



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

Evaldas Černiauskas

**REKUPERATORIŲ IR JŲ SLOPINTUVŲ ĮTAKOS AKUSTINIAM
LAUKUI TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Robertas Mikalauskas

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
GAMYBOS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas
(parašas) Doc. dr. Kazimieras Juzėnas
(data)

**REKUPERATORIŲ IR JŲ SLOPINTUVŲ ĮTAKOS AKUSTINIAM
LAUKUI TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas
Mechatronikos studijų programa (kodas 621H73001)

Vadovas

(parašas) Doc. dr. Robertas Mikalauskas
(data)

Recenzentas

(parašas) Doc. dr. Marija Eidukevičiūtė
(data)

Projektą atliko

(parašas) Evaldas Černiauskas
(data)

KAUNAS, 2015



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

(Fakultetas)

Evaldas Černiauskas

(Studento vardas, pavardė)

Mechatronika (kodas 621H73001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Pavadinimas“
AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 ____ m. _____ d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Evaldo Černiausko** baigiamasis projektas tema „REKUPERATORIŲ IR JŲ SLOPINTUVŲ ĮTAKOS AKUSTINIAM LAUKUI TYRIMAS“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o 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)

Černiauskas E. Rekuperatorių ir jų slopintuvų įtakos akustiniam laukui tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Robertas Mikalauskas; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas, Gamybos inžinerijos katedra.

Kaunas, 2015. 65 psl.

SANTRAUKA

Magistro darbą „Rekuperatorių ir jų slopintuvų įtakos akustiniam laukui tyrimas“ sudaro įvadas, trys skyriai, išvados, literatūros sąrašas ir priedai. Šio darbo apimtis 65 puslapis. Darbe yra 53 paveikslėliai ir 8 lentelės.

Įvade iškeliami darbo problema, tikslai, uždaviniai bei temos aktualumas. Pirmajame skyriuje pateikiama informacinių šaltinių analizė ir matematinis modelis. Antrajame skyriuje detaliai aprašoma eksperimento metodika, kuri susideda iš trijų tyrimų: Rekuperatoriaus RIRS 200 VE EKO atskirų mazgų vibracinė analizė; Rekuperatoriaus papildomų komponentų - slopintuvų slopinimo reikšmių tyrimas bei Mažatriukšmio rekuperatoriaus prototipų akustinių savybių tyrimas.

Trečiajame skyriuje pateikti rekuperatoriaus ir jo slopintuvų tyrimų rezultatai ir jų analizė. Taip pat įvertinama realiose sąlygose eksploatuojamų rekuperatoriaus RIRS 200 VE EKO akustinio žadinimo modelio adekvatumo tyrimo rezultatai.

Darbo pabaigoje suformuluojamos išvados ir pasiūlymai.

SUMMARY

The Master's work "The investigation of air handling unit and their silencers influence on the acoustic field" consists of introduction, three chapters, conclusions, literature source and additions. The volume of this work is 65 pages. There are 53 pictures and 8 tables in this work.

The introduction sets the problem, the aims, the goals of the study and relevance of the topic. The first chapter provides an analysis of information sources and mathematical model. The second chapter describes in detail the experimental technique, which consists of: Air handling unit (AHU) RIRS 200 VE EKO vibrational analysis of the individual units; The additional components of AHU – silencer's insertion loss investigation and acoustic investigation of low noise AHU prototype.

The third chapter provides the results of The investigation of air handling unit and their silencers influence on the acoustic field, experimental research and their analysis. Also and a evaluation of AHU RIRS 200 VE EKO (when it is working on real operating conditions) acoustic excitation models adequacy test results.

At the end of work contains formulation of conclusions and recommendations.

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

Tvirtinu:

Gamybos inžinerijos
katedros vedėjas

(parašas, data)

Kazimieras Juzėnas

(vardas, pavardė)

MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS
Studijų programa MECHATRONIKA

Magistrantūros studijų, kurias baigus įgyjamas magistro kvalifikacinis laipsnis, baigiamasis darbas yra mokslinio tiriamojo ar taikomojo pobūdžio darbas (projektas), kuriam atlikti ir apginti skiriama 30 kreditų. Šiuo darbu magistrantas turi parodyti, kad yra pagilinęs ir papildęs pagrindinėse studijose įgytas žinias, įgijęs pakankamai gebėjimų formuluoti ir spręsti aktualią problemą, turėdamas ribotą ir (arba) prieštaringą informaciją, savarankiškai atlikti mokslinius ar taikomuosius tyrimus ir tinkamai interpretuoti duomenis. Baigiamuoju darbu bei jo gynimu magistrantas turi parodyti savo kūrybingumą, gebėjimą taikyti fundamentines mokslo žinias, socialinės bei komercinės aplinkos, teisės aktų ir finansinių galimybių išmanymą, informacijos šaltinių paieškos ir kvalifikuotos jų analizės įgūdžius, skaičiuojamųjų metodų ir specializuotos programinės įrangos bei bendrosios paskirties informacinių technologijų naudojimo įgūdžius, taisyklingos kalbos vartosenos įgūdžius, gebėjimą tinkamai formuluoti išvadas.

1. Darbo tema

Rekuperatorių ir jų slopintuvų įtakos akustiniam laukui tyrimas

Patvirtinta dekanu 20__ m. _____ mėn. __ d. įsakymu Nr. _____

2. Darbo tikslas

Ištirti rekuperatoriaus RIRS 200 VE EKO akustinių laukų transformavimą korpusinių sistemų pagalba ypatumus

3. Darbo struktūra

Magistro darbą „Rekuperatorių ir jų slopintuvų įtakos akustiniam laukui tyrimas“ sudaro įvadas, trys skyriai, išvados, literatūros sąrašas ir priedai. Šio darbo apimtis 65 puslapis. Darbe yra 53 paveikslėliai ir 8 lentelės

4. Reikalavimai ir sąlygos

Norint atlikti magistrinį darbą reikalinga eksperimentinė įranga (mikrofonai, pjezoelektriniai vibracinio pagreičio keitikliai, vibracijų matuokliai, kompiuteris) bei akustinių bandymų laboratorija

5. Darbo pateikimo terminas 2015 m. birželio mėn. 3 d.

6. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo darbo dalis

Išduota studentui

Evaldui Černiauskui

Užduotį gavau

Evaldas Černiauskas

(studento vardas, pavardė)

(parašas, data)

Vadovas

doc. dr. Robertas Mikalauskas

(pareigos, vardas, pavardė)

(parašas, data)

TURINYS

1. ĮVADAS	7
2. INFORMACIJOS ŠALTINIŲ ANALIZĖ	8
2.1. Rekuperatorius (Rekuperacija).	8
2.1.1. Rotorinis rekuperatorius	9
2.1.2. Plokštelinis (kryžminis) rekuperatorius	10
2.2. Rekuperatorių įrenginių papildomi komponentai	11
2.2.1. Kanaliniai slopintuvai ir jų tipai	11
2.2.2. Kanalinių slopintuvų sandara ir veikimas	14
2.3. Ventiliatorių tipai ir jų keliamas triukšmo lygis	16
2.3.1. Ventiliatoriai ir jų tipai	16
2.3.2. Ventiliatorių keliamas triukšmo lygis	18
3. TYRIMO METODIKA	21
3.1. Rekuperatoriaus RIRS 200 VE EKO atskirų mazgų vibracinė analizė	21
3.1.1. Tiriamasis objektas	21
3.1.2. Darbo priemonės	23
3.1.3. Eksperimentinio stendo konstrukcija	24
3.1.4. Darbo eiga	25
3.2. Rekuperatoriaus papildomų komponentų - slopintuvų slopinimo reikšmių tyrimas	29
3.2.1. Tiriamasis objektas	29
3.2.2. Darbo priemonės	30
3.2.3. Eksperimentinio stendo konstrukcija	31
3.2.4. Darbo eiga	33
3.3. Mažatriukšmio rekuperatoriaus prototipų akustinių savybių tyrimas	36
4. TYRIMO REZULTATAI	37
4.1. Rekuperatoriaus RIRS 200 VE EKO atskirų mazgų vibracinės analizės rezultatai	37
4.2. Rekuperatoriaus papildomų komponentų - slopintuvų slopinimo reikšmių tyrimo rezultatai	43
4.3. Mažatriukšmio rekuperatoriaus prototipų akustinių savybių tyrimo rezultatai	48
4.4. Realiose sąlygose eksploatuojamų rekuperatoriaus RIRS 200 VE EKO akustinio žadinimo modelio adekvatumo tyrimo rezultatai	51
5. IŠVADOS IR PASIŪLYMAI	55
LITERATŪRA	57
PRIEDAI	58
1. RIRS 200 VE EKO techninė specifikacija	58
2. RIRS 200 VE EKO išorinio korpuso matmenys	59
3. RIRS 200 VE EKO vidaus pertvarų matmenys	60
4. RIRS 200 VE EKO Vidinių konstrukcijos mazgų rezultatai (prie rotorius)	61
5. RIRS 200 VE EKO Vidinių konstrukcijos mazgų rezultatai (vertikalios sienelės)	61
6. RIRS 200 VE EKO Vidinių konstrukcijos mazgų rezultatai (vidinė ir išorinė sienelė)	62
7. RIRS 200 VE EKO Vidinių konstrukcijos mazgų rezultatai (vidinės pertvaros)	62
8. RIRS 200 VE EKO Vidinių konstrukcijos mazgų rezultatai (sienelės prie ir po rotoriumi)	63
9. RIRS 200 VE EKO Vidinių konstrukcijos mazgų rezultatai (išmetimo ventiliatorius ir el. bloko dangtelis)	63
10. RIRS 200 VE EKO internetinė srautų parinkimo programa	64
11. RIRS 200 VE EKO ventiliatorių techninė specifikacija	65

1. ĮVADAS

Šiuolaikiniame pasaulyje egzistuoja daugybė neigiamų poveikių žmogui, kuriuos sukelia techninis progresas ir žmonijos veikla. Tarp jų yra tiek globalinio masto, pavyzdžiui, neigiamas poveikis žmogui ir gamtai, kurį sukelia įvairūs energijos generavimo objektai, tiek vietinio masto - žmogų supanti techninė aplinka jo gyvenimo patalpose ar darbo vietoje. Šiuo metu apie kovos su triukšmu problemą jau plačiai diskutuojama, ji įvardinta kaip prioritetinga, siekiant užtikrinti žmogaus sveikatą ir profesinių ligų prevenciją.

Akustinių laukų valdymą suprantame kaip kryptingą veiksmų bei priemonių naudojimą, siekiant pakeisti laukų parametrus ar charakteristikas. Bendru atveju efektyviausias poveikis laukams yra jų generavimo sąlygų panaikinimas. Tam tarnauja gaminių sertifikavimo sistema, atitikties vertinimas, akustinių parametrų deklaravimas ir kt. veiksmai, skatinantys gamintoją rūpintis generuojamų akustinių triukšmų mažinimu. Tai įtakoja projektuojamą arba pradedamą gamybą, bei eksploatuojamus įrenginius. Tokia situacija yra ir su UAB „SALDA“ produkcija - rekuperatoriniais įrenginiais, kurių konstrukcija turi būti optimizuojama keliamo triukšmo atžvilgiu.

Žemiau pateikto magistrinio **darbo tikslas**:

- Ištirti rekuperatoriaus RIRS 200 VE EKO akustinių laukų transformavimą korpusinių sistemų pagalba ypatumus.

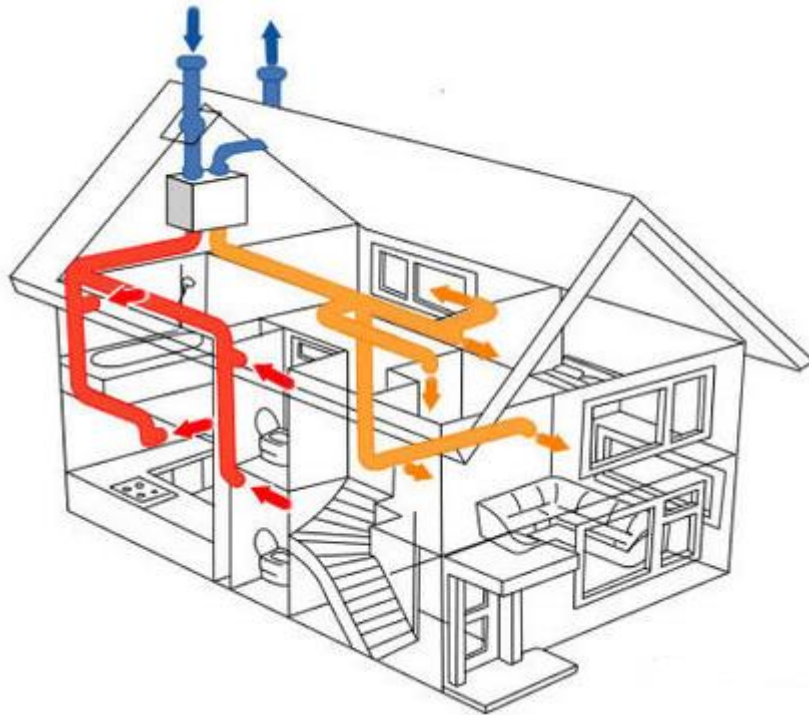
Keliamam tikslui įgyvendinti buvo sudaryti šie **uždaviniai**:

- Atlikti tyrimą, kurio metu tiriama rekuperatorinio įrenginio RIRS 200 VE EKO atskirų mazgų konstrukcijos vibracijos;
- Realiose sąlygose eksploatuojamų rekuperatoriaus RIRS 200 VE EKO akustinio žadinimo modelio sukūrimas, bei jo adekvatumo tyrimas;
- Atlikti tyrimą, kurio metu tiriama rekuperatorinio įrenginio RIRS 200 VE EKO papildomų komponentų - slopintuvų slopinimo reikšmės;
- Pateikti rekomendacijas rekuperatoriaus RIRS 200 VE EKO korpusinių sistemų, leidžiančių sumažinti akustinį triukšmą, projektavimui.

2. INFORMACIJOS ŠALTINIŲ ANALIZĖ

2.1. Rekuperatorius (Rekuperacija).

Rekuperacija – tai mechaninis patalpų vėdinimas, kurio metu iki 95% šalinamo oro šilumos yra gražinama į vėdinimo įrenginį ir naudojama tiekiamam lauko oro pašildyti [1]. Kiti šaltiniai terminą **rekuperacija** apibūdina kaip - energijos taupymą. Šalinamas iš patalpų oras šilumokaičio pagalba nesimaišydamas pašildo tiekiamą iš lauko orą [2]. Rekuperacinės sistemos principinė schema pavaizduota (2.1 pav.).



Pav. 2.1 Rekuperacinės sistemos principinė schema

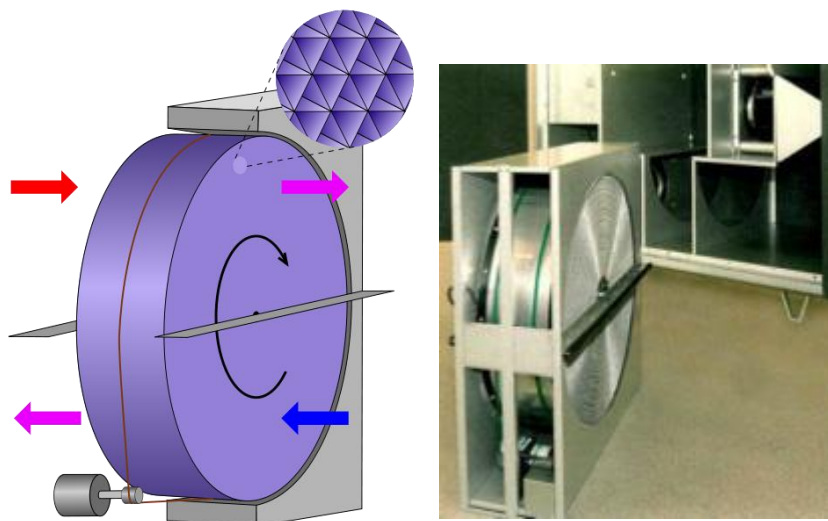
Rekuperatorius - šilumos atgavimo elementas sumontuotas vėdinimo įrenginyje (kituose ar panašiuose įrenginiuose toks šilumos atgavimo elementas vadinamas šilumokaičiu). Rekuperatorius vėdinimo įrenginiuose padeda taupyti šiluminę energiją, panaudojant šiltą, išmetamą lauk patalpų orą, sušildyti tiekiamam į patalpas lauko orui. Toks oro rekuperavimas užtikrina patalpose vėdinimą su šilumos atgavimu iki 95 % [3].

Rekuperatoriai pagal šilumokaičio tipą skirstomi į:

- Rotorinius;
- Plokštėlinius.

2.1.1. Rotorinis rekuperatorius

Labiausiai paplitęs yra rotorinis rekuperatorius. Nors jis veikia tuo pačiu šilumokaičio principu, jo konstrukcija yra ypatinga. Rotorius yra lyg didelis žiedas, kurio vidurys užpildytas labai mažo skersmens vamzdeliais. Jis patalpinamas į vėdinimo agregatą tokiu būdu, kad viena jo pusė pertveria oro ištraukimo kanalą, o kita - padavimo kanalą.



Pav. 2.2 Rotorinis šilumokaitis ir jo veikimo principas

Veikimo principas: ištraukiamas iš patalpos oras teka per rotoriaus vamzdelius ir sušildo juos. Rotorius pastoviai sukasi ir po kurio laiko sušildyti vamzdeliai atsiduria padavimo kanale (2.2 pav.). Paimamas iš lauko šaltas oras, tekėdamas per šios vamzdelius, sušyla. Po to atvėsusieji vamzdeliai vėl atsiduria kitoje disko pusėje, kur išmetamas oras vėl sušildo juos. Tokiu būdu vyksta nepertraukiamas šilumos perdavimas nuo išmetamo oro paduodamam į patalpą orui. Kadangi rekuperatoriuje oras labai stipriai atšaldomas, jame esanti drėgmė kondensuojasi ant vamzdelių paviršiaus. Kai šie vamzdeliai atsiduria padavimo pusėje - vandens lašeliai išgaruoja į tiekiamą į patalpą orą. Kai kuriuose modeliuose vamzdeliai padengti drėgmę absorbuojančia medžiaga (higroskopiniai rekuperatoriai). Tai padeda išsaugoti daugiau drėgmės. Tokiu būdu rotorinis rekuperatorius išsaugo ne tik šilumą, bet ir drėgmę, kas yra itin aktualu žiemą [4].

Rotorinių rekuperatorių privalumai:

- Didelis efektyvumas
- Išsaugo oro drėgnumą
- Nedideli gabaritai
- Praktiškai nebėra užšalimo pavojaus, todėl nereikia stabdyti rekuperatoriaus atitirpinimui

2.1.2. Plokštelinis (kryžminis) rekuperatorius

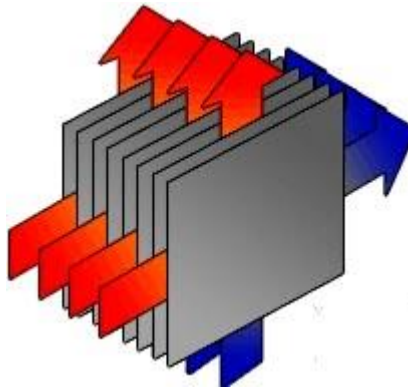
Plokšteliniai rekuperatoriai dažniausiai naudojami medicinos įstaigose, kur reikia užtikrinti visišką ištraukiamo bei paduodamo oro srautų atskyrimą.

Plokštelinis rekuperatorius atrodo kaip kubas, sudėtas iš atskirų plokštelių (sumuštinio principu 2.3 pav.).



Pav. 2.3 Plokštelinio rekuperatoriaus šilumokaitis

Veikimo principas (2.4 pav.): tarp plokštelių teka oras. Kas antrame tarpe teka šiltas, ištraukiamas iš patalpos oras. Per kitus tarpus teka šaltas lauko oras. Šiluma keliauja per plokšteles, o paduodamo ir ištraukiamo oro srautai lieka visiškai izoliuoti vienas nuo kito. Taigi į patalpą patenkantis oras yra pašildomas naudojant tik išmetamo oro šilumą [4].



Pav. 2.4 Plokštelinio rekuperatoriaus šilumokaičio principinė veikimo schema

Plokštelinis rekuperatorius, turi vieną esminį trūkumą: kadangi ištraukiamas iš patalpos oras yra staiga atšaldomas, susidaro kondensatas. Kai lauko temperatūra yra žemiau nulio, kondensatas pradeda užšalinti ant rekuperatoriaus plokštelių ir užkemša kanalus. Kadangi užšaldamas vanduo plečiasi - rekuperatorius gali būti nepataisomai sugadintas. Todėl, kai rekuperatoriaus sienelės ataušta žemiau +5°C, automatika uždaro lauko oro kanalą tam, kad išmetamas oras atitirpintų rekuperatorių.

Tuo tarpu lauko oras nukreipiamas į apėjimo kanalą, kur yra pašildomas elektrinio arba vandeninio šildytuvo pagalba.

2.2. Rekuperatorinių įrenginių papildomi komponentai

Nors rekuperatoriniai gaminiai turi daug įvairių priedų, kaip valdymo pulteliai (nuo paprastų iki liečiamais ekranais), sklendės bei jų pavaros, kanaliniai vandens bei elektriniai šildytuvai arba pašildytuvai, tačiau šiame darbe aptariama bus triukšmą mažinančius komponentus – slopintuvus.

2.2.1. Kanaliniai slopintuvai ir jų tipai

Dabartinės lietuvių kalbos žodynas [5] žodį *slopintuvas* pateikia kaip - įtaisas fizinių vyksmų jėgai, smarkumui mažinti, silpninti: triukšmo, garso, virpesių, energijos, bangų. Šiame darbe vartodami žodį *kanalinis slopintuvas* ar *slopintuvas* jis reikš, kad tai, inžinerijos produktas, specialiai sukurtas valdyti akustinį triukšmą ortakiuose, kuris montuojamas į ortakių sistemas (oro vėdinimo sistemas) [6] ir gerai slopina nepageidaujamą triukšmą ortakyje (2.5 pav.), kuris susidaro dėl šių priežasčių [7]:

- Ventiliatoriaus veikimo;
- Oro srauto judėjimo tiesiame ortakyje;
- Oro srauto judėjimo tarp ortakio komponentų: alkūnių, pamaišymo dėžių ir pan.



Pav. 2.5 Kanalinis slopintuvas

Ortakiuose dažniausiai naudojamų kanalinių slopintuvų tipai yra šie:

- Stačiakampiai kanaliniai slopintuvai;
- Apvalūs kanaliniai slopintuvai;
- Alkūniniai slopintuvai;
- Kiti (mišrūs) slopintuvai.

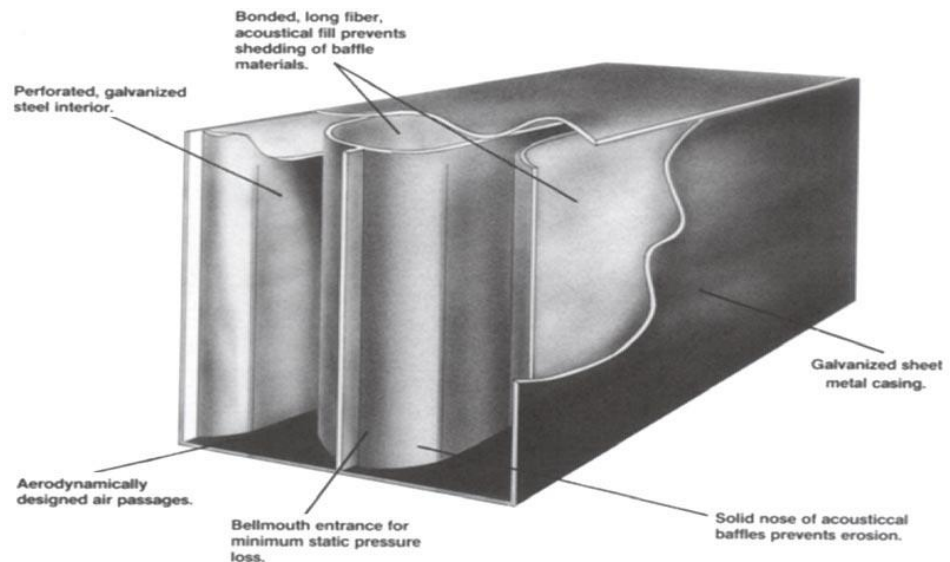
2.2.1.1. Stačiakampiai kanaliniai slopintuvai

Stačiakampiai kanaliniai slopintuvai (2.6 pav.) yra vieni iš dažniausiai naudojami triukšmo slopinimo įrenginiai, kurie montuojami ortakiuose. Jų paprasta konstrukcija ir santykinai nebrangi gamyba lemia didelį vartotojų pasirinkimą, siekiant aukščiausio garso slopinimo ir mažiausio slėgio kritimo oro paskirstymo sistemoje. Juos galima sukonstruoti įvairių matmenų, todėl leidžia lengvai pritaikyti ir montuoti bet kokioje oro vėdinimo sistemoje [8].



Pav. 2.6 Stačiakampio kanalinio slopintuvo pjūvis

Stačiakampių kanalinių slopintuvų korpusas pagamintas iš cinkuotos skardos (2.7 pav.). Vidinės pertvaros (kurių kiekis priklauso nuo slopintuvo matmenų) pagamintos iš perforuoto cinkuotos skardos lakšto, užpildytos garsą izoliuojančia mineraline vata. Esant dideliame triukšmo lygiui, į stačiakampių ortakių sistemą montuojami keli slopintuvai.



Pav. 2.7 Stačiakampio kanalinio slopintuvo sandara

2.2.1.2. Apvalūs kanaliniai slopintuvai

Apvalūs kanaliniai slopintuvai (2.8 pav.) yra puikus sprendimas, kuomet ortakiai, oro vėdinimo sistemoje yra naudojamas apvalūs. Jie eliminuoja iš stačiakampių į apvalius ortakius perėjimus, kurie sukelia nepageidaujamus oro slėgio kritimo ir sistemos poveikio nuostolius. Apvalūs kanaliniai slopintuvai yra gaminami įvairių matmenų (skersmens, ilgio), todėl jų yra įvairūs slopinimo ir slėgio kritimo diapazonai [9].



Pav. 2.8 Apvalus kanalinis slopintuvas

Apvalių kanalinių slopintuvų korpusas pagamintas iš cinkuotos skardos juostos, kuri sukama į „SPIRO“ vamzdį. Vidinė pertvara pagaminta iš perforuoto cinkuotos skardos lakšto ir užpildyta garsą izoliuojančia mineraline vata. Slėgio pokytis šiuose slopintuvuose beveik toks pat kaip vėdinimo sistemų ortakiuose. Esant dideliame triukšmo lygiui į apvalių ortakių sistemą montuojami du slopintuvai ar daugiau slopintuvų.

2.2.1.3. Alkūniniai slopintuvai

Alkūniniai slopintuvai (2.9 pav.) turi panašias eksploatacines charakteristikas kaip ir stačiakampiai kanaliniai slopintuvai, tačiau yra labai universalūs ir puikus pasirinkimas sistemose, kuriose tiesių ortakių yra nedaug, o vyrauja įvairūs apėjimai apie kliūtis, kur reikia naudoti alkūnes. Alkūninių slopintuvų slėgio kritimas yra nežymiai didesnis negu analogiško dydžio stačiakampių slopintuvų ir gali būti pagaminti įvairių matmenų, todėl oro vėdinimo sistemoje nereikia naudoti įvairių perėjimų [10].

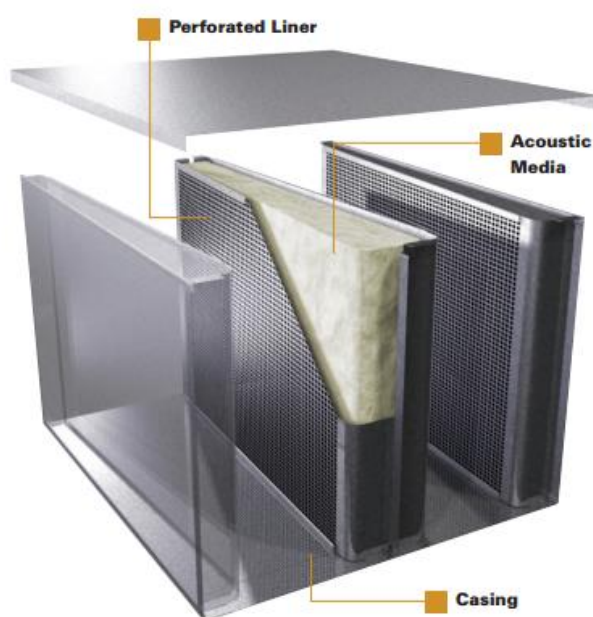


Pav. 2.9 Alkūninio slopintuvo pjūvis

Alkūninių slopintuvų korpusas pagamintas iš cinkuotos skardos. Vidinė pertvara pagaminta iš perforuoto cinkuotos skardos lakšto, užpildytos garsą izoliuojančia mineralinė vata.

2.2.2. Kanalinių slopintuvų sandara ir veikimas

Nepriklausomai nuo slopintuvų formos, visų slopintuvų pagrindinės sudedamosios dalys yra: korpusas (casing), perforuotas skardos lakštas (perforated liner) ir akustinės medžiagos (acoustic media) (2.10 pav.).



Pav. 2.10 Slopintuvo sudedamosios dalys: korpusas (casing), perforuotas skardos lakštas (perforated liner) ir akustinės medžiagos (acoustic media)

Korpusas (casing)

Slopintuvo išorinis korpusas gaminamas iš metalo lakšto lapų. Šis apvalkalas gali būti pagamintas iš įvairių medžiagų, o šios medžiagos storis gali kisti, nuo plonos (0,5mm) iki kelių

milimetrų storio. Norint pagerinti akustines slopintuvo savybes, gaminant šį korpusą, dažnai yra naudojama storesnė skarda, kuri turi didesnes triukšmo perdavimo mažinimo savybes, kurios mažina praėjusio triukšmo kiekį per korpuso sienelės į aplinką. Taip pat naudojant storesnę skardą, slopintuvas bus tvirtesnis ir atsparesnis išorės poveikiui.

Perforuotas skardos lakštas (perforated linear)

Šis perforuotas skardos lakštas (2.11pav.), kuris naudojamas slopintuvo viduje yra ne tik naudojamas, užtikrinti akustinės medžiagos apsaugą nuo išorinio poveikio, bet ir neatspindi garso energijos, leidžia jai prasiskverbti į akustinę medžiagą.



Pav. 2.11 Perforuotas skardos lakštas

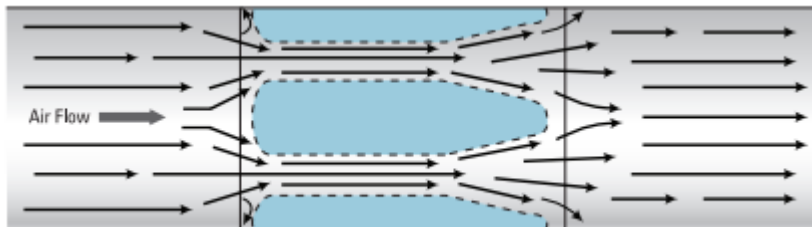
Nuo perforacijos pobūdžio, t.y. perforacijos dydžio, jos formos, kinta ir kanalinio slopintuvo akustinės slopinimo savybės, nes kinta ir triukšmo energijos dydis, kuris prasiskverbia į akustinę medžiagą.

Akustinė medžiaga (acoustic media)

Šiuose slopintuvuose naudojama akustinė medžiaga yra pluoštinė, kuri gerai sugeria energiją iš garso bangų, kai jos pereina per slopintuvą. Šios medžiagos parinkimas priklauso nuo pirkėjo reikalavimų, vietinių ir tarptautinių standartų. Dažniausiai naudojama akmens mineralinė vata, o jos storis gali kisti, todėl kaskart kinta ir slopintuvo akustiniai parametrai.

Veikimo principas

Kanalinis slopintuvas su viena reflektorine pertvara (jų gali būti ir daugiau, priklauso nuo konstrukcijos), kuri yra dengta perforuota skarda yra sumontuojamas į ortakių sistemą (2.12 pav.). Garso bangos tekėdamos slopintuve, pereina per perforuotą skardą ir dalis energijos yra sugeriama akustinėje medžiagoje. O korpuso skarda, trukdo triukšmui patekti iš ortakio į aplinką, ją atspindėdamas bei dėl absorbcijos.



Pav. 2.12 Stačiakampio kanalinio slopintuvo veikimo schema

Didinant slopintuvo ilgį yra didinami ir akustiniai slopinimo parametrai, bet yra ir neigiama pusė, kad padidėjus slopintuvo ilgiui, padidėja ir slėgio kritimas slopintuve, todėl konstruktoriams yra aktualu surasti optimalų sprendimą, tarp akustinio slopinimo ir slėgio kritimo.

2.3. Ventiliatorių tipai ir jų keliamas triukšmo lygis

Didinant slopintuvo ilgį yra didinami ir akustiniai slopinimo parametrai, bet yra ir neigiama pusė, kad padidėjus slopintuvo ilgiui, padidėja ir slėgio kritimas slopintuve, todėl konstruktoriams yra aktualu surasti optimalų sprendimą, tarp akustinio slopinimo ir slėgio kritimo. Pramonėje ir gyvenamuosiuose pastatuose yra naudojami keletas tipų ventiliatorių. Šie ventiliatoriai klasifikuojami remiantis oro srauto pobūdžiu ir ventiliatorių sparnelių (menčių) geometrija. Paprastai, triukšmo pobūdis yra skirtingas, kiekvieno tipo ventiliatoriui.

2.3.1. Ventiliatoriai ir jų tipai

Oro vėdinime bei kondicionavime dažniausiai naudojami šie ventiliatorių tipai bei jų taikymas [11]:

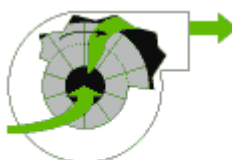
Išcentriniai ventiliatoriai su sparno formos sparneliais (mentimi). Sparno formos mentis turi atgal lenktas juostas, kurių galinis kraštas nukreiptas prieš ventiliatoriaus sukimosi kryptį (2.13 pav.). Šie ventiliatoriai naudojami dideliuose vėdinimo, šildymo ar oro kondicionavimo sistemose, kur yra tiekiamas palyginti švarus oras.



Pav. 2.13 Išcentrinis ventiliatorius su sparno formos mentimi

Išcentriniai ventiliatoriai su atgal lenktais sparneliais (mentimi). Sparneliai yra plokščios plokštelės, kurios kaip ir sparno formos sparnelių ventiliatoriaus, yra nukreiptos prieš ventiliatoriaus sukimosi kryptį (2.13 pav.). Dažniausiai tokio tipo ventiliatoriai yra naudojami vėdinimo ir oro kondicionavimo įrenginiuose. Šio tipo ventiliatorių naudingumas yra didesnis, nei kitų išcentrinų ventiliatorių, tik norint pasiekti tą patį oro srauto kiekį, šio tipo ventiliatorius turi dirbti didesniu greičiu.

Išcentriniai ventiliatoriai su radialiniais sparneliais. Sparneliai yra plokščios tiesios plokštelės, kurios orientuotos išilgai radialinei kryptčiai (2.14 pav.). Šie ventiliatoriai yra naudojami oro vėdinimo sistemose, kur oras užterštas smulkiomis dalelėmis, kaip dulkės, smėlis ar medžio drožlės (pjuvenos). Šio tipo ventiliatoriai skleidžia didesnę triukšmo lygį į aplinką, palyginus su kito tipais ventiliatoriais.



Pav. 2.14 Išcentrinis ventiliatorius su radialiniais sparneliais

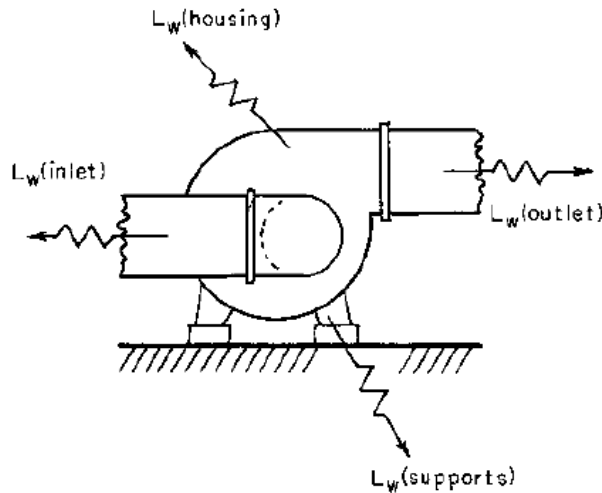
Išcentriniai ventiliatoriai su į priekį lenktais sparneliais. Sparneliai yra lenkti, bet priešingai nei atgal lenktais sparneliais ventiliatorius, šio tipo ventiliatoriaus sparneliai yra nukreipti pagal ventiliatoriaus sukimosi kryptį (2.15 pav.). Šio tipo ventiliatorių naudingumas yra mažesnis už kitų, bet išskiria ir mažesnę triukšmo lygį į aplinką, nes mažesnis sukimosi greitis. Šie ventiliatoriai naudojami vėdinimo sistemose, kur nedidelis oro kiekis yra tiekiamas.



Pav. 2.15 Išcentrinis ventiliatorius su į priekį lenktais sparneliais

2.3.2. Ventiliatorių keliamas triukšmo lygis

Ventiliatoriui dirbant, yra kelios kryptys, kuriomis sklinda triukšmas iš jo, įskaitant triukšmo galios lygį, kurį ventiliatorius skleidžia tiesiogiai į padavimo (inlet) ir išmetimo (outlet) ortakius (2.16 pav.). Taip pat, triukšmas sklindantis per ventiliatoriaus korpusą (housing) bei triukšmas sukeltas iš dirbančio ventiliatoriaus virpesių ir vibracijų per montavimo kojeles ir perduodamas gretimoms struktūroms.



Pav. 2.16 Ventiliatoriaus triukšmo sklidimo keliai

Jeigu mes pažymime garso galios lygį, kurį ventiliatorius generuoja L_W , tuomet garso galios lygis, kurį ventiliatorius spinduliuoja į padavimo ar išmetimo ortakius apskaičiuojamas pagal formulę:

$$L_{W(inlet,outlet)} = L_W - 3dB \quad (2.1)$$

Garso galios lygis, kuris išspinduliuojamas per ventiliatoriaus korpusą yra apskaičiuojami:

$$L_{W(housing)} = L_W - TL \quad (2.2)$$

Kur, TL – perdavimo nuostoliai, dB.

Triukšmas kurį generuoja prieš tai aptarti ventiliatoriai yra sudaryti iš dviejų komponentų: plačiąjuosčio triukšmo, kurį generuoja oro sūkuriai, slenkantys iš ventiliatoriaus sparnelių ir diskrečiųjų tonų (sparnelių tono) kuomet sparneliai pereina ventiliatoriaus padavimo ar išmetimo angas.

Garso galios lygis, kurį generuoja ventiliatorius bet kokiai oktavos juostai gali būti įvertintas remiantis šia išraiška:

$$L_W = L_W(B) + 10 \log_{10} \left(\frac{Q}{Q_0} \right) + 20 \log_{10} (P/P_0) + B_T \quad (2.3)$$

Kur, $L_W(B)$ – pagrindinis garso galios lygis, kuris pateiktas lentelėje Nr. 2.1, dB; Q – oro srautas, l/s; Q_0 – oro srauto atskaitos reikšmė, 0,47195 l/s; P – slėgis, Pa; P_0 – atskaitos slėgis, 248,8 Pa; B_T – sparnelio tono komponentas, lygus nuliui, išskyrus oktavos juostą, kuomet sparneliai kerta dažnį(ši reikšmė pateikiama lentelėje Nr. 2.1), dB

Sparnelių perėjimo dažnis f_B yra skaičius kartų, kuomet sparneliai pereina vieną iš ventiliatoriaus angų ir apskaičiuojamas pagal:

$$f_B = n_r N_b \quad (2.4)$$

Kur, n_r – ventiliatoriaus sukimosi greitis, kartai/s; N_b – ventiliatoriaus sparnelių skaičius.

Lentelė 2.1 Pagrindiniai išcentrinų ventiliatorių garso galios lygiai spektre $L_W(B)$

Ventiliatoriaus tipas	Sparnelių tonas B_T , dB	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Sparno formos sparneliai	3	35	35	34	32	31	26	18	10
Atgal lenktais sparneliais	3	35	35	34	32	31	26	18	10
Radialiniais sparneliais	5-8	48	45	45	43	38	33	30	29
Į priekį lenktais sparneliais	2	40	38	38	34	28	24	21	15

Garso galios lygis, apskaičiuojamas pagal 2.3 formulę yra garso galios lygis, kurį skleidžia tik ventiliatorius tam tikroje oktavos juostoje. Papildomi triukšmo šaltiniai, kaip ventiliatoriaus motoras ar pavaros sistema nėra įskaičiuojami.

Norint apskaičiuoti garso slėgį r atstumu, naudojama matematinė išraiška:

$$L_P = L_{W(housing)} + DI - 20 \log_{10} r - C \quad (2.5)$$

Kur, DI – kryptingumo indeksas, lygus 3dB; r – atstumas, m; C – koeficientas, lygus 10.9 dB (jeigu oro temperatūra yra tarp 20°C ir 34°C).

Suminis garso slėgis apskaičiuojamas pagal:

$$L_{P(\text{suminis})} = 10 \log_{10} \left[\sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right] \quad (2.6)$$

Kur, $L_{P(\text{suminis})}$ – bendras garso slėgio lygis, dB; L_i – atskirų šaltinių ar dažnių garso slėgio lygis, dB.

3. TYRIMO METODIKA

3.1. Rekuperatoriaus RIRS 200 VE EKO atskirų mazgų vibracinė analizė

Šis tyrimas susideda iš kelių etapų. Pirmojo etapo metu, rekuperatorinis įrenginys RIRS 200 VE EKO (3.1 pav.) buvo pritvirtintas ant vibracinio stendo stalo. Jo metu, buvo matuojama rekuperatorinio įrenginio išorinio korpuso (priekis, šonas, viršus) virpesiai, kai žadinimo jėga žinoma.

Antrojo etapo metu, rekuperatorius RIRS 200 VE EKO, buvo pritvirtintas prie sienos, bandant atkartoti realias montavimo sąlygas. Buvo matuojami mechaniniai virpesiai išorinio korpuso (priekis, šonas, viršus) bei vidinių konstrukcijų įvairūs elementai. Matavimai buvo atlikti, kai rekuperatoriaus ventiliatoriai dirbo 100% darbo režimu, ir kai – 60%, kur šie nustatymai buvo keičiami valdymo pulteliu.

3.1.1. Tiriamasis objektas

Šiam darbui atlikti buvo pasirinktas „Saldos“ rekuperatorinis įrenginys RIRS 200VE EKO (3.1pav.), kur kartu su Kauno technologijos universiteto (KTU), Technologinių sistemų diagnostikos instituto (TSDI) darbuotojais vykdomi šio rekuperatorinio įrenginio vibroakustiniai tyrimai ir matavimai, teikiami siūlymai įrenginio tobulinimui, kad užtikrinti klientų lūkesčius, didinti konkurencingumą rinkoje.



Pav. 3.1 Rekuperatorinis įrenginys RIRS 200 VE EKO.

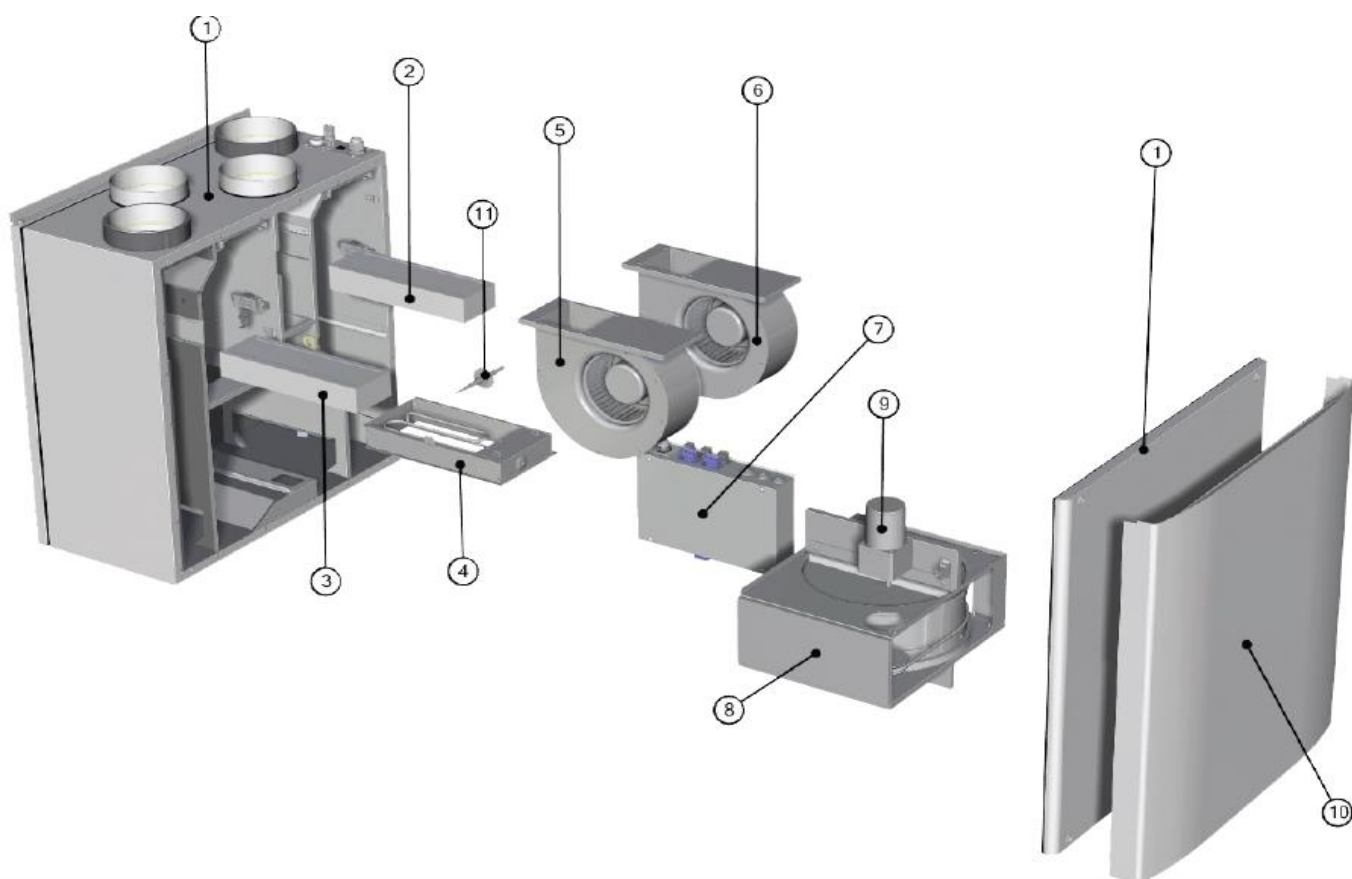
Tyrimo **objektas** – rekuperatorius RIRS 200 VE EKO, kuris pasižymi šiomis savybėmis [12] (3.1 lentelė). Detalesnė gaminio techninę informaciją pateikta priede Nr. 1. Gaminio išoriniai ir vidiniai matmenys pateikti prieduose Nr. 2 ir Nr. 3.

Lentelė 3.1 Rekuperatoriaus RIRS 200 VE EKO techninės charakteristikos

Šildytuvas	-Fazė/įtampa	[50Hz/VAC]	~1, 230
	-Galios suvartojimas	[kW]	0.6
Ventiliatoriai	-Fazė/įtampa	[50Hz/VAC]	~1, 230
Šalinimo	-Galia/srovė	[kW/A]	0.067 /0.66
Tiekimo	-Galia/srovė	[kW/A]	0.069 /0.65
Variklio apsaugos klasė			IP-44
Terminis efektyvumas			75%
Maksimalus galios suvartojimas		[kW/A]	0.74 /4.01
Filtro klasė	-Šalinimo		M5
	-Tiekimo		M5
Terminė izoliacija		[mm]	20
Svoris		[kg]	36

Rekuperatorinį įrenginį RIRS 200 VE EKO sudaro šie komponentai (3.2 pav.):

1. Korpusas
2. Ištraukiamo oro filtras
3. Tiekiamo oro filtras
4. Elektrinis šildytuvas
5. Tiekiamo oro ventiliatorius
6. Ištraukiamo oro ventiliatorius
7. Automatikos dėžė
8. Rotorius
9. Rotoriaus variklis
10. Priekinis gaubtas (Priedas)
11. Šviežio oro temperatūros jutiklis



Pav. 3.2 Rekuperatoriaus RIRS 200 VE EKO visų komponentų 3D modelis

3.1.2. Darbo priemonės

Atliekant eksperimentą, buvo panaudotos šios priemonės:

- Rekuperatorinis įrenginys RIRS 200 VE EKO

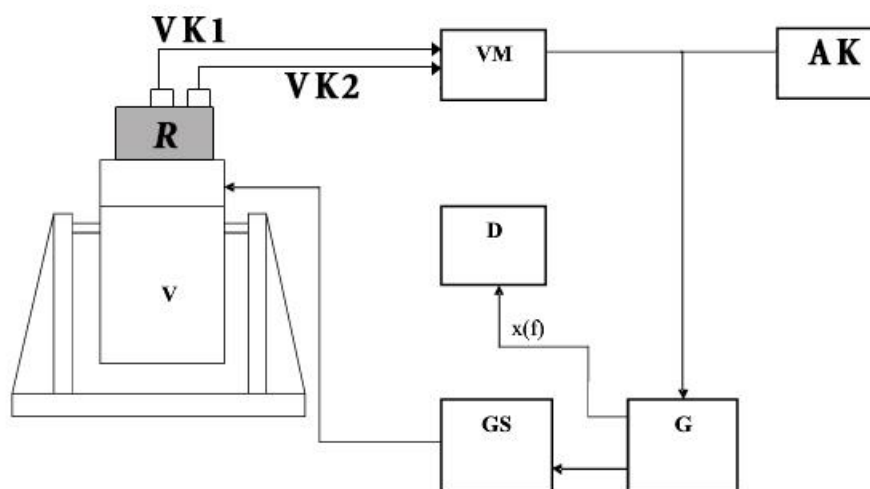
Matavimo aparatūra:

- Vibracinis stendas ("Bruel&Kjaer 4802);
- Pjezoelektriniai vibracinio pagreičio keitikliai ("RFT" KD12);
- Vibracijų matuoklis (PULSE 3560C);
- Dažniamatis (ČZ-59);
- Generatorius ("Brueal&Kjaer" 1047);
- Galios stiprintuvas ("Bruel&Kjaer 2708);
- Nešiojamasis kompiuteris DELL mod. PP01X su licencine programine įranga.

3.1.3. Eksperimentinio stendo konstrukcija

Pirmojo matavimo etapo metu rekuperatorius **R** pritvirtinamas ant vibracinio stendo **V** stalo, tampių gumų pagalba. Ant matuojamo objekto pritvirtinami pjezoelektriniai vibracinio pagreičio keitikliai **VK1** ir **VK2**. Šie keitikliai prijungiami prie vibracinio matuoklio **VM** įėjimų, o šis prie asmeninio kompiuterio **AK** su programine įranga. Vibracinis matuoklis **VM** matuoja virpesių amplitudę keitiklių **VK1** ir **VK2** pritvirtinimo vietose [13].

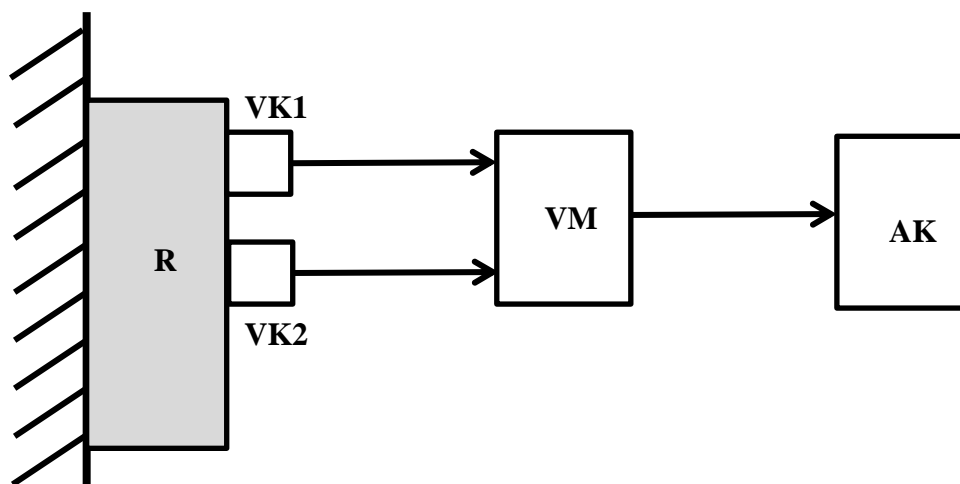
Sustiprintas keitiklio **VK1** signalas prijungtas prie generatoriaus **G** amplitudės valdymo įėjimo tam, kad keičiant virpesių dažnį būtų automatiškai palaikoma nustatyta virpesių amplitudė. Generatorius **G** generuoja harmoninį elektrinį signalą, kurio dažnis gali būti keičiamas reikiamu dydžiu. Generatoriaus **G** signalas sustiprinamas galios stiprintuvu **GS** ir sužadina vibracinio **V** stendo stalo virpesius. Virpesių dažnis kontroliuojamas dažniamačiu **D**. Keičiant sužadavimo amplitudę reguliuojamas ant vibracinio stendo stalo esančios konstrukcijos vibracinio apkrovimo intensyvumas. Eksperimento stendo ir jame naudojamos aparatūros sujungimo principinė schema pavaizduota (3.3 pav.).



Pav. 3.3 Eksperimentinio stendo ir jame naudojamos aparatūros sujungimo principinė struktūrinė schema: Vibracinis stendas ("Bruel&Kjaer 4802) V; Pjezoelektriniai vibracinio pagreičio keitikliai ("RFT" KD12) VK1, VK2; Vibracijų matuoklis (PULSE 3560C) VM; Dažniamačis (ČZ-59); Generatorius ("Bruel&Kjaer" 1047) G; Galios stiprintuvas ("Bruel&Kjaer 2708) GS; Asmeninis kompiuteris AK, Rekuperatorius R

Antrojo matavimo etapo metu rekuperatorius **R** pritvirtinamas prie sienos. Ant matuojamo objekto pritvirtinami pjezoelektriniai vibracinio pagreičio keitikliai **VK1** ir **VK2**. Šie keitikliai

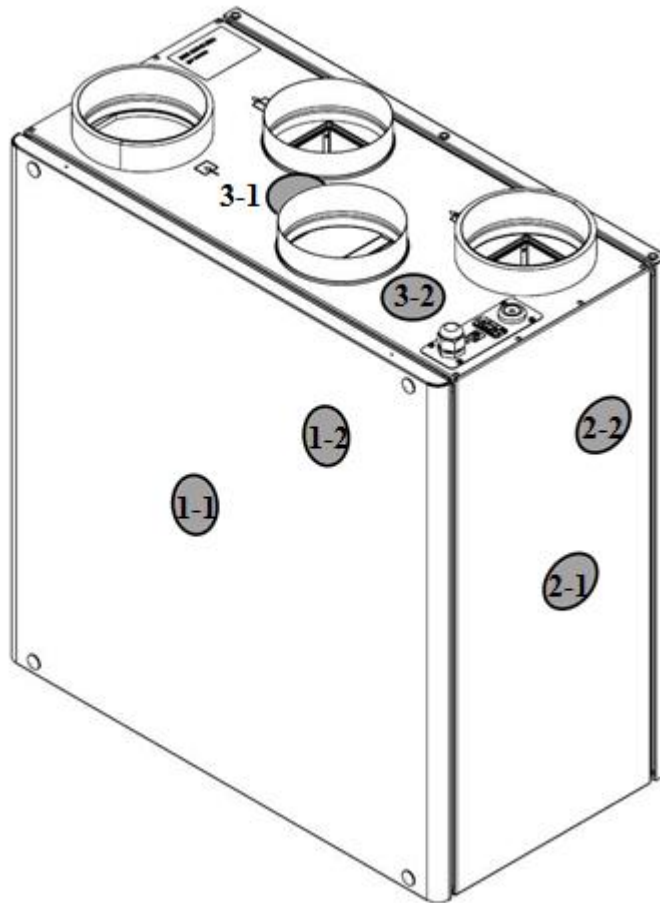
prijungiami prie vibracinio matuoklio **VM** įėjimų, o šis prie asmeninio kompiuterio **AK** su programine įranga [14]. Eksperimento stendo ir jame naudojamų aparatūros sujungimo principinė schema pavaizduota (3.4 pav.).



Pav. 3.4 Eksperimentinio stendo ir jame naudojamų aparatūros sujungimo principinė struktūrinė schema: Pjezoelektriniai vibracinio pagreičio keitikliai ("RFT" KD12) VK1, VK2; Vibracijų matuoklis (PULSE 3560C) VM; Asmeninis kompiuteris AK, Rekuperatorius R

3.1.4. Darbo eiga

Rekuperatorius RIRS 200 VE EKO padalinamas į sektorius, kuriuose pažymimi matavimo taškai (3.5 pav.). Matavimo taškai priekinei, šoninei ir viršutinei sieniei parenkami buvo pagal šį principą: centrinis taškas – sienelės centras, kraštinis taškas - $\frac{1}{4}$ sienelės kraštinių susikirtimo vieta.



Pav. 3.5 Išorinių sienelių matavimo taškai

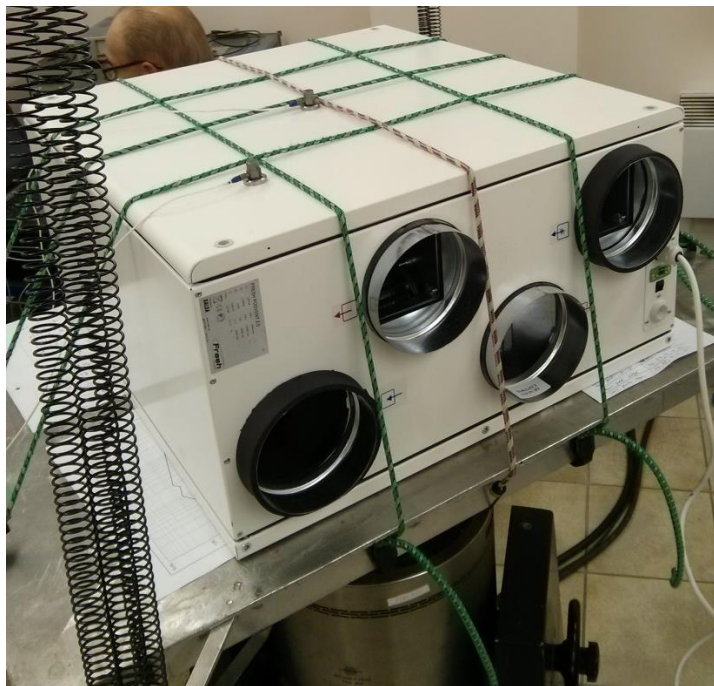
Išorinių sienelių matavimo taškų pavadinimai:

1-1 – Centras priekyje; **1-2** – Kampas priekyje;

2-1 – Centras šone; **2-2** – Kampas šone;

3-1 – Centras viršuje; **3-2** – Kampas viršuje.

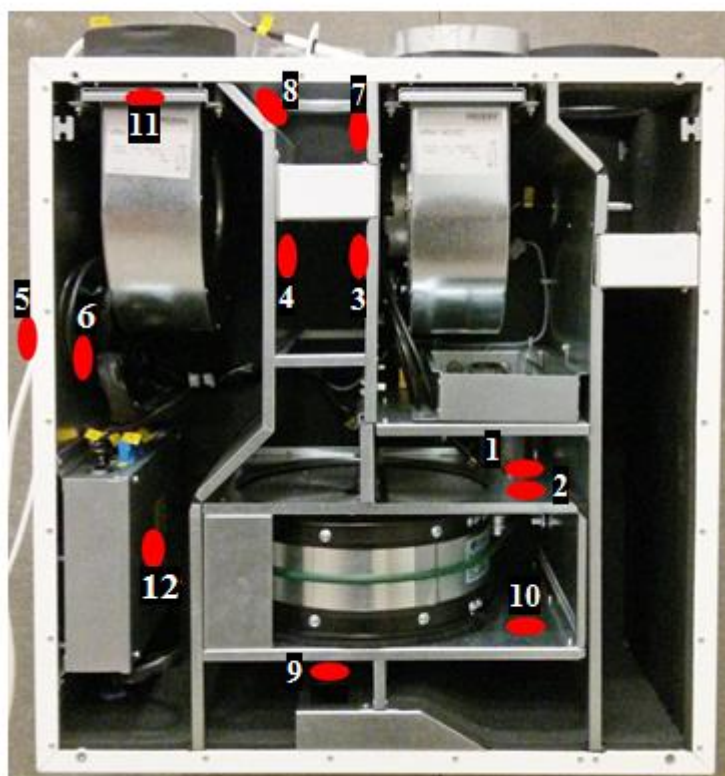
Pradžioje buvo matuojama priekinės sienelės pirmieji du matavimo taškai (1-1 ir 1-2) (žr. 3.6 pav.). Po to, rekuperatorius buvo perstatytas ir pamatuota šoninė sienelės taškai (2-1 ir 2-2), o po to ir viršutinės sienelės taškai (3-1 ir 3-2).



Pav. 3.6 Priekinės sienelės vibraciniai matavimai 1-1 ir 1-2 taškuose

Antrajame etape rekuperatorius RIRS 200 VE EKO pakabinamas ant sienos ir pakartojami išorinių sienelių matavimai pagal 4 pav. esančių matavimo taškų išsidėstymą, kai rekuperatoriaus padavimo ir ištraukimo ventiliatoriai dirba 100% ir 60% darbo režimu.

Po išorinių sienelių matavimų, buvo parinktos vietos vidinėse konstrukcijos dalyse. Šios vietos pavaizduotos (3.7 pav. ir 3.8 pav.).



Pav. 3.7 Vidinių sienelių matavimo taškai



Pav. 3.8 Vidinių sienelių matavimo daviklių pozicijos išdėliotos matavimo vietose

Vidinių sienelių matavimo taškų pavadinimai:

1. Prie rotoriaus variklio
2. Prie rotoriaus
3. Vertikali pertvara dešinėje
4. Vertikali pertvara kairėje
5. Lauke šone centre
6. Vidinėje sienelėje centre
7. Pertvara dešinėje
8. Pertvara lenkta kairėje
9. Po rotoriumi
10. Prie rotoriaus II
11. Išmetimo ventiliatorius
12. El. bloko dangtelis

3.2. Rekuperatoriaus papildomų komponentų - slopintuvų slopinimo reikšmių tyrimas

Norint nustatyti kanalinių slopintuvų akustines savybes tenka išpildyti įvairių norminių dokumentų reglamentuojančių bandymų sąlygas, reikalavimus. Atliekant slopintuvų akustinius bandymus, jiems keliami įvairūs bandymų sąlygų reikalavimai. Tame tarpe ir pagalbinės bandomosios įrangos (oro paėmimo ir išmetimo sistemos) montuojant slopintuvus, bei bandymų laboratorijos akustinės aplinkos įvertinimo.

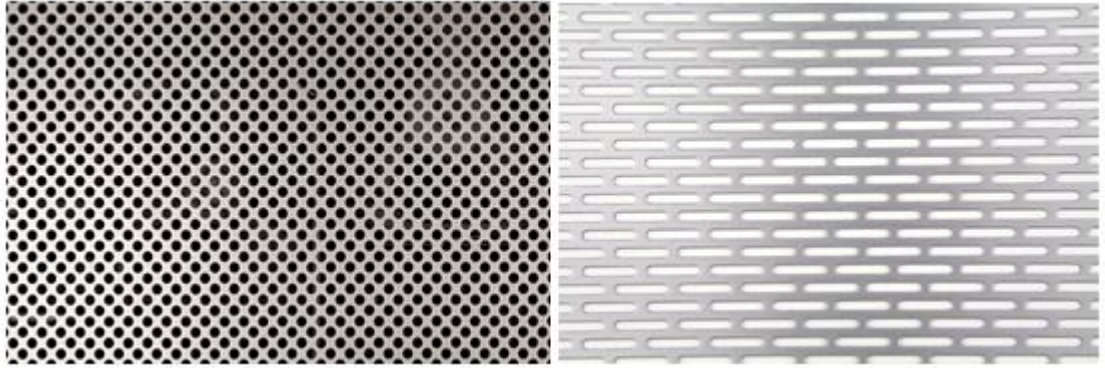
Nustatant slopintuvo slopinamo triukšmo lygį reikia remtis standartu LST EN ISO 7235 „Akustika. Ortakių garso slopintuvų ir oro skirstytuvų laboratorinių matavimų procedūros. Įneštinis silpninimas, tekėjimo triukšmas ir visuminio slėgio sumažėjimas“ [15].

3.2.1. Tiriamasis objektas

Tyrimo objektą sudaro penki, 900mm ilgio ir 160mm skersmens, apvalūs kanaliniai slopintuvai, kurie skiriasi perforacijos forma (3.9 pav.), korpuso pagaminimo technologija (3.10 pav.), bei vatos sudėtimi. Taip pat vienas slopintuvas-alkūnė, kuri yra pasukta 90° kampu.

Tyrimo objektai:

- AKS 160-25/9 Standartinis gaminys, SPYRO siūlė, apvali perforacija, standartinė 50 mm vata;
- AKS 160 L-900 Švediška siūlė, GAPI vamzdis, pailga perforacija, standartinė 50 mm storio vata;
- SAKS 160 L-900 Švediška siūlė, GAPI vamzdis, apvali perforacija, standartinė 100 mm storio vata;
- AKS 160 L-900 Švediška siūlė, GAPI vamzdis, apvali perforacija, standartinė 50 mm storio vata;
- AKS 160 L-900 Švediška siūlė, GAPI vamzdis, apvali perforacija, biri 50 mm storio vata;
- Alkūnė - slopintuvas BF 90-160 su 50 mm storio vata.



Pav. 3.9 Apvali perforacija (kairėje) ir pailga perforacija (dešinėje)



Pav. 3.10 Apvali SPYRO siūlė (kairėje) ir tiesi Švediška siūlė (dešinėje)

3.2.2. Darbo priemonės

Norint atlikti matavimus, kurie atitiktų standartą, įmonėje „Salda“ buvo užsakyti ir pagaminti papildomi komponentai, kurie kartu su tiriamaisiais objektais buvo pristatyti į TSDI akustinių bandymų laboratoriją. O laboratorijoje buvo sukonstruota dėžė, į kurią buvo įdėtas garso generatorius, bei prie kurios montavosi slopintuvai.

Matavimo ir testavimo įrangą sudaro:

- 1 vnt. ortakis montuojamas prieš slopintuvą, kurio skersmuo $d=160$, o ilgis nebūtų mažesnis už $5d = 800\text{mm}$ arba 2 metrus;
- 1 vnt. pakaitinio ortakio (vietoje slopintuvo), kurio ilgis kaip slopintuvų 900mm , $d=160$;
- 1 vnt. ortakis už slopintuvo, kurio ilgis $\sim 400\text{mm}$, $d=160$;
- 2 vnt. movų $d=160$ (sujungti pakaitinį ortakį su už ir prieš esančiais ortakiais);
- 1 vnt. flanšo $d=160$ (tvirtinsis prie garsiakalbio, kad prijungti ortakį);

- Alkūnė BF 90-160 (vietoje alkūninio slopintuvo);
- 2 vnt. mikrofonų, (B&K Type 2669) (3.11 pav.);
- Vibracijų matuoklis (PULSE 3560C) (3.12pav.);
- Asmeninis kompiuteris.



Pav. 3.11 Mikrofonas B&K Type 2669

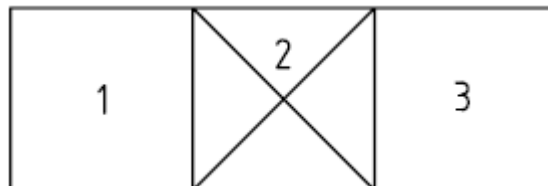


Pav. 3.12 Vibracijų matuoklis PULSE 3560C

3.2.3. *Eksperimentinio stendo konstrukcija*

Akustinio bandymo įrangą sudaro šie pagrindiniai komponentai (3.13 pav.):

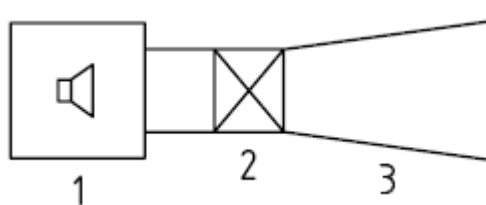
1. Garso šaltinis;
2. Testuojamas objektas;
3. Garso fiksavimo įranga.



Pav. 3.13 Akustinio bandymo komponentų principinė schema

Garso šaltinio naudojama įranga skirta sužadinti garso lauką priešais bandomąjį objektą, kurį sudaro (3.14 pav.):

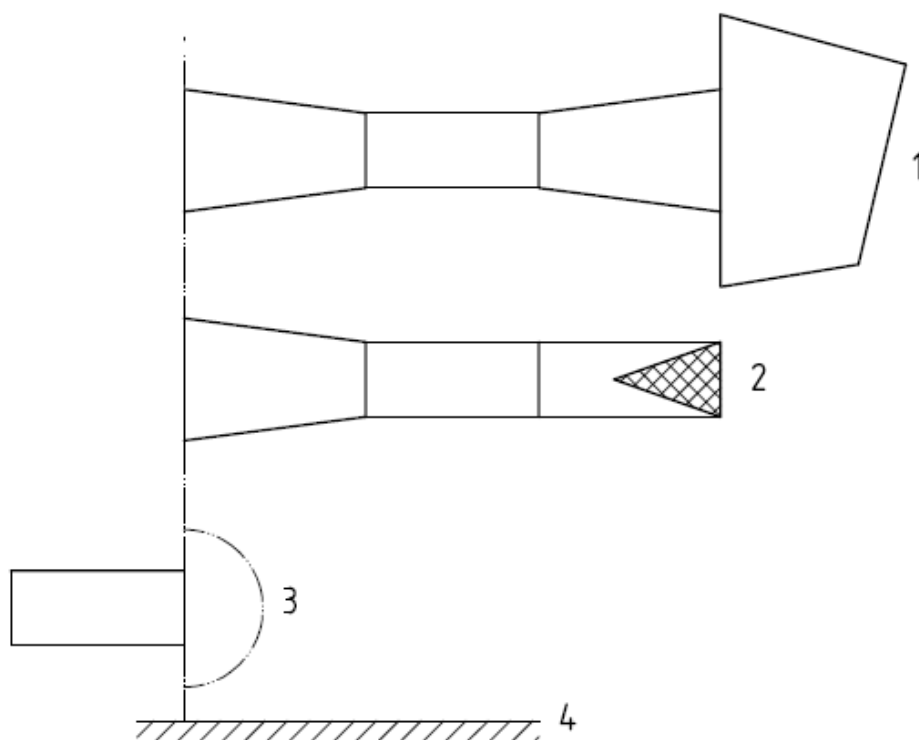
1. Garsiakalbis;
2. Modalinis filtras;
3. Perėjimo elementas tarp garsiakalbio ir bandomojo objekto.



Pav. 3.14 Garso šaltinio montavimo principinė schema

Garso fiksavimo įranga leidžia atlikti garso slėgio matavimus nustatant perdavimo nuostolius iš bandomojo objekto. Atliekant matavimus svarbu išvengti garso bangų interferencijos, o matavimo patalpos gali būti (3.15 pav.):

1. Reverberacijos kambarys ir perdavimo elementas, jungiantis bandymo objektą šia patalpa;
2. Ortakis su beaidžiu užbaigimu;
3. Laisvo lauko sąlygomis arti bandomojo objekto atviro galo.



Pav. 3.15 Garso matavimo patalpos

Garso slėgio matavimai

Įterpties nuostolis **D** yra skirtumas tarp garso slėgio, išmatuoto matavimo taške, kai ortakyje yra slopintuvas ir kai jo nėra.

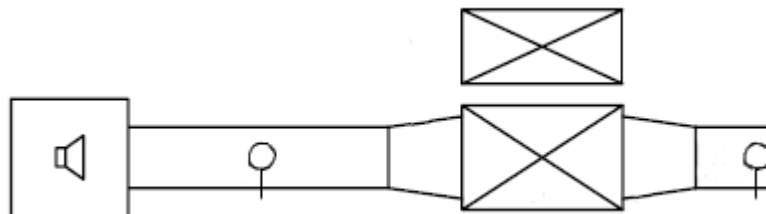
$$D = L_1 - L_2; \quad (3.1)$$

L_1 - yra garso slėgio lygis dažnių juostoje, kai bandomasis objektas (slopintuvas) yra pakeistas paprastu ortakiu;

L_2 - yra garso slėgio lygis dažnių juostoje, kai bandomasis objektas (slopintuvas) yra įrengtas.

3.2.4. Darbo eiga

Pirmieji matavimai buvo padaryti su standartiniu ortakiu remiantis (3.16 pav.) pavaizduota principine schema, vėliau jis buvo keičiamas slopintuvais. Matavimų duomenų nuėmimo trukmė 40 sekundžių. Taip pat buvo išmatuotas akustinis triukšmas kai sistemoje įmontuota standartinė alkūnė ir matavimai pakartoti, pakeičiant alkūnė-slopintuvu (3.17, 3.18 ir 3.19 pav.). Atliekant matavimus, mikrofonai buvo patalpinti ortakio viduje, per jo centrą ir nukreipti garso šaltinio kryptimi (3.20 pav.).



Pav. 3.16 Matavimo principinė schema, kurioje pavaizduotas garsiakalbis ir mikrofonų pozicijos



Pav. 3.17 Bandyto vaizdas, kai matuojami apvalūs kanaliniai slopintuvai



Pav. 3.18 Bandyto vaizdas, kai matuojama alkūnė



Pav. 3.19 Bandyto vaizdas, kai matuojama alkūnė-slopintuvas



Pav. 3.20 Mikrofono tvirtinimas ortakio viduje

3.3. Mažatriukšmio rekuperatoriaus prototipų akustinių savybių tyrimas

Atlikta rekuperatoriaus RIRS 200 VE EKO atskirų mazgų, korpuso vibracinė analizė leido nustatyti jo korpuso atskirų elementų savuosius dažnius bei formas. Įrenginio eksploatavimo metu nustatyti funkcinų mazgų pagrindiniai žadinimo dažniai, jų dedamųjų amplitudės bei jų įtaka korpuso vibraciniam aktyvumui. Remiantis gautais eksperimentinio bei teorinio tyrimo rezultatais ir siekiant sukurti mažatriukšmio rekuperatoriaus prototipą, buvo atlikti įrenginio RIRS 200 VE EKO korpuso konstrukciniai pakeitimai, kurie atvaizduojami 3.21 pav.



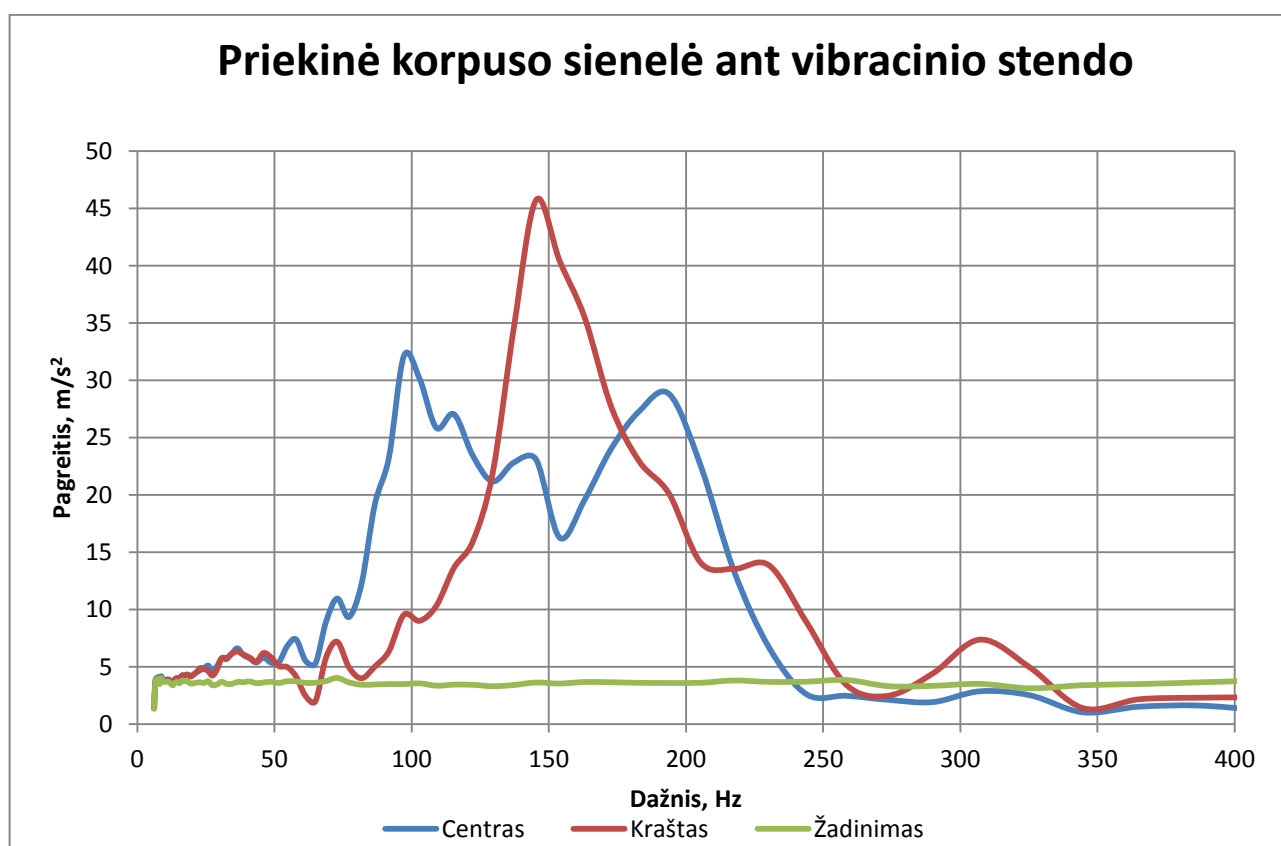
Pav. 3.21 Rekuperatoriaus korpuso konstrukciniai pakeitimai: a – priekinė sienelė iš vidaus padengta mikroporine guma (storis 10 mm); b – dešinės pusės sienelės sustandinimas pertvara iš vidaus; c – įrenginio visos korpuso paviršius iš išorės padengiamas garso izoliacine medžiaga.

4. TYRIMO REZULTATAI

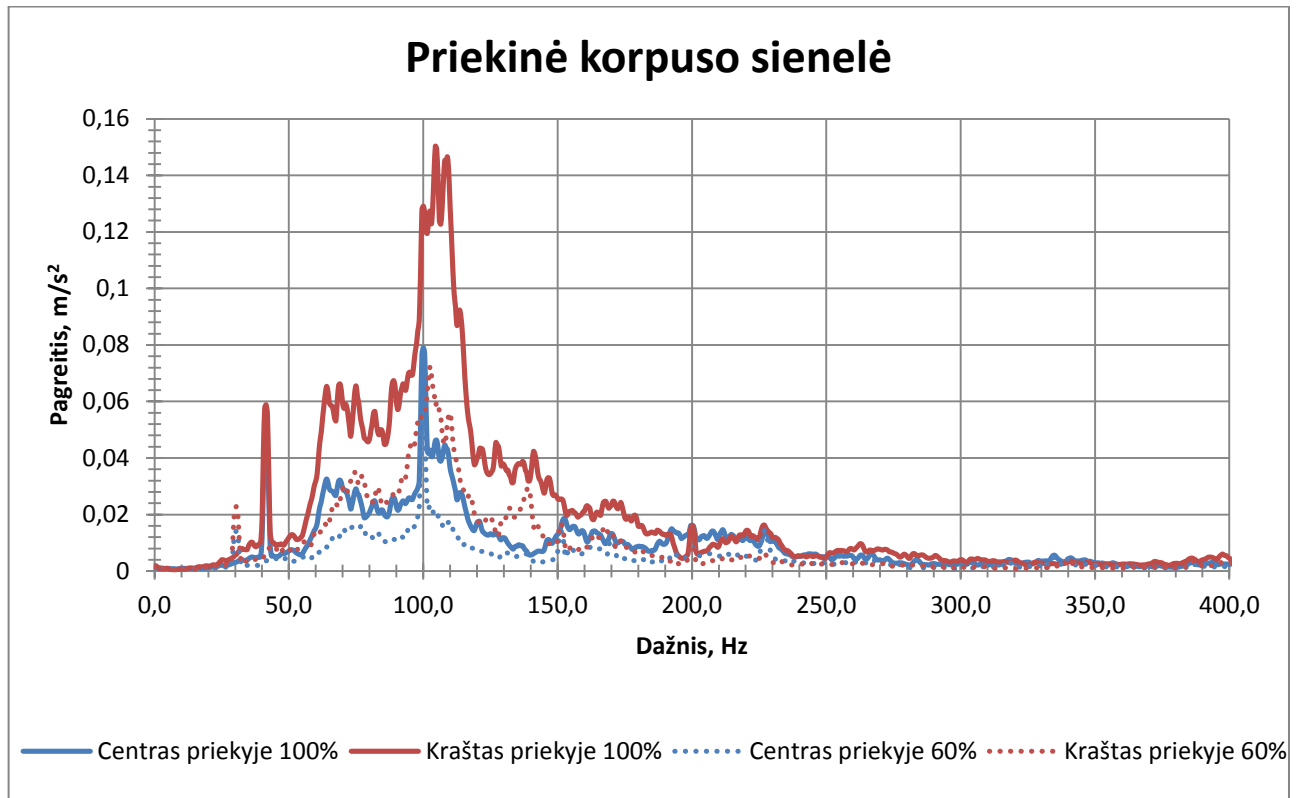
4.1. Rekuperatoriaus RIRS 200 VE EKO atskirų mazgų vibracinės analizės rezultatai

Šiame darbe, pirmiausia lyginami išorinių korpuso sienelių vibracinio bandymo rezultatai, kai rekuperatorinis įrenginys RIRS 200 VE EKO yra bandomas ant vibracinio stendo, ir kai rekuperatorius pakabintas ant sienos dirba 100% ir 60% darbo režimu.

Toliau analizuojama vidinių konstrukcijos mazgų rezultatai, kai įrenginys dirba 100% ir 60% darbo režimu.

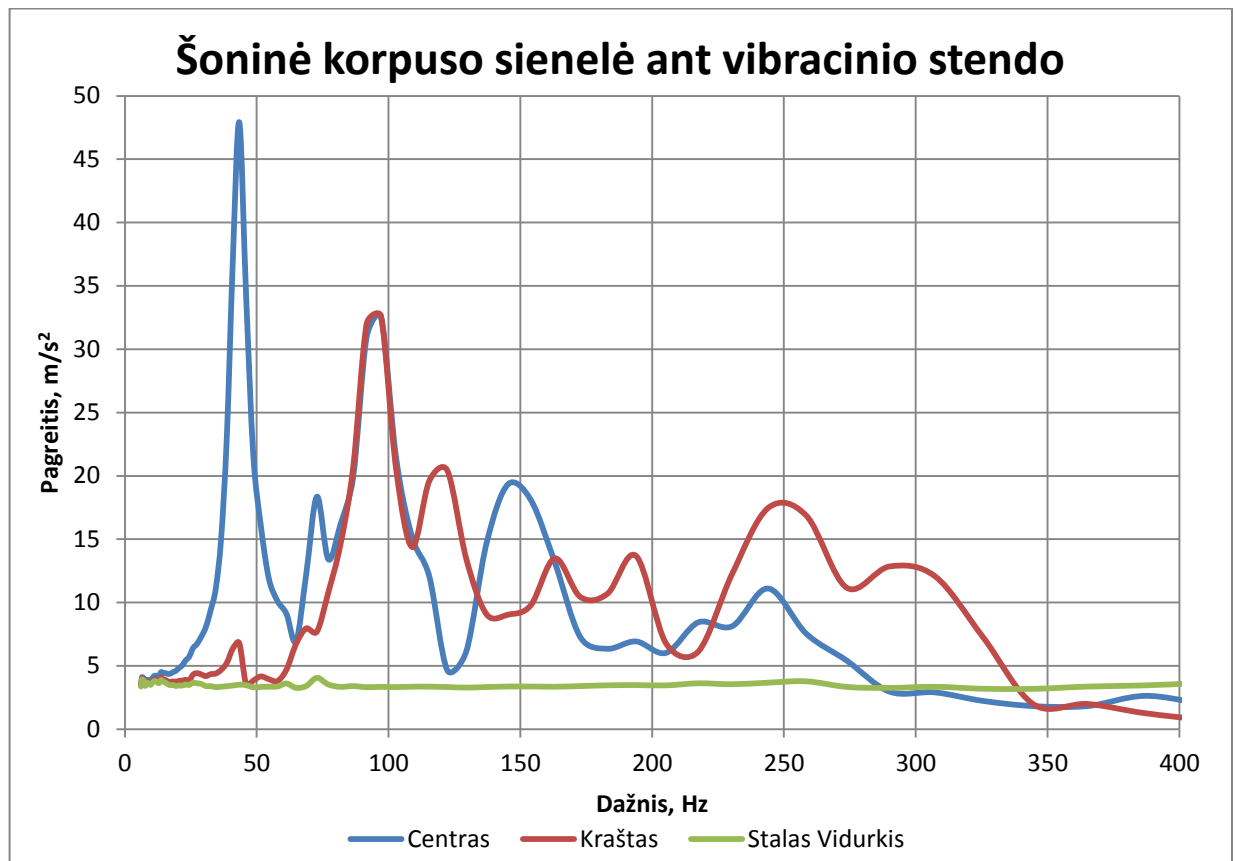


Pav. 4.1 Priekinės korpuso sienelės padėtos ant vibracinio stendo pagreičio priklausomybė nuo dažnio, kai žinomas žadinimas

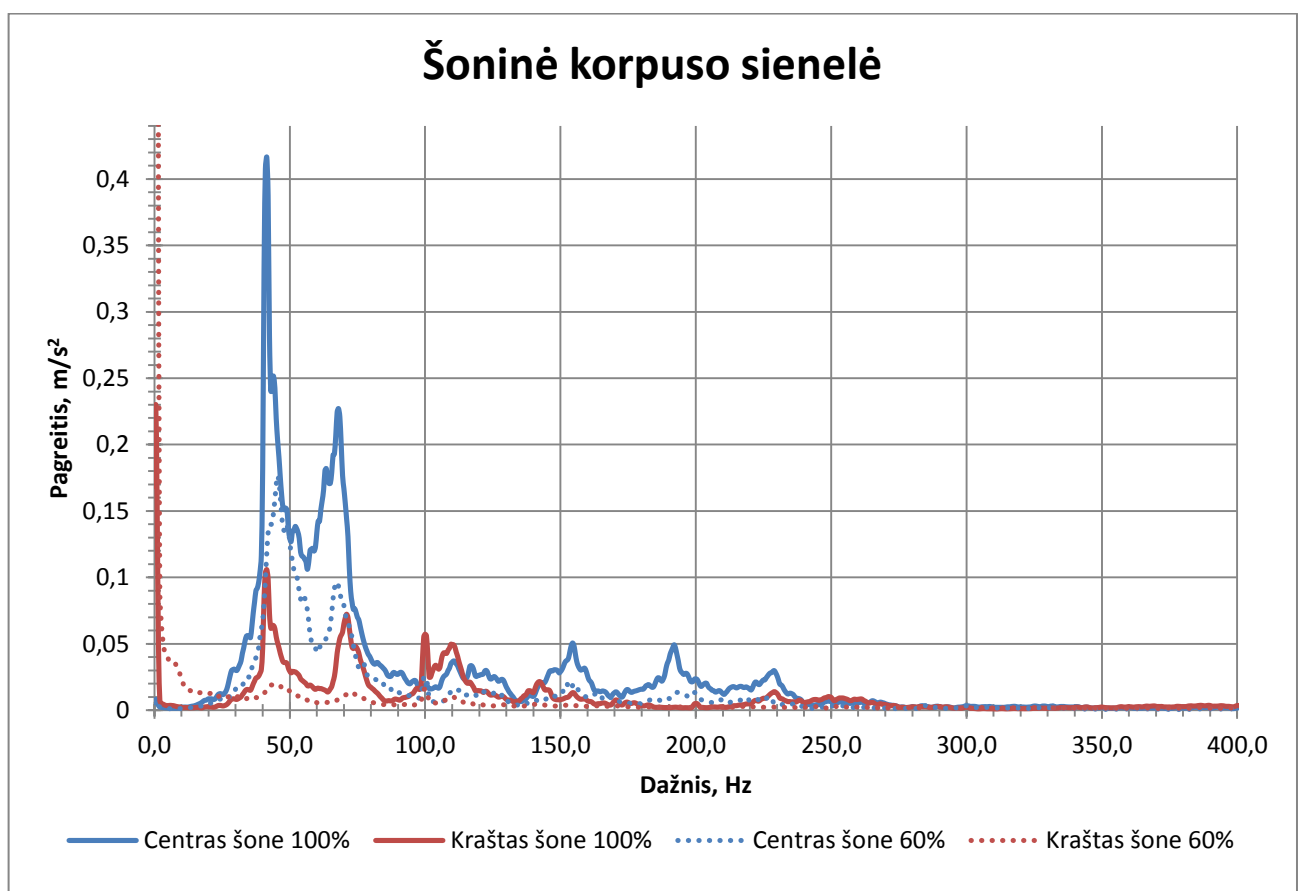


Pav. 4.2 Priekinės korpuso sienelės pagreičio priklausomybė nuo dažnio kai rekuperatorius dirba 100% ir 60% darbo režimu

Iš (4.1 pav.) atvaizduotų kreivių matyti, kad rekuperatorių žadinant vibracinio stendo pagalba centrinis keitiklis užfiksuoja dvi maksimalias reikšmes prie 97 Hz ir 193 Hz, o kraštinėje padėtyje prie 145 Hz. Analizuojant (4.2 pav.) kai rekuperatorius dirba 100% režimu, matyti centrinio keitiklio vienas maksimumas prie 97 Hz, o kraštinio prie 104 Hz. Taip pat matyti, prie 42 Hz nedidelius maksimumus, kai ventiliatoriai dirba 100% ir prie 30 Hz, kai ventiliatorius dirba 60% darbo režimu. Šias vibracijas sukelia ventiliatoriaus veikimas. Dažniui didėjant ir pasiekus 250 Hz, svyravimų amplitudės sumažėja. Taigi, kaip matyti iš abiejų grafikų, centrinėje padėtyje esantis keitiklis abiem atvejais fiksuoja maksimumą prie 97 Hz.



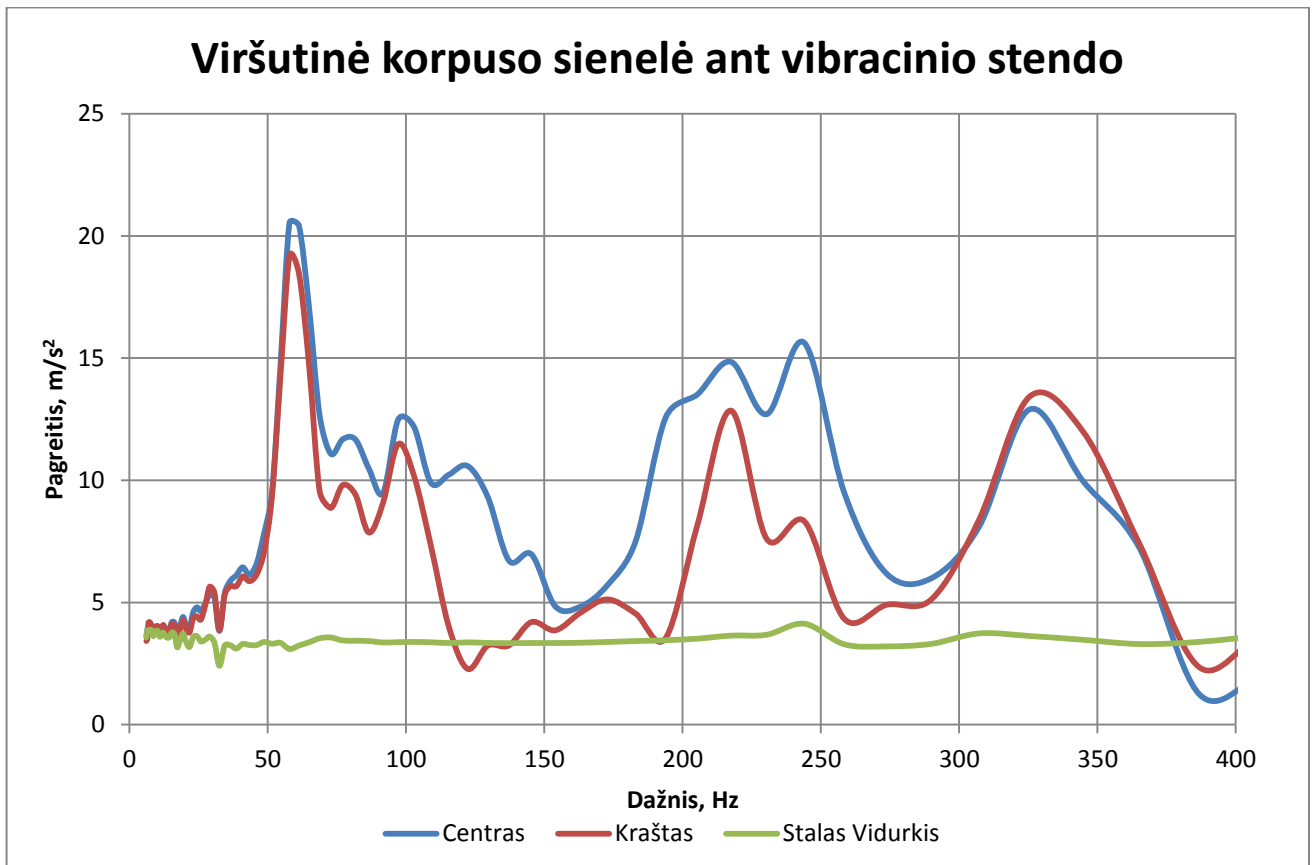
Pav. 4.3 Šoninės korpuso sienelės padėtos ant vibracinio stendo pagreičio priklausomybė nuo dažnio, kai žinomas žadinimas



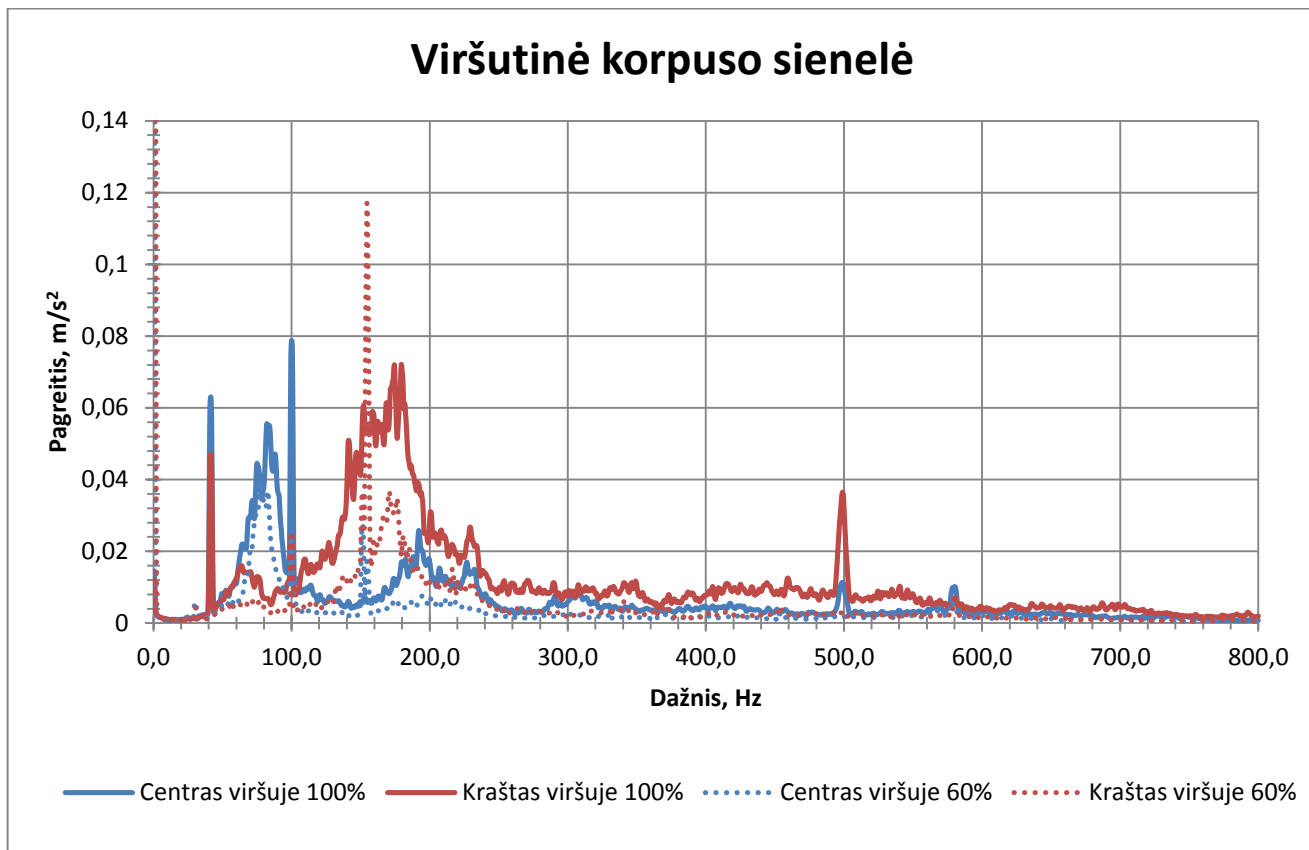
Pav. 4.4 Šoninės korpuso sienelės pagreičio priklausomybė nuo dažnio kai rekuperatorius dirba 100% ir 60% darbo režimu

Analizuojant (4.3 pav.) atvaizduota grafika, matyti, kad šoninės sienelės centrinis keitiklis užfiksuoja tris maksimumus prie dažnių 43 Hz, 92 Hz ir 145 Hz, o kraštinis keitiklis prie 92 Hz ir 258 Hz. Kaip matyti abiejų keitiklių vienas maksimumas sutampa prie 92 Hz.

Iš (4.4 pav.) matyti, kad ventiliatoriaus dėka, prie 42 Hz, išauga amplitudė, kitas maksimumas prie 68 Hz, o krašte, maksimumai yra mažesni, bet jie beveik sutampa su centrinio keitiklio rezultatais, maksimumai prie 41 Hz ir 71 Hz. Darbo režimą sumažinus iki 60% amplitudės sumažėjo, bet vyrauja tų pačių dažnių maksimumai.



Pav. 4.5 Viršutinės korpuso sienelės padėtos ant vibracinio stendo pagreičio priklausomybė nuo dažnio, kai žinomas žadinimas



Pav. 4.6 Viršutinės korpuso sienelės pagreičio priklausomybė nuo dažnio kai rekuperatorius dirba 100% ir 60% darbo režimu

Iš (4.5 pav.) matyti, kad centrinio ir kraštinio keitiklio grafikai labai panašūs. Jų maksimumai faktiškai sutampa prie šių dažnių 58 Hz, 100 Hz, 217 Hz ir 325 Hz, o centrinis keitiklis turi papildomą maksimumą prie 244 Hz.

Stebint (4.6 pav.) galima pastebėti, jog viršutinės sienelės centro padėtyje fiksuojami maksimumai prie 41 Hz ir 100 Hz, o kraštinėje padėtyje prie 41 Hz ir 178 Hz. Bet sumažinus darbo režimą iš 100% į 60% matyti, kaip kraštinėje padėtyje išauga amplitudė prie 155 Hz.

Vidinių konstrukcijos mazgų rezultatai pateikiami prieduose, kai įrenginys dirba 100% ir 60% darbo režimu.

Ketvirtajame priede pateikiama 1 – prie rotoriaus variklio ir 2 – prie rotoriaus keitiklių padėčių grafikai prie skirtingų darbo režimų. Iš šio grafiko matyti, kad žemų dažnių diapazone maksimumas yra prie 100 Hz, dažniui didėjant ir pasiekus 400 Hz vertę, amplitudės išauga ir maksimumų padaugėja. Didžiausias jų prie 578 Hz. Tad galima teigti, kad prie rotoriaus esančios sienelės virpesiams didžiausia įtaka turi ne ventiliatoriaus darbas, o rotoriaus variklis.

Penktajame priede pateikiame vertikalių pertvarų 3 ir 4 matavimo vietose rezultatai. Kaip matyti, prie 100 Hz abiejų pertvarų amplitudės išauga, o prie 75 Hz ir 189 Hz, kairės pertvaros amplitudės yra didesnės. Dažniui didėjant ir pasiekus 300 Hz, amplitudės nebedidėja, o darbo režimą sumažinus iki 60% nesimato akivaizdaus amplitudžių sumažėjimo.

Analizuojant 6 priede pateiktą vidinės ir išorinės sienelių (5 ir 6 matavimo vietas) rezultatus matyti ventiliatoriaus įtaka prie 42 Hz, o prie 60 Hz, abiejų sienelių amplitudė išauga. Sumažinus darbo režimą iki 60% vidinės sienelės amplitudė išauga prie 151 Hz.

Iš 7 priede esančio grafiko, kuriame pateikta vidinių pertvarų dešinėje ir lenktos pertvaros kairėje (7 ir 8 matavimo vietas) duomenų matyti, kad ventiliatorius sukuria virpesius prie 42 Hz, bet prie 100 Hz abiejų pertvarų amplitudė išauga. Dešinės pertvaros amplitudės taip pat išauga ir prie 283 Hz ir 500 Hz, o kairės lenktos pertvaros – 578 Hz ir 634 Hz. Darbo režimą sumažinus iki 60% abiejų sienelių amplitudės sumažėja, išskyrus dešinės pertvaros, kur prie 151 Hz, amplitudė žymiai išauga, lyginant su 100% darbo režimu.

Aštuntajame priede pateikta sienelių prie ir po rotoriumi rezultatai (9 ir 10 matavimo vietas). Iš šių duomenų matyti, jog abi sienelės didesnes amplitudes turi prie 41 Hz ir 100 Hz. Prie 80 Hz, matyti, kad sienelės po rotoriumi amplitudė labai išauga, o sienelės prie rotoriaus didėjant dažniui ir pasiekus 450 Hz dažnį amplitudė išauga, o prie 453 Hz ir 579 Hz stebimi žymesni amplitudžių padidėjimai. Tad galima teigti, jog šiai sienelei didesnė įtaka turi rotoriaus variklio darbas, o tuo tarpu sienelės po rotoriumi, didėjant dažniui, amplitudė nebeauga.

Iš devintojo priedo, kuriame pateikiama išmetimo ventiliatoriaus ir elektrinio bloko dangtelio rezultatai, matyti, kad didžiausią amplitudę pasiekia ventiliatorius prie 41 Hz. Šios ventiliatoriaus amplitudes galima pastebėti visuose grafikuose, tik vienur jos didesnės, kitur mažesnės. Taip pat tiek ventiliatorius, tiek elektrinio bloko dangtelis turi dideles amplitudes prie 100 Hz, ir 493 Hz.

4.2. Rekuperatoriaus papildomų komponentų - slopintuvų slopinimo reikšmių tyrimo rezultatai

Atlikus slopintuvų matavimus duomenys buvo užfiksuoti ir pateikiami 4.1 ir 4.2 lentelėse. Matavimai buvo atliekami nuo 50 Hz iki 10 kHz ribose, duomenis nuimant po 40 sekundžių.

Lentelė 4.1 Kanolinių slopintuvų matavimų lentelė

Dažnis	Standartinis ortakis	Standartinis slopintuvas AKS 160-900	AKS 160 - 900 (švediška siūlė, pailga perforacija)	AKS 160 - 900 (švediška siūlė, apvali perforacija, biri vata)	AKS 160 - 900 (švediška siūlė, apvali perforacija)	SAKS 160 - 900 (švediška siūlė, apvali perforacija)
	L _{WA} dB(A)	L _{WA} dB(A)	L _{WA} dB(A)	L _{WA} dB(A)	L _{WA} dB(A)	L _{WA} dB(A)
50	15,71	15,94	13,95	13,99	14,16	5,98
63	40,12	18,97	18,24	18,26	17,55	15,11
80	35,95	30,08	30,60	31,19	30,07	26,79
100	43,52	46,33	46,37	47,25	46,27	37,62
125	60,62	48,84	48,25	47,45	48,76	40,86
160	50,02	44,27	43,51	44,38	44,08	36,15
200	58,65	44,80	43,22	43,30	43,71	35,77
250	61,79	50,87	49,43	47,93	50,42	41,00
315	60,90	50,93	49,58	47,13	49,83	37,99
400	57,44	37,02	36,25	33,64	35,18	25,95
500	50,36	35,13	34,04	33,85	34,31	32,36
630	58,28	34,41	31,21	29,49	31,94	28,43
800	58,57	28,83	29,25	26,66	28,29	26,71
1000	59,76	27,63	27,08	27,61	28,20	29,21
1250	63,84	24,71	24,54	25,94	25,37	26,17
1600	64,15	24,34	24,26	24,70	24,61	25,75
2000	60,31	24,35	26,53	24,04	24,49	24,47
2500	70,18	39,44	45,07	31,03	37,79	36,63
3150	71,00	45,92	49,33	38,20	44,91	43,85
4000	68,78	56,27	58,10	52,33	55,31	55,54
5000	74,97	58,55	61,05	58,05	59,57	59,57
6300	65,91	49,60	51,37	49,94	50,44	51,64
8000	62,84	49,36	51,18	50,11	50,22	52,71
10000	57,58	50,40	49,83	50,99	50,09	49,98
Suminis L_{WA}	79,15	62,81	64,38	61,54	62,98	62,49

Lentelė 4.2 Alkūnės- slopintuvo matavimo lentelė

Dažnis	Alkūnė BF 90-160	Alkūnė - slopintuvas BF 90-160
	L _{WA} dB(A)	L _{WA} dB(A)
50	9,81	15,31
63	26,88	29,99
80	50,85	32,44
100	50,94	40,52
125	47,80	49,42
160	56,39	48,58
200	53,45	48,54
250	63,86	53,50
315	60,34	54,73
400	57,25	42,85
500	50,00	33,99
630	58,94	38,84
800	59,49	36,43
1000	60,26	35,80
1250	63,72	37,94
1600	63,68	33,65
2000	59,51	27,50
2500	70,75	38,07
3150	66,88	44,27
4000	74,85	50,24
5000	74,78	50,35
6300	66,25	44,29
8000	62,64	45,77
10000	58,65	48,16
Suminis L_{WA}	79,89	60,76

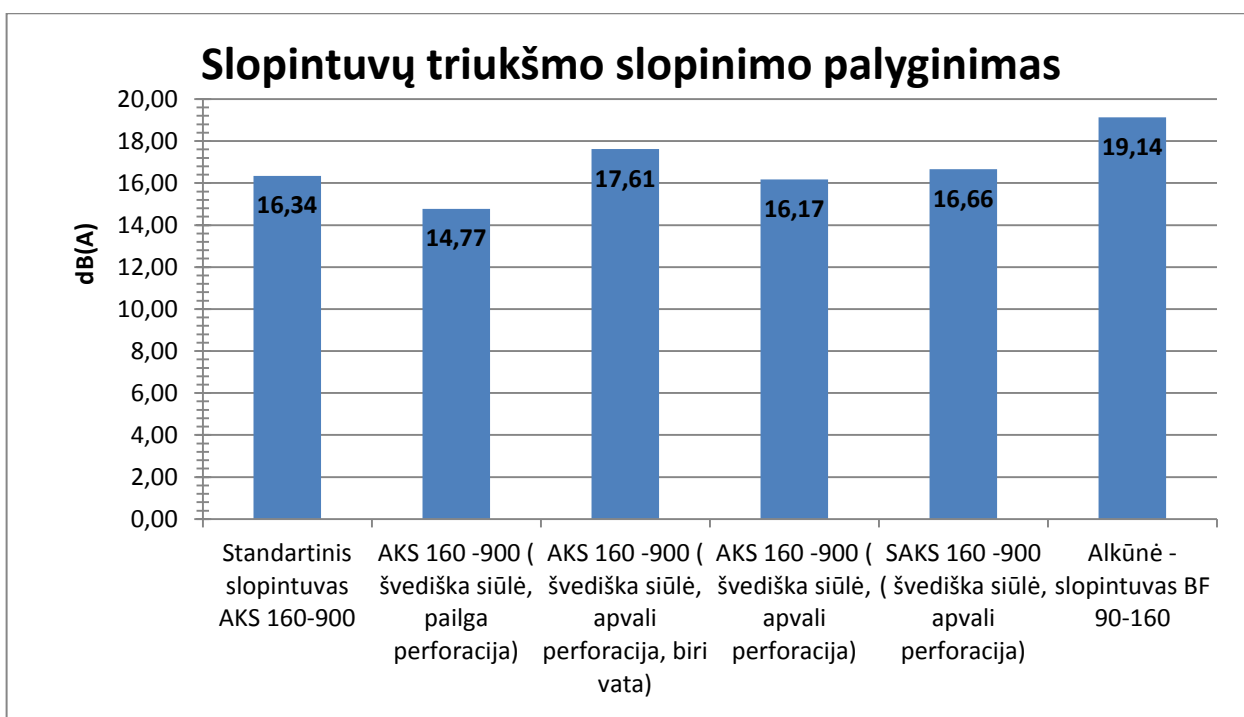
4.1 lentelėje pateikiami garso galios reikšmės apvalių kanalinių slopintuvų, bei standartinio ortakio, o 4.2 alkūnės bei alkūnės-slopintuvo garso galios reikšmės.

Atlikus matematinius skaičiavimus ir apskaičiavus slopintuvų slopinimo reikšmes, buvo užpildyta 4.3 lentelė.

Lentelė 4.3 Slopintuvų garso galios lygiai bei slopinimai

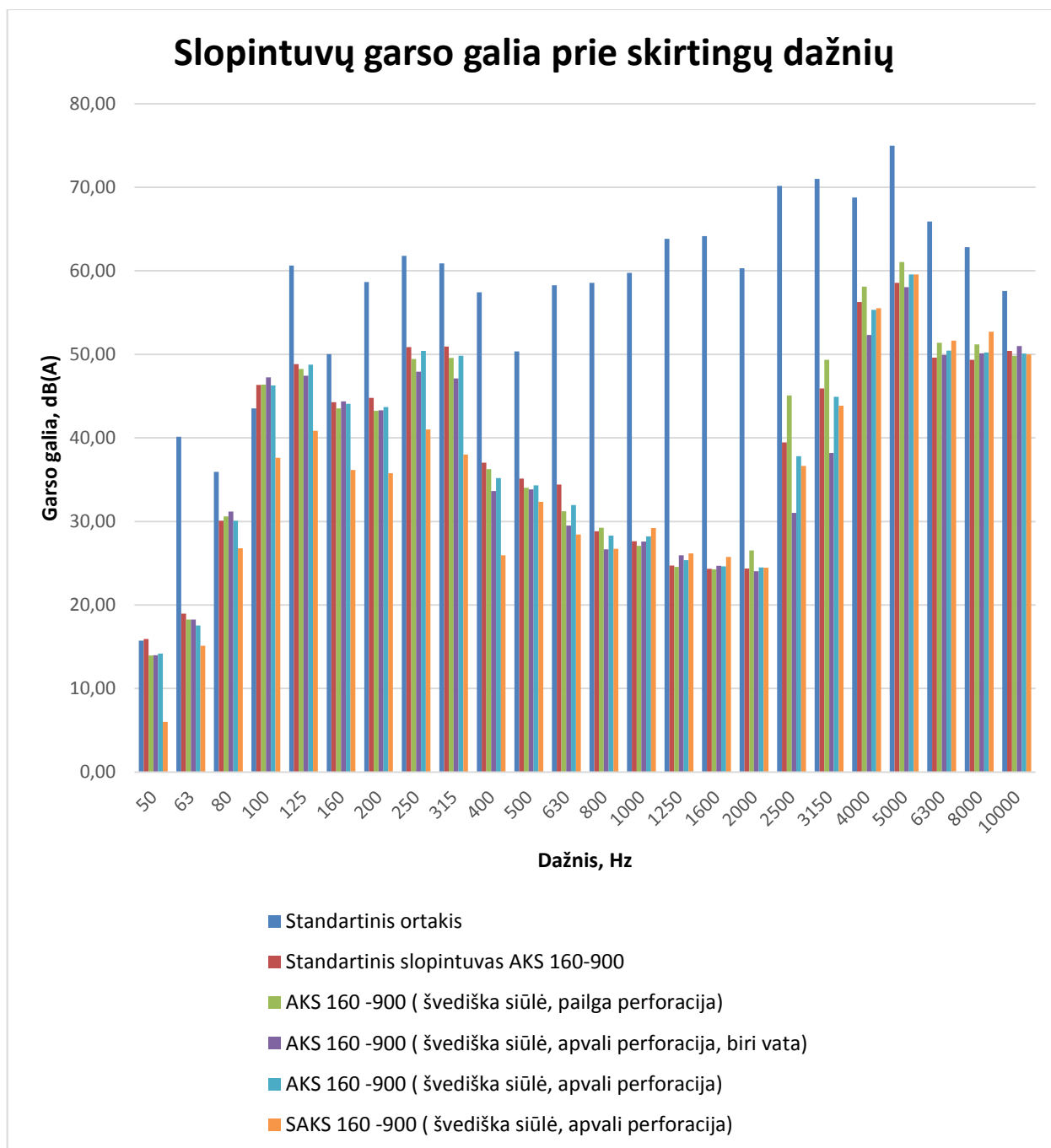
Nr.	Gaminys	Suminis garso galios lygis, L_{WA} dB(A)	Slopinimas, L_{WA} dB(A)
1	Standartinis ortakis	79,15	
2	Standartinis slopintuvas AKS 160-900	62,81	16,34
3	AKS 160 -900 (švediška siūlė, pailga perforacija)	64,39	14,77
4	AKS 160 -900 (švediška siūlė, apvali perforacija, biri vata)	61,54	17,61
5	AKS 160 -900 (švediška siūlė, apvali perforacija)	62,98	16,17
6	SAKS 160 -900 (švediška siūlė, apvali perforacija)	62,49	16,66
7	Alkūnė BF 90-160	79,90	
8	Alkūnė - slopintuvas BF 90-160	60,76	19,14

Kaip matyti iš 4.3 lentelės ir garso galios lygių sumažėjimo diagramos (4.7 pav.) didžiausią garso galios lygio sumažėjimą turi eksperimentinis gaminys, kuriame pakeista vata bei korpuso sujungimo siūlė. Šis sumažėjimas siekia 17,61 dB(A), o mažiausią garso galios lygio sumažėjimą turi slopintuvas su pailga perforacija – 14,77 dB(A). O kanalinio alkūnės-slopintuvo slopinimas yra 19,14 dB(A). Šis slopinimas yra pats didžiausias iš visų išmatuotų slopintuvų.



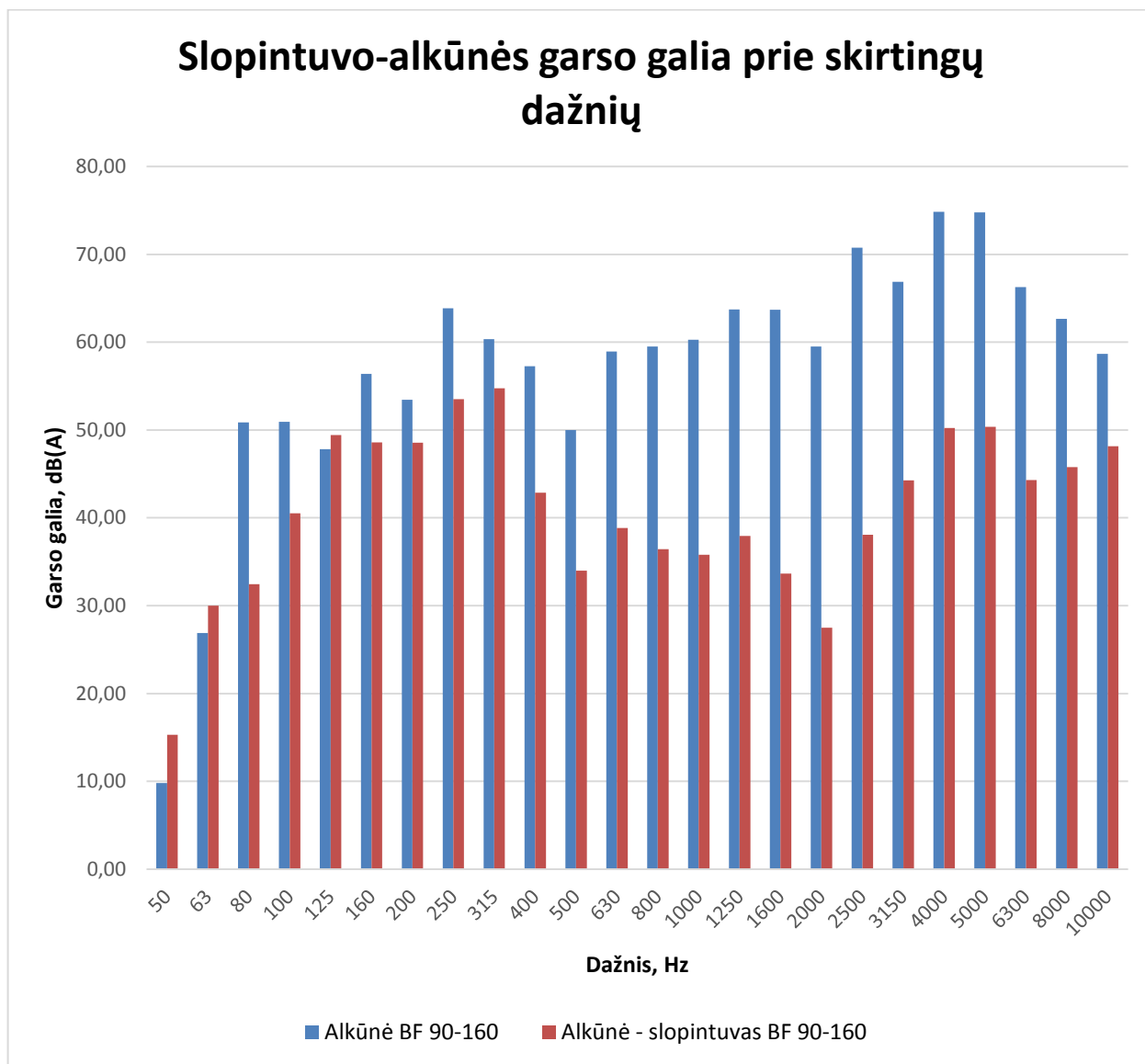
Pav. 4.7 Slopintuvų triukšmo slopinimo palyginimo diagrama

Kaip matyti (4.8 pav.) pateiktos diagramos, žemų dažnių diapazone nuo 50 Hz iki 400 Hz mažiausios garso galios reikšmės, o tuo tarpu didžiausią slopinimą turi slopintuvas SAKS 160-900, kurio izoliacinė medžiaga yra storiausia. Nuo 400 Hz iki 2000 Hz slopintuvų slopinimo reikšmės didžiausios, o vieno geresnio slopintuvo negalima iškirti. Didėjant dažniui ir viršijant 2500 Hz ir daugiau, slopinimo reikšmės mažėja, o tai reiškia, kad slopintuvų veikimas prastėja. Aukštesnių dažnių diapazone didesnes slopinimo reikšmes turi slopintuvas su švediška siule, apvalia perforacija ir biria vata.



Pav. 4.8 Slopintuvų garso galių reikšmės prie skirtingų dažnių

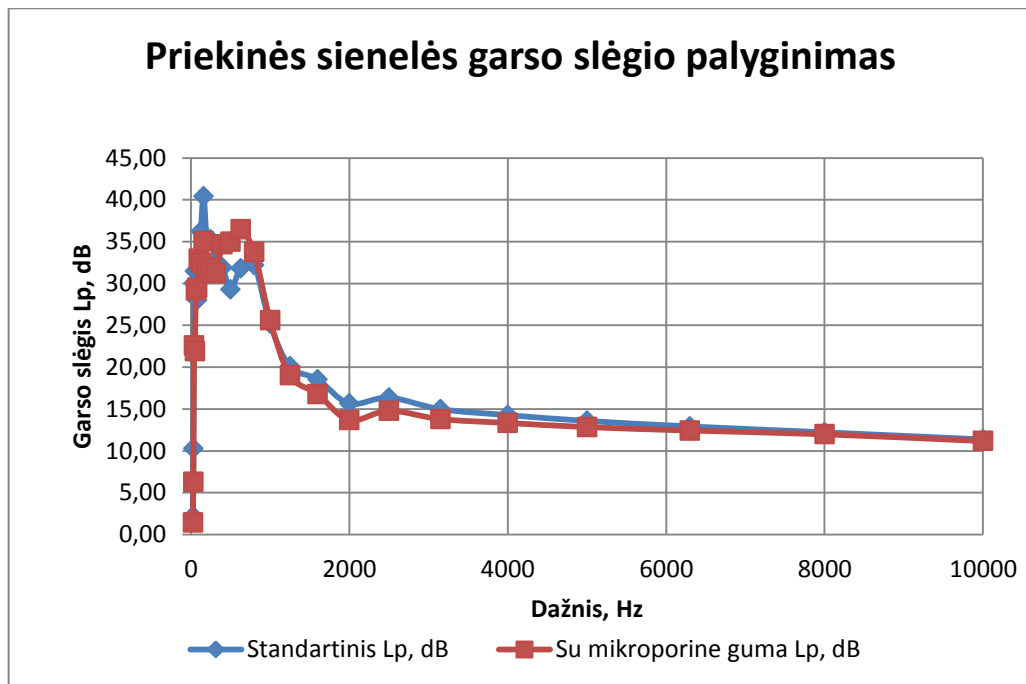
4.9 pav. pateikta slopintuvo-alkūnės bei standartinės alkūnės garso galios reikšmės, prie skirtingų dažnio reikšmių. Kaip matyti, žemuose dažniuose, 50 Hz, 63 Hz, bei 125 Hz, slopintuvas ne tik, kad neslopina triukšmo, bet jį dar ir stiprina. Tai gali įvykti dėl garso bangų atspindžių bei interferencijos. Didžiausias slopinimo reikšmės šis slopintuvas turi vidutinių dažnių diapazone, nuo 500 Hz iki 2000 Hz. Didėjant dažniui, slopinimo reikšmės sumažėja.



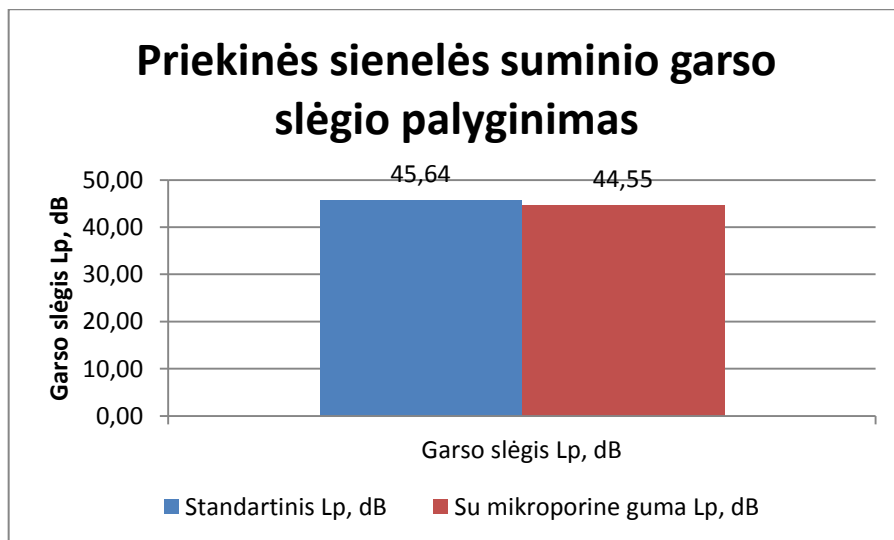
Pav. 4.9 Alkūnės, bei alkūnės-slopintuvo garso galia prie skirtingų dažnių

4.3. Mažatriukšmio rekuperatoriaus prototipų akustinių savybių tyrimo rezultatai

Rekuperatoriaus korpuso pakeitimas - „a“ variantas. Atlikus rekuperatoriaus „a“ tipo pakeitimą, įrenginio didžiausias, pagal paviršiaus plotą korpuso elementas – priekinė sienelė, buvo padengtas iš vidaus papildoma garso izoliacine medžiaga. Garso izoliacine medžiaga buvo parinkta mikroporinė 10 mm storio guma. Tokios konstrukcijos rekuperatoriaus, dirbančio 100 % režimu, buvo matuojamos priekinės sienelės garso slėgio lygis atskiruose taškuose bei gautos reikšmės palygintos su atitinkamomis nemodifikuoto įrenginio reikšmėmis 4.10 pav. ir 4.11 pav.

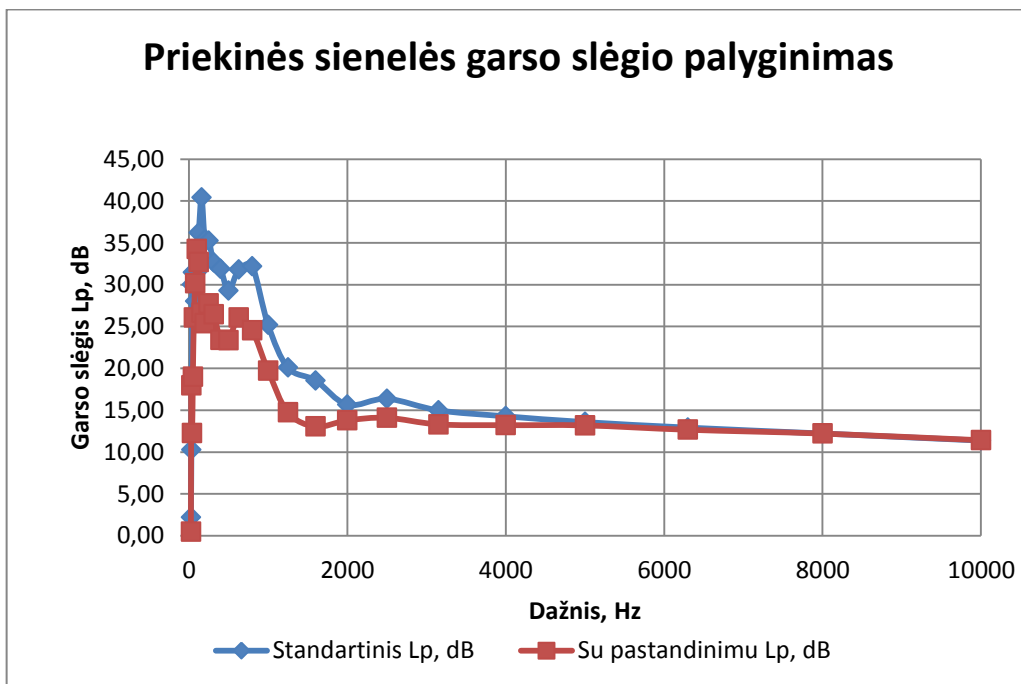


Pav. 4.10 Rekuperatoriaus dirbančio 100% režimu, priekinės sienelės garso slėgio priklausomybė nuo dažnio, kai rekuperatorius su mikroporine guma ir be

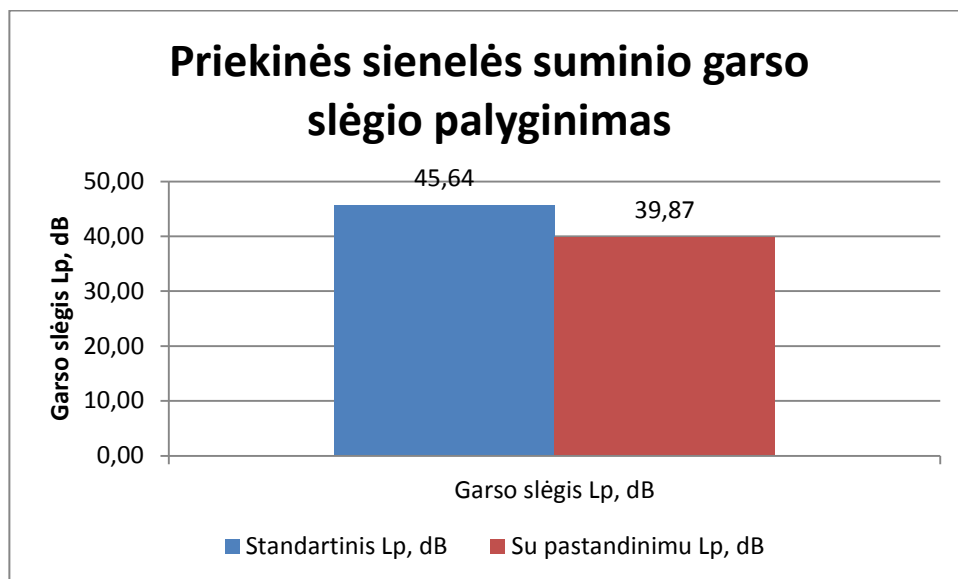


Pav. 4.11 Rekuperatoriaus dirbančio 100% režimu priekinės sienelės suminio garso slėgio palyginimas, kai rekuperatorius su mikroporine guma ir be

Rekuperatoriaus korpuso pakeitimas –„b“ variantas. Atlikta įrenginio vibracijų analizė parodė, kad didžiausias vibracinis aktyvumas pasireiškia korpuso dešinės šoninėje sienelėje. Siekiant sumažinti vibracinį aktyvumą šioje zonoje, dešinės pusės sienelė buvo sustandinta pertvara iš vidaus. Tokios konstrukcijos rekuperatoriaus, dirbančio 100 % režimu, buvo matuojamos dešinės sienelės vibracijos bei teorinio modelio pagalba skaičiuojamas garso slėgio lygis atskiruose taškuose bei gautos reikšmės palygintos su atitinkamomis eksperimentinėmis nemodifikuoto įrenginio reikšmėmis 4.12 pav. ir 4.13 pav.

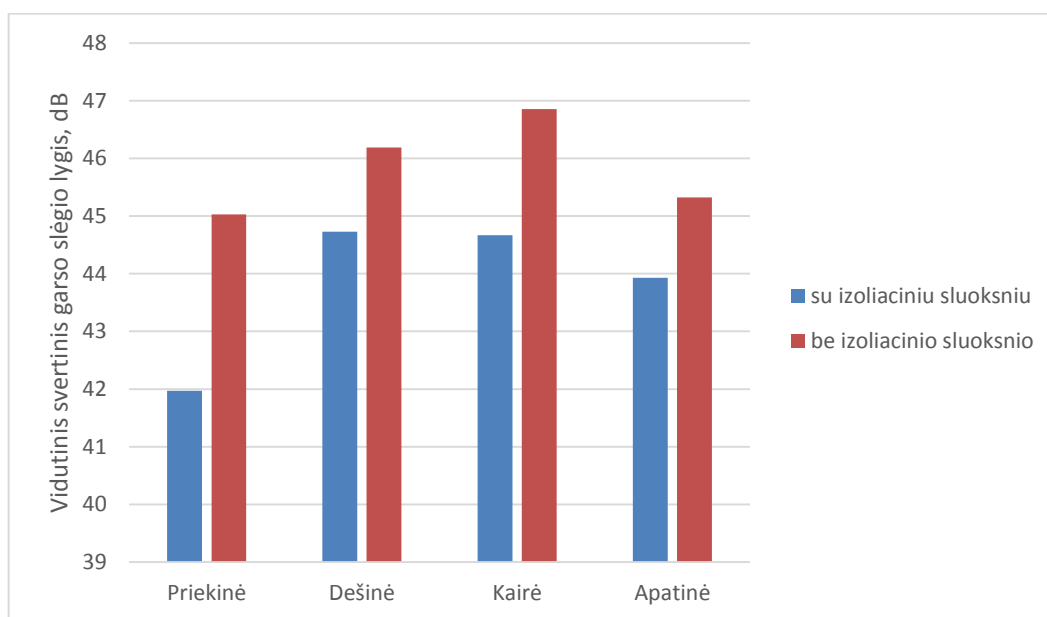


Pav. 4.12 Rekuperatoriaus dirbančio 100% režimu, priekinės sienelės garso slėgio priklausomybė nuo dažnio, esant skirtingam standumui



Pav. 4.13 Rekuperatoriaus dirbančio 100% režimu priekinės sienelės suminio garso slėgio palyginimas, esant skirtingam standumui

Rekuperatoriaus korpuso kompozicinės struktūros pakeitimas „c“ variantas. Šiuo įrenginio korpuso pakeitimu buvo siekiama kiekybiškai įvertinti sklindančio pro rekuperatoriaus sienelę triukšmo sumažėjimą. Šiam tikslui visas rekuperatoriaus korpuso paviršius buvo padengtas 5 cm storio garso izoliacine medžiaga. Tokios konstrukcijos rekuperatoriaus, dirbančio 100 % režimu, buvo matuojamas garso slėgio lygis 0.15 m atstumu ties visomis sienelėmis atskiruose taškuose bei gautos reikšmės palygintos su atitinkamomis eksperimentinėmis nemodifikuoto įrenginio reikšmėmis 4.14 pav.



Pav. 4.14 Izoliacinio sluoksniu įtaka vidutiniam suminiam svertiniam garso slėgio lygiui priešais atitinkamą rekuperatoriaus, dirbančio 100 % režimu, korpuso sienelę

Atlikto mažatriukšmio rekuperatoriaus akustinių savybių tyrimo rezultatai rodo, kad didžiausias efektas triukšmo slopinimo tam tikros korpuso srities prasme yra gautas atlikus dešinės sienelės sustandinimą (b variantas). Dėl šio pakeitimo, vidutinis garso slėgis priešais sienelę 0.15 m atstumu sumažėja 5 dB. Padengus visą rekuperatoriaus korpusą izoliacine danga (c variantas), vidutinis garso slėgio lygio sumažėjimas atskirose korpuso zonose siekia nuo 1.5 iki 3 dB. Padengus rekuperatoriaus priekinę sienelę iš vidaus 10 mm storio mikroporinės gumos sluoksniu, vidutinis garso slėgio lygio sumažėjimas siekia 0.3 dB.

4.4. Realiose sąlygose eksploatuojamų rekuperatoriaus RIRS 200 VE EKO akustinio žadinimo modelio adekvatumo tyrimo rezultatai

Siekiant modeliuoti akustinį lauką eksploatuojamo rekuperatoriaus aplinkoje buvo sudarytas matematinis modelis (2.3 skyrius). Remiantis šiuo modeliu, yra bandoma patikrinti, ar įmanoma žinant ventiliatoriaus tipą, jo sukimosi greitį (dažnį), apskaičiuoti skleidžiamą garso lygį į aplinką.

Matuojant gaminio garso sklindančio per korpusą slėgio reikšmes, gaminio išmetimo ir padavimo kanalai buvo izoliuoti specialia įranga, kuri buvo pagaminta iš garsą slopinančių plokščių. Šių plokščių ilgis siekė kelis metrus, todėl galima teigti, jog slėgio kritimas nebus didesnis negu 10 Pa. Remiantis „Saldos“ įmonės internetinio puslapio parinkimo programa (žr. priedai Nr. 10), galima teigti, kad rekuperatoriui dirbant 100% ventiliatoriaus darbo režimu ir žinant, kad sistemoje slėgio kritimas yra 10 Pa, rekuperatoriaus darbo našumas yra 250 m³/h.

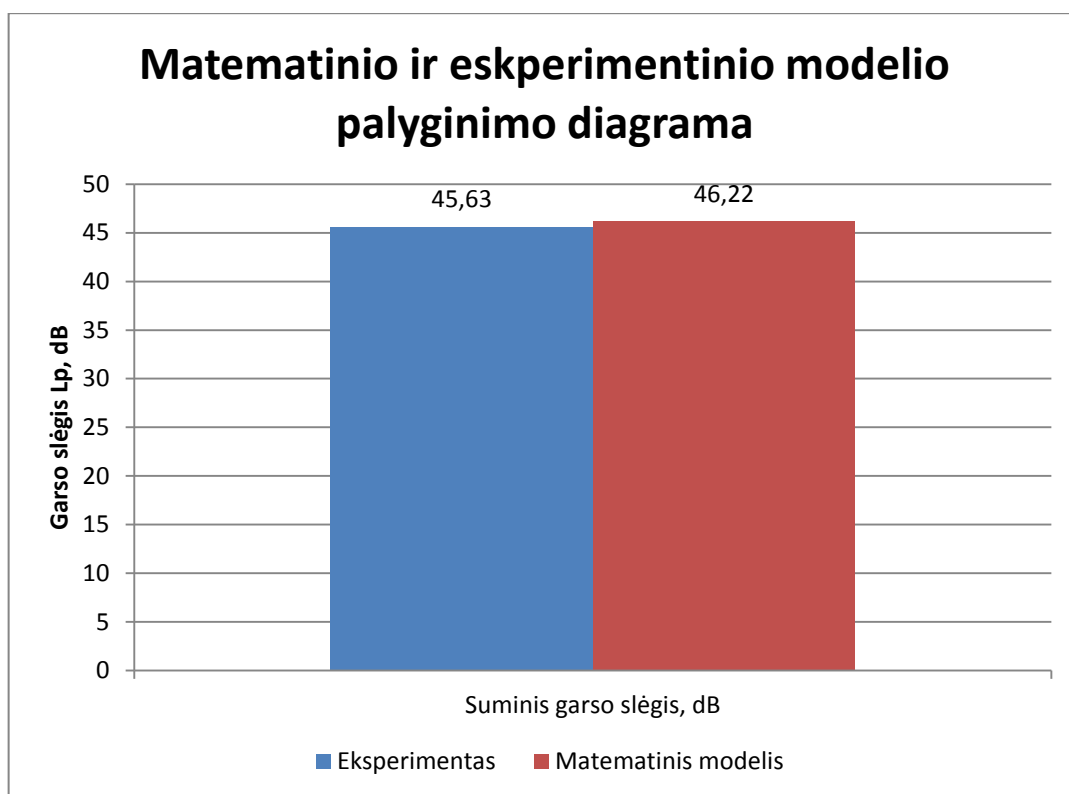
Taip pat, remiantis „Saldos“ pateikta informacija, yra žinomos ir ventiliatoriaus specifikacijos, kurios pateiktos priede Nr. 11. Žinant, kad ventiliatoriaus tipas yra išcentrinis ventiliatorius su į priekį lenktais sparneliais, todėl apskaičiuojant garso slėgio reikšmes naudosime šiuos duomenis iš lentelės Nr. 2.1.

Lentelė 4.4 yra užpildoma, pasinaudojus 2.3 skyriuje esančiomis formulėmis. Garso slėgio reikšmės yra apskaičiuojamos, kuomet $Q = 250 \text{ m}^3/\text{h} = 69,44 \text{ l/s}$; $Q_0 = 0,47195 \text{ l/s}$; $P = 10 \text{ Pa}$; $P_0 = 248,8 \text{ Pa}$; ventiliatoriaus perėjimo dažnis, remiantis ankstesniais atliktais tyrimais $f = 42 \text{ Hz}$, o matavimo atstumas $r = 0,15 \text{ m}$.

Lentelė 4.4 RIRS 200 VE EKO matematinio modelio apskaičiavimo lentelė

	Sparnelių tonas BT, dB	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	Suminis
Į priekį lenktais sparneliais	2	40	38	38	34	28	24	21	15	44,18
L_w	-	35,76	31,76	31,76	27,76	21,76	17,76	14,76	8,76	38,81
TL (PAROC vata)	-	0,13	0,71	3,01	6,99	13,01	13,01	13,01	13,01	19,50
$L_{w(housing)}$	-	35,63	31,05	28,75	20,77	8,75	4,75	1,75	-4,25	37,64
L_p	-	44,21	39,63	37,33	29,35	17,33	13,33	10,33	4,33	46,22

Remiantis ankstesniais matavimais (žr. 4.15 pav.) rekuperatoriaus suminio garso slėgio reikšmė, kai korpusas neizoliuotas yra 45,63 dB, o taikant matematinį modelį gauta reikšmė yra 46,22 dB. Šios reikšmės atvaizduotos 4.15 pav.



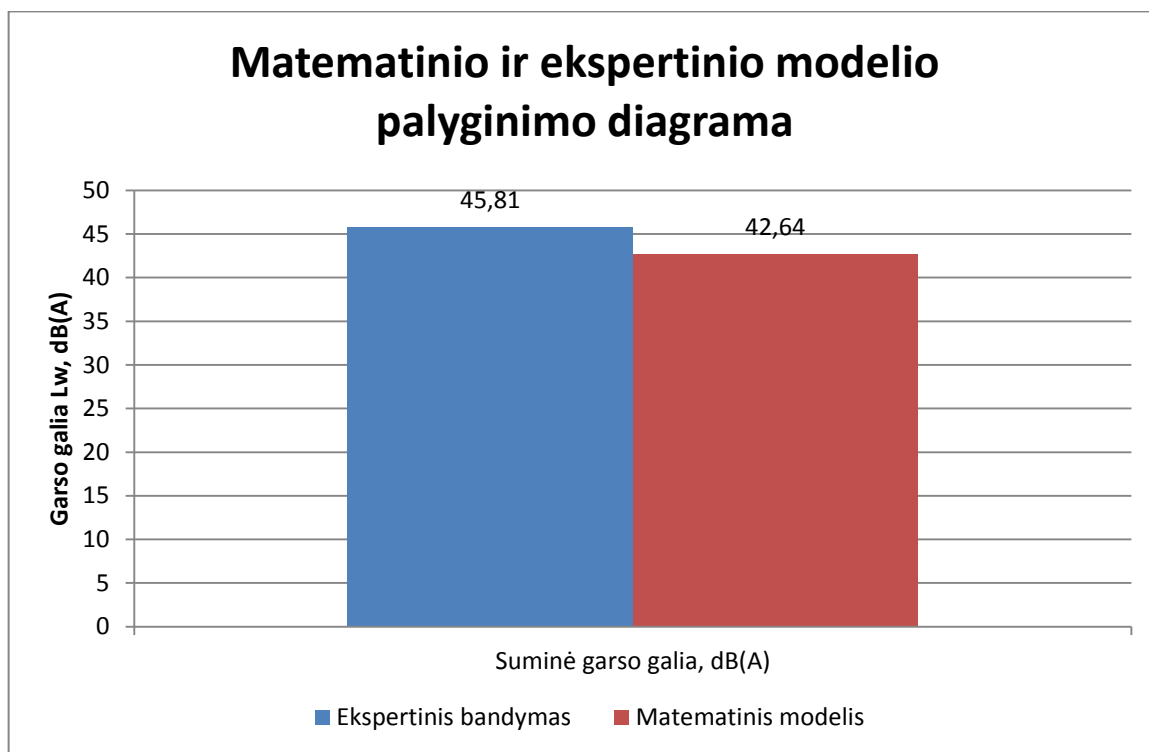
Pav. 4.15 Matematinio ir eksperimentinio modelio palyginimo diagrama

Taip pat, remiantis priede Nr. 1 esančia informacija, kuomet „Saldos“ įmonės gaminiai yra matuojami akredituotose laboratorijose ir akustiniai duomenys yra pateikiami kataloguose, atliksime matematinį modelį, tik šį kartą, skiriasi oro srauto ir slėgio reikšmės. Šie parametrai yra: $Q = 214 \text{ m}^3/\text{h} = 59.44 \text{ l/s}$; $P = 100 \text{ Pa}$, visi kiti parametrai nekinta. Garso reikšmės pateikiamos A-svertinėje skalėje, kurios koeficientai pateikiami [16]. Atliekami skaičiavimai ir užpildoma 4.5 lentelė.

Lentelė 4.5 RIRS 200 VE EKO matematinio modelio apskaičiavimo lentelė

Ventiliatoriaus tipas	Sparnelių tonas BT, dB	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	Suminis
I priekį lenktais sparneliais	2	40	38	38	34	28	24	21	15	44,18
L_w	-	55,08	51,08	51,08	47,08	41,08	37,08	34,08	28,08	58,14
TL (PAROC vata)	-	0,13	0,71	3,01	6,99	13,01	13,01	13,01	13,01	19,50
$L_{w(housing)}$	-	54,95	50,38	48,07	40,10	28,07	24,07	21,07	15,07	56,97
A-svertiniai koef.	-	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	-
$L_{WA(housing)}$	-	28,75	34,28	39,47	36,90	28,07	25,27	22,07	13,97	42,64

Lyginant sumines garso galias tarp matematinio modelio ir ekspertinio bandymo, skirtumas yra 3,17 dB(A) (žr. 4.16 pav.). Lyginant dažnių juostoje, žemuose dažniuose ir aukštuose garso galios yra artimos. Didžiausias skirtumas yra vidutiniuose dažniuose kuris siekia iki 10 dB(A). Šis skirtumas gali atsirasti dėl to, jog sunku gauti tikslias slopinimo reikšmes mineralinės vatos bei skardos gamintojų.

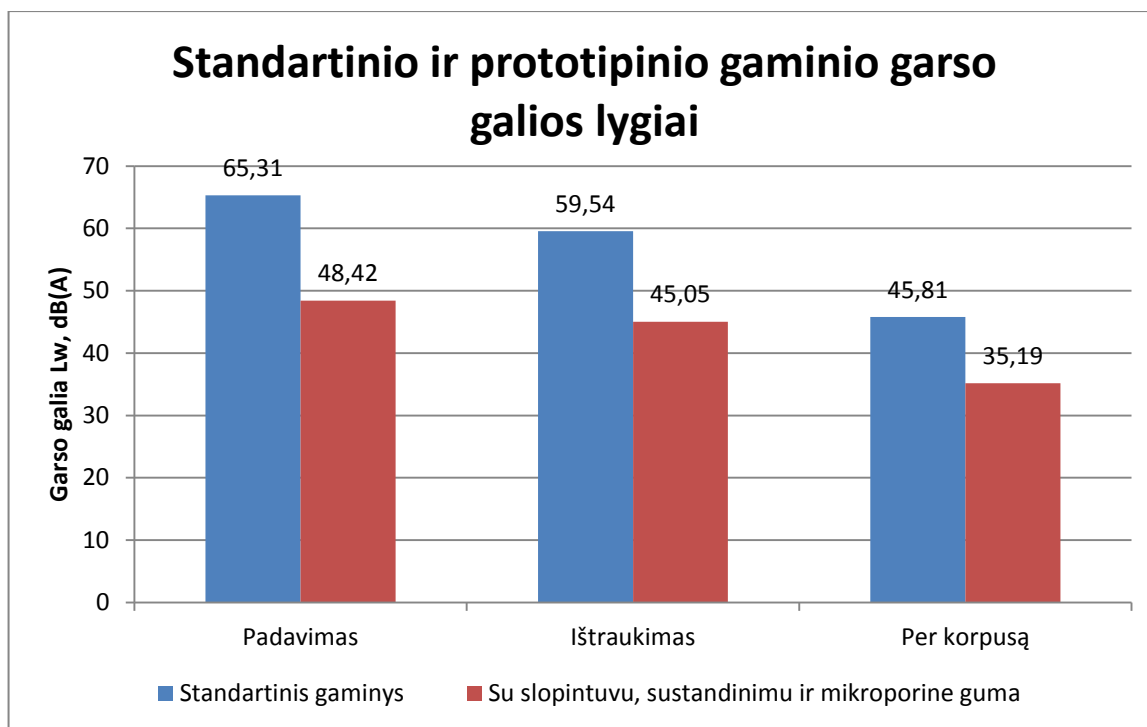


Pav. 4.16 Matematinio ir eksperimentinio modelio palyginimo diagrama

Taikant ankstesnių matavimų rezultatus, galima apskaičiuoti, garso galios reikšmes, kuomet rekuperatorius yra standartinis, ir kuomet rekuperatorius yra sustandintas vidine pertvara, bei uždėta mikroporinė guma, o išmetimo kanaluose uždėtas efektyviausias slopintuvas(AKS 160 – 900 (švediška siūlė, apvali perforacija, biri vata)). Atliekami skaičiavimai ir užpildoma 4.6 lentelė, o vaizdiniai rezultatai pateikiami 4.17 pav.

Lentelė 4.6 Triukšmo reikšmių lentelė, kuomet panaudojami slopintuvai, vidinių sienelių sustandinimas bei mikroporinė guma

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	Suminis
Tiekimas	50	59	61	59	55	51	40	65,31
Ištraukimas	45	58	53	45	37	28	21	59,54
Per korpusą	37	40	42	38	29	19	16	45,81
Mikroporinė guma (slopinimas)	3,53	13,79	9,96	7,52	6,20	8,52	5,94	17,55
Sustandinimas (slopinimas)	-0,22	8,43	5,89	4,18	4,77	11,31	11,64	16,58
Slopintuvas (slopinimas)	13,17	13,86	16,51	32,16	36,26	16,45	12,73	37,80
Tiekimas (prototipas)	36,83	45,14	44,49	26,84	18,74	34,55	27,27	48,42
Ištraukimas (prototipas)	31,83	44,14	36,49	12,84	0,74	11,55	8,27	45,05
Per korpusą (prototipas)	33,69	17,78	26,14	26,30	18,03	-0,83	-1,58	35,19



Pav. 4.17 Realus ir prototipinio gaminio suminių garso slėgių palyginimo diagrama

5. IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

- Pagal užsibrėžtą tikslą, atskirų mazgų konstrukcijos vibracijų nustatymą buvo atliktas vibracinis bandymas ir nustatyti savieji rekuperatorinio įrenginio RIRS 200 VE EKO dažniai kai įrenginys buvo žadinamas žinoma jėga, ir kai dirbo 100% bei 60% darbo režimu;
- Remiantis gautais matavimais, matyti, kad 42 Hz ir 100 Hz dažniuose išmetimo ventiliatorius turi didžiausias amplitudės, kurios persiduoda ir į kitus konstrukcinius elementus. Didelę įtaką turi išorinei šoninei rekuperatoriaus sienelei;
- Jei eksploatacijos metu atsiranda šie dažniai, galima kelti prielaidą, ir manyti, kad išaugus amplitudei, šie virpesiai turi įtaką papildomo triukšmo sklidimui į aplinką;
- Šie atlikti matavimai ir rezultatai suteikia sąlygas tolimesniam teoriniam modeliui vystymui ir tyrimui atlikti;
- Šios išvados taikytinos tik rekuperatoriniui įrenginiui RIRS 200 VE EKO

Atlikus eksperimentą ir ištyrus slopintuvų slopinimo reikšmes galima formuluoti šias išvadas:

- Didžiausią garso galios lygio sumažėjimą turi eksperimentinis gaminys, kuriame pakeista vata bei korpuso sujungimo siūlė. Šis sumažėjimas siekia 17,61 dB(A);
- Mažiausią garso galios lygio sumažėjimą turi slopintuvas su pailga perforacija – 14,77 dB(A);
- Kanalinio alkūnės-slopintuvo slopinimas yra 19,14 dB(A).
- Žemų dažnių diapazone nuo 50 Hz iki 400 Hz didžiausią slopinimą turi slopintuvas SAKS 160-900, kurio izoliacinė medžiaga yra storiausia;
- Nuo 400 Hz iki 2000 Hz slopintuvų slopinimo reikšmės yra didžiausios, o vieno geresnio slopintuvo negalima išskirti;
- Nuo 2500 Hz ir daugiau, slopinimo reikšmės mažėja;
- Žemuose dažniuose, 50 Hz, 63 Hz, bei 125 Hz, alkūnė-slopintuvas ne tik, kad neslopina triukšmo, bet jį dar ir stiprina;
- Didžiausias slopinimo reikšmes šis alkūninis slopintuvas turi vidutinių dažnių diapazone, nuo 500 Hz iki 2000 Hz.

Atlikus mažatriukšmio rekuperatoriaus prototipų akustinių savybių tyrimą, gauti šie rezultatai:

- Didžiausias efektas triukšmo slopinimo gautas atlikus dešinės sienelės sustandinimą (b variantas). Šis sumažėjimas siekia iki 5 dB;
- Padengus visą rekuperatoriaus korpusą izoliacine danga (c variantas), vidutinis garso slėgio lygio sumažėjimas atskirose korpuso zonose siekia nuo 1.5 iki 3 dB;
- Padengus rekuperatoriaus priekinę sienelę (a variantas) iš vidaus 10 mm storio mikroporinės gumos sluoksniu, vidutinis garso slėgio lygio sumažėjimas siekia 0.3 dB.

Atlikus rekuperatoriaus matematinio modelio adekvatumo tyrimą, gauti šie rezultatai:

- Rekuperatoriaus suminio garso slėgio reikšmių skirtumas lyginant eksperimentinio matavimo ir matematinio modelio rezultatus yra 0,59 dB;
- Taikant matematinio modelio ir ekspertinio matavimo gautas slėgio reikšmes, skirtumas tarp rezultatų yra 3,17dB;
- Pritaikius matematinį modelį apskaičiuotas prototipinio gaminio garso galios sumažėjimas lyginant su standartiniu gaminiu: padavimas – 16,89 dB(A); ištraukimas – 14,49 dB(A); per korpusą – 10,62 dB(A).

Atliktas tyrimas ir gauti rezultatai leidžia siūlyti kai kurias rekomendacijas, galinčias padėti kurti mažatriukšmius rekuperatorius:

- Teoriškai ir eksperimentiškai įrodyta, kad konstrukcijos mechaninės sistemos tobulinimas gali duoti didesnę efektą nei korpuso kompozicinės sistemos parinkimas ir optimizavimas. Todėl, projektuojant rekuperatorių konstrukcijas, reikia siekti rotorinių sistemų darbo režimų, neįtakojančių gretimų konstrukcinių elementų rezonansinių virpesių.
- Rezonansinių dažnių sintezės geriausiai siekti standinant plokščius konstrukcijos elementus, nes tai nedidina konstrukcijos masės bei beveik neįtakoja technologinių operacijų bei medžiagų kainos.
- Reikia paminėti, kad kompozicines sistemas sluoksnių kiekio didinimas ar vieno sluoksniu sistemos storio didinimas apčiuopiamo akustinės aplinkos triukšmo lygio mažinimo neduoda, bet įtakoja technologijos procesą bei jo kainos padidėjimą.

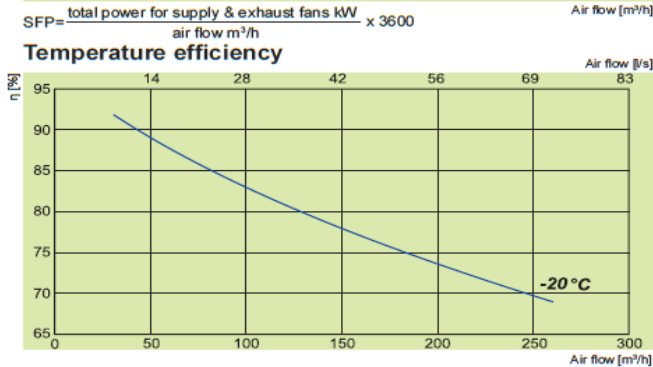
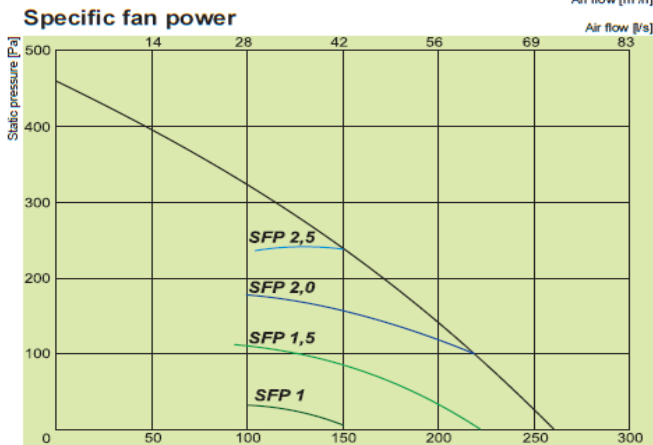
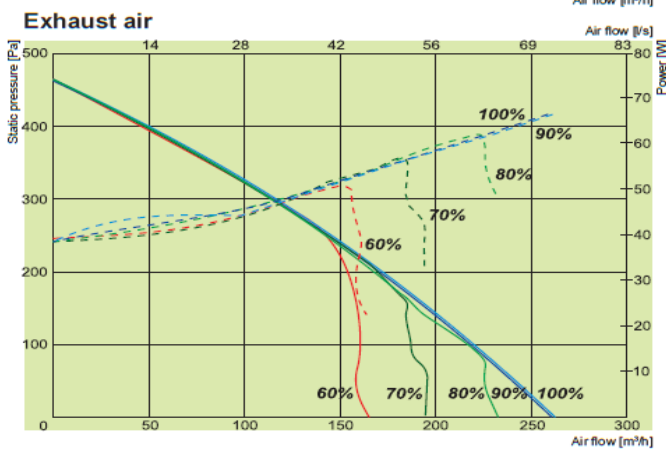
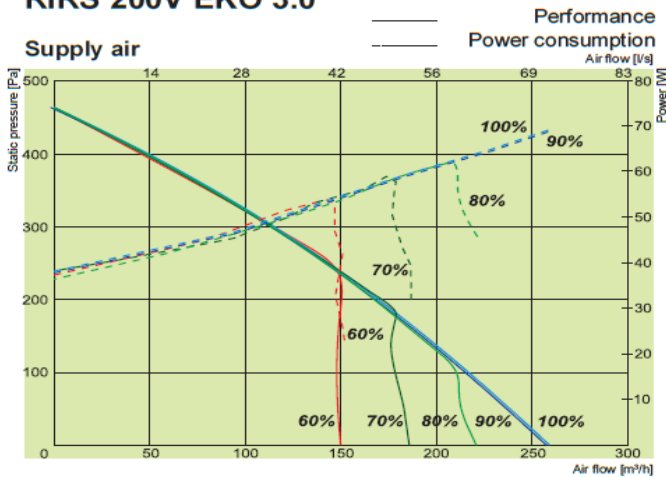
LITERATŪRA

1. Rekuperacinė vėdinimo sistema [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-03-14]. Prieiga per internetą: <http://www.komfovent.lt/rekuperacine-vedinimo-sistema>
2. Kas yra rekuperacija? [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-03-14]. Prieiga per internetą: <http://www.statybajums.lt/temos/vedinimas-kondicionavimas/kas-yra-rekuperacija>
3. Rekuperatorius [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-03-14]. Prieiga per internetą: <http://lt.wikipedia.org/wiki/Rekuperatorius>
4. Rekuperatorius - energijos ekonomija iki 90%! [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-03-15]. Prieiga per internetą: <http://www.orocentras.lt/silumos-taupymas-rekuperatorius.html>
5. Dabartinės lietuvių kalbos žodynas [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-03-15]. Prieiga per internetą: <http://dz.lki.lt/get/51532/>
6. SALDA – Slopintuvai [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-04-04]. Prieiga per internetą: http://www.salda.lt/lt/products/category/acc_Silencers/
7. Classification of Noise Reduction Silencers [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-04-04]. Prieiga per internetą: http://www.engineeringtoolbox.com/noise-reduction-silencers-d_81.html
8. Panl-Flow® HVAC Silencers & Duct Silencers [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-04-04]. Prieiga per internetą: <http://www.industrialnoisecontrol.com/products/hvac-silencers.htm>
9. CIRCULAR DUCT ATTENUATORS [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-04-05]. Prieiga per internetą: <http://www.fantech.com.au/images/PDF/Catalogue/Circular.pdf>
10. SILENCERS & ACOUSTIC PANELS [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-04-05]. Prieiga per internetą: <http://www.priceindustries.com/products/section/m-silencers-acoustic-panels>
11. Randall F. Barron. Industrial Noise Control and Acoustics, Marcel Dekker Inc., 2003m.
12. RIRS 200VE EKO techninė specifikacija. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-04-18]. Prieiga per internetą: <http://salda.lt/lt/products/item/rirs-200ve-eko>
13. Volkovas V., Mikalauskas R. Techninės diagnostikos laboratoriniai darbai. Kaunas: KTU leidykla "Technologija", 2008.
14. Volkovas V., Žiedelis S. Mechaninių sistemų techninė diagnostika ir monitoringas: Mokomoji knyga. Kaunas: KTU leidykla "Technologija", 2000.
15. Standartas LST EN ISO 7235, „Akustika. Ortakių garso slopintuvų ir oro skirstytuvų laboratorinių matavimų procedūros. Įneštinis silpninimas, tekėjimo triukšmas ir visuminio slėgio sumažėjimas“
16. A Weighting [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-05-30]. Prieiga per internetą: <http://www.diracdelta.co.uk/science/source/a/w/aweighting/source.html#.VW5HN8-qr1Y>

PRIEDAI

1. RIRS 200 VE EKO techninė specifikacija

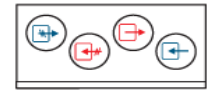
RIRS 200V EKO 3.0



RIRS 200VEL EKO
Air intake side (L- left convertible)



RIRS 200VER EKO
Air intake side (D- right convertible)



← Exhaust air
 → Extract air
 ← Fresh air
 → Supply air

Article No.	Version
GRERIRS2007	200VEL EKO Left-hand maintenance version with integrated electrical heater.
GAGRIRS055	200VER EKO Right-hand maintenance version with integrated electrical heater.

RIRS 200VE EKO	
Heater	-phase/voltage [50Hz/VAC] ~1, 230
	-power consumption [kW] 0,6
EC Fans	-phase/voltage [50Hz/VAC] ~1, 230
exhaust	-power/current [kW/A] 0,067 / 0,66
	-fan speed [min ⁻¹] 2300
supply	-power/current [kW/A] 0,069 / 0,65
	-fan speed [min ⁻¹] 2300
Motor protection class	IP-44
Thermal efficiency	80%
Max power consumption	[kW/A] 0,74 / 4,01
Automatic control	integrated
Filter class	-exhaust M5
	-supply M5
Thermal insulation	[mm] 20
Weight	[kg] 41,0
Comply with ERP 2013	+

Air flow temperature range from -20°C to +40°C
Designed for operation indoors only

200VE EKO	Lwa total, dB(A)	LWA, dB(A)						
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Supply	65	50	59	61	59	55	51	40
Extract	60	45	58	53	45	37	28	21
Surrounding	46	37	40	42	38	29	19	16

Measured at 214 m³/h, 100 Pa

Extract air = 20°C/60% RH - Outdoor air = -20°C/90% RH
Balance between supply air/extract air = 1.0

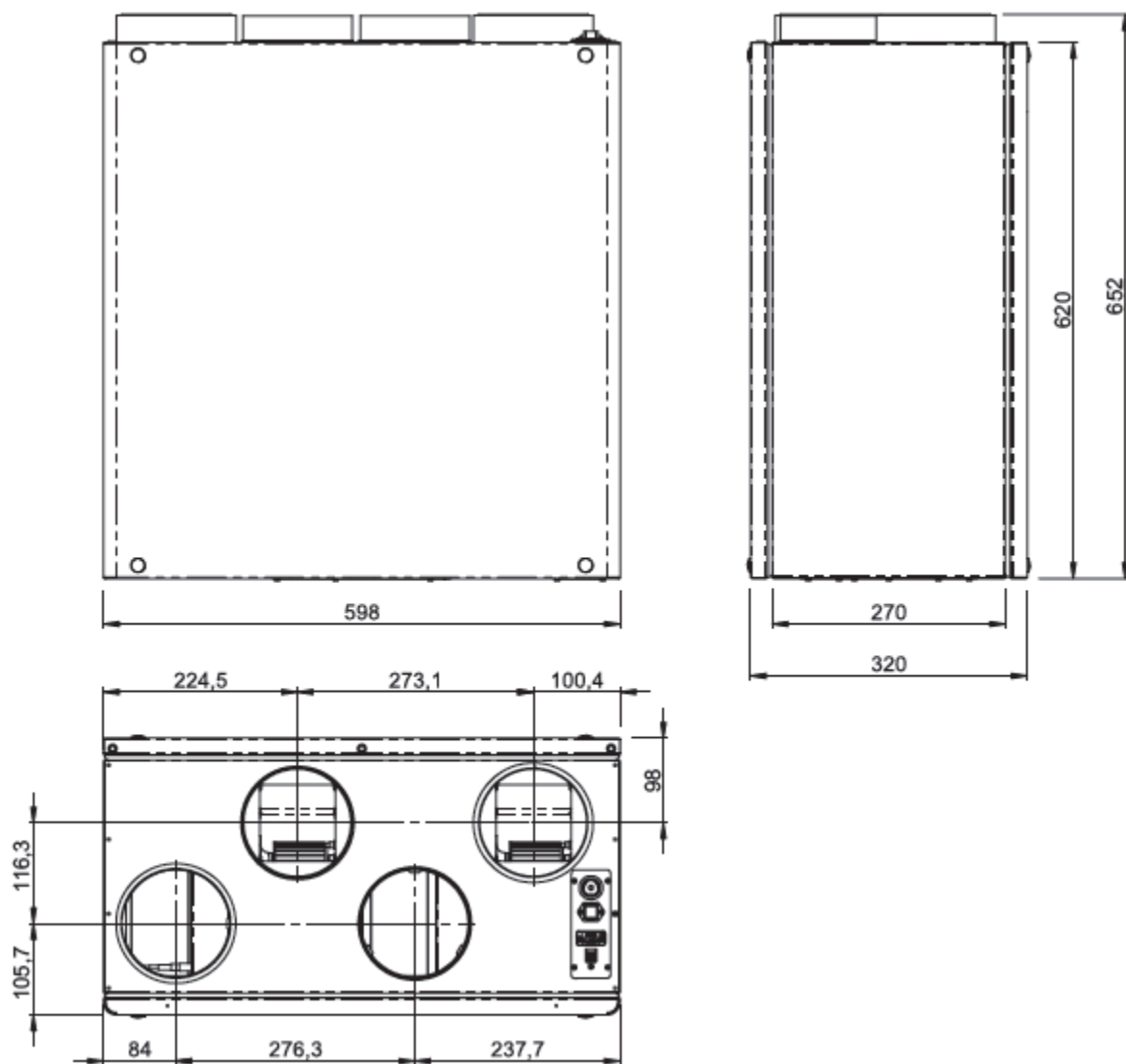
Temperature efficiency calculated according EN 308.

Accessories

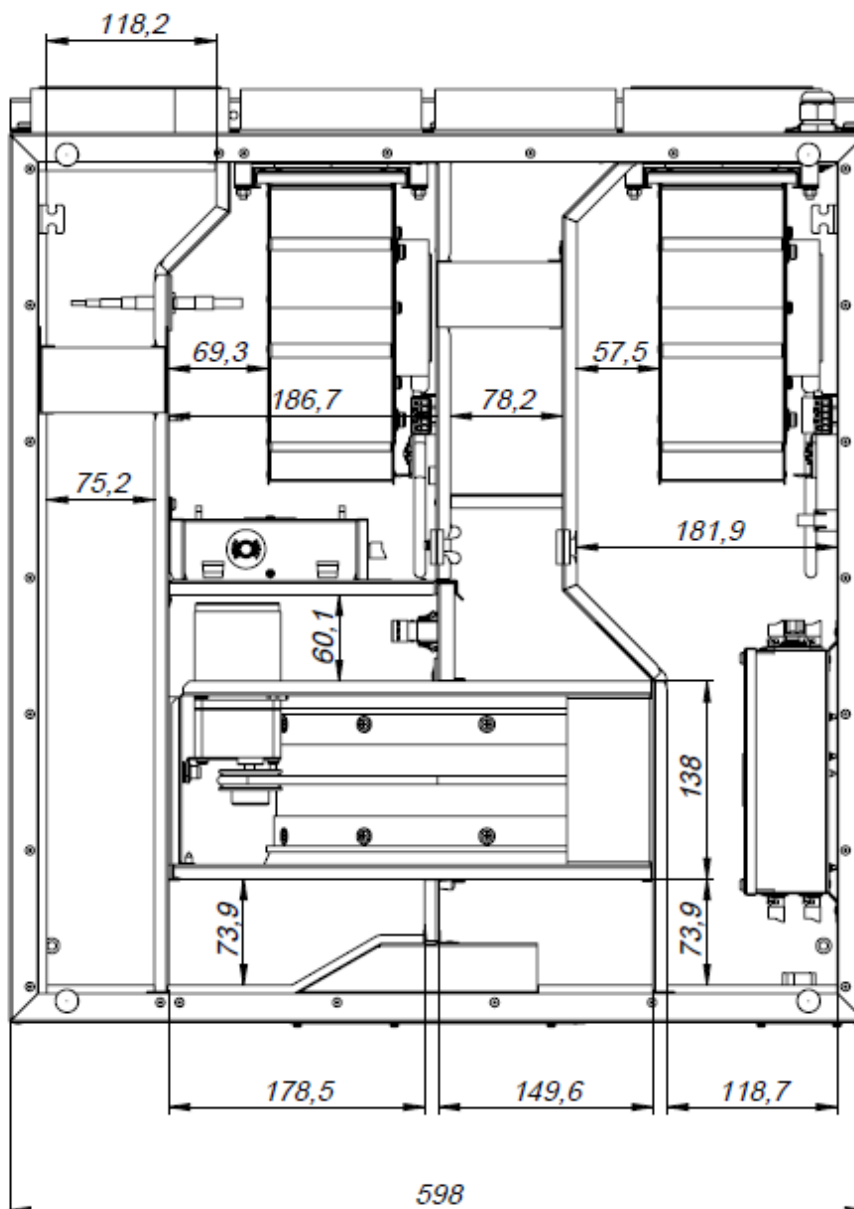


The company reserves the right to make changes of technical data without prior notice

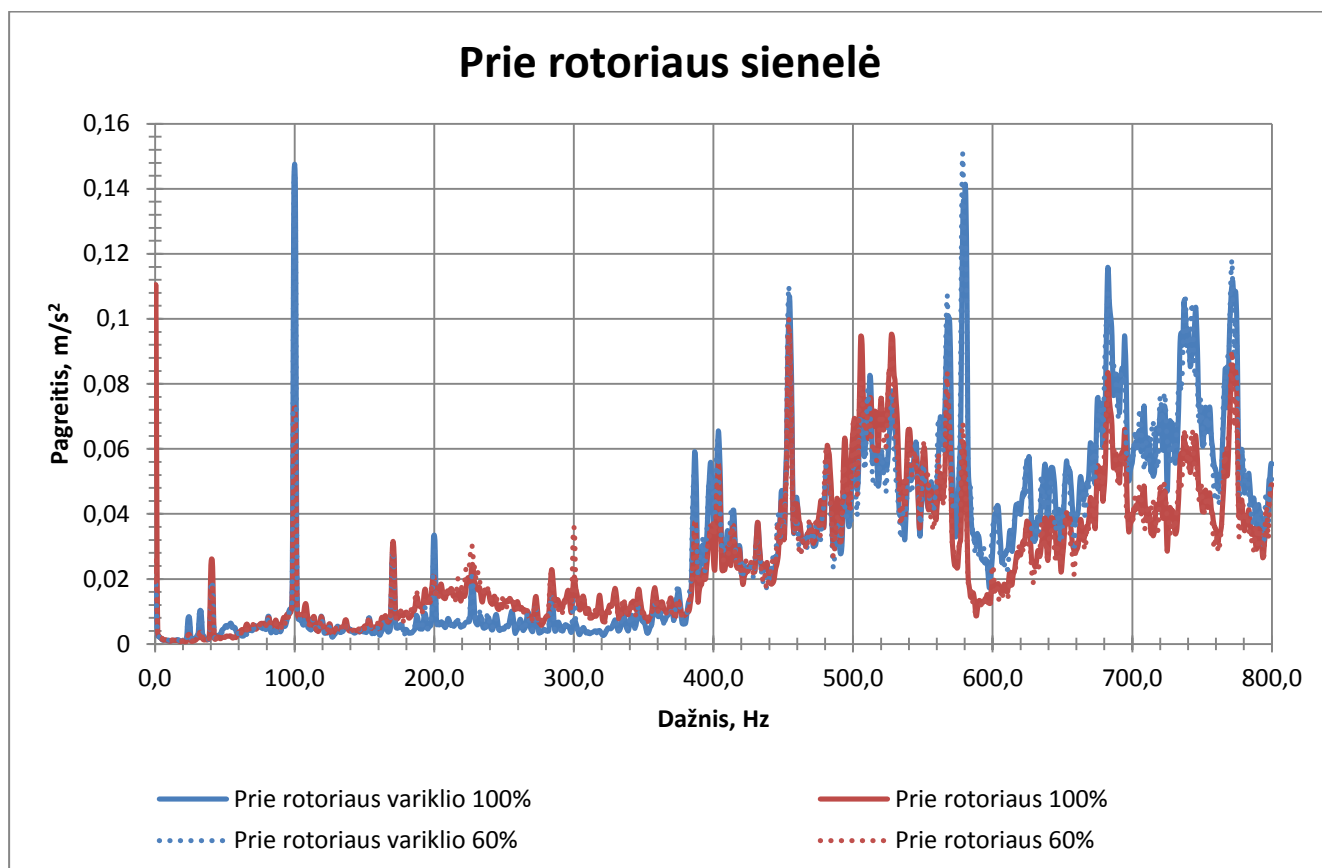
2. RIRS 200 VE EKO išorinio korpuso matmenys



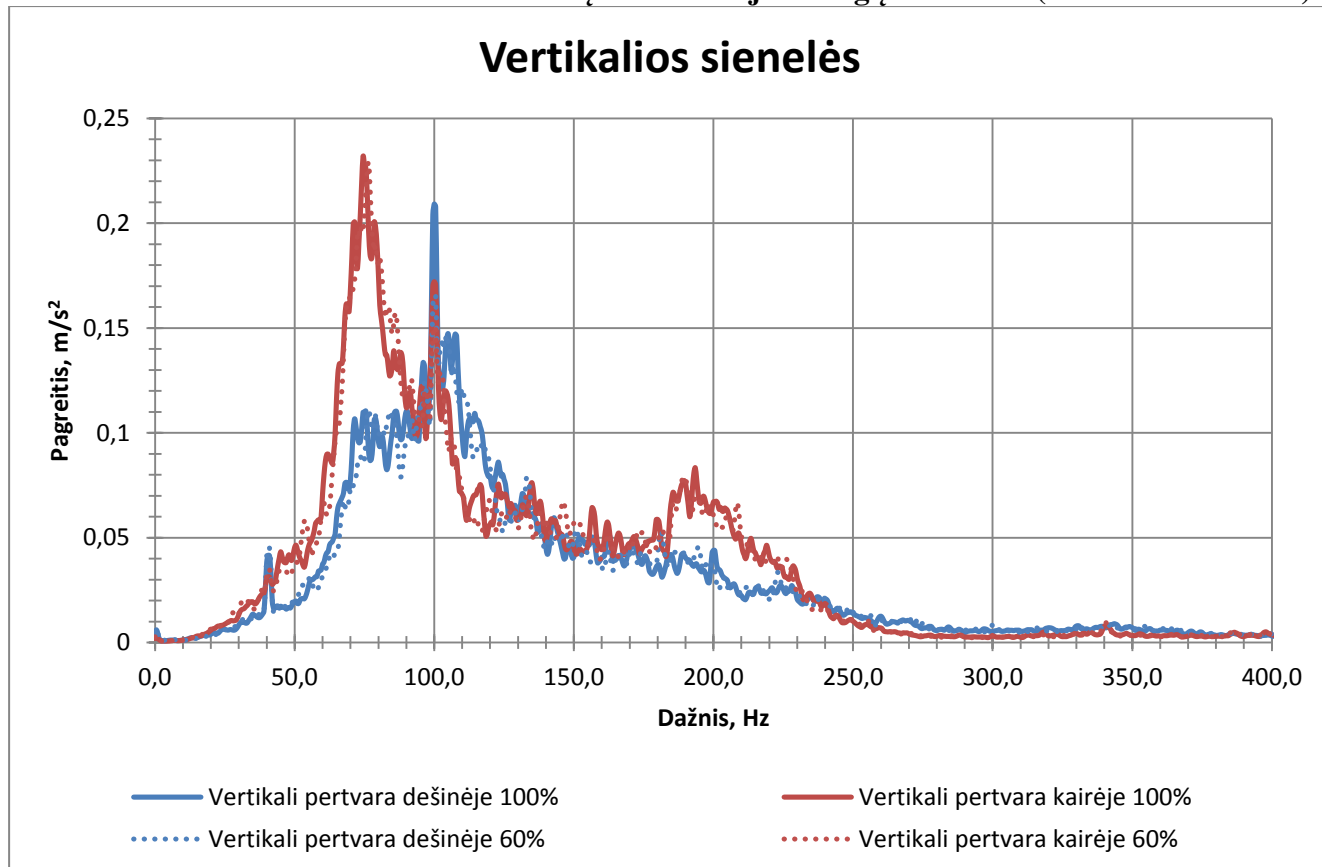
3. RIRS 200 VE EKO vidaus pertvarų matmenys



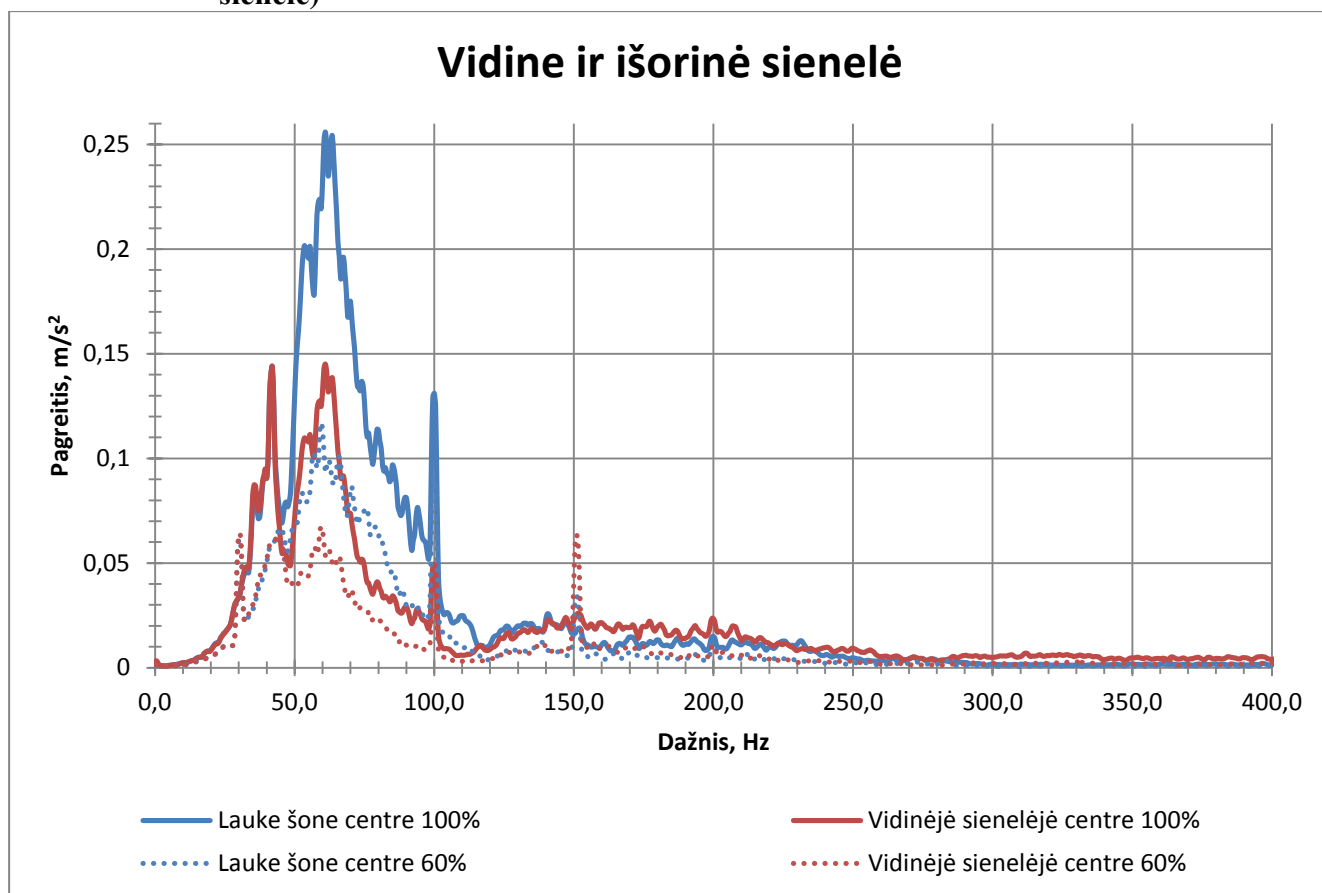
4. RIRS 200 VE EKO Vidinių konstrukcijos mazgų rezultatai (prie rotoriaus)



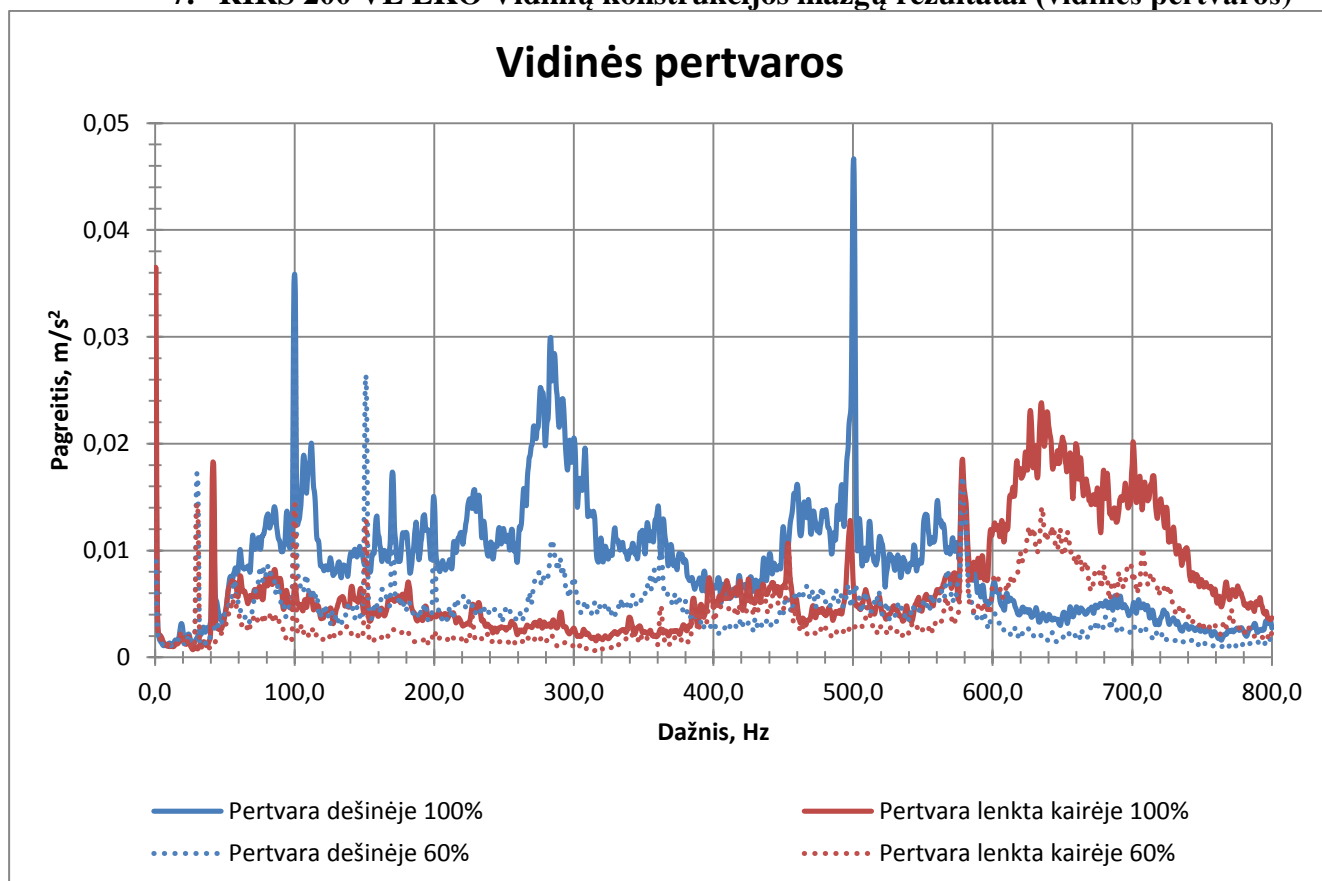
5. RIRS 200 VE EKO Vidinių konstrukcijos mazgų rezultatai (vertikalios sienelės)



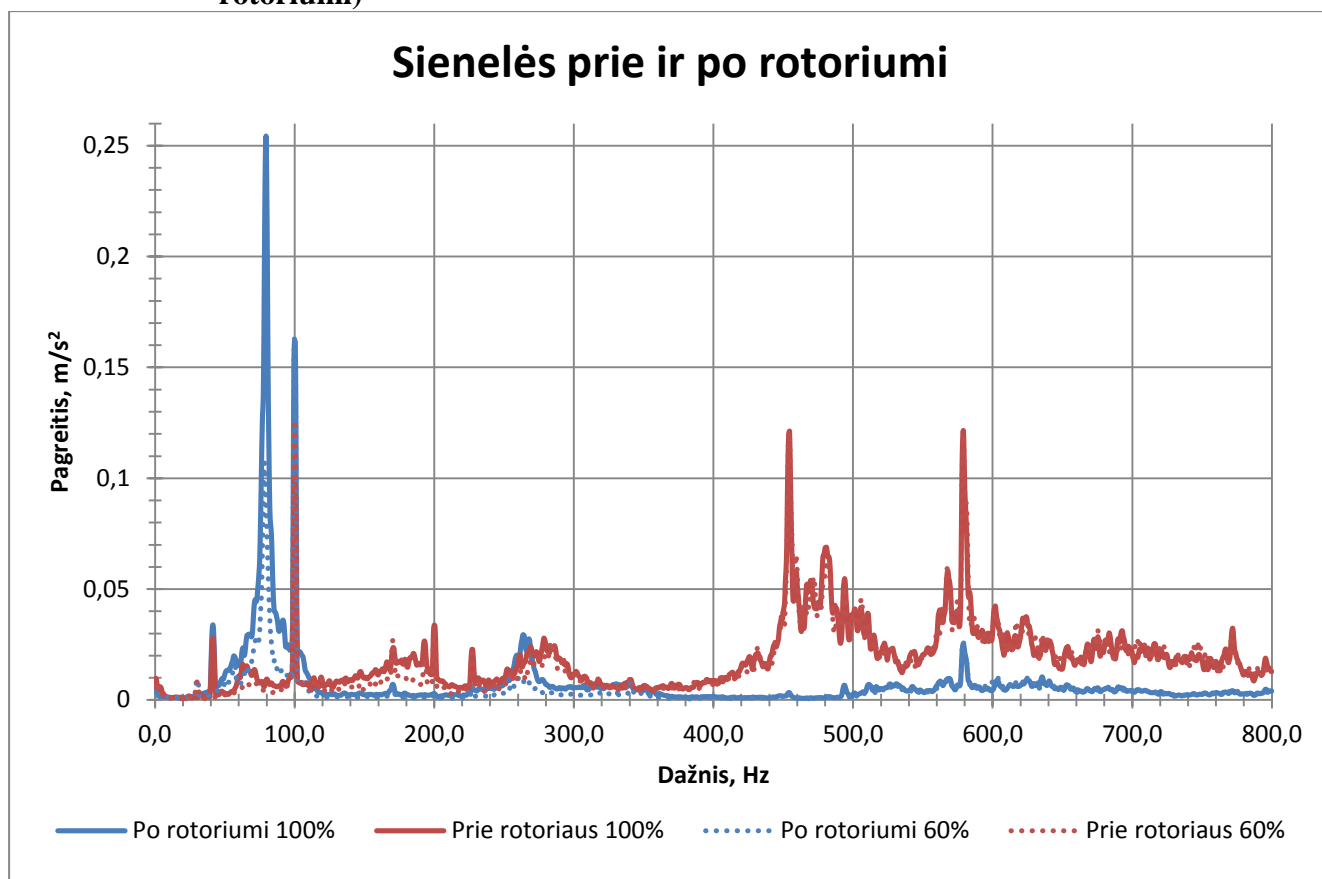
6. RIRS 200 VE EKO Vidinių konstrukcijos mazgų rezultatai (vidinė ir išorinė sienelė)



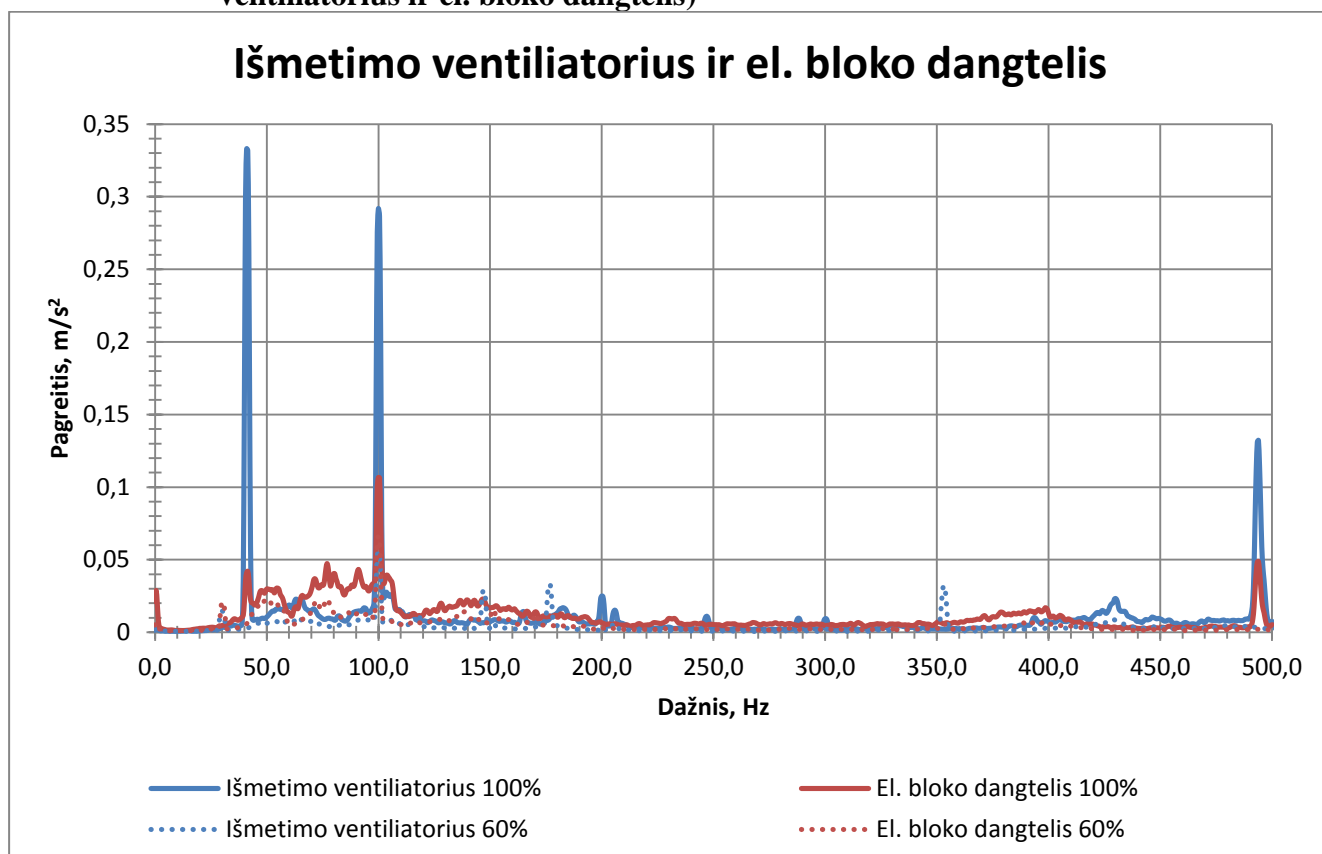
7. RIRS 200 VE EKO Vidinių konstrukcijos mazgų rezultatai (vidinės pertvaros)



8. RIRS 200 VE EKO Vidinių konstrukcijos mazgų rezultatai (sienelės prie ir po rotoriumi)



9. RIRS 200 VE EKO Vidinių konstrukcijos mazgų rezultatai (išmetimo ventiliatorius ir el. bloko dangtelis)



10. RIRS 200 VE EKO internetinė srautų parinkimo programa



RIRS 200VE EKO

Art.no: GAGRIRS055

Air handling units RIRS V EKO 3.0 have high efficiency rotor heat exchanger. AHU is used for ventilation of houses and other heated areas.

- Energy saving and low noise EC fans.
- Efficiency of rotor heat exchanger up to 80%.
- Integrated electrical heater optional water heating/cooling.

RIRS 200VE EKO
 RIRS 300VE EKO
 RIRS 400 VE EKO 3.0
 RIRS 400 VW EKO 3.0
 RIRS 700VW EKO 3.0
 RIRS 700VE EKO 3.0
 RIRS 1200 VE EKO 3.0
 RIRS 1200 VW EKO 3.0
 RIRS 1900 VE EKO 3.0
 RIRS 1900 VW EKO 3.0
 RIRS 2500 VE EKO 3.0

INPUT DATA

Conditions

Air flow
 Air flow (Supply) m³/h
 Air flow (Extract) m³/h

Pressure drop duct system
 External pressure (Supply) Pa
 External pressure (Extract) Pa

Climate data

	Winter	Summer
Fresh air temperature	-23 °C	32 °C
Fresh air relative humidity	90 %	60 %
Extract air temperature	20 °C	20 °C
Extract air relative humidity	60 %	60 %

Pre-Heater

HEATERS AND COOLERS CONDITIONS

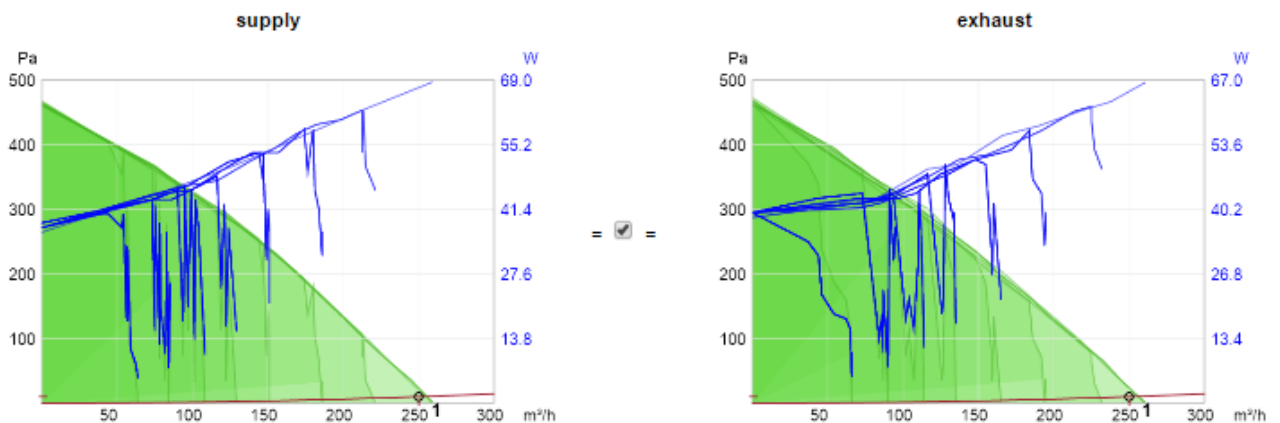
Water cooler

Water temp. in °C Ethylen glycol %
 Water temp. out °C Desired air temp. °C

Electrical heater

Temp. out °C

DIAGRAMS



11. RIRS 200 VE EKO ventiliatorių techninė specifikacija

R3G140-AW05-12

EC centrifugal fan

Motor: M3G055-CF



Technical description	
Mass	1.2 kg
Size	140 mm
Surface of rotor	Thick layer passivated
Material of electronics housing	Die-cast aluminium
Material of impeller	PP plastic
Direction of rotation	Clockwise, seen on rotor
Type of protection	IP 44
Insulation class	"B"
Humidity class	F3-1
Max. permissible ambient motor temp. (transp./storage)	+ 80 °C
Min. permissible ambient motor temp. (transp./storage)	- 40 °C
Mounting position	Any
Condensate discharge holes	Rotor-side
Cooling bore / aperture	On rotor sides
Operation mode	S1
Motor bearing	Ball bearing
Technical features	- Output 10 VDC, max. 1.1 mA - Tach output - Motor current limit - Soft start - Set value Input Lin 0-10 VDC / PWM (1.7 V corresponds to 50 m³/h, 10 V corresponds to 300 m³/h) - Control interface with SELV potential safely disconnected from the mains - Overtemperature protection for motor
EMC interference immunity	Acc. to EN 61000-6-2 (Industrial environment)
EMC harmonics	Acc. to EN 61000-3-2/3
EMC interference emission	Acc. to EN 61000-6-3 (household environment)
Touch current acc. IEC 60990 (measuring network Fig. 4, TN system)	≤ 3.5 mA
Motor protection	Thermal overload protector (TOP) wired internally
Cable exit	Variable
Protection class	I (if protective earth is connected by customer)
Product conforming to standard	EN 60335-1 / CE
Approval	EAC / CCC