



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

Jokūbas Baucė

**PRAMONINIŲ VIRTUVINIŲ GARŲ RINKTUVŲ
EKSPLOATACINIŲ CHARAKTERISTIKŲ TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Prof. dr. Romualdas Dundulis

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

Prof. dr. Vytautas Grigas

PRAMONINIŲ VIRTUVINIŲ GARŲ RINKTUVŲ
EKSPLOATACINIŲ CHARAKTERISTIKŲ TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Mechanikos inžinerija (kodas 621H30001)

Vadovas

Prof. dr. Romualdas Dundulis

Recenzentas

Doc. dr. Algimantas Balčius

Projektą atliko

Jokūbas Baucė

KAUNAS, 2015



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

Jokūbas Baucė

(Studento vardas, pavardė)

Mechanikos inžinerija, 621H30001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Pramoninių virtuvinių garų rinktuvų eksploatacinių charakteristikų tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2015 m. gegužės 29 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Jokūbo Baucės** baigiamasis projektas tema „Pramoninių virtuvinių garų rinktuvų eksploatacinių charakteristikų 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)

PADĖKA

Esu dėkingas įmonei UAB „Novameta“ ir jos direktoriui Mindaugui Jonuškiui už pasitikėjimą, palaikymą bei suteiktą galimybę naudotis įmonės resursais atliekant aktualius taikomuosius tyrimus.

Noriu padėkoti KTU cheminės technologijos fakulteto, aplinkosaugos technologijos katedros vedėjui profesoriui Linui Kliučininkui ir jaunesniajam moksliniam darbuotojui Edvinui Krugly už suteiktą galimybę naudotis katedros moksline baze bei pagalbą atliekant riebalų skirtuvų efektyvumo tyrimus.

Noriu padėkoti KTU mechanikos inžinerijos ir dizaino fakulteto, mechanikos inžinerijos katedros lektoriui Ramūnui Česnavičiui už pagalbą atliekant paviršiaus šiurkštumo nustatymo tyrimus.

Taip pat noriu padėkoti darbo vadovui profesoriui Romualdai Dunduliui už konsultacijas ir visokeriopą pagalbą rašant magistro baigiamąjį darbą.

TURINYS

SANTRAUKA	5
ĮVADAS	7
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	8
1.1 Pramoninių virtuvinių garų rinktuvų klasifikacija	10
1.1.1 Klasifikacija pagal paskirtį	10
1.1.2 Klasifikacija pagal konstrukcijos tipą.....	10
1.2 Pramoniniuose garų rinktuvuose naudojamų riebalų skirtuvų klasifikacija	12
1.3 Riebalų skirtuvų efektyvumo tyrimams naudojamų standartų apžvalga	16
1.3.1 ASTM F2519 standartas	17
1.3.2 VDI 2052 standartas.....	19
1.3.3 prEN 16282-6 standartas.....	20
2. TIRIAMOJI DALIS	22
2.1 Slėgio nuostolių garų rinktuvuose tyrimas baigtinių elementų metodu.....	22
2.1.1 Tyrimo metodika	24
2.1.2 Garų rinktuvo sienelių šiurkštumo tyrimas	26
2.1.2 Skaičiuojamųjų modelių sudarymas	28
2.1.3 Skaičiavimų rezultatai ir analizė.....	33
2.1.5 Rezultatų palyginimas su eksperimentiniais rezultatais ir išvados	45
2.2 Riebalų skirtuvų efektyvumo eksperimentinis tyrimas.....	46
2.2.1 Eksperimentinis standas ir tyrimo metodika.....	46
2.2.2 Rezultatai ir analizė.....	52
2.2.3 Išvados	54
IŠVADOS.....	55
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	56

Baucė, J. Evaluation of Characteristics of Commercial Kitchen Exhaust Hoods. *Master's* final project / supervisor prof. Romualdas Dundulis; Kaunas University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering and Design, Department of Mechanical Engineering.

Kaunas, 2015. 57 p.

SUMMARY

Commercial kitchens are subject to high heat loads, vapour, fumes, odours and various aerosols, which are generated during cooking processes. Studies have shown, that long term exposure to cooking emissions creates adverse health effects for kitchen workers.

To be able to control kitchen environment, improve thermal conditions and remove harmful cooking emissions, exhaust hoods are utilised. Inside an exhaust hood, separation of grease and condensate takes place in order to reduce ventilation maintenance costs and ensure that fire safety and hygienic requirements are met. A number of grease filtering techniques exist, however, the majority of hoods utilise single stage filtering using grease separators.

The goal of this study is to determine pressure drop and grease extraction efficiency characteristics of exhaust hoods produced by a Lithuanian manufacturer.

In this study, pressure drop characteristics of exhaust hoods with condensing plates and two different types of grease separators are determined. Pressure drop characteristics are essential for selection process of an exhaust fan. What is more, these characteristics are also used for determining exhaust hood air flow rate, so that ventilation engineers are able to adjust it to a required air flow rate.

A comparative study of 3 different types of grease separators are carried out in order to identify the most efficient type of separators by determining and comparing their fractional separation efficiencies. For this analysis, a special experimental stand is designed and utilized for testing.

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Tvirtinu:

Mechanikos inžinerijos _____
(parašas, data)

katedros vedėjas *Vytautas Grigas*

(vardas, pavardė)

MAGISTRO STUDIJŲ BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Studijų programa MECHANIKOS INŽINERIJA

Magistrantūros studijų, kurias baigus įgyjamas magistro kvalifikacinis laipsnis, baigiamasis darbas yra mokslinio tiriamojo ar taikomojo pobūdžio projektas, kuriam atlikti ir apginti skiriama 30 kreditų. Šiuo projektu studentas turi parodyti, kad yra pagilinęs ir papildęs pagrindinėse studijose įgytas žinias, yra 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 projektu bei jo gynimu studentas turi parodyti savo kūrybingumą, gebėti taikyti fundamentines mokslo žinias, socialinės bei komercinės aplinkos, teisės aktų ir finansinių galimybių išmanymą, informacijos šaltinių paieškos ir kvalifikuotos jų analizės įgūdžius, gilų nagrinėjamos temos supratimą, projektavimo ir inžinerinės analizės įgūdžius, informacinių technologijų naudojimo ir rašytinio bendravimo, taisyklingos kalbos vartosenos įgūdžius, gebėjimą tinkamai formuluoti išvadas.

1. Darbo tema: Pramoninių virtuvinių garų rinktuvų eksploatacinių charakteristikų tyrimas.

Patvirtinta 2015 m. gegužės mėn. 11 d. dekanų potvarkiu Nr. ST17-F-11-2.

2. Darbo tikslas: Atlikti UAB „Novameta“ gaminamų pramoninių ventiliacinių garų rinktuvų slėgio nuostolių rodiklių bei šiuose garų rinktuvuose naudojamų riebalų skirtuvų efektyvumo tyrimus.

3. Darbo struktūra: santrauka, įvadas, literatūros apžvalga, tiriamoji dalis, išvados, literatūros sąrašas.

4. Reikalavimai ir sąlygos: Darbe privalo būti grafiškai pateikti slėgio nuostolių rezultatai visiems įmonėje gaminamiems garų rinktuvų modeliams su skirtingais riebalų skirtuvų tipais. Rezultatus privaloma patikrinti eksperimentiškai. Darbe privalo būti pateikti trijų skirtingų riebalų skirtuvų efektyvumo palyginamojo tyrimo rezultatai.

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

6. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo darbo dalis

Išduota studentui Jokūbui Baucei

Užduotį gavau Jokūbas Baucė

(studento vardas, pavardė) (parašas, data)

Vadovas prof. Romualdas Dundulis

(pareigos, vardas, pavardė) (parašas, data)

IVADAS

Profesionaliose virtuvėse yra sudėtinga užtikrinti kokybišką aplinką, kadangi pramoninio maisto ruošimo proceso metu intensyviai išsiskiria nepageidaujama šiluma, garai su smulkiosiomis riebalų dalelėmis, smalkės [1]. Maisto ruošimo, t.y. jo terminio apdorojimo proceso metu riebalai intensyviai garuoja ir atitolę nuo šilumos šaltinio atšąla, jų molekulės kondensuojasi į labai smulkias skystas arba kietas daleles. Jų cheminė sudėtis gali būti įvairi, o dydis itin mažas – 0,1 - 100 mikronų [2]. Kietosios smulkiosios dalelės yra vienos iš didžiausių vidaus patalpų taršos sukėlėjų. Šios dalelės geba prasiskverbti giliai į žmogaus plaučius ir yra itin pavojingos sveikatai [3, 4]. Didžioji dalis išsiskiriančių kietųjų dalelių yra riebalinės kilmės, kurios kaupiasi virš terminio maisto apdorojimo įrangos ir didina gaisro pavojų, o šių dalelių sankaupos virtuvėse sukelia higienos problemas.

Ištraukiamoji ventiliacija yra būtina siekiant gerinti mikroklimato būklę, užtikrinti saugią ir komfortišką aplinką virtuvės darbuotojams bei įgyvendinti higienos normose ir standartuose keliamus reikalavimus. Pramoniniai garų rinktuvai yra plačiai naudojami profesionaliose virtuvėse, kaip viena iš pagrindinių ir efektyviausių priemonių siekiant mažinti nepageidajamų efektų įtaką ir gerinti virtuvėje esančio oro kokybę. Šie rinktuvai montuojami virtuvėse ir jų pagalba iš patalpos ištraukiami nepageidajami kvapai, šiluma, ore esančios kietosios dalelės ir drėgmė.

Šio darbo tikslas – nustatyti ir tarpusavyje palyginti visų UAB „Novameta“ gaminamų pramoninių virtuvinių garų rinktuvų pagrindines eksploatacines charakteristikas. Darbo uždaviniai – nustatyti slėgio nuostolių priklausomybes nuo ištraukiamo oro debito visiems garų rinktuvų tipams bei ilgiams, ir taipogi nustatyti bei palyginti garų rinktuvuose naudojamų riebalų skirtuvų riebalinių dalelių sulaikymo efektyvumą. Slėgio nuostolių charakteristikų tyrimas atliekamas pasitelkiant skaičiuojamąjį modeliavimą, naudojantis SolidWorks Flow Simulation programiniu paketu. Riebalų skirtuvų efektyvumas nustatomas atliekant eksperimentinius tyrimus suprojektuotame ir pagamintame eksperimentiniame stende.

Atlikti tyrimai turės didelę praktinę reikšmę – bus nustatytas efektyviausias garų rinktuvuose naudojamų riebalų skirtuvų tipas, o slėgio nuostolių priklausomybės leis ventiliacijos projektuotojams parinkti optimalius sistemai reikalingus ventiliatorius ir naudojantis nebrangia ir nesudėtinga įranga sureguliuoti pramoniniu garų rinktuvu ištraukiamo oro srauto debitą efektyviam darbui pagal teorinius skaičiavimus.

Riebalų skirtuvų efektyvumo tyrimas buvo pristatytas tarptautinėje konferencijoje „Mechanika 2015“.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

Siekiant užtikrinti saugų ir efektyvų darbą pramoninėse virtuvėse, atliekami vis išsamesni vidaus patalpų oro kokybės, šilumos poveikio įtakos tyrimai žmonių sveikatai, komfortui ir produktyvumui, vis didesnis dėmesys skiriamas patalpų mikroklimato kokybei. Pastaruoju metu atliekama vis daugiau tyrimų [3, 4] šia tema ir jų rezultatai rodo neigiamą įtaką virtuvės darbuotojų sveikatos būklei, ilgą laikotarpį dirbant virtuvėse užterštose kietosiomis dalelėmis. Maisto kepimo metu smulkiųjų kietųjų dalelių koncentracija patalpose viršija dešimtis kartų [2], lyginant su įprastine jų koncentracija atvirose erdvėse mieste. Išsiskiriančios kietosios dalelės kaupiasi virtuvėje, sudaro riebalų sankaupas ant virtuvėje esančių įrengimų ir maisto, taip pat didina gaisro pavojų.

Ištraukiamoji ventiliacija yra būtina siekiant gerinti mikroklimato būklę, užtikrinti saugią ir komfortišką aplinką darbuotojams bei įgyvendinti higienos normose ir standartuose keliamus reikalavimus. Pramoniniai garų rinktuvai (1.1 pav.) yra plačiausiai naudojami profesionaliose virtuvėse kaip viena iš pagrindinių ir efektyviausių priemonių mažinti nepageidaujamų efektų įtaką ir gerinti virtuvėje esančio oro kokybę. Šie garų rinktuvai montuojami virtuvėse virš terminės maisto ruošimo įrangos, indaplovių. Garų rinktuvai iš patalpos ištraukia nepageidaujamus kvapus, šilumą, ore esančias kietąsias daleles ir drėgmę.

Įrenginėjant ventiliacines sistemas sprendžiamas kompleksinis uždavinys. Projektavimo metu reikia parinkti tinkamą ventiliacinį gaubtą (tipą, gabaritus), taip pat optimalų oro ištraukimo ventiliatorių, kurio pagalba garų rinktuvas galėtų iš virtuvės ištraukti nepageidaujamus teršalus.

Egzistuoja daugybė pramoninių virtuvinių garų rinktuvų gamintojų, kurių siūlomi garų rinktuvai skiriasi konstrukciškai, taip pat savo funkcijų gausą. Jų funkcijos gali būti atliekamos nevienodai gerai, pavyzdžiui, kietųjų riebalinių dalelių filtravimo efektyvumas gali būti labai skirtingas. Būtina pažymėti ir tai, jog ventiliacinė sistema yra vienas iš didžiausių elektros energijos vartotojų virtuvėje. Projektuojant virtuvės ventiliacinę sistemą bei siekiant parinkti optimalų, efektyviai ir ekonomiškai veikiančią garų rinktuvą būtina žinoti jo įtaką ventiliacinės ištraukimo sistemos slėgio nuostoliams, jame naudojamų mechaninių riebalų skirtuvų efektyvumą. Šių charakteristikų nustatymo metodikos bei reikalavimai aprašomi Europos ir Jungtinių Amerikos Valstijų standartais, kurie bus apžvelgti tolimesniuose paragrafuose.



1.1 pav. Tipinė pramoninė virtuvė su centriniu garų rinktuvu [5]

Pramoniniai virtuviniai garų rinktuvai gaminami iš lakštinio plieno. Jų gamybai plačiausiai naudojamas nerūdijantis plienas, ši medžiaga rekomenduojama ir ruošiamame Europos standarte prEN 16282-2 [6], tačiau siekiant atpiginti garų rinktuvo konstrukciją jo gamybai gali būti naudojami cinkuoto plieno ar aliuminio lakštai. Pramoninių garų rinktuvų gabaritai gali būti labai įvairūs – jų ilgis gali kisti nuo 500 milimetrų iki praktiškai neriboto ilgio, kai rinktuvai sujungiami iš atskirų sekcijų. Praktikoje retai pasitaiko ilgesnių nei 10 metrų ilgio rinktuvų. Jų plotis įprastai būna tarp 1000 ir 3000 mm. Pramoniniai garų rinktuvai, skirtingai nuo buitinių garų rinktuvų, neturi savyje integruoto ištraukimo ventiliatoriaus ir yra prijungiami prie centralizuotos oro ištraukimo sistemos.

Pramoninių garų rinktuvų konstrukcija yra sudaryta iš dviejų pagrindinių dalių – gaubto ir riebalinių dalelių filtravimo elementų. Nuo maisto gamybos įrangos kylantis šiluminis pliūpsnis su riebalinėmis dalelėmis yra sulaikomas gaubte ir ištraukiamas iš virtuvės. Plačiausiai naudojami filtravimo elementai yra riebalų skirtuvai – jie efektyviai geba sulaikyti didžiąją dalį riebalinių dalelių ištraukiamo oro sraute. Riebalų skirtuvai yra montuojami gaubto viduje ir veikia kaip mechaninis barjeras sulaikantis ore esančias riebalines daleles. Skirtuvai sulaiko didžiąją dalį drėgmės ir riebalinių dalelių, tokiu būdu neleidžia užteršti ventiliacinės sistemos ir užterštam orui patekti į aplinką. Pramoniniuose garų rinktuvuose naudojami daugkartinio naudojimo riebalų skirtuvai. Dažniausiai jie gaminami iš lakštinio plieno ir projektuojami taip, kad juos būtų galima nesudėtingai

pakeisti ir plauti pramoninėje indaplovėje. Pramoniniai garų rinktuvai taip pat gali turėti papildomas integruotas funkcijas tiesiogiai nesusijusias su virtuvės ventiliacija – apšvietimą, priešgaisrinę sistemą, savaiminio riebalų skirtuvų išsiplovimo funkciją.

1.1 Pramoninių virtuvinių garų rinktuvų klasifikacija

Garų rinktuvai gali būti klasifikuojami įvairiai, tačiau pagrindinės jų skirstymo rūšys yra pagal paskirtį ir pagal konstrukcijos tipą [6].

1.1.1 Klasifikacija pagal paskirtį

Pagal paskirtį pramoniniai garų rinktuvai skirstomi į du tipus - garų rinktuvus skirtus riebalinių dalelių, garų ir smalkių surinkimui ir garų rinktuvus skirtus garų ir perteklinės šilumos surinkimui.

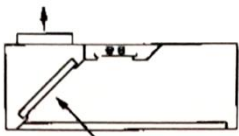
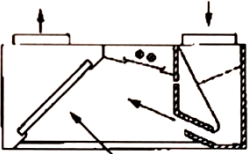
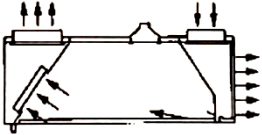
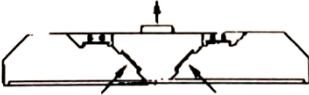

Garų rinktuvai skirti riebalinių dalelių, garų ir smalkių surinkimui. Šio tipo garų rinktuvai yra skirti riebalinių dalelių, garų ir smalkių surinkimui. Šie garų rinktuvai naudojami virš viryklių, kaitlenčių, orkaitių, krosnių, grilių ir pan., t.y. ten, kur maisto ruošimo metu išskiriamos riebalinės dalelės. Jie gali būti naudojami ir ten, kur išsiskiria tik garai ir perteklinė šiluma – virš indaplovių. Šio tipo garų rinktuvai komplektuojami kartu su riebalų filtravimo elementais.

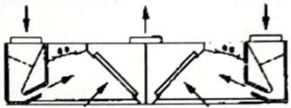
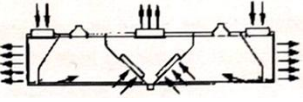
Garų rinktuvai skirti garų ir perteklinės šilumos surinkimui. Šio tipo garų rinktuvai skirti iš virtuvės šalinti tik garus ir perteklinę šilumą. Juose riebalinių dalelių filtravimo elementai nėra naudojami, tačiau jų vietoje gali būti montuojamos kondensacinės plokštės, skirtos surinkti garų kondensatui. Paprastai šio tipo rinktuvai naudojami virš indaplovių, tačiau kartais gali būti naudojami virš krosnių, garintuvų ar katilų, kurie neišskiria riebalinių dalelių.

1.1.2 Klasifikacija pagal konstrukcijos tipą

Pagal konstrukcijos tipą pramoniniai garų rinktuvai gali būti klasifikuojami į 7 pagrindinius tipus, nurodytus 1 lentelėje. Šioje lentelėje pateikti vieni iš plačiausiai naudojamų garų rinktuvų tipų, tačiau jomis neapsiribojama. Galimos įvairios šių konstrukcijų variacijos, pavyzdžiui, šviežias oras gali būti tiekiamas per perforuotą gaubto apatinę plokštumą, sukuriant “oro užuolaidą”.

1 lentelė. Virtuvinių garų rinktuvų klasifikacija pagal konstrukciją [6]

Nr.	Garų rinktuvo tipas	Specifikacija
1.	 <p>Priesienis garų rinktuvas su oro ištraukimo funkcija.</p>	<p>Tai yra paprasčiausios konstrukcijos garų rinktuvas. Garų rinktuvo gaubtai gali būti ir trapecijos formos.</p>
2.	 <p>Priesienis garų rinktuvas su oro ištraukimo ir oro tiekimo į gaubtą funkcijomis.</p>	<p>Literatūroje nurodoma, jog šio tipo garų rinktuvai geba efektyviau sulaikyti šiluminį pliūpsnį gaubte esant mažesniai ištraukiamo oro debitui, kai iš apatinės gaubto plokštumos tiekiamas papildomas oras nedideliu greičiu. Teigiama, jog reikalingi mažesni oro ištraukimo debitai išlaikant tokį pat gaubto efektyvumą, todėl šie rinktuvai taupo elektros energijos sąnaudas. Vis dėlto, naujausi tyrimai [7] teigia, jog ši funkcija nepadaeda garų rinktuvui veikti efektyviau, o netgi priešingai.</p>
3.	 <p>Priesienis garų rinktuvas su oro ištraukimo, oro tiekimo į gaubtą ir kompensacinio oro tiekimo funkcijomis.</p>	<p>Šio tipo rinktuvai papildomai geba tiekti kompensacinį šviežią orą per perforuotą priekinį garų rinktuvo skydą. Tiekiamas šviežias oras tiesiogiai virš darbo vietos mažu greičiu ir dideliu debitu nesutrikdo šiluminio pliūpsnio ir todėl garų rinktuvas gali efektyviai sulaikyti ir ištraukti nepageidaujamus teršalus iš virtuvės.</p>
4.	 <p>Centrinis garų rinktuvas su oro ištraukimo funkcija</p>	<p>Tai yra tipinis pramoninio garų rinktuvo, montuojamo virtuvės viduryje, variantas.</p>
5.	 <p>Centrinis garų rinktuvas su oro ištraukimo funkcija (ištraukimas šonuose)</p>	<p>Šis tipas yra kiek rečiau pasitaikantis pramoninio garų rinktuvo, montuojamo virtuvės viduryje, variantas. Garų rinktuvai su kondensacinėmis plokštėmis dažniausiai būna šio tipo.</p>

Nr.	Garų rinktuvo tipas	Specifikacija
6.	 <p data-bbox="320 394 671 595">Centrinis garų rinktuvas su oro ištraukimo ir oro tiekimo į gaubtą funkcijomis.</p>	Šio garų rinktuvo veikimo principas yra analogiškas 2 tipo rinktuvui.
7.	 <p data-bbox="320 734 671 936">Priesienis garų rinktuvas su oro ištraukimo, oro tiekimo į gaubtą ir kompensacinio oro tiekimo funkcijomis.</p>	Šio garų rinktuvo veikimo principas yra analogiškas 3 tipo rinktuvui.

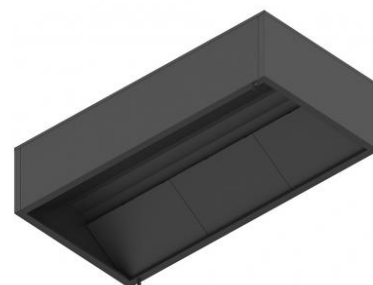
Šio darbo tyrimų objektai – UAB „Novameta“ gaminami priesieniai „HNPD“ tipo (1.2 pav.), centriniai garų rinktuvai „HNCD“ (1.3 pav.) su riebaliniais filtrais bei kondensaciniai garų rinktuvai „HKCD“ skirti indaplovės zonoms (1.4 pav.).



1.2 pav. Priesienis „HNPD“ garų rinktuvas



1.3 pav. Centrinis „HNCD“ garų rinktuvas



1.4 pav. Kondensacinis „HKCD“ garų rinktuvas

1.2 Pramoniniuose garų rinktuvuose naudojamų riebalų skirtuvų klasifikacija

Pramoniniuose virtuviniuose garų rinktuvuose riebalų dalelės gali būti filtruojamos vienu arba dviem lygiais. Pirminis riebalinių dalelių atskyrimas iš oro srauto atliekamas riebalų skirtuvais. Riebalų skirtuvas yra mechaninis įrenginys, pro kuri tekėdamas oro srautas staigiai keičia savo kryptį,

tuo tarpu jame esančios riebalų dalelės prikimba prie riebalų skirtuvo. Tokiu būdu itin efektyviai atskiriamos didesnės nei 10 mikrometrų skersmens riebalų dalelės.

Kartu su riebalų skirtuvais garų rinktuvuose gali būti naudojami ir antriniai riebalinių dalelių filtravimo įrenginiai, pavyzdžiui, filtravimas UV šviesa, elektrostatinis filtravimas, filtravimas vandens dulksna. Šie įrenginiai leidžia dar efektyviau sulaikyti riebalines daleles prieš joms patenkant į ventiliacinę sistemą.

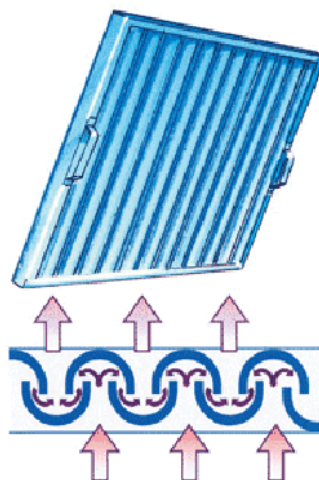
Cikloniniai riebalų skirtuvai. Viena iš efektyviausių mechaninių riebalų skirtuvų rūšių - cikloniniai riebalų skirtuvai [8]. Jų konstrukcija ir veikimo principas parodytas 1.5 pav. – dėka skirtuvo cikloninių celių formos, pro skirtuvą traukiamas oro srautas pradeda spiralės trajektorija judėti link mažesnio slėgio zonos, tuo tarpu, didžioji oro sraute esančių riebalų dalelių (pradedant nuo maždaug 1 mikrometro skersmens) dalis, oro srautą veikiant išcentrinei jėgai, prilimpa prie skirtuvo sienelių. Šie skirtuvai yra daugkartinio naudojimo (plaunami indaplovėje), neužsikemša ir nepraranda oro srauto pralaidumo charakteristikų esant dideliame riebalinių dalelių kiekiui pro skirtuvą praeinančiame oro sraute. Skirtuvai garų rinktuve tvirtinami kampu, todėl visos ant jo sienelių surinktos riebalinės dalelės, dėka gravitacijos, nusėda į tam skirtą riebalų surinkimo lataką.



1.5 pav. Oro srauto judėjimas cikloniniame riebalų skirtuve [9]

Labirintiniai riebalų skirtuvai. Labai plačiai naudojami ir labirintiniai (angl. baffle) riebalų skirtuvai. Jų veikimo principas pagrįstas dideliu pro skirtuvą praeinančio oro srauto krypčių keitimu. Tekėdamas per skirtuvą oras privalo kardinaliai keisti trajektoriją, tačiau dalelės oro sraute yra inertiškos ir dideliu greičiu trenkiasi ir prilimpa prie skirtuvo sienelių. Šie riebalų skirtuvai, kaip ir cikloniniai, yra puikiai tinkami didesnių riebalų dalelių filtravimui, tačiau jų efektyvumas paprastai krenta filtruojant mažo skersmens riebalų daleles dėl jų mažos inercijos. Atlikti įvairūs tyrimai rodo, kad cikloninių filtrų efektyvumas yra didesnis už labirintinių [8]. Filtravimo efektyvumą cikloniniams ir labirintiniams riebalų skirtuvams taipogi galima kelti didinant oro srauto greičius, tačiau tuomet didėja gaubto slėgio nuostoliai, dėl ko ženkliai pakyla elektros energijos sąnaudos. Taipogi, kai

kuriais atvejais, pernelyg didelis srauto greitis gali sukelti nepageidaujamą triukšmą. Dėl šių faktorių egzistuoja tam tikros oro srauto greičio ribos.



1.6 pav. Labirintinis riebalų skirtuvas ir oro srauto judėjimas pro jo pjūvį [8]

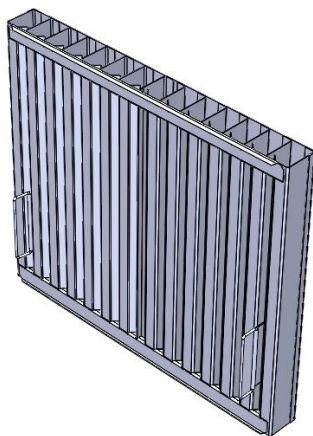
Tinkleliniai riebalų skirtuvai. Tinklelinių riebalų skirtuvų veikimo principas pagrįstas oro srauto tekėjimu per tankų tinklelį. Tankus tinklelis efektyviai sulaiko riebalų daleles, tačiau šio tipo skirtuvai turi daug neigiamų savybių – jie labai greitai užsikemša, todėl slėgio nuostoliai laikui bėgant didėja, juos reikia dažnai plauti, o taip pat ant jų paviršiaus besikaupiantys riebalai didina gaisro pavojų. Šio tipo skirtuvai nėra rekomenduojami naudojimui profesionaliose virtuvėse.



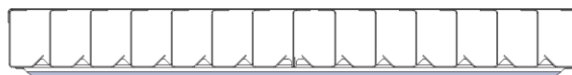
1.7 pav. Tinkleliniai riebalų skirtuvai [10]

Šiame darbe bus tiriami UAB „Novameta“ gaminami dviejų tipų cikloniniai riebaliniai skirtuvai „Y-RGU“ (1.8 pav.) bei „Y-RGN“ (1.9 pav.). Taip pat bus tiriamas ir kito gamintojo labirintinis riebalų skirtuvas (1.10 pav.). Visų tiriamų riebalų skirtuvų gabaritiniai matmenys

sutampa. Jų ilgis – 500 mm, o aukštis – 430 mm. „Y-RGN“ tipo riebalų skirtuvai buvo suprojektuoti siekiant pagerinti riebalinių dalelių filtravimo efektyvumą lyginant su „Y-RGU“ riebalų skirtuvu. Cikloninio riebalų skirtuvo celėse oro srautą ir jame esančias riebalų daleles veikia išcentrinė jėga, kurios dydis iš esmės ir apsprendžia riebalų skirtuvo efektyvumą. Projektuojant šį skirtuvą buvo daroma prielaida, kad dėka užapvalintos skirtuvo celių formos, susidaro didesni vietiniai greičiai ir dėl to galimai padidėja išcentrinė jėga, esant analogiškam per riebalų skirtuvą praeinančio srauto debitui ir panašioms slėgio nuostoliams. Kita daroma prielaida – celių forma yra artimesnė realiai srauto tėkmės trajektorijai, dėl to didėja paviršiaus plotas tiesiogiai kontaktuojantis su oro srautu. Daroma prielaida, kad dėka šių priežasčių, riebalų skirtuvas galėtų būti efektyvesnis. Vienas iš šių tyrimų tikslų, būtent ir yra palyginti šių trijų riebalų skirtuvų tipų efektyvumo rodiklius.

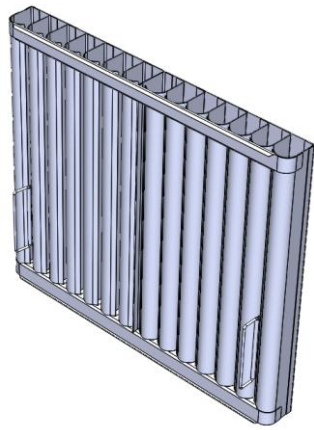


a)

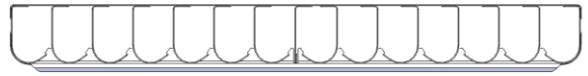


b)

1.8 pav. Y-RGU riebalų skirtuvas. a) Bendras skirtuvo vaizdas, b) skirtuvo pjūvis, kuriame matoma celių forma

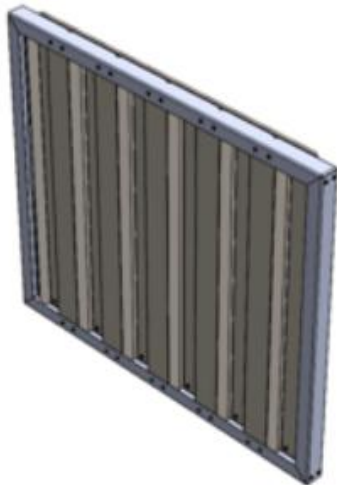


a)



b)

1.9 pav. Y-RGN riebalų skirtuvas. a) Bendras skirtuvo vaizdas, b) skirtuvo pjūvis, kuriame matoma celių forma



a)



b)

1.10 pav. Labirintinis riebalų skirtuvas. a) Bendras riebalų skirtuvo vaizdas, b) riebalų skirtuvo pjūvis, kuriame matomas skirtuvo kliūčių išdėstymas

1.3 Riebalų skirtuvų efektyvumo tyrimams naudojamų standartų apžvalga

Riebalų skirtuvų efektyvumas yra viena iš pagrindinių garų rinktuvo charakteristikų. Riebalų skirtuvų efektyvumas lemia į ventiliacinę sistemą ir aplinką patenkančių teršalų kiekį. Naudojant efektyvius riebalų skirtuvus, ortakių valymas gali būti atliekamas rečiau – taupomos išlaidos valymui, mažėja prastovų laikas. Šiuo metu pasaulyje egzistuoja 3 standartizuotos metodikos, kuriomis

naudojantis galima nustatyti ir palyginti skirtingų riebalų skirtuvų efektyvumą. Tai yra JAV galiojantis ASTM F2519 [11], Vokietijos VDI 2052 [12] ir Europos standartas prEN 16282-6 [6], kuris buvo pradėtas ruošti 2010 metais, tačiau vis dar yra projektinėje stadijoje ir nėra galutinai patvirtintas.

1.3.1 ASTM F2519 standartas

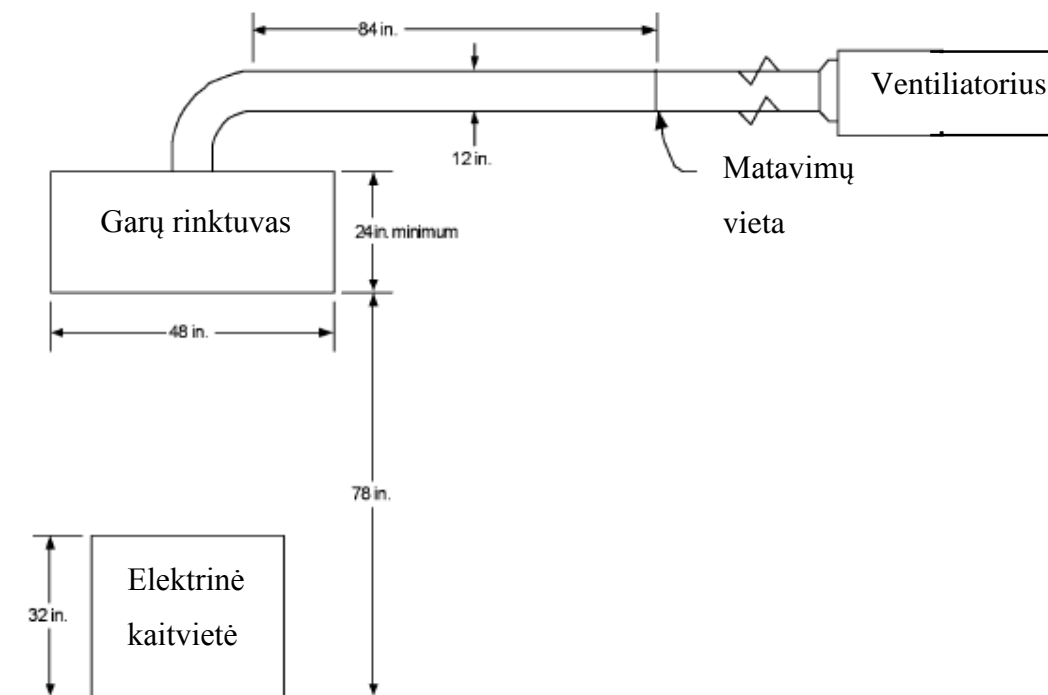
Šis standartas itin išsamiai nurodo bandymų metodiką, naudojamą įrangą, leidžiamas įrangos bei bandymų paklaidas. Standartas buvo kuriamas ne vienerius metus, ruošiant šį standartą buvo atlikta daug tyrimų Minesotos universitete [13].

Bandymų įrangos išdėstymas apibrėžiamas schema (1.11 pav.). Matavimams privalo būti naudojamas 1200 mm (48 colių) ilgio ir pločio pramoninis garų rinktuvas, kurio aukštis – 610 mm (24 coliai), įrengtas 2000 mm aukštyje nuo grindų. Tarpas tarp garų rinktuvo apatinės plokštumos ir kaitvietės – 1170 mm. Riebalų skirtuvai garų rinktuve privalo būti įrengti standartinėje eksploatacinėje pozicijoje. Mėginių ėmimo vieta ortakyje – 2134 mm (84 coliai) nuo ortakio alkūnės (7 ortakio diametrai). Naudojamas ventiliatorius turi gebėti traukti 1600 m³/h oro debitą per bandymams naudojamą įrangą. Kompensacinis oras privalo būti tiekiamas nesutrikdant oro srautų šalia garų rinktuvo. Tiekiamo oro temperatūra – 21 °C, santykinis drėgnumas 50 ± 20 %. Kaitvietė privalo palaikyti 191 ± 3 °C (375 ± 5 °F) pastovią temperatūrą ir būti įrengta ties gaubto centru.

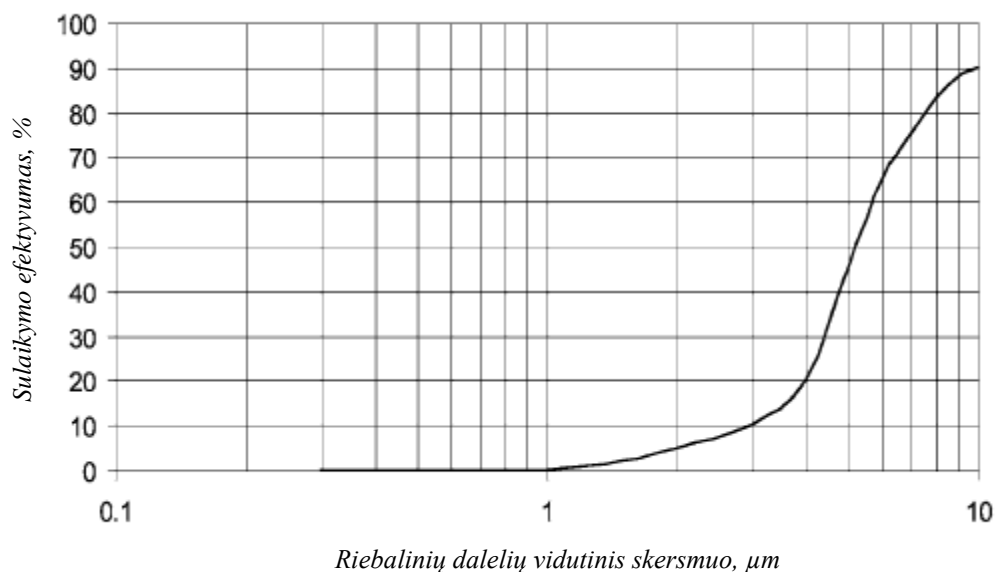
Garų rinktuvas prijungiamas prie 12 colių (305 mm) apvalaus ortakio. Tyrimams naudojamas oro srauto debitas – 250 kubinių pėdų per minutę, tenkančių vienai pėdai pramoninio virtuvinio garų rinktuvo ilgio. Tai būtų lygu 1393,54 m³/h, tenkančių 1 m garų rinktuvo ilgio. Taip pat nurodoma, kad tyrimai gali būti atliekami ir naudojant gamintojo rekomenduojamą oro srauto debitą.

Riebalų skirtuvų efektyvumas nustatomas lyginant dalelių koncentracijos matavimų rezultatus ortakyje su įrengtais skirtuvais ir be jų. Tyrimams atlikti naudojamos oleino rūgšties dalelės, nuo 0,3 μm iki 10 μm diametro, išgautos naudojantis aerosolio generatoriumi. Aerosolis tiekiamas vertikaliai gaubto kryptimi, iš virš kaitvietės centrinės dalies, 280-330 mm virš jos esančio aerosolio generatoriaus. Dalelių registravimui naudojami optiniai arba aerodinaminiai dalelių skaičiuotuvai.

Gaunama riebalų dalelių sulaikymo efektyvumo priklausomybė nuo riebalinių dalelių dydžio (1.12 pav.).



1.11 pav. Bandymų įrangos išdėstymo schema



1.12 pav. Tipinė riebalų skirtuvų efektyvumo nuo dalelių skersmens priklausomybė, gaunama atlikus bandymus pagal ASTM F2519 standartą

Debito matavimui gali būti naudojami įvairūs metodai. Taip pat privalo būti fiksuojamas aplinkos slėgis, drėgnumas, srauto, kompensacinio ir aplinkos oro temperatūros. Tyrimams naudojami riebalų skirtuvai privalo būti nauji.

Tyrimai atliekami tokia tvarka: pirmiausia nustatomi slėgio nuostolių parametrai, vėliau tiriamas dalelių sulaikymo efektyvumas. Dalelių sulaikymo efektyvumui nustatyti atliekami matavimai be oro riebalų skirtuvų ir su jais. Iš gautų rezultatų apskaičiuojamas dalelių sulaikymo efektyvumas (%), esant skirtingiems dalelių dydžiams ir gaunama riebalinių dalelių efektyvumo priklausomybė skirtingiems dalelių dydžiams.

$$\text{Sugavimo efektyvumas} = \left(1 - \frac{\text{Dalelių koncentracija su riebalų skirtuvais}}{\text{Dalelių koncentracija be riebalų skirtuvų}} \right) \times 100$$

1.3.2 VDI 2052 standartas

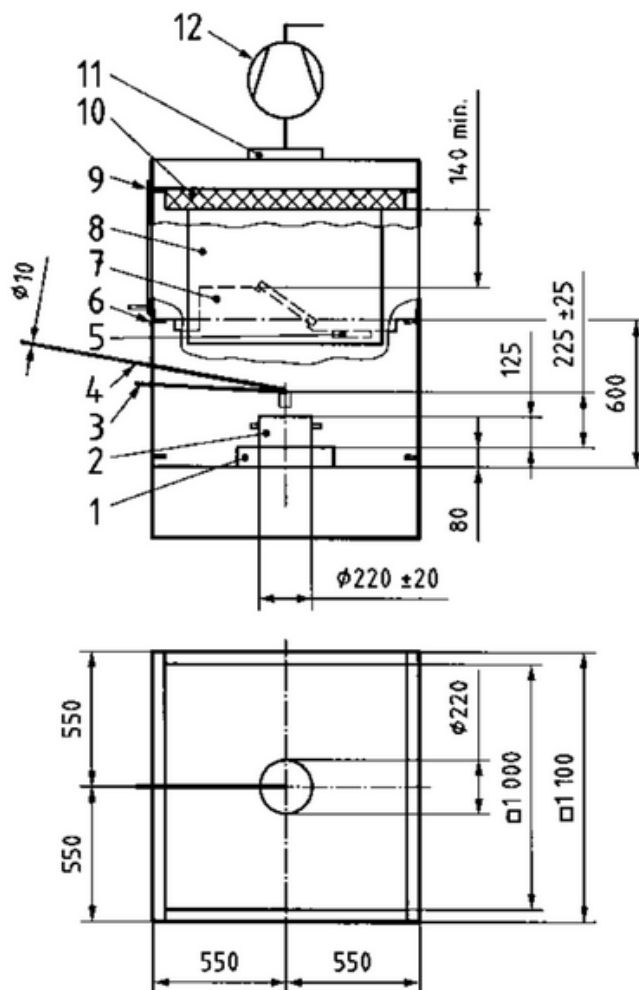
Atliekant tyrimus pagal šį standartą gaunamas rezultatas – analogiška kreivė gaunamai atliekant tyrimus pagal ASTM F2519 standartą. Ši kreivė parodo kokią dalį konkretaus dydžio dalelių geba sulaikyti riebalų skirtuvai. Šiuo atveju, ji gaunama lyginant dalelių koncentracijas prieš ir už riebalų skirtuvo (dalelių koncentracija gali būti dalelių masės arba dalelių skaičiaus koncentracija):

$$\text{Sugavimo efektyvumas} = \left(1 - \frac{\text{Dalelių koncentracija už riebalų skirtuvų}}{\text{Dalelių koncentracija prieš riebalų skirtuvus}} \right) \times 100$$

Standartas nenurodo kokio dydžio privalo būti garų rinktuvo ir kitos įrangos schematinis išsidėstymas. Nurodoma, jog bandymų kameroje įtvirtintas skirtuvas (tvirtinimas privalo būti analogiškas naudojamam realiomis sąlygomis gaubte) ir į jo priekinę dalį purškiamas riebalinis aerosolis. Aerosolis privalo būti tolygiai paskirstytas tolygiai per riebalų skirtuvo paviršiaus plotą, su didžiausiu 10% nuokrypiu. Matavimų metu aerosolis privalo būti tiekiamas esant 100 mg/m³ koncentracijai. Kiekvienas bandymas privalo trukti 20 minučių. Kartu vyksta ir slėgio nuostolių matavimas. Bandymams naudojamo oro srauto temperatūra privalo būti 25 ± 5 °C, o santykinis oro drėgnumas 50 ± 10 %. Bandymų aerosolis privalo būti riebalinės kilmės (pavyzdžiui, oleino rūgštis, parafino aliejus), kurio klampa tarp 10-80 MPa. Jis tolygiai paskirstomas naudojant vienu iš VDI 3491 standarte nurodytu skysčio purškimo būdų. Matavimai atliekami naudojant įrangą, kuri geba matuoti smulkiąsias daleles reikalingame diapazone. Matavimams gali būti naudojami optiniai dalelių skaitikliai arba kaskadiniai dalelių skaitikliai (impaktoriai). Matavimai atliekami prie didžiausio, mažiausio ir vidutinio gamintojo instrukcijoje nurodyto rekomenduojamo debito. Jei nurodytas tik nominalus debitas, matavimai atliekami prie 80 %, 100 % ir 120 % nominalaus debito.

1.3.3 prEN 16282-6 standartas

Šis standartas vis dar nėra oficialiai patvirtintas ir yra ruošimo/tikrinimo stadijoje. Skirtingai nei VDI ir ASTM standartuose, šis standartas riebalų skirtuvų efektyvumą siūlo nustatyti gravimetriniu būdu.



1.13 pav. Bandymų įrangos išdėstymo schema

1.13 pav. parodytas bandymų įrangos išdėstymas – kaitvietė 1, puodas 2, įrenginys distiliuoto vandens dozavimui 3, įrenginys aliejaus dozavimui 4, riebalų surinkimo rezervuaras 5, tvirtinimo elementas 6, riebalų skirtuvas 7, langas bandymo eigos stebėjimui 8, tarpinė 9, absoliutinis filtras 10, ortakio pajungimo flanšas 11, ventiliatorius 12.

Riebalų skirtuvų padėtis privalo būti analogiška realiomis sąlygomis naudojamų skirtuvų padėčiai. Schemoje nurodyti matmenys, kuriuos bandymų stendas privalo atitikti.

Tyrimams naudojamas $80 \pm 5 \text{ mm}^2/\text{s}$ klamos ($20 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatūroje) kukurūzų aliejus, kuris turi būti lašinamas į įkaitintą puodą $1,6 \text{ ml}/\text{min}$ (apie 45 lašeliai per minutę) dažniu. Kartu su aliejumi, į tą patį puodą, lašinamas ir distiliuotas vanduo, $2,3 \text{ ml}/\text{min}$ (80 lašelių per minutę) dažniu. Vanduo ir aliejus turi būti lašinami ties puodo centru (nurodyta schemoje), o aliejaus ir vandens lašinimo vietos viena nuo kitos privalo būti atskirtos per $10 \pm 0,5 \text{ mm}$.

Oro srauto debitas nustatomas pagal gamintojo rekomendacijas. Prieš atliekant bandymus, riebalų skirtuvai bei kita įmontuota įranga (riebalų rezervuaras ir t.t.) privalo būti džiovinama vieną valandą 50°C temperatūroje ir tuomet nustatomas jos svoris. Puodas privalo būti $220 \pm 20 \text{ mm}$ diametro ir 125 mm aukščio, pagamintas iš nerūdijančio plieno. Kaitvietė privalo palaikyti pastovią $250 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ puodo dugno temperatūrą.

Bandymo trukmė 30 minučių. Po 30 minučių, sustabdomas aliejaus ir vandens tiekimas, o ventilatorius išjungiamas 10 minučių po aliejaus ir vandens tiekimo sustabdymo. Riebalų skirtuvai su kita įmontuota įranga yra išimami iš bandymų stendo, džiovinami valandą laiko 50°C temperatūroje ir sveriami. Šį rezultatą atimant iš gauto įrangos svorio prieš atliekant bandymus, randamas aliejaus kiekis, nusėdęs ant skirtuvų. Šis bandymas atliekamas du kartus ir išvedamas aritmetinis vidurkis.

Skirtuvų efektyvumas nustatomas pagal formulę:

$$\text{Efektyvumas} = \left(\frac{\text{Aliejus, nusėdęs ant skirtuvų ir surinkimo rezervuare}}{\text{Aliejus, sunaudotas bandymo metu}} \right) \times 100$$

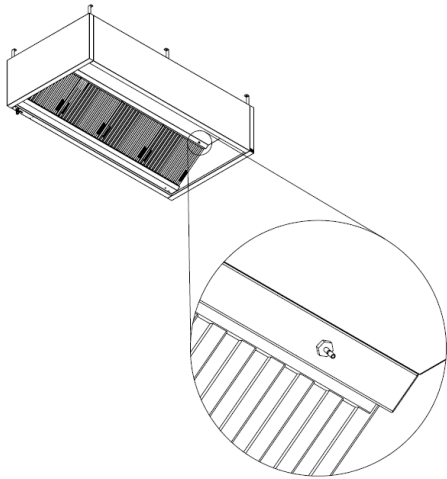
Atliekant bandymus pagal ASTM ir VDI standartus gaunama labai svarbi charakteristika - riebalų dalelių sulaikymo efektyvumo priklausomybė nuo riebalinių dalelių dydžio. Ši kreivė tiksliai parodo koks yra skirtingo dydžio riebalinių dalelių sulaikymo efektyvumas pagrindiniame maisto ruošimo metu išskiriamų dalelių diapazone, tačiau pagal ASTM ir VDI standartus atliekami tyrimai reikalauja brangios, sudėtingos įrangos. Šios įrangos kalibravimas konkreitiems bandymams yra labai imlus darbu procesas. Tuo tarpu, ruošiamas EN 16282-6 standartas siūlo supaprastintus bandymus, kurie visiškai nereikalauja brangios dozavimo ir matavimo įrangos. Vis dėlto, gaunamas rezultatas neparodo riebalų skirtuvų efektyvumo charakteristikų esant skirtingiems riebalinių dalelių dydžiams.

2. TIRIAMOJI DALIS

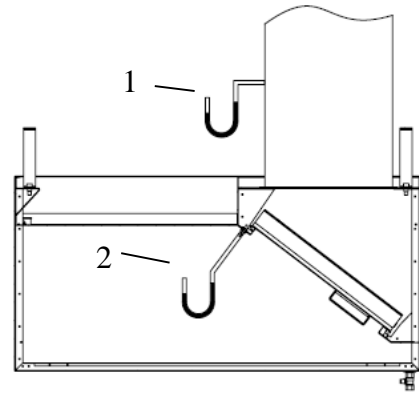
2.1 Slėgio nuostolių garų rinktuvuose tyrimas baigtinių elementų metodu

Šiuo tyrimu siekiama nustatyti UAB „Novameta“ gaminamų priesienių „HNPD“, centrinių „HNCD“ bei kondensacinių „HKCD“ garų rinktuvų slėgio nuostolių priklausomybes nuo garų rinktuvu ištraukiamo oro srauto debito ir pateikti jas grafiškai. Slėgio nuostoliai – tai yra slėgių skirtumas, susidarantis tarp dviejų, šiuo atveju, ventiliacinės sistemos taškų. Juos sąlygoja frikcinės jėgos sraute bei sistemoje įrengti mechaniniai elementai, trikdantys oro srauto judėjimą. Šių tyrimų tikslas – nustatyti slėgio nuostolių charakteristikas dvejose vietose: ortakyje virš garų rinktuvo bei slėgio matavimo jungtyje įrengtoje garų rinktuve (2.1 pav. ir 2.2 pav.). Matavimų jungtis – tai 4 mm išorinio ir 2,5 mm vidinio skersmens jungtis, skirta skirtuminio slėgio matavimo prietaiso prijungimui.

Slėgio nuostolių charakteristika ortakyje virš garų rinktuvo yra aktuali siekiant parinkti optimalų ištraukiamosios ventiliacinės sistemos ventiliatorių, tuo tarpu matavimo jungtyje susidarantių slėgio nuostolių nuo oro debito priklausomybė yra būtina siekiant sureguliuoti ištraukiamo oro srauto debitą pagal teoriškai apskaičiuotas vertes. Virtuvėje veikiančiame garų rinktuve tiksliai išmatuoti debitą yra sudėtinga – reikia atlikti daug matavimų anemometru, atlikti kompleksinius skaičiavimus. Matavimams reikalingos vietos gali būti sunkiai prieinamos. Tam, kad supaprastinti šiuos matavimus, garų rinktuvuose yra įrengiama speciali jungtis, kurioje išmatavus slėgių skirtumą (slėgio nuostolius) ir pasitelkiant šio tyrimo metu gautas slėgio nuostolių nuo oro debito priklausomybes, galima nesudėtingai ir greitai nustatyti garų rinktuvo ištraukiamą oro debitą ir sureguliuoti jį dirbti optimaliu režimu. Šio tyrimu metu nustatytos priklausomybės leis nustatyti garų rinktuvo traukiamą debitą naudojantis paprastu manometru.

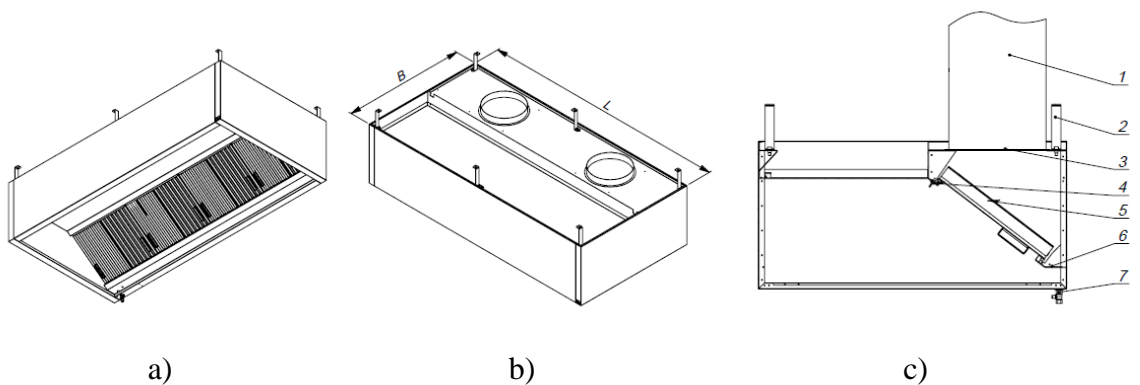


2.1 pav. Slėgio matavimo jungtis garų rinktuve



2.2 pav. Slėgio nuostolių matavimo vietų schema. 1 – ortakyje virš garų rinktovo, 2 – slėgio matavimo jungtyje

Tyrimai atliekami visai gaminamų garų rinktuvų gamai (ilgiams nuo 1000 mm iki 2900 mm). Garų rinktuvų pločiai gali būti skirtingi, tačiau esminės įtakos slėgio kritimo rezultatams plotis neturi – garų rinktuvų konstrukcija yra tokia, jog pagrindiniai slėgio nuostolius sukuriantys elementai (riebalų skirtuvai) išlaiko analogišką išsidėstymą kintant garų rinktovo pločiui. Kadangi įmonėje gaminami garų rinktuvai yra gaminami pagal užsakymus, t.y. jie nėra sandėliuojami, todėl atlikti eksperimentinius tyrimus visai garų rinktuvų gamai būtų labai brangu bei užtruktų daug laiko. Būtent todėl, skaičiavimai bus atliekami naudojantis dujų srautų analizės programinių paketu SolidWorks Flow Simulation.



2.3 pav. a) Priesienio garų rinktovo projekcija su vaizdu iš apačios, b) priesienio garų rinktovo projekcija su vaizdu iš viršaus, c) priesienio garų rinktovo skersinis pjūvis per ortakio centrą

Garų rinktuvų slėgio nuostolių tyrimai atliekami su įmonėje gaminamais Y-RGU (1.8 pav.) ir Y-RGN (1.9 pav.) riebalų skirtuvais, taip pat su kondensacinėmis plokštėmis. Tiriamų garų rinktuvų pagrindinės dalys (2.3 pav.) - ortakis 1, laikiklis 2, pajungimo flanšas 3, slėgio matavimo jungtis 4, riebalų skirtuvai (arba kondensacinės plokštės) 5, riebalų ir kondensato surinkimo latakas 6, riebalų ir kondensato išleidimo ventilis 7.

Garų rinktuvai gali būti gaminami bet kokio tarpinio ilgio (nuo 1000 mm iki 2900 mm), vieno milimetro tikslumu, tačiau riebalų skirtuvų (arba kondensacinių plokščių) ilgis yra fiksuotas – 500 mm. Tai reiškia, kad jei garų rinktuvo ilgis nėra 500 kartotinis, tuomet tarp riebalų skirtuvų naudojamos tarpinės, kurios paprasčiausiai uždengia tarpą tarp riebalų skirtuvų. Šios tarpinės slėgio nuostolių rezultato praktiškai neįtakoja, todėl norint aprėpti visą gaubtų gamą, šiame tyrime bus nustatytos slėgio nuostolių priklausomybės visiems „HNPD“, „HNCD“ ir „HKCD“ garų rinktuvų ilgių intervalams su skirtingu riebalų rinktuvų skaičiumi (2.1 lentelė).

2.1 lentelė. Tiriamų garų rinktuvų ilgių intervalai ir jiems priklausantis riebalų skirtuvų skaičius

Garų rinktuvo ilgis, mm	Riebalų skirtuvų skaičius „HNPD“ garų rinktuvuose, vnt	Riebalų skirtuvų skaičius „HNCD“ garų rinktuvuose, vnt	Kondensacinių plokščių skaičius „HKCD“ garų rinktuvuose, vnt
800-999	1	-	-
1000 – 1499	2	4	4
1500 – 1999	3	6	6
2000 – 2499	4	8	8
2500 – 2900	5	10	10

2.1.1 Tyrimo metodika

Tyrimai visų modelių ir ilgių garų rinktuvams atliekami tokia eiga:

- Kiekvienam garų rinktuvui slėgio nuostoliai apskaičiuojami esant pastoviam ištraukiamo oro debitui (BEM metodu arba ekstrapolijuojant trumpesnių garų rinktuvų rezultatus).
- Naudojantis šiuo rezultatu bei pasitelkiant ventiliatorių giminingumo taisyklę (2.1 formulė) [14], kiekvienam garų rinktuvui (2.1 lentelė) yra sudaromos oro srauto debito priklausomybės nuo slėgio nuostolių priklausomybės.

$$\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \frac{Q_1^2}{Q_2^2} \quad (2.1)$$

čia Δp_n - slėgio nuostoliai nusistovėjusiam ventiliacinės sistemos veikimo režime n , Q_n - nusistovėjęs debitas, ventiliacinės sistemos režime n .

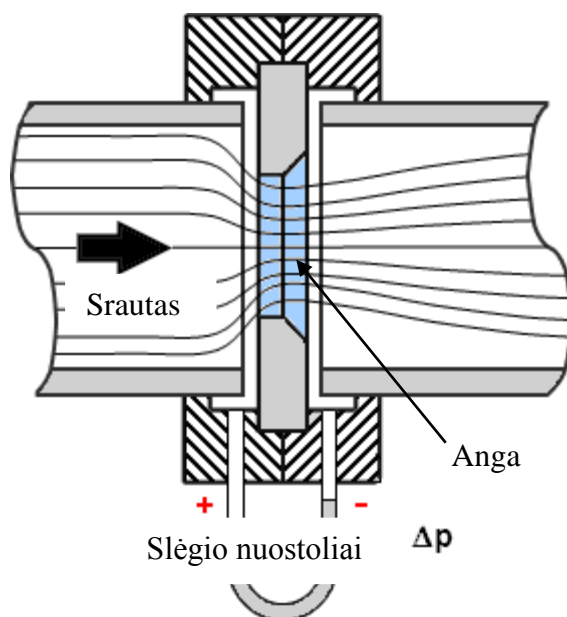
Siekiant atlikti slėgio nuostolių skaičiavimus prie pastovaus debito visiems 2.1 lentelėje pateiktiems garų rinktuvams, tektų sudaryti skaičiuojamąjį modelį kiekvieno ilgio garų rinktuvui. Tačiau tai būtų itin laikui imlus procesas bei reikalautų itin didelių kompiuterio resursų modeliuojant ir skaičiuojant slėgio nuostolius susidarantį garų rinktuvuose su dideliu kiekiu riebalų skirtuvų.

Oro srauto tekėjimui per riebalų skirtuvus galima taikyti oro srauto tekėjimo per siaurą angą analogiją (2.4 pav.). Pro angą pratekantis debitas yra tiesiogiai proporcingas angos paviršiaus plotui (2.2 formulė) [15]. Garų rinktuvuose naudojamus riebalų skirtuvus galima prilyginti angai. Garų rinktuvui ilgėjant ir pridedant papildomam riebalų skirtuvui, žingsniškai kinta ir angos, pro kurią gali pratekėti oras, paviršiaus plotas – pavyzdžiui garų rinktuvas su dviem riebalų skirtuvais turi dvigubai didesnę paviršiaus plotą, pro kurį gali pratekėti oras, nei garų rinktuvas su vienu riebalų skirtuvu. Tuo tarpu srauto nuostolių koeficientas išliktų pastovus, kadangi riebalų skirtuvų geometrija yra vienoda. Tai reiškia, kad ilginant garų rinktuvą ir pridedant papildomus riebalų skirtuvus (t.y. žingsniškai didinant angos paviršiaus plotą), kai išlaikomo tokie patys slėgio nuostoliai, pro garų rinktuvą pratekantis oro debitas proporcingai didės per tam tikrą žingsnį (tiesinė priklausomybė).

Remiantis šia analogija, skaičiavimų metodiką galima supaprastinti. Naudojantis SolidWorks Flow Simulation programine įranga bus nustatyti slėgio nuostoliai, susidarantys prie tam tikro pastovaus debito, tik trims „HNPD“ garų rinktuvams – su vienu, dviem ir trimis riebalų skirtuvais. Naudojantis 2.1 formule, gauti oro debitai perskaičiuojami ir randama koks būtų debitas esant 100 Pa slėgio nuostoliams. Šie rezultatai ekstrapolijuojami siekiant nustatyti ilgesnių garų rinktuvų debitus prie tų pačių slėgio nuostolių. Iš gautų rezultatų, pasitelkiant ventiliatorių giminingumo taisyklę (2.1 formulė), sudaromi pratekančio debito priklausomybės nuo slėgio nuostolių grafikai. Remiantis tais pačiais ekstrapoliacijos rezultatais gaunamos ir „HNCD“ garų rinktuvų priklausomybės – skaičiavimų požiūriu, šių garų rinktuvų konstrukcija yra panaši ir iš esmės skiriasi tik riebalų skirtuvų skaičiumi.

$$Q = C_f A_a \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (2.2)$$

čia Q – srauto debitas, C_f – srauto nuostolių koeficientas, nustatomas eksperimentiškai, A_a – angos plotas, Δp – slėgio nuostoliai susidarantys tarp įeinančio ir išeinančio oro srauto, ρ – skysčių arba dujų tankis.



2.4 pav. Oro srauto tekėjimas per siaurą angą [15]

„HKCD“ tipo garų rinktuvų su kondensacinėmis plokštėmis skaičiavimai SolidWorks Flow Simulation programiniu paketu yra kur kas našesni, todėl visiems tiriamiems šio tipo garų rinktuvams bus sudaromi skaičiuojamieji modeliai.

2.1.2 Garų rinktuvo sienelių šiurkštumo tyrimas

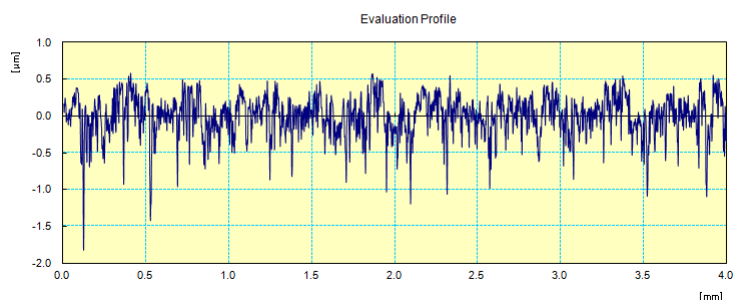
Slėgio nuostoliams įtakos turi garų rinktuvo sienelių šiurkštumas. Siekiant gauti kuo tikslesnius skaičiuojamojo modeliavimo rezultatus, atlikti nerūdijančio plieno AISI 304 lakštų, iš kurių gaminamas garų rinktuvas, šiurkštumo matavimai ir nustatyta vidutinė šiurkštumo vertė pagal R_z . Ši vertė naudojama skaičiuojamuosiuose modeliuose.

Šiurkštumo matavimai atlikti naudojantis Mitutoyo SurfTest SJ-210 šiurkštumo matavimo įrenginiu (2.5 pav.).



2.5 pav. Mitutoyo SJ-210 matavimo įrenginys su nerūdijančio plieno AISI 304 bandiniu

CERTIFICATE OF INSPECTION



Standard	ISO 1997	N	5
Profile	R	Cut-Off	0.8mm
λ_s	2.5µm	Filter	GAUSS
Ra	0.202 µm		
Rq	0.267 µm		
Rz	1.723 µm		

2.6 pav. Vieno iš matavimų rezultatų lentelė (nešlifautos pusės)

Garų rinktuvai gaminami iš skardos, kuri vienoje pusėje yra šlifauta viena kryptimi, o kitoje – nešlifauta. Realiai garų rinktuve oro srautai prasilenkia tiek pro šlifuoatą, tiek nešlifuoatą skardos pusę, todėl tam, kad paspartinti modelių sudarymą ir skaičiavimus, ieškoma vidutinė šiurkštumo reikšmė, kuri bus priskirta skaičiuojamuosiuose modeliuose. Atlikta po tris matavimus kiekvienai iš šlifavimo krypčių ir randamas aritmetinis šiurkštumų vidurkis – 1,889 µm, kuris bus naudojamas skaičiavimuose SolidWorks Flow Simulation programiniame pakete (2.2 lentelė).

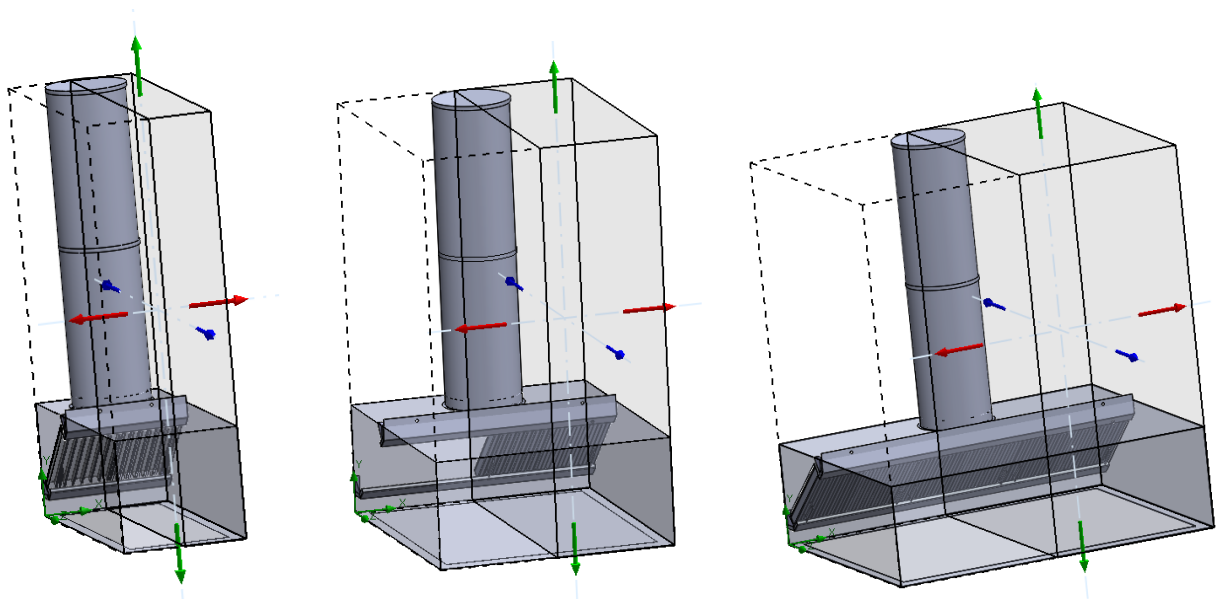
2.2 lentelė. Šiurkštumo matavimų rezultatų ir apskaičiuotų vidurkių lentelė

Šlifavimo kryptis	Matavimas nr. 1, µm	Matavimas nr. 2, µm	Matavimas nr. 3, µm	Vidurkis, µm
Šlifavimo kryptimi	0,912	0,849	0,536	0,766
Statmenai šlifavimui	3,221	3,298	3,196	3,238
Nešlifauta pusė	1,722	1,549	1,723	1,665
				1,889

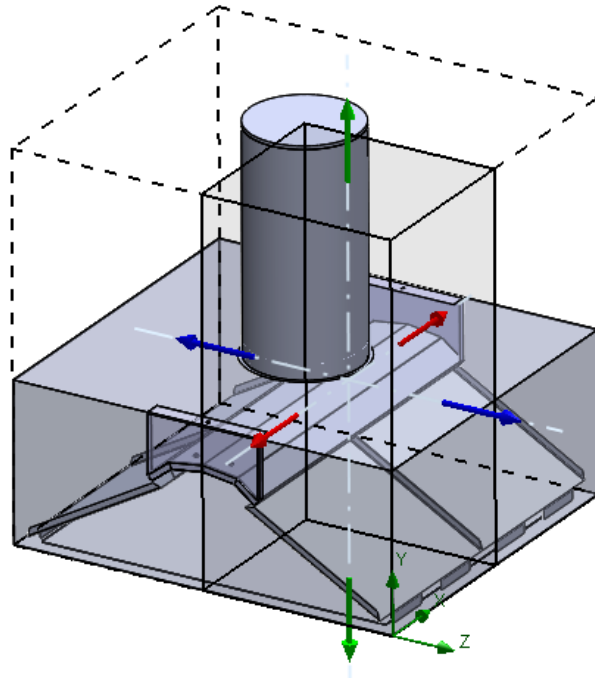
2.1.2 Skaičiuojamųjų modelių sudarymas

Slėgio nuostolių prie pastovaus oro debito nustatymui pasitelkiami skaičiuojamieji „HNPD“ ir „HKCD“ tipo garų rinktuvų modeliai. Skaičiavimai atliekami SolidWorks Flow Simulation programiniu paketu. Viso bus sudaryti trijų ilgių „HNPD“ (2.7 pav.) tipo bei keturių skirtingų ilgių „HKCD“ garų rinktuvų supaprastinti modeliai. Visų šių modelių sudarymo ir skaičiavimų eiga – vienoda.

Garų rinktuvai yra sukonstruoti iš atskirų nerūdijančio plieno lankstinių, sujungtų taškinio suvirinimo būdu, todėl reali konstrukcija nėra absoliučiai sandari, tačiau liekantys tarpeliai yra santykinai nedideli. Supaprastintame modelyje išlaikoma reali garų rinktuvo geometrija, tačiau priimama, kad gaubto konstrukcija yra sandari. Šis supaprastinimas pagreitins skaičiavimus, o rezultatams esminės įtakos neturės. Garų rinktuvai modeliuojami kartu su ortakio dalimi, kuriame siekiama nustatyti slėgio nuostolius. Atliekant skaičiavimus naudojamos simetrijos sąlygos – „HNPD“ tipo garų rinktuvų skaičiuojamoji sritis sumažėja dvigubai (2.7 pav.), o „HKCD“ garų rinktuvų – keturis kartus lyginant su garų rinktuvo dydžiu (2.8 pav.). Šios sąlygos ženkliai pagreitins skaičiavimų trukmę.

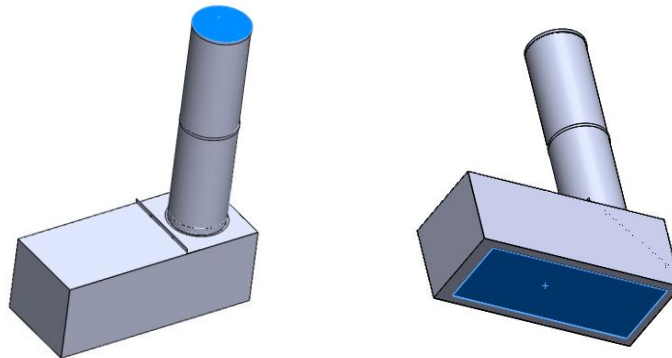


2.7 pav. „HNPD“ tipo garų rinktuvų skaičiuojamieji modeliai su skaičiuojamąja sritimi



2.8 pav. „HKCD“ 1000 mm ilgio garų rinktuvo skaičiuojamasis modelis

Garų rinktuvų skaičiavimams atlikti naudosime vidinių srautų analizės tipą, todėl modeliai pilnai uždaromi (2.9 pav.) – uždengiamas ortakis bei gaubto apatinė plokštuma. Vėliau ant šių plokštumų bus priskiriamos kraštinės sąlygos.



2.9 pav. Skaičiuojamajai analizei pilnai uždara garų rinktuvo erdvė

Skaičiavimuose naudojamos dujos – oras. Programinė įranga sprendžia diferencialines lygčių sistemas, kurios įvertina tiek laminarinį, tiek turbulentinį tekėjimo režimus. Skaičiavimuose įvertinsime sunkio jėgą, drėgnumą (priskiriamas 50% drėgnumas) bei sienelių šiurkštumą - naudosime sienelių šiurkštumo tyrimo metu apskaičiuotą reikšmę – $1,89 \mu\text{m}$. Aplinkos temperatūra – $293,2 \text{ K}$, o slėgis – 101325 Pa .

Parameter	Value
Parameter Definition	User Defined
Thermodynamic Parameters	
Parameters	Pressure, temperature
Pressure	101325 Pa
Pressure potential	<input checked="" type="checkbox"/>
Temperature	293.2 K
Velocity Parameters	
Turbulence Parameters	
Humidity	
Relative humidity	50 %
Reference pressure	101325 Pa
Reference temperature	293.2 K

Navigator

- Analysis type
- Fluids
- Wall conditions
- Initial conditions

Parameter	Value
Default wall thermal condition	Adiabatic wall
Roughness	1.89 micrometer

Navigator

- Analysis type
- Fluids
- Wall conditions
- Initial conditions

2.10 pav. Skaičiuojamojo modeliavimo bendrosios parinktys

Fluids	Path
<input type="checkbox"/> Gases	
<input type="checkbox"/> Liquids	
<input type="checkbox"/> Non-Newtonian Liquids	
<input type="checkbox"/> Compressible Liquids	
<input type="checkbox"/> Real Gases	
<input type="checkbox"/> Steam	

New...

Add

Remove

Replace

Project Fluids	Default Fluid
Air (Gases)	<input checked="" type="checkbox"/>

Flow Characteristic	Value
Flow type	Laminar and Turbulent
Humidity	<input checked="" type="checkbox"/>

Navigator

- Analysis type
- Fluids
- Wall conditions
- Initial conditions

Analysis type

Internal

External

Consider closed cavities

Exclude cavities without flow conditions

Exclude internal space

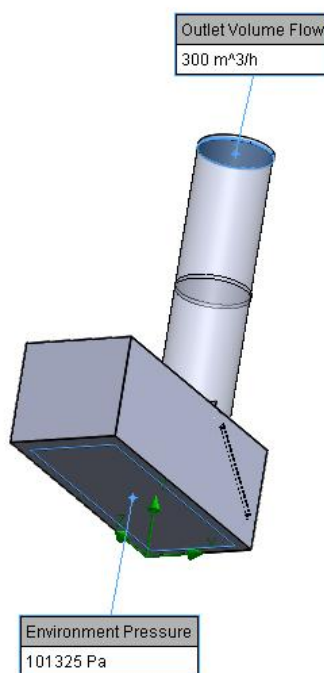
Physical Features	Value
Heat conduction in solids	<input type="checkbox"/>
Radiation	<input type="checkbox"/>
Time-dependent	<input type="checkbox"/>
Gravity	<input checked="" type="checkbox"/>
Rotation	<input type="checkbox"/>

Navigator

- Analysis type
- Fluids
- Wall conditions
- Initial conditions

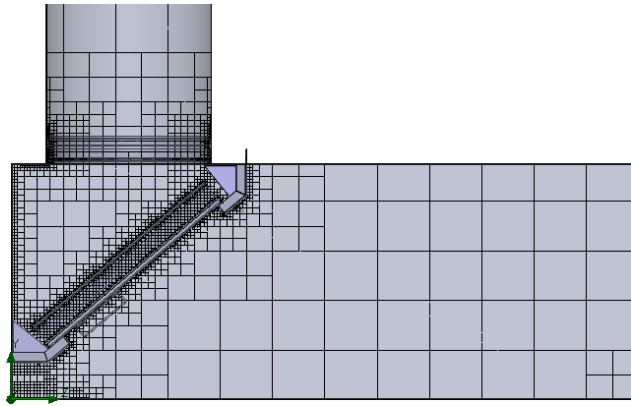
2.11 pav. Skaičiuojamojo modeliavimo bendrosios parinktys

Skaičiavimams priskiriamos kraštinės sąlygos (2.12 pav.) – ortakyje priskiriamas ištraukiamo oro srauto debitas, o gaubto apačioje – aplinkos slėgis. Modelių simetrijos plokštumos kerta ortakius, todėl atsižvelgiant į SolidWorks programinės įrangos ypatumus, modeliuose su viena simetrijos plokštuma oro srauto debitas priskiriamas dvigubai mažesnis, nei ieškomas, o modeliuose su dviem simetrijos plokštumomis – keturis kartus mažesnis. Tokiu būdu, gauti rezultatai atspindės slėgio nuostolius prie dvigubai arba keturgubai didesnio ištraukiamo oro debito reikšmės.



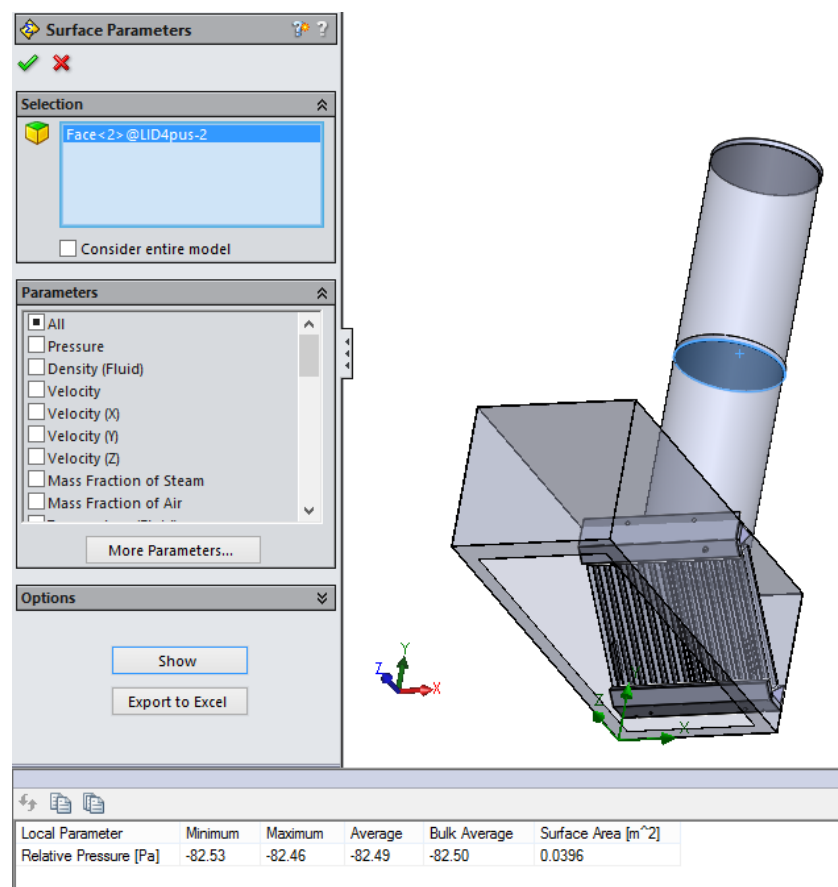
2.12 pav. Skaičiuojamojo modeliavimo („HNPD“ tipo 500 mm ilgio garų rinktuvo) kraštinės sąlygos

Priartėjimo metodu sudaromas tinklelis skaičiavimui (2.13 pav.). Tinklelis SolidWorks Flow Simulation programinėje įrangoje sudaromas iš stačiakampių gretasienių elementų. Maksimaliam rezultatų tikslumui pasiekti, tinklelis sutankinamas tam tikrose garų rinktuvo vietose – t.y. riebalų skirtuvų, ortakio pajungimo, slėgio matavimo jungties erdvėse. Tinklelis buvo tankinamas tol, kol rezultatų tikslumui įtakos nebedarė. Rasta, kad pakankamai tikslūs rezultatai gaunami sutankinus tinklelį ties riebalų skirtuvų, flanšo zonomis bei naudojant adaptyvinių tinklelį.

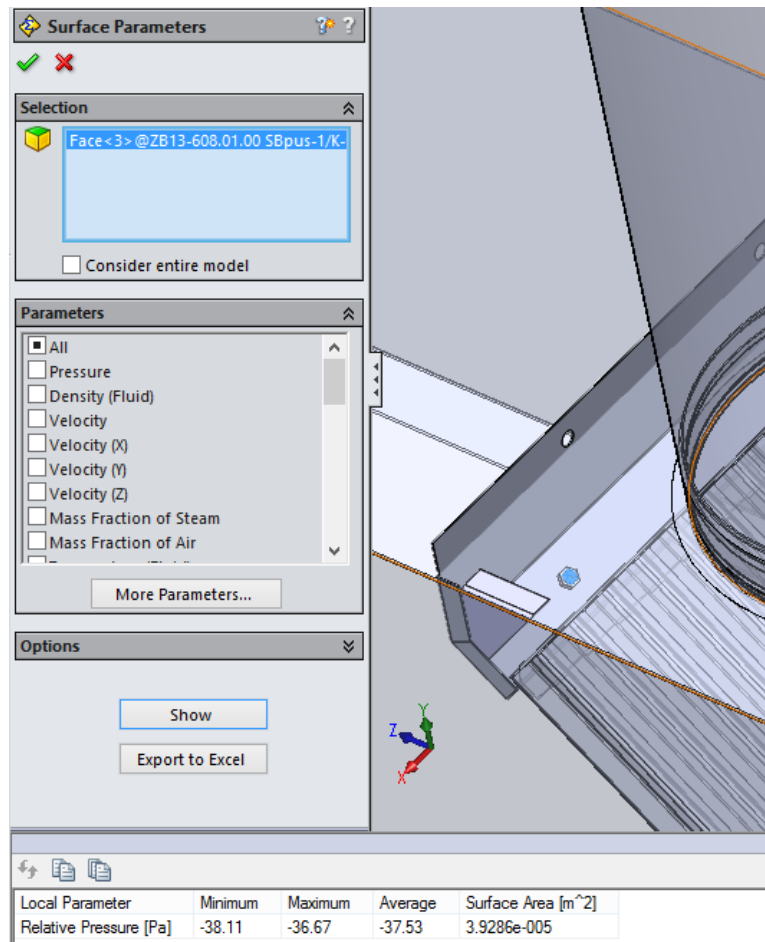


2.13 pav. Baiginių elementų tinkelio pjūvis ties HNPD garų rinktuvo vidurine plokštuma

Slėgio nuostoliai nustatomi dviejose vietose kiekviename garų rinktuve – ortakyje virš garų rinktuvo bei slėgio nustatymo jungtyje. Slėgio nuostoliai ortakyje nustatomi ant pagalbinės plokštumos (2.14 pav.). Slėgio nuostoliai matavimo jungtyje matuojami ant vienos iš matavimo jungties plokštumų (2.15 pav.).



2.14 pav. Slėgio nuostolių matavimo rezultatas virš 500 mm ilgio garų rinktuvo ortakio su „Y-RGU“ riebalų skirtuvais, esant 600 m³/h srauto debitui



2.15 pav. Slėgio nuostolių matavimo rezultatas 500 mm ilgio garų rinktuvo matavimo jungtyje su Y-RGU riebalų skirtuvais, esant 600 m³/h srauto debitui.

2.1.3 Skaičiavimų rezultatai ir analizė

Atlikus visus numatytus skaičiavimus naudojantis SolidWorks Flow Simulation programine įranga, sudaroma skaičiavimų suvestinė (2.3 lentelė).

2.3 lentelė. Baigtinių elementų metodų atliktų skaičiavimų rezultatų suvestinė

Garų rinktuvo tipas	Garų rinktuvo ilgis, mm	Riebalų skirtuvų arba kondensacinių plokščių skaičius, vnt	Riebalų skirtuvo tipas	Srauto debitas, m ³ /h	Slėgio nuostoliai ortakyje, Pa	Slėgio nuostoliai matavimo jungtyje, Pa
HNPD	500-999	1	Y-RGU	600	82,49	37,53
HNPD	1000-1499	2	Y-RGU	1200	118,17	42,17
HNPD	1500-1999	3	Y-RGU	1200	71,60	19,86
HNPD	500-999	1	Y-RGN	600	74,95	34,35
HNPD	1000-1499	2	Y-RGN	1200	110,02	39,68
HNPD	1500-1999	3	Y-RGN	1200	69,53	18,85
HKCD	1000-1499	4	Kond. pl.	1000	81,86	59,00
HKCD	1500-1999	6	Kond. pl.	1000	51,64	29,75
HKCD	2000-2499	8	Kond. pl.	1758	77,14	58,49
HKCD	2500-2900	10	Kond. pl.	1758	58,12	38,53

Skaičiuojamojo modeliavimo analizės metu gauti rezultatai bus perskaičiuoti siekiant gauti debito rezultatus, kai slėgio nuostoliai yra 100 Pa. Tokiu būdu rezultatus galima bus ekstrapoliuoti, siekiant nustatyti ilgesnių garų rinktuvų su riebalų skirtuvais slėgio nuostolius. Po to, turint visus rezultatus, jų dėka bus sudaromos slėgio nuostolių nuo srauto debito priklausomybės, kurios ir yra pagrindinis šio tyrimo tikslas.

Perskaičiuojama naudojantis ventiliatorių giminingumo taisykle (2.1 formulė). Pirmiausia perskaičiuojami garų rinktuvų su riebalų skirtuvais rezultatai (2.4 ir 2.5 lentelės).

2.4 lentelė. Skirtingų ilgių garų rinktuvų debitai, ortakyje esant 100 Pa slėgio nuostoliams

Garų rinktuvo tipas	Garų rinktuvo ilgis, mm	Garų rinktuvų skaičius, vnt	Srauto debitas su Y-RGU skirtuvais m ³ /h	Srauto debitas su Y-RGN skirtuvais m ³ /h
HNPD	500-999	1	661	693
HNPD	1000-1499	2	1104	1144
HNPD	1500-1999	3	1418	1439

2.5 lentelė. Skirtingų ilgių garų rinktuvų debitai, matavimo jungtyje esant 100 Pa slėgio nuostoliams

Garų rinktuvo tipas	Garų rinktuvo ilgis, mm	Garų rinktuvų skaičius, vnt	Srauto debitas su Y-RGU skirtuvais m ³ /h	Srauto debitas su Y-RGN skirtuvais m ³ /h
HNPD	500-999	1	979	1024
HNPD	1000-1499	2	1848	1905
HNPD	1500-1999	3	2693	2764

Šie rezultatai ekstrapolijuojami siekiant nustatyti ilgesnių garų rinktuvų debitus prie pastovių 100 Pa slėgio nuostolių (2.6 lentelė ir 2.7 lentelė). Sudaromi priklausomybių grafikai, kuriuose matoma, jog rezultatai ekstrapolijuojami tiesiškai, t.y. ilgėjant garų rinktuvui ir prisidedant riebalų skirtuvui ištraukiamo oro debitas didėja proporcingai, per tam tikrą žingsnį.

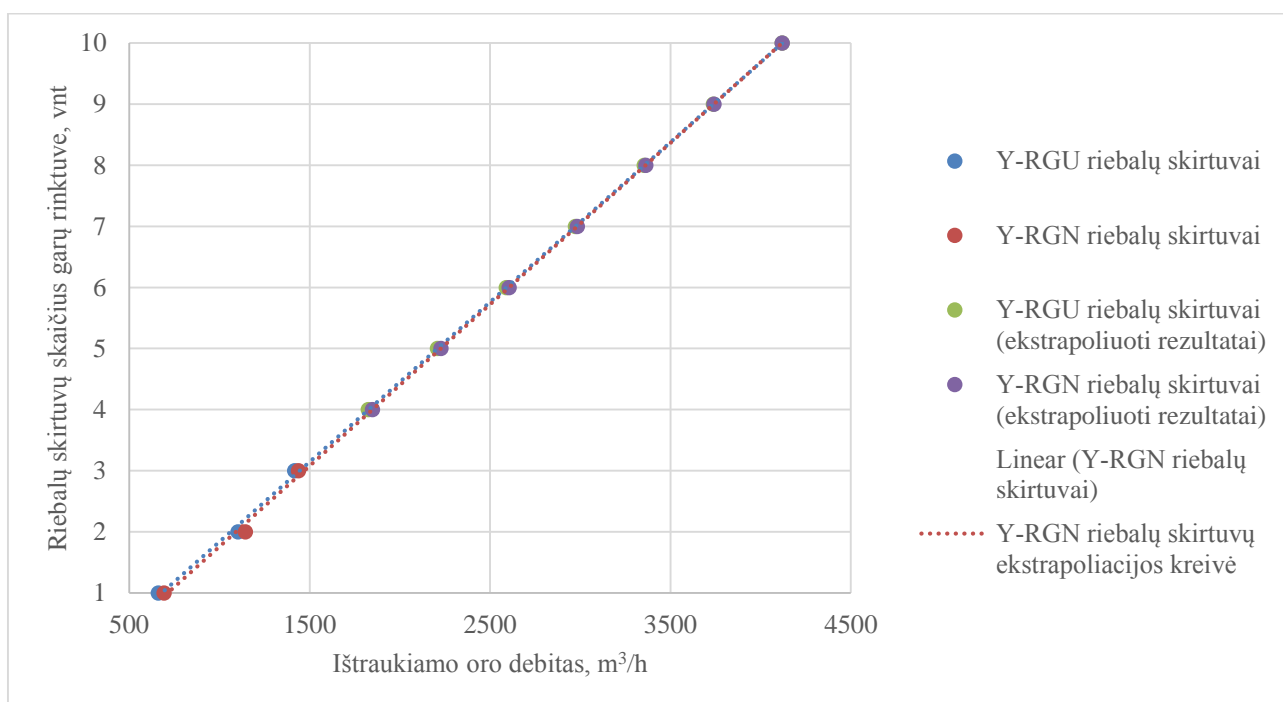
2.6 lentelė. Skirtingų ilgių garų rinktuvų debitai, ortakyje esant 100 Pa slėgio nuostoliams.

Ekstrapoliuoti rezultatai

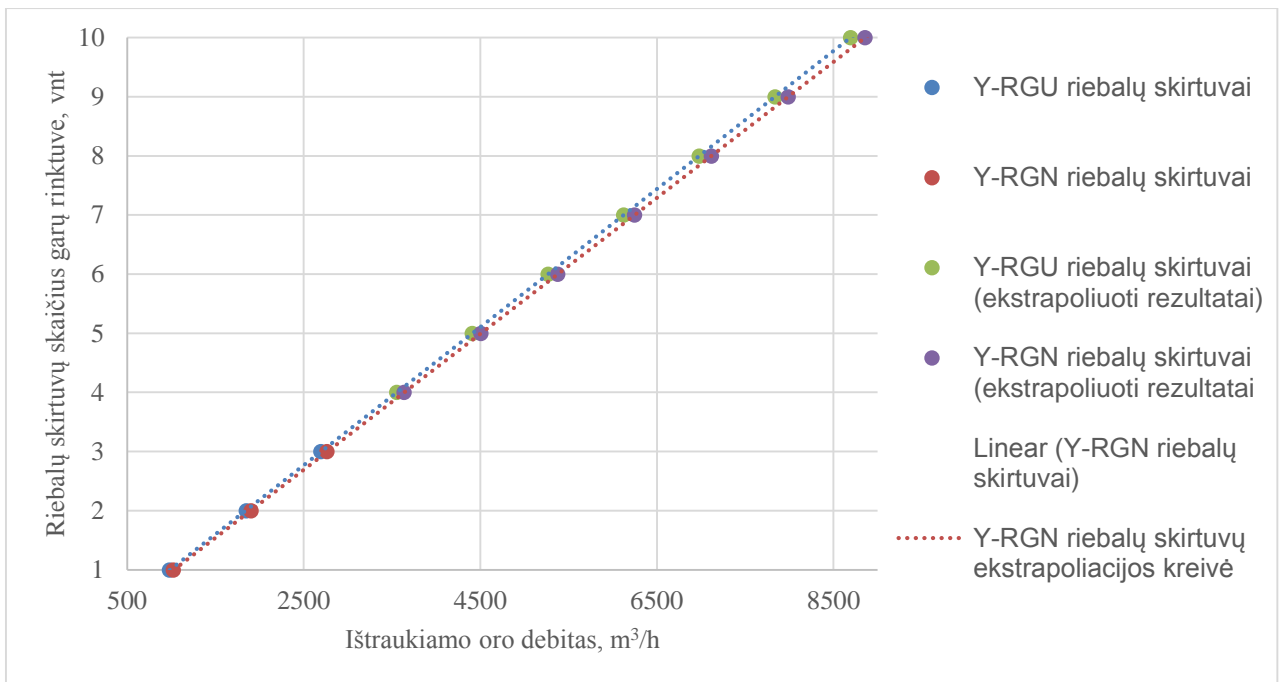
Garų rinktuvo tipas	Garų rinktuvo ilgis, mm	Garų rinktuvų skaičius, vnt	Srauto debitas su Y-RGU skirtuvais m ³ /h	Srauto debitas su Y-RGN skirtuvais m ³ /h
HNPD/ HNCD	2000-2499/ 1000-1499	4	1826	1849
HNPD	2500-2900	5	2208	2228
HNCD	1500-1999	6	2590	2606
HNCD	2000-2499	8	3355	3363
HNCD	2500-2900	10	4120	4120

2.7 lentelė. Skirtingų ilgių garų rinktuvų debitai, matavimo jungtyje esant 100 Pa slėgio nuostoliams. Ekstrapoliuoti rezultatai

Garų rinktuvo tipas	Garų rinktuvo ilgis, mm	Garų rinktuvų skaičius, vnt	Srauto debitas su Y-RGU skirtuvais m ³ /h	Srauto debitas su Y-RGN skirtuvais m ³ /h
HNPD/ HNCD	2000-2499/ 1000-1499	4	3554	3639
HNPD	2500-2900	5	4411	4509
HNCD	1500-1999	6	5268	5379
HNCD	2000-2499	8	6982	7120
HNCD	2500-2900	10	8696	8861



2.16 pav. Oro debito priklausomybė nuo riebalų skirtuvų skaičiaus, kai slėgio nuostoliai ortakyje $\Delta p = 100 Pa$

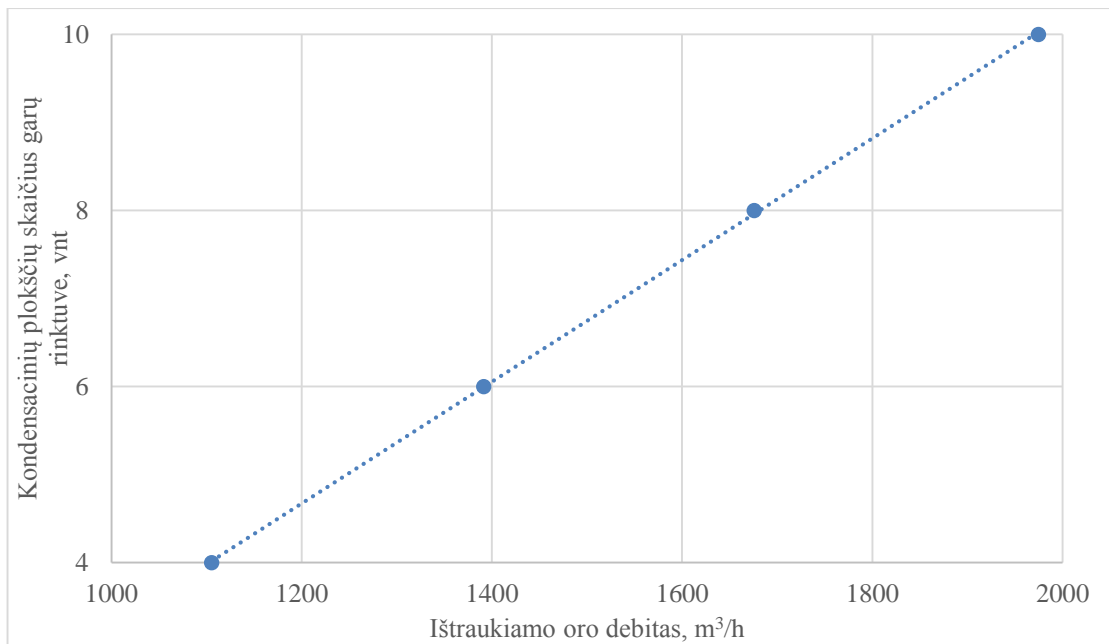


2.17 pav. Oro debito priklausomybė nuo riebalų skirtuvų skaičiaus, kai slėgio nuostoliai matavimo jungtyje $\Delta p = 100 \text{ Pa}$

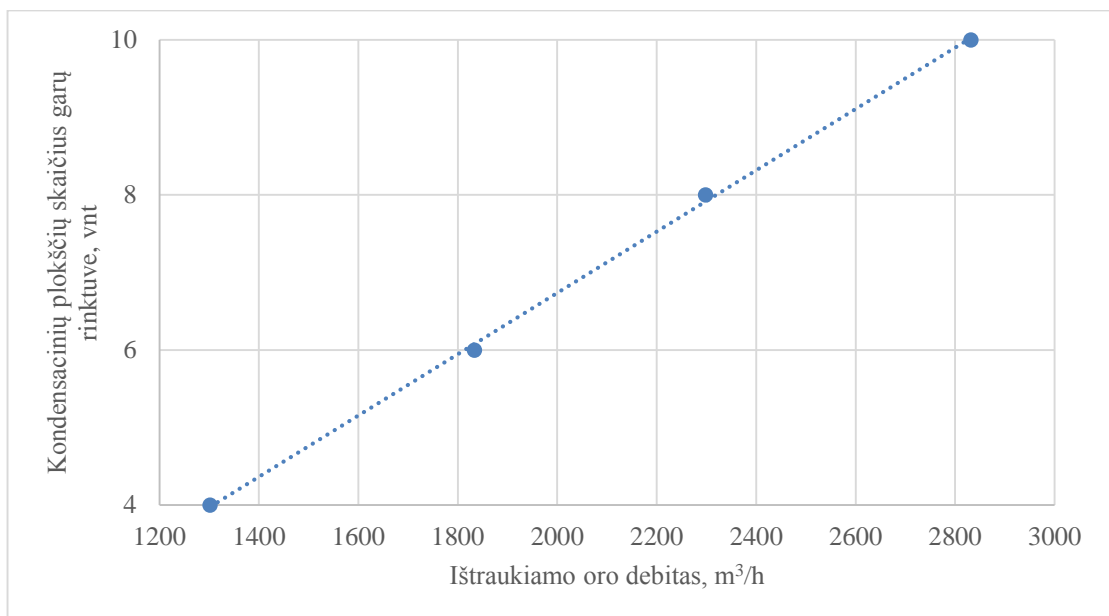
Taip pat perskaičiuojami ir „HKCD“ kondensacinių garų rinktuvų rezultatai (2.8 lentelė).

2.8 lentelė. Skirtingų ilgių garų rinktuvų debitai HKCD garų rinktuve

Garų rinktuvo tipas	Garų rinktuvo ilgis, mm	Kondensacinių plokščių skaičius, vnt	Srauto debitas, kai slėgio nuostoliai ortakyje lygūs 100 Pa, m³/h	Srauto debitas, kai slėgio nuostoliai matavimo jungtyje lygūs 100 Pa, m³/h
HKCD	1000-1499	4	1105	1301
HKCD	1500-1999	6	1392	1833
HKCD	2000-2499	8	1676	2299
HKCD	2500-2900	10	1975	2832



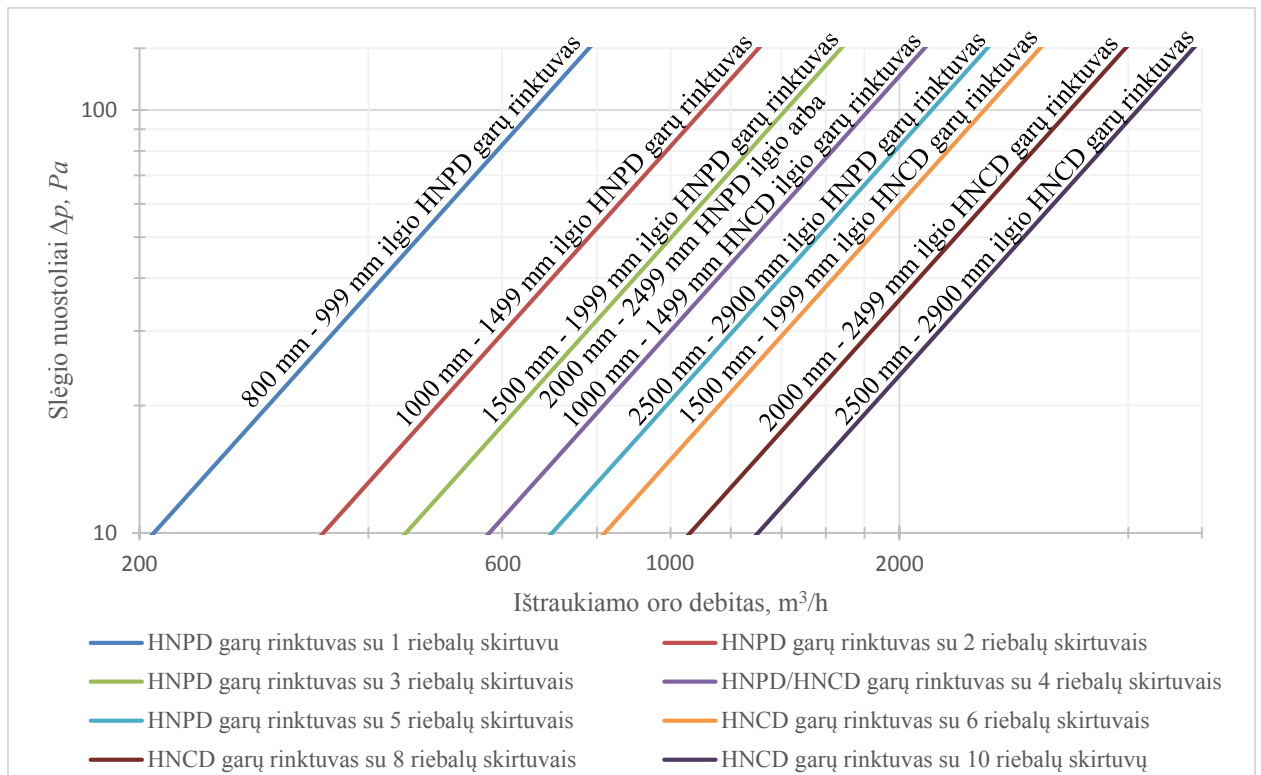
2.18 pav. Oro debito priklausomybė nuo kondensacinių plokščių skaičiaus, kai slėgio nuostoliai ortakyje $\Delta p = 100 Pa$



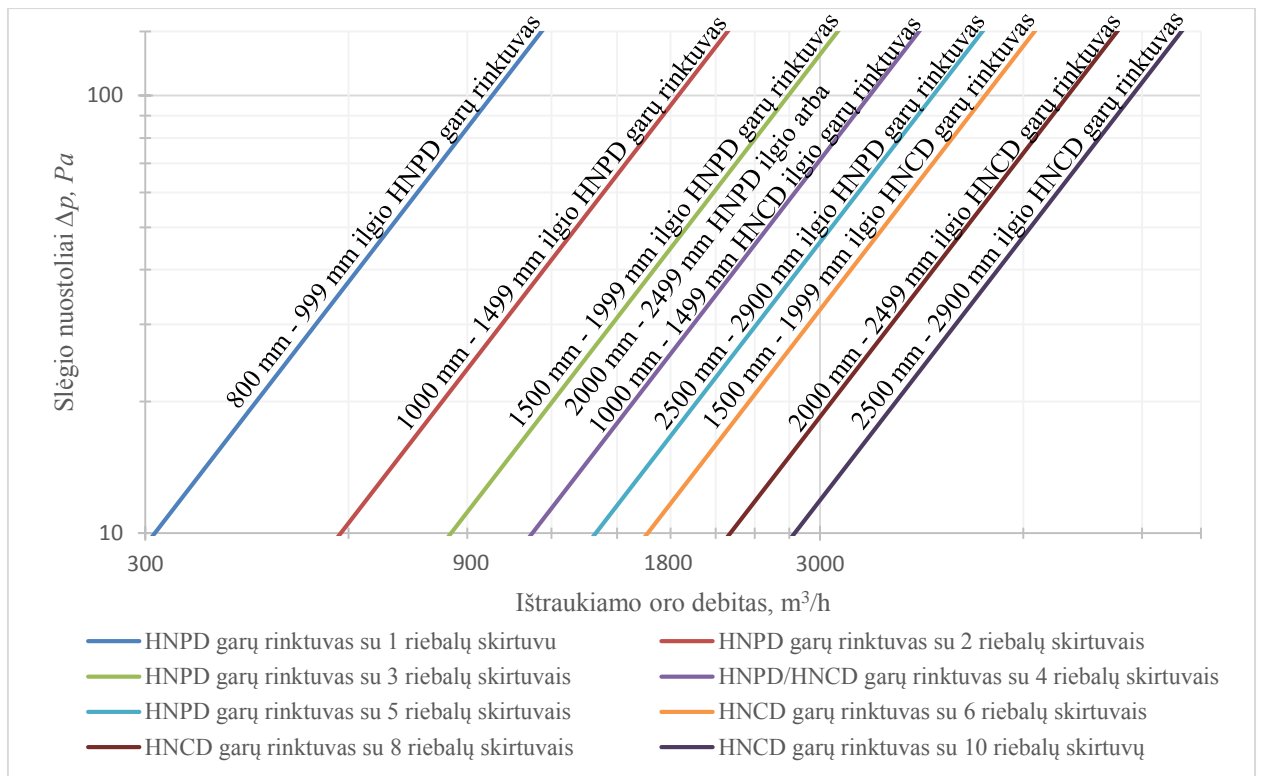
2.19 pav. Oro debito priklausomybė nuo kondensacinių plokščių skaičiaus, kai slėgio nuostoliai matavimo jungtyje $\Delta p = 100 Pa$

Nustačius ir apskaičiavus slėgio nuostolių su debitu sąryšius, naudojantis ventiliatorių giminingumo taisykle (2.1 formulė), sudaromos slėgio nuostolių nuo srauto debito priklausomybės visiems skirtingiems garų rinktuvų ir riebalų skirtuvų tipams. Šios priklausomybės sudaromos tiek

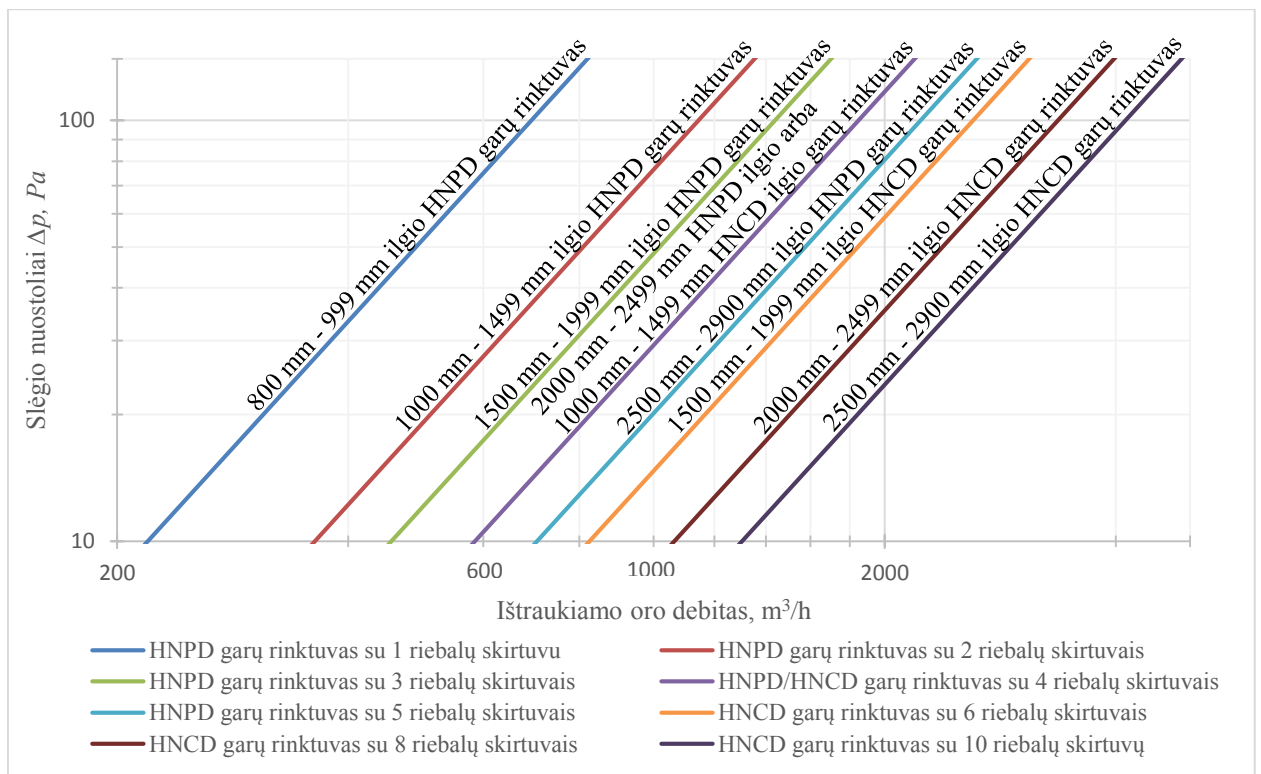
slėgio nuostoliams susidarantiems virš garų rinktuvo, tiek slėgio matavimo jungtyje. Rezultatai pateikiami grafikuose su logaritminėmis koordinačių ašimis (2.20 – 2.25 pav.).



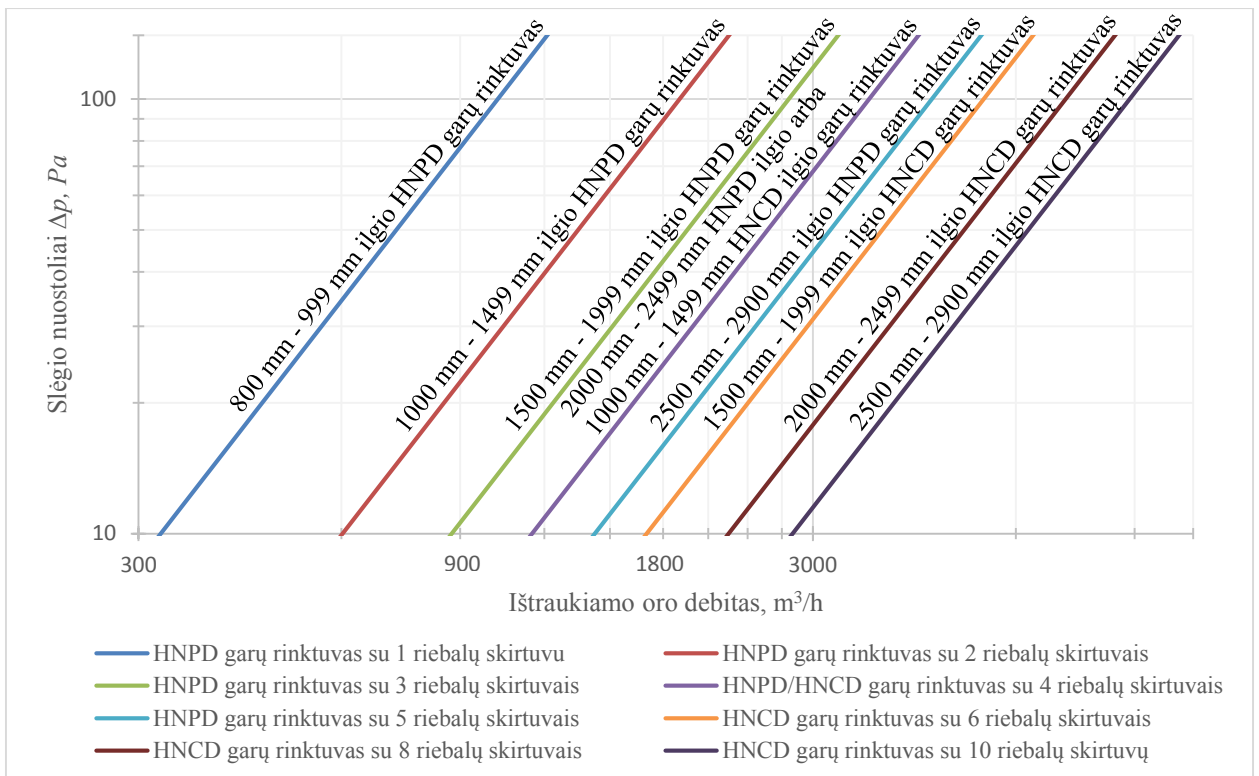
2.20 pav. Slėgio nuostolių ortakyje priklausomybės nuo ištraukiamo oro debito, garų rinktuvuose su Y-RGU riebalų skirtuvais



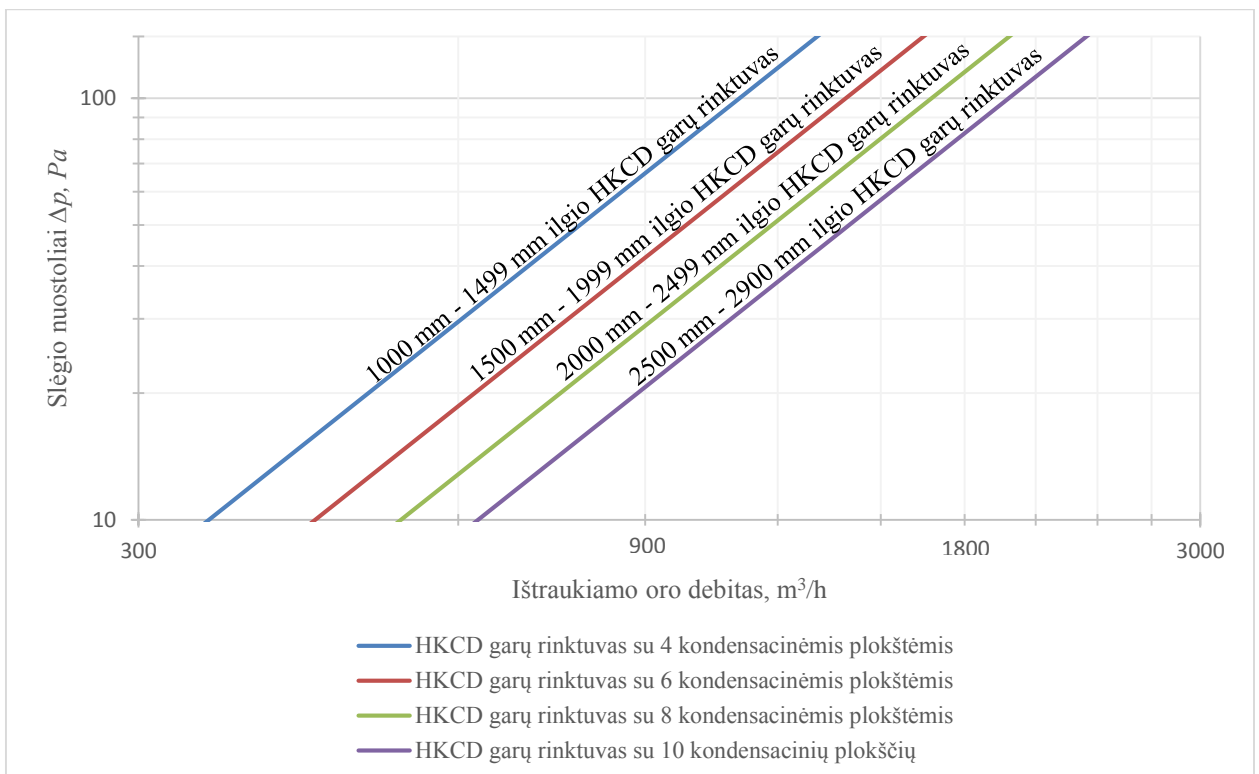
2.21 pav. Slėgio nuostolių matavimo jungtyje priklausomybės nuo ištraukiamo oro debito, garų rinktuvuose su Y-RGU riebalų skirtuvais



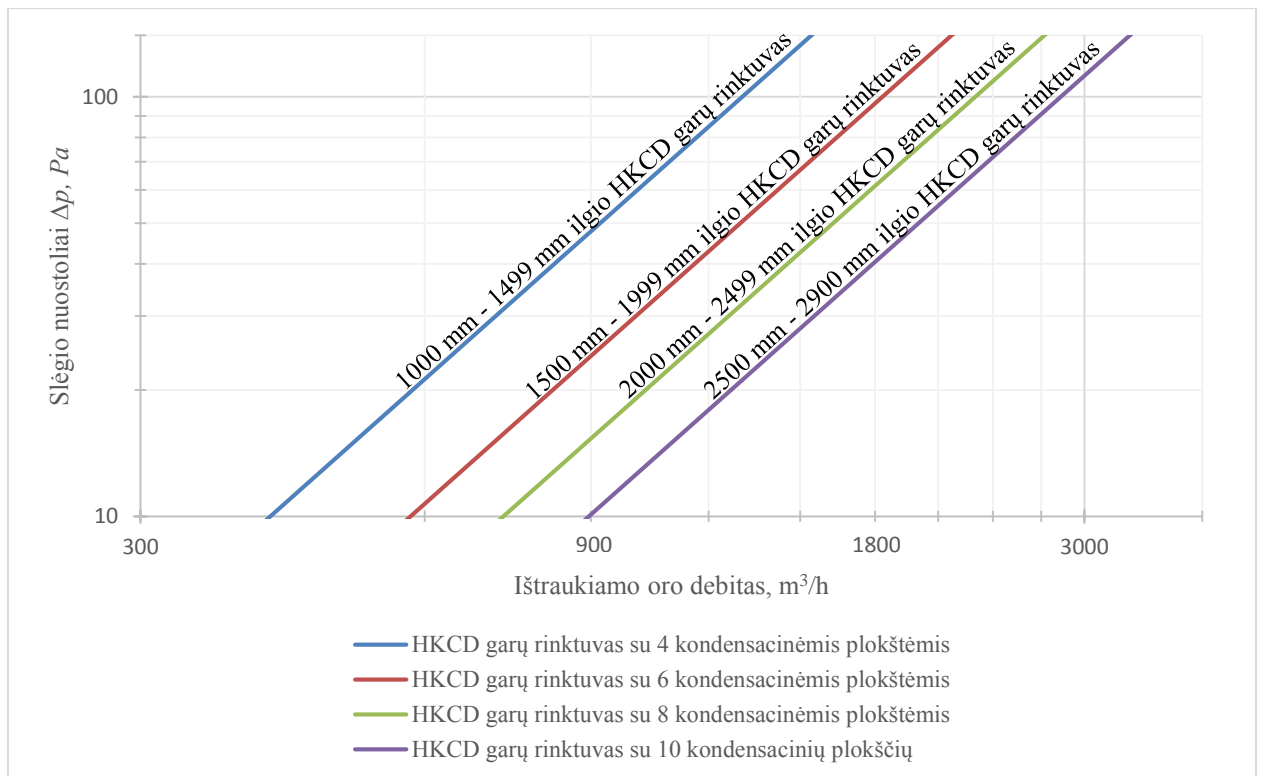
2.22 pav. Slėgio nuostolių ortakyje priklausomybės nuo ištraukiamo oro debito, garų rinktuvuose su Y-RGN riebalų skirtuvais



2.23 pav. Slėgio nuostolių matavimo jungtyje priklausomybės nuo ištraukiamo oro debito, garų rinktuvuose su Y-RGN riebalų skirtuvais

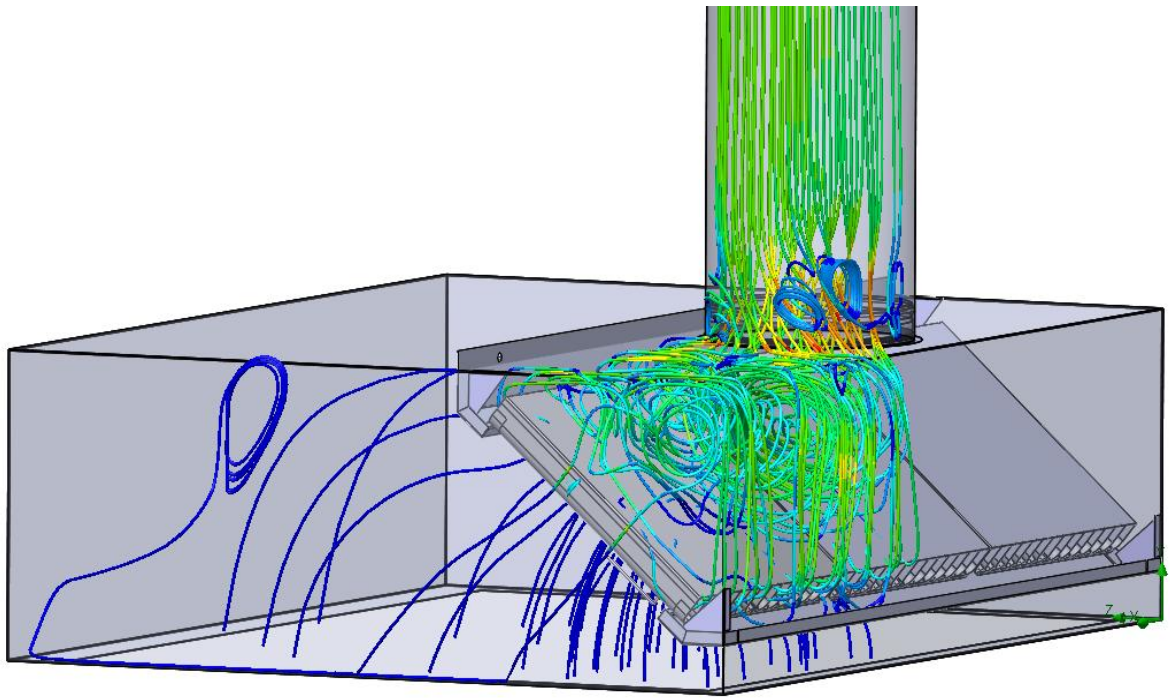


2.24 pav. Slėgio nuostolių ortakyje priklausomybės nuo ištraukiamo oro debito, garų rinktuvuose su kondensacinėmis plokštėmis

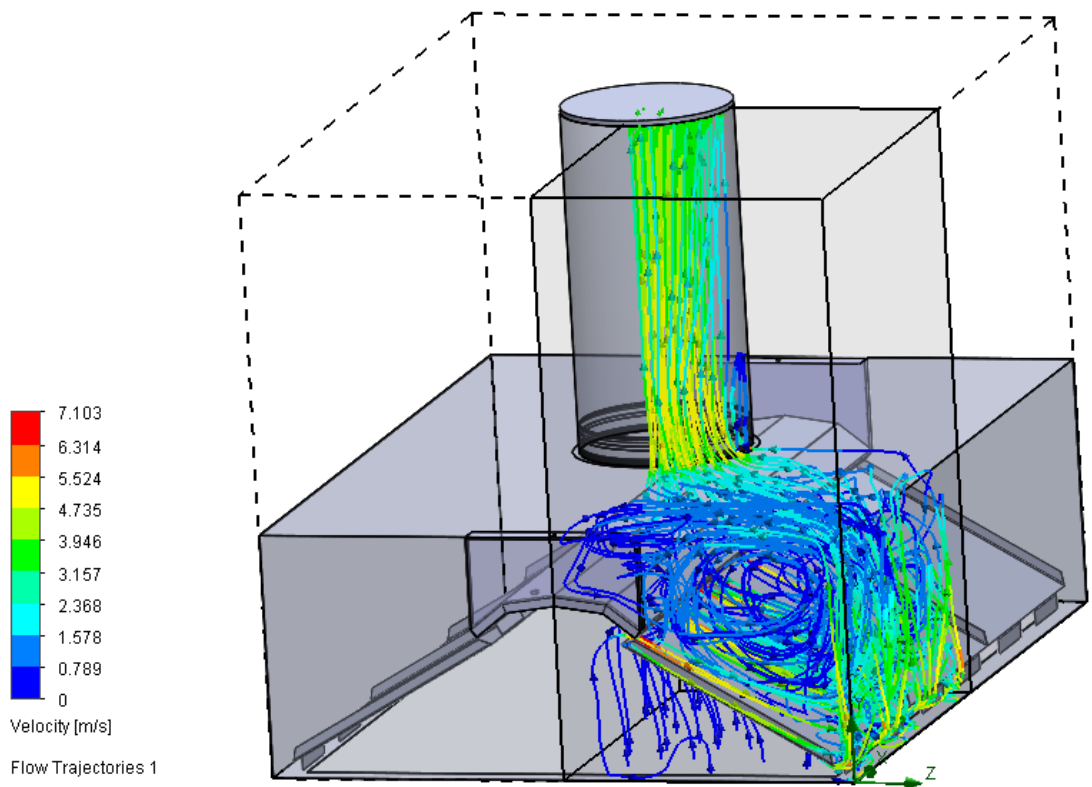


2.25 pav. Slėgio nuostolių matavimo jungtyje priklausomybės nuo ištraukiamo oro debito, garų rinktuvuose su kondensacinėmis plokštėmis

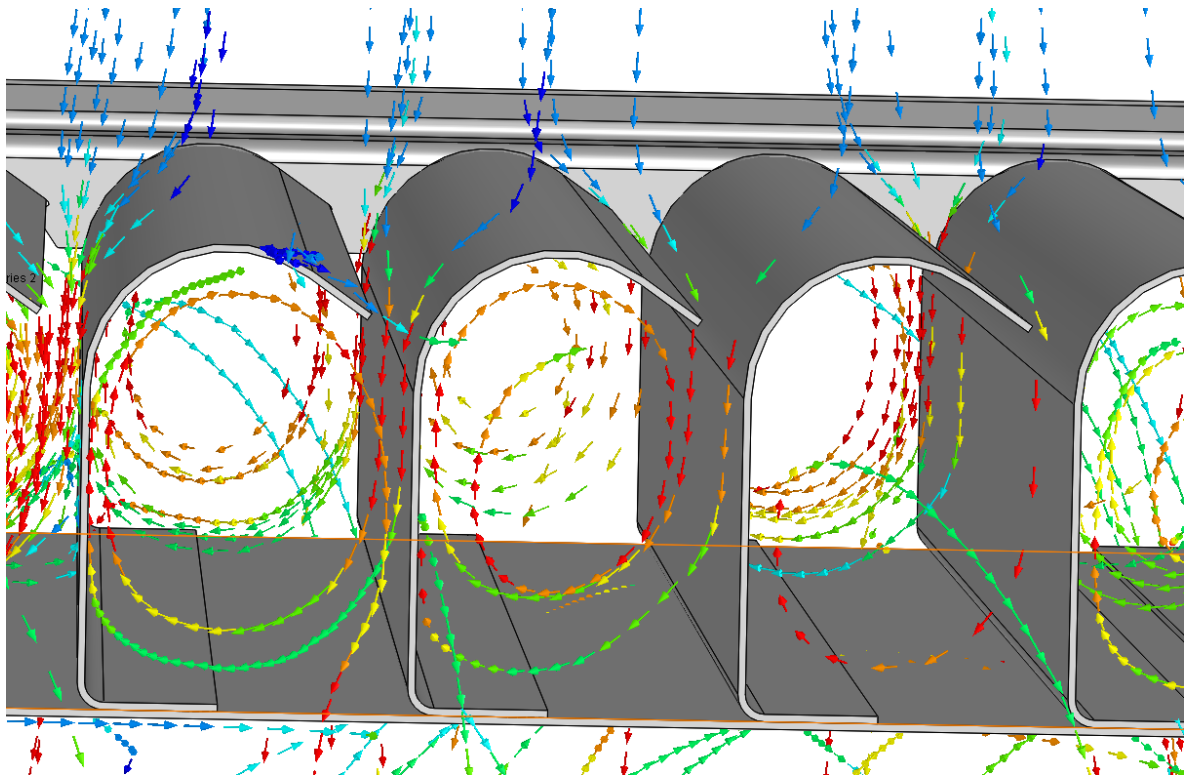
Atliekant skaičiuojamojo modeliavimo skaičiavimus SolidWorks aplinkoje buvo apžvelgtos ir srautų tėkmės trajektorijos garų rinktuvuose (2.26 ir 2.27 pav.), taip pat buvo įsitikinta, jog cikloniniuose riebalų skirtuvuose srautai juda spiralinėmis trajektorijomis (2.28 ir 2.29 pav.)



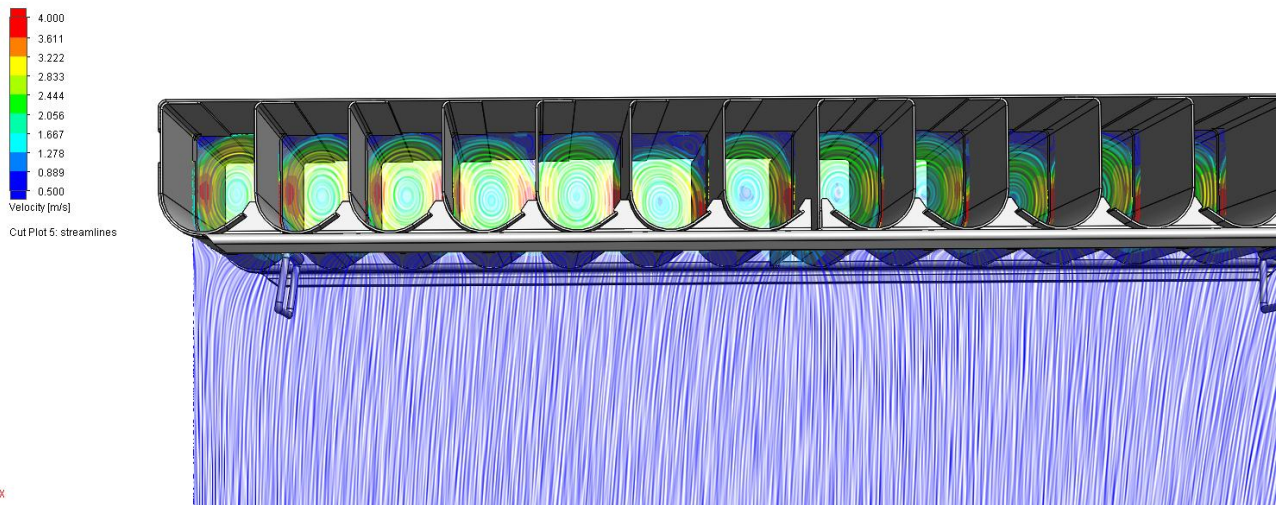
2.26 pav. Srauto judėjimas priesieniame „HNPD“ garų rinktuve su „Y-RGN“ tipo riebalų skirtuvais



2.27 pav. Srauto judėjimas kondensaciniame „HKCD“ garų rinktuve su kondensacinėmis plokštėmis



2.28 pav. Srauto judėjimas per cikloninį Y-RGN riebalų skirtuvą



2.29 pav. Y-RGN riebalų skirtuvas su srauto tėkmės pjūviu. Pjūvyje matomas srauto greičio pasiskirstymas

2.1.5 Rezultatų palyginimas su eksperimentiniais rezultatais ir išvados

Atlikti teoriniai skaičiavimai sulyginami su eksperimentiniais slėgio nuostolių rezultatais, gautais atliekant riebalų skirtuvų efektyvumo tyrimą (2.2 paragrafas). Šių tyrimų metu buvo matuojamas greitis ortakyje bei slėgio nuostoliai matavimo jungtyje, susidarantys priesieniame „HNPD“ 1000 mm ilgio garų rinktuve su 2 riebalų skirtuvais (Y-RGU ir Y-RGN tipo). 2.9 lentelėje pateikiamas eksperimentinių ir baigtinių elementų metodu gautų ir pagal ventiliatorių giminingumo taisyklę perskaičiuotų rezultatų palyginimas.

2.9 lentelė. Eksperimentinių ir baigtinių elementų metodu nustatyti slėgio nuostoliai susidarantys „HNPD“ 1000 mm ilgio garų rinktuve su 2 riebalų skirtuvais

Riebalų skirtuvų tipas	Vidutinis oro srauto greitis ortakyje, m/s	Oro srauto debitas ortakyje, m ³ /h	Slėgio nuostoliai susidarantys matavimo jungtyje, Pa		Santykinė paklaida, %
			Eksperimentinis rezultatas	BEM metodu apskaičiuotas rezultatas	
Y-RGU	4,96	1392	60,00	56,74	6
Y-RGN	5,11	1434	58,00	56,66	2

2.9 lentelėje matoma, kad gautos santykinės paklaidos yra nedidelės ir tenkina inžinerinių skaičiavimų tikslumą. Taip pat, reikia atkreipti dėmesį, kad slėgio nuostoliai su debitu surišti eksponentine priklausomybe, o 1400 m³/h yra praktiškai maksimali pagal standartus rekomenduojamo oro debito riba 1000 mm ilgio garų rinktuvui. Tai reiškia, jog mažėjant debitui, santykinė paklaida ženkliai mažės. Taipogi verta pažymėti tai, jog slėgio nuostolių vertė matavimo jungtyje buvo priimta iš vidutinės vertės (momentiniai slėgio nuostoliai kito keletos paskalių ribose).

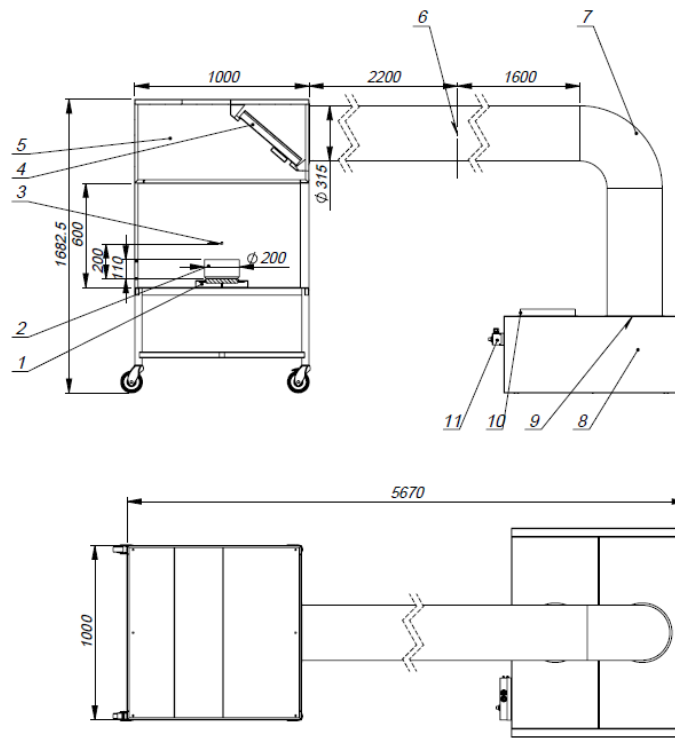
Galima daryti išvadą, jog baigtinių elementų metodu gauti rezultatai atitinka eksperimentinius.

2.2 Riebalų skirtuvų efektyvumo eksperimentinis tyrimas

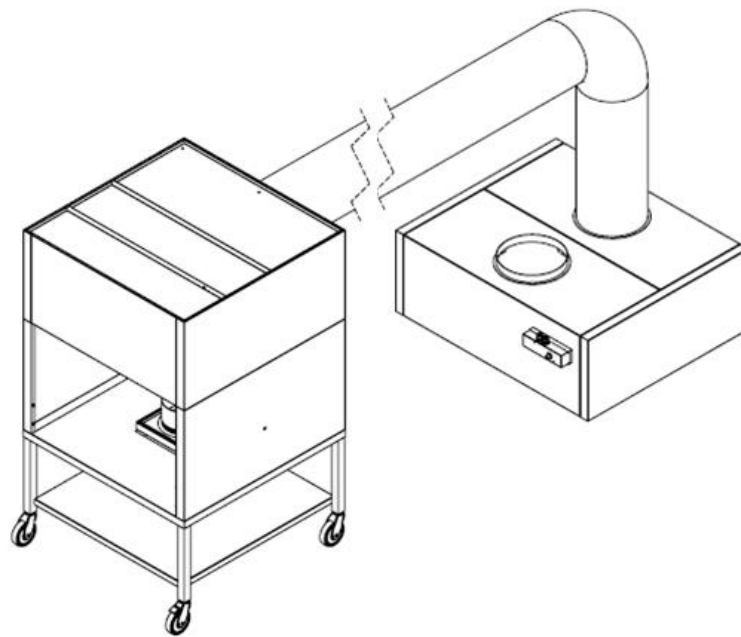
Šio tyrimo tikslas – palyginti trijų skirtingų (Lietuvoje gaminamų Y-RGU, Y-RGN cikloninių ir kito gamintojo labirintinio tipo) riebalų skirtuvų efektyvumo rodiklius. Tyrimai atliekami eksperimentiniu būdu, naudojant suprojektuotą ir pagamintą eksperimentinį stendą. Šis tyrimas paremtas ASTM F2519 ir VDI 2052 standartuose siūlomomis efektyvumo nustatymo metodikomis, tačiau siekiant supaprastinti riebalinių dalelių generavimą, jos bus generuojamos remiantis prEN 16282-6 nurodytais metodais. Tyrimo metu bus gauta esminė garų rinktuvų charakteristika - riebalų dalelių sulaikymo efektyvumo priklausomybė nuo riebalinių dalelių dydžio. Ši kreivė tiksliai parodo koks yra skirtingų frakcijų riebalinių dalelių sulaikymo efektyvumas pagrindiniame maisto ruošimo metu išskiriamų riebalinių dalelių diapazone (nuo 1 µm iki 10 µm) [1]. Naudojant skirtingą maisto ruošimo technologiją, išskiriamų dalelių dydžiai gali kardinaliai skirtis, todėl svarbu žinoti riebalų skirtuvų efektyvumo charakteristiką prie skirtingų dalelių dydžių.

2.2.1 Eksperimentinis stendas ir tyrimo metodika

Atsižvelgiant į ASTM, VDI ir EN standartų metodikas, tyrimams suprojektuotas specialus stendas (2.30 pav.). Stendą sudaro: 2 kW galios kaitvietė 1, 200 mm skersmens ir 110 mm aukščio nerūdijančio plieno puodas 2, riebalinių dalelių generavimo sistema, kurią sudaro du peristaltiniai siurbliukai Longerpump BQ50-1J ir Grundfos DME2-18, prijungti prie vandens ir aliejaus rezervuarų, iš kurių, kapiliariniais vamzdeliais pasiekia aliejaus ir vandens lašinimo vietą 3, riebalų skirtuvai 4, pramoninis 1000 mm ilgio, 1000 mm pločio ir 480 mm aukščio „HNPD“ tipo garų rinktuvas 5, matavimų ir mėginių ėmimo vieta ortakyje 6 – ši vieta parenkama pagal standartų rekomendacijas, tiesioje ortakio atkarpoje su nusistovėjusiu dujų srautu, per ~7 ortakio skersmenis iki matavimo vietos ir per ~5 skersmenis už jos nėra jokių trikdžių. 315 mm skersmens ortakis 7, ventiliatorių blokas 8, su trimis 0,29 kW galios lygiagrečiai sumontuotais išcentriniais ventiliatoriais, ortakyje įmontuotas tinklelis 9, kuris leidžia išgauti tolygesnį oro srauto pasiskirstymą ortakyje, oro išmetimo jungtis 10, prie kurio jungiamas lankstus ortakis, ventiliatorių greičio valdiklis 11.



2.30 pav. Eksperimentinio tyrimų stendo schema



2.31 pav. Eksperimentinis tyrimų stendas

Eksperimentiniame stende bus atliekami riebalų skirtuvų efektyvumo nustatymo tyrimai su trijų skirtingų riebalų skirtuvų tipais. Iš viso atliekama 12 kepimo imitavimo metu išskiriamų dalelių koncentracijų matavimų – 3 matavimai be riebalų skirtuvų ir po 3 matavimus su skirtingais riebalų skirtuvais. Tyrimams naudojami nauji, švarūs skirtuvai. Kiekvienas matavimas trunka po 10 minučių.

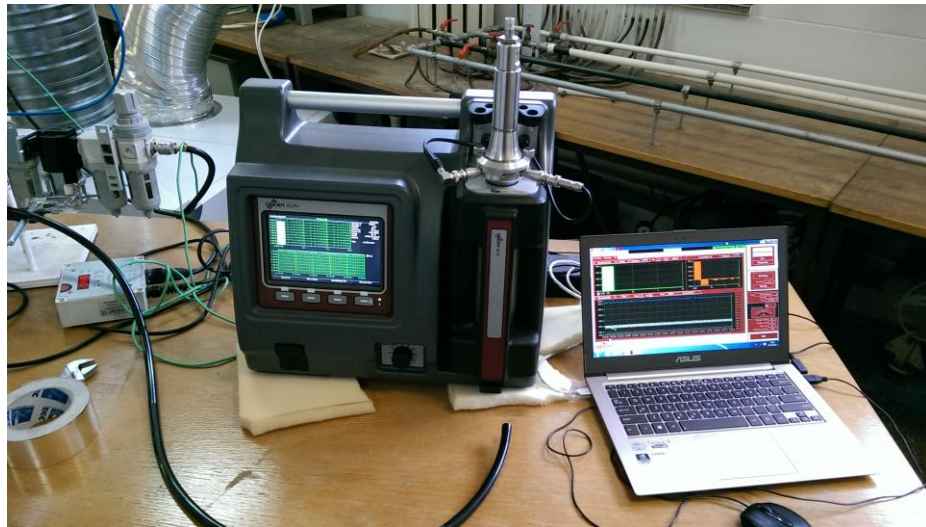
Matavimų metu eksperimentiniame stende imituojamas kepimo procesas. Prieš pradėdant matavimus su kiekvienu riebalų skirtuvų tipu, stendas sureguliuojamas ištraukti 1400 m³/h srautą. Norint pasiekti šį debitą, vidutinis oro srauto greitis 315 mm diametro ortakyje privalo būti 5 m/s. Šis greitis užtikrinamas matuojant srauto greitį ortakyje pagal Lietuvos aplinkos apsaugos normatyviniame dokumente LAND 27-98/ M-07 [16] nurodomą metodiką. Ši metodika nurodo, jog matavimai 315 mm skersmens ortakyje turi būti atliekami 4 taškuose. Apskaičiuota, kad šie taškai turi būti 10 mm, 33 mm, 61 mm ir 100 mm nutolę nuo ortakio sienelės, ortakio centro kryptimi. Atlikus 4 matavimus, vidutinis greitis randamas pagal formulę 2.3.

$$v_{vid} = \frac{v_1 + v_2 + v_3 + v_4}{4} \quad (2.3)$$

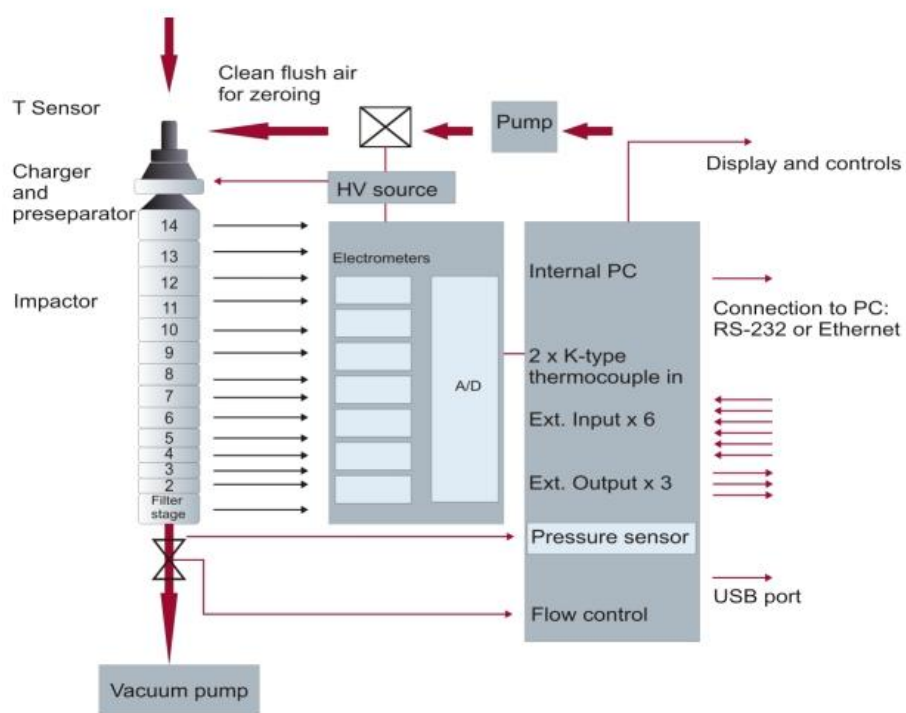
Greičio matavimai ortakyje atliekami anemometru Testo 425, kuris taipogi geba fiksuoti srauto temperatūrą. Prieš pradėdant dalelių matavimus, išmatuojamas slėgio skirtumas gaubto matavimo jungtyje, naudojantis manometru Testo 512.

Kepimo proceso imitavimas atliekamas lašinant aliejų ir distiliuotą vandenį ant įkaitusio puodo dugno. Puodo dugno temperatūra tyrimų metu siekia 250 °C. Distiliuotas vanduo ir aliejus lašinami iš virš puodo centro įrengtų kapiliarinių vamzdelių. Distiliuotas vanduo lašinamas 80 lašelių per minutę dažniu, o kukurūzų aliejus 45 lašelių per minutę dažniu.

Efektyvumo matavimai atliekami naudojant elektrinį žemo slėgio kaskadinį dalelių impaktorių Dekati ELPI+ (2.32 pav.). Šiame įrenginyje matuojama kepimo metu išsiskiriančių dalelių koncentracija. Emisija yra suskirstoma į frakcijas, pagal jų aerodinaminį skersmenį. Dekati ELPI+ impaktoriaus mėgininių ėmimo zondas įrengtas mėginių ėmimo vietoje ortakyje. Šis įrenginys geba matuoti skaitinę bei dalelių masės koncentraciją, skirstant jas į 14 frakcijų – nuo 6 nm iki 10 μm. Šio tyrimo metu matavimai atliekami 6 frakcijoms (0,944 μm iki 9,88 μm), kadangi pagal ankstesnius atliktus tyrimus žinoma, kad cikloniniai riebalų skirtuvai efektyviai geba sulaikyti tik daleles nuo maždaug 1 μm dydžio. ELPI+ veikimo principas (2.33 pav.) skirstomas į tris etapus: elektrinio krūvio suteikimas dalelėms, jų aerodinaminis klasifikavimas pagal dydį daugiapakopiame impaktoriuje ir skaitinės koncentracijos nustatymas. Ore esančios kietosios dalelės suklasifikuojamos į skirtingas pakopas – dalelės, atsitrenkdamos į impaktoriaus lėkštelę turi elektrinį krūvį, kuris yra išmatuojamas elektrometru. Išmatuotas signalas yra tiesiogiai proporcingas dalelių skaitinei koncentracijai ir dydžiui, todėl užfiksuoti signalai verčiami į dalelių pasiskirstymą ir kiekvienos frakcijos dalelių koncentracija pateikiama ir fiksuojama realiu laiku.



2.32 pav. Dekati ELPI+ elektrinis žemo slėgio kaskadinis impaktorius

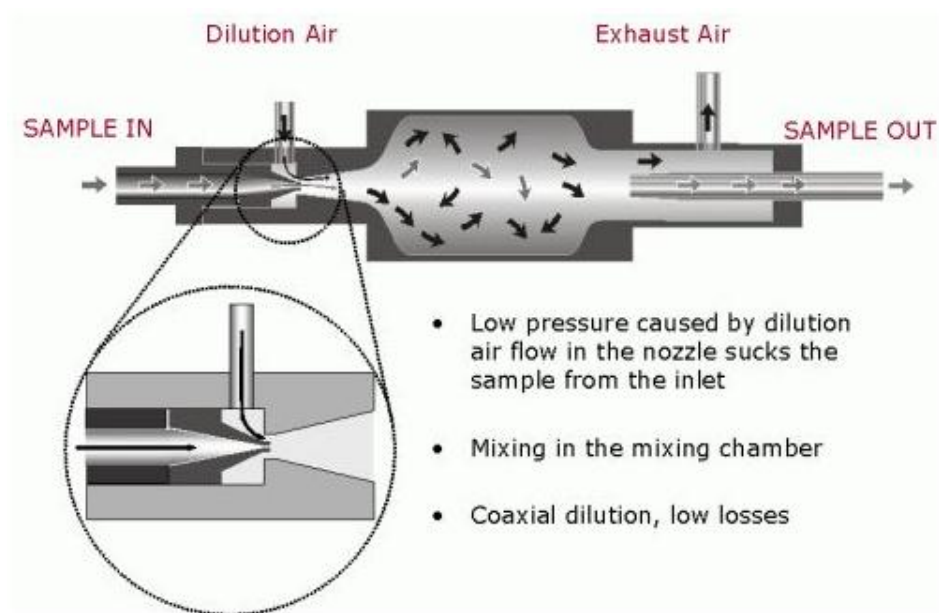


2.33 pav. Dekati ELPI+ impatoriaus veikimo schema [17]

Siekiant neužteršti matavimo prietaiso, atliekamas dujų srauto skiedimas, pasitelkiant Dekati DI-2000 skiediklį (2.34 pav.). Jo veikimo principas parodytas 2.35 pav. Oras srauto skiedimui tiekiamas iš kompresoriaus. Atliekant šiuos tyrimus, oro srautas skiedžiamas 50 kartų.



2.34 pav. Dekati DI-2000 skiediklis sumontuotas bandymų stende



2.35 pav. Dekati DI-2000 skiediklio veikimo schema [18]



2.36 pav. Sumontuotas eksperimentinių bandymų stendas



2.37 pav. Eksperimento eiga – į įkaitintą puodą lašinamas distiliuotas vanduo ir aliejus, tuo tarpu garų rinktuvas traukia 1400 m³/h debitą

Atlikus matavimus su visais riebalų skirtuvų tipais, jų efektyvumas (kiekvienai iš tiriamų frakcijų) apskaičiuojamas pagal šią formulę:

$$E = \left(1 - \frac{C_1}{C_2}\right) \times 100 \quad (2.4)$$

čia E – riebalų skirtuvų efektyvumas (%), C_1 - dalelių skaičiaus vidutinė koncentracija, matuojant su riebalų skirtuvais (3 matavimai po 10 min.), C_2 - dalelių skaičiaus vidutinė koncentracija, matuojant be riebalų skirtuvų (3 matavimai po 10 min.).

2.2.2 Rezultatai ir analizė

Atlikta po tris matavimus be riebalų skirtuvų ir su kiekvienu riebalų skirtuvų tipu. Matavimų sąlygos pateikiamos 2.10 lentelėje. Visi matavimai atlikti esant vienodam vidutiniam srauto greičiui ortakyje.

2.10 lentelė. Matavimų sąlygos

Riebalų skirtuvo tipas	Aplinkos temperatūra, °C	Ortakio temperatūra, °C	Oro srauto greitis ortakyje, m/s	Slėgio nuostoliai matavimo jungtyje, Pa
Be riebalų skirtuvų	20,4	21,3	5,06	-
Y-RGU	20,8	21,7	4,96	60
Y-RGN	20,4	21,5	5,11	58
Labirintiniai	20,3	21,4	4,98	49

Atlikus matavimus, jų duomenys apdorojami – išvedami matavimų vidurkiai ir pagal 2.4 formulę nustatomas kiekvieno riebalų skirtuvo efektyvumas visose iš 6 tiriamų frakcijų. Rezultatai pateikiami 2.11 lentelėje, o vidutinis standartinis nuokrypis 2.12 lentelėje.

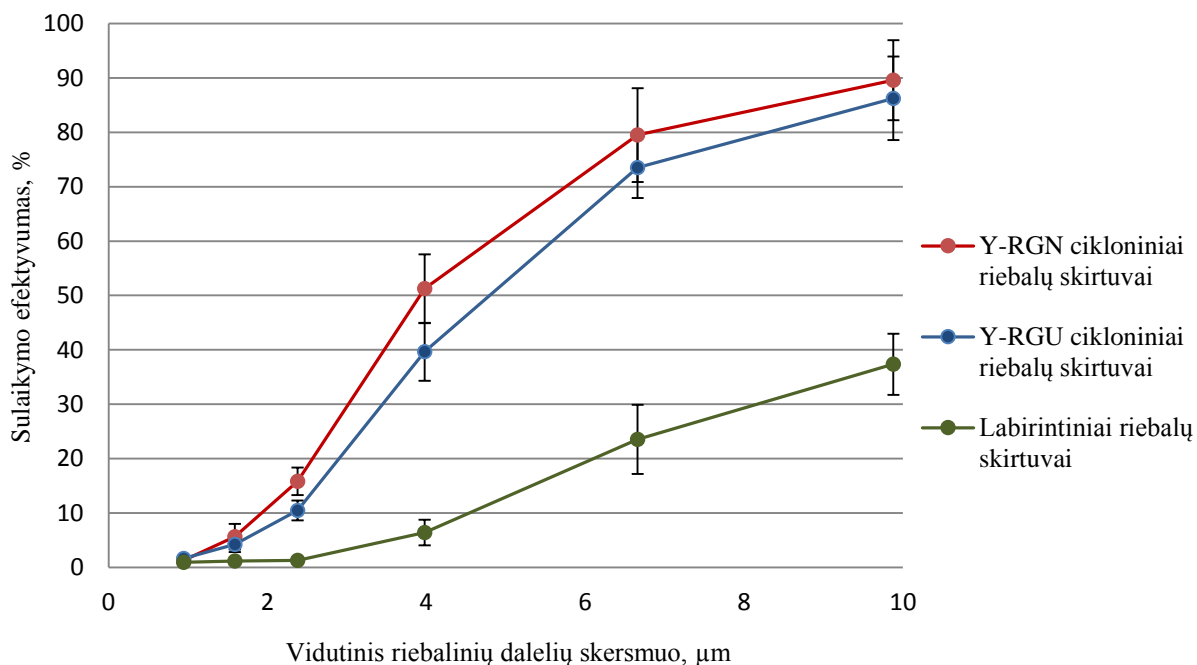
2.11 lentelė. Riebalų skirtuvų efektyvumas (%) skirtingiems riebalinių dalelių dydžiams

Riebalų skirtuvo tipas	Dalelių vidutinis skersmuo, μm					
	0,944	1,59	2,38	3,98	6,66	9,88
Y-RGN cikloniniai riebalų skirtuvai	1,3 %	5,6 %	15,8 %	51,2 %	79,5 %	89,6 %
Y-RGU cikloniniai riebalų skirtuvai	1,6 %	4,2 %	10,5 %	39,7 %	73,5 %	86,3 %
Labirintiniai riebalų skirtuvai	0,9 %	1,2 %	1,3 %	6,4 %	23,5 %	37,4 %

2.12 lentelė. Standartinis riebalų skirtuvo efektyvumo nuokrypis (%)

Riebalų skirtuvo tipas	Dalelių vidutinis skersmuo, μm					
	0,944	1,59	2,38	3,98	6,66	9,88
Y-RGN cikloniniai riebalų skirtuvai	0,6 %	2,4 %	2,5 %	6,3 %	8,6 %	7,4 %
Y-RGU cikloniniai riebalų skirtuvai	0,4 %	1,4 %	1,8 %	5,3 %	5,6 %	7,7 %
Labirintiniai riebalų skirtuvai	0,2 %	0,3 %	0,4 %	2,4 %	6,4 %	5,6 %

Rezultatai pateikiami grafiškai (2.38 pav.) ir leidžia akivaizdžiai įvertinti skirtingų riebalų skirtuvų efektyvumo charakteristikas.



2.38 pav. Riebalų skirtuvų dalelių sulaikymo efektyvumo priklausomybė nuo dalelių dydžio

2.2.3 Išvados

Atlikus tyrimus, gautos Lietuvoje gaminamų cikloninių Y-RGN ir Y-RGU bei kito gamintojo labirintinio tipo riebalų skirtuvų riebalinių dalelių sulaikymo efektyvumo priklausomybės nuo dalelių skersmens dydžio. Efektyvumo grafike akivaizdžiai matoma tendencija, jog didėjant dalelių skersmeniui, jos sulaikomos efektyviau. Nustatyta, jog cikloniniai riebalų skirtuvai yra ženkliai efektyvesni sulaikydami riebalines daleles (visame dalelių dydžių diapazone) už tyrimams naudotus labirintinius riebalų skirtuvus, esant analogiškam srauto debitui. Rezultatai rodo, jog Y-RGN riebalų skirtuvai veikia efektyviausiai visame tyrimams aktualiaame dalelių dydžio diapazone. Nustatyta, jog cikloniniai riebalų skirtuvai yra efektyvesni už tyrimuose naudotus labirintinius riebalų skirtuvus pro juos pratekant vienodam oro srauto debitui. Kai vidutinis pratekančių riebalinių dalelių skersmuo $1,59 \mu\text{m}$ – Y-RGU riebalų skirtuvai daleles sulaiko 4,7 karto, kai $3,98 \mu\text{m}$ – 2,6 karto, o kai $9,88 \mu\text{m}$ – 2,4 karto efektyviau. Rezultatų tikslumas galėjo būti įtakojamas nežymių srauto greičio svyravimų, taip pat reikėtų atsižvelgti į tai, kad dalelių generavimas vyko su tam tikrais pertrūkiais – vanduo ir aliejus buvo lašinami tam tikrais intervalais. Vis dėlto, standartiniai nuokrypiai neviršija 9 %, todėl galima daryti išvadą, jog gauti gautais rezultatais galima pasikliauti.

Pagal cikloninių skirtuvų teoriją [19], cikloninių skirtuvų efektyvumas priklauso nuo ciklone veikiančios išcentrinės jėgos dydžio (2.5 formulė). Ši jėga tiesiogiai priklauso nuo cikloninio srauto tangentinio greičio kvadrato ir atvirkščiai proporcinga ciklono spindulio dydžiui.

$$F_i = \frac{m \cdot v_t^2}{r} \quad (2.5)$$

čia F_i - išcentrinė jėga, m – masė, v_t – tangentinis greitis, r - spindulys

Iš šios teorijos, galima daryti išvadą, kad siekiant gerinti riebalų skirtuvų efektyvumą, reikėtų mažinti cikloninių riebalų skirtuvų celių dydžius bei siekti padidinti greitį jose. Tai būtų galima padaryti sumažinus angų, per kurias patenka oras, pločius. Sumažėjus celių ir angų dydžiams, padidėtų slėgio nuostoliai, tačiau atliekant parametrinę analizę ir didinant celių skaičių bei riebalų skirtuvų aukštį, būtų galima rasti optimaliausią skirtuvų formą ir išlaikyti norimus slėgio nuostolių rodiklius.

IŠVADOS

1. Gautos garų rinktuvų slėgio nuostolių nuo ištraukiamo oro debito priklausomybės. Jų dėka, ventiliacijos rangovai galės parinkti efektyviausią sistemos ventiliatorių bei sureguliuoti garų rinktuvą darbui optimaliu režimu.
2. Nustatyta, kad garų rinktuvai su Y-RGN riebalų skirtuvais sukuria mažesnius slėgio nuostolius nei su Y-RGU skirtuvais.
3. Skaičiuojamojo modeliavimo rezultatai sulyginti su eksperimentiniais rezultatais – gautos iki 6 % paklaidos, kurios leidžia daryti išvadą, jog skaičiuojamasis modelis buvo sudarytas teisingai ir gautomis priklausomybėmis galima remtis atliekant inžinerinius skaičiavimus.
4. Atlikus standartinių riebalų skirtuvo efektyvumo tyrimų analizę, nuspręsta atlikti eksperimentinį tyrimą remiantis mišria, VDI 2052 ir prEN16282 standartais pagrįsta metodika.
5. Riebalų skirtuvų efektyvumo tyrimams suprojektuotas ir pagamintas eksperimentinis stendas.
6. Nustatyta, jog cikloniniai riebalų skirtuvai yra efektyvesni už tyrimuose naudotus labirintinius riebalų skirtuvus pro juos pratekant vienodam oro srauto debitui. Kai vidutinis pratekančių riebalinių dalelių skersmuo $1,59 \mu\text{m}$ – Y-RGU riebalų skirtuvai daleles sulaiko 4,7 karto, kai $3,98 \mu\text{m}$ – 2,6 karto, o kai $9,88 \mu\text{m}$ – 2,4 karto efektyviau.
7. Nustatyta, jog efektyviausias cikloninių riebalinių skirtuvų modelis yra Y-RGN. Vidutiniškai jų efektyvumas yra 17,7 % didesnis visame tirtame riebalinių dalelių dydžių diapazone už Y-RGU riebalų skirtuvus.
8. Numatomi tyrimai ateityje – optimalaus ištraukimo srauto intervalo nustatymas kiekvienam garų rinktuvo tipui ir ilgiui. Taip pat planuojama atlikti parametrinius tyrimus siekiant optimizuoti riebalų skirtuvų dydį, jų formą ir cikloninių celių skaičių. Šių tyrimu rezultate būtų suprojektuoti efektyviai temperatūrinį pliūpsnį gebantys sulaikyti garų rinktuvai, kurie taip pat pasižymėtų itin aukštu riebalinių skirtuvų filtravimo efektyvumu bei mažiausiais įmanomais slėgio nuostoliais.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Zhang Q., Gangupomu R.H., Ramirez D., Zhu Y. Measurement of ultrafine particles and other air pollutants emitted by cooking activities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2010; Volume 7, p. 1744–1759.
2. Glytsos T., Ondracek J., Djumbova L., Kopanakis I., Lazaridis M. Characterization of particulate matter concentrations during controlled indoor activities. *Atmospheric Environment*, 2010, Volume 44, Issue 12, p. 1539–1549.
3. Metayer C., Wang Z., Kleinerman R. A., Wang L., Brenner A. V., Cui H. Cooking oil fumes and risk of lung cancer in women in rural Gansu, China. *Lung Cancer Journal*, 2002, Volume 35, Issue 2, p. 111-117.
4. Chowdhury Z., Le L. T., Masud A., Chang K.C., Alauddin M., Hossain M. Quantification of indoor air pollution from using cookstoves and estimation of its health effects on adult women in northwest Bangladesh. *Aerosol Air Quality Research*, 2002, Volume 12, 2012, p. 463-475.
5. Įmonės „CZ Energy Solutions“ informacija. [žiūrėta 2015-05-26]. Prieiga per internetą: <http://www.czenergymanagement.com/building-pressures/>
6. prEN 16282 (Part 1-9). Equipment for commercial kitchens. Components for ventilation of commercial kitchens, 2011.
7. Brohard G., Fisher D.R., Smith V.A., Swierczyna R.T., Sobiski P.A.. Makeup air effects on kitchen exhaust hood performance. California Energy Commission Consultant Report, 2003.
8. Livchak, A. New equipment for cleaning extract air in commercial kitchens. [žiūrėta 2015-04-29]. Prieiga per internetą: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3016
9. Grease Extraction – Myth and Reality. [žiūrėta 2015-03-29]. Prieiga per internetą: http://c.ymcdn.com/sites/www.fcsi.org/resource/resmgr/americas_quizes/fcsi_quiz_-_halton_grease_ex.pdf
10. Įmonės „Metal Filters Inc.“ katalogas internete. [žiūrėta 2015-05-26]. Prieiga per internetą: http://www.metalfiltersinc.com/metalfilters_008.htm
11. ASTM F2519. Standard Test Method for Grease Particle Capture Efficiency of Commercial Kitchen Filters and Extractors, 2011.
12. Verein Deutscher Ingenieure VDI, Standard 2052. Ventilation Equipment for Kitchens, 2006

13. Schrock, D. W., Kuehn, T. H., Olson, B. A., Breitenfeldt, A. L., Urness, R. J. A New Standard Method of Test for Determining the Grease Particulate Removal Efficiency of Filter Systems for Kitchen Ventilation. ASHRAE Transactions, 2006, Volume 112, Part 1.
14. Designing Air Flow Systems. [žiūrėta 2015-03-29]. Prieiga per internetą: <https://www.captiveaire.com/MANUALS/AIRSYSTEMDESIGN/DESIGNAIRSYSTEMS.HTM>
15. Oro srauto tekėjimo per siaurą angą teorinių skaičiavimų informacija. [žiūrėta 2015-05-29]. Prieiga per internetą: <http://www.wermac.org/specials/orificeflowmeter.html>
16. LAND 27-98/M-07. Stacionarūs atmosferos teršalų šaltiniai. Dujų srauto greičio ir tūrio debito ortakyje matavimas. Valstybės žinios, 1998, nr. 47-1298.
17. Dekati ELPI+ žemo slėgio impaktoriaus specifikacijos. [žiūrėta 2015-03-29]. Prieiga per internetą: <http://www.dekati.com/products/Fine%20Particle%20Measurement/ELPI%2B%E2%84%A2>
18. Dekati DI-2000 skiediklio specifikacijos. [žiūrėta 2015-03-29]. Prieiga per internetą: <http://www.dekati.com/products/Aerosol%20Sample%20Conditioning/Dekati%C2%AE%20Diluter>
19. Cikloninių skirtuvų informacija. [žiūrėta 2015-05-27]. Prieiga per internetą: http://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/air_quality/cyclone_separators