



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS FAKULTETAS

MAŠINŲ GAMYBOS KATEDRA

Aurimas Šimonis

PNEUMOSISTEMŲ TRIUKŠMO SLOPINIMO EFEKTYVUMO TYRIMAS
RESEARCH OF EFFICIENCY OF AIR SYSTEMS NOISE ATTENUATION

Baigiamasis magistro darbas

Mechanikos inžinerijos studijų kryptis

Mechanikos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H33001

Aplinkos apsaugos įrenginių projektavimo ir gamybos specializacija

Vilnius, 2013

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS FAKULTETAS
MAŠINŲ GAMYBOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Mindaugas Jurevičius

(Vardas, pavardė)

(Data)

Aurimas Šimonis

PNEUMOSISTEMŲ TRIUKŠMO SLOPINIMO EFEKTYVUMO TYRIMAS
RESEARCH OF EFFICIENCY OF AIR SYSTEMS NOISE ATTENUATION

Baigiamasis magistro darbas

Mechanikos inžinerijos studijų kryptis

Mechanikos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H33001

Aplinkos apsaugos įrenginių projektavimo ir gamybos specializacija

Vadovas doc. dr. Vytautas Striška

(Pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas lekt. A. Petrėtienė

(Pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2013

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS FAKULTETAS
MAŠINŲ GAMYBOS KATEDRA

Mechanikos inžinerijos studijų kryptis

Mechanikos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H33001

Aplinkos apsaugos įrenginių projektavimo ir gamybos specializacija

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

(Vardas, pavardė)

(Data)

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS**

.....Nr.
Vilnius

Studentui

Aurimui Šimoniui
(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Pneumosistemų triukšmo slopinimo efektyvumo tyrimas
(Research of efficiency of air systems noise attenuation)

patvirtinta 2011 m. lapkričio 6 d. dekanų potvarkiu Nr. 250me

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2013 m. birželio 1 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Išanalizuoti pneumosistemų triukšmo įtaką produkcijos kokybei šiuolaikinėje gamyboje. Išnagrinėti naudojamus pneumosistemų triukšmo slopinimo metodus, jų vystymosi tendencijas, problemas. Teoriškai pagrįsti pneumosistemų triukšmo slopinimo metodą, sudaryti skaitmeninės simuliacijos modelį. Sukurti pneumosistemų triukšmo slopinimo eksperimentinį standą, suplanuoti ir atlikti tyrimus. Išanalizuoti eksperimento metu gautus rezultatus. Išanalizuoti ištirto metodo pritaikymo galimybes ir perspektyvas gamyboje. Suformuluoti išvadas.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

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

Vadovas

.....
(Paraša)

Doc. dr. Vytautas Striška
(Moksl. laipsnis/pedag.vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

.....
(Parašas)
Aurimas Šimonis
(Vardas, pavardė)
.....
(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Mechanikos fakultetas
Mašinų gamybos katedra

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

Antrosios pakopos studijų **Mechanikos inžinerijos** programos baigiamasis darbas 4

Pavadinimas **Pneumosistemų triukšmo slopinimo efektyvumo tyrimas**

Autorius **Aurimas Šimonis**

Vadovas **doc. dr. Vytautas Striška**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Šiame darbe nagrinėjamas pneumosistemų triukšmo efektyvumo tyrimas. Darbo tikslas: ištirti cilindrinį kevalą turinčių pasyvių ir aktyvių slopintuvų, naudojamų vėdinimo įrangoje, efektyvumą.

Darbas sudarytas iš keturių dalių. Pirmoje dalyje aprašomi pneumosistemų triukšmo šaltiniai. Toliau apžvelgiami triukšmo slopinimo metodai. Po to skaitmeninės simuliacijos būdu tiriamas pneumosistemos triukšmo slopinimo modelis. Eksperimentinėje dalyje pateikiami bandymo rezultatai, kurie buvo gauti išmatuojant triukšmą, sklindantį iš slopintuvo. Darbo pabaigoje surašytos išvados, pateiktas literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 49 A4 formato lapai be priedų, 34 iliustracijos, 2 lentelės, 20 bibliografinių šaltinių.

Atskirai pridedami darbo priedai.

Prasminiai žodžiai: Vėdinimo pneumosistemos, pasyvūs ir aktyvūs slopintuvai, vibroizoliacija

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Mechanics
Department of Machine Engineering

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

Master Degree Studies **Mechanical Engineering** study programme Final Work 4

Title **Research of Efficiency of Air Systems Noise Attenuation**
Author **Aurimas Šimonis**
Academic supervisor **Assoc Prof Dr Vytautas Striška**

Thesis language:
Lithuanian

Annotation

This study investigates the preparation of air system noise attenuation. The aim of work: investigate the cylindrical shell with passive and active silencers used for ventilation equipment efficiency.

The work consists of four parts. The first part describes the pneumatic system noise sources. The following provides an overview of noise attenuation methods. After that, the digital simulation is investigated by pneumatic system noise suppression pattern. The experimental section provides the test results, which were obtained by measuring the noise coming from the silencer. In the end of written in conclusions, the list of references.

Work size – 51 A4 pages without appendixes, 34 figures, 2 tables, 20 bibliographical sources.

Work appendixes are added separately.

Keywords: Air pneumatic system, passive and active silencers, vibroisolation

Vilniaus Gedimino technikos universiteto egzaminų, sesijų ir
baigiamųjų darbų rengimo bei gynimo organizavimo tvarkos
aprašo 2011-2012 m. m.

1 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Aurimas Šimonis, 20075440

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Mechanikos fakultetas

(Fakultetas)

Mechanikos inžinerija, AIfm-11

(Studijų programa, akademinė grupė)

**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽINGUMO DEKLARACIJA**

2013 m. gegužės 22 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Pneumosistemų triukšmo slopinimo efektyvumo tyrimas“ patvirtintas 2013 m. gegužės 17 d. dekanų potvarkiu Nr. 132me, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Mano darbo vadovas doc. dr. Vytautas Striška.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).

(Parašas)

Aurimas Šimonis

(Vardas ir pavardė)

Turinys

IVADAS.....	12
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	14
1.1. Garsas	14
1.1.1. Garso prigimtis.....	15
1.2. Triukšmas	15
1.2.1. Triukšmo klasifikavimas	16
1.2.2. Lietuvoje galiojančios triukšmo normos, normatyvai bei triukšmo poveikio visuomenės sveikatai vertinimo dokumentai.....	17
1.3. Pneumosistemų triukšmo atsiradimo priežastys.....	18
1.3.1. Triukšmo šaltiniai.....	21
1.4. Triukšmo slopinimas pneumosistemose.....	23
1.4.1. Vibroizoliacija.....	24
1.5. Triukšmo slopinimo metodai.....	27
1.5.1. Pasyvus triukšmo slopinimas	27
1.5.2. Aktyvus triukšmo slopinimas.....	28
2. TEORINIS PNEUMOSISTEMŲ TRIUKŠMO SLOPINIMO METODO PAGRINDIMAS.....	32
2.1. Triukšmo slopinimo skaičiuotė	32
3. SKAITMENINIS PNEUMOSISTEMŲ TRIUKŠMO SLOPINIMO MODELIS.....	34
4. EKSPERIMENTINIS TYRIMAS.....	37
4.1. Eksperimentinis standas	37
4.2. Metodika.....	38
4.3. Bandymo eiga.....	39
4.3.1. Pirmasis bandymas.....	39
4.3.2. Antrasis bandymas	39
4.3.3. Trečiasis bandymas	40
4.3.4. Ketvirtasis bandymas	41
4.3.5. Penktasis bandymas.....	41
4.3.6. Šeštasis bandymas	42

5. EKSPERIMENTO REZULTATŲ ANALIZĖ.....	43
IŠVADOS.....	50
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	51
PRIEDAI	

Paveikslų sąrašas

1 Pav. Girdimo garso dažnių intervalas.....	14
2 Pav. Vėdinimo įranga su rotaciniu šilumokaičiu.....	18
3 Pav. Vėdinimo įranga su plokšteliniu šilumokaičiu.....	19
4 pav. Oro šalinimo sistemos.....	20
5 pav. Tiekiamosios sistemos.....	20
6 pav. Vidurinėje dažnių juostoje vėdinimo įrangos generuojami garsai.....	24
7 pav. Svarbių patalpų, kuriose privalo būti tylu, ventiliatorių triukšmo ir vibracijų slopinimas.....	25
8 pav. Ventiliatoriaus vibroizoliacija.....	26
9 pav. Vamzdinis triukšmo slopintuvas.....	28
10 pav. a – plokštinis slopintuvas, b – stačiakampių vamzdynų slopintuvų blokas.....	28
11 pav. Aktyvus triukšmo slopintuvas.....	29
12 pav. Aktyvus slopintuvas su kanaliniu ventiliatoriumi.....	30
13 pav. Aktyvus triukšmo slopintuvas su integruotu vidiniu vamzdžiu ir kontroliavimo mikrofonu.....	30
14 pav. Pneumatinė įrenginio schema.....	34
15 pav. Pneumosistemos triukšmo slopinimo pagrindiniai duomenys.....	34
16 pav. Turbulentinė klampa pneumosistemoje.....	35
17 pav. Turbulentinis ilgis pneumosistemoje.....	35
18 pav. Turbulentinė energija pneumosistemoje.....	36
19 pav. Pneumosistemos triukšmo slopinimo visos komplektacijos schema.....	37
19a pav. Eksperimentinis stendas.....	39
20 pav. Triukšmo matavimo schema. Išmatuojamas triukšmas, sklindantis iš ortakio.....	40
21 pav. Triukšmo matavimo schema. Išmatuojamas triukšmas, sklindantis iš pasyvaus	

slopintuvo	40
22 pav. Triukšmo matavimo schema. Išmatuojamas triukšmas, sklindantis iš pasyvaus slopintuvo su vamzdžiu be k-flex	40
23 pav. Triukšmo matavimo schema. Išmatuojamas triukšmas, sklindantis iš pasyvaus slopintuvo su vamzdžiu ir su k-flex	41
24 pav. Triukšmo matavimo schema. Išmatuojamas triukšmas, sklindantis iš aktyvaus slopintuvo su vamzdžiu be k-flex	41
25 pav. Triukšmo matavimo schema. Išmatuojamas triukšmas, sklindantis iš aktyvaus slopintuvo su vamzdžiu ir su k-flex	42
26 pav. Triukšmo lygis, kai oro greitis sistemoje 4,2 m/s	43
27 pav. Triukšmo lygis, kai oro greitis sistemoje 4,0 m/s	44
28 pav. Triukšmo lygis, kai oro greitis sistemoje 3,4 m/s	44
29 pav. Triukšmo lygis, kai oro greitis sistemoje 2,7 m/s	45
30 pav. Triukšmo lygis, kai oro greitis sistemoje 2,1 m/s	46
31 pav. Triukšmo lygis, kai oro greitis sistemoje 4,2 m/s	46
32 pav. Triukšmo lygis, kai oro greitis sistemoje 4,0 m/s	47
33 pav. Triukšmo lygis, kai oro greitis sistemoje 3,4 m/s	48
34 pav. Triukšmo lygis, kai oro greitis sistemoje 2,7 m/s	48
35 pav. Triukšmo lygis, kai oro greitis sistemoje 2,1 m/s	49

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Žmogaus girdimo ruožo dažniai ir garso bangų ilgiai.....	13
2 lentelė. Triukšmo šaltiniai.....	21
3 lentelė. Triukšmo šalinimo metodai.....	21

IVADAS

Šiandieniniame gyvenime, mechanizavus pramonės ir žemės ūkio gamybą, didėjant transporto srautams miestuose ir gyvenvietėse, modernėjant buitinei technikai, mūsų gyvenamojoje aplinkoje sparčiai gausėja ir triukšmo. Daugelyje miestų ir gyvenviečių triukšmas pagrįstai yra laikomas viena svarbiausių ekologinių problemų (*Baltrukonis* 1997).

Triukšmo tarša (arba aplinkos triukšmas) – žmogaus veiklos ar mašinų darbo sukurtas triukšmas, kuris trikdo veiklą ar pusiausvyrą žmonių ar gyvūnų gyvenime. Triukšmo poveikis kenkia nervų, kraujotakos, virškinimo sistemoms ir silpnina imunitetą. Akustinis triukšmas – antras dažniausias mirtinų ligų išsivystymą lemiantis aplinkos veiksnys po oro užterštumo. Triukšmo poveikį žmogaus organizmui galima suskirstyti į specifinį ir nespecifinį. Specifiniam poveikiui priklauso akustinė trauma, klausos nuovargis ir dėl triukšmo išsivystęs kurtumas. Akustinę traumą sukelia labai didelio stiprumo (130 decibelų ir daugiau) trumpalaikis triukšmo poveikis.

Nors žmonių reakcija į triukšmą yra skirtinga, tačiau, Pasaulinės sveikatos organizacijos duomenimis, jis vargina apie trečdalį visos Europos Sąjungos gyventojų ir kelia pavojų žmonių sveikatai. Triukšmas kelia pavojų ne vien tik žmonių girdos sistemai, bet ir nervų sistemai – atsiranda nuovargis, silpnumas, nemiga, padidėja nervinis jautrumas, gali atsirasti kitų nervinių ir psichinių sutrikimų. Triukšmas labai erzina, trikdo darbingumą, ypač kūrybinę veiklą, protinį darbą. Tuomet padažnėja širdies ritmo sutrikimai, padidėja kraujospūdis, pablogėja galūnių kraujotaka. Blogėja virškinimas, gali atsirasti gastritas ar opinė liga, dažniau sergama kepenų ligomis.

Triukšmo jutimas, supratimas priklauso nuo garso stiprumo ir garso bangų virpesių dažnio: kuo didesnis garso stiprumas ir virpesių dažnis, tuo garsas juntamas stipriau, t. y. didesnis jo garsumas. Triukšmo garsumas priklauso ir nuo akustinių patalpų savybių, kurias nulemia jų tūris, forma, apstatymas baldais ar įrenginiais, grindų, sienų, lubų danga (*Stauskis* 2007).

Dažna triukšmo taršos forma yra motorinio transporto triukšmas. Kiti triukšmo taršos šaltiniai yra biurų įranga, gamybinė įranga, statybos, įvairūs prietaisai, apšvietimo užimas, garso aparatūra taip pat kelia nepageidaujamą poveikį žmogui. Kaip vieną iš šios grupės triukšmo taršos šaltinių pavyzdžių galima išskirti vėdinimo įrangą, kurios ortakiais perduoda triukšmo taršą į patalpas.

Didelės ventiliacijos sistemos dažnai yra labai triukšmingos tiekiant oro srautus, didesnius nei 1000 m³/h, triukšmas sugeneruojamas didesnis nei 60–70 dB(A). Dėl savo plataus pritaikymo jos žmogų supa beveik visur: namie, darbe, mokymosi įstaigose, prekybos centruose ir kt.

Šildymo, vėdinimo bei oro kondicionavimo sistemų triukšmas sudarytas iš siauro dažnių diapazono ir plačiajuosčio atsitiktinio triukšmo. Siauro dažnių diapazono atskiri dažniai yra susiję su ventiliatoriaus ir elektromagnetiniu triukšmu, kuris savo ruožtu susijęs su tinklo dažniu (50 Hz). Plačiajuostį atsitiktinį triukšmą generuoja intensyvus turbulentinis oro srautas.

Triukšmams slopinti naudojami slopintuvai būna pasyvūs ir aktyvūs. Pasyvūs slopintuvai gali nuslopinti triukšmą tik siauruose dažnių diapazonuose, taip pat jie būna gerokai didesnių gabaritų nei aktyvaus slopinimo slopintuvai.

Tam, kad būtų galima spręsti triukšmo problemas, parenkant tinkamas ir ekonomiškai apsisaugojimo priemones nuo triukšmo šaltinio akustinės taršos, šiame darbe numatoma ištirti ventiliacinės sistemos slopinimo efektyvumą, naudojant pasyviuos ir aktyviuos slopintuvus (*Juodis 2009*).

Šiuo metu dauguma žinomų slopintuvų sudaro baigtinį cilindrinį kevalą, turintį išorinį ir vidinį cilindrą, tarp kurių esanti ertmė pripildyta puraus stiklo arba mineralinio pluošto, gerai sugeriančio triukšmą. Tokių slopintuvų efektyvumas priklauso nuo jų ilgio ir triukšmą sugeriančios medžiagos sluoksnio storio. Skaičiavimais nustatyti tokių slopintuvų triukšmo slopinimo efektyvumą yra pakankamai sudėtingas uždavinys. Tokį uždavinį daug lengviau galima spręsti sukūrus tinkamą eksperimentinių tyrimų metodiką (*Vekteris 1999*).

Šio magistro darbo tikslas – ištirti cilindrinį kevalą turinčių pasyvių ir aktyvių slopintuvų, naudojamų vėdinimo įrangoje, efektyvumą.

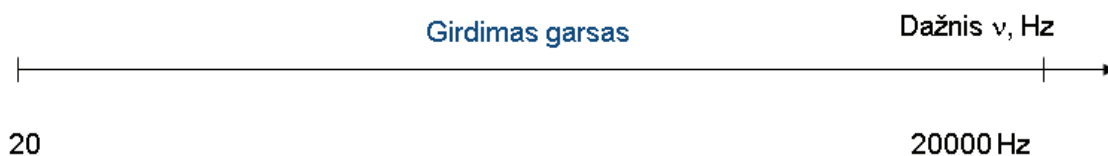
Mokslinis naujumas – panaudoti aktyvų slopinimą pasyviuose slopintuvuose.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Garsas

Garsas gali būti apibūdinamas kaip bangų judėjimas ore ar kitoje tamprioje aplinkoje arba kaip klausos mechanizmo sužadinimas, suvokiamas kaip garsas. Kuri samprata priimtinesnė, lemia svarstymo požiūris: fizikinis ar psichofizinis. Jei domina reiškiniai, kuriuos ore sukelia garsiakalbis, tai yra fizikos problemos. Jei įdomu, kaip tą garsą jaučia greta garso esantis asmuo, taikytini psichofiziniai metodai. Todėl technikoje vartojama dažnio (Hz), o muzikoje – tono sąvoka.

Girdimu garsu vadinamos mechaninės bangos, kurių dažnis telpa intervale 20-20000 Hz (1 pav.).



1 pav. Girdimo garso dažnių intervalas

Garsas, kurio bangų dažnis yra žemesnis už žmogaus girdos apatinę ribą, vadinamas infragarsu, o kurio bangų dažnis viršija žmogaus girdos viršutinę ribą, - ultragarsu. „Viršgarsinis“ (supersound) – sąvoka, vartojama apibūdinti greičiui, didesniam už garso greitį.

Susitarta laikyti, kad garso greitis sausame ore, jūros lygyje, esant 20° C, yra 343,2 m/s (gėlame vandenyje $c=1497$ m/s). Garso greitis ore, m/s esant bet kokiai temperatūrai, apskaičiuojamas taip:

$$c = 331,1 + 0,606t;$$

Čia t – oro temperatūra, °C.

1 lentelė. Žmogaus girdimo ruožo dažniai ir garso bangų ilgiai

Dažnis, Hz	Garso bangos ilgis (esant greičiui lygiam 343,4 m/s)
20	17,17 m
50	6,87 m
100	3,43 m
200	1,72 m
500	68,7 cm
1000	34,3 cm
2000	17,17 cm
5000	6,87 cm

1 lentelė (pabaiga)

10000	3,43 cm
15000	2,29 cm
20000	1,72 cm
24000	1,43 cm

1.1.1. Garso prigimtis

Garsui atsirasti visada reikia kokio nors virpančio kūno – šaltinio, kuris sukeltų aplinkoje mechanines bangas. Kad būtų sukeltos mechaninės bangos, reikia, kad virpančio kūno virpėjimo energija tamprioje aplinkoje atskirtų kinetinę ir potencinę energiją.

Kūno paviršius, virpėdamas atlieka svyruojamąjį judėjimą. Judėdamas maksimaliu greičiu per pusiausvyros tašką, jis paveikia aplinkos paviršiaus, su kuria liečiasi atomus ir perduoda jiems savo kinetinę energijos dalį. Perdavęs energiją kūno paviršius juda priešinga kryptimi. Aplinkos atomai, įgavę impulsą lekia impulso kryptimi, tačiau susitinka su kitais atomais. Priartėjus per arti pradeda veikti tarpatominės stūmos jėgos, kurios pasiekia tam tikrą maksimumą tam tikru atstumu.

Pirmas atomas yra stabdomas, antras atomas greitinamas. Tačiau antras atomas savo kelyje susitinka trečią ir nespėjus pirmam atomui pakeisti savo pradinę judėjimo krypties, perduoda trečiam dalį energijos, trečias ketvirtam ir t. t. Kinetinė energija, kurią įgijo pirmas atomas, artėjant prie kito atomo pereina į potencinę, kuri pasidalina į dvi dedamąsias ir virsta kinetine energija kuri perduodama dalinai trečiam, dalinai pirmam atomui. Pirmas atomas jau juda priešinga kryptimi iki tol kol nesutinka kitos „smūginės bangos“ (Dumčius 2010).

1.2. Triukšmas

Akustinis triukšmas yra įvairaus stiprumo ir dažnio girdimųjų bangų (garsų) visuma, kuri gali:

- negrįžtamai paveikti žmogaus klausą (paprastai pradžioje padidėja klausos ribinis slenkstis, dažniausiai aukštųjų dažnių srityse, o vėliau atsiranda ir įvairūs kurtumo lygiai);
- trukdyti išgirsti ir suvokti girdimuosius informacinius signalus, tarp jų ir kito žmogaus balsą;
- veikti dirginančiai, nemaloniai, erzinančiai ir t. t.;
- mažinti darbo našumą ir didinti nuovargį;
- pakenkti žmogaus psichinei ar somatinei sveikatai.

Triukšmas (akustinis triukšmas) yra labiau socialinė-fiziologinė negu fizikinė sąvoka. Fizikiniam triukšmo apibūdinimui vartojama sąvoka garsas. Ja apibūdinami bet kokie garso bangų sukelti aplinkos slėgio pokyčiai, kuriuos gali suvokti (išgirsti) žmogaus klausos. Pirminiai į aplinką sklindančio garso šaltiniai yra du: girdimuoju dažniu virpantys kieti arba santykinai kieti

paviršiai (dažniausia priežastis) ir aplinkos dalelių (dažniausiai oro) virpesiai dėl dideliu greičiu judančio srauto ir kliūties bei pačių dalelių tarpusavio sąveikos (turbulencijos). Paskutinytis atvejis įvardijamas aerodinaminiu garsu ir darbo aplinkoje aptinkamas rečiau.

Garso bangos sklidimo greitis priklauso nuo terpės, kuria ji sklinda, savybių. Jis tuo didesnis, kuo didesnis terpės tankis. Pavyzdžiui, girdimųjų dažnių (16 Hz – 25 kHz) garso bangos greitis ore apytikriai yra lygus 340 m/s; vandenyje – 1500 m/s, pliene – 5000 m/s. Vidutinė žmogaus klausos apatinė garso slėgio jautrumo riba (slenkstis) yra 20 μPa ($20 \cdot 10^{-5} \text{Pa}$), o apytikriai 100 Pa slėgio garsas sukelia skausmą ausyse. Tačiau svarbu žinoti, kad žmogaus klausa skirtingai reaguoja į garsų dažnį. Virpesių dažnis lemia girdimų garsų aukštį (toną). Vidutiniškai žmogus girdi garsus, kurių dažnis apytikriai yra tarp 20 Hz ir 20 kHz. Žemesnio už 20 Hz dažnio garsai vadinami infragarso, o aukštesnio kaip 16 kHz – ultragarso. Jų žmogaus klausa nesuvokia, tačiau didesni infragarso ar ultragarso lygiai sukelia diskomforto jausmą bei žaloja sveikatą.

Kiekvieno žmogaus reakcija į akustinį triukšmą yra skirtinga ir priklauso nuo daugelio veiksnių. Vieni triukšmą pakenčia, kitiems tai sukelia nepasitenkinimą, tretiems pablogėja savijauta, sumažėja darbingumas, sutrinka miegas. Skirtingos reakcijos priežastis gali būti amžius, sveikatos būklė, veiklos pobūdis bei nuotaika. Triukšmas gali būti kenksmingas net ir tada, kai jo lygis yra per mažas, kad pakenktų žmogaus klausai.

Vertinant akustinį triukšmą, girdimųjų garsų dažnių diapazonas dažniausiai skirstomas į vienos oktavos (1/1) arba vieno trečdalio oktavos (1/3) pločio juostas. Juostos pažymimos vidutiniais geometriniais (centriniais) dažniais. Dažniausiai naudojamas 1/1 oktavos triukšmo spektras. Jo juostų centriniai dažniai yra: 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 ir 16000 Hz. Aplinkos triukšmą išreiškiant santykiniais garso slėgio vienetais (decibelais), žmogaus klausos ribos apytikriai yra nuo 0 iki 140 dB. Triukšmas, kurio garso slėgio lygiai yra didesni nei 130 dB (priklauso ir nuo dažnio), sukelia skausmą ir gali negrįžtamai sužaloti klausą. Belas – logaritminis energijų arba galios santykio vienetas. Vienas belas atitinka tokį energijų (galių) santykį, kurio dešimtainis logaritmas lygus vienetui. 0,1 belo dalis vadinama decibelu. Šiais vienetais dažniausiai reiškiamas garso slėgio lygis (*Dumčius* 2010).

1.2.1. Triukšmo klasifikavimas

Yra skiriami išoriniai ir vidiniai triukšmo šaltiniai. Išorinio triukšmo šaltiniai yra automobilių, geležinkelių, aviacijos transporto keliamas triukšmas. Vidinis triukšmas pasireiškia pastatų viduje – tai orinis, struktūrinis, smūginis, sklindantis konstrukcijomis (*Fasold* 2003). Įvairių triukšmų garso slėgio lygio priklausomybė nuo dažnio yra labai skirtinga, todėl ypač svarbu atsižvelgti į keliamo triukšmo pobūdį (triukšmo rūšį) ir triukšmo spektro charakteristikas, siekiant mažinti triukšmą ir ieškant tam tikrų jo mažinimo priemonių.

Triukšmas pagal pobūdį skirstomas į pastovųjį ir nepastovųjį. Pastoviajame triukšme vyraujant tolydžiam spektrui, viršijančiam oktavos pločio dažnių juostą, išskiriamas plačiajuostis triukšmas, o esant atskiriems ryškiems tonams – toninis. Nepastovus triukšmas būna nuolat kintantis (garso slėgis nuolat kinta), impulsinis (triukšmas, susidedantis iš vieno ar kelių garsinių signalų, kurių trukmė mažiau negu 1 sekundė) arba pertrūkstantis (triukšmas staigiai kinta su didesniais negu 1 sekundė pastovaus triukšmo periodais).

Pagal šaltinio rūšį triukšmas skirstomas į:

- 1) Mechaninį, atsirandantį judant įvairių mašinų detalėms arba mazgams;
- 2) Smūginį, kurį skleidžia tam tikri technologiniai procesai;
- 3) Aerodinaminį, atsirandantį judant dujų arba oro srovėms dideliu greičiu;
- 4) Sprogimo impulsinį, atsirandantį dirbant vidaus degimo varikliams ir kt. (*Butkus* 2005)

1.2.2. Lietuvoje galiojančios triukšmo normos, normatyvai bei triukšmo poveikio visuomenės sveikatai vertinimo dokumentai

Triukšmo ribiniai dydžiai gyvenamuosiuose ir visuomeniniuose pastatuose ir jų aplinkoje nustatyti Lietuvos higienos normoje HN 33:2007 „Akustinis triukšmas. Triukšmo ribiniai dydžiai gyvenamuosiuose ir visuomeninės paskirties pastatuose bei jų aplinkoje“, patvirtintoje Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministro 2007 m. liepos 2 d. įsakymu Nr. V-555 (*Žin.*, 2007, Nr. 75-2990).

Būtiniausi reikalavimai dėl darbuotojų apsaugos nuo rizikos jų sveikatai ir saugai (o ypač jų klausai), kurią kelia ar gali sukelti triukšmas, yra nustatyti Darbuotojų apsaugos nuo triukšmo keliamos rizikos nuostatuose, patvirtintuose Lietuvos Respublikos socialinės apsaugos ir darbo ministro ir Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministro 2005 m. balandžio 15 d. įsakymu Nr. A1-103/V-265 (*Žin.*, 2005, Nr. 53-1804).

Aplinkos triukšmo poveikio visuomenės sveikatai vertinimo tvarka, aprašyta Triukšmo poveikio visuomenės sveikatai vertinimo tvarkos apraše, patvirtintame Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministro 2005 m. liepos 21 d. įsakymu Nr. V-596 (*Žin.*, 2005, Nr. 93-3484).

Ši tvarka gali būti planuojamos ar esamos ūkinės veiklos poveikio visuomenės sveikatai vertinimo procedūros sudėtinė dalis. Tvarkos aprašo laikomasi atliekant planuojamos ar esamos ūkinės komercinės veiklos triukšmo poveikio visuomenės sveikatai įvertinimą.

Pastatų vidaus ir išorės aplinkos apsaugos nuo triukšmo kokybės reikalavimai, pastato atitvarų ir jo dalių akustinių rodiklių vertės, kad pastatuose ir šalia jų girdimas triukšmo lygis nekeltų grėsmės žmonių sveikatai ir atitiktų darbui, poilsiui bei miegui būtino akustinio komforto kokybę, nustatyti statybos techniniame reglamente STR 2.01.07:2003 „Pastatų vidaus ir išorės

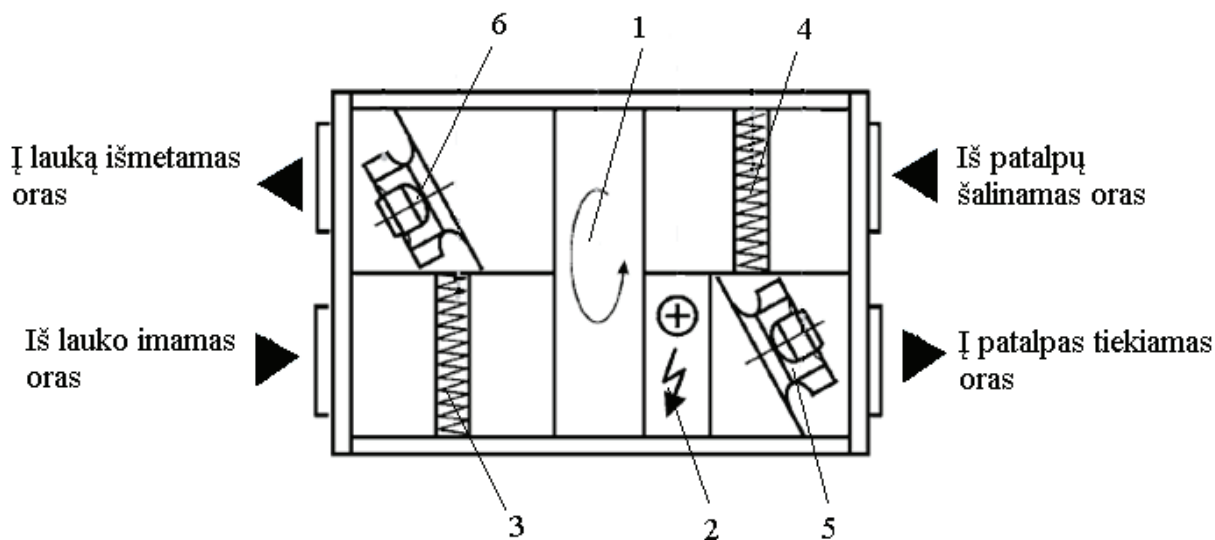
aplinkos apsauga nuo triukšmo“, patvirtintame Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2003 m. liepos 17 d. įsakymu Nr. 387 (*Žin.*, 2003, Nr. 79-3614).

1.3. Pneumosistemų triukšmo atsiradimo priežastys

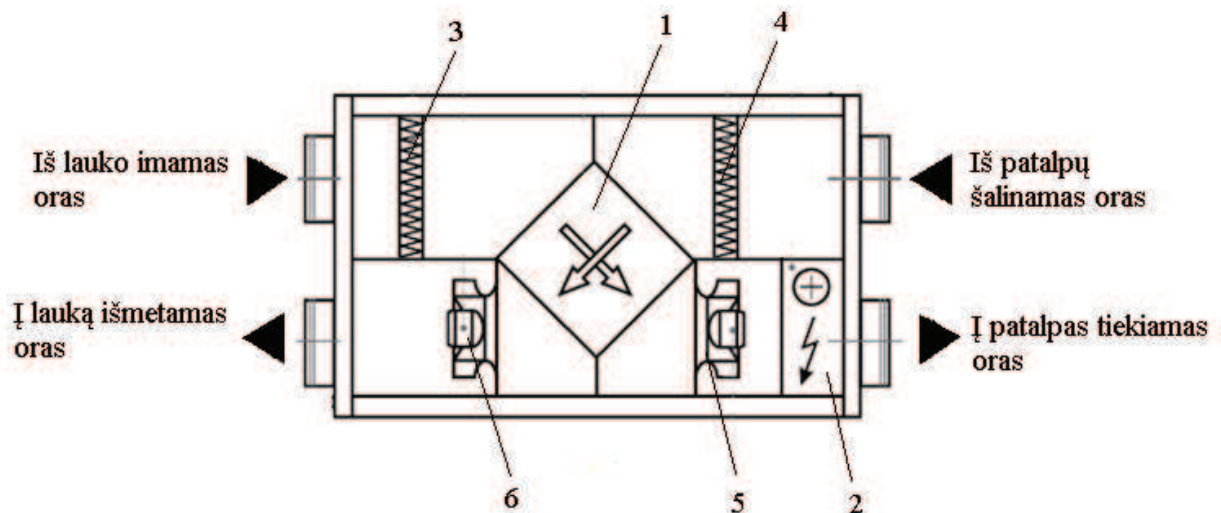
Pagal paskirtį vėdinimo sistemos yra tiekiamosios ir ištraukiamosios. Ištraukiamosios vėdinimo sistemos šalina panaudotą orą, o tiekiamosios vietoj pašalinto tiekia į patalpą švarų (esant reikalui išvalytą), o žiemą ir pašildytą lauko orą.

Vėdinimo sistemose įrengiama (2 pav. ir 3 pav.):

- ventiliatoriai orui transportuoti (2 pav. 5, 6 ir 3 pav. 5, 6),
- kalorifieriai orui šildyti (2 pav. 2 ir 3 pav. 2),
- filtrai tiekiamam į patalpą lauko orui valyti ir įvairios konstrukcijos šalinamo oro valytuvai ir dulkių gaudytuvai (2 pav. 3, 4 ir 3 pav. 3, 4),
- oro kiekio ir parametrų reguliavimo, kontrolės bei saugos įtaisai ir automatika,
- šilumos utilizatoriai (rotacinis (2 pav. 1), rekuperacinis (3 pav. 1) šilumokaičiai),
- oro aušinimo, drėkinimo ir sausinimo įranga.



2 pav. Vėdinimo įranga su rotaciniu šilumokaičiu (UAB „Amalva“): 1 – rotacinis šilumokaitis; 2 – elektrinis šildytuvas; 3, 4 – kasetiniai filtrai; 5, 6 – ventiliatoriai

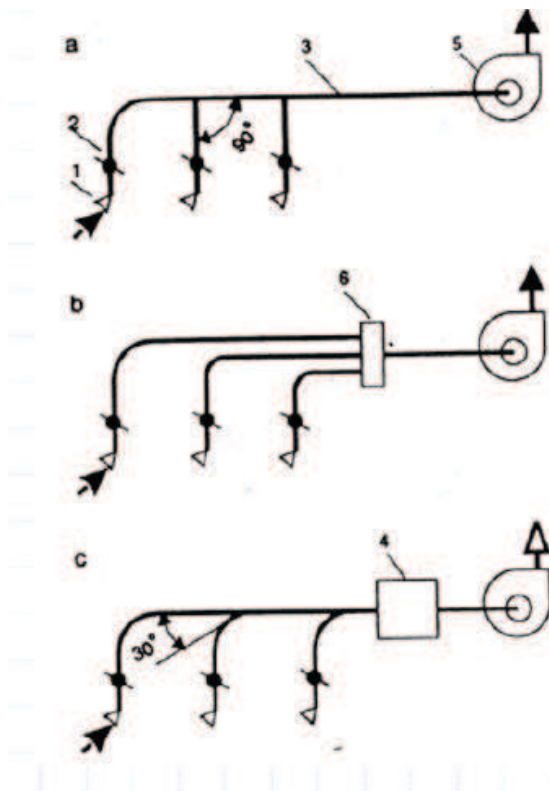


3 pav. Vėdinimo įranga su plokšteliu šilumokaičiu (UAB „Amalva“): 1 – plokštelinis šilumokaitis; 2 – elektrinis šildytuvas; 3, 4 – kasetiniai filtrai; 5, 6 – ventiliatoriai

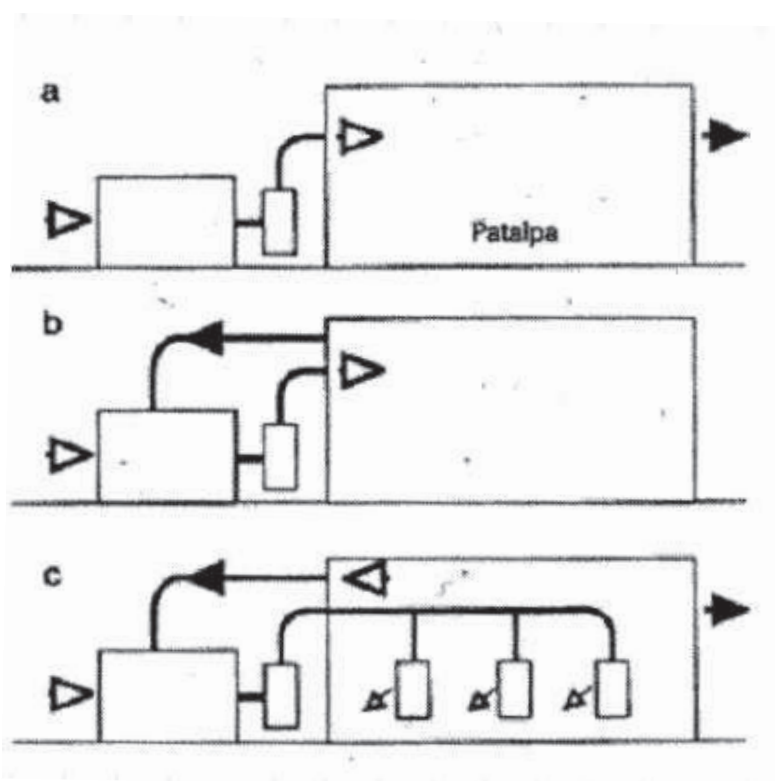
Oras tiekiamas ortakiais – tai kanalinis vėdinimas – arba pro angas sienose – bekanalinis vėdinimas. Dažniausiai vyrauja kanalinis vėdinimas.

Kanalinės sistemos būna šakotinės arba kolektorinės (4 pav.). Kolektorinės sistemos sudėtingesnės, bet jos yra patikimesnės eksploatuojant ir saugesnės gaisro ir sprogimo atvejais.

Pagal švaraus lauko oro ir panaudoto oro naudojimą skiriama: tiesiasrovės sistemos, sistemos su daline recirkuliacija ir recirkuliacinės sistemos (5 pav.). Kai oro užterštumas patalpose tenkina leistinąsias normas, taupant šilumą, į tiekiamąjį orą galima primaišyti ištraukto iš patalpos šalto oro. Tai vadinama daline recirkuliacija. Visiška recirkuliacija būna, kai visas ištrauktas oras, jį išvalius, vėl grąžinamas į patalpą (Juodis 1998).



4 pav. Oro šalinimo sistemos (*Vėdinimas* 2012): a – šakotinė: atšakos kampas status, b – kolektorinė, c – šakotinė dulkėtam orui šalinti: atšakos kampas smailus; 1 – vietinis siurbtuvas, 2 – reguliavimo įtaisas, 3 – ortakis, 4 – oro valytuvas, 5 – ventiliatorius, 6 – kolektorius



5 pav. Tiekiamosios sistemos (*Vėdinimas* 2012): a – tiesiasrovė, b – cirkuliacinė, c – su daline recirkuliacija

1.3.1. Triukšmo šaltiniai

Vėdinimo sistema su patalpa yra viena akustinė sistema. Pagrindinis triukšmo šaltinis – ventiliatorius. Kiti vėdinimo elementai – ortakiai, oro sklaidytuvai – ir slopina, ir kelia triukšmą. Didėjant oro greičiui, didėja oro kinetinės energijos nuostoliai, dalis jos virsta triukšmo ir vibracijos energija, įsigali triukšmas.

Ventiliatorius kelia aerodinaminį ir mechaninį triukšmą. Aerodinaminis triukšmas atsiranda periodiškai atitrūkstant oro sūkuriams nuo ventiliatoriaus menčių, pačiame darbo rate, patenkant į darbo ratą. Kadangi sūkuriams suteikta energija galų gale virsta šilumine garso ir vibracijų energija, tai tobulesni, didesnio naudingumo koeficiento, ventiliatoriai dirba tyliau. Bet kurie aerodinamiškai tobulesni vėdinimo sistemos elementai veikia tyliau (*Juodis* 2009).

Techniškai tvarkingo ventiliatoriaus variklio, guolių, diržų keliamas mechaninis triukšmas yra silpnas.

Parentant ventiliatorius bei kitus su oro vėdinimo įranga susijusius mechaninius įrenginius ir projektuojant oro tiekimo sistemas, siekiant sumažinti triukšmą, reikia atkreipti dėmesį į šias rekomendacijas:

- Projektuojant oro tiekimo sistemas, reikia sumažinti srauto pasipriešinimą ir turbulenciją. Srauto pasipriešinimas didina ventiliatoriaus tiekiamo srauto slėgį, kuris generuoja žemų dažnių triukšmą. Turbulencija ortakiuose, apeinant įvairias detales bei einant per sklendes, taip pat padidina srauto keliamą triukšmą, ypač žemų dažnių.
- Parinkti tokį ventiliatorių, kuris dirbtų esant didžiausiam efektyvumui, tiekiant reikiamą oro srautą bei statinį slėgį. Be to, parinkti tokį ventiliatorių, kuris generuotų mažiausią įmanomą triukšmą prie reikalingų projektavimo sąlygų. Naudojant per didelius ar per mažus ventiliatorius, triukšmas ženkliai padidėja.
- Projektuojant ortakijų jungtis tiek padavimo, tiek ištraukimo ortakiai turi būti kuo tiesesni. Esant ortakijų posūkiams, susidaro turbulencijos, kurios generuoja triukšmą.
- Parinkti tokius slopintuvus, kurie nežymiai padidina ventiliatoriaus statinį slėgį.
- Ventiliatorius turi būti kuo toliau nuo triukšmui jautrių zonų.
- Ortakių perėjimai neturi viršyti 15° išsiplėtimo kampo, nes oro srautas gali sukelti triukšmą.
- Grotelės, difuzoriai turi būti kuo toliau nuo alkūnių ir atšakų.
- Sumažinti oro greitį ties sklendėmis, grotelėmis, difuzoriais ir kituose kritinėse zonose (*Noise...* 2012)

2 lentelė. Triukšmo šaltiniai (*Noise...2012*)

Triukšmo šaltiniai	Triukšmo šalinimo metodo Nr.
Ventiliatoriai, grotos ir difuzoriai	1
Indukciniai šildytuvų ir maišymo įrenginiai, naudojant kintamą oro srautą	1, 2
Pavieniai įrenginiai, montuojami lauke; nutolę paruošiamieji įrenginiai, pavyzdžiui, ventiliatoriai, orapūtės, sklendės, ortakių tvirtinimo detalės	2, 3
Kompresoriai, siurbiai ir kiti slenkamojo ir sukamojo judesio įrenginiai	4, 5, 6
Aušintuvai	4, 5, 6, 7
Ištraukimo ventiliatoriai, kondicionieriai	7, 8
Garso perdavimas tarp patalpų	9, 10

3 lentelė. Triukšmo šalinimo metodai (*Noise... 2012*)

Triukšmo šalinimo būdo Nr.	Triukšmo kelias	Triukšmo šalinimo metodai
1	Tiesiogiai sklindantis garsas. Atsispindintis garsas nuo sienų, lubų ir grindų.	Tiesiogiai sklindantis garsas gali būti kontroliuojamas tik tinkamai parinkus įrangą. Atsispindintis garsas slopinamas garsą sugeriančiomis medžiagomis patalpose ir įrenginio pastatymo vietoje.
2	Konstruacijomis sklindantis garsas. Ortakiais, kurie eina per sienas ir lubas.	Projektuojant ortakius ir jungiamąsias detales, sumažinti turbulencijas; parinkti dideliems greičiams tinkamus ortakius kritinėse zonose; izoliuoti ortakius ir naudoti spyruoklines pakabas.
3	Ore sklindančio garso spinduliuotės per padavimo ir ištraukimo ortakius į difuzorių, į kambarį ir tada į klausytoją (triukšmo kelias 1).	Pasirinkti ventiliatorius su minimaliu garso stiprumu; naudoti ortakius su garsą sugeriančiomis medžiagomis; naudoti ortakių slopintuvus padavimo ir ištraukimo ortakiuose.

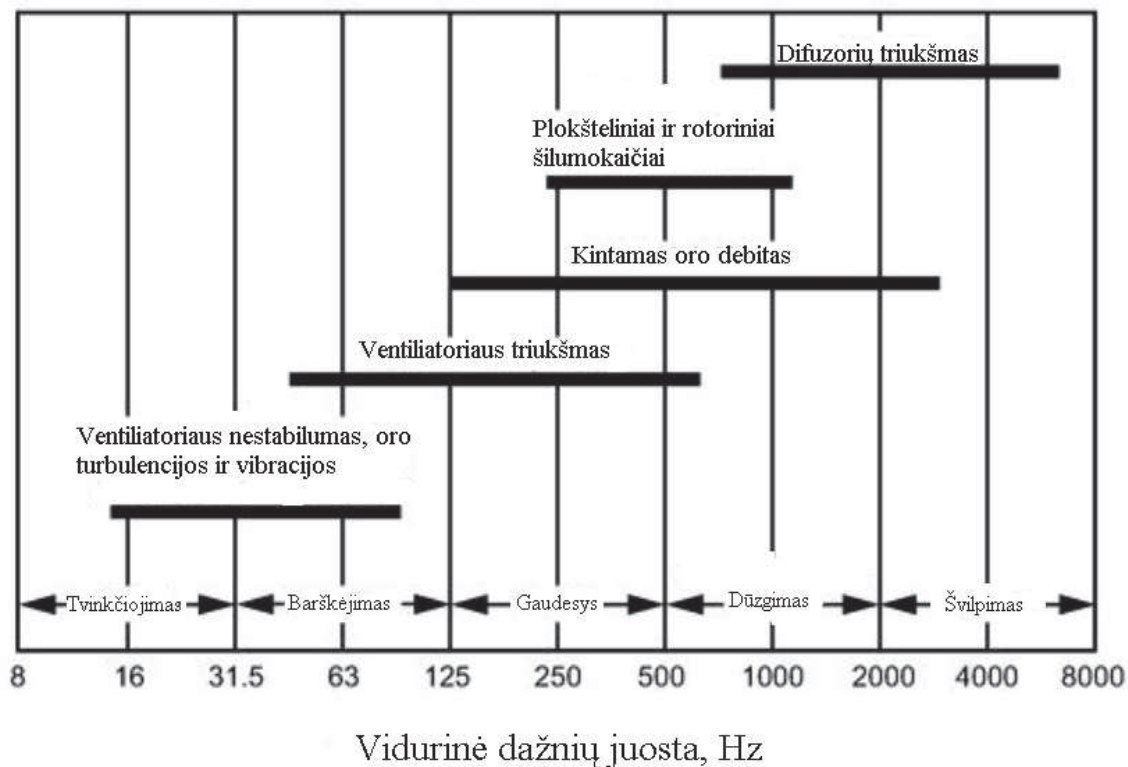
3 lentelė (pabaiga)

4	Įrangos triukšmas perduodamas per patalpų sienas ir grindis į	Įrenginio vietą parinkti kuo toliau nuo kritinių vietų; sienas daryti iš mūro blokų arba betono; naudoti amortizuojančias grindis.
---	---	--

	gretimas patalpas.	
5	Vibracijos perduodamos per pastato sienas ir lubas, nuo kurių spinduliuojamas kaip triukšmą (kelias Nr.1).	Tinkamai sumontuoti vibracijas generuojančius įrenginius; tinkamai suprojektuoti įrenginių dinamines apkrovas; subalansuoti sukamąjį ir slenkamąjį judesius turinčius komponentus.
6	Virpesių perdavimas per vamzdžius ir ortakius į sienas.	Izoliuoti vamzdžių ir ortakių konstrukcijas, naudojant spyruoklines pakabas; sumontuoti lanksčias jungtis tarp vamzdžių ir ortakių sujungimų su vibracijas skleidžiančiais įrenginiais.
7	Triukšmas į išorę patenka pro patalpų langus	Parinkti įrenginio vietą kuo toliau nuo kritinių zonų; naudoti kliūtis ir gaubtus; parinkti tylų įrenginį.
8	Patalpose sklindantis garsas (kelias nr.1).	Parinkti tylų įrenginį.
9	Triukšmas perduodamas difuzoriais ir ortakiais.	Suprojektuoti ir įrengti slopintuvus, ortakiuose naudoti kryžminius slopintuvus.
10	Garso perdavimas per/aplink kambario pertvaras.	Lubose padaryti oro tarpą ir viską aplinkui užsandarinti; užsandarinti visus vamzdžius, kanalus, ortakius ir kitus įėjimus.

1.4. Triukšmo slopinimas pneumosistemose

Ar gyventojams foninis triukšmas yra priimtinas, paprastai priklauso nuo dviejų veiksnių. Pirmasis yra suvokiamas triukšmo garsumas, lyginant su įprastinės veiklos triukšmu. Jei jis yra aiškiai pastebimas, tai gali blaškyti ir sukelti neigiamą poveikį. Antrasis veiksnys yra garso kokybė. Jei triukšmas yra suvokiamas kaip dundesys, tvinkčiojimas, kriokimas, šnaresys arba tam tikras tonas, tai gali sukelti nuovargį ar net stresą (6 pav.). Visa tai įvyksta, kai dažnių spektras yra nesubalansuotas (*Noise...* 2012).



6 pav. Vidurinėje dažnių juostoje vėdinimo įrangos generuojami garsai (*Noise...* 2012)

Akustinis triukšmas turi būti sprendžiamas jau šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo projektavimo pradžioje. Akustinis triukšmas turi būti neįkylus ir netrukdyti žmogui. Kaip triukšmas lemia žmogaus būseną:

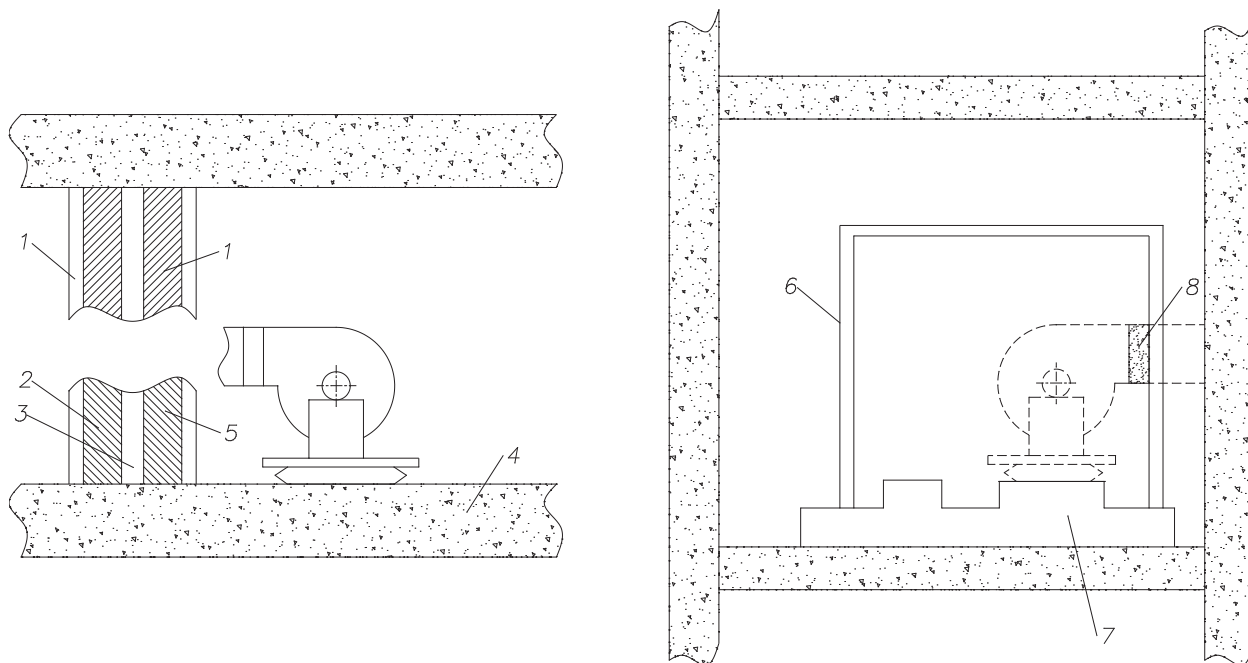
- 1) tyla – 0 dB;
- 2) normalus triukšmo fonas – 0–40 dB;
- 3) psichologinis poveikis – 40–80 dB;
- 4) fiziologinis poveikis – 80–120 dB;
- 5) traumatizmas – 120–140 dB;
- 6) šokas (poveikis prietaisams ir konstrukcijoms) – 140–160 dB, (*Vėdinimas* 2012).

1.4.1. Vibroizoliacija

Sukantis darbo ratui, ventiliatorius vibruoja, jei jis standžiai pritvirtintas, šios vibracijos, sklisdamos pro atitvaras, kenkia pastatui ir kelia triukšmą.

Vėdinimo ir oro kondicionavimo mašinų patalpose triukšmo lygis siekia 90–100 dBA, jų atitvaros turi nuslopinti triukšmą iki 25–40 dBA. Norint tiek nuslopinti, atitvaros turėtų būti visiškai nelaidžios orui, sunkios, be to, užimtų daug vietos ir būtų brangios. Menkas netikslumas, projektuojant ar įrengiant vėdinimo sistemas, paverstų niekais visą darbą, todėl triukšmingi įrenginiai gali būti greta tylių patalpų tik išimtiniais atvejais. Juos stengiamasi iškelti prie tokių patalpų, kuriose triukšmo lygis gali būti aukštesnis – koridorių, kavinių, liftų, tualetų (iki jiems leistino lygio triukšmą galima patikimai nuslopinti). 5 pav. matyti patalpos atitvarų konstrukcija, kai greta yra tylios patalpos. 500 kg/m³ masės atitvaros slopina triukšmą – 50 dBA, 1000 kg/m³ –

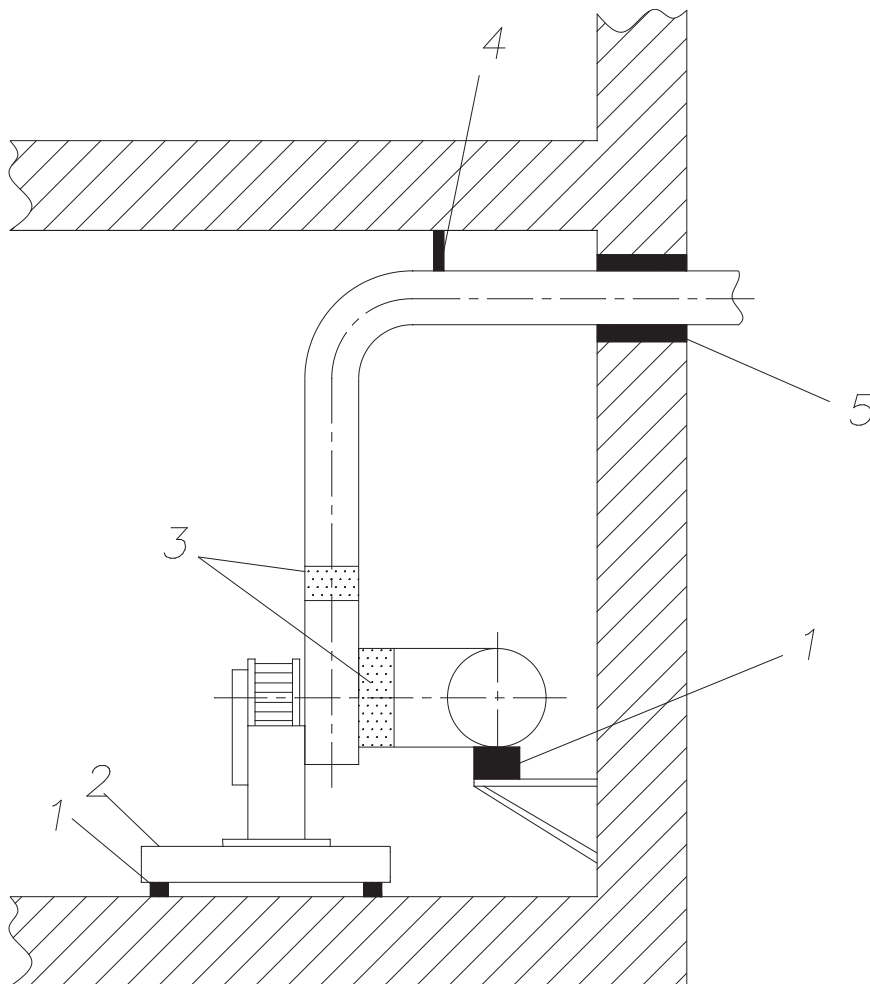
56 dBA. Triukšmą taip pat slopina garsą sugeriančios atitvarų dangos arba akustiniai įrenginių gaubtai (7 pav.).



7 pav. Svarbių patalpų, kuriose privalo būti tylu, ventiliatorių triukšmo ir vibracijų slopinimas: a – patalpa su dvigubomis sienomis: 1 – 10 mm tinkas, 2 – 100 mm tankūs blokai, 3 – oro tarpas, 4 – 150 tankus betonas, 5 – tankūs šlako blokai, 6 – akustinis gaubtas, b – ventiliatorius akustiniame gaubte, 7 – pagrindas, 8 – lankstus intarpas (Juodis 2009)

Pagrindinė ventiliatoriaus vibracijos silpninimo sąlyga – darbo ratas turi būti gerai subalansuotas statiškai ir dinamiškai.

Tarp ventiliatoriaus agregato ir statybinių konstrukcijų neturi būti standžių ryšių. Vibracijos gerokai susilpnėja montuojant ventiliatorius ant tampriųjų elementų, tarp ortakio ir ventiliatoriaus įterpiant minkštą intarpą, ortakių tvirtinimosi vietose dedant minkštą medžiagą (8 pav.). Šios priemonės jau yra numatytos oro tiekimo agregatuose, todėl jų vibracija nežymi.



8 pav. Ventiliatoriaus vibroizoliacija: 1 – spyruoklė – tampri medžiaga, 2 – gelžbetonio plokštė, 3 – lankstus intarpas, 4 – minkšta pakaba, 5 – įkamša (Juodis 2009)

Masyvūs pavieniai ventiliatoriai, esant abejonių, ar nesukels pavojingos vibracijos, tvirtinami prie masyvios tarpinės plokštės. Naudojant vibroizoliacijos priemones iš tampriųjų medžiagų, spyruoklių, įrenginio vibracijų amplitudė išauga, palyginti su ta, kuri būtų montuojama standžiai, tačiau jėgas amortizuoja vibroizoliatoriai, ir pamatui perduodamos jėgos tesiekia keletą procentų pradinės vertės. Po atramine plokšte, kurios masė privalo būti 2–3 kartus didesnė už ventiliatoriaus agregato masę, įvertinami tamprios medžiagos arba spyruokliniai amortizatoriai. Kai ventiliatorius gerai subalansuotas, pakanka tamprių tarpinių, nebent jo sūkių skaičius – vos keli šimtai per minutę. Tada naudingesnės plieno spyruoklės, geriau slopinančios žemojo dažnio virpesius.

Kai triukšmo ir vibracijų lygiui keliama itin griežti reikalavimai, tenka rinktis sudėtingas statybines konstrukcijas. Ant denginio klojami stiklo pluošto dembliai, virš jų plūdriosios grindys – 100–150 mm storio gelžbetoninė plokštė. Ventiliatoriaus atraminė plokštė tvirtinama prie grindų plokštės per vibroizoliatorius. Sienos ir lubos dengiamos garsą sugeriančia medžiaga, papildoma vidinė siena padidina atitvarų masyvumą.

Yra, tačiau, ir kiti slopinimo būdai, kurie esti pačiose vėdinimo sistemose – tai triukšmo slopintuvai (Juodis 2009).

1.5. Triukšmo slopinimo metodai

Minėtą problemą galime išspręsti ir naudodami triukšmo slopintuvus. Egzistuoja du triukšmo slopinimo metodai: pasyvus ir aktyvus.

1.5.1. Pasyvus triukšmo slopinimas

Pasyvaus triukšmo slopinimo idėja remiasi specialiu garso izoliaciniu medžiagų naudojimu. Minėtosios medžiagos pasižymi gera garso izoliacija aukštų dažnių diapazone. Kita vertus, žemo dažnio diapazone garso izoliavimas tampa labai brangus ir nepraktiškas.

Pasyvi kova su triukšmu – garsą izoliuojančios medžiagos, papildomos pertvaros ir kitos priemonės, be abejo, plačiai naudojamos nuo senų laikų, tačiau tai yra brangu, didėja statinių, įrengimų ar gaminių svoris ir tūris.

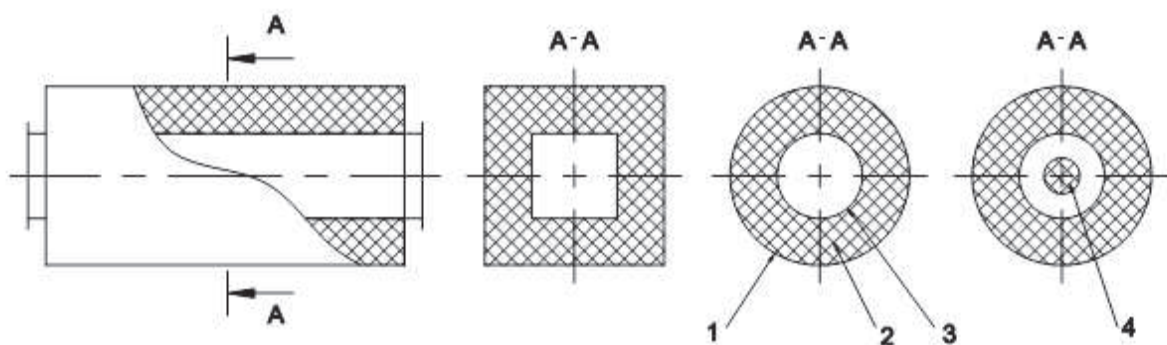
Vėdinimo sistemose naudojami vamzdiniai ir plokštiniai triukšmo slopintuvai. Triukšmas slopsta garsą sugeriančioje medžiagoje (dažniausiai tai stiklo pluoštas), kuria padengtas vidinis slopintuvų paviršius.

Tam, kad slopinimo efektyvumas būtų toks, kaip nurodoma techninėse charakteristikose, oro srautas, įeinantis į slopintuvą, turi būti išlygintas. Nepatartina slopintuvų montuoti už alkūnių, vožtuvų ar kitų sistemos elementų, kurie ardo nusistojusį greičių profilį. Oro greitis viešosios paskirties ir gyvenamųjų namų slopintuvuose – iki 4–6 m/s, pramonėje – iki 10–12 m/s.

Slopintuvai pagal formą būna:

- Vamzdiniai (9 pav.);
- Plokštiniai (10 pav.).

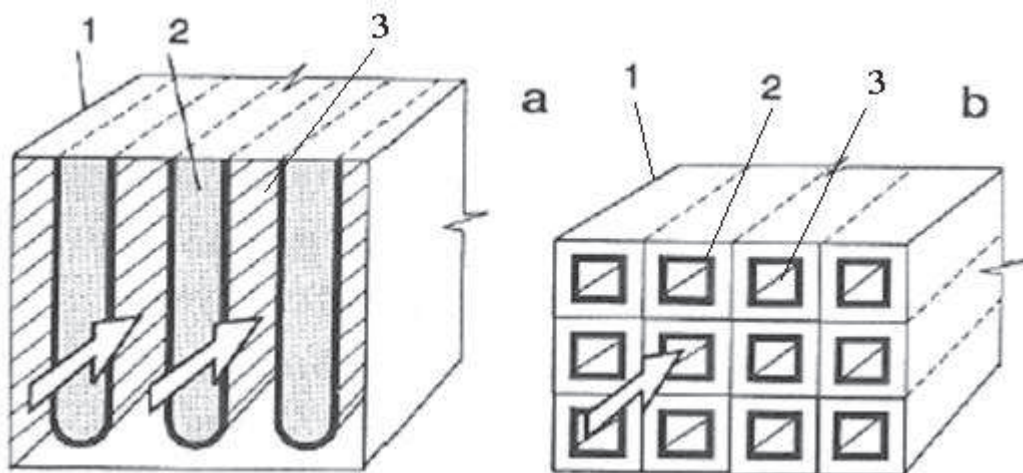
Vamzdiniai slopintuvai. Slopintuvas susideda iš perforuotojo vamzdžio, įdėto į kitą vamzdį, tarp jų yra garsą sugeriančios medžiagos įkamša. Šie slopintuvai mažų matmenų, todėl montuojami kaip sistemos ortakių dalis. Vidaus skersmuo toks pat kaip standartinių ortakių. Skerspjūvio apibrėžta – kvadratas, apskritimas. Stačiakampiai vamzdiniai slopintuvai gali būti montuojami viename korpuse. Vamzdinių slopintuvų skersmuo iki $d = 500\text{--}630\text{ mm}$. Didinant skersmenį, mažėja slopinimo efektyvumas, nes pratenkančio oro kiekis auga sparčiau nei garsą sugeriančio paviršiaus plotas (Juodis 2009).



9 pav. Vamzdinių triukšmo slopintuvų pavyzdžiai: 1 – apvalkas, 2 – triukšmą sugerianti medžiaga, 3 – perforuotasis lakštas, 4 – vidinis triukšmo slopintuvas (Juodis 1998)

Plokštiniai slopintuvai

Garsas slopsta garso sugeriančios medžiagos plokštėse. Šie slopintuvai pigesni ir paprastesni negu keliolikos vamzdinių slopintuvų blokas. Plokščių storis – 100–500 mm, skerspjūvis – iki 2x2 m (Juodis 1998).



10 pav. a – plokštinis slopintuvas, b – stačiakampių vamzdinių slopintuvų blokas; 1 – korpusas, 2 – triukšmą sugerianti plokštė, 3 – anga, per kurią tiekiamas oras (Juodis, 1998).

1.5.2. Aktyvus triukšmo slopinimas

Tradiciškai triukšmui sumažinti naudojami pasyvūs slopintuvai, tokie kaip gaubtai, užtvarai ar duslintuvai. Priklausomai nuo konstrukcijos ir slopinančių medžiagų, jų slopinimo diapazonas yra labai platus (nuo 63 iki 8000 Hz), tačiau jie yra gana dideli, brangūs ir neefektyvūs slopinti žemus dažnius.

Aktyvus triukšmo slopinimas paremtas garso bangų interferencija, t.y. dvi vienodos, bet skirtingų fazių garso bangos susitikusios erdvėje viena kitą neutralizuoja – bangų energija virsta šiluma. Praktikoje šie abu metodai gali būti naudojami kartu.

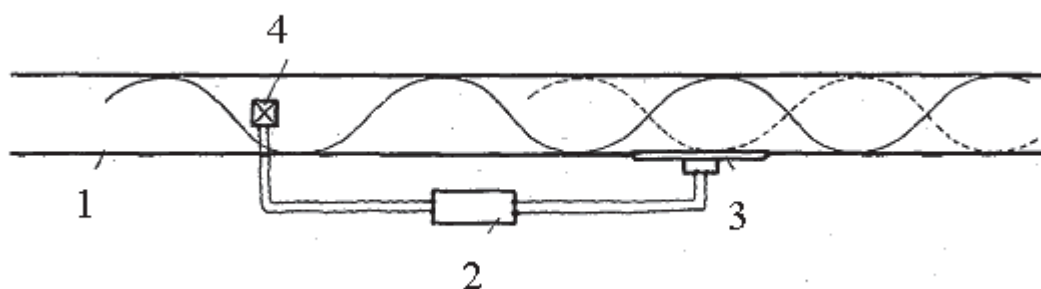
Aktyvus triukšmo slopinimas apima elektroakustinę ir elektromechaninę sistemas, kurios slopina pirminį (nepageidaujamą) skleidžiamą triukšmą grindžiamu superpozicijos principu; konkrečiau – tai vienodos amplitudės, bet priešingos fazės bangos, kurios susumuojamos su pirminiu triukšmu. Tai lemia triukšmo panaikinimą.

Aktyvaus triukšmo slopinimo metodas efektyviai slopina žemo dažnio triukšmą, ko pasyvūs slopintuvai negali arba tampa labai didelių gabaritų (turi būti iki $d = 500-630\text{mm}$), taip sumažinant dydį, svorį bei išlaidas.

Akustinis aktyvus triukšmo slopinimas naudojant mikrofoną ir valdomas elektroniniu būdu pirmą kartą buvo pasiūlytas 1936m. (Lueg 1936).

Šiame patente minima, kaip pirmą kartą panaudotas fazių superpozicijos principas, kada vienodos amplitudės, bet priešingos fazės bangos nuslopina nereikalingą triukšmą. Aktyvų slopintuvą sudaro mikrofonas, garso stiprintuvas ir garsiakalbis (11 pav.). Mikrofonas elektrinį signalą perduoda į garso stiprintuvą, kuris savo ruožtu perduoda signalą į garsiakalbį. Bangos pastūmimas gali būti vykdomas keliais būdais. Jei triukšmas sklinda viena, gerai žinoma kryptimi (pavyzdžiui, vamzdyje) bangos pastūmimas gali būti vykdomas labai paprastu būdu, tiesiog tinkamai keičiant atstumą tarp mikrofono ir garsiakalbio. Šiuo atveju pageidautina, kad mikrofonas būtų statomas tarp triukšmo šaltinio ir garsiakalbio, kad triukšmas pirmiausia pasiektų mikrofoną.

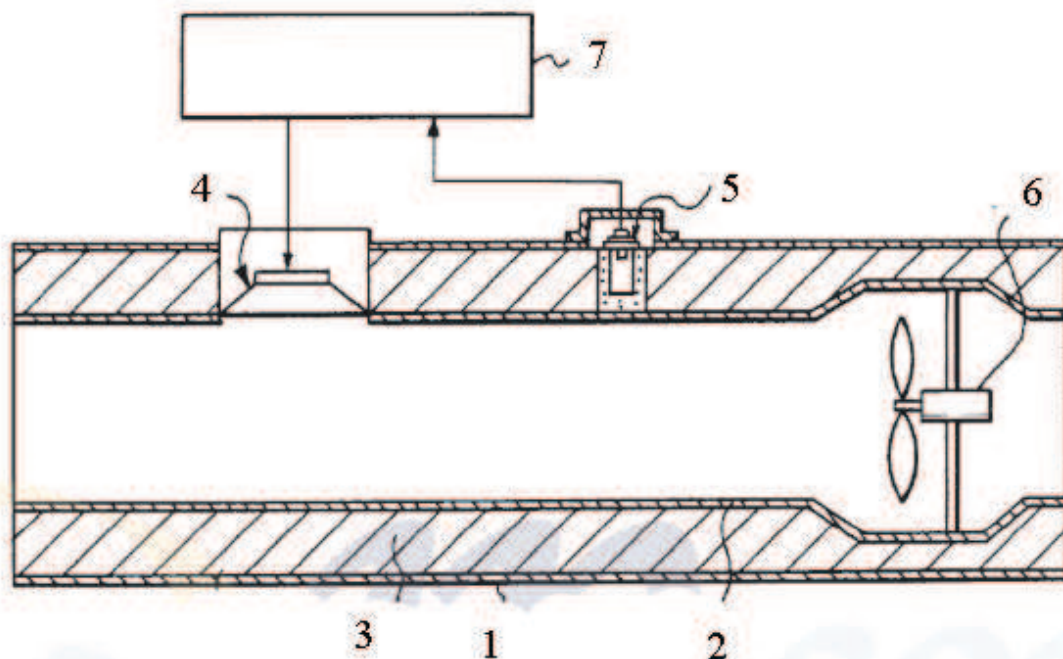
Siekiant nuslopinti bet kokios formos garso bangas tam tikrame intervale, mikrofonas ir garsiakalbis gali būti šalia vienas kito taip, kad praktiškai garso virpesiai mikrofoną ir garsiakalbį pasiekia tuo pačiu metu, o bangos fazė keičiama pakeitus garsiakalbio poliškumą.



11 pav. Aktyvus triukšmo slopintuvas. 1 – ortakis, 2 – garso stiprintuvas, 3 – garsiakalbis, 4 – mikrofonas

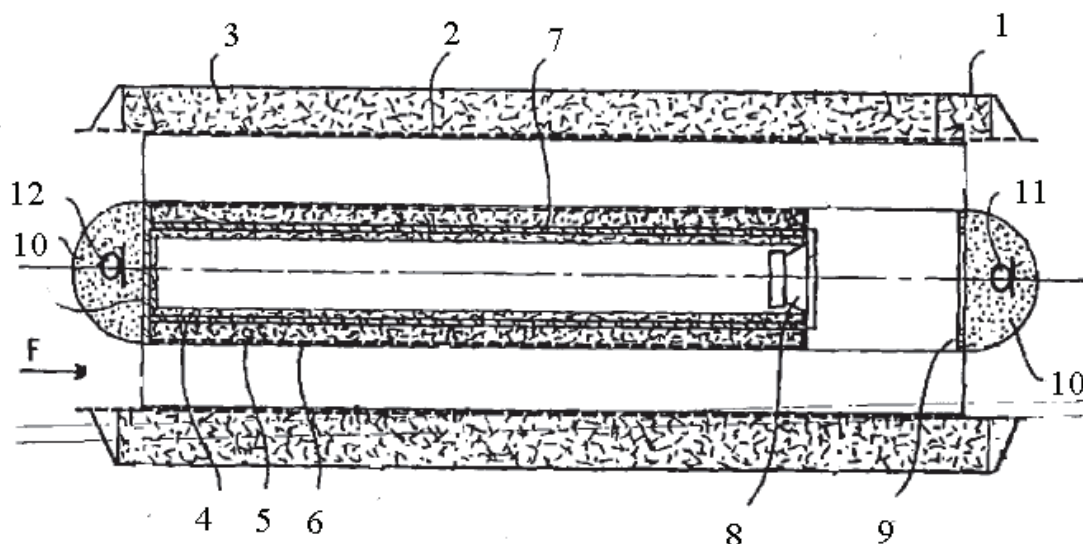
Kitas patentas kuriame pateikiamas aktyvus slopintuvas pasyviame slopintuve priklauso Takashi Kawanishi; Masayoshi Ikeda „Silencer for attenuating a sound or noise transmitted through a passage of a duct“. Šiame patente aprašoma aktyvaus slopintuvo konstrukcija (12 pav.), kuri iš dalies panaši į prieš tai minėtą konstrukciją, tačiau šioje konstrukcijoje panaudotas pasyvus slopintuvas tam, kad būtų galima labiau nuslopinti nepageidaujamą triukšmą. Taip pat

vietoj garso stiprintuvo nurodytas reguliatorius, kuris gali tiksliau sudaryti priešingos fazės ir vienodos amplitudės antitriukšmo bangas.



12 pav. Aktyvus slopintuvas su kanaliniu ventiliatoriumi: 1 – vamzdis, 2 – garso praleidžiantis vamzdis, 3 – stiklo vata, 4 – garsiakalbis, 5 – mikrofonas, 6 – kanalinis ventiliatorius, 7 – reguliatorius (Kawanishi 2000)

Dar vienas aktyvus triukšmo slopintuvas, kuriame panaudotas pasyvus slopintuvas yra Christian Carme „Active sound attenuation device to be arranged inside a duct, particularly for the sound insulation of a ventilating and/or air conditioning system“ (13 pav.).



13 pav. Aktyvus triukšmo slopintuvas su integruotu vidiniu vamzdžiu ir kontroliavimo mikrofonu: 1, 7 – vamzdis, 2, 6 – perforuotas vamzdis, 3, 4, 5 – akmens vata, 8 – garsiakalbis, 9 – mikrofonas

9 – plokštelė, 10 – porėta medžiaga, 11 – kontrolinis mikrofonas, 12 – pagrindinis mikrofonas
(Carme 2007)

Šis patentas geresnis už prieš tai minėtus patentus tuo, kad jis universalesnis, nes yra galimybė panaudoti standartinius slopintuvus nepažeidžiant jų korpuso integruojant garsiakalbį ir mikrofonus, juos pritvirtinant prie vidinio vamzdžio.

2. TEORINIS PNEUMOSISTEMŲ TRIUKŠMO SLOPINIMO METODO PAGRINDIMAS

2.1. Triukšmo slopinimo skaičiuotė

Kiekvienas sistemos elementas ir slopina ir kelia triukšmą. Kas įsigali – priklauso nuo elemento konstrukcijos ypatumų ir nuo oro greičio.

Randomas bendrasis ventiliatoriaus triukšmo lygis $L_{\phi \text{bendr}}$. Jis priklauso nuo ventiliatoriaus konstrukcijos, vėdinimo sistemos debito ir aerodinaminio pasipriešinimo.

Konkrečioje vietoje stovinčio ventiliatoriaus triukšmo lygiui įtakos turi tai, kaip ventiliatorius sumontuotas ir prijungtas prie ortakių. Siurbimo anga gali būti atvira ventiliatoriaus sekcijoje arba tiesiogiai sujungta su ortakiais. Oro srautas gali įeiti į darbo ratą išlygintas arba deformuoto greičių profilio. Tada taikoma bendrojo triukšmo lygio pataisa ΔL .

Tikrasis lygis:

$$L_{\phi \text{bendr.fakt.}} = L_{\phi \text{bendr}} \pm \Delta L, \text{ dB(A)}. \quad (1)$$

Kadangi įvairaus dažnio garsas slopinamas nevienodai (randama, koks yra triukšmo galios lygis oktavų juostose pagal vidutinį oktavų dažnį):

$$L_{\phi \text{ fakt.}} = L_{\phi \text{ bendr}} - \Delta L_{\text{okt}}, \quad (2)$$

čia ΔL_{okt} – pataisa, dB, įvertinanti energijos dažninį pasiskirstymą ventiliatoriaus spektre.

Bet kurio dažnio triukšmo lygis patalpoje neturi viršyti leidžiamojo L_{leid} . Vadinasi, tarp ventiliatoriaus ir patalpos reikia nuslopinti:

$$\Delta L_{\phi \text{okt}} = L_{\phi \text{okt}} - L_{\text{leid}} + 5 \text{ dB}, \quad (3)$$

čia 5 dB priedas apytikriai atitinka bendrojo triukšmo lygio padidėjimą, sudėjus oktavinių dažnių lygius.

Ventiliatoriaus keliamo triukšmo energija pasiskirsto netolygiai, ji sukaupia žemojo dažnio srityje. Kai sūkių skaičius $n - 700-1400 \text{ min}^{-1}$, vyrauja 125 ir 250 Hz oktavų juostų triukšmas, kai $1400 < n < 2800 \text{ min}^{-1}$, vyrauja 250, 500 Hz triukšmas, o esant $n < 700 \text{ min}^{-1}$ – atitinkamai 63, 125 Hz triukšmas. Skaičiuojamas tik vyraujančių dažnių triukšmo slopinimas, kitų, savaimė aišku, triukšmo lygis bus žemesnis. Toliau skaičiuojamas triukšmo slopinimas vėdinimo sistemos elemenstuose. Elementai: alkūnės, trišakiai, ortakių sienelės, oro šalinimo grotelės. Gali būti, kad pats oro sklaidytuvas skleidžia didesnio lygio triukšmą, nei leistina.

Pasiekus patalpą, oktavos juostose triukšmo galios lygis:

$$\Delta L_{\phi \text{okt pat}} = \Delta L_1 - \Delta L_2 - \dots - \Delta L_n, \text{ dB}, \quad (4)$$

čia $\Delta L_1, \Delta L_2, \dots$ – triukšmo slopinimas pavieniuose sistemos elementuose.

Triukšmo lygis konkrečioje darbo vietoje, panašiai kaip apšviestumas, priklauso nuo, kaip toli nuo jos yra vėdinimo antgalis, jo vietos ir patalpos akustinių savybių (triukšmo sugerties).

Jeigu triukšmo lygis patalpoje lieka aukštesnis už leidžiamąjį, reikia pagalvoti, kaip sumažinti ventiliatoriaus skleidžiamą triukšmą, patobulinti sistemos konstrukciją. Kai to nepakanka, statomi triukšmo slopintuvai prie ventiliatoriaus, o jei jų nepakanka – atšakose prieš pat oro tiekimo ar šalinimo angas.

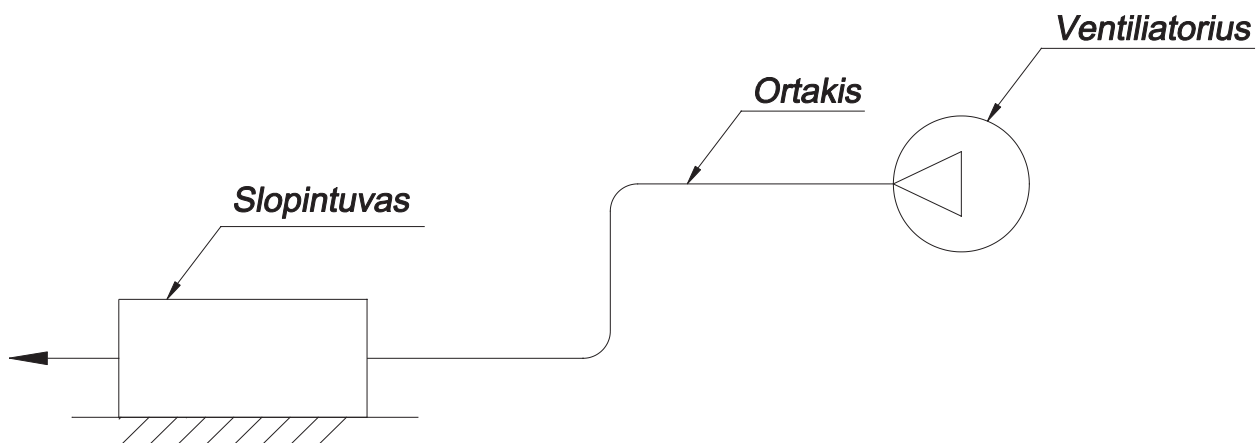
Siekiant sumažinti triukšmo lygį nuoseklusis slopintuvų jungimas nėra geriausia išeitis, nes stipriausiai slopinama slopintuvų pradžioje. Pavyzdžiui, slopintuvas pailgintas keturis kartus, užima atitinkamai daugiau vietos, o nuslopinama tik 2–3 kartus daugiau decibelų.

Dėstant ventiliatorius reikia žiūrėti, kad kuris neatsidurtų prie kitos sistemos ortakių, nes jo skleidžiamas triukšmas pro ortakių sieneles pereis į kitą sistemą.

Įvairių mechanizmų skleidžiamas triukšmas patalpose gali užgožti ventiliatorių keliamą, tada ventiliatorių triukšmas neišsiskiria ir netrukdo darbuotojams. Gretimų namų gyventojai, atvirkščiai, girdi erzinantį lauke stovinčių ventiliatorių triukšmą, nes patalpose esančių mechanizmų triukšmą slopina pastatas (Juodis 2009).

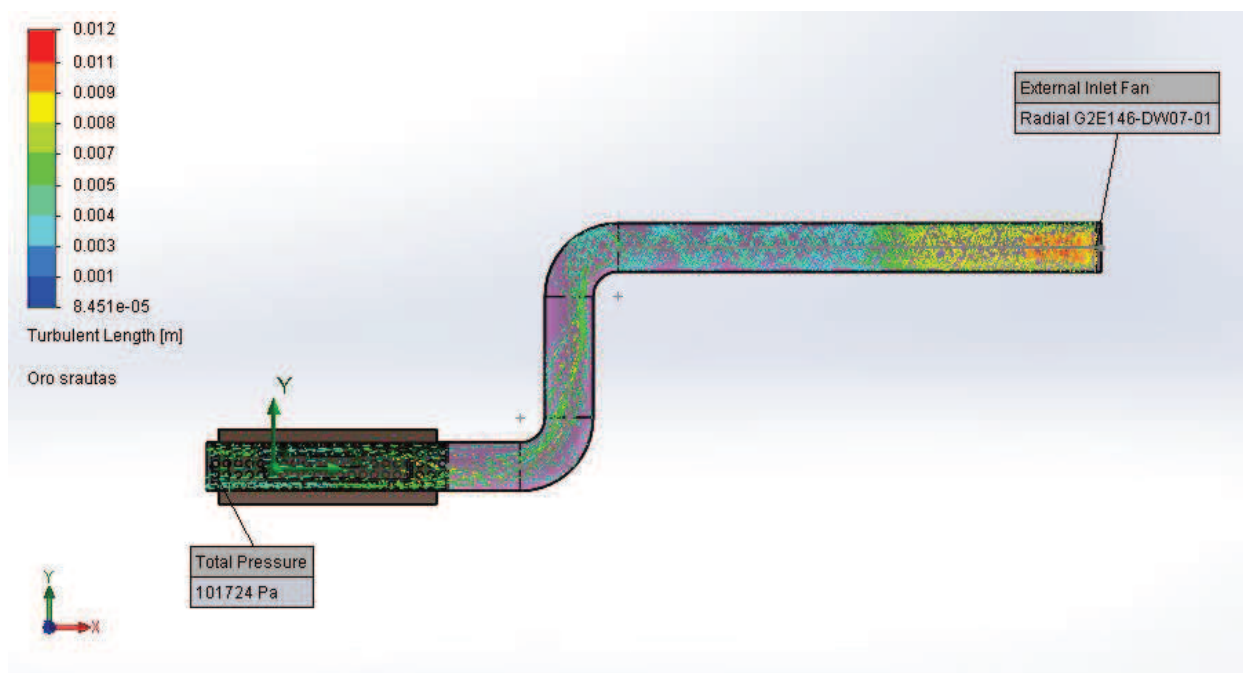
3. SKAITMENINIS PNEUMOSISTEMŲ TRIUKŠMO SLOPINIMO MODELIS

Atsitiktinis triukšmas pneumosistemose susidaro ten, kur susidaro oro turbulencijos. Turbulencijų susidarymo vietoms bei dydžiams nustatyti naudojama kompiuterinė programa „Solidworks 2012 Flow Simulation“.

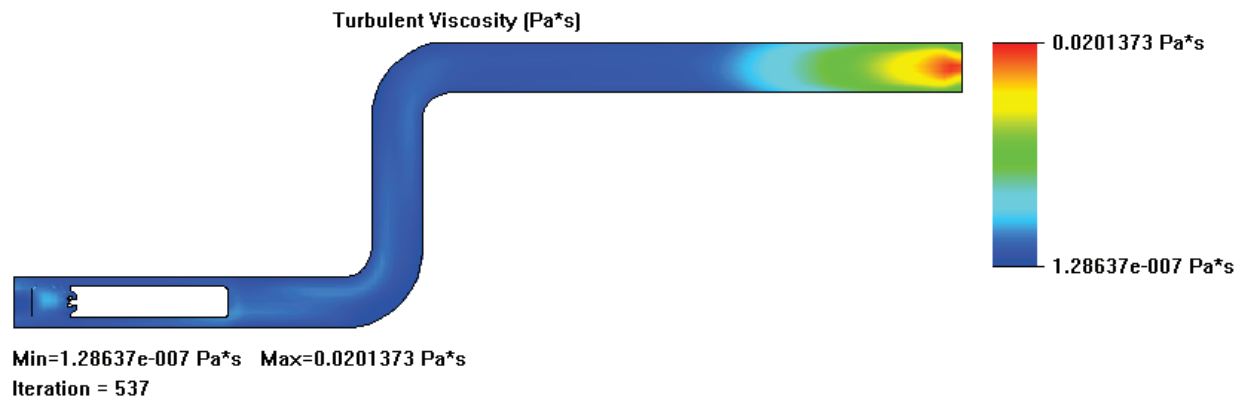


14 pav. Pneumatinė įrenginio schema.

Programa „Solidworks 2012 Flow Simulation“ gauti rezultatai, kai didžiausias oro srauto greitis sistemoje (4,2 m/s) ir didžiausias sukuriamas slėgis (399 Pa), naudojant radialinį ventiliatorių G2EI146-DW07-01.

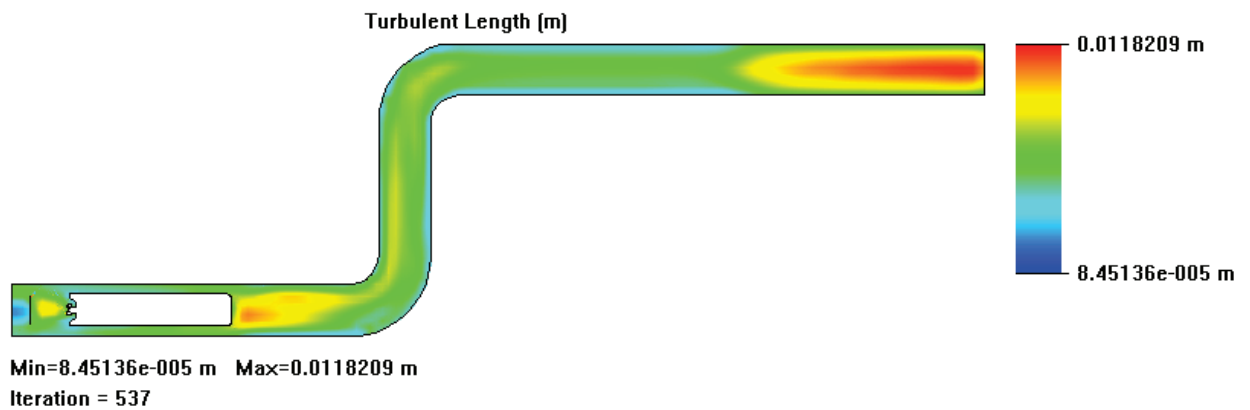


15 pav. Pneumosistemos triukšmo slopinimo pagrindiniai duomenys



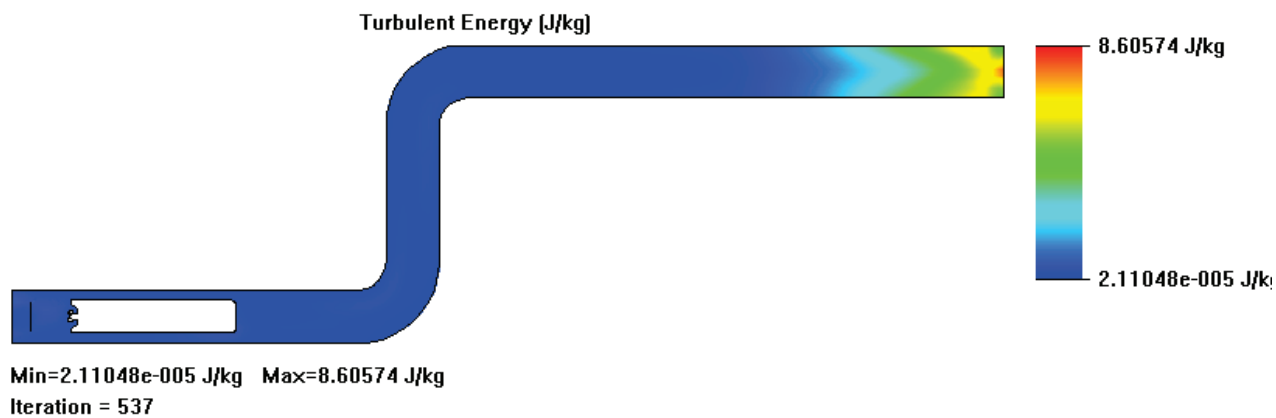
16 pav. Turbulentinė klampa pneumosistemoje

Turbulentinė klampa labiausiai keičiasi prie ventiliatoriaus sparnuotės. Šioje vietoje siekia $\sim 0,012 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ (16 pav.).



17 pav. Turbulentinis ilgis pneumosistemoje

Turbulentinis ilgis (17 pav.) geriausiai parodo, kuriose vietose susidaro intensyviausi sūkuriai. Iš čia galima matyti, kad didžiausias triukšmas sugeneruojamas orui atsiskiriant nuo menčių, ortakių posūkiuose bei susidariusiose kliūtyse, šiuo atveju prieš vamzdį ir plokštelę. Tačiau už plokštelės srautas nusistovi.



18 pav. Turbulentinė energija pneumosistemoje

Iš 18 pav. matyti, kad didžiausia turbulentinę energiją sukuria ventiliatorius.

Visos komplektacijos bandymo stende naudojamas plačiausiai vėdinimo sistemoje naudojamas pasyvus slopintuvas AGS 200-50-900 (2). Jame sumontuojamos tokios dalys, kaip vamzdis (3), apklijuotas k-flex garsą sugeriančia medžiaga su dangteliu (4), plokštelė (5) garso bangoms, sklindančioms iš garsiakalbio (8), atspindėti. Signalas, kuris perduodamas į garsiakalbį (8) iš mikrofono (9). Iš mikrofono (9) sklindantis signalas patenka į kompiuterį (6), o iš jo – į stiprintuvą (7) ir į garsiakalbį (8). Pagrindinis triukšmo šaltinis šioje sistemoje yra ventiliatorius (11), kuris triukšmą skleidžią ortakiu (10) į slopintuvą (2), o iš slopintuvo (2) sklindantis triukšmas išmatuojamas triukšmo lygio matuokliu (1).

Tiriamajame stende naudojama įranga:

Ventiliatorius techninė charakteristika:

gamintojas – „Ebmpapst“, modelis – G2E146-DW07-01;

oro debitas: 475 m³/h;

didžiausias slėgis: 399 Pa.

skleidžiamas triukšmas: 60 dB(A).

Kiti ventiliatoriaus duomenys pateikti priede.

Kompiuteris,

Garso stiprintuvas,

Triukšmo lygio matuoklis,

Gamintojas – „Brüel & Kjær“, modelis – 2250. Šio prietaiso santykinė matavimo paklaida $\pm 1,5$ %.

4.2. Metodika

Pagal pateiktą schemą triukšmo matavimai atliekami tokia tvarka:

1. Surenkamas tiriamasis stendas.
2. Triukšmo lygio matuoklis statomas pirmu bandymu 1 m atstumu nuo išmetimo angos, kitu atveju prie pat išmetimo angos.
3. Matuojamas triukšmo lygis, kurį sukuria ventiliatorius ir fasoninių dalių generuojamas triukšmas.

4.3. Bandymo eiga

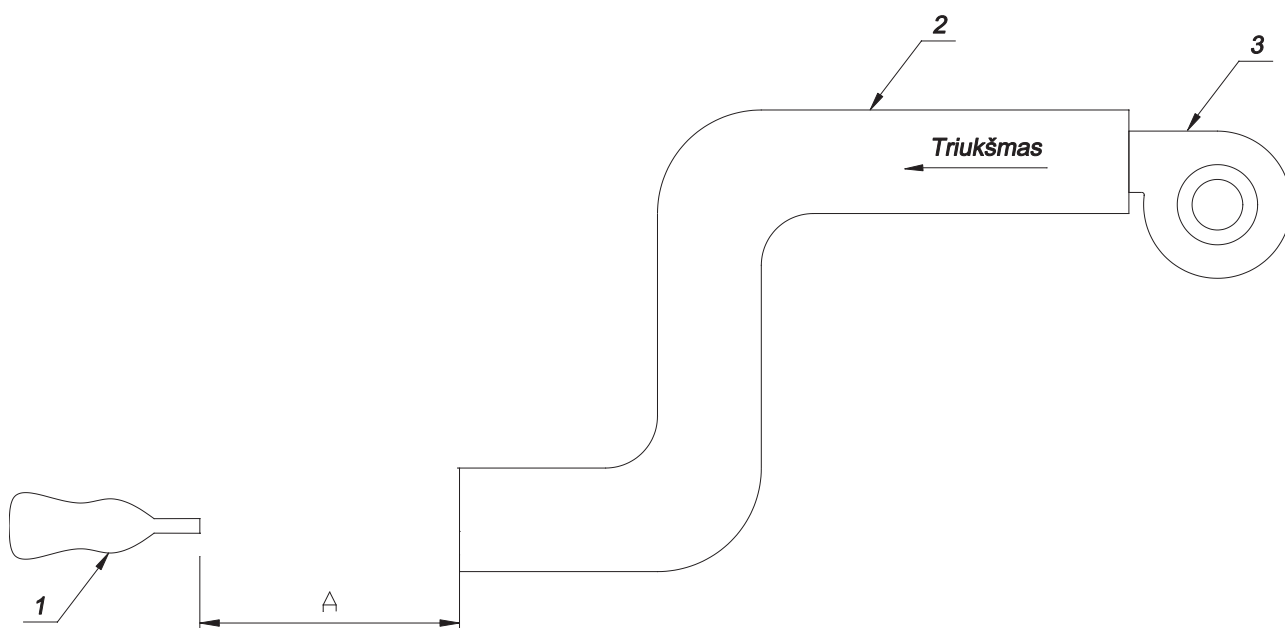
Visų pirma išmatuojamas aplinkos triukšmas, po to atliekami šie bandymai:

Kiekvieno bandymo metu keičiamas tinklo dažnis tam, kad būtų pakeistas sistemoje sklindančio oro greitis. Greitis keičiamas imituojant realias sąlygas, kai reikia tiekti atitinkamą oro srautą. Buvo pasirinkti 5 tinklo dažnio atskaitos taškai: 50, 40, 30, 20 ir 10 Hz. Atitinkamai oro greitis 4,2, 4,0, 3,4, 2,7 ir 2,1 m/s.

4.3.1. Pirmasis bandymas

Išmatuojamas triukšmas, sklindantis iš ortakio (20 pav.).

Atstumas A pirmu atveju 1 m, kitu – prie pat išmetimo angos.

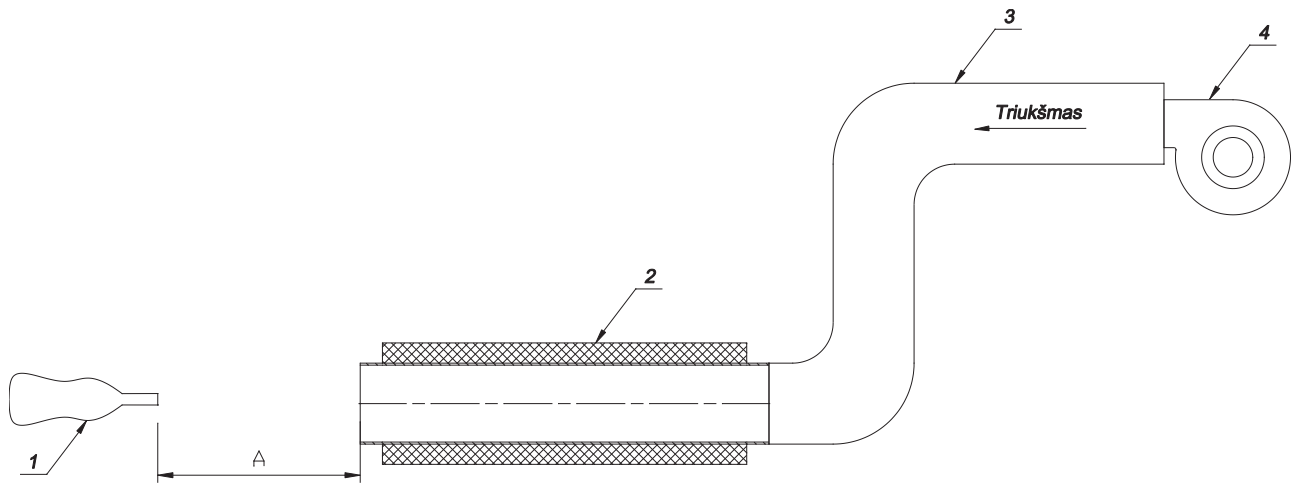


20 pav. Triukšmo matavimo schema. Išmatuojamas triukšmas, sklindantis iš ortakio: 1 – triukšmo lygio matuoklis; 2 – ortakis; 3 – ventiliatorius

4.3.2. Antrasis bandymas

Išmatuojamas triukšmas, sklindantis iš pasyvaus slopintuvo (21 pav.)

Atstumas A pirmu atveju 1 m, kitu – prie pat išmetimo angos.

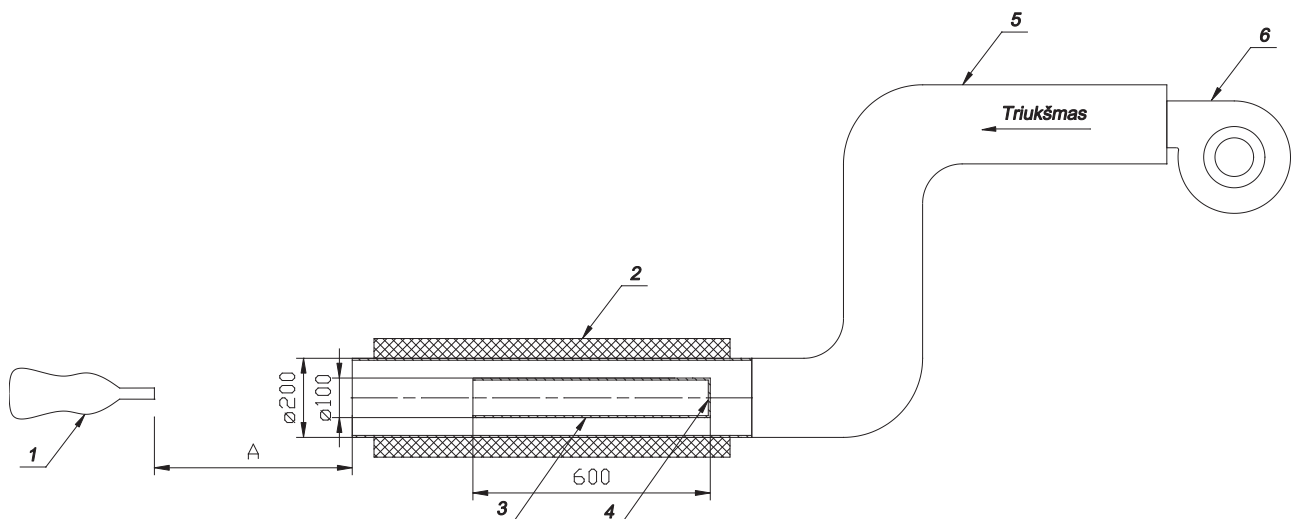


21 pav. Triukšmo matavimo schema. Išmatuojamas triukšmas, sklindantis iš pasyvaus slopintuvo. 1 – triukšmo lygio matuoklis; 2 – slopintuvas AGS 200-50-900; 3 – ortakis; 4 – ventiliatorius

4.3.3. Trečiasis bandymas

Išmatuojamas triukšmas, sklindantis iš pasyvaus slopintuvo su vamzdžiu be k-flex (22 pav.).

Atstumas A pirmu atveju 1 m, kitu – prie pat išmetimo angos.

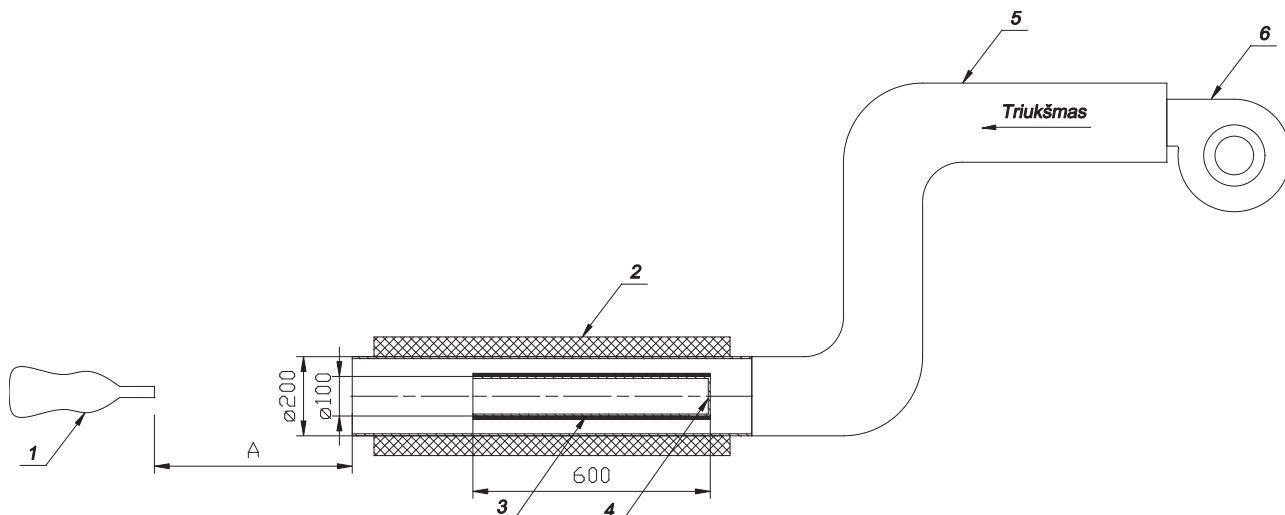


22 pav. Triukšmo matavimo schema. Išmatuojamas triukšmas, sklindantis iš pasyvaus slopintuvo su vamzdžiu be k-flex. 1 – triukšmo lygio matuoklis; 2 – slopintuvas AGS 200-50-900; 3 – vamzdis; 4 – dangtelis; 5 – ortakis; 6 – ventiliatorius

4.3.4. Ketvirtasis bandymas

Išmatuojamas triukšmas, sklindantis iš pasyvaus slopintuvo su vamzdžiu ir su k-flex (23 pav.).

Atstumas A pirmu atveju 1 m, kitu – prie pat išmetimo angos.

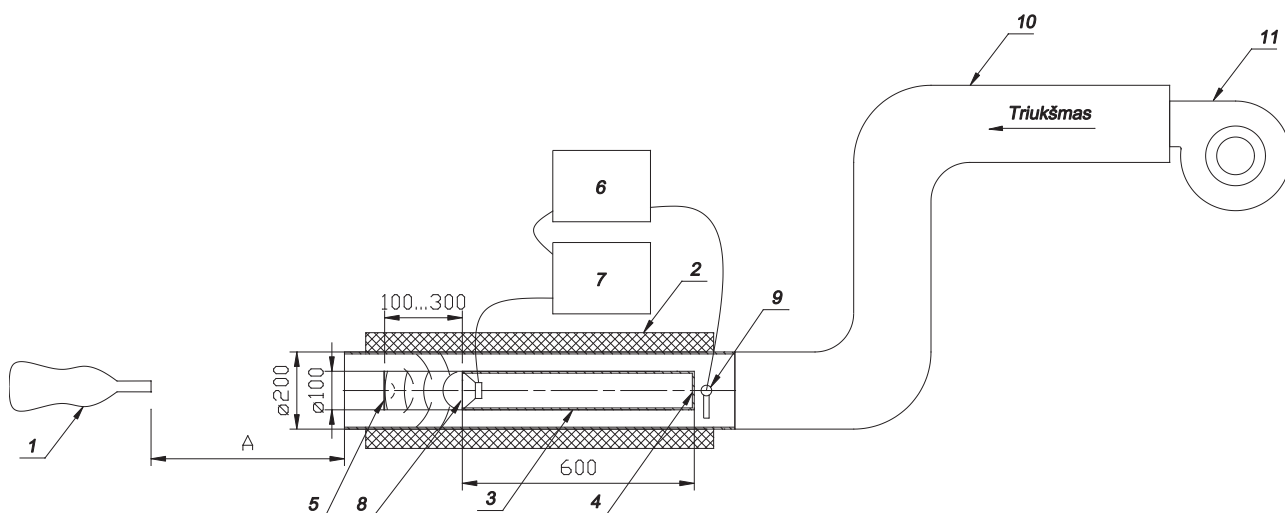


23 pav. Triukšmo matavimo schema. Išmatuojamas triukšmas, sklindantis iš pasyvaus slopintuvo su vamzdžiu ir su k-flex. 1 – triukšmo lygio matuoklis; 2 – slopintuvas AGS 200-50-900; 3 – vamzdis su k-flex medžiaga; 4 – dangtelis; 5 – ortakis, 6 – ventiliatorius

4.3.5. Penktasis bandymas

Išmatuojamas triukšmas, sklindantis iš aktyvaus slopintuvo su vamzdžiu be k-flex (24 pav.).

Atstumas A pirmu atveju 1 m, kitu – prie pat išmetimo angos.

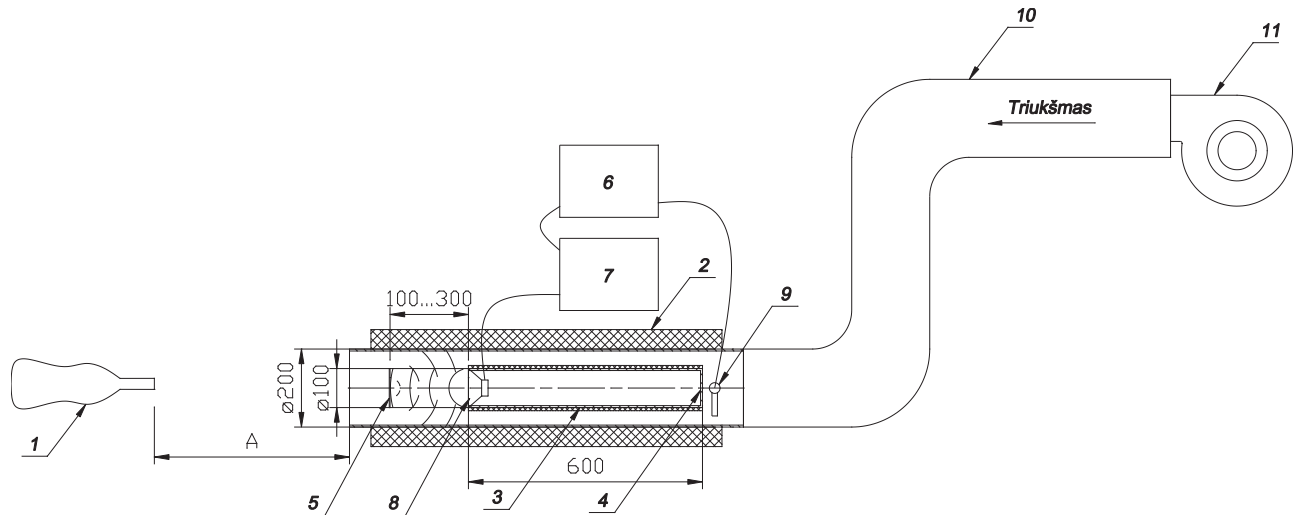


24 pav. Triukšmo matavimo schema. Išmatuojamas triukšmas, sklindantis iš aktyvaus slopintuvo su vamzdžiu be k-flex. 1 – triukšmo lygio matuoklis; 2 – slopintuvas AGS 200-50-900; 3 – vamzdis; 4 – dangtelis; 5 – plokštelė; 6 – kompiuteris; 7 – garso stiprintuvas; 8 – garsiakalbis; 9 – mikrofonas; 10 – ortakis; 11 – ventiliatorius

4.3.6. Šeštasis bandymas

Išmatuojamas triukšmas, sklindantis iš aktyvaus slopintuvo su vamzdžiu ir su k-flex (25 pav.).

Atstumas A pirmu atveju 1 m, kitu – prie pat išmetimo angos.



25 pav. Triukšmo matavimo schema. Išmatuojamas triukšmas, sklindantis iš aktyvaus slopintuvo su vamzdžiu ir su k-flex. 1 – triukšmo lygio matuoklis; 2 – slopintuvas AGS 200-50-900; 3 – vamzdis; 4 – dangtelis; 5 – plokštelė; 6 – kompiuteris; 7 – garso stiprintuvas; 8 – garsiakalbis; 9 – mikrofonas; 10 – ortakis; 11 – ventiliatorius

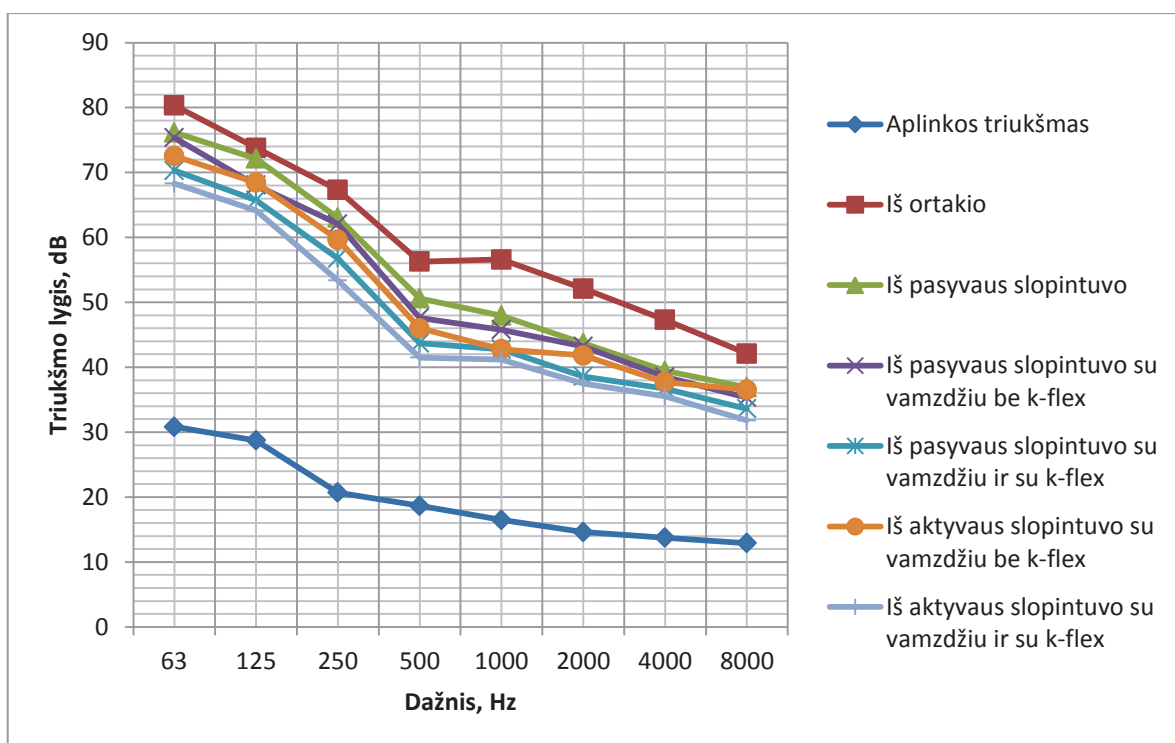
5. EKSPERIMENTO REZULTATŲ ANALIZĖ

Eksperimentas atliktas su pasyviais ir aktyviais slopintuvais. Triukšmo matavimai atlikti bandymų metu aprašyta tvarka. Siekiant gauti tikslesnius duomenis, kiekvienas matavimas buvo atliekamas po 5 kartus.

Bandymų rezultatai:

Triukšmo lygis išmatuotas 1 m atstumu nuo oro išmetimo angos.

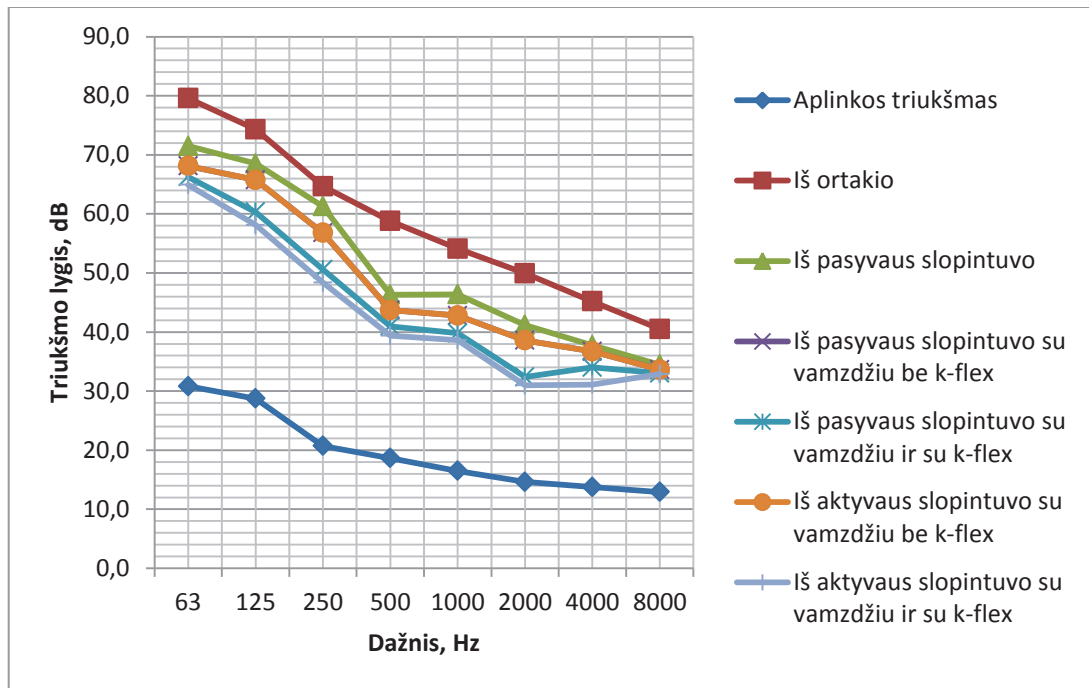
Bandymo rezultatai esant 4,2 m/s oro greičiui (26 pav.).



26pav. Triukšmo lygis, kai oro greitis sistemoje 4,2 m/s

Kaip matyti 26 pav., labiausiai nuslopinamas triukšmas 1000 Hz dažnių juostoje – 15,4 dB, o mažiausiai 125 Hz dažnių juostoje – 9,7 dB. Triukšmas labiausiai nuslopinamas aktyviame slopintuve su k-flex medžiaga lyginant su kitais slopintuvais, mažiausiai slopina pasyvus slopintuvas be modifikacijos.

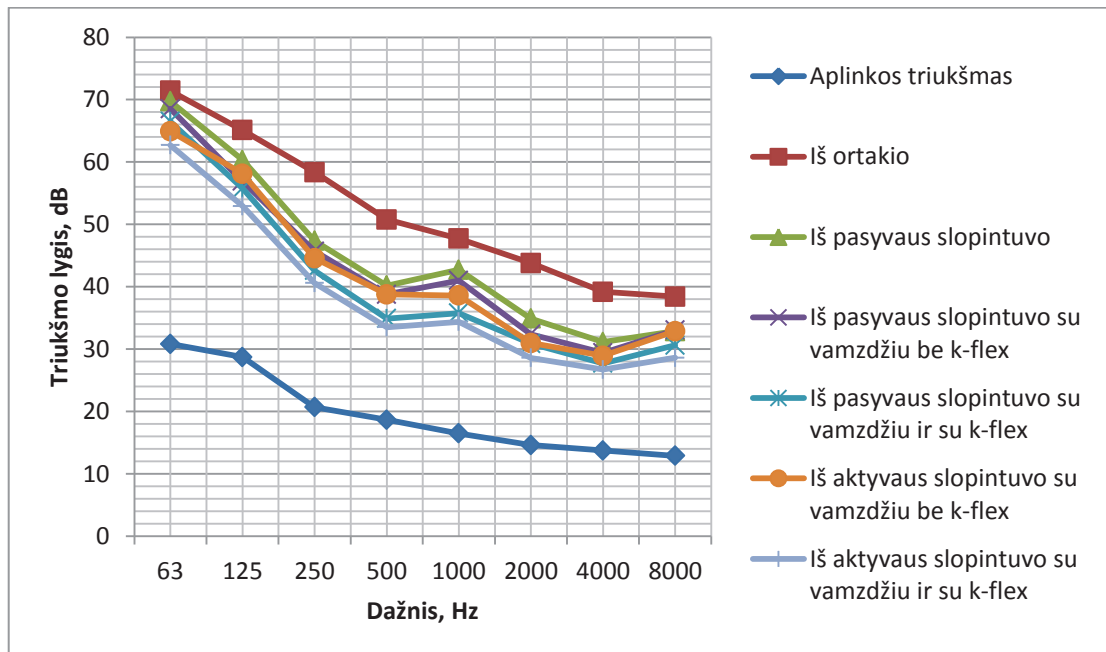
Bandymo rezultatai esant 4,0 m/s oro greičiui (27 pav.).



27 pav. Triukšmo lygis, kai oro greitis sistemoje 4,0 m/s

Iš 27 pav. matyti labiausiai nuslopinamas triukšmas 500 Hz dažnių juostoje 19,4 dB, o mažiausiai 8000 Hz dažnių juostoje – 7,7 dB. Triukšmas labiausiai nuslopinamas aktyviame slopintuve su k-flex medžiaga lyginant su kitais slopintuvais, mažiausiai slopina pasyvus slopintuvus be modifikacijos.

Bandymo rezultatai esant 3,4 m/s oro greičiui (28 pav.).

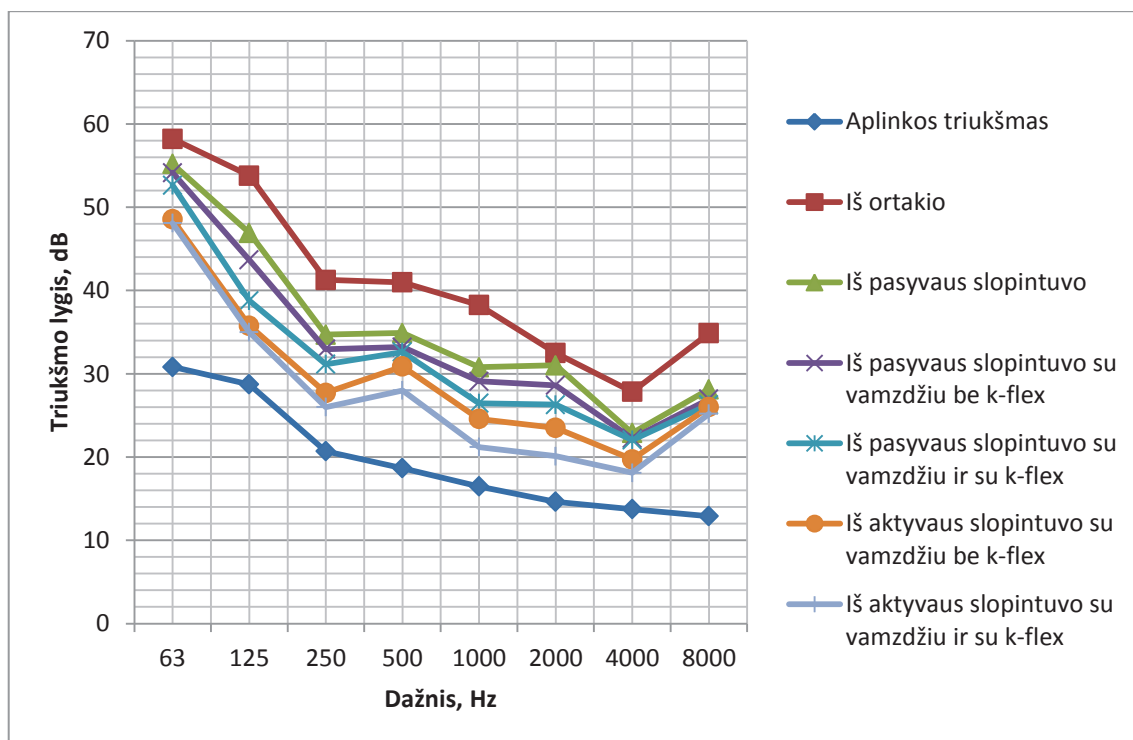


28 pav. Triukšmo lygis, kai oro greitis sistemoje 3,4 m/s

Iš 28 pav. matyti labiausiai nuslopinamas triukšmas 500 Hz dažnių juostoje 17,8 dB, o mažiausiai 63 Hz dažnių juostoje – 7,0 dB. Triukšmas labiausiai nuslopinamas aktyviame

slopintuve su k-flex medžiaga lyginant su kitais slopintuvais, mažiausiai slopina pasyvus slopin tuvas be modifikacijos.

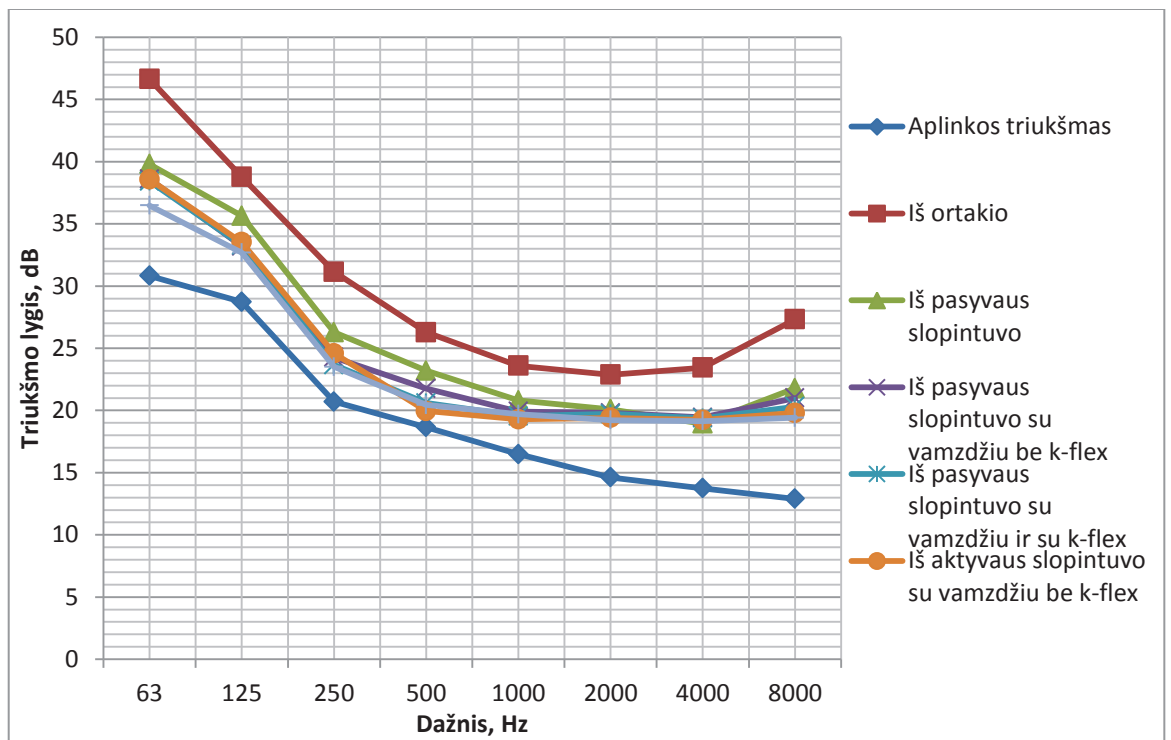
Bandymo rezultatai esant 2,7 m/s oro greičiui (29 pav.).



29 pav. Triukšmo lygis, kai oro greitis sistemoje 2,7 m/s

29 pav. labiausiai nuslopinamas triukšmas 1000 Hz dažnių juostoje 17,1 dB, o mažiausiai 800 Hz dažnių juostoje – 9,7 dB. Triukšmas labiausiai nuslopinamas aktyviame slopin tuve su k-flex medžiaga lyginant su kitais slopin tuvais, mažiausiai slopina pasyvus slopin tuvas be modifikacijos.

Bandymo rezultatai esant 2,1 m/s oro greičiui (30 pav.).

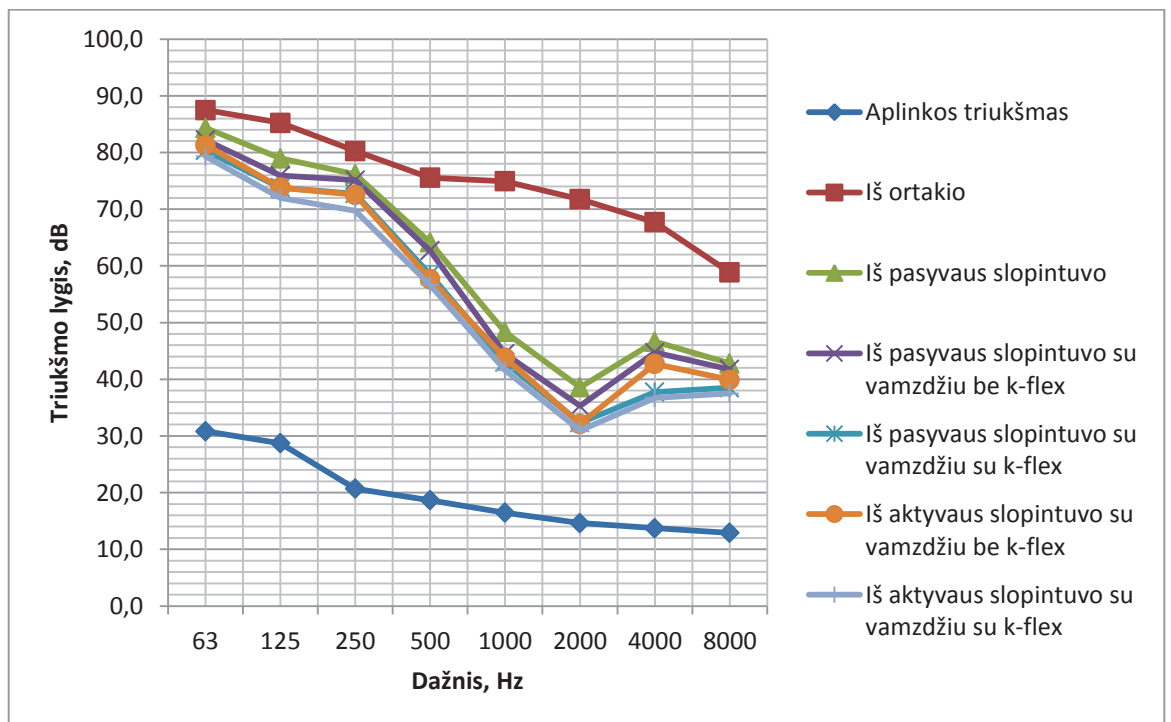


30 pav. Triukšmo lygis, kai oro greitis sistemoje 2,1 m/s

30 pav. pavaizduoti rezultatai esant pakankamai mažam greičiui (2,1 m/s), todėl kai kurių dažnių juostose pvz. 500 Hz triukšmo lygis nėra tikslus, nes artimas aplinkos triukšmui.

Triukšmo lygis išmatuotas prie išmetimo angos.

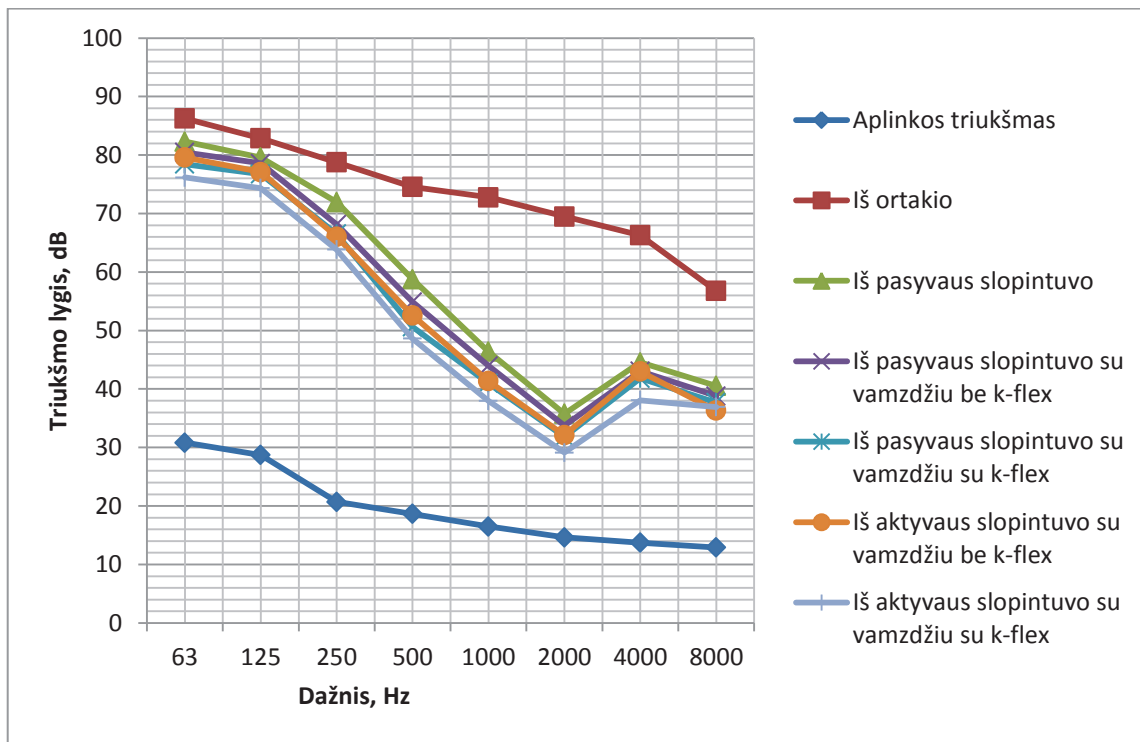
Bandymo rezultatai esant 4,2 m/s oro greičiui 31. pav.



31 pav. Triukšmo lygis, kai oro greitis sistemoje 4,2 m/s

31 pav. labiausiai nuslopinamas triukšmas 2000 Hz dažnių juostoje 40,9 dB, o mažiausiai 63 Hz dažnių juostoje – 5,0 dB. Triukšmas labiausiai nuslopinamas aktyviame slopintuve su k-flex medžiaga lyginant su kitais slopintuvais, mažiausiai slopina pasyvus slopintuvus be modifikacijos.

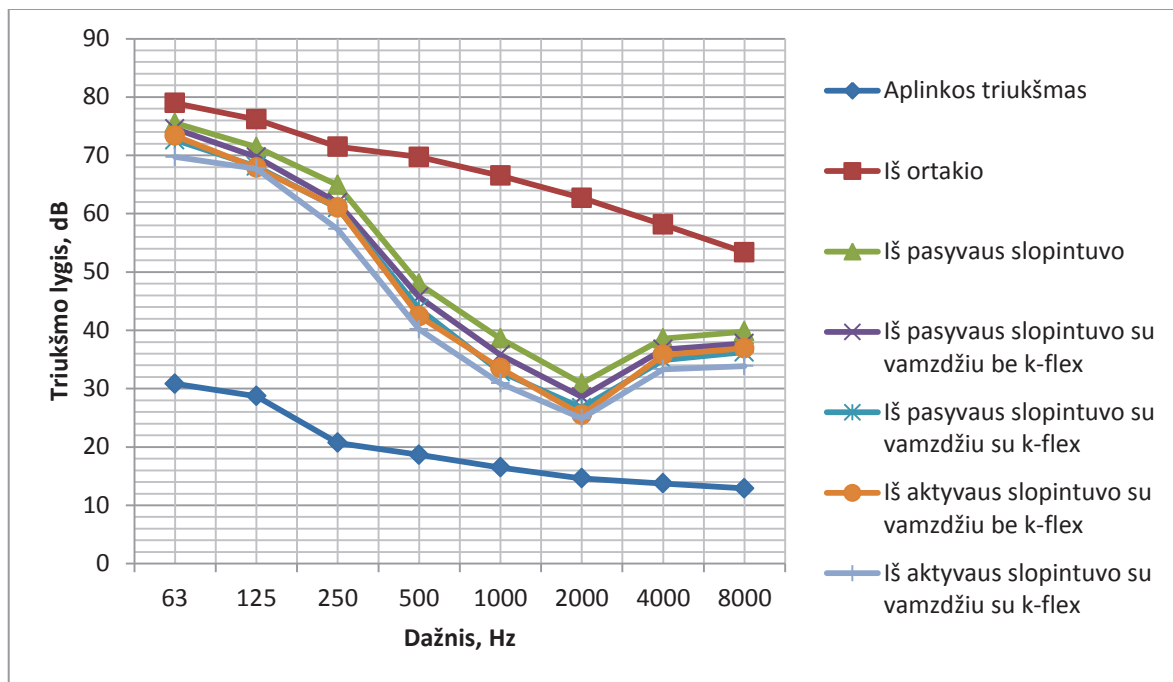
Bandymo rezultatai esant 4,0 m/s oro greičiui (32 pav.).



32 pav. Triukšmo lygis, kai oro greitis sistemoje 4,0 m/s

32 pav. labiausiai nuslopinamas triukšmas 2000 Hz dažnių juostoje 40,4 dB, o mažiausiai 63 Hz dažnių juostoje – 10,1 dB. Triukšmas labiausiai nuslopinamas aktyviame slopintuve su k-flex medžiaga lyginant su kitais slopintuvais, mažiausiai slopina pasyvus slopintuvus be modifikacijos.

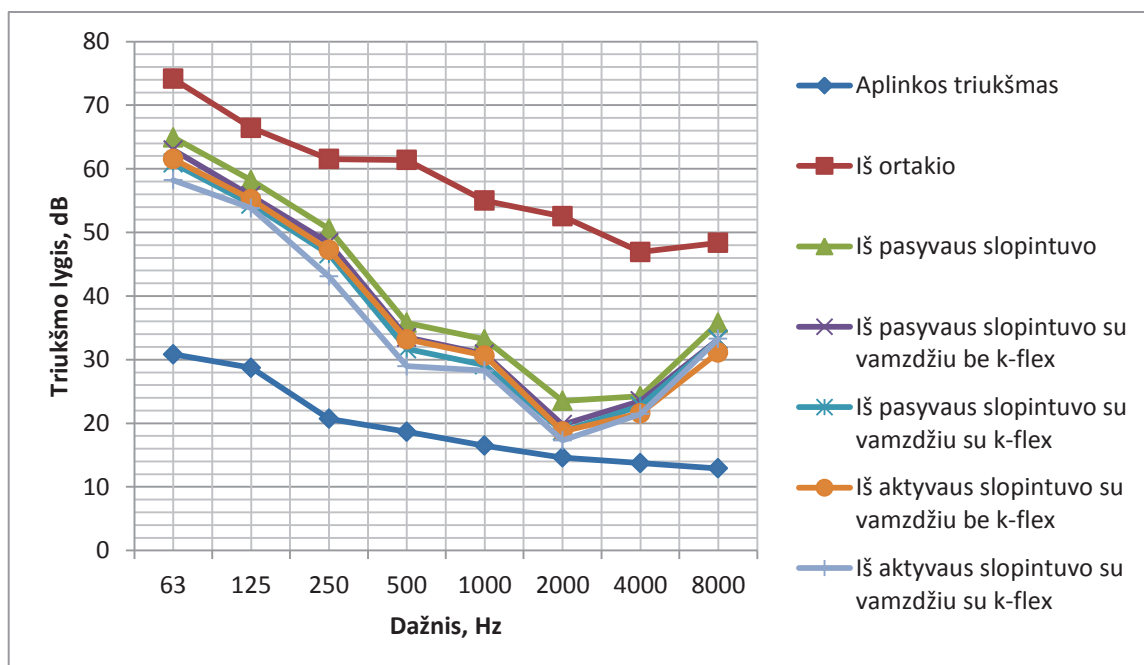
Bandymo rezultatai esant 3,4 m/s oro greičiui (33 pav.).



33 pav. Triukšmo lygis, kai oro greitis sistemoje 3,4 m/s

33 pav. labiausiai nuslopinamas triukšmas 2000 Hz dažnių juostoje 37,8 dB, o mažiausiai 63 Hz dažnių juostoje – 9,2 dB. Triukšmas labiausiai nuslopinamas aktyviame slopintuve su k-flex medžiaga lyginant su kitais slopintuvais, mažiausiai slopina pasyvus slopintuvas be modifikacijos.

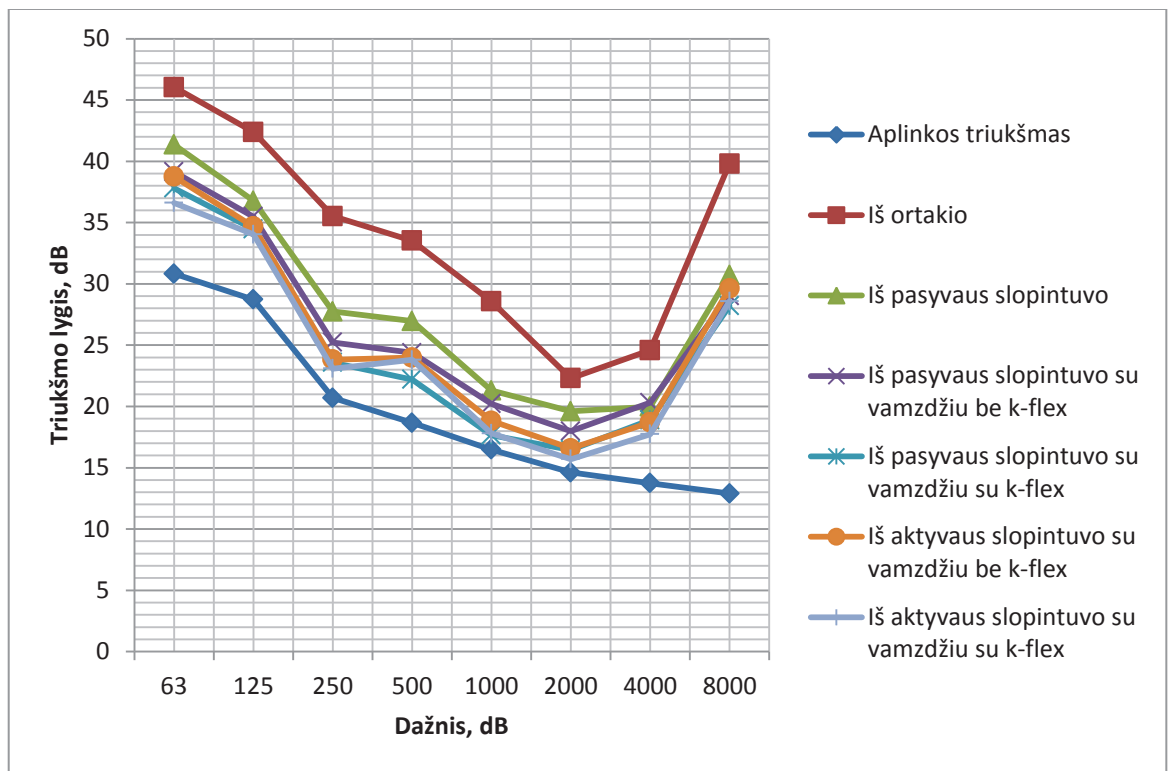
Bandymo rezultatai esant 2,7 m/s oro greičiui (34 pav.)



34 pav. Triukšmo lygis, kai oro greitis sistemoje 2,7 m/s

34 pav. pavaizduoti rezultatai esant pakankamai mažam greičiui (2,7 m/s), todėl kai kurių dažnių juostose pvz. 2000 Hz triukšmo lygis nėra tikslus, nes artimas aplinkos triukšmui.

Bandymo rezultatai esant 2,1 m/s oro greičiui (35 pav.).



35 pav. Triukšmo lygis, kai oro greitis sistemoje 2,1 m/s

35 pav. pavaizduoti rezultatai esant pakankamai mažam greičiui (2,1 m/s), todėl kai kurių dažnių juostose pvz. 1000 Hz triukšmo lygis nėra tikslus, nes artimas aplinkos triukšmui.

IŠVADOS

1. Aktyvaus triukšmo slopinimo metodas efektyviai slopina žemo dažnio triukšmą, ko pasyvūs vamzdiniai slopintuvai negali arba tampa labai didelių gabaritų (turi būti iki $d = 500\text{--}630\text{ mm}$, nes didinant skersmenį, mažėja slopinimo efektyvumas todėl, kad pratenkančio oro kiekis didėja sparčiau nei garsą sugeriančio paviršiaus plotas), taip sumažinant dydį, svorį bei išlaidas.
2. Naudojant programą „Solidworks 2012 Flow Simulation“ buvo nustatyta, kuriose vietose susidaro didžiausios turbulencijos, generuojamas triukšmas. Didžiausias triukšmas sugeneruojamas orui atsiskiriant nuo ventiliatoriaus menčių, ortakijų posūkiuose bei kitose susidariusiose kliūtyse.
3. Tiriant slopintuvų modifikacijas esant 2,7 ir 2,1 m/s oro greičiui, buvo pastebėta, kad iš slopintuvų išmetimo angų sklindantis garsas yra artimas aplinkos triukšmui, dėl to jų efektyvumo įvertinimas nėra tikslus, tiksliam jų efektyvumo įvertinimui reikia atlikti tyrimus reverberacinėje kameroje.
4. Triukšmas labiausiai sumažėjo esant 4,2 m/s oro greičiui matuojant prie išmetimo angos šiose dažnių juostose (500, 1000 ir 2000 Hz) slopintuve su vamzdžiu, apklijuotu k-flex medžiaga, atitinkamai slopinimo efektyvumas 18,8, 33,3 ir 40,9 dB.
5. Visos tirtos slopintuvo modifikacijos yra efektyvios, išskyrus aktyvaus slopinimo modifikacijas. Šių slopintuvų tyrimus reikia daugiau patyrinėti, sukuriant tinkamas kompiuterines programas, kuriomis būtų galima paprasčiau keisti antitriukšmo parametrus.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

- Akustinis triukšmas. triukšmo ribiniai dydžiai gyvenamuosiuose ir visuomeninės paskirties pastatuose bei jų aplinkoje* [interaktyvus]. [žiūrėta 2013 05 15] Prieiga per internetą: <http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=301455&p_query=&p_tr2>.
- Aplinkos triukšmo ir jo mažinimo, taikant lengvas konstrukcijas, tyrimai bei skaitinis modeliavimas* [interaktyvus]. [žiūrėta 2013 05 18]. Prieiga per internetą: <http://vddb.library.lt/fedora/get/LT-eLABa-0001:E.02~2009~D_20090713_161722-10313/DS.005.0.01.ETD>.
- Apvalūs ortakiai ir jungtys* [interaktyvus]. UAB „Amalva“. [žiūrėta 2013 05 15]. Prieiga per internetą: <http://www.komfovent.lt/files/resources/kainynas/apvalus_ortakiai_jungtys.pdf>.
- Baltrukonis, J. 1997. *Ekologija tavo namuose*. 150 p. Kaunas.
- Dumčius, A. 2010. *Garso inžinerija*. 264p. Kaunas: Technologija.
- HN 33:2007 Akustinis triukšmas. Triukšmo ribiniai dydžiai gyvenamuosiuose ir visuomeninės paskirties pastatuose bei jų aplinkoje* [interaktyvus]. 2007. Galioja nuo 2007 07 08. [žiūrėta 2013 05 15] Prieiga per internetą: <http://sena.sam.lt/lt/main/teisine_informacija/higienos_normos?id=45093>.
- Informacija apie triukšmą bei jo tyrimus* [interaktyvus]. [žiūrėta 2013 05 26]. Prieiga per internetą: <http://www.matl.lt/Src/Triuksmas06elekt.pdf>.
- Informacija apie triukšmo mažinimą* [interaktyvus]. [žiūrėta 2013 05 26]. Prieiga per internetą: <<http://www.thebca.co.uk/curtains.html>>.
- Isevičius, E. 2008. *Oro kondicionavimas*. 220p. Kaunas: Technologija.
- Juodis, E.. 1998. *Vėdinimas*. 350p. Vilnius: enciklopedija.
- Juodis, E. 2009. *Vėdinimas*. 397p. Vilnius: Technika.
- Noise control, reduction and cancellation solutions in engineering* [interaktyvus]. 2012. [žiūrėta 2013 05 18]. Prieiga per internetą: <http://www.google.lt/books?hl=lt&lr=&id=v98PaeB8nQkC&oi=fnd&pg=PP1&dq=NOISE+CONTROL,++REDUCTION+AND++CANCELLATION+SOLUTIONS++IN+ENGINEERING&ots=4m5j4p21Z7&sig=CPo-L8lTEYvstFAw45XGK_0ZSr4&redir_esc=y#v=onepage&q=NOISE%20CONTROL%2C%20%20REDUCTION%20AND%20%20CANCELLATION%20SOLUTIONS%20%20IN%20ENGINEERING&f=false>.
- Stauskis, V. J. 2005. *Statybinė akustika*. 265p. Vilnius: Technika.
- Triukšmo lygio matuoklis*. [žiūrėta 2013 05 18]. Prieiga per internetą: <<http://www.bksv.com/Products/handheld-instruments/sound-level-meters/sound-level-meters/type-2250.aspx?>>.

Triukšmo slopintuvai [interaktyvus]. UAB „Amalva“. [žiūrėta 2013 05 15]. Prieiga per internetą:

<http://www.komfovent.lt/files/resources/kainynas/triuksmo_slopintuvai.pdf>.

Vekteris, V. 1999. *Triukšmo slopintuvų AGS efektyvumo tyrimas*. 23p. Mokslo darbo ataskaita.

Vėdinimas [interaktyvus]. [žiūrėta 2013 05 18] Prieiga per internetą:

<http://www.google.lt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CC0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fmoodle.vgtu.lt%2Fpluginfile.php%2F76842%2Fmod_folder%2Fcontent%2F1%2F4_Vedinimas.pdf%3Fforcedownload%3D1&ei=NcijUeHOCYe04ATq3ICYDA&usg=AFQjCNHVKnThwIx4ej6Xm-GuXLAfZm5x9w&sig2=AuGnvPK2k6__l5OLcFy7kg>.

PRIEDAI

PNEUMOSISTEMŲ TRIUKŠMO SLOPINIMO EFEKTYVUMO TYRIMAS

Aurimas Šimonis¹, Vytautas Striška²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹aurimas,simonis@amalva.lt; ²vytautas.striska@vgtu.lt

Anotacija. Straipsnyje nagrinėjamas pneumosistemų triukšmo slopintuvų slopinimo efektyvumas. Darbo tikslas: ištirti cilindrinį kevalą turinčių pasyvių ir aktyvių slopintuvų, naudojamų vėdinimo įrangoje, efektyvumą. Apžvelgiami pneumosistemose triukšmo atsiradimo priežastys, triukšmo šaltiniai bei slopinimo metodai. Nustatyta, kad labiausiai slopina aktyvus slopintuvas su k-flex medžiaga. Tiriant taip pat nustatyta, kad esant 2,7 ir 2,1 m/s oro greičiui, garsas sklindantis iš slopintuvų išmetimo angų yra artimas aplinkos triukšmui.

Reikšminiai žodžiai: Vėdinimo pneumosistemos, pasyvūs ir aktyvūs slopintuvai, vibroizoliacija.

Įvadas

Šiandieniniame gyvenime, mechanizavus pramonės ir žemės ūkio gamybą, didėjant transporto srautams miestuose ir gyvenvietėse, modernėjant buitinei technikai, mūsų gyvenamojoje aplinkoje sparčiai gausėja ir triukšmo. Daugelyje miestų ir gyvenviečių triukšmas pagrįstai yra laikomas viena svarbiausių ekologinių problemų (Baltrukonis 1997).

Triukšmo tarša (arba aplinkos triukšmas) – žmogaus veiklos ar mašinų darbo sukurtas triukšmas, kuris trikdo veiklą ar pusiausvyrą žmonių ar gyvūnų gyvenime. Triukšmo poveikis kenkia nervų, kraujotakos, virškinimo sistemoms ir silpnina imunitetą. Akustinis triukšmas – antras dažniausias mirtinų ligų išsivystymą lemiantis aplinkos veiksnys po oro užterštumo. Triukšmo poveikį žmogaus organizmui galima suskirstyti į specifinį ir nespecifinį. Specifiniam poveikiui priklauso akustinė trauma, klausos nuovargis ir dėl triukšmo išsivystęs kurtumas. Akustinę traumą sukelia labai didelio stiprumo (130 decibelų ir daugiau) trumpalaikis triukšmo poveikis.

Triukšmo jutimas, supratimas priklauso nuo garso stiprumo ir garso bangų virpesių dažnio: kuo didesnis garso stiprumas ir virpesių dažnis, tuo garsas juntamas stipriau, t. y. didesnis jo garsumas. Triukšmo garsumas priklauso ir nuo akustinių patalpų savybių, kurias nulemia jų tūris, forma, apstatymas baldais ar įrenginiais, grindų, sienų, lubų danga (Stauskis 2007).

Dažna triukšmo taršos forma yra motorinio transporto triukšmas. Kiti triukšmo taršos šaltiniai yra biurų įranga, gamybinė įranga, statybos, įvairūs prietaisai, apšvietimo užimas, garso aparatūra taip pat kelia nepageidaujamą poveikį žmogui. Kaip vieną iš šios grupės triukšmo taršos šaltinių pavyzdžių galima išskirti vėdinimo įrangas, kurios ortakiais perduoda triukšmo taršą į patalpas.

Šildymo, vėdinimo bei oro kondicionavimo sistemų triukšmas sudarytas iš siauro dažnių diapazono ir plačiajuosčio atsitiktinio triukšmo. Siauro dažnių diapazono atskiri dažniai yra susiję su ventiliatoriaus ir elektromagnetiniu triukšmu, kuris savo ruožtu susijęs su tinklo dažniu (50 Hz). Plačiajuosčių atsitiktinį triukšmą generuoja intensyvus turbulentinis oro srautas.

Tam, kad būtų galima spręsti triukšmo problemas, parenkant tinkamas ir ekonomiškai apsaugojimo priemones nuo triukšmo šaltinio akustinės taršos, šiame darbe numatoma ištirti ventiliacinės sistemos slopinimo efektyvumą, naudojant pasyvius ir aktyvius slopintuvus (Juodis 2009).

Šiuo metu dauguma žinomų slopintuvų sudaro baigtinį cilindrinį kevalą, turintį išorinį ir vidinį cilindrą, tarp kurių esanti ertmė pripildyta puraus stiklo arba mineralinio pluošto, gerai sugeriančio triukšmą. Tokių slopintuvų efektyvumas priklauso nuo jų ilgio ir triukšmą sugeriančios medžiagos sluoksnio storio. Skaičiavimais nustatyti tokių slopintuvų triukšmo slopinimo efektyvumą yra pakankamai sudėtingas uždavinys. Tokį uždavinį daug lengviau galima spręsti sukūrus tinkamą eksperimentinių tyrimų metodiką (Vekteris 1999).

Pneumosistemų triukšmo atsiradimo priežastys

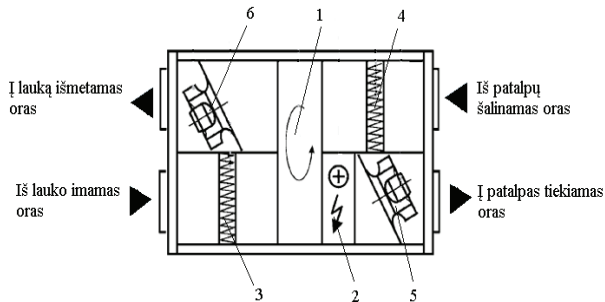
Pagal paskirtį vėdinimo sistemos yra tiekiamos ir ištraukiamosios. Ištraukiamosios vėdinimo sistemos šalina panaudotą orą, o tiekiamosios vietoj pašalinto tiekia į patalpą švarų (esant reikalui išvalytą), o žiemą ir pašildytą lauko orą.

Vėdinimo sistemose įrengiama (1 pav. ir 2 pav.):

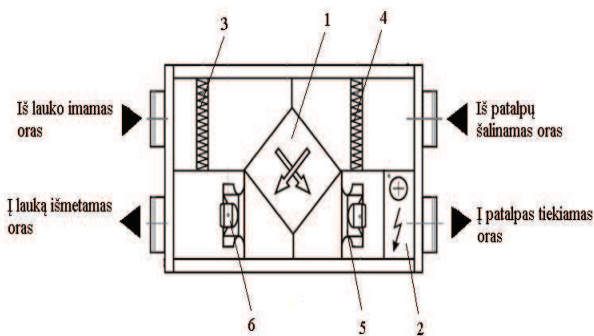
- ventiliatoriai orui transportuoti (1 pav. 5, 6 ir 2 pav. 5, 6),
- kalorifieriai orui šildyti (1 pav. 2 ir 2 pav. 2),
- filtrai tiekiamam į patalpą lauko orui valyti ir įvairios konstrukcijos šalinamo oro valytuvai

ir dulkių gaudytuvai (1 pav. 3, 4 ir 2 pav. 3, 4),

- oro kiekio ir parametrų reguliavimo, kontrolės bei saugos įtaisai ir automatika,
- šilumos utilizatoriai (rotacinis (1 pav. 1), rekuperacinis (2 pav. 1) šilumokaičiai),
- oro aušinimo, drėkinimo ir sausinimo įranga.



1 pav. Vėdinimo įranga su rotaciniu šilumokaičiu (UAB „Amalva“): 1 – rotacinis šilumokaitis; 2 – elektrinis šildytuvas; 3, 4 – kasetiniai filtrai; 5, 6 – ventiliatoriai



2 pav. Vėdinimo įranga su plokšteline šilumokaičiu (UAB „Amalva“): 1 – plokštelinis šilumokaitis, 2 – elektrinis šildytuvas, 3, 4 – kasetiniai filtrai, 5, 6 – ventiliatoriai

Triukšmo šaltiniai

- Ventiliatoriai, grotos ir difuzoriai;
- Inducciniai šildytuvų ir maišymo įrenginiai, naudojant kintamą oro srautą;
- Pavieniai įrenginiai, montuojami lauke;
- nutolę paruošiamieji įrenginiai, pavyzdžiui, ventiliatoriai;
- orapūtės, sklendės, ortakio tvirtinimo detalės;
- Kompresoriai, siurbliai ir kiti slenkamojo ir sukamojo;
- judesio įrenginiai;
- Aušintuvai;
- Ištraukimo ventiliatoriai, kondicionieriai;
- Garso perdavimas tarp patalpų.

Triukšmo slopinimo metodai

Egzistuoja du triukšmo slopinimo metodai: pasyvus ir aktyvus.

Pasyvus triukšmo slopinimo idėja remiasi specialiu garso izoliaciniu medžiagų naudojimu. Minėtosios medžiagos pasižymi gera garso izoliacija aukštų dažnių diapazone. Kita vertus, žemo dažnio diapazone garso izoliavimas tampa labai brangus ir nepraktiškas.

Aktyvus triukšmo slopinimas paremtas garso bangų interferencija, t.y. dvi vienodos, bet skirtingų fazių garso bangos susitikusios erdvėje viena kitą neutralizuoja – bangų energija virsta šiluma. Praktikoje šie abu metodai gali būti naudojami kartu (Juodis 2009).

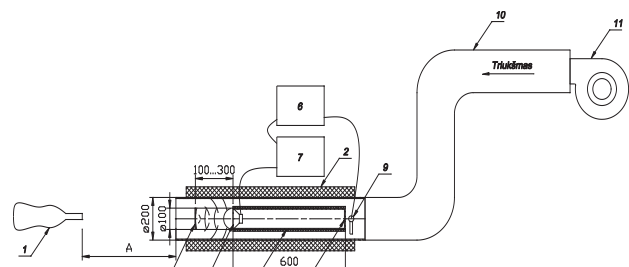
Tyrimo tikslas – ištirti cilindrinį kevalą turinčių pasyvių ir aktyvių slopintuvų, naudojamų vėdinimo įrangoje, efektyvumą.

Metodika

Tyrimai atlikti siekiant įvertinti triukšmo slopintuvų efektyvumą. Buvo tiriamas slopintuvas AGS-200-50-900 (gamintojas UAB AMALVA) su modifikacijomis. Triukšmo lygis buvo matuojamas mikrofonu nuo oro išmetimo angos 1 m atstumu.

Eksperimentinis stendas

Eksperimento metu matuojamas triukšmas pneumosistemoje, kurioje triukšmą sukelia ventiliatorius. Pneumosistemos konstrukcija pateikta 3 ir 3 a pav.



3 pav. Pneumosistemos triukšmo slopinimo visos komplektacijos schema. 1 – triukšmo lygio matuoklis; 2 – slopintuvas; 3 – vamzdis; 4 – dangtelis; 5 – plokštelė; 6 – kompiuteris; 7 – garso stiprintuvas; 8 – garsiakalbis; 9 – mikrofonas; 10 – ortakis; 11 – ventiliatorius



3 a pav. Eksperimentinis stendas

Pagal pateiktą schemą triukšmo matavimai atliekami tokia tvarka:

1. Surenkamas tiriamasis stendas.
2. Triukšmo lygio matuoklis statomas pirmu bandymu 1 m atstumu nuo išmetimo angos.
3. Matuojamas triukšmo lygis, kurį sukuria ventiliatorius ir fasoninių dalių generuojamas triukšmas.

Visų pirma išmatuojamas aplinkos triukšmas, po to atliekami šie bandymai:

Kiekvieno bandymo metu keičiamas tinklo dažnis tam, kad būtų pakeistas sistemoje sklindančio oro greitis. Greitis keičiamas imituojant realias sąlygas, kai reikia tiekti atitinkamą oro srautą. Buvo pasirinkti 5 tinklo dažnio atskaitos taškai: 50, 40, 30, 20 ir 10 Hz. Atitinkamai oro greitis 4,2, 4,0, 3,4, 2,7 ir 2,1 m/s.

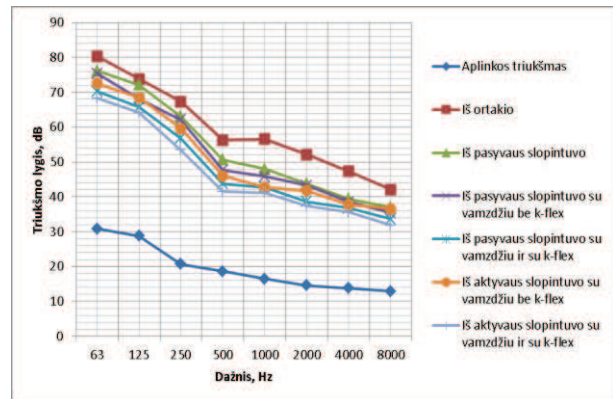
Pirmuoju bandymu išmatuojamas triukšmas, sklindantis iš ortakio, antruoju – triukšmas, sklindantis iš pasyvaus slopintuvo, trečiuoju – triukšmas, sklindantis iš pasyvaus slopintuvo su vamzdžiu be k-flex, ketvirtuoju – triukšmas, sklindantis iš pasyvaus slopintuvo su vamzdžiu ir su k-flex, penktuoju – triukšmas, sklindantis iš aktyvaus slopintuvo su vamzdžiu be k-flex ir paskutiniuoju šeštuoju bandymu – triukšmas, sklindantis iš aktyvaus slopintuvo su vamzdžiu ir su k-flex.

Tyrimo rezultatai

Eksperimentas atliktas su pasyviais ir aktyviais slopintuvais. Triukšmo matavimai atlikti bandymų metu aprašyta tvarka. Siekiant gauti tikslesnius duomenis, kiekvienas matavimas buvo atliekamas po 5 kartus.

Triukšmo lygis išmatuotas 1 m atstumu nuo oro išmetimo angos.

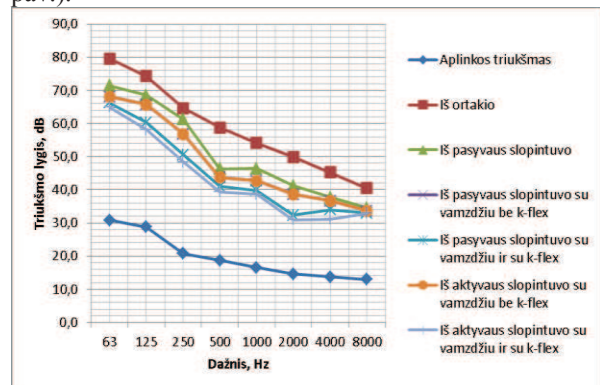
Bandymo rezultatai esant 4,2 m/s oro greičiui (4 pav.).



4 pav. Triukšmo lygis, kai oro greitis sistemoje 4,2 m/s

Kaip matyti 4 pav., labiausiai nuslopinamas triukšmas 1000 Hz dažnių juostoje 15,4 dB, o mažiausiai 125 Hz dažnių juostoje – 9,7 dB. Triukšmas labiausiai nuslopinamas aktyviame slopintuve su k-flex medžiaga lyginant su kitais slopintuvais, mažiausiai slopina pasyvus slopintuvas be modifikacijos.

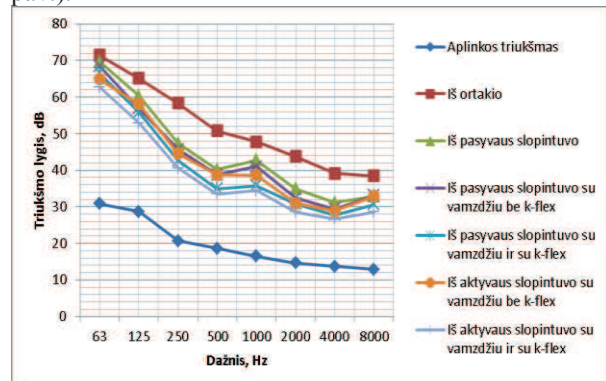
Bandymo rezultatai esant 4,0 m/s oro greičiui (5 pav.).



5 pav. Triukšmo lygis, kai oro greitis sistemoje 4,0 m/s

Iš 5 pav. matyti labiausiai nuslopinamas triukšmas 500 Hz dažnių juostoje 19,4 dB, o mažiausiai 8000 Hz dažnių juostoje – 7,7 dB. Triukšmas labiausiai nuslopinamas aktyviame slopintuve su k-flex medžiaga lyginant su kitais slopintuvais, mažiausiai slopina pasyvus slopintuvas be modifikacijos.

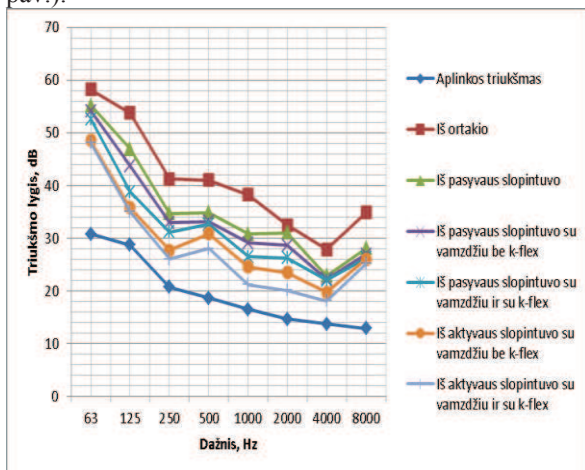
Bandymo rezultatai esant 3,4 m/s oro greičiui (6 pav.).



6 pav. Triukšmo lygis, kai oro greitis sistemoje 3,4 m/s

Iš 6 pav. matyti labiausiai nuslopinamas triukšmas 500 Hz dažnių juostoje 17,8 dB, o mažiausiai 63 Hz dažnių juostoje – 7,0 dB. Triukšmas labiausiai nuslopinamas aktyviame slopintuve su k-flex medžiaga lyginant su kitais slopintuvais, mažiausiai slopina pasyvus slopintuvas be modifikacijos.

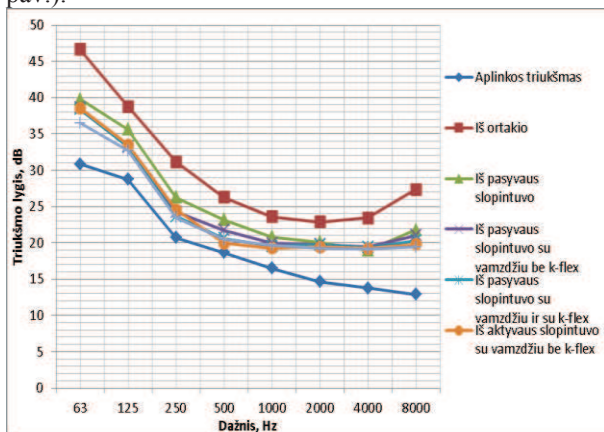
Bandymo rezultatai esant 2,7 m/s oro greičiui (7 pav.).



7 pav. Triukšmo lygis, kai oro greitis sistemoje 2,7 m/s

7 pav. labiausiai nuslopinamas triukšmas 1000 Hz dažnių juostoje 17,1 dB, o mažiausiai 800 Hz dažnių juostoje – 9,7 dB. Triukšmas labiausiai nuslopinamas aktyviame slopintuve su k-flex medžiaga lyginant su kitais slopintuvais, mažiausiai slopina pasyvus slopintuvas be modifikacijos.

Bandymo rezultatai esant 2,1 m/s oro greičiui (8 pav.).



8 pav. Triukšmo lygis, kai oro greitis sistemoje 2,1 m/s

8 pav. pavaizduoti rezultatai esant pakankamai mažam greičiui (2,1 m/s), todėl kai kurių dažnių juostose pvz. 500 Hz triukšmo lygis nėra tikslus, nes artimas aplinkos triukšmui.

Išvados

1. Triukšmas labiausiai sumažėjo esant 4,2 m/s oro greičiui šiose dažnių juostose (500, 1000 ir 2000 Hz) slopintuve su vamzdžiu, apklijuotu k-flex me-

džiaga, atitinkamai slopinimo efektyvumas 18,8, 33,3 ir 40,9 dB.

2. Tiriant slopintuvų modifikacijas esant 2,7 ir 2,1 m/s oro greičiui, buvo pastebėta, kad iš slopintuvų išmetimo angų sklindantis garsas yra artimas aplinkos triukšmui, dėl to jų efektyvumo įvertinimas nėra tikslus, tiksliam jų efektyvumo įvertinimui reikia atlikti tyrimus reverberacinėje kameroje.
3. Visos tirtos slopintuvo modifikacijos yra efektyvios, išskyrus aktyvaus slopinimo modifikacijas. Šių slopintuvų tyrimus reikia daugiau patyrinti, sukuriant tinkamas kompiuterines programas, kuriomis būtų galima paprasčiau keisti antitriukšmo parametrus.

Literatūra

- Aplinkos triukšmo ir jo mažinimo, taikant lengvas konstrukcijas, tyrimai bei skaitinis modeliavimas* [interaktyvus]. [žiūrėta 2013 05 18]. Prieiga per internetą: <http://vddb.library.lt/fedora/get/LT-eLABa-0001:E.02~2009~D_20090713_161722-10313/DS.005.0.01.ETD>.
- Baltrukonis, J. 1997. *Ekologija tavo namuose*. 150 p. Kaunas.
- Juodis, E. 2009. *Vėdinimas*. 397p. Vilnius: Technika.
- Stauskis, V. J. 2005. *Statybinė akustika*. 265p. Vilnius: Technika.
- Triukšmo lygio matuoklis*. [žiūrėta 2013 05 18]. Prieiga per internetą: <<http://www.bksv.com/Products/handheld-instruments/sound-level-meters/sound-level-meters/type-2250.aspx?>>.
- Triukšmo slopintuvai* [interaktyvus]. UAB „Amalva“. [žiūrėta 2013 05 15]. Prieiga per internetą: <http://www.komfovent.lt/files/resources/kainynas/triuksmo_slopintuvai.pdf>.
- Vekteris, V. 1999. *Triukšmo slopintuvų AGS efektyvumo tyrimas*. 23p. Mokslo darbo ataskaita.

RESEARCH OF EFFICIENCY OF AIR SYSTEMS NOISE ATTENUATION

A. Šimonis, V. Striška

Abstract. The article deals in pneumatic noise damping performance. Aim: To investigate the cylindrical shell with passive and active dampers used in ventilation equipment performance. Overview of the pneumatic system noise causes, sources of noise and damping methods. It was found that the most active in inhibiting suppressor with k-flex material. Studies have also shown that at 2.7 and 2.1 m/s air velocity, the sound path from the exhaust damper openings are close to background noise.

Keywords. Air pneumatic system, passive and active silencers, vibroisolation

AC centrifugal fan

forward curved, single inlet

with housing (flange)

ebm-papst Mulfingen GmbH & Co. KG

Bachmühle 2 · D-74673 Mulfingen

Phone +49 7938 81-0

Fax +49 7938 81-110

info1@de.ebmpapst.com

www.ebmpapst.com

Limited partnership · Headquarters Mulfingen

County court Stuttgart · HRA 590344

General partner Elektrobau Mulfingen GmbH · Headquarters Mulfingen

County court Stuttgart · HRB 590142

Nominal data

Type	G2E146-DW07-01				
Motor	M2E068-CA				
Phase		1~	1~	1~	1~
Nominal voltage	VAC	230	230	240	240
Frequency	Hz	50	60	50	60
Type of data definition		fa	ml	ml	ml
Valid for approval / standard		CE	CE	CE	CE
Speed	min ⁻¹	1550	1750	1775	2150
Power input	W	140	155	130	140
Current draw	A	0.62	0.68	0.55	0.59
Motor capacitor	µF	3	3	2.5	2.5
Capacitor voltage	VDB	450	450	450	450
Capacitor standard		P0 (CE)	P0 (CE)	P0 (CE)	P0 (CE)
Min. back pressure	Pa	0	100	50	250
Min. ambient temperature	°C	-25	-25	-25	-25
Max. ambient temperature	°C	45	30	45	45
Starting current	A	0.69	0.71	0.67	0.7

ml = max. load · me = max. efficiency · fa = running at free air · cs = customer specs · cu = customer unit
Subject to alterations



AC centrifugal fan

forward curved, single inlet
with housing (flange)

Technical features

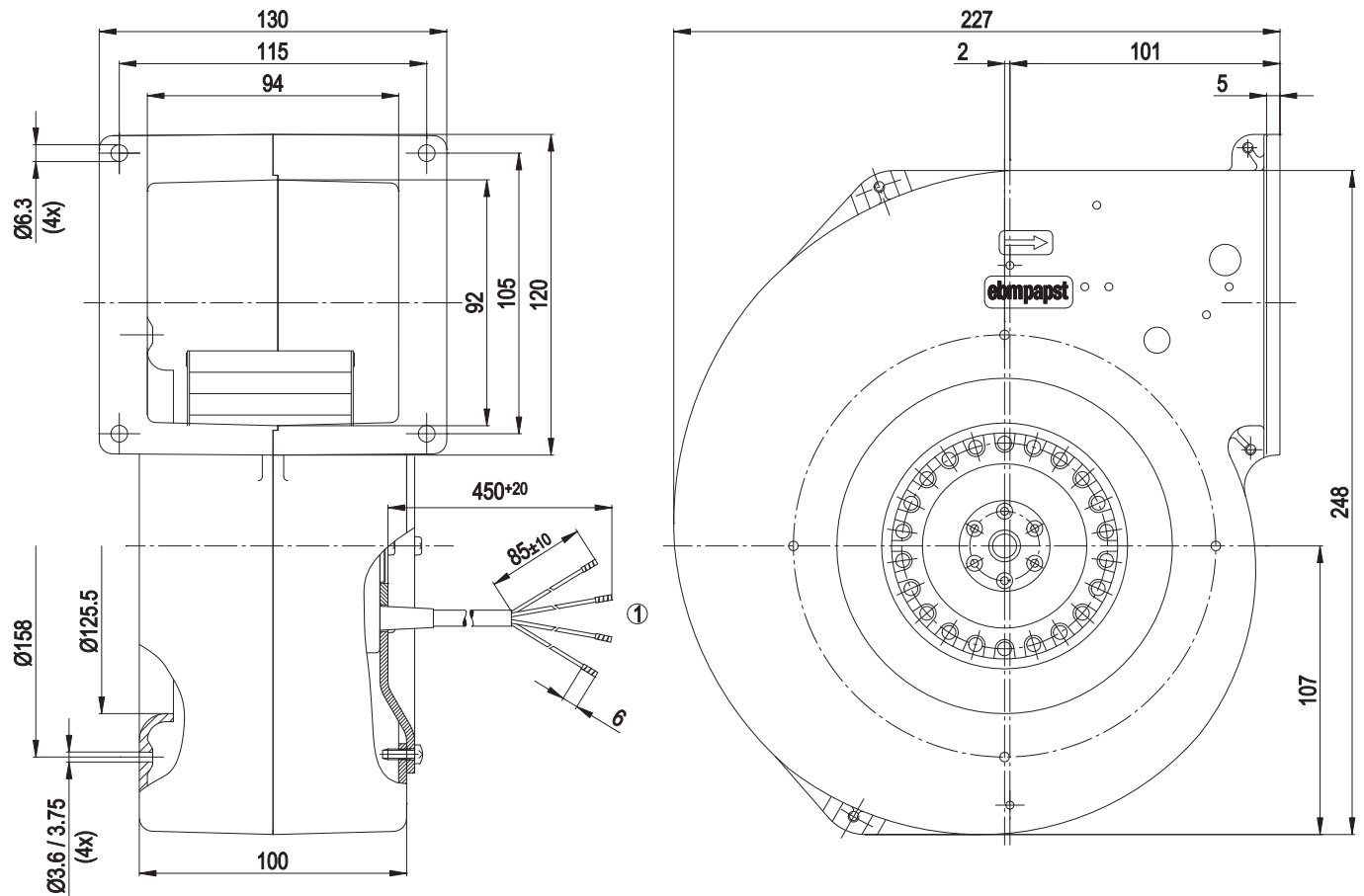
Mass	2.9 kg
Size	146 mm
Surface of rotor	Partially cast in aluminium
Material of impeller	Sheet steel, sendzimir galvanised
Housing material	Die-cast aluminium
Direction of rotation	Clockwise, seen on rotor
Type of protection	IP 44; Depending on installation and position
Insulation class	"B"
Humidity class	F0
Max. permissible ambient motor temp. (transp./ storage)	+ 80 °C
Min. permissible ambient motor temp. (transp./storage)	- 40 °C
Mounting position	Any
Condensate discharge holes	None
Operation mode	S1
Motor bearing	Ball bearing
Touch current acc. IEC 60990 (measuring network Fig. 4, TN system)	< 0.75 mA
Motor protection	Thermal overload protector (TOP) wired internally
Protection class	I (if protective earth is connected by customer)
Product conforming to standard	EN 60335-1; CE
Approval	CCC



AC centrifugal fan

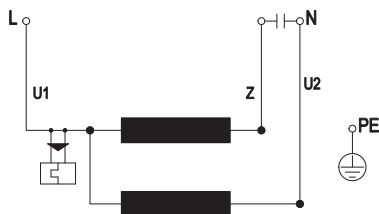
forward curved, single inlet
with housing (flange)

Product drawing



1 Connection line PVC, 4x brass lead tips crimped

Connection screen

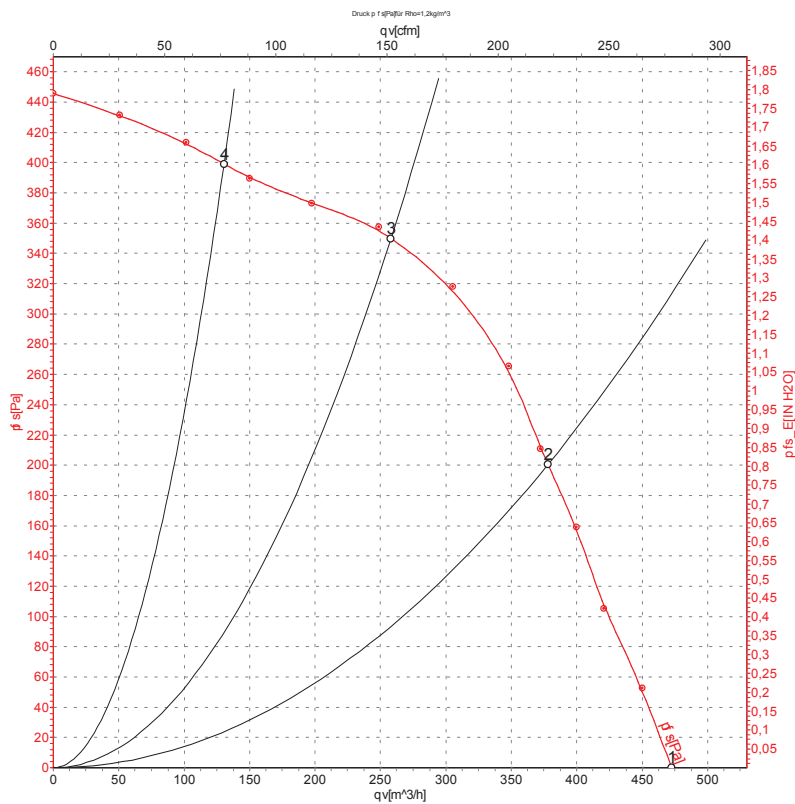


U1	blue	Z	brown	U2	black
PE	green/yellow				

AC centrifugal fan

forward curved, single inlet
with housing (flange)

Charts: Air flow 50 Hz



Measurement: LU-105087

Air performance measured as per ISO 5801
Installation category A. For detailed
information on the measuring set-up, please
contact ebm-papst. Suction-side noise
levels: L_{WA} measured as per ISO 13347 /
L_{pA} measured with 1m distance to fan axis.
The values given are valid under the
measuring conditions mentioned above and
may vary according to the actual installation
situation. With any deviation from the
standard set-up, the specific values have to
be checked and reviewed with the unit
installed.

Measured values

	U	f	n	P _e	I	qv	p _{fs}
	V	Hz	min ⁻¹	W	A	m³/h	Pa
1	230	50	1550	140	0.62	475	0
2	230	50	2035	122	0.53	380	200
3	230	50	2395	104	0.45	260	351
4	230	50	2605	91	0.40	130	399

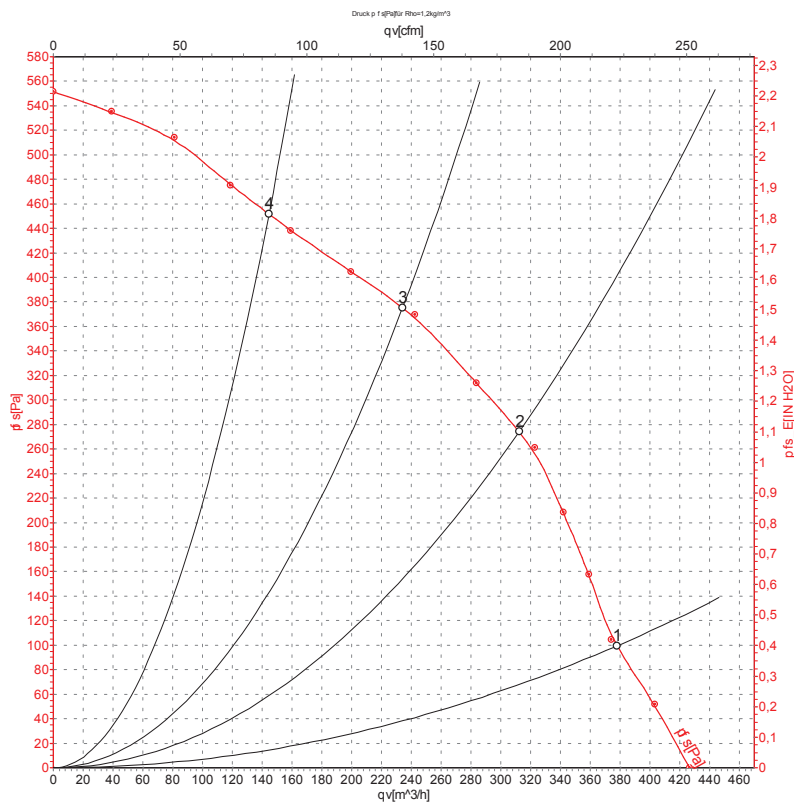
U = Supply voltage · f = Frequency · n = Speed · P_e = Power input · I = Current draw · qv = Air flow · p_{fs} = Pressure increase



AC centrifugal fan

forward curved, single inlet
with housing (flange)

Charts: Air flow 60 Hz



Measurement: LU-105090

Air performance measured as per ISO 5801
Installation category A. For detailed
information on the measuring set-up, please
contact ebm-papst. Suction-side noise
levels: L_{WA} measured as per ISO 13347 /
L_{pA} measured with 1m distance to fan axis.
The values given are valid under the
measuring conditions mentioned above and
may vary according to the actual installation
situation. With any deviation from the
standard set-up, the specific values have to
be checked and reviewed with the unit
installed.

Measured values

	U	f	n	P _e	I	qv	p _{fs}
	V	Hz	min ⁻¹	W	A	m³/h	Pa
1	230	60	1750	155	0.68	380	97
2	230	60	2145	144	0.62	310	275
3	230	60	2500	137	0.59	235	376
4	230	60	2775	130	0.57	145	452

U = Supply voltage · f = Frequency · n = Speed · P_e = Power input · I = Current draw · qv = Air flow · p_{fs} = Pressure increase

