



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Turbodyzelinių vidaus degimo variklių išmetimo kolektorių dujų srauto pralaidumo tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Gabrielius Tamošaitis
Projekto autorius

Doc. Sigitas Kilikevičius
Vadovas

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Turbodyzelinių vidaus degimo variklių išmetimo kolektorių dujų srauto pralaidumo tyrimas

Baigiamasis magistro projektas
Transporto priemonių inžinerija (6211EX021)

Gabrielius Tamošaitis

Projekto autorius

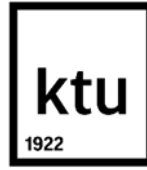
Doc. Sigitas Kilikevičius

Vadovas

Doc. Robertas Keršys

Recenzentas

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Gabrielius Tamošaitis

Turbodyzelinių vidaus degimo variklių išmetimo kolektorių dujų srauto pralaidumo tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Gabrielius Tamošaitis

Patvirtinta elektroniniu būdu

Tamošaitis, Gabrielius. Turbodyzelinių vidaus degimo variklių išmetimo kolektorių dujų srauto pralaidumo tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas Doc. Sigitas Kilikevičius; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Transporto inžinerija (E12), Inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: išmetimo kolektorius, išmetimo dujų srauto pralaidumas.

Kaunas, 2023. 40 p.

Santrauka

Išmetimo dujų pralaidumas yra itin svarbus faktorius lemiantis dyzelinių vidaus degimo variklių galios charakteristikas. Kolektorius yra vienas iš kritinių komponentų nulemiančių variklio efektyvumą, ekologiškumą, kadangi būtent jis nusako kaip efektyviai degimo produktai yra pašalinami iš variklio. Kuriant išmetimo kolektorius ir siekiant išgauti kuo geresnius ekologijos ir efektyvaus veikimo rezultatus, reikalingos ganėtinai plačios apimties tyrimų analizės. Dažniausiai pasitelkiami yra skaičiuojamieji baigtinių elementų modeliai, kurių pagalba yra sukuriamos optimalios formos kolektoriai, kurie tolimesniame analizės etape, programinių imitacijų pagalba, yra testuojami. Baigus skaitinės analizės dalį, toliau yra vykdomi ir eksperimentiniai tyrimai, kurie patvirtina ar papildo modelių imitacijos metu gautus rezultatus. Esminiai faktoriai siekiant sukurti kuo efektyvesnius išmetimo kolektorius yra laikomi kolektoriaus forma, kanalų ilgiai, staigių kanalo krypties pokyčių buvimas. Tiksliai išanalizavus šiuos geometrinius parametrus ir jų daromą įtaką, galima kurti efektyvesnius ir galingesnius vidaus degimo variklius.

Siekiant atitikti vis griežtėjančius ekologinius standartus be variklio tiekiamos galios sumažėjimo, transporto priemonių ir jų dalių gamintojai atlieka būtinas vidaus degimo varikliams modifikacijos. Šiuo atveju dažnai modifikuoti pasirenkami būtent išmetimo kolektorius, nes tai yra variklio komponentas, kuriam modifikacijos galimos atlikti sąlyginai paprastai.

Šiame darbe atliekami modeliavimo ir eksperimentiniai tyrimai dviem pasirinkto gamintojo išmetimo kolektoriams, kurių forma ir kanalų ilgiai skiriasi. Skaitinė analizė atliekama naudojantis „Solid Works“ programa, o eksperimentiniams tyrimams atlikti yra suprojektuojama ir pagaminama slėgiams skirtinguose kolektoriaus vietose matuoti skirta įranga. Išmetimo dujų slėgiai matuojami ties kiekvieno kolektoriaus kanalo įėjimo anga ir iškart už turbinos montavimo plokštumos.

Atlikus tyrimus gauta, jog keičiantis išmetimo kolektorių kanalų ilgiams ar kanalo geometrijai atsiranda ir kanalų įeinančių ir išeinančių dujų slėgių skirtumai. Staigus geometrijos pokytis ties kolektoriaus dujų išėjimo anga padidina kanalų slėgių skirtumus visame kolektoriuje, o ne tik specifiniuose kanaluose.

Atlikus skaitinę baigtinių elementų modelio analizę ir atlikus eksperimentinius tyrimus, nustatyta, jog išmetimo dujas efektyviau pašalina kolektorius turintis mažiau kanalų geometrijos pokyčių ir vienesnius kanalų ilgius.

Tamošaitis, Gabrielius. Research on the Gas Flow Capacity of Exhaust Manifolds for Turbo-diesel Internal Combustion Engines. Masters's Final Degree Project / supervisor Assoc. Prof. Sigitas Kilikevičius; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Transport Engineering (E12), Engineering Science.

Keywords: exhaust manifold, exhaust gas flow capacity.

Kaunas, 2023. 40 p.

Summary

The permeability of the is an especially important factor in determining the power characteristics of diesel internal combustion engines. The exhaust manifold is one of the critical components that determine efficiency of an engine and environmental impact, because it states how efficiently combustion products are expelled from the engine. When it comes to obtaining the best possible results in terms of ecology while at the same time not affecting efficiency of engine, extensive research analyzes are required. The most used are computational models of finite elements, with which help, exhaust manifolds of optimal shape are created. These parts are tested in the further analysis stage, with the help of software simulations. After the completion of the numerical analysis, experimental studies are also carried out, which confirm or supplement the results obtained during the simulation part of analysis. The shape of the collector, the length of the channels, and the presence of sudden changes in the direction of the channel are considered essential factors to create the most efficient exhaust manifold. By accurately analyzing these geometric parameters and their influence, it is possible to develop more efficient and powerful internal combustion engines.

Manufacturers of vehicles and their parts make the necessary modifications to internal combustion engines in order to meet the increasingly stringent ecological standards without reducing the power delivered by the engine. In this case, it is often the exhaust manifold part that is chosen to be modified, as it is the component of an engine that can be modified relatively simply.

In this project, simulations and experimental studies are carried out for two exhaust manifolds of a selected manufacturer with different shapes and channel lengths. Numerical analysis is performed using the “Solid Works” program, equipment for measuring the pressures at different points of the manifold is designed and manufactured for experimental studies. Exhaust gas pressures are measured at the inlet of each manifold channel and immediately behind the turbine mounting plane.

As a result of this research, it was found that when the length of the exhaust manifold channels or the channel geometry changes, the differences in the gas pressures entering and leaving the channels appear. The sudden change in geometry at the manifold gas outlet increases channel pressure differences throughout the manifold, not just only in specific channels.

After the numerical analysis of the finite element model and the experimental studies, it was found that the exhaust gas is removed more efficiently by the exhaust manifold with less changes in channel geometry and more even channel lengths.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Santrumpų ir terminų sąrašas	10
Įvadas.....	11
1. Literatūros apžvalga	12
1.1. Išmetimo kolektoriai.....	12
1.1.1. Išmetimo kolektoriaus paskirtis.....	12
1.1.2. 4-1 tipas	13
1.1.3. 4-2-1 tipas	13
1.1.4. Hibridinis, modelis	14
1.1.5. Kiti svarbūs išmetimo kolektoriaus parametrai.....	14
1.2. Dujų judėjimas ir savybės	15
1.2.1. Reinoldso skaičius	15
1.2.2. Laminarinis ir turbulentinis dujų judėjimas	15
1.2.3. Bernulio dėsnis	16
1.2.4. Vientisumo lygtis.....	16
1.2.5. Pulsuojantis dujų srautas vamzdyje.....	17
2. Problemos analizė.....	19
3. Skaitiniai tyrimai.....	21
3.1. Skaitinės analizės metodika.....	21
3.2. Skaitinės analizės rezultatai.....	23
3.2.1. Pirmojo kolektoriaus tyrimas	23
3.2.2. Antrojo kolektoriaus tyrimas	24
3.3. Analizių palyginimas.....	25
4. Eksperimentiniai išmetimo kolektorių tyrimai.....	26
4.1. Eksperimentinio tyrimo metodika	26
4.1.1. Tyrime naudojamas mikrovaldiklis.....	26
4.1.2. Jutiklių parinkimas	27
4.1.3. Jutiklio kalibravimas	27
4.1.4. Tyrimo įrangos elektrinės dalies surinkimas.....	28
4.1.5. Mechaninės dalies projektavimas.....	29
4.2. Įrangos montavimas.....	30
4.3. Eksperimento rezultatai	31
4.3.1. Pirmojo kolektoriaus tyrimas	31
4.3.2. Antrojo kolektoriaus tyrimas	33
4.3.3. Pirmojo ir antrojo kolektoriaus tyrimų palyginimas	35
Išvados	37
Literatūros sąrašas	38
Priedai.....	41
1 priedas. Pirmojo tiriamojo kolektoriaus brėžinys.....	41
2 priedas. Antrojo tiriamojo kolektoriaus brėžinys	43
3 priedas. „Arduino“ kodas jutiklio lygčiai nustatyti	45
4 priedas. „Arduino“ kodas 5 jutiklių slėgiui matuoti.....	46

5	priedas. Pirmojo kolektoriaus bandymo rezultatai	48
6	priedas. Antrojo kolektoriaus bandymo rezultatai.....	49
7	priedas. Apskaičiuotas kolektorių slėgių skirtumas	50

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Sudarytos 4 cilindrų dujų tūrio srauto projekcijos pagal ciklo laiko žymą	22
---	----

Paveikslų sąrašas

1 pav. Išmetimo kolektoriaus sandara [4]	12
2 pav. 4-1 tipo išmetimo kolektorius [8]	13
3 pav. 4-2-1 tipo išmetimo kolektorius [8].....	13
4 pav. Kairėje pateiktas Euro 4 standarto kolektorius, o dešinėje Euro 3 standarto kolektorius [12],[13].....	14
5 pav. Laminarinis dujų judėjimas[17]	15
6 pav. Turbulentinis dujų judėjimas[17]	16
7 pav. Bernulio lygties vizualizacija [1]	16
8 pav. Vientisumo lygties vizualizacija [1].....	17
9 pav. Deano sūkuriai [21].....	17
10 pav. Pasirinkto automobilio išmetimo kolektorius [26].....	19
11 pav. Palyginimui tiriamas išmetimo kolektorius. [29].....	20
12 pav. Pirmasis tiriamo kolektoriaus modelis	21
13 pav. Antrasis tiriamo kolektoriaus modelis.....	21
14 pav. Į „Solid Works“ programą įvedamos pirmojo cilindro išmetamųjų dujų tūrio srauto vertės	23
15 pav. „Solid Works“ programoje užduodamas įeinantis srautas ir pasipriešinimas	23
16 pav. Išmetimo kolektoriaus dujų srauto slėgio vektorių vaizdas pirmajame kolektoriuje	24
17 pav. Išmetimo kolektoriaus dujų srauto greičio vektorių vaizdas pirmajame kolektoriuje	24
18 pav. Išmetimo kolektoriaus dujų srauto slėgio vektorių vaizdas antrajame kolektoriuje	25
19 pav. Išmetimo kolektoriaus dujų srauto greičio vektorių vaizdas antrajame kolektoriuje.....	25
20 pav. Tyrimo eskizo modelis	26
21 pav. Slėgio jutiklis su vamzdeliu [35].....	27
22 pav. Įranga, naudojama jutiklio lygties nustatymui	28
23 pav. Slėgio priklausomybės nuo mikrovaldiklio reikšmės	28
24 pav. Elektrinė schema	29
25 pav. Eskizo sudarymas „Solid Works“	29
26 pav. Surinktų detalių vaizdas	30
27 pav. Pirmojo išmetimo kolektoriaus tyrimas, čia 1 – slėgio jutiklis su vamzdeliu, 2 – projekto metu kurta tyrimo įranga, 3 – išmetimo kolektorius, 4 – turbina	30
28 pav. Antrojo išmetimo kolektoriaus tyrimas, čia 1 – slėgio jutiklis su vamzdeliu, 2 – projekto metu kurta tyrimo įranga, 3 – išmetimo kolektorius, 4 – turbina	31
29 pav. Tyrimo aplinka	31
30 pav. Slėgių skirtumo kitimas 1 išmetimo kanale	32
31 pav. Slėgių skirtumo kitimas 2 išmetimo kanale	32
32 pav. Slėgių skirtumo kitimas 3 išmetimo kanale	32
33 pav. Slėgių skirtumo kitimas 4 išmetimo kanale	33
34 pav. Slėgių skirtumo kitimas 1 išmetimo kanale	33
35 pav. Slėgių skirtumo kitimas 2 išmetimo kanale	34
36 pav. Slėgių skirtumo kitimas 3 išmetimo kanale	34
37 pav. Slėgių skirtumo kitimas 4 išmetimo kanale	35
38 pav. Abiejų kolektorių kanalų slėgių skirtumo diagrama	35

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

EGT – išmetimo dujų temperatūra;

EMP – išmetimo kolektoriaus slėgis;

GND – mikrovaldiklio įžeminimo kontaktas;

5V – mikrovaldiklio atiduodamas 5 voltų įtampos signalas, skirtas jutiklių ar kitų komponentų maitinimui;

A0-A4 – analoginio signalo kontaktai, skirti skaityti ateinančius analoginius signalus iš jutiklių ar kitų modulių.

Terminai:

Spūdumas – dujų gebėjimas keisti tūrį ir tankį, veikiant išoriniam slėgiui arba temperatūrai [1].

Klampumas – dujų molekulių tarpusavio trinties jėgų veikimas [1].

Ivadas

Vidaus degimo variklio projektavimo ir galios didinimo metu yra labai svarbu, jog patobulintas variklis sugebėtų kuo greičiau ir efektyviau pašalinti degimo metu susidariusius pašalinius produktus. Nors projektavimo metu reikalinga įvertinti variklio dujų skirstymo mechanizmo kumštelių charakteristikas, jų padėties kampas, vožtuvų ir variklio galvutės kanalų dydžius, tačiau be šių charakteristikų taip pat būtina įvertinti ir išmetimo kolektorių.

Išmetimo kolektorius žymiai prisideda prie vidaus degimo variklio kokybiškumo, kadangi viena jo svarbiausių savybių ir yra sugebėjimas greitai ir efektyviai iš vidaus degimo variklio pašalinti išmetamąsias dujas. Tai svarbu, nes užlaikytos dujos gali sukelti neigiamas pasekmes variklyje: atsiranda galios trūkumas, o esant ypač blogam pralaidumui, galimi ir pagrindiniai variklio komponentų gedimai. Vienas iš pagrindinių padarinių, sukeliama blogo išmetamųjų dujų pralaidumo, yra išmetimo dujų temperatūros aukštėjimas, o tai laikoma neigiama savybe todėl, nes ilgai gali prasilydyti stūmokliai, esantys vidaus degimo variklyje.

Baigiamojo projekto metu tiriami to paties automobilių gamintojo išmetimo kolektoriai skirti giminingos kartos dyzeliniams vidaus degimo varikliams. Darbe siekiama iširti kritines šių kolektorių vietas, darančias didžiausią neigiamą poveikį dujų srauto pralaidumui. Gauti tyrimų rezultatai palyginami tarpusavyje ir atliekamas tyrimas su savadarbiu išmetimo kolektoriumi, o rezultatai palyginami su gamyklinių išmetimo kolektorių charakteristikomis.

Projekto tikslas – iširti skirtingos konfigūracijos išmetimo kolektorių dujų srautus ir nustatyti geriausią išmetimo dujų pralaidumą turintį kolektorių.

Projekto uždaviniai:

1. išnagrinėti išmetimo kolektorių paskirtį, sandarą, tipus ir jų dujų srautų savybes;
2. sukurti skirtingų formų kolektorių skaičiuojamuosius baigtinių elementų modelius ir atlikti srauto modeliavimą esant vienodoms sąlygoms;
3. suprojektuoti ir pagaminti eksperimentinę įrangą, iširti skirtingų formų išmetimo kolektorių dujų srautus;
4. palyginti modeliavimo ir eksperimentinio tyrimo rezultatus, ir nustatyti geriausią išmetimo dujų pralaidumą turintį kolektorių.

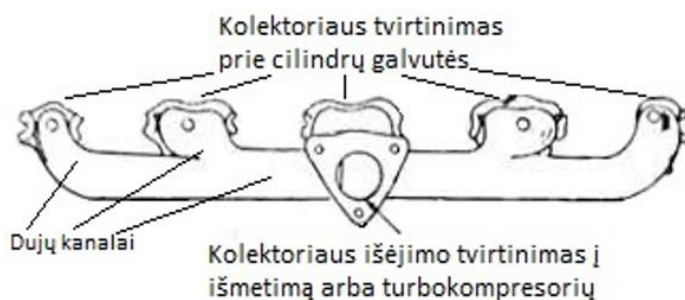
1. Literatūros apžvalga

1.1. Išmetimo kolektoriai

1.1.1. Išmetimo kolektoriaus paskirtis

Vidaus degimo variklio išmetimo kolektoriaus paskirtis yra surinkti išmetamąsias dujas iš visų variklio cilindrų ir nukreipti jas į išmetimo vamzdyną arba į turbokompresorių, kuriuo yra aprūpinti beveik visi šiuolaikiniai dyzeliniai automobiliai ir didelė dalis benzininių automobilių.

Išmetimo kolektorių sudaro tvirtinimo prie cilindrų galvutės vieta, dujų nukreipimo kanalai ir turbokompresoriaus tvirtinimas [2], išmetimo kolektoriaus sandara pavaizduota 1 paveiksle. Kadangi išmetimo kolektorius yra pirmoji dalis per kurią praeina aukštos temperatūros išmetimo dujos, ši detalė dirba itin sunkiomis sąlygomis atlaikydama, kai kuriais atvejais, ir didesnę nei 900 laipsnių pagal Celsijų siekiančią išmetimo dujų temperatūrą. Taip yra, nes dauguma dyzelinių automobilių dirba riebesniu mišiniu: taip, kad jutiklio ribose oro ir degalų mišinio santykis, žymimas λ , siektų 0,9. Tokiu būdu yra išgaunamas perteklinio kuro vėsinimo efektas, kai dujų degimo temperatūra yra mažesnė nei vidaus degimo varikliui dirbant idealiomis oro ir degalų mišinio sąlygomis, kai λ yra lygi 1. Kai oro ir dujų mišinio santykis yra idealus, temperatūra išmetimo kolektoriuje gali perlipti ir 1000 laipsnių pagal Celsijų, kas nurodo, jog daugelio vidaus degimo variklio komponentų medžiagų tobulinimas yra neišvengiamas [3].



1 pav. Išmetimo kolektoriaus sandara [4]

Išmetimo dujos judėdamos iš vidaus degimo variklio į turbokompresorių yra pulsuojančios, o pats dujų srautas yra turbulentinis, tai reiškia, jog dujų dalelės juda netvarkingai ir be aiškios trajektorijos. Dujos turbiną pasieka perėjusios sudėtingų formų išmetimo kolektorių, kur išcentrinės, inercinės ir dujų klamos jėgos pavirsta į nesimetrinį oro srautą. Be to, išmetimo kolektoriuje, dėl šių jėgų ir dujų srauto pulsacijos, atsirandančios dėl variklio darbo taktų, susidaro dujų srauto sūkuriai [5].

Išmetimo kolektoriaus tikslas yra užtikrinti gerą išmetamųjų dujų pralaidumą. Esant blogam dujų srauto pralaidumui ne visi degimo produktai gali palikti cilindrą po išmetimo takto, dėl ko įsiurbimo takto metu bus įsiurbta mažiau oro ir variklis dirbs nebeefektyviai. Tokiu atveju, dėl padidėjusių EGT [6] ir EMP, kyla rizika pažeisti arba sugadinti kitus vidaus degimo variklio komponentus ar sistemas [7].

Yra išskiriamos trys pagrindinės išmetimo kolektorių rūšys, kurios iš esmės skiriasi savo dujų kanalų formomis: 4-1, 4-2-1 ir hibridinis.

1.1.2. 4-1 tipas

Kolektorius kur atskiri keturi vamzdžiai susijungia į vieną kolektorių, vadinamas 4-1, pavaizduotas 2 paveiksle. Toks kolektoriaus tipas gali būti pritaikomas ir koreguojamas pagal vidaus degimo variklį. Bendriniu atveju, 4-1 kolektorius yra skirtas keturių cilindų vidaus degimo varikliui, tačiau jei turėsime šešių ar 5 cilindų variklį, tipas bus atitinkamai 6-1 ir 5-1. Tai reiškia, jog pats kolektoriaus tipas modifikuojamas pagal vidaus degimo variklio cilindų skaičių, tačiau pagrindinis principas yra išlaikomas, tai, jog visi cilindrai galiausiai susijungia į vieną kolektorių.



2 pav. 4-1 tipo išmetimo kolektorius [8]

Šio tipo kolektoriai pasižymi tuo, jog atskirų cilindų išmetamųjų dujų vamzdžiai yra vienodo ilgio, tam kad būtų užtikrintas tolygus išmetamųjų dujų srautas kiekvienam cilindui. Dėl šios priežasties įprastai tokie išmetimo kolektoriai turi ganėtinai ilgus vamzdžius. Su šia konstrukcija užtikrina kad išmetimo ir energijos pulsai būtų maksimalūs [9]. Kadangi visi išmetimo kanalai šioje konstrukcijoje atskiri ir nesikerta tarpusavyje užtikrinamas vienodas žemas dujų srautas nuo pat variklio išmetimo vožtuvo iki išmetimo kolektoriaus. Tokio tipo išmetimo kolektoriai dėl savo savybių naudojami aukštų sūkių vidaus degimo varikliuose, kur išmetamųjų dujų srautas itin didelis.

1.1.3. 4-2-1 tipas

Antrasis išmetimo kolektorių tipas yra 4-2-1, pavaizduotas 3 paveiksle.



3 pav. 4-2-1 tipo išmetimo kolektorius [8]

Šiam tipui reikalingi trumpesni išmetimo kanalai, kadangi dujos iš keturių cilindų poromis po du susijungia į vieną kanalą, o antriniai du kanalai susijungia į kolektorių. Šio kolektoriaus tikslas yra sujungti po du priešingai pagal variklio darbo taktus veikiančius cilindrus ir šias poras sujungti į galinį kolektorių. 4-2-1 tipo kolektorius, taip pat kaip ir 4-1 kolektorius, sujungia cilindų išmetamąsias dujas taip, kad susidarytų žemo dujų slėgio efektas nuo vožtuvų iki išmetimo iš kolektoriaus. Kadangi du cilindrai yra sujungti priešingo takto poromis, pirmojo poros cilindro dujų srautas praėjęs poros sujungimo tašką sukurs žemo slėgio zoną antrajam poros cilindro dujų srautui ir taip šis srautas bus greičiau pašalintas iš kanalo. Visa tai nutinka dėl nepastovaus dujų išmetimo srauto sukurto žemo slėgio efekto po išmetimo vožtuvo užsidarymo.

1.1.4. Hibridinis, modelis

Praktiškai neįmanoma sukurti išmetimo kolektoriaus kuris būtų vienodai efektyvus visame vidaus degimo variklio sūkių diapazone [10]. Dėl šios priežasties daugelio kasdienių automobilių išmetimo kolektoriai yra gaminami paprastų formų siekiant talpumo ir ekonominių naudų jie gaminami kuo mažesni ir stengiamasi, jog geriausiai atliktų savo funkciją vidutinių sūkių diapazone [11]. Ganėtinai neseniai gamykliniuose automobiliuose pradėti montuoti išmetimo kolektoriai, kurie turi dujų srauto kreipiamąją, kad dujų srautai tarp cilindų kirstųsi kuo mažiau.

Galime pavyzdžiu laikyti BMW automobilių gamintoją, kuris 3 l darbinio tūrio dyzelinių variklių modeliams naudoja skirtingas išmetimo kolektorių konstrukcijas, pateiktas 4 paveiksle.



4 pav. Kairėje pateiktas Euro 4 standarto kolektorius, o dešinėje Euro 3 standarto kolektorius [12, 13]

Šios konstrukcijos išskiriamos į Euro 3 ir Euro 4 standartus, 4 paveiksle kairėje pateiktas Euro 4 standarto kolektorius, o dešinėje Euro 3 standarto kolektorius. Euro 3 standarto kolektorius yra 6-1 tipo, o Euro 4 turi papildomas kreipiamąsias viduj, nors abiejų kolektorių tvirtinimo taškai yra identiški, jų gamybos procesas technologiškai skiriasi. Euro 4 tipo konstrukcijoje panaudotos kreipiamosios leidžia efektyviau valdyti dujų srautą nei Euro 3 tipo konstrukcija, todėl galima priimti, jog Euro 4 tipo kolektorius yra našesnis.

1.1.5. Kiti svarbūs išmetimo kolektoriaus parametrai

Nors išmetimo kolektoriai išskiriami pagal savo konstrukciją, yra nemažai kitų parametru, kurie apriboja kolektorių tipus ir savybes. Itin svarbus yra naudojamų išmetimo kanalų ar vamzdžių skersmuo [14]. Didesnis skersmuo ne visada nereiškia geresnį dujų srautą, kadangi dėl didelio kanalų skersmens sumažėja išmetamųjų dujų srautas, dėl to gali padidėti srauto turbulentiškumas.

Pasirenkant išmetimo kolektoriaus kanalų skersmenį svarbu žinoti norimus pasiekti rezultatus, pavyzdžiui, norint išlaikyti didelį dujų srautą ir išgauti vakuomo efektą kanaluose, patartina rinktis mažesnio skersmens kanalus, o siekiant išgauti didesnę galią esant didelėms variklio apsukoms, kada dujų srautas didelis, rekomenduojama kanalus rinktis didesnio skersmens [15]. Tačiau reikia atsižvelgti ir į tai, kad per didesnio skersmens kanalą gali išeiti didesnė oro srauto masė, taigi tuo pačiu didesnė oro srauto masė turės galimybę patekti į įsiurbimą.

Svarbus išmetimų kanalų parametras yra ir jų ilgis. Norint, kad būtų išgautas efektyvus dujų srauto sukuriama vakuomo efektas, kanalų susijungimo atstumas turi būti parinktas toks, kad didžiausia galia būtų pasiekta tada, kai variklio apsukos siekia tokias, kad priešingų taktų kartu sujungti cilindrai geriausiai dengtų vienas kito išmetamųjų dujų srautus [16].

1.2. Dujų judėjimas ir savybės

1.2.1. Reinoldso skaičius

Reinoldso numeris nusako fluideo inercijos ir klamos jėgų santykį ir yra apskaičiuojamas pagal (1) formulę [17]:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} = v D / \nu; \quad (1)$$

čia Re – Reinoldso skaičius;

ρ – fluideo tankis, kg/m^3 ;

v – fluideo greitis, m/s ;

D – uždaro sistemos, kurioje teka fluideo, skersmuo, m ;

μ – fluideo dinaminė klampa, $\text{Pa}\cdot\text{s}$;

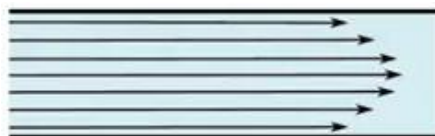
ν – fluideo kinematinė klampa, m^2/s .

Reinoldso skaičiaus svarba uždaroje sistemoje yra tai, jog pasinaudojant Reinoldso skaičiumi galime įvertinti fluideo judėjimo tipą, nuo kurio priklauso slėgio kitimas ir šilumos perdavimas. Kiekvienoje sistemoje reikia įvertinti susidarantį Reinoldso skaičių, nes nuo jo priklauso, ar sistema gebės funkcionuoti pagal reikalingus parametrus [18].

1.2.2. Laminarinis ir turbulentinis dujų judėjimas

Dujų judėjimas gali būti aprašomas dvejais tipais, kurie vadinami laminarinis ir turbulentinis dujų srautai. Tiek laminarinis, tiek turbulentinis dujų srautai gali būti nagrinėjami ir tiriami atskirai, tačiau kartu jie taip pat sukuria pereinamąjį dujų tipą, kuris vadinamas laminarinio virsmo į turbulentinį judėjimą vieta.

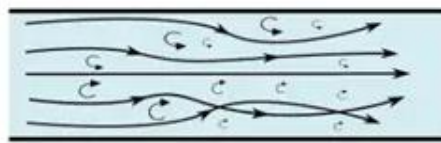
Laminarinis dujų judėjimas pasižymi tvarkingu dujų judėjimu, kadangi jam esant dujos yra susisluoksniavę ir kiekvienas iš šių sluoksnių juda tvarkingai, tarpusavyje nesimaišo [1]. Toks dujų judėjimas yra tuomet, kai dujų Reinoldso skaičius yra mažesnis už kritinį. Įprasta laikyti, jog uždaroje sistemoje, kaip vamzdyje, judėjimas bus laminarinis, kai Reinoldso skaičius mažesnis nei 2300 [10]. Dujų laminarinio judėjimo pavyzdys pateiktas 5 paveiksle.



5 pav. Laminarinis dujų judėjimas[17]

Turbulentinis dujų judėjimas pasižymi sumaištimi, čia nėra tvarkingų dujų sluoksnių [1]. Kiekviena dujų dalelė juda sava, netvarkinga trajektorija, kuri susikerta su kitos dujų dalelės keliu. Tokiomis sąlygomis dujos nuolat maišosi, sukuria gūsius, sutankėjimus ir praretėjimus. Toks dujų judėjimas yra tuomet, kai dujų Reinoldso skaičius yra didesnis už kritinį. Įprasta laikyti, jog uždaroje sistemoje

judėjimas bus turbulentinis, kai Reinoldso skaičius didesnis nei 4000 [19]. Dujų turbulentinis pavyzdys pateiktas 6 paveiksle

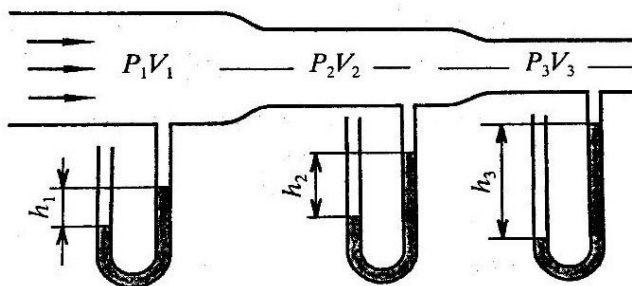


6 pav. Turbulentinis dujų judėjimas[17]

Laminarinis dujų judėjimas turi savybę tapti nestabiliu ir peraugti į turbulentinį. Toks dujų judėjimo pasikeitimas yra vadinamas laminarinio virsmo į turbulentinį judėjimo vieta. Galima teigti, jog šį dujų judėjimo pasikeitimo fenomeną nulemia kritinis Reinoldso skaičius, kurį perkopus, laminarinis judėjimas virsta turbulentiu. Šios virsmo vietos negalima tiksliai nusakyti, nes tai pereinamasis procesas, todėl priima, jog diapazonas tarp 2300 ir 4000 laikomas pokyčio zona, kurioje negalima išvelgti vientiso laminarinio ar turbulentinio dujų judėjimo.

1.2.3. Bernulio dėsnis

Bernulio dėsnis nusako idealių dujų energijos tvermės dėsnį ir teigia, jog bet kuriame judančių dujų skerspjūvyje, jų dinaminio ir statinio slėgių suma yra pastovus dydis [1], pavaizduota 7 paveiksle.



7 pav. Bernulio lygties vizualizacija [1]

Tai reiškia, jog esant didesniam dujų judėjimo greičiui, statinis slėgis yra mažesnis ir atvirkščiai, kuo greitis mažesnis, tuo statinis slėgis didesnis, tai nusako (2) formulė:

$$P_{statinis} + P_{dinaminis} = P_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = P_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}; \quad (2)$$

čia $P_{statinis}$ – statinis slėgis, Pa;

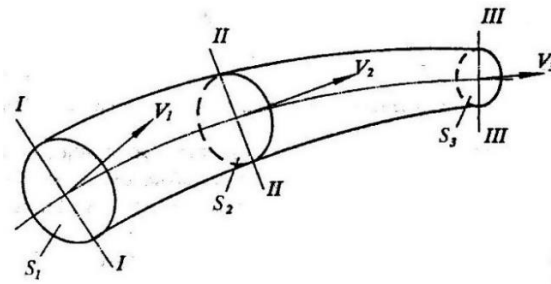
$P_{dinaminis}$ – dinaminis slėgis, Pa;

P – statinis slėgis, Pa.

Kadangi formulė gali būti taikoma tik idealioms dujoms, tam, jog galėtume Bernulio dėsnį taikyti realioms dujoms, reikia įvertinti jų savybės, svarbiausia spūdimą ir klampumą.

1.2.4. Vientisumo lygtis

Vientisumo lygtis nusako materijos tvermės dėsnį ir teigia, jog bet kuriame skerspjūvyje, per tą patį laiko vienetą, prateka tokia pati dujų masė, kai judėjimas vyksta nepertraukiamai, pavaizduota 8 paveiksle, tai nusako (3) formulė:



8 pav. Vientisumo lygties vizualizacija [1]

$$A_1 v_1 = A_2 v_2; \quad (3)$$

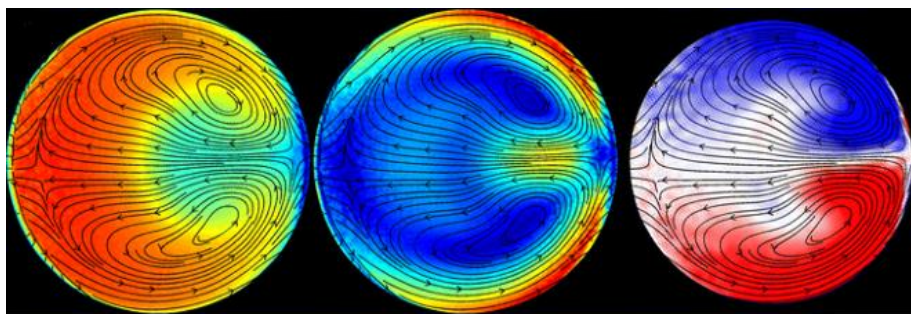
čia A – uždaro sistemos, kurioje teka fluidas, plotas, m^2 ;

Tai reiškia, jog vamzdelio skerspjūviui mažėjant, judėjimo greitis didėja ir atvirkščiai, jei skerspjūvis padidėja, tuomet dujos juda lėčiau.

1.2.5. Pulsuojantis dujų srautas vamzdyje

Pulsuojantis dujų srautas vidaus degimo variklyje susidaro varikliui dirbant ciklais. Prasidėjus dujų išmetimo ciklui, kai atsidaro išmetimo dujų vožtuvas, dujas iš cilindro dideliu greičiu išstumia stūmoklis. Slėgis prie vožtuvo iškart sukyla, tačiau vos besibaigiant taktui, kai vožtuvas pradeda užsidaryti, slėgis ima kristi kol nukrenta visiškai vožtuvui užsidarius. Cilindrui praėjus įsiurbimo suspaudimo ir darbo taktus, procesas prasideda iš naujo ir atsiradęs dujų srautas vėl pradeda kurti aukšto slėgio zoną [20]. Taip atsiranda išmetamųjų dujų pulsacija vidaus degimo variklio kolektoriuje.

Pastaruosius dešimtmečius laminarinis dujų srautas lenktuose vamzdžiuose buvo tiriamas moksliniuose darbuose ganėtinai plačiai. Dažniausia tokiuose tyrimuose tiriama didelio greičio oro srauto savybė vamzdžio linkyje atsiskirti nuo vamzdžio centro ir pagal sienelę suformuoti du atskirus sūkurius. Ši savybė vadinama Deano sūkuriais. Pagrindinė šio proceso pasekmė yra, jog tolimesnėje vamzdžio sienelėje susidare sūkuriai sukuria didesnę dujų srautą, kai prie vidinės vamzdžio dalies susikuria žemo greičio srautas. Deano sūkuriai pavaizduoti 9 paveiksle.



9 pav. Deano sūkuriai [21]

Turbulentinio pastovaus srauto arba laminarinio pulsuojančio srauto einančio per lenktą vamzdį tyrimai atskleidžia, jog toks oro srautas yra komplikotas ir priklauso nuo tam tikrų srauto parametrų. Svarbiausi parametrai nusakantys pulsuojantį oro srautą lenktame vamzdyje yra aprašyti (4) formule, kuria apskaičiuojamas Deano skaičius [21]:

$$D_e = \gamma^{1/2} * Re; \quad (4)$$

čia D_e – Deano skaičius;

γ – vamzdžio lanksto santykis;

Re – Reinoldso skaičius.

Reinoldso skaičius, parodantis inercinių bei klampos jėgų santykį, apskaičiuojamas (5) formule:

$$Re = UD/v; \quad (5)$$

čia U – dujų srauto greitis, m/s;

D – vamzdžio skersmuo, m;

v – kinematinis klampumas, m^2/s .

Vamzdžio lanksto santykis apskaičiuojamas pagal (6) formulę:

$$\gamma = R/Re; \quad (6)$$

čia R – vamzdžio spindulys, m.

Esant pulsuojančiam dujų srautui kolektoriuje susidaro žemo slėgio zonos. Tuo metu, kai iš cilindro dideliu greičiu išstumiamos degimo proceso metu susidariusios dujos, išmetimo angose sudaro greitai judančio aukšto slėgio dujų srautą [22]. Išmetimo vožtuvui užsidarius dujų slėgis pradeda kristi. Toliau dideliu greičiu išmetimo kanalu judančios dujos sukuria vakuomo efektą prie išmetimo vožtuvo. Kuo išmetamųjų dujų srauto greitis kanale išlieka artimesnis pradiniam greičiui, tuo vakuomo efektas artėjant kitam išmetimo ciklui, bus didesnis, taigi kito ciklo išmetimo dujų srauto greitis bus taip pat didesnis [23]. Tokiu būdu yra išgaunama ne tik didesnė variklio galia, bet ir sumažinama variklio aušinimo skysčio temperatūra, kadangi esant didesniam dujų srautui variklio galvutė nespėja tiek įšilti [24].

2. Problemos analizė

Didinant automobilio vidaus degimo variklio galią ir norint išgauti geresnes variklio darbo charakteristikas [25], bei palaikyti variklio resursą, nuspręsta montuoti kitokį turbokompresorių. Jam sumontuoti reikalingas išmetimo kolektorius matomas 10 paveiksle. Kadangi pasirinkto automobilio išmetimo kolektorius turi neįprastą formą, atliekamas tyrimas siejamas su kolektoriaus naudingumo tyrimu.



10 pav. Pasirinkto automobilio išmetimo kolektorius [26]

10 paveiksle matoma, jog ketvirtojo cilindro išmetimo dujų kanalas yra apie 4 kartus ilgesnis už pirmojo cilindro išmetimo dujų kanalą.

Akivaizdus skirtumas matomas ir tarp kitų kolektoriaus kanalų ilgių. Vien tai gali lemti netolygias pulsacijas atsiradusias dėl kanalų ilgių skirtumų [27]. Be to, ganėtinai didelis kolektoriaus dujų išėjimo kampas lyginant su įeinančių dujų srauto kryptimi kuria atitinkamas rizikas [28].

Tyrime bus siekiama atlikti skirtingų tipų išmetimo kolektorių dujų srauto analizes, ir nustatyti naudingiausia kolektoriaus tipą lyginant gautus rezultatus tarpusavyje. Norinti tenkinti klientų norą turėti galingesnes transporto priemones tenka laikytis stipriai griežtėjančių ekologinių standartų. Norint suderinti šiuos du rezultatus yra būtinos vidaus degimo variklio modifikacijos. Galima pastebėti, jog paskutiniu metu naujausiuose automobiliuose montuojamiems varikliams dažnai taikomos išmetimo kolektorių modifikacijos. Taip yra, nes šis mazgas daro didelę įtaką ekologijai ir vidaus degimo variklio darbo efektyvumui.

Šiame darbe atliekami modeliavimo ir eksperimentiniai tyrimai dviem pasirinkto gamintojo išmetimo kolektoriams, kurių forma ir kanalų ilgiai skiriasi. Atliekami dviejų tipų tyrimai- skaitinė analizė atliekama naudojantis „Solid Works“ programa, o eksperimentiniams tyrimams atlikti yra suprojektuojama ir pagaminama slėgiams skirtinguose kolektoriaus vietose matuoti skirta įranga. Išmetimo dujų slėgiai matuojami ties kiekvieno kolektoriaus kanalo įėjimo anga ir iškart už turbino montavimo plokštumos.



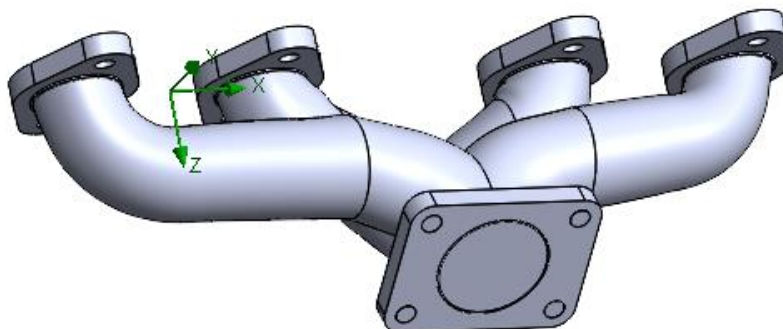
11 pav. Palyginimui tiriamas išmetimo kolektorius. [29]

11 paveiksle pavaizduoti projekte papildomai tiriamas analogiškus tvirtinimo taškus turinti išmetimo kolektorius. Abu išmetimo kolektoriai pasirinkti iš giminingos, vieno gamintojo turbodyzelinių variklių gamos. Visų išmetimo kolektorių tvirtinimo taškai prie variklio galvutės yra vienodi, skiriasi kolektorių formos, kolektorių kanalų ilgiai, išėjimo angos padėtis.

3. Skaitiniai tyrimai

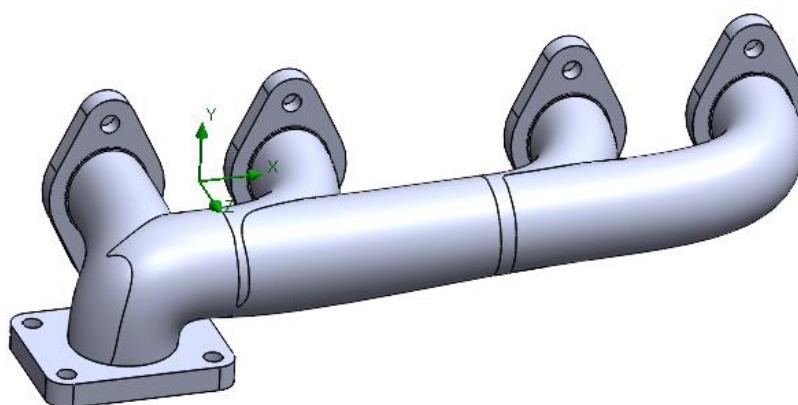
3.1. Skaitinės analizės metodika

Naudojantis „Solid Works“ programine įranga, remiantis originaliu išmetimo kolektoriumi, sukuriamas kolektoriaus skaičiuojamasis modelis. Kolektorius braižomas sujungiant visas kolektoriaus įėjimo angas į vieną bendrą kanalą, kurio skerspjūvio plokštuma stati įėjimo plokštumoms. Modelis suprojektuotas naudojantis LOFT, EXTRUDE, SHELL komandomis. .



12 pav. Pirmasis tiriamo kolektoriaus modelis

„Solid Works“ programoje projektuojamas pirmasis tiriamas išmetimo kolektoriaus modelis, kurio vaizdas pateiktas 12 paveiksle. Ši modelis atitinka „Volkswagen“ automobilių gamintojo naudojamą kolektorių [30]. Šio kolektoriaus išeinančių dujų anga yra pasukta 50 laipsnių kampu nuo kolektoriaus montavimo prie variklio cilindrų galvutės plokštumos ir yra tarp antrojo ir trečiojo išmetimo kanalų, tačiau nėra jiems simetriška. Bendro vaizdo brėžinys su pagrindiniais matmenimis pateiktas 1 priede.



13 pav. Antrasis tiriamo kolektoriaus modelis

Remiantis kitu „Volkswagen“ gaminamu išmetimo kolektoriaus pavyzdžiu [26] suprojektuojamas ir antrasis skaičiuojamasis „Solid Works“ modelis. Kaip matome suprojektuoto kolektoriaus visi kanalų ilgiai yra skirtingi, o kolektoriaus kanalai turi 90 laipsnių kampo pokytį ties turbinos montavimo vieta. Šio kolektoriaus bendro vaizdo brėžinys su pagrindiniais matmenimis pateiktas 2 priede.

Kadangi tyrimas atliekamas „Solid Works“ srauto imitavimo aplinkoje, apsirąšomos pradinės tyrimo sąlygos. Visų pirma nurodoma, jog tyrimas yra riboto laiko. Taip pat pasirinkta, kad tiriamos anglies dioksido dujos. Toks pasirinkimas atliktas, kadangi didžiausią degimo produktų dalį sudaro būtent šios dujos ir jos yra idealaus degimo produktas.

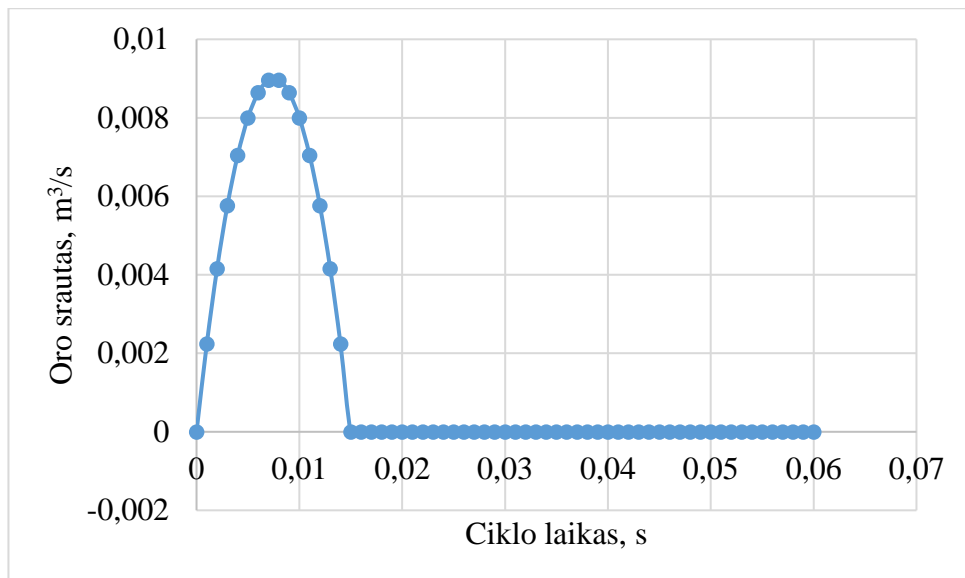
Toliau, naudojant LID funkciją, visos modelio angos yra uždaromos. Tiriamas ciklinis dujų srautas išmetimo kolektoriuje, todėl tyrimui reikia nusistatyti išmetimo ciklo trukmę, išstumiamų dujų kiekį. Skaičiavimai atliekami numatant, jog vidaus degimo variklis dirba 2000 aps./min greičiu. Vidaus degimo variklio tūris šiuo atveju yra 1,9 l, todėl galima teigti, kad vieno išmetimo ciklo metu variklis atiduoda 0,5 l dujų. Varikliui dirbant 2000 aps./min greičiu, jis per minutę turėtų išmesti apie 500 l dujų, o tai yra 8 l./min, pavertus šį skaičių į tūrio vienetus gaunama 0,008 m³. Variklis, dirbdamas 2000 aps./min greičiu, vieną apsisukimą atlieka per 0,03 sekundės. Iš to galima nustatyti, jog vidaus degimo variklis aprūpintas 4 cilindrais, vieną išmetimo ciklą atlieka per 0,015 sekundės [31].

Galima teigti, jog automobilio išmetimo dujų atiduodamo srauto nuo laiko priklausomybė atitinka kvadratinės lygties grafiką, kadangi dujų srautas yra didžiausias įpusėjus išmetimo taktui, kada stūmoklio linijinis greitis yra didžiausias. Visu likusiu laiku dujų srautas lygus nuliui, kadangi tuo metu vyksta kiti vidaus degimo variklio ciklai. Nustatyti lygties koeficientai žinant, jog lygtis nuliniu laiko momentu yra lygi nuliui, ir žinant lygties maksimumo tašką, t.y. didžiausią nustatytą oro srautą. Gauta lygtis: $f(x) = -160(x-0,0075)^2 + 0,009$. Toliau lygtis naudota siekiant nustatyti dujų srautą tam tikru laiko momentu. Atliekami skaičiavimai „Excel“ programoje, o rezultatai pateikiami 1 lentelėje.

1 lentelė. Sudarytos 4 cilindru dujų tūrio srauto projekcijos pagal ciklo laiko žymą

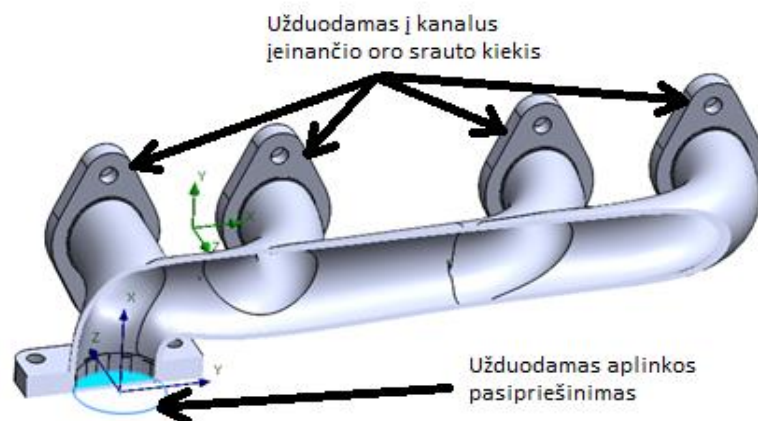
1 cilindras		3 cilindras		4 cilindras		2 cilindras	
Ciklo laiko žyma, s	Tūrio srautas, m ³ /s	Ciklo laiko žyma, s	Tūrio srautas, m ³ /s	Ciklo laiko žyma, s	Tūrio srautas, m ³ /s	Ciklo laiko žyma, s	Tūrio srautas, m ³ /s
0	0	0,015	0	0,030	0	0,045	0
0,001	0,00224	0,016	0,00224	0,031	0,00224	0,046	0,00224
0,002	0,00416	0,017	0,00416	0,032	0,00416	0,047	0,00416
0,003	0,00576	0,018	0,00576	0,033	0,00576	0,048	0,00576
0,004	0,00704	0,019	0,00704	0,034	0,00704	0,049	0,00704
0,005	0,008	0,02	0,008	0,035	0,008	0,05	0,008
0,006	0,00864	0,021	0,00864	0,036	0,00864	0,051	0,00864
0,007	0,00896	0,022	0,00896	0,037	0,00896	0,052	0,00896
0,008	0,00896	0,023	0,00896	0,038	0,00896	0,053	0,00896
0,009	0,00864	0,024	0,00864	0,039	0,00864	0,054	0,00864
0,01	0,008	0,025	0,008	0,04	0,008	0,055	0,008
0,011	0,00704	0,026	0,00704	0,041	0,00704	0,056	0,00704
0,012	0,00576	0,027	0,00576	0,042	0,00576	0,057	0,00576
0,013	0,00416	0,028	0,00416	0,043	0,00416	0,058	0,00416
0,014	0,00224	0,029	0,00224	0,044	0,00224	0,059	0,00224

Lentelėje priimta, jog cilindrai atiduoda identišką oro srauto kiekį. Oro srauto pulsai yra išdėstyti pagal variklio darbo taktus, todėl reikšmės prasikeičia tarpusavyje, t.y. užsibaigus vienam ciklui prasideda kitas. Lentelės duomenys toliau naudojami „Solid Works“ programoje.



14 pav. Į „Solid Works“ programą įvedamos pirmojo cilindro išmetamųjų dujų tūrio srauto vertės

14 paveiksle pateikiamas grafikas, kuriame įvedamos cilindrų dujų tūrio srauto vertės. Įvedant dujų srauto vertes į „Solid Works“ programą įvertintas vidaus degimo variklio darbo taktų eiliškumas. Išmetimo darbo taktai vyks tokia tvarka- 1-3-4-2 [32], todėl reikšmės pradedamos vesti nuo 1 cilindro, toliau seka 3 bei analogiškai įvedamos 4 bei 2 cilindro reikšmės.



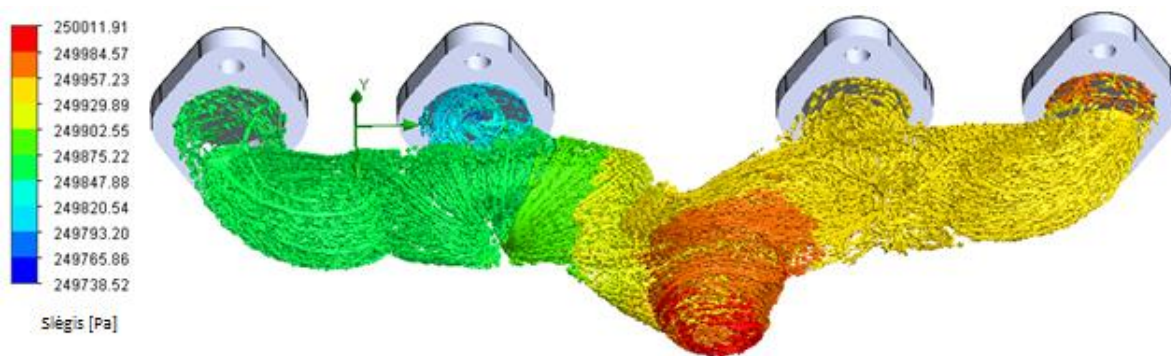
15 pav. „Solid Works“ programoje užduodamas įeinantis srautas ir pasipriešinimas

15 paveiksle pavaizduotas užduodamas aplinkos pasipriešinimas ties turbinos montavimo plokštuma. Nustatomi termodinaminiai parametrai, slėgis lygus 250000 Pa, o temperatūra 873,15 K, [33] kas atitinka 600 laipsnių Celsijaus.

3.2. Skaitinės analizės rezultatai

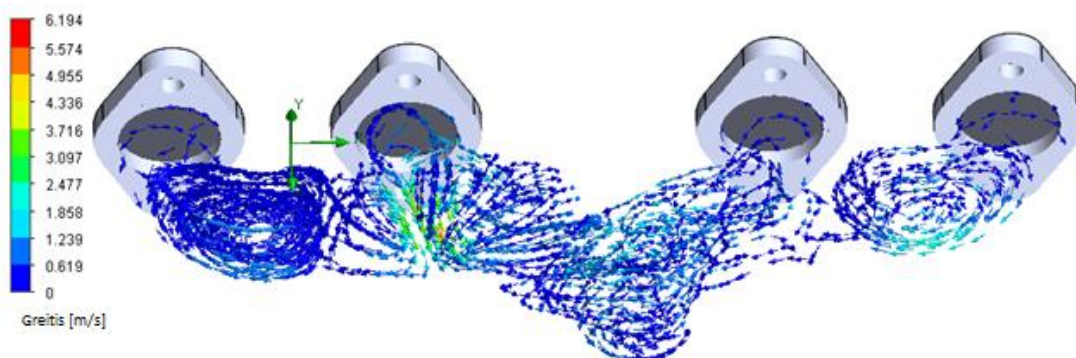
3.2.1. Pirmojo kolektoriaus tyrimas

Atliekama dujų srauto analizė parenkant tokius pačius srauto parametrus kaip ir kolektoriaus modėlyje, kai turbinos montavimo vieta numatoma prie pirmojo išmetimo kanalo.



16 pav. Išmetimo kolektoriaus dujų srauto slėgio vektorių vaizdas pirmajame kolektoriuje

16 paveiksle pateiktas išmetimo kolektoriaus dujų srauto slėgio vektorių vaizdas pirmajam tiriamam kolektoriui. Kaip matyti iš gautų rezultatų, didžiausias slėgis kolektoriuje imitavimo metu susidaro prie turbinos montavimo plokštumos, kur didžiausias kolektoriaus kanalo linkis. Taip pat matoma tendencija, jog didesnis slėgis susidaro tuose kanaluose, arčiau kurių sumontuota turbinos montavimo plokštuma. Tokį reiškinį galima paaiškinti tuo, jog šie kanalai dėl trumpesnio atstumo iki išėjimo angos, sudaro didesnę kampą lyginant su likusiais kanalais ir taip užlaiko dujas. Didžiausia susidariusių dujų srauto slėgio reikšmė yra 250011,91 Pa susidariusi prie turbinos montavimo plokštumos. Šiame kolektoriuje ketvirto ir trečio cilindro angos slėgis yra didesnis ir siekia 249957,23 Pa. Antrojo cilindro kanalo slėgis yra mažiausias ir siekia apie 249765,86 Pa.

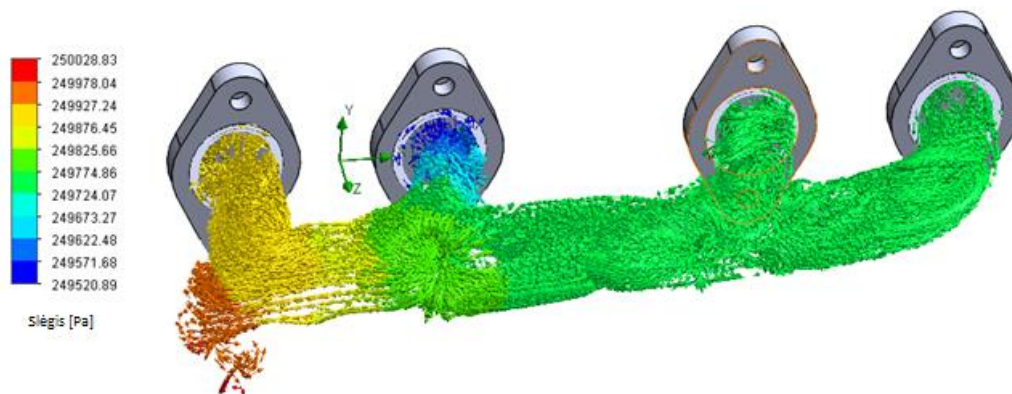


17 pav. Išmetimo kolektoriaus dujų srauto greičio vektorių vaizdas pirmajame kolektoriuje

17 paveiksle pateiktas išmetimo kolektoriaus dujų srauto greičio vektorių vaizdas antrajam tiriamam kolektoriui. Didžiausias išmetamųjų dujų greitis susidaro pirmojo ir antrojo cilindro išmetimo kanalų sandūroje. Greitis čia pasiekia 6,194 m/s reikšmę, tačiau ketvirtojo cilindro kanalas taip pat išlaiko didesnę srauto greitį, taip gali būti dėl antrojo kanalo kuriamo dujų traukos efekto.

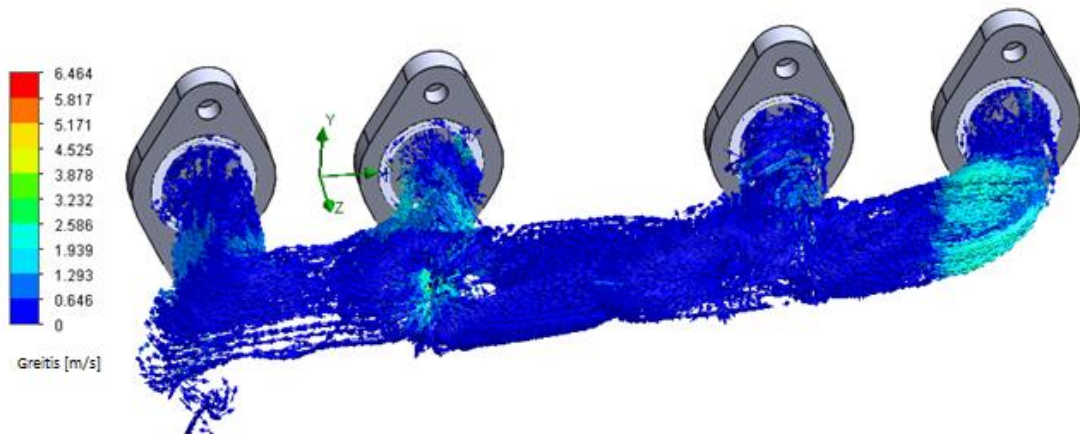
3.2.2. Antrojo kolektoriaus tyrimas

Ivertinus visas aplinkos sąlygas ir veikiančias apkrovas paleidžiama imitacija ir gaunami rezultatai.



18 pav. Išmetimo kolektoriaus dujų srauto slėgio vektorių vaizdas antrajame kolektoriuje

Išmetimo kolektoriaus dujų srauto slėgio vektorių vaizdas pateiktas 18 paveiksle. Iš analizės metu gautų rezultatų, pateiktų vaizdiniu pasiskirstymu, matyti, jog slėgio didžiausio slėgio zona susidaro prie turbinos montavimo plokštumos, būtent čia yra didžiausias geometrijos pokytis. Toliau sąlyginai aukšto slėgio zona taip pat susidaro ir prie trumpiausio kanalo, esančio arčiausiai išmetimo kolektoriaus dujų išmetimo angos. Didžiausias slėgis pasiektas 250028,83 Pa. Antrajame tiriamame kolektoriuje labiausiai iš likusių trijų išsiskiria pirmo cilindro angos slėgis, lygus 249927,24 Pa. Antrosios angos slėgis yra mažiausias ir siekia apie 249520,89 Pa. Trečiojo ir ketvirtojo kanalo slėgiai apylygiai, jų reikšmė artima 249774,86 Pa.



19 pav. Išmetimo kolektoriaus dujų srauto greičio vektorių vaizdas antrajame kolektoriuje

Išmetimo kolektoriaus dujų srauto greičio vektorių vaizdas pateikiamas 19 paveiksle. Didžiausias dujų srauto greitis susidaro ties antruoju kolektoriaus kanalu, jis siekia 6,464 m/s. Palyginus abu kolektorių tyrimus pastebima, jog mažiausias slėgis ir greičiausias srautas susidaro ties antrojo cilindro kanalu, taip gali būti dėl trečiojo ir ketvirtojo cilindrų išmetimo dujų srautų sukurto traukos efekto.

3.3. Analizių palyginimas

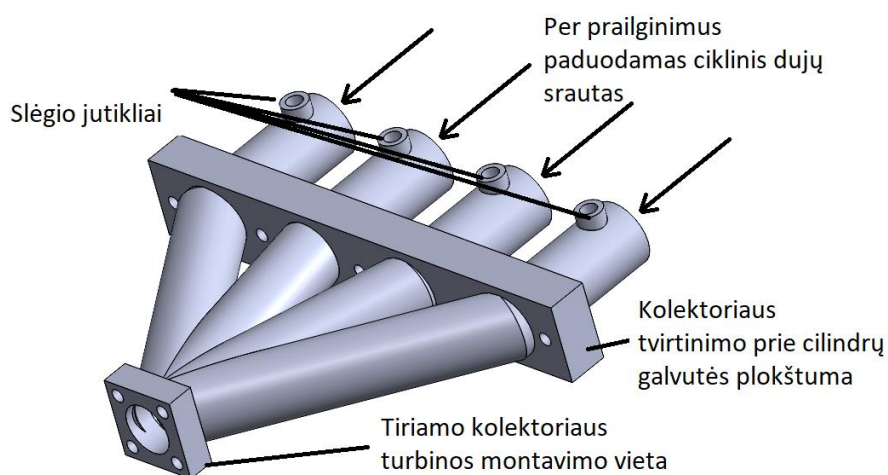
Lyginant atliktas skirtingų formų kolektorių imitacijas, matyti, jog didžiausias slėgių skirtumas gaunamas antrajame tiriamame kolektoriuje, pirmajame kanale ir yra lygus 507,94 Pa. Tuo tarpu pirmajame tirtame kolektoriuje didžiausias slėgių skirtumas tarp kolektoriaus kanalų gautas mažesnis, 273,39 Pa. Didžiausias srauto greitis gautas antrajame tiriamame kolektoriuje yra 0,27 m/s gautas didesnis negu pirmajame.

4. Eksperimentiniai išmetimo kolektorių tyrimai

4.1. Eksperimentinio tyrimo metodika

Išmetimo kolektorių tyrimas atliekamas montuojant papildomą įrangą ant vidaus degimo variklio. Įranga pagal galimybes gali būti montuojama tiek automobilyje, tiek ant stacionaraus variklio stendo. Svarbiausia, jog atliekamo tyrimo metu vidaus degimo variklis patirtų apkrovą ir taip gautų maksimalų turbinos pasipriešinimą ir tiekiamą oro srautą, stendas turi turėti vidaus degimo variklio apkrovos galimybę, o įrangą montuojant automobilyje, jis turi būti bandomas realiomis sąlygomis, t.y., tyrimas atliekamas važiavimo metu akceleruojant.

Išmetimo kolektoriaus kanalų pradžioje sumontuojami slėgio davikliai, kad būtų matomas į kolektorių patenkantis oro slėgis. Kolektoriaus dujų išmetimo angoje matuojamas oro srauto slėgis. Atliekant šiuos matavimus bus galima nustatyti kaip nuo išmetimo kolektoriaus formų skirsis išmetimo slėgis kanale.



20 pav. Tyrimo eskizo modelis

20 paveiksle matomas „Solid Works“ aplinkoje sudarytas tyrimo eskizo modelis, kuriame įvardintos pagrindinės komponentės: slėgio jutikliai, tiriamo kolektoriaus turbinos montavimo plokštuma, kolektoriaus tvirtinimo prie cilindrų galvutės plokštuma, kolektoriaus prailginimai, kuriais tiekiamas oro srautas.

Eskize taip pat nurodoma ciklinio oro srauto kryptis. Tyrime tiriami du išmetimo kolektoriai-pirmasis, kurio turbinos montavimo vieta tarp antrojo ir trečiojo išmetimo kanalų ir antrasis, kurio turbinos montavimo vieta ties pirmuoju išmetimo kanalu.

4.1.1. Tyrime naudojamas mikrovaldiklis

Tyrimui atlikti bus naudojamas „Arduino“ UNO mikro procesorius. Tai atviros programinės įrangos valdiklis, leidžiantis naudotojams nemokamai kurti ir programuoti norimus veiksmus. Šis įrankis leidžia kurti programas nuo itin paprastų, kaip priversti lempuotę blyksėti, iki sudėtingesnių, kaip robotų valdymas ar jutiklių reikšmių fiksavimas ir t.t.

„Arduino“ mikrovaldikliuose sumontuoti įeinančių ir išeinančių signalų kontaktai ir jungtys. Mikrovaldiklis programuojamas per USB-B jungtį prijungiant mikrovaldiklį prie kompiuterio. Iš

mikrovaldiklio išsina maitinimo kontaktai, per kuriuos yra užmaitinami komponentai jungiami prie šio prietaiso. Iš mikrovaldiklio per šiuos kontaktus išsina 5 V ir 3,3 V įtampa. Įeinančių signalų kontaktai yra skirstomi į analoginius ir skaitmeninius. Analoginio signalo kontaktai įprastai gali skaityti 0-5 voltų reikšmes. Šie kontaktai dažniausiai naudojami skaityti informacijai iš jutiklių, potenciometrų. Skaitmeninių signalų kontaktai gali skaityti aukštą (5 V) arba žemą (0 V) signalą. Šie kontaktai naudojami skaityti signalus iš jungiklių, mygtukų ir kitų skaitmeninių jutiklių.

Norint, jog mikrovaldiklis skaitytų į jį paduodamus signalus yra reikalinga programa. Ją galima parašyti ir į mikrovaldiklį įkelti naudojantis kompiuteriu ir jame instaliuota „Arduino IDE“. Šioje programoje „Arduino“ kodas yra rašomas C arba C++ kalba.

4.1.2. Jutiklių parinkimas

Eksperimentiniam tyrimui atlikti bus reikalinga įranga aprašyta 3 skyriuje. Matavimai atliekami naudojant gamyklinius, kurių originalus gamintojo kodas 13628507634 [34], slėgio jutiklis kartu su originalaus automobilių gamintojo vamzdeliais, kurių originalus gamintojo kodas 13627811935 [34]. Slėgio jutiklis su vamzdeliu pavaizduotas 21 paveiksle.



21 pav. Slėgio jutiklis su vamzdeliu [35]

Šie jutikliai yra naudojami BMW markės automobiliuose nuo 2010 metų, montuojami N serijos dyzeliniuose varikliuose ir yra skirti matuoti išmetimo kolektoriuje susidariusį slėgį. Tokie jutikliai pasirinkti, kadangi jie yra gamykliškai pritaikyti matuoti eksperimento numatomose slėgio ribose ir esant aukštai dujų temperatūrai. Be to, jutikliai su vamzdeliais naudotų detalių rinkoje yra pakankamai pigūs lyginant su kitų gamintojų jutikliais atliekančiais analogiškas funkcijas.

Iš automobilių remonto instrukcijų elektroninio žinyno „Autodata“ surandama jutiklio kontaktų elektrinių signalų informacija. Pirmu numeriu jutiklio jungties viduje pažymėtas kontaktas turi gauti +5 V signalą, trečiuoju numeriu pažymėtame kontakte jungiama masė, o vidurinis, antruoju numeriu pažymėtas kontaktas yra signalo kontaktas [36]. Jutiklis yra analoginis tad jo atiduodamas signalas irgi yra analoginis.

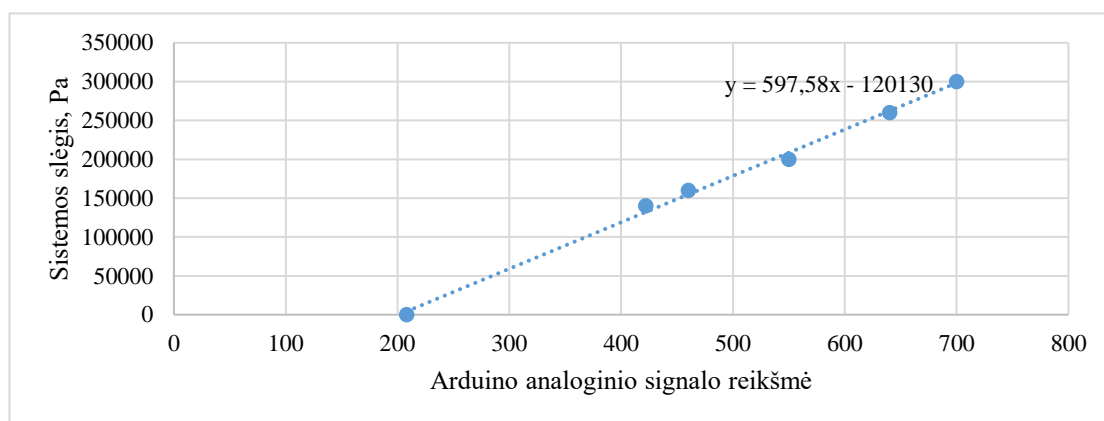
4.1.3. Jutiklio kalibravimas

Pirmasis žingsnis, norint nustatyti ar jutiklis yra tinkamas eksperimentui, yra jutiklio signalo ir slėgio priklausomybės nustatymas. Tam panaudojamas kompresorius su manometru, žarnelė, tyrime planuojamas naudoti jutiklis, „Arduino UNO“ mikrovaldiklis, kompiuteris su įdiegta „Arduino IDE“ programine įranga. Įranga, naudojama jutiklio lygties nustatymui, pavaizduota 22 paveiksle.



22 pav. Įranga, naudojama jutiklio lygties nustatymui

Iš kompresoriaus manometro pajungiama žarnelė į jutiklį. Jutiklio kontaktai 1,2,3 atitinkamai pajungiami į mikrovaldiklio analoginio įėjimo jungtis 5V, A0, GND. [37] Mikro valdiklis su USB-B kabeliu prijungiamas prie kompiuterio. Kompiuteryje suinstaliuojama ir paleidžiama programinė įranga „Arduino IDE“. Parašoma elementari programa gaunamoms A0 reikšmėms nustatyti ir įkeliama į mikrovaldiklį, programa pateikta 3 priede. Pasiekus norimą slėgį kompresorius yra sustabdomas ir nusirašoma manometro ir „Arduino IDE“ [38] programos lange „serial monitor“ pateikiama reikšmės. Pasinaudojant gautomis reikšmėmis, braižomas slėgio priklausomybės nuo mikrovaldiklio reikšmės grafikas, pateiktas 23 paveiksle.



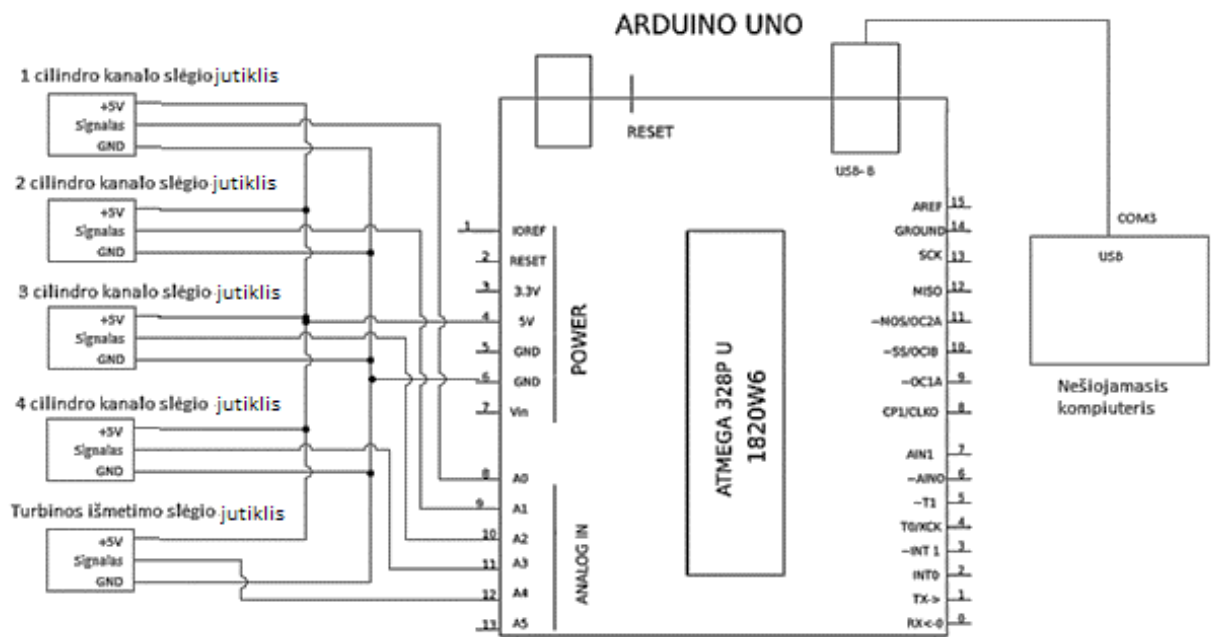
23 pav. Slėgio priklausomybės nuo mikrovaldiklio reikšmės

Iš gautų rezultatų matyti, jog analoginio signalo ir slėgio priklausomybė yra tiesinė. „Excel“ sudaroma aproksimuota rezultatų tiesė (taškinė linija) ir kreivės lange išspausdinama tiesės lygtis. Toliau ši lygtis bus naudojama programuojant mikrovaldiklį norint iš karto rezultatuose gauti slėgio reikšmę paskaliais.

4.1.4. Tyrimo įrangos elektrinės dalies surinkimas.

Tyrime jutikliai bus sujungiami su mikrovaldikliu analogiškai kaip ir lygties nustatymo metu. Valdiklio 5V ir GND kontaktai išskaidomi penkiais laidais atskirai kiekvienam jutikliui. Jutiklių Signalo kontaktai sujungiami į mikrovaldiklio „analog in“ A0-A4 kontaktus.

Pagal 24 paveiksle pateiktą schemą surenkama kabelių pynė. Panaudojamas 7 gyslų lankstus daugiagyslės kabelis. Viename jo gale užspaudžiamos ferulės ir jos sustatomos į jutiklius. Kitame gale prilituojami laidai su ferulėmis skirtomis jungti prie „Arduino UNO“ išvadų.

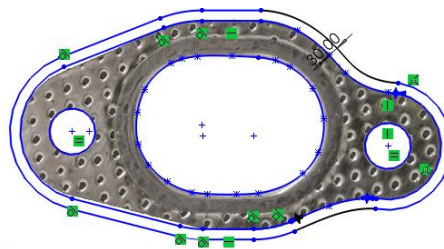


24 pav. Elektrinė schema

Toliau parašoma programa kuri matuotų jutiklių reikšmes paskaliais Pa ir turėtų kiekvieno matavimo laiko žymę. Programa pateikiama 4 priede. Mikrovaldiklio išmatuotiems rezultatams išsaugoti kompiuteryje naudojama „CoolTerm“ [39] programa. Ši programinė įranga leidžia išsaugoti visus mikrovaldiklio spausdinamus rezultatus į .txt ar .xlsx formato failus.

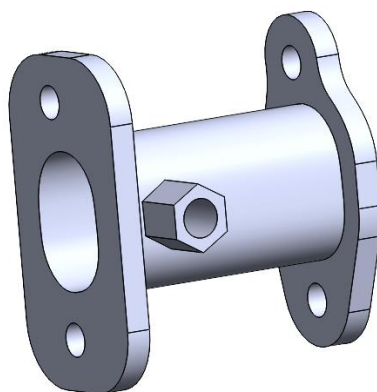
4.1.5. Mechaninės dalies projektavimas

Naudojantis „Solid Works“ programa braižomi variklio išmetimo kanalų prailginimai, kuriuose bus montuojami slėgio jutikliai. Remiantis tarpinės [40] tarp išmetimo kolektoriaus ir variklio cilindro galvutės matmenimis sudaromas plokštumos prie variklio galvutės eskizas, pateiktas 25 paveiksle.



25 pav. Eskizo sudarymas „Solid Works“

Itin svarbūs šios plokštumos išorės kraštinių matmenys. Išmetimo plokštuma yra išskirtinės formos, dėl tiriamos variklių gamos įsiurbimo kolektoriaus padėties. Išpjaunamos 4 tokios plokštumos. Išmetimo kolektoriui pritvirtinti tvirtinimo plokštumos išorės kraštinių forma jau nebėra tokia svarbi dėl ko formą galima ir supaprastinti. Naudojamos dar 4 tokios plokštumos. Plokštumas tarpusavyje sujungs suspaustas, ovalaus profilio, vamzdis. Jutiklio vamzdeliui prijungti prie įrangos reikės 5 vnt. tvirtinimų su vidiniais sriegiais (12x1,25).

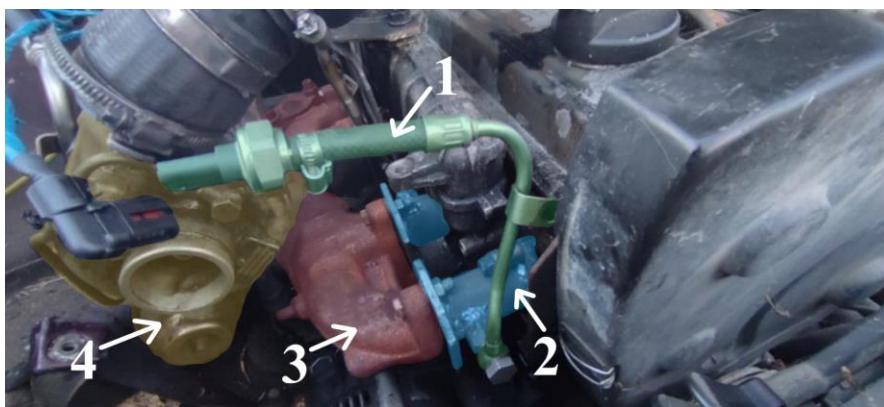


26 pav. Surinktų detalių vaizdas

Pagamintos detalės yra surenkamos ir suvirinamos kaip pavaizduota 26 paveiksle. Dėl patogesnio įrangos sumontavimo pirmojo ir ketvirto variklio cilindų kanalų prailginimai suvirinami taip, jog jutikliai prie jų suktūsi atitinkamai į variklio priekį pirmame cilindre ir link variklio galo ties 4 cilindru, o 2 ir 3 cilindų jutiklių montavimo taškai nukreipti vienas į kitą.

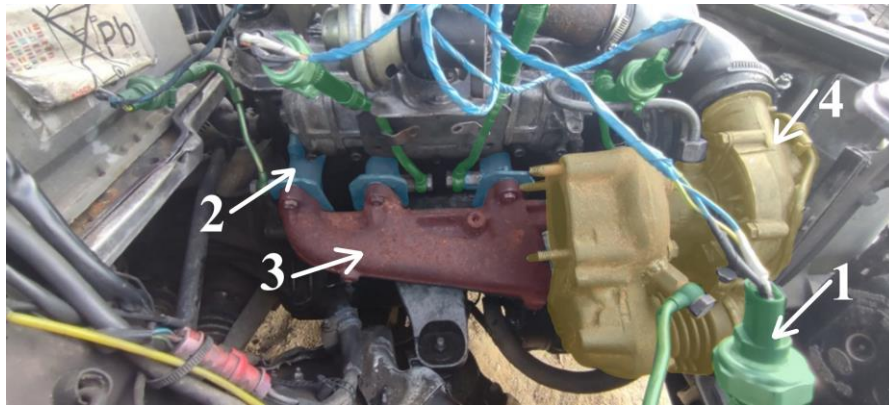
4.2. Įrangos montavimas

Prie vidaus degimo variklio sumontuojama įranga. Prie įrangos papildomais varžtais primontuojamas išmetimo kolektorius su turbina. Prie turbinos įėjimo kanalo išgręžiama skylė ant jos įcentruojamas srieginis perėjimas ir jis privirinamas. Prie jo bus prisukamas jutiklis su vamzdeliu. Perdaromi turbinos alyvos padavimo ir nubėgimo vamzdeliai. Sujungiamos turbinos oro padavimo žarnos.



27 pav. Pirmojo išmetimo kolektoriaus tyrimas, čia 1 – slėgio jutiklis su vamzdeliu, 2 – projekto metu kurta tyrimo įranga, 3 – išmetimo kolektorius, 4 – turbina

Pirmasis bandymas atliekamas išmetimo kolektoriui kurio išėjimo kanalas yra tarp antrojo ir trečiojo išmetimo kanalų. Sumontuota įranga matoma 27 paveiksle.



28 pav. Antrojo išmetimo kolektoriaus tyrimas, čia 1 – slėgio jutiklis su vamzdeliu, 2 – projekto metu kurta tyrimo įranga, 3 – išmetimo kolektorius, 4 – turbina

Antrasis bandymas atliekamas išmetimo kolektoriui kurio turbinos montavimo vieta yra vienoje kolektoriaus pusėje. Šiuo kolektoriaus montavimo atveju turbinos montavimo vieta yra ties pirmojo variklio cilindro kanalu. Sumontuota įranga su šiuo kolektoriumi pateikta 28 paveiksle.

Abiem atvejais laidų pynė su jutikliais ir mikrovaldikliu sujungiama pagal 24 paveiksle pateiktą diagramą. Parinkta didesnio ilgio laidų pynė leidžia patogiai naudotis „Arduino UNO“ mikrovaldikliu ir nešiojamuoju kompiuteriu automobilio salone.



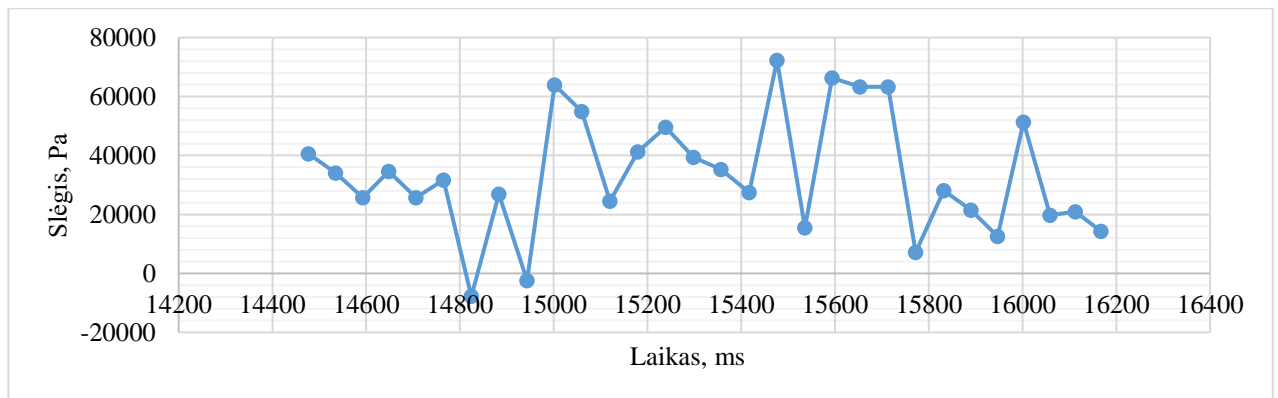
29 pav. Tyrimo aplinka

Tyrimai gali būti atliekami ne tik automobiliui stovint vietoje bet ir realiomis važiavimo sąlygomis. Rezultatai matomi realiu laiku kompiuterio ekrane ir išsaugomi naudojantis „CoolTerm“ programa .txt formato užrašinėje.

4.3. Eksperimento rezultatai

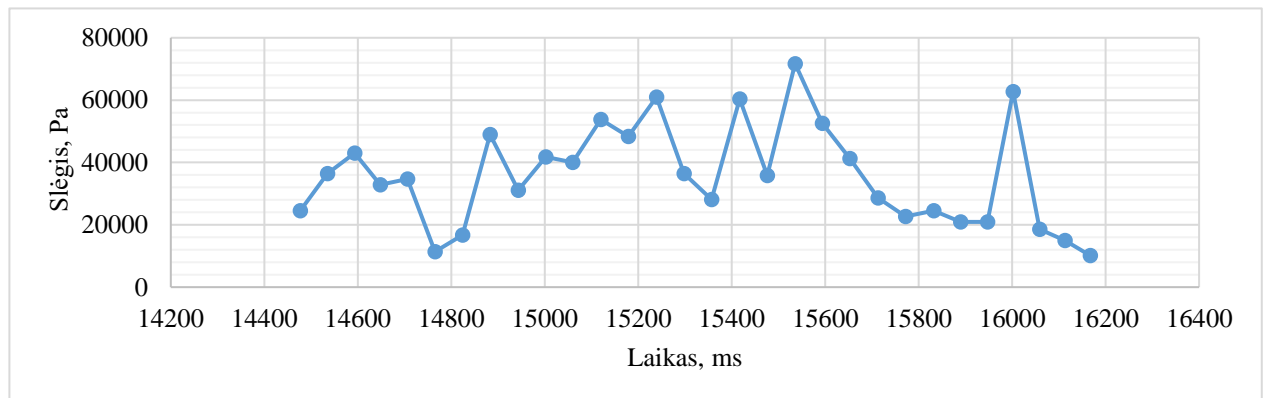
4.3.1. Pirmojo kolektoriaus tyrimas

Tiriamas kolektorius su turbinos montavimo vieta tarp 2 ir 3 išmetimo kanalų. Bandymas atliekamas automobilį lynu įtvirtinus prie tvirto pagrindo ir akceleruojant su įjungta pirma pavara, priverčiant ratus prasisukti. Tokiu būdu sukuriama apkrova varikliui ir gaunamas maksimalus turbinos pasipriešinimas. Akceleruojama nuo 2 iki 3 tūkstančių apsisukimų. Iš gautų „Arduino“ rezultatų atrenkami duomenys kurie pakliūva į pasirinkto akceleravimo režį ir pateikiami 5 priede.



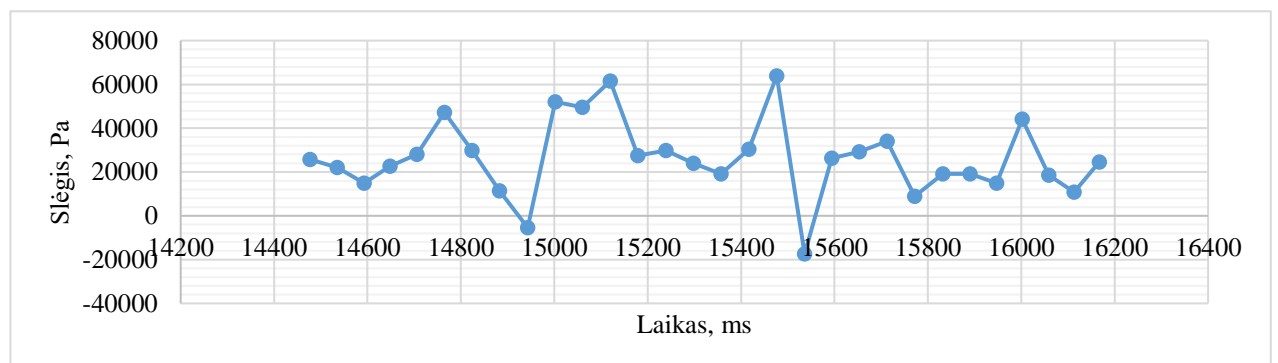
30 pav. Slėgių skirtumo kitimas 1 išmetimo kanale

Pirmajame kanale tyrimo metu susidaro maksimalus 72305,52 Pa slėgių skirtumas. Mažiausias susidaręs slėgių skirtumas siekia -7770,69 Pa. Tai galėtų reikšti, jog šiame kanale dėl dujų srauto greičio sukeltos traukos susidaro mažesnis slėgis kanalo pradžioje negu ties turbina. Kaip matyti grafike neigiamas slėgių skirtumas susidaro ir dar viename taške ir siekia 2392,47 Pa. Vidutinė slėgių skirtumo reikšmė pasirinktu laiko momentu yra lygi 33402,56 Pa.



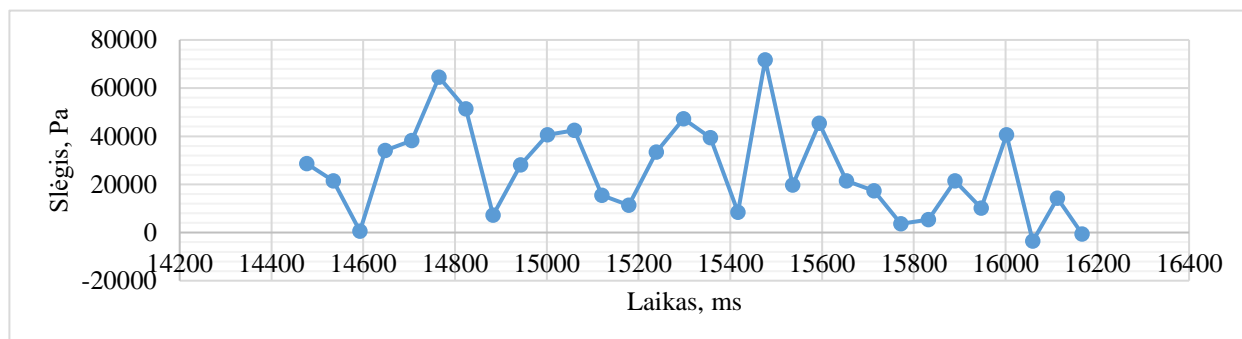
31 pav. Slėgių skirtumo kitimas 2 išmetimo kanale

Antrajame kanale tyrimo metu susidaro maksimalus 71707,47 Pa slėgių skirtumas. Mažiausias susidaręs slėgių skirtumas siekia 10156,7 Pa. Skirtingai nei pirmame kanale čia neigiamas slėgių skirtumas nesusidaro, taigi kanalo įėjimo slėgis visada išlieka didesnis už slėgį prie turbinos. Vidutinė slėgių skirtumo reikšmė pasirinktu laiko momentu yra lygi 35832,72 Pa.



32 pav. Slėgių skirtumo kitimas 3 išmetimo kanale

Trečiajame kanale tyrimo metu susidaro maksimalus 63938,63 Pa slėgių skirtumas. Mažiausias susidaręs slėgių skirtumas siekia -17332,22 Pa. Taigi, šiame kanale dėl dujų srauto greičio sukeltos traukos kanalo pradžioje susidaro mažesnis išmetimo dujų slėgis lyginant su turbinos montavimo vieta. Kaip matyti grafike neigiamas slėgių skirtumas susidaro ir dar viename taške ir siekia -5380,63 Pa. Vidutinė slėgių skirtumo reikšmė pasirinktu laiko momentu yra lygi 26231,35 Pa.



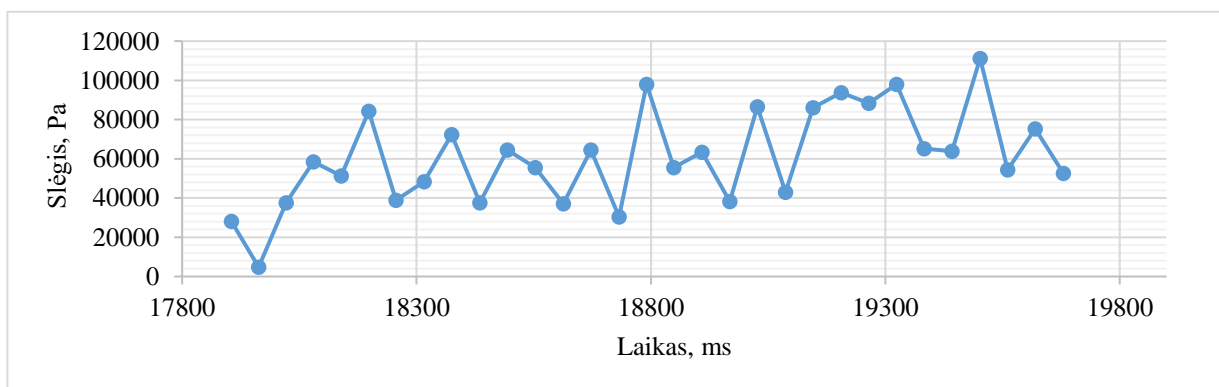
33 pav. Slėgių skirtumo kitimas 4 išmetimo kanale

Ketvirtajame kanale tyrimo metu susidaro maksimalus 71707,91 Pa slėgių skirtumas. Mažiausias susidaręs slėgių skirtumas siekia -3587,15 Pa. Taigi, šio kanalo pradžioje taip pat susidaro mažesnis išmetimo dujų slėgis lyginant su turbinos montavimo vieta. Kaip matyti grafike neigiamas slėgių skirtumas susidaro ir dar viename taške ir siekia -599,25 Pa. Vidutinė slėgių skirtumo reikšmė pasirinktu laiko momentu yra lygi 25993,05 Pa.

Lyginant gautus kanalų rezultatus tarpusavyje matyti, jog didžiausias vidutinis slėgis susidaro antrojo cilindro kanale ir siekia 35832,72 Pa, o mažiausias- ketvirtajame siekia 25993,05 Pa. antro ir ketvirto kanalų vidutinis slėgis skiriasi 0,72 karto. Pirmojo ir trečiojo cilindro išmetimo kanalų slėgis skiriasi 0,79 karto. Iš šio skirtumo matyti, jog kanalai dirba poromis. Taip nutinka, nes kanalų ilgiai yra simetriški poromis, o variklio darbo taktai atitinkamai dengia išmetimo dujų padavimą į kanalus.

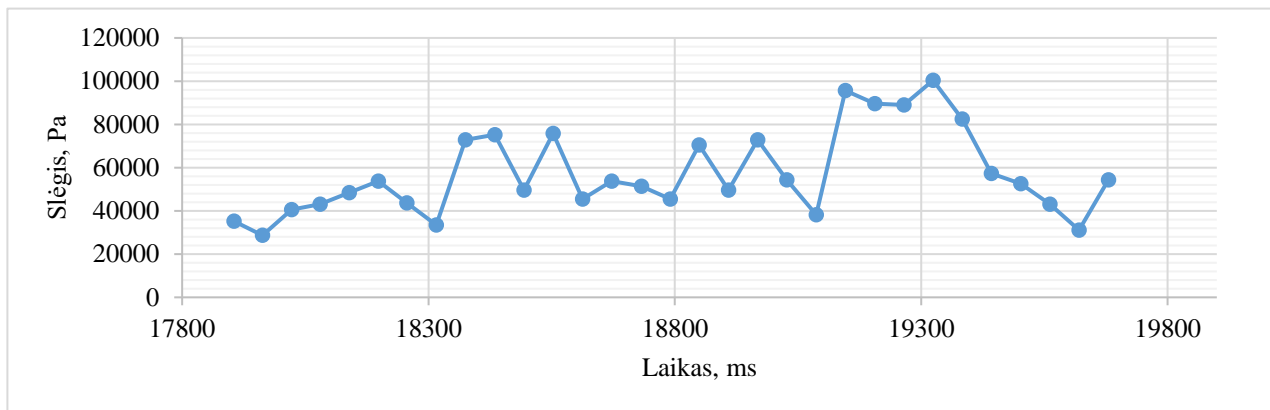
4.3.2. Antrojo kolektoriaus tyrimas

Tiriamas kolektorius su turbinos montavimo vieta ties 1 cilindro išmetimo kanalu. Bandymas atliekamas automobilį lynu įtvirtinus prie tvirto pagrindo ir akceleruojant su įjungta pirma pavara, priverčiant ratus prisisukti. Tokiu būdu sukuriama apkrova varikliui ir gaunamas maksimalus turbinos pasipriešinimas. Akceleruojama nuo 2 iki 3 tūkstančių apsisukimų. Iš gautų „Arduino“ rezultatų atrinkti duomenys kurie pakliūva į pasirinkto akceleravimo režį pateikti 6 priede.



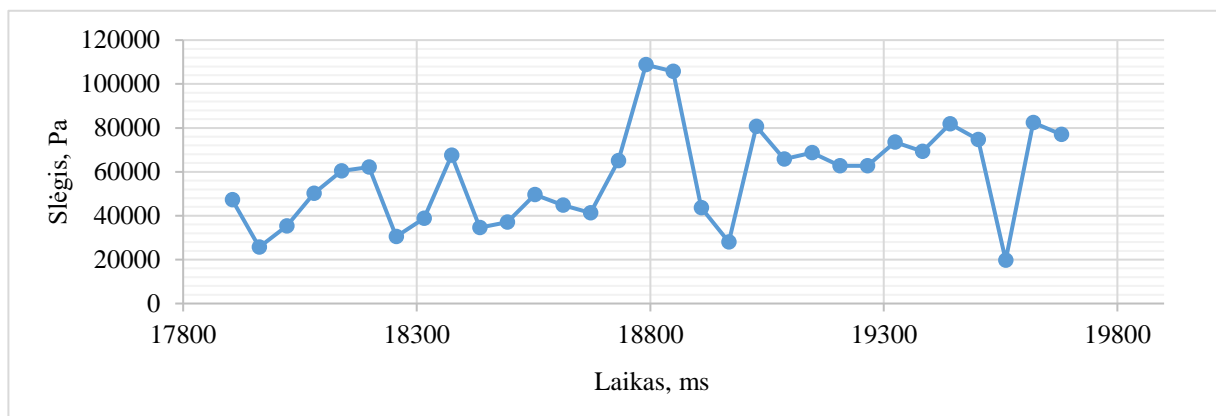
34 pav. Slėgių skirtumo kitimas 1 išmetimo kanale

Pirmajame kanale tyrimo metu susidaro maksimalus 111147,72 Pa slėgių skirtumas. Mažiausias susidaręs slėgių skirtumas siekia 4778,47 Pa. Šiame kanale neigiamų slėgio skirtumų nesusidaro. Vidutinė slėgių skirtumo reikšmė pasirinktu laiko momentu yra lygi 60893,17 Pa. Tačiau lyginant su pirmuoju kolektoriumi maksimalus slėgis šiame kanale išaugo 3,33 karto, o minimalaus slėgio skirtumas išaugo 0,2 karto.



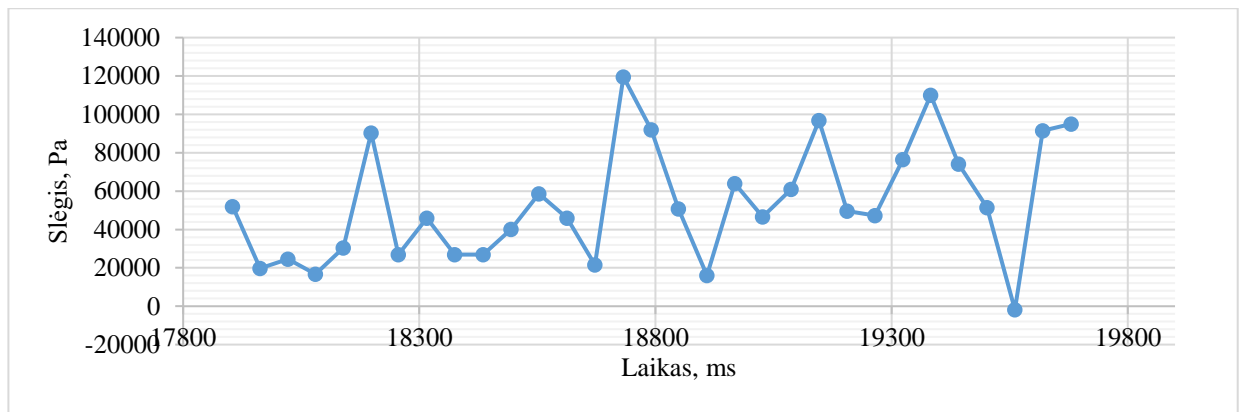
35 pav. Slėgių skirtumo kitimas 2 išmetimo kanale

Antrajame kanale tyrimo metu susidaro maksimalus 100391,28 Pa slėgių skirtumas. Mažiausias susidaręs slėgių skirtumas siekia 28681,68 Pa. Šiame kanale neigiamų slėgio skirtumų nesusidaro. Vidutinė slėgių skirtumo reikšmė pasirinktu laiko momentu yra lygi 57346,24 Pa. Tačiau lyginant su pirmuoju kolektoriumi maksimalus slėgis šiame kanale išaugo 1,4 karto, o minimalaus slėgio skirtumas išaugo 2,82 karto.



36 pav. Slėgių skirtumo kitimas 3 išmetimo kanale

Trečiajame kanale tyrimo metu susidaro maksimalus 108757,12 Pa slėgių skirtumas. Mažiausias susidaręs slėgių skirtumas siekia 19717,71 Pa. Šiame kanale neigiamų slėgio skirtumų nesusidaro. Vidutinė slėgių skirtumo reikšmė pasirinktu laiko momentu yra lygi 57924,29 Pa. Tačiau lyginant su pirmuoju kolektoriumi maksimalus slėgis šiame kanale išaugo 1,7 karto, o minimalaus slėgio skirtumas išaugo 1,3 karto.

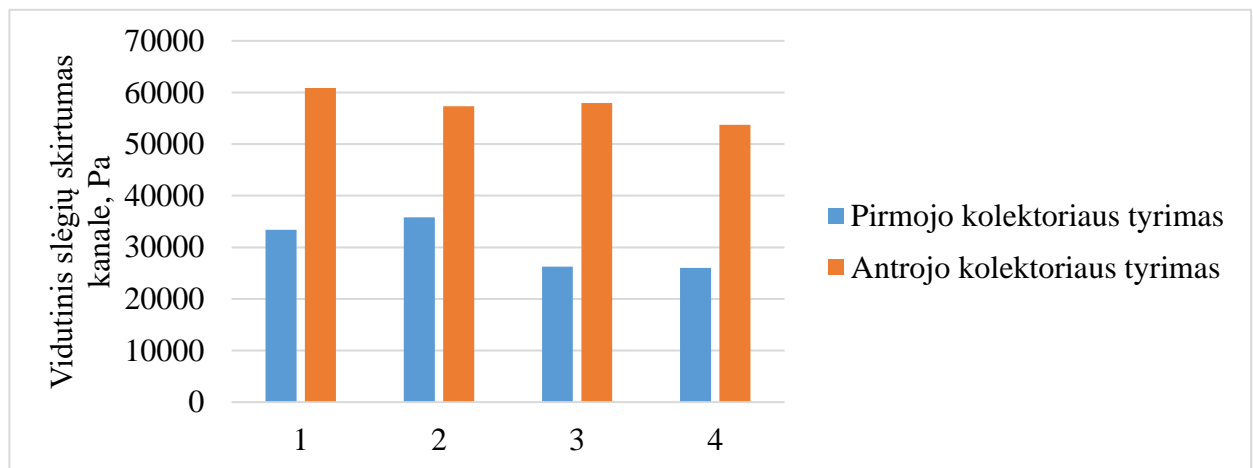


37 pav. Slėgių skirtumo kitimas 4 išmetimo kanale

Ketvirtajame kanale tyrimo metu susidaro maksimalus 119514,32 Pa slėgių skirtumas. Mažiausias susidaręs slėgių skirtumas siekia -1794,44 Pa. Šiame kanale susidaro neigiamas slėgių skirtumas. Vidutinė slėgių skirtumo reikšmė pasirinktu laiko momentu yra lygi 53761,24 Pa. Tačiau lyginant su pirmuoju kolektoriumi maksimalus slėgis šiame kanale išaugo 1,67 karto, o minimalaus slėgio skirtumas išaugo 1,04 karto.

4.3.3. Pirmojo ir antrojo kolektoriaus tyrimų palyginimas

Lyginant gautus kolektorių kanalų tyrimo rezultatus tarpusavyje matoma, jog didžiausias vidutinis slėgis susidaro pirmojo cilindro kanale ir siekia 60893,17 Pa, o mažiausias yra ketvirtajame ir siekia 53761,24 Pa. Pirmo ir ketvirto kanalų vidutinis slėgis skiriasi 0,88 karto. Antrojo ir trečiojo cilindru išmetimo kanalų slėgis skiriasi 0,69 karto.



38 pav. Abiejų kolektorių kanalų slėgių skirtumo diagrama

Iš abiejų tyrimų slėgių skirtumo rezultatų, pateiktų 38 paveiksle, matyti, jog mažesnis kanalų įėjimo ir išėjimo slėgių skirtumas susidaro, kai kanalų ilgiai yra vienodesni ir kolektoriuje kanalų geometrijos pokyčiai mažiausi. Galima daryti išvadą, kad pirmasis tirtas kolektorius su turbino montavimo plokštuma tarp 2 ir 3 kanalų yra efektyvesnis, nes dujos užlaikomos trumpiau. Kiekvieno matavimo slėgio skirtumai pateikti 7 priede.

Kolektoriuje, kurio turbino montavimo vieta yra ties pirmuoju išmetimo kanalu, didžiausias slėgis susidaro būtent trumpiausiam kanale ir mažėja atitinkamai didėjant kanalo ilgiui. Ištirtiems kolektoriams kanalų įėjimo ir išėjimo slėgių skirtumas gautas didesnis negu buvo numatyta tyrimo

sąlygose. Taip galėjo nutikti dėl to, jog pasirinkti išmetimo kolektoriai yra neefektyvūs šalinant išmetimo dujas, per daug jas pristabdo, taip padidindami slėgių skirtumus.

Pagal išsikeltas tyrimo sąlygas slėgio skirtumas tarp kolektoriaus įėjimo ir išėjimo kanalų turėtų būti ne didesnis nei 15 kPa. Skaičiuojama procentinė dalis, nurodanti rezultatų metu gautos reikšmės atitikmenį su užsuduota sąlyga. Gauta, jog slėgių skirtumai 1, 2, 3 ir 4 kanaluose pirmajame tirtame kolektoriuje, kurio turbinos montavimo vieta yra tarp 2 ir 3 kanalų, didesni 55,09%, 58,14%, 42,82%, 42,29%, o antrajame tirtame kolektoriuje kurio turbinos montavimo vieta yra ties 1 kanalu, didesni 75,37%, 73,84%, 74,1%, 72,1% negu siekiamose tyrimų sąlygose.

Išvados

1. Išnagrinėjus išmetimo kolektorių paskirtį, sandarą, tipus ir juose esančių dujų srautų savybes bei reiškinius, projekte pasirinkta nagrinėti „Volkswagen“ automobilių gamintojo turbininių dyzelinių vidaus degimo variklių išmetimo kolektorius. Pasirinkti skirtingų formų išmetimo kolektoriai turintys skirtingas turbinos montavimo vietas: tarp 2 ir 3 kolektoriaus kanalų ir ties 1 kolektoriaus kanalu.
2. Sukūrus skaičiuojamuosius skirtingų formų išmetimo kolektorių modelius atlikta skaitinė srauto imitacijos analizė. Gauta, jog kolektoriuje, kurio turbinos montavimo vieta tarp 2 ir 3 kanalų, dujos juda mažesniu maksimaliu greičiu, lygiu 6,194 m/s, nei kolektoriuje, kurio turbinos montavimo vieta yra ties 1 kanalu čia dujų greitis 6,464 m/s. Didžiausio dujų srauto greičio skirtumas tarp tiriamų kolektorių gautas 0,27 m/s. Kolektoriuje, kurio turbinos montavimo vieta tarp 2 ir 3 kanalų, didžiausias kanalo slėgių skirtumas gautas antrajame kanale ir lygus 273,39 Pa. Kolektoriuje, kurio turbinos montavimo vieta ties 1 kanalu, didžiausias slėgių skirtumas užfiksuotas 507,94 Pa antrajame kanale.
3. Suprojektavus ir pagaminus eksperimentinę įrangą atlikti tyrimai dviem skirtingų formų išmetimo kolektoriams, kurių skaičiuojamieji modeliai buvo tirti skaitinės analizės metodu. Gauta, jog dėl kolektoriaus, kurio turbinos montavimo vieta yra ties 1 kanalu, kanalų ilgio skirtumo ir staigių geometrijos pokyčių, kanalų įeinančių ir išeinančių dujų slėgio skirtumo vidurkiai atitinkamai 1, 2, 3 ir 4 kanaluose yra didesni 1,82, 1,6, 2,21 ir 2,07 karto nei išmetimo kolektoriuje, kuriame turbina montuojama ties 2 ir 3 kanalais.
4. Išanalizavus skaitinės analizės ir eksperimentinio tyrimo metu gautus rezultatus nustatyta, jog abiejų tyrimų metu, išmetimo kolektorius, kurio turbinos montavimo vieta yra ties 1 kanalu, yra mažiau efektyvus nei kolektorius, kurio turbinos montavimo vieta yra tarp 2 ir 3 kanalų. Gauta, jog kolektoriaus, kurio turbinos montavimo vieta yra ties 1 kanalu, kanaluose susidaro didesnis išmetimo dujų slėgio skirtumas, čia skaitinės analizės metu didžiausias slėgių skirtumas gautas didesnis 1,86 karto, o eksperimentinio tyrimo metu šis skirtumas gautas didesnis 2,21 karto, lyginant su išmetimo dujų slėgio skirtumu kolektoriaus kanaluose, kurio turbinos tvirtinimo vieta yra ties 1 kanalu. Padaryta išvada, jog išmetimo dujas efektyviau pašalina kolektorius turintis mažiau kanalų geometrijos pokyčių ir vienodesnius kanalų ilgius, šiuo atveju kolektorius, kurio turbinos montavimo vieta yra tarp 2 ir 3 kanalų.

Literatūros sąrašas

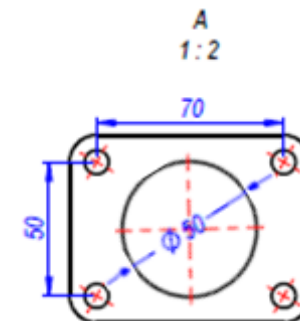
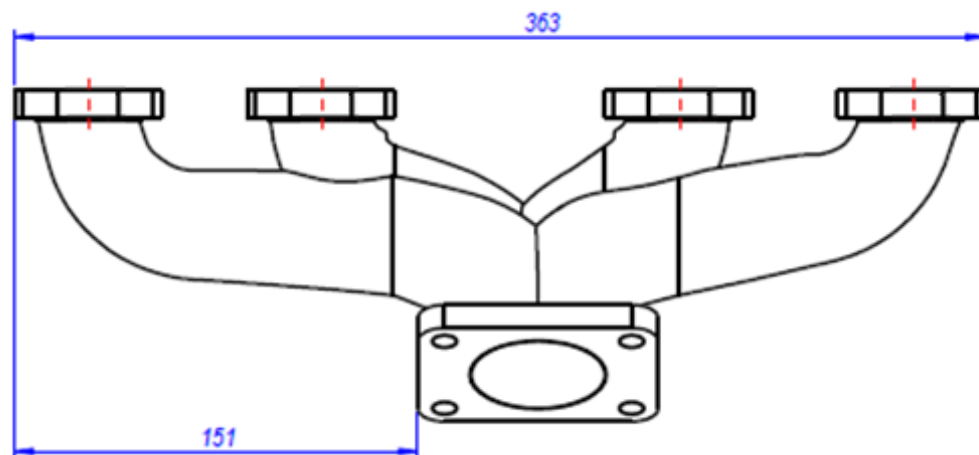
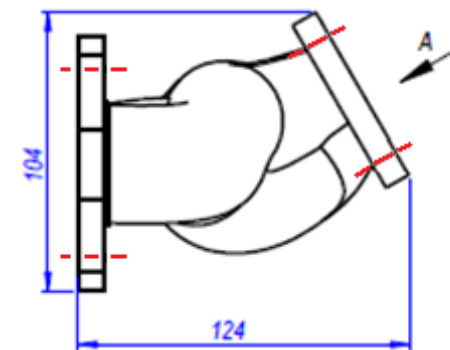
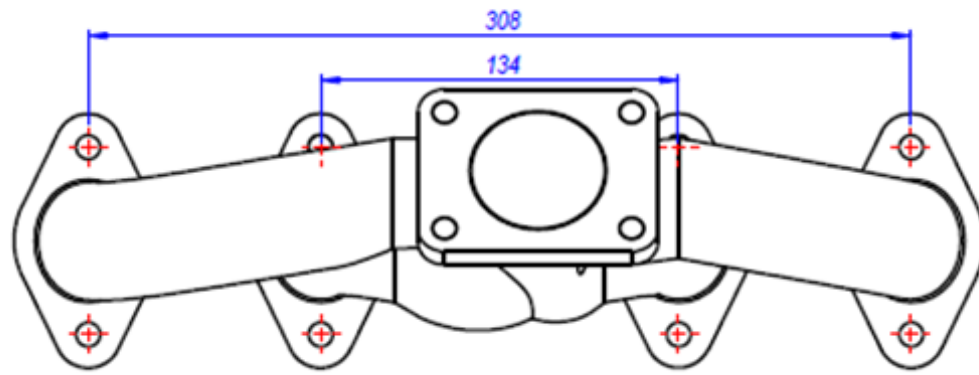
1. AKULAVIČIUS, Pranas ir Algimantas SKURDENIS. Aerodinamika ir skrydžių dinamika: mokymo priemonė. Vilnius: Rosma, 2000. ISBN 9986-00-290-7.
2. LIU, S., W. ZHUGE and Y. ZHANG. Numerical and Experimental Investigation of Exhaust Manifold Configurations of Turbo-Charged Diesel Engines. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy* [interaktyvus]. 2021, 235(5), 1119-1130 [žiūrėta 2023-05-18]. Prieiga per: doi: 10.1177/0957650920970307
3. XIN, Qianfan. *Diesel Engine System Design*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2011. ISBN 978-1-84569-715-0.
4. Intake manifold exhaust manifold [interaktyvus]. [Žiūrėta 2023-05-18]. Prieiga per: <https://7shopg.top/products.aspx?cname=intake+manifold+exhaust+manifold&cid=315>
5. HELLSTROM, F. and L. FUCHS. Numerical Computation of the Pulsatile Flow in a Turbocharger With Realistic Inflow Conditions From an Exhaust Manifold. *Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air: Proceedings* [interaktyvus]. 2009, 7, 1317-1329 [žiūrėta 2023-05-18]. Prieiga per: doi: 10.1115/GT2009-59619
6. KUMAR, R., et al. Vibration Analysis of Composite Exhaust Manifold for Diesel Engine using CFD. *Case Studies in Thermal Engineering* [interaktyvus]. 2022, 32 [žiūrėta 2023-05-18]. Prieiga per: doi: 10.1016/j.csite.2022.101853
7. WILLIAMS, A. M., A. T. BAKER, C. P. GARNER and R. VIJAYAKYMAR. Turbo-discharging turbocharged internal combustion engines. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering* [interaktyvus]. 2013, 227(1), 52-65 [žiūrėta 2023-05-18]. Prieiga per: doi: 10.1177/0954407012455986
8. Header Dyno Testing & Comparison, Tri Y vs. 4 Into 1 - Performance By Design [interaktyvus]. [Žiūrėta 2023-05-18]. Prieiga per: <https://www.motortrend.com/reviews/htup-0804-honda-header-tri-y-vs-4-into-1-dyno-test/>
9. KIM, H. Effect of Exhaust Manifold Geometry and Engine Parameters on Flow Pulsations Inside the Exhaust System with CCC Under Firing Conditions. *Journal of Mechanical Science and Technology* [interaktyvus]. 2021, 35(2), 805-813 [žiūrėta 2023-05-18]. Prieiga per: doi: 10.1007/s12206-021-0141-z
10. MURALI, R., et al. Design Optimization of Exhaust Manifold's Length for Spark Ignition (SI) Engine through CFD Analysis on Low-End Rpm using Taguchi's Method. *Journal of Physics: Conference Series* [interaktyvus]. 2021, 2051 [žiūrėta 2023-05-18]. Prieiga per: doi: 10.1088/1742-6596/2051/1/012051
11. KUMAR, B.B. Numerical Study of Exhaust Manifold. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology* [interaktyvus]. 2022, 10 [žiūrėta 2023-05-18]. Prieiga per: doi: 10.22214/ijraset.2022.41394
12. 2007 e90 330d - driver side rattle [interaktyvus]. [Žiūrėta 2023-05-18]. Prieiga per: <https://www.bimmerforums.co.uk/threads/2007-e90-330d-driver-side-rattle.281985/>
13. Galerie evacure fonta Bmw E60, E61, X5 E53 [interaktyvus]. [Žiūrėta 2023-05-18]. Prieiga per: <https://www.pieseauto.ro/galerie-evacuare/bmw/seria-5-e60/galerie-evacuare-fonta-bmw-e60-e61-x5-e53-540801690.html>
14. PAYRI, F., J. GALINDO, V. BERMUDEZ, P. GUTIERREZ and H. MATHIEU. Experimental Analysis of the Influence of Exhaust Manifold Junction Geometry on its Fluid-Dynamic Behavior. *SAE Technical Paper Series*. 2000. Prieiga per: doi: 10.4271/2000-01-0914

15. KIM, H. S., S.B. PARK, C. L. MYUNG, K. M. CHO and K. J. YOON. A Study of Flow Characteristics Inside the Two Types of Exhaust Manifold and CCC Systems. *SAE Technical Paper Series*. 1999. Prieiga per: doi: 10.4271/1999-01-0457
16. HWANG, I. G., C. L. MYUNG, S. PARK, C. B. IN and G. K. YEO. Theoretical and Experimental Flow Analysis of Exhaust Manifolds for PZEV. *SAE Technical Paper Series*. 2007. Prieiga per: doi: 10.4271/2007-01-3444
17. Reynolds Number for Pipe Flow [interaktyvus]. [Žiūrėta 2023-05-18]. Prieiga per: <https://www.nuclear-power.com/nuclear-engineering/fluid-dynamics/reynolds-number/reynolds-number-for-pipe-flow/>
18. LIUTIKAS, Napoleonas ir Juozas GUDZINSKAS. Termohidromechanika: vadovėlis. Kaunas: Technologija, 2001. ISBN 9955-09-050-2.
19. PAKNYŠ, Leopoldas. *Transporto priemonių aerodinamikos pagrindai*. Kaunas: Technologija, 1999. ISBN 9955090502.
20. MENACER, B., B. AIT SLIMANE and M. BOUCHETARA. Investigation of Intake and Exhaust Manifolds Parameters of a Turbocharged Diesel Engine Based on Steady-State Simulation. *Mechanika*. 2019, t. 25, nr. 2, pp. 119-127. ISSN 1392-1207.
21. KALPAKLI VESTER, A. K., R. ÖRLÜ, N. TILLMARK and P. H. ALFREDSSON. *Experimental investigation on the effect of pulsations on exhaust manifold-related flows aiming at improved efficiency* [interaktyvus]. Stockholm, February 2013 [žiūrėta 2022-03-30]. doi: 10.1533/9780857096135.8.377
22. GALINDO, J., P. FAJARDO, R. NAVARRO and L. M. GARCIA-VUEVAS. Characterization of a radial turbocharger turbine in pulsating flow by means of CFD and its application to engine modeling. *Applied Energy* [interaktyvus]. 2013, 103, 116-127 [žiūrėta 2023-05-18]. Prieiga per: doi: 10.1016/j.apenergy.2012.09.013
23. NIKITA, C. Pulsating Flow Phenomena in Exhaust Manifolds [interaktyvus]. London, July 2017 [žiūrėta 2023-05-18]. doi: 10.25560/67531
24. CIHAN, Ö and M. BULUT. CFD Analysis of Exhaust Manifold for Different Designs. *European Mechanical Science* [interaktyvus]. 2019, 3, 147-152 [žiūrėta 2023-05-18]. Prieiga per: doi: 10.26701/ems.572272
25. GALINDO, J, et al. Design of an Exhaust Manifold to Improve Transient Performance of a High-Speed Turbocharged Diesel Engine. *Experimental Thermal and Fluid Science* [interaktyvus]. 2004, 28(8), 863-875 [žiūrėta 2023-05-18]. Prieiga per: doi: 10.1016/j.expthermflusci.2004.01.003
26. VW Bus Type 2 T2 T3 1.6 Jx TD Turbo Diesel Exhaust Manifold Header [interaktyvus]. [Žiūrėta 2023-05-18]. Prieiga per: <https://www.ebay.co.uk/p/2097297302>
27. SADHASIVAM, C., S. MURUGAN, J. VAIRAMUTHU and S. MOHANA PRIYADHARSHINI. Design and Analysis of Two-Cylinder Exhaust Manifold with Improved Performance in CFD. *Materials Today: Proceedings* [interaktyvus]. 2021, 37, 2141-2144 [žiūrėta 2023-05-18]. Prieiga per: doi: 10.1016/j.matpr.2020.07.574
28. LIM, S. M., A. DAHLKILD and M. MIHAESCU. Influence of Upstream Exhaust Manifold on Pulsatile Turbocharger Turbine Performance. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power* [interaktyvus]. 2019, 141(6) [žiūrėta 2023-05-18]. Prieiga per: doi: 10.1115/1.4042301
29. 3AUDI A4 B7 ENGINE 2.0 TDI BRE 2004-2008 EXHAUST MANIFOLD 03G253033A [interaktyvus]. [Žiūrėta 2023-05-18]. Prieiga per: <https://www.ebay.co.uk/itm/202902299836>

30. Exhaust manifold [interaktyvus]. [Žiūrėta 2023-05-18]. Prieiga per: <https://www.b-parts.com/auto-parts/engine-transmission/exhaust-manifold-vw-passat-b55-3b3-19-tdi-avf-2000-2001-2002-2003-2004-2005-11647140>
31. MEISNER, S. and S. C. SORENSON. Computer Simulation of Intake and Exhaust Manifold Flow and Heat Transfer. *SAE Technical Paper Series*. Prieiga per: doi: 10.4271/860242
32. VCDS/firing order vs cylinder numbers [interaktyvus]. [Žiūrėta 2023-05-18]. Prieiga per: <https://forums.tdiclub.com/index.php?threads/vcds-firing-order-vs-cylinder-numbers.486122/>
33. MAHABADIPOUR, H, S. R. KRISHNAN and K. K. SRINIVASAN. Investigation of exhaust flow and exergy fluctuations in a diesel engine. *Applied Thermal Engineering* [interaktyvus]. 2019, 147, 856-865 [žiūrėta 2023-05-18]. Prieiga per: doi: 10.1016/j.applthermaleng.2018.10.109
34. DYZELINIO VARIKLIO KIETŪJŲ DALELIŲ FILTRO JUTIKLIAI / TVIRTINIMO DALYS AUTOMOBILIUI BMW 3' F30, 320D SEDAN (EUROPA) [interaktyvus]. [Žiūrėta 2023-05-18]. Prieiga per: https://www.bmwautodalys.lt/lt/katalogas/dalys/13_1474/0/54108/L/0/0/0
35. BMW 5 F10 2.8 2011 EXHAUST PRESSURE SENSOR OEM 8507634 / 7810181 [interaktyvus]. [Žiūrėta 2023-05-18]. Prieiga per: <https://www.ebay.com/itm/225445308113>
36. Sensor, exhaust pressure [interaktyvus]. [Žiūrėta 2023-05-18]. Prieiga per: <https://www.onlinecarparts.co.uk/oenumber/8507634.html>
37. Arduino Uno [interaktyvus]. [Žiūrėta 2023-05-18]. Prieiga per: <https://components101.com/microcontrollers/arduino-uno>
38. Arduino IDE 2.1.0 [interaktyvus]. [Žiūrėta 2023-05-18]. Prieiga per: <https://www.arduino.cc/en/software>
39. Serial Terminal Basics [interaktyvus]. [Žiūrėta 2023-05-18]. Prieiga per: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/terminal-basics/coolterm-windows-mac-linux>
40. Exhaust Manifold Gasket: T25 1980-1991, Golf Mk1 1975-1983, Golf Mk2 1984-1992 [interaktyvus]. [Žiūrėta 2023-05-18]. Prieiga per: <https://www.heritagepartscentre.com/uk/028129589b-exhaust-manifold-gasket.html>

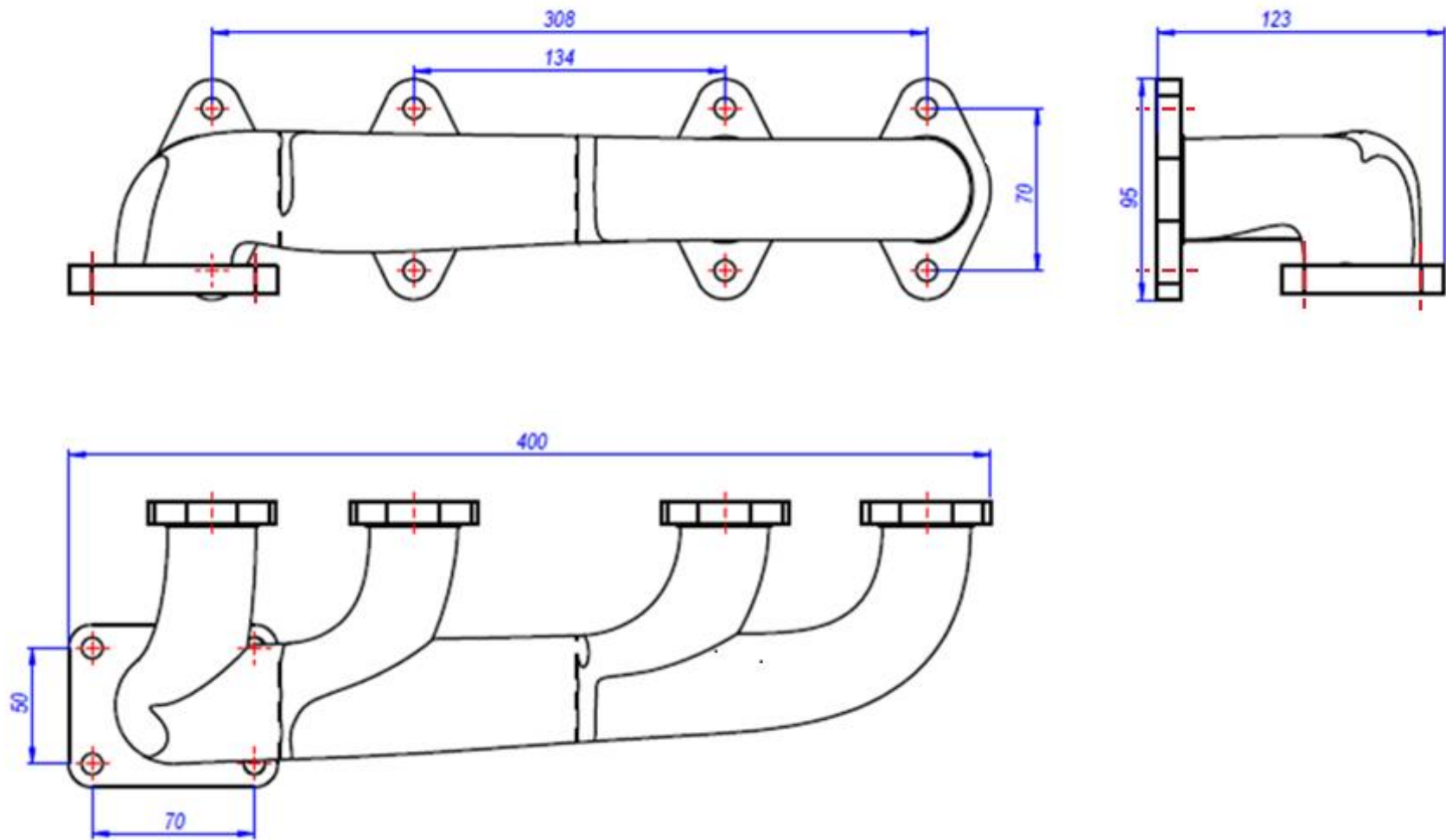
Priedai

1 priedas. Pirmojo tiriamojo kolektoriaus brėžinys



	Bylos Nr.	Papildoma informacija	Medžiaga	Mestelis 1:2
Atsakinga žinybe MIDF	Konsultantas	Dokumento tipas Bendro vaizdo brėzinyas	Dokumento statusas Mokomasis	
Sevnyklas 	Rengė Gabrielius Tamošaitis	Antreštė Pirmasis tiriamas kolektorius	TIK.GT.BVB.001	
	Tvirtino Sigitas Kilikevičius		Leidė A	Date 5/18/2023
			Keiše Lt	Lapais 1/1

2 priedas. Antrojo tiriamojo kolektoriaus brėžinys



	Bylos Nr.	Papildoma informacija	Medžiaga	Mastelis 1:2
Atskirą žinią MIDF	Konsultantas	Dokumento tipas Bendro vaizdo brėžinys	Dokumento statusas Mokomasis	
Savininkas 	Ringė Gabrielius Tamošaitis	Antroji Antrasis tiriamas kolektorius	TIK.GT.BVB.002	
	Tvirtino Sigitas Klikevičius		Leidė A	Data 5/18/2023
			Kalba Lt	Lapas 1/1

3 priedas. „Arduino“ kodas jutiklio lygčiai nustatyti

```
const int sensorPin1=A0;
int sensorValue1=0;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}
void loop()
{
  //skaitoma jutiklio signalo vertė
  sensorValue1=analogRead(sensorPin1);
  //ekrane rodomos vertės
  Serial.print("A0 jungties reikšmė: ");
  Serial.println(sensorValue1);
  delay(1000); //laukiama 1 sek
}
```

4 priedas. „Arduino“ kodas 5 jutiklių slėgiui matuoti.

```
// slėgio jutiklio signalo įėjimo jungtys
const int pressurePin1 = A0;
const int pressurePin2 = A1;
const int pressurePin3 = A2;
const int pressurePin4 = A3;
const int pressurePin5 = A4;
// slėgio vertės kintamasis
float pressureValue1;
float pressureValue2;
float pressureValue3;
float pressureValue4;
float pressureValue5;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  // jutiklio signalo įtampos vertės nuskaitymas
  int sensorValue1 = analogRead(pressurePin1);
  int sensorValue2 = analogRead(pressurePin2);
  int sensorValue3 = analogRead(pressurePin3);
  int sensorValue4 = analogRead(pressurePin4);
  int sensorValue5 = analogRead(pressurePin5);
  // įtampos vertės keitimas į slėgio reikšmę naudojantis jutiklio lygtimi
  pressureValue1 = 597.58 * sensorValue1 - 120130;
  pressureValue2 = 597.58 * sensorValue2 - 120130;
  pressureValue3 = 597.58 * sensorValue3 - 120130;
  pressureValue4 = 597.58 * sensorValue4 - 120130;
  pressureValue5 = 597.58 * sensorValue5 - 120130;
  // Rodomos reikšmės ekrane su laikmačiu matuojančiu milisekundėmis, reikšmės atskiriamos
  kableliu.
  String dataString = "";
```

```
dataString += String(millis());  
dataString += ",";  
dataString += String(pressureValue1);  
dataString += ",";  
dataString += String(pressureValue2);  
dataString += ",";  
dataString += String(pressureValue3);  
dataString += ",";  
dataString += String(pressureValue4);  
dataString += ",";  
dataString += String(pressureValue5);  
Serial.println(dataString);  
}
```


5 priedas. Pirmojo kolektoriaus bandymo rezultatai

Matavimo laikas, ms	1 cilindro kanalo slėgis, Pa	2 cilindro kanalo slėgis, Pa	3 cilindro kanalo slėgis, Pa	4 cilindro kanalo slėgis, Pa	Slėgis prieš turbiną, Pa
14477	122504,39	106369,72	107564,63	110553,27	81871,11
14535	115931	118321,33	103979,14	103382,31	81871,11
14593	91430,22	108760,05	80673,53	66332,34	65736,45
14648	125492,28	123699,55	113540,42	124895,19	90834,81
14706	120711,64	129675,34	123101,7	133261,31	95017,86
14765	172701,09	152383,38	188237,94	205568,5	141031,5
14824	106967,31	131468,09	144614,59	166128,22	114738
14883	139236,63	161347,09	123699,28	119516,97	112347,7
14943	169713,22	203177,69	166725,06	200190,28	172105,7
15002	185847,88	163737,41	173896	162542,72	121909
15060	168518,06	153578,56	163139,56	155969,34	113542,8
15120	182859,97	212141,38	219909,66	173896,75	158361,3
15179	166725,31	173896,28	152980,72	136846,78	125494,5
15239	196604,31	207958,34	176883,91	180470,13	147007,3
15298	202580,09	199592,22	187042,78	210349,13	163142
15357	208555,91	201384,94	192421	212739,44	173300,8
15417	218714,78	251581,66	221702,41	199592,69	191228,3
15476	224690,56	188238,19	216324,19	224093,47	152385,6
15536	265923,59	322096,13	233056,44	270107,13	250388,7
15594	258155,06	244410,72	218116,94	237240,22	191825,8
15653	212141,38	190030,94	178079,06	170311,28	148800,1
15713	176884,16	142224,53	147602,5	130870,98	113542,8
15772	111150,36	126687,45	112942,84	107565,36	103981,6
15832	123699,55	120114,06	114735,59	100991,98	95615,45
15890	102186,67	101589,09	99796,09	102187,14	80675,95
15947	74697,98	83064,11	77088,05	72308,14	62150,97
16002	130272,92	141626,94	123101,7	119516,97	78883,2
16059	73502,83	72307,67	72307,41	50197,69	53784,84
16113	71112,5	65136,7	60953,39	64539,61	50199,36
16167	54977,84	50794,78	65136,45	40038,83	40638,08

6 priedas. Antrojo kolektoriaus bandymo rezultatai

Matavimo laikas, ms	1 cilindro kanalo slėgis, Pa	2 cilindro kanalo slėgis, Pa	3 cilindro kanalo slėgis, Pa	4 cilindro kanalo slėgis, Pa	Slėgis prieš turbiną, Pa
17905	94418,13	101589,1	113540,4	118321,8	66334,03
17963	105174,6	129077,8	126089,6	120114,6	100396,1
18022	114138,3	117126,2	111747,7	100992	76492,89
18080	154773,7	139236,6	146407,3	112943,6	96213,03
18139	199592,2	196604,3	208555,7	178677,4	148202,5
18198	203775,3	173298,7	181664,6	209751,6	119518,6
18256	157164	161944,7	148797,7	145212,9	118323,5
18316	149993,1	135053,6	140431,5	147603,2	101591,3
18375	200189,8	200787,4	195408,9	154774,2	127884,8
18435	158359,2	196006,7	155371	147603,2	120713,8
18494	203775,3	188835,8	176286,3	179275	139238,8
18553	200787,4	221105,1	194811,3	203775,8	145214,6
18613	204970,4	213336,6	212738,7	213934,6	167922,6
18672	231861,5	221105,1	208555,7	188836,3	167325,1
18732	188835,8	209751,1	223495,2	277875,7	158361,3
18791	247398,6	194811,6	258154,8	241423,3	149397,7
18849	204372,8	219312,3	254569,3	199592,7	148800,1
18909	251581,7	237837,3	231861,3	204373,3	188240,3
18968	260545,4	295205	250386,3	286241,8	222302,4
19027	267118,8	234849,4	261142,7	227081,4	180471,8
19087	257557,5	252776,8	280265,3	275485,3	214533,9
19146	264130,8	273692,1	246800,8	274887,8	178081,5
19206	282058,3	277875,2	250983,8	237837,8	188240,3
19265	283253,4	283851	257557,2	242020,9	194813,7
19324	289229,2	291619,5	264728,2	267716,8	191228,3
19383	265326	282655,8	269508,8	310145	200191,9
19442	291021,9	284448,6	308949,1	301181,3	227083,1
19502	303571,1	245008,3	267118,5	243813,6	192423,4
19561	224093	212739	189433,1	167920,9	169715,4
19620	194811,6	150590,7	201982,3	210946,7	119518,6
19680	169713,2	171505,9	194213,7	212141,9	117128,3

7 priedas. Apskaičiuotas kolektorių slėgių skirtumas

Apskaičiuotas kolektorių slėgių skirtumas, Pa									
Apskaičiuotas 1 kolektoriaus slėgių skirtumas					Apskaičiuotas 2 kolektoriaus slėgių skirtumas				
Laikas, ms	1 kanalo	2 kanalo	3 kanalo	4 kanalo	Laikas, ms	1 kanalo	2 kanalo	3 kanalo	4 kanalo
14477	40633,28	24498,61	25693,52	28682,16	17905	28084,1	35255,06	47206,39	51987,78
14535	34059,89	36450,22	22108,03	21511,2	17963	4778,47	28681,68	25693,52	19718,46
14593	25693,77	43023,6	14937,08	595,89	18022	37645,38	40633,28	35254,8	24499,09
14648	34657,47	32864,74	22705,61	34060,38	18080	58560,69	43023,6	50194,28	16730,56
14706	25693,78	34657,48	28083,84	38243,45	18139	51389,72	48401,81	60353,16	30474,88
14765	31669,56	11351,85	47206,41	64536,97	18198	84256,64	53780,05	62145,92	90232,92
14824	-7770,69	16730,09	29876,59	51390,22	18256	38840,55	43621,18	30474,18	26889,43
14883	26888,94	48999,4	11351,59	7169,28	18316	48401,81	33462,31	38840,28	46011,97
14943	-2392,47	31072	-5380,63	28084,59	18375	72305,01	72902,61	67524,11	26889,42
15002	63938,91	41828,44	51987,03	40633,75	18435	37645,38	75292,91	34657,22	26889,41
15060	54975,22	40035,72	49596,72	42426,5	18494	64536,5	49597	37047,56	40036,19
15120	24498,63	53780,04	61548,32	15535,41	18553	55572,79	75890,5	49596,72	58561,16
15179	41230,86	48401,83	27486,27	11352,33	18613	37047,81	45413,93	44816,09	46012
15239	49597	60951,03	29876,6	33462,82	18672	64536,47	53780,03	41230,6	21511,19
15298	39438,09	36450,22	23900,78	47207,13	18732	30474,44	51389,72	65133,82	119514,3
15357	35255,07	28084,1	19120,16	39438,6	18791	98000,97	45413,9	108757,1	92025,62
15417	27486,53	60353,41	30474,16	8364,44	18849	55572,78	70512,28	105769,3	50792,63
15476	72305	35852,63	63938,63	71707,91	18909	63341,32	49597	43620,94	16133
15536	15534,93	71707,47	-17332,2	19718,47	18968	38242,97	72902,59	28083,84	63939,37
15594	66329,22	52584,88	26291,1	45414,38	19027	86646,94	54377,63	80670,88	46609,57
15653	63341,32	41230,88	29279	21511,22	19087	43023,59	38242,96	65731,37	60951,46
15713	63341,32	28681,69	34059,66	17328,14	19146	86049,34	95610,63	68719,28	96806,28
15772	7168,8	22705,89	8961,28	3583,8	19206	93817,91	89634,85	62743,5	49597,47
15832	28084,1	24498,61	19120,14	5376,53	19265	88439,69	89037,28	62743,5	47207,16
15890	21510,72	20913,14	19120,14	21511,19	19324	98000,97	100391,3	73499,91	76488,56
15947	12547,01	20913,14	14937,08	10157,17	19383	65134,06	82463,9	69316,87	109953,1
16002	51389,72	62743,74	44218,5	40633,77	19442	63938,88	57365,5	81866,03	74098,22
16059	19717,99	18522,83	18522,57	-3587,15	19502	111147,7	52584,87	74695,09	51390,22
16113	20913,14	14937,34	10754,03	14340,25	19561	54377,62	43023,59	19717,71	-1794,44
16167	14339,76	10156,7	24498,37	-599,25	19620	75292,92	31072,02	82463,64	91428,08
-	-	-	-	-	19680	52584,89	54377,61	77085,39	95013,55