



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS

AUTOMOBILIŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Augustas Ivaško

**DYZELINIŲ VARIKLIŲ EKOLOGINIŲ SISTEMŲ TINKAMO FUNKCIONAVIMO
TYRIMAS**

**INVESTIGATION OF PROPER FUNCTIONING OF ECOLOGICAL SYSTEMS IN
DIESEL ENGINES**

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 6211EX058

Transporto inžinerijos vadybos specializacija

Transporto inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2023

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
AUTOMOBILIŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Augustas Ivaško

**DYZELINIŲ VARIKLIŲ EKOLOGINIŲ SISTEMŲ TINKAMO FUNKCIONAVIMO
TYRIMAS**

**INVESTIGATION OF PROPER FUNCTIONING OF ECOLOGICAL SYSTEMS IN
DIESEL ENGINES**

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 6211EX058

Transporto inžinerijos vadybos specializacija

Transporto inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

_____dr. doc. Saulius Nagurnas_____

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Lietuvių kalbos konsultantė

_____lekt. Angelika Petrėtienė_____

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vilnius, 2023

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
AUTOMOBILIŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Transporto inžinerijos studijų kryptis

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 6211EX058

Transporto inžinerijos vadybos specializacija

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

Saugirdas Pukalskas

(Vardas, pavardė)

2022-02-09

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS

2022-01-18 Nr. 05

Vilnius

Studentui

Augustui Ivaško

(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Dyzelinių variklių ekologinių sistemų tinkamo funkcionavimo tyrimas patvirtinta dekanu is.vgtu.lt.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2023 m. gegužės mėn. 12 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

1. Išanalizuoti mokslinės literatūros šaltinius, kuriuose nagrinėjami dyzelinių variklių deginių neutralizavimo sistemų funkcionavimo ypatumai (atitikimas EURO 6 standartui), galimi deginių neutralizavimo efektyvumo sutrikimai.
2. Sudaryti metodiką, kuria remiantis baigiamajame magistro darbe būtų atliekamos dyzelinių variklių deginių neutralizavimo sistemų tinkamo funkcionavimo patikros.
3. Esant žemoms aplinkos oro temperatūroms, realiomis darbo sąlygomis, atlikti eksperimentinius dyzelinių variklių deginių neutralizavimo sistemų funkcionavimo tyrimus.
4. Remiantis atliktų tyrimų rezultatais išanalizuoti gautus duomenis, pateikti galimus minėtų sistemų trūkumus bei praktinius pasiūlymus kaip didinti jų veikimo efektyvumą.
5. Suformuluoti galutines išvadas.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vadovas

(Parašas)

dr. doc. Saulius Nagurnas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

(Parašas)

Augustas Ivaško

(Vardas, pavardė)

2022-01-18

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Transporto inžinerijos fakultetas
Automobilių inžinerijos katedra

ISBN	ISSN
Egz. sk.	
Data-.....-.....	

Antrosios pakopos studijų Transporto inžinerijos programos magistro baigiamasis darbas	
Pavadinimas	Dyzelinių variklių ekologinių sistemų tinkamo funkcionavimo tyrimas
Autorius	Augustas Ivaško
Vadovas	Saulius Nagurnas

	Kalba: lietuvių
--	------------------------

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjama „Euro 6“ standartą atitinkančių dyzelinių variklių ekologinių sistemų tinkamas funkcionavimas. Dėmesys kreipiamas į jų veikimą esant žemoms oro temperatūroms, kai temperatūra būna žemiau 0 °C. Atlikta literatūros analizė, kurioje apžvelgta, kokie tyrimai yra atlikti šioms „AdBlue“ skystį vartojančioms sistemoms, kokie reikalingi parametrai, kad ši deginių neutralizavimo sistema būtų funkcionuojanti ir veiktų tinkamai. Apžvelgta, kokios yra galimybės mažinti degalų suvartojimą, kaip sutaupyti lėšas, kurios yra išleidžiamos degalams, kokie inžineriniai sprendimai yra priimtini.

Praktiniu tyrimu atliktas kenksmingų deginių matavimas stacionariu bei mobiliu metodais. Akcentuotas NO_x taršos komponentas, atlikti skaičiavimai, kurie nustatė, ar tiriamasis objektas atitiko „Euro 6“ standarto reikalavimus.

Darbą sudaro 3 skyriai: įvadas, mokslinių šaltinių apžvalga, degalų taupymo strategija ir įtaka aplinkai, praktinis tyrimas ir skaičiavimai, išvados.

Darbo apimtis: 50 lapų be priedų, 23 paveikslai, 8 lentelės ir 29 bibliografiniai šaltiniai.

Reikšminiai žodžiai: „Euro 6“ standartas, deginių neutralizavimas, važiavimo ciklai, išmetimo sistemos temperatūra, NO_x koncentracija.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Transport Engineering
Department of Automobile Engineering

ISBN	ISSN
Copies No.	
Date-....-....	

Master Degree Studies Transport Engineering study programme Master Graduation Thesis

Title	Investigation of proper functioning of ecological systems in diesel engines
Author	Augustas Ivaško
Academic supervisor	Saulius Nagurnas

	Thesis language: Lithuanian
--	------------------------------------

Annotation

The final master's thesis examines the proper functioning of ecological systems of diesel engines meeting the "Euro 6" standard. Attention is drawn to their performance in low air temperatures, when the temperature is below 0 °C. A literature analysis was carried out, which reviewed what studies have been carried out for these systems using AdBlue liquid, what parameters are required for this fuel neutralization system to be functional and work properly. The options for reducing fuel consumption, how to save money spent on fuel, and what engineering solutions are acceptable have been reviewed.

The measurement of harmful fuels by stationary and mobile methods was carried out in a practical study. The component of NOx pollution was emphasized, calculations were carried out that determined whether the test object met the requirements of the Euro 6 standard.

The work consists of 3 chapters: introduction, review of scientific sources, fuel saving strategy and environmental impact, practical research and calculations, conclusions.

Volume of work: 50 pages without appendices, 23 figures, 8 tables and 29 bibliographic sources.

Keywords: "Euro 6" standard, fuel neutralization, driving cycles, exhaust manifold temperature, NOx concentration.

Turinys

Paveikslų sąrašas	7
Lentelių sąrašas	9
Santrumpos	10
Įvadas	11
1. Literatūros analizė	12
1.1. Transporto priemonės, atitinkančios „Euro 6“ standartą	12
1.2. Stambių gabaritų variklių deginių neutralizavimo sistemos ir jų trūkumai	17
1.3. Deginių neutralizavimo metodų palyginimas	20
1.4. Literatūros šaltinių analizės apibendrinimas	22
2. Degalų taupymo strategijų apžvalga ir įtaka aplinkai	23
3. Eksperimentinių tyrimų atlikimo metodika	28
3.1. Naudojama įranga	28
3.2. Tyrimo objektas	30
3.3. Stacionaraus tyrimo metodika	30
3.4.1. Stacionaraus eksperimentinio tyrimo eiga	32
3.4. Stacionaraus eksperimentinio tyrimo rezultatai	34
3.5. Stacionaraus eksperimentinio tyrimo apibendrinimas	36
3.6. Eksperimentinio tyrimo važiuojant maršrutu metodika	37
3.6.1. Eksperimentinio tyrimo važiuojant maršrutu eiga	37
3.7. Eksperimentinio tyrimo važiuojant maršrutu rezultatai	38
3.9. NO _x koncentracijų konvertavimas į kiekybinį skaičių	41
Išvados	46
Literatūra	47
PRIEDAI	51

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. RDE testo parengtis sunkiajai technikai (Mendoza-Villafuerte et al., 2017):	14
1.2 pav. NO _x kiekis, priklausomas nuo automobilio greičio ir jo darbinės temperatūros	15
(Mendoza-Villafuerte et al., 2017).....	15
1.3 pav. Tyrimo NO _x emisijų duomenys (Triantafyllopoulos, 2019).....	16
1.4 pav. NO _x teršalų kiekiai išmatuoti „Euro 6“ standartą atitinkančių automobilių. Automobilių modeliai nenurodyti. Nurodyti tik pagaminimo metai (Weber et al., 2019).....	18
1.5 pav. Variklio aušinimo skysčio temperatūra (Zare et al., 2021).....	19
1.6 pav. NO _x koncentracija (ppm) (Zare et al., 2021)	19
2.1 pav. Degalų suvartojimo palyginimas pritaikant dyzelinės sistemos valymą ir nepritaikant valymo	25
(Artur et al., 2019).....	25
2.2 pav. Principinė RTG krano hibridinė degalų taupymo schema (Kusakaka et al., 2021).....	26
3.1 pav. „Cummins“ diagnostikos įranga INSITE (oemdiagnostictools.com).....	28
3.2 pav. „Cummins“ diagnostikos įrangos INSITE darbinis langas (sudaryta autoriaus).....	29
3.3 pav. „AVL DiCom 4000“ deginių analizatorius (sudaryta autoriaus).....	29
3.4 pav. Autobusas „Solaris Urbino 12“ (ebus.lt)	31
3.5 pav. Autobusas, paruoštas eksperimentiniam tyrimui atlikti (sudaryta autoriaus).....	33
3.6 pav. Duomenų fiksavimo pasiruošimas (sudaryta autoriaus)	33
3.7 pav. INSITE įrangos užfiksuoti duomenys (sudaryta autoriaus).....	34
3.8 pav. „AVL DiCom 4000“ azoto oksidų emisijų duomenys (sudaryta autoriaus).....	35
3.9 pav. Deginių analizatoriaus „AVL DiCom 4000“ CO ir CO ₂ emisijų duomenys (sudaryta autoriaus)	36
3.10 pav. NO _x koncentracija, SCR išėjimo temperatūra ir variklio aušinimo temperatūra iš INSITE diagnostikos įrangos (sudaryta autoriaus).....	38
3.11 pav. Maršruto Markučiai–Fabijoniškės reljefo pokytis (sudaryta autoriaus).	39

3.12 pav. Autobuso Nr. 10 greitis (sudaryta autoriaus).....	40
3.13 pav. Variklio apkrovos ir autobuso greičio grafikas (sudaryta autoriaus).....	40
3.14 pav. NO _x prieš SCR filtrą koncentracijos (sudaryta autoriaus)	41

Lentelių sąrašas

1.1 lentelė. „Euro 6“ išmetamųjų teršalų ribos dyzeliniam varikliui (eur-lex.europa.eu, 2018)	13
1.2 lentelė. „Euro 5“ išmetamųjų teršalų ribos dyzeliniam varikliui (eur-lex.europa.eu, 2018).....	13
2.1 lentelė. Kasmetinės eksploatacijos sąnaudos ir išmetamo CO ₂ kiekio sumažinimas (Kusakaka et al., 2021)	27
2.2 lentelė. Baterijos ir keitiklio kaina (Kusakaka et al., 2021).....	27
3.1 lentelė. „AVL DiCom 4000“ deginių analizatoriaus matavimo ribos	30
3.2 lentelė. Autobuso „Solaris Urbino 12“ variklio duomenys (INSITE diagnostikos įranga).....	30
3.3 lentelė. Tyrimo pradžios ir pabaigos duomenys (sudaryta autoriaus)	32
3.4 lentelė. Apskaičiuotų rezultatų suvestinė (sudaryta autoriaus).....	44

Santrumpos

NO_x – azoto oksidai;

NEDC – naujasis Europos važiavimo ciklas (angl. *New European driving cycle*);

WLTP – pasaulinis subalansuotas važiavimo ciklas (angl.

Worldwide harmonised light vehicles test procedure);

RDE – realaus vairavimo emisijos (angl. *Real driving emissions test*);

CO₂ – anglies dioksidas;

HC – angliavandeniliai;

KM – kietųjų dalelių masė (mg/km);

KD – kietųjų dalelių kiekis;

NH₃ – amoniakas;

PEMS – nešiojamas teršalų matavimo prietaisas (angl. *Portable emissions measurement system*);

CADC – Artemis važiavimo ciklas (angl. *Common Artemis driving cycles*);

DYN – dinaminės važiavimo sąlygos (angl. *Dynamic driving conditions*);

N₂ – azotas;

O₂ – deguonis;

CO – anglies monoksidas;

SCR – selektyvinis katalizinis redukavimas (angl. *Selective catalytic reduction*);

EGR – dujų recirkuliacinis vožtuvas (angl. *Exhaust gas recirculation*);

DPF – kietųjų dalelių filtras (angl. *Diesel particulate filter*);

HVO – hidrintas augalinis aliejus (angl. *Hydrotreated vegetable oil*);

LNT – NO_x dalelių spąstai (angl. *Lean NO_x trap*);

ppm – dalelių kiekis milijonui vienetų (angl. *particles per million*).

Ivadas

Auganti populiacija reikalauja daugiau išteklių. Sunkusis transportas yra viena iš transporto priemonių, kuri gali pervežti reikalingas žaliavas, produktus ar patiems žmonėms patekti iš taško A į tašką B. Įprasta, kad sunkiajame transporte sumontuoti didelį darbinį tūrį turintys varikliai. Šiuo metu didelė jų dalis vis dar yra varoma dyzeliniais degalais. Kenksmingiems išmetamiems teršalams mažinti įvesti ribojimai, privertę gamintojus montuoti ekologines sistemas, kurios neutralizuotų kenksmingus deginių variklio išmetamosiose dujose.

„Euro 6“ standartą atitinkantys varikliai įprastai būna komplektuojami su deginių neutralizatoriumi, kietųjų dalelių filtru, „AdBlue“ (karbamido tirpalo) purkštuvu, selektyviniu kataliziniu redukavimu ir amoniako neutralizatoriumi. Karbamido tirpalas ir selektyvinis katalizinis redukavimas kenksmingų azoto oksidų (NO_x) išmetamą kiekį gali sumažinti daugiau nei 90 %. Tačiau šis deginių neutralizavimas pradeda veikti tik tuomet, kai išmetimo sistemoje yra pasiekama didesnė negu 180 °C temperatūra (Ximinis et al., 2021). Esant šaltajam sezonui, kai lauko temperatūra dažnu atveju būna žemiau 0 °C, šios sistemos, užvedus variklį, nemažą laiko tarpą būna neaktyvios dėl mažų išmetamųjų dujų temperatūrų.

Tyrimo aktualumas grindžiamas plėtojant žinias apie didelio darbinio tūrio dyzelinius variklius ir jų darbo ciklą, esant šaltajam metų laikui ir kol šie varikliai vis dar turi paklausą rinkoje būti naudojami kaip pagrindinė varomoji jėga sunkiasvorėms transporto priemonėms.

Darbo objektas – azoto oksidų (NO_x) koncentracijos ir ekologinių sistemų tinkamo funkcionalumo stebėjimas.

Darbo tikslas – išmatuoti, kokios azoto oksidų koncentracijos patenka į atmosferą iš didelį darbinį tūrį turinčio dyzelinio variklio ir kaip tinkamai veikia deginių neutralizavimo sistemos, esant šaltajam sezonui. Atsižvelgiant į gautus eksperimento rezultatus, palyginti, kaip skiriasi ekologinių sistemų darbas šaltuoju ir šiltuoju metų laikotarpiais. Darbo tikslui pasiekti formuluojami uždaviniai:

1. Išanalizuoti mokslinės literatūros šaltinius, kuriuose nagrinėjami dyzelinių variklių deginių neutralizavimo sistemų funkcionavimo ypatumai, galimi deginių neutralizavimo efektyvumo sutrikimai.
2. Sudaryti metodiką, kuria būtų atliekamos dyzelinių variklių deginių neutralizavimo sistemų tinkamo funkcionavimo patikros.
3. Esant žemoms aplinkos oro temperatūroms, realiomis darbo sąlygomis, atlikti eksperimentinius dyzelinių variklių deginių neutralizavimo sistemų funkcionavimo tyrimus.
4. Remiantis atliktų tyrimų rezultatais išanalizuoti gautus duomenis, pateikti galimus minėtų sistemų trūkumus bei praktinius pasiūlymus, kaip didinti jų veikimo efektyvumą.

1. Literatūros analizė

1.1. Transporto priemonės, atitinkančios „Euro 6“ standartą

Automobiliai, kurių masė viršija 3,5 tonos, įprastai yra vadinami sunkiuoju transportu. Europos keliuose šis transportas sudaro 4 % viso automobilio parko (Grigoratos et al., 2019), tačiau suvartoja 27 % parko energijos. Šią tendenciją galima pastebėti ir iš kitų rodiklių. Pavyzdžiui, Jungtinėje Karalystėje sunkusis transportas nuvažiuoja 5 % viso nuvažiuojamo visų transporto priemonių kelio, tačiau suvartoja 21 % visos energijos. Honkonge krovininiai automobiliai sudaro 16 % viso automobilių parko, tačiau išmeta 51 % NO_x transporto išmetamų azoto oksidų (Papadopoulos et al., 2020). Šie automobiliai, varomi dyzeliniais degalais, vis dar yra populiarus pasirinkimas transporto srityje, bet taip pat atsako už išmetamą taršos kiekį. Verta paminėti, kad ir daugelis lengvųjų automobilių vis dėlto neparodydavo savo tikrųjų išmetamųjų teršalų kiekio, atliekant naująją Europos važiavimo ciklą (NEDC), todėl Europos Sąjunga implementavo naują, pasaulinį subalansuotą testo ciklą (WLTP) bei realaus vairavimo emisijų testą (RDE). Šis ciklas turėtų aiškiau parodyti, koks važiavimo ciklas iš tikro egzistuoja už laboratorijos ribų (Söderena et al., 2020).

WLTP testas praktikoje parodė, kad atliekant šį testą yra gaunamos tikslesnės CO_2 vertės, kurios yra labiau koreliuojančios su tomis išmatuotomis važiuojant realiomis sąlygomis. O RDE emisijų testas yra skirtas parodyti tikrąjį išmetamų NO_x emisijų kiekį matuojant ne laboratorijos sąlygomis, o važiuojant keliu ir taip atspindint realaus vairavimo faktorius (Triantafyllopoulos et al., 2019).

Testuojant šiais ciklais įvairius degalus, tokius kaip HVO, biodyzelinas ir glicerolio kilmės biodegalai, padaryta išvada, kad juos galima naudoti dyzeliniuose varikliuose be jokių papildomų modifikacijų. Šie degalai parodė beveik tokius pat variklio darbo parametrus, kaip ir naudojant dyzelinius degalus. Kenksmingos emisijos taip pat neutralizuojamos tinkamai. Varikliui nereikalinga kalibracija ar programos perrašymas. Verta paminėti, kad daugelis testų, susijusių su teršalų matavimu, yra atliekami – 7 °C ir + 23 °C temperatūrose. Dėl prasto deginių neutralizatorių efektyvumo esant žemoms temperatūroms, šaltuoju metų laiku, kenksmingos emisijos įprastai būna padidėjusios. Tad biodyzelinas, naudojamas vasarą (B100), parodo geresnius emisijų rezultatus, nei biodyzelinas, naudojamas žiemą (B20), kurio teršalų kiekiai yra didesni. Teršalai didėja, nes ilgėja variklio sušilimo laikas (Hernández et al., 2020).

„Euro 6“ standarto reikalavimai pateikti 1.1 lentelėje.

1.1 lentelė. „Euro 6“ išmetamųjų teršalų ribos dyzeliniam varikliui (eur-lex.europa.eu, 2018)

Kategorija	Klasė	Etaloninė masė (kg)	Ribinės vertės				
			Anglies monoksido masė (CO)	Azoto oksidų masė (NO _x)	Bendra angliavandenilių ir azoto oksidų masė (THC + NO _x)	Kietųjų dalelių masė (KM)	Kietųjų dalelių kiekis (KD)
			(mg/km)	(mg/km)	(mg/km)	(mg/km)	(#/km)
M	-	Visos	500	80	170	4,5	6 x 10 ¹¹
N ₁	I	EM ≤ 1305	500	80	170	4,5	6 x 10 ¹¹
	II	1305 < EM ≤ 1760	630	105	195	4,5	6 x 10 ¹¹
	III	1760 < EM	740	125	215	4,5	6 x 10 ¹¹
N ₂	-	Visos	740	125	215	4,5	6 x 10 ¹¹

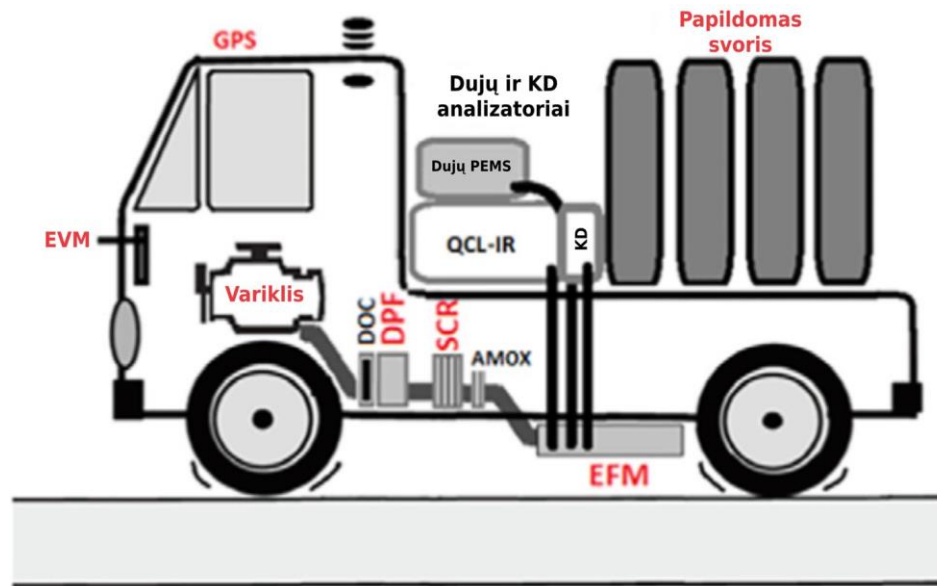
„Euro 6“ standartas nurodė griežtesnes ribas išmetamiems automobilių vidaus degimo variklių teršalams. Sugriežtėjo reikalavimai angliavandeniliams (HC), kietųjų dalelių masei (KM), kietųjų dalelių kiekiui (KD), azoto oksidams (NO_x). Taip pat atsirado ribinis reikalavimas amoniakui (NH₃) (Grigoratos et al., 2019).

Palyginimui galima pateikti „Euro 5“ standarto nuostatus ir palyginti, kaip pasikeitė teršalų ribos sugriežtinus reikalavimus ir kokių teršalų mažinimo priemonių ėmėsi variklių gamintojai. „Euro 5“ standarto ribos pateiktos 1.2 lentelėje.

1.2 lentelė. „Euro 5“ išmetamųjų teršalų ribos dyzeliniam varikliui (eur-lex.europa.eu, 2018)

Kategorija	Klasė	Etaloninė masė (kg)	Ribinės vertės				
			Anglies monoksido masė (CO)	Azoto oksidų masė (NO _x)	Bendra angliavandenilių ir azoto oksidų masė (THC + NO _x)	Kietųjų dalelių masė (KM)	Kietųjų dalelių kiekis (KD)
			(mg/km)	(mg/km)	(mg/km)	(mg/km)	(#/km)
M	-	Visos	500	180	230	5	6 x 10 ¹¹
N ₁	I	EM ≤ 1305	500	180	230	5	6 x 10 ¹¹
	II	1305 < EM ≤ 1760	630	235	295	5	6 x 10 ¹¹
	III	1760 < EM	740	280	350	5	6 x 10 ¹¹
N ₂	-	Visos	740	280	350	5	6 x 10 ¹¹

Galima pastebėti, kad NO_x teršalų kiekis, išmetamas iš automobilio vamzdžio, buvo sugriežtintas daugiau negu dviem kartais „Euro 6“ standarte. Nuo 2003 iki 2012 metų Europos Sąjungoje NO_x kiekis sumažėjo 33 %, o kietųjų dalelių kiekis – 16 %. Tačiau šie teršalai vis dar išlieka pagrindiniai kenkėjai. Su „Euro 6“ standartu atkeliavo ir nešiojamo teršalų matavimo prietaiso (PEMS) testas. Šis testas yra skirtas tikrosioms važiavimo sąlygoms nustatyti. Sunkiajai technikai matuoti pateikiama schema 1.1 pav.



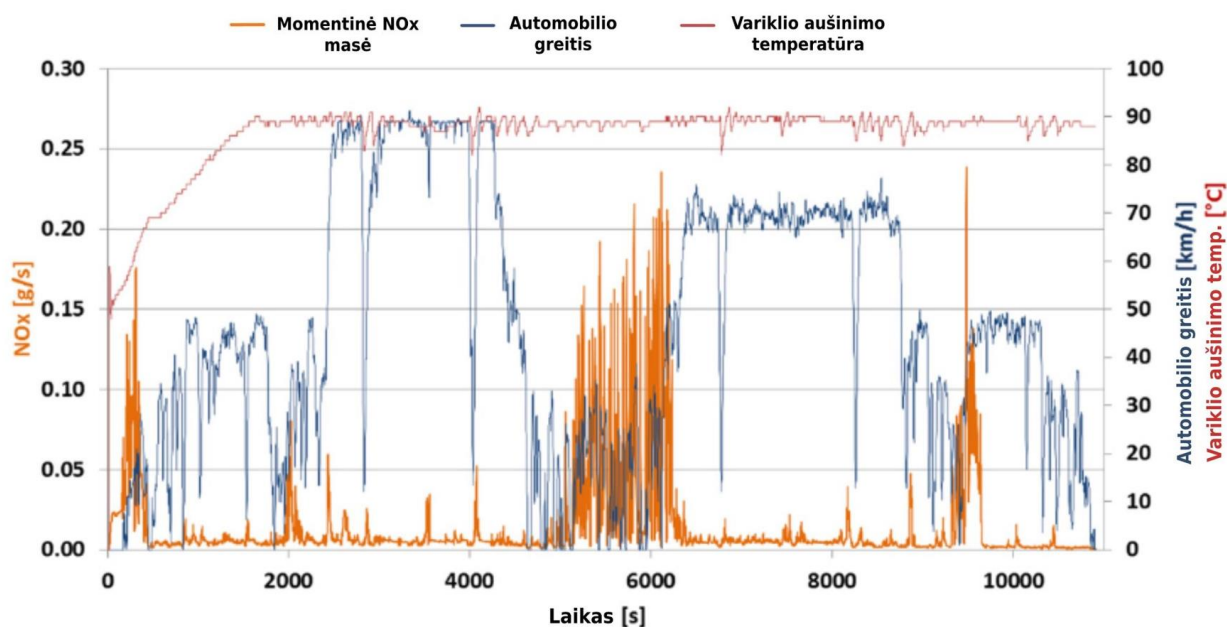
1.1 pav. RDE testo parengtis sunkiajai technikai (Mendoza-Villafuerte et al., 2017):

EVM – elektroninis valdymo modulis, GPS – globali padėties nustatymo sistema, QCL-IR – teršalų matavimo blokas, DOC – katalizinis neutralizatorius, DPF – kietųjų dalelių filtras, SCR – selektyvinis katalizinis redukavimas, AMOX – amoniako neutralizatorius, EFM – automobilio deginių fiksavimo įranga, KD – kietųjų dalelių fiksavimo įranga

PEMS testas yra atliekamas ne laboratorijoje, o važiuojant kelyje, taip pat atsižvelgiama ir į natūralaus vairavimo faktorius, kelio tipą, vairuotojo važiavimo charakterį, orų skirtumus bei varikliui skiriamą apkrovą. Šio testo ir matavimo atlikimas leidžia lyginti, ar automobilio variklis iš tiesų atitiks gamintojo deklaruojamus išmetamų teršalų kiekius. 1.2 paveiksle galima pastebėti, kaip mažesnis vidutinis greitis sukelia didesnius azoto oksidų kiekius (Mendoza-Villafuerte et al., 2017).

Singh et al. (2022) atliktas tyrimas Indijoje parodė, kokios kenksmingų medžiagų koncentracijos kaupiasi miesto gatvėse. Matuotos buvo tiek lengvosios mašinos, tiek sunkusis transportas. Didesnės vertės buvo užfiksuotos tiek CO koncentracijose, tiek NO_x vertėse, išmetamose lengvųjų automobilių. Sunkusis transportas kritiškai didelius kiekius viršijo kalbant apie CO ir HC emisijas, šios emisijos nėra sukontroliuojamos.

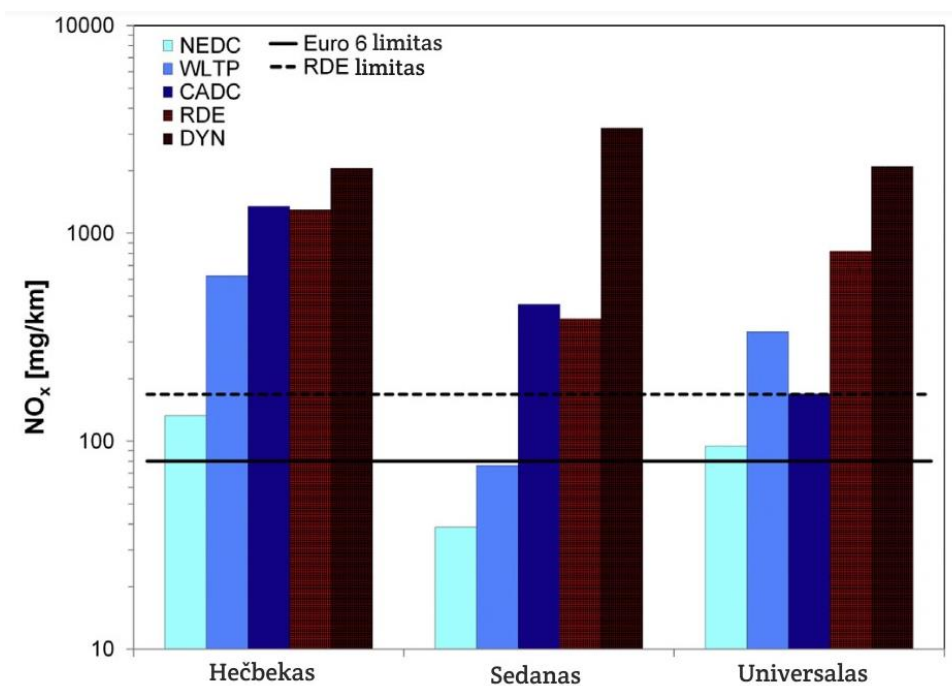
Sunkiajam transportui, nors ir užimant mažą dalį eismė, tenka nemažas procentas visų išmetamųjų teršalų kiekio, tačiau tikslaus matavimo važiuojant realiomis sąlygomis yra pasigendama. Didelio tūrio dyzelinių variklių teršalai yra matuojami laboratorinėmis sąlygomis ant stendo. Šie matavimai ne visada gali atspindėti realų vairavimą miesto ar užmiesčio sąlygomis (Giechaskiel et al., 2018).



1.2 pav. NO_x kiekis, priklausomas nuo automobilio greičio ir jo darbinės temperatūros
(Mendoza-Villafuerte et al., 2017)

Triantafyllopoulos (et al., 2019) atliktas tyrimas parodo tikrąsias testų savybes siekiant atspindėti tikrąjį važiavimą realiomis sąlygomis. Tyrimui buvo pasirinkti trys lengvieji automobiliai – hečbekas, sedanas ir universalas, atitinkantys „Euro 6“ standartą. Tai reiškia, kad šie automobiliai negali viršyti 80 mg/km NO_x emisijų ribos. Tyrime buvo atliekami seniau naudojami naujasis Europos važiavimo ciklas (NEDC), WLTP ciklas, Artemis važiavimo ciklas (CADC), kuris sudarytas parodyti platesnes galimybes važiavimo cikluose, taip pat – RDE ciklas. Taip pat buvo įtrauktas ir DYN testas, reiškiantis dinamiškesnes važiavimo sąlygas (važiavimas atliktas kalnuotoje vietovėje, kur kelio aukščio skirtumai buvo pasiekiami iki 500 metrų). Buvo siekta, kad visų trijų automobilių užvedimo sąlygos, techninės sąlygos buvo kuo panašesnės. Išmetamosios dujos buvo matuojamos su PEMS sistema. RDE maršrutą sudarė 77 kilometrai vienodai išdalinto kelio, susidedančio iš miesto dalies, regioninio kelio bei greitkelio. DYN maršrutą sudarė 55 kilometrai miesto, regioninio ir greitkelio kelio, tik aukščio skirtumai buvo didesni. Gauti rezultatai pateikiami 1.3 paveiksle.

Atlikto tyrimo gauti duomenys rodo, kad laboratorinių tyrimų rodikliai ir realios važiavimo sąlygos gerokai skiriasi. Pabrėžtina, kad realaus vairavimo sąlygos gali parodyti tikslesnius išmetamųjų teršalų kiekius. Yra matomas skirtumas tarp laboratorinių tyrimų NEDC ir WLTP. Pastebimas progresas, kadangi naujesnis WLTP ciklas parodo vidutiniškai 5 kartus didesnius teršalų kiekius. Taip pat ganėtinai tikslus yra ir CADC ciklas, atliktas hečbekui ir sedanui, šis ciklas taip pat atliekamas laboratorijoje.



1.3 pav. Tyrimo NO_x emisijų duomenys (Triantafyllopoulos, 2019)

Gavus tokius rezultatus galima teigti, kad CADC modelis gali būti taikomas kaip pagrindinis metodas laboratoriskai nustatant išmetamųjų teršalų kiekius. Tačiau, žiūrint į RDE rezultatus, matomas skirtumas, kad realaus vairavimo metodas parodo vidutiniškai 30 kartų didesnius NO_x išmetamus kiekius negu „Euro 6“ riba. DYN dinaminis metodas taip pat parodo dar didesnę skirtumą nuo RDE (nuo 2 iki 8 kartų). RDE limitas nurodo atitikties faktorių. Į šį faktorių įtraukiami visi galimi nesutapimai atliekant RDE (Triantafyllopoulos et al., 2019).

Šio tyrimo gauti duomenys rodo, kad automobiliai, tariamai atitinkantys „Euro 6“ standartą, ne visomis duotomis sąlygomis gali jį atitikti. 80 mg/km riba dažnu atveju yra viršijama keliasdešimt kartų, jeigu yra žvelgiama į realųjį vairavimą. Galima pastebėti, kad „Euro 6“ standartas buvo orientuotas į tai, kad automobiliai galėtų praeiti NEDC važiavimo ciklą, nors jis ir neparodo tikslių duomenų. CADC galėtų būti plėtojamas atliekant laboratorinius teršalų matavimus ateityje, tačiau kenksmingų teršalų emisijos turėtų būti matuojamos atliekant RDE ciklus, įtraukiant ir dinامينius važiavimus. Taip būtų galima nustatyti tikslesnes ribas ir matyti, kiek teršalų yra išmetama iš automobilio vamzdžio realiomis sąlygomis. Nors šie testai atlikti lengviesiems automobiliams, tyrimų su sunkiąja technika pasigendama.

1.2. Stambių gabaritų variklių deginių neutralizavimo sistemos ir jų trūkumai

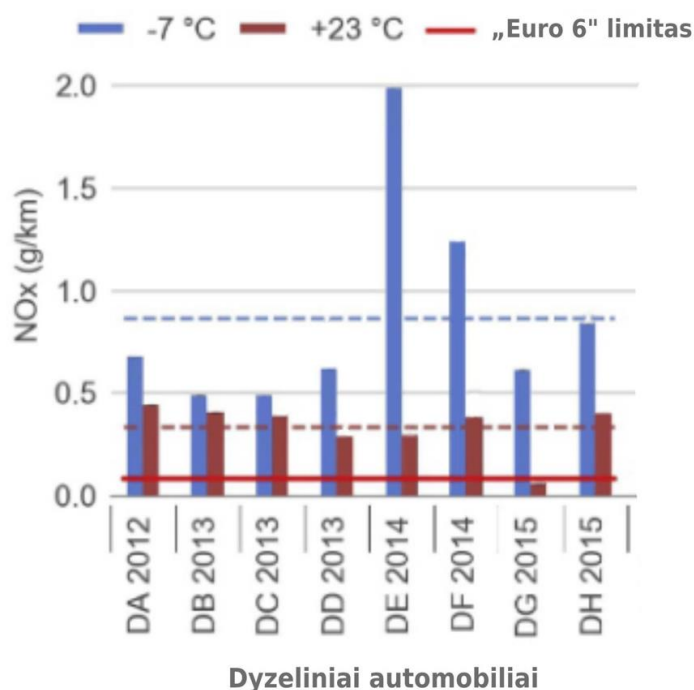
Kol lengvųjų automobilių rinkoje elektriniai automobiliai pradeda keisti vidaus degimo varikliais varomus automobilius, sunkioji technika vis dar varoma dyzeliniais varikliais. Kad šie varikliai neatsiliktų nuo dabartinių keliamų standartų, į jų valdymą įtraukiamos sudėtingesnės valdymo blokų kalibracijos, atsakingos už nustatytų emisijų standartų laikymąsi. Dėl įtraukiamų vis sudėtingesnių sistemų ir detalių šiuos visus įrenginius įvesti į vieną sistemą ir viską stebėti darosi vis sudėtingiau (van Dooren et al., 2022).

Dyzeliniai varikliai plačiai naudojami stambiagabaritėje technikoje dėl didelio savo efektyvumo, tačiau jie generuoja ypač didelius NO_x bei KD kiekius. Iš pradžių kietųjų dalelių mažinimui buvo pradėtas montuoti kietųjų dalelių filtras (DPF). Šis filtras sukaupia sugeneruotus suodžius ir neleidžia patekti jiems į atmosferą (Lähde et al., 2022). Populiariausias šiandien naudojamas deginių neutralizavimui – karbamido tirpalas, kitaip dar vadinamas „AdBlue“. Kartu su selektyviniu deginių reduktoriumi karbamido skystis azoto oksidus (NO_x) paverčia į azotą (N_2) ir deguonį (O_2) (Wang et al., 2017). Ši sistema pasiekia efektyvumą tada, kai yra palaikomas pastovus greitis – tuomet, kai transporto priemonė važiuoja greitkelyje. Transporto priemonei važiuojant mieste deginiai faktiškai nėra neutralizuojami iki „Euro 6“ standarto reikalavimų. Esant dažnoms akceleracijoms sudeginama daugiau degalų ir vidutinis greitis išlieka nedidelis. Dėl didesnio degalų suvartojimo ir nepastovaus variklio apkrovos didėja NO_x emisijos (Luján et al., 2018).

Dar vienas iš deginių mažinimo būdų yra bandymas maišyti dyzelinius degalus su „AdBlue“ skysčiu ir papildomais mišiniais. Tačiau (Demir et al., 2021) atlikti tyrimai parodė kiek kitokius rezultatus, negu buvo tikėtasi. Svarbu paminėti, kad tyrimas buvo vykdomas su nedideliu vieno cilindro keturtakčiu varikliu, turinčiu 7 kW galios ir 21 Nm sukimo momento. Atlikus tyrimus taikant skirtingas variklio apkrovas buvo pastebėta, kad į degalus įmaišius „AdBlue“ skysčio ir citrinos rūgšties, degimas tapo vėlesnis ir pastebėtas prastesnis degalų išdegimas. Esant 3,5 kW apkrovai CO_2 kiekis padidėjo dvigubai, nors CO kiekis sumažėjo 233 %. Atliekant tyrimą buvo tikėtasi, kad NO_x emisijos sumažės, tačiau buvo gautas priešingas nei tikėtasi rezultatas ir, esant tam tikroms apkrovoms, rodikliai padidėjo.

Kalbant apie deginių neutralizavimą jau po degimo proceso galima teigti, kad viena iš priežasčių, kodėl emisijos yra didesnės, negu reikalaujama – važiavimo ciklai, kurie neparodo realių vairavimo sąlygų, taip pat – važiavimas mieste, kuriame teršalai pasiekia didesnes vertes dėl dažno akceleravimo. Yra ir daugiau svarbių faktorių, kurie didina šias emisijas važiuojant tiek mieste, tiek užmiestyje. Tai yra šaltas oras arba šaltasis metų laikas, kai varikliai dirba esant riebesniam degalų ir oro mišiniui (Weber

et al., 2019). Grafikas, atspindintis temperatūros ir teršalų kiekio priklausomybę, pateiktas žemiau, 1.4 pav.

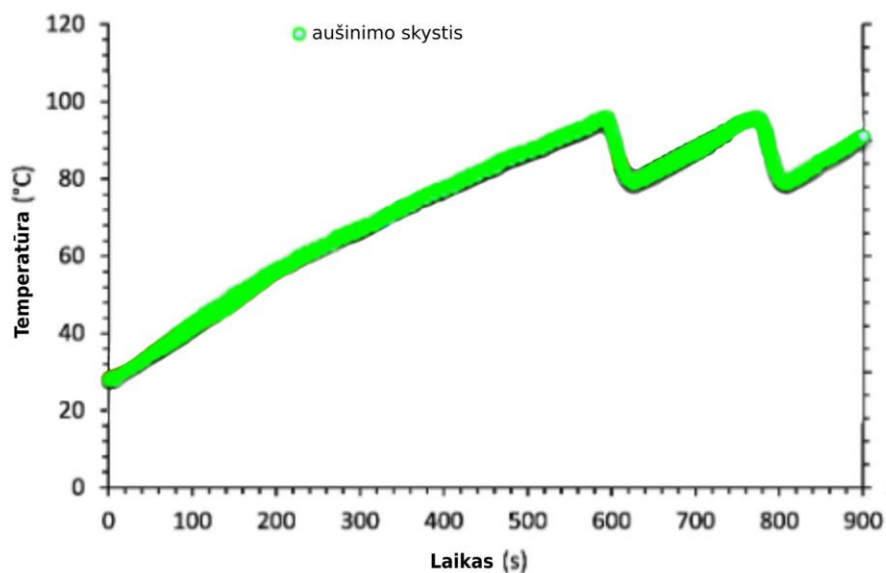


1.4 pav. NO_x teršalų kiekiai išmatuoti „Euro 6“ standartą atitinkančių automobilių. Automobilių modeliai nenurodyti. Nurodyti tik pagaminimo metai (Weber et al., 2019)

Lyginant visų metų periodą didžiausios teršalų vertės, ypač miestuose, būna pasiekiamos šaltuoju metų laiku, kai dažnai temperatūra nukrenta žemiau 0 ° C. Europoje NO_x padidėja iki 40 %, CO iki 26 % (Suarez-Bertoa & Astorga, 2018). (Suarez-Bertoa & Astorga, 2018) atliktame tyrime testams buvo pasitelkti lengvieji automobiliai su dyzeliniais varikliais. Galima pastebėti, kad, nors ir tyrimas buvo atliekamas laboratorijoje naudojant netikslų WLTP ciklą, esant -7 ° C temperatūrai, NO_x emisijos buvo 3,5 karto didesnės, lyginant su +23 ° C temperatūra. Esant žemoms temperatūroms, SCR funkcionalumas krenta arba jo efektyvumas esant žemai temperatūrai yra mažas.

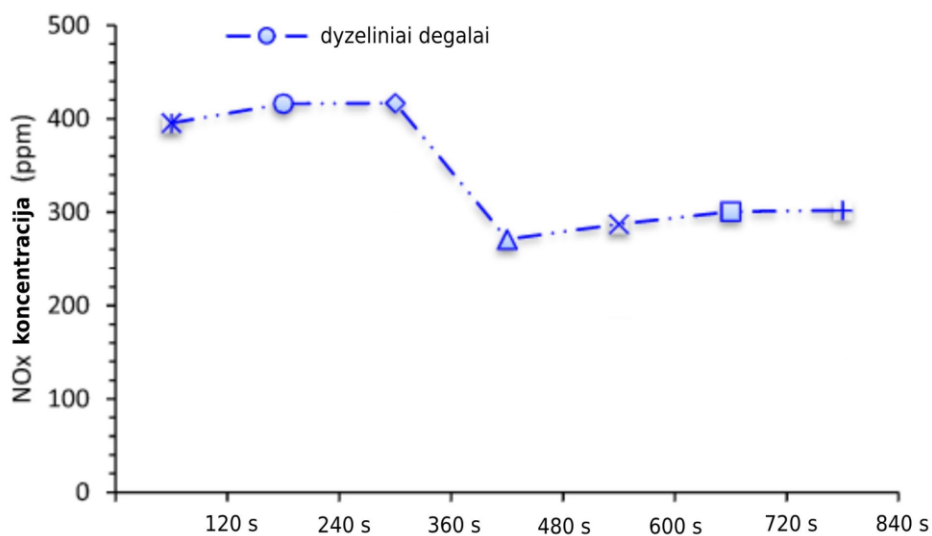
Aptariant variklio darbo ypatumus pastebimos tam tikros tendencijos. Nesant ekologinėms sistemoms svarbu suprasti, kaip variklis apšilimo metu pats generuoja NO_x kiekius, koku metu jų išmetama daugiausiai, koku – mažiausiai. Kol variklis būna šaltas ir vyksta greitesnis jo sušilimas, degimo kameroje yra paankstinamas degimas ir įpurškiamas didesnis degalų kiekis. Tokiu būdu variklis greičiau sušyla, tačiau dėl didelio slėgio degimo kameroje ir aukštos amplitudinės temperatūros didėja NO_x kiekiai. Variklio aušinimo skysčio temperatūrai šylant iki +65 ° C, NO_x kiekiai buvo didesni 31-60

%, lyginant su karšto variklio darbu. Varikliui sušilus NO_x kiekiai krito, nes degimas tapo vėlyvesnis (Zare et al., 2021). Išsamūs grafikai pavaizduoti 1.5 ir 1.6 paveiksluose.



1.5 pav. Variklio aušinimo skysties temperatūra (Zare et al., 2021)

Pateikiamas aušinimo temperatūros grafikas, skirtas įvertinti temperatūrų ir išmetamųjų teršalų koreliacijas.



1.6 pav. NO_x koncentracija (ppm) (Zare et al., 2021)

Pastebimas NO_x išmetamųjų dalelių kiekio sumažėjimas variklio aušinimo skysčio temperatūrai pasiekus $+65^\circ\text{C}$.

Stebint sunkiasvorių automobilių padėtį kalbant apie teršalų reguliavimą matomos panašios problemos kaip ir lengvuosiuose automobiliuose (Grigoratos et al., 2019). Analizuojant tyrimo duomenis galima pastebėti koreliaciją tarp sunkiasvorių ir lengvųjų automobilių. Atliekant testą buvo naudojamos 5 sunkiasvorės mašinos, kurių variklių galingumas buvo $> 250\text{ kW}$, kubatūra svyravo nuo 7,5 l iki 13 l. Šios mašinos atitiko „Euro 6“ standartą, tačiau turėjo skirtingas paskirtis. Tai buvo tolimųjų reisų vilkikai, vietinės reikšmės vilkikai ir autobusas, kiekvieno iš jų važiavimo ciklai yra skirtingi. Pagal nagrinėtas tendencijas pastebima, kad esant temperatūrai, žemesnei nei $+7^\circ\text{C}$, NO_x teršalų išmetamas kiekis yra didesnis, kadangi tiek variklis, tiek duslintuvas pakankamai neiššyla ir nepasiekia efektyvaus funkcionavimo lygio. Norint pasiekti efektyvų funkcionavimą, darbinė SCR temperatūra turi siekti bent 180°C . Taip pat autobuso emisijos buvo sąlyginai didesnės negu vilkikų, nes autobuso išmetamoji sistema sunkiai pasiekdavo darbinę temperatūrą dėl žemo vidutinio greičio ir nedidelės apkrovos važiuojant mieste.

Teršalų kiekis išmetamojoje sistemoje gali kilti ir dėl įvairių gedimų. Įsiurbimo sistemoje EGR vožtuvas gali užstrigti ir sudegusios dujos nebegrąžinamos esant naujam degimui, kiaurymės tarpiniame oro aušintuve ar jungiamuosiuose vamzdžiuose suteiks nesandarumo ir oro trūkumą, bus prastesnis mišinys, kuris degs prasčiau, o duslintuve bus daugiau teršalų, degalų sąnaudos didės iki 31 %. Duslintuvo ekologinių sistemų gedimai, tokie kaip neišpurškiamas „AdBlue“ skystis, užsikisęs DPF filtras, neveikiantis DPF slėgio jutiklis, neveikiantis NO_x jutiklis gali padidinti degalų suvartojimą iki 30 %. Degalų įpurškimo sistemos gedimai dažniausiai degalų suvartojimą padidindavo iki 24 % ir atitinkamai padidėdavo CO_2 emisijos (Huang et al., 2019).

1.3. Deginių neutralizavimo metodų palyginimas

Svarbu žinoti, kurie metodai geriausiai neutralizuoja išmetamąsias dujas, kadangi tam tikrų metodų kombinaciją gali turėti įtakos taršos kiekiui (Gao et al., 2021). Išanalizuotas NO_x emisijos pasiskirstymas pagal papildomo apdorojimo sistemos tipą šalto ir karšto užvedimo sąlygomis, klasifikuojant vietinius ir importinius automobilius. Be to, buvo analizuojamas ryšys tarp elektroninio valdymo bloko / dozavimo valdymo bloko signalų ir išmetamųjų dujų emisijos NEDC ir WLTP važiavimo režimo sąlygomis. Šiam tyrimui buvo atrinkti trys transporto priemonių modeliai su skirtingomis papildomo apdorojimo sistemomis. Ir buvo gauti tie variklio valdymo kompiuterio ir „AdBlue“ dozavimo valdymo kompiuterio signalai, kurie, kaip tikimasi, bus susiję su emisijomis.

Siekiant patenkinti „Euro 6“, LNT + SCR papildomo apdorojimo sistemą buvo pritaikyta daugiau nei 76% transporto priemonių modelių. Tarp variklio valdymo blokų signalų buvo tiesioginis ryšys tarp akceleratoriaus pedalo ir EGR vožtuvo atidarymo laipsnio, taip pat buvo nuokrypis, priklausantis nuo važiavimo režimo. Tarp „AdBlue“ dozavimo valdymo blokų signalų katalizatoriaus temperatūra, karbamido ir vandens įpurškimo kiekis ir įpurškimo laikas yra valdomi pagal jutiklio išmatuotą NO_x emisiją.

Vietinių ir importuojamų transporto priemonių sertifikavimo NO_x emisijų rezultatai neparodė reikšmingų skirtumų tarp skirtingų NO_x papildomo apdorojimo sistemų, priešingai nei ankstesniuose tyrimuose, kuriuose buvo pasiūlyta DPF < SCR < LNT + SCR. Tokia tendencija nėra akivaizdi, nes skiriasi kiekvieno gamintojo valdymo strategijos (pvz., karbamido ir vandens įpurškimo kiekis, įpurškimo laikas ir įjungimo temperatūra), transporto priemonės ir variklio specifikacijos, katalizatoriaus medžiagos ir pan. Be to, atliekant RDE testą, buvo užfiksuoti nelygumai dėl kelių situacijų, kurios galėjo turėti įtakos vidutiniam transporto priemonės greičiui bandymo dieną. Kad ateityje būtų galima atlikti tikslią analizę, tikimasi, kad išmetamųjų teršalų charakteristikos, susijusios su papildomo apdorojimo įtaisais, bus patvirtintos, jei bus atrinktos ir palygintos transporto priemonės, kurių charakteristikos yra panašios (pvz., katalizatoriaus medžiagos ir išmetamųjų teršalų kontrolės strategija) su skirtingais papildomo apdorojimo įtaisais. Panašios išorinės sąlygos (pvz., transporto priemonės greičio pasiskirstymo santykis).

Išanalizavus bendrus teršalus ir pagrindinių kintamųjų signalus, buvo patikrinta, kad aušinimo skysčio temperatūra, įsiurbiamo oro temperatūra ir degalų temperatūros veiksniai turėjo minimalų poveikį emisijoms. Priešingai, degalų įpurškimo kiekis ir lambda jutiklio signalas turėjo tam tikrą poveikį pagreičio metu. Be to, LNT įrengtos transporto priemonės padidina degalų įpurškimą ir sumažina lambda, kad jų regeneracija būtų intensyvesnė. LNT regeneracijos ciklas keičiasi, kai NO_x emisija kinta priklausomai nuo bandymo režimo.

„AdBlue“ valdymo strategija (įskaitant katalizatoriaus temperatūrą ir įpurškimo laiką) akivaizdžiai priklauso nuo SCR katalizatoriaus komponento. Karbamido ir vandens įpurškimo kiekis turi būti kontroliuojamas atsižvelgiant į NO_x išmetimą, išmatuotą NO_x jutikliu (Kim et al., 2022). Svarbu paminėti, kad tinkamai funkcionuoti ši sistema, reikalinga ir tinkama „AdBlue“ temperatūra, todėl šaltuoju metu norint, kad neužšaltų skystis, bakuose yra sumontuoti šildytuvai, kad „AdBlue“ nepasidarytų tirštas arba visiškai užšaltų.

1.4. Literatūros šaltinių analizės apibendrinimas

Apibendrinant mokslinėje literatūroje pateiktą informaciją galima teigti, kad yra pasitelkiami įvairūs metodai, kuomet siekiama ištirti lengvųjų automobilių taršą. Tyrimai atliekami tiek šaltuoju metų laiku, tiek šiltuoju. Galima matyti rezultatus, atliktus laboratorijose ir realiomis sąlygomis. Įtraukiami ir dinaminiai važiavimai, atspindintys aštraus stabdymo ir akceleravimo važiavimo būdais. Tačiau tyrimų su didelio tūrio stambiagabaričiais varikliais yra pasigendama, ypač atliekant tyrimus esant žemoms temperatūroms. Straipsniuose nėra orientuojamasi į azoto oksidų emisijas esant šalto variklio paleidimui.

Atlikus straipsnių apie degalų taupymą ir sąsają su aplinkosauga analizę matyti, kad šis ryšys yra aktualus ir pateikiama informacija siūlo įvairius sprendimus, kaip galima būtų sutaupyti degalų suvartojimą bei sumažinti išlaidas įmonėms arba vartotojams. Praktiniai tyrimų rezultatai rodo, kad sukurtos strategijos, paremtos inžineriniais sprendimais, įmonėms gali sutaupyti išlaidų, kada kalbama apie ilgalaikę perspektyvą. Žiūrint iš taršos pusės, išmetamų teršalų kiekiai mažėtų iš karto, panaudojus vieną ar kitą energijos taupymo sprendimą.

Šio tyrimo tikslas – išsiaiškinti, kokį kiekį azoto oksidų išmeta didelio tūrio variklis esant žiemos sąlygoms ir neigiamai temperatūrai. Nustatyti laiką, nuo kada tinkamai pradės funkcionuoti deginių neutralizavimo SCR ir „AdBlue“ sistemos.

2. Degalų taupymo strategijų apžvalga ir įtaka aplinkai

Per pastaruosius kelis dešimtmečius visuotinis atšilimas, vidutinės žemės temperatūros kilimas ir klimato kaita kartu su grėsme energetiniam saugumui neabejotinai vyravo tarp svarbiausių pasaulio problemų (Mwangi et al., 2015). Kelių eismo emisijos faktoriai yra svarbūs parametrai valdant oro kokybę (Madrazo & Clappier, 2018). Analizuojant degalų degimo proceso metu išsiskiriančias kenksmingas medžiagas reikia atsižvelgti ir į degalų kiekio suvartojimą. Tinkamai neveikiant degalų neutralizavimo sistemoms degalų suvartojimas gali padidėti. Šis faktorius lemia didesnes išlaidas įmonėms, kurios eksploatuoja didelius kiekius transporto priemonių. Tai pat, neveikiant degalų neutralizavimo sistemoms ir esant dideliu transporto priemonių degalų sunaudojimui, papildomai į aplinką yra išmetama daugiau kenksmingų deginių bei efektyviai nesudegusių degalų. Kenksmingi deginiai taip pat kenkia žmonių, gyvūnijų sveikatai bei visai gamtai ir augmenijai. Tinkamai prižiūrint transporto priemonių parką ir remontus bei patikras atliekant laiku galima išvengti žalingų finansinių ir gamtinių faktorių. Papildomai įmonėms įdiegiant metodikas, kaip galima sumažinti degalų suvartojimą, yra galimybė papildomai sutaupyti tiek išlaidų, tiek kenksmingų teršalų aplinkai.

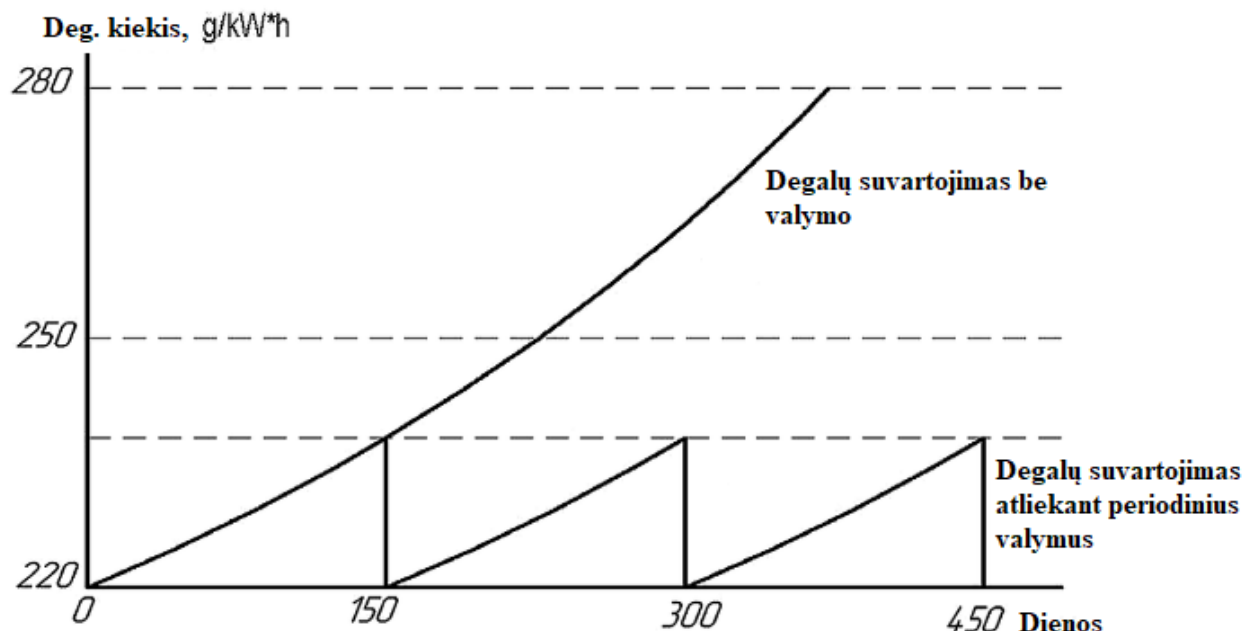
2017 metais sunkiosios transporto priemonės Kinijos transporto sektoriuje išmetė maždaug 40 % anglies dvideginio (CO₂). Kalbant apie sunkųjį transportą, sunkvežimiai yra vyraujanti transporto priemonių rūšis, daugiausia naudojama krovinių vežimui keliais. Akademikai ir pramonė siekia dekarbonizuoti sunkvežimius, siekdami mažinti anglies dioksido kiekį ir stabilizuoti išmetamas kenksmingas emisijas (Xu et al., 2023). JAV vyriausybė įsikiša, kad sumažintų šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą sunkvežimių sektoriuje, nes pastaraisiais metais jų kiekis sparčiai augo ir dabar sudaro 7 % grynujų JAV emisijų. Daugeliu atvejų šios intervencijos buvo taikomos reglamentams, siekiant pagerinti sunkvežimių technologijas, kad jie būtų taupesni degalams. Šios degalų taupymo technologijos apima deflektorius ant kabinų ir priekabų, kurie sumažina aerodinaminį pasipriešinimą, padangas, kurių pasipriešinimas riedėjimui yra mažesnis, ir degalus taupančias sistemas, taip pat daugybę kitų jau paruoštų technologijų. Visapusiškai galvoti apie krovinių gabenimo sektorių būtina norint įvertinti priemonių veiksmingumą ir efektyvumą bei išvengti nenumatytų pasekmių. Vienas iš šių tyrimų buvo (Guerrero et al., 2013), kuris pristatė sunkvežimių sektoriaus optimizavimo modelį kaip įrankį trumpalaikiams atsakams nuspėti. Ši sistema pasirodė naudinga analizuojant, kaip sunkvežimių parkai ir jų išmetamų teršalų kiekis keičiasi laikui bėgant, reaguojant į įvairius vyriausybės įsikišimus (Guerrero, 2014).

Yra daug įrodymų, kad didelės investicijos į degalų taupymo technologijas JAV nevyksta, net manoma, kad nėra viešai prieinamų tyrimų, kuriais būtų galima įvertinti šio trūkumo mastą. Iš tiesų, daugelis tyrimų parodė, kad sunkvežimių sektorius galėtų žymiai sumažinti išlaidas ir degalų deginimą, daugiau investuodamas į degalų taupymo technologijas. Tiesą sakant, sunkiasvorių sunkvežimių degalų ekonomija per pastaruosius 20 metų reikšmingai nepasikeitė net ir po didelių degalų kainų svyravimų ir padidėjusio degalų taupymo technologijų prieinamumo. Šis neveiknumas privačiame sektoriuje buvo pagrindinė varomoji jėga, paskatinusi naujausius reglamentus, kuriais siekiama padidinti degalų taupymo technologijų naudojimą. Nors šios pastangos iki šiol buvo gana sėkmingos (tolimųjų reisų sunkvežimiai Kalifornijoje atrodo visiškai kitaip nei prieš porą metų, plačiai naudojami šoniniai apvadai ir kiti deflektoriai), jos gerokai atsilieka degalų sąnaudų ir išmetamųjų teršalų sumažinimo programoje (Guerrero, 2014). Taip pat yra skatinama įmonės imtis degalų suvartojimo mažinimo, tai teigiamai paveiktų aplinką ir oro kokybę.

Transporto priemonių eismas yra svarbus daugelio miestų rajonų oro taršos veiksnys. Pagrįsti politiniai sprendimai dėl su eismu susijusios taršos kontrolės ir valdymo priklauso nuo patikimo išmetamųjų teršalų kiekio aprašo ir transporto priemonių parko emisijų charakteristikų. Be kitų, vienas svarbus parametras, kurį reikia įvertinti, yra emisijos faktorius. Jis apibūdina išmetamųjų teršalų kiekį, tenkantį sunaudotų degalų masei per nuvažiuotą atstumą arba per vieną sunaudotą energiją (Madrado & Clappier, 2018). Ne mažiau svarbus ir techninis faktorius, kokius metodus galima pritaikyti degalų sąnaudų mažinimui. (Yang et al., 2012) aprašo tyrimą kuris padėjo sumažinti degalų sąnaudas sunkiajai technikai. Hidraulinio ekskavatoriaus energijos taupymo tyrimai daugiausia apima šias tris priemones: dyzelinio variklio ir hidraulinio komponento veikimo gerinimas, hidraulinės sistemos ir dyzelinio-hidraulinės sistemos-pavaros galios suderinimas. Nors minėtos priemonės turi tam tikrą energijos taupymo efektą, tačiau, dažnai kintant ir smarkiai svyruojant hidraulinio ekskavatoriaus apkrovai, dyzelinis variklis dažnai dirba dideliu greičiu ir nedideliu apkrovimu, o degalų sąnaudos yra didesnės. Todėl, siekiant pagerinti dyzelinio variklio ekonomiškumą esant nedidelei apkrovai ir sumažinti hidraulinio ekskavatoriaus degalų sąnaudas, siūloma energijos valdymo koncepcija, pagrįsta dyzelinio variklio cilindų išjungimo technologija. Išvados parodė, kad šis metodas, išjungiant cilindrus, teoriškai atlikus simuliaciją, gali sumažinti iki 11 % degalų suvartojimo. Atlikus praktinius eksperimentinius tyrimus, rezultatai parodė, kad faktiškai degalų suvartojimas sumažėjo 11 %, kaip ir buvo apskaičiuota atliekant simuliaciją.

Artur et al. (2019) atliko eksperimentinį tyrimą, kuriame bandė pagerinti dyzelinio lokomotyvo darbo efektyvumą ir degalų sunaudojimą keisdamas remonto programos struktūrą ir į ją įtraukdamas

dyzelinų variklių degalų tiekimo sistemos valymą. Šis eksperimentas grindžiamas tuo, kad švari degalų tiekimo sistema gali palaikyti degimo procesą nustatytų gamyklinių parametrų ribose. Varikliui dėvintis, laikui bėgant preciziškai turinti veikti degalų tiekimo sistema užsikiša ir pradeda netinkamai funkcionuoti, todėl yra suvartojama daugiau degalų dėl netinkamo degimo proceso.



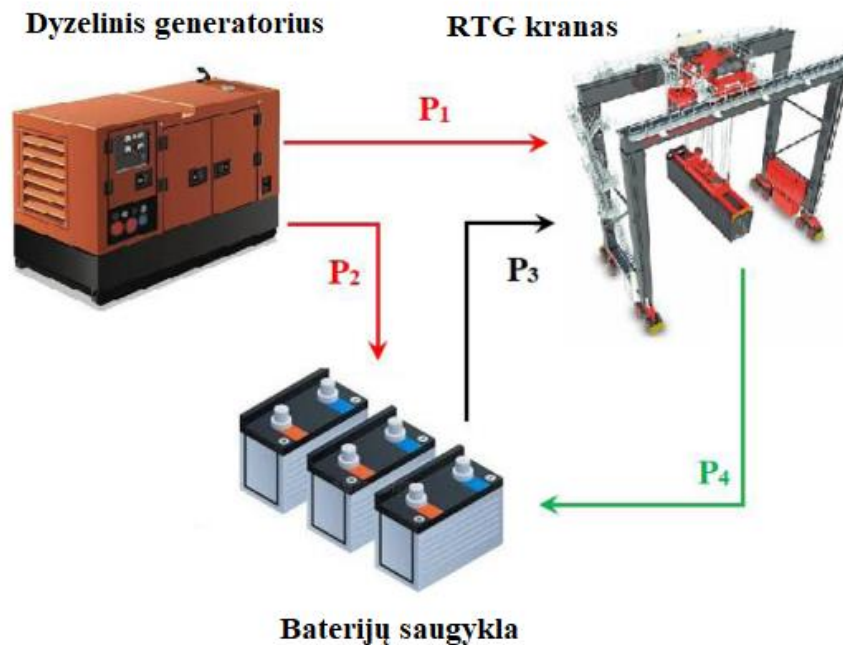
2.1 pav. Degalų suvartojimo palyginimas pritaikant dyzelinės sistemos valymą ir nepritaikant valymo (Artur et al., 2019)

Gavus rezultatus po valymo, teigiamus ženklus parodė suspaudimo slėgis, degimo slėgis, variklio galingumas, degalų sąnaudos.

Galima teigti, kad yra daugybė būdų efektyvinti variklio darbą ir sumažinti degalų sąnaudas, tačiau tam reikalingi nemaži resursai, o privatūs sektoriai nelinkę investuoti į tai, kas gali atnešti naudą tik ilgalaikėje perspektyvoje.

Kusakaka et al. (2021) tyrime aprašo metodą, kaip galima sutaupyti dyzelinių degalų suvartojimą RTG (ožiniui) kranui. Sukurtas optimalus energijos valdymo modelis RTG kranui, tiekiamas iš hibridinio dyzelinio generatoriaus / baterijos sistemos. Šio modelio tikslas – sumažinti energijos sąnaudas ir CO₂ emisiją, mažinant dyzelinio generatoriaus sunaudojamą degalų kiekį ir maksimaliai padidinant potencialią energiją, gaunamą naudojant regeneracinį stabdymą konteinerio nuleidimo fazės metu. Šie uosto kranai, skirti kilnoti jūrinius konteinerius, įprastai dirba 24 valandas per parą, 362 dienas per metus. Likusios kelios dienos yra skiriamos techninei įrenginių priežiūrai. Maksimalią galią šis kranas naudoja tik 4 % iš viso savo darbo ciklo. Nuleidimo fazės metu kėlimo variklis neatlieka jokių

darbų, nes nuleidimo judesį atlieka krovinio svoris, todėl kranas turi galimybę gaminti elektros energiją, kurios regeneruota galia yra beveik 60 % didžiausios galios, kurią RTG kranui tiekia dyzelinis generatorius. Energijos atkūrimo fazė trunka nuo 30 iki 40 % viso valdymo ciklo trukmės.



2.2 pav. Principinė RTG kranų hibridinė degalų taupymo schema (Kusakaka et al., 2021)

Didžiausia įtampa gali būti pasiekta, kai kėlimo variklis veikia nuleidimo fazėje, nes variklis veikia kaip generatorius. Didėjant nuolatinės srovės magistralės įtampai generuojama regeneracinė energija, kuri surenkama regeneracinio stabdymo proceso metu ir laikoma akumuliatoriuje. Tai reiškia, kad tik keltuvo keitiklis gali leisti dvikryptį energijos srautą (veikia kaip lygintuvas regeneraciniu režimu). Simuliacijų metu nustatyta, kad didžiausias poreikis keltuvo pakėlimo fazėje yra 292 kW, vidutinis poreikis 24,8 kW ir galimybė pasiekti didžiausią 178 kW generuojamą galią nuleidimo fazės metu.

Modeliavimo rezultatai toliau analizuojami atsižvelgiant į RTG kraną tiekiančios optimaliai valdomos baterijos integruotos DG sistemos ekonominį ir aplinkosauginį veiksmingumą. Modeliavimo metu 1 l dyzelinių degalų kaina Pietų Afrikoje buvo 1,018 JAV dolerių. Siūlomos sistemos be energijos atgavimo atveju galima pasiekti 45,97 % išlaidų ir CO₂ išmetimo sumažinimą; tuo tarpu 82,12 % galima pasiekti, jei energijos regeneravimas įtraukiamas atgal į baterijas (Kusakaka et al., 2021).

2.1 ir 2.2 lentelėse pateikiama modernizacijos kaina ir išlaidų energijai palyginimas.

2.1 lentelė. Kasmetinės eksploatacijos sąnaudos ir išmetamo CO₂ kiekio sumažinimas (Kusakaka et al., 2021)

Energijos tiekimas	Sunaudota degalų, (L)	Energijos išlaidos, (\$)	CO ₂ emisijos, (kg)	Sutaupyta, (%)
Dyzelinis generatorius	91 137,12	92 777,58	24 0939,2	-
Hibridinė sistema su energijos regeneracija	21 832,99	22 225,98	57 719,88	76,04

Praktiniai tyrimai parodė, kad esant hibridinei sistemai, galima sutaupyti iki 76,04 % išlaidų.

2.2 lentelė. Baterijos ir keitiklio kaina (Kusakaka et al., 2021)

Komponentas	Dydis	Kaina (\$)	Tarnavimo laikas (metais)
2 × Blue Nova Lithium Iron baterija 65 kWh	128 kWh	59 952,98	10
3×ABB PVS 100 kW inverteris trifazis su AC+DC apsauga	300 kW	30 221,88	20

Bendros išlaidos modernizacijai yra 90 174,96 JAV dolerių. Palyginus su dyzeliniu generatoriumi, siūlomo optimaliai valdomo dyzelinio generatoriaus ir baterijų sistemos su energijos atgavimu, tiekiančios energiją RTG kranui, lūžio atsipirkimo taškas gali įvykti po 1,1 metų, tai atitinka 113 900 JAV dolerių. Tikrojo atsipirkimo laikotarpio analizė parodė, kad bendra investicijų kaina gali būti susigrąžinta per 1,36 metų. Taip pat, naudojant siūlomą sistemą, didžiausias dyzelinio generatoriaus energijos poreikis nukrito – tai gali padėti sumažinti dyzelinio generatoriaus dydį daugiau nei 50 % (Kusakaka et al., 2021). Tai leidžia pirkti pigesnę generatorių, kuris dar sumažintų išlaidas ir kenksmingas emisijas.

3. Eksperimentinių tyrimų atlikimo metodika

3.1. Naudojama įranga

Šiam tyrimui įgyvendinti buvo naudojama „Cummins“ diagnostikos įranga INSITE, pavaizduota 3.1 paveiksle. Ši įranga yra originali „Cummins“ ir skirta variklių diagnostikai, ji skirta stebėti beveik visus variklio gyvus parametrus ir išmetamųjų dujų parametrus. Darbinis diagnostikos įrangos langas pavaizduotas 3.2 paveiksle, iš jo buvo fiksuojami duomenys eksperimentiniam tyrimui. Galima nustatyti, kiek laiko deginių neutralizavimo sistemos nefunkcionuoja ir ar pateikia teisingus parametrus, lyginant su išorėje sumontuota PEMS įranga.



3.1 pav. „Cummins“ diagnostikos įranga INSITE (oemdiagnostictools.com)

Pirmajame tyrimų etape buvo svarbu išsiaiškinti ir lyginti kompiuterinę diagnostikos įrangą, kuri ima duomenis iš variklio kompiuterio su realiomis išmetamosiomis dujomis, kurias fiksavo išorinis deginių analizatorius „AVL DiCom 4000“. Dalis tyrimo taip pat buvo skirta sužinoti, ar gamintojo fiksuojami ir perduodami parametrai į diagnostikos įrangą yra teisingi ir tinkami vertinimui atliekant tolesnį tyrimą.

A priede ir jo tęsiniuose pavaizduoti diagnostikos įrangos INSITE darbiniai laukai, kuriuose galima matyti visus variklio parametrus. Tyrimui atlikti buvo išrinkti aktualiausi parametrai, kurie tolimesnėse tyrimo eigose bus reikalingi atlikti duomenų analizei, skaičiavimams ir nubraižyti grafikams.

INSITE 6.7.2.84 / DP - I-20210927-130415780 - Engine Serial Number - 22235329 - ECM Code - HX80023.01

File Edit View Tools Manage License(s) Send To Guidanz Window Help

Disconnect from ECM

Fault Codes

Data Monitor/Logger

ECM Diagnostic Tests

Advanced ECM Data

Features and Parameters

Calibration Selection

Work Orders ECM Images ECM Templates

Trip Information

Audit Trail

Inquire Data Extraction

OBD Monitors

Expert Diagnostic System

J1939 DataLink

Connected to ECM

Parameter Groups

Predefined

All Parameters

Aftertreatment

Aftertreatment - Diesel Particulate Filter

Aftertreatment - Diesel Particulate Filter Stationary Regeneration

Aftertreatment - SCR

Driver Operation Interlock

ECM Information

Parameters

ISB6.7 CM2350 B135B/B148B

CM2350A

Parameter	Value	Units
Aftertreatment Diesel Particulate Filter Passive Regeneration Elapsed Time	0000376.48	HHHHHH.MM
Aftertreatment Diesel Particulate Filter Regeneration Permit Switch Status	On	
Aftertreatment Diesel Particulate Filter Regeneration Start Switch Status	Off	
Aftertreatment Diesel Particulate Filter Soot Load Status	Normal	
Aftertreatment High Exhaust System Temperature Lamp Status	Off	
Aftertreatment Hydrocarbon Adsorption Level	1900	s
Aftertreatment Intake NOx	0	ppm
Aftertreatment Intake NOx Corrected	0	ppm
Aftertreatment Intake NOx Reading Stable	Reading Not Available	
Aftertreatment Outlet NOx	0	ppm
Aftertreatment Outlet NOx Corrected	0	ppm
Aftertreatment Outlet NOx Reading Stable	Reading Not Available	
Aftertreatment SCR Intake Temperature	23	°C
Aftertreatment SCR Outlet Temperature	28	°C
Amber Warning Lamp Status	Off	
Barometric Air Pressure	102.2	kPa
Barometric Air Pressure Sensor Signal Voltage	4.00	V
Battery Voltage	24.6	V
Brake Pedal Position Switch	Released	
Calibration Software Phase	23324605	
Crankcase Pressure	0.0	kPa
Crankcase Pressure Sensor Signal Voltage	1.50	V
Cruise Control Accelerate Switch	Off	
Cruise Control Coast Switch	Off	
Cruise Control On/Off Switch	Off	
Cruise Control Reference Speed	0	km/hr

ECM Image

3.2 pav. „Cummins“ diagnostikos įrangos INSITE darbinis langas (sudaryta autoriaus)

„AVL DiCom 4000“ deginių analizatorius pavaizduotas 3.3 paveiksle.



3.3 pav. „AVL DiCom 4000“ deginių analizatorius (sudaryta autoriaus)

3.1 lentelė. „AVL DiCom 4000“ deginių analizatoriaus matavimo ribos

	Matavimo ribos	Paklaida
Tepalo temperatūra, ° C	0–120	1
CO, pagal tūrį %	0–10	0,01
CO ₂ , pagal tūrį %	0–20	0,1
HC, ppm	0–20000	1
O ₂ , pagal tūrį	4–22	0,1
NO _x ppm	0–4000	1
Matavimo kampas, °	-10–100	0,1
λ	0–9,999	0,001

3.2. Tyrimo objektas

Tyrimo objektu pasirinktas Vilniaus viešojo transporto autobusas „Solaris Urbino 12“. Šio autobuso duomenys atitiko tyrimui reikalingus svarbius kriterijus, kurie išvardyti 3.2 lentelėje.

3.2 lentelė. Autobuso „Solaris Urbino 12“ variklio duomenys (INSITE diagnostikos įranga)

Variklio modelis	Cummins ISB 6.7
Galingumas	207 kW (280 HP)
Sukimo momentas	1100 Nm
Darbinis tūris	6700 cm ³
Maksimalūs apsisukimai	2100 min ⁻¹
Gamybos metai	2018-06-13
Išmetamųjų dujų sistema	Euro 6

Tiriamasis objektas „Solaris Urbino 12“ pateiktas 3.4 paveiksle.

3.3. Stacionaraus tyrimo metodika

Eksperimentinio tyrimo tikslas – sužinoti laiko trukmę, per kiek laiko autobuso variklio išmetimo sistema pasiekia darbinę temperatūrą, ties kuria įsijungia deginių neutralizavimo sistema, atitinkanti „Euro 6“ standartą, kitaip tariant – kada įsijungia „AdBlue“ įpurškimas į išmetimo vamzdį. Taip pat

siekama sužinoti, kokį teršalų kiekį išmes variklis, kol sušils iki darbinės variklio temperatūros (82°C).



3.4 pav. Autobusas „Solaris Urbino 12“ (ebus.lt)

Matuojami deginiai:

CO_2 ;

NO_x ;

CO .

Atlikus eksperimentinį tyrimą buvo sudaryti grafikai duomenų palyginimui ir išvadoms aprašyti.

Prieš tyrimą pirmiausia buvo nustatyta, kokius parametrus reikės užfiksuoti, norint gauti grafinį rezultatų pateikimą. Buvo pasirinkti šie parametrai:

Aplinkos oro temperatūra, $^{\circ}\text{C}$;

Variklio darbinė temperatūra, $^{\circ}\text{C}$;

Variklio sūkių dažnis, 1/min;

Variklio apkrova, %;

„AdBlue“ skysčio dozavimo būseną;

„AdBlue“ skysčio dozavimo kiekis, L/h;

NO_x jutiklio rodmenys prieš filtrus, ppm;

NO_x jutiklio rodmenys po filtrų, ppm;

SCR temperatūra prieš „AdBlue“ įpurškimą, $^{\circ}\text{C}$;

SCR temperatūra po „AdBlue“ įpurškimo, ° C;

NO_x reikšmė išmetimo vamzdyje, išmatuota išoriniu matuokliu, ppm;

CO₂ reikšmė išmetimo vamzdyje, išmatuota išoriniu matuokliu, %;

CO reikšmė išmetimo vamzdyje, išmatuota išoriniu matuokliu, %.

Šių parametrų fiksavimas leis analizuoti gautus duomenis. Tada buvo pasirinkta vieta, kur bus atliekamas tyrimas. Tyrimas buvo atliekamas UAB „Vilniaus viešasis transportas“ autobusų parko remonto patalpose. Buvo sudarytos sąlygos tyrimui įgyvendinti. Visi naudojami prietaisai buvo prijungti ir ištestuoti, ar veikia tinkamai. Minimalų sąlygų neatitikimą lėmė variklio darbinė temperatūra, nelygi lauko oro temperatūrai, tačiau tyrimo metu pastebėta, kad variklio temperatūrai esant šiek tiek aukštesnei negu lauko oro temperatūrai variklio įšilimo trukmė vis tiek išliko ganėtinai ilga.

Nustatyti duomenys tyrimo pradžioje ir pabaigoje pateikti 3.3 lentelėje

3.3 lentelė. Tyrimo pradžios ir pabaigos duomenys (sudaryta autoriaus)

Nustatyta pradiniai duomenys tyrimo pradžioje ir pabaigoje	Dydis
Lauko oro temperatūra tyrimo pradžioje	7 °C
Tyrimo pabaigoje užfiksuotas tyrimo laikas	1h 37min. 37sek.
Variklio darbinė temperatūra tyrimo pradžioje	30 °C
Intervalas tarp duomenų fiksavimo	2 °C intervalas variklio darbinės temperatūros.
Variklio apsisukimų dažnis	600 min ⁻¹ (1500 min ⁻¹)*
Variklio darbinė temperatūra tyrimo pabaigoje	82 °C

* - 1500 min⁻¹ apsisukimai buvo sukelti, nes tyrimo eigoje pastebėta, kad pasiekus 65 °C variklio darbinę temperatūrą, išmetamųjų dujų temperatūra vamzdyje nustojo kilti ties 120 °C ties SCR filtru.

3.4.1. Stacionaraus eksperimentinio tyrimo eiga

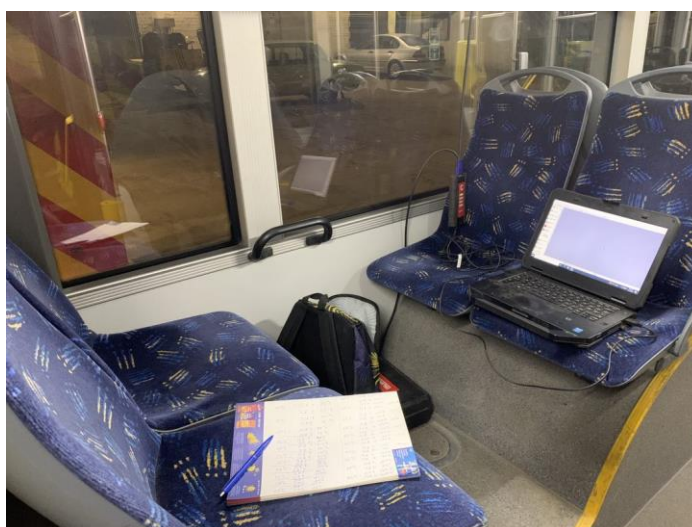
Bandymas atliekamas tokia tvarka:

1. Autobusas pastatomas į testavimui numatytą vietą remontui skirtose patalpose. Į elektros tinklą pajungiami matavimo prietaisai ir prisijungiama prie autobuso. (3.5 pav.).



3.5 pav. Autobusas, paruoštas eksperimentiniam tyrimui atlikti (sudaryta autoriaus)

2. Su diagnostikos įranga INSITE prisijungiama prie variklio valdymo bloko, sukuriama projektas darbinėje aplinkoje duomenų gyvam įrašymui (3.6 pav.). Deginių neutralizatorius „AVL DiCom 4000“ kalibruojasi ir pasiekia darbinę temperatūrą matavimams atlikti.



3.6 pav. Duomenų fiksavimo pasiruošimas (sudaryta autoriaus)

3. Užvedamas variklis ir užfiksuojamas tyrimo pradžios laikas. Pradedami stebėti ir fiksuoti duomenys, kuriuos rodo deginių neutralizatorius „AVL DiCom 4000“. Kartu yra fiksuojamos variklio

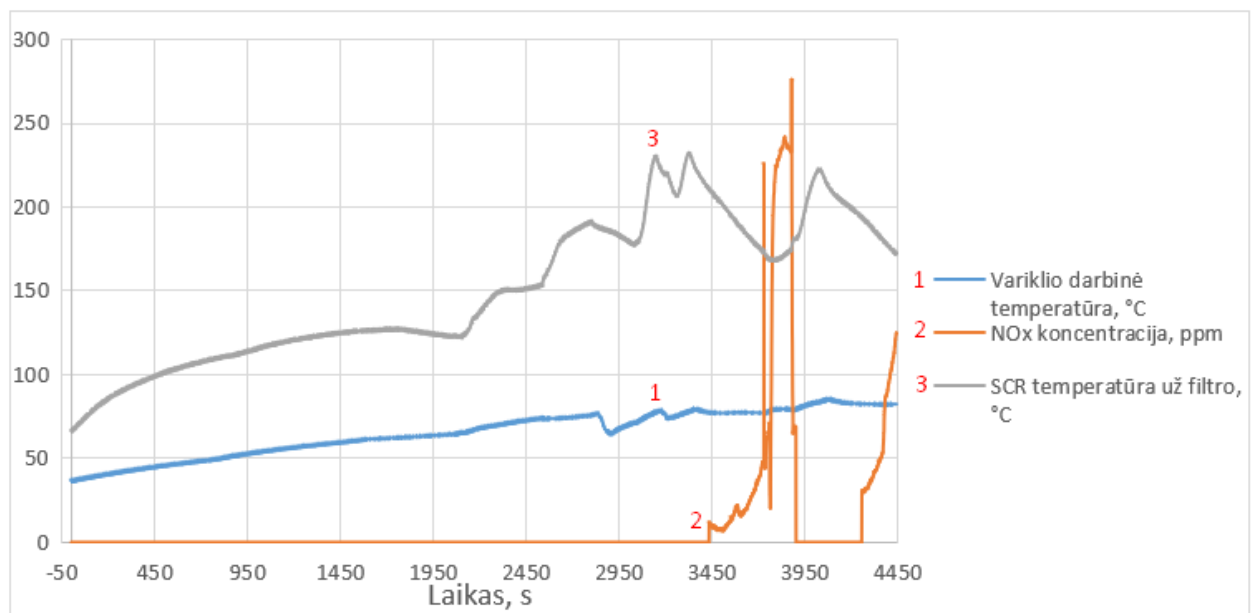
ir išmetamųjų dujų temperatūros su diagnostikos įranga. Tyrimas atliekamas iki kol variklis pasieks savo darbinę temperatūrą.

4. Varikliui pasiekus darbinę temperatūrą užfiksuojami paskutiniai duomenys, fiksuojamas tyrimo pabaigos laikas ir užfiksuojama tyrimo trukmė.

5. Gauti rezultatai yra susistemunami ir atliekama analizė. Iš gautų rezultatų yra pateikiami grafiniai rezultatai. Iš grafinių rezultatų formuluojamos išvados.

3.4. Stacionaraus eksperimentinio tyrimo rezultatai

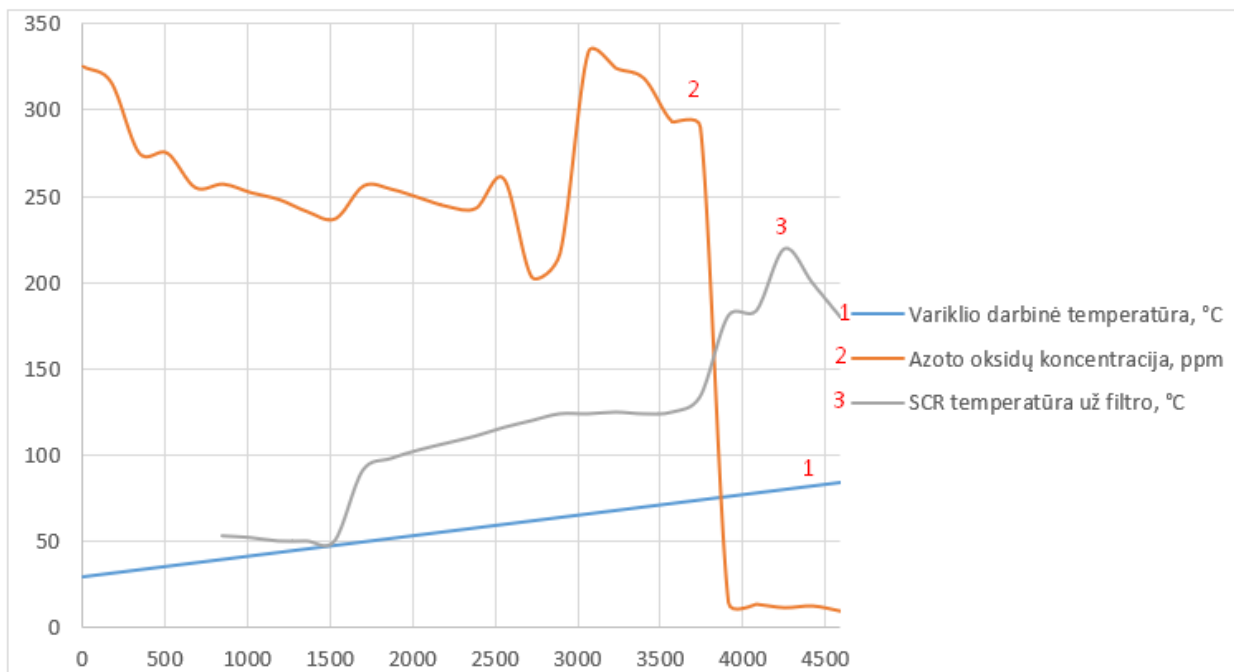
Gauti rezultatai pateikiami grafiniu metodu, kuriuose galima stebėti koreliacijas tarp variklio temperatūros, SCR temperatūros už filtro ir azoto oksidų kiekių. Jie pateikiami 3.7 paveiksle.



3.7 pav. INSITE įrangos užfiksuoti duomenys (sudaryta autoriaus)

Kadangi ši diagnostinė sistema pradeda azoto oksidus fiksuoti tik tuomet, kai pakankamai įšyla išmetamosios dujos, negalima matyti, kokios yra azoto oksido emisijos esant mažesnėms variklio temperatūroms ir nefunkcionuojant deginių neutralizatoriams. Šiam stebėjimui buvo fiksuoti „AVL DiCom 4000“ rodomi duomenys ir šių duomenų vidutinė reikšmė buvo imama varikliui šylant kas 2 ° C. Šis fiksavimo metodas pateiktas 3.8. paveiksle. Analizuojant abu paveikslus galima pastebėti, kad kai yra pasiekama 180–200 °C temperatūra, įsijungia deginių neutralizavimo sistema ir azoto oksidus cheminė reakcija neutralizuoja. Vykstant neutralizavimo procesui, kol variklis dirba laisvąja eiga,

išmetimo vamzdyje temperatūros krinta, todėl neutralizavimo sistema praranda savo efektyvumą ir turi išsijungti. O, kai išmetimo sistema palaipsniui vėsta, NO_x kiekiai vėl pradeda didėti ir išsilaiko 200–350 ppm intervale, kol išmetimo vamzdis vėl nebus įkaitintas.

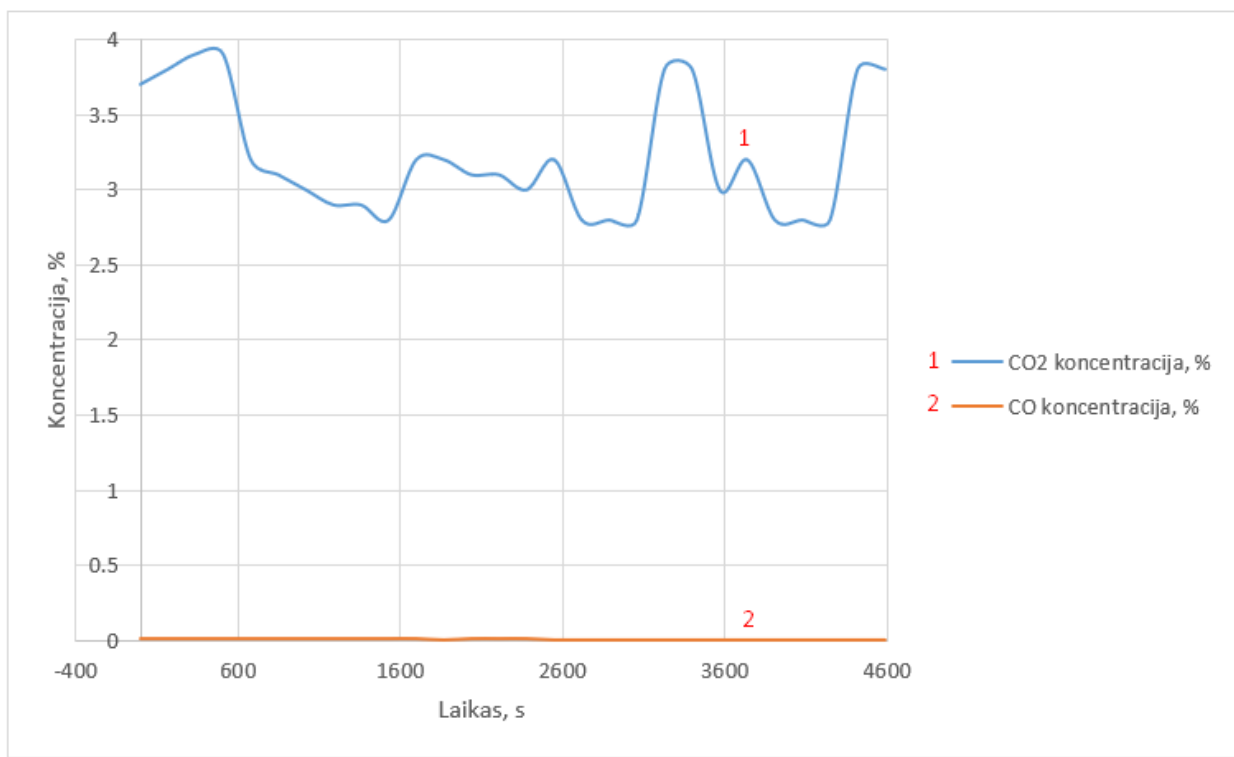


3.8 pav. „AVL DiCom 4000“ azoto oksidų emisijų duomenys (sudaryta autoriaus)

Verta paminėti, kad tyrimo metu pastebėta, jog varikliui dirbant laisvais sūkiais (600 min^{-1}), pasiekus SCR temperatūrai už filtro $120 \text{ }^{\circ}\text{C}$, išmetimo sistema nustojo šilti ir nepasiekė reikiamos temperatūros deginių neutralizavimo sistemoms įsijungti. Todėl buvo priimtas sprendimas padidinti variklio apsisukimus iki 1500 min^{-1} , kad būtų pasiekta minimali apkrova. Esant apkrovai, išmetimo vamzdžio temperatūra pradėjo kilti ir leido pasiekti norimą $180\text{--}200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrų ribą, kada įsijungia deginių neutralizavimo sistemos.

Taip pat buvo matuojami CO ir CO₂ kiekiai. Jų grafikai pateikti 3.9 paveiksle.

Anglies monoksidas susidaro nevisiškai įvykus degimo reakcijai, kai anglis degaluose yra tik iš dalies oksiduojama, nepasiekiant CO₂ fazės. Iš grafiko matyti, kad CO išlieka gana stabilus ir svyruoja tarp 0 ir 0,01 procento dalies. Tuo tarpu CO₂ reikšmę yra siekiama pamatyti deginių sudėtyje, nes tai yra ženklas, kad degalai visiškai sudegė. CO₂ išsilaiko maždaug 2,7–4 procentinės dalies ribose. Šios dujos yra siejamos su šiltnamio efekto skatinimu aplinkoje.



3.9 pav. Deginių analizatoriaus „AVL DiCom 4000“ CO ir CO₂ emisijų duomenys (sudaryta autoriaus)

Galima pamatyti koreliaciją tarp SCR temperatūros, išmatuotos už filtro, ir CO₂ procentinės dalies. Kuo didesnė temperatūra duslintuve, tuo labiau kartu didėja ir CO₂ koncentracijos. Tačiau didesnę temperatūrą šiame tyrime galima sieti su padidintomis laisvomis variklio apsukomis, nes ties 600 min⁻¹ apsisukimais nebuvo pasiektas norimas rezultatas.

3.5. Stacionaraus eksperimentinio tyrimo apibendrinimas

Atlikus šį eksperimentinį tyrimą paaiškėjo, kad, norint gauti tikslius rezultatus, variklis turi dirbti su numatyta arba kintamąja apkrova. Esant laisviems sūkiams variklio išmetimo sistema nepasiekia reikiamos temperatūros, todėl priverstinai reikia varikliui bent jau sukelti apsisukimus, taip suteikiant jam šiek tiek apkrovos. Esant kintamiems sūkiams ir stovint vietoje, sunku nustatyti parametrus ir lyginti juos su realiomis, kelyje išmetamosiomis dujomis, kada transporto priemonė važiuoja. Šio tyrimo naudingoji pusė yra ta, kad pastebėta koreliacija tarp duslintuvo temperatūros ir deginių neutralizavimo sistemų įsijungimo. Šis grafiškai pateiktas rezultatas pagrindžia mokslininkų aprašytus teiginius, kad deginių neutralizavimo priemonės pradeda veikti išmetimo vamzdyje pasiekus 180-200° C temperatūrą, tačiau šio tyrimo atveju dėl fiksuotų duomenų duslintuvas atvėsdavo ir ypač azoto oksidų emisijos vėl pasiekdavo didesnes reikšmes. Todėl iš šio tyrimo ir šių išvadų seka antroji tyrimo dalis, kuri yra

dinamiškesnė. Esant šaltajam metų laikui vėl bus tiriamas toks pats autobusas, turintis tą patį variklį, tik tyrimas bus atliekamas autobusui važiuojant nustatytu maršrutu su kintamąja apkrova, taip siekiant išsamiau panagrinėti išmetamųjų sistemų veiklą ir sudaryti tiesioginį žemėlapi, kuriose miesto dalyse, šiuo atveju Vilniaus mieste, azoto oksido teršalai pasiekia didesnes reikšmes, o kur – mažesnes.

3.6. Eksperimentinio tyrimo važiuojant maršrutu metodika

Tyrimo objektas lieka tas pats – Vilniaus viešojo transporto autobusas „Solaris Urbino 12“. Šio autobuso duomenys atitiko tyrimui reikalingus svarbius kriterijus, kurie išvardyti 3.2 lentelėje.

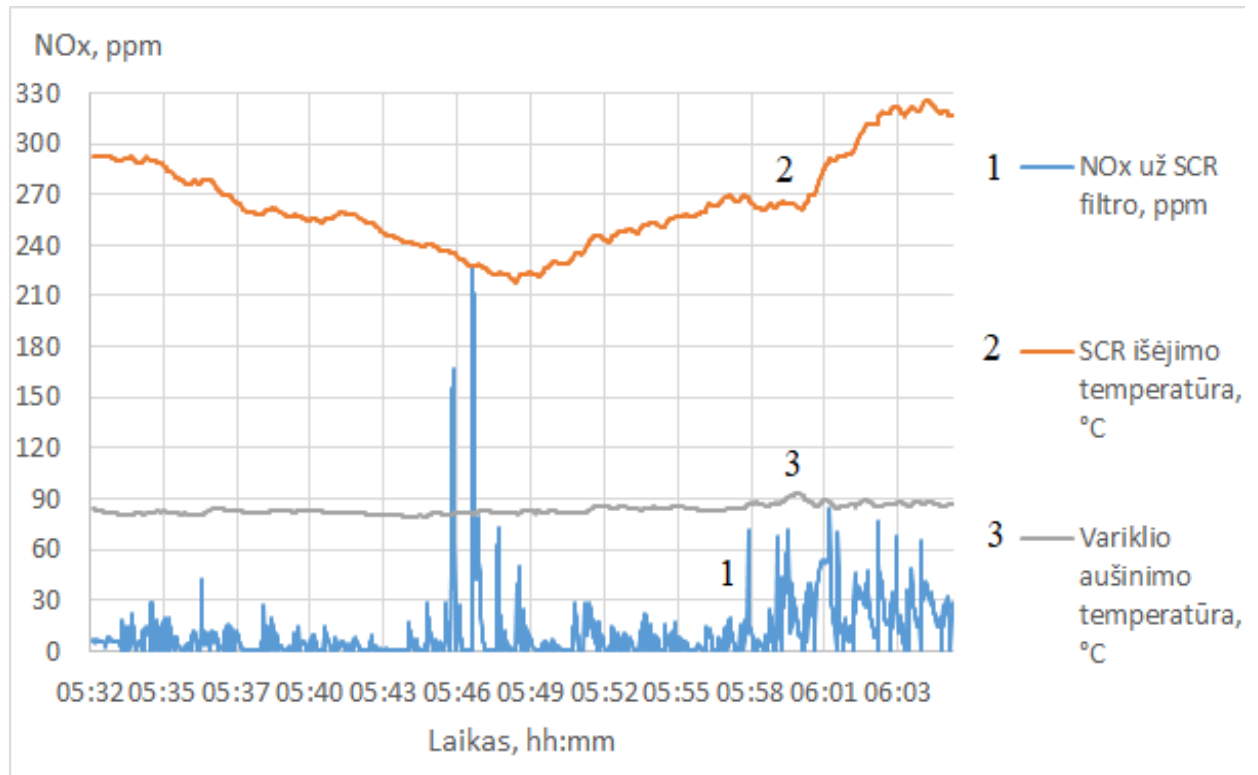
Pirmoje tyrimo dalyje padaryta išvada, kad diagnostikos įranga INSITE rodo teisingus jutiklių duomenis, todėl, tęsiant tyrimą, išorinis deginių analizatorius „AVL DiCom 4000“ nebuvo prijungiamas. Duomenims nuskaityti buvo naudojama INSITE diagnostikos įranga. Ją naudojant autobusu buvo galima važiuoti grafikiniu maršrutu. Siekiant papildomai nubrėžti autobuso nuvažiuotą kelią ir įvertinti reljefo ypatumus, buvo panaudota išmaniojo telefono programėlė „OsmAnd“. Programėlė įrašė autobuso buvimo vietą, greičio pokytį ir reljefo kaitą. Šie duomenys reikalingi norint sugeneruoti ir nubrėžti važiavimo liniją žemėlapyje. Šiam eksperimentui pasirinktas Vilniaus viešojo transporto 10-tas maršrutas Fabijoniškės–Markučiai–Fabijoniškės. Bandymo metu buvo fiksuoti visi galimi vidaus degimo variklio parametrai. Šiuo atveju tyrimas buvo atliekamas ankstų rytą (5:30 h), lauko oro temperatūra buvo -14–° C. Išanalizuotas ruožas Markučiai–Fabijoniškės. Šio maršruto trukmė yra 34 minutės. Verta paminėti, kad šio tyrimo gauti duomenys buvo panaudoti straipsnyje. Straipsnio patvirtinimas yra B ir C prieduose.

3.6.1. Eksperimentinio tyrimo važiuojant maršrutu eiga

1. Diagnostikos įranga INSITE prijungiama prie variklio valdymo kompiuterio diagnostinės jungties.
2. Pradėjus važiuoti maršrutu, paleidžiami įrašai INSITE ir „OsmAnd“ programose. INSITE diagnostikos įranga fiksuojami beveik visi su variklio darbu susiję diagnostiniai parametrai.
3. Važiuojant autobusu periodiškai patikrinami fiksuojami duomenys: ar nėra nuokrypių, ar duomenys atitinka realią apkrovą.
4. Pasibaigus maršrutui įrašai stabdomi ir užfiksuoti duomenys išsaugomi CSV formatu tolesnei duomenų analizei.
5. Gauti rezultatai susistemunami, šių rezultatų analizė pateikta kitame skyriuje.

3.7. Eksperimentinio tyrimo važiuojant maršrutu rezultatai

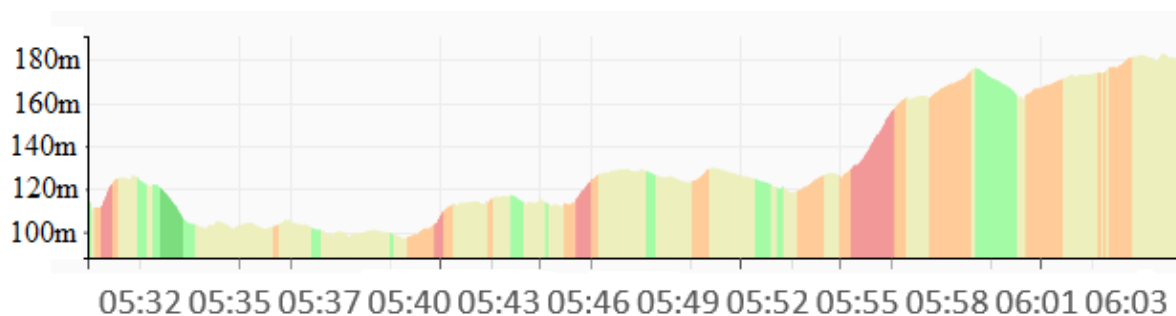
Pirmiausia, išmatuotos NO_x koncentracijos reikšmės už selektyvinio katalizinio redukavimo elemento (toliau tekste – SCR), šios reikšmės (žr. 3.10 pav.) palygintos su už SCR esančio temperatūros jutiklio duomenimis (3.10 pav.).



3.10 pav. NO_x koncentracija, SCR išėjimo temperatūra ir variklio aušinimo temperatūra iš INSITE diagnostikos įrangos (sudaryta autoriaus).

Siekiant susieti 3.10 pav. pateiktas priklausomybes su tiriamu autobuso maršrutu sudarytas minėto maršruto reljefo pokyčio grafikas (žr. 3.11 pav.). Jame matoma, kurioje vietoje yra įkalnės, nuokalnės ir pagal tai galima spręsti apie kintančias variklio apkrovas.

Vertinant 3.10 ir 3.11 paveikslus matyti, kad 3.10 paveiksle 5:43 val. NO_x koncentracija pradėjo didėti ir pasiekė 10 kartų didesnes vertes, negu įprastai visos kelionės metu iki nurodyto laiko. Taip pat matoma koreliacija tarp temperatūros mažėjimo už SCR ir NO_x koncentracijos didėjimo. Taip yra todėl, kad važiuojant šaltu oru autobuso variklio skyrius išlieka vėsus, ypač, kai variklio apkrova nėra didelė. Iš 3.11 paveikslo matyti, kad autobusas iki taško, kai labai pakilo NO_x koncentracija, važiavo nuokalne arba lygiu keliu.



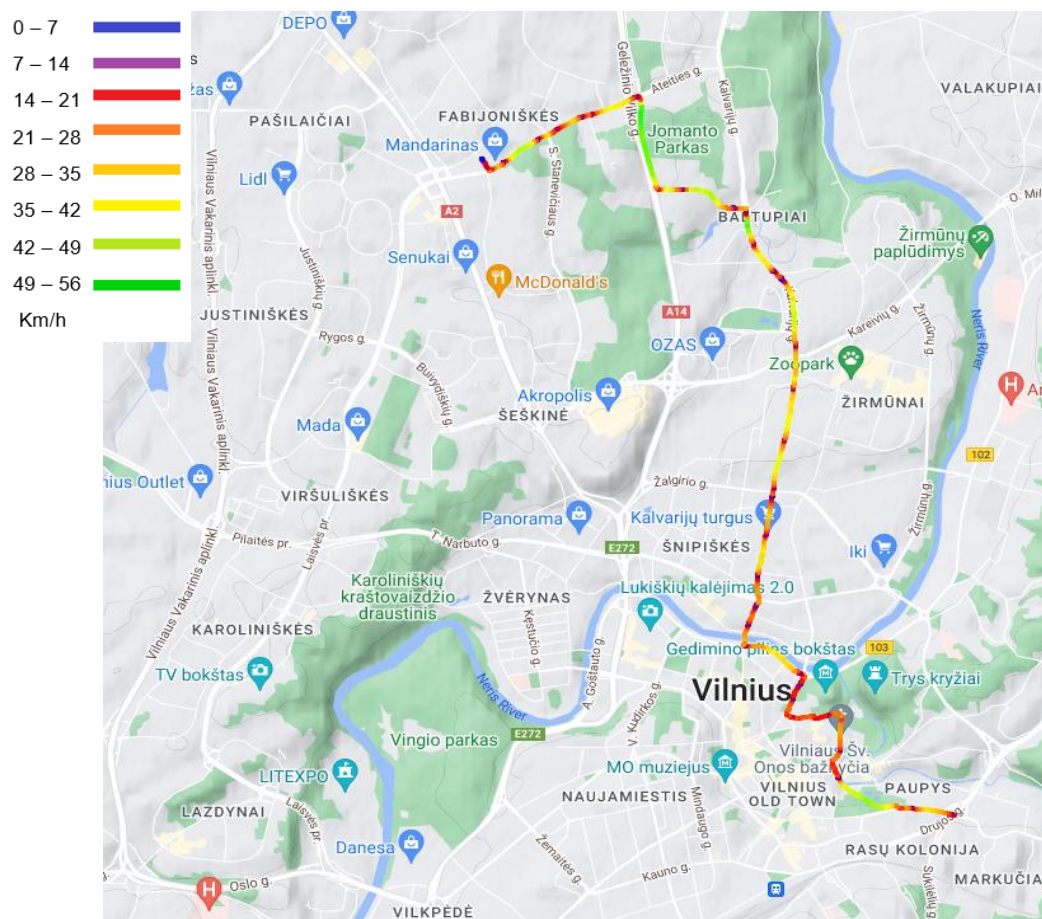
3.11 pav. Maršruto Markučiai–Fabijoniškės reljefo pokytis (sudaryta autoriaus).

Pradėjus kilti į įkalnes, varikliui teko daugiau apkrovos ir duslintuvas pradėjo vėl kaisti, o NO_x koncentracijos normalizavosi, tačiau ne iki tokio mažo lygio. Šį pokytį galima pakomentuoti taip: įkalnės, į kurias reikėjo važiuoti, buvo pakankamai stačios. 3.11 paveiksle matyti, kad atkarpoje 05:32–05:40 autobusas buvo senamiesčio prieigose, todėl transporto priemonės greitis buvo nedidelis ir nebuvo didelių lėtėjimų ir pagreičių. Išvažiavus iš senamiesčio autobuso greitis padidėjo, todėl pailgėjo ir įsibėgėjimo laikas, tai lėmė ir didesnes NO_x koncentracijas. Autobuso judėjimo greičio žemėlapis pateiktas 3.12 paveiksle.

3.12 paveiksle gerai matyti, kur autobusas stodavo stotelėse bei prie šviesoforų. Kiekvienas sustojimas šiai transporto priemonei reiškia labai kintančią variklio apkrovą. Kiekvieną kartą pajudėjus iš stotelės ar sankryžoje variklio apkrova pasiekia beveik 100 %. Tai lemia momentiška padidėjusias NO_x koncentracijas.

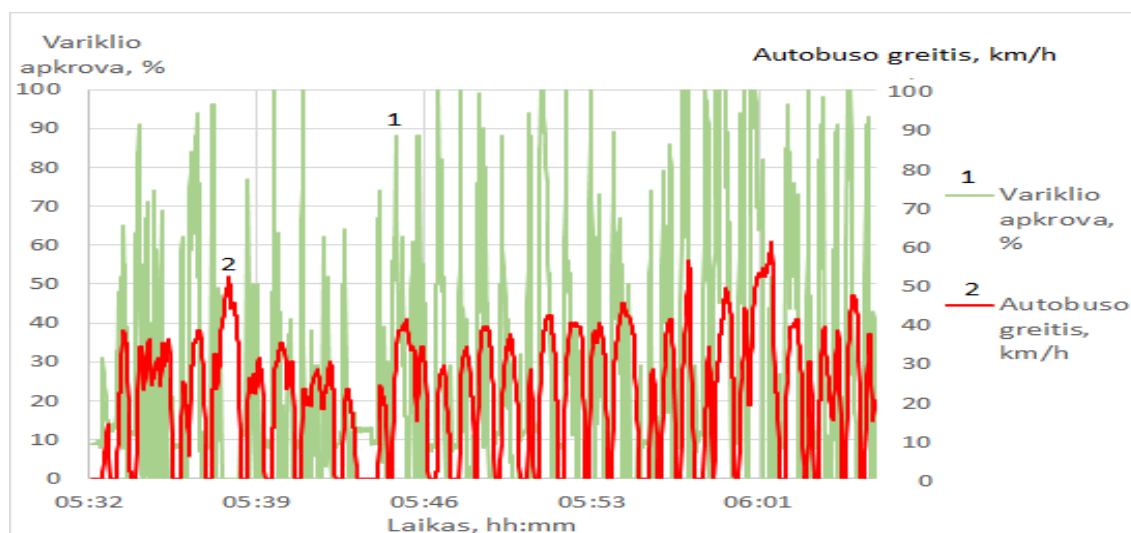
Autobuso judėjimas vienoje grafinėje priklausomybėje pateikiamas 3.13 paveiksle. Verta paminėti, kad praktiškai visame maršrute vyrauja nedideli greičiai, apie 20–30 km/h. Autobusas nemažą maršruto dalį važiuoja senamiesčio ir didelio užimtumo gatvėmis, kuriose eismas yra arba lėtas arba kelio danga yra prasta ant kurios negalima išvystyti didelio greičio.

3.13 paveiksle galima pastebėti, kad yra ženkli priklausomybė autobuso variklio apkrovai nuo važiavimo greičio. Kai autobusas įsibėgėja, variklio galia siekia maksimalias apkrovas, tačiau kai rieda lygiu keliu, nevyksta akceleracija, variklio apkrova įprastai nesiekia nei pusės variklio maksimalios galios. Tai atsiliepia ir NO_x koncentracijai, patenkančiai į aplinką. Būtent įsibėgėjimo metu variklis pasiekia didžiausias teršalų koncentracijas. Tolygesnis autobuso stabdymo ir akceleravimo procesas galėtų sumažinti taršą, todėl sunkiąjį transportą valdančios įmonės neretai vairuotojams diegia ekologinį vairavimą, kurio metu galima būtų sutaupyti degalų ir taip pat sumažinti išmetamųjų dujų kiekius.



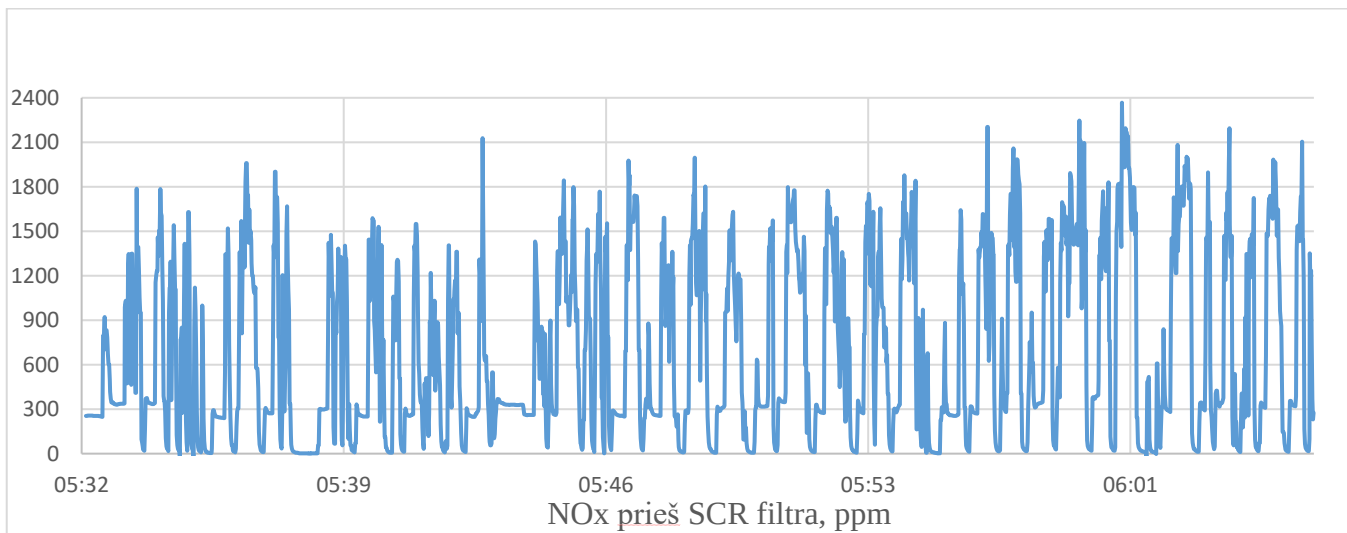
3.12 pav. Autobuso Nr. 10 greitis (sudaryta autoriaus)

Autobuso judėjimo greitį ir variklio apkrovą procentine išraiška galima matyti grafinėje priklausomybėje 3.13 paveiksle.



3.13 pav. Variklio apkrovos ir autobuso greičio grafikas (sudaryta autoriaus)

Iš šio grafiko matyti, kad variklio apkrova gerokai padidėja autobusui įsibėgėjant. Galima daryti išvadą, kad tuo metu taip pat labai padidėja ir NO_x koncentracijos, kurios pavaizduotos 3.14 paveiksle. Esant tolygesniam važiavimui tokių apkrovų šuolių nebūtų, tačiau šios transporto priemonės važiavimo tipas yra labai dinamiškas ir pagal tolygią priklausomybę kisti negali.



3.14 pav. NO_x prieš SCR filtrą koncentracijos (sudaryta autoriaus)

Lyginant 3.13 ir 3.14 paveikslus galima pastebėti, kad, esant apkrovai, NO_x nenukenksmintos koncentracijos prieš SCR pasiekia dideles vertes. Šių didelių verčių pasekmė yra dažnas įsibėgėjimas ir dažnas stabdymas. Kai aplinkos temperatūra yra žema, varikliui dirbant laisvais sūkiais NO_x koncentracijos siekia 300 ppm. Tačiau, lyginant 3.14 ir 3.10 paveikslus ir stebint deginių neutralizacijos sistemos darbą konstatuojama, kad ji funkcionuoja pakankamai efektyviai iki tol, kol yra palaikoma aukšta temperatūra variklio išmetimo sistemoje (duslintuve). Šio bandymo metu, paskaičiavus maršruto vidutines NO_x koncentracijas prieš SCR ir už jo, su „AdBlue“ sistema į aplinką pateko 67 kartus mažiau NO_x teršalų, negu be „AdBlue“ sistemos.

3.9. NO_x koncentracijų konvertavimas į kiekybinį skaičių

Eksperimentinių tyrimų metu išmatuota NO_x koncentracijos (ppm). Norint įvertinti, kokį kiekį teršalų variklis išmetė į aplinką, reikia atlikti skaičiavimus. Diagnostikos įranga išmatuotas dalelių kiekis milijonui vienetų (ppm). Šis skaičius nenurodo, ar transporto priemonė atitinka „Euro 6“ standartą,

kadangi standarte pateiktas NO_x teršalų kiekis yra matuojamas mg/km. Norint apskaičiuoti NO_x kiekį reikalinga tolygi variklio apkrova kuo ilgesnį laiką, norint gauti kuo tikslesnius duomenis. Kadangi maršrutinis autobusas važiuoja netolygia apkrova, reikia daryti prielaidą ir imti tą maršruto dalį, kuri, kalbant apie važiavimo dinamiškumą, yra kuo tolygesnė. Reikia pasirinkti atkarpą, kur autobuso variklio apkrova ir greitis tam tikrą laiko intervalą buvo mažai kintantis. Iš tyrimo pasirenkama atkarpa nuo 06 val. 00 min. 49 sek. iki 06 val. 01 min. 35 sek. Atkarpos trukmė $t = 47$ sek. Ši atkarpa leis įvertinti išmetamą NO_x kiekį su mažiausia paklaida, kadangi tai viena iš tolygiausių atkarpų.

Pirmiausiai apskaičiuojami vidutiniai variklio apsisukimai n_{vid} pagal (Butkus, 2007) (3.1) formulę:

$$n_{vid} = \frac{\sum n_{rpm}}{t}; \quad (3.1)$$

čia: $\sum n_{rpm}$ – variklio apsisukimų suma per laiką t ;

Apskaičiuojamas vidutinis variklio sukimo momentas M_{vid} . Diagnostika INSITE fiksuoja tik variklio apkrovą procentiniu kiekiu, todėl sukimo momentą apskaičiuosime pagal žinomą maksimalų variklio sukimo momentą ir procentinę variklio apkrovą pagal (Butkus, 2007) (3.2) formulę:

$$M_{vid} = M_{max} \cdot \left(\frac{\sum N_{apkr}}{t} \cdot 0,01 \right); \quad (3.2)$$

čia: M_{max} – maksimalus variklio sukimo momentas, $M_{max} = 1100$ Nm;

$\sum N_{apkr}$ – variklio procentinė apkrova per laiką t ;

Toliau pagal (Butkus, 2007) (3.3) formulę apskaičiuojama variklio vidutinė galia:

$$P_{vid} = \frac{n_{vid} \cdot M_{vid}}{9549}; \quad (3.3)$$

Apskaičiuojamas vidutinis greitis pagal (Butkus, 2007) (3.4) formulę:

$$v_{vid} = \frac{\sum v}{t}; \quad (3.4)$$

Apskaičiuojamos vidutinės degalų sąnaudos pagal (Butkus, 2007) (3.5) formulę:

$$B_{deg} = \frac{\Sigma B_{vid}}{t}; \quad (3.5)$$

čia: ΣB_{vid} – variklio vidutinių degalų sąnaudų suma (L/h) per laiką t .

Apskaičiuojamas vidutinis variklio oro sunaudojimas pagal (Butkus, 2007) (3.6) formulę. Daroma prielaida, kad $\lambda = 2,5$. Oro ir degalų santykis lygus 14,5.

$$B_{oro} = B_{deg} \cdot \lambda \cdot 14,5; \quad (3.6)$$

Apskaičiuojamas duslintuvo deginių srautas pagal (Butkus, 2007) (3.7) formulę:

$$m_{dust} = B_{deg} + B_{oro}; \quad (3.7)$$

Apskaičiuojama vidutinė NO_x koncentraciją per laiką t pagal (Butkus, 2007) (3.8) formulę:

$$NO_{xppm} = \frac{\Sigma NO_{xppm}}{t}; \quad (3.8)$$

čia: ΣNO_{xppm} – NO_x koncentracijos suma per laiką t ;

Apskaičiuojamas NO_x kiekis gramais, tenkantis vienai kilovatvalandei pagal (Wang et al., 2017) (3.9) formulę:

$$NO_{xgr} = \frac{NO_{xppm}}{1000} \cdot \left(\frac{M_{mol(NOx)} \cdot m_{dust}}{M_{mol.dujų} \cdot P_{vid}} \right); \quad (3.9)$$

čia: $M_{mol(NOx)}$ – NO_x deginių molinė masė, lygi 32,41 g/mol;

$M_{mol.dujų}$ – visų duslintuve esančių cheminių junginių molinių masių suma, lygi 30,01 g/mol;

$$NO_{xgr} = \frac{NO_{xppm}}{1000} \cdot \left(\frac{M_{mol(NOx)} \cdot m_{dust}}{M_{mol.dujų} \cdot P_{vid}} \right) = 0,81 \text{ kWh} > 0,46 \text{ kWh (Euro 6 riba)}.$$

Norint palyginti su „Euro 6“ standarte nurodyta verte (mg/km), NO_{xgr} perskaičiuojama į šią dimensiją pagal (Butkus, 2007) (3.10) formulę:

$$NO_x = \left(\frac{NO_{xgr} \cdot P_{vid}}{v_{vid}} \right) \cdot 1000; \quad (3.10)$$

Atlikus skaičiavimus matyti, kad NO_x reikšmė išreikšta mg/km verte neatitinka „Euro 6“ standarto:

$$NO_x = 784,41 \frac{\text{mg}}{\text{km}} > 125 \frac{\text{mg}}{\text{km}} \text{ (Euro 6 riba)}.$$

Apskaičiuotų rezultatų suvestinė pateikta 3.4 lentelėje.

3.4 lentelė. Apskaičiuotų rezultatų suvestinė (sudaryta autoriaus)

t	47 sek.
n_{vid}	1205 min ⁻¹
M_{vid}	410,5 Nm
M_{max}	1100 Nm
P_{vid}	51,8 kW
v_{vid}	53,51 km/h
B_{deg}	25,97 kg/h
B_{oro}	940,77 kg/h
m_{dust}	966,74 kg/h
NO_{xppm}	41 ppm
NO_{xgr}	0,81 kWh
NO_x	784,41 mg/km

Šiuos duomenis galima lyginti su literatūros analizėje išanalizuotais straipsniais, kuriuose taip pat atlikus tyrimus lengviesiems automobiliams pastebima, kad NO_x koncentracija išreikšta kiekiu neatitinka nustatytos ribos. Gauti rezultatai viršija daugiau negu 10 kartų nustatytą vertę. Šio tyrimo metu „Euro 6“ riba viršyta beveik 7 kartus. Tą galima paaiškinti tuom, kad „Euro 6“ standarto riba yra nustatyta praeiti transporto priemonių bandymus laboratorinėmis sąlygomis. Variklio temperatūra darbinė, važiavimo ciklas tolygus, apkrova pastovi. Tuomet deginių neutralizavimo sistema veikia dižiausiu našumu ir sugeba neutralizuoti maksimalų kiekį kenksmingų teršalų. Kai bandymai yra atliekami realiomis vairavimo sąlygomis arba RDE ciklu, vyrauja kintama apkrova, kuomet neutralizavimo sistemos nespėja nukenksminti deginių, todėl gerokai padidėja teršalų išmetamas kiekis. Nors šiems skaičiavimams buvo imtas kuo tolygesnis duomenų srautas, didelių pavienių nuokrypių neišvengta, kai variklio aprova būna maksimali arba nulinė, todėl ir NO_x koncentracijos (ppm) vertės svyravo ir vidutinė vertė yra 41 ppm. Jeigu autobusas ilgesnį laiko tarpą būtų išlaikęs pastovią apkrovą, galima būtų tikėtis ir mažesnių NO_x koncentracijų. Iš skaičiavimų daroma ta pati išvada kaip ir gauta literatūros analizėje bei eksperimentinių tyrimų metu, kad kuo tolygesnė variklio apkrova, mažiau stabdymų ir akceleracijos intervalų, tuo mažesnės vidutinės NO_x koncentracijos ir apskaičiuoti NO_x kiekiai.

Išvados

Remiantis atliktu tyrimu formuluojamos šios išvados:

- 1) Nustatyta, kad sunkiasvorių transporto priemonių (šiuo atveju autobuso) NO_x neutralizavimo sistemos efektyviai funkcionuoja, kai išmetimo sistema pasiekia ~240 °C .
- 2) Tinkamai veikiant NO_x neutralizavimo sistemai NO_x reikšmės išlieka iki ~100 ppm.
- 3) Autobusui sustojus galutinėje maršruto stotelėje variklio (o tuo pačiu – deginių išmetimo sistemos) temperatūra ima kristi. Dėl to išauga NO_x komponento tarša.
- 4) „AdBlue“ sistemos naudojimas efektyviai mažina NO_x komponento taršą (iki 70 kartų), kai deginių išmetimo sistema pasiekia darbinę temperatūrą (240 °C).
- 5) Atlikus NO_x koncentracijos apskaičiavimą į kiekį (mg/km) gauta, kad eksperimento metu pasirinktoje atkarpoje autobusas viršijo „Euro 6“ standarto ribą beveik 7 kartus dėl kintančios važiavimo apkrovos.
- 6) Apskaičiavus NO_x kiekį kilovatvalandžių dydžiu, gauta beveik du kartus viršyta „Euro 6“ riba 0,81 kWh > 0,46 kWh.
- 7) Atlikus stacionarų tyrimą taip pat buvo išmatuota CO ir CO₂ vertės. Jos atitinkamai svyravo 0–0,01 % ir 2,7–4 % ribose.
- 8) Vykdam stacionarų tyrimą nustatyta, kad norint kuo tiksliau išmatuoti NO_x koncentracijas ir kiekį, reikalinga didesnė variklio apkrova. Stacionariu metodu išmetimo sistema nesugeba pasiekti darbinės temperatūros, kuomet turi įsijungti neutralizavimo sistemos su „AdBlue“ skysčiu.
- 9) Pagal gautus grafikus galima teigti, kad mažesnę taršą galima pasiekti „AdBlue“ įpurškimo ir dujų neutralizavimo metodu ir taip gerokai sumažinti NO_x koncentracijas. Tačiau norint, kad užsibrėžti „Euro 6“ reikalavimai atitiktų realybę, atitinkamai reikia koreguoti ir važiavimo bei bendymų ciklus, kurie būtų kuo labiau panašūs į realųjį transporto priemonės eksploatavimą, su dažnais stabdymais ir akceleracijomis.
- 10) Siekiant palaikyti aukštą variklio išmetimo sistemos temperatūrą (tuo pačiu ir efektyvų NO_x komponento neutralizavimą) rekomenduojama šaltuoju metu važiuojančioms transporto priemonėms atlikti variklio kompiuterio kalibravimą, pritaikant variklio darbą žemoms temperatūroms (padidinant degalų tiekimą vėstant išmetimo sistemai).

Literatūra

- Artur, K., Stankevich, P., Aulin, D., & Aleksandr, B. (2019). Efficiency improvement of locomotive-type diesel engine operation due to introduction of resource-saving technologies for cleaning diesel and diesel locomotive systems. *Procedia Computer Science*, 149, 264–273. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.133>
- Demir, U., Kozan, A., & Özer, S. (2021). Experimental investigation of the effect of urea addition to fuel on engine performance and emissions in diesel engines. *Fuel*. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122578>
- Gao, J., Chen, H., Liu, Y., Laurikko, J., Li, Y., Li, T., & Tu, R. (2021). Comparison of NO_x and PN emissions between Euro 6 petrol and diesel passenger cars under real-world driving conditions. *Science of the Total Environment*, 801. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149789>
- Giechaskiel, B., Schwelberger, M., Delacroix, C., Marchetti, M., Feijen, M., Prieger, K., Andersson, S., & Karlsson, H. L. (2018). Experimental assessment of solid particle number Portable Emissions Measurement Systems (PEMS) for heavy-duty vehicles applications. *Journal of Aerosol Science*, 123, 161–170. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2018.06.014>
- Grigoratos, T., Fontaras, G., Giechaskiel, B., & Zacharof, N. (2019). Real world emissions performance of heavy-duty Euro VI diesel vehicles. *Atmospheric Environment*, 201, 348–359. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.12.042>
- Guerrero, S. E. (2014). Modeling fuel saving investments and fleet management in the trucking industry: The impact of shipment performance on GHG emissions. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 68, 178–196. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2014.05.012>
- Hernández, J. J., Rodríguez-Fernández, J., & Calle-Asensio, A. (2020). Performance and regulated gaseous emissions of a Euro 6 diesel vehicle with Lean NO_x Trap at different ambient conditions: Sensitivity to the type of fuel. *Energy Conversion and Management*, 219. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113023>
- Huang, Y., Ng, E. C. Y., Yam, Y. shing, Lee, C. K. C., Surawski, N. C., Mok, W. chuen, Organ, B., Zhou, J. L., & Chan, E. F. C. (2019). Impact of potential engine malfunctions on fuel consumption and gaseous emissions of a Euro VI diesel truck. *Energy Conversion and Management*, 184, 521–529. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.01.076>

- Kim, H. J., Jo, S., Kwon, S., Lee, J. T., & Park, S. (2022). NOX emission analysis according to after-treatment devices (SCR, LNT + SCR, SDPF), and control strategies in Euro-6 light-duty diesel vehicles. *Fuel*, 310. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122297>
- Kusakaka, K., Phiri, S. F., & Numbi, B. P. (2021). Optimal energy management of a hybrid diesel generator and battery supplying a RTG crane with energy recovery capability. *Energy Reports*, 7, 4769–4778. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.07.074>
- Lähde, T., Giechaskiel, B., Pavlovic, J., Suarez-Bertoa, R., Valverde, V., Clairotte, M., & Martini, G. (2022). Solid particle number emissions of 56 light-duty Euro 5 and Euro 6 vehicles. *Journal of Aerosol Science*, 159. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2021.105873>
- Luján, J. M., Bermúdez, V., Dolz, V., & Monsalve-Serrano, J. (2018). An assessment of the real-world driving gaseous emissions from a Euro 6 light-duty diesel vehicle using a portable emissions measurement system (PEMS). *Atmospheric Environment*, 174, 112–121. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.11.056>
- Madrazo, J., & Clappier, A. (2018). Low-cost methodology to estimate vehicle emission factors. *Atmospheric Pollution Research*, 9(2), 322–332. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.10.006>
- Mendoza-Villafuerte, P., Suarez-Bertoa, R., Giechaskiel, B., Riccobono, F., Bulgheroni, C., Astorga, C., & Perujo, A. (2017). NOx, NH3, N2O and PN real driving emissions from a Euro VI heavy-duty vehicle. Impact of regulatory on-road test conditions on emissions. *Science of the Total Environment*, 609, 546–555. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.168>
- Mwangi, J. K., Lee, W. J., Chang, Y. C., Chen, C. Y., & Wang, L. C. (2015). An overview: Energy saving and pollution reduction by using green fuel blends in diesel engines. In *Applied Energy* (Vol. 159, pp. 214–236). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.08.084>
- Papadopoulos, G., Ntziachristos, L., Tziourtzioumis, C., Keramydas, C., Lo, T. S., Ng, K. L., Wong, H. L. A., & Wong, C. K. L. (2020). Real-world gaseous and particulate emissions from Euro IV to VI medium duty diesel trucks. *Science of the Total Environment*, 731. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139137>
- Singh, T. S., Rajak, U., Verma, T. N., Nashine, P., Mehboob, H., Manokar, A. M., & Afzal, A. (2022). Exhaust emission characteristics study of light and heavy-duty diesel vehicles in India. *Case Studies in Thermal Engineering*, 29, 101709. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101709>
- Söderena, P., Laurikko, J., Weber, C., Tilli, A., Kuikka, K., Kousa, A., Väkevä, O., Venho, A., Haaparanta, S., & Nuottimäki, J. (2020). Monitoring Euro 6 diesel passenger cars NOx emissions

- for one year in various ambient conditions with PEMS and NO_x sensors. *Science of the Total Environment*, 746. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140971>
- Suarez-Bertoa, R., & Astorga, C. (2018). Impact of cold temperature on Euro 6 passenger car emissions. *Environmental Pollution*, 234, 318–329. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.10.096>
- Triantafyllopoulos, G., Dimaratos, A., Ntziachristos, L., Bernard, Y., Dornoff, J., & Samaras, Z. (2019). A study on the CO₂ and NO_x emissions performance of Euro 6 diesel vehicles under various chassis dynamometer and on-road conditions including latest regulatory provisions. *Science of the Total Environment*, 666, 337–346. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.144>
- van Dooren, S., Amstutz, A., & Onder, C. H. (2022). A causal supervisory control strategy for optimal control of a heavy-duty Diesel engine with SCR aftertreatment. *Control Engineering Practice*, 119, 104982. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2021.104982>
- Wang, T., Lin, F., Hu, J., Ke, Y., & Zhang, Y. (2017). Control strategy research of a selective catalytic reduction system for heavy-duty application. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)*, 22(5), 577–588. <https://doi.org/10.1007/s12204-017-1866-9>
- Weber, C., Sundvor, I., & Figenbaum, E. (2019). Comparison of regulated emission factors of Euro 6 LDV in Nordic temperatures and cold start conditions: Diesel- and gasoline direct-injection. *Atmospheric Environment*, 206, 208–217. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.02.031>
- Ximinis, J., Massaguer, A., Pujol, T., & Massaguer, E. (2021). Nox emissions reduction analysis in a diesel Euro VI Heavy Duty vehicle using a thermoelectric generator and an exhaust heater. *Fuel*, 301. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121029>
- Xu, F., Crawford, C., Feng, Y., Lin, Z., & Li, S. (2023). Environment-economic analysis of diesel, hybrid electric, plug-in hybrid electric trucks in China. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 117. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103661>
- Yang, J., Quan, L., & Yang, Y. (2012). Excavator energy-saving efficiency based on diesel engine cylinder deactivation technology. *Chinese Journal of Mechanical Engineering (English Edition)*, 25(5), 897–904. <https://doi.org/10.3901/CJME.2012.05.897>
- Zare, A., Stevanovic, S., Jafari, M., Verma, P., Babaie, M., Yang, L., Rahman, M. M., Ristovski, Z. D., Brown, R. J., & Bodisco, T. A. (2021). Analysis of cold-start NO₂ and NO_x emissions, and the NO₂/NO_x ratio in a diesel engine powered with different diesel-biodiesel blends. *Environmental Pollution*, 290. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118052>

Eur-lex. [žiūrėta 2021 m. gruodžio 17 d.]. Prieiga per internetą: < <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/PDF/?uri=CELEX:02007R0715-20200901&qid=1640080116555&from=LT> >

Butkus. (2007). *Vidaus degimo varikliai: mokomoji knyga* (2-oji patais. ir papild. laida.). Technika.

PRIEDAI

A priedas

Diagnostikos INSITE matuotų parametrų langai

INSITE 8.7.2.84 / DP - I-20210927-130415780 - Engine Serial Number - 22235329 - ECM Code - HX80023.01

File Edit View Tools Manage License(s) Send To Guidanz Window Help

Disconnect from ECM

Parameter Groups

- Predefined
 - All Parameters
 - Aftertreatment
 - Aftertreatment - Diesel
 - Particulate Filter
 - Aftertreatment - Diesel
 - Particulate Filter Stationary Regeneration
 - Aftertreatment - SCR
 - Driver Operation Interlock
 - ECM Information
- Parameters
 - ISB6.7 CM2350 B135B/B148B
 - CM2350A

Parameter Value Units

Accelerator Pedal Or Lever Position Sensor 2 Signal Voltage	0.56 V	
Accelerator Pedal Or Lever Position Sensor 2 Supply Voltage	5.02 V	
Accelerator Pedal or Lever Position Sensor Signal Voltage	1.13 V	
Accelerator Pedal or Lever Position Sensor Supply Voltage	5.02 V	
Active Accelerator Type	Dual Analog	
Aftertreatment Diesel Exhaust Fluid Dosing Rate	0.0 L/hr	
Aftertreatment Diesel Exhaust Fluid Dosing State	Dosing Enabled	
Aftertreatment Diesel Exhaust Fluid Dosing Temperature	14.9 °C	
Aftertreatment Diesel Exhaust Fluid Dosing Unit Heater State	Initializing	
Aftertreatment Diesel Exhaust Fluid Dosing Unit Heater Status	Off	
Aftertreatment Diesel Exhaust Fluid Dosing Unit Heater Temperature	15.4 °C	
Aftertreatment Diesel Exhaust Fluid Dosing Unit State	Initializing	
Aftertreatment Diesel Exhaust Fluid Dosing Valve Commanded Position	Closed	
Aftertreatment Diesel Exhaust Fluid Line Heater 1 Status	Off	
Aftertreatment Diesel Exhaust Fluid Line Heater 2 Status	Off	
Aftertreatment Diesel Exhaust Fluid Line Heater 3 Status	Off	
Aftertreatment Diesel Exhaust Fluid Pressure	-1.9 kPa	
Aftertreatment Diesel Exhaust Fluid Pressure Sensor Voltage	0.8 V	
Aftertreatment Diesel Exhaust Fluid Dosing		

Connected to ECM.

INSITE 8.7.2.84 / DP - I-20210927-130415780 - Engine Serial Number - 22235329 - ECM Code - HX80023.01

File Edit View Tools Manage License(s) Send To Guidanz Window Help

Disconnect from ECM

Parameter Groups

- Predefined
 - All Parameters
 - Aftertreatment
 - Aftertreatment - Diesel
 - Particulate Filter
 - Aftertreatment - Diesel
 - Particulate Filter Stationary Regeneration
 - Aftertreatment - SCR
 - Driver Operation Interlock
 - ECM Information
- Parameters
 - ISB6.7 CM2350 B135B/B148B
 - CM2350A

Parameter Value Units

Aftertreatment Diesel Exhaust Fluid Reverting Valve Position	Closed	
Aftertreatment Diesel Exhaust Fluid Tank Heating Valve Position Commanded	Closed	
Aftertreatment Diesel Exhaust Fluid Tank Level	44 percent	
Aftertreatment Diesel Exhaust Fluid Tank Level	44 percent	
Aftertreatment Diesel Exhaust Fluid Tank Level Sensor Voltage	2.5 V	
Aftertreatment Diesel Exhaust Fluid Tank Temperature	13.2 °C	
Aftertreatment Diesel Exhaust Fluid Tank Temperature	13 °C	
Aftertreatment Diesel Exhaust Fluid Tank Temperature Sensor Voltage	2.22 V	
Aftertreatment Diesel Exhaust Fluid Used	2415.5 L	
Aftertreatment Diesel Oxidation Catalyst Intake Temperature	25.2 °C	
Aftertreatment Diesel Particulate Filter Active Regeneration Elapsed Time	0000027.51 HHHHHH.MM	
Aftertreatment Diesel Particulate Filter Differential Pressure	-0.19 kPa	
Aftertreatment Diesel Particulate Filter Differential Pressure Sensor Signal Voltage	0.63 V	
Aftertreatment Diesel Particulate Filter Intake Temperature	27.2 °C	
Aftertreatment Diesel Particulate Filter Operating State	Inactive	
Aftertreatment Diesel Particulate Filter Outlet Pressure	-0.03 kPa	
Aftertreatment Diesel Particulate Filter Outlet Pressure Sensor Signal Voltage	0.69 V	
Aftertreatment Diesel Particulate Filter Outlet Temperature	21.6 °C	

Connected to ECM.

INSITE 8.7.2.84 / DP - I-20210927-130415780 - Engine Serial Number - 22235329 - ECM Code - HX80023.01

Parameter Groups	Parameter	Value	Units
Predefined	Aftertreatment Diesel Particulate Filter Passive Regeneration Elapsed Time	0000376.43	HHHHHH MM
All Parameters	Aftertreatment Diesel Particulate Filter Regeneration Permit Switch Status	On	
Aftertreatment - Diesel Particulate Filter	Aftertreatment Diesel Particulate Filter Regeneration Start Switch Status	Off	
Aftertreatment - Diesel Particulate Filter Stationary Regeneration	Aftertreatment Diesel Particulate Filter Soot Load Status	Normal	
Aftertreatment - SCR	Aftertreatment High Exhaust System Temperature Lamp Status	Off	
Driver Operation Interlock	Aftertreatment Hydrocarbon Adsorption Level	1900	s
ECM Information	Aftertreatment Intake NOx	0	ppm
	Aftertreatment Intake NOx Corrected	0	ppm
	Aftertreatment Intake NOx Reading Stable	Reading Not Available	
	Aftertreatment Outlet NOx	0	ppm
	Aftertreatment Outlet NOx Corrected	0	ppm
	Aftertreatment Outlet NOx Reading Stable	Reading Not Available	
	Aftertreatment SCR Intake Temperature	23	°C
	Aftertreatment SCR Outlet Temperature	28	°C
	Amber Warning Lamp Status	Off	
	Barometric Air Pressure	102.2	kPa
	Barometric Air Pressure Sensor Signal Voltage	4.00	V
	Battery Voltage	24.6	V
	Brake Pedal Position Switch	Released	
	Calibration Software Phase	23324605	
	Crankcase Pressure	0.0	kPa
	Crankcase Pressure Sensor Signal Voltage	1.50	V
	Cruise Control Accelerate Switch	Off	
	Cruise Control Coast Switch	Off	
	Cruise Control On/Off Switch	Off	
	Cruise Control Reference Speed	0	km/hr

Connected to ECM.

INSITE 8.7.2.84 / DP - I-20210927-130415780 - Engine Serial Number - 22235329 - ECM Code - HX80023.01

Parameter Groups	Parameter	Value	Units
Predefined	Cruise Control Set / Resume Switch	Neutral	
All Parameters	Diagnostic Test Mode Switch	Off	
Aftertreatment	Diesel Exhaust Fluid Line Heater 1 State	Off	
Aftertreatment - Diesel Particulate Filter	Diesel Exhaust Fluid Line Heater 2 State	Off	
Aftertreatment - Diesel Particulate Filter Stationary Regeneration	Diesel Exhaust Fluid Line Heater 3 State	Off	
Aftertreatment - SCR	Diesel Exhaust Fluid Tank Heater State	Off	
Driver Operation Interlock	ECM Distance	408268.4	km
ECM Information	ECM Key Off Time	70	s
	ECM Real Time	27-rugs.-2021 14:04:00	
	ECM Time (Key On Time)	015135:57:24	HHHHHH MM:SS
	EGR Cooler Efficiency	100	percent
	EGR Differential Pressure	-0.063	kPa
	EGR Differential Pressure Sensor Signal Voltage	1.00	V
	EGR Temperature	19.1	°C
	EGR Temperature Sensor Signal Voltage	4.94	V
	EGR Valve Position Commanded	0	percent
	EGR Valve Position Measured (Percent Open)	0	percent
	EGR Valve Position Sensor Signal Voltage	0.00	V
	Engine Distance	408268.4	km
	Engine Coolant Level	Normal	
	Engine Coolant Temperature	23.2	°C
	Engine Coolant Temperature Sensor Signal Voltage	3.31	V
	Engine Hours	013890:43:25	HHHHHH MM:SS
	Engine Oil Pressure	0.0	kPa
	Engine Oil Pressure Sensor Signal Voltage	0.88	V
	Engine Oil Pressure Sensor Type	Analog	
	Engine Operating State	Engine Stop	
	Engine Protection Derate Suppress	Disable	
	Engine Protection Shutdown Override Switch	Off	
	Engine Speed	0	RPM

Connected to ECM.

INSITE 8.7.2.84 / DP - I-20210927-130415780 - Engine Serial Number - 22235329 - ECM Code - HX80023.01

Parameter Groups	Parameter	Value	Units
Predefined	Engine Speed Backup Sensor State	High Input Voltage	
All Parameters	Engine Speed Backup Synchronization State	No Pulse	
Aftertreatment	Engine Speed Main Sensor Signal State	Out of Range	
Aftertreatment - Diesel	Engine Speed Main Sensor State	High Input Voltage	
Particulate Filter	Engine Speed Main Synchronization State	No Pulse	
Aftertreatment - Diesel	Engine Speed Sensor Active	Main	
Particulate Filter Stationary Regeneration	Engine Speed Status	Stopped	
Aftertreatment - SCR	Engine Torque Mode	Other	
Driver Operation Interlock	Engine Warmup Protection Status	Active	
ECM Information	Exhaust Gas Pressure	108.59	kPa
Parameters	Exhaust Gas Pressure Sensor Signal Voltage	0.94	V
ISB6.7 CM2350 B135B/B148B	Exhaust Volumetric Flowrate	0.00	m3/s
CM2350A	Fan Control Multiplexed Request Level	0	percent
	Fuel Flow Rate Commanded	0.00	L/hr
	Fuel Pump Actuator Commanded Current	0.00	mA
	Fuel Pump Actuator Duty Cycle	3	percent
	Fuel Pump Actuator Measured Current	62.50	mA
	Fuel Pump Actuator Position	Open	
	Fuel Rail Pressure Commanded	873	bar
	Fuel Rail Pressure Measured	13	bar
	Fuel Rail Pressure Sensor Signal Voltage	0.53	V
	Idle Shutdown Override Time Remaining	00:00	MM:SS
	Injector Boost Supply Voltage Commanded	50.0	V
	Injector Boost Supply Voltage Measured	49.3	V
	Instantaneous Fuel Economy	0.0	L/100 km
	Intake Air Heater 1	Off	
	Intake Air Heater 2	Off	
	Intake Manifold Air Temperature	22.9	°C
	Intake Manifold Air Temperature Sensor Signal Voltage	1.38	V
	Intake Manifold Pressure	0.0	kPa

INSITE 8.7.2.84 / DP - I-20210927-130415780 - Engine Serial Number - 22235329 - ECM Code - HX80023.01

Parameter Groups	Parameter	Value	Units
Predefined	Intake Manifold Pressure Sensor Signal Voltage	1.13	V
All Parameters	J1939 Engine Source Address	0	
Aftertreatment	J1939 Stop Broadcast Source Address One	0	
Aftertreatment - Diesel	J1939 Stop Broadcast Source Address Three	0	
Particulate Filter	J1939 Stop Broadcast Source Address Two	0	
Aftertreatment - Diesel	Keyswitch	On	
Particulate Filter Stationary Regeneration	Keyswitch Off Counts	14721	
Aftertreatment - SCR	Keyswitch On Counts	14722	
Driver Operation Interlock	Multiplexed Accelerator Error Limp Home Switch State	Accelerator Pressed	
ECM Information	OEM Ambient Air Temperature	17	°C
Parameters	OEM Ambient Air Temperature Sensor Signal Voltage	2.13	V
ISB6.7 CM2350 B135B/B148B	Parking Brake Switch State	On	
CM2350A	Percent Accelerator Pedal or Lever	0	percent
	Percent Load	0	percent
	PTO Status	Inactive	
	Red Stop Lamp Status	Off	
	Remote PTO Switch	Off	
	SCR Catalyst Intake Temperature	23.2	°C
	Sensor Supply 1	5.00	V
	Sensor Supply 2	5.00	V
	Sensor Supply 3	5.00	V
	Sensor Supply 4	5.00	V
	Sensor Supply 5	5.00	V
	Sensor Supply 6	5.00	V
	Stop Start Automatic Shutdown Counts	0	
	Total Diesel Exhaust Fluid Used	2415.5	L
	Transmission Gear Ratio	16.00	
	Turbocharger Actuator Position Commanded (Percent Closed)	79	percent

Connected to ECM.

INSITE 8.7.2.84 / DP - I-20210927-130415780 - Engine Serial Number - 22235329 - ECM Code - HX80023.01

File Edit View Tools Manage License(s) Send To Guidant Window Help

Disconnect from ECM

Fault Codes

Data Monitor/Logger

ECM Diagnostic Tests

Advanced ECM Data

Features and Parameters

Calibration Selection

Work Orders

ECM Images

ECM Templates

Trip Information

Audit Trail

Inquire Data Extraction

OBD Monitors

Expert Diagnostic System

J1939 DataLink

Connected to ECM.

Parameter Groups

Predefined

All Parameters

Aftertreatment

Aftertreatment - Diesel

Particulate Filter

Aftertreatment - Diesel

Particulate Filter Stationary Regeneration

Aftertreatment - SCR

Driver Operation Interlock

ECM Information

Parameters

ISB6.7 CM2350 B135B/B148B

CM2350A

Parameter	Value	Units
PTO Status	Inactive	
Red Stop Lamp Status	Off	
Remote PTO Switch	Off	
SCR Catalyst Intake Temperature	23.2	°C
Sensor Supply 1	5.00	V
Sensor Supply 2	5.00	V
Sensor Supply 3	5.00	V
Sensor Supply 4	5.00	V
Sensor Supply 5	5.00	V
Sensor Supply 6	5.00	V
Stop Start Automatic Shutdown Counts	0	
Total Diesel Exhaust Fluid Used	2415.5	L
Transmission Gear Ratio	16.00	
Turbocharger Actuator Position Commanded (Percent Closed)	79	percent
Turbocharger Actuator Position Measured (Percent Closed)	79	percent
Turbocharger Actuator Position Sensor Signal Voltage	0.00	V
Turbocharger Actuator Type	Electric	
Turbocharger Compressor Intake Air Temperature	18.5	°C
Turbocharger Compressor Intake Air Temperature Sensor Signal Voltage	1.56	V
Turbocharger Compressor Outlet Air Temperature (Calculated)	21.0	°C
Turbocharger Speed	0	RPM
Vehicle Speed	0	km/hr
Wait To Start Lamp Status	Off	
Water In Fuel Detected Total Accumulated Time	000000.00.00	HH:MM:SS
Water In Fuel Sensor Signal Voltage	3.1	V
Water In Fuel State	No Water Detected	

ECM Image



VILNIUS
COLLEGE OF
TECHNOLOGIES
AND DESIGN

Certificate

Nº. TF-48

It is hereby certified that

Augustas Ivaško

participated

in Vilnius Technology and Design College

CONFERENCE TECHNICAL INNOVATIONS 2023:

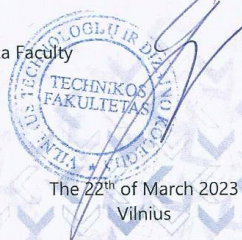
TOWARDS EUROPE'S GREEN COURSE

and made the report

„RESEARCH OF ECOLOGICAL PARAMETERS OF HEAVY DUTY VEHICLES DIESEL ENGINES”

Dean of Technica Faculty

PhD Gražina Strazdienė



The 22nd of March 2023
Vilnius

C priedas



VILNIAUS TECHNOLOGIJŲ IR DIZAINO KOLEGIJA

Viešoji įstaiga, Antakalnio g. 54, LT-10303 Vilnius, tel. (8 5) 234 1524,
faks. (8 5) 234 3769, el. p. info@vtdko.lt, interneto svetainė <http://www.vtdko.lt>
Duomenys kaupiami ir saugomi Juridinių asmenų registre, kodas 111967673

Augustui Ivaško

2023-05-17 Nr. 7-126

DĖL STRAIPSNIO PUBLIKAVIMO

Autorių Augusto Ivaško (Vilniaus Gedimino technikos universitetas), Sauliaus Nagurno (Vilniaus Gedimino technikos universitetas), Juriiaus Zarankos (Vilniaus Gedimino technikos universitetas) straipsnis *SUNKIASVORIŲ TRANSPORTO PRIEMONIŲ DYZELINIŲ VARIKLIŲ EKOLOGINIŲ PARAMETRŲ TYRIMAS* priimtas publikuoti moksliniame žurnale „Technologijos ir menas. Tyrimai ir aktualijos“ (ISSN 2029-400X) 2023/14.

Vyr. redaktorius

dr. Vytenis Surblys