

Rapšu eļļas degvielas patēriņa un izmešu emisijas pētījumi, iesmidzinot ūdens–bioetanolā maisījumu motora ieplūdes sistēmā The Rapeseed Oil Fuel Consumption and Exhaust Emissions Research Injecting a Water–Bioethanol Blend in the Engine Intake System

Aivars Birkavs*, Ilmārs Dukulis, Gints Birzietis
LLU Spēkratu institūts
Motor Vehicle Institute, LLU

Abstract. A research on the NO_x reduction potential in diesel engine emissions injecting a 50% water–bioethanol blend in the engine intake system was carried out. Experiments were conducted on the test bench equipped with an Opel 16 DA four-cylinder 1.6-litre diesel engine and a two-tank system to run the engine on rapeseed oil. Toxic emissions were estimated using AVL SESAM FTIR multicomponent exhaust gas analytical system; the fuel consumption was measured using Kern 440-49A electronic weighing system. Three repetitions at the 1500 min^{-1} and 2500 min^{-1} engine crankshaft rotational speeds were performed; duration of each repetition – 120 seconds. Investigation results showed that such approach can reduce the nitrogen oxide content in exhaust gases by 32%, without significantly affecting other toxic emissions, at the same time reducing fuel consumption by 16–21%. Both rapeseed oil fuel and additive WE50 were derived from renewable resources, which plays an important role in elimination of climate changes.

Key words: Rapeseed oil fuel, exhaust emissions, diesel engine, bioethanol.

Ievads

Ar dīzeļmotoriem ir aprīkota lielākā daļa komercitransporta un lauksaimniecības tehnikas, kā arī daudzi vieglo automobiļu modeļi. Attīstoties tehnoloģijām, augu eļļa tīrā veidā un maisījumos ar fosilo dīzeļdegvielu arvien vairāk tiek pielietota kā dīzeļmotoru degviela gan Eiropā, gan arī Latvijā.

Augu eļļu, kas atbilst ES un LV pieņemto standartu prasībām, var lietot dīzeļmotoros ilgstoši, un tā neizraisa motora vai tā sistēmu bojājumus. Transporta līdzekļus, kuru motori aprīkoti darbināšanai ar rapšu eļļu un tās maisījumiem ar fosilo dīzeļdegvielu, var ekspluatēt arī ziemā līdz pat $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Dukulis, Birkavs, & Birzietis, 2010).

Analizējot augu eļļas degvielas izmantošanas pētījumus pasaulē, var secināt, ka dažādās publikācijās sniegtie rezultāti, kas attiecas uz jaudas, degvielas patēriņa un atgāzu sastāva izmaiņām, ir ļoti atšķirīgi. Tas atzīmēts arī Francijā veiktajā 62 pētījumu apskatā (Sidibe, Blin, Vaitilingom, & Azoumah, 2010), kur par galveno nesakrītību cēloni minētas atšķirības pētījumos izmantotās eļļas kvalitātē, pētījumu apstākļos, lietotajās mērierīcēs un motoru tipos. Tas aktualizē pētījumu veikšanu

katrā valstī, t.sk. Latvijā, balstoties tieši uz konkrētā reģiona klimatiskajiem apstākļiem, uz vietas saražoto eļļu un raksturīgākajiem spēkratu un motoru veidiem. Sevišķi tiek akcentēta summāro mono-slāpekļa oksīdu NO_x (NO un NO_2 summas) emisija, kas mūsdienās ir kļuvusi par vienu no bīstamākajiem vides piesārņojuma faktoriem Eiropā.

Slāpekļa oksīdi veidojas dīzeļmotoru darbības rezultātā, degvielai sadegot augstā temperatūrā, – vispirms rodas slāpekļa monoksīds, tālāk, tam reaģējot ar skābekli, veidojas slāpekļa dioksīds. Atmosfērā slāpekļa dioksīds reaģē ar ūdeni, veidojot skābos nokrišņus, kas negatīvi ietekmē augu valsti, celtnes, metāla izstrādājumus, kā arī tehniku.

Latvijā veiktie pētījumi par rapšu eļļas degvielas izmešu sastāvu liecina, ka NO_x saturs atgāzēs dažādos spēkratu ekspluatācijas režīmos palielinās vidēji par 30% (Dukulis, Pirs, Jesko, Birkavs, & Birzietis, 2009).

Lietuvā veiktajos tiešās iesmidzināšanas 59 kW motora *D-243* stenda izmēģinājumos konstatēts, ka NO_x daudzums atgāzēs, motoru darbinot ar tīru rapšu eļļu, ir par 9.2% lielāks nekā to darbinot ar fosilo

* Corresponding author's email:
Aivars.Birkavs@llu.lv

dīzeļdegvielu. Savukārt CO (oglekļa monoksīda) emisija samazinās par 40.5%, arī nesadegušo ogleņdeņražu daudzums nedaudz samazinās, bet CO₂ saturs atgāzēs nedaudz palielinās (Labeckas & Slavinskas, 2005; 2009).

Vācijā, ar mērķi noteikt atgāzu sastāva atbilstību Eiropas Savienības dīzeļmotoru emisijas standartiem, uz stenda testēts *Deutz-Fahr* traktors. Šo pētījumu rezultāti apliecina, ka CO, HC (nesadegušo ogleņdeņražu) un mehānisko piemaisījumu (cieto daļiņu) daudzums izplūdes gāzēs atbilst emisijas standartiem, bet NO_x daudzums, lietojot rapšu eļļu, par 14% pārsniedz limitējošās prasības (Thuneker, 2006).

Turcijā veiktajā viencilindru dīzeļmotora *Rainbow-186* stenda pētījumā salīdzināta fosilā dīzeļdegviela, *RE20* (20% rapšu eļļas un 80% fosilās dīzeļdegvielas) un *RE50* (50% rapšu eļļas un 50% fosilās dīzeļdegvielas) maisījumi. Eksperimenti veikti ar degvielas sildīšanu un bez tās. Negaidīts rezultāts bija maisījumu degvielu NO_x satura samazinājums atgāzēs, salīdzinot ar dīzeļdegvielu. Arī CO saturs, izmantojot *RE20* un *RE50*, bija zemāks, bet dūmainība augstāka. Degvielas uzsildīšana NO_x emisiju palielināja par 15–19%, CO emisiju samazināja par 16–25%, bet dūmainību samazināja par 9–26% (Hazar & Aydin, 2010).

Šveicē sloģošanas stenda izmēģinājumos pētīta lieljaudas 335 kW sešcilindru motora darbība ar fosilo dīzeļdegvielu, RME (rapšu eļļas metilesteri), sojas eļļu un rapšu eļļu (Soltic, Edenhauser, Thurnheer, Schreiber, & Sankowski, 2009). Motors bija aprīkots ar elektroniski vadāmu „sūkņis–sprausla” tipa tiešās iesmidzināšanas sistēmu, turbokompresoru ar starpdzesētāju un ar ūdeni dzesējamu izplūdes gāzu recirkulācijas (EGR) sistēmu. Sojas eļļas un rapšu eļļas priekšuzsildīšanai izmantoti infrasarkanu staru radiatoru. Mainīgie parametri eksperimentos bija iesmidzināšanas spiediens, moments un ilgums, kā arī izplūdes gāzu recirkulācijas pakāpe. Neskatoties uz to, ka RME un abu eļļu tilpuma siltumspēja bija par 5–6% zemāka nekā fosilajai dīzeļdegvielai, gan ar iesmidzināšanas parametru maiņu, gan bez tās visos sloģošanas režīmos motors attīstīja lielāku griezes momentu, taču NO_x saturs izplūdes gāzēs būtiski palielinājās. Mainot EGR sistēmas parametrus tā, lai NO_x emisija tiktu saglabāta fosilās dīzeļdegvielas līmenī, rapšu eļļas izmantošanas efektivitāte samazinājās. RME, sojas un rapšu eļļas izmantošanas gadījumos konstatēts kopējo nesadegušo ogleņdeņražu un oglekļa monoksīda emisijas samazinājums, salīdzinot ar dīzeļdegvielu. Veicot mērījumus aiz

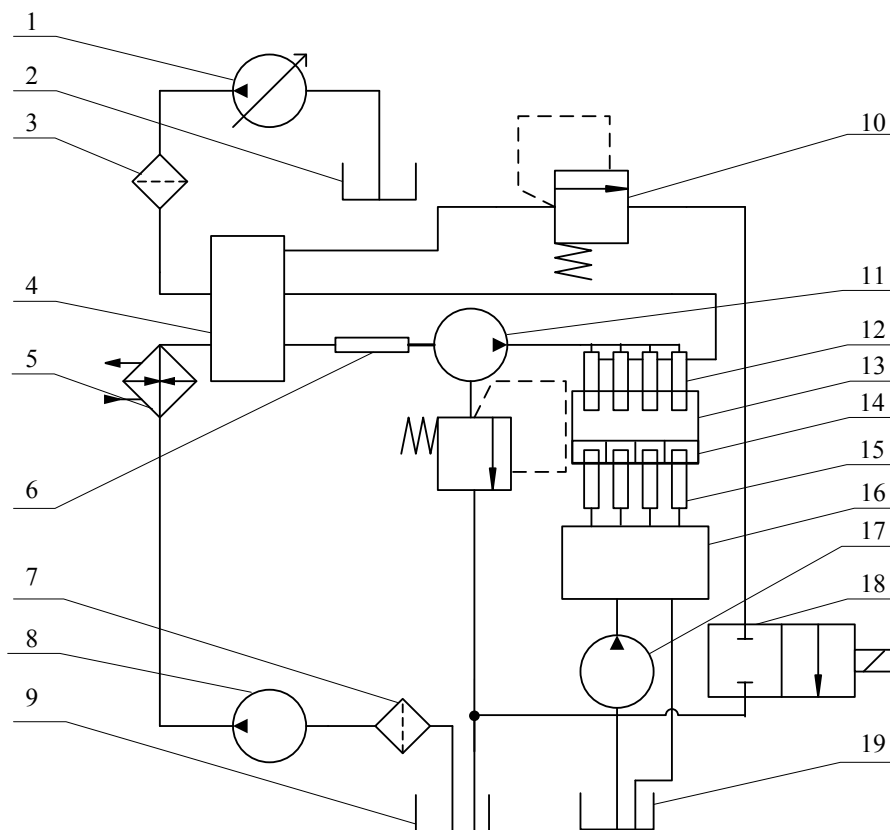
izplūdes sistēmas keramikā katalizatora, emisijas samazinājās praktiski līdz nullei visām degvielām.

Veicot 72 kW viencilindra *Elbework Roblau* tiešās iesmidzināšanas motora *IVDS18/15* pētījumus, vācu pētnieki (Paulsen, Wichmann, Schuemann, & Richter, 2011) konstatēja, ka, darbinot motoru ar rapšu eļļu, NO_x saturs izmešos ir lielāks, bet nesadegušo ogleņdeņražu saturs mazāks, salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu. CO koncentrācija izplūdes gāzēs darbā ar eļļu ir palielināta tikai mazas motora noslodzes gadījumā, kā cēlonis ir nepilnīga eļļas sadegšana.

Slovākijā veikti rapšu eļļas degvielas pētījumi, par izmēģinājumu objektiem izmantojot ar divu degvielas tvertņu sistēmu aprīkotas automobiļus – 2000. gadā ražotu *Škoda Octavia 1.9 TDI* un 2007. gadā ražotu *VW Touareg R5 2.5 UI* (Kleinová, Vailing, Lábaj, Mikulec, & Cvengroš, 2011). Izplūdes gāzu analīzei izmantota *MAHA MGT 5* ierīce. CO saturs izplūdes gāzēs bija tuvs nullei visos testu režīmos. Nesadegušajiem ogleņdeņražiem (HC) *Škoda Octavia* konstatēta tendence palielināties, *VW Touareg* – samazināties. Savukārt NO_x saturs *Škoda Octavia* samazinājās vidēji par aptuveni 40%, bet *VW Touareg* – par 10%. Visas minētās atšķirības raksta autori izskaidro ar automobiļu motoru un degvielas iesmidzināšanas sistēmu atšķirīgo konstrukciju.

Lai mazinātu slāpekļa oksīdu veidošanos dīzeļmotora izmešos, līdzšinējos pētījumos sadegšanas temperatūras samazināšanai kā risinājums izmantots ūdens, kuru iesmidzina motora cilindrā degvielas iesmidzināšanas perioda beigās. Šāds process pazemina degvielas patēriņu līdz 2%, kā arī samazina NO_x un nesadegušo ogleņdeņražu daudzumu atgāzēs (Markov, Bashirov, & Gabitov, 2002), taču, iesmidzinot noteiktu ūdens daudzumu, novērota nestabila dīzeļmotora darbība. Analizētie pētījumi rāda, ka ūdens iesmidzināšana motora cilindrā var tikt veikta gan caur degvielas sprauslām, gan pa atsevišķu smidzinātāju ieplūdes kolektorā. Taču šim procesam ir būtisks trūkums – sistēmu var pielietot tikai apstākļos, kad apkārtējās vides temperatūra ir lielāka par 0 °C.

Tāpēc tika izveidots 50% (pēc tilpuma) ūdens–bioetanolā maisījums *WE50*, kuru var pielietot transporta līdzekļu dīzeļmotoros visu gadu, jo tā sasalšanas temperatūra ir -40 °C. Eksperimentālās priekšizpētes iekārtas motoram tika izveidota sprauslu sistēma ar regulējamu *WE50* iesmidzināšanas daudzumu, lai, veicot mērījumus, varētu konstatēt optimālos režīmus NO_x samazināšanai, būtiski nepalielinot citu toksisko izmešu emisiju.



1. att. Eksperimentālās iekārtas principiālā shēma:

- 1, 8, 17 – elektriskie sūkņi; 2 – fosilās dīzeļdegvielas tvertne; 3, 7 – filtri; 4 – degvielas sadalītājs;
 5 – siltummainis; 6 – stikla caurulīte; 9 – rapšu eļļas tvertne; 10 – vienvirziena vārsts;
 11 – degvielas augstspiediena sūknis; 12 – degvielas sprauslas; 13 – dīzeļmotors; 14 – ieplūdes kolektors;
 15 – WE50 smidzinātāji; 16 – WE50 iesmidzināšanas sistēmas sadalītājs–regulators;
 18 – elektromagnētiskais pretvārsts; 19 – WE50 tvertne.

Fig. 1. Principal scheme of the experimental equipment:

- 1, 8, 17 – electric pumps; 2 – fossil fuel tank; 3, 7 – filters; 4 – fuel distributor; 5 – heat exchanger;
 6 – glass tube; 9 – rapeseed oil tank; 10 – one-way valve; 11 – high-pressure fuel pump; 12 – fuel nozzles;
 13 – diesel engine; 14 – intake manifold; 15 – WE50 sprayers; 16 – distributor–regulator of WE50 injection system; 18 – electromagnetic valve; 19 – WE50 tank.

Pētījuma mērķis – novērtēt ūdens–bioetanolā maisījuma pielietojuma potenciālu dīzeļmotora izmešu sastāva optimizēšanai, vienlaikus nosakot degvielas patēriņa izmaiņas.

Materiāli un metodes

Pētījuma gaitā par degvielu tika izmantota tīra rapšu eļļa un par piedevu gaisam ieplūdes kolektorā – WE50 (50% ūdens–bioetanolā maisījums). Eksperimenti tika veikti uz dīzeļmotora stenda, kas aprīkots ar Opel 16 DA vienrindas četru cilindru OHC dīzeļmotoru. Motora darba tilpums – 1598 cm³; kompresijas pakāpe – 23; jauda – 40 kW. Motora degvielas sistēmā izmantots augstspiediena sūknis Bosch VE 4/9R215, kas nodrošina sprauslu

atvēršanās spiedienu līdz 135 bar. Motors aprīkots ar divu tvertņu sistēmu motora darbināšanai ar rapšu eļļu. Šī sistēma nodrošina degvielas temperatūru 85–87 °C, kurā visām dīzeļmotoru degvielām viskozitāte ir līdzīga. Piedevas WE50 iesmidzināšanas daudzuma regulācija nodrošināta ar izveidotās sprauslu sistēmas palīdzību. WE50 iesmidzināšanas sistēma sastāv no sadalītāja–regulatora, sūkņa, tvertnes un četriem smidzinātājiem, kas novietoti ieplūdes kolektorā pretī katram cilindram. Eksperimentālās iekārtas principiālā shēma parādīta 1. attēlā.

Eksperimenti veikti LLU Tehniskās fakultātes Alternatīvo degvielu zinātniskajā laboratorijā (ADZL). Toksisko izmešu noteikšanai izmantota



2. att. Eksperimentālā iekārta:

- 1 – WE50 iesmidzināšanas sistēma; 2 – stroboskops DG 85;
 3 – ar divu tvertņu sistēmu aprīkots motorstends; 4 – degvielas patēriņa datu reģistrācijas dators;
 5 – rapšu eļļas tvertne; 6 – WE50 tvertne; 7 – svāri Kern 440-49A.

Fig. 2. The experimental equipment:

- 1 – WE50 injection system; 2 – stroboscope DG 85; 3 – diesel engine test bench equipped with a two-tank system; 4 – fuel consumption registration PC; 5 – rapeseed oil tank; 6 – WE50 tank; 7 – Kern 440-49A weighing system.

AVL SESAM FTIR atgāzu analītiskā sistēma, kas paredzēta gan ottomotoru, gan dīzeļmotoru atgāzu komponentu mērīšanai dažādos motora darbības režīmos. Atgāzu sastāvs tiek noteikts ar infrasarkanu staru spektrometra palīdzību. Ar šo iekārtu var noteikt 27 dažādas atgāzu komponentes. Galvenās no tām ir: CH₄ (metāns), CO₂, CO, NO_x, dīzeļmotoros nesadegušie ogļūdeņraži (angliski *hydrocarbons diesel* jeb HCD) un mehāniskās daļiņas (angliski *mechanical particles* jeb MP). Ar AVL atgāzu analītisko sistēmu var mērīt un reģistrēt atgāzu sastāvu gan brīvgaitas, gan arī dažādos kustības un slodzes režīmos. Nepārtrauktās mērīšanas režīmā iekārta var darboties 60 minūtes (AVL Emission ..., 2007).

Degvielas patēriņa noteikšanai tika izmantoti elektroniskie svāri Kern 440-49A ar mērīšanas diapazonu līdz 6000 g un precizitāti 0.1 g.

Pirms eksperimentu uzsākšanas tika pievienots atgāzu nosūcējs ar uzstādītu AVL SESAM FTIR

atgāzu analizatora uztveršanas zondi un stroboskops Strobotester DG85 motora kloķvārpstas apgriezīgu kontrolei (2. att.). Pēc sagatavošanās darbu veikšanas motors tika iedarbināts un uzsildīts ar fosilo dīzeļdegvielu līdz 85–87 °C darba temperatūrai.

Testi tika veikti saskaņā ar iepriekšējos pētījumos izstrādāto metodiku (Birkavs & Dukulis, 2011), kurā bija noskaidrots, ka kvalitatīvu rezultātu iegūšanai jāveic trīs 120 sekunžu atkātojumi, ja motora kloķvārpstas rotācijas ātrums ir 1500 un 2500 apgriezīgu min⁻¹.

Vispirms tika veikti atgāzu un degvielas patēriņa mērījumi, dīzeļmotoram darbojoties ar rapšu eļļu bez WE50 piedevas. Pēc tam pakāpeniski tika iesmidzināta piedeva ielplūdes kolektorā ar ražīgumu no 0 līdz 45 g min⁻¹, kas atbilst 0 līdz 1.86% no ielplūstošā gaisa masas. Visas atgāzu komponentes mērītas ppm (no angļu val. *parts per million* – daļiņas uz miljonu) mērvienībās, kas SI sistēmā atbilst mg kg⁻¹.

Toksisko izmešu saturs atgāzēs, mg kg⁻¹
The content of toxic emissions in exhaust gases, mg kg⁻¹

WE50 saturs / content, %	NO _x	MP*	CH ₄	HCD**	CO ₂	CO
1500 min ⁻¹						
0.00	105.4	29.5	4.8	204.9	27264.1	1087.0
0.35	71.1	110.5	23.1	57.5	27344.1	1885.4
1.05	57.3	172.2	44.1	0.0	26908.8	2509.6
2500 min ⁻¹						
0.00	153.5	11.4	2.7	136.6	29620.8	646.8
0.22	119.1	61.1	9.0	33.2	29428.3	1054.9
0.63	104.4	95.8	20.1	0.0	28801.6	1434.6
1.04	94.2	122.2	28.4	0.0	28585.8	1680.9
1.46	76.1	169.8	43.7	0.0	27505.3	2220.2
1.86	64.4	195.0	59.1	0.0	27134.3	2609.2

MP* – mehāniskās daļiņas / mechanical particles.

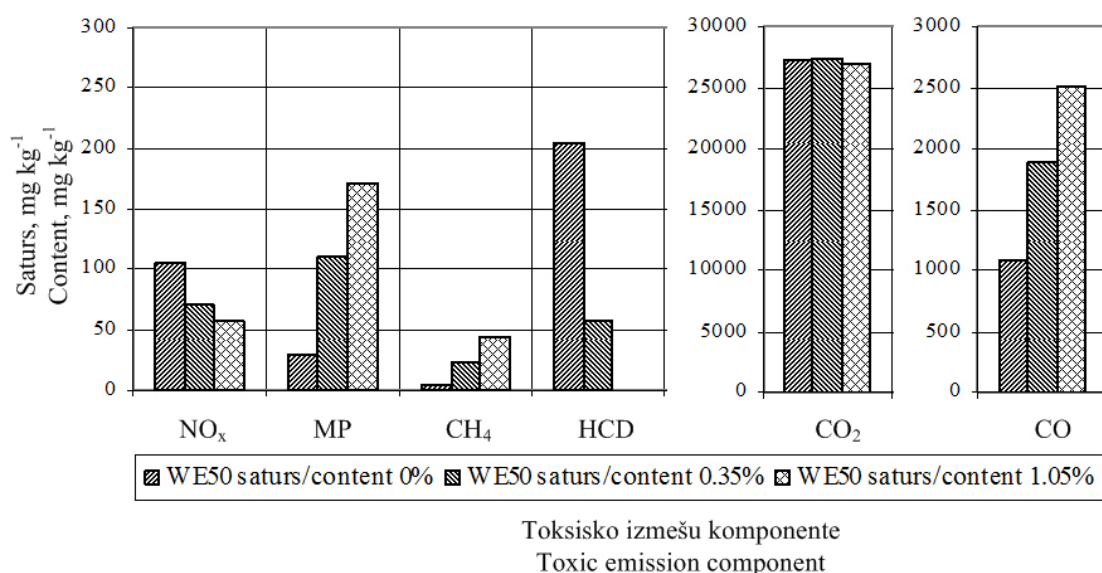
HCD** – dīzeļmotoros nesadeģušie ogļūdeņraži / hydrocarbons diesel.

Rezultāti un diskusija

Pirmie testi tika veikti, motora kloķvārpstai izdarot 1500 apgriezienus minūtē (1. tabula). Testa rezultāti uzskatāmi parāda, ka NO_x un HCD samazinās, palielinot piedevas WE50 iesmidzināšanas daudzumu. CO₂ daudzums paliek gandrīz nemainīgs, bet CO un MP saturs atgāzēs palielinās. Vēra ņemams fakts ir tas, ka, neskatoties uz nelielo CH₄ (metāna)

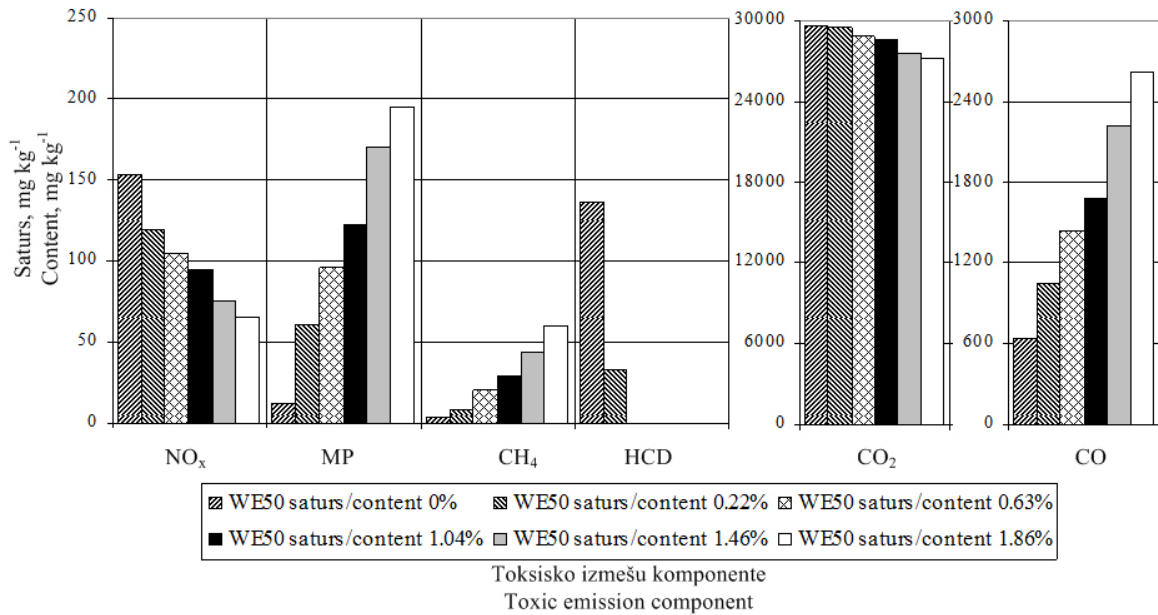
daudzuma palielināšanos, kopējais ogļūdeņražu saturs atgāzēs būtiski samazinājās.

Iesmidzinot 1.05% WE50, mērījumi tika pārtraukti, jo vairāk nekā divas reizes palielinājās CO un mehānisko daļiņu saturs atgāzēs (3. att.). Līdz ar to, motora kloķvārpstai veicot 1500 apgriezienus minūtē, par efektīvāko tika konstatēts 0.35% WE50 piejaukums ieklūdes gaisam.



Paskaidrojums. MP – mehāniskās daļiņas; HCD – dīzeļmotoros nesadeģušie ogļūdeņraži.
 Explanation. MP – mechanical particles; HCD – hydrocarbons diesel.

3. att. Toksisko izmešu saturs atgāzēs pie 1500 min⁻¹.
 Fig. 3. The content of toxic emissions in exhaust gases at 1500 min⁻¹.



Paskaidrojums. MP – mehāniskās daļiņas; HCD – dīzeļmotoros nesadeģušie ogļūdeņraži.
Explanation. MP – mechanical particles; HCD – hydrocarbons diesel.

4. att. Toksisko izmešu saturs atgāzēs pie 2500 min⁻¹.
Fig. 4. The content of toxic emissions in exhaust gases at 2500 min⁻¹.

Lai precizētu atgāzu izmaiņu tendences dažādos *WE50* padeves režīmos, pie 2500 min⁻¹ motora kloķvārpstas apgriezieniem meklējumeksperimenti tika veikti ar *WE50* saturu 0, 0.22, 0.63, 1.04, 1.46 un 1.86% no ieplūstošā gaisa masas. Mērījumu rezultāti atspoguļoti 1. tabulā.

Toksisko izmešu daudzuma izmaiņu tendences atgāzēs, motoram veicot 2500 apgriezienus minūtē, bija līdzīgas tām tendencēm, kādas konstatēja pie 1500 min⁻¹. NO_x daudzums tika samazināts par 58%, bet kopējais nesadeģušo ogļūdeņražu saturs, neskatoties uz metāna satura palielināšanos, tika samazināts līdz nullei. Šajā motora apgriezienu režīmā, palielinot *WE50* padeves daudzumu, izteikti samazinājās CO₂ saturs atgāzēs (4. att.), taču CO un mehānisko daļiņu daudzums motora atgāzēs palielinājās 4–17 reizes, tāpēc, iesmidzinot 1.86% *WE50* piejaukuma, mērījumi tika pārtraukti.

Pie motora apgriezieniem 2500 min⁻¹ par efektīvāko tika konstatēts 0.63% *WE50* piejaukums cilindrā ieplūstošajam gaisam, jo NO_x saturs tika samazināts par 32%, CO₂ – par 3%, bet nesadeģušie ogļūdeņraži atgāzēs vairs netika konstatēti.

Degvielas patēriņš tika noteikts ar precizitāti 0.1 g, mērījumus nolasot ik pēc 3 sekundēm.

Motoram darbojoties ar 1500 min⁻¹ un 2500 min⁻¹ kloķvārpstas apgriezieniem un palielinot *WE50* iesmidzināšanas daudzumu, tika novērotas

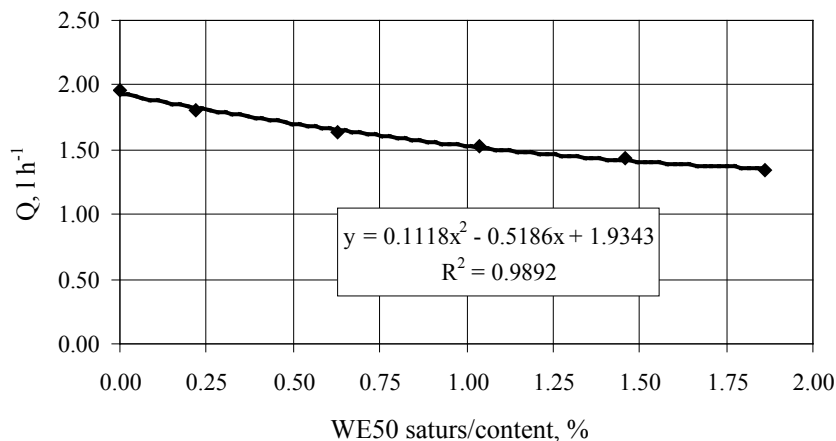
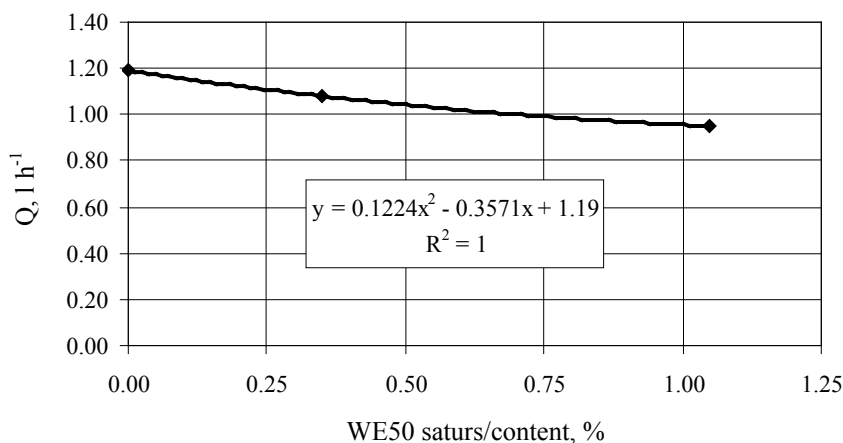
līdzīgas degvielas patēriņa samazināšanās tendences. Degvielas patēriņa diagrammas parādītas 5. un 6. attēlā.

Pie 1500 min⁻¹ motora kloķvārpstas apgriezieniem degvielas patēriņš samazinājās vidēji par 10% uz katrām 10 g pievienotā *WE50*. Ņemot vērā, ka no izmešu emisijas viedokļa pie 1500 min⁻¹ efektīvākais piejaukums ieplūdes gaisam ir 0.35% *WE50*, degvielas patēriņš tika samazināts par 0.11 litriem stundā jeb par 9%.

Pie 2500 min⁻¹ motora kloķvārpstas apgriezieniem degvielas patēriņš samazinājās vidēji par 6% uz katrām 10 g pievienotā *WE50*. Pie efektīvākā *WE50* piejaukuma ieplūdes gaisam šajā režīmā (0.63%) degvielas patēriņš tika samazināts par 0.33 l h⁻¹ jeb par 16%.

Šāds rezultāts izskaidrojams ar to, ka padeve *WE50* satur 50% bioetanolu un līdz ar to tā darbojas kā papildu degviela. Tāpēc, palielinot *WE50* iesmidzināšanu ieplūdes gaisam, degvielas patēriņa samazinājums veido sakarību, kas tuva lineārai.

Ja ņem vērā globālo sasilšanu ietekmējošos faktorus, tad rapšu eļļas kā degvielas pielietošana dīzeļmotoru darbināšanai ir viens no risinājumiem nelabvēlīgo klimata pārmaiņu samazināšanā, jo tā ir atjaunojamais resurss, un rapsis savā augšanas periodā uzņem daudz vairāk CO₂ nekā motors izdala, sadedzinot rapšu eļļu kā degvielu. Padevas

5. att. Degvielas patēriņa (Q) izmaiņas pie 1500 min⁻¹.Fig. 5. Fuel consumption (Q) changes at 1500 min⁻¹.6. att. Degvielas patēriņa (Q) izmaiņas pie 2500 min⁻¹.Fig. 6. Fuel consumption (Q) changes at 2500 min⁻¹.

WE50 izveidē arī izmantoti atjaunojamie resursi (bioetanol), un tās pielietošana veicina rapšu eļļas degvielas izmešu sastāva normalizāciju, ietekmējot degvielas sadegšanas procesu motora cilindrā.

Tiešā veidā iegūtos rezultātus salīdzināt ar citu pētnieku darbiem ir sarežģīti, jo līdz šim, lai panāktu NO_x satura samazināšanu dīzeļmotoru atgāzēs, lietojot rapšu eļļas degvielu, izmantota ūdens iesmidzināšana cilindrā (Markov, Bashirov, & Gabitov, 2002). *WE50* maisījuma izmantošana dod iespēju novērst ūdens iesmidzināšanas būtiskākos trūkumus – motora darbības nestabilitāti un pielietojuma problēmas ziemas apstākļos –, bet tendences degvielas patēriņa, kā arī NO_x un nesadegušo ogļūdeņražu samazināšanā atgāzēs ir vēl izteiktākas. Bioetanolis rapšu eļļas degvielas izmantošanas efektivitātes uzlabošanai izmantots arī Lietuvā, tomēr tur bija atšķirīgs degmaisījuma

sagatavošanas princips – bioetanolis un benzīns (katrs 3.75% apjomā pēc tilpuma) tika piemaisīti rapšu eļļai jau tvertnē (Labeckas & Slavinskas, 2010). Arī tāds degmaisījums dod iespēju to lietot zemākās gaisa temperatūrās, taču Lietuvā tika konstatēts būtisks NO_x (līdz 27%) palielinājums, salīdzinot ar tīru rapšu eļļu. Tādējādi *WE50* maisījuma iesmidzināšana ieklūdes sistēmā ir efektīvāka.

Secinājumi

1. Izveidotais ūdens–bioetanolis maisījums ir efektīvs līdzeklis, lai samazinātu NO_x un kopējo nesadegušo ogļūdeņražu daudzumu dīzeļmotoru atgāzēs, turklāt to var pielietot arī ziemas apstākļos.
2. Ūdens–bioetanolis maisījuma iesmidzināšanas sistēma nav sarežģīta, un tās uzstādīšana neprasa būtisku dīzeļmotora pārbūvi.

3. Ūdens–bioetanola maisījuma *WE50* iesmidzināšanas sistēmai jābūt precīzai, jo pat pie nelielām maisījuma padeves daudzuma izmaiņām strauji mainās atgāzu sastāvs.
4. Pielietojot piedevu *WE50*, samazinās degvielas patēriņš, kas ir svarīgs faktors rapšu eļļas kā degvielas izmantošanas procesā, taču nepieciešams veikt precizējošus ekonomiskos aprēķinus par *WE50* izgatavošanas izmaksām.
5. Gan rapšu eļļas degviela, gan piedeva *WE50* ir iegūtas no atjaunojamiem resursiem, un šim faktoram ir būtiska nozīme klimata pārmaiņu novēršanā.
7. Labeckas, G., & Slavinskas, S. (2005). Performance and exhaust emissions of direct-injection diesel engine operating on rapeseed oil and its blends with diesel fuel. *Transport*, 5, 186–194.
8. Labeckas, G., & Slavinskas, S. (2009). Performance and emission characteristics of off-road diesel engine operating on rapeseed oil and petrol blends. In 8th International Scientific Conference ‘Engineering for Rural Development’, 28–29 May, 2009 (pp. 135–140). Jelgava, Latvia: Latvia University of Agriculture.
9. Labeckas, G., & Slavinskas, S. (2010). Analysis of performance and emissions of the exhausts of off-road diesel engine operating on three agent ethanol, petrol and rapeseed oil blend. In Agricultural Engineering: International Scientific Conference ‘Mobile Machines’, 23–24 September 2010 (pp. 91–104). Kaunas, Lithuania: Lithuanian University of Agriculture.

Literatūra

1. AVL Emission Test Systems GmbH. (2007). AVL SESAM FTIR. User’s Manual. Gaggenau, Germany: AVL Emission Test Systems GmbH.
2. Birkavs, A., & Dukulis, I. (2011). Development of experimental equipment for vegetable oil fuel research. In 17th International Scientific Conference ‘Research for Rural Development’, Volume 1, 18–20 May 2011 (pp. 173–178). Jelgava, Latvia: Latvia University of Agriculture.
3. Dukulis, I., Birkavs, A., & Birzietis, G. (2010). Investigation of flowability of rapeseed oil and diesel fuel blends in winter conditions. In Agricultural Engineering: International Scientific Conference ‘Mobile Machines’, 23–24 September 2010 (pp. 204–213). Kaunas, Lithuania: Lithuanian University of Agriculture.
4. Dukulis, I., Pirs, V., Jesko, Z., Birkavs, A., & Birzietis, G. (2009). Testing of automobile VW Golf operating on three different fuels. In 8th International Scientific Conference ‘Engineering for Rural Development’, 28–29 May, 2009 (pp. 7–13). Jelgava, Latvia: Latvia University of Agriculture.
5. Hazar, H., & Aydin, H. (2010). Performance and emission evaluation of a CI engine fueled with preheated raw rapeseed oil (RRO)–diesel blends. *Applied Energy*, 26, 786–790. DOI: 10.1016/j.apenergy.2009.05.021.
6. Kleinová, A., Vailing, I., Lábaj, J., Mikulec, J., & Cvengroš, J. (2011). Vegetable oils and animal fats as alternative fuels for diesel engines with dual fuel operation. *Fuel Processing Technology*, 92, 1980–1986. DOI: 10.1016/j.fuproc.2011.05.018.
10. Markov, V.A., Bashirov R.M., & Gabitov I.I. (2002). *Toxicity of Diesel Engine Exhaust Emissions* (2nd ed.). Moscow, Russia: Publishing House of Moscow State Technical University, NE Bauman (MSTU). (In Russian.)
11. Paulsen, H.M., Wichmann, V., Schuemann, U., & Richter, B. (2011). Use of straight vegetable oil mixtures of rape and camelina as on farm fuels in agriculture. *Biomass and Bioenergy*, 35, 4015–4024. DOI: 10.1016/j.biombioe.2011.06.031.
12. Sidibe, S.S., Blin, J., Vaitilingom, G., & Azoumah, Y. (2010). Use of crude filtered vegetable oil as a fuel in diesel engines state of the art: Literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 2748–2759. DOI: 10.1016/j.rser.2010.06.018.
13. Soltic, P., Edenhauser, D., Thurnheer, T., Schreiber, D., & Sankowski, A. (2009). Experimental investigation of mineral diesel fuel, GTL fuel, RME and neat soybean and rapeseed oil combustion in a heavy duty on-road engine with exhaust gas aftertreatment. *Fuel*, 8, 1–8. DOI: 10.1016/j.fuel.2008.07.028.
14. Thuncke, K. (2006). Rapeseed oil fuel – Production, quality demands and use experience. In Biomass for Energy – Challenges for Agriculture, 25–26 September, 2006, Bruges, Belgium. Retrieved from http://www.northseabioenergy.org/files/17397/Klaus_Thuncke.pdf.