

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS

Tomas Šablinskas

ORO APYTAKOS VALDYMO SISTEMOS TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas
dr. Marius Mikolajūnas

PANEVĖŽYS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS
TECHNOLOGIJŲ KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas doc. Arūnas Tautkus

(parašas)

(data)

ORO APYTAKOS VALDYMO SISTEMOS TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Valdymo technologijos (kodas 621H66001)

Vadovas dr. Marius Mikolajūnas

(parašas)

(data)

Recenzentas

(parašas)

(data)

Projektą atliko Tomas Šablinskas

(parašas)

(data)

PANEVĖŽYS, 2015



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

(Fakultetas)

Tomas Šablinskas

(Studento vardas, pavardė)

Valdymo technologijos 621H66001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Oro apytakos valdymo sistemos tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 15 m. birželio 1 d.

Panevėžys

Patvirtinu, kad mano **Tomas Šablinskas** baigiamasis projektas tema „**Oro apytakos valdymo sistemos 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)

BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota studentui: Tomui Šablinskui Grupė PME-3

1. Darbo tema:

Lietuvių kalba: Oro apytakos valdymo sistemos tyrimas

Modelling and optimization of clean room ventilation system

Anglų kalba: _____

Patvirtinta 2015 m. vasario mėn. 13 d. dekanu potvarkiu Nr. ST17-F-13-11

2. Darbo tikslas:

Ištirti Panevėžio mechatronikos centro mikro ir nano technologijų laboratorijos švaros kambarių zonas. Nustatyti bei įvertinti dabartinę šių kambarių būklę, ištirti jų realias oro apytakos ir švaros palaikymo sąlygas, numatyti galimybes, kaip priartinti šiuos švaros kambarius prie tarptautinių ISO standartų.

3. Reikalavimai ir sąlygos:

Ištirti Panevėžio mechatronikos centro švaros kambarius, atlikti oro srautų modeliavimą.

4. Projekto struktūra. Turinys konkretizuojamas kartu su vadovu, atsižvelgiant į BP pobūdį.

4.1 Literatūros apžvalga ir analizė

Atlikti literatūros apžvalgą apie švaros kambarius, jų tipus, oro srauto valdymo sistemas.

4.2 Teoriniai ir analiziniai tyrimai

Ištirti Panevėžio mechatronikos centro švaros kambarius, oro tiekimo bei šalinimo sistemas, išmatuoti oro srauto dydžius patalpose.

4.3 Eksperimentiniai tyrimai

Sumodeliuoti švaros patalpas, naudojant tyrimo metu gautus duomenis, pasiūlyti oro srautų valdymo sprendimus, atlikti švaros patalpų modeliavimą pagal pasiūlytą valdymo sistemą.

5. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo projekto dalis.

6. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas

_____ (data)

Užduotį gavau: _____

_____ (studento vardas, pavardė, parašas)

_____ (data)

Vadovas: _____

_____ (pareigos, vardas, pavardė, parašas)

_____ (data)

Šablinskas, T. Oro apytakos valdymo sistemos tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas dr. Marius Mikolajūnas; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas, Technologijų katedra.

Panevėžys, 2015. 47 psl.

SANTRAUKA

Švaros kambarys, tai yra kambarys, kuris palaiko kuo mažesnę dalelių kiekį patalpoje. Tai pasiekama tiekiant orą dideliu kiekiu, kuris yra filtruojamas aukšto efektyvumo filtrais. Šis oras yra naudojamas, kad nuneštų bakterijas, chemikalus ar kitas daleles nuo personalo, mechanizmų bei įvairių objektų esančių kambaryje, kad užterštas oras nepatektų į švaros kambarį.

Šiame darbe buvo ištirtos Panevėžio mechatronikos centro mikro ir nano technologijų švaros patalpos, preliminariai ištirtas ir sumodeliuotas laminarinis oro srautas švaros patalpose. Numatytos oro srauto valdymo galimybės, kuriomis būtų įmanoma pagerinti laboratorijų darbo zonas, pasiūlyta oro srauto valdymo sistema ir preliminariai paskaičiuoti galimi oro srautai, kurių būtų įmanoma pasiekti įrengus oro srauto valdymo sklendes.

Raktiniai žodžiai: švaros kambarys, modeliavimas, srautų valdymas, laminarinis, comsol, oro srauto valdymas sklendėmis.

Šablinskas, T. Modelling and optimization of clean room ventilation system. Masters final project / supervisor dr. Marius Mikolajūas; Kaunas University of Technology, Panevėžys Faculty of Technology and Business, Department of Technologies.

Panevėžys, 2015. 47 psl.

SUMMARY

Clean room is a room that supports the lowest possible quantity of particles in the room. This is achieved by the supply of large amounts of air, which is filtered in high-performance filters. This air is used to remove bacteria, chemicals or other particles from personnel, machinery and various objects in the room that contaminated air from entering the clean room.

In this work was investigated Panevezys Mechatronics center of micro and nano technologies clean room, pre-tested and modeled a laminar air flow clean room. Provided air traffic control capabilities, making it possible to improve laboratory working areas, the proposed air traffic control system and pre-calculate the possible air flow, which would be possible to achieve the installation of air-flow control valves.

Keywords: clean room, modeling, flow control, laminar, Comsol, air flow control valves.

TURINYS

Įvadas	8
1. Literatūros analizė ir apžvalga.....	9
1.1 Švaros kambarių tipai:	9
1.1.1 Nevienakryptės oro srovės švaros kambarių projektavimas.....	10
1.1.2 Oro tiekimas.....	10
1.1.3 Didelio efektyvumo oro filtrai	11
1.1.4 Oro judėjimas nevienakryptėje patalpoje	11
1.2 Vienakryptinės oro srovės švaros kambarių projektavimas.....	12
1.2.1 Vertikalaus oro srauto švaros kambariai	12
1.2.2 Horizontalaus oro srauto švaros kambariai.....	13
1.2.3 Vienakryptinės oro srovės švaros kambariai puslaidininkų gamyboje	14
1.3 Oro filtravimas aukšto efektyvumo filtrais	14
1.3.1 Švaros kambariuose naudojami oro filtrai.....	14
1.3.2 Aukšto efektyvumo oro filtrų konstrukcija.....	15
2. Eksperimentinė dalis.....	16
2.1 Trumpai apie PMC veiklą.	16
2.2 PMC mikrotechnologijų laboratorijos oro rekuperacinė sistema.....	16
2.2.1 Oro kondicionavimo sistema	17
2.2.2 Oro srauto padavimas bei ištraukimas.....	18
2.3 Oro srauto greičio matavimas.....	21
3. Tiriamoji dalis	23
3.1 Patalpų modeliavimas	23
3.2 Oro srautų valdymo sprendimai	29
3.3 Patalpų modeliavimas po galimos rekonstrukcijos.....	35
3.4 Alternatyva didesniems oro srautams pasiekti.	40
Išvados.....	42
Literatūros sąrašas.....	43
Priedai	45
1 priedas. Elektros pavaros „Belimo“ techninės charakteristikos.....	45
2 priedas. Anemometro Meterman TMA10 techninės charakteristikos.....	46
3 priedas. Oro sklendžių „Swegon“ techninės charakteristikos.....	47

IVADAS

Švaros kambarys tarptautinėje standartų organizacijoje (ISO) yra apibrėžtas standartu 14644-1: švaros kambarys yra aplinka, tipiška panaudota gamyboje ar mokslo tiriamajame darbe, su žemu aplinkos teršalų lygiu, tokiu kaip dulkės, oru gabenami mikrobai, aerozolio dalelės ar cheminiai garai. Tiksliau, švaros kambarys turi kontroliuotą užteršimo lygmenį, kuris yra apibrėžtas dalelių skaičiumi kubiniame metre.

Šis standartas apibūdina pagrindinę švaros kambario apibrėžimo esmę. Tai yra kambarys, kuris palaiko reikiamą dalelių kiekį patalpoje. Pirmiausia tai pasiekama tiekiant orą nepaprastai dideliu kiekiu, kuris yra filtruojamas aukšto efektyvumo filtrais. Šis oras yra naudojamas, kad nuneštų bakterijas, chemikalus ir kitas daleles nuo personalo, mechanizmų bei įvairių šaltinių esančių kambaryje, kad užterštas oras nepatektų ant gaminio, bandinio. Antra, švaros kambarys yra įrengiamas tokiomis medžiagomis, kurios nesukelia dulkių. Švaros kambario personalas privalo dėvėti specialius rūbus, kurie mažina dalelių ir mikroorganizmų išsisklaidymą ore.

Tyrimo objektas – Panevėžio mechatronikos centras

Tyrimo tikslas: ištirti Panevėžio mechatronikos centro (toliau – PMC) mikro ir nano technologijų laboratorijos švaros kambarių zonas. Nustatyti bei įvertinti dabartinę šių kambarių būklę, ištirti jų realias oro apytakos ir švaros palaikymo sąlygas, numatyti galimybes, kaip priartinti šiuos švaros kambarius prie tarptautinių ISO standartų.

Tyrimo uždaviniai:

1. Oro srauto dydžių išmatavimas;
2. Švaros patalpų modeliavimas;
3. Valdymo galimybių tyrimas.

Tyrimo metodai – mokslinės literatūros analizė, eksperimentai.

1. LITERATŪROS ANALIZĖ IR APŽVALGA

Švaros kambario įgyvendinimas gali būti padalintas į tris pagrindinius etapus: projektavimas ir statyba, tyrimai ir kontroliavimas bei veikla.

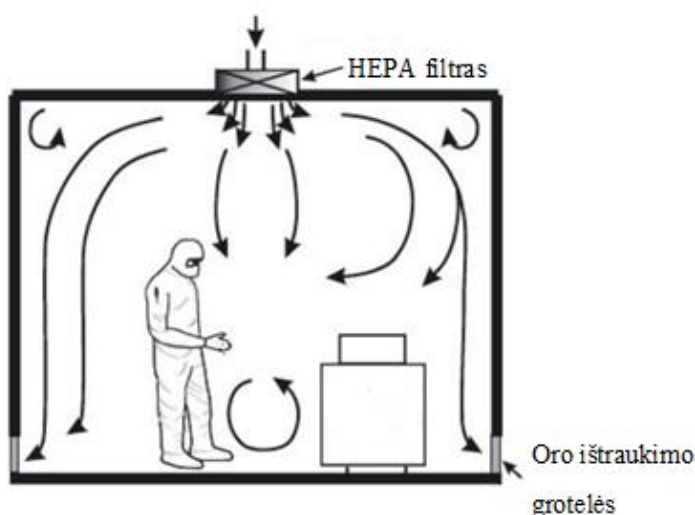
Pirmiausia reikia suprojektuoti kambarį. Kad tai būtų padaryta, reikia apsvarstyti projektavimo standartus, kurie turėtų būti naudojami, koks įrangos išdėstymas ir kokios medžiagos bus naudojamos, kaip visos šios paslaugos turi būti tiekiamos.

Antra, įrengus švaros kambarį, jis turi būti tikrinamas ar tenkina projektavimo reikalavimus. Eksploatuojant švaros kambarį, jis turi būti kontroliuojamas, kad garantuotų reikalingų standartų išlaikymą.

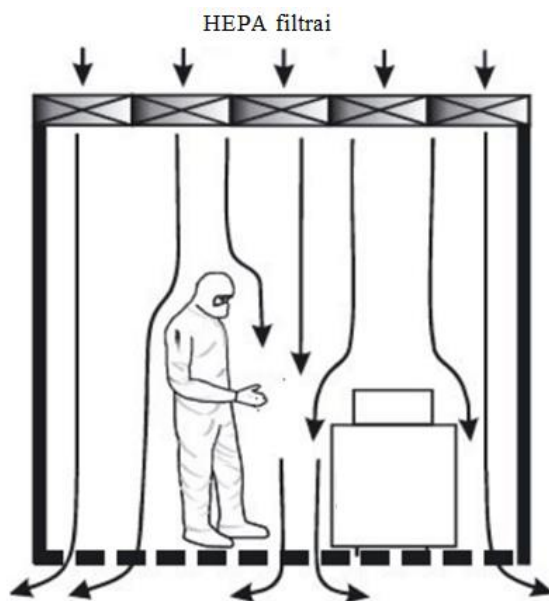
Reikia tinkamai eksploatuoti įrengtą švaros kambarį, kad jo gaminama produkcija nebūtų užteršta. Viso to pasiekama laikantis švaros kambario disciplinos, teisingai parinkus personalo aprangą ir tinkamai valdant oro valymo sistemą. [1]

1.1 Švaros kambarių tipai:

Švaros kambariai, pagal ventiliacijos metodą skirstomi į du pagrindinius tipus: vienakryptės ir nevienakryptės oro srovės tekėjimą. Iš pradžių vienakryptės oro srovės švaros kambariai buvo žinomi kaip laminarinio tekėjimo, o nevienakryptinės srovės kambariai, kaip turbulentinės ventiliacijos. Vienakryptė oro srovė yra teisingas terminas apibūdinant oro srovę. Vienakryptė oro srovė švaros kambariuose vartoja daug daugiau oro negu nevienakryptė oro srovė, tačiau suteikia ženkliai aukštesnį švarumo lygį. Žemiau pateikti šių patalpų paveikslėliai (1 pav., 2 pav.). [1]



1 pav. Nevienakryptė ventiliavimo patalpa



2 pav. Vienakryptė ventiliavimo patalpa

1.1.1 Nevienakryptės oro srovės švaros kambarių projektavimas

Nevienakryptės oro srovės ventiliacijos principai yra labai panašūs į įprastas ventiliuojamas patalpas, tokias kaip parduotuvės ar biurai. Oras tiekiamas kondicionavimo įrenginiu per lubose įrengtą difuzorių. Tačiau, tokios sistemos turi ir daug skirtumų:

- *tiekiamo oro tūris yra ženkliai didesnis;
- *oras yra išvalomas aukšto efektyvumo oro filtrų, prieš patenkant į švaros kambarį;
- *oro judėjimas švaros kambaryje, padeda pašalinti užteršimą;
- *oro slėgis švaros kambaryje yra didesnis už įprastų patalpų slėgį, kad užterštas oras nepatektų į švaros zoną;
- *statybinės medžiagos ir apdaila atitinka aukštus standartus.

1.1.2 Oro tiekimas

Įprastoje oru kondicionuojamoje patalpoje, tokioje kaip parduotuvė ar biuras, oras yra tiekiamas tik tiek, kad patenkintų klientų poreikius. Tai galėtų būti nuo 2 iki 10 oro pasikeitimų kartų per valandą. Vis dėlto tipinė nevienakryptinė oro tiekimo sistema, pakeičia orą švaros kambaryje nuo 10 iki 100 kartų per valandą. Šis papildomas oras atskiedžia užterštą orą patalpoje ir sumažina užteršimo koncentraciją.

Švaros kambarys reikalauja didelio kiekio oro, kuris turi atitikti aukštus standartų reikalavimus. Siekiant užtikrinti ekonominį oro panaudojimą, labai svarbu, kad švaros kambario oras cirkuliuotų uždaru ciklu per oro kondicionavimo įrenginius. Taip pat labai svarbu papildyti orą

šviežiu oru, kad užtikrinti darbuotojų, dirbančių švaros kambaryje sveikatą. Įprastai šviežias oras sudaro nuo 2 % iki 10 % viso paduodamo oro. Dideliems oro nepraleidžiantiems kambariams reikia mažesnės šviežio oro koncentracijos, nei mažiems. Jei naudojamos nuotolinio oro taršos šalinimo sistemos, tada šviežio oro procentinis kiekis turi būti didinamas.[2]

1.1.3 Didelio efektyvumo oro filtrai

Švaros kambariuose naudojami specialūs oro filtrai, kurie yra daug efektyvesni už įprastus filtrus. Tokie filtrai išvalo orą iki 99,97 %. Šie filtrai yra žinomi kaip didelio efektyvumo dalelių filtrai (HEPA – *high efficiency particular air*), bei itin žemo įsiskverbimo filtrai (ULPA – *ultra low penetration air*), kurie turi dar didesnę efektyvumą, ir naudojami mikroelektronikos gamyboje ar panašioje srityje. Dauguma švaros kambarių naudoja šiuos HEPA ar ULPA filtrus, bet žemiausio standarto švaros kambariuose jie nėra būtini. ISO 8 klasės švaros kambariuose naudojami kišeninio tipo filtrai, kurių naudingumo koeficientas yra apie 90 % .

Daugelyje švaros patalpų, HEPA arba ULPA filtrai yra sumontuoti toje vietoje, kur oras išleidžiamas į patalpą. Biuruose ar panašios paskirties patalpose, filtrai montuojami tiesiai po oro kondicionavimo įrenginiu ir filtruotą orą ortakiais platina į patalpas. Tačiau dalelės gali būti įtrauktos į ortakius, ar atitrūkti nuo vamzdžio paviršiaus ir patekti į švaros kambarį. Todėl švaros kambariuose filtrai montuojami galinėje oro valymo sistemos padėtyje. Žemesnės klasės švaros kambariuose, pvz. : ISO 8, filtrus galima montuoti ir įprastoje vietoje, tiesiai po kondicionavimo įrenginiu.[3]

1.1.4 Oro judėjimas nevienakryptėje patalpoje

Oro sklaidytuvų tipas, skaičius ir išdėstymas, nemažiau svarbus nei oro ištraukimo grotelės. Nors tiekti orą į švaros kambarį įmanoma ir be jų. Oro sklaidytuvai yra naudojami daugelyje patalpų, jie yra įrengti vietose, kur oras patenka į kambarį. Šie sklaidytuvai yra naudojami, kad sumažintų skersvėjų patalpose, kuris atsiranda dėl greito oro srauto judėjimo pasikeitimo, bei kad užtikrintų gerą oro maišymąsi.

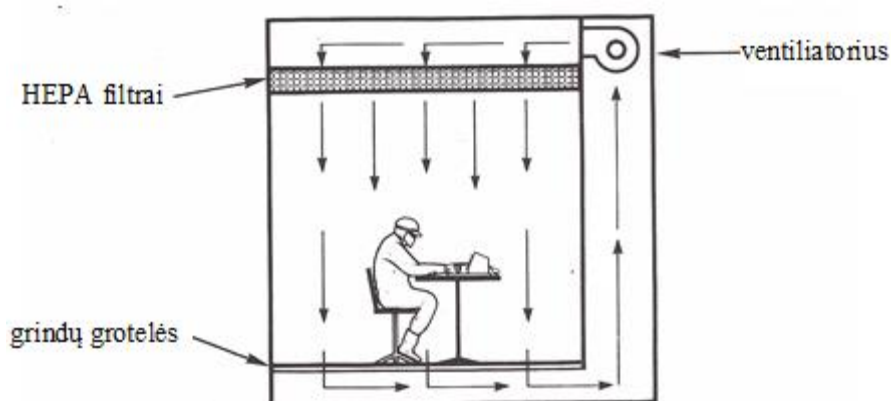
Kai kuriuose tradiciškai ventiliuojamuose švaros kambariuose, oro sklaidytuvai nėra naudojami, oras paduodamas tiesiogiai žemyn nuo oro filtro. Šis metodas pasirenkamas, norint išgauti ištisinį srautą ir geras užteršimo kontrolės sąlygas.

Jei pasirenkamas taip vadinamas „dump“ metodas, tuomet filtrai turėtų būti išdėstyti tolygiai visame kambaryje. Filtrus reikėtų sugrupuoti, norint palaikyti reikiamą švarą norimoje vietoje.

1.2 Vienakryptinės oro srovės švaros kambarių projektavimas

Švaros kambariai vėdinami nevienakryptine oro srove, geriausiu atveju gali pasiekti ISO 6 standarto reikalavimus. Norint gauti švaros kambarius geresnės nei ISO 6 klasės, didesnis oro dalelių skiedimas nėra būtinas, tai gali būti pasiekama vienakrypte oro srauto srove.

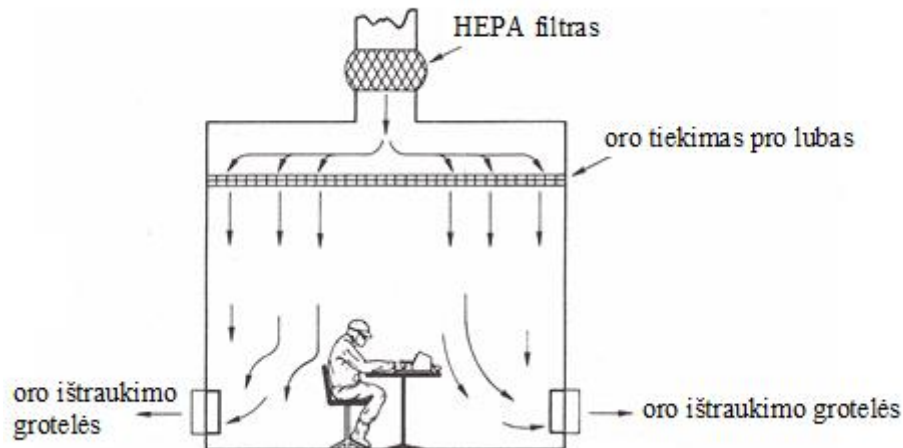
Siekiant užtikrinti mažą dalelių bei mikroorganizmų koncentraciją ore, švaros kambariuose, naudojama vienakryptė oro srovė. Oro srautas patalpoje gali judėti horizontaliai arba vertikaliai, oro greitis siekia nuo 0,3 m/s iki 0,5 m/s. Žemiau pateiktame 3 paveikslėlyje pavaizduotas tipiškas vertikalios oro srauto švaros kambarys. Paveikslėlyje matyti, jog oras tiekiamas pro HEPA filtrus, įmontuotus kambario lubose. Tokiu būdu tiekiamas oras keliauja žemyn, nunešdamas užterštą orą ir yra ištraukiamas per kambario grindyse įrengtas ištraukimo groteles. Išsiurbtas oras sumaišomas kartu su šviežiu oru ir paduodamas atgal į aukšto efektyvumo oro filtrus. [4]



3 pav. Vienakryptės oro srovės švaros kambarys

1.2.1 Vertikalios oro srauto švaros kambariai

Aukščiau pateiktame paveikslėlyje, pavaizduotas vertikalios oro srauto švaros kambarys, tačiau vertikalios oro srauto kambariai taip pat gali būti projektuojami taip, kad oras būtų grąžintas per ištraukimo groteles, paskirstytas pagal sieną grindų lygmenyje. Paveiksle 4 pavaizduotas tokio tipo kambarys. Tačiau toks švaros kambarių tipas gali būti naudojamas tik tada, kai kambario maksimalus plotis neviršija 6 metrų.

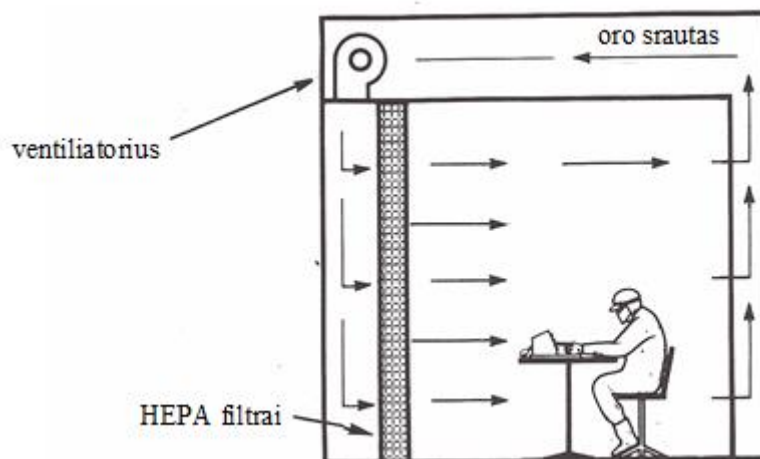


4 pav. Vertikalaus oro srauto švaros kambarys

Šio išdėstymo švaros kambariai nėra praktiški, kadangi kambario centre gaunama nepakankama oro judėjimo srovė.

1.2.2 Horizontalaus oro srauto švaros kambariai

Paveikslėlyje Nr. 5 pavaizduotas tipinis horizontalaus oro srauto švaros kambarys. Šio tipo kambariuose oras tiekiamas pro aukšto efektyvumo filtrus sumontuotus sienoje. Pratekėjęs per kambarį oras yra ištraukiamas pro ištraukimo groteles, sumontuotas priešingoje kambario sienoje. Tada oras yra grąžinamas į ventiliacijos įrenginius ir vėl ratu paduodamas į filtrus [5]. Daugumoje tokio tipo švaros kambarių ventiliacijos įrenginių plotas sienoje yra daug mažesnis nei lubose, todėl tokio kambario įrengimui reikia mažiau išlaidų. Tačiau horizontalaus srauto kambariai nėra tokie populiarūs kaip vertikalaus oro srauto švaros kambariai. Kadangi bet koks užteršimas, sukurtas šalia filtrų, bus nuneštas išilgai per visą kambarį ir gali užteršti gaminamą produktą.



5 pav. Horizontalaus oro srauto švaros kambarys

1.2.3 Vienakryptinės oro srovės švaros kambariai puslaidininkių gamyboje

Puslaidininkių švaros kambario projektas vystėsi keliolika metų. Oras vienakryptės srovės principu paduodamas pro lubose įrengtus aukšto efektyvumo filtrus, o per grindyse įrengtas ištraukimo groteles išsiurbiamas iš patalpos. Kadangi puslaidininkių gamyba yra jautri vibracijai, iš patalpų išsiurbtas oras atgal į filtrus yra paduodamas giliai grindyse įrengtais vamzdiniais, ar net vamzdiniais įrengtas švaros kambario rūsiuose. Puslaidininkių švaros kambarys dažnai yra vadinamas „šokių salės“ tipu, kadangi jis būna itin didelio ploto ir gali siekti net 1000 m² ar net daugiau. Kai kurie švaros kambariai yra pakankamai dideli, kad galėtų sutalpinti net du futbolo aikštynus. Žemiau pateiktas 6 paveikslėlis rodo tipišką didelio ploto švaros kambarį. [6]



6 pav. Didelio ploto švaros kambario pavyzdys

Siekiant užtikrinti švaraus oro tiekimą visoje patalpoje, švaros kambarių lubos yra pilnai užpildytos aukšto efektyvumo filtrais, nepriklausomai nuo išfiltruoto oro reikalingumo ar mechanizmų išdėstymo. Tačiau, geriausia oro kokybė yra reikalinga tik tose vietose, kur produktas yra pažeidžiamas užteršimui, kitose kambario vietose nebūtina aukščiausia oro kokybė.

1.3 Oro filtravimas aukšto efektyvumo filtrais

1.3.1 Švaros kambariuose naudojami oro filtrai

Oras, kuriuo aprūpinama švaros patalpa, turi būti filtruotas, kad garantuotų dalelių ir mikroorganizmų pašalinimą. Iki 1980-ųjų metų, aukšto efektyvumo dalelių filtrai (HEPA – *high efficiency particulate air*) buvo žinomi, kaip efektyviausi bei prienamiausi oro filtrai švaros

kambariams. HEPA filtrai išfiltruoja ore esančias $0,3 \mu$ daleles iki 99,97 % efektyvumu. Šiomis dienomis HEPA filtrai vis dar yra sėkmingai naudojami švaros kambariuose.

Integruotų schemų gamybai pasiekus kita lygmenį, siekiant užtikrinti dalelių pereinamumą į švaros kambarį, naudojami itin žemo įsiskverbimo oro filtrai (ULPA – *ultra low penetration air*). ULPA filtrų efektyvumas yra 99,999 % sulaikant daleles $0,1-0,2 \mu$ dydžio. [3]

1.3.2 Aukšto efektyvumo oro filtrų konstrukcija

Aukšto efektyvumo filtrai dažniausiai gaminami dviem būdais, t.y. gilaus klostavimo arba negilaus klostavimo. Gilaus klostavimo filtruose, filtravimo popieriaus ritinėliai sulankstyti ir sudėti vienas prie kito, jų plotis yra nuo 15 cm. iki 30 cm. Kad leistų orui keliauti pro filtrą ir jį sustiprintų, klostyti filtro aliuminio folijos lakštai panaudojami kaip skyrikliai. Apačioje pateiktas HEPA filtro paveikslėlis [3].



7 pav. Hepa filtras

2. EKSPERIMENTINĖ DALIS

2.1 Trumpai apie PMC veiklą.

Panevėžio mechatronikos centras (PMC) – tai technologinės įrangos ir techninių bei technologinių žinių ekspertizės centras, kurio tikslas – mokslininkų sukurtas žinias perduoti verslui. PMC uždavinys yra atpiginti ir padaryti efektyvesnę kelią nuo mokslinės idėjos iki rinkai tinkančio produkto. Šis uždavinys išsprendžiamas vienoje vietoje sutelkiant brangią eksperimentinę įrangą ir aukščiausią kompetenciją turinčius specialistus.

PMC teikia trejopo pobūdžio paslaugas. Visų pirma, tai yra atviros prieigos technologinis centras, kuriame mokslininkai ir įmonių tyrėjai gali atlikti reikiamus eksperimentus, nepriklausomai nuo to, kokioje mokslo, verslo ar studijų institucijoje jie dirba. Antra, PMC yra techninės bei technologinės ekspertizės centras. Čia dirbantys mokslininkai turi didelę mokslinių idėjų komercializavimo patirtį, todėl gali konsultuoti tiek prototipo konstravimo etape, tiek kuriant prototipo gamybai tinkančią technologiją, tiek sprendžiant intelektinės nuosavybės įteisinimo bei apsaugos klausimus. Trečia, PMC yra žinių sklaidos centras. Čia vyksta kvalifikacijos tobulinimo kursai, moksliniai seminarai, paskaitos ir praktiniai užsiėmimai magistrantams bei doktorantams. [7]

2.2 PMC mikrotechnologijų laboratorijos oro rekuperacinė sistema

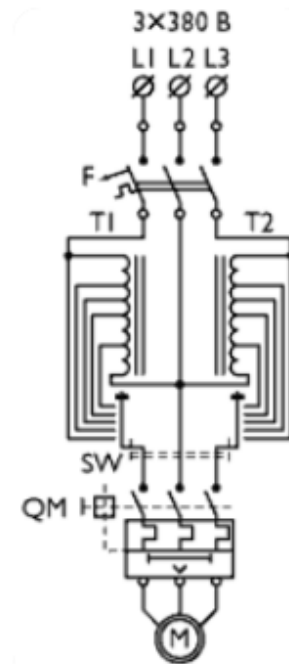
Dabartinė mechatronikos centro oro srauto valdymo sistema yra valdoma tik rankiniu būdu. Šis valdymo būdas nėra tinkamas švaros kambariui, kadangi jis neturi galimybės automatiškai reguliuoti paduodamo ir ištraukiamo oro srautų. Automatinis srautų reguliavimas reikalingas tam, kad palaikytų reikiamą slėgį švaros patalpose, t.y. atidarius švaros kambario duris, oro srautas turi būti didinamas, kad ore esančios dulkės ir mikro dalelės nepatektų į švaros zoną.



8 pav. Oro srauto valdymo blokas. 1 – oro šalinimo komutavimo blokas (OŠ-1), 2 – oro tiekimo komutavimo blokas (OT-1), 3 – vėdinimo automatikos skydas.

Pateiktame 8 paveikslėlyje matyti, kad tai ne tolydinė oro srauto valdymo sistema, o pakopinė, su 5 srauto lygiais, komutuojamais jungikliais [8]. Oro srautas reguliuojamas jungiklių svirtelių pasukimu, viena svirtelė reguliuoja paduodamo oro srautą, kita ištraukiamo oro srautą. Paduodamo oro srautas turi būti didesnis už ištraukiamo oro srautą, kad kambaryje būtų palaikomas atitinkamas slėgis. Komutavimo bloko schema pateikta 9 paveikslėlyje.

F – įvadinis kirtiklis
 SW – perjungėjas
 QM – šiluminis automatas
 T1, T2 – autotransformatoriai
 M – trifazis variklis



9 pav. Oro komutavimo bloko schema.

2.2.1 Oro kondicionavimo sistema

PMC mikro technologijų laboratorijoje oro kondicionavimo sistema įdiegta atskirai nuo oro apytakos sistemos. Kondicionieriaus pučiamas atvėsintas oras nepaskirstomas po švaros kambario zonas. Vasaros metu, švaros kambariuose pasiekti reikiamą darbinę temperatūrą praktiškai neįmanoma.



10 pav. Mikroskopijos patalpa. 1 – oro ištraukimo grotelės, 2 – mobilus oro kondicionierius

2.2.2 Oro srauto padavimas bei ištraukimas

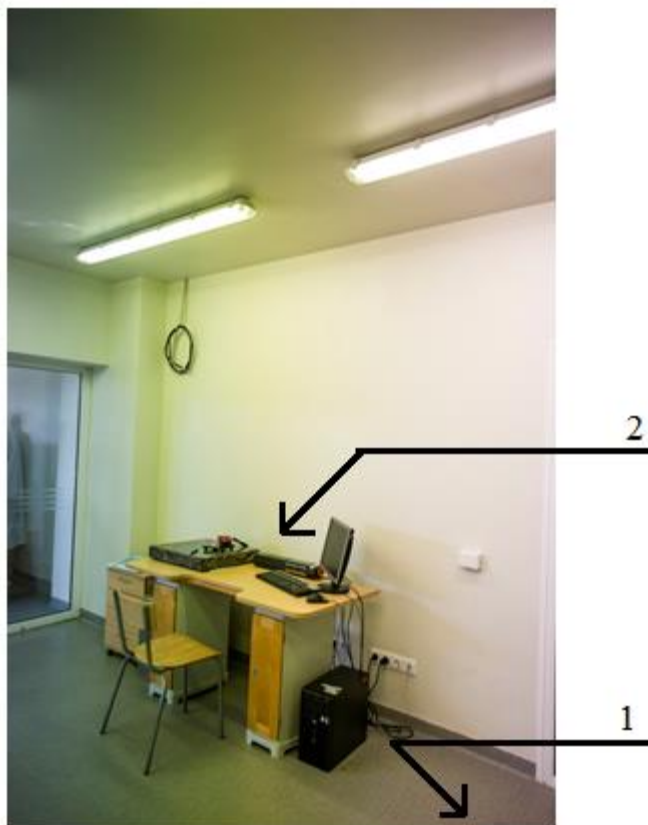
Norint užtikrinti reikiamą dalelių koncentraciją darbo vietoje, oro srauto padavimo bei ištraukimo angos turėtų būti išdėstytos ties kiekvienu įrenginiu. Žemiau pateiktuose paveikslėliuose matyti PMC švaros kambarių oro srauto padavimo ir ištraukimo angų išdėstymas.



11 pav. Fotolitografijos procesų kambarys. 1 – optinis eksponavimo įrenginys ir darbo vieta, 2 – traukos spinta drėgnumams procesams, 3 – oro tiekimo grotelės

Paveikslėlyje (11 pav.) matyti, kad optinio eksponavimo įrenginys ir darbo vieta švaros kambaryje parinkta tinkamai, ji įrengta tiesiai po oro tiekimo angomis, tačiau iki efektingos darbo vietos išpildymo trūksta oro šalinimo grotelių, kurios šiuo atveju yra ne šalia darbo vietos, o kitoje švaros kambario pusėje. Tai reiškia, kad oru nešamos dulkės ir kiti mikroorganizmai nėra laiku pašalinami ir yra nešami, oro srauto, per visą patalpą iki oro ištraukimo grotelių.

Sekantis paveikslėlis (12 pav.) – atominių jėgų mikroskopijos darbo vieta (AJM).



12 pav. Mikroskopijos patalpa (SEM ir AJM). 1 – oro ištraukimo grotelės, 2 – atominių jėgų mikroskopijos darbo vieta

Paveikslėlyje matyti, kad darbo vieta įrengta atokiai nuo oro tiekimo grotelių, atstumas nuo darbo vietos iki jų yra apie 4 metrus.

Žemiau pateiktame paveikslėlyje pateikta SEM ir eksponavimo spinduliu darbo vieta.



13 pav. Mikroskopijos patalpa. 1 – mėginių laikymo vieta, 2 – eksponavimo spinduliu darbo vieta, 3 – SEM, 4 – oro tiekimo grotelės

Paveikslėlyje (13 pav.) matyti, kad darbo vieta įrengta ties oro tiekimo grotelėmis, tačiau kaip ir anksčiau analizuotoje darbo vietoje (11 pav.) šiame kambaryje oro šalinimo grotelės yra kitoje patalpos pusėje.

Žemiau pateiktame paveikslėlyje matyti reaktyviojo joninio ėsdinimo bei dangų vakuume užnešimo įrenginių išdėstymai patalpoje.



14 pav. Bendrųjų technologinių procesų patalpa. 1 – reaktyviojo joninio ęsdinimo įrenginys (RIE),
2 – oro tiekimo grotelės, 3 – oro ištraukimo grotelės, 4 – dangų vakuume užnešimo
įrenginys

Iš pateiktų nuotraukų matyti, jog oro padavimo ir ištraukimo grotelių išdėstymas nėra pakankamas, jų yra ženkliai per mažai, kadangi darbui skirti įrenginiai ir darbo vietos yra abejose kambario pusėse, o paduodamo bei ištraukiamo oro grotelės tik vienoje. Taipogi jos išdėstytos ne viena prieš kitą, o skirtingose kambario vietose, tai reiškia, kad oras keliauja ne tiesiogiai žemyn, o yra nešamas per visą švaros kambarį į kitą jo pusę ir tik tada ištraukiamas pro ištraukimo groteles.

2.3 Oro srauto greičio matavimas

Norint sužinoti esamus švaros kambarių oro srautus, buvo pasirinkta naudoti „Meterman“ firmos anemometrą TMA10. Tai yra daugiavfunkcinis prietaisas (HVAC/R – *heating, ventilation, air conditioning, refrigeration*), kuriuo galima matuoti šildymą, šaldymą, ventiliaciją bei oro kondicionavimą. [9] Paveikslėlyje Nr. 15 pateikta šio prietaiso nuotrauka.



15 pav. Anemometras meterman tma10

Oro srauto greitis buvo matuojamas ties oro tiekimo bei šalinimo angomis. Matavimui buvo pasirinktos tys komutatoriaus padėtys: silpniausia – 1, vidutinė – 3 ir galingiausia – 5 . Gauti matavimų rezultatai pateikti lentelėje.

Oro srauto greitis švaros patalpose

Oro tiekimas	Mikroskopijos patalpa	Bendrujų technologinių procesų patalpa	Fotolitografijos patalpa
1 (valdiklio padėtis)	0,08 m/s	0,22 m/s	0,08 m/s
3 (valdiklio padėtis)	0,18 m/s	0,31 m/s	0,17 m/s
5 (valdiklio padėtis)	0,27 m/s	0,41 m/s	0,25 m/s
Oro šalinimas			
1 (valdiklio padėtis)	1,12 m/s	1,62 m/s	1,16 m/s
3 (valdiklio padėtis)	1,30 m/s	2,05 m/s	1,48 m/s
5 (valdiklio padėtis)	1,55 m/s	2,31 m/s	1,85 m/s

Iš pateiktų duomenų lentelėje matyti, kad geriausi rezultatai gauti bendrujų technologinių procesų patalpoje, oro srauto greitis šioje patalpoje ties oro tiekimo angomis siekė 0,41 m/s, likusiose patalpose oro srauto greitis buvo 0,25-0,27 m/s .

3. TIRIAMOJI DALIS

Norėdami atsakyti į klausimą kaip efektyviai naudojama PMC esama ventiliacijos sistema atlikome oro srauto patalpose modeliavimą. Modeliavimui buvo pasirinkta viena iš baigtinių elementų programų – Comsol Multiphysics. Tai yra programa, galinti spręsti įvairius mokslinius bei inžinerinius uždavinius baigtinių elementų metodu (FEM – *finite element method*). Joje yra galimybės rinktis modeliuoti procesą daugelyje sričių, pvz. : akustika, korozija, difuzija, skysčių dinamika, mems, mikrobangos, fotoniniai reiškiniai ir kiti. [10]

Šio darbo modeliavimui buvo pasirinktas laminarinio oro tekėjimo modulis.

Oro srautas Comsol programoje skaičiuojamas pagal Navier-Stoke formules, kurių bendrosios formos pateiktos žemiau: [10]

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \times (\rho u) = 0 \quad (1)$$

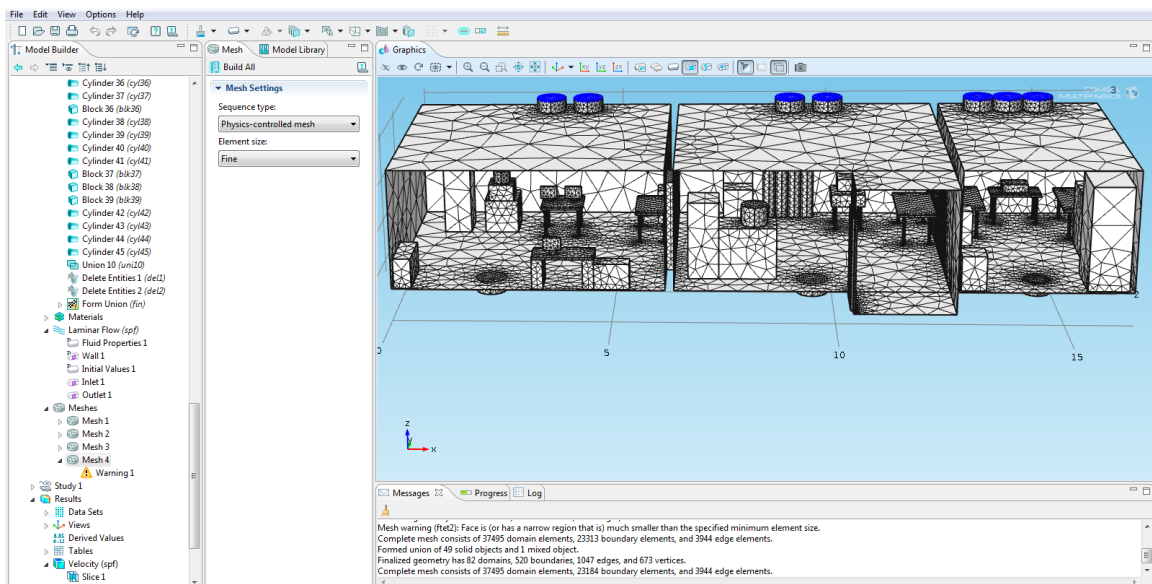
$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho (u \times \nabla) u = \nabla \times [-p + \tau] + F \quad (2)$$

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + (u \times \nabla) T \right) = -(\nabla \times q) + \tau / S - \frac{T}{p} \frac{\partial \rho}{\partial T} \bigg|_p \left(\frac{\partial p}{\partial t} + (u \times \nabla) p \right) + Q \quad (3)$$

Čia ρ – oro tankis, kg/m^3 ; u – oro srauto vektorius, m/s ; p – oro slėgis, Pa; τ – oro klampumas, Pa; F – oro jėgos vektorius, N/m^3 ; S – plotas, m^2 ; C_p – oro specifinė šiluminė talpa esant pastoviam slėgiui, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; T – absoliuti oro temperatūra, K; q – šilumos tekėjimo vektorius, W/m^2 ; Q – šilumos šaltinis, W/m^3 . [10]

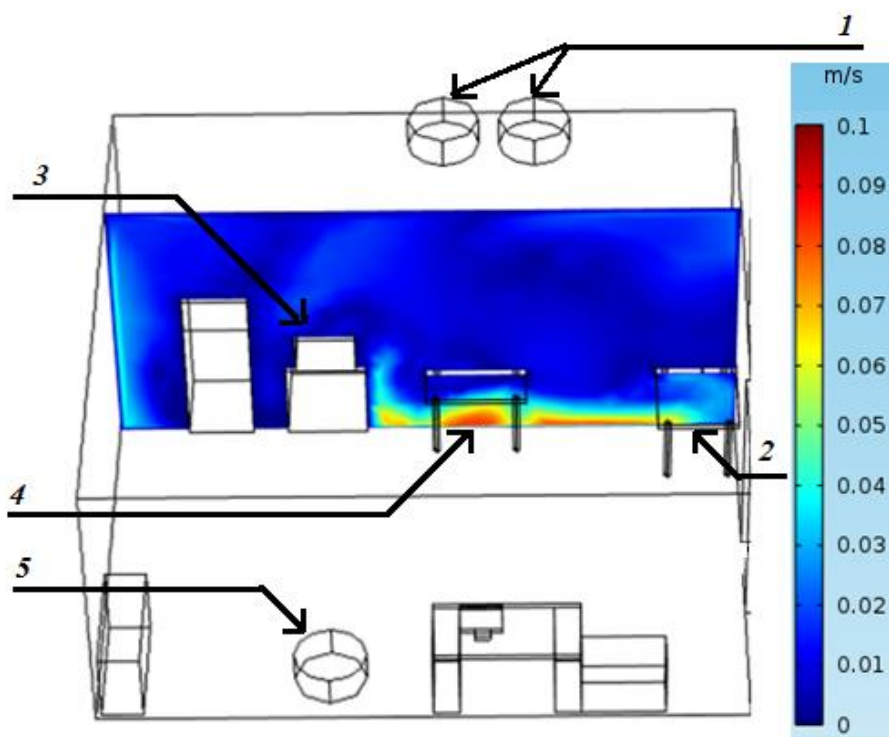
3.1 Patalpų modeliavimas

Pirmas žingsnis, prieš pradėdant modeliuoti patalpą yra realių patalpos matmenų bei įrenginių išmatavimų įvedimas į programą, t.y. išmatuojamas patalpos ilgis, plotis, aukštis, įrenginių matmenys, jų išdėstymas patalpoje, atstumai nuo sienų, oro padavimo bei ištraukimo grotelių išmatavimai, bei jų išdėstymo vietos. Žemiau pateiktame paveikslėlyje Nr. 16 pavaizduotas programos langas su įrangos išdėstymo vaizdu.



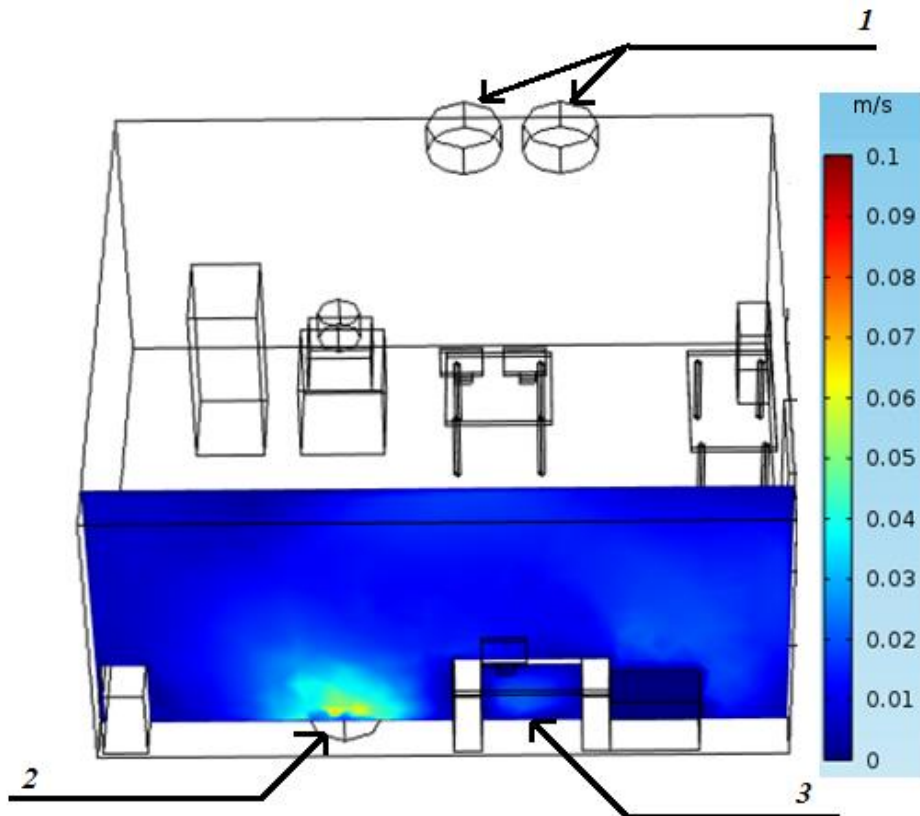
16 pav. Programos langas ir įvesti kambarių bei įrangos išdėstymai jame vaizdas

Suvedus visus reikalingus duomenis, programa skaičiuoja srautus ir atvaizduoja tai grafiškai. Modeliavimui buvo naudojami anemometru išmatuoti dydžiai maksimaliu ventiliatorių pajėgumu. 17-18 paveikslėliuose pavaizduoti šiuo metu esami mikroskopijos patalpos oro srautų vertikalūs pjūviai.



17 pav. Oro judėjimo modeliuotas vaizdas SEM ir ekspozavimo elektronų spinduliu įrenginio darbo vietoje. 1 – oro tiekimo grotelės, 2 – mėginių laikymo vieta, 3 – įrenginys, 4 – darbo vieta, 5 – oro ištraukimo grotelės

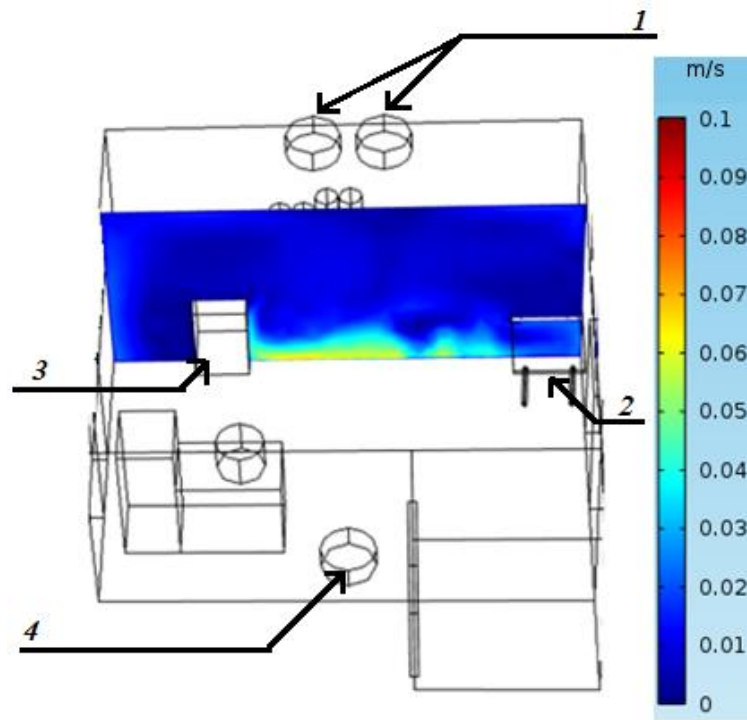
Žemiau pavaizduota atominių jėgų mikroskopijos (AJM) darbo vieta ir jos modeliuotas oro srauto pjūvis.



18 pav. Oro judėjimo modeliuotas vaizdas AJM darbo vietoje. 1 – oro tiekimo grotelės, 2 –oro ištraukimo grotelės, 3 – atominių jėgų mikroskopijos darbo vieta

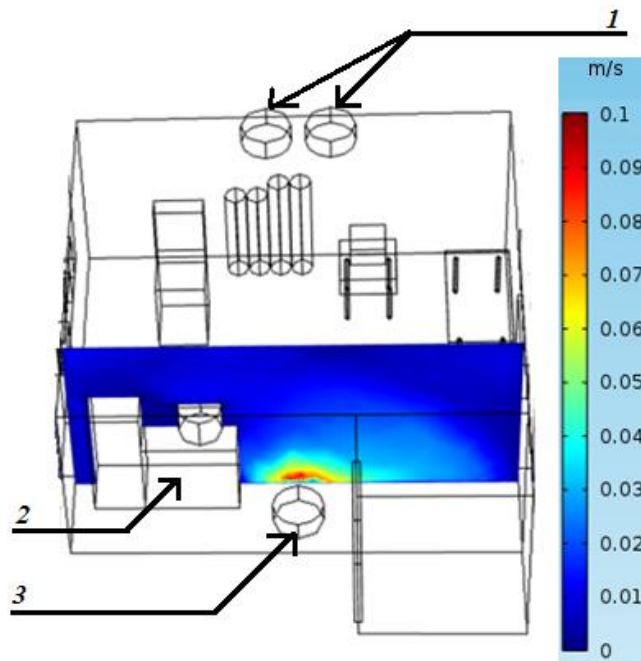
Atlikus vertikalius pjūvius galima nustatyti, jog darbo vietose oro srauto greitis siekia $\sim 0,02$ m/s ir tai matyti paveikslėlių dešiniajame šone esančiose skalėse. 16 paveikslėlyje matyti, kad paduodamas oras keliauja tiesiai žemyn ir atsimuša į grindis. Taip yra todėl, kad darbo vieta yra truputi per daug patraukta į kambario vidurį, tokiu atveju tiekiamas oras yra neefektyviai išnaudojamas.

Paveikslėliuose Nr. 19-20 pateikti bendrųjų technologinių procesų bei fotolitografijos darbo zonų pjūviai.



19 pav. Oro judėjimo modeliuotas vaizdas bendrųjų technologinių procesų patalpoje. 1 – oro tiekimo grotelės, 2 – bandinių laikymo vieta, 3 – reaktyviojo joninio ėsdinimo įrenginys (RIE), 4 – oro ištraukimo grotelės

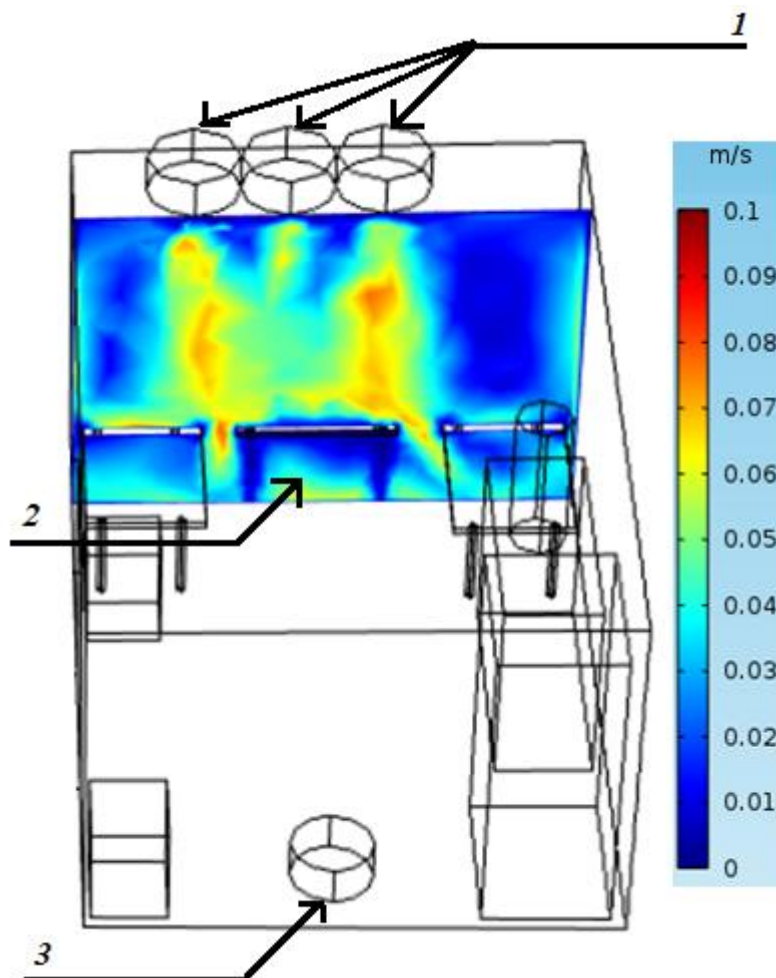
Žemiau pavaizduotas dangų vakuume užnešimo įrenginys ir jo modeliuotas oro srauto pjūvis.



20 pav. Dangų vakuume užnešimo įrenginio oro judėjimo modeliuotas vaizdas. 1 – oro tiekimo grotelės, 2 – dangų vakuume užnešimo įrenginys, 3 – oro ištraukimo grotelės

Atlikus vertikalius pjūvius galima nustatyti, jog darbo vietose oro srautas siekia $\sim 0,02$ m/s ir tai matyti paveikslėlių dešiniajame šone esančiose skalėse.

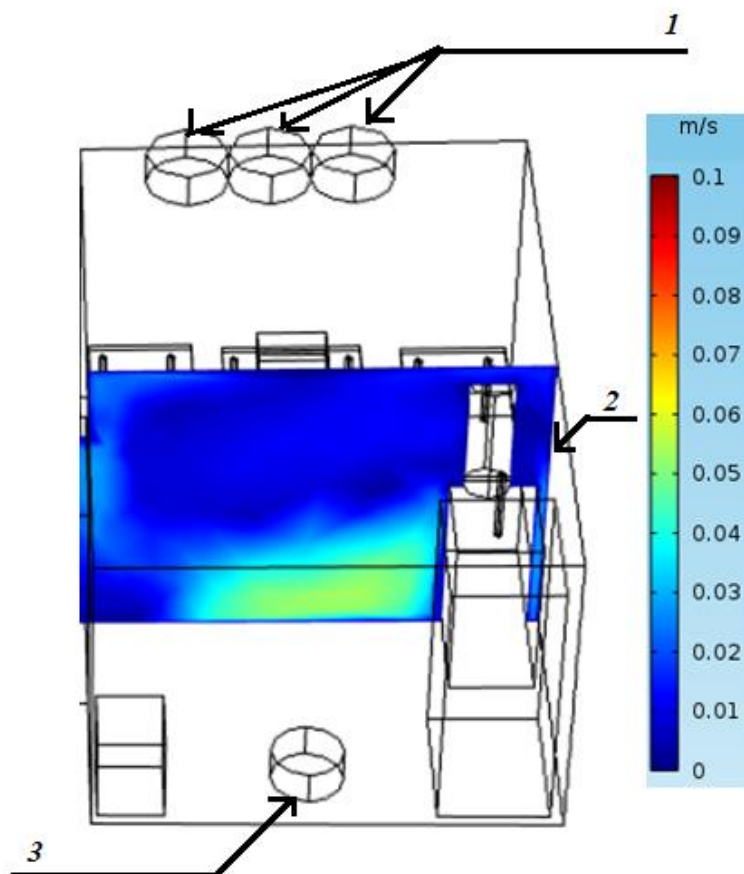
Paveikslėliai Nr. 21-22 vaizduoja fotolitografijos patalpos sumodeliuotus oro srautus.



21 pav. Eksponavimo spinduliu ir jo darbo vietos sumodeliuotas oro srautas. 1 – oro tiekimo grotelės, 2 – eksponavimo spinduliu įrenginys, 3 – oro ištraukimo grotelės

Atlikus vertikalų pjūvį galima nustatyti, jog oro srautas eksponavimo įrenginio darbo vietoje siekia iki $0,06$ m/s . Ši darbo vieta pasižymi geriausiu oro srauto greičiu, kadangi ji yra įrengta tiesiai po oro tiekimo grotelėmis, todėl oro srautas nėra prarandamas. Taipogi šiame švaros kambaryje yra įrengtos net trys oro tiekimo grotelės, kai tuo tarpu kituose yra po dvi. Didesnis oro tiekimo grotelių plotas sąlygoja geresnius rezultatus.

Žemiau pavaizduota fotolitografijos patalpoje esanti traukos spinta ir jos modeliuotas oro srauto pjūvis.



22 pav. Sumodeliuotas oro srautas ties traukos spinta. 1 – oro tiekimo grotelės, 2 – traukos spinta, 3 – oro ištraukimo grotelės

Atlikus vertikalų pjūvį galima nustatyti, jog oro srautas ties traukos spinta yra 0,03 m/s ir tai matyti paveikslėlių dešiniajame šone esančiose skalėse. Šiai darbo vietai reikalingas tik minimalus oro srauto greitis, kadangi traukos spinta turi atskirą ortakį įmontuotą viduje orui šalinti.

Atlikus švaros patalpų modeliavimą, nustatytas oro srauto greitis darbo vietose. Lentelėje Nr. 2 pateikti gauti rezultatai.

2 lentelė

Oro srauto greitis darbo vietose

Mikroskopijos patalpa		Bendrųjų technologinių procesų patalpa		Fotolitografijos patalpa	
SEM ir jo darbo vieta	AJM darbo vieta	RIE ir jo darbo vieta	Dangų vakuume užnešimo darbo vieta	Eksponavimo spinduliu darbo vieta	Traukos spinta ir jos darbo vieta
0,02 m/s	0,02 m/s	0,02 m/s	0,02 m/s	0,06 m/s	0,03 m/s

Iš lentelėje pateiktų duomenų matyti, kad geriausias oro srauto rezultatus pasiekia fotolitografijos patalpoje esančios darbo vietos. Taip yra todėl, kad eksponavimo spinduliu darbo vieta yra įrengta tiesiai po oro tiekimo grotelėmis. Sekanti priežastis yra tai, kad kambaryje yra trys oro tiekimo grotelės, kai kituose kambariuose po dvi.

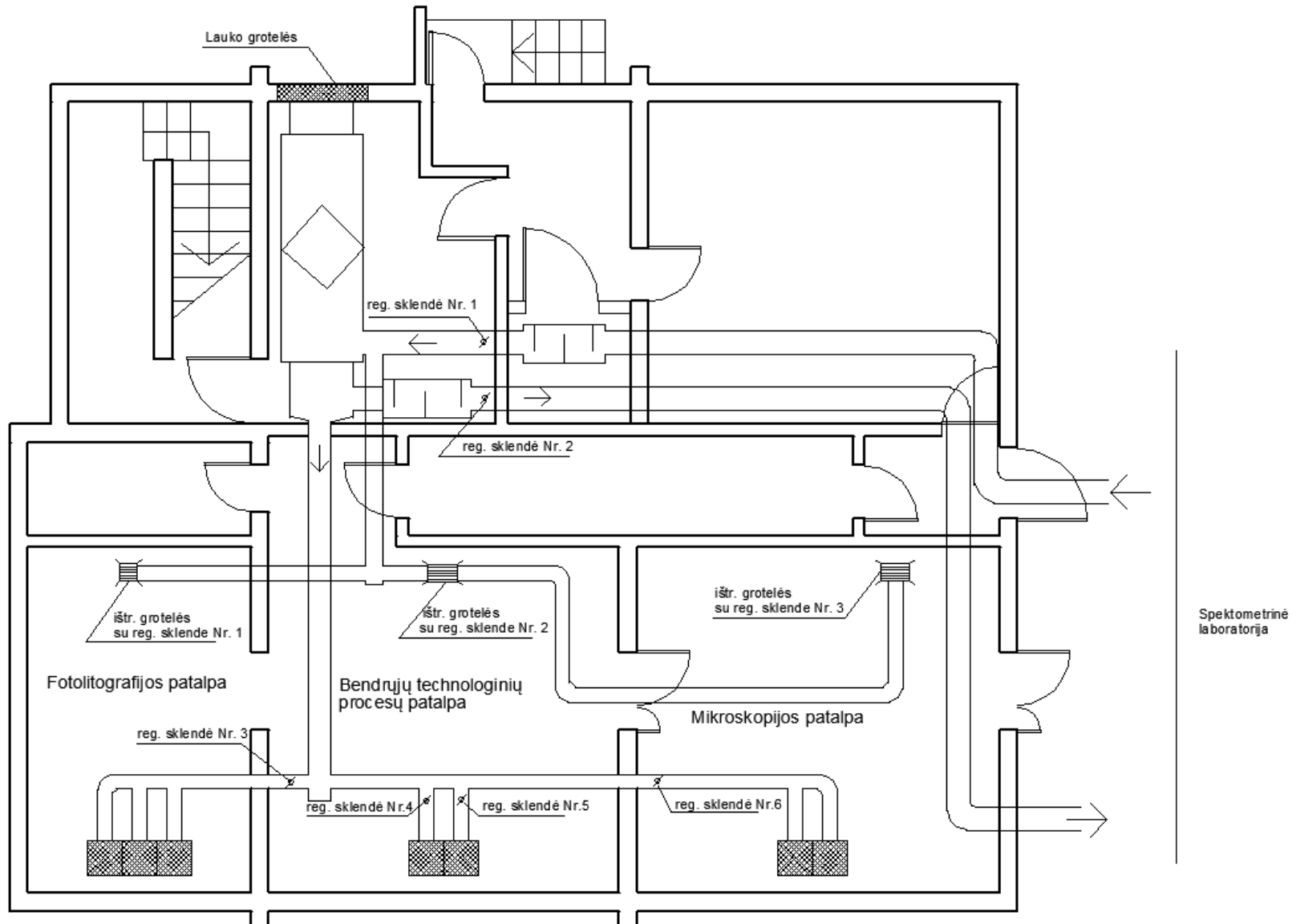
3.2 Oro srautų valdymo sprendimai

Siekiant pagerinti švaros kambarių darbo zonų oro srautų parametrus, siūloma PMC, oro tiekimo bei šalinimo ortakiuose įrengti sklendes, kuriomis būtų galima valdyti oro srautus. Sklendėmis būtų įmanoma padidinti oro srautus atskiruose švaros kambariuose oro net kelis kartus. Tai leistų pasiekti atskirose zonose kur kas aukštesnius švaros standartus.

Tiekiamo ir šalinamo oro kiekiai patalpose turi būti subalansuoti naudojant reguliavimo sklendes su pavaromis, priklausomai nuo darbo režimo. Oro kiekių subalansavimui, esant kintamam oro srautui, ant ortakių atšakų į laboratorijas reikalingi kintamo oro srauto vožtuvai (VAV) su integruotais srauto matuokliais. Vožtuvų valdymas būtų priklausomas nuo darbo režimo.

Žemiau pateiktame brėžinyje, nurodytos galimos sklendžių įrengimo vietos.

Skvendžių įrengimo vietos



23 pav. Numatytos skvendžių įrengimo vietos

Sklandės Nr. 1 ir Nr. 2 jau buvo numatytos ir įmontuotos statybų metu, todėl buvo atlikti pakartotiniai oro srauto matavimai uždarius šias sklendes. Lentelėje Nr. 3 pateikti matavimų rezultatai.

3 lentelė

Matavimų rezultatai mechaniškai uždarius sklendes Nr. 1 ir Nr. 2

Oro tiekimas	Mikroskopijos patalpa	Bendrųjų technologinių procesų patalpa	Fotolitografijos patalpa
1 (valdiklio padėtis)	0,10 m/s	0,28 m/s	0,10 m/s
3 (valdiklio padėtis)	0,23 m/s	0,41 m/s	0,21 m/s
5 (valdiklio padėtis)	0,37 m/s	0,53 m/s	0,34 m/s
Oro šalinimas			
1 (valdiklio padėtis)	1,45 m/s	2,13 m/s	1,53 m/s
3 (valdiklio padėtis)	1,67 m/s	2,60 m/s	1,97 m/s
5 (valdiklio padėtis)	1,92 m/s	2,93 m/s	2,24 m/s

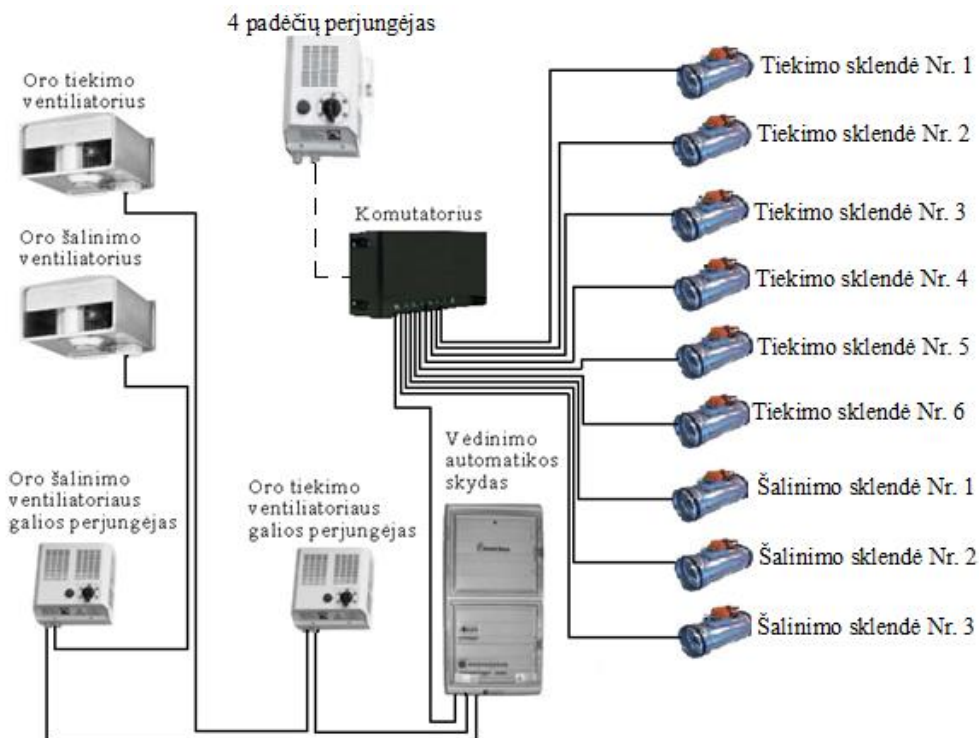
Oro srauto greitis uždarius spektrometrinės laboratorijos sklendes.

Iš gautų rezultatų matyti, jog uždarius šias dvi sklendes, oro srautas švaros patalpose padidėja apytiksliai 30 proc.. Bendrųjų technologinių procesų patalpoje jis siekia iki 0,53 m/s . Įmontavus likusias numatytas sklendes, būtų įmanoma pasiekti dar geresnių rezultatų.

Siūlomi 4 valdymo režimai, kuriais būtų galima maksimaliai išnaudoti paduodamą bei ištraukiamą orą. Reikalingiems oro srautams palaikyti būtų išsirenkamos atskiros patalpos, joms paduodant maksimalų oro srauto kiekį, o kitoms paliekant minimalų ventiliacijos režimą. Šios patalpos arba jas atitinkantys valdymo režimai:

- 1 – Mikroskopijos patalpa (SEM ir AJM).
- 2 – Fotolitografijos bei bendrųjų technologinių procesų kambariai.
- 3 – Visi švaros kambariai.
- 4 – Spektrometrinė laboratorija.

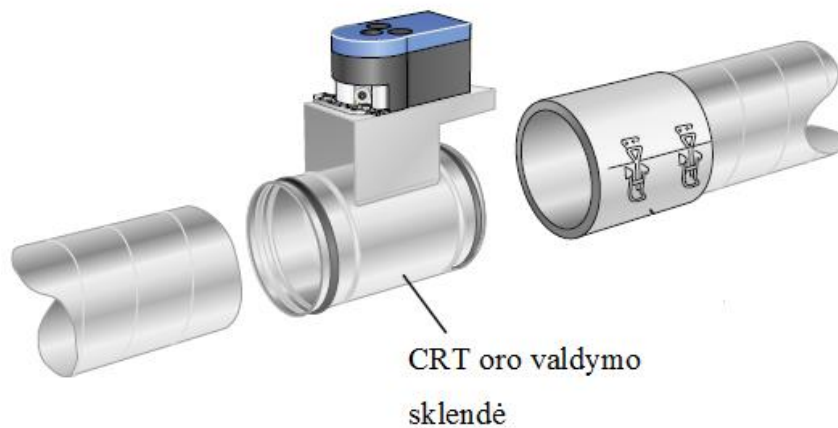
Žemiau pateikta struktūrinė oro apytakos srauto valdymo sistema.



24 pav. Struktūrinė oro srauto valdymo sistema.

Paveikslėlyje matyti, kad prie esamos transformatorinio oro srauto valdymo sistemos papildomai yra prijungiamas komutatorius, 4 padėčių perjungėjas ir 9 oro sklendės. Pasirinkus norimą valdymo režimą, perjungėjo svirtelės pasukimu nustatoma padėtis 1-2-3-4, tuomet komutatorius gauna signalą ir toliau perduoda signalą į sklendes, kurios turi būti atidarytos, o kurios uždarytos.

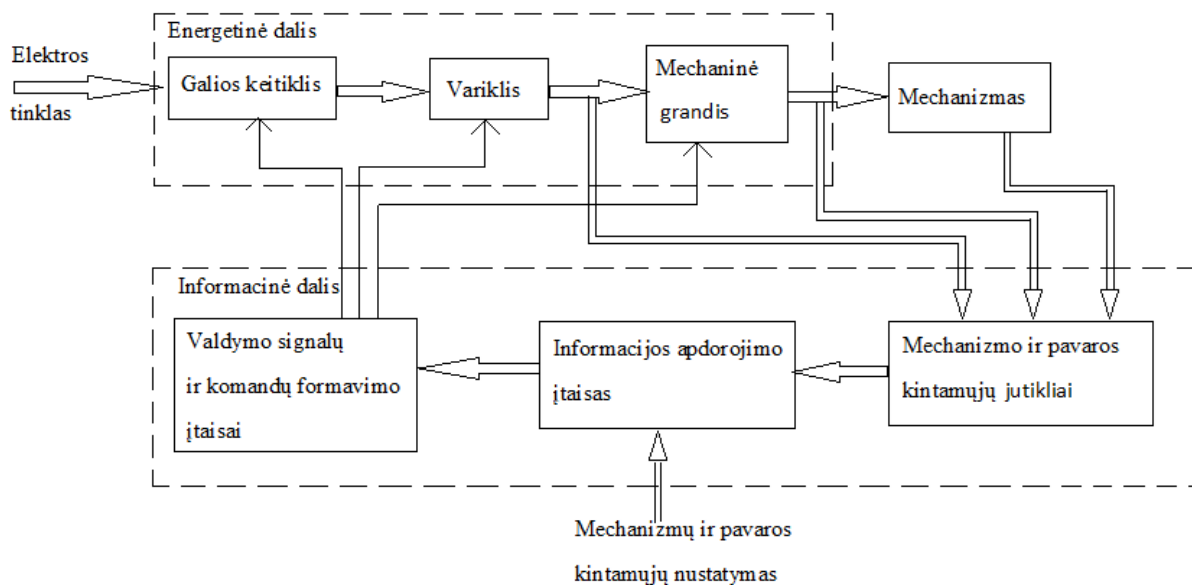
Valdymui atlikti reikalingos 2 reguliuojamos oro sklendės 400 mm skersmens ir 7 reguliuojamos oro sklendės 250 mm skersmens. Parenkamos „Swegon“ firmos CRT tipo reguliavimo/uždarymo sklendės, iš kurių 2 – CRT 400, 7 – CRT 250 [11]. Sklendės montuojamos kartu su Belimo LM230A/-SR elektrinėmis pavaromis [12]. Apačioje pateiktas sklendžių montavimo pavyzdys.



25 pav. Sklendžių montavimo pavyzdys

Pigesnis, bet daugiau darbo instaliuojant variantas – laidinis sistemos valdymo išpildymas, kai tarp sklendžių ir mechaninio komutatoriaus, šalia ortakių, pravedžiojami laidai tarp sklendžių ir komutatoriaus. Laidai jungtų sklendes ir mechaninį komutatorių ar daugiakanalį perjungėją. Brangesnis variantas yra bevielis išpildymas, kai sklendės bei komutatorius siejami radijo bangomis.

Paveikslėlyje Nr. 26 pateikta automatinės elektros pavaros funkcinė schema.



26 pav. Elektros pavaros funkcinė schema

Elektros pavaras sudaro elektromechaniniai įtaisai, suteikiantys tam tikrus darbo judesius technologiniams mechanizmom. Šiuolaikinėms elektros pavaroms dažnai tenka ir viso technologinio mechanizmo ar proceso optimizavimo funkcija.

Automatinės elektros pavaroms valdyti pakanka paprasčiausių operatoriaus komandų. Žmogui tenka tik įjungti pavaras paleidžiant įtaisą, nustatyti reikiamą režimą ir išjungti pavaras,

kai reikia mechanizmą sustabdyti. Kartais ir šias komandas siunčia kitos valdymo sistemos, kompleksiskai automatizuojančios iš atskirų mechanizmų sudarytas technologines linijas.

Automatinės elektros pavarose galima išskirti dvi dalis – energetinę ir informacinę. Energetinę dalį sudaro galios keitiklis, variklis ir mechaninė grandis. Ši dalis skirta elektros energijai paversti mechanine ir ją perduoti mechanizmui. Informacinė dalis valdo šį energijos perdavimo procesą pagal mechanizmo ir pavaros kintamųjų nustatymus. [13]

Žemiau pateiktoje lentelėje, paskaičiuoti preliminarūs oro srautai ties oro tiekimo bei ištraukimo angomis, kuriuos būtų įmanoma pasiekti, įrengus sklendes ortakiuose ir jas valdant reikiamaiais numatytais režimais.

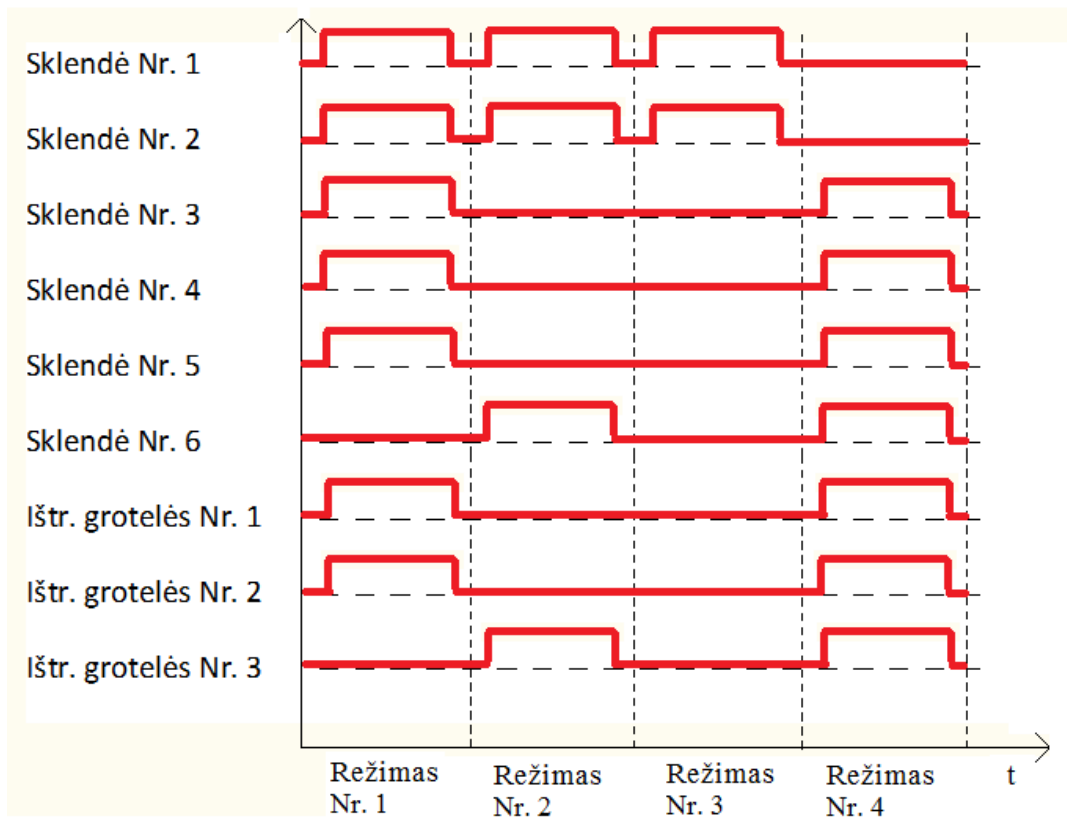
4 lentelė

Preliminariai paskaičiuoti oro srautai

Oro tiekimas	1 režimas	2 režimas	3 režimas	4 režimas
1 (valdiklio padėtis)	0,24 m/s	0,12 m/s	0,06-0,10 m/s	0,24 m/s
3 (valdiklio padėtis)	0,74 m/s	0,37 m/s	0,21-0,31 m/s	0,74 m/s
5 (valdiklio padėtis)	1,24 m/s	0,62 m/s	0,34-0,53 m/s	1,24 m/s
Oro šalinimas				
1 (valdiklio padėtis)	1,41 m/s	0,71 m/s	0,38-0,58 m/s	1,41 m/s
3 (valdiklio padėtis)	4,25 m/s	2,13 m/s	1,15-1,75 m/s	4,25 m/s
5 (valdiklio padėtis)	7,09 m/s	3,54 m/s	1,92-2,93 m/s	7,09 m/s

3 lentelėje pateikti preliminariniai paskaičiuoti oro srautai 1 režimui – mikroskopijos patalpai, 2 režimui – fotolitografijos bei bendrųjų technologinių procesų patalpai, 3 režimui – visiems švaros kambariams, 4 režimui – spektrometrinei laboratorijai.

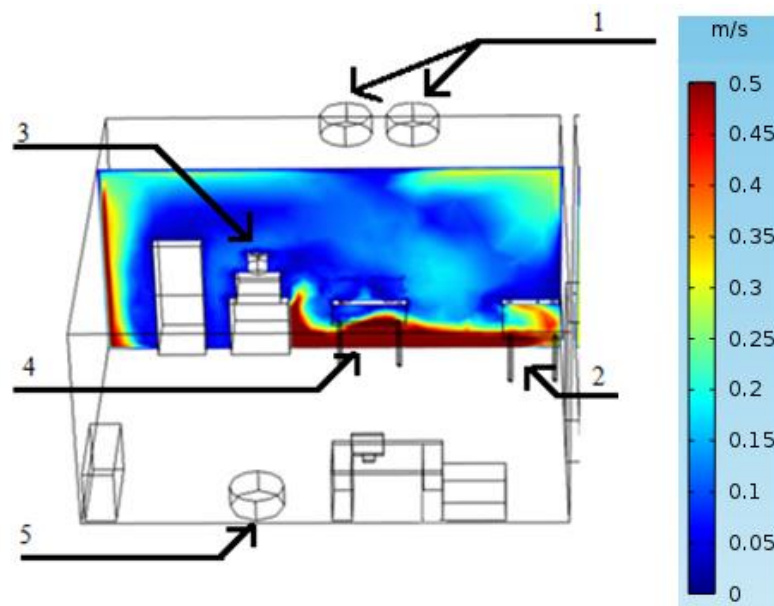
Laikinės valdymo diagramos pateiktos 27 paveikslėlyje. Jos vaizduoja sklendės darbą esant tam tikram režimui. Pavyzdžiui, režime Nr. 3 yra suveikusios pirma ir antra sklendė.



27 pav. Laikinės valdymo diagramos

3.3 Patalpų modeliavimas po galimos rekonstrukcijos

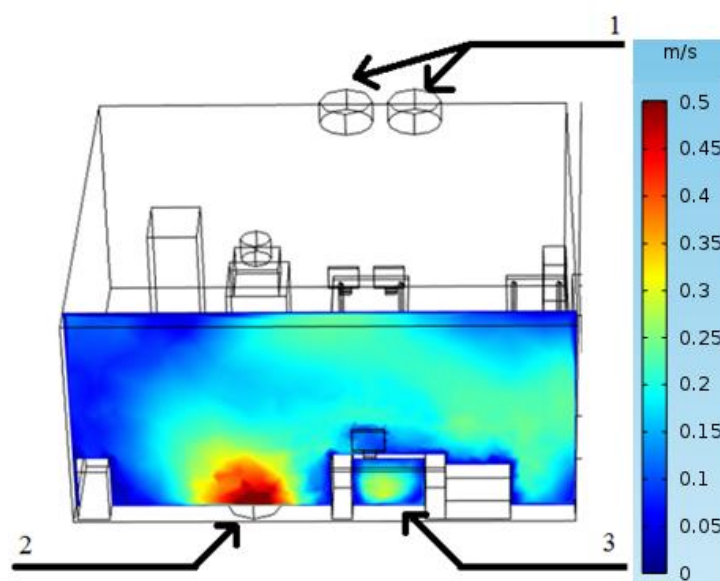
Atliekamas oro srauto modeliavimas atskiriems valdymo režimams, kai srautas tiekiamas tik į pasirinktą patalpą, kitoms paliekant minimalų srautą. Žemiau (28-29 pav.) pateiktas sumodeliuotas oro srauto vaizdas po galimos oro srauto sklendžių įrengimo rekonstrukcijos. Modeliavimas atliekamas pirmuoju valdymo režimu – mikroskopijos patalpa (SEM ir AJM).



28 pav. Oro judėjimo modeliuotas vaizdas SEM ir eksponavimo elektronų spinduliu įrenginio darbo vietoje po galimos rekonstrukcijos. 1 – oro tiekimo grotelės, 2 – mėginių laikymo vieta, 3 – įrenginys, 4 – eksponavimo spinduliu ir SEM darbo vieta, Nr. 5 – oro ištraukimo grotelės

Paveikslėlyje matyti, kad oro srautas darbo vietoje ženkliai padidėjo, siekia iki 0,2 m/s, tačiau didelė dalis oro srauto yra prarandama dėl neteisingos darbo vietos pozicijos kambaryje. Atlikus modeliavimą pastebėta, kad pagrindinė oro cirkuliacija vyksta galinėje kambario dalyje, už visų įrengimų.

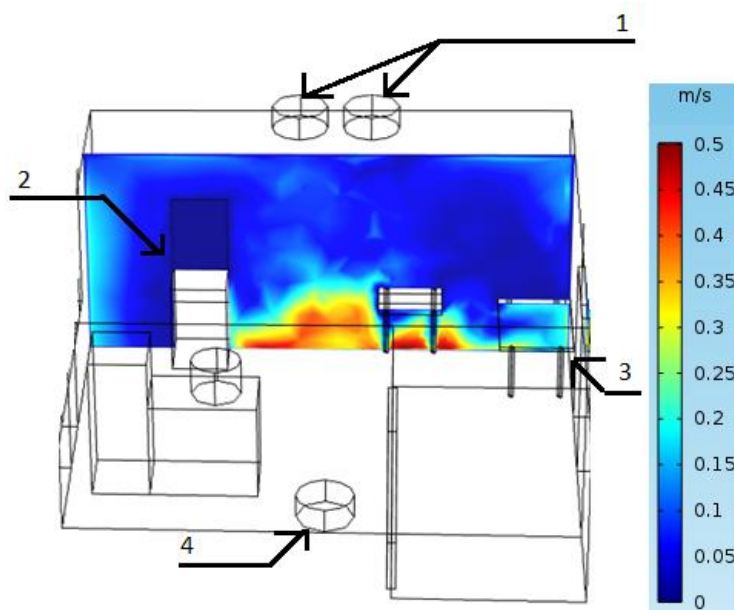
29 paveikslėlyje pavaizduota atominių jėgų mikroskopijos darbo vieta po galimos rekonstrukcijos.



29 pav. AJM darbo vietos oro srauto sumodeliuotas vaizdas. 1 – oro tiekimo grotelės, 2 – oro ištraukimo grotelės, 3 – atominių jėgų mikroskopijos darbo vieta (AJM)

Atlikus modeliavimą matyti, kad rezultatas pagerėjo, lyginant su gautais modeliavimo rezultatais nevaldant oro srautų, oro srauto greitis darbo vietoje yra $\sim 0,2$ m/s.

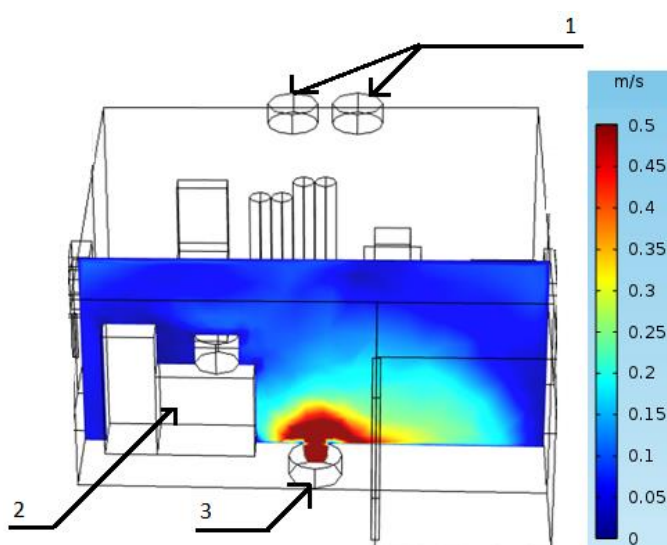
Atliekamas modeliavimas antruoju valdymo režimu – fotolitografijos bei bendrųjų technologinių procesų švaros kambariai.



30 pav. Oro judėjimo modeliuotas vaizdas bendrųjų technologinių procesų patalpoje. 1 – oro tiekimo grotelės, 2 – reaktyviojo joninio ėsdinimo įrenginys (RIE), 3 – bandinių laikymo vieta, 4 – oro ištraukimo grotelės

Atlikus patalpų modeliavimą matyti, kad oro srauto greitis darbo vietoje yra $0,2$ m/s .

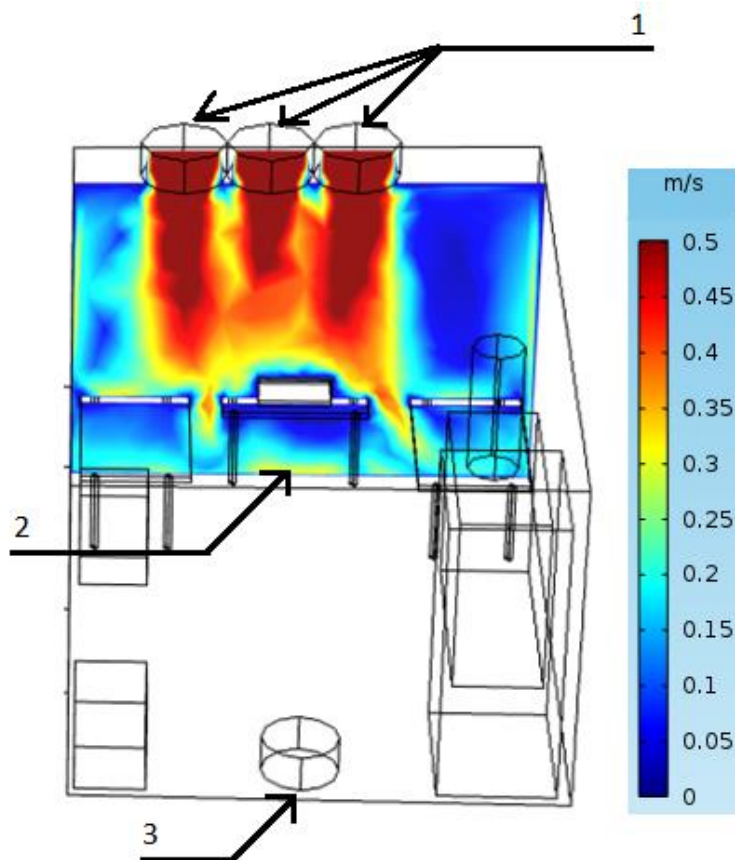
Žemiau pavaizduotas dangų vakuume užnešimo įrenginys ir jo modeliuotas oro srauto pjūvis po galimos rekonstrukcijos.



31 pav. Dangų vakuume užnešimo įrenginio oro judėjimo modeliuotas vaizdas. 1 – oro tiekimo grotelės, 2 – dangų vakuume užnešimo įrenginys, 3 – oro ištraukimo grotelės

Paveikslėlyje matyti, kad oro srauto greitis darbo zonoje siekia iki $\sim 0,25$ m/s.

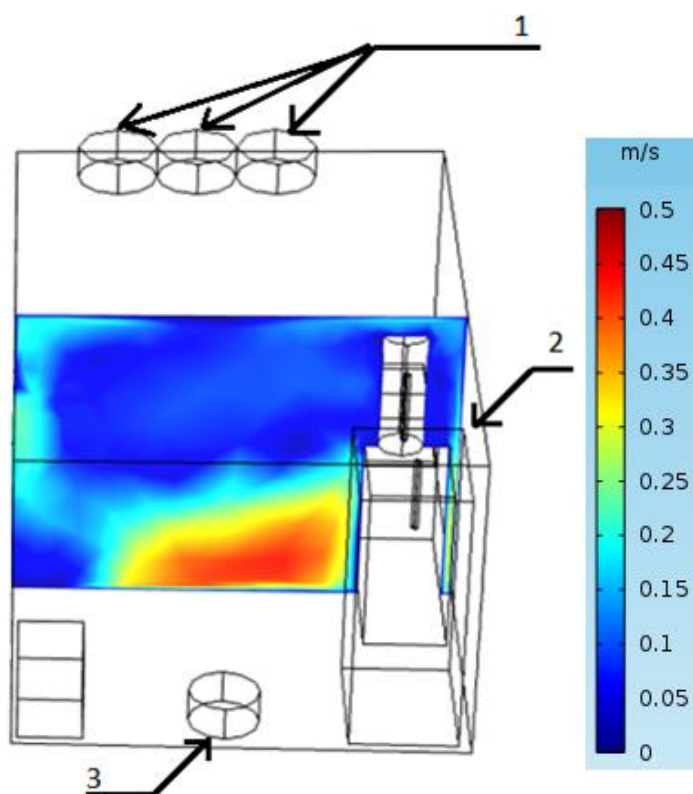
Atliekamas švaros patalpų modeliavimas trečiuoju režimu – visi švaros kambariai. Paveikslėliuose Nr. 32-33 – pavaizduotas fotolitografijos kambarys po galimos rekonstrukcijos.



32 pav. Eksponavimo spinduliu ir jo darbo vietos sumodeliuotas oro srautas. 1 – oro tiekimo grotelės, 2 – optinio eksponavimo įrenginys, 3 – oro ištraukimo grotelės

Atlikus vertikalų pjūvį galima nustatyti, jog oro srauto greitis optinio eksponavimo įrenginio darbo vietoje siekia iki $0,35$ m/s. Ši darbo vieta pasižymi geriausiu oro srauto greičiu, kadangi ji yra įrengta tiesiai po oro tiekimo grotelėmis, todėl oro srautas nėra prarandamas, kaip kituose kambariuose.

Žemiau pavaizduota fotolitografijos patalpoje esanti traukos spinta ir jos modeliuotas oro srauto pjūvis.



33 pav. Sumodeliuotas oro srautas ties traukos spinta. 1 – oro tiekimo grotelės, 2 – traukos spinta, 3 – oro ištraukimo grotelės

Atlikus vertikalų pjūvį galima nustatyti, jog oro srautas ties traukos spinta yra $\sim 0,3$ m/s ir tai matyti paveikslėlių dešiniajame šone esančiose skalėse.

Žemiau pateiktoje lentelėje pateikti gauti modeliuoti oro srautų dydžiai darbo vietose be rekonstrukcijos ir po galimos rekonstrukcijos.

5 lentelė

Modeliuotų patalpų oro srautų dydžiai

	Mikroskopijos patalpa		Bendrųjų technologinių procesų patalpa		Fotolitografijos patalpa	
	SEM ir jo darbo vieta	AJM darbo vieta	RIE ir jo darbo vieta	Dangų vakuume užnešimo darbo vieta	Eksponavimo spinduliu darbo vieta	Traukos spinta ir jos darbo vieta
Be rekonstrukcijos	0,02 m/s	0,02 m/s	0,02 m/s	0,02 m/s	0,06 m/s	0,03 m/s
Po rekonstrukcijos	0,2 m/s	0,2 m/s	0,25 m/s	0,25 m/s	0,35 m/s	0,3 m/s

Iš lentelėje pateiktų duomenų matyti, jog atlikus PMC švaros kambarių oro srautų rekonstrukciją, t.y. sumontavus 6 reguliuojamas sklendes oro tiekimo ortakyje, bei 3 reguliuojamas sklendes oro šalinimo ortakyje, būtų įmanoma gauti iki 10 kartų geresnius oro srautų rezultatus darbo vietose. Šie rezultatai gali būti pasiekti tik koncentruotai tiekiant orą maksimaliu pajėgumu į pasirinktą patalpą.

Duomenų palyginimui, lentelėje Nr. 6 pateikti ISO tarptautinių standartų reikalavimai oro srauto greičiui darbo zonoje [14].

6 lentelė

Tarptautiniai ISO reikalavimai

ISO standartas	Vidutinis oro srauto greitis m/s
ISO 1-2	0,305 – 0,508
ISO 3	0,305 – 0,457
ISO 4	0,254 – 0,457
ISO 5	0,203 – 0,406
ISO 6	0,127 – 0,203
ISO 7	0,051 – 0,076
ISO 8	0,005 – 0,041

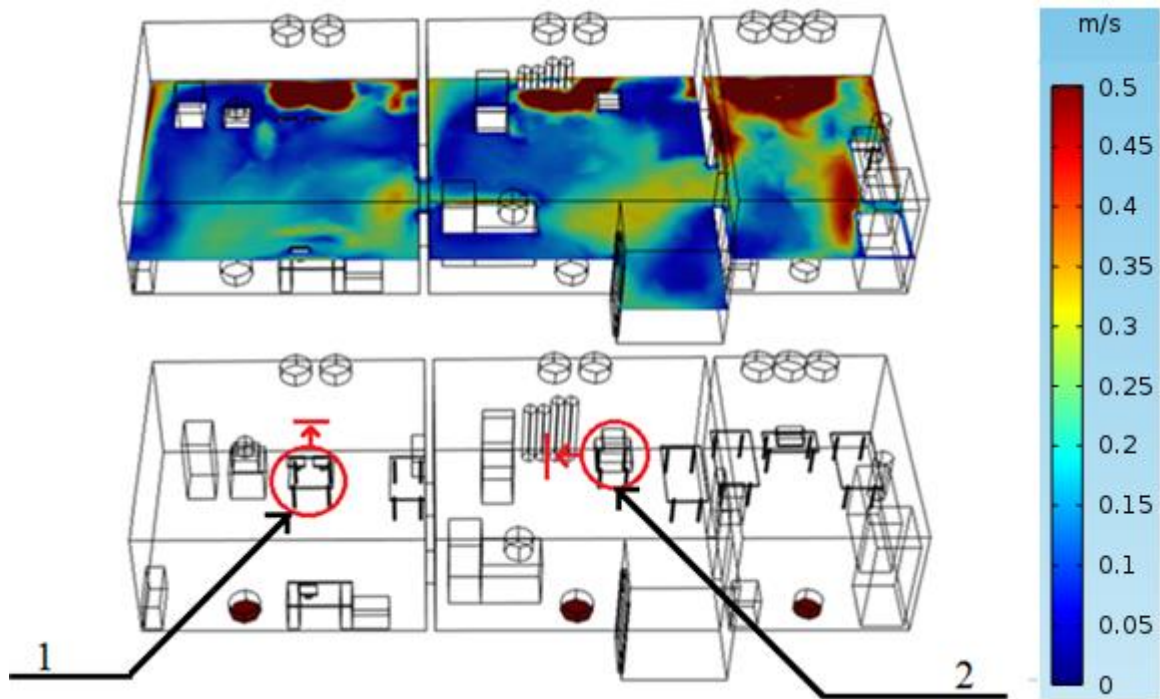
Norint pasiekti tarptautinį ISO standartą, neužtenka palaikyti reikiamą oro srautą darbo vietoje, oro srautas visoje patalpoje turi atitikti standartu apibrėžtas ribas, tai reiškia, kad net atokiausiame švaros kambario taške turi būti palaikomas minimalus oro srautas. Atlikus patalpų modeliavimus, matyti, kad atskirose patalpų dalyse oras beveik necirkuliuoja, oro srautas yra arti 0 m/s.

3.4 Alternatyva didesniems oro srautams pasiekti.

Didesnius oro srautus darbo vietose galima sukurti tam tikrų darbo zonų perkėlimu į efektyvesnio oro srauto zonas. Įmanomi dviejų darbo vietų perkėlimai:

- 1 – Mikroskopijos patalpoje esanti SEM darbo vieta.
- 2 – Bendrųjų technologinių procesų patalpoje esantis reaktyviojo joninio ėsdinimo įrenginys bei jo darbo vieta.

Darbo vietų perkėlimo galimybės, organizuojant optimalesnį oro srauto tekėjimą pateiktos 34 paveikslėlyje.



34 pav. Modeliuotas horizontalus oro srauto pjūvis. 1 – eksponavimo spinduliu darbo vieta, 2 – reaktyviojo joninio šėdinimo įrenginys bei darbo vieta prie jo

Norint maksimaliai išnaudoti paduodamą oro srautą, reikėtų darbo vietą Nr. 1 perkelti į priekį ~ 0,5 m atstumu, o darbo vietą Nr. 2 perkelti į kairę pusę ~ 1 m atstumu. Atlikus šiuos pakeitimus oro srauto dydis 1 vietoje padidėtų iki 0,25 m/s, 2 vietoje iki 0,3 m/s .

IŠVADOS

1. Atliktas Panevėžio mechatronikos centro mikro ir nano technologijų laboratorijų oro srautų modeliavimas Comsol Multiphysics programa. Atlikus vertikalius patalpos pjūvius nustatyta, jog darbo vietose oro srauto greitis siekia nuo 0,02 m/s iki 0,06 m/s.

2. Pasiūlyti 4 valdymo režimai, kuriais būtų galima maksimaliai išnaudoti paduodamą bei ištraukiamą orą, bei parinktos 9 oro sklendės su pavaromis šiems režimams įgyvendinti.

3. Ištirtas ir sumodeliuotas laminarinis oro srautas švaros patalpose, nustatyta, kad po rekonstrukcijos būtų galima pasiekti iki 10 kartų didesnius oro srauto greičius darbo vietose.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Whyte, W. Cleanroom Technology: Fundamentals of Design, Testing and Operation. 2004. ISBN: 9780471868422.
2. Prowell S. J., Trammell C. J., Linger R. C., Poore J. H. Cleanroom software engineering. 1999. ISBN:0-201-85480-5 Prieiga per internetą:< https://books.google.lt/books?hl=en&lr=&id=ZMskZKmlxaIC&oi=fnd&pg=PA6&dq=cleanroom+technologies&ots=vXkc62iHvr&sig=dcGsJMizRHfpsMxt3Yq4NLo2Vbo&redir_esc=y#v=onepage&q=cleanroom%20technologies&f=false />[žiūrėta 2014 m. spalio 11 d].
3. Hepafilters. Prieiga per internetą:< <http://www.hepafilters.com/products-page/filter-products/primary-hepaulpa-filters> />[žiūrėta 2014 m. lapkričio 15d].
4. Spaceindustries. Prieiga per internetą:< <http://www.spaceindustries.co.uk/cleanrooms/cleanrooms-types.php> />[žiūrėta 2015 m. vasario 4d].
5. Ccjm. Prieiga per internetą:< http://www.ccjm.org/fileadmin/content_pdf/ccjm/content_14f8122_ccq40_4-0191.pdf />[žiūrėta 2014 m. lapkričio 17 d].
6. Cnx. Prieiga per internetą:< http://cnx.org/contents/ef6dfc16-351e-42c6-9950-efc3c54cb79f@3/The_Environmental_Impact_of_th />[žiūrėta 2014 m. gruodžio 4 d].
7. Panevėžio mechatronikos centras (PMC). Prieiga per internetą:< www.panmc.lt />[žiūrėta 2014 m. gegužės 12 d].
8. Remak. Prieiga per internetą:< http://www.remak.eu/sites/default/files/files/manual_vcs_6.pdf />[žiūrėta 2015 m. balandžio 3 d].
9. Transcat. Prieiga per internetą:< <http://www.transcat.com/media/pdf/TMA10.pdf> />[žiūrėta 2015 m. sausio 23d].
10. Comsol user guide. Prieiga per internetą:< <http://nf.nci.org.au/facilities/software/COMSOL/4.3/doc/pdf/mph/COMSOLMultiphysicsUsersGuide.pdf> />[žiūrėta 2014 m. rugsėjo 10 d.].
11. Swegon. Prieiga per internetą:< <http://www.swegon.lt/wp-content/uploads/2012/03/CRTc.pdf> />[žiūrėta 2015 m. balandžio 20 d].
12. Solenoidvalves. Prieiga per internetą:< <http://www.solenoidvalves.com/en/belimo-actuators-lm/125-actuators-belimo-lm230a-sr.html> />[žiūrėta 2015 m. kovo 23 d].
13. Geleževičius V., Kriščiūnas K., Kubilius V. Elektros pavarų valdymo sistemos, Vilnius Mokslas, 1990. ISBN 5420-002-88-4.

14. Terrauniversal. Prieiga per internetą:< <http://terrauniversal.com/cleanrooms/iso-classification-cleanroom-standards.php> >[žiūrėta 2015 m. vasario 4d].

15. Bakero. Prieiga per internetą:< <https://www.bakerco.com/intro-clean-benches> />[žiūrėta 2015 m. sausio 9 d].

PRIEDAI

1 priedas. Elektros pavaros „Belimo“ techninės charakteristikos.

BELIMO

Damper actuator for operating air control dampers in ventilation and air-conditioning systems for building services installations

- For air control dampers up to approx. 1 m²
- Torque 5 Nm
- Nominal voltage AC 100 ... 240 V
- Control: Open-close or 3-point

Technical data sheet

Damper actuator LM230A



Technical data

Electrical data	Nominal voltage	AC 100 ... 240 V, 50/60 Hz	
	Nominal voltage range	AC 85 ... 265 V	
	Power consumption	In operation	1.5 W @ nominal torque
		At rest	0.4 W
		For wire sizing	4 VA
Connection	Cable 1 m, 3 x 0.75 mm ²		
Functional data	Torque (nominal torque)	Min. 5 Nm @ nominal voltage	
	Direction of rotation	Reversible with switch 0 ↺ or 1 ↻	
	Manual override	Gearing latch disengaged with pushbutton, self-resetting	
	Angle of rotation	Max. 95°↔, limited on both sides by means of adjustable, mechanical end stops	
	Running time	150 s	
	Sound power level	Max. 35 dB (A)	
	Position indication	Mechanical, pluggable	
	Safety	Protection class	II Totally insulated <input checked="" type="checkbox"/>
Degree of protection		IP54 in any mounting position	
EMC		CE according to 89/336/EEC	
Low voltage directive		CE according to 73/23/EEC	
Mode of operation		Type 1 (to EN 60730-1)	
Ambient temperature range		-30 ... +50 °C	
Non-operating temperature		-40 ... +80 °C	
Ambient humidity range		95% r.H., non-condensating (EN 60730-1)	
Maintenance		Maintenance-free	
Dimensions / Weight		Dimensions	See «Dimensions» on page 2
	Weight	Approx. 500 g	

2 priedas. Anemometro Meterman TMA10 techninės charakteristikos.

TMA10

Anemometer thermometer

TMA10 Specifications

Display	Dual 4-digit (9999 count) LCD		
Measurement units	Air velocity: ft/min (feet per minute); m/s (meters per second) Air flow: CMS (m ³ /sec) and CFM (ft ³ /min); Temperature: °C and °F		
Data hold	Freezes displayed reading		
Sensors	Air velocity/flow sensor: Conventional angled vane arms with low friction ball bearing Temperature sensor: Precision thermistor		
MIN/MAX memory	Record and view minimum and maximum readings		
Average reading memory	Single Point (up to 2 hours) or Multi-Point (up to 8 readings)		
Automatic power off	Sleep mode (with bypass) after 20 mins. conserves energy		
Operating temperature	32 °F to 122 °F (0°C to 50 °C)		
Operating humidity	Max. 80% RH		
Power supply	9 V battery (Heavy duty alkaline);		
Battery life	100 hours		
Weight	0.8 lb (363 g) including battery and sensor		
Dimensions	Main instrument: 7.1 x 2.8 x 1.4 in (181 x 71 x 38 mm)		
Sensor head diameter	70 mm		
Air Velocity			
Measurements	Range	Resolution	Accuracy
m/s (meters per sec)	0.40 to 25.00 m/s	0.01 m/s	± 2 % of full scale
ft/min (feet per minute)	125 to 4900 ft/min	1 ft/min	± 2 % of full scale
Air Flow			
Measurements	Range	Resolution	Area
CMS (cubic meters per sec.)	0.01 to 99.99 m ³ /sec	0.01	0 to 9.999 m
CFM (cubic feet per minute)	1 to 9999 ft ³ /min	1.0	0 to 9.999 ft
Air Temperature			
Measurements	Range	Resolution	Accuracy
°C (°F)	0 to 50 °C (32 to 122 °F)	0.1 °C/(°F)	± 0.8 °C (1.5 °F)

3 priedas. Oro sklendžių „Swegon“ techninės charakteristikos.

Dimensions and Weights

CRT

Size mm	A mm	B mm	C mm	H mm	Weight Kg	Torque moment Nm
100	210	110	42	70	0.7	<3
125	210	110	42	70	0.8	<3
160	210	110	42	75	0.9	<3
200	210	110	42	75	1.0	4
250	210	110	50	75	1.2	5
315	210	110	50	75	1.5	6
400	255	155	50	80	2.6	8
500	255	155	50	80	4.2	12
630	255	155	50	80	6.0	15

The torque moment refers to the recommended force necessary for secure control.

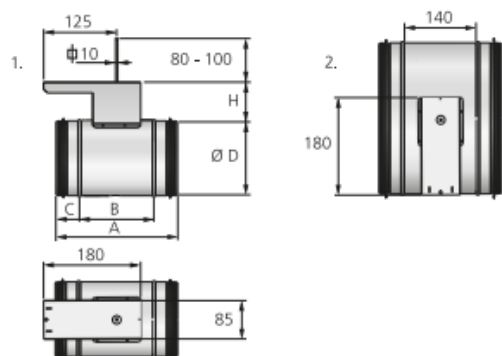


Figure 2.

1. CRT-(100-400)-4
2. CRT-(500-630)-4

Actuator tables

CRT, 2 or 3-point regulation, 24V AC

Power supply	24V AC	24V AC
Make of actuator	Sauter	Belimo
CRT 100-400, 10 Nm	ASM115SF901	NM24A
CRT 500-630, 15Nm	ASM124SF901	SM24A

CRT, 0-10V regulation, 24V AC

Power supply	24V AC	24V AC
Make of actuator	Sauter	Belimo
CRT 100-400, 10 Nm	ASM115SF901	NM24A-SR
CRT 500-630, 15 Nm	ASM124SF901	SM24A-SR

CRT, 2 or 3-point regulation, 230V AC

Power supply	230V AC	230V AC
Make of actuator	Sauter	Belimo
CRT 100-400, 10 Nm	ASM115F901	NM230A
CRT 500-630, 15Nm	ASM134F901	SM230A

Actuators: Sauter, 24V AC, ASM115SF901 and ASM124SF901 are standard, available from stock. Other actuators must be ordered.

Electrical data

Make/ model	Supply voltage	Ambient temp.	Power con- sumed
Sauter ASM115SF901	24V AC	-20...+55°C	8.7 VA
Sauter ASM124SF901	24V AC	-20...+55°C	4.4 VA
Sauter ASM115F901	230V AC	-20...+55°C	4.0 VA
Sauter ASM134F901	230V AC	-20...+55°C	4.3 VA
Belimo LM24A/-SR	24V AC	-30...+50°C	2.0 VA
Belimo LM24A-MP	24V AC	-30...+50°C	3.5 VA
Belimo NM24A/-SR	24V AC	-30...+50°C	3.5 VA
Belimo NM24A-MP	24V AC	-30...+50°C	5.5 VA
Belimo SM24A/-SR	24V AC	-30...+50°C	4.0 VA
Belimo SM24A-MP	24V AC	-30...+50°C	6.0 VA
Belimo LM230A/-SR	230V AC	-30...+50°C	4.0 VA
Belimo NM230A/-SR	230V AC	-30...+50°C	6.0 VA
Belimo SM230A/-SR	230V AC	-30...+50°C	6.5 VA