



Kauno technologijos universitetas
Statybos ir architektūros fakultetas

**Kompleksinis grindinio šildymo, mechaninio vėdinimo sistemų
bei biuro įrangos poveikis lakiųjų organinių junginių sklaidai
patalpose**

Baigiamasis magistro studijų projektas

Martynas Tamkus
Projekto autorius

Lekt. dr. Laura Stasiulienė
Vadovė

Kaunas, 2021



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

**Kompleksinis grindinio šildymo, mechaninio vėdinimo sistemų
bei biuro įrangos poveikis lakiųjų organinių junginių sklaidai
patalpose**

Baigiamasis magistro projektas

Darnūs ir energetiškai efektyvūs pastatai (6211EX006)

Martynas Tamkus

Projekto autorius

Lekt. dr. Laura Stasiulienė

Vadovė

Prof. dr. Andrius Jurelionis

Recenzentas

Kaunas, 2021



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Martynas Tamkus

Kompleksinis grindinio šildymo, mechaninio vėdinimo sistemų bei biuro įrangos poveikis lakiųjų organinių junginių sklaidai patalpose

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Martyno Tamkaus, baigiamasis projektas tema „Kompleksinis grindinio šildymo, mechaninio vėdinimo sistemų bei biuro įrangos poveikis lakiųjų organinių junginių sklaidai patalpose“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS

Magistro baigiamojo projekto užduotis

Studijų programa: DARNŪS IR ENERGETIŠKAI EFEKTYVŪS PASTATAI

Baigiamojo projekto tema (lietuvių k.):

KOMPLEKSINIS GRINDINIO ŠILDYMO, MECHANINIO VĖDINIMO SISTEMŲ BEI BIURO
ĮRANGOS POVEIKIS LAKIŲJŲ ORGANINIŲ JUNGINIŲ SKLAIDAI PATALPOSE

Baigiamojo projekto tema patvirtinta dekanu potvarkiu Nr.: V25-09-20

(lietuvių k.):

KOMPLEKSINIS GRINDINIO ŠILDYMO, MECHANINIO VĖDINIMO SISTEMŲ BEI BIURO
ĮRANGOS POVEIKIS LAKIŲJŲ ORGANINIŲ JUNGINIŲ SKLAIDAI PATALPOSE

(anglų k.):

COMBINED IMPACTS OF UNDERFLOOR HEATING, MECHANICAL VENTILATION AND
OFFICE EQUIPMENT IN BUILDINGS ON VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS DISPERSION

Pradiniai duomenys darbui (pagal poreikį):

-

Baigiamojo projekto dalys:

	Atlikti
Įvadas	x
Literatūros apžvalga	x
Metodologija	x
Eksperimentiniai tyrimai	x
Analitiniai tyrimai	<input type="checkbox"/>
Skaitiniai tyrimai	x
Ekonominė dalis	<input type="checkbox"/>
Išvados	x

Kita informacija (pagal poreikį), susitikimų su vadovu savaitės diena (-os) bei laikas:

-

Vadovas:

(indėlis 100 %)

Lekt. dr. Laura Stasiulienė

pareigos, vardas, pavardė

parašas

Studentas:

Martynas Tamkus

vardas, pavardė

parašas

Tamkus, Martynas. Kompleksinis grindinio šildymo, mechaninio vėdinimo sistemų bei biuro įrangos poveikis lakiųjų organinių junginių sklaidai patalpose. Magistro studijų baigiamasis projektas / vadovė lekt. dr. Laura Stasiulienė; Kauno technologijos universitetas, Statybos ir architektūros fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): inžinerijos mokslai, Statybos inžinerija (E05).

Reikšminiai žodžiai: lakieji organiniai junginiai, biuro įranga, nešiojamasis kompiuteris, stacionarusis kompiuteris, CFD, patalpų oro kokybė, grindinis šildymas, mechaninis vėdinimas.

Kaunas, 2021. 51 p.

Santrauka

Patalpų oro kokybę sąlygoja daugybė veiksnių. Vienas iš veiksnių yra statybinės medžiagos, naudojamos grindų konstrukcijose. Dažniausiai biurų patalpose naudojamos grindų dangos yra: medienos pagrindo, polivinchlorido, kiliminė danga. Šių grindų dangų dalis išskiriamų teršalų yra priskiriami lakiesiems organiniams junginiams, kurie turi neigiamą poveikį sveikatai. Lakiųjų organinių junginių sklaidą kvėpavimo zonoje lemia patalpoje susidarantys oro srautai, kuriuos sukelia vėdinimo sistemos ir šilti paviršiai (šildymo sistemos, žmonės, biuro įranga). Magistro baigiamojo projekto tikslas – nustatyti, kokią įtaką teršalų sklaidai patalpoje turi kompiuteris. Magistro baigiamajame projekte atlikti keturi eksperimentiniai tyrimai mikroklimatų tyrimų kameroje, esant skirtingiems vėdinimo būdams (sumaišomasis, išstumiamasis) ir skirtingiems kompiuterio tipams – nešiojamasis ir stacionarusis. Pagal eksperimentinius tyrimus, sukurti keturiasdešimt keturi skaitiniai teršalų sklaidos modeliai, panaudojant skaitinės skysčių dinamikos modeliavimo programą FloVent. Įvertintas modelio patikimumas ir atlikta veiksnių, turinčių įtaką teršalų sklaidai, analizė. Nustatyta, jog kompiuterio tipas, jo parametrai ir padėtis turi minimalią įtaką teršalų sklaidai patalpoje, ir labiau priklauso nuo vėdinimo būdo. Teršalų įtraukimas į žmogaus konvekcinį srautą yra mažiau intensyvus, kai vėdinama sumaišomuoju būdu ir darbui naudojamas nešiojamasis kompiuteris.

Tamkus, Martynas. Combined Impacts of Underfloor Heating, Mechanical Ventilation and Office Equipment in Buildings on Volatile Organic Compounds Dispersion. Master's Final Degree Project / supervisor lect. dr. Laura Stasiulienė; Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Engineering Sciences, Civil engineering (E05).

Keywords: volatile organic compounds, office equipment, laptop, desktop computer, CFD, indoor air quality, underfloor heating, mechanical ventilation.

Kaunas, 2021. 51 pages.

Summary

Indoor air quality is determined by many factors. One of the factors is the building materials used in floor constructions. The most used floor coverings in office premises are wood-based, polyvinyl chloride, carpet. Some of the pollutants emitted from these floor coverings are attributed to volatile organic compounds, which have a negative impact on health. The dispersion of volatile organic compounds in the breathing zone is determined by air currents in the room caused by ventilation systems and warm surfaces (heating systems, people, office equipment). The aim of the master's thesis is to determine the influence of a computer on the distribution of pollutants in a room. In the master's thesis, four experimental studies were performed in a microclimate research chamber with different ventilation methods (mixing, ejection) and different types of computer - portable and stationary. Forty-four numerical models of pollutant dispersion were developed using experimental studies using the numerical fluid dynamics modeling program FloVent. The reliability of the model was evaluated and the analysis of factors influencing the dispersion of pollutants was performed. It was found that the type of computer, its parameters and position have a minimal influence on the dispersion of pollutants in the room and are more dependent on the method of ventilation. The intake of pollutants into the human convective flow is less intense when mixing ventilation method is operated, and a laptop is used for work.

Turinys

Lentelių sąrašas	9
Paveikslų sąrašas	10
Įvadas.....	12
1. Literatūros apžvalga	13
1.1. Grindų dangos	13
1.1.1. Dažniausiai naudojamos grindų dangos	13
1.1.2. Išskiriami teršalai.....	14
1.2. Lakieji organiniai junginiai	16
1.2.1. Poveikis sveikatai	16
1.3. Teršalų sklaidą lemiantys veiksniai.....	17
1.3.1. Dinaminiai srautai	17
1.3.2. Konvekciniai srautai	18
1.4. Teršalų sklaidai įtaką turintys veiksniai	21
1.4.1. ŠVOK deriniai	21
1.4.2. Biuro baldai	21
1.4.3. Kompiuterio išskiriami teršalai	22
1.4.4. Kompiuterio ventiliatorius.....	23
2. Tyrimų metodologija.....	24
2.1. Eksperimentinis tyrimas	24
2.1.1. Tyrimų kamera	24
2.1.2. Vėdinimo sistema	25
2.1.3. Šilumos šaltiniai ir biuro įranga	25
2.1.4. Taršos šaltinis	26
2.1.5. Parametrų matavimai.....	26
2.2. Skaitiniai tyrimai	27
2.2.1. Modelio nustatymai, geometrija ir tinklelis.....	28
2.2.2. Modelio kraštinės sąlygos	29
2.3. Vėdinimo efektyvumas ir asmeninio poveikio rodikliai	30
2.4. Modelio patikimumo vertinimas	30
2.4.1. Oro greitis.....	31
2.4.2. Temperatūra.....	31
2.4.3. Teršalų koncentracija.....	31
3. Rezultatų analizė ir diskusija	32
3.1. Eksperimentinių tyrimų rezultatai	32
3.1.1. Temperatūrinis gradientas	32
3.1.2. Teršalų koncentracija.....	32
3.2. Skaitinių tyrimų rezultatai	34
3.2.1. Temperatūrinis gradientas	34
3.2.2. Teršalų koncentracija.....	35
3.3. Modelio patikimumo vertinimas	36
3.3.1. Oro greitis.....	36
3.3.2. Temperatūrinis gradientas	38

3.3.3. Teršalų koncentracija.....	39
3.4. Veiksnių, darančių įtaką oro kokybei, analizė.....	41
3.4.1. Stacionaraus kompiuterio padėtis.....	41
3.4.2. Kompiuterio procesoriaus aušinimui reikiamas oro srautas.....	42
3.4.3. Kompiuterio procesoriaus temperatūra	42
3.4.4. Patalpos oro apykaita.....	43
3.4.5. Stalo tipas	44
3.4.6. Darbo vietos padėtis patalpos atžvilgiu.....	45
3.5. Tolimesni tyrimai	46
Išvados	47
Literatūros sąrašas	48

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Skirtingų grindų dangų išskiriami teršalai, $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ [2]	15
2 lentelė. LOJ klasifikacija pagal virimo temperatūrą [15].....	16
3 lentelė. Kompiuterių energijos poreikis [38]	20
4 lentelė. Temperatūriniai parametrai, nustatyti atliekant eksperimentinį tyrimą.	32
5 lentelė. Vėdinimo sistemų efektyvumas, asmeninio poveikio rodikliai, nustatyti eksperimentiniais tyrimais.	33
6 lentelė. Temperatūriniai parametrai, nustatyti atlikus skaitinį modeliavimą.	34
7 lentelė. Vėdinimo sistemų efektyvumas ir asmeninio poveikio rodikliai, nustatyti skaitiniu modeliavimu.	35
8 lentelė. Stacionaraus kompiuterio padėties įtaka teršalų sklaidai.	41
9 lentelė. Kompiuterio procesoriaus aušinimo srauto įtaka teršalų sklaidai.	42
10 lentelė. Kompiuterio procesoriaus temperatūros įtaka teršalų sklaidai.....	43
11 lentelė. Patalpos oro apykaitos įtaka teršalų sklaidai.	43
12 lentelė. Stalo tipo įtaka teršalų sklaidai.....	44
13 lentelė. Darbo vietos įtaka teršalų sklaidai.....	45

Paveikslų sąrašas

1 pav. Dažniausiai naudojamų medienos pagrindo grindų konstrukcijų sandara [2]	13
2 pav. Formaldehido emisijos į patalpą priklausomybė nuo sujungimo siūlių. LE-mažai teršalų išskiriančios medžiagos, HE-daug teršalų išskiriančios medžiagos [13]	15
3 pav. Teršalų sklaidą remiantys veiksniai	17
4 pav. Temperatūriniai gradientai susidarantys patalpoje, lyginant skirtingas šildymo sistemas su teoriškai idealiu atveju [28]	19
5 pav. Konvekcinio ribinio sluoksnio sukuriamas šilumos srautas [35].....	20
6 pav. Taškinės teršalų koncentracijos judėjimas, kai naudojamas: 1) orinis šildymas; 2) radiatorinis šildymas; 3) grindinis šildymas [41]	21
7 pav. Koncentracijų priklausomybė kvėpavimo zonoje nuo atstumo tarp žmogaus ir stalo, kai teršalas buvo kirkšnies ir krūtinės lygyje [42].....	22
8 pav. Teršalų emisija, įjungto ir išjungto kompiuterio atvejais [44]	22
9 pav. Teršalų judėjimo įtaka modeliuojant, kai kompiuteris: a) „karšta dėžė“; b) „karšta dėžė + ventiliatorius“ [45].....	23
10 pav. Tyrimų kameros izometrinis vaizdas su įranga.....	24
11 pav. Tyrimų kameros vaizdas eksperimento metu.....	25
12 pav. Tyrimų kameros planas ir pjūviai. T ₁ -T ₄ – temperatūrų matavimo stovai, C ₁ -C ₅ – LOJ koncentracijų matavimo taškai	26
13 pav. Tyrimų atvejai laboratorijoje: 1) M4-PC; 2) M4-LP; 3) DU-PC; 4) DU-LP.....	27
14 pav. Eksperimentinių tyrimų matavimų planas.....	27
15 pav. Skaitinių modelių perspektyvinis vaizdas	28
16 pav. Patalpos planas ir izometrinis vaizdas su tinkleliu.....	28
17 pav. Temperatūros palyginimas keičiantis celių skaičiui. Oranžinė taškuota linija žymi, ties kuriuo celių skaičiumi pasiektos mažai kintančios vertės	29
18 pav. Temperatūrinis gradientas priklausomai nuo oro vėdinimo bei kompiuterio tipų.....	32
19 pav. Santykinė teršalų koncentracija, gauta eksperimentinio tyrimo metu.....	33
20 pav. Temperatūrinis gradientas skaitiniame modelyje.....	34
21 pav. Koncentracijos pasiskirstymas skaitiniame modelyje sumaišomojo vėdinimo atveju.....	35
22 pav. Koncentracijos pasiskirstymas skaitiniame modelyje išstumiamojo vėdinimo atveju	36
23 pav. Eksperimentinių ir skaitinių tyrimų sumaišomuoju būdu, V1 ir V2 kryptimis, oro judėjimo greičių palyginimas. Skliaustuose nurodyta vidutinė santykinė paklaida	36
24 pav. Eksperimentinių ir skaitinių tyrimų sumaišomuoju būdu, V3 ir V4 kryptimis, oro judėjimo greičių palyginimas. Skliaustuose nurodyta vidutinė santykinė paklaida	37
25 pav. Eksperimentinių ir skaitinių tyrimų išstumiamuoju vėdinimo būdu, V1 ir V2 kryptimis, oro judėjimo greičių palyginimas. Skliaustuose nurodyta vidutinė santykinė paklaida.....	37
26 pav. Eksperimentinio ir skaitinio tyrimo temperatūrinio gradiento palyginimas sumaišomojo vėdinimo būdu ir stacionaraus kompiuterio atveju.....	38
27 pav. Eksperimentinio ir skaitinio tyrimo temperatūrinio gradiento palyginimas sumaišomojo vėdinimo būdu ir nešiojamojo kompiuterio atveju.....	38
28 pav. Eksperimentinio ir skaitinio tyrimo temperatūrinio gradiento palyginimas išstumiamojo vėdinimo būdu ir stacionaraus kompiuterio atveju.....	39
29 pav. Eksperimentinio ir skaitinio tyrimo temperatūrinio gradiento palyginimas išstumiamojo vėdinimo būdu ir nešiojamojo kompiuterio atveju.....	39

30 pav. Vėdinimo efektyvumo ir asmeninio poveikio rodiklių palyginimas sumaišomojo vėdinimo būdu, eksperimentinio ir skaitinio tyrimo atvejais	40
31 pav. Vėdinimo efektyvumo ir asmeninio poveikio rodiklių palyginimas išstumiamojo vėdinimo būdu, eksperimentinio ir skaitinio tyrimo atvejais	40
32 pav. Stacionaraus kompiuterio padėtis skaitiniuose tyrimuose	41
33 pav. Skaitiniams tyrimams naudoti skirtingi stalo tipai	44
34 pav. Darbo vietos padėtis patalpos atžvilgiu. Žydra spalva žymi vėsinamą sieną.....	45

Įvadas

Oro kokybę patalpose lemia daugybė įvairių veiksnių: temperatūra, santykinis drėgnis, oro kaita, teršalai, statybinės medžiagos, baldai, šildymo – vėsinimo sistemos, žmonių judėjimas ir jų veikla bei kita.

Patalpų teršalai turi reikšmingą poveikį žmonėms, kadangi didžiąją laiko dalį žmonės praleidžia namuose, biure, parduotuvėse ir kitose uždaroje erdvėse. Yra aiškių įrodymų, jog oro kokybė turi tiek trumpalaikį, tiek ilgalaikį poveikį žmonių sveikatai.

Pasaulyje griežtėja aplinkosaugos ir energijos taupymo reikalavimai. Siekiant sumažinti energijos suvartojimą, pradėta statyti labiau apšiltinamus, mažiau plyšių turinčius pastatus. Šios priežastys lėmė pastatų sandarumo padidėjimą, dėl kurio mažėja iš lauko infiltracijos būdu patenkantis oras.

Energijos suvartojimas kontroliuojamas ir vėdinimo sistemose, todėl teisinių aktų pakeitimuose numatyta mažinti tiekiamo (švaraus) oro kiekį į patalpą. Dėl to vis labiau gilinamasi į oro kokybę ir teršalų sklaidą patalpose.

Baigiamajame magistro studijų projekte, nagrinėjamos patalpos, kuriose atliekamas sėdimas darbas prie kompiuterio. Dažniausiai tokios patalpos egzistuoja biuruose, mokyklose, bibliotekose.

Dažnu atveju, žmonės nevertina kompiuterio keliamų grėsmių. Viena jų – patalpoje esančių teršalų pakėlimas į kvėpavimo zoną. Kompiuterio tipas ir jo padėtis baldų ir/arba patalpos atžvilgiu, gali turėti įtaką įkvepiamo oro kokybei.

Projekto tikslas: ištirti grindų lygyje išsiskiriančių lakiųjų organinių junginių sklaidos priklausomybę nuo kompiuterio padėties ir tipo, patalpą šildant grindinio šildymo sistema ir vėdinant išstumiamuoju arba sumaišomuoju būdu.

Projekto uždaviniai:

1. Ištirti grindų lygyje susidarančių teršalų sklaidą eksperimentiniu būdu, veikiant skirtingiems grindinio šildymo sistemos, vėdinimo būdo, kompiuterio tipo ir padėties patalpoje deriniams.
2. Sukurti skaitinį teršalų sklaidos modelį, panaudojant skaitinės skysčių dinamikos kompiuterinę programinę įrangą.
3. Įvertinti rezultatus, gautus panaudojant skaitinius modelius, patikimumą.
4. Įvardinti veiksnius, turinčius įtaką teršalų sklaidai patalpoje.
5. Nustatyti, kuriuo kompiuterio atveju ir vėdinimo būdu teršalų iš grindų lygio patekimas į kvėpavimo zoną yra mažesnis.

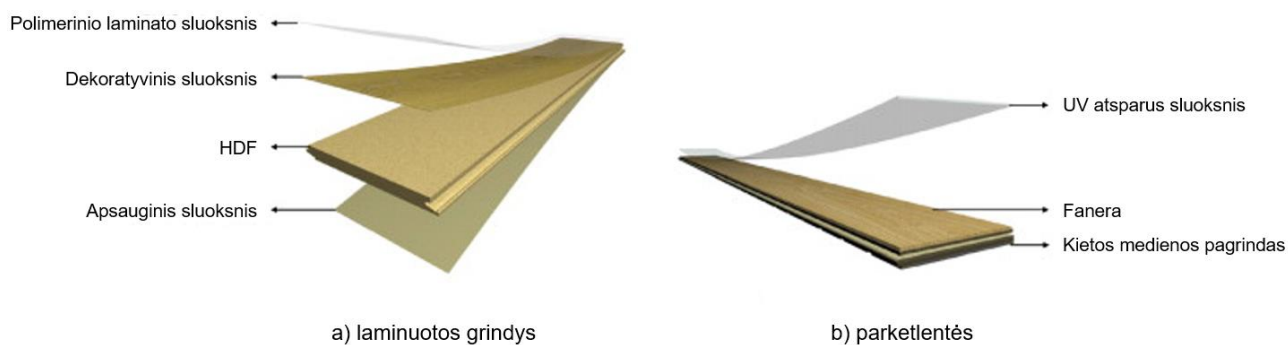
1. Literatūros apžvalga

1.1. Grindų dangos

1.1.1. Dažniausiai naudojamos grindų dangos

Grindys yra neatsiejama kiekvieno pastato dalis. Plačiaja prasme, jų struktūra sudaryta iš grunto, betono, išlyginamojo sluoksnio, klijų ir grindų dangos. Analizuojant kokios grindų dangos naudojamos plačiausiai, pastebima, jog biurų patalpose vyrauja kelių tipų grindų dangos.

Plačiausiai paplitusios medienos pagrindo grindys, kurias galima išskaidyti į du tipus: parketlentes ir laminuotų grindų dangas. Parketlenčių grindų konstrukcija sudaryta iš kelių sluoksnių: storesnis medienos sluoksnis naudojamas kaip pagrindas, įprastai jis būna iš tvirtesnės medienos, pavyzdžiui ąžuolo, ant jo, naudojant dervą, klijuojama medžio fanera, ir suspaudžiama maždaug 190 °C temperatūroje, tada grindų konstrukcija padengiama ultravioletiniams spinduliams atspariu sluoksniu [1]. Laminuotoms grindims, įprastai naudojami keturi tarpusavyje sujungti sluoksniai: apatinis apsauginis sluoksnis, saugantis nuo grybelio, drėgmės ir pelėsių, tuomet vandeniui atspari, didelio tankio pluošto plokštė (HDF), kuri naudojama kaip konstrukcijos pagrindas. Ant pagrindo dedamas dekoratyvinis sluoksnis įmirkytas dervos junginiuose, ir apsauginis polimerinio laminato sluoksnis [2]. Laminuotos grindys įrengiamos plūdriuoju montavimo būdu su polietileno (PE) vinilo ir polietileno (PE) putomis, kad grindys taptų lygios [3].



1 pav. Dažniausiai naudojamų medienos pagrindo grindų konstrukcijų sandara [2]

Neretai administracinių pastatų kabinetuose galima pastebėti, jog grindų paviršiui pasirenkama kiliminė danga. Šios dangos gamybai naudojama vilna, poliamidas, polipropilenas, nailonas, poliesteris ir kitos medžiagos [4, 5]. Dažniausiai kiliminės dangos pagrindui (nugarai) naudojamos sintetinės medžiagos. Kai kuriais atvejais, kiliminės dangos turi du pagrindus: pirminę tarp pluoštų ir antrinę kaip apatinę kilimo dalį.

Vis didesnę rinkos dalį užima vinilo dangos grindys. Jos gaminamos iš polivinilchlorido (PVC) dervų ir įvairių plastifikatorių, užpildų, stabilizatorių ir pigmentų. Plastifikatoriai naudojami kaip priedai, galintys padidinti vinilo grindų plastiškumą. Šios grindų dangos gali būti dengiamos ultravioletiniam poveikiui atspariu sluoksniu, o ten kur dideli žmonių judėjimo srautai – papildomai vaškuojamos [6].

Grindų konstrukcijos pasirinkimas priklauso nuo patalpų interjero sprendimų, eksploataavimo sąlygų, finansinių galimybių, tačiau nepaisant savo privalumų ir trūkumų, visos grindų dangos į patalpos aplinką išskiria įvairių teršalų.

1.1.2. Išskiriami teršalai

Patalpose egzistuoja daugybė įvairių medžiagų, kurių išskiriamų teršalų spektras yra itin platus. Statybinės medžiagos sudaro apie 40 procentų visų patalpos oro teršalų [7]. Grindų dangos priskiriamos statybinių medžiagų kategorijai, jų išskiriami teršalai siekia 8-16 procentų visų patalpoje susidarančių teršalų dydį [8, 9]. Skirtingos grindų dangos gali išskirti skirtingus oro teršalus. Grindų dangos įprastai išskiria šiuos teršalus:

- *Formaldehidas* – paprasčiausias aldehydų šeimos narys. Bespalvės dujos, turinčios stiprų, aštrų kvapą. Unikalus, nes karbonilas yra tiesiogiai prijungtas prie dviejų vandenilio atomų. Dėl šios unikalios struktūros formaldehidas turi didelį cheminį ir fotocheminį reaktingumą ir gerą šiluminį stabilumą, palyginus su kitais karbonilais. Gali atlikti įvairias chemines reakcijas, kurios daugeliu atvejų yra naudingos komerciniuose procesuose [10].
- *Acetaldehidas* – bespalvis, lakus skystis arba dujos (>20 °C). Turi stiprų ir aštrų vaisių kvapą, kurio slenkstis yra 0,05–2,3 ppmv. Tai dviejų anglies alifatinis aldehidas, didelis garų slėgis (740 mmHg 20 °C temperatūroje). Yra vidutinio tirpumo vandenyje ir daugelyje organinių tirpiklių [10].
- *Benzenas* – aromatinis angliavandenilis. Tai bespalvis, degus, saldaus kvapo skystis. Chemijos pramonėje tai svarbus tirpiklis, naudojamas gaminant vaistus, plastiką, sintetinį kaučiuką bei dažus. Natūraliai aptinkamas neapdirbtoje naftoje, bet dažnai sintezuojamas iš kitų naftos komponentų [11].
- *Toluenas* – yra skaidrus, vandenyje netirpus, specifinio dažų skiediklio kvapo skystis, organinis junginys, priskiriamas aromatiniams angliavandeniliams. Pramonėje dažniausiai naudojamas kaip industrinė žaliava kitų cheminių medžiagų gamybai, taip pat kaip tirpiklis [11].
- *Ksilenas* – yra bespalvis, saldaus aromato, labai degus skystis. Namų vartojimo reikmenys, į kurių sudėtį gali įeiti ksilenai – įvairūs sintetiniai chemikalai (oro gaivikliai, valikliai, dažai, lakai) [11].
- *Stirenas* – sinonimai vinilbenzenas ir feniletenas – organinis junginys. Kadangi stireno molekulės sudėtis turi benzeno žiedą, stirenas yra aromatinis angliavandenilis. Normalioje temperatūroje ir normalaus slėgio stirenas yra permatomas, bespalvis skystis, kuris gali gana lengvai susipolimerizuoti. Stirenas yra naudojamas pramonėje kaip monomeras gaminti polistireną ir kitus polimerus [11].

Išskiriamų teršalų dydis taip pat priklauso nuo naudojamos medienos rūšies grindų konstrukcijoje. Kietmedžiai, tokie kaip ąžuolas ar bukas, išskiria didelį kiekį etano ir metano rūgščių, mažiau – terpeno junginių. Tuo tarpu minkšta mediena išskiria mažiau organinių rūgščių, bet daug daugiau terpeno junginių [12].

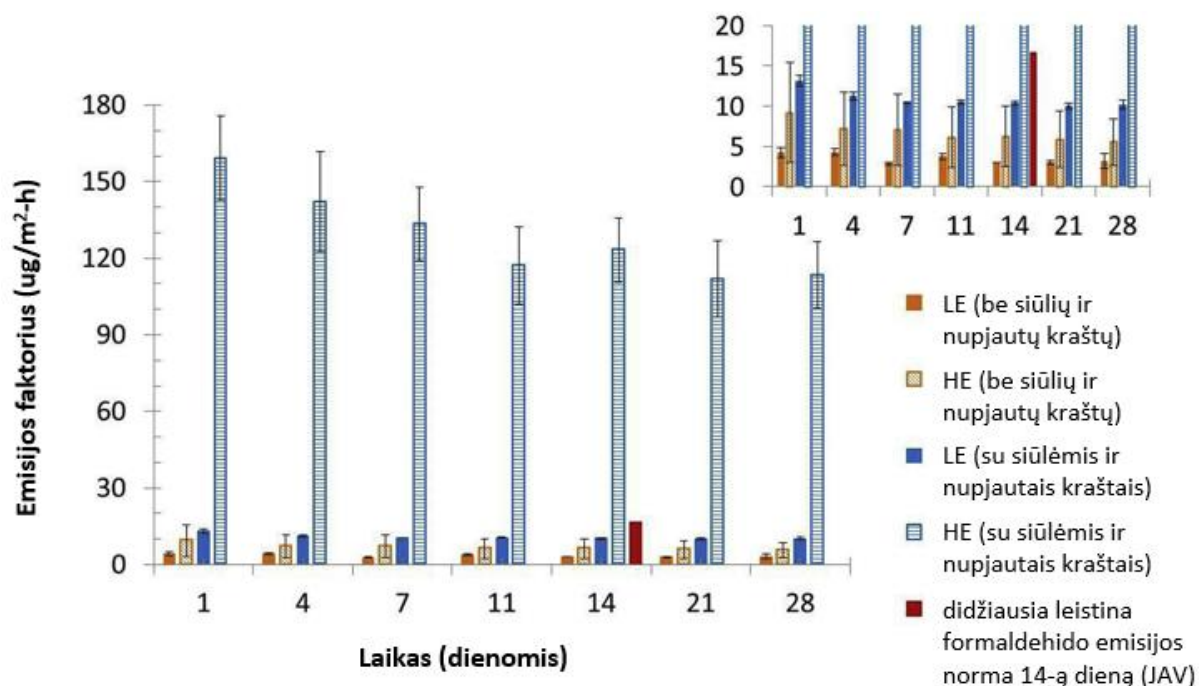
Būtina paminėti, kad kai kuriais atvejais, grindų viršutinis sluoksnis neišskiria teršalų, priešingai, atlieka teršalų emisijos blokavimą į patalpą [2]. S. Kim'o atliktas tyrimas parodė, kad grindų dangų išskiriami teršalai gali priklausyti nuo viršutinės grindų konstrukcijos dangos (žr. 1 lentelę). Ultravioletiniams spinduliams atsparus sluoksnis bei dekoratyvinis sluoksnis gali reikšmingai blokuoti teršalus.

1 lentelė. Skirtingų grindų dangų išskiriami teršalai, $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ [2]

Grindų dangos	A	B	C	D	E
Benzenas	5,55	0,94	2,36	6,94	3,83
Toluenas	65,66	29,98	115,96	179,11	62,41
Etilbenzenas	6,94	5,05	13,07	16,86	6,85
Stirenas	8,55	0,87	5,77	10,22	3,79
<i>o</i> -Ksilenas	9,98	6,03	7,66	9,77	4,98
<i>m,p</i> -Ksilenas	18,65	15,23	25,79	29,65	14,78
Mesitilenas	0,00	0,00	1,50	2,41	1,15
Identifikuota	115,31	58,10	172,11	254,95	97,79
Neidentifikuota	980,12	612,44	1166,21	850,32	662,22
Visa koncentracija	1095,45	670,54	1338,33	1855,37	760,02

A: HDF (didelio tankio pluošto plokštė); B: HDF + LPM (dekoratyvinis sluoksnis), laminuotos grindys; C: klijuota fanera; D: klijuota fanera + išorinis faneros sluoksnis; E: klijuota fanera + išorinis faneros sluoksnis + UV sluoksnis, parketlentės

Grindų dangų gamintojams siekiant išlaikyti prekės pranašumą yra pateikiami duomenys, kuriuose nurodomas grindų konstrukcijos išmetamų teršalų į patalpą dydis. Verta atkreipti dėmesį į tai, kad gamintojas neįvertina montavimo metu neišvengiamai susidarančių sujungimo siūlių bei kraštų nupjovimų. Įrodyta, jog būtent dėl šių montavimo ypatybių gerokai išauga teršalų į patalpą emisija (žr. 2 pav.).



2 pav. Formaldehido emisijos į patalpą priklausomybė nuo sujungimo siūlių. LE-mažai teršalų išskiriančios medžiagos, HE-daug teršalų išskiriančios medžiagos [13]

Remiantis jų savybėmis, didžioji dalis 1.1.2. poskyryje paminėtų teršalų priskiriami lakiesiems organiniams junginiams (LOJ).

1.2. Lakieji organiniai junginiai

Lakiesiais organiniais junginiais (LOJ) yra vadinami tie organiniai cheminiai junginiai, kurių sudėtis jiems leidžia išgaruoti esant standartinėms atmosferos slėgio ir temperatūros sąlygoms [14]. LOJ gali būti klasifikuojami į keturias grupes, vadovaujantis jų virimo temperatūra (žr. 2 lentelę).

2 lentelė. LOJ klasifikacija pagal virimo temperatūrą [15]

Apibūdinimas	Trumpinys	Virimo temperatūra, °C
Labai lakūs organiniai junginiai	LLOJ	<0 iki 50–100
Lakieji organiniai junginiai	LOJ	50–100 iki 240–260
Pusiau lakūs organiniai junginiai	PLOJ	240–260 iki 380–400
Sveikatai žalingos organinės medžiagos	ŠŽOM	>380

Lakieji organiniai junginiai taip pat skirstomi į pirminius ir antrinius. Pirminius lakiuosius organinius junginius medžiagos skleidžia pačios, o antriniai susidaro sąveikaudami su kitomis medžiagomis.

1.2.1. Poveikis sveikatai

Teršalų poveikis sveikatai gali būti labai įvairus: sudaryti realią grėsmę sveikatai, ar tiesiog sukelti erzinantį poveikį. Lakiuosius organinius junginius, Europos Komisijos INDEX projektas, priskiria prioritetinių teršalų grupei, kurie turi būti reguliuojami patalpų ore dėl jų kancerogeninių, jautrinamųjų, toksiškų ar reaktyvių savybių [16]. Remiantis INDEX projektu, cheminiai junginiai skirstomi į kelias grupes: aukšto prioriteto cheminės medžiagos (formaldehidai, benzenas), vidutinio prioriteto cheminės medžiagos (acetaldehidai, toluenas, ksilenas ir stirenas) [16].

Lakieji organiniai junginiai gali sukelti kvėpavimo takų dirginimą, alergijas, astmą, taip pat neuropsichoimunologinius požymius, tokius kaip ligoto pastato sindromas (LPS) [17]. Kai kurie LOJ ilgalaikio poveikio metu, gali neigiamai atsiliepti širdies ir plaučių darbui, pakenkti kraujagyslėms. [18]. Taip pat nustatyta, jog ilgalaikis LOJ poveikis gali sukelti kancerogeninį ir mutageninį poveikį [19]. Be to, daugelis lakiųjų organinių junginių veikia centrinę nervų sistemą (CNS) [17].

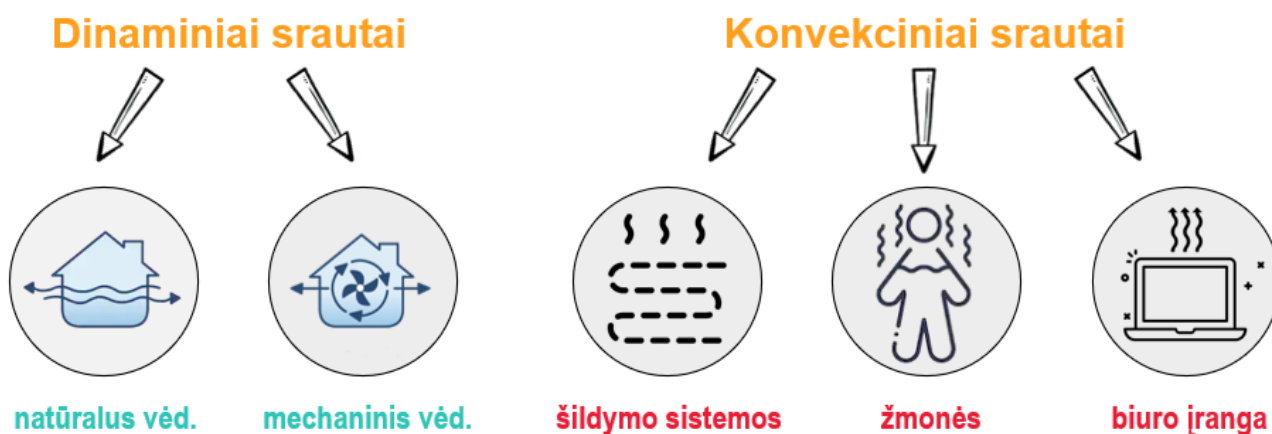
Brightman'as *et al.* savo įvykdyto tyrimo metu apklausė šimtą skirtingų viešųjų pastatų darbuotojus JAV, ir kategorizavo su darbu susijusius simptomus biuruose į keturias pagrindines grupes. Net 45 % korespondentų pateikė bent vieną su darbu susijusiu sveikatos simptomą, o 20 % pranešė apie tris simptomus, esančius toliau išvardytose kategorijose [20]:

- gleivinės, akių ir viršutinių kvėpavimo takų dirginimas;
- apatinių kvėpavimo takų simptomai, pavyzdžiui kosėjimas;
- centrinės nervų sistemos (CNS) simptomai, pavyzdžiui galvos skausmas;
- nuovargis.

Pejtersen'as *et al.* aprašė situaciją, kai vienoje miesto rotušėje pakeitus seną tekstilės kilimą su vinilo grindimis ir renovavus vėdinimo sistemą, reikšmingai sumažėjo tiek dirginimo, tiek CNS simptomų skundų [21].

1.3. Teršalų sklaidą lemiantys veiksniai

Lakieji organiniai junginiai, galintys išgaruoti esant aplinkos temperatūrai, gali būti vadinami izoterminiais teršalais. Dėl teršalų izoterminių savybių, konvekciniu ir/arba dinaminiu srautu (juos sukelia vėdinimo sistemos ir šilti paviršiai), jie yra pakeliami į žmogaus kvėpavimo zoną (žr. 3 pav.).



3 pav. Teršalų sklaidą remiantys veiksniai

1.3.1. Dinaminiai srautai

Dinaminis srautus sukelia vėdinimo sistemos, kurios gali būti klasifikuojamos į dvi grupes.

Natūralusis vėdinimas vyksta veikiant gravitacijos ir dinaminėms jėgoms. Natūralusis vėdinimas gali būti kontroliuojamas ir nekontroliuojamas.

Nekontroliuojamu atveju oras juda per atitvaras infiltracijos-ekstrahcijos būdu. Oro infiltracijos koeficientas priklauso nuo pastato sandarumo ir vėjo greičio. Moksliniais tyrimais nustatyta, jog ženkliai vėjo greičio įtaka atsiranda tik tuomet, kai vėjo greitis viršija 3 m/s [22].

Kontroliuojamu atveju, oras juda per angas. Kad tai įvyktų, reikalingas slėgių skirtumas tarp skirtingų angos pusių [23]. Slėgio skirtumas atsiranda dėl gravitacijos jėgų – šiltas oras kyla aukščiau, vėsus leidžiasi žemyn. Taip pat slėgio skirtumai priklauso nuo dinaminėms jėgų – vėjo poveikis sukelia oro judėjimą skersai pastato.

Mechaninis vėdinimas vyksta oro cirkuliaciją sukeliant ventiliatoriais. Priklausomai nuo oro tiekimo ir šalinimo difuzorių bei jų vietų patalpoje, išskiriami pagrindiniai oro mainų organizavimo būdai [24, 25, 26]:

- Srovinė cirkuliacija (sumaišomoji) – patalpos viršutinėje dalyje yra įrengiami oro ištraukimo ir tiekimo skirstytuvai. Šios schemas tikslas atskiesti užterštą patalpos orą, šviežiu lauko oru.
- Terminis (išstumiamasis) – šio oro paskirstymo tikslas yra išvengti oro maišymosi darbo zonoje. Oras, kuris yra šiek tiek vėsesnis nei patalpos oras, yra išpučiamas mažu greičiu (<0,5 m/s) per didelio ploto difuzoriaus groteles, kurios būna prie sienos, palei grindis. Oras

teka lėtai ir tolygiai visos patalpos plotu, kol sušilęs nuo žmonių arba įrangos pradeda kilti į patalpos palubę ir ten yra ištraukiamas.

- Pripildomoji (vienkryptė) – pagal oro tiekimo ir šalinimo kryptį gali būti žemyn arba aukštyn nukreipta srauto sistema. Šis vėdinimo tipas taikomas ypač švariose patalpose, tokiose kaip gydymo įstaigos, farmacijos pramonė, elektronikos gamyba.
- Personalizuotas (asmeninis) – šio vėdinimo pagrindinė idėja yra tiekti švarų orą tiesiogiai į asmens aplinką. Taip gali būti pasiekama geresnė įkvepiamo oro kokybė, bei kiekvienas asmuo gali keisti temperatūrą, oro debitą, greitį ir kryptį, priklausomai pagal poreikį. Šiuo būdu užtikrinamas geresnis mikroklimatas darbo vietoje.

1.3.2. Konvekciniai srautai

Konvekcinius srautus sukelia šilti paviršiai. Įprastai, biuro patalpose šilumos šaltiniais būna šildymo sistemos, žmonės bei biuro įranga. Remiantis tuo, kad jaučiamas poreikis sumažinti pastatų energijos suvartojimą, galima daryti prielaidą, jog konvekciniai srautai ateityje turės reikšmingą rolę mikroklimato užtikrinimo vaidmenyje.

1.3.2.1. Šildymo sistemos

Remiantis pasauline praktika, pagrindines šildymo sistemas galima išskaidyti į tris grupes: grindinis, radiatorinis, orinis.

Grindinio šildymo sistema – vienas populiariausių šildymo būdų. Šios šildymo sistemos temperatūriniai parametrai yra artimi žmogaus temperatūriniais parametrams (žr. 4 pav.), taip pat nesukelia vizualinio diskomforto. Dėl žemesnės temperatūros šilumnešio, yra geriau suderinamas su atsinaujinančią energiją naudojančiais šilumos šaltiniais, pavyzdžiui, šilumos siurbliais.

Šiuolaikinė grindų šildymo sistema susideda iš plastikinių vamzdžių, sumontuotų kontūrais grindų plokštėse arba grindų konstrukcijose, per kurias praeina žemos temperatūros karštas vanduo. Šiluma paprastai būna perduodama 40 procentų konvekcinės ir 60 procentų spinduliavimo proporcijomis [27]. Šio šildymo tipo pagrindinis privalumas yra tai, kad kambario oro temperatūros sluoksnis yra mažesnis nei radiatoriaus arba konvektoriaus, dėl kurio padidėja šiluminis komfortas žmogui.

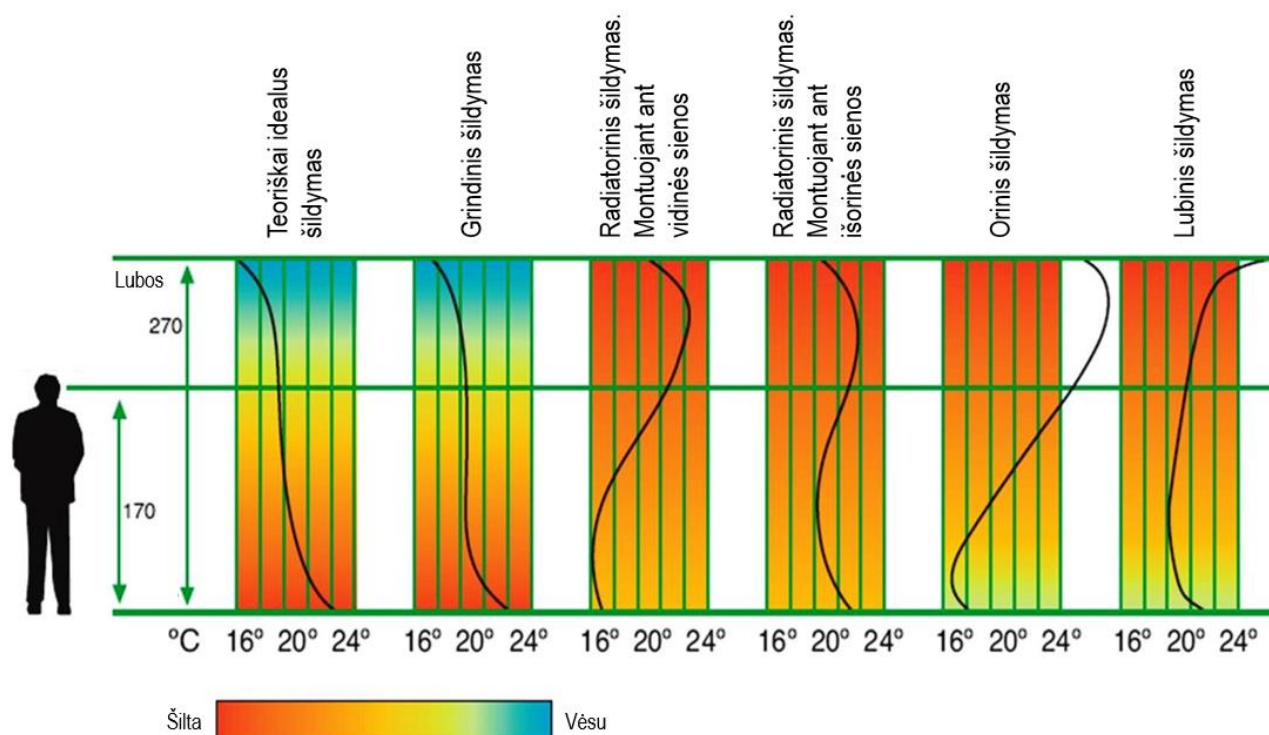
Radiatorinė šildymo sistema – šilumos perdavimui naudojamos plokščios arba briaunotos plokštės, pagamintos iš ketaus, plieno arba aliuminio, ir yra montuojamos ant sienos, dažnai žemiau langų, kad būtų išvengta bet kokių šalčio pritekėjimų.

Šiluma perduodama 50 procentų konvekciniu ir 50 procentų spinduliavimo būdu [27]. Tiesa, kuo radiatorius turi daugiau eilių, tuo šiluma labiau proporcingai perduodama konvekciniu būdu. Radiatorinis šildymas šiuo metu išlieka vis dar populiarius, nes į jį galima tiekti įprastų temperatūrų šilumnešį, kuris svyruoja nuo 60 °C iki 80 °C.

Orinė šildymo sistema – veikimas pagrįstas už patalpos orą šiltesnio oro tiekimu. Būdingas šilumos perdavimas konvekcija, šildant patalpos orą, kuris perduoda šilumą žmonėms ir objektams patalpoje.

Orinį šildymą rekomenduojama projektuoti patalpose, kuriose naudojamos medžiagos gali savaimė užsiliepsnoti arba sprogti, sąveikaudamos su šildymo sistemų įkaitusiais paviršiais. Pagrindinis trūkumas naudojant orą pastato šildymui yra tai, kad reikalingi sąlyginai dideli oro kiekiai, palyginti

su vandeniu šildomomis sistemomis, taip pat sukuriama didžiausias temperatūrinio gradiento diskomfortas žmogui, lyginant su kitomis šildymo sistemomis (žr. 4 pav.).



4 pav. Temperatūriniai gradientai susidarantys patalpoje, lyginant skirtingas šildymo sistemas su teoriškai idealiu atveju [28]

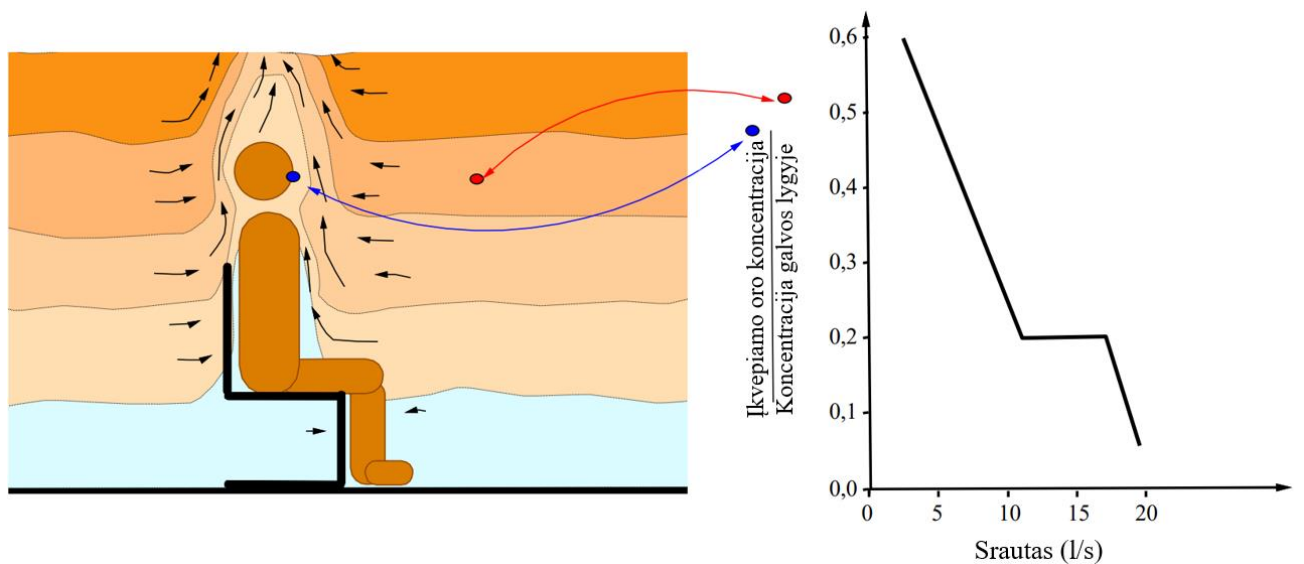
1.3.2.2. Žmogaus kūnas

Žmogaus kūnas išskiria šilumą į aplinką. Šiluma yra perduodama konvekcija (29 %), spinduliavimu (38 %), iškvėptu oru iš plaučių (9 %) bei prakaituojant (24 %) [29, 30]. Šilumos nuostolių dydis priklauso nuo medžiagų apykaitos intensyvumo ir žmogaus kūno paviršiaus ploto. Skaičiavimuose įprasta numatyti, kad biure dirbančio žmogaus medžiagų apykaita yra 70 W kūno paviršiaus kvadratiniam metrui (W/m^2). Žmogaus kūno paviršiaus plotas apskaičiuojamas remiantis formule, kuriai reikalinga žinoti žmogaus ūgį bei svorį. Įprastai biuro patalpose dirbančių žmonių kūno paviršiaus plotas siekia $1,8 \text{ m}^2$ [29]. Žmogaus odos vidutinė temperatūra, užsiimant normalia veikla, yra apie $33 \text{ }^\circ\text{C}$ [31].

Šilumos išskyrimui didelę įtaką turi patalpų mikroklimato parametrai: temperatūra, santykinis drėgnis, oro judėjimo greitis, taip pat reikia įvertinti aprangos šiluminę varžą [29], kuri priklausomai nuo metų laiko, remiantis ISO 7730:2005, gali kisti nuo 0,3 clo iki 1,4 clo [32].

Dėl žmogaus kūne vykstančių metabolinių procesų, sukuriama šiluma yra perduodama į supantį šaltesnį orą, taip sukuriama konvekciniis ribinis sluoksnis (angl. *convective boundary layer (CBL)*). CBL intensyvumas kylant žmogaus kūnu spartėja, o atsiskyrus nuo kūno, virš galvos, susidaro šilumos srautas [33]. Nustatyta, kad žmogaus šilumos srautas gali sukelti vertikalų oro judėjimą, kurio greitis siekia 0,1–0,25 m/s [34].

Žmogaus CBL atlieka du svarbius vaidmenis. Pirma, jis prisideda prie konvekcinių šilumos nuostolių iš kūno [30]; antra, CBL gali transportuoti dujas ar daleles aplink žmogaus kūną (žr. 5 pav.).



5 pav. Konvekcinio ribinio sluoksnio sukuriamas šilumos srautas [35]

1.3.2.3. Biuro įranga

Pagrindiniai šilumos šaltiniai (atmetus šildymo sistemas) biurų patalpose yra kompiuteriai ir jų monitoriai. Jie sudaro 66 procentus visų elektros energiją naudojančių prietaisų biuruose [36].

Remiantis ASHRAE (angl. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*), stacionarūs kompiuteriai vidutiniškai išskiria apie 65 W, o vidutinio dydžio monitorius apie 70 W šilumos [37].

Tuo tarpu A. C. Menezes *et al.* straipsnyje publikuoti apžvalgos rezultatai nurodo daug platesnius energijos poreikio režius, kuriuos iš esmės galima priskirti šilumos išsiskyrimui. Rezultatai pateikti 3 lentelėje.

3 lentelė. Kompiuterių energijos poreikis [38]

Šaltinis	Energijos poreikis (W)					
	Stacionarūs kompiuteriai			Nešiojamieji kompiuteriai		
	Aktyvūs	Taup. režimu	Išjungti	Aktyvūs	Taup. režimu	Išjungti
Wilkins ir McGaffin	56	56	–	–	–	–
Nordman et al.	36-55	32-49	0-2	–	–	–
Mungwitkul ir Mohanty	36-48	27	–	–	–	–
Kawamoto et al.	30-60	25	1-3	12-22	1,5-6	1,5-2
Roberson et al.	70	9	3	19	3	–
Hosni ir Beck	50-100	–	–	15-40	–	–
Moorefield et al.	79	3,2	–	74,7	1,6	–
Menezes et al.	64-169	–	1,9-2	18-41	–	0,3-1

Reikėtų atkreipti dėmesį į tai, jog patalpoje esant daugiau žmonių, bus daugiau ir biuro įrangos. Atliktas tyrimas parodė, kad biuro įrangos išskiriama šiluma koreliuoja tiesine priklausomybe su darbuotojų išskiriama šiluma [39].

Prie spartesnio šilumos paskleidimo patalpoje prisideda ir kompiuterio komponentams vėsinti sukuriamas oro srautas. Kompiuteriai išpučia oro srautą, kurio debitas svyruoja nuo 35 iki 124 m³/h, o vidinė procesoriaus temperatūra – nuo 20 °C iki 55 °C [40].

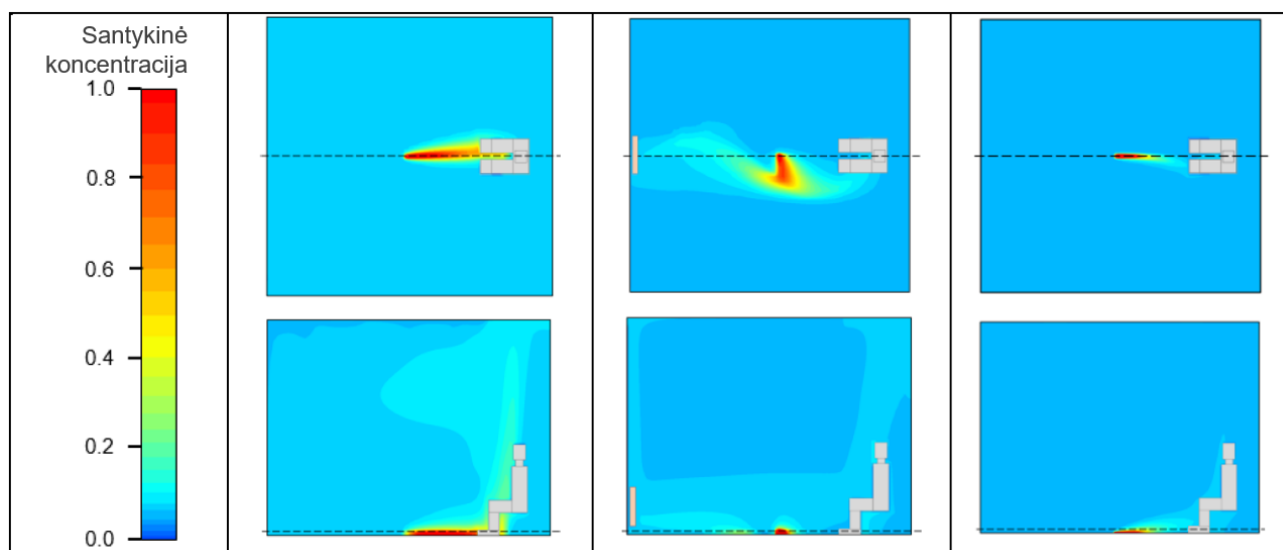
1.4. Teršalų sklaidai įtaką turintys veiksniai

Remiantis tyrėjų atliktais tyrimais, įrodyta, jog oro teršalų judėjimui turi įtakos šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo (ŠVOK) deriniai, tarpas tarp žmogaus ir stalo, kompiuterio išskiriami teršalai, kompiuterio ventiliatoriaus išpučiamas oro greitis ir temperatūra.

1.4.1. ŠVOK deriniai

Teršalų judėjimą patalpoje lemia oro judėjimo greitis, kuris susidaro dėl konvekcinų srautų, tiekiamo ir šalinamo oro difuzorių tipo ir jų padėties patalpoje, išpučiamo oro greičio.

L. Stasiulienės atlikto tyrimo rezultatai parodė, jog taškinei teršalų koncentracijai patalpoje didesnę įtaką turi šildymo sistemos parinkimas nei oro paskirstymo tipas [41]. Taip pat nustatyta, jog teršalų patekimas į konvekcinį ribinį sluoksnį yra mažiau intensyvus naudojant grindinį šildymą, lyginant su radiatoriniu ir oriniu šildymu (žr. 6 pav.).

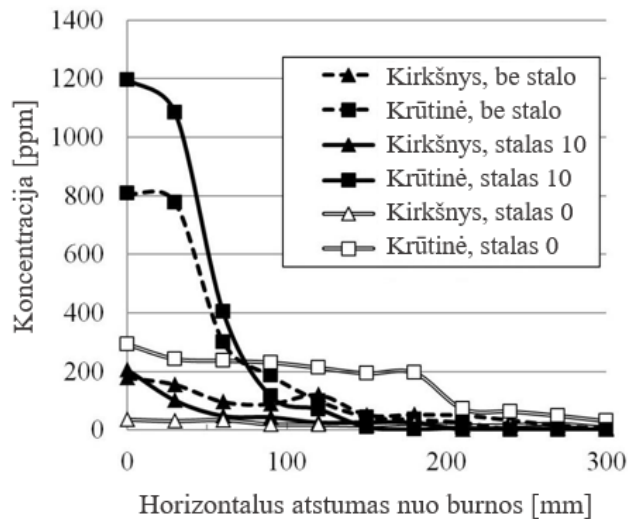


6 pav. Taškinės teršalų koncentracijos judėjimas, kai naudojamas: 1) orinis šildymas; 2) radiatorinis šildymas; 3) grindinis šildymas [41]

1.4.2. Biuro baldai

Biure egzistuoja baldai, be kurių darbas yra sunkiai įsivaizduojamas. Dažniausiai tai būna kėdės, stalas, spintelės. Šie biuro baldai taip pat turi įtakos teršalų sklaidai patalpoje. Taip pat šie baldai gali būti patys taršos šaltiniai.

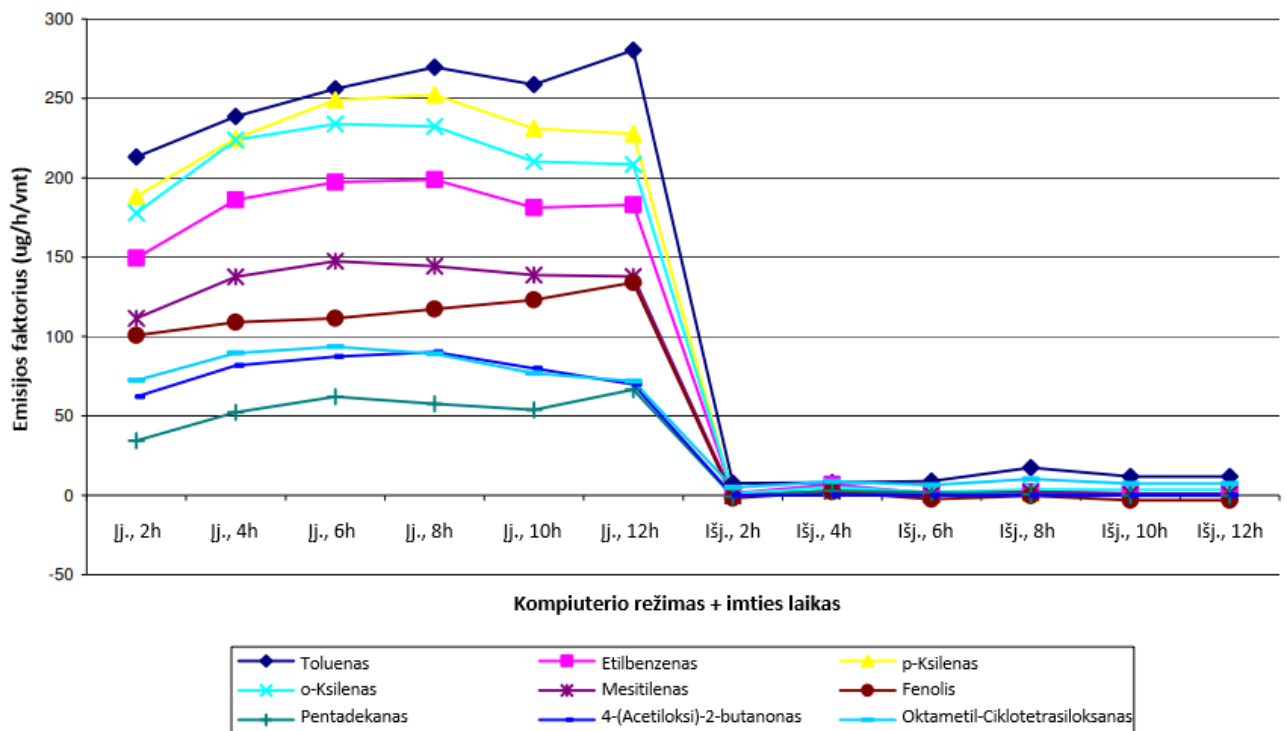
D. Licino *et al.* atliktas tyrimas parodė, kad teršalų koncentracijos kvėpavimo zonoje gali ženkliai skirtis, priklausomai nuo to, ar egzistuoja kliūtis teršalų judėjimo trajektorijoje. Tyrimo rezultatuose akcentuota, jog tarp kliūties (šiuo atveju stalo) ir žmogaus nepalikus tarpo, galima sumažinti teršalų transportavimą į kvėpavimo zoną, tačiau palikus 10 cm plyšį, teršalų, patenkančių į kvėpavimo zoną, koncentracija bus gerokai didesnė, palyginus su atveju, kuomet stalo išvis nėra (žr. 7 pav.).



7 pav. Koncentracijų priklausomybė kvėpavimo zonoje nuo atstumo tarp žmogaus ir stalo, kai teršalas buvo kirkšnies ir krūtinės lygyje [42]

1.4.3. Kompiuterio išskiriami teršalai

Kompiuterio sudėtyje naudojami komponentai, kurie išskiria teršalus. Pagrindinės išskiriamos medžiagos nustatytos šios: fenolis, toluenas, 2-etilheksanolis, formaldehidas ir stirenas [43]. I. T. Berrios *et al* tyrimas atkreipė dėmesį į tai, kad išmetami teršalai buvo 10–120 kartų didesni, kai kompiuteriai buvo įjungti, lyginant su laiku, kuomet kompiuteriai yra išjungti. Šiame tyrime tirti trys kompiuteriai išskiria m-ksilolą, p-ksilena, pentadekaną, fenolį ir tolueną (žr. 8 pav.).



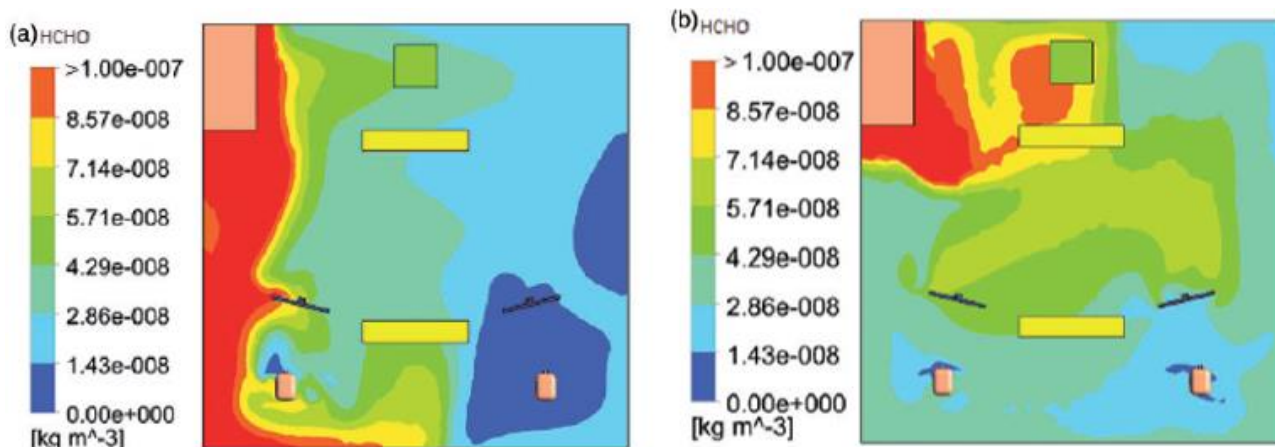
8 pav. Teršalų emisija, įjungto ir išjungto kompiuterio atvejais [44]

Dėl labai aukšto kompiuterio išpučiamo srauto greičio, patalpos atžvilgiu, beveik visa junginio koncentracija iš kompiuterio korpuso yra paskleidžiama į patalpos orą [40].

1.4.4. Kompiuterio ventiliatorius

Kompiuterio ventiliatorius išpučia šiltą orą, taip pat pats kompiuteris spinduliuoja šilumą. Šios dvi sąlygos lemia, kad susidaro dinaminiai ir konvekciniai srautai arti žmogaus, išauga tikimybė, jog teršalai nukeliaus į kvėpavimo zoną.

R. N. Zhuang'o *et al.* atlikti tyrimai atskleidė, jog yra reikšminis skirtumas tarp to, ar kompiuteris yra vertinamas tik kaip šilumos šaltinis be ventiliatoriaus, ar kaip šilumos šaltinis su ventiliatoriumi (žr. 9 pav.). Gauti rezultatai parodė, kad kompiuterio ventiliatorius gali atsilipti ir teigiamai, nupučiant teršalus į kitą patalpos vietą.



9 pav. Teršalų judėjimo įtaka modeliuojant, kai kompiuteris: a) „karšta dėžė“; b) „karšta dėžė + ventiliatorius“ [45]

Dažnu atveju kompiuteryje oras juda taip: iš priekio arba šono yra traukiamas vėsus oras, kuris aušina kompiuterio vidinius komponentus, tuomet sušilęs oras išmetamas kompiuterio gale pro ventiliatorių taip sukurdamas papildomą oro srautą patalpoje.

Kompiuterio ventiliatoriaus išpučiamas oro srautas gali būti tokio pat dydžio, kaip ir visos patalpos vėdinimui naudojamas oro debitas, todėl tikėtina, kad turi didelę įtaką patalpos oro srautams ir teršalų paskirstymui.

Atlikus mokslinių straipsnių analizę, nustatyta, kad nėra atlikta pakankamai tyrimų, kuriais būtų galima vadovautis, kuris kompiuterio tipas (nešiojamasis, stacionarusis) bei jų padėtis, sukelia mažesnę oro taršos judėjimą.

2. Tyrimų metodologija

Kompleksinis grindinio šildymo, mechaninio vėdinimo sistemų bei biuro įrangos poveikis lakiųjų organinių junginių sklaidai patalpose tyrimas atliktas eksperimentiniu ir skaitinio modeliavimo metodais.

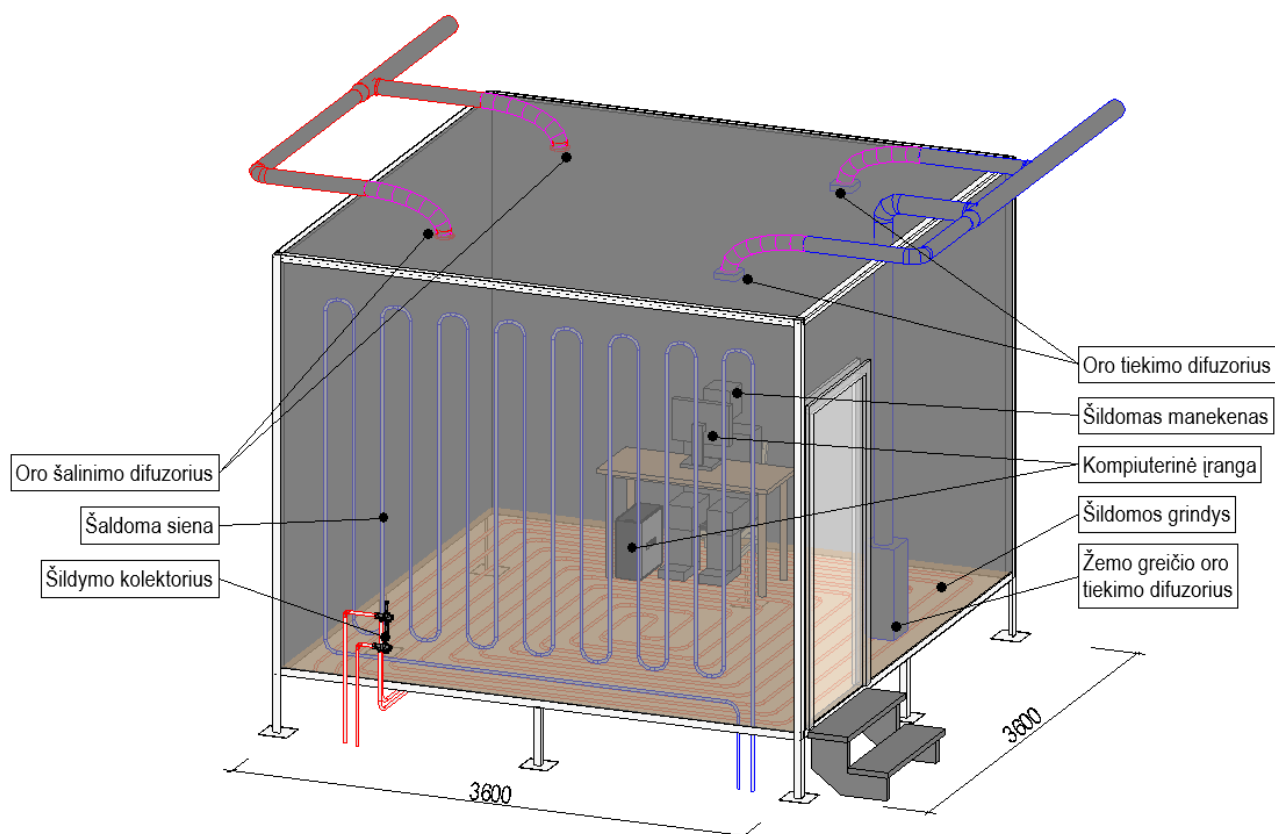
2.1. Eksperimentinis tyrimas

2.1.1. Tyrimų kamera

Eksperimentiniai tyrimai, atlikti KTU Statybos ir architektūros fakulteto Pastatų energetikos ir mikroklimato tyrimų laboratorijos mikroklimato tyrimų kameroje, kurios matmenys $3,6 \times 3,6 \times 2,8$ m. Grindų plotas lygus 13 m^2 , o kameros tūris – 36 m^3 . Kameros karkasas sudarytas iš metalo konstrukcijų. Grindys sudarytos iš OSB plokščių su PVC grindų danga. Sienų konstrukcija – dažytos gipso kartono plokštės, šiltintos 50 mm storio mineraline vata. Lubos šiltintos akmens vata ir dengtos medinėmis plokštėmis. Kameroje sumontuotos plastikinės durys, kurių matmenys – $0,9 \times 2,1$ m. Tyrimų kameros vaizdai pateikti 10 ir 11 paveikslėlyje.

Tyrimų kamera šildoma vandenine grindinio šildymo sistema. Šilumnešis paruoštas elektriniame katile. Šildymo vamzdynai išvedžioti visu grindų plotu. Tyrimo metu grindų paviršiaus temperatūra lygi $+25 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Šilumos nuostoliams imituoti, viena iš kameros sienų šaldoma vandenine vėsinimo sistema. Joje sumontuoti vamzdynai, į kuriuos tiekta buitinis $+8 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatūros vanduo. Vėsinamos atitvaros plotas lygus 10 m^2 , o paviršiaus temperatūra siekė $+18 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Visų kitų sienų paviršiaus temperatūra nusistovėjusiomis sąlygomis lygi $+23 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$.



10 pav. Tyrimų kameros izometrinis vaizdas su įranga

2.1.2. Vėdinimo sistema

Kameros vėdinimui naudotas mechaninis vėdinimas su šilumograža. Oras tiekiamas ir šalinamas rotaciniu vėdinimo įrenginiu GOLD 04 (Swegon, Švedija). Vėdinimo įrenginys sudarytas iš oro valymo filtrų, tiekiamo oro šildytuvo ir oro aušintuvo kaloriferių. Tyrimų kameroje pasirinkti du oro mainų organizavimo būdai: sumaišomasis ir išstumiamasis. Vėdinimo sistema subalansuota 2 kartų valandine apykaita, t.y. tiekama ir šalinama 72 m³/h oro. Tiek sumaišomojo tiek išstumiamojo vėdinimo būdais, numatyti du oro ištraukimo difuzoriai, kurių skersmuo 100 mm, jie sumontuoti lubų konstrukcijoje. Kiekvieno difuzoriaus atveju, buvo šalinama po 36 m³/h. Oro tiekimui sumaišomuoju būdu naudoti lubiniai difuzoriai DOMO 100 (Swegon, Švedija), pro kuriuos tiekama po 36 m³/h oro, kurio temperatūra lygi +21 °C. Išstumiamuoju būdu naudotas pusapvalis perforuotas difuzorius DHC Varizon 125 (Swegon, Švedija), pro jį tiekiamas 72 m³/h oro kiekis, o oro tiekimo temperatūra lygi +18 °C.

2.1.3. Šilumos šaltiniai ir biuro įranga

Žmogaus imitavimui naudotas šildomas manekenas sėdimoje pozicijoje, kurio aukštis buvo 1,2m, o paviršiaus plotas – 1,7 m². Manekeno paviršiaus temperatūra valdyta termostatinu jutikliu, kuri eksperimento metu svyravo nuo +31 iki +34 °C. Remiantis paviršiaus plotu ir temperatūra nustatyta, jog manekenas skleidė apie 85 W šilumos.



11 pav. Tyrimų kameros vaizdas eksperimento metu

Tyrimų metu naudotas atviro tipo biuro stalas ir dviejų tipų kompiuteriai: nešiojamasis ir stacionarusis. Stalo matmenys – 1,20 × 0,5 × 0,75m. Stalas atitrauktas nuo sienos 0,65m, o nuo manekeno – 0,15m. Kėdės matmenys: sėdima dalis – 0,43 × 0,4m, sėdimos dalies aukštis – 0,3m, visos kėdės aukštis – 0,7m. Stacionaraus kompiuterio procesorius buvo padėtas ant grindų, po stalu. Jo matmenys – 0,41 × 0,18 × 0,37m, paviršiaus temperatūra +27 ± 0,5 °C. Stacionariajam kompiuteriui vėsinti, oras įtraukiamas pro šoną, o išmetamas į patalpą pro galinę korpuso sienelę, abiejų angų plotas lygus 6,4 × 10⁻³m. Stacionaraus kompiuterio atveju taip pat naudotas monitorius (CTX S500B, Taivanas), kuris buvo padėtas ant stalo, prieš manekena. Jo matmenys – 0,37 × 0,3 × 0,04m, o paviršiaus ploto temperatūra +30-35 °C. Nešiojamojo kompiuterio atveju, naudotas (MSI GL63 8RD, Taivanas) kompiuteris, kurio matmenys 0,38 × 0,26 × 0,03m, o paviršiaus temperatūra +26-30 °C. Nešiojamasis kompiuteris vėsinamas orą įtraukiant per korpuso apačią (plotas 1,5 × 10⁻²m), o išpučiamas trimis kryptis – per galinę sienelę bei per šonus (6 × 10⁻³m). Jis buvo

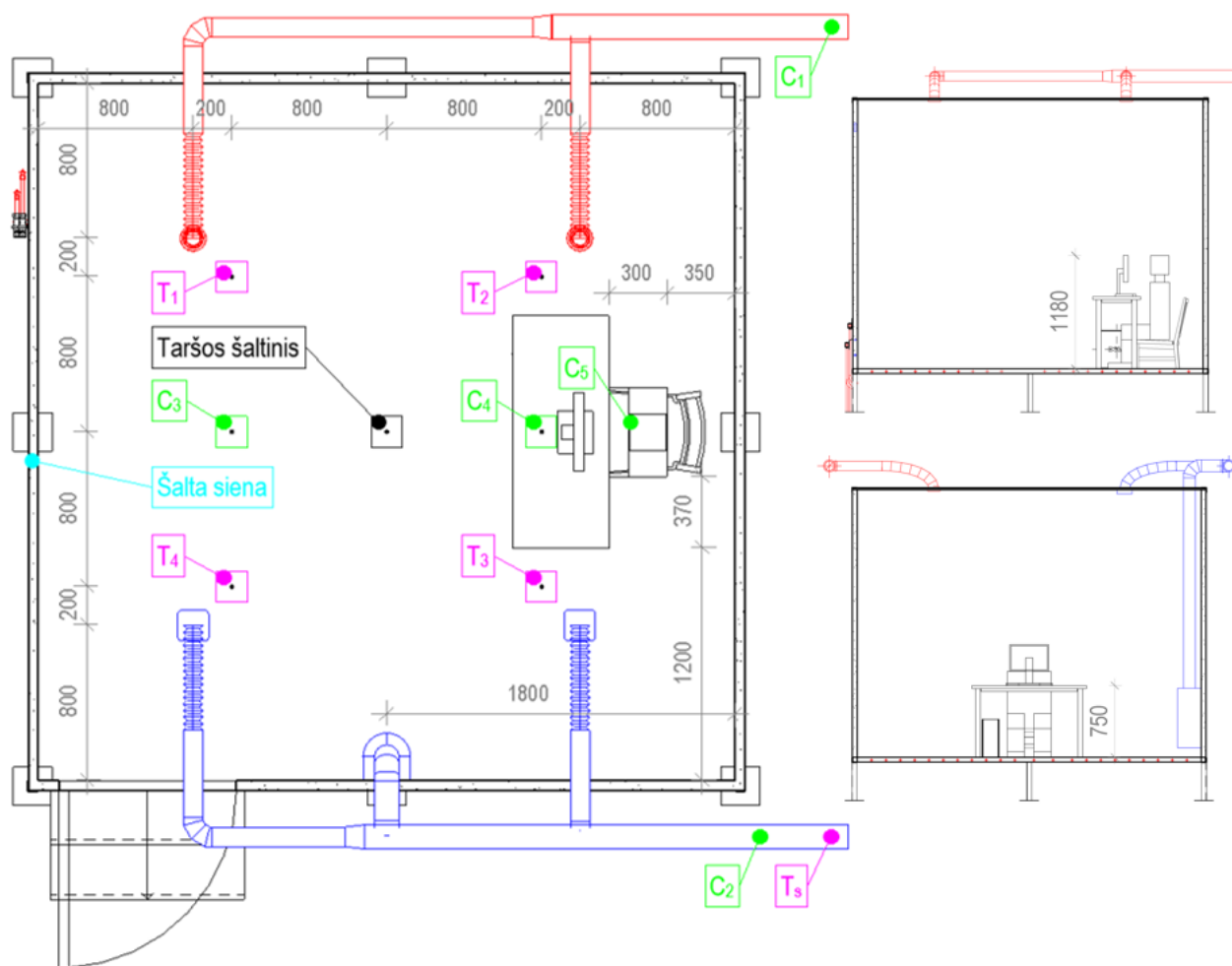
padėtas analogiškoje stacionaraus kompiuterio monitoriaus vietoje. Eksperimentų metu, apšvietimas kameroje buvo išjungtas, siekiant išvengti nepageidaujamų šilumos išsiskyrimų. Santykinė oro drėgmė nebuvo reguliuojama.

2.1.4. Taršos šaltinis

Pasyviam teršalų šaltiniui imituoti naudoti skysti klijai. Eksperimentų supaprastinimui naudotas taškinis šaltinis. Pasirinkti poliuretano pagrindu pagaminti klijai-hermetikas TOTALSEAL 34B (Le Joint Francais, Prancūzija). Šie klijai išskyrė tokius teršalų junginius kaip 1,2,4-trimetilbenzenas, naftalenas, ksilenas ir daugybę kitų LOJ [46]. Klijai buvo užtepami Petri lėkštelėje, naudojant klijų pistoletą, tuomet iškart įnešti ir padėti patalpos centre.

2.1.5. Parametrų matavimai

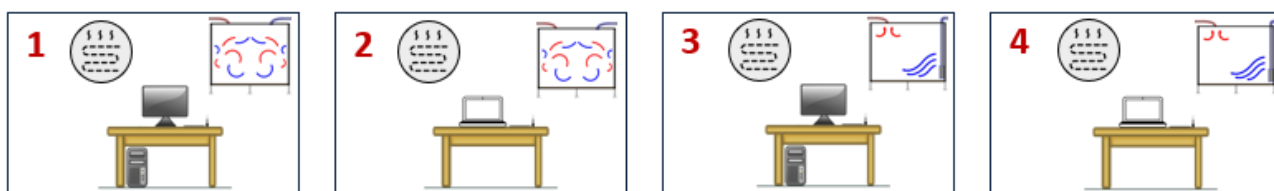
Tyrimų kameroje matuoti du oro kokybės parametrai: temperatūros ir LOJ koncentracijos. Temperatūros buvo matuojamos darbo zonoje ant 4 stovų, keturiuose aukščiuose (0,1, 1,1, 1,7, 2,5 m). Atstojamoji temperatūra matuota patalpos centre, 1,1m aukštyje. LOJ koncentracijos buvo matuojamos tiekiamo oro sraute, šalinamo oro sraute, manekeno kvėpavimo zonoje ir dviejose vietose darbo zonoje (žr. 12 pav.).



12 pav. Tyrimų kameros planas ir pjūviai. T₁-T₄ – temperatūrų matavimo stovai, C₁-C₅ – LOJ koncentracijų matavimo taškai

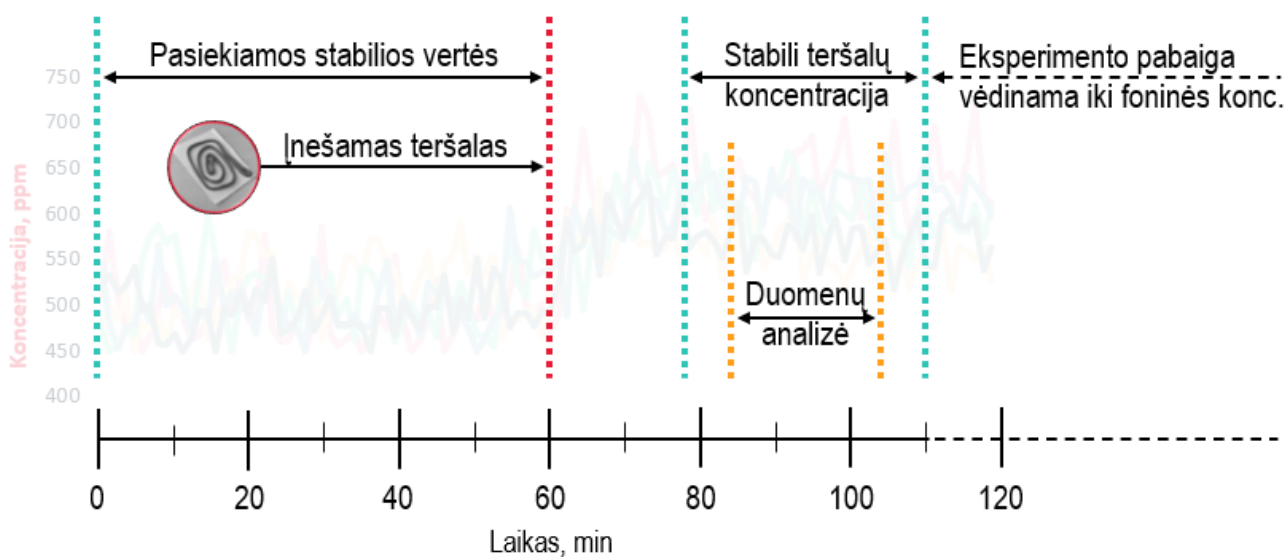
LOJ sklaidą tyrimų kameroje fiksavo metalo oksido puslaidininkių (MOS) technologijos jutikliai (iAQ2000, AMS Sensor Solutions Germany GmbH, Vokietija). Teršalų koncentracijos vertė, dėl jutiklių technologijos, buvo transponuojama į CO₂ ekvivalentus, išreikštus ppm (milijonine dalimi). Koncentracijų vertės fiksuotos 1 sekundės intervalu.

Išviso atlikti 4 skirtingi tyrimai (žr. 13 pav.) su grindiniu šildymu, skirtingais oro paskirstymo būdais ir kompiuterio tipais. Siekiant supaprasti tyrimų pavadinimus, įvesti sutrumpinimai – vėdinimas: sumaišomasis – M4, išstumiamasis – DU; skirtingi kompiuterio tipai: nešiojamasis – LP, stacionarus – PC.



13 pav. Tyrimų atvejai laboratorijoje: 1) M4-PC; 2) M4-LP; 3) DU-PC; 4) DU-LP

Kiekvieno tyrimo atveju, vidutiniškai laukta apie 60 minučių, kol bus pasiektos stabilios teršalų koncentracijos ir temperatūros vertės. Pasiekus mažai kintančias arba stabilias vertes, įneštas teršalas ir duomenys toliau kaupiami apie 60 minučių, iš kurių atrinktas 20 minučių intervalas, kuriame teršalų koncentracija turėjo mažiausiai kintančias vertes. Vėdinimo sistema palikta vėdinti iki tol, kol buvo pasiekama foninė koncentracija (žr. 14 pav.).



14 pav. Eksperimentinių tyrimų matavimų planas

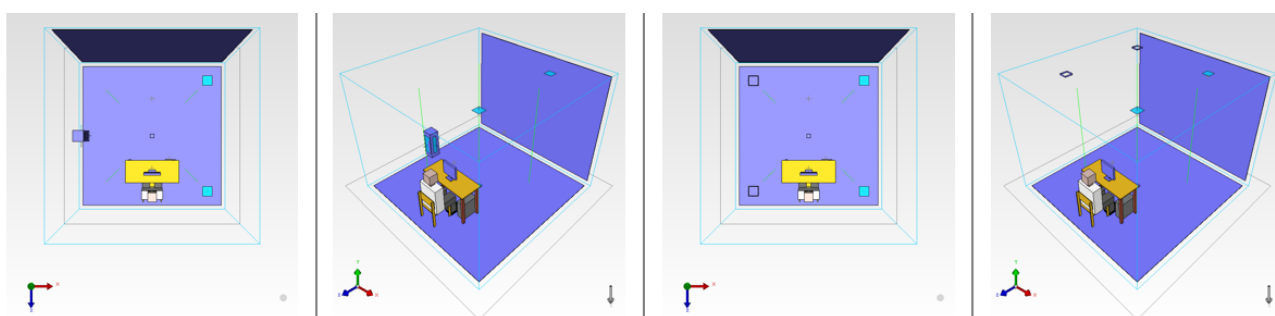
2.2. Skaitiniai tyrimai

Remiantis eksperimentiniais tyrimais, sukurti skaitiniai modeliai, panaudojant CFD (angl. *computational fluid dynamics*) skaitinio modeliavimo programą Simcenter FloVent 2019.2. CFD leidžia analizuoti oro srauto procesus, vykstančius pastatuose ir aplink juos, siekiant patobulinti ir optimizuoti naujų ar esamų šildymo ar vėdinimo sistemų dizainą. Sukūrus skaitinius modelius, patikrintas modelių patikimumas, t.y. įvertinti skirtumai tarp eksperimentinių ir modelio rezultatų. Gavus patikimus rezultatus, skaitinis modelis panaudotas nagrinėjant atvejus su skirtingais kompiuterio tipais, jų parametrais bei padėtimi patalpos atžvilgiu.

2.2.1. Modelio nustatymai, geometrija ir tinklelis

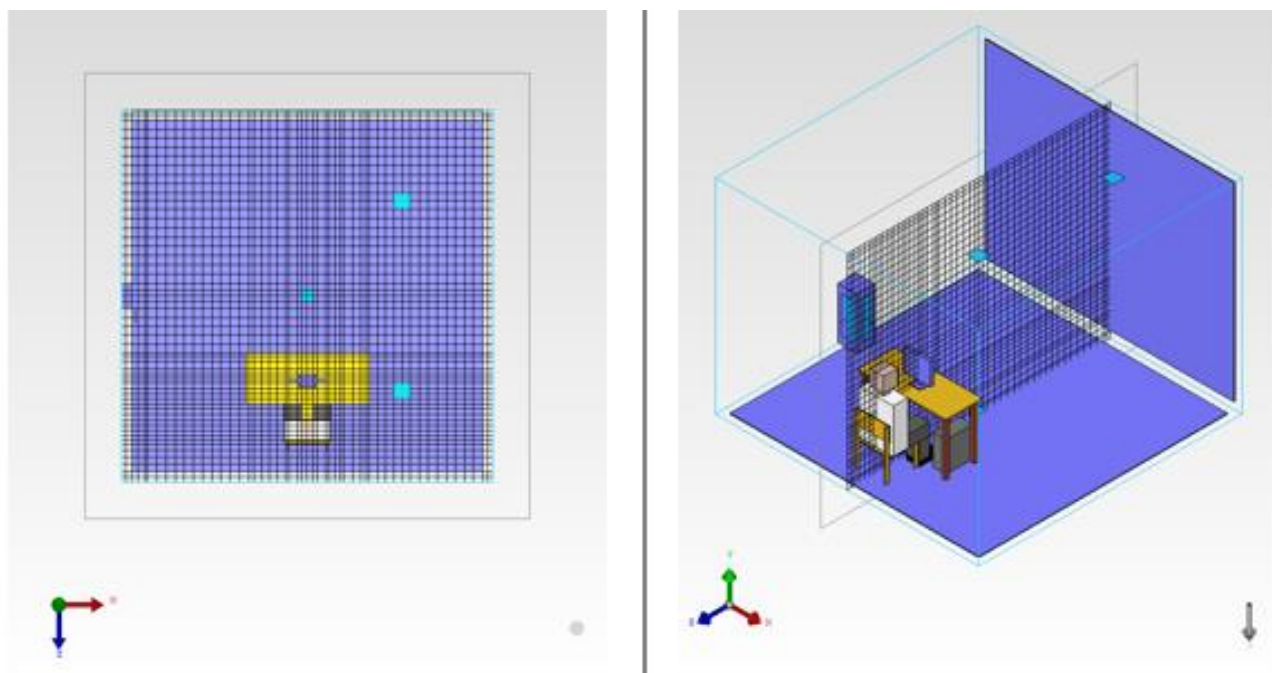
Skaitiniame tyrime pasirinktas sprendimo tipas: srautas ir šilumos perdavimas. Spinduliavimo parametras buvo išjungtas. Tyrimui naudojamas LVEL k- ϵ turbulencijos modelis. Šis modelis papildomai skaičiavo du kintamuosius: turbulencijos kinetinę energiją ir jos sklaidos koeficientą. Taip pat nustatytas dvigubo tikslumo skaičiavimas (DPS).

Skaitiniam modeliui sukurti naudota trimatė geometrija, atkūrus realią eksperimentinių tyrimų kamerą (žr. 15 pav.). Sienos sukurtos kaip aptvaras (angl. *enclosure*) nedetalizuojant jų struktūros ir fizikinių parametrų. Oro ištraukimui visiems tyrimo atvejams naudotas plyšys lubose su pastoviu oro srautu. Oro tiekimui lubose naudoti keturių krypčių difuzoriai. Žemo išpūtimo greičio difuzorius sukurtas kaip stačiakampis gretasienis, oras išpučiamas dviem kryptimis, lygiagrečiai sienai. Stalas, kėdė, manekenas, kompiuteriai sukurti pagal fizinę geometriją. Grindiniui šildymui ir sieniniam šaldymui imituoti, sukurti gretasieniai stačiakampiai (angl. *cuboids*) su terminiais atributais.



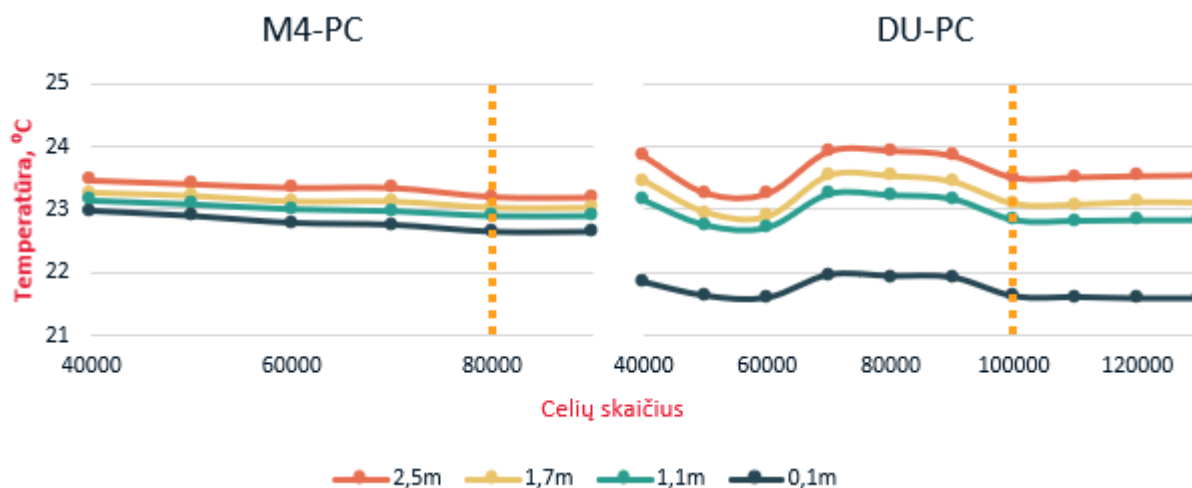
15 pav. Skaitinių modelių perspektyvinis vaizdas

Modeliavimui pasirinktas Dekarto tinklelis. Tinklelio formato santykis (tarp didžiausios ir mažiausios celės) visais tyrimo atvejais buvo išlaikytas mažesnis nei 10. Tiksliesiems rezultatams gauti, tinklelis sutankintas prie stalo, nešiojamo ir stacionaraus kompiuterio, ekrano. Tyrimo atvejais tinklelio celių skaičius svyravo tarp 80 000-100 000. Tinklelio vaizdas pateiktas 16 paveikslėlyje.



16 pav. Patalpos planas ir izometrinis vaizdas su tinkleliu

CFD modeliavimuose tinklelis yra svarbus veiksnys, turintis įtakos rezultatams dėl to reikėjo atlikti tinklelio patikimumo vertinimą. Šiame tyrime jis buvo atliktas dviem atvejais, kai naudotas stacionarusis kompiuteris, tačiau skyrėsi vėdinimo tipai. Nustatyta, jog M4-PC atveju pasiekus 80 000 celių skaičių, temperatūra pasiekia mažai kintančias vertes ir tinklelio įtaka didinant celių skaičių yra minimali. DU-PC atveju reikia pasiekti bent 100 000 celių, kad būtų pasiektas mažai kintantis temperatūrinis rezultatas. Šie aprašyti duomenys pateikti 17 paveikslėlyje.



17 pav. Temperatūros palyginimas keičiantis celių skaičiui. Oranžinė taškuota linija žymi, ties kuriuo celių skaičiumi pasiektos mažai kintančios vertės

2.2.2. Modelio kraštinės sąlygos

Visų sienų paviršiaus temperatūros nustatytos +20 °C. Grindinio šildymo stačiakampiui užduotas +25 °C temperatūros parametras, o sienos šaldymui – +17 °C.

Visais tyrimo atvejais, naudoti tokie patys oro šalinimo difuzoriai, kurių laisvasis pratekėjimo plotas 0,5, šalinama po 36,18 m³/h oro. Oro tiekimo difuzoriai sumaišomuoju atveju tiekė po 36 m³/h, oro tiekimo temperatūra lygi +19 °C. Išstumiamuoju vėdinimo atveju, naudotas žemo greičio difuzorius, kuris išpūtė 72 m³/h oro debitą, kurio temperatūra siekė +18 °C, o laisvasis pratekėjimo plotas lygus 1. Šie oro tiekimo-šalinimo parametrai patalpoje garantavo dviejų kartų oro apykaitą.

Manekenui priskirti terminiai atributai, kurie kartu sudarė 85 W šilumos.

Remiantis kitų tyrėjų atliktais panašiais tyrimais, teršalo imitacijai pasirinktas cheminis organinis junginys benzenas, kurio debitas 0,36 m³/h, jo temperatūra +20 °C, koncentracija 35 000 ppm [41, 47].

Kompiuterio procesoriaus temperatūra nustatyta +27 °C, taip pat oro aušinimui imituoti, sukurta oro recirkuliacija, kuri išpūtė 25 m³/h oro srautą, ir pakėlė temperatūra 6 laipsniais. PC ekranui buvo priskirtas terminis atributas su +33 °C temperatūra. Nešiojamuoju kompiuterio atveju – nustatyta +28 °C paviršiaus ir oro išpūtimo temperatūra, oro recirkuliacija išpūtė 22 m³/h oro srautą pakeldama temperatūrą 6 laipsniais.

Analogiškose eksperimentinio tyrimo padėtyse, sukurti stebėjimo taškai, kuriais fiksuoti oro judėjimo greitis, temperatūra bei teršalų koncentracijos duomenys.

2.3. Vėdinimo efektyvumas ir asmeninio poveikio rodikliai

Siekiant nustatyti oro kokybę patalpoje, papildyti gautus rezultatus, taip pat įvesti parametrus, kuriais bus galima lyginti eksperimentinius tyrimus su skaitiniais, įvertintas vėdinimo sistemos efektyvumas bei asmeninio poveikio rodikliai.

Vėdinimo sistemos efektyvumas vertintas pagal gebėjimą šalinti teršalus. Tam nustatyti naudotas CRE (angl. *contaminant removal effectiveness*) rodiklis. Jis naudojamas, kai žinoma tam tikra informacija apie teršalą, ir apskaičiuojamas pagal 2.1 formulę [35]:

$$\varepsilon^c = \frac{C_e}{C_{i,1.1}} \quad (2.1)$$

čia:

C_e – šalinamų teršalų koncentracija, ppm;

$C_{i,1.1}$ – vidutinė teršalų koncentracija darbo zonoje (1,1m aukštyje), ppm.

Patalpos oro kokybę galima apibrėžti parametru, kuris vertina asmeninį poveikį, t.y. šis rodiklis atskleidžia tikrąjį efektyvumą, kurį patiria žmogus vėdinamoje aplinkoje. Tam naudotas įkvepiamo oro asmeninio poveikio rodiklis ε_{exp}^c , kuris apskaičiuojamas pagal 2.2 formulę [35]:

$$\varepsilon_{exp}^c = \frac{C_e}{C_{exp}} \quad (2.2)$$

čia:

C_e – šalinamų teršalų koncentracija, ppm;

C_{exp} – įkvepiamų teršalų koncentracija, ppm.

Patalpos oro kokybė taip pat įvertinta pagal papildomą santykinę vertę ε_{exp}^* . Tai yra asmeninio poveikio rodiklis, apskaičiuojamas analogiškai 3.2 formulei, tačiau vertinamas skaičiuojant įkvepiamų teršalų ir darbo zonos teršalų koncentracijų santykį (2.3 formulė [35]):

$$\varepsilon_{exp}^* = \frac{C_{exp}}{C_{i,1.1}} \quad (2.3)$$

čia:

C_{exp} – įkvepiamų teršalų koncentracija, ppm;

$C_{i,1.1}$ – vidutinė teršalų koncentracija darbo zonoje (1,1m aukštyje), ppm.

2.4. Modelio patikimumo vertinimas

Modelio patikimumas vertintas atsižvelgiant į tris parametrus: oro išpūtimo iš difuzoriaus greitį, patalpos temperatūrą bei teršalų koncentraciją. Oro išpūtimo greitis pateiktas su dviem tyrimo atvejais, t.y. vėdinant sumaišomuoju ir išstumiamuoju būdu, nes kompiuterio tipas neturi pastebimos įtakos oro greičiui prie difuzoriaus. Tuo tarpu temperatūros ir teršalų koncentracijos analizuotos visais keturiais tyrimo atvejais.

Modelio patikimumas vertintas skirtumu tarp eksperimentinių ir skaitinių tyrimų rezultatų, išreikšta santykinė procentine paklaida, kuri apskaičiuojama pagal 2.4 formulę:

$$\frac{|\chi_e - \chi_{cfd}|}{\chi_e} \cdot 100 \% \quad (2.4)$$

čia:

χ_e – eksperimentiniu būdu gauta reikšmė;

χ_{cfd} – skaitiniu būdu gauta reikšmė.

Remiantis moksliniais tyrimais, vadovaujamosi, jog santykinė paklaida CFD modeliuose iki 15 % vertinama teigiamai [48]. Tuo tarpu remiantis Zhang'o *et al.* tyrimu, galima teigti, jog santykinė paklaidai esant 10 % rezultatas vertinamas gerai, mažiau nei 30 % – priimtina [49].

2.4.1. Oro greitis

Išpučiamo oro greičio iš difuzoriaus matavimams pasirinktas Testo 425 (Jungtinės Amerikos Valstijos) anemometras. Šis anemometras matuoja su $\pm 0,1$ m/s + 5 % nuskaitymo tikslumo paklaida. Kiekvieno matavimo taško oro greitis yra gautas kaupiant ir apskaičiuojant 15 sekundžių vidurkį.

Sumaišomasis vėdinimas – šiam vėdinimo būdui pasirinktas oro matavimo greitis keturiomis kryptimis ties oro išpūtimo difuzoriumi. Matuojama paliekant vieno centimetro tarpą tarp lubų ir matavimo taško. Matavimo taškai visomis keturiomis kryptimis išdėstyti kas 5 cm, pradedant nuo 10 cm ir baigiant ties 40 cm.

Išstumiamasis vėdinimas – šiam vėdinimo būdui pasirinktas oro matavimo greitis dviem kryptimis, lygiagrečiai sienai, ties oro išpūtimo difuzoriumi. Matuojama 20 cm aukštyje nuo grindų, horizontaliai kas 5 cm. Nustatyta, jog šiame aukštyje susidaro oro judėjimo branduolio srovė. Vertės fiksuojamos 4 matavimo taškuose (0,05 – 0,2m).

2.4.2. Temperatūra

Visais keturiais tyrimų atvejais analizuotas grindinis šildymas su skirtingais vėdinimo būdais ir kompiuterio tipais. Modelio patikimumo vertinimo metu lygintas eksperimentų ir skaitinių tyrimų metu gautas temperatūrinis gradientas.

2.4.3. Teršalų koncentracija

Tiksli naudojamų klijų teršalų emisija nebuvo žinoma, todėl tiesioginio LOJ koncentracijos palyginimo atlikti neįmanoma. Dėl šios priežasties, koncentracijos palyginimui, buvo pasirinkti vėdinimo efektyvumo ir asmeninio poveikio rodikliai, kurie apskaičiuoti 2.1-2.3 formulėmis.

3. Rezultatų analizė ir diskusija

3.1. Eksperimentinių tyrimų rezultatai

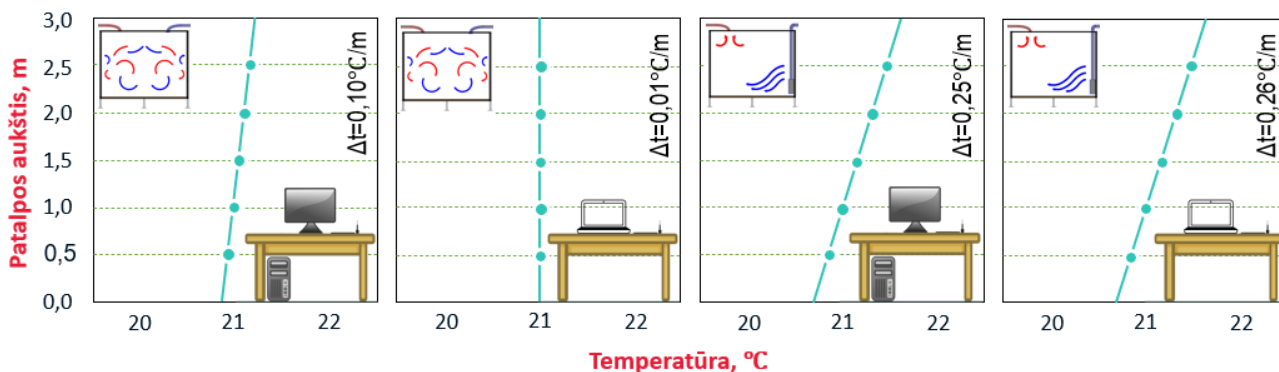
3.1.1. Temperatūrinis gradientas

Remiantis gautais rezultatais nustatyta, jog temperatūra skirtingose patalpos vietose ir aukštyje, skirtinguose tyrimuose, svyravo tarp $21,97 \div 23,38$ °C, darbo zonoje – $22,64 \div 23,02$ °C. Duomenys išskaidyti pagal vėdinimo būdą ir kompiuterio tipą pateikti 4 lentelėje. Temperatūrų profiliai pateikti vertinant modelio patikimumą 3.3 poskyryje, kartu su skaitinių tyrimų rezultatais (žr. 26-29 pav.).

4 lentelė. Temperatūriniai parametrai, nustatyti atliekant eksperimentinį tyrimą.

Tyrimo numeris	Vėdinimo būdas	Kompiuterio tipas	Temperatūros gradientas, °C/m	Žemiausia temperatūra, °C	Aukščiausia temperatūra, °C	Temperatūra darbo zonoje (1,1m), °C
1	M4	PC	0,10	22,24	23,27	22,93
2		LP	0,01	22,38	23,03	22,64
3	DU	PC	0,25	22,18	23,38	23,02
4		LP	0,26	21,97	23,06	22,68

Patalpoje esant sumaišomajam oro organizavimo būdai, temperatūrinis gradientas siekė $0,10$ °C/m stacionaraus kompiuterio ir $0,01$ °C/m nešiojamojo kompiuterio atvejais. Analogiškoje situacijoje, tačiau esant išstumiamajam vėdinimui, gauti rezultatai buvo atitinkamai $0,25$ °C/m ir $0,26$ °C/m (žr. 18 pav.).



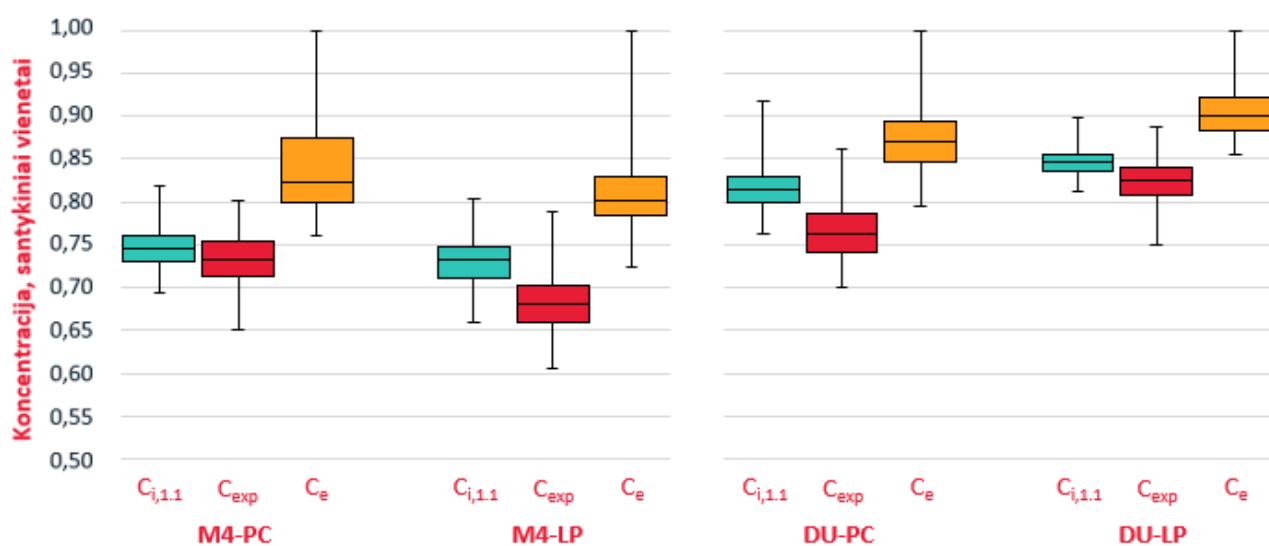
18 pav. Temperatūrinis gradientas priklausomai nuo oro vėdinimo bei kompiuterio tipų

Stacionaraus kompiuterio tyrimo atveju temperatūrinis gradientas gautas didesnis (90 %) nei nešiojamo kompiuterio atveju, kai vėdinama sumaišomuoju būdu, tačiau vėdinant išstumiamuoju būdu, temperatūrinis gradientas stacionaraus kompiuterio atveju gautas nežymiai (4 %) didesnis, lyginant su nešiojamu kompiuteriu.

3.1.2. Teršalų koncentracija

Lakiųjų organinių junginių koncentracijų rezultatai, nustatyti eksperimentiniu būdu, pateikti 19 paveikslėlyje. Teršalų koncentracijai pavaizduoti pasirinkta stačiakampė (angl. *Box-Whisker*) diagrama. Ją sudaro stačiakampis, einantis nuo apatinio (pirmojo) kvartilio iki viršutinio (trečiojo) kvartilio. Linija stačiakampio viduje atitinka medianą. Nuo stačiakampio šonų išeina „ūšai“, besitęsiantys link mažiausios reikšmės ir didžiausios reikšmės.

Koncentracija, gauta milijonine dalies išraiška (ppm), transponuojama į santykinus vienetus. Teršalų koncentracija kaupiama skirtingose patalpos vietose, todėl kiekvienam tyrimo atvejui pateikiami trys parametrai: $C_{i,1.1}$ – teršalų koncentracija darbo zonoje (1,1m aukštyje), C_{exp} – įkvėpiamų teršalų koncentracija, C_e – šalinamų teršalų koncentracija.



19 pav. Santykinė teršalų koncentracija, gauta eksperimentinio tyrimo metu

Koncentracijos kvėpavimo zonoje esant grindinio šildymo ir sumaišomojo vėdinimo deriniui – žemesnės 3,95-17,07 % nei esant grindinio šildymo ir išstumiamojo vėdinimo deriniui. Koncentracijos kvėpavimo zonoje esant sumaišomojo vėdinimo ir nešiojamojo kompiuterio deriniui žemesnės 6,85 %, nei stacionariojo kompiuterio atveju. Tuo tarpu esant išstumiamajam vėdinimui, atvirkščiai, stacionariojo kompiuterio atveju koncentracija žemesnė 7,32 %.

Lyginant sumaišomąjį ir išstumiamąjį vėdinimą, galima matyti, kad teršalų koncentracijos gautos didesnės esant išstumiamajam vėdinimui, tiek nešiojamo, tiek stacionaraus kompiuterio atvejais. Tai rodo, kad vėdinimo būdas sklaidą lemia daugiau nei kompiuterio tipas. Darbo zonoje ir ištraukimo koncentracijos didesnės išstumiamojo vėdinimo atveju.

Vėdinimo sistemos efektyvumas ir asmeninio poveikio rodikliai gauti eksperimentiniu būdu, naudojant skirtingas vėdinimo sistemas ir kompiuterio tipus, apskaičiuoti ir pateikti 5 lentelėje.

5 lentelė. Vėdinimo sistemų efektyvumas, asmeninio poveikio rodikliai, nustatyti eksperimentiniais tyrimais.

Tyrimo numeris	Vėdinimo būdas	Kompiuterio tipas	Vėdinimo efektyvumas, ϵ^c	Asmeninio poveikio rodiklis (ištraukimo-įkvėpimo), ϵ_{exp}^c	Asmeninio poveikio rodiklis (įkvėpimo-darbo zonos), ϵ_{exp}^{*c}
1	M4	PC	1,12	1,14	0,98
2		LP	1,12	1,19	0,94
3	DU	PC	1,07	1,14	0,94
4		LP	1,07	1,10	0,97

Eksperimentinių tyrimų metų gauti rezultatai rodo, jog vėdinimo efektyvumas 4,46 % buvo didesnis, sumaišomojo vėdinimo būdu, lyginant su išstumiamuoju. Analizuojant asmeninio poveikio rodiklį ϵ_{exp}^c nustatyta, jog nešiojamojo kompiuterio atveju, ši reikšmė buvo didesnė 4,20-7,56 %, lyginant su stacionariuoju kompiuteriu.

3.2. Skaitinių tyrimų rezultatai

3.2.1. Temperatūrinis gradientas

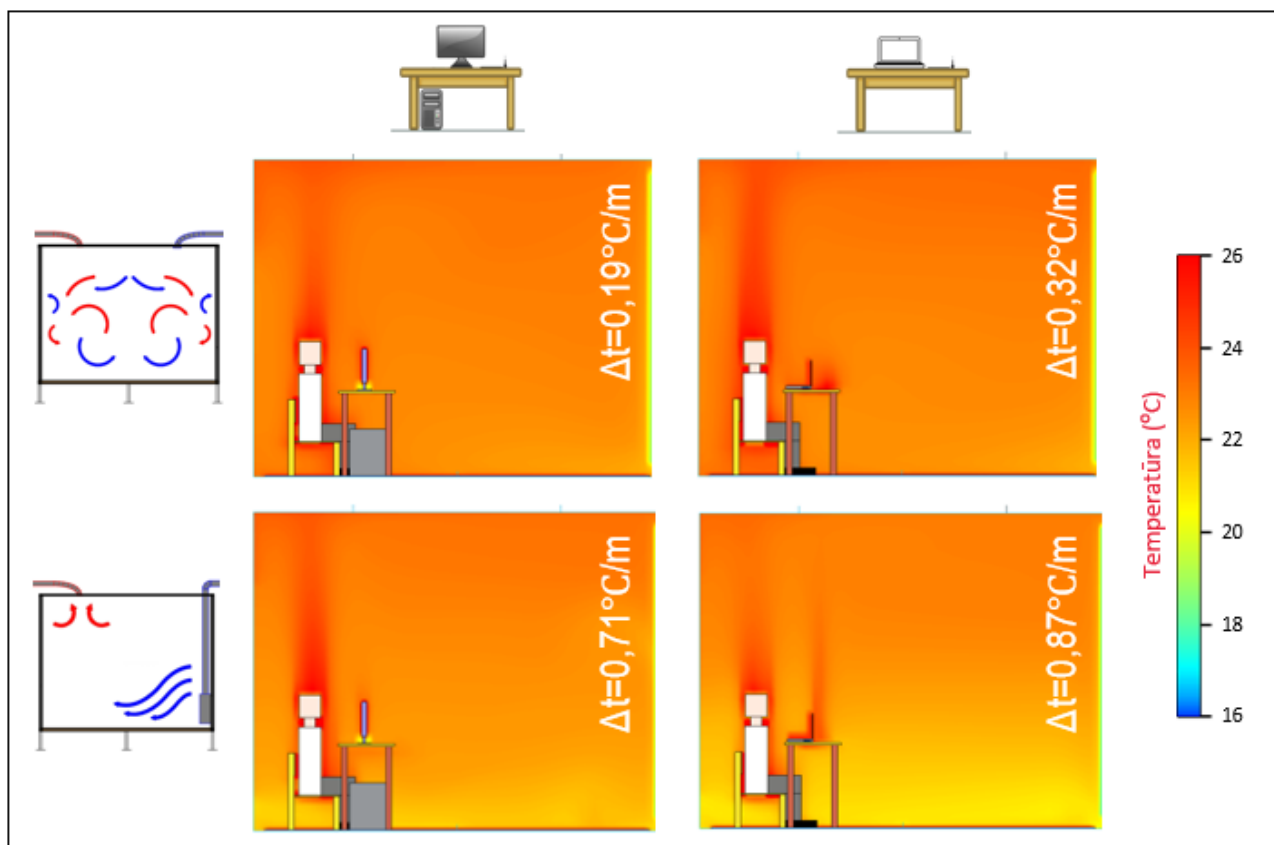
Atlikus skaitinius tyrimus, nustatyti temperatūriniai gradientai. Gauti rezultatai parodė, jog vėdinant tiek sumaišomuoju tiek išstumiamuoju būdu, temperatūrinis gradientas yra didesnis kai naudojamas nešiojamas kompiuteris, atitinkamai 0,32 ir 0,87 °C/m, nei stacionarus kompiuteris, 0,19 ir 0,71 °C/m.

Tyrimų rezultatai priklausomai nuo vėdinimo būdo ir kompiuterio tipo pateikiami 6 lentelėje.

6 lentelė. Temperatūriniai parametrai, nustatyti atlikus skaitinį modeliavimą.

Tyrimo numeris	Vėdinimo būdas	Kompiuterio tipas	Temperatūros gradientas, °C/m	Žemiausia temperatūra, °C	Aukščiausia temperatūra, °C	Temperatūra darbo zonoje (1,1m), °C
1	M4	PC	0,19	22,23	23,12	22,90
2		LP	0,32	22,24	23,36	22,80
3	DU	PC	0,71	21,16	23,24	22,48
4		LP	0,87	20,54	23,02	22,06

Atlikus skaitinį modeliavimą, rezultatus taip pat galima pateikti vaizdžiai, kaip temperatūra keičiasi prie šilumos šaltinių bei visoje patalpoje. Šiuo atveju 20 paveikslėlyje pateikiamas skersinis pjūvis per patalpos centrą, kuriame matosi, jog nešiojamas kompiuteris sukuria didesnę šilumos srautą prie manekeno, lyginant su stacionaraus kompiuterio ekranu. Tai gali būti paaiškinama tuo, kad nešiojamas kompiuteris išpučia šiltą orą į aplinką.



20 pav. Temperatūrinis gradientas skaitiniame modelyje

3.2.2. Teršalų koncentracija

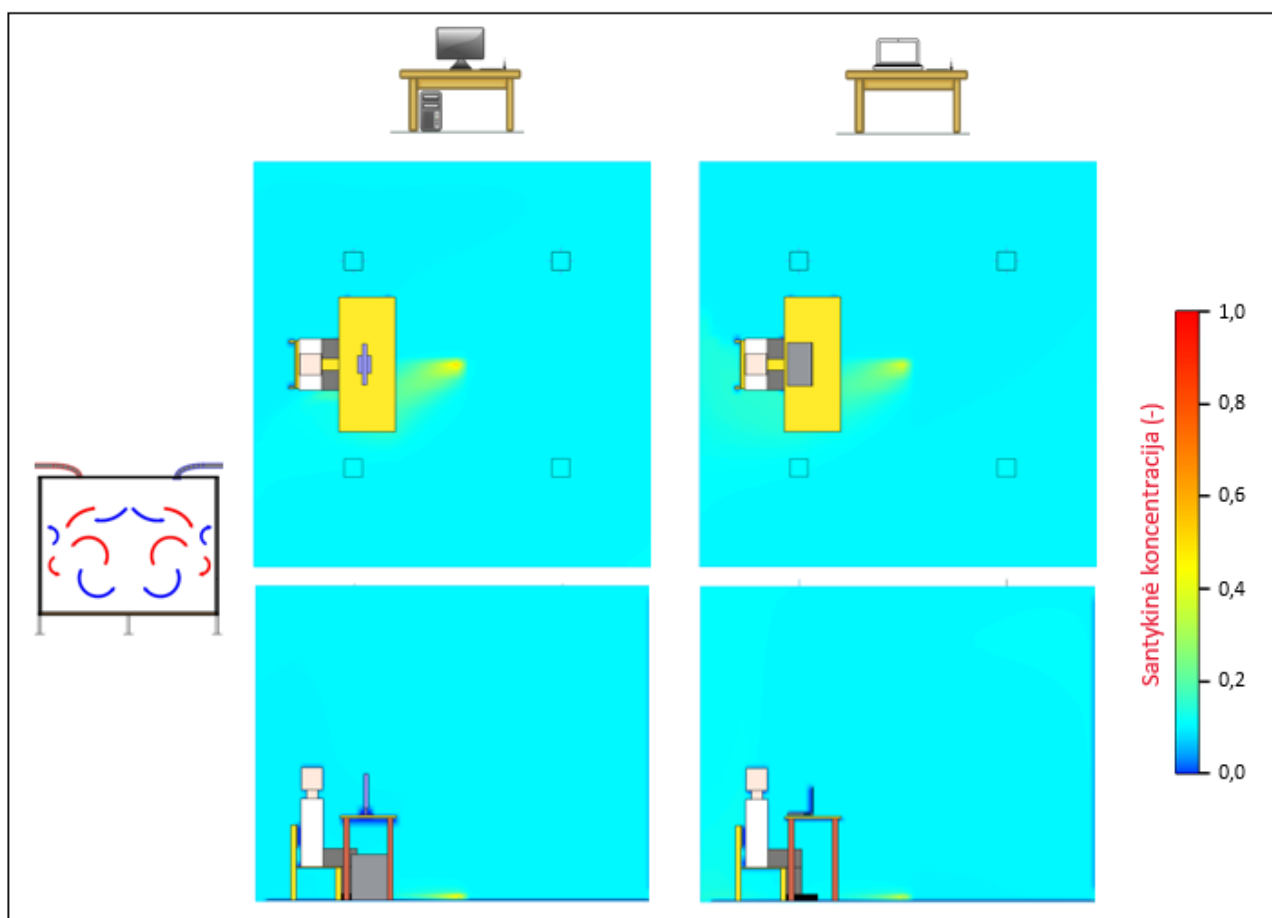
Teršalų koncentracijos rodikliai, atlikus skaitinį modeliavimą, apskaičiuoti pagal 2.1-2.3 formules ir pateikti 7 lentelėje.

7 lentelė. Vėdinimo sistemų efektyvumas ir asmeninio poveikio rodikliai, nustatyti skaitiniu modeliavimu.

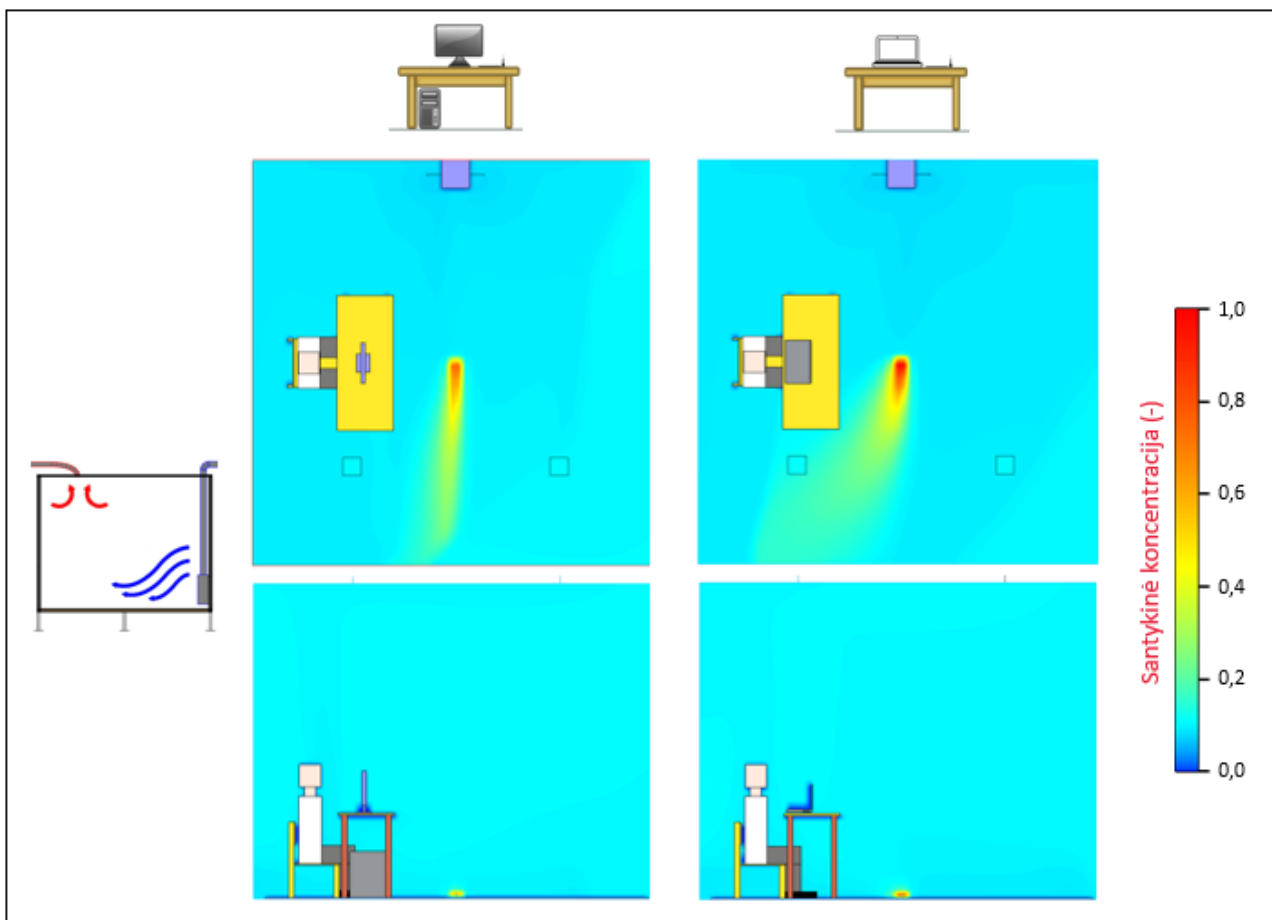
Tyrimo numeris	Vėdinimo būdas	Kompiuterio tipas	Vėdinimo efektyvumas, ϵ^c	Asmeninio poveikio rodiklis (ištraukimo-įkvėpimo), ϵ^c_{exp}	Asmeninio poveikio rodiklis (įkvėpimo-darbo zonos), ϵ^*_{exp}
1	M4	PC	1,03	1,05	0,98
2		LP	1,02	1,02	1,00
3	DU	PC	0,99	1,07	0,92
4		LP	1,00	1,01	0,99

Visais tyrimų atvejais nustatyta, jog vėdinimo efektyvumas buvo arti vieneto, o asmeninio poveikio rodikliai kito taip pat nežymiai. ϵ^c_{exp} atveju reikšmės buvo didesnės, kai naudotas stacionarus kompiuteris – 2,86 % sumaišomuoju ir 5,61 % išstumiamojo vėdinimo atvejais.

Siekiant įvertinti teršalų koncentracijos pasiskirstymą ir judėjimą, pateikti 21-22 paveikslėliai. Kiekvieno tyrimo rezultatų atvaizdavimui buvo pasirinkti du pjūviai. Vertikalus pjūvis atliktas per patalpos centrą, tuo tarpu horizontalus pjūvis arti grindų lygio, 0,1m aukštyje.



21 pav. Koncentracijos pasiskirstymas skaitiniame modelyje sumaišomojo vėdinimo atveju

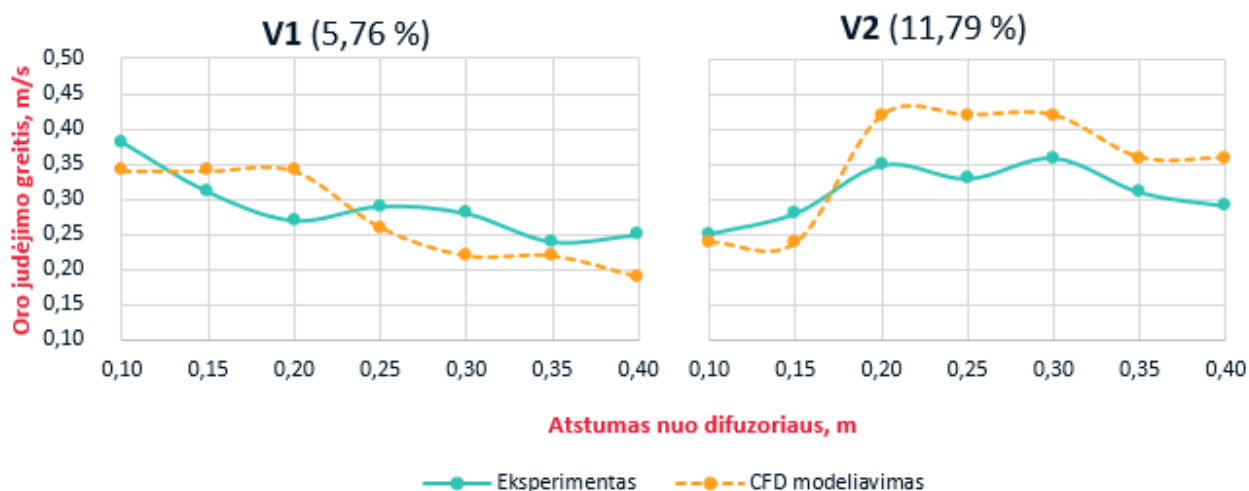


22 pav. Koncentracijos pasiskirstymas skaitiniame modelyje išstumiamojo vėdinimo atveju

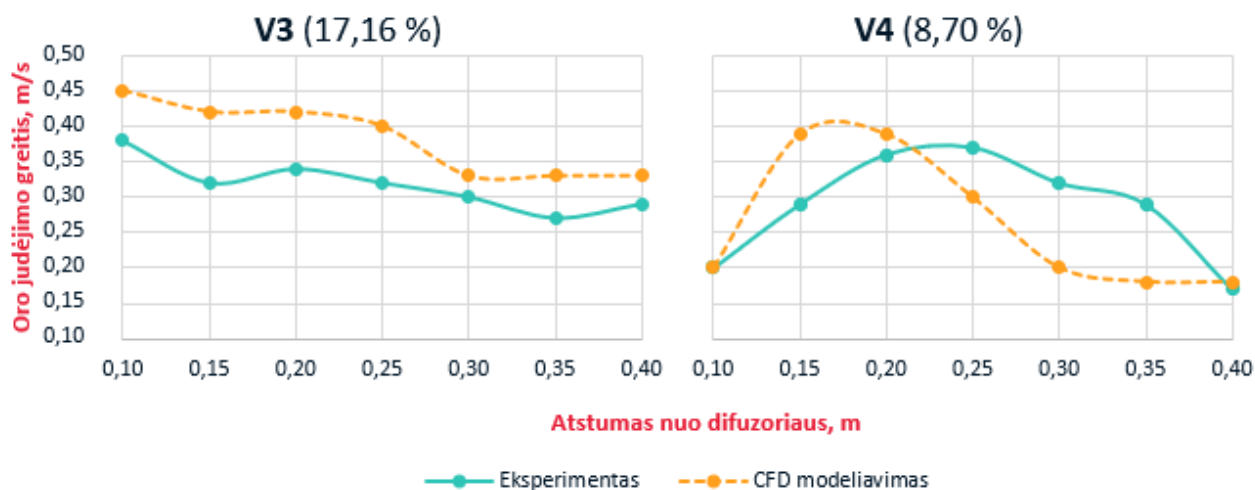
3.3. Modelio patikimumo vertinimas

3.3.1. Oro greitis

Sumaišomojo vėdinimo atveju, oro judėjimo greitis matuotas keturiomis kryptimis V1-V4. Gauti eksperimentinių ir skaitinių tyrimų oro judėjimo greičio rezultatų profiliai pateikti 23-24 paveikslėliuose.



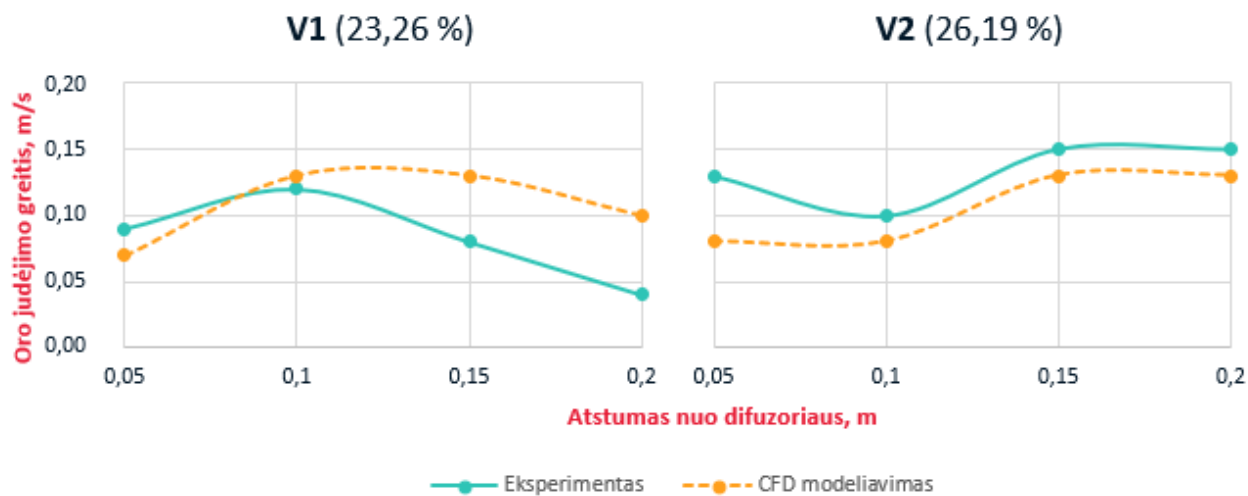
23 pav. Eksperimentinių ir skaitinių tyrimų sumaišomuoju būdu, V1 ir V2 kryptimis, oro judėjimo greičių palyginimas. Skliaustuose nurodyta vidutinė santykinė paklaida



24 pav. Eksperimentinių ir skaitinių tyrimų sumaišomuoju būdu, V3 ir V4 kryptimis, oro judėjimo greičių palyginimas. Skliaustuose nurodyta vidutinė santykinė paklaida

Atlikus oro greičio matavimus nustatyta, kad dviem kryptimis vidutinė santykinė paklaida neviršijo 10 % ir, vadovaujantis tyrimo metodika, vertinama gerai, kitais atvejais ji siekė 12 ir 17 %, šiuo atveju, vertinama priimtina.

Išstumiamojo vėdinimo atveju, analizuotos dvi oro judėjimo greičio kryptis V1-V2. Gauti eksperimentinių ir skaitinių tyrimų oro greičio rezultatų profiliai pateikiami 25 paveikslėlyje.



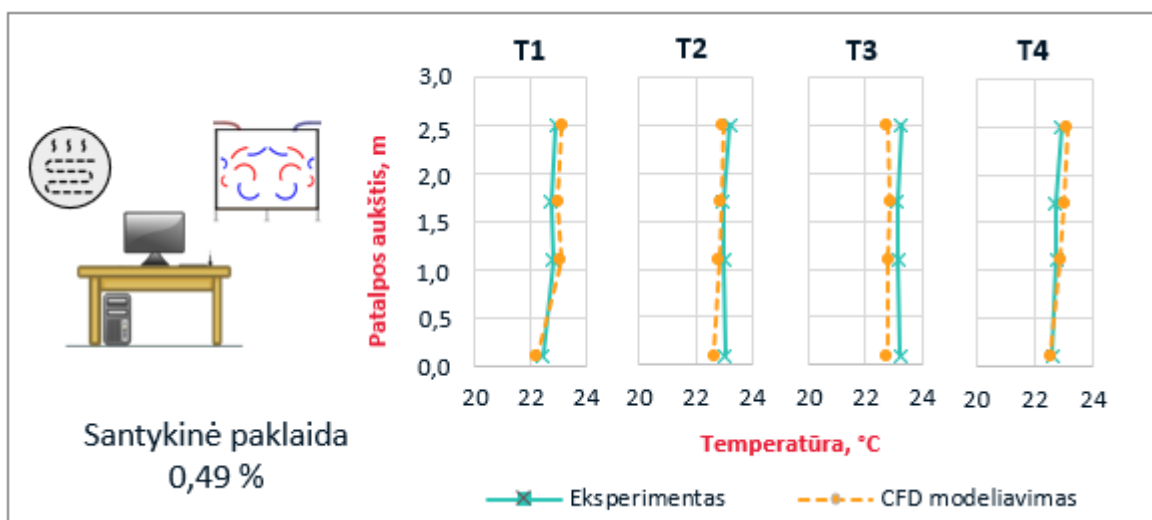
25 pav. Eksperimentinių ir skaitinių tyrimų išstumiamoju vėdinimo būdu, V1 ir V2 kryptimis, oro judėjimo greičių palyginimas. Skliaustuose nurodyta vidutinė santykinė paklaida

Šiam vėdinimo būdui nustatyta gerokai didesnė vidutinė santykinė paklaida (23,26 ir 26,19 %), tai galimai lėmė per didelis oro debitas ($72 \text{ m}^3/\text{h}$) tokiam žemo oro greičio difuzoriui. Vadovaujantis gamintojo rekomendacijomis, tiekiamo oro debitas turėjo būti per $108 \text{ m}^3/\text{h}$. Dėl šios priežasties gautos mažos oro judėjimo greičio vertės.

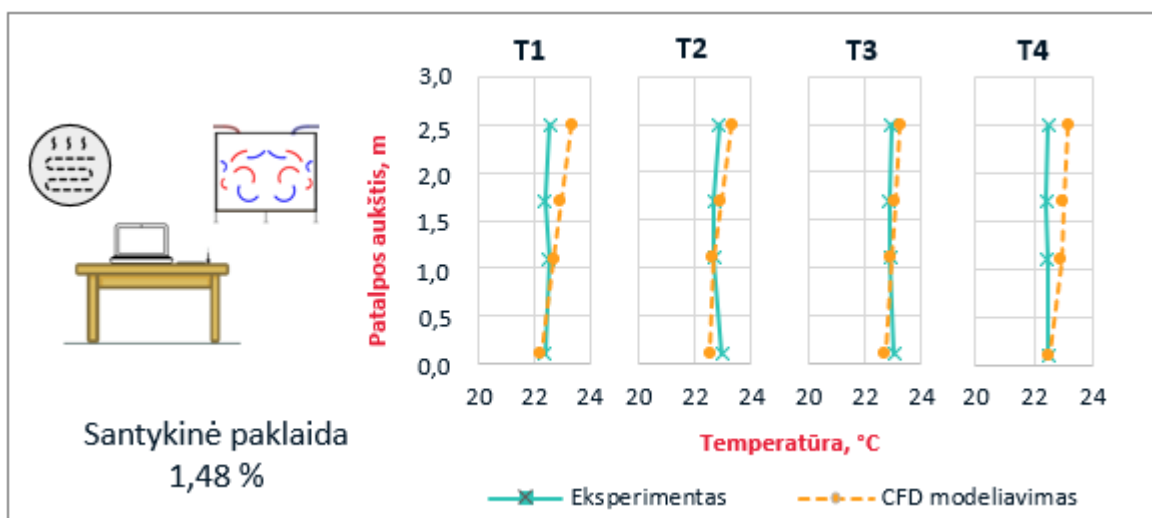
Atlikus oro judėjimo greičio modelio patikimumo vertinimą, remiantis Zhang'ū *et al.* galime teigti, jog gauti skaitinio modeliavimo rezultatai yra priimtini ir gali būti naudojami tolimesniuose tyrimuose, nes neviršyta 30 % santykinė paklaida.

3.3.2. Temperatūrinis gradientas

Gauti temperatūrinio gradiento rezultatai pateikti žemiau pateiktuose paveikslėliuose, kuriuose T1-T4 žymimi temperatūrų matavimo stovai (jų išdėstymą žr. 12 pav.). Temperatūrinis gradientas palygintas sumaišomuoju vėdinimo tipu, pateiktas 26-27 paveikslėliuose



26 pav. Eksperimentinio ir skaitinio tyrimo temperatūrinio gradiento palyginimas sumaišomojo vėdinimo būdu ir stacionaraus kompiuterio atveju

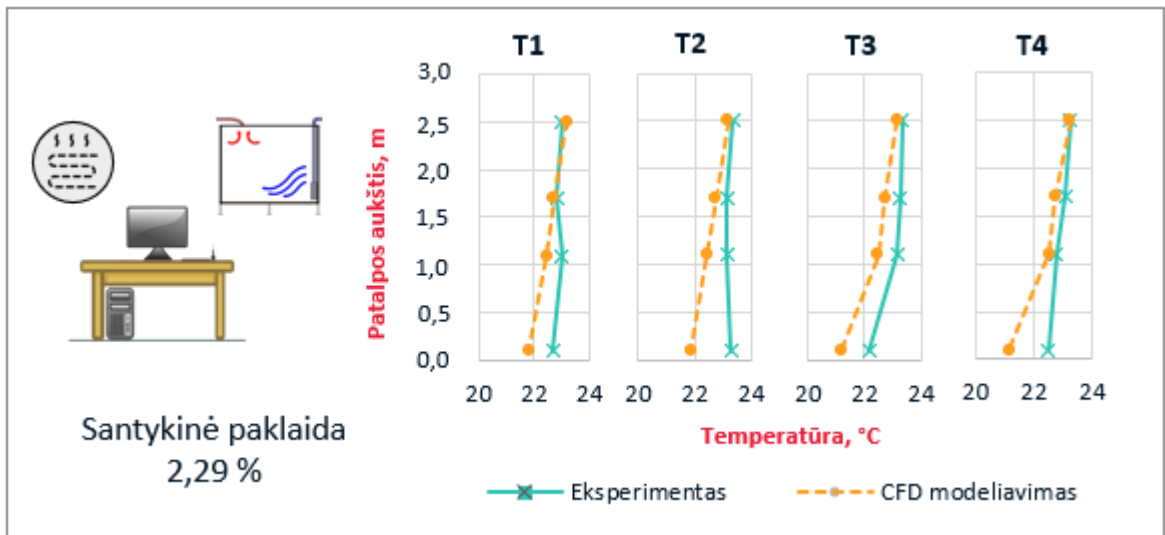


27 pav. Eksperimentinio ir skaitinio tyrimo temperatūrinio gradiento palyginimas sumaišomojo vėdinimo būdu ir nešiojamojo kompiuterio atveju

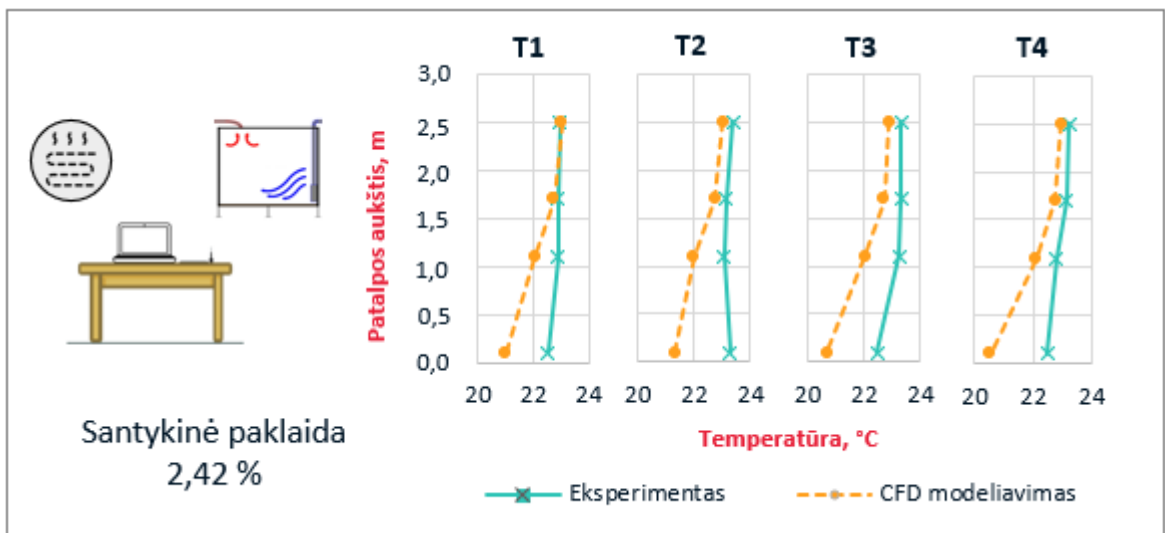
Atlikus modelio patikimumo vertinimą, sumaišomuoju vėdinimo būdu, nustatyta, jog vidutinės santykinės temperatūrinio gradiento paklaidos yra itin žemos – 0,49 ir 1,48 %.

Temperatūrinis gradientas M4-PC atveju (žr. 4 ir 6 lenteles), eksperimentiniu tyrimu gautas 0,1 °C/m, tuo tarpu skaitinio modeliavimo – 0,19 °C/m. Analogiškai gautos rezultatų vertės M4-LP atveju atitinkamai lygios 0,01 ir 0,32 °C/m.

Temperatūrinis gradientas palygintas išstumiamuoju vėdinimo tipu, pateiktas 28-29 paveikslėliuose.



28 pav. Eksperimentinio ir skaitinio tyrimo temperatūrinio gradiento palyginimas išstumiamojo vėdinimo būdu ir stacionaraus kompiuterio atveju



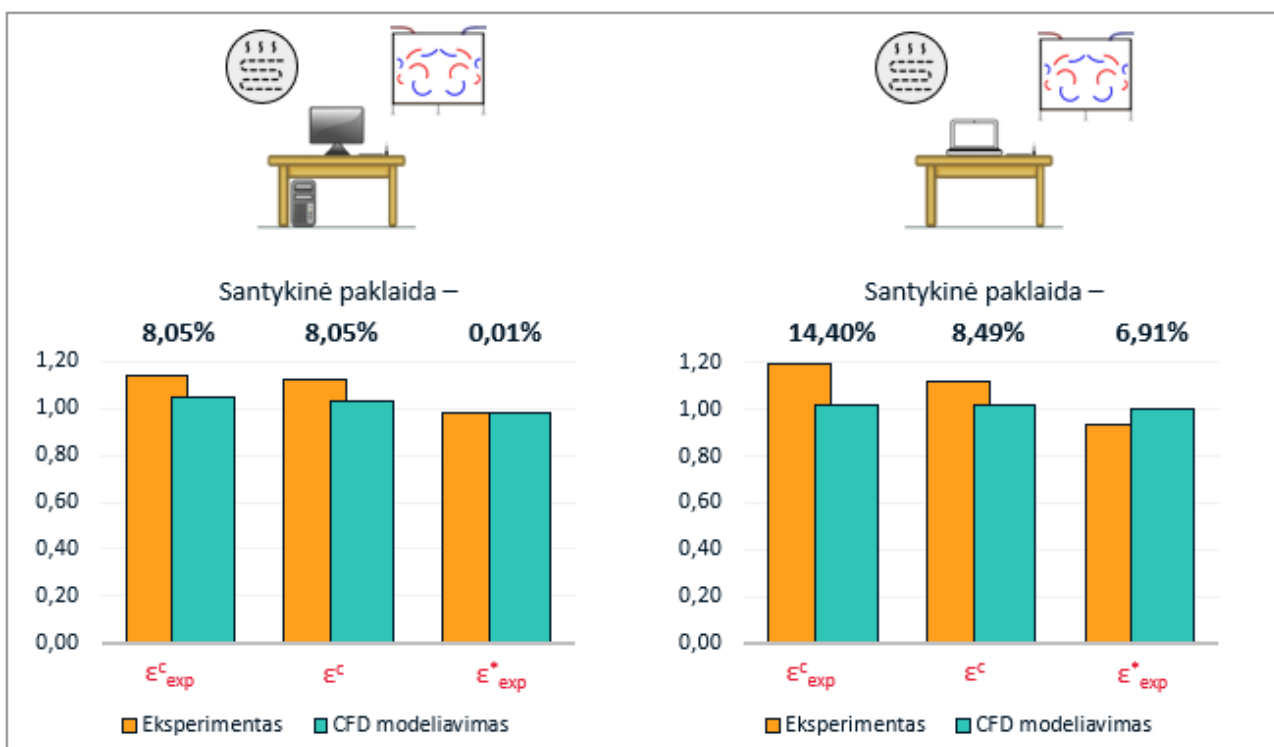
29 pav. Eksperimentinio ir skaitinio tyrimo temperatūrinio gradiento palyginimas išstumiamojo vėdinimo būdu ir nešiojamojo kompiuterio atveju

Remiantis gautais rezultatais, nustatyta, jog vidutinės santykinės temperatūrinio gradiento paklaidos išstumiamuoju vėdinimo būdu gautos kiek didesnės – 2,29 ir 2,42 %, lyginant su sumaišomuoju būdu.

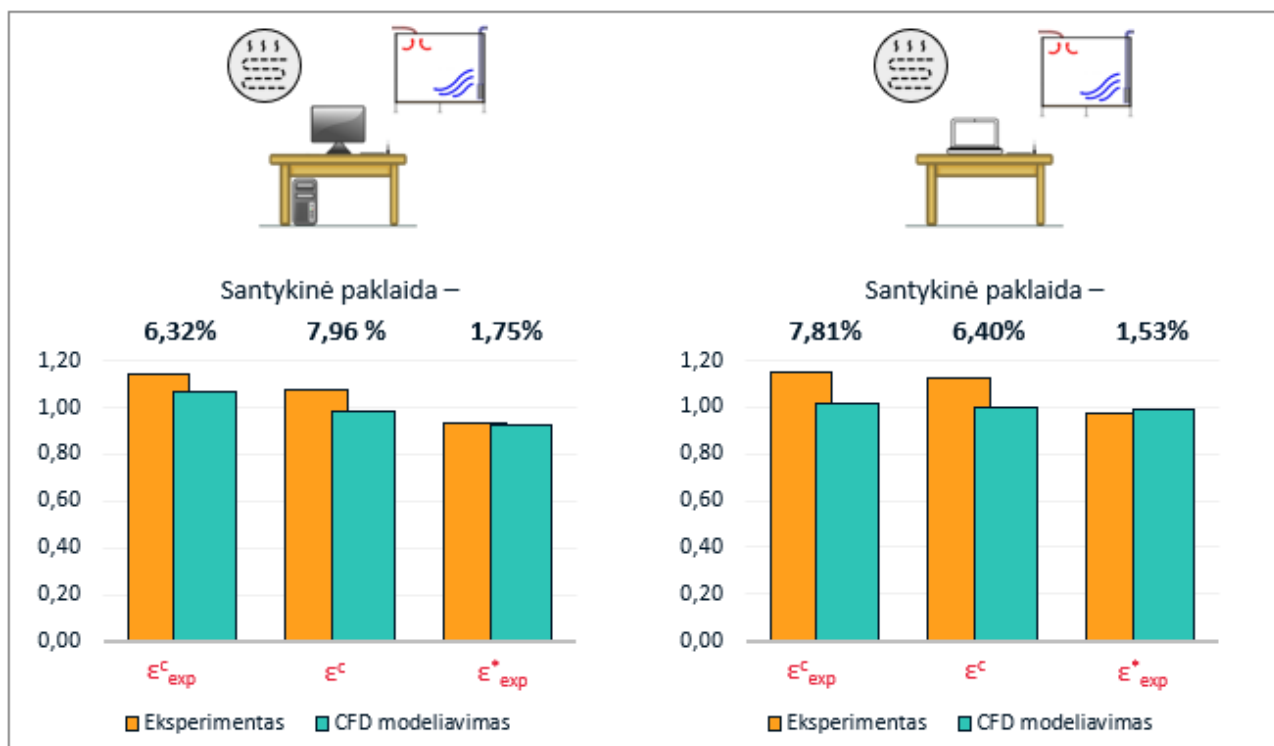
Temperatūrinis gradientas DU-PC atveju (žr. 4 ir 6 lenteles), eksperimentiniu tyrimu gautas 0,25 °C/m, o skaitiniu modeliavimu – 0,71 °C/m. Analogiškai rezultatų vertės gautos DU-LP atveju yra atitinkamai 0,26 ir 0,87 °C/m.

3.3.3. Teršalų koncentracija

Visais tyrimo atvejais, išskyrus vieną (M4-LP), vidutinės santykinės paklaidos neviršijo 10 %. Atvejis, kuomet vidutinė santykinė paklaida siekė 14,40 %, užfiksuotas apskaičiuojant asmeninio poveikio rodiklį ε_{exp} . Gauti koncentracijos modelio patikimumo grafikai pateikti 30 ir 31 paveikslėliuose.



30 pav. Vėdinimo efektyvumo ir asmeninio poveikio rodiklių palyginimas sumaišomojo vėdinimo būdu, eksperimentinio ir skaitinio tyrimo atvejais



31 pav. Vėdinimo efektyvumo ir asmeninio poveikio rodiklių palyginimas išstumiamojo vėdinimo būdu, eksperimentinio ir skaitinio tyrimo atvejais

Atlikus modelio patikimumo vertinimą, vertinant visus tris (oro judėjimo greitis, temperatūra, teršalų koncentracija) parametrus, galima teigti, jog skaitiniai modeliai patikimi. Šie skaitiniai modeliai buvo panaudoti analizuojant tam tikrus veiksnius, kurie daro įtaką oro kokybei patalpoje.

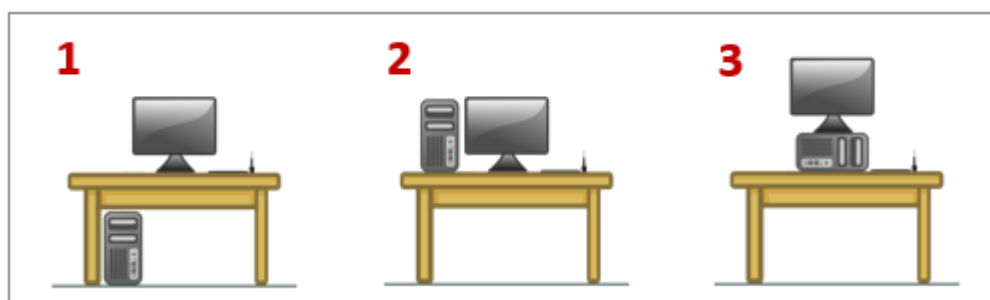
3.4. Veiksnių, darančių įtaką oro kokybei, analizė

Šiame skyriuje nagrinėti skirtingi biuro baldai, kompiuterių padėtis bei jų parametrai, vėdinimo sistemų debitai. Norima nustatyti kokią įtaką jie turi oro kokybei.

Kiekvienas tyrimas atliktas pagal pradinį skaitinį modelį (M4-PC, M4-LP, DU-PC, DU-LP). Tai reiškia, kad visos kraštinės sąlygos yra išlaikytos tokios pat, o koreguotas tik vienas iš anksčiau minėtų parametrų. Rezultatai pateikti 8-14 lentelėse. Siekiant aiškesnio rezultatų palyginimo, lentelėse paryškintuoju šriftu paliktos pradinio skaitinio modelio vertės, žalia spalva pažymėti trikampiai rodo vėdinimo efektyvumo ir asmeninio poveikio rodiklių pagerėjimą, tuo tarpu raudona spalva – pablogėjimą, kuomet rezultatas nekito, naudotas mėlynas minusas.

3.4.1. Stacionaraus kompiuterio padėtis

Dažniausiai galima išvysti tris stacionaraus kompiuterio padėties tipus, kai jis būna padėtas: 1) ant grindų, po stalu; 2) ant stalo; 3) ant stalo, paguldytas horizontaliai, o ant jo padėtas kompiuterio ekranas (žr. 29 pav.).



32 pav. Stacionaraus kompiuterio padėtis skaitiniuose tyrimuose

Apžvelgiant kompiuterio padėties tipus, taip pat tikslinga atlikti tyrimą, kai kompiuterio išvis nėra patalpoje. Vėdinimo efektyvumo ir asmeninio poveikio rodiklių rezultatai, priklausomai nuo kompiuterio padėties tipo, pateikti 8 lentelėje.

8 lentelė. Stacionaraus kompiuterio padėties įtaka teršalų sklaidai.

Vėdinimo būdas	Kompiuterio tipas	Kompiuterio padėtis	Vėdinimo efektyvumas, ϵ^c	Asmeninio poveikio rodiklis (ištraukimo-įkvėpimo), ϵ^c_{exp}	Asmeninio poveikio rodiklis (įkvėpimo-darbo zonos), ϵ^*_{exp}
M4	Nėra komp.	n/a	1,02 ▼	1,01 ▼	1,01 ▼
		ant grindų	1,03	1,04	0,99
	PC	ant stalo	1,05 ▲	1,04 —	1,01 ▼
		po ekranu	1,01 ▼	0,94 ▼	1,07 ▼
DU	Nėra komp.	n/a	0,98 ▼	1,03 ▼	0,95 ▼
		ant grindų	0,99	1,07	0,92
	PC	ant stalo	0,99 —	1,02 ▼	0,97 ▼
		po ekranu	0,99 —	1,05 ▼	0,94 ▼

Analizuojant gautus duomenis pastebėta, kad vėdinimo efektyvumas buvo mažesnis išstumiamuoju vėdinimo būdu, nes visos gautos reikšmės yra <1,00. Tai būdinga išstumiamajam vėdinimui, kuomet naudojamas grindinis šildymas ir yra grindų lygyje išsiskiriančių teršalų. Naudojant lubinius oro

tiekinimo difuzorius, didžiausias asmeninio poveikio rodiklis (ištraukimo-įkvėpimo (ε^c_{exp})) pasiektas kai kompiuterio procesorius padėtas ant grindų ir ant stalo (po 1,04). Žemiausias, kai kompiuterio procesorius po ekranu, ši vertė žemesnė 9,61 %. Naudojant žemo greičio difuzorių, ε^c_{exp} yra didžiausias, kai kompiuteris ant grindų (1,07).

3.4.2. Kompiuterio procesoriaus aušinimui reikiamas oro srautas

Remiantis literatūros analize, teigiama, kad kompiuterio aušinimui reikiamas oro srautas gali svyruoti nuo 35 iki 124 m³/h.

Vykdamas eksperimentą, kompiuterių procesoriai nebuvo „apkrauti“, todėl jų vėsinimui buvo reikalingas sąlyginai mažas aušinimo srautas. Atliekant skaitinį modeliavimą, kompiuterio procesoriaus aušinimo srautas buvo padvigubinamas ir patrigubinamas. Gauti rezultatai pateikti 9 lentelėje.

9 lentelė. Kompiuterio procesoriaus aušinimo srauto įtaka teršalų sklaidai.

Vėdinimo būdas	Kompiuterio tipas	Kompiuterio srautas, m ³ /h	Vėdinimo efektyvumas, ε^c	Asmeninio poveikio rodiklis (ištraukimo-įkvėpimo), ε^c_{exp}	Asmeninio poveikio rodiklis (įkvėpimo-darbo zonos), ε^*_{exp}
M4	PC	25	1,03	1,04	0,99
		50	1,01 ▼	1,03 ▼	0,98 ▲
		75	1,02 ▼	1,03 ▼	0,98 ▲
	LP	22	1,02	1,02	1,00
		44	1,02 —	0,97 ▼	1,05 ▼
		66	1,02 —	0,93 ▼	1,10 ▼
DU	PC	25	0,99	1,07	0,92
		50	1,00 ▲	1,05 ▼	0,95 ▼
		75	1,01 ▲	1,04 ▼	0,98 ▼
	LP	22	1,00	1,01	0,99
		44	1,02 ▲	1,02 ▲	1,00 ▼
		66	1,01 ▲	1,03 ▲	0,98 ▲

Iš gautų rezultatų matome, jog kompiuterio procesoriaus išpučiamas srautas praktiškai neturi įtakos vėdinimo efektyvumui (ε^c). Tačiau, vėdinant sumaišomuoju būdu, ir kai naudotas nešiojamasis kompiuteris (M4-LP derinys), padidėjus kompiuterio oro srautui, asmeninio poveikio rodiklis ε^c_{exp} krito 8,82 %. Įdomu tai, kad DU-LP derinio atveju, didinant kompiuterio išpučiamą srautą, šis rodiklis nemažėjo, tačiau nežymiai padidėjo – nuo 1,01 iki 1,03. DU-PC derinio atveju, asmeninio poveikio rodiklis ε^c_{exp} , nuo aukščiausios, tarp visų tyrimų, vertės 1,07, padidinus srautą, sumažėjo iki 1,04.

3.4.3. Kompiuterio procesoriaus temperatūra

Kompiuterio procesoriaus temperatūra, kaip ir aušinimo srautas, gali kisti priklausomai nuo kompiuterio sistemos apkrovos.

Eksperimentiniuose tyrimuose buvo nustatyta ir priimta, kad kompiuteriai išpučia +28 °C temperatūra, todėl skaitinių tyrimų metu buvo palyginta teršalų sklaida, kai ši temperatūra siekia +34 ir +40 °C. Rezultatai pateikti 10 lentelėje.

10 lentelė. Kompiuterio procesoriaus temperatūros įtaka teršalų sklaidai.

Vėdinimo būdas	Kompiuterio tipas	Procesoriaus temperatūra, °C	Vėdinimo efektyvumas, ε^c	Asmeninio poveikio rodiklis (ištraukimo-įkvėpimo), ε^c_{exp}	Asmeninio poveikio rodiklis (įkvėpimo-darbo zonos), ε^*_{exp}
M4	PC	28	1,03	1,04	0,99
		34	1,05 ▲	1,04 ▬	1,00 ▼
		40	1,02 ▼	1,04 ▬	0,98 ▲
	LP	28	1,02	1,02	1,00
		34	1,02 ▬	1,00 ▼	1,02 ▼
		40	1,01 ▼	0,95 ▼	1,06 ▼
DU	PC	28	0,99	1,07	0,92
		34	0,96 ▼	1,08 ▲	0,89 ▲
		40	0,95 ▼	1,07 ▬	0,89 ▲
	LP	28	1,00	1,01	0,99
		34	1,01 ▲	1,02 ▲	0,99 ▬
		40	1,00 ▬	1,01 ▬	0,99 ▬

Šiuo atveju, vėdinimo efektyvumas išliko panašus ir mažai kito, kaip ir didinant aušinimo srautą, išskyrus DU-PC derinį, kuriame, aukštinant procesoriaus temperatūrą, vėdinimo efektyvumas krito nuo 0,99 iki 0,95. Panaši tendencija fiksuota M4-LP derinyje, čia ε^c_{exp} sumažėjo nuo 1,02 iki 0,95.

3.4.4. Patalpos oro apykaita

Eksperimentinio tyrimo metu buvo nustatyta 2 kartų oro apykaita, kuri iš esmės turėtų užtikrinti gerą patalpos vėdinimą. Tačiau šie vėdinimo parametrai gali kisti, todėl buvo pasirinkta atlikti skaitinius modelius, kai oro apykaita siekia 1-ą ir 3-is kartus (žr. 11 lentelę).

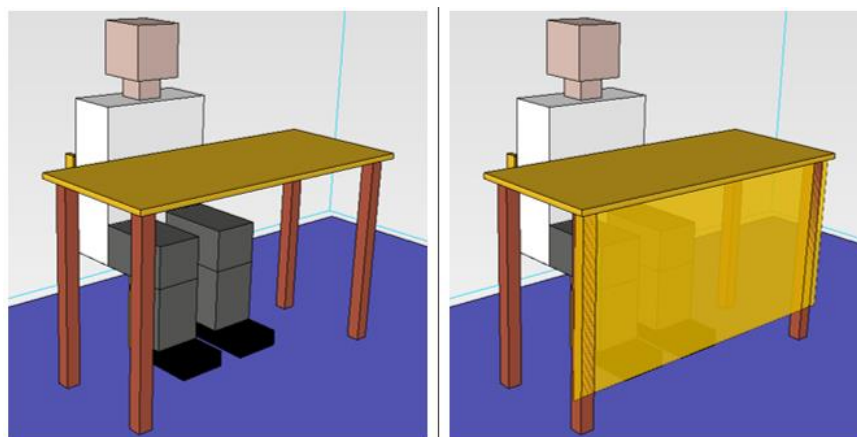
11 lentelė. Patalpos oro apykaitos įtaka teršalų sklaidai.

Vėdinimo būdas	Kompiuterio tipas	Patalpos oro apykaita, h ⁻¹	Vėdinimo efektyvumas, ε^c	Asmeninio poveikio rodiklis (ištraukimo-įkvėpimo), ε^c_{exp}	Asmeninio poveikio rodiklis (įkvėpimo-darbo zonos), ε^*_{exp}
M4	PC	1	1,04 ▲	1,03 ▼	1,00 ▼
		2	1,03	1,04	0,99
		3	1,03 ▬	1,04 ▬	1,00 ▼
	LP	1	1,01 ▼	0,93 ▼	1,09 ▼
		2	1,02	1,02	1,00
		3	1,02 ▬	1,05 ▲	0,98 ▲
DU	PC	1	0,97 ▼	1,06 ▼	0,91 ▲
		2	0,99	1,07	0,92
		3	0,99 ▬	1,06 ▼	0,93 ▼
	LP	1	1,00 ▬	1,00 ▼	1,01 ▼
		2	1,00	1,01	0,99
		3	0,99 ▼	1,02 ▲	0,97 ▲

Keičiant patalpos oro apykaitą, vėdinimo efektyvumas išliko panašus visais tyrimų atvejais. Ištraukimo-įkvėpimo asmeninio poveikio rodiklis $\varepsilon_{\text{exp}}^c$ kito, tiek sumaišomuoju vėdinimo būdu, tiek išstumiamuoju, kai yra nešiojamasis kompiuteris. M4-LP atveju jis gerokai išaugo, nuo 0,93 iki 1,05 (11,43 %). DU-LP atveju, šis augimas buvo gerokai mažesnis, tačiau išvengiama tendencija – nuo 1,00 iki 1,02.

3.4.5. Stalo tipas

Dažniausiai naudojami dviejų tipų biuro stalai: atviri (be sienelių) ir uždari (su sienelėmis). Šiuo atveju nagrinėta situacija, kuomet naudojama viena sienelė, kuri kyla nuo grindų ir pasiekia stalviršį (žr. 30 pav.).



33 pav. Skaitiniams tyrimams naudoti skirtingi stalo tipai

Uždaro stalo tipo sienelei buvo nustatytas perforacijos lygis, kuris siekė 20 % visos sienelės ploto. Taip pat tarp grindų ir sienelės pradžios paliktas 10 cm tarpas. Rezultatai pateikiami 12 lentelėje.

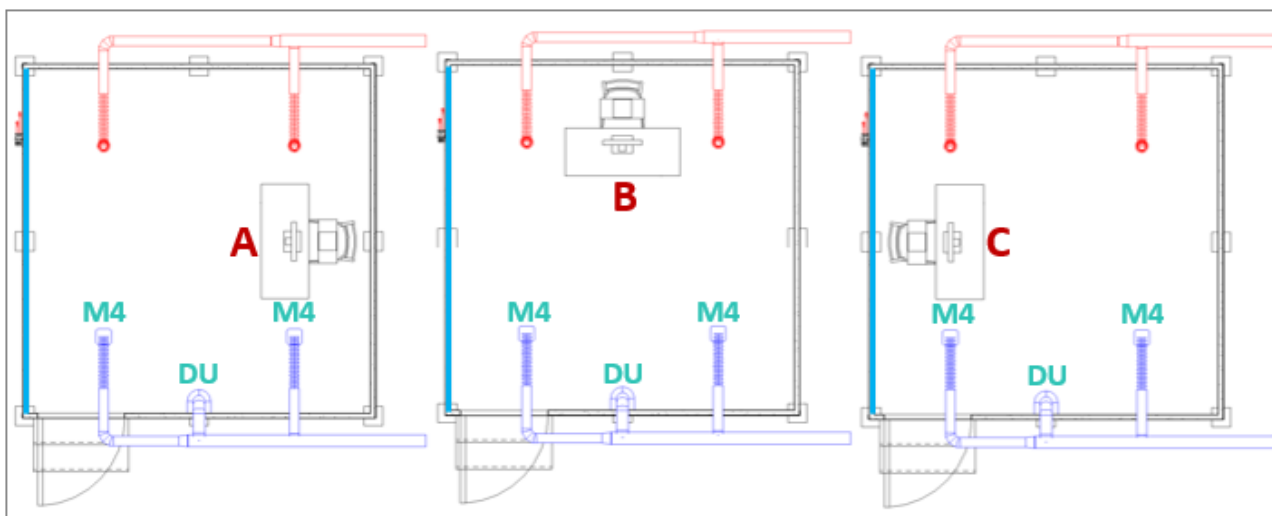
12 lentelė. Stalo tipo įtaka teršalų sklaidai.

Vėdinimo būdas	Kompiuterio tipas	Stalo tipas	Vėdinimo efektyvumas, ε^c	Asmeninio poveikio rodiklis (ištraukimo-įkvėpimo), $\varepsilon_{\text{exp}}^c$	Asmeninio poveikio rodiklis (įkvėpimo-darbo zonos), $\varepsilon_{\text{exp}}^*$
M4	PC	atviras	1,03	1,04	0,99
		uždaras	1,02 ▼	1,00 ▼	1,02 ▼
	LP	atviras	1,02	1,02	1,00
		uždaras	1,01 ▼	0,99 ▼	1,02 ▼
DU	PC	atviras	0,99	1,07	0,92
		uždaras	1,01 ▲	1,06 ▼	0,95 ▼
	LP	atviras	1,00	1,01	0,99
		uždaras	1,01 ▲	1,05 ▲	0,97 ▲

Stalo tipas vėdinimo efektyvumui įtakos praktiškai neturi, tačiau jo įtaka išvengiama asmeninio poveikio rodikliui $\varepsilon_{\text{exp}}^c$. Trims atvejais iš keturių, kuomet stalas tapo uždaru, šis rodiklis sumažėjo (0,93-3,85 %), išskyrus DU-LP derinį, kuriame jis ūgtelėjo nuo 1,01 iki 1,05 (3,81 %).

3.4.6. Darbo vietos padėtis patalpos atžvilgiu

Visais tyrimo atvejais darbo vietos padėtis patalpos atžvilgiu išliko vienoje vietoje, todėl nuspręsta palyginti, kaip darbo vietos kitimas pakeis teršalų sklaidą ir vėdinimo efektyvumo parametrus. Pasirinktos trys darbo vietos patalpoje: „A“, „B“ ir „C“ (žr. 31 pav.).



34 pav. Darbo vietos padėtis patalpos atžvilgiu. Žydra spalva žymi vėsinamą sieną

„B“ atveju švaraus oro tiekimas yra labiausiai nutolęs nuo darbo vietos, „C“ atveju darbo vieta yra prie imituotos išorinės (šaltos) sienos. Gauti rezultatai pateikiami 13 lentelėje.

13 lentelė. Darbo vietos įtaka teršalų sklaidai.

Vėdinimo būdas	Kompiuterio tipas	Darbo vietos padėtis	Vėdinimo efektyvumas, ε^c	Asmeninio poveikio rodiklis (ištraukimo-įkvėpimo), ε_{exp}^c	Asmeninio poveikio rodiklis (įkvėpimo-darbo zonos), ε_{exp}^*
M4	PC	A	1,03	1,04	0,99
		B	1,02 ▼	0,94 ▼	1,09 ▼
		C	1,03 ▬	1,04 ▬	0,99 ▬
	LP	A	1,02	1,02	1,00
		B	1,03 ▲	1,03 ▲	1,00 ▬
		C	1,02 ▬	1,03 ▲	0,99 ▲
DU	PC	A	0,99	1,07	0,92
		B	1,02 ▲	1,03 ▼	0,99 ▼
		C	1,01 ▲	1,00 ▼	1,01 ▼
	LP	A	1,00	1,01	0,99
		B	1,06 ▲	0,94 ▼	1,13 ▼
		C	0,99 ▼	1,06 ▲	0,93 ▲

Reikšminga darbo vietos padėties įtaka vėdinimo efektyvumui pastebima vėdinant išstumiamuoju būdu. Čia reikšmės kinta nuo 0,99 iki 1,06 (6,60 %). Vėdinant sumaišomuoju būdu, vėdinimo efektyvumas išliko praktiškai nepakitęs. Nešiojamojo kompiuterio atveju, didžiausias vėdinimo efektyvumas pasiektas „B“ pozicijoje, kai vėdinama sumaišomuoju būdu 1,03 ir kai vėdinama išstumiamuoju būdu 1,06.

Asmeninio poveikio rodiklis $\varepsilon_{\text{exp}}^c$, sumaišomojo vėdinimo būdu, stacionaraus kompiuterio atveju, sumažėjo 9,62 % lyginant su „A“ ir „C“ pozicijomis. Išstumiamojo vėdinimo atveju, kai naudotas stacionarusis kompiuteris, šie rodikliai krito nuo 1,07 („A“ pozicija) iki 1,00 („C“ pozicija). Tuo tarpu DU-LP derinio atveju, esant „B“ pozicijos darbo padėčiai, ši reikšmė krito 6,93 %, tačiau „C“ pozicijoje pakilo 4,72 %, lyginant atvejus su „A“ darbo vietos pozicija.

3.5. Tolimesni tyrimai

Šiame tyrime daugiausiai dėmesio skirta kompiuterio tipui ir jo parametrams, taip pat analizuota kompiuterių ir darbo padėtis patalpos atžvilgiu, siekiant sužinoti, kaip tai paveikia teršalų, išsiskiriančių grindų lygyje, sklaidą patalpoje.

Siekiant dar realistiškesnio situacijos atkūrimo, vertėtų įvertinti kaip keičiasi teršalų sklaida, kai vienoje patalpoje dirba daugiau žmonių, tai reikštų, kad patalpoje būtų daugiau baldų ir daugiau biuro įrangos. Taip pat vertėtų analizuoti atvejus, kuomet naudojami kitokie uždari stalai: sienelės gali pakilti virš stalviršio, taip atskirti darbo vietas ir sukurti papildomas kliūtis darbo zonos aukštyje.

Svarbu paminėti, jog šiame tyrime nebuvo vertinami kompiuterio išmetami teršalai. Rekomenduotina juos taip pat vertinti atliekant teršalų sklaidą lemiančius tyrimus. Galiausiai, eksperimentai buvo atlikti nevertinant manekeno „kvėpavimo“. Galima daryti prielaidą, jog tai taip pat turėtų įtaką teršalų sklaidai. Atliekant tolimesnius tyrimus, vertėtų atsižvelgti į šiuos išvardintus veiksnius.

Išvados

1. Eksperimentiniu būdu nustatyta, kad teršalų išsiskiriančių grindų lygyje, įtraukimas į žmogaus konvekcinių srautą, esant grindinio šildymo sistemai, labiau priklauso nuo vėdinimo būdo, nei nuo kompiuterio tipo. Koncentracijos kvėpavimo zonoje esant grindinio šildymo ir sumaišomojo vėdinimo deriniui – žemesnės 3,95-17,07 % nei esant grindinio šildymo ir išstumiamojo vėdinimo deriniui. Koncentracijos kvėpavimo zonoje esant sumaišomojo vėdinimo ir nešiojamojo kompiuterio deriniui žemesnės 6,85 %, nei stacionariojo kompiuterio atveju. Tuo tarpu esant išstumiamajam vėdinimui, atvirkščiai, stacionariojo kompiuterio atveju koncentracija žemesnė 7,32 %.
2. Rezultatai gauti iš teršalų skaitinio modelio rodo, kad teršalai intensyviau sklinda šildomo manekeno link esant sumaišomajam vėdinimui, tačiau jų santykinė koncentracija yra mažesnė, lyginant su išstumiamuoju vėdinimu.
3. Nustatytas priimtinas skaitinių modelių patikimumas: vidutinė santykinė paklaida tarp oro greičių – 15,48 %, tarp temperatūrų – 1,67 % ir tarp vėdinimo efektyvumo rodiklių – 6,47 %.
4. Atlikus veiksmų, darančių įtaką teršalų sklaidai patalpoje (stacionaraus kompiuterio padėti, kompiuterio procesoriaus srautą bei temperatūrą, patalpos oro apykaitą, stalo tipą, darbo vietos padėti patalpos atžvilgiu), nustatyta, jog nėra vieno aiškaus veiksnio, kuris lemtų mažesnes koncentracijas darbo zonoje. Visais tirtais atvejais, vėdinimo efektyvumo ir asmeninio poveikio rodikliai yra arti vieneto.
5. Patalpose, kuriose vyrauja sėdimas darbas, šildymui naudojama grindinio šildymo sistema ir yra oro teršalų išsiskiriančių grindų lygyje, teršalų įtraukimas į žmogaus konvekcinių srautą yra mažiau intensyvus, kai vėdinama sumaišomuoju būdu ir darbui naudojamas nešiojamas kompiuteris.

Literatūros sąrašas

1. BÖHM, M., SALEM, M.Z.M. ir SRBA, J. *Formaldehyde Emission Monitoring from a Variety of Solid Wood, Plywood, Blockboard and Flooring Products Manufactured for Building and Furnishing Materials* [interaktyvus]. 2012 [žiūrėta 2018-09-20]. ISBN 0304-3894. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.04.013>.
2. KIM, S. *Control of Formaldehyde and TVOC Emission from Wood-Based Flooring Composites at various Manufacturing Processes by Surface Finishing* [interaktyvus]. 2010 [žiūrėta 2018-09-20]. ISBN 0304-3894. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.03.113>.
3. SEO, J., et al. *Comparison of Thermal Transfer Characteristics of Wood Flooring According to the Installation Method* [interaktyvus]. 2014 [žiūrėta 2018-09-20]. ISBN 0378-7788. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.085>.
4. WILKE, O., JANN, O. ir BRÖDNER, D. VOC- and SVOC-emissions from Adhesives, Floor Coverings and Complete Floor Structures. *Indoor Air* [interaktyvus]. Wiley, 2004, **14**(8), 98-107 [žiūrėta 2018-09-20]. ISSN 0905-6947. Prieiga per: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00314.x>.
5. ABBASS, O.A., SAILOR, D.J. ir GALL, E.T. *Effect of Fiber Material on Ozone Removal and Carbonyl Production from Carpets* [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2018-09-23]. ISBN 1352-2310. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.10.034>.
6. JEON, S., KIM, K. ir CHOI, K. *Migration of DEHP and DINP into Dust from PVC Flooring Products at Different Surface Temperature* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2018-09-23]. ISBN 0048-9697. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.135>.
7. MISSIA, D.A., et al. *Indoor Exposure from Building Materials: A Field Study* [interaktyvus]. 2010 [žiūrėta 2018-09-24]. ISBN 1352-2310. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.07.049>.
8. RÖSCH, C., et al. *Relationship between Sources and Patterns of VOCs in Indoor Air* [interaktyvus]. 2014 [žiūrėta 2018-09-27]. ISBN 1309-1042. Prieiga per: <https://doi.org/10.5094/APR.2014.016>.
9. CAMPAGNOLO, D., et al. *VOCs and Aldehydes Source Identification in European Office Buildings - the OFFICAIR Study* [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2018-09-30]. ISBN 0360-1323. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.01.009>.
10. SPENGLER, J.D., SAMET, J.M. ir MCCARTHY J.F. *Indoor Air Quality Handbook*. New York: McGraw-Hill, 2001. ISBN 9780074455494.
11. DAUKŠAS, K., et al. *Chemijos Terminų Aiškinamasis Žodynas 2-asis patais. ir papild. leid. ed.* Vilnius: Mokslo ir enciklopedijų leidybos institutas, 2003. ISBN 5420015102.
12. RISHOLM-SUNDMAN, M., LUNDGREN, M., VESTIN, E. ir HERDER, P. Emissions of Acetic Acid and Other Volatile Organic Compounds from Different Species of Solid Wood. *Holz Als Roh- Und Werkstoff* [interaktyvus]. 1998, **56**(2), 125-129 [žiūrėta 2018-10-06]. ISSN 1436-736X. Prieiga per: <https://doi.org/10.1007/s001070050282>.

13. CHEN, W., MENDELL, M., LI, N. ir KUMAGAI, K. *Formaldehyde Emissions from Seams and Cut Edges of Laminate Flooring: Implications for Emission Testing Protocols and Exposure Estimation* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018-11-12]. ISBN 0360-1323. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.07.038>.
14. SALTHAMMER, T. Very Volatile Organic Compounds: An Understudied Class of Indoor Air Pollutants. *Indoor Air* [interaktyvus]. 2016, **26**(1), 25-38 [žiūrėta 2018-10-07]. ISSN 0905-6947. Prieiga per: <https://doi.org/10.1111/ina.12173>.
15. WORLD HEALTH ORGANISATION. Indoor Air Quality: Organic Pollutants, *Environmental Technology Letters* [interaktyvus]. 1989, **10**(9), 855-858 [žiūrėta 2018-10-12]. ISSN 0143-2060. Prieiga per: <https://doi.org/10.1080/09593338909384805>.
16. KOTZIAS, D., et al. *Final Report the INDEX Project Critical Appraisal of the Setting and Implementation of Indoor Exposure Limits in the EU* [interaktyvus]. 2005 [žiūrėta 2018-10-13]. Prieiga per: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31905.61281>.
17. NUNES, C.R., et al. *Evaluation of Volatile Organic Compounds Coupled to Seasonality Effects in Indoor Air from a Commercial Office in Madrid (Spain) Applying Chemometric Techniques* [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2019-04-23]. ISBN 0048-9697. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.095>.
18. WOLKOFF, P. *Indoor Air Pollutants in Office Environments: Assessment of Comfort, Health, and Performance* [interaktyvus]. 2013 [žiūrėta 2018-10-15]. ISBN 1438-4639. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2012.08.001>.
19. OSHA – Occupational Safety and Health Administration. *Indoor Air Quality in Commercial and Institutional Buildings* [interaktyvus]. 2011 [žiūrėta 2018-10-15]. Prieiga per: <https://purl.fdlp.gov/GPO/gpo9905>
20. BRIGHTMAN, H.S., et al. Evaluating Building-related Symptoms using the US EPA BASE Study Results. *Indoor Air* [interaktyvus]. 2008, **18**(4), 335-345 [žiūrėta 2018-10-18]. ISSN 0905-6947. Prieiga per: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2008.00557.x>.
21. PEJTERSEN, J., et al. Effect of Renovating an Office Building on Occupants' Comfort and Health. *Indoor Air* [interaktyvus]. Wiley, 2001, **11**(1), 10-25 [žiūrėta 2018-10-27]. ISSN 0905-6947. Prieiga per: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0668.2001.011001010.x>
22. CHENG, P.L. ir LI, X. *Air Infiltration Rates in the Bedrooms of 202 Residences and Estimated Parametric Infiltration Rate Distribution in Guangzhou, China* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018-10-27]. ISBN 0378-7788. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.12.062>.
23. CARRILHO DA GRAÇA, G. ir LINDEN, P. *Ten Questions about Natural Ventilation of Non-Domestic Buildings* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2018-10-28]. ISBN 0360-1323. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.08.007>.
24. JUODIS, E. *Vėdinimas: Vadovėlis*. Vilnius: Technika, 2009. ISBN 9789955283706.
25. MCDOWALL, R. *Fundamentals of HVAC Systems: [A Course Reader]*. Burlington: Elsevier, 2007 ISBN 9780123739988.

26. MELIKOV, A.K. Personalized Ventilation. *Indoor Air* [interaktyvus]. 2004, **14**(7), 157-167 [žiūrėta 2018-11-03]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00284.x>.
27. OUGHTON, D., WILSON, A., FABER, O. ir KELL, J.R. *Faber & Kell's Heating and Air-Conditioning of Buildings*. 11th ed. ed. London: Routledge, 2015. ISBN 9780415522656.
28. KHORASANIZADEH, H., SHEIKHZADEH, G.A., AZEMATI, A.A. ir SHIRKAVAND HADAVAND, B. *Numerical Study of Air Flow and Heat Transfer in a Two-Dimensional Enclosure with Floor Heating* [interaktyvus]. 2014 [žiūrėta 2018-11-04]. ISBN 0378-7788. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.04.007>.
29. AHMED, K., AKHONDZADA, A., KURNITSKI, J. ir OLESEN, B. *Occupancy Schedules for Energy Simulation in New prEN16798-1 and ISO/FDIS 17772-1 Standards* [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2018-11-06]. ISBN 2210-6707. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.07.010>.
30. MURAKAMI, S., KATO, S. ir ZENG, J. *Combined Simulation of Airflow, Radiation and Moisture Transport for Heat Release from a Human Body* [interaktyvus]. 2000 [žiūrėta 2018-12-07]. ISBN 0360-1323. Prieiga per: [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(99\)00033-5](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(99)00033-5).
31. ETHERIDGE, D.W. ir SANDBERG, M. *Building ventilation: theory and measurement*. Chichester: John Wiley & Sons, 1996. ISBN 047196087X.
32. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. *Šiluminės aplinkos ergonomika. Šiluminio komforto analitinis nustatymas ir aiškinimas, naudojant numatomojo vidutinio vertinimo ir numatomojo nepatenkintųjų procento rodiklių bei vietinio šiluminio komforto kriterijų skaičiavimą (ISO 7730:2005)*. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2006.
33. LICINA, D., MELIKOV, A., SEKHAR, C. ir THAM, K.W. Transport of Gaseous Pollutants by Convective Boundary Layer Around a Human Body. *Science and Technology for the Built Environment* [interaktyvus]. 2015, **21**(8), 1175-1186 [žiūrėta 2018-11-12]. ISSN 2374-4731. Prieiga per: <https://doi.org/10.1080/23744731.2015.1060111>.
34. BOGDAN, A., KOELBLEN, B. ir CHLUDZIŃSKA, M. *Influence of a Breathing Process on the Perception of the Thermal Environment using Personalised Ventilation* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2018-11-15]. ISBN 0360-1323. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.11.024>.
35. MUNDT, E. ir MATHISEN, H.M. *Ventilation Effectiveness*. Brussels: Rehva, Federation of European Heating and Air-conditioning Associations, 2004.
36. CALIFORNIA ENERGY COMMISSION, PUBLIC INTEREST ENERGY RESEARCH, ECOS. *Office Plug Load Field Monitoring Report: PIER Final Project Report*. California Energy Commission, 2011.
37. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. *ASHRAE Handbook: Fundamentals - SI Edition*. Atlanta, Ga.: American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning, 2005. ISBN 9781931862714.
38. MENEZES, A.C., et al. *Estimating the Energy Consumption and Power Demand of Small Power Equipment in Office Buildings* [interaktyvus]. 2014 [žiūrėta 2018-12-04]. ISBN 0378-7788. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.011>.

39. WANG, Z., HONG, T. ir PIETTE, M.A. *Data Fusion in Predicting Internal Heat Gains for Office Buildings through a Deep Learning Approach* [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2020-09-28]. ISBN 0306-2619. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.02.066>.
40. WAYE, S.K., ANDERSON, A., CORSI, R.L. ir EZEKOYE, O.A. *Thermal Effects on Polybrominated Diphenyl Ether Mass Transfer and Emission from Computer Cases* [interaktyvus]. 2013 [žiūrėta 2018-12-14]. ISBN 0017-9310. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2013.04.062>.
41. STASIULIENĖ, L. *Combined Impacts of Indoor Climate Systems in Buildings on Occupant Inhaled Volatile Organic Compounds Concentration: daktaro disertacija*. Kauno technologijos universitetas, 2018. ISBN 9786-090214572.
42. LICINA, D., MELIKOV, A.K., SEKHAR, C. ir THAM, K. *Human Convective Boundary Layer and its Impact on Personal Exposure*. Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering, 2015. ISBN 9788778774293.
43. BAKÓ-BIRÓ, Z., WARGOCKI, P., WESCHLER, C.J. ir FANGER, P.O. *Effects of Pollution from Personal Computers on Perceived Air Quality, SBS Symptoms and Productivity in Offices*. *Indoor Air* [interaktyvus]. 2004, **14**(3), 178-187 [žiūrėta 2018-12-16]. ISSN 0905-6947. Prieiga per: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00218.x>.
44. BERRIOS, I.,T., et al. *Volatile Organic Compounds (Vocs) Emissions from Sources in a Partitioned Office Environment and their Impact on Iaq* [interaktyvus]. 2005 [žiūrėta 2018-12-18]. Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/237231988_volatile_organic_compounds_vocs_emissions_from_sources_in_a_partitioned_office_environment_and_their_impact_on_iaq.
45. ZHUANG, R.N., LI, X. ir TU, J. *A Computational Fluid Dynamics Study on the Effects of Computer Fan on Indoor Airflow and Indoor Air Quality in Breathing Zone*. *Indoor and Built Environment* [interaktyvus]. 2015, **24**(3), 295-307 [žiūrėta 2019-01-23]. ISSN 1420-326X. Prieiga per: <https://doi.org/10.1177/1420326X13510330>.
46. EC NO 1907/2006. *TS34B – TOTALSEAL 34 B Safety Data Sheet, Version 1*, 2009.
47. ŠOLIŪNAS, L. *Kompleksinis šildymo ir išstumiamojo vėdinimo sistemų poveikis teršalų sklaidai patalpose: magistro darbas*. Kauno technologijos universitetas. Prieiga per eLABa – nacionalinė Lietuvos akademinė elektroninė biblioteka, 2019.
48. MARTINHO, N., LOPES, A. ir GAMEIRO DA SILVA, M. *Evaluation of Errors on the CFD Computation of Air Flow and Heat Transfer Around the Human Body*. *Building and Environment* [interaktyvus]. 2012, **58**, 58-69 [žiūrėta 2020-10-20]. ISSN 0360-1323. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.06.018>.
49. ZHANG, Z., ZHANG, W., ZHAI, Z.J. ir CHEN, Q.Y. *Evaluation of various Turbulence Models in Predicting Airflow and Turbulence in Enclosed Environments by CFD: Part 2—Comparison with Experimental Data from Literature*. *Null* [interaktyvus]. 2007, **13**(6), 871-886 [žiūrėta 2020-10-20]. ISSN 1078-9669. Prieiga per: <https://doi.org/10.1080/10789669.2007.10391460>.