buvo parinkta po penkis dyzelinius tos pačios markės automobilius su vienodomis variklių konstrukcijomis. Tyrimė iširti automobiliai pagaminti 1987–2012 metų laikotarpiu ir atitinka vieną iš šešių Europos standartų normų nuo pirmosios iki penktosios. Automobiliai buvo sugrupuoti pagal skirtingas variklių konstrukcijas ir degalų tiekimo sistemas: varikliai su padalintomis degimo kameromis ir mechanine degalų tiekimo sistema, varikliai su padalintomis degimo kameromis ir elektroninių prietaisų valdomais siurbliais, varikliai su tiesioginio įpurškimo sistema ir elektroniniu būdu valdomais siurbliais, varikliai su tiesioginio įpurškimo sistema ir siurblio–purkštuvu degalų tiekimo sistema, varikliai su tiesioginio įpurškimo sistema ir CR degalų tiekimo sistema.

Techninės apžiūros stotyse, automobilių dūmingumą matuojant pagal LAND 14-2000 ir LAND 15-2000 metodikas, kietųjų dalelių išmetimo kiekius charakterizuoja šviesos absorbcijos koeficientas m^{-1} , todėl momentinis išmetamųjų dujų kiekis neparodo Europos standartų emisijų normų (g/km) atitikties.

Matavimų reikšmės fiksuojamos automobiliui stovint ir esant šiam automobilio variklio darbo režimui:

varikliui veikiant ne mažesniais kaip 3500 min^{-1} sūkiomis esant užlaikymui (maksimaliai apkrautas).

Matuota deginių analizatoriumi *Tecnotest – TEST and MEASUREMENT division of spx, Via Provinciale*, modelis 4032. Prietaisas skirtas dyzelinio variklio išmetamosioms dujoms ir jų tirštumui analizuoti. Pats prietaisas naudojamas prijungiant prie asmeninio kompiuterio, turinčio Stargas, Flex ar Visa programas. Išmetamųjų dujų analizės veikimo etapai, parametrai matomi LCD ekrane, o visi patikros rezultatai gali būti atvaizduojami grafiškai arba skaitmeniniu būdu, vėliau rezultatai atspausdinami prie jo prijungtu spausdintuvu (4 pav.).

Matavimo įrangos komponentai:

- išmetamųjų dujų teršalų matuoklis;



4 pav. Išmetamųjų dujų analizės kamera *Tecnotest – TEST and MEASUREMENT division of spx, Via Provinciale* (modelis 4032)

Fig. 4. Exhaust gas analysis chamber „*Tecnotest – TEST and MEASUREMENT division of spx, Via Provinciale*, Model 4032“

- išmetamųjų dujų temperatūros matuoklis;
- variklio alyvos temperatūros matuoklis;
- šviesos skvarbos tyrimo elementai (šviesos sklaidos stikliukai – diapozityvai).

Eksperimento eiga:

- tiriamuoju automobiliu privažiuojama prie deginių analizatoriaus;
- vertinant dūmingumą, automobilio variklis turi būti išilęs (alyvos temperatūra ne mažesnė nei $60 \text{ }^\circ\text{C}$);
- automobilio dujų išmetimo sistema turi būti sandari, joje privalo būti visi gamintojo numatyti elementai;
- dūmingumas vertinamas varikliui dirbant laisvojo greitėjimo režimu. Pavarų perjungimo svirtis turi būti neutralioje padėtyje, sankaba turi būti įjungta;
- deginių analizatoriumi *Tecnotest – TEST and MEASUREMENT division of spx, Via Provinciale* (modelis 4032) paruošiamas matavimams pagal gamintojo pateiktą naudojimo instrukciją;
- vykdomi ne mažiau kaip trys laisvojo greitėjimo ciklai arba išmetimo sistemos prapūtimas ekvivalentišku metodu;
- matuojant dūmingumą, prietaiso zondas įkišamas į išmetimo sistemos atvamzdį;
- prieš kiekvieną bandomąjį laisvojo greitėjimo ciklą variklis turi dirbti tuščiąja eiga, esant mažiausiam variklio alkūninio veleno sūkių dažniui, ne trumpesnį kaip 10 s laikotarpį;
- laisvojo greitėjimo ciklo metu akceleratoriaus pamina greitai ir tolygiai nuspaudžiama, kad būtų maksimaliai išnaudojama įpurškimo siurblio galia;

- kiekvieno laisvojo greitėjimo ciklo metu variklis turi pasiekti ribojamą arba gamintojo reglamentuojamą sukimosi dažnį. Jei tokių duomenų nėra, didžiausias sukimosi dažnis bandymo metu turi atitikti 2/3 didžiausio sukimosi dažnio;
- vykdomi ne mažiau kaip trys laisvojo greitėjimo ciklai;
- galutinis rezultatas yra trijų laisvojo greitėjimo ciklų nustatytų verčių aritmetinis vidurkis;
- automobiliams, kurie turi keletą išmetimo sistemos atvamzdžių, matavimai atliekami kiekviename iš jų atskirai. Tuo atveju galutinis rezultatas yra nustatyta didesnė vidutinė reikšmė.

Eksperimentinių tyrimų rezultatai

Motorinės transporto priemonės, pirmą kartą įregistruotos iki 2008-07-01, išmetamųjų dujų dūmingumo lygis neturi viršyti šių ribinių šviesos absorbcijos koeficiento reikšmių (Transeksta 2015):

- varikliams be turbininio pripūtimo sistemos $2,5 \text{ m}^{-1}$;
- varikliams su turbininio pripūtimo sistema $3,0 \text{ m}^{-1}$.

Motorinės transporto priemonės, pirmą kartą įregistruotos nuo 2008-07-01, išmetamųjų dujų dūmingumo lygis neturi viršyti $1,5 \text{ m}^{-1}$ šviesos absorbcijos koeficiento reikšmės (Transeksta 2015).

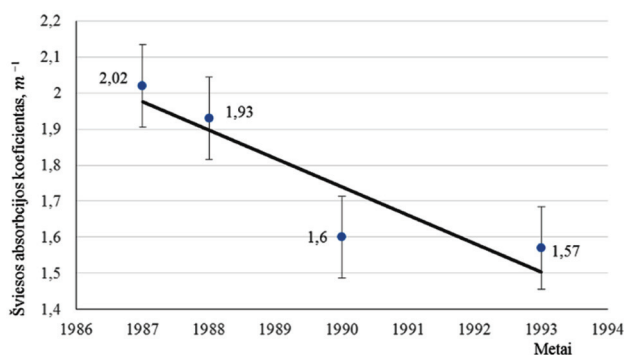
Saugių transporto priemonių bei visų kitų motorinių transporto priemonių, pirmą kartą įregistruotų nuo 2012-01-01, išmetamųjų dujų dūmingumo lygis neturi viršyti reikšmės, įrašytos transporto priemonės gamintojo sudarytoje lentelėje, o jei lentelės nėra arba jos negalima rasti, kituose informacijos šaltiniuose, kuriuose pateikiami tvirtinant transporto priemonės tipą nustatyti duomenys (Transeksta 2015).

Dyzelinių variklių su padalintomis degimo kameromis ir mechanine degalų tiekimo sistema kietųjų dalelių emisijų kiekiai, priklausomai nuo pagaminimo metų ir atitinkantys Euro 1 normas, pateikti 5 paveiksle.

Nuo 1987 m. iki 1988 m. pagamintų automobilių šviesos absorbcijos koeficientas yra vidutiniškai $2,02 \text{ m}^{-1}$, nuo 1988 m. iki 1989 m. – $1,93 \text{ m}^{-1}$, nuo 1990 m. iki 1991 m. – $1,6 \text{ m}^{-1}$ ir nuo 1993 m. iki 1994 m. – $1,57 \text{ m}^{-1}$. Kaip matome, neviršija šviesos absorbcijos koeficiento leistinosios $2,5 \text{ m}^{-1}$ reikšmės.

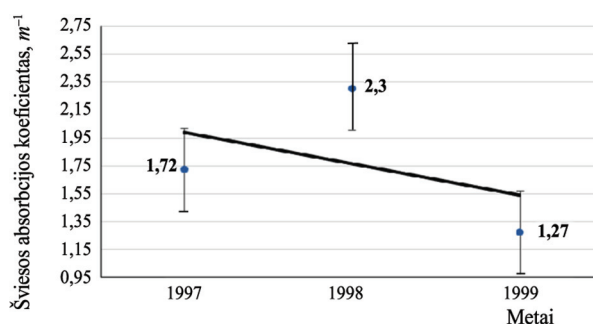
Automobilių variklių su padalintomis degimo kameromis ir elektronine degalų tiekimo sistema kietųjų dalelių emisijų kiekiai, priklausomai nuo pagaminimo metų ir atitinkantys Euro 1 ir 3 standartų normas, neviršija leistinosios $2,5 \text{ m}^{-1}$ reikšmės (6 pav.).

1997 m. pagamintų automobilių šviesos absorbcijos koeficientas vidutiniškai yra $1,72 \text{ m}^{-1}$, 1998 m. – $2,3 \text{ m}^{-1}$, nuo 1999 m. – $1,27 \text{ m}^{-1}$.



5 pav. Variklių su padalintomis degimo kameromis ir mechanine degalų tiekimo sistema šviesos absorbcijos koeficientai

Fig. 5. Light absorption coefficients of engines with divided combustion chambers and mechanical fuel delivery system

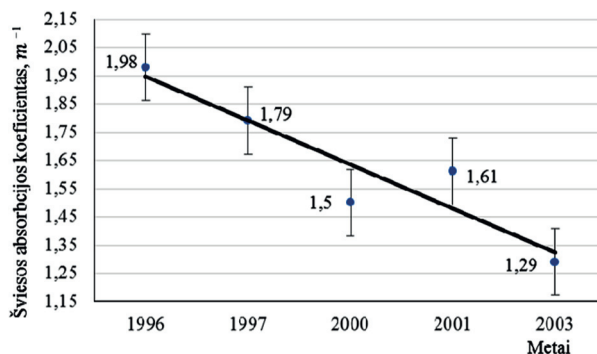


6 pav. Variklių su padalintomis degimo kameromis ir elektronine degalų tiekimo sistema šviesos absorbcijos koeficientai

Fig. 6. Light absorption coefficients of engines with divided combustion chambers and electrical fuel delivery system

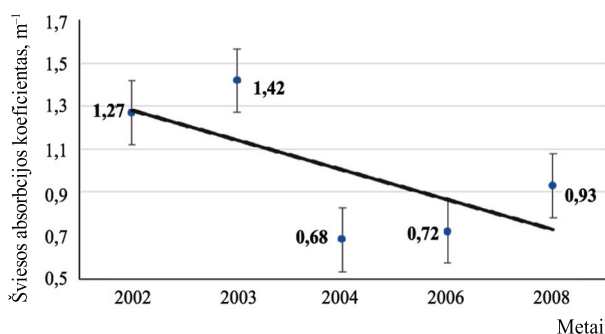
Dyzelinių variklių, atitinkančių Euro 3 normas, su tiesioginio įpurškimo sistema ir elektroninės sistemos valdomais siurbliais kietųjų dalelių emisijų kiekiai, priklausomai nuo pagaminimo metų, pavaizduoti 7 paveiksle.

1996 m. pagamintų automobilių šviesos absorbcijos koeficientas vidutiniškai yra $1,98 \text{ m}^{-1}$, 1998 m. – $1,79 \text{ m}^{-1}$,



7 pav. Variklių su tiesioginio įpurškimo sistema ir elektroniniais valdomais siurbliais šviesos absorbcijos koeficientai

Fig. 7. Light absorption coefficients of engines with direct injection and electronically controlled pumps



8 pav. Variklių su tiesioginio įpurškimo sistema ir siurblio-purkštuvu degalų tiekimo sistema šviesos absorbcijos koeficientai

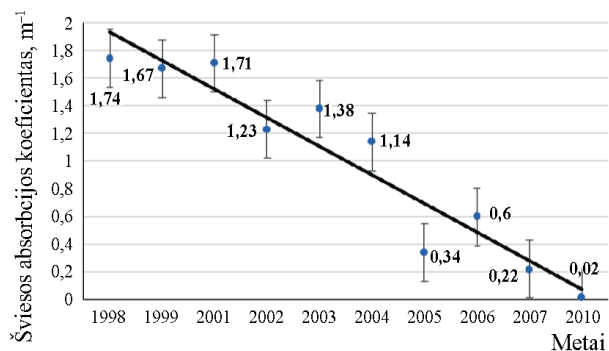
Fig. 8. Light absorption coefficients of engines with direct injection and pump-injector fuel supply system

nuo 2000 m. – 1,5 m⁻¹, 2001 m. – 1,61 m⁻¹, 2003 m. – 1,29 m⁻¹. Leistinoji 2,5 m⁻¹ reikšmė neviršijama.

Automobilių variklių su tiesioginio įpurškimo sistema ir siurblio-purkštuvu degalų tiekimo sistema kietųjų dalelių emisijų kiekiai, priklausomai nuo pagaminimo metų ir atitinkantys Euro 3 ir 4 normas, pateikti 8 paveiksle.

2002 m. pagamintų automobilių šviesos absorbcijos koeficientas vidutiniškai yra 1,27 m⁻¹, 2003 m. – 1,42 m⁻¹, nuo 2004 m. – 0,68 m⁻¹, 2006 m. – 0,72 m⁻¹, 2008 m. – 0,93 m⁻¹. Nors tik nuo 2008-07-01 kietųjų dalelių emisijos buvo sumažintos iki 1,5 m⁻¹, tačiau, kaip matome, ir senesnių metų automobiliai, tenkinantys Euro 3 ir 4 normas, neviršija šios reikšmės, o tuo labiau tuo metu galiojusios šviesos absorbcijos koeficiento leistinosios 2,5 m⁻¹ reikšmės.

Automobilių dyzelinių variklių su tiesioginio įpurškimo sistema ir CR degalų tiekimo sistema kietųjų dalelių emisijų kiekiai, priklausomai nuo pagaminimo metų ir atitinkantys Euro 3, 4 ir 5 normas, pateikti 9 paveiksle.

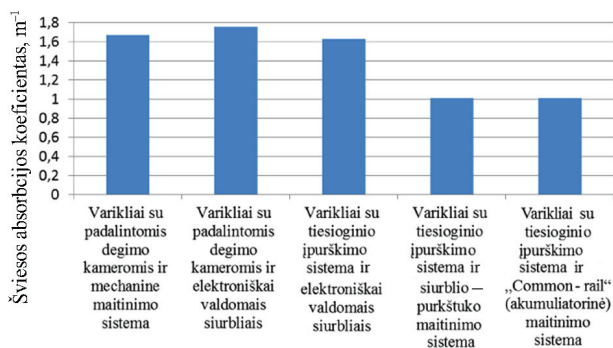


9 pav. Variklių su tiesioginio įpurškimo sistema ir CR degalų tiekimo sistema šviesos absorbcijos koeficientai

Fig. 9. Light absorption coefficients of engines with direct injection and CR fuel supply system

1998 m. laidos dyzelinių automobilių šviesos absorbcijos koeficientas yra 1,74 m⁻¹, 1999 m. – 1,67 m⁻¹, 2001 m. – 1,71 m⁻¹, 2002 m. – 1,23 m⁻¹, 2003 m. – 1,38 m⁻¹, nuo 2004 m. – 1,14 m⁻¹, 2005 m. – 0,34 m⁻¹, 2006 m. – 0,6 m⁻¹, 2007 m. – 0,22 m⁻¹ ir 2010 m. – 0,02 m⁻¹.

10 paveiksle pateikti skirtingų konstrukcijų dyzelinių variklių šviesos absorbcijos koeficientai, charakterizuojantys kietųjų dalelių išmetimo kiekį.



10 pav. Skirtingų konstrukcijų dyzelinių variklių šviesos absorbcijos koeficientai

Fig. 10. Light absorption coefficients of different design diesel engines

Variklių su padalintomis degimo kameromis ir mechanine degalų tiekimo sistema vidutinė šviesos absorbcijos koeficiento reikšmė – 1,67 m⁻¹. Esant padalintoms degimo kameroms ir elektroniškai valdomai degalų tiekimo sistemai, šviesos absorbcijos koeficientas – 1,76 m⁻¹. Variklių su tiesioginio įpurškimo sistema ir elektroniškai valdomais siurbliais šviesos absorbcijos koeficientas – 1,63 m⁻¹. Tokių pačių variklių su siurblio-purkštuvu, taip pat su CR degalų tiekimo sistemomis šviesos absorbcijos koeficientas yra mažiausias ir siekia tik 1,01 m⁻¹.

Išvados

1. Pagal šviesos absorbcijos koeficiento rodiklį nustatyti dyzelinių variklių su įvairiomis degalų tiekimo sistemomis išmetamų kietųjų dalelių kiekiai. Paaiškėjo, kad automobilio variklio dūmingumas mažiau priklauso nuo įpurškimo sistemos tipo nei nuo automobilio eksploatacijos amžiaus.
2. Variklius su skirtingomis degalų tiekimo sistemomis palyginus pagal Euro 1, 2, 3, 4 ir 5 normas, buvo nustatyta: kuo vėlesni metai, tuo labiau mažėja visų degalų tiekimo sistemų išmetamų kietųjų dalelių kiekis.
3. Griežtėjant Europos normų reikalavimams, tobulėjo variklių ir degalų tiekimo sistemų konstrukcijos ir mažėjo aplinkos tarša kietosiomis dalelėmis. Pastarųjų emisijos atitinka standartų reikalavimus.

4. Daroma išvada, jog techninės apžiūros stotyse, automobilių dūmingumą matuojant pagal LAND 14-2000 ir LAND 15-2000 metodikas, momentinis išmetamųjų dujų kiekis neparodo Europos standartų įvertintų normų atitikties.

Literatūra

- Artioli, N. 2012. *Catalytic removal of NOx and soot from mobile sources*: Doctoral thesis. Department of Energy, Politecnico Di Milano, Milan, Italy. 235 p.
- Bose, P. K.; Maji, D. 2008. An experimental investigation on engine performance and emissions of a single cylinder diesel engine using hydrogenas inducted fuel and diesel as in-jected fuel with exhaust gas recirculation, *India International Journal of Hydrogen Energy* 34(11): 4847–4854. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.10.077>
- Dieselreiheneinspritzpumpen: Bosch Technische Unterrichtung*. 1993. Stuttgart: Robert bosch GmbH.
- Dyzelinių variklių diagnostika. Automobilių serviso vadovas. 2007. Vert. S. Slavinskas. Kaunas: „Smaltijos“ leidykla. 256 p.
- Emission facts: Average annual emissions and fuel consumption for passenger cars and light trucks*. 2008. United States Environmental Protection Agency (EPA). 6 p.
- Europos Parlamento ir Tarybos reglamentas (EB) Nr. 715/2007 dėl variklinių transporto priemonių tipo patvirtinimo atsižvelgiant į išmetamųjų teršalų kiekį iš lengvųjų keleivinių ir komercinių transporto priemonių (Euro 5 ir Euro 6) ir dėl transporto priemonių remonto ir priežiūros. Išmetamųjų dujų teršalų normatyvai*. 2007 [interaktyvus], [žiūrėta 2014 m. balandžio 4 d.]. Prieiga per internetą: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32007R0715&from=LT>
- Guibet, J. C.; Faure-Birchem, E. 1999. *Fuels and engines: technology, energy, environment*. Vol. 1. Paris: Editions Technip. 385 p.
- You, G.-D.; Xu, Ch.-L.; Zhu, M.; Wang, Z.-Q. 2013. Application of space-time conservation element and solution element method in intake and ex-haust flows of high power density diesel engine, *Defence Technology* 9(3): 171–175. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dt.2013.09.018>
- LAND 14-2000. Automobiliai su Otto varikliais. Anglies monoksidas ir angliavandeniliai išmetamosiose dujose. Normos ir matavimo metodai*. Valstybės žinios. 2000. Nr. 23-593.
- LAND 15-2000. Automobiliai su dyzeliniais varikliais. Išmetamųjų dujų dūmingumas. Normos ir matavimo metodai*. Valstybės žinios. 2000. Nr. 23-593.
- LST EN 590:2014*. 2014. *Automobiliniai degalai. Dyzelinas. Reikalavimai ir tyrimo metodai*. 12 p.
- Maki, F. D.; Prabhakaran, P. 2011. An experimental investigation on performance and emissions of a multi cylinder diesel engine fueled with hydrogen-diesel blends. World Renewable Energy Congress, *Sustainable Transport* 3557–3564.
- Skaržauskas, V.; Pikūnas A. 2008. Nuostolių, patiriamų dėl neigiamo transporto poveikio urbanistinėse zonose, įvertinimas. VGTU. 205 p.
- Transeksta. 2015. *Lietuvos Techninės apžiūros įmonių Asociacija. 7 grupė. Variklis ir transmisija* [interaktyvus], [žiūrėta 2015 m. vasario 14 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.vta.lt/Data/7grupe.pdf>
- Verva D*. 2015 [interaktyvus], [žiūrėta 2015 m. vasario 14 d.]. Prieiga per internetą: <http://degalines.orienlietuva.lt/lt/main/products/vervad>
- von Wielligh, A. J.; Burger, N. D. L.; Wilcocks, T. L. 2003. Diesel engine failures due to combustion disturbances, caused by fuel with insufficient lubricity, *Industrial Lubrication and Tribology* 55(2): 65–75. <http://dx.doi.org/10.1108/00368790310470895>

DIESEL ENGINE WITH DIFFERENT KIND OF INJECTION SYSTEMS EXHAUST GAS ANALYSIS

M. Smolnikovas, G. Viselga, G. Viselgaitė, A. Jasinskas

Summary

The article presents an overview of structural evolution of diesel engines' injection systems, air pollution caused by diesel engines and permissible emission rates. An analytical research on air pollution was also performed. Experimental studies evaluated air pollution during the emission of particulate matter according to diesel engine exploitation time and different constructions emissions.

Keywords: diesel engines, air pollution, exhaust gas, diesel injection system, particulate matter.