

## BENZINO ĮPURŠKIMO SISTEMOS SUTRIKIMO ĮTAKOS VARIKLIO DEGINIŲ EMISIJAI TYRIMAS

**Justas LEKAVIČIUS**, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas [justas.lekavicius@vdu.lt](mailto:justas.lekavicius@vdu.lt)

### Santrauka

Straipsnyje pateikiami degalų įpurškimo sistemos sutrikimų įtakos variklio deginių emisijai tyrimų rezultatai. Bandymu metu buvo imituojami tokie sistemos sutrikimai kaip neveikiantis lambda jutiklis, nesandarumas įpurškimo sistemoje bei pašalinta vakuumo žarnelė toje pačioje įpurškimo sistemoje. Tyrimas buvo atliekamas esant įvairiems sukiamams – 840, 2000 ir 3200 n/min<sup>-1</sup> be apkrovos. Buvo matuojamos CO, CH ir NO<sub>x</sub> koncentracijos. Rezultatai parodė, kad ir tokie nedideli sistemos pažeidimai gali neigiamai veikti degimo procesą, dėl to padidėja nepageidaujami deginių kiekiai. Didžiausią įtaką emisijų didėjimui turėjo įpurškimo sistemos vakuumo žarnelės atjungimas. Dėl to CO koncentracija didinant sukisus padidėjo net 12 kartų.

**Reikšminiai žodžiai:** variklis, sutrikimas, emisijos, įpurškimas.

### Įvadas

Vidaus degimo varikliais varomų automobilių savininkai anksčiau ar vėliau susiduria su tam tikrais variklio gedimais. Ne išimtis ir kibirkštinio uždegimo varikliai. Kai kurie su išmetamaisiais teršalais susiję pažeidimai nesukelia vairuotojui jokių pastebimų simptomų arba atsiranda tik kritinėse situacijose. Su vidaus degimo varikliais buvo atlikta daugybė tyrimų, siekiant pagerinti variklio veikimą, sumažinti variklio degalų sąnaudas bei nepageidaujamas išmetamųjų dujų emisijas. Tačiau kasmet vis didėjantis žemės ūkio technikos, vilkikų, savaeigių mašinų ir benziniais varikliais varomų lengvųjų automobilių skaičius į atmosferą išskiria didelius kiekius žmonių ir gyvūnų sveikatai pavojingų junginių bei didina anglies dvideginio kiekį atmosferoje, kuris skatina šiltnamio efektą ir globalinį atšilimą. Net ir menkiausias degalų tiekimo sistemos pažeidimas gali lemti tai, kad patvirtintas naudoti variklis, atitinkantis jo pagaminimo metu galiojusius standartus, gerokai viršys išmetamųjų teršalų ribines vertes. Vadinasi, automobilio vairuotojas negali ignoruoti jokių įpurškimo sistemos pažeidimų. Tai gali būti įvairūs pažeidimai, pavyzdžiui: neveikianti oro masės/srauto matuoklė, nesandari oro įsiurbimo sistema, neveikiantis lambda jutiklis, purkštuvai ar nesandari degalų įpurškimo sistema. Visus šiuos atvejus reikėtų ištirti, norint išsiaiškinti, kaip koks gedimas lemia išmetamųjų dujų emisijų kiekius.

**Tyrimo tikslas** – ištirti benzininio variklio įpurškimo sistemos sutrikimų įtaką variklio deginių emisijai.

**Tyrimo uždaviniai:**

1. Atlikti benzininio variklio įpurškimo sistemos eksperimentinius tyrimus imituojant sistemos sutrikimus;
2. Įvertinti benzininio variklio įpurškimo sistemos sutrikimų įtaką deginių emisijai;
3. Nustatyti, koks gedimas lemia didžiausius pokyčius deginių emisijose.

### Tyrimų objektas ir metodai

Tyrimas atliktas Inžinerijos fakulteto Mechanikos, energetikos ir biotechnologijų inžinerijos katedros variklių bandymo laboratorijoje. Tyrimams naudotas VW 1,8 litro darbinio tūrio variklis (1 lentelė). Įpurškimo sistemos sutrikimai buvo imituojami žarnelės, jungiančios degalų slėgio reguliatorių su įsiurbimo kolektoriumi, nesandarumais iki visiško jos pašalinimo bei atjungiant lambda zoną.

**1 lentelė.** Variklio techniniai duomenys

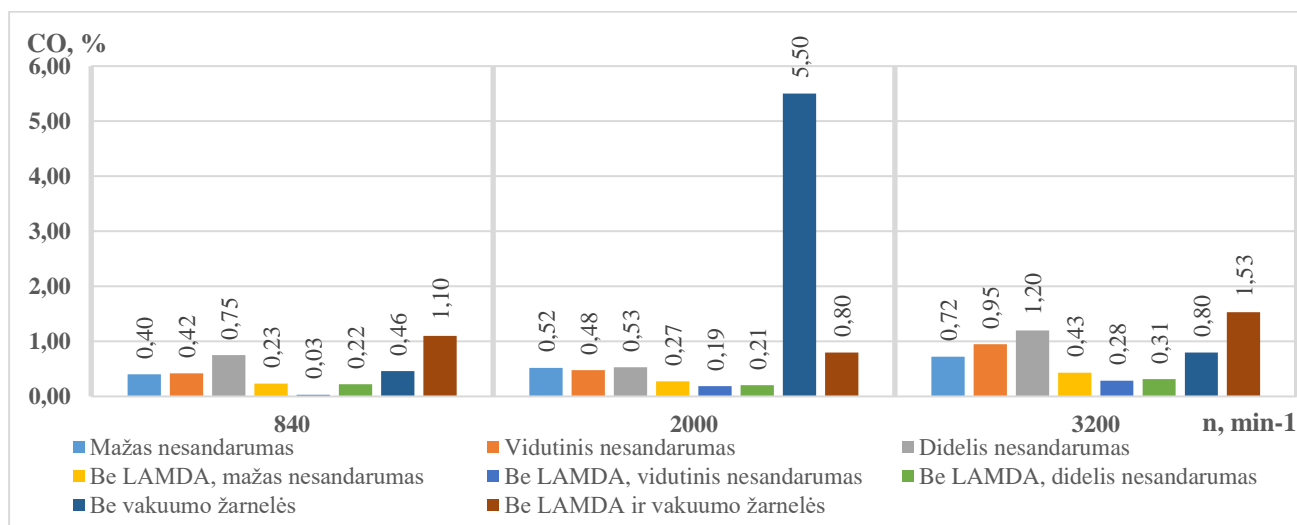
**Table 1.** Engine technical data

| Variklio tipas                           | Keturaktis, skysčiu aušinamas, benzininis |
|--|---|
| Cilindrų skaičius, vnt.                  | 4   |
| Cilindro skersmuo, mm                    | 81  |
| Stūmoklio eiga, mm                       | 86,4                                      |
| Variklio darbinis tūris, cm <sup>3</sup> | 1781                                      |
| Suspaudimo laipsnis                      | 10,3                                      |

Variklio bandymai buvo atliekami varikliui veikiant tuščiąja eiga ( $840 \text{ min}^{-1}$ ) ir padidintais  $2000$  ir  $3200 \text{ min}^{-1}$  sūkiams be apkrovos. Bandymų metu buvo matuojamos angliavandenilių (CH), anglies viendeginio (CO) ir azoto oksidų (NOx) koncentracijos deginiuose, įpurškimo trukmė bei oro sąnaudos. Deginių emisijai matuoti naudoti *Testo 350-XL* ir *Technotest MOD.488* deginių analizatoriai. Iš pradžių matavimai atlikti mažinant slėgį degalų įpurškimo sistemoje, imituojant tam tikrą nesandarumą, po to – esant neveikiančiam lambda zondui ir tuo metu didinant nesandarumą sistemoje, ir galiausiai – pašalinant vakuumo žarnelę kartu su lambda zondų.

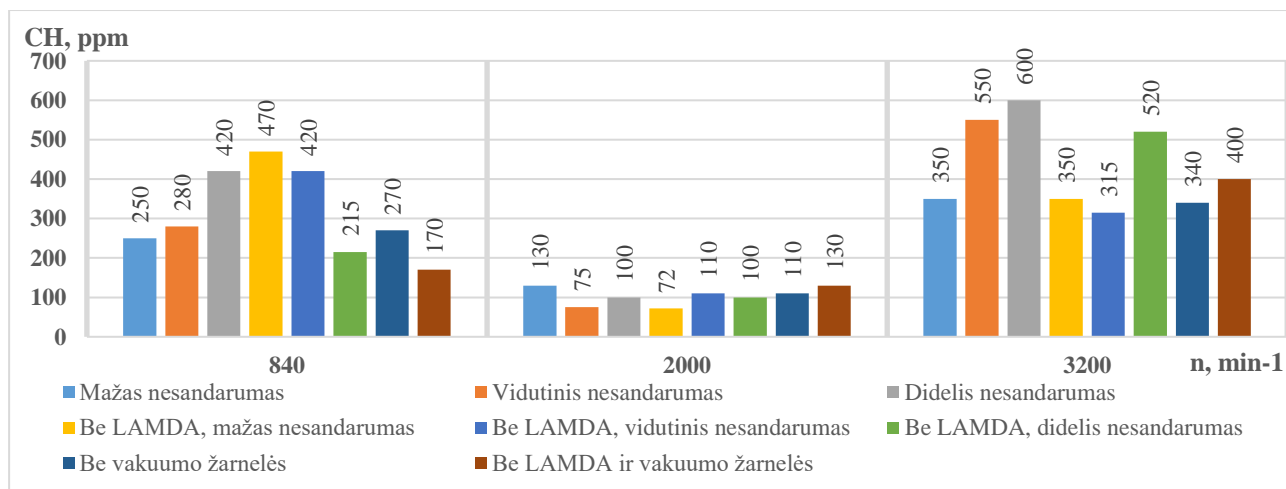
## Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Atliktų tyrimų rezultatų analizė parodė, kad visi tirti įpurškimo sistemos sutrikimai turi įtakos deginių emisijai. Esant laisvos eigos sūkiams, CO emisija, didinant nesandarumą įpurškimo sistemoje, atitinkamai padidėjo  $5\%$  ir  $78,6\%$ . Padidinus ( $2000 \text{ min}^{-1}$ ) sūkius atjungus lambda zondą ir taip pat didinant nesandarumą, emisija sumažėjo  $29,6\%$ , o dar padidinus nesandarumą, padidėjo  $10,5\%$ . Pašalinus vakuumo žarnelę ir didinant sūkius nuo laisvosios eigos iki  $2000 \text{ min}^{-1}$  CO emisija padidėjo beveik 12 kartų ir vėliau, sūkius padidinus iki  $3200 \text{ min}^{-1}$ , sumažėjo  $85,4\%$ .



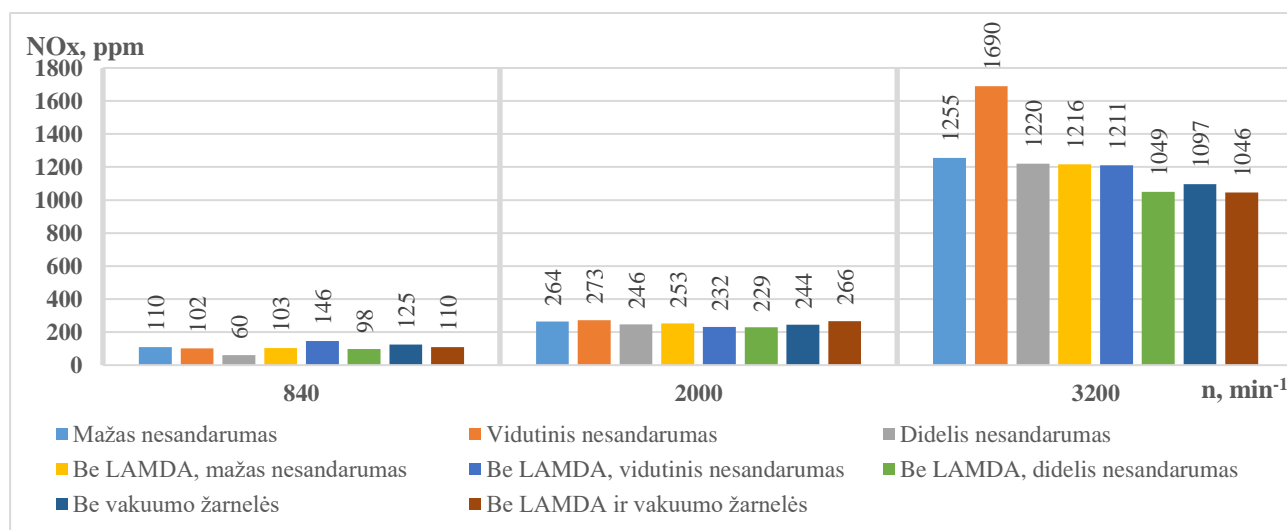
**1 pav.** Įpurškimo sistemos sutrikimų įtaka anglies monoksido (CO) emisijai  
**Fig. 1.** Effect of injection system malfunctions on carbon monoxide (CO) emissions

Esant laisvosios eigos sūkiams, CH emisija, didinant nesandarumą įpurškimo sistemoje iki vidutinio, padidėjo  $12\%$  ir tuomet, padidinus iki didelio nesandarumo, emisija padidėjo dar  $50\%$ . Esant  $2000 \text{ min}^{-1}$  sūkiams atjungus lambda zondą ir didinant nesandarumą iki vidutinio, emisija padidėjo  $72,8\%$  ir vėliau, padidinus iki didelio nesandarumo, sumažėjo  $9\%$ . Atjungus vakuumo žarnelę ir padidinus sūkius nuo laisvųjų iki  $2000 \text{ min}^{-1}$  emisijos sumažėjo  $59\%$  ir vėliau, sūkius padidinus iki  $3200 \text{ min}^{-1}$ , padidėjo daugiau kaip 3 kartus. Su atjungta žarnele ir neveikiančiu lambda zondų didinant sūkius iki  $2000 \text{ min}^{-1}$  emisijos sumažėjo  $23,5\%$  ir tuomet, padidinus iki  $3200 \text{ min}^{-1}$ , padidėjo daugiau kaip 3 kartus.



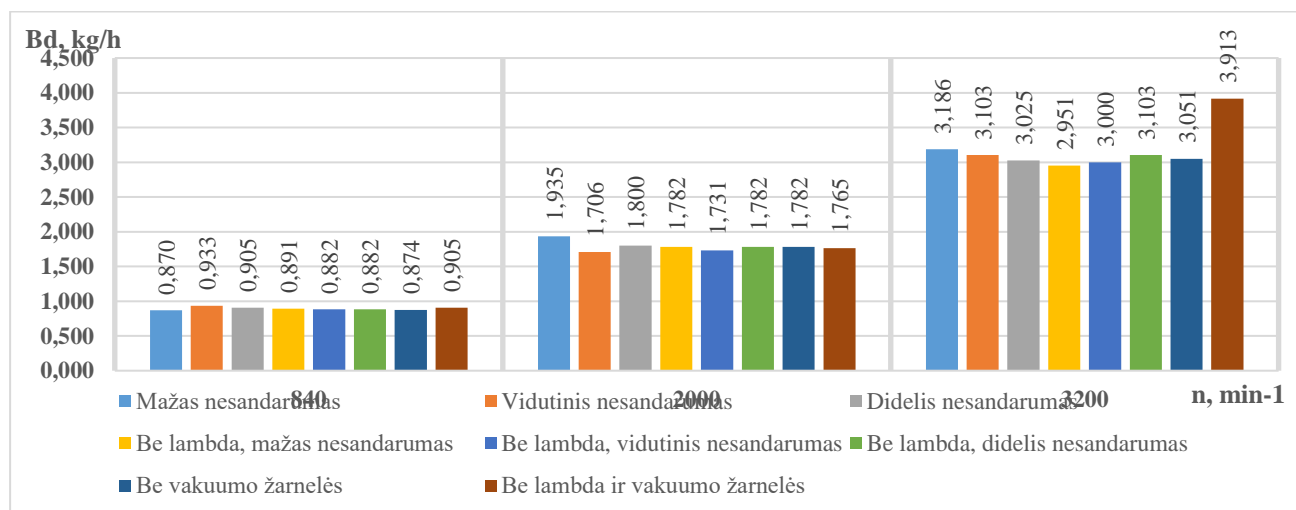
**2 pav.** Įpurškimo sistemos sutrikimų įtaka nesudegusių angliavandenilių (CH) emisijai  
**Fig. 2.** Effect of injection system malfunctions on unburnt hydrocarbon (CH) emissions

NOx emisija laisvosios eigos sūkiuose didinant nesandarumą iki vidutinio sumažėjo 7 %, ir, labiau padidinus nesandarumą, sumažėjo dar 41,2 %. Esant 3200 min<sup>-1</sup> sūkiams, atjungus lambda zondą ir didinant nesandarumą įpurškimo sistemoje iki vidutinio, emisija sumažėjo 0,4 % ir tada, padidinus iki didelio nesandarumo, sumažėjo dar 13,4 %. Pašalinus vakuomo žarnelę ir didėjant sūkiams nuo laisvosios eigos iki 2000 min<sup>-1</sup> emisija didėjo 95,2 % ir vėliau, padidinus iki 3200 min<sup>-1</sup>, padidėjo dar 4,5 karto. Su atjungta žarnele ir neveikiančiu lambda zondų, taip pat didinant sūkius, emisija padidėjo atitinkamai 2,4 ir 3,9 karto.



3 pav. Įpurškimo sistemos sutrikimų įtaka azoto oksidų (NOx) emisijai  
Fig. 3. Effect of injection system malfunctions on nitrogen oxides (NOx) emissions

Valandinės degalų sąnaudos esant laisviesiems sūkiams visais atvejais kito nežymiai. Esant 2000 min<sup>-1</sup> sūkiams didinant nesandarumą sąnaudos iš pradžių sumažėjo 11,8 % ir vėliau dar padidinus nesandarumą padidėjo 5,5 %. Kitos reikšmės pakito nežymiai. Esant 3200 min<sup>-1</sup> sūkiams didinant nesandarumą iki vidutinio ir vėliau iki didelio degalų sąnaudos sumažėjo 2,6 % ir 2,5 %. Tačiau atjungus lambda zondą ir taip pat didinant nesandarumą iki vidutinio ir didelio degalų sąnaudos pradėjo didėti atitinkamai 1,7 % ir 3,4 %. Iš visų tirtų atvejų, daugiausiai įtakos valandinėms degalų sąnaudoms turėjo atjungta vakuomo žarnelė kartu su lambda zondų. Dėl šio sutrikimo degalų sąnaudos padidėjo apie 27,9 %, lyginant su visais kitais didelių apsučių atvejais .



4 pav. Įpurškimo sistemos sutrikimų įtaka valandinėms degalų sąnaudoms  
Fig. 4. Effect of injection system malfunctions on hourly fuel consumption

## Išvados

1. Didžiausią įtaką CO emisijos didėjimui turėjo įpurškimo sistemos vakuomo žarnelės atjungimas. Dėl to CO koncentracija didinant sūkius padidėjo net 12 kartų – nuo 0,46 % iki 5,50 %.
2. Didesni CH emisijos pokyčiai pastebimi, kai yra nesandarumas sistemoje. Pavyzdžiui, esant dideliame sūkių dažniui didinant nesandarumą, emisija padidėjo nuo 350 ppm iki 550 ppm.
3. Imituoti degalų įpurškimo sistemos gedimai mažiausią įtaką turėjo NOx emisijai, kuri visų 3 sūkių atvejais kito nežymiai, išskyrus vidutinį nesandarumą, kurio metu esant dideliems sūkių dažniams NOx kiekis gerokai lenkia kitas

reikšmės. Esant  $3200 \text{ min}^{-1}$  sukiamas ir vidutiniam nesandarumui NOx emisija buvo 1690 ppm, kai kitos reikšmės siekė nuo 1046 iki 1255 ppm.

## Literatūra

1. Dziubiński, M., Siemionek, E., Drozd, A., Żur, P., Ścirka, M., Tatarynow, D. 2019. Analysis of the impact of damage to the injection system on the emission of toxic substances in a spark-ignition internal combustion engine. *Combustion Engines*, Vol. 58(4), p. 112-118.
2. Filipczyk, J. 2008 Badania wpływu stanu technicznego silnika na poziom emisji zanieczyszczeń. *Zeszyty Naukowe. Transport/Politechnika Śląska*, Vol. 64, p. 13–18.
3. Jugaitis, O.; Slavinskas, S. 2021. Benzino ir biobutanolio mišiniais veikiančio variklio darbo rodiklių ir deginių emisijos tyrimas. *Agroinžinerija ir energetika: VDU Žemės ūkio inžinerijos fakulteto mokslo populiarinimo žurnalas*, Nr. 26.
4. Najafi, G., Najafi, G., Ghobadian, B., Tavakoli, T., Buttsworth, D. R., Yusaf, T. F., & Faizollahnejad, M. J. A. E. 2009. Performance and exhaust emissions of a gasoline engine with ethanol blended gasoline fuels using artificial neural network. *Applied Energy*, Vol. 86(5), p. 630–639.

## EFFECTS OF GASOLINE INJECTION SYSTEM FAILURES ON ENGINE FUEL EMISSIONS

### Summary

The article presents results of research on the influence of fuel injection system malfunctions on engine fuel emissions. During the test, such system malfunctions as a malfunctioning Lambda sensor, a leak in the injection system and a removed vacuum hose in the same injection system were simulated. The test was performed at various speeds - 840, 2000 and  $3200 \text{ n/min}^{-1}$  without load. CO, CH and NOx concentrations were measured. The results showed that even such minor damage to the system can negatively affect the combustion process, resulting in an increase in unwanted fuels. Disconnecting the vacuum hose of the injection system had the greatest influence on the increase in emissions. As a result, the concentration of CO increased by 12 times when increasing the speed.

**Keywords:** engine, failure, emissions, injection.