

TURBOKOMPRESORINĖS ORO PRIPŪTIMO SISTEMOS NESANDARUMO ĮTAKOS  
1.9 TDI DYZELINIO VARIKLIO IŠORINIAMS DARBO PARAMETRAMS TYRIMAIJustas Žaglinskis<sup>1</sup>, Ričardas Vėgneris<sup>2</sup>, Alfredas Rimkus<sup>3</sup>, Paulius Rapalis<sup>4</sup>, Mindaugas Melaika<sup>5</sup><sup>1, 2, 3, 5</sup>Vilniaus Gedimino technikos universitetas<sup>1, 4</sup>Klaipėdos universitetasEl. paštas: <sup>1</sup>j.zaglinskis@gmail.com; <sup>2</sup>ricardas.vegneris@vgtu.lt; <sup>3</sup>alfredas.rimkus@vgtu.lt;  
<sup>4</sup>paulius.rapalis@ku.lt; <sup>5</sup>mindaugas.melaika@dok.vgtu.lt

**Santrauka.** Straipsnyje pateikti dyzelinio variklio Audi 1.9 TDI palyginamieji stendinių tyrimų rezultatai bei jų analizė. Tyrimo tikslas buvo suformuotas autoriams iškėlus klausimą, kaip pripūtimo sistemos nesandarumas daro įtaką dyzelinio variklio ekonominiams-energetiniams ir ekologiniams rodikliams siekiant užtikrinti tas pačias apkrovos charakteristikas. Nesandarumo faktorių imituojant 3.1 mm skersmens anga, kurios dydis praktikoje realiai tikėtinas, buvo pastebėti reikšmingi neigiami pokyčiai. Kritus pripūtimo slėgiui 6,7–7,8 % šiltnamio dujų emisija tiriamajame variklio apkrovos diapazone išaugo 11–30 %, degalų sunaudojimas išaugo 11–14 %, kitų rodiklių pablogėjimas lyginant su įprastos eksploatacijos sąlygomis skyrėsi kartais. Nustatyta, jog esant nesandarumui variklio elektroninė valdymo sistema neefektyviai mažina nevisiško degimo produktų emisiją.

**Reikšminiai žodžiai:** dyzelinis variklis, turbokompresorinė pripūtimo sistema, ekologiniai parametrai, energetiniai-ekonominiai parametrai.

## Įvadas

Ekspluatuojant transporto sektoriaus vienetus vienas iš pasitaikančių gedimų yra turbokompresorinės oro pripūtimo sistemos nesandarumas. Šis gedimas dėl ilgalaikio dalių susidėvėjimo aktualus senesnės gamybos transporto priemonėms, kurios būdingos Lietuvoje eksploatuojamiems transporto parkams. Remiantis įvairiais šaltiniais, Lietuvoje 2012 m. transporto sektoriaus vieneto vidutinis amžius siekė 15 m. Šio gedimo analizės rezultatai dėl plačiai naudojamo turbokompresorinio pripūtimo itin aktualūs eksploatuojant dyzelinius variklius, tai ir padarė reikšmingą įtaką pasirenkant tyrimo objektą.

Buvo atlikti analogiški darbo ciklo ir energetinių parametrų tyrimai (Hountalas 2000; Barelli *et al.* 2013), kuriuose užfiksuotas darbo parametrų pablogėjimo faktorius esant pripučiamo oro slėgio kritimui. Šiame tyrime, kuriame buvo panaudotas Vilniaus Gedimino technikos universiteto Transporto inžinerijos fakulteto ir Klaipėdos universiteto Jūreivystės instituto mokslinių tyrimų inventorių, pateikti pripūtimo slėgio praradimo įtakos dyzelinio variklio darbo parametrų analizės rezultatai. Imituojamo nesandarumo specifika artima praktikoje pasitaikantiems gedimams, o gauti rezultatai sudaro pagrindą variklio efektingiems rodikliams įvertinti realiomis eksploatacijos sąlygomis.

## Tyrimų metodika

Tyrimų objektas – 1992 m. gamybos Audi dyzelinis 1.9 TDI keturių cilindrų 1Z tipo variklis. Variklis yra su vieno tūrio degimo kamera (tiesioginis įpurškimas), esančia stūmoklyje, turi turbokompresorinę oro pripūtimo sistemą, išmetamųjų dujų (ID) recirkuliacijos sistemą (EGR) ir elektroninę valdymo sistemą (EVS). Variklio pagrindiniai techniniai duomenys pateikti 1 lentelėje.

Bandymai atlikti panaudojant įprastą mineralinį dyzeliną su 5 % RRME priedu, atitinkantį standarto LST EN 590:2009+A1 reikalavimus (LST EN 590:2009+A1). Pagrindinės fizikinės dyzelino savybės pateiktos 2 lentelėje.

1 lentelė. Variklio 1.9 TDI pagrindiniai techniniai duomenys  
Table 1. The main operating parameters of engine 1.9 TDI engine

| Parametras              | Dimensija       | Reikšmė                            |
|-------------------------|-----------------|------------------------------------|
| Variklio darbinis tūris | cm <sup>3</sup> | 1896                               |
| Cilindrų skaičius       | –               | 4                                  |
| Suspaudimo laipsnis     | –               | 19,5                               |
| Maksimalioji galia      | kW              | 66 (4000 min <sup>-1</sup> )       |
| Sukimo momentas         | Nm              | 180 (2000–2500 min <sup>-1</sup> ) |
| Vid. efektingis slėgis  | MPa             | 1,19 (esant 180 Nm)                |
| Cilindro skersmuo       | mm              | 79,5                               |
| Stūmoklio eiga          | mm              | 95,5                               |

2 lentelė. Pagrindinės fizikinės dyzelino savybės  
Table 2. The main physical properties of diesel fuel

| Rodiklis                   | Dimensija          | Reikšmė |
|----------------------------|--------------------|---------|
| Tankis esant 15 °C         | kg/m <sup>3</sup>  | 844,7   |
| Klampusis esant 40 °C      | mm <sup>2</sup> /s | 2,93    |
| Kaloringumas (žem.)        | KJ/kg              | 43 500  |
| Pliūpsnio temperatūra      | °C                 | 63      |
| Cetaniškas skaičius        | –                  | 51      |
| Ribinė filtruojamumo temp. | °C                 | –7      |

Tyrimai atlikti automatizuotame motoriniame stende KH-5543 su svarstykliniu dinamometru vidaus degimo variklio sukuriama sukimo momentui nustatyti.

Motoriniame stende kaip variklio stabdis naudojamas elektrinis asinchroninis variklis su faziniu rotoriumi, skystiniu reostatu ir dinamometru. Stendas yra universalus: variklio sūkių dažniui esant 600–1400 min<sup>-1</sup> diapazone stendas veikia kaip elektros variklis, o sūkių dažniui esant 1600–3000 min<sup>-1</sup> diapazone – kaip stabdis veikia elektros generatoriaus režimu.

Maksimalus stendo matuojamas sukimo momentas – 440 Nm, apkrovos galia – 125 kW. Sukimo momento matavimo paklaida sudaro 0,8 % nuo išmatuoto apkrovos momento reikšmės.

Variklio ID kenksmingų komponentų analizei buvo panaudoti ID analizatoriai MAHA MET 6.3 ir AVL DiCom 4000, prietaisų kenksmingų komponentų ID matavimo diapazonas ir tikslumas pateikti atitinkamai 3 ir 4 lentelėse.

3 lentelė. Dujų analizatoriaus MAHA MET 6.3 matavimo diapazonas ir tikslumas

Table 3. Data measuring accuracy and resolution of gas analyzer MAHA MET 6.3

| Matuojami komponentai                                     | CO   | CO <sub>2</sub> | HC   | O <sub>2</sub>  | NO <sub>x</sub>   |
|---|--|-----------------|--|-----------------|-------------------|
| Matavimo diapazonas                                       | 0–15,0 % (tūr.)  | 0–20,0 % (tūr.) | 0–2000 ppm (heksanas, tūr.)<br>0–4000 ppm (propanas, tūr.) | 0–25,0 % (tūr.) | 0–5000 ppm (tūr.) |
| Matavimo tikslumas  | 0,03 % (tūr.)  | 0,05 % (tūr.)   | 10 ppm (tūr.)  | 0,1 % (tūr.)    | 32–120 ppm (tūr.) |
| Maksimali skir. geba                                      | 0,001 % (tūr.)   | 0,01 % (tūr.)   | 10 ppm (tūr.)  | 0,01 % (tūr.)   | 1 ppm (tūr.)      |
| Matavimo principas  | IR spindulių   | IR spindulių    | IR spindulių   | Elektrocheminis | Elektrocheminis   |
| Lambda reikšmė  | Pateikimo diapazonas 0,5–9,999/skir. geba: 0,001/skaičiuojama remiantis Brettschneider |                 |  |                 |                   |
| Kietųjų dalelių neskaidrumo matavimo diapazonas           | 0,0001–3,000 m <sup>-1</sup> (0,01–700 mg/m <sup>3</sup> )                             |                 |  |                 |                   |
| Matavimo metodas/matavimo tikslumas/kietųjų dalelių dydis | Išskaidytos šviesos/0,0001 m <sup>-1</sup> (0,01 mg/m <sup>3</sup> )/70–10000 nm       |                 |  |                 |                   |

4 lentelė. Dujų analizatoriaus AVL DiCom 4000 matavimo diapazonas ir tikslumas

Table 4. The data of measuring accuracy and resolution of gas analyzer AVL DiCom 4000

|                            | Matavimo diapazonas     | Matavimo paklaida    |
|----------------------------|-------------------------|----------------------|
| Neskaidrumas               | 0–100 %                 | 0,1 %                |
| Absorbcijos koef. <i>k</i> | 0–99,99 m <sup>-1</sup> | 0,01 m <sup>-1</sup> |
| Azoto oksidai              | 0–5000 ppm (tūr.)       | 1 ppm                |
| Angliavandeniliai          | 0–20 000 ppm (tūr.)     | 1 ppm                |
| Anglies monoksidas         | 0–10 % (tūr.)           | 0,01 % (tūr.)        |
| Anglies dioksidas          | 0–20 % (tūr.)           | 0,1 % (tūr.)         |
| Degunio                    | 0–25 % (tūr.)           | 0,01 % (tūr.)        |

Degalų sąnaudos buvo matuojamos elektroninėmis SK-5000 svarstyklėmis, kurių maksimali svėrimo riba – 5000 g, padalos vertė – 1 g. Valandinio degalų suvartojimo matavimo tikslumas siekia 0,5 %. Į cilindrus pripučiamo oro slėgis buvo fiksuojamas slėgio matuokliu Delta OHM HD 23040.0, kurio tikslumas siekia ±0,0003 MPa.

ID ir pripučiamo oro temperatūra buvo matuojama termoporumis TP-02A, kurios turi tiesioginį ryšį su duomenis registruojančiu matavimo moduliu Datalogger DL2000. Matavimo diapazonas 0–650 °C.

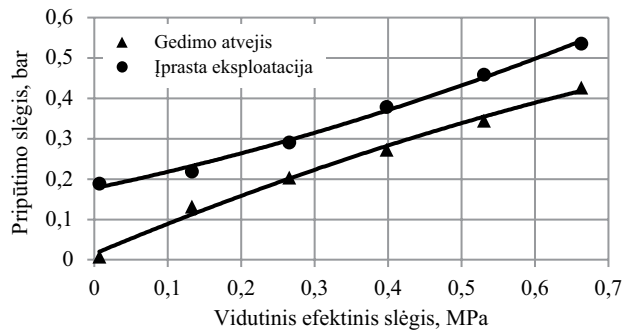
Pripūtimo linijos nesandarumas imituojamas 3,1 mm skersmens anga suspausto oro (po kompresoriaus) vamzdyne. Kituose šio tyrimo punktuose imituojamas pripūtimo linijos nesandarumo atvejis įvardijamas kaip „gedimas“ ir lyginami išoriniai (energetiniai-ekonominiai ir ekologiniai) variklio darbo parametrai su įprastinėmis eksploatacijos sąlygomis.

Variklio apkrovos diapazonas dibant  $n = 2000 \text{ min}^{-1}$  režimu siekė nuo tuščiosios eigos iki 0,663 MPa vidutinio efektyvio slėgio reikšmės. Matuojami 6 apkrovos taškai nuo tuščiosios eigos iki 100 Nm 20 Nm žingsniu.

### Tyrimų rezultatai ir analizė

Atliekant eksperimentinius matavimus buvo pastebėta, kad abiem atvejais (gedimo ir įprastos eksploatacijos) siekiant užtikrinti tas pačias variklio apkrovos režimo sąlygas, variklio pripūtimo sistema, esant santykinai nedidelio skerspjūvio nesandarumui pripūtimo linijoje, neužtikrina į variklį tiekiamo oro slėgio parametru.

Vertinant manometrinio pripūtimo linijos slėgio duomenis, esant tuščiajai variklio eigai, pastebimas ryškus slėgio rodiklių skirtumas, kuris gedimo atveju praktiškai lygus atmosferiniam slėgiui ir siekia apie 0,01 bar, o esant įprastinėms eksploatacijos sąlygoms – 0,2 bar (žr. 1 pav.). Apkraunant variklį ( $P_{me} = 0,133\text{--}0,663$  MPa) pastebimas manometrinio slėgio kritimas 20–40 % diapazone.



1 pav. Slėgio pokytis pripūtimo linijoje esant įprastoms variklio eksploatacijos sąlygoms ir gedimo atveju  
Fig. 1. Change in the charge-air system under usual exploitation conditions and leakage

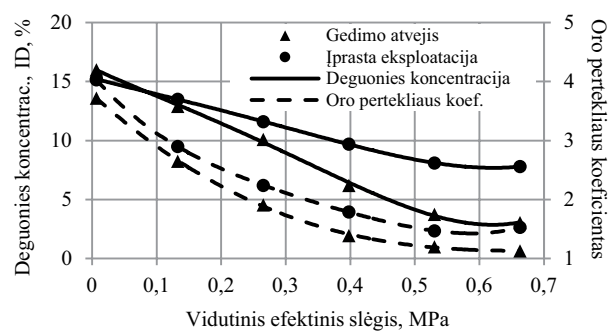
Vertinant bendrą (įskaitant atmosferinį slėgį) pripūtimo slėgį, esant tuščiajai eigai, nesutapimas siekia apie 15 %, likusiame apkrovos diapazone – 6,7–7,8 %.

Pripūtimo slėgio rezultatus pagrindžia adekvatus pripučiamo oro temperatūros pokyčio duomenys, kurių nesutapimas gedimo ir įprastos eksploatacijos atvejais, apkrovus variklį, svyruoja 9,0–24,0 % diapazone. Dirbant tuščiaja eiga pripučiamo oro temperatūros kritimas siekia apie 30 % (žr. 3 pav.).

Esant nesandarumui pripūtimo linijoje užtikrinamas mažesnis oro kiekis, tiekiamas į cilindrus. Savaime suprantama, kad didėjant pripūtimo slėgiui didėja slėgio ir oro kiekio praradimas pro nesandarumo angą. Šį teiginį adekvačiai iliustruoja tyrimų metu gautų oro pertekliaus koeficiento ir deguonies ( $O_2$ ) koncentracijų ID duomenų priklausomybės nuo variklio apkrovos (žr. 2 pav.).

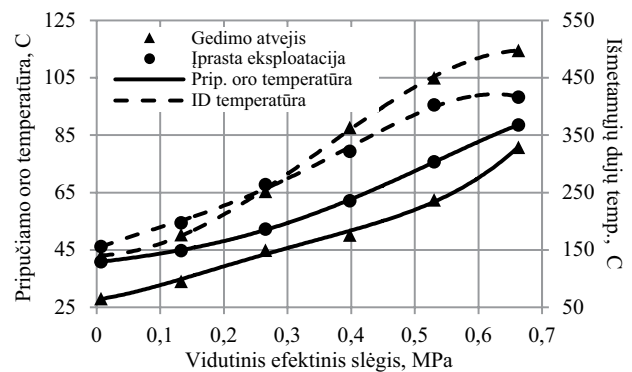
Gedimo atveju oro pertekliaus koeficientas visame tiriamajame apkrovos diapazone išlaiko stabilų 0,25–0,40 vnt. pokyčio charakterį, o santykinis pokytis siekia 7,7–26,0 %.  $O_2$  koncentracijos ID pokytis didėja didėjant variklio apkrovai ir pasiekus tiriamojo apkrovos diapazono maksimalios apkrovos tašką sumažėjimas siekia apie 60 % lyginant su įprastomis eksploatacijos sąlygomis (žr. 2 pav.).

Ryškesnis ID temperatūros pokytis vyksta, variklio apkrovai pasiekus 0,4 MPa, pasiekus aukštesnius apkrovos taškus, gedimo atveju ID temperatūros padidėjimas svyruoja 12–20 % diapazone (žr. 3 pav.). Šiuo atveju ID tem-



2 pav. Deguonies  $O_2$  koncentracijos ID ir oro pertekliaus koeficiento pokytis esant įprastoms variklio eksploatacijos sąlygoms ir gedimo atveju

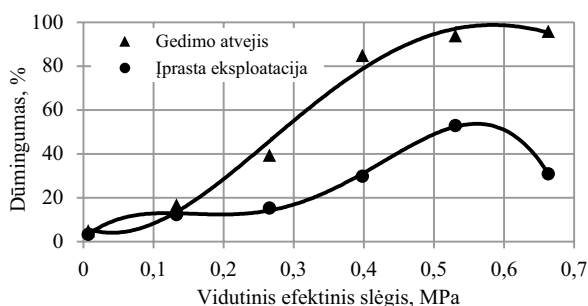
Fig. 2. Change in  $O_2$  concentration in EG and the excess air ratio under usual exploitation conditions and leakage



3 pav. ID ir pripučiamo oro temperatūros pokytis esant įprastoms variklio eksploatacijos sąlygoms ir gedimo atveju  
Fig. 3. Change in EG and charge air temperature under usual exploitation conditions and leakage

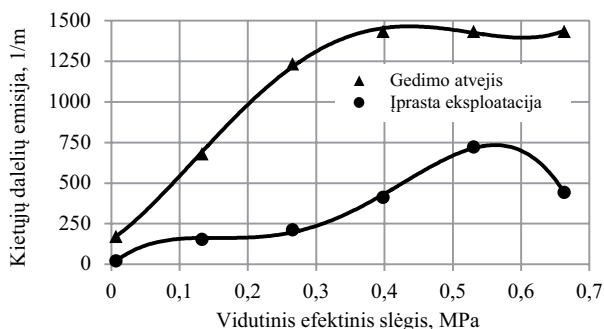
peratūros pokytį lemia perteklinis oras, kurio praradimas lemia didesnę degalų, dalyvaujančių degimo procese, dalį darbiname mišinyje.

Analizuojant dūmingumo duomenis, taip pat matoma neigiama nesandarumo faktoriaus įtaka. Dūmingumo rodiklio priklausomybės nuo variklio apkrovos charakteris būdingas varikliams, turintiems elektroninę valdymo sistemą, kurios vienas iš pagrindinių reguliuojamų parametrų yra oro pertekliaus koeficientas  $\lambda$  (Tan *et al.* 2007). Šiame variklyje, kaip iširta kitų tyrėjų (Lebedevas *et al.* 2012), oro pertekliaus koeficiento reguliavimas prasideda pasiekus ~0,4–0,5 MPa vidutinio efektingo slėgio ( $P_{me}$ ) reikšmę. Tai pagrindžia priklausomybės, pateiktos 4, 5 ir 6 pav., iš kurių matoma, kad pasiekus minėtąją  $P_{me}$  reikšmę, augančią tendenciją turinčios rodiklių (dūmingumo SM, kietųjų dalelių PM ir angliavandenilių CH emisijos) kreivės, prasidėjus  $\lambda$  reguliavimui, stabilizuojasi ir dėl didesnio oksidatoriaus kiekio nevysiško degimo produktų koncentracija igauna mažėjančią tendenciją.



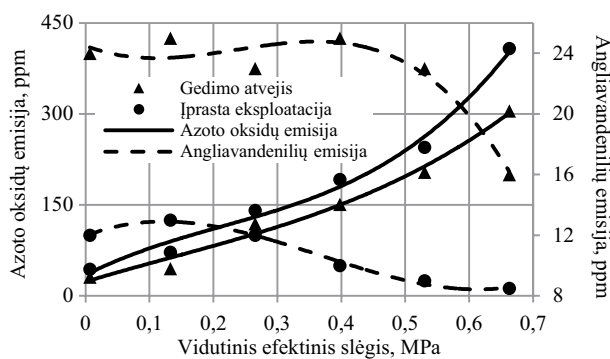
4 pav. Dūmingumo SM pokytis esant įprastoms variklio eksploatacijos sąlygoms ir gedimo atveju

Fig. 4. Change in smokiness (SM) under usual exploitation conditions and leakage



5 pav. Kietųjų dalelių PM pokytis esant įprastoms variklio eksploatacijos sąlygoms ir gedimo atveju

Fig. 5. Change in the emission of particle matters (PM) under usual exploitation conditions and leakage



6 pav. Azoto oksidų NO<sub>x</sub> ir angliavandenilių HC emisijos pokytis esant įprastoms variklio eksploatacijos sąlygoms ir gedimo atveju

Fig. 6. Change in nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) and hydrocarbon (HC) emission under usual exploitation conditions and leakage

Visame tiriamajame apkrovos diapazone angliavandenilių HC emisijos rodiklių pablogėjimo faktorius, lyginant su įprasta eksploatacija, išlieka stabilus ir siekia 2–2,5 karto. Pavaizduota HC emisijos pokyčio tendencija, kuri būdinga įprastiems tiesioginio įpurškimo (DI)

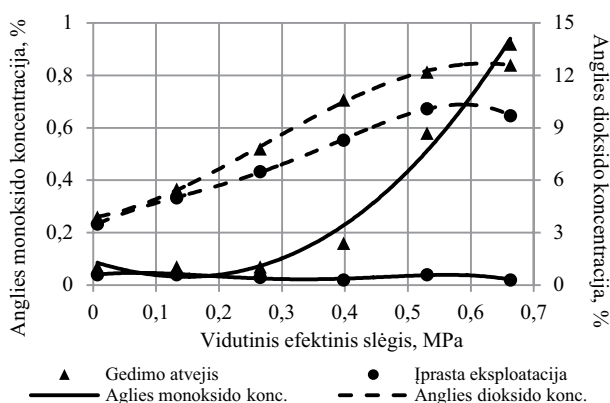
dizeliniams varikiams, mažai priklauso nuo  $\lambda$  pokyčio (Mollenhauer, Tschoeke 2010; Merker *et al.* 2006), tačiau gedimo atveju nėra užtikrinamas reikiamas oksidatoriaus kiekis, todėl bendras nevisiško degimo produkto HC kiekis ID yra didesnis.

Azoto oksidų NO<sub>x</sub> susidarymas tiesiogiai priklauso nuo temperatūros variklio cilindre ir oro kiekio. Objektivaus darbo proceso temperatūrinio rodiklio – ID temperatūros (žr. 3 pav.) bei azoto oksidų emisijos (žr. 6 pav.) analizė rodo, jog perteklinis oras yra pagrindinis lemiantis faktorius NO<sub>x</sub> susidarymo cheminiame mechanizme, kuris yra plačiai ištirtas ir aprašytas kitų mokslininkų (Merker *et al.* 2006; Saravanan *et al.* 2012; Hoekman, Robbins 2012).

Kaip ir buvo tikimasi prieš atliekant standinius tyrimus, kad, esant imituojamam gedimui, kuris padarė įtaką variklio aprūpinimui oru, bus stebimas NO<sub>x</sub> emisijos sumažėjimas. Visame apkrovos diapazone NO<sub>x</sub> emisijos sumažėjimas vidutiniškai siekė ~24 %.

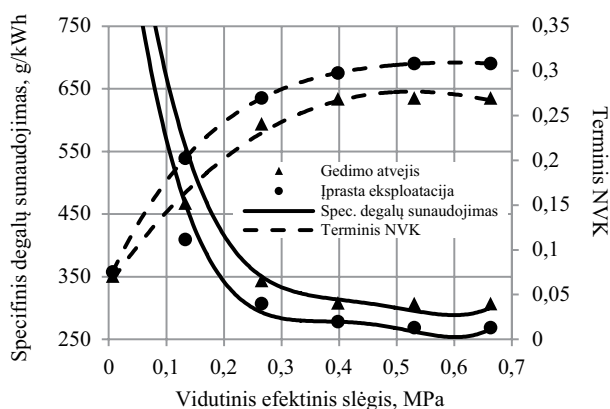
SM, PM emisijų rodiklių pokyčio analizė leidžia daryti prielaidą, kad, esant nesandariai oro pripūtimo linijai, EVS neužtikrina reikiamo perteklinio oro kiekio, lyginant su įprasta eksploatacija, ir neefektyviai mažina minėtųjų kenksmingų komponentų emisiją ID.

Ryškus pokytis užfiksuotas registruojant anglies monoksido CO emisiją (žr. 7 pav.). Gedimo atveju  $P_{me}$  pasiekus 0,25 MPa reikšmę, CO koncentracija ima sparčiai augti ir maksimalios tiriamosios apkrovos taške ( $P_{me} = 0,663$  MPa) CO koncentracija ID siekia 0,92 %, o žemais emisijos rodikliais pasižyminčiomis (Yilmaz, Morton 2011) įprastomis eksploatacijos sąlygomis siekia 0,02–0,03 %.



7 pav. Anglies monoksido CO ir anglies dioksido emisijos CO<sub>2</sub> pokytis esant įprastoms variklio eksploatacijos sąlygoms ir gedimo atveju

Fig. 7. Change in carbon monoxide (CO) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions under usual exploitation conditions and leakage



8 pav. Specifinio degalų sunaudojimo  $b_e$  ir terminio naudingumo koeficiento  $\eta_e$  pokytis esant įprastoms variklio eksploatacijos sąlygoms ir gedimo atveju

Fig. 8. Change in specific fuel consumption  $b_e$  and thermal efficiency  $\eta_e$  under usual exploitation conditions and leakage

Netoksiško, bet darančio įtaką šiltnamio dujų kiekio padidėjimui junginio, anglies dioksido  $\text{CO}_2$  emisija paprastai priklauso tik nuo anglies elemento kiekio degalų sudėtyje (Merker *et al.* 2006; Mollenhauer, Tschoeke 2010). Šią gedimo metu 11–30 % išaugusią  $\text{CO}_2$  emisiją (žr. 7 pav.) galima paaiškinti specifinio degalų sunaudojimo  $b_e$  rodiklio pablogėjimu, kuris dirbant vidutinių ir aukštų tiriamojo diapazono apkrovų režimais siekia 11–14 % (žr. 8 pav.) kaip ir NVK  $\eta_e$ , kuris šiuo atveju priklauso tik nuo  $b_e$ .

## Išvados

Atlikti palyginamieji variklio parametrų tyrimai leidžia daryti išvadą, kad, esant oro pripūtimo linijos nesandarumui ( $P_k$  kritimas dirbant tuščiąja eiga siekia 15 %, likusiame apkrovos diapazone – 6,7–7,8 %), praktiškai visi tiriamieji variklio eksploatacijos rodikliai pasižymi prastesnėmis charakteristikomis, išskyrus  $\text{NO}_x$  koncentracija, kuri, kaip ir buvo tikimasi, pasižymėjo geresniais rodikliais.  $\text{NO}_x$  koncentracija, palyginti su įprastos eksploatacijos sąlygomis, vidutiniškai sumažėjo 24 % visame variklio apkrovos diapazone.

Siekiant variklyje užtikrinti tuos pačius vidutinio efektyvio slėgio rodiklius, esant nesandarumui oro pripūtimo linijoje, buvo užfiksuoti šių variklio eksploatacijos rodiklių pablogėjimo pokyčiai:

- $\lambda$  visame tiriamajame apkrovos diapazone išlaiko stabilų 0,25–0,40 vnt. pokyčio charakterį, o santykinis pokytis siekia 7,7–26,0 %;
- $\text{O}_2$  koncentracijos ID pokytis auga didėjant variklio apkrovai ir pasiekus tiriamojo apkrovos diapazono maksimalios apkrovos tašką sumažėjimas siekia ~60 %;

- SM emisijos pokytis siekia nuo 1,3 dirbant žemų apkrovų iki 3,1 karto dirbant aukštų tiriamojo diapazono apkrovų režimais;
- PM emisijos pokytis, apkraunant variklį, išauga visame apkrovos diapazone ir siekia nuo 2 iki 3 kartų dirbant aukštesnės apkrovos režimais ir nuo 4,5 iki 6 kartų esant mažesnėms apkrovoms;
- CH emisijos rodiklių pablogėjimo faktorius išlieka stabilus ir visame apkrovos diapazone siekia 2–2,5 karto;
- tiriamojo diapazono maksimalios apkrovos taške ( $P_{me} = 0,663$  MPa) CO koncentracija siekia 0,92 %, o įprastomis sąlygomis siekia 0,02–0,03 %;
- dėl išaugusių degalų sąnaudų  $\text{CO}_2$  emisija išaugo 11–30 % visame apkrovos diapazone;
- ekonominių-energetinių variklio rodiklių  $b_e$  ir  $\eta_e$  pablogėjimas dirbant vidutinių ir aukštų tiriamojo diapazono apkrovų režimais siekia 11–14 %.

Analizuojant nevysiško degimo produktų emisijos duomenis pastebėta, kad, esant nesandariai oro pripūtimo linijai, EVS neįvertina gedimo ir neužtikrina pakankamo perteklinio oro kiekio, kuris, lyginant su įprasta eksploatacija, neefektyviai mažina kenksmingų komponentų koncentraciją ID.

## Literatūra

- Barelli, L.; Bidini, G.; Bonucci, F. 2013. Diagnosis of a turbocharging system of 1 MW internal combustion engine, *Energy Conversion and Management* 68: 28–39. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2012.12.013>
- Hoekman, S. K.; Robbins, C. 2012. Review of the effects of biodiesel on  $\text{NO}_x$  emissions, *Fuel Processing Technology* 96: 237–249. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.12.036>
- Hountalas, D. T. 2000. Prediction of marine diesel engine performance under fault conditions, *Applied Thermal Engineering* 20: 1753–1783. [http://dx.doi.org/10.1016/S1359-4311\(00\)00006-5](http://dx.doi.org/10.1016/S1359-4311(00)00006-5)
- Yilmaz, N.; Morton, B. 2011. Effects of preheating vegetable oils on performance and emission characteristics of two diesel engines, *Biomass and Bioenergy* 35: 2028–2033. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.052>
- Lebedevas, S.; Pukalskas, S.; Žaglinskis, J.; Matijošius, J. 2012. Comparative investigations into energetic and ecological parameters of camelina-based biofuel used in the 1Z diesel engine, *Transport* 27 (2): 171–177. <http://dx.doi.org/10.3846/16484142.2012.694078>
- LST EN 590:2009+A1 Automobiliniai degalai. Dyzelinas. Reikalavimai ir tyrimo metodai. 2010. Vilnius.
- Merker, G. P.; Schwarz, C.; Stiesch, G.; Otto, F. 2006. *Simulating Combustion*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISBN10 3-540-25161-8.

- Mollenhauer, K.; Tschöke, H. 2010. *Handbook of Diesel Engines*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-540-89082-6.  
<http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-89083-6>
- Saravanan, S.; Nagarajan, G.; Anand, S.; Sampath, S. 2012. Correlation for thermal NO<sub>x</sub> formation in compression ignition (CI) engine fuelled with diesel and biodiesel, *Energy* 42: 401–410. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2012.03.028>
- Tan, P. Q.; Hu, Z. Y.; Deng, K. Y.; Lu, J. X.; Lou, D. M.; Wan, G. 2007. Particulate matter emission modelling based on soot and SOF from direct injection diesel engines, *Energy Conversion and Management* 48: 510–518.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2006.06.012>

**RESEARCH INTO THE INFLUENCE  
OF TURBOCHARGER SYSTEM LEAKAGE ON  
THE PARAMETERS OF THE EXTERNAL WORK  
OF 1.9 TDI DIESEL ENGINE**

**J. Žaglinskis, R. Vėgneris, A. Rimkus,  
P. Rapalis, M. Melaika**

**Abstract**

The article presents and analyses the comparable results of the stand tests of 1.9 TDI diesel engine. The purpose of the conducted research included solving a question of how losses in the charge-air system impacted environmental and energy-economical parameters in order to ensure the same load characteristics of the diesel engine. The leakage factor was imitated by a hole of 3.1 mm in diameter, the size of which is possible in practice. Therefore, some significant negative changes were observed. In all tested range of the loaded engine, a decrease of 6.7...7.8 % in charge pressure impacts an increase in greenhouse gas emissions by 11...30 %. Fuel consumption increased by 11...14 % and difference in the deterioration of other indicators sometimes varied compared with normal operating conditions. It was also found that, in a case of leakage, the electronic engine control unit inefficiently reduced the emission of the products of incomplete combustion in exhaust gases.

**Keywords:** diesel engine, charge-air system, environmental parameters, energy-economical parameters.