



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS**

Aurimas Augulis

**AUTOMOBILIŲ DUJŲ IŠMETIMO VAMZDŽIŲ TRIUKŠMO
TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Prof. dr. Žilvinas Bazaras

PANEVĖŽYS, 2017

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS**

**AUTOMOBILIŲ DUJŲ IŠMETIMO VAMZDŽIŲ TRIUKŠMO
TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Studijų programos pavadinimas (621E20001 Transporto priemonių inžinerija)

Vadovas

(parašas) Prof. dr. Žilvinas Bazaras
(data)

Recenzentas

(parašas)
(data)

Projektą atliko

(parašas) Aurimas Augulis PMT-5
(data)

PANEVĖŽYS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

(Fakultetas)

Aurimas Augulis

(Studento vardas, pavardė)

621E20001 Transporto priemonių inžinerija

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Automobilio dujų išmetimo vamzdžių triukšmo tyrimas“
AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. gegužės 31 d.
Panevėžys

Patvirtinu, kad mano, **Aurimo Augulio**, baigiamasis projektas tema „AUTOMOBILIO DUJŲ IŠMETIMO VAMZDŽIŲ TRIUKŠMO TYRIMAS“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Augulis, Aurimas. Automobilių dujų išmetimo vamzdžių triukšmo tyrimas. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas prof. dr. Žilvinas Bazaras; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: 621E20001 Transporto priemonių inžinerija.

Reikšminiai žodžiai: *katalizatorius, triukšmas, dujų išmetimas.*

Panevėžys, 2017. 53 p.

SANTRAUKA

Baigiamajame darbe atlikti automobilių dujų išmetimo vamzdžių triukšmo tyrimai. Triukšmas matuotas automobiliams su katalizatoriumi ir be katalizatoriaus. Tam tikros markės automobilio modeliui buvo suprojektuotas dujų išmetimo bakelis, ir tirtas jo triukšmo slopinimas.

Darbe atlikta teorinė ir mokslinių straipsnių analizė, pateikiama metodika triukšmo matavimams ir dujų išmetimo bakelio projektavimui, padarytos išvados.

Suprojektuoto bakelio triukšmo slopinimui nustatyti, buvo pasitelkiama kompiuterinio modeliavimo programa „Ansys Mechanical“.

Pasinaudojus anemometru, buvo išmatuotas išmetamųjų dujų srauto greitis ir „Ansys“ aplinkoje įvedus reikiamus parametrus tirtas suprojektuoto bakelio triukšmo slopinimas. Keičiant geometriją, buvo siekiama gauti daugiausiai triukšmo slopinantį bakelį.

Atliekant variklio triukšmo tyrimus ir sudarius lygtį, buvo nustatomas reikiamas triukšmo slopinimas suprojektuotam bakeliui ir atliktas palyginimas su analogišku originalui padarytu bakelio modeliu.

Augulis, Aurimas. *Investigation of the Noise of Cars Exhaust Pipes*: Master's Final Thesis in Vehicle Engineering/ supervisor assoc. prof. dr Žilvinas Bazaras. Panevėžys Faculty of Technology and Business, Kaunas University of Technology.

Research area and field: 621E20001 Vehicle Engineering

Key words: Catalyst, noise, gas emissions.

Panevėžys, 2017. 53 p.

SUMMARY

Studies on the noise produced by the car exhaust pipe were carried out in the final thesis. The noise was measured for cars with and without a catalyst. A gas exhaust tank was designed for special car model and its noise reduction was investigated.

The theoretical analysis as well as the analysis of scientific articles were carried out in the thesis, the methodology for noise measurement and gas exhaust tank design is provided and conclusions are made.

In order to determine the noise reduction of the tank designed the Ansys Mechanical computer modelling application was employed.

The speed of exhaust gas stream was measured by means of the anemometer and the noise reduction of the designed tank was investigated by entering necessary parameters in the Ansys environment. Upon the change of geometry, it was sought to obtain a tank which reduces the noise most.

During engine noise investigations and having formed an equation the necessary noise reduction was determined for the tank formed and a comparison with the model analogous to the original tank was made.

TURINYS

ĮVADAS.....	8
1. TRIUKŠMO SAŲOKA IR POVEIKIS	9
1.1. Triukšmo skalės.....	11
1.2. Triukšmas Europos Sąjungoje.....	12
1.3. Triukšmo mažinimo priemonės.....	13
1.4. Triukšmo tyrimų analizė.	16
2. AUTOMOBILIŲ TRIUKŠMO TYRIMAS.....	23
2.1. Automobilio dujų išmetimo vamzdžių triukšmo tyrimo metodai	23
2.2. Matavimo principai	25
2.3. Automobilų charakteristikos.	26
2.4. Matavimai.....	27
3. DUJŲ IŠMETIMO BAKELIO PROJEKTAVIMAS IR TRIUKŠMO SLOPINIMO SKAIČIAVIMAS.....	31
3.1. Bakelio projektavimas ir modeliavimas	31
3.2. Dujų srauto greičio nustatymas	36
3.3. Suprojektuoto duslintuvo bakelio triukšmo slopinimo skaičiavimas.....	37
4. DUJŲ IŠMETIMO VAMZDŽIŲ TRIUKŠMO SLOPINIMO PER ATSTUMĄ NUSTATYMAS.....	44
5. VARIKLIO TRIUKŠMO NUSTATYMAS.	46
6. SUPROJEKTUOTO BAKELIO REIKIAMO TRIUKŠMO SLOPINIMO NUSTATYMAS IR PALYGINIMAI.	48
IŠVADOS.....	50
LITERATŪRA.....	51

ĮVADAS

Automobilių transportas – tai vienas pagrindinių keliamo triukšmo veiksnių, turintis ypač didelę įtaką aplinkai. Pasaulio sveikatos organizacijos (PSO) duomenimis automobilių transporto skleidžiamas triukšmas tam tikrais atvejais pasiekia apie 80% viso skleidžiamo triukšmo aplinkoje.

Taigi, šis aplinką žalojantis faktorius kelia pakankamai didelį pavojų ir žmogaus sveikatai: atsiranda psichologinių problemų, klausos sutrikimų, pablogėja dėmesys, pradeda svaigti galva, kankina nemiga bei kitos ligos.

Pastaruoju metu į šią problemą kreipiamas didesnis, tačiau nepakankamas dėmesys. Dažniau atliekami matavimai ir tikrinimai, bandoma pasiekti kuo mažesnę automobilių skleidžiamą triukšmą, komplektuojant atitinkamus išmetamuosius vamzdžius ir bakelius, gaminami tylesni varikliai. Visa tai kontroliuojama tam tikrų institucijų, kurios, vadovaudamosi Europos Sąjungoje nustatytais reglamentais ir normomis, stebi ir tikrina autotransporto daromos žalos rodiklius, kad neviršytų leistinųjų.

Baigiamojo darbo tikslas:

Atliekant realius matavimus, nustatyti katalizatoriaus daromą įtaką įvairių lengvųjų automobilių dujų išmetimo vamzdžių skleidžiamo triukšmo vertėms.

Baigiamojo darbo uždaviniai:

1. Atlikti automobilių, turinčių ir neturinčių dujų išmetimo katalizatorių, triukšmo matavimus.
2. Suprojektuoti galinį automobilio dujų išmetimo bakelį ir kompiuterinio modeliavimo programa nustatyti triukšmo slopinimo lygį.
3. Padaryti konkretaus automobilio galinio bakelio modelį ir ištirti triukšmo slopinimą.
4. Palyginti tarpusavyje gautus išmetimo bakelių triukšmo slopinimo rezultatus.

1. TRIUKŠMO SAŲVOKA IR POVEIKIS

Triukšmas – tai atitinkamai žmogaus klausą pažeidžiantys garsai, kuriuos sukelia transportas, statybų, pramonės, tam tikros žmonių veiklos, įvairūs mechanizmai (staklės, kompresoriai ir pan.). Skleidžiamų garsų skalės viršija garsinės aplinkos lygį, reikalingą žmogaus poilsiui.

Garsas – tai slenkančio slėgio svyravimas terpėje, kurį girdime klausos organais. Žmogus savo ausimis gali girdėti nuo 16 iki 20 000 Hz dažnio garsus. Nedidelio dažnio garsas – tai infragarsas, didelio dažnio – ultragarsas. Garso priežastis yra įprastai nematomi mechaniniai aplinkos virpesiai, kurie sukuria kinetinės energijos formą, vadinamą garsu. Garso stiprumo lygis matuojamas decibelais (dB). Garso greitis ore – 331 m/s. Dviem kartais padidėjus garso stiprumui, garsinis slėgis padidėja 6 dB. Triukšmo intensyvumo lygiai [1]:

1. Tyla (0 dB);
2. Normalus triukšmas 0 – 40 dB;
3. Psichinė reakcija 40 – 80 dB;
4. Fiziologiniai pokyčiai 80 – 120 dB;
5. Klausos organų trauma – daugiau kaip 120 dB.

Dažniausiai pagrindinis triukšmo šaltinis yra motorinio transporto triukšmas. Lietuvos didžiuosiuose miestuose spūsčių metu triukšmo lygis dažnai perkopia 90 dB ribą, kai didžiausias leidžiamas triukšmo lygis lauke – 65 dB. Pasak ekspertų, tai labai didelė ir svarbi ekologinė problema, galinti sukelti neigiamų pasekmių žmogaus sveikatai. Tyrimais nustatyta, kad dėl nuolatinio aplinkoje vykstančio triukšmo padidėja miokardo infarkto tikimybė. Kiti aplinkos rizikos veiksniai (rūkymas, dioksinai) ima mažėti, triukšmas atvirkščiai – didėja [1].

Triukšmo poveikis sveikatai skirstomas į du tipus: specifinį ir nespecifinį. Specifinis, dar kitaip vadinamas tiesioginis, poveikis [2]:

- Akustinė trauma;
- Klausos organų nuovargis;
- Dėl triukšmo žalos išsivystęs kurtumas.

Nespecifinis, šiuo atveju netiesioginis, poveikis [2]:

- Centrinei nervų sistemai;
- Kraujotakos sistemai;
- Virškinimo sistemai;
- Endokrininei sistemai;
- Kaulų-raumenų sistemai.

Akustinė trauma dažnai sukeliama stipraus impulsinio garso (130 dB ir daugiau), pvz., sprogimas, artimas ginklo šūvis, reaktyvinio lėktuvo garsas. Esant tokiam triukšmui garso slėgis

gana didelis, todėl trūkus ausies būgneliui, garso energija vidinėje ausyje sukelia mechaninius pažeidimus, išsilieja kraujas ir nepagydomai pažeidžiami klausos nerviniai receptoriai. Akustinės traumos metu žmogus greitai apkursta, stipriai skauda ausys, atsiranda galvos svaigimas, o neretai prarandama sąmonė [2].

Klausos jautrumas laikinai sumažėja, tačiau klausos nuovargis veikiant pastoviam triukšmui pasilieka ilgesniam laikui. Jei klausos nuovargis nuolat kartojasi, tai klausa pamažu silpnėja, ir atsiranda tam tikro laipsnio kurtumas. Iš pradžių silpniau girdimi aukštų dažnių (daugiau kaip 4 000 Hz) garsai, todėl žmogus to nepastebi (neblogai girdi radiją, televiziją, kadangi jų garsas yra vidutinio dažnio 200–4 000 Hz) [2].

Savitas triukšmo poveikis organizmui ypač veikia centrinę nervų sistemą: atsiranda galvos skausmas, svaigimas, prastėja dėmesys, atmintis, reakcija, trikdomas miegas, vystosi neurozės, atsiranda hipertenzinės ir kraujotakos ligos, cypimas ausyse.

1.1. Triukšmo skalės

Akustiniai triukšmo lygio matavimai dažnai traktuojami kaip garso stiprumo poveikis žmogaus sveikatai. Atliekant matavimus prietaisai sugraduoti į tam tikras garso lygio skales, kurios viena nuo kitos skiriasi. Taikomos šios pagrindinės trys decibelų skalės:

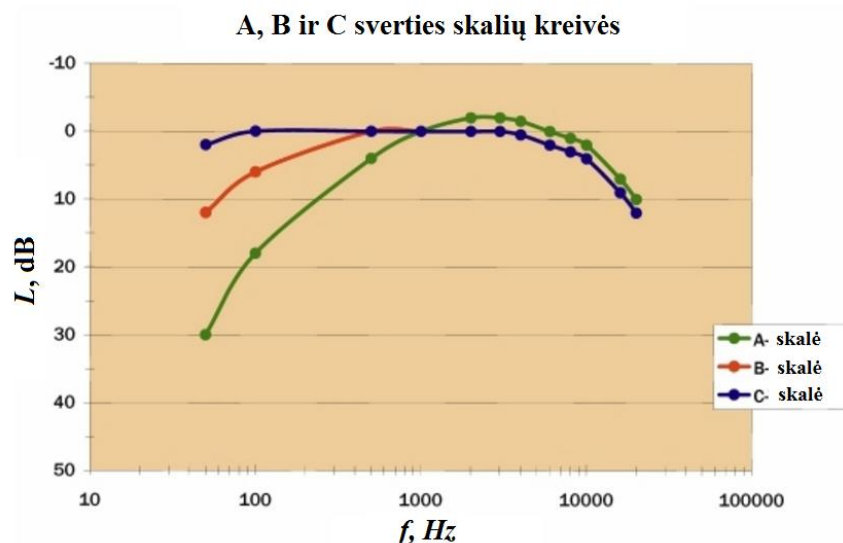
- A – sverties skalė.
- B – sverties skalė.
- C – sverties skalė.

Nors žemi ir aukšti dažniai suvokiami kaip vienodi garso stiprumo lygiai, tačiau daug žemo dažnio triukšmo filtruojama iš ausies, siekiant kuo mažesnio pažeidžiamumo. Pavyzdžiui, girdime, jog sakoma, kad gyvūnų klausa jautresnė nei žmonių. Padidėjęs jautrumas rodo ne tik garso intensyvumą, bet ir garso dažnumą. Katė gali girdėti daug tylesnius garsus nei žmogus, aukšto tono šuns švilpukas lengvai girdimas šuniui, bet yra už žmogaus dažnio diapozono, todėl jį žmogus sunkiau suvokia. Taigi klausos jautrumas turi būti matuojamas ne tik kaip garso intensyvumas, bet kaip ir dažnumas [3].

A sverties skalė – tai dažniausiai naudojama sverties skalė, kuri pakankamai gerai rodo daromą žalą klausai. Nustačius šią skalę, fiksuojama daug žemo dažnio triukšmo, kurį gerai suvokia ausys. Triukšmas žymimas dB (A) [3].

B sverties skalė – pagal dažnių jautrumą skirta žmogaus ausies galimybėms. Ji buvo naudojama stereo–garsiakalbių efektyvumui, bet ne pramoniniam triukšmui. Triukšmas žymimas dB (B) [3].

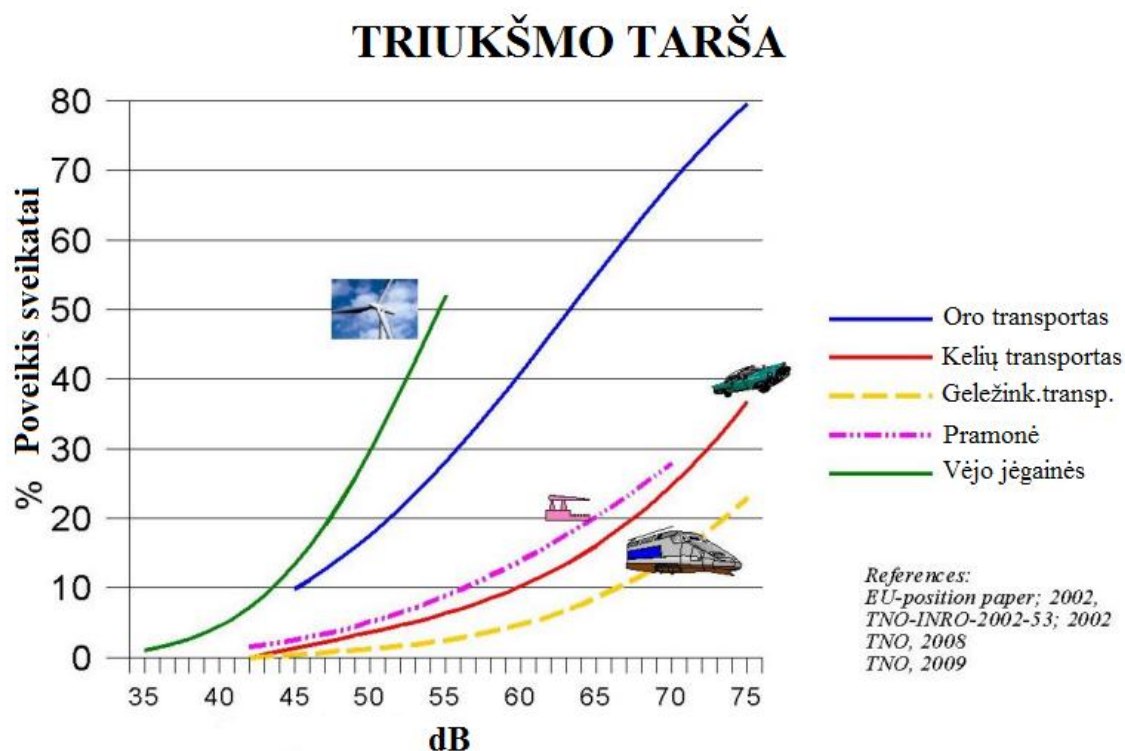
C sverties skalė – pagal dažnio jautrumą, tai labai didelio garso skalė žmogaus ausims. Ši skalė matuoja daug žemesnio dažnio garsus nei skalėse A ir B. Triukšmas žymimas dB (C) [3].



1.1 pav. Triukšmo sverties skalių kreivės [4]

1.2. Triukšmas Europos Sąjungoje

Pagal pasaulyje atliktus įvairius statistinius duomenis, Europos Sąjungos aplinkos agentūros 33 valstybėse narėse ne mažiau kaip 19,8 mln. suaugusiųjų yra dirginami kelių, geležinkelių, oro transporto ir pramoninės veiklos triukšmo. Iš jų 9,1 mln. dirginami ypač stipriai. Apie 7,9 mln. šių suaugusiųjų trikdomas miegas, o 3,7 mln. miegas trikdomas ypač stipriai [5].



1.2 pav. Triukšmo poveikis sveikatai Europos Sąjungoje [6]

Teigiama, kad apie 90 % triukšmo poveikio sveikatai susiję su kelių transporto triukšmu. Tačiau 1.2 pav. matyti, kad kelių transportas sudaro 20–35 % poveikį sveikatai. Greičiausiai šis teiginys pateiktas po atlikto tyrimo, kuriame nebuvo sudaryti visi triukšmo strateginiai žemėlapiai. Tyrimai atlikti tik didžiuosiuose miestuose ir esant intensyviai eismui. Kitos rūšies triukšmo šaltinių – geležinkelių transporto, oro, pramonės, vėjo jėgainių triukšmo poveikio ribos nuo 10–80 %.

Nakties triukšmo vertės pagal Pasaulio sveikatos organizacijos 2009 m. pateiktus duomenis [7]:

- I. 30 dB A minimali triukšmo riba;
- II. 40 dB A žemutinė neigiamo poveikio riba;
- III. 55 dB A pereinamoji riba.

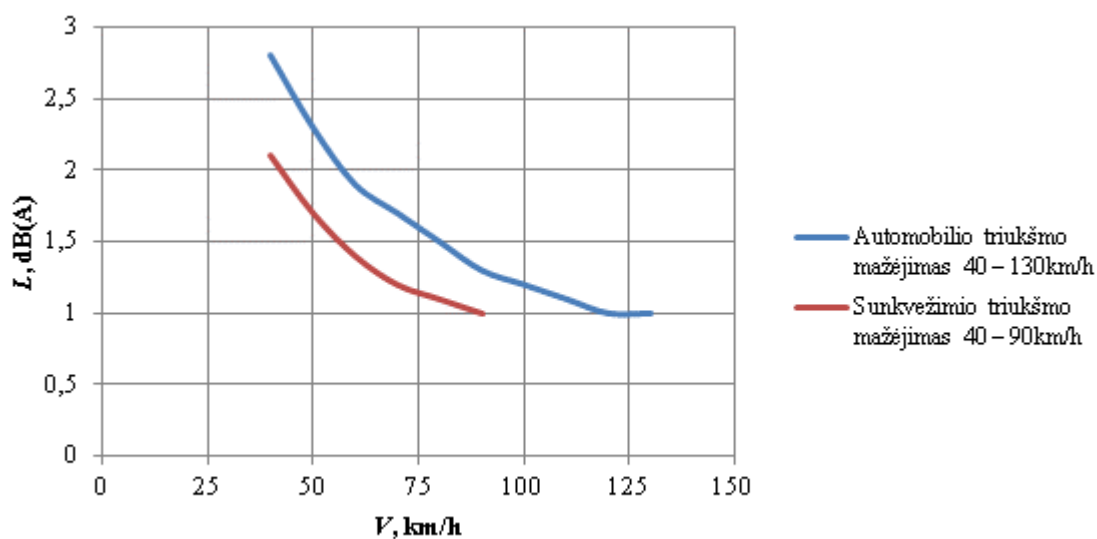
Per metus Europos Sąjungoje nuolat patiriama apie 40 mlrd. eurų nuostolių dėl triukšmo poveikio sveikatai. Triukšmo mažinimo infrastruktūrai skiriama 20–50 mlrd. eurų [7].

1.3. Triukšmo mažinimo priemonės

Automobilio skleidžiamas triukšmas priklauso nuo daugelio jo mazgų ir kitų veiksnių. Pagrindiniai jų [8]:

- Triukšmas nuo automobilio variklio;
- Triukšmas nuo automobilio judančių mechaninių mazgų;
- Triukšmas nuo automobilio aptakančio oro srauto;
- Triukšmas nuo padangų ir kelio paviršiaus sąveikos;
- Triukšmas nuo akmenimis, žvyru ir kita danga grįstų kelių smūgių į automobilio dugną;
- Triukšmas nuo klimato sąlygų;
- Vairuotojo vairavimo stiliaus.

Važiuojant automobiliu jo greitis nuolat kinta, tik kurį laiką lieka pastovus. Toks greičio padidėjimas arba sumažėjimas turi tam tikrą įtaką kelių eismo triukšmo emisijoms.



1.3 pav. Triukšmo lygio priklausomybė nuo važiavimo greičio [8]

Lengvojo automobilio greičiui padidėjus 40–130 km/h triukšmo lygis sumažėja apie 2dB. Sunkvežimio greičiui pakitus 40–90 km/h triukšmo lygis sumažėja maždaug 1dB. Matyti, jog didžiausias triukšmas kyla važiuojant mažesniu greičiu arba žema pavara.

Triukšmui automobiliuose sumažinti taikomos įvairios priemonės. Pavyzdžiui, montuojamos mažą triukšmą skleidžiančios padangos, tobulinami variklių technologiniai sprendimai, išmetimo sistema. Vienas naujesnių triukšmo mažinimo būdų – transporto priemonės dugno padengimas tiršta medžiaga, pagaminta iš bitumo. Šios medžiagos sudėtyje yra gumos, kuri dangą padaro elastingą, gana gerai slopinančią triukšmą nuo kelio ir nuo padangų srautų [9].



1.4 pav. Dugnas padengtas bitumo danga [10]

Atlikti tyrimai rodo, kad automobilio dugną padengus šia danga, triukšmas sumažėja apie 6dB. Atrodo, jog tai nėra didelis šuolis, tačiau triukšmui padidėjus per 10 dB žmogus šį šuorą suvokia kaip du kartus didesnę triukšmą aplinkoje. Galima daryti prielaidą, jog ši danga yra efektyvi. Minėta danga taip pat turi ir antikoroziinių savybių.



1.5 pav. Bitumo danga [11]

Taip pat didelis dėmesys kreipiamas į gyventojus, gyvenančius arti automagistralių ar greitkelių ir kitų didelį srautą automobilių laikančių kelių. Pagal leistiną kelių eismo triukšmo lygį, dienos metu leistina yra 50–65 dB, nakties metu triukšmas per 10 dB turi būti mažesnis. Kelių eismo triukšmas kyla dėl automobilių variklių, skleidžiančių žemo dažnio garsus, o jų riedantys ratai skleidžia aukšto dažnio garsus.

Siekiant sumažinti kylantį triukšmą, diegiami triukšmą slopinantys garso barjerai. Todėl triukšmo lygis sugeriamas iki 17 dB. Tai palyginti labai didelis garso izoliavimo lygis.



1.6 pav. Garso slopinimo barjeras [12]



1.7 pav. Garso slopinimo barjeras Lenkijoje [12]

1.4 Triukšmo tyrimų analizė.

Eismo akustinė tarša gyvenamosiose zonose pamažu tapo pagrindinė aplinkos problema ne tik didmiesčiuose, bet ir mažuose miesteliuose. Pagrindiniai triukšmo šaltiniai – transporto priemonių variklių skleidžiamas garsas, padangų sąlytis su keliu bei oro trintis.

2008m. Ali Payidar Akgungor ir Abdulmuttalip Demirel atliko tyrimą Turkijos mieste Kirikkale. Buvo siekiama pamatuoti transporto triukšmą mieste esant intensyviajam judėjimui. Straipsnio autoriai matuoja didžiausią, mažiausią ir ekvivalentinę garso lygio vertę rytą, vidurdienį ir vakare [13].

Čia L_{eq} (ekvivalentinis garso lygis) apskaičiuotas naudojantis formule [13]:

$$L_{eq} = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right), \text{ dB} \quad (1)$$

čia L_i – triukšmo lygis i – ajam matavimui; n – bendras atskirų sumuojamų triukšmo šaltinių garso lygis.

Paros eismo apkrova šiame mieste apie 16 000 automobilių, iš jų 40 % sunkiųjų transporto priemonių. Triukšmo matavimai tyrimo metu buvo atliekami 15-oje vietų miesto teritorijoj.

Matavimai buvo atliekami naudojant Jetronl – S4001 garso matavimo prietaisą, kuriame yra įdiegti A ir C funkciniai režimai, jais galima matuoti greitai ir lėtai judančių objektų skleidžiamą triukšmo lygį nuo 30 iki 130 dB (A). Atliekant matavimus buvo atsižvelgiama į Turkijos aplinkos ir eismo akustinio triukšmo matavimo reikalavimus. Prietaiso mikrofonas buvo ne arčiau kaip 3,5 m atstumu nuo kelio krašto, atstumas nuo žemės paviršiaus turėjo būti 1,2–1,5 m. Siekiant panaikinti esminius atspindžius nuo pastatų, matavimai buvo atlikti 1 m atstumu nuo konstrukcijų [13].

Rezultatai (1 lentelė) neatitiko leistinų ribų (jos pateiktos 2 lentelėje).

1 lentelė [13].

Stotis	Rytas (8:00–9:00)			Stotis	Vidurdienis (12:30–13:30)			Stotis	Vakaras (17:00–18:00)		
	Min. dB(A)	L_{eq} dB(A)	Max. dB(A)		Min. dB(A)	L_{eq} dB(A)	Max. dB(A)		Min. dB(A)	L_{eq} dB(A)	Max. dB(A)
1	60.9	74.6	92.6	1	60.7	73.8	87.5	1	60.3	77.6	100.2
2	59.7	76.2	97.8	2	59.3	77.0	93.5	2	60.9	78.1	100.8
3	31.8	75.3	86.7	3	59.8	77.8	99.6	3	60.6	73.2	94.9
4	60.8	78.2	98.3	4	62.1	77.6	93.7	4	60.5	80.1	103.2
5	50.2	82.2	100.6	5	50.9	81.2	96.3	5	65.7	83.5	109.1
6	69.7	86.2	102.3	6	66.0	84.7	104.7	6	66.1	84.2	100.6
7	63.6	82.5	99.2	7	64.6	79.9	91.3	7	65.5	82.1	97.2
8	61.3	76.9	89.6	8	59.9	76.8	91.7	8	57.8	77.4	94.8
9	57.9	75.2	86.7	9	57.0	72.3	86.2	9	60.1	79.3	98.3
10	70.0	82.7	97.1	10	67.0	80.9	98.2	10	66.6	79.5	95.5
11	60.8	78.0	91.3	11	59.0	73.4	86.1	11	62.3	78.6	93.8
12	62.1	82.9	96.7	12	50.7	72.4	84.5	12	64.6	79.7	91.3
13	64.0	80.6	96.0	13	62.2	81.2	99.9	13	59.0	74.5	98.8
14	61.0	80.4	98.5	14	66.7	84.9	81.5	14	66.6	82.2	94.6
15	65.3	81.9	95.7	15	64.8	82.6	96.9	15	65.7	80.5	94.2
Vidurkis	59.9	79.6	95.3	Vidurkis	60.7	78.4	92.8	Vidurkis	62.8	79.4	97.8

Zona	Zonos tipas	Pagrindiniai kriterijai $L_{eq} : 35 - 45\text{dB(A)}$
1	Kaimo vietovės, toliau nuo srauto.	0
2	Miesto pakraštys	+5
	Gyvenamieji namai, miesto centras (100m nuo srauto)	+10
	Gyvenamieji namai, miesto centras, pagrindinė gatvė, (60m nuo srauto)	+15
3	Gyvenamieji namai, pagrindinė gatvė, biurai (20m nuo srauto).	+20
4	Pramonės zonos ir sunkiasvorių transporto priemonių eismo zonos.	+25
Paros laiko tarpas		
Diena (06:00 – 19:00)		0
Vakaras (19:00 – 22:00)		-5
Naktis (22:00 – 06:00)		-10

Tyrimas naudingas, nes pateikia esminius skaičius apie svarbią triukšmo problemą. Tai gali būti naudinga triukšmo mažinimo infrastruktūrai.

Remiantis atlikto tyrimo rezultatais galima paaiškinti šiuos svarbius faktorius:

1. Transporto priemonių skaičius mieste didėja, kadangi auga gyventojų skaičius. Dėl to esamas kelių tinklas neišlaiko šio pokyčio be infrastruktūros;
2. Gatvių plotis ir pastatų aukštis neatitinka proporcijų, todėl triukšmas didėja dėl atspindžių;
3. Nepašalinti kelių ir automobilių trūkumai prisideda prie triukšmo didėjimo;
4. Netinkama signalizacijos sistema mieste, pėsčiųjų perėjų trūkumas ir eismo pažeidimai sukelia papildomą triukšmą.

2012m. Vilniaus Gedimino technikos universiteto studentas Julius Gineika atliko tyrimą, nagrinėjo įvairaus darbinio tūrio lengvųjų automobilių variklių skleidžiamą triukšmą aplinkoje. Matavimai buvo atliekami aikštelėje, atitinkančioje „Kelių transporto priemonių variklių triukšmo ribinių dydžių ir jų nustatymo tvarkos apraše“ nurodytus reikalavimus. Tyrimui atlikti parinkti penki automobiliai, turintys skirtingo darbinio tūrio variklius: 1 400 cm³ benzininis, 1 500 cm³ dyzelinis, 1 800 cm³ benzininis, 2 000cm³ benzininis ir 2 500cm³ dyzelinis. Variklių triukšmo matavimai buvo atliekami varikliams dirbant prie 1 000 aps./ min. (~ laisvos eigos), įvertinta, kurie automobiliai viršija nustatytas normas. Taip pat triukšmas buvo matuojamas benzininiams varikliams dirbant prie 3 000 aps./ min. ir dyzeliniams varikliams 3 500 aps./ min. Užfiksuotas

ekvivalentinis, maksimalus bei minimalus garso lygiai, taip pat garso lygiai esant skirtingiems dažniams. Priimta prielaida, kad matavimų paklaida gali svyruoti iki 2 % [14].

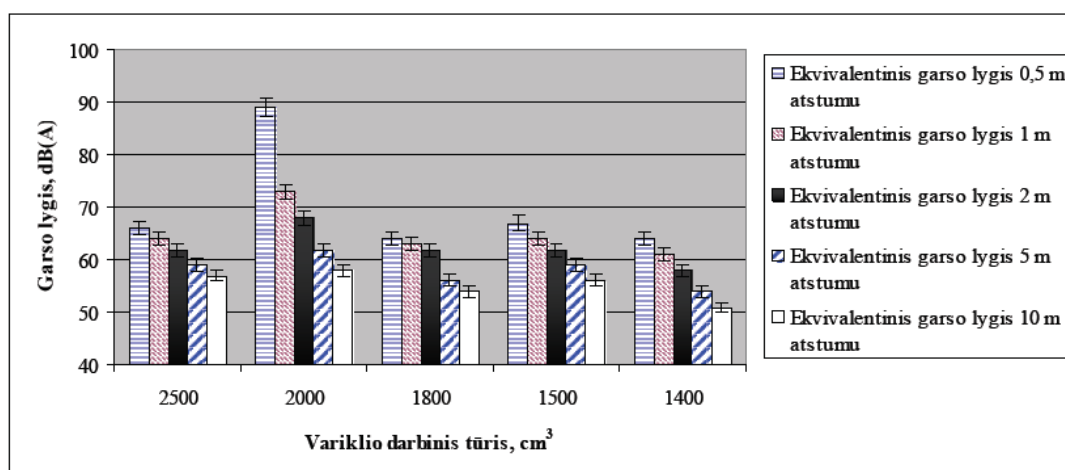
Triukšmo lygiui matuoti buvo naudojamas garso lygio matuoklis *Bruel Kjaer 2260*. Straipsnyje pateikta matavimo schema [14].

Skleidžiamo triukšmo lygis matuotas prie dujų išmetimo sistemos išleidimo angos.

Norint nustatyti, ar M1 klasės transporto priemonės, registruotos po 2002 m. sausio 1 d., neviršija numatyto leidžiamo triukšmo ribos, atliekami matavimai, esant 3 000 aps./ min. dyzeliniams varikliams ir 3 500 aps./ min. benzininiams varikliams. Atitinkamai triukšmo lygio vertės neturi viršyti 90 ir 87 dB(A) lygio ribos [14].

Didžiausias garso lygis pasiektas 2 000 cm³ benzininio variklio, esant 0,5 m atstumui. Ekvivalentinis garso lygis siekia 89 dB(A). Mažiausias triukšmo lygis nustatytas 1 400 cm³ benzininio variklio tokiu pačiu atstumu ir siekia 64 dB(A). Iš gautų rezultatų buvo matyti, kad tolstant nuo triukšmo šaltinio garso lygis mažėja. Dyzeliniai varikliai dėl didesnio slėgio cilindruose yra triukšmingesni, todėl pamatavus buvo gauti didesni rezultatai nei benzininių variklių [14].

Keletas tyrimų rezultatų pateikta 1.8 pav.:



1.8 pav. Ekvivalentinis garso lygis [14]

Tyrimo rezultatai parodė, kad triukšmo lygis nepriklauso nuo variklio darbinio tūrio. Mažesnio litražo varikliai pasiekė didesnes triukšmo vertes. Daroma išvada, kad daugelis tirtų automobilių yra techniškai netvarkingi ir lyginant pagal jų variklių darbinį tūrį gerokai viršija leistinas triukšmo ribas. Taigi matyti, jog triukšmo problema yra aktuali ir mūsų šalyje [14].

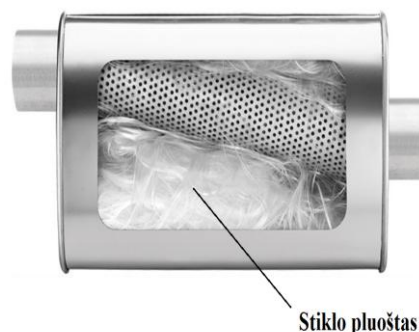
Kiekvieno automobilio skleidžiamas triukšmas turi atitikti nustatytas ribas. Tam, kad suvaldyti į aplinką nuo automobilių patenkanti triukšmą, naudojami pasyvios triukšmo kontrolės įtaisai. Šią sąvoką puikiai atitinka lengvojo automobilio duslintuvas. Jis veikia būtent kaip pasyvi triukšmo kontrolė, kuri slopina variklyje susikaupusių dujų išmetimo į lauką triukšmą.

Pasyvios išmetimo sistemos triukšmo kontrolės elementų tipai yra:

- Slopintuvas su reflektorinėmis pertvaromis ir perforuotais vamzdžiais (1.9 pav.);
- Slopintuvas su perforuotais vamzdžiais ir stiklo pluoštu (1.10 pav.).



1.9 pav. Slopintuvas su reflekt. pertvaromis [15]



1.10 pav. Slopintuvas su stiklo pluoštu [16]

Viename Dr. B. Venkataraman ir Gokul Raj tyrime, buvo analizuojamas pasyvių triukšmo kontrolės komponentų našumas. Tyrimo esmė – kaip kinta galinio dujų išmetimo bakelio sugeriamas triukšmas priklausomai nuo jo konstrukcijos [17].

Slopintuvuose naudojamos medžiagos, kurios absorbuoja garsą ir gerai skaido šilumą. Šios medžiagos taip pat apima didesnius variklio darbo dažnius, sukurdamos mažesnius garso perdavimo nuostolius (STL).

Variklio degimo dažnis apskaičiuojamas pagal formulę [17]:

$$\text{Variklio darbo dažnis} = \frac{\text{Variklio RPM}}{60} \cdot \frac{N}{2}, \text{ Hz} \quad (2)$$

čia N – variklio cilindų skaičius;

Variklio RPM – variklio apsisukimų skaičius aps/min.

Pavyzdžiui: 8 eilėje cilindų automobilio varikliui veikiant prie 6 000 aps./ min. darbo dažnis yra 400 Hz, o jo harmoninis dažnis pakyla iki 960 Hz, dėl turbokompresoriaus darbo dažnis gali kilti iki 3000 Hz ir daugiau. Taigi, pasak tyrimo autorių tai aiškiai rodo, jog automobilio duslintuvas turi sumažinti garsą daugiau negu 3 000Hz [17].

Garso perdavimo nuostoliai – tai svarbus parametras projektuojant duslintuvus, kuris parodo jo akustines savybes. Jis apibrėžiamas kaip santykis tarp sklindančio garso energijos iki slopintuvo ir transformuotos garso energijos praėjusios pro slopintuvą (3), (4) [17].

$$STL = 10 \text{Log}_{10} W_i / W_t, \text{ dB} \quad (3)$$

čia W_i – sklindanti garso energija iki slopintuvo [Hz]. W_t – garso energija praėjusi pro slopintuvą [Hz].

$$STL = 20 \text{Log}_{10} P_i / P_t, \text{ dB} \quad (4)$$

čia P_i – akustinis slėgis kylantis iki slopintuvo [bar]. P_t – akustinis slėgis praėjęs slopintuvą [bar].

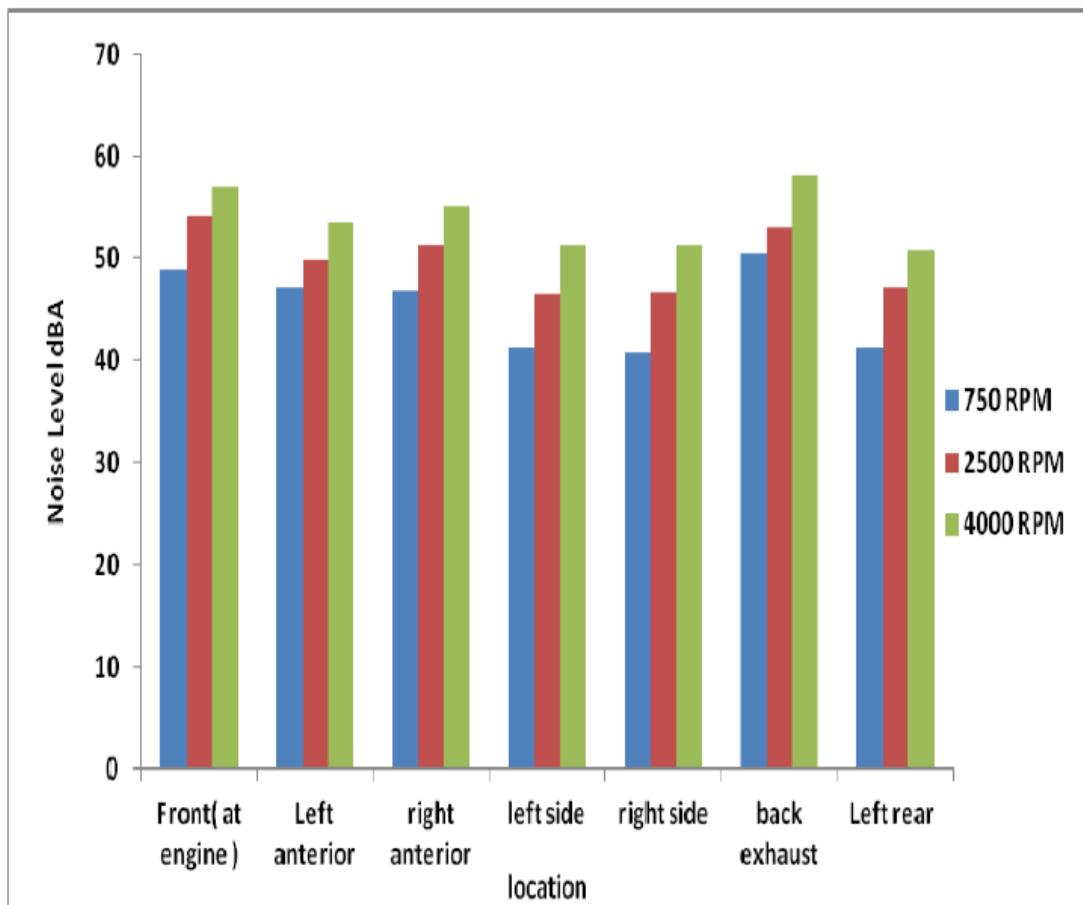
Tyrime garso perdavimo nuostoliai buvo matuojami nuo 50 Hz iki 5 000 Hz garso dažnio diapazone. Pirmieji tyrimo rezultatai parodė, jog duslintuvai su reflektorinėmis pertvaromis geriausiai veikia esant 50 Hz dažniui ir sukuria tik 30 dB garso perdavimo nuostolių. Kylant dažniui iki 1 000 Hz, garso perdavimo nuostoliai gaunami daugiau kaip 30 dB [17].

Duslintuvų su stiklo pluoštu veikimas mažai priklauso nuo dažnio, kadangi jau esant 600 Hz dažniui, tokio duslintuvo garso perdavimo nuostoliai 20 dB. Tai rodo, kad duslintuvai su stiklo pluošto audiniu yra efektyvesni [17].

Kitas autorius Khaled S. AlQdah, 2013m. matavo triukšmą Saudo Arabijoje. Tyrimui buvo pasirinktas tos šalies žmonių labiausiai mėgstamo brand'o Toyota 2002 m. automobilis (autorius tikslaus modelio neįvardina). Straipsnyje pateikiami naudoto matavimų prietaiso duomenys, matavimo schemas ir rezultatai.

Kiekvienoje šalyje yra nustatytos tam tikros triukšmo normos, kurios turi būti neviršijamos. Tyrime remtasi tuometiniu tarptautiniu standartu, kuriame įvardyti leistinieji triukšmo lygiai automobiliams su atitinkamais vidaus degimo varikliais ir kurie turi būti neviršijami. Pagal tai lengvieji automobiliai iki 3,5 t neturi viršyti 74 dBA triukšmo lygio. Saudo arabijoje šių standartų nėra [18].

Matavimai buvo atliekami aplink automobilį įvairiais atstumais, prie tam tikrų variklio apsisukimų bei įvairiose automobilio judėjimo formose. Automobiliui judant normaliu greičiu užfiksuotas 59,45 dBA triukšmo lygis. Varikliui dirbant laisva eiga 750 aps./ min., didžiausias triukšmo lygis pasiektas prie išmetimo angos – 50,4 dBA, o mažiausias dešinėje automobilio pusėje 40,8 dBA. Automobiliui stovint, ir pasiekus 2 500 aps./ min., didžiausias triukšmo lygis užfiksuotas prie išmetimo angos, automobilio gale – 53 dBA, o mažiausias automobilio kairiajame šone. Prie maksimalių 4 000 aps./ min. automobilio judėjimui reikalingų variklio apsisukimų didžiausias triukšmo lygis užfiksuotas automobilio priekyje, šalia variklio – 57 dBA [18].



1.11 pav. Triukšmo lygis aplink automobilį kintant variklio sūkiams [18]

Iš gautų rezultatų 1.11pav., matyti, jog matuotas automobilis atitinka keliamus reikalavimus. Tačiau galima pastebėti, kad būtina nustatyti tam tikras triukšmo ribas ir šioje šalyje, kadangi automobiliai taip pat čia importuojami ir nėra aišku kokios būklės.

Dar keletas autorių Shital Shah, Saisankaranarayana K., Kalyankumar S. Hatti, prof. D. G. Thombare tyrė duslintuvo projektavimo galimybes, siekiant praktiškai geresnės naudos aplinkai, triukšmo ir taršos atžvilgiu. Autoriai projektuoja keletą tipų duslintuvų, bei programiniu paketu sumodeliavę juos, tiria sklindantį triukšmą pagal oro tėkmę duslintuvo viduje. Tyrime pateikiama metodika duslintuvo projektavimui [18].

Cilindro uždegimo dažnis keturtakčiui varikliui [19]:

$$CFR = \frac{n}{120}, \text{ Hz} \quad (5)$$

čia n – variklio sūkių skaičius.

Variklio užvedimo dažnis [18]:

$$EFR = n_c \cdot CFR, \text{ Hz} \quad (6)$$

čia n_c – variklio cilindų skaičius.

Duslintuvo tūris [19]:

$$(Vm) = \left[\frac{\pi}{4} (d^2 \cdot l) \right], 1 \quad (7)$$

čia d – duslintuvo skersmuo, l – duslintuvo ilgis. π – konstanta 3,14.

Perforuotų skylių vamzdyje skersmuo [18]:

$$d_1 = \frac{1,29}{\sqrt{N}}, \text{ m} \quad (8)$$

čia N – maksimalus variklio sūkių skaičius.

Poringumas [19]:

$$\sigma = \frac{\left(\frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \right)}{C^2} \quad (9)$$

čia C – garso greitis. Jis ore lygus $C = 331,5 \text{ m/s}$.

Darbinis variklio cilindrų tūris [19]:

$$V_s = \frac{(\pi \cdot D^2 \cdot L)}{4} \cdot n_c, 1 \quad (10)$$

čia D – cilindro skersmuo, L – stumoklio eiga.

Iš čia skaičiuojamasis tūris [19]:

$$V = (n) \cdot \frac{V_s}{2} \quad (11)$$

Tūris duslintuvo, turi skirtis apytiksliai 12 – 25 kartų nuo skaičiuojamojo tūrio. Todėl Duslintuvo tūris gali būti skaičiuojamas ir taip [19]:

$$V_m = \text{faktorius} \cdot V, 1 \quad (12)$$

čia skaičiuojamasis faktorius – 12...25.

2. AUTOMOBILIŲ TRIUKŠMO TYRIMAS

2.1 Automobilio dujų išmetimo vamzdžių triukšmo tyrimo metodai

Sausumos transporto priemonių automobilių triukšmo ribiniai dydžiai yra nustatyti kelių transporto priemonių variklių triukšmo ribinių dydžių ir jų nustatymo tvarkos apraše. Neturint gamintojo duomenų triukšmo lygis neturi viršyti [20]:

3 lentelė [20]

M1 klasės transporto priemonės, registruotos iki 2002 m. sausio 1 d.		
Galia	Dyzelinas, 3000 sūk./min.	Benzinas, 3500 sūk./min.
< 150 kW	94 dB (A)	91 dB (A)
> 150 kW	96 dB (A)	93 dB (A)
M1 klasės transporto priemonės, registruotos po 2002 m. sausio 1 d.		
Galia	Dyzelinas, 3000 sūk./min.	Benzinas, 3500 sūk./min.
< 150 kW	90 dB (A)	87 dB (A)
> 150 kW	92 dB (A)	89 dB (A)

Vietoje stovinčių automobilių skleidžiamas triukšmo lygis privalo atitikti gamintojo numatytą leidžiamo triukšmo lygio ribą, kuri matuojama A sverties decibelais dB(A) išreikštu didžiausiu garso lygiu [20].

Triukšmo matavimams pasirenkamos trys poros skirtingų markių automobilių, turintys ir neturintys išmetamųjų dujų kenksmingumą mažinantį įrenginį – katalizatorių. Pagal kelių transporto ribinių dydžių ir jų nustatymo aprašą, akustinis matavimas turi būti atliekamas pagal sekančiai pateiktus reikalavimų punktus:

- Transporto priemonių skleidžiamas triukšmas turi būti matuojamas prie dujų išmetimo sistemos išleidimo angos.
- Triukšmo matavimo prietaisas turi atitikti Tarptautinės elektrotechnikos komisijos leidinio „Tikslūs triukšmomačiai“ antrame leidime aprašytų tipų tikslių triukšmomačių parametrus.
- Tyrimo vieta turi būti su kuo mažesniais akustiniais trikdžiais. Tinka betono, asfalto arba koks nors kitas labai gerai garsą atspindintis plokščias paviršius.
- Tyrimo vieta būtinai turi būti stačiakampio formos, kurio kraštinės nuo transporto priemonės yra bent už 3 m. Šioje vietoje neturi būti jokių didesnių kliūčių, pavyzdžiui, kitų asmenų, išskyrus stebėtoją ir vairuotoją. Transporto priemonė minėtame stačiakampyje turi stovėti taip, kad mikrofonas nuo kelkraščio būtų bent už 1m.
- Jei oro sąlygos blogos matuoti nepatartina. Turi būti užtikrinta, kad vėjo šuorai nepadarytų įtakos rezultatams. Matavimo metu vėjo greitis neturi būti didesnis kaip 5 m/s.

- Matuokliais užregistruoti aplinkos ir vėjo triukšmo rodmenys turi būti bent 10 dB (A) mažesni už matuotiną garso lygį.
- Prieš pradėdant matuoti transporto priemonės variklis turi būti įšildomas iki įprastos variklio veikimo temperatūros.
- Mikrofonas turi būti viename aukštyje su išmetamųjų dujų išleidimo anga arba 0,2 m virš bandymo kelio paviršiaus.
- Mikrofono diafragma nuo išmetamųjų dujų išleidimo angos turi būti 0,5 m atstumu. Mikrofono didžiausio jautrio ašis $45^\circ \pm 10^\circ$ kampu, išmatuotu nuo vertikalios plokštumos, nustatytos pagal išmetamųjų dujų išleidimo kryptį, turi būti lygiagreti kelio paviršiui. Mikrofonas turi būti pastatytas prie šios vertikalios plokštumos to krašto, kuriame atstumas tarp mikrofono ir transporto priemonės kontūro pagal galimybes yra didžiausias.
- Iki artimiausio decibelo suapvalinti rodmenys nurašomi iš matuoklio. Atsižvelgiama tik į tų trijų paeiliui atliktų matavimų vertes, kurios atitinkamai skiriasi ne daugiau kaip 2 dB (A). Didžiausia iš šių trijų verčių laikoma bandymo rezultatu.
- Matuojant M_1 ir M_2 klasės transporto priemonių skleidžiamą triukšmą, ribinės vertės didinamos 1dB (A), kai jose sumontuotas tiesioginio degalų įpurškimo dyzelinis variklis.
- Jeigu dujų išmetimo sistema turi kelias dujų išleidimo angas, kurių centrai vienas nuo kito nutolę ne daugiau kaip 0,3 m ir kurios sujungtos su tuo pačiu slopintuvu, mikrofonas turi būti pastatytas prie arčiausiai transporto priemonės kontūro esančios dujų išleidimo angos arba prie aukščiausiai virš kelio paviršiaus esančios dujų išleidimo angos. Visais kitais atvejais prie kiekvienos dujų išleidimo angos turi būti atliktas atskiras matavimas ir didžiausias užregistruotas skaičius laikomas bandymo verte [20].

Pagal Lietuvos higienos norma HN 33:2001, triukšmo lygiai gyvenamojoje ir darbo aplinkoje mūsų atveju skiriami į šiuos tipus [21]:

1. **Nepastovus triukšmas** – triukšmas, kurio lygio pokytis didesnis kaip 5dBA ir nuolat kinta, pertrūksta arba pulsuoja.
2. **Pastovus triukšmas** – triukšmas, kurio lygio pokytis ne didesnis kaip 5 dB(A).

Prieš pradėdant matavimą nustatomas triukšmo pobūdis. 25–30min. laikotarpyje matuojamas aplinkos triukšmo pokytis. Jeigu svyravimų ribos ne didesnės kaip 5 dBA, triukšmas laikomas pastoviu, jeigu didesnės kaip 5 dB(A) – nepastoviu.

Pastovus triukšmas vertinamas pagal garso lygį, papildomai gali būti vertinamas pagal garso slėgio lygį. Nepastovus triukšmas vertinamas pagal ekvivalentinį garso lygį, o gyvenamuosiuose ir visuomeniniuose pastatuose bei jų teritorijose – pagal ekvivalentinį ir maksimalų garso lygius [21].

2.3 Automobilių charakteristikos.

Tyrimui atlikti buvo pasirinkti Volvo, Volkswagen ir BMW automobiliai. Žemiau pateiktos šių automobilių charakteristikos:

Markė/ Modelis: Volvo V50 2.0d 2005m.

Darbinis tūris: 1998cm³

Įpurškimo sistema: Common-rail.

Cilindrų skaičius: 4 eilėje.

Priputimo sistema: Su turbina.

Max. Suk. momentas: 320Nm prie 2 000 aps./ min.

Max. Galia: 100kw (136Ag) prie 4 000 aps./ min.



2.3 pav. Automobilis Volvo V50 [22]

Markė/ Modelis: Volkswagen Touran 1.9 tdi. 2003m.

Darbinis tūris: 1896cm³

Įpurškimo sistema: Pumpe-duse.

Cilindrų skaičius: 4 eilėje.

Priputimo sistema: Su turbina.

Max. Suk. momentas: 250Nm prie 1 900 aps./ min.

Max. Galia: 74kw (101Ag) prie 4 000 aps./ min.



2.4 pav. Automobilis Volkswagen Touran [23]

Markė/ Modelis: BMW 320d (E46) 2004m.

Darbinis tūris: 1995cm³

Įpurškimo sistema: Diesel direct injection.

Cilindrų skaičius: 4 eilėje.

Priputimo sistema: Su turbina.

Max. Suk. momentas: 330Nm prie 2 000 aps./ min.

Max. Galia: 110kw (150Ag) prie 4 000 aps./ min.



2.5 pav. Automobilis BMW 320d (e46) [24]

Pastaba: Visi matuoti automobiliai neturi kietųjų dalelių filtro (DPF).

2.4 Matavimai

Prieš pradėdant matavimą, buvo nustatomas triukšmo vertinimo pobūdis. Prietaisą palikus 25 min. laikotarpiui, fiksuotas aplinkoje kylantis triukšmas. Buvo nustatyta, jog svyravimų ribos yra didesnės kaip 5 dB(A), todėl visi matavimai toliau atliekami atsižvelgus į nepastovaus triukšmo matavimų ir vertinimo metodiką [25].



2.6 pav. Automobilio Volvo V50 (su katalizatoriumi) triukšmo matavimas [25]



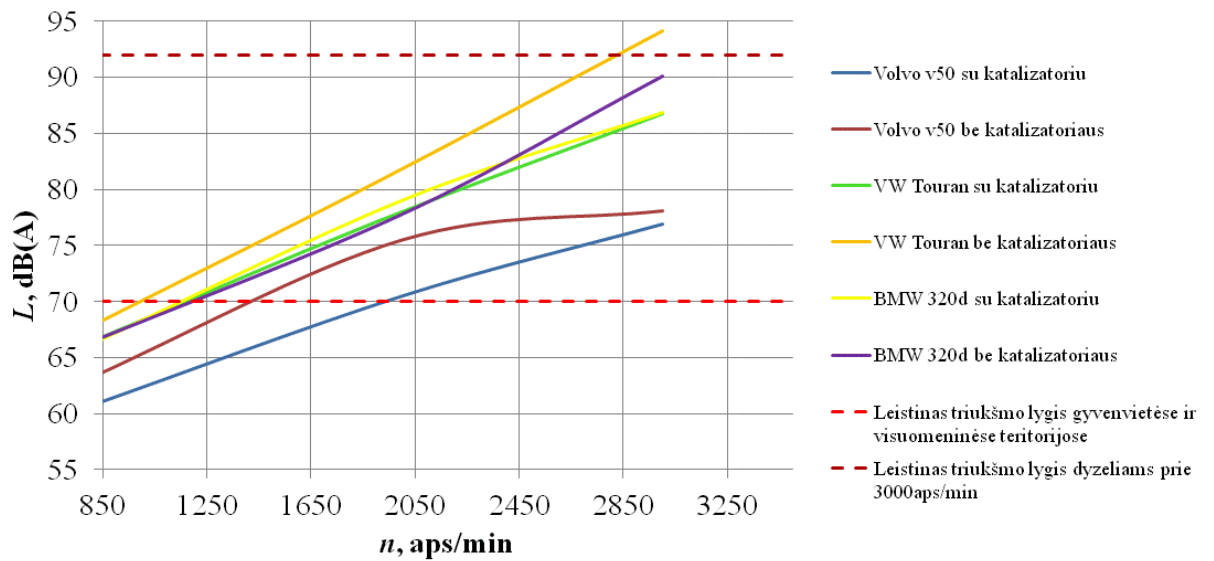
2.7 pav. Automobilio VW Touran (su katalizatoriumi) triukšmo matavimas [25]

Matuoti automobiliai techniškai tvarkingi, atlikę privalomąją automobilių techninę apžiūrą, išmetimo sistemos sandarios, pašalinių garsų iš variklio pusės nepastebėta, transporto priemonės leidžiamos eksploatuoti.



2.8 pav. Automobilio BMW 320d (be katalizatoriaus) triukšmo matavimas [25]

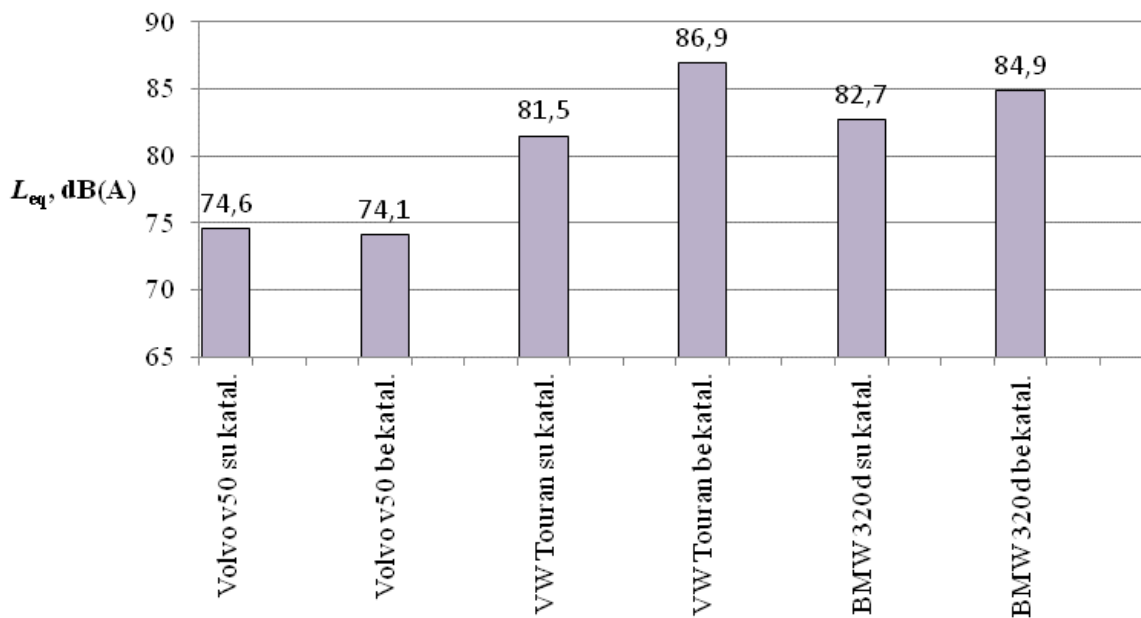
Triukšmo matavimo rezultatai palengva spaudžiant iki 3 000 aps./ min., prie laisvųjų ir didžiausio sukimo momento variklio apsisukimų pateikti 20 pav.



2.9 pav. Triukšmo lygio L kitimas esant įvairiems variklio darbo režimams (apsisukimams n)[25]

Rezultatai rodo, kad automobiliai, kuriuose nėra įrengti arba buvo pašalinti dujų išmetimo katalizatoriai yra triukšmingesni. Šiuose matavimuose tyliausiai pasirodė automobilis Volvo V50 su katalizatoriumi. Jo užfiksuotas didžiausias triukšmo lygis siekė 76,9 dB(A). Triukšmingiausiai pasirodė automobilis Volkswagen Touran be katalizatoriaus. Jo parodymai ties 3 000 aps./ min. siekė 94,1 dB(A). Tai rodo, jog automobilis viršija sausumos transporto priemonių variklio triukšmo ribinių dydžių apraše nustatytą dyzelinių automobilių triukšmo lygį. BMW markės automobilių triukšmo lygiai taip pat skiriasi. Automobilis be katalizatoriaus 3,3 dB(A) triukšmingesnis prie 3 000 aps./ min.

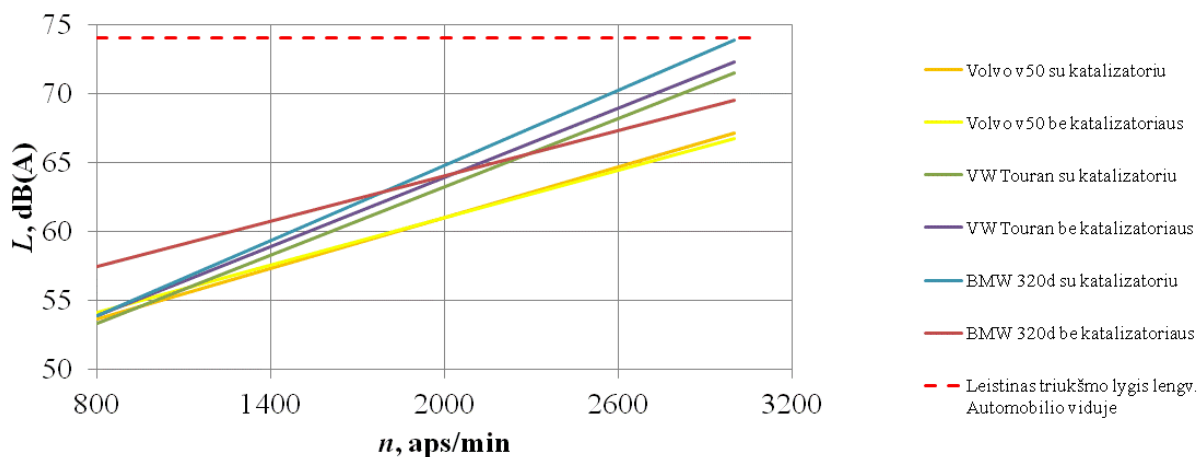
Matavimų eigoje, buvo nustatomas ir ekvivalentinio triukšmo pokytis. Nepastovaus triukšmo ekvivalentinis garso lygis – pastovaus plačiajuosčio triukšmo, kurio vidutinis kvadratinis garso slėgis toks pat, kaip ir nagrinėjamo nepastovaus triukšmo tam tikro laiko intervale, garso lygis. Ekvivalentinio triukšmo lygio rezultatai pateikti 2.10 pav. Kadangi didelio skirtumo nuo maksimalių skirtingų variklio darbo režimų metu fiksuotų rezultatų ekvivalentinis triukšmo lygis neturi, pateikiami ekvivalentinio triukšmo rezultatai varikliui dirbant prie 3 000 aps./ min.



2.10 pav. Ekvivalentinio triukšmo lygio L_{eq} kitimas [25]

Ekvivalentinio triukšmo matavimuose, daugumoje automobilių rezultatai rodo, jog katalizatorius taip pat turi įtakos sklaidžiamam triukšmui. Didžiausias skirtumas yra tarp Volkswagen Touran markės automobilių, kurių ekvivalentiniai triukšmo lygiai skiriasi per 5,4 dB(A). Šiuo atveju Volvo automobilis neturintis katalizatoriaus yra 0,5 dB(A) tylsnis pagal ekvivalentinį triukšmo lygį nei Volvo turintis katalizatorių. BMW markės automobilių ekvivalentinis triukšmo lygis tarpusavyje skiriasi per 2,2 dB(A).

Tolimesni matavimai buvo atliekami automobilių salonuose, sėdint keleivio pusėje. Radijas, vejelis ir kiti triukšmo matavimui įtakos turintys prietaisai buvo išjungti. Šio matavimo metu gauti rezultatai pateikiami 2.11 pav. Pagal higienos norma HN33:2001 keleivinės transporto priemonės skirtos vežti ne daugiau kaip 9 keleiviams, įskaitant vairuotojo vietą leidžiamas triukšmo lygis viduje 74 dB(A).



2.11 pav. Automobilio salone kylančio triukšmo L pokytis [25]

Šiame matavime, labiausiai išsiskyrė BMW markės automobiliai. BMW su katalizatoriumi pasirodė triukšmingesnis nei BMW be katalizatoriaus. Skirtumas siekia 4,4 dB(A) prie 3 000 aps./min. Tačiau dirbant laisvos eigos režimu, triukšmingesnis automobilis be katalizatoriaus. Visų kitų matuotų automobilių triukšmo vertės skiriasi vidutiniškai per 0,5 dB(A). Visi matuoti automobiliai neviršija leistino triukšmo lygio salone ir atitinka reikalavimus. Tik BMW automobilis su katalizatoriumi pasiekęs 3 000 aps./ min. skleidžia 73,9 dB(A) garsą, o tai yra labai arti maksimalaus leistino triukšmo lygio automobilio viduje.

3. DUJŲ IŠMETIMO BAKELIO PROJEKTAVIMAS IR TRIUKŠMO SLOPINIMO SKAIČIAVIMAS

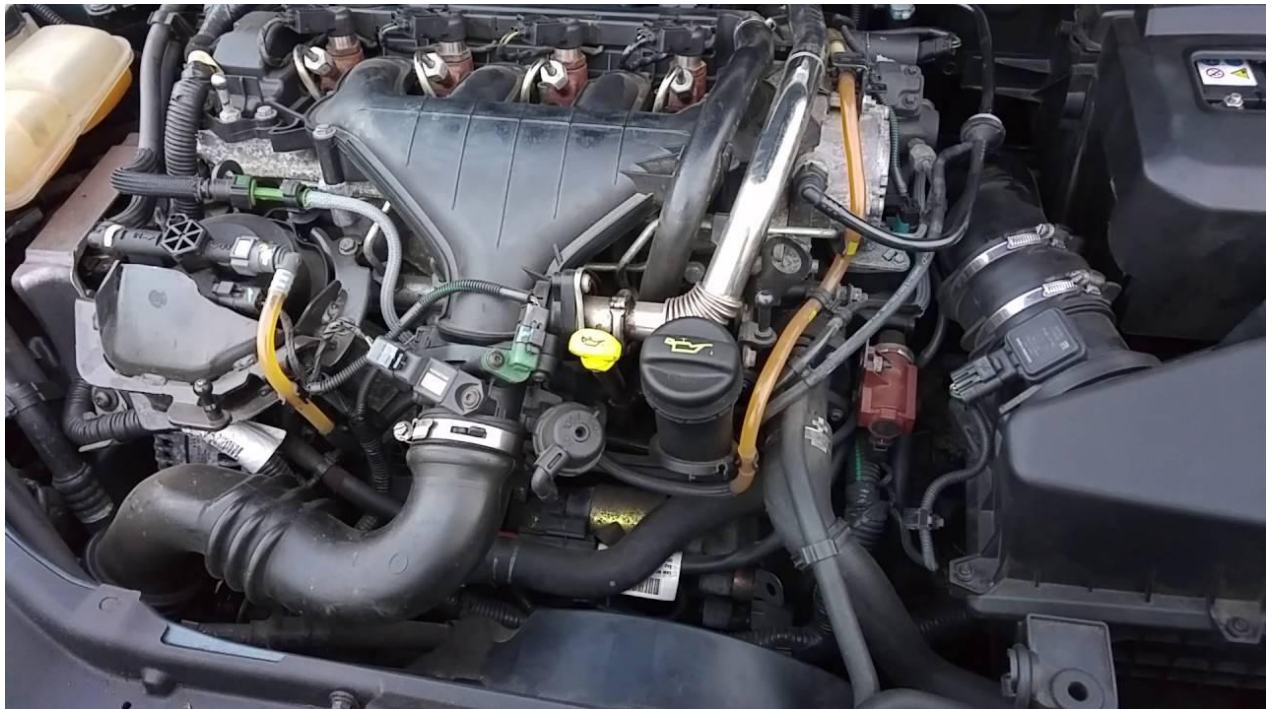
3.1 Bakelio projektavimas ir modeliavimas

Trečiojoje darbo dalyje, buvo nuspręsta suprojektuoti duslintuvo bakelį. Bakelio projektavimui pasirenkami automobilio Volvo V50 su 2.0 l turbo dyzeliniu varikliu, turinčiu „Common-rail“ kuro įpurškimo sistemą, parametrai. Pasitelkdami Shah, Saisankaranarayana K., Kalyankumar S. Hatti, prof. D. G. Thombare metodika atliekame sekančius skaičiavimus:

Automobilio Volvo V50 variklio parametrai:

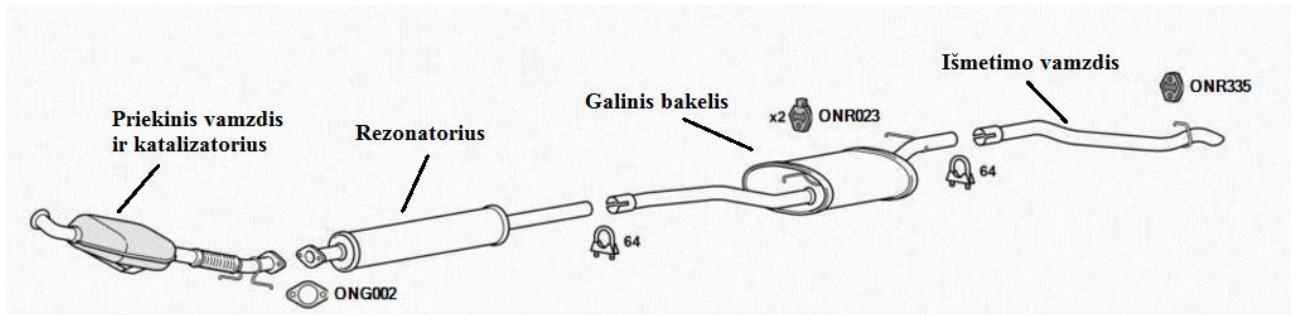
4 lentelė.

Cilindro skersmuo mm	D =	83
Stūmoklio eiga mm	L =	90
Cilindrų skaičius	$n_c =$	4
Variklio apsisukimų skaičius aps./ min.	n =	3000
Maksimalūs apsisukimai aps./ min.	N =	5000



3.1 pav. Volvo V50 2.0d variklis

Šio modelio automobilio dujų išmetimo sistema be DPF:



3.2 pav. Volvo V50 2.0d dujų išmetimo sistema [26]

Tam, kad sužinoti, kokia yra šio automobilio dujų išmetimo bakelio (slopintuvo) konstrukcija, buvo gautas butent tokio automobilio bakelis.



3.3 pav. Volvo V50 2.0d dujų išmetimo bakelis

Išsiaiškinti konstrukcijai, bakelyje padaromas pjūvis:



3.4 pav. Volvo V50 2.0d dujų išmetimo bakelis su pjūviu



3.5 pav. Volvo V50 2.0d dujų išmetimo bakelio konstrukcija – pertvaros



3.6 pav. Volvo V50 2.0d dujų išmetimo bakelio konstrukcija – stiklo pluoštas

Kaip matyti, šiam modeliui, Volvo inžinieriai išmetimo bakelyje panaudojo stiklo pluošta ir reflektorines pertvaras. Stiklo pluoštas – tai viena naujausių technologijų, slopinanti automobilių triukšmą išmetimo sistemoje.

Projektuojame išmetimo bakelį:

Cilindro uždegimo dažnis keturtakčiui varikliui:

$$CFR = \frac{3000}{120} = 25 \text{ Hz};$$

Variklio užvedimo dažnis:

$$EFR = 4 \cdot 25 = 100 \text{ Hz};$$

Darbinis vieno variklio cilindro tūris:

$$V_s = \frac{(3,14 \cdot 83^2 \cdot 90)}{4} = 0,4867 \text{ l};$$

Darbinis visų variklio cilindrų tūris:

$$V_s = 0,4867 \cdot 4 = 1,9468 \approx 2 \text{ l};$$

Skaičiuojamasis variklio cilindrų tūris:

$$V = 4 \cdot \frac{0,4867}{2} = 0,9734 \text{ l} \approx 1 \text{ l};$$

Duslintuvo tūris, turi skirtis apytiksliai 12 – 25 kartų nuo skaičiuojamojo tūrio, todėl gali būti skaičiuojamas ir taip:

$$I_{\text{mame faktorių}} = 16.$$

$$V_m = 16 \cdot 1 = 16 \text{ l};$$

Duslintuvo kameros skersmuo:

Iš tūrio formulės išreiškiame dydį d:

$$d = \sqrt{\frac{V_m \cdot 4}{3,14 \cdot 0,5}}, \text{ m}; \quad (13)$$

$$d = \sqrt{\frac{16 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,5}} = 0,2019 \text{ m};$$

$$d = 201,9 \text{ mm}, \text{ imame } d = 202 \text{ mm};$$

Perforuotų skylių vamzdyje skersmuo:

$$d_1 = \frac{1,29}{\sqrt{5000}} = 0,01824 \text{ m};$$

$$d_1 = 18,24 \text{ mm}, \text{ imame } d_1 = 18 \text{ mm};$$

Kiti nežinomi dydžiai parenkami proporcingai:

Sienelės storis:

$$s = 2,5 \text{ mm};$$

Kameros ilgis:

$$L_k = 670 \text{ mm};$$

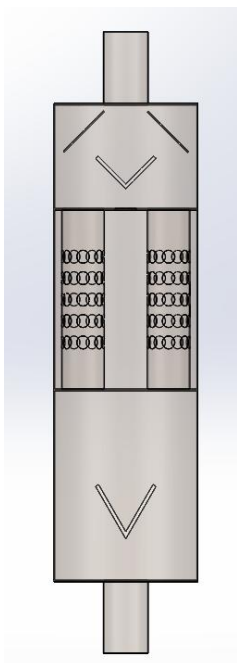
Išsiurbimo ir išmetimo galų išoriniai skersmenys:

$$d_{ii} = 63 \text{ mm};$$

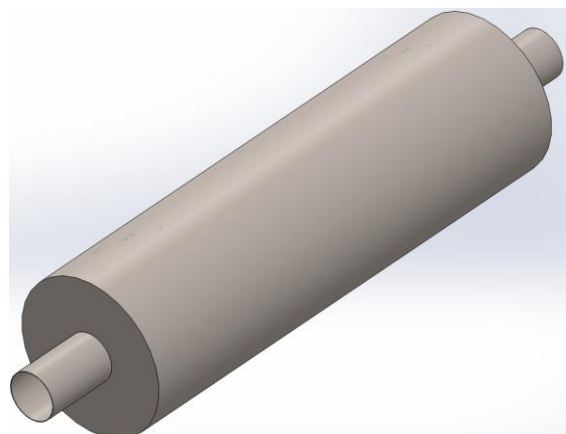
Išsiurbimo ir išmetimo galų vidiniai skersmenys:

$$d_{iil} = 61,5 \text{ mm};$$

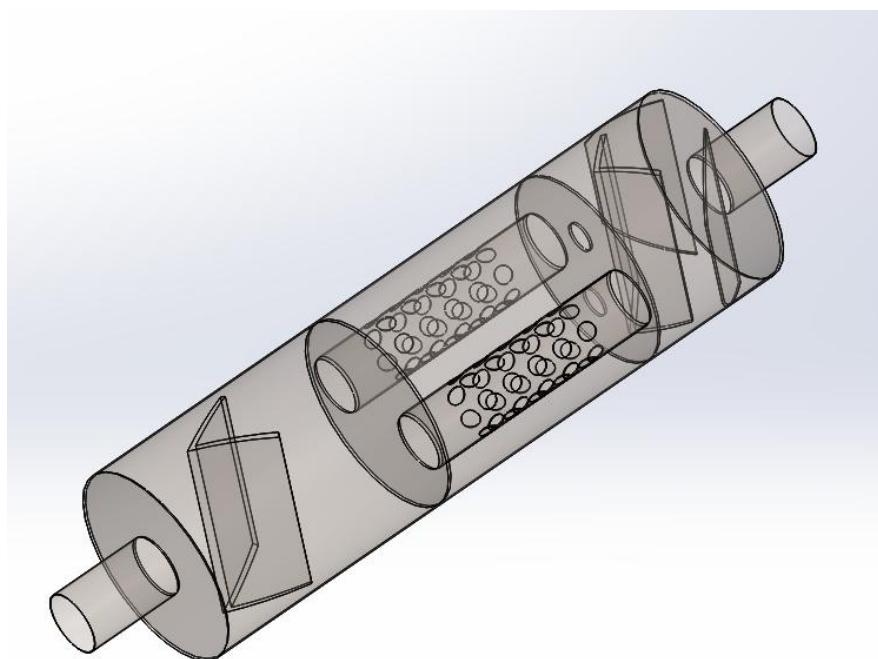
Pasinaudojus programiniu paketu „Solidworks“, buvo modeliuojamas duslintuvo bakelis turintis pertvaras, įrengtais ir atskirtais dviem kameros viduje vamzdžiais su perforuotomis skylėmis, bei įdiegtomis oro srauto nukreipimo sienelėmis.



3.7 pav. Dujų išmetimo bakelio vaizdas iš viršaus



3.8 pav. Dujų išmetimo bakelio vaizdas iš išorės

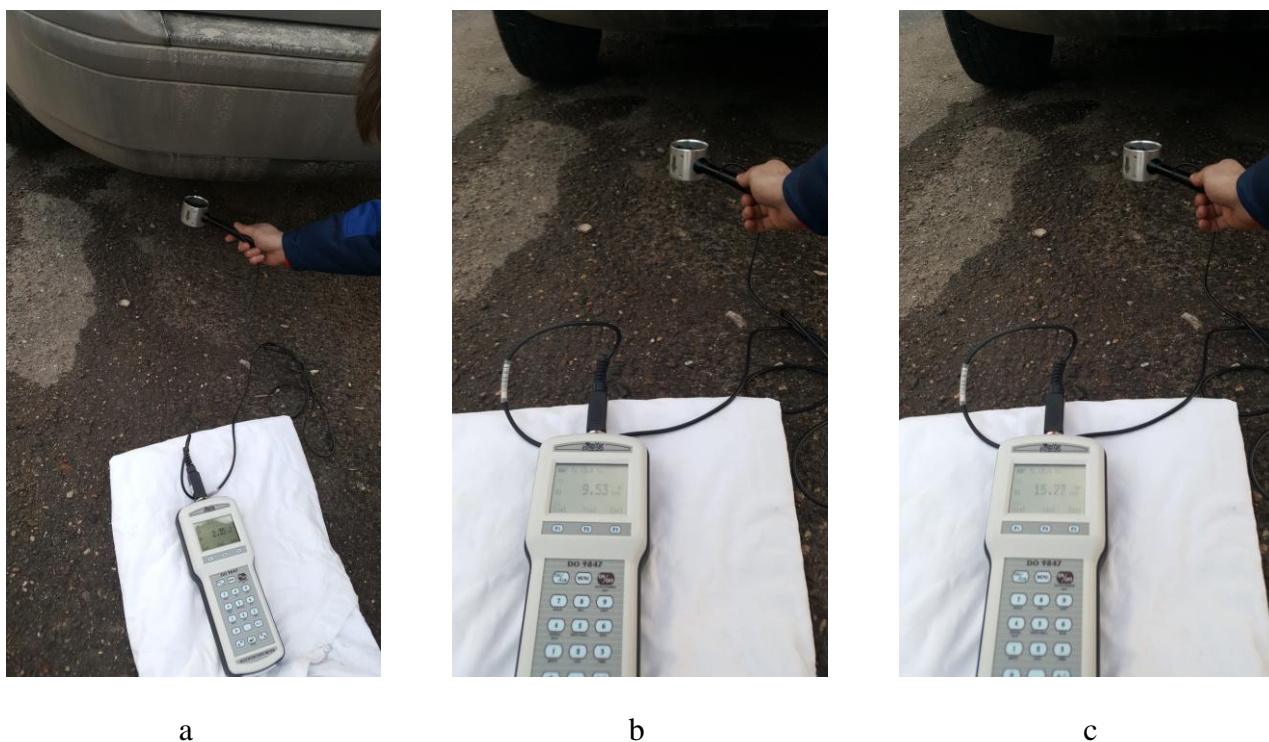


3.9 pav. Suprojektuotas dujų išmetimo bakelis

3.2 Dujų srauto greičio nustatymas

Tam, kad ištirti bakeliu sklindantį triukšmą, buvo reikalinga nustatyti automobilio Volvo V50 dujų išmetimo sistema tekančio dujų srauto greitį. Anemometro DO 9847 pagalba buvo nustatomas dujų srauto greitis prie tam tikrų variklio apsisukimų.

Matavimai atlikti prie laisvųjų variklio sūkių, didžiausio išvystomo variklio sukimo momento sūkių ir prie 3 000 aps./ min. Žemiau pateikiami rezultatai:



3.10 pav. Dujų srauto greičio matavimas: a – prie laisvųjų sūkių (~850 aps./ min.); b – prie 2 000 aps./ min.; c – 3 000 aps./ min.

Kadangi tikslios metodikos kaip nustatyti dujų srauto greiti anemometro pagalba nebuvo rasta, todėl matavimą atlikome palaikant prietaisą apytiksliai vienodu atstumu šalia išmetimo angos rankos pagalba. Gauti rezultatai:

1. Prie ~850 aps./ min. – 2,35 m/s
2. Prie 2 000 aps./ min. – 9,53 m/s
3. Prie 3 000 aps./ min. – 15,27 m/s

Nors matavimus atlikome įvairiuose variklio darbo režimuose, tačiau triukšmo nustatymui programoje „Ansys Mechanical“ naudosime didžiausią matuotą dujų srauto greičio reikšmę t.y., 15,27 m/s.

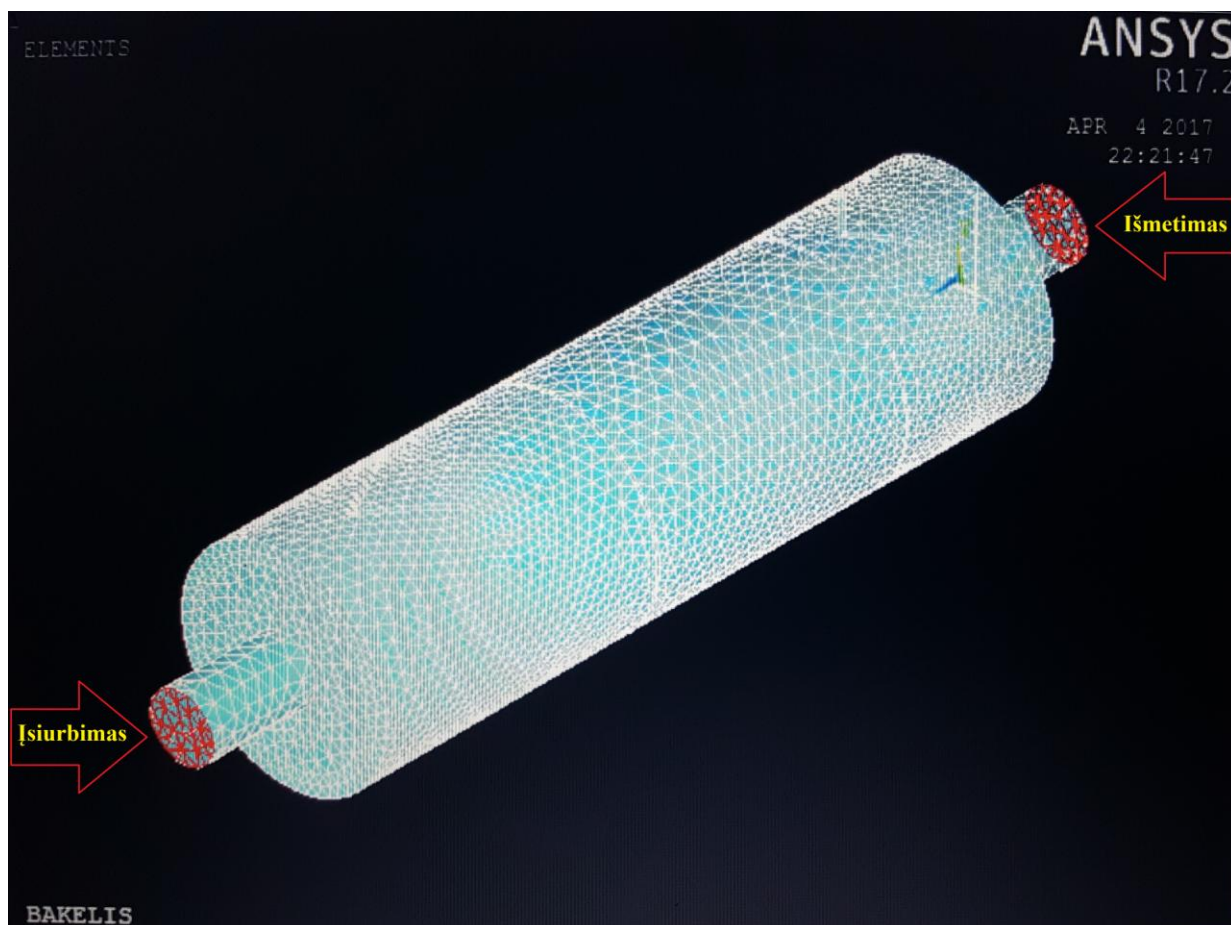
3.3 Suprojektuoto duslintuvo bakelio triukšmo slopinimo skaičiavimas.

Tam, kad nustatyti suprojektuoto bakelio sugeriamą triukšmą, buvo pasinaudota programiniu paketu „ANSYS Mechanical“. Šia programa nustatyti garso perdavimo nuostoliai (TL) bakeliui, priklausomai nuo jo konstrukcijos pakeitimų. Tai reiškia, jog buvo matuojamas triukšmo kiekis, kurį slopina suprojektuotas dujų išmetimo bakelis. Matavimai atlikti tokioms konstrukcijoms:

- Pilnas bakelis su skirtingais perforuotų skylių skersmenimis;
- Tuščias bakelis su skirtingu kameros skersmenimi;
- Tuščias bakelis su skirtingu kameros ilgiu.

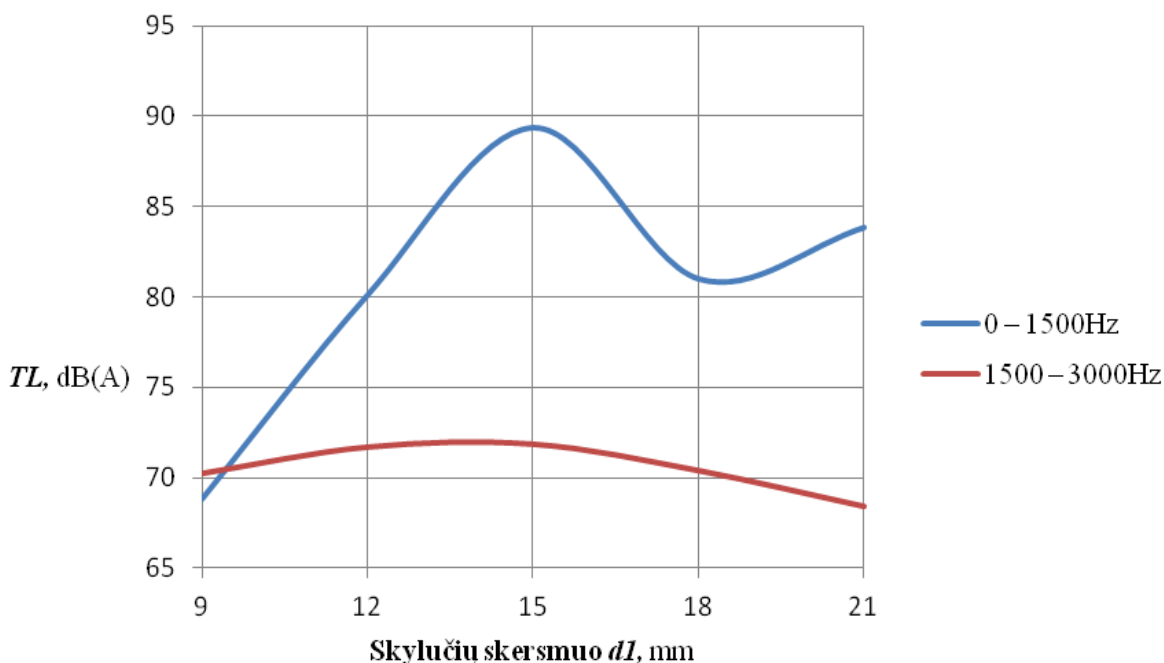
Programoje, vietoj variklio apsisukimų naudojamas bangos dažnis. Darome prielaida, kad šis bangos žadinimo dažnis koreliuoja su variklio apsisukimų dažniu. Todėl rezultatai bus pateikiami pagal bangos žadinimo dažnį. Triukšmas vertinamas pagal dujų išmetimo bakelyje tekančių dujų srauto greitį. Realybėje bakelis yra veikiamas ir kitų šaltinių, kaip variklio vibracija, katalizatoriaus triukšmo slopinimas ir pan. Tačiau šiame tyrime šių dydžių nevertiname.

Programa „Ansys“ kiekvienam modeliui buvo sukuriamas skaičiavimo tinklelis:



3.11 pav. „Ansys“ triukšmo skaičiavimo tinklelio dujų išmetimo bakeliui kūrimas

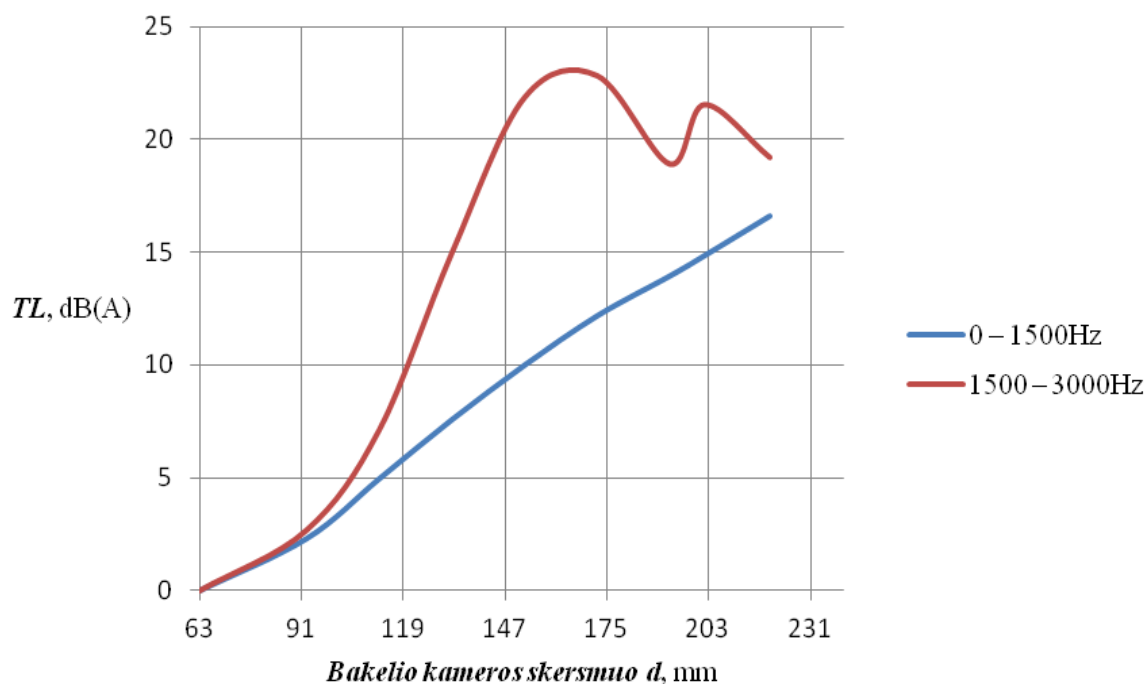
Skaičiavimai buvo atliekami nuo 0 iki 3 000Hz bangos dažnio diapazone. Iš kiekvieno gauto rezultato paimti didžiausi užfiksuoti duomenys diapazonuose nuo 0–1 500Hz ir nuo 1 500–3 000Hz. Pirmuoju bandymu nustatomas pilno bakelio su visais vidiniais elementais triukšmo slopinimas. Didinant perforuotų vamzdžių skylučių skersmenis tiriamas triukšmo slopinimas. 3.12 pav. pateikiami gauti rezultatai:



3.12 pav. Triukšmo slopinimo priklausomybė nuo dujų išmetimo bakelio perforuotų vamzdžių skylučių skersmens

Pagal bakelio projektavimo metodiką ir Volvo variklio parametrus buvo apskaičiuota, jog skylučių skersmuo turi būti 18 mm, tačiau iš 3.12 pav. esančio grafiko matyti, jog optimaliausias perforuotų vamzdžių skylučių skersmuo yra 15 mm. Būtent, prie šio skersmens pasireiškia didžiausias triukšmo slopinimas ir viename ir kitame nurodytuose žadinimo dažnio diapazonuose. Esant 15 mm skersmens skylutėms, diapazone nuo 0–1 500Hz triukšmo slopinimas yra 89,34 dB(A), o nuo 1 500–3 000Hz triukšmo slopinimas 71,89 dB(A).

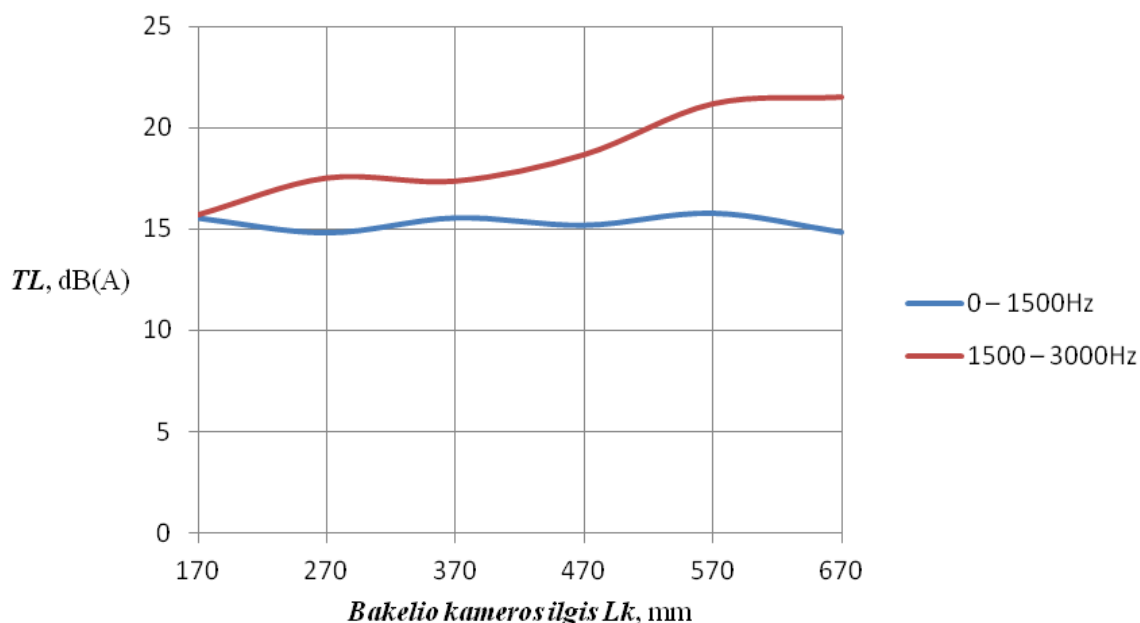
Toliau atliekami tuščio išmetimo bakelio triukšmo slopinimo skaičiavimai, keičiant jo kameros skersmenį. Kameros ilgis lieka pastovus 670 mm. Gauti rezultatai pateikti 3.13 pav.:



3.13 pav. Triukšmo slopinimo priklausomybė nuo dujų išmetimo bakelio kameros skersmens

Iš 3.13 pav. esančio grafiko matyti, jog keičiant bakelio kameros skersmenį, triukšmo slopinimas labiausiai kinta esant aukštesniam dažniui. Diapazone nuo 0–1 500 Hz didinant kameros skersmenį triukšmo slopinimas didėja, ir prie 220 mm skersmens siekia 16,59 dB(A). Diapazone nuo 1 500–3 000 Hz didžiausias triukšmo slopinimas yra 22,8 dB(A), esant 172,5 mm kameros skersmeniui. Toliau didinant kamerą, triukšmo slopinimas šiame diapazone slenka žemyn. Bakelio kameros skersmuo buvo apskaičiuotas ir gautas 202 mm. Tačiau iš „Ansys“ skaičiavimų daroma prielaida, jog optimaliausias kameros skersmuo yra 172,5 mm.

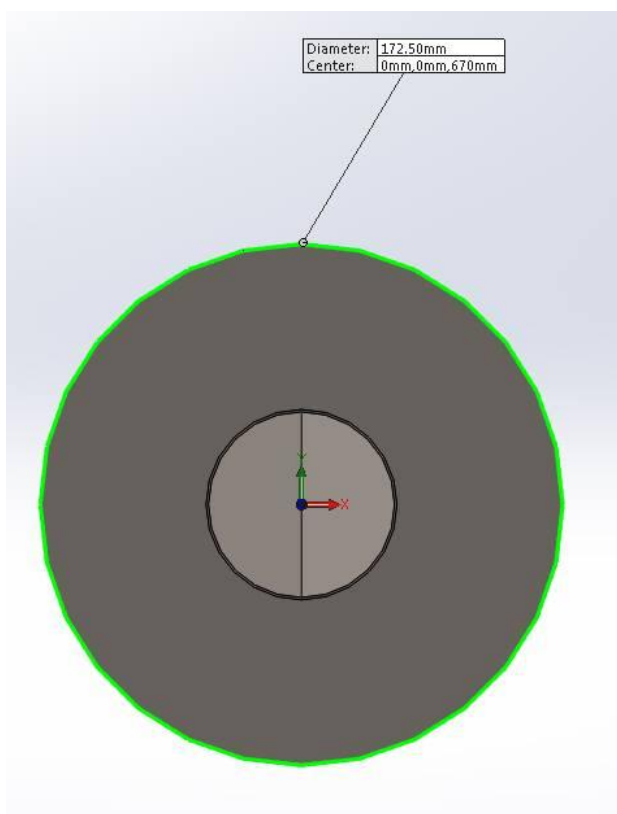
Toliau skaičiuojamas tuščio dujų išmetimo bakelio triukšmo slopinimas, keičiant kameros ilgį. Kameros skersmuo lieka pastovus 202 mm. Gauti rezultatai pateikti 3.14 pav.:



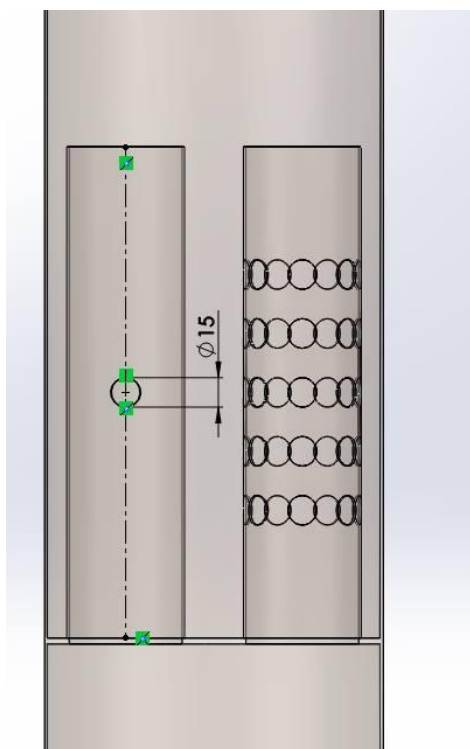
3.14 pav. Triukšmo slopinimo priklausomybė nuo dujų išmetimo bakelio kameros ilgio

Šiame skaičiavime didžiausias triukšmo slopinimas pasireiškia taip pat esant aukštesniam dažniui. Iš 3.14 pav. esančio grafiko matyti, jog diapazone nuo 1 500–3 000 Hz triukšmo slopinimas didinant kameros ilgį didėja ir prie 670 mm pasiekia 21,53 dB(A). Tuo tarpu diapazone nuo 0 – 1 500 Hz didinant kameros ilgį didžiausias slopinimas pasiekiamas 15,79 dB(A) prie 570 mm kameros ilgio. Toliau didinant kameros ilgį šiame diapazone triukšmo slopinimas slenka žemyn. Daroma prielaida, jog pasirinktas bakelio ilgis tinkamas.

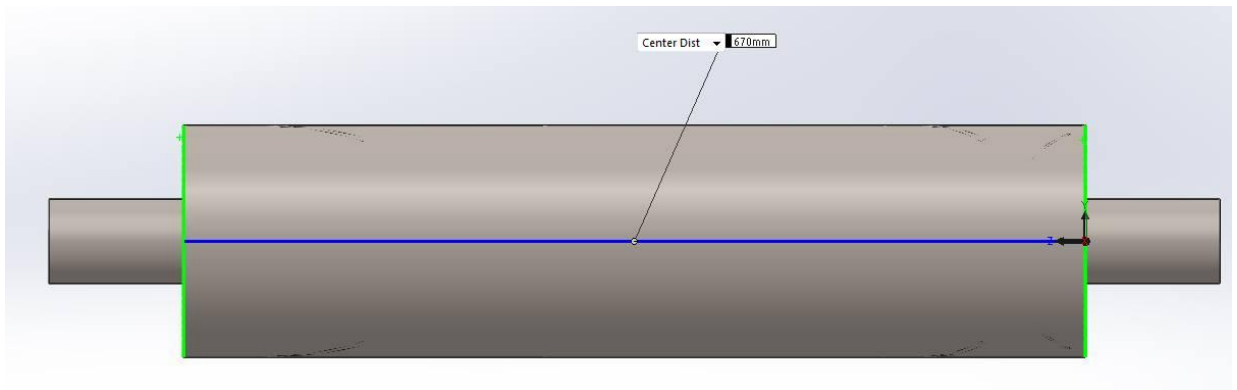
Toliau modeliuojame bakelį, kurio kameros skersmenį mažiname iki 172,5 mm, o skylių skersmuo pakeičiamas į 15 mm. Bakelio kameros ilgį paliekame 670 mm.



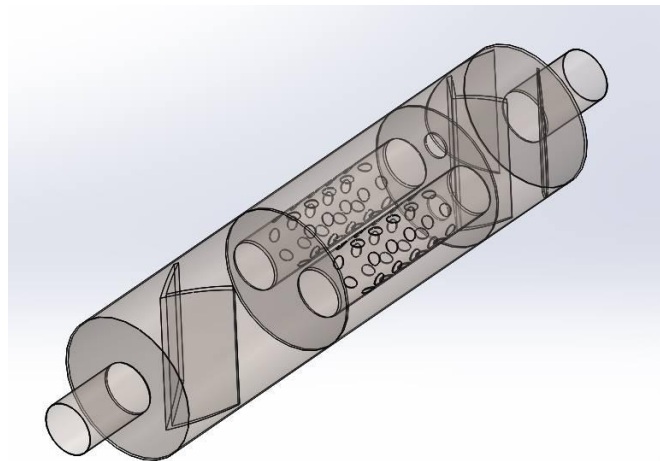
3.15 pav. Dujų išmetimo bakelio kameros skersmuo



3.16 pav. Dujų išmetimo bakelio perforuotų vamzdžių skylių skersmuo

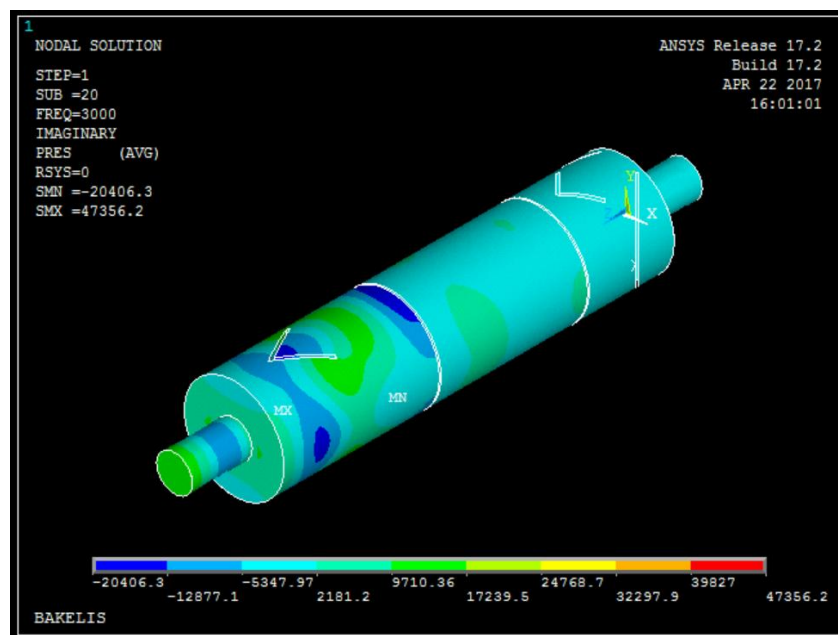


3.17 pav. Dujų išmetimo Bakelio kameros ilgis



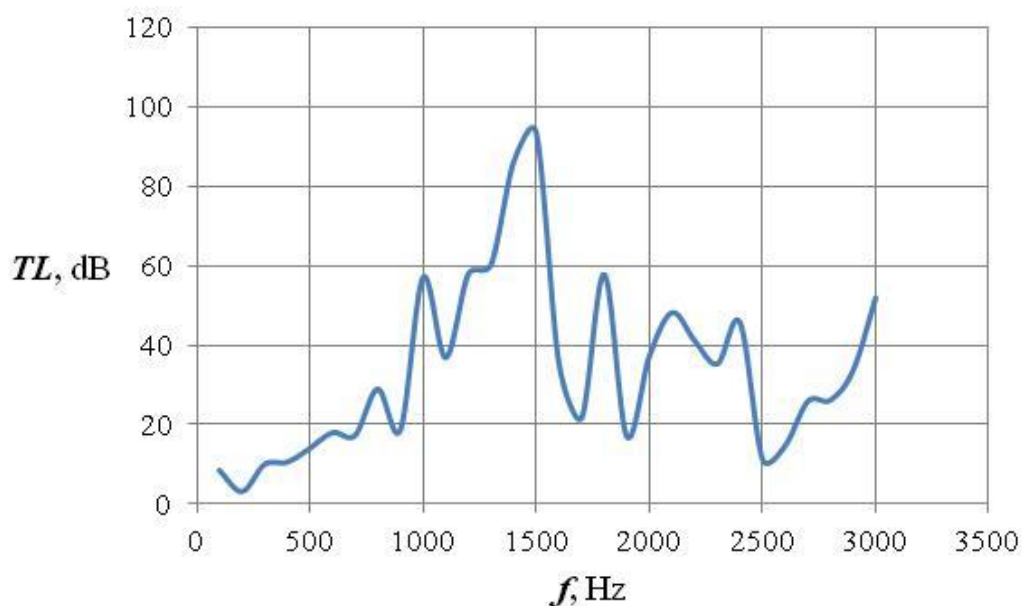
3.18 pav. Tikrasis dujų išmetimo bakelio vaizdas

Atliekame galutinio sumodeliuoto bakelio triukšmo simuliacija, pasinaudodami programiniu paketu „ANSYS Mechanical“:



3.19 pav. Slėgių pasiskirstymas

Gauti rezultatai pateikti 3.20 pav.:



3.20 pav. Tikrojo suprojektuoto dujų išmetimo bakelio triukšmo slopinimas

Iš 3.20 pav. esančio grafiko matyti, jog triukšmo slopinimas prie 1 500Hz dažnio siekia 93,33 dB(A). Tai yra didžiausias slopinimo lygis visame diapazone. Lyginant su pirminiu suprojektuotu dujų išmetimo bakeliu, kurio didžiausias triukšmo slopinimas yra 89,34 dB(A), antruoju bandymu sumodeliuotas bakelis triukšmą slopina geriau.

4. DUJŲ IŠMETIMO VAMZDŽIŲ TRIUKŠMO SLOPINIMO PER ATSTUMĄ NUSTATYMAS

Programa „Ansys Mechanical“ buvo nustatomas triukšmo slopinimas įvertinant dujų srautą. Tačiau šis triukšmas yra tik paties bakelio. Kadangi išskirti variklio skleidžiamą triukšmą nuo dujų išmetimo triukšmo yra labai sudėtinga, reikalinga speciali triukšmo nepraleidžianti patalpa, o nustatytų reikalavimų kaip tai padaryti nebuvo rasta, nuspręsta atlikti neįprastą matavimą, kuriuo būtų apytiksliai išskirtas triukšmo slopinimas per atstumą nuo variklio.

Matavimo principas: du vienodi Volvo V50 automobiliai pastatomi priekiu vienas į kitą. Triukšmo matavimas atliekamas automobiliui turinčiam katalizatorių, tik matuojama, mikrofoną pastačius už kito automobilio galinės dalies. Duomenys fiksuojami laisvos eigos režimu, prie 2 000 aps./ min ir prie 3 000 aps./ min.

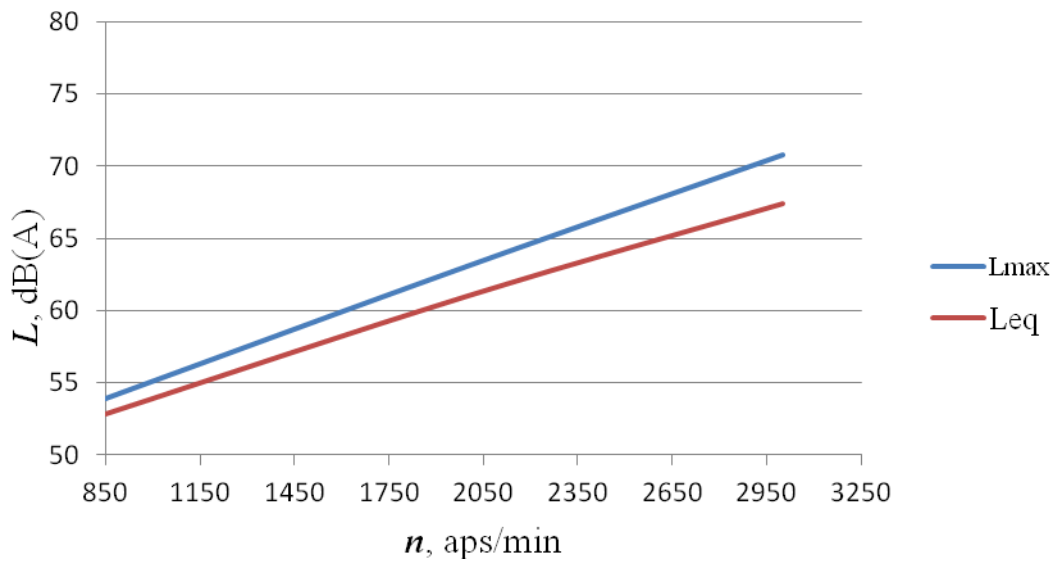


4.1 pav. Triukšmo per atstumą matavimo principas



4.2 pav. Triukšmo per atstumą matavimas

Matuoti maksimalus ir ekvivalentinis triukšmo lygiai. Rezultatai pateikti 4.3 pav.



4.3 pav. Triukšmas per atstumą

Iš 4.3 pav. grafiko matyti, jog didelę dalį skleidžiamo triukšmo sudaro variklio triukšmas. Prie laisvųjų variklio sūkių automobilis skleidžia 53,9 dB(A) triukšmą. Varikliui pasiekus 2 000 aps./min. jo triukšmas kyla iki 63,1 dB(A). Priartėjus prie 3 000 aps./min. triukšmo lygis yra 70,8 dB(A). Šiuo atveju ekvivalentinis triukšmo lygis siekia 67,4 dB(A).

Tam, kad apytiksliai nustatyti, kiek triukšmo nuslopsta per atstumą, atliekame šiuos skaičiavimus:

Automobilio maksimalus dujų išmetimo triukšmas prie 3 000 aps./min.: $L_1 = 76,9$ dB(A).

Automobilio per atstumą nuo variklio nuslopintas triukšmas prie 3 000 aps./min.: $L_2 = 70,8$ dB(A)

Nuslopintas triukšmas[27]:

$$L = 10 \text{Log}_{10} \left(\sum_{i=1}^n 10^{L_i/10} \right), \text{ dB} \quad (14)$$

čia L_i – i-asis triukšmo matavimas.

$$L_N = 10 \text{Log}_{10} (10^{76,9/10} - 10^{70,8/10}) = 75,7 \text{ dB}$$

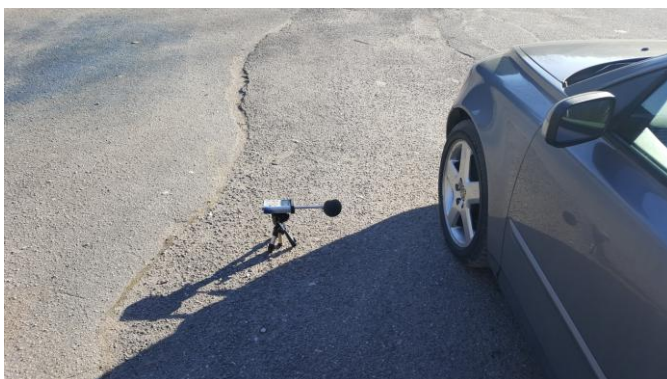
Taigi, per atstumą nuo variklio, triukšmo lygis nuslopsta 75,7 dB.

5. VARIKLIO TRIUKŠMO NUSTATYMAS

Toliau atliktas automobilio variklio triukšmo matavimas. Atstumą nuo automobilio iki mikrofono parinkome 0,5 m. Matavimai buvo atliekami mikrofoną palikus prieš automobilį, iš kairiojo ir dešiniojo automobilio šonų. Matuotas maksimalus skleidžiamas triukšmo lygis.



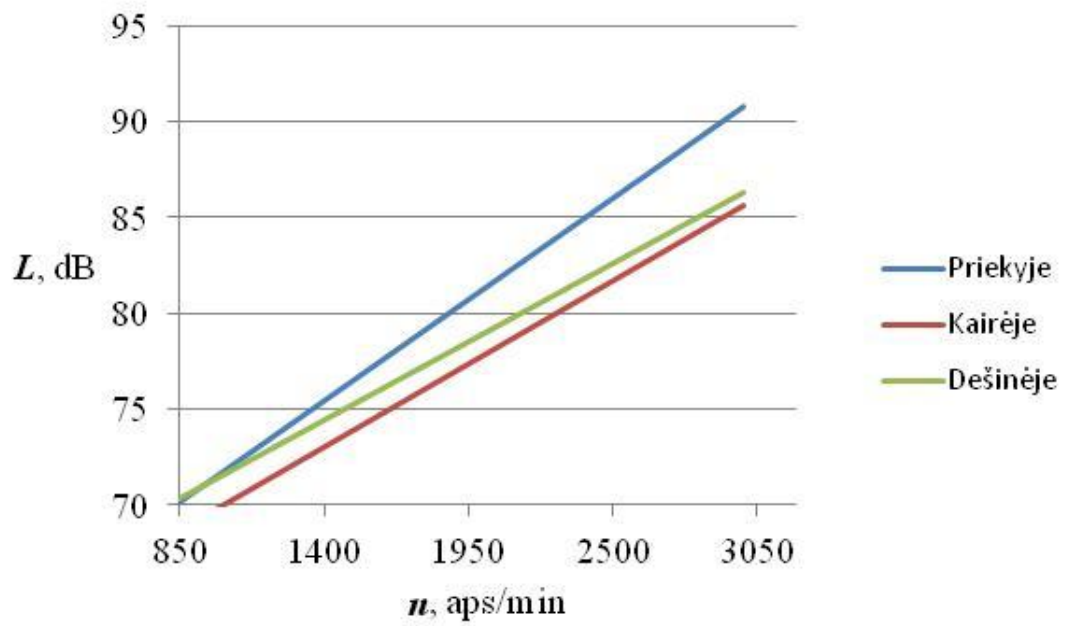
5.1 pav. Variklio triukšmo matavimas iš automobilio priekio



5.2 pav. Variklio triukšmo matavimas iš automobilio kairiojo šono



5.3 pav. Variklio triukšmo matavimas iš automobilio dešiniojo šono



5.4 pav. Variklio skleidžiamo triukšmo lygis

Iš 5.4 pav. matyti, jog didžiausias variklio triukšmas sklinda automobilio priekyje. Laisvų apsisukimų metu užfiksuota 70,1 dB, prie 3 000 aps./ min. triukšmo lygis siekia 90,8 dB.

6. SUPROJEKTUOTO BAKELIO REIKIAMO TRIUKŠMO SLOPINIMO NUSTATYMAS IR PALYGINIMAI.

Tam kad nustatyti ar suprojektuotas bakelis slopina reikiamą triukšmo lygį, sudarome lygtį:

$$10\text{Log}_{10}(L_V - L_N - X) = 10\text{Log}_{10}L_B,$$

čia L_V – Nustatytas variklio triukšmas. L_N – nuslopintas triukšmas per atstumą. L_B – triukšmo lygis nustatytas prie dujų išmetimo angos.

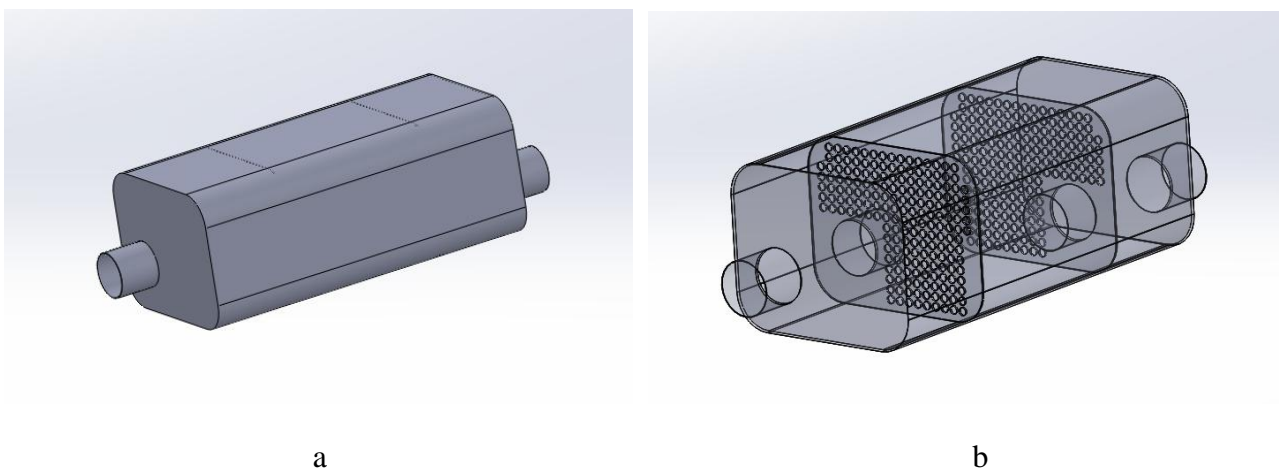
$$10\text{Log}_{10}(10^{90,8/10} - 10^{75,7/10} - X) = 10\text{Log}_{10}10^{76,9/10};$$

$$10\text{Log}_{10}(10^{90,7/10} - X) = 10\text{Log}_{10}10^{76,9/10};$$

$$X = 10\text{Log}_{10}(10^{90,7/10} - 10^{76,9/10}) = 90,5\text{dB}(A).$$

Taigi, gauta jog bakelis turi slopinti 90,5dB. Mūsų atveju buvo nustatyta, jog suprojektuotas dujų išmetimo bakelis slopina 93,33dB, nevertinant variklio sukeliamų vibracijų ir kitų pašalinių triukšmo šaltinių.

Palyginimui, padaromas apytiksliai analogiškas automobilio Volvo V50 dujų išmetimo bakelio modelis. Matmenims nustatyti, pamatuojame 3.3 pav. pateiktą bakelį.



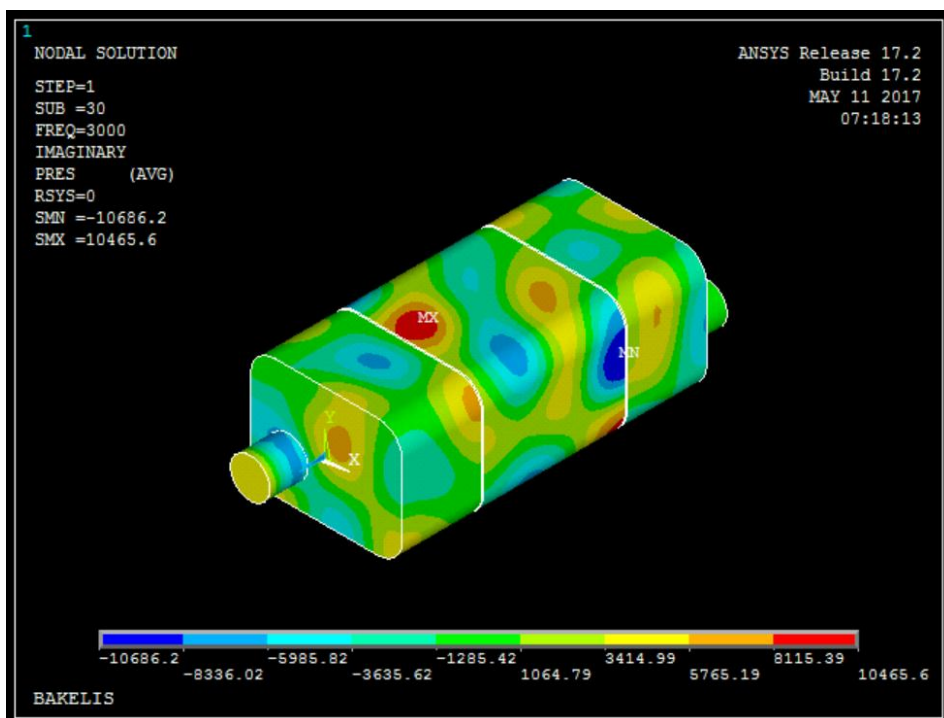
6.1 pav. Volvo V50 dujų išmetimo bakelio modelis: a – išorė; b – vidus

Bakelio kameros ilgis – 420 mm.

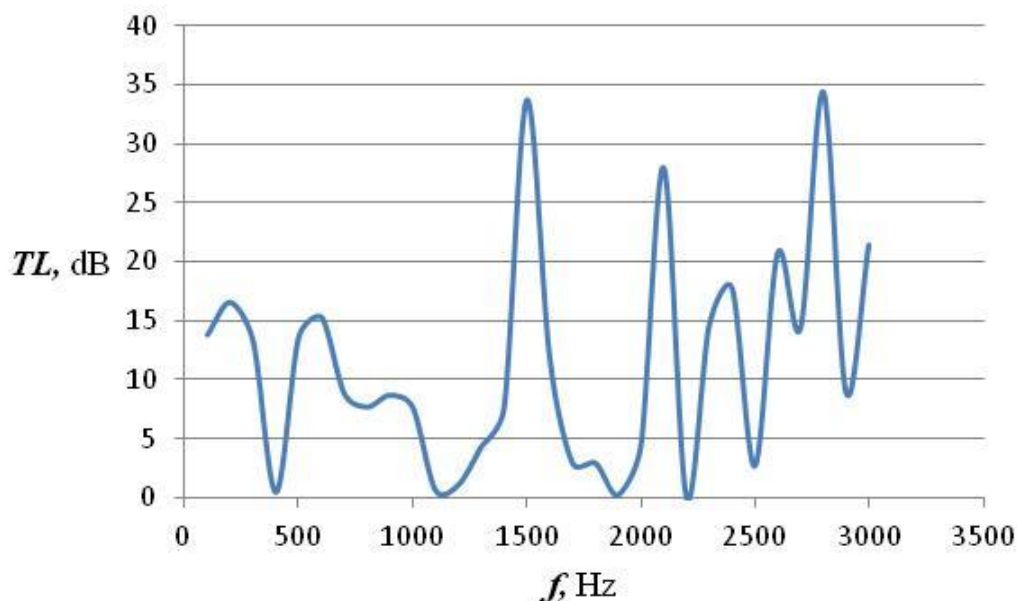
Bakelio kameros plotis – 165 mm.

Perforuotų reflektorinių pertvarų skylučių skersmuo – pamatavus skylutes, buvo nustatyta 4mm. Tačiau dėl kompiuterio skaičiavimo resursų stygio „Ansys“ aplinkoje, dujų išmetimo bakelio perforuotoms skylutėms parinkome 8mm skersmenį.

Atliekame triukšmo skaičiavimus „Ansys“ aplinkoje.



6.2 pav. Slėgių pasiskirstymas dujų išmetimo bakelyje



6.3 pav. Volvo V50 dujų išmetimo bakelio triukšmo slopinimas

Iš 6.3 pav. pateikto grafiko, matome jog Volvo bakelio modelis, triukšmo slopina gerokai mažiau. Didžiausias triukšmo slopinimo lygis 34,33 dB prie 2 800 Hz dažnio. Taip yra todėl, jog šis bakelis nėra pilna analogija tikrajam. Perforuotų pertvarų skylučių skersmuo didesnis, bakelio matmenys matuoti slankmačiu, todėl atsiranda matavimo paklaidos, nevertinama variklio vibracija ir kiti pašaliniai automobilio triukšmo šaltiniai.

IŠVADOS

Darbe buvo tiriamas automobilių dujų išmetimo sistemos triukšmas. Atlikti realūs automobilių dujų išmetimo sistemos triukšmo matavimai, konkretaus modelio automobiliui suprojektuotas dujų išmetimo bakelis ir kompiuterinio modeliavimo programa „Ansys Mechanical“ ištirtas triukšmo slopinimas.

1. Atliekant realius matavimus nustatyta, jog automobiliai turintys katalizatorių yra triukšmingesni ~7 %. Tyliausias automobilis Volvo V50 su katalizatoriumi – 76,9 dB(A) prie 3 000 aps./ min. Triukšmingiausias automobilis VW Touran be katalizatoriaus – 94,1 dB(A) prie 3 000 aps./ min.

2. Vėliau buvo projektuojamas dujų išmetimo bakelis Volvo V50 automobiliui. Suprojektavus bakelį, atliktas triukšmo tyrimas, keičiant bakelio geometriją. Matmenys buvo keičiami tam, kad gauti geriausia slopinimo rezultata, kadangi projektavimo metodika nėra visiškai tiksli. Gauti rezultatai parodė, jog suprojektuotas bakelis nėra tyliausias. Pakeitus matmenis, gavome daugiau triukšmo slopinantį bakelį. Rezultatas 93,33 dB nuo 0–1500Hz diapazone. Tačiau į šį skaičių nėra įtrauktos variklio sukeltos vibracijos, katalizatoriaus slopinimo įtaka ir kiti galimi automobilio triukšmo šaltiniai.

3. Taip pat buvo nustatoma, ar suprojektuotas bakelis nuslopina reikiamą lygį triukšmo. Pamatuota, kiek triukšmo nuslopsta per mašinos ilgį nuo variklio. Vėliau atliekami variklio skleidžiamo triukšmo matavimai. Galiausiai sudaroma lygtis, iš kurios nustatytas reikiamas triukšmo slopinimo lygis automobiliui Volvo V50.

Automobilio per atstumą nuo variklio nuslopintas triukšmas: $L_N = 75,7$ dB(A).

Variklio skleidžiamas triukšmo lygis prie 3 000 aps./ min. $L_V = 90,8$ dB(A).

Reikiamas triukšmo slopinimas suprojektuotam bakeliui 90,5 dB(A). Galime teigti, jog suprojektuotas bakelis nuslopina reikiamą triukšmo lygį.

Palyginimui buvo padarytas apytiksliai analogiškas tikrajam Volvo V50 bakelio modelis ir ištirtas triukšmo slopinimas. Rezultatai parodė jog analogas triukšmą slopiną kelis kart mažiau, tačiau tai lėmė įvairių eksperimentinių tyrimų metodikos stygius, netikslus modelio atkurimas, tam tikrų charakteristikų neįvertinimas, tyrimo išvystymo galimybių trūkumas.

Apibendrinant, automobilių skleidžiamas triukšmas yra pakankamai aktuali problema. Kiekvienas katalizatoriaus pašalinimas ne tik kenkia gamtai, tačiau prisideda prie didesnio aplinkos triukšmo lygio, o dujų išmetimo sistemos netinkamų inžinerinių sprendimų indėlis duoda prastą rezultatą triukšmo mažinimo atžvilgiu.

Tyrimu buvo siekiama nustatyti, kokią dalį automobilio triukšmo slopina katalizatorius ir dujų išmetimo sistema, bei kokias priemones reikia taikyti siekiant mažesnio konkretaus automobilio dujų išmetimo triukšmo.

LITERATŪRA

1. Garsas. Prieiga per internetą: <https://lt.wikipedia.org/wiki/Garsas> – [žiūrėta 2016-04-24].
2. Triukšmo poveikis sveikatai. Prieiga per internetą: <http://aplinka.vilnius.lt/lt/index.php/aplinkos-kokybe/triuksmas/triuksmo-poveikis-sveikatai/> – [žiūrėta 2016-04-26].
3. Triukšmo skalės. Prieiga per internetą: <http://www.hearforever.org/tools-to-learn/sound-source-a-and-c-weighted-noise-measurements> – [žiūrėta 2017-03-05].
4. Triukšmo skalių kreivės. Prieiga per internetą: <http://www.howardleight.com/hearing-protection/hearing-safety-glossary> – [žiūrėta 2017-03-05].
5. Lietuvos nacionalinė visuomenės sveikatos priežiūros 2015-2023 metų programa. Prieiga per internetą: <http://www.hi.lt/uploads/news/id129/VSPP.2014.12.10.pdf> – [žiūrėta 2016-05-02].
6. Triukšmo poveikis sveikatai Europos sąjungoje. Prieiga per internetą: <https://rigolett.home.xs4all.nl/ENGELS/topic.htm> – [žiūrėta 2016-05-10].
7. Triukšmo prevencija. Prieiga per internetą: www.ssus.lt/ssusadmin/kiti/lmitkcedit/uploads/files/triuksmo_prevencija_v1.ppt – [žiūrėta 2016-06-03].
8. Triukšmo mažinimo priemonės. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.FA347E57DB59> – [žiūrėta 2017-03-10].
9. Triukšmą slopininti danga. Prieiga per internetą: <http://www.tokvila.lt/triuksma-slopinanti-danga-naujiems-automobiliams/> – [žiūrėta 2017-03-13].
10. Dinitrol – 479. Prieiga per internetą: <http://vodi.su/dinitrol-479/> – [žiūrėta 2017-03-10].
11. Bitumo danga. Prieiga per internetą: <https://www.drive2.ru/l/1575758/> – [žiūrėta 2017-03-10].
12. Garso slopinimo barjeras. Prieiga per internetą: <http://www.miestai.net/forumas/showthread.php?t=4261&styleid=3> – [žiūrėta 2017-03-11].
13. Ali Payidar Akgüngör , Abdulmuttalip Demirel, Investigating urban traffic based noise pollution in the city of Kirikkale, Turkey. *Journal Transport*. 2008, 23(3): 273-278. Prieiga per internetą: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3846/1648-4142.2008.23.273-278> – [žiūrėta 2016-06-18].
14. Gineika, J., Grubliauskas R., Stovinčių lengvųjų automobilių keliamo triukšmo priklausomybės nuo variklio darbinio tūrio tyrimai. *Mokslas – Lietuvos ateitis*, 2012, 4(5): 473-478. Prieiga per internetą:

- www.mla.vgtu.lt/index.php/mla/article/download/mla.2012.76/pdf_1 – [žiūrėta 2016-06-19].
15. Potente D. General design principles for an automotive muffler. Proceedings of acoustics. 2005. Prieiga per internetą: https://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/AAS2005/papers/34.pdf) – [žiūrėta 2016-09-12].
 16. Slopintuvas su stiklo pluoštu. Prieiga per internetą: <http://www.dynomax.com/mufflers/ultra-flo-stainless-steel-polished-mufflers> – [žiūrėta 2016-09-19].
 17. Dr Venkataraman, B.; Raj, G. Experimental Investigation and Performance Evaluation of Passive Noise Control Components. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2014, Vol.3: 16064 – 16071.
 18. Khaled S. AlQdah. Experimental investigation of noise Pollution Level Emerged From The Most Common Use Car in Saudi Arabia. *Journal ScienceDirect*. 2013, 36: 939 – 947.
 19. Shital Sh., Saisankaranarayana K, Kalyankumar S. Hatti, Prof. D. G.Thombare. A Practical Approach towards Muffler Design, Development and Prototype Validation. *SAE International journal of engines*. 2010, 2010-032-0021. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/230807367_A_Practical_Approach_towards_Muffler_Design_Development_and_Prototype_Validation – [žiūrėta 2016-09-25].
 20. Kelių transporto priemonių variklių triukšmo ribinių dydžių ir jų nustatymo tvarkos aprašas. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.726CDE08F5BB> – [žiūrėta 2016-09-30].
 21. Higienos norma HN 33:2001. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.340235D685E1> – [žiūrėta 2016-09-30].
 22. Volvo V50 automobilis. Prieiga per internetą: <http://www.autoasas.lt/lengvieji-automobiliai/volvo-v50-2004-2012-id-747> – [žiūrėta 2017-03-25].
 23. VW Touran automobilis. Prieiga per internetą: https://www.google.lt/search?q=vw+touran+2003&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjF4fziuPTSAhUJG5oKHVFdArQQ_AUIBigB&biw=1280&bih=617#imgcr=I48gwe5UIK7MtM: – [žiūrėta 2017-03-25].
 24. BMW 320d automobilis. Prieiga per internetą: https://www.autoevolution.com/cars/bmw-3-series-e46-2002.html#aeng_bmw-3-series-e46-2002-316i-5at-115-hp – [žiūrėta 2017-03-25].
 25. Augulis, A, Bazaras Ž., Automobilių dujų išmetimo vamzdžių triukšmo tyrimas. Straipsnis ruošiamas publikavimui technologijų ir verslo aktualijos leidinyje. 2017. – [pristatyta 2017-04-28].

26. Volvo V50 dujų išmetimo sistema. Prieiga per internetą: https://www.onlineautomotive.co.uk/Volvo_V50_Exhaust%20System.aspx – [žiūrėta 2017-04-14].
27. Decibelų skirtumo formulė. Prieiga per internetą: <https://noisemeters.com/apps/db-calculator.asp> – [žiūrėta 2017-05-02].