



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Ehituse ja arhitektuuri instituut

**Õhu liikumiskiiruse hindamismetoodika analüüs,
kaasaegse kontori näitel**
**Analysis of Air Velocity Assessment Methodology, on
the Example of a Modern Office**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Joonas Piirits

Üliõpilaskood: 1992264 EAXM.

Juhendaja: Martin Kiil, Doktorant

Tallinn 2021

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“17” mai 2021

Autor: Joonas Piirits

// digiallkirjastatud//

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“17” mai 2021

Juhendaja: Martin Kiil

// digiallkirjastatud //

Kaitsmisele lubatud

“.....”20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Joonas Piirits (sünnikuupäev: 21.02.1995)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Õhu liikumiskiiruse hindamismetoodika analüüs, kaasaegse kontori näitel,

mille juhendaja on Martin Kiil,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.

//digiallkirjastatud//

17.05.2021 (*kuupäev*)

Taltech Ehituse ja arhitektuuri instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Joonas Piirits, 192264 EAXM
Õppekava, peeriala: EAXM15/15 - Hooned ja rajatised - küte ja ventilatsioon
Juhendaja(d): Doktorant, Martin Kiil, +3725189963
Konsultandid: -

Lõputöö teema:

(eesti keeles) **Õhu liikumiskiiruse mõju analüüs, kaasaegse kontori näitel**

(inglise keeles) **Analysis of Air Velocity Assessment Methodology, on the Example of a Modern Office**

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Tõmbusindeksi ja mõõtemetoodika analüüsimine katsemõõtmiste põhjal ning parendamise ettepanekute koostamine.
2. Analüüsida viie varasemalt uuritud büroohoone soojuslikku mugavust pisteliste mõõtmiste käigus saadud andmete põhjal ning võrrelda neid näidiskontori katsel tehtud mõõtmistulemustega.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Olukorra kaardistamine, põhieesmärkide püstitamine	02.01.2021
2.	Esimene kontrollmõõtmiste läbiviimine TalTech näidis koosolekuruumis	17.01.2021
3.	Lõputöö mustandi koostamine, ristviitamine, Mendelay, vormistus korda	24.01.2021
4.	Kirjanduse ülevaade	31.01.2021
5.	Metoodika peatükk, pistelised tulemused, tehtud katse	07.02.2021
7.	5 maja õhu liikumiskiiruste ja temp pistelised mõõtmised, kirjalik analüüs	07.03.2021
10.	Näidiskontori katse ja andmed	14.03.2021
13.	Esmane variant juhendajale tagasisideks	08.04.2021
13.	Teooria, metoodika ja seniste tulemuste paranduste sisse viimine	18.04.2021
13.	Uue mõõtmise tulemuste analüüs ja tulemused	07.05.2021

13.	Kokkuvõttev analüüs ja lõplikud järeldused. Eelviimane esitamine juhendajale	09.05.2021
14.	Sissejuhatuse, kokkuvõtte, resümees kirjutamine. Vormistus	13.05.2021
14.	Viimase versiooni esitamine juhendajale.	16.05.2021
13.	Lõputöö esitamine	17.05.2021

Töö keel: Eesti **Lõputöö esitamise tähtaeg:** 17. mai 2021.a

Üliõpilane: Joonas Piirits "17" mai 2021 a

/digiallkirjastatud/

Juhendaja: Martin Kiil "17 "mai 2021 a

/digiallkirjastatud/

Konsultant: ".....".....20.....a

/allkiri/

Programmijuht: ".....".....20.....a

/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

Taltech Ehituse ja arhitektuuri instituut.....	4
EESSÕNA	8
Lühendite ja tähiste loetelu	9
1 SISSEJUHATUS.....	10
2 KIRJANDUSE ÜLEVAADE	12
2.1 Viie maja pikaajalised mõõtmised	15
3 SOOJUSLIK SISEKLIIMA	16
3.1 Sisekliima ja soojuslik mugavus.....	16
3.1.1 Sisekliima klassid	17
3.2 DR, PPD ja PMV indeks	19
3.2.1 DR ehk tõmbusindeks	19
3.2.2 PPD ja PMV indeks.....	20
3.2.3 Õhu liikumiskiiruse mõõtmine ja hindamine	23
4 METOODIKA PEATÜKK	24
4.1 Töö ülesehitus	24
4.2 Pistelise mõõtmise meetoodika	25
4.2.1 Mõõteseade	25
4.2.2 Termiline mannekeen <i>Dummy</i>	27
4.2.3 Näidiskontori ruumi kirjeldus	28
4.2.4 Näidiskontori katse olukorra kirjeldus	32
4.2.5 Näidiskontori katsemõõtmised	33
4.2.6 Näidiskontori mõtetulemuste analüüsi meetoodika	36
4.2.7 Täiendava mõõtmise ruumi kirjeldus.....	37
4.2.8 Täiendava katse olukorra kirjeldus	38
4.2.9 Täiendava katse kirjeldus	40
5 TULEMUSED JA ANALÜÜS	43
5.1 Katsed ja tulemused	43
5.1.1 Näidiskontori olukord ning lõikekatse tulemused	44
5.1.2 Näidiskontori <i>Dummyde</i> vaheline katse	46
5.1.3 Näidiskontori töökohtade katse tulemused.....	48
5.1.4 Täiendava mõõtmise tulemused	52
5.2 Saadud tulemuste analüüs võrreldes varasemate tulemustega	55
5.2.1 Viie hoone pistelised mõõtmised.....	55
5.2.2 Tulemuste võrdlus ning ettepanekud	57
KOKKUVÕTE	60
SUMMARY.....	62

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	64
LISAD	67

EESSÕNA

Igapäevaselt pööratakse tähelepanu aina rohkem kontoris töötavate inimeste tööviljakusele ning selle tõstmisele. Olulise osa sellest moodustab kontori sisekliima ning sellest omakorda inimeste soojuslik mugavus. Et seda tagada, on oluline mõista, mis kontorites sisekliima osas toimub, kus inimesed ei tunne ennast mugavalt. Sellest tulenevalt kulmineerus ka antud lõputöö teema, mille sõnastamisel ning suunamisel oli abiks juhendaja doktorant Martin Kiil.

Töö raames viidi läbi mõõtmised Tallinna Tehnikaülikooli kahes ruumis, kus püüti jäljendada tänapäevase kontori olukorda. Antud ruumid olid varustatud kahte eri tüüpi jahutussüsteemidega, mis võimaldas teostada võrdluse tänapäeval levinud lahenduste vahel. Autori poolt saadud mõõtmistulemusi analüüsiti kehtivate normide põhjal ning samuti võrreldi varasemates lõputöödes tehtud mõõtmistega viies erinevas kaasaegses kontorihoones.

Autor soovib tänada Tallinna Tehnikaülikooli ning juhendajat igakülgse abi ning võimaluste eest antud lõputöö koostamisel. Tulemuste visualiseerimisega aitas doktorant Karl-Villem Võsa, kasutades programmeerimiskeeles *Python* tarkvarateeke *SciPy* ja *matplotlib*.

Lühendite ja tähiste loetelu

- DR – (*draught rate*) tuuletõmbusest häiritud inimeste protsent, tõmbusindeks (%);
- EN – Euroopa standard;
- EVS-EN – Eesti Vabariigi standard, baseerub Euroopa standardil
- ISO – Rahvusvaheline Standardiorganisatsioon (*International Organization for Standardization*)
- KVJ – küte, ventilatsioon ja jahutus
- CO₂ – Süsihappegaas ehk süsinikdioksiid
- Clo – riietuse soojustakistus
- PMV – (*predicted mean vote*) prognoositud keskmine hinnang
- PPD – (*predicted percentage of dissatisfied*) prognoositud rahulolematute protsent
- RH – (*relative air humidity %*) suhteline õhuniiskus
- Dummy* – termiline mannekeen
- Met* – ainevahetuse kiirus
- SD – õhukiiruse standardhälve
- t_a – õhutemperatuur (°C)
- t_o – operatiivne temperatuur (°C)
- Fancoil* – Puhurkonvektor

1 SISSEJUHATUS

Igapäevane heaolu ning mugavustunne erinevates keskkondades on oluline elukvaliteedi, kuid samuti ka töö kvaliteedi juures, mida igapäevaselt teeme. Selle saavutamiseks üritab iga inimene luua keskkonda, kus ta tunneb ennast kõige paremini. Igapäevasel töökohal on oluline, et suur osa on inimese jaoks juba tehtud ja inimene ei pea kulutama aega endale mugavama sisekliima loomise peale. Siinkohal tuleb mängu kontori ja büroohoonete sisekliima, sest väga suure osa kontoritöötaja päevast möödub just kontoris. Kontorite sisekliima parandamiseks on loodud erinevaid juhendmaterjale ning standardeid, mis on abiks hoonete projekteerimisel. Samas on oluline ka vastavaid standardeid ja juhendmaterjale edasi arendada, uurides juba valmis ehitatud hooneid.

Antud lõputöös keskendub autor kaasaegse avatud kontori soojusliku mugavuse mõõtmisele ning hindamisele. Olulist rõhku pannakse tõmbuse ning õhu liikumiskiiruste hindamisele, mis avaldub istuva asendiga kontoritöötajal kaela piirkonnas. Töös viiakse läbi mõõtmisi Tallinna Tehnikaülikooli ruumides, kus simuleeritakse avatud näidiskontorit [1]. Ruum on varustatud kaasaegse reguleerimise automaatikaga ning sisekliima tagamiseks on ruumi paigaldatud radiaatorid ja aktiivjahutuspalgid [1]. Kontoris töötavate inimeste simuleerimiseks kasutatakse termilisi mannekeene *Dummysid*, mis simuleerivad inimese mõju ruumi keskkonnale. Mõõtmisteks kasutatakse kaasaegset Dantec Dynamics mõõteseadet koos sülearvuti ning vajaliku tarkvaraga Comfosense [2].

Lisaks aktiivjahutuspalkidega varustatud ruumile viiakse mõõtmisi läbi ka *fancoil* seadmetega arvutiklassis, kus hinnatakse taaskord ruumis toimuvat kogu ruumi lõikes [1]. Antud mõõtmisel kasutatakse samu mõõteseadmeid ja sarnast metoodikat nagu eelnevalt kirjeldatud katses. Erinevusena võib välja tuua järgmise: katses ei kasutata täiendavas mõõtmises *Dummysid*. Tehtud mõõtmiste tulemustega saab ülevaate *fancoilide* ning aktiivjahutuspalkide sobivusest ruumi kasutusotstarbega.

Sarnaseid mõõtmisi on läbi viidud ka varasemates lõputöödes, kus on mõõdetud sisekliima parameetreid soojusliku mugavuse uurimise eesmärgil [3][4]. Peamiseks erinevuseks varasemate töödega on antud lõputöös uuritud mõõteperioodi 10 minutit, mis on hetkel kasutusel oleva metoodika kolmest minutist pikem. Samuti hinnati *Dummyde* mõju mõõtmisele ning mõõdeti ruumis toimuvat kogu ruumi lõikes, millest

hiljem loodi visuaalne pilt, mis annab hea ülevaate ruumi õhu liikumiskiiruste ja temperatuuride kohta. Visuaalne pilt ruumis toimuvast loodi ka *fancoil* seadmetega arvutiklassi kohta, mis annab hea võimaluse kõrvutada kahe erineva süsteemiga ruumide visuaalse ülevaate kogu ruumi lõikes. Saadud võrdluses hinnati kahe süsteemi erinevust õhu liikumiskiiruste jõudmises viibimistsooni ning ohtu tõmbuse tekkeks.

Lõputöö analüüsi osas võrreldakse saadud tulemusi varasemates lõputöödes mõõdetud viie kaasaegse büroo pisteliste mõõtmiste väärtustega. Analüüsi tulemusena soovib autor mõista soojusliku mugavuse hindamise juurde kuuluvaid kitsaskohti, ning nende parendamiseks neile tähelepanu juhtida. Samuti soovib autor välja selgitada pikema mõõteperioodi mõju mõõte tulemustele. Lisaks on eesmärgiks tuua välja omapoolseid ettepanekuid kitsaskohtade parendamiseks ning püstitada küsimusi, mis antud temaatikas vajaks edasist uurimist ning analüüsi.

2 KIRJANDUSE ÜLEVAADE

Aina rohkem töötavad inimesed igapäevaselt kontoris, mistõttu omab kontorite sisekliima ning inimeste soojuslik mugavus oma töökohal olulist rolli. Sellekohaseid uuringuid on tehtud juba mõnda aega, millest üks on O. A. Seppänen'i ja W. Fisk'i poolt tehtud uuring [5].

Kogu tänapäevasele sisekliima ja soojusliku mugavuse mõistele on aluse pannud Povl Ole Fanger, keda hellitavalt kutsutakse ka sisekliima vanaisaks. Oma elu jooksul andis ta välja arvukalt materjale soojusliku mugavuse ja siseõhu kvaliteedi kohta, milles selgitatud aluseid kasutatakse tänase päevani [6]. Fangeri poolt 1970. aastal välja antud soojusliku mugavuse materjalid oli esmakordselt kirjeldatud ka PMV ja PPD indeksid, mida tänapäeval kasutatakse peamiste parameetritena soojusliku mugavuse kirjeldamisel [7]. Viimasel ajal on jõutud aga selleni, et varasemalt Fangeri poolt kirjeldatud ainevahetuse kiiruse (*met*) väärtused käivad meeste kohta ning vastavad väärtused võivad naiste puhul veidi erineda [8].

Oma esimestes uuringutes 1970. aastatel kritiseeris Fanger senist lähenemist, kus kasutati ühte kehalise aktiivsuse väärtust, ühte sorti riietust, õhutemperatuuri ja operatiivse temperatuurina sama väärtust ega arvestatud õhu liikumiskiiruseid. Alternatiivina pakkus ta välja uued meetodid, mis käsitlesid katselisi mõõtmisi rohkemate parameetritega grupi inimeste peal. Pärast mitmeid uuringuid ning väljaandeid jõutigi üldiste PMV ja PPD indeksiteni mida hilisemates katsetes täiendati, kasutades täpsemaid parameetreid ning erinevaid olukordi [6].

Järgmisel kümnendil võeti kasutusele *Dummyd*, mis aitasid läbi viia täpsemaid arvutusi rahulolematute osakaalust, kuna inimesed muutsid enda asendit vastavalt olukorrale. *Dummyde* puhul seda ei toimunud ning seega sai olukorda matemaatiliselt hinnata. Samuti jõuti tuuletõmbusest häiritud inimeste protsendi tõmbusindeksini (DR) mis kirjeldas tõmbust ning õhuvoolude turbulentsust [6]. Kuna ehitussektor ning sisekliimat tagavad süsteemid arenesid, viidi katseid ja uuringuid läbi kasutades erinevaid tehnosüsteeme ning jõuti ka soojusliku sisekliima standardi ISO 7730 loomiseni [9]. Lisaks keskenduti ka õhu kvaliteedile ning selle mõju hindamisele inimese produktiivsuses [6].

Fangeri peamine eesmärk oli luua väärtused, millele tuginedes saavad insenerid luua hoonetesse sisekliima, kus võimalikult suur osa inimestest tunneks ennast soojuslikult mugavalt. Tänu sellele on PMV ja PPD indeks aluseks paljudele tänapäeva standarditele ja uuringutele, kus kasutatakse neid uutes olukordades paremate lahenduste välja töötamiseks [10][11]. Kuna tänapäeval pannakse suurt rõhku inimeste igapäevasele produktiivsusele, siis Fangeri tehtud järeldustele ning mõõtmistele tuginedes uuritakse ja täiendatakse seni püsima jäänud probleeme[6]. Sisekliima mõju tööviljakusele on uuritud ka Eestis, kus käsitleti büroode kõrval ka koolimajasid [12].

Võib järeldada, et suurimad mõjutajad soojusliku mugavuse ning hea sisekliima juures on õhu liikumiskiirus, ruumi õhutemperatuur ning suhteline niiskus. Tänapäevastes avatud kontorites on keeruline saavutada sisekliimat, mis kõigile töötajatele sobiks, eriti kui kontorid on suured ning seal töötab palju inimesi. Vastava olukorra kaardistamiseks on viidud läbi uuringuid ka Eestis olevates büroodes [13]. Samuti on loodud juhendmaterjale hea sisekliimaga hoonete projekterimiseks, mis aitavad büroode projekteerimisel toetuda väärtustele, mille saavutamisel suudame tagada ka hea sisekliima [14].

Sisekliima ja soojusliku mugavuse mõõtmiseks ning analüüsiks on oluline mõista hinnatavate parameetrite teoreetilist tausta. Aja jooksul on välja töötatud parameetrid, mille abil on võimalik mõista ruumis toimuvat ning kirjeldada, kuidas ja mida inimesed tunnevad. Lisaks eelnevalt välja toodud standarditele[15] on lõputöös kasutatud REHVA juhendmaterjale [16][17] ning samuti 2019. aastal ilmunud India sisekeskkonna kvaliteedi standardi uuendust [18].

Antud lõputöös on võrreldud viie hoone katseliselt mõõdetud sisekliima väärtusi, mille puhul lähtuti tehtud uuringust [19] ja lõputöödest [3][4][4]. Peamine vahe hetkel kehtival standardil [9] ning antud uuringus käsitletul seisneb mõõteperioodi pikkuses, millest lähtudes tuvastatakse hiljem keskmised väärtused. Vastavalt standarditele ISO 7730 [9] ja ISO 7726 [20] on mõõteperioodiks 3 min, mis autori arvates võib ruumide puhul, mis on palju mõjutatud väliskliimast, anda ebapiisava ülevaate. Iseseisvalt läbiviidud katsetel kasutati vastavalt standardile EN 14240 [21] konstrueeritud *Dummysid*. Võrdluste puhul lähtutakse samuti ka hetkel Eestis kehtivatest standarditest EVS-EN 16798-1:2019 [10] ja määrustest mis määratlevad hoonete energiatõhususe miinimumnõuded ja meetodika selle arvutamiseks [22][23].

Lõputöö tulemusteni jõudmiseks on autor kasutanud võrdluseks varasemate lõputööde [3][4] ja artikli [11] koostamise raames saadud mõõtetulemusi, mida autor on

analüüsinud, tuginedes EVS 16798-1:2019/NA:2019 toodud normatiividele. Peale selle on eelnevad mõõtmised ning järeldused andnud võimaluse läheneda olukorrale läbi teise spektri ning andnud võimaluse lõputöös tehtud mõõtmiste puhul eelnevaid tulemusi arvesse võtta. Kuna eelnevalt mainitud lõputööd on olulisel määral käsitletud ka õhutemperatuuri, siis seisneb käesoleva töö fookus õhu liikumiskiirustes. Samuti ilmneb käesoleva töö erinevus mõõtmiste ajaperioodis.

Õhu liikumiskiiruste mõõtmisi on läbi viinud ka Tallinna Tehnikaülikooli ehituse ja arhitektuuri instituudi liginullenergiahoonete uurimiserühm. Olgugi et nende mõõdetud keskkondade asukohta ja ettevõtteid ei saa käesoleva lõputöö mahus avalikustada, annavad nimetatud raportid ülevaate reaalses olukorras tehtud mõõtmistest, kus on probleemiks tõmbus [24][25]. Nimelt hinnatakse temperatuuride ja õhuniiskuse mõõtmisega pigem üldiselt keha soojuslikku mugavust, kuid tõmbuse DR väärtus näitab just peamiselt kaela piirkonnas tuntavat ebamugavust [16]. Seega on oluline suunata mõõtmiste puhul fookus sellele, mille üle inimesed peamiselt kurdavad. Hea näide sellest ongi uurimiserühma poolt läbiviidud raport, kus oli fookus pigem külmadest õhuvooludest tingitud ebamugavusel [25].

Mõlema juhtumi puhul oli tegemist väga spetsiifilise ruumi kuju ja -otstarbega, mida ei suudetud parimal viisil ei projekteerimisel ega ehitamisel arvesse võtta. Esimese juhtumi [24] puhul oli tulemuseks olukord, kus *fancoilide* õhujoad puhusid statsionaarsetele töökohtade peale, kuid ruumi kasutusotstarbest tulenevalt töökohtade asukohtasid ei saanud muuta. Parendusettepanekuna koostati muudatusprojekti ettepanek ventilatsiooni- ja jahutussüsteemi lahenduse osas. Teisel juhul [25] oli kaebuste peamiseks põhjuseks talvine olukord, kus tekkisid õhuvoolud mis olid tingitud ruumi kõrguses ja mis tekitasid inimestes ebamugavust. Parendusettepanekut ei koostatud, kuna tellija ja ehitaja vahelises lepingus oli lubatud õhu liikumiskiiruse piiriks seatud 0,25 m/s, aga vaatamata võrdlemisi suurtele mõõdetud õhu liikumiskiirustele, mis selgelt ebamugavust tekitasid, jäid mõõdetud keskmised tulemused alla lepingulise väärtuse.

2.1 Viie maja pikaajalised mõõtmised

Autori läbiviidud katse võrdluseks on kasutatud viie varasemalt uuritud Tallinnas asuva büroohoone sisekliima mõõtmiste tulemusi. Kasutatud pisteliste mõõtmiste tulemused on vormistatud ja esitatud juba varasemalt esitatud lõputöodes [3][4][26] ning teadusartiklis[11], kuid lähtudes EVS 16798-1:2019/NA:2019 [15]toodud normatiividest. Täpsemalt mõõtmiste metoodika ja olukorra kirjelduse kohta saab lugeda 2020. aasa jaanuaris avaldatud artiklis, kus käsitleti viie hoone soojuslikku mugavust suvisel perioodil[11].

Eelnevalt mainitud töodes mõõdeti neljas hoones viiest I ja II klassi sisekliima tulemusi, mida peeti sisekliima küsitluse tulemuste põhjal ebamugavaks suure hulga töötajate seas. Hulk küsitletutest olid vähem või rohkem rahul veidi jahedama siseõhu temperatuuriga. Töodes on viidatud ka, et läbi viidud küsitluses pole täpsemalt küsitud tõmbuse kohta, mis mängib heas sisekliimas olulist rolli. Läbi viidud mõõtmistulemused näitasid, et tänapäevaste sisekliima tagamise süsteemidega ei ole alati võimalik tagada soovitud sisekliima klasse. Tulemustes tuleb välja, et ripplakke paigaldatud aktiivjahutuslagedega hoones, tõrjuva õhuvahetuse ja termoaktiveeritud vahelagedega ning *fancoilidega* varustatud hoones jäid tulemused olulises mahus III sisekliima klassi. Mõnevõrra paremad tulemused mõõdeti avatud laega paigaldatud aktiivjahutuslagedega ning kiirguspaneelidega hoones, kus saadi I sisekliima klassi tulemused. Mõõdetud aktiivjahutuslagede tulemused viitasid sellele, et nende valikuks on oluline inseneri vilumus ning kogemus.

Lisaks toodi välja, et hetkel olemas olevates standardites ning juhendmaterjalides ei ole kohati piisavalt detailselt kirjeldatud, kuidas õhu liikumiskiirusi ning sisekliima küsitlusi läbi viia. Oluliseks küsimuseks on see, kuidas määrata tõmbuse mõõtmiseks asukoht ruumis ning aeg. Käsitletud artikli lõpus väitis autor, et tänapäevaste avatud kontorite puhul on tegemist väga nõudlike keskkondadega, kus soojusliku mugavuse tagamiseks on väga oluline täpselt läbi mõelda neid ruume teenindavad sisekliima tagamise süsteemid [11].

3 SOOJUSLIK SISEKLIIMA

Tänapäevaste kontorihoonete ehitamisel ja projekteerimisel soovitakse peale ilusa välimuse ka head sisekliimat nii tulevasele hoonele kui ka värskelt renoveeritud hoonele. Hea sisekliima määratleb peamiselt seda, kui hea on tulevikus hoone kasutajatel hoones olla. Uuringud[12] on näidanud, et halva sisekliimaga hoonetel võib olla nii lühike kui ka pikaajaline mõju inimese tervisele. Liiga madal värskel õhu hulk ja selle saastatus võib viia tervise probleemideni nagu astma, peavalud ning teised respiratoorsed haigused. Samuti mõjutab meie enesetunnet ja stressitaset ümbritsev müra ja ebapiisav valgus. Kõrge stressitasemega inimene on palju vastuvõtavam erinevatele haigustele ja unetusele, mis pärsib tugevalt meie igapäevast elu [18].

Eelnevast tulenevalt pannakse rõhku heale sisekliimale, mille saavutamine võib osutuda arvatust keerulisemaks. Sisekliima hindamiseks on mitmeid parameetreid, kuid antud töös keskendub autor ainult järgnevatele. Sisekliima hindamiseks on võetud kasutusele prognoositud keskmine hinnang ja prognoositud rahulolematute protsendi (PMV ja PPD) indeksid, mis aitavad kategoriseerida seda, kuidas inimesed hoone sisekliimat tunnetavad. Samuti on oluline osa ka tõmbusindeksil DR, mis näitab, kui suure osa inimeste arvates on tunda tuuletõmbust. Järgnevas peatükis käsitleb autor soojusliku sisekliima kategoriseerimiseks kasutatavaid indekseid ning tuvastab, kuidas neid hinnata ja nendeni jõuda.

3.1 Sisekliima ja soojuslik mugavus

Soojuslik mugavus on seisund, kus inimene on rahul teda ümbritseva keskkonnaga. Seda võib nimetada ka soojuslikuks neutraalsuseks, mille puhul inimene ei soovi, et teda ümbritsev keskkond oleks soojem või jahedam. Siinkohal ei pruugi aga neutraalsus olla parim lahendus soojusliku mugavuse saavutamiseks. Teatavasti inimesed

tunnetavad end ümbritsevat erinevalt. Osa inimesi tunneb ennast mugavamalt veidi jahedamas ning samas teised jällegi soojemas keskkonnas [16].

Uuringud on näidanud, et kui panna grupp inimesi sama sisekliimaga ruumi, siis on alati umbes 5% inimesi, kes ei olnud sealse sisekliimaga rahul [16]. Sellest tulenevalt liigutaksegi taaskord tagasi selle poole, et muuta kontoreid väiksemateks osadeks, kus oleks võimalik sisekliimat kujundada väiksema grupi inimeste järgi. Kõige parem on luua inimesele tema enda tsoon või ruum, kus ta saab ise valida endale sobiva õhutemperatuuri, mis tema arvates tekitab talle soojusliku mugavuse [16]. Luues väiksemaid kontoriosasid, võime kaotada olulist kontori pindala, võrreldes avatud kontoriga. Sellest tulenevalt on endiselt levinud ka avatud kontorid.

Selleks, et sisekliimat ja soojuslikku mugavust tagada, on vaja hooned juba projekteerimise faasis kavandada vastavalt sisekliima nõuetele. Selleks on loodud erinevad standardid ning juhendmaterjalid, kus on välja toodud väärtused, millest projekteerimisel lähtuda. Standardina võib välja tuua hetkel kehtiva EVS-EN 16798-1:2019 Eesti rahvusliku lisa, mis käsitleb erinevaid lähteandmeid ning mida kasutatakse hea sisekliima ja energiatõhusate hoonete projekteerimiseks [15]. Vastav juhendmaterjal on koostatud koostöös Tallinna Tehnikaülikooli teadlaste ja Riigi Kinnisvara AS-i madal ja liginullenergia hoonete kohta, milles on palju näiteid ning soovitusi, kuidas varajases projekti faasis on võimalik olukorda hinnata [14].

3.1.1 Sisekliima klassid

Eelnevalt mainitud standardis EVS-EN 16798-1:2019/NA:2019 on välja toodud sisekliima parameetrid, mis on omakorda jagatud nelja sisekliima klassi. Sisekliima klasside jaotusel on silmas peetud inimeste ootusi ja nõudmisi sisekliimale. Sellest lähtuvalt on klassid moodustatud järgnevalt: I klass moodustub inimestest, kellel on kõrged ootused, II klass inimestest, kellel on keskpärased ootused, III klass inimestest, kellel on madalad ootused, ja IV klass inimestest, kellel on väga madalad ootused [15]. Erinevalt eelnevalt viidatud standardi rahvuslikule lisale on rahvusvahelises standardis EN 16798-1:2019 kirjeldatud väärtused kõigil neljal klassil [10].

Tabel 3.1.1 on välja toodud soovituslikud PPD ja PMV nõuded köetavate ja jahutatavate kontorite projekteerimiseks. Täpsem ülevaade PPD ja PMV tähendusest ning sellest, kuidas antud väärtused tekivad, leiab antud lõputöö peatükist 3.2.

Tabel 3.1.1 PPD ja PMV nõuded [10]

Hoone/Ruum	Sisekliima klass	PPD %	PMV
Kontorid ja sarnase tegevusega ruumid, umbes 1,2 met	I	< 6	-0,2 < PMV < +0,2
	II	< 10	-0,5 < PMV < +0,5
	III	< 15	-0,7 < PMV < +0,7
	IV		

Tabel 3.1.2 on välja toodud õhu liikumiskiiruse nõuded suvel ja talvel, ning samuti ka tõmbusindeksi (DR) jagunemine sisekliima klassidesse. Tabelis kirjeldatud suvised maksimaalsed õhu kiirused on mõeldud aktiivse jahutuse olukorraks. Standardis on eraldi välja toodud ka ilma aktiivse jahutusega olukorra väärtused. Täpsem ülevaade tõmbusindeksi (DR) leidmise kohta on antud lõputöö peatükis 3.2

Tabel 3.1.2 Õhu liikumiskiiruse nõuded [15]

Hoone/Ruum	Sisekliima klass	DR	Maksimaalne õhu kiirus talvel ja suvel (m/s)	
Kontorid ja sarnase tegevusega ruumid, umbes 1,2 met	I	15	0,14	0,19 ^a /0,16 ^b
	II	20	0,16	0,25 ^a /0,19 ^b
	III	30		
	IV			

^a Suurim lubatud õhu liikumiskiirus jahutusperioodil aktiivse jahutamise korral.

^b Suurim lubatud õhu liikumiskiirus jahutusperioodil aktiivse jahutamise puudumisel.

Tabel 3.1.3 on välja toodud operatiivse temperatuuri ja siseõhu temperatuuri väärtused talvisel ja suvisel perioodil. Samuti on tabelist näha, kuidas jagunevad temperatuurid nelja sisekliima klassi, millest kolme on võimalik hinnata piirväärtuse järgi.

Tabel 3.1.3 Operatiivse ja siseõhu temperatuuri nõuded [10]

Hoone/Ruum	Sisekliima klass	Operatiivne temp.		Siseõhu temp.	
		Minimaalne talvel °C	Maksimaalne suvel °C	Temp. Vahemik talvel °C	Temp. Vahemik suvel °C
Kontorid ja sarnase tegevusega ruumid, umbes 1,2 met	I	21	25,5	21-23	23,5-25,5
	II	20	26	20-24	23-26
	III	19	27	19-25	22-27
	IV				

Kuna tabelis on kirjeldatud ainult suvine ja talvine periood, siis nende vahele jäävat üleminekuperioodi on keeruline kategoriseerida. Seega on paika pandud [15], et talveperioodiks ehk kütteperioodiks loetakse aega, mil välistemperatuur on <12°C. Suve perioodiks ehk jahutusperioodiks loetakse aega, mil välistemperatuur on >17°C.

3.2 DR, PPD ja PMV indeks

3.2.1 DR ehk tõmbusindeks

Ruumi sisekliimas mängib suurt rolli sisekliimat tagavate süsteemide põhjustatav õhu liikumiskiirus. Selle kaardistamiseks on võetud kasutusele DR (Draught rate) indeks, mis näitab tõmbusest tulenevat ebamugavust tunnetavate inimeste protsenti [9]. Antud indeksi väärtuse leidmiseks on kasutusel Valem 1:

$$DR = (34 - t_{a,l})(\bar{v}_{a,l} - 0,05)^{0,62}(0,37 * \bar{v}_{a,l} * Tu + 3,14) \quad (1)$$

Kui $\bar{v}_{a,l} < 0,05$ m/s, kasuta $\bar{v}_{a,l} = 0,05$ m/s

Kui $DR > 100\%$, kasuta $DR = 100\%$

kus:

- $t_{a,I}$ on lokaalne õhutemperatuur, vahemikus 20°C – 26°C;
- $\bar{v}_{a,I}$ on tuntav lokaalne õhu liikumiskiirus, <0,5 m/s;
- Tu on lokaalne turbulentsi intensiivsus protsentides 10% - 60% (kui pole teada, siis kasutada 40%).

Turbulentsi intensiivsusprotsendi välja arvutamiseks on kasutusel Valem 2 [20]:

$$Tu = 100 * \frac{SD}{v_a} \quad (2)$$

kus:

- SD on õhu liikumisekiiruse standardhälve (m/s);
- v_a on ruumi keskmine õhu liikumiskiirus (m/s).

Tõmbusindeks on täpsemalt kirjeldatud standardis ISO 7730:2005, kus on ka öeldud, et antud indeks on mõõdetav kaela piirkonnas [9]. Selle põhjuseks on see, et käte ja jalgade piirkonnas ei tunne inimene tõmbust piisavalt ning sellest tulenevalt võib antud valem anda valed väärtused. Samuti on oluline jälgida seda, et tõmbusindeksi määramisel on inimene istuvas asendis ja liigub pigem vähe. See tagab meile keha neutraalse soojustunnetuse, kuna liikuv ja aktiivne inimene tunnetab tõmbust oluliselt vähem.

3.2.2 PPD ja PMV indeks

Selleks et hinnata kontori või mõne ruumi sisekliimat, on meil vaja igapäevaselt ruumis viibijate hinnangut sisekliimale või tuleb need arvutada matemaatiliselt. Arvutuse puhul ei piisa pelgalt temperatuuri arvestamisest, vaid oluline on hinnata ka õhu liikumiskiirust, operatiivset temperatuuri, inimeste riietust ning inimeste aktiivsust. Selleks on välja töötatud kaks indeksit mis annavad infot prognoositava keskmise rahulolematute protsendi (PPD – *Predicted percentage dissatisfied*) osas ning samuti soojusliku tunnetuse (PMV – *Predicted mean vote*) kohta [9].

Üks võimalus PMV indeksi määramiseks on viia läbi küsitlus suure grupi inimeste seas, kus küsitletavad annavad hinnangu sisekliima kohta, kasutades selleks seitsme kriteeriumiga skaalat. Kriteeriumite täpsem kirjeldus on toodud alljärgnevas Tabel

3.2.1. Mainitud tabelit antud lõputöö raames ei kasutatud, kuid kuna tegemist on olulise vahendiga on ta teooria osas mainitud.

Tabel 3.2.1 Seitsme punktiline soojusliku tunnetuse hindamise tabel [9]

Tunnetus	Hinnang
Kuum (Hot)	3
Soe (Warm)	2
Kergelt soe (Slightly warm)	1
Neutraalne (Neutral)	0
Kergelt jahe (Slightly cool)	-1
Jahe (Cool)	-2
Külm (Cold)	-3

PMV indeksi arvutamiseks on kasutusel Valemid 3 kuni 6, mida kasutati ka käesoleva lõputöö tulemuste saamisel ning analüüsil [9].

$$PMV = [0,303 * \exp(-0,036 * M) + 0,028] * \left\{ \begin{array}{l} (M - W) - 3,05 * 10^{-3} * [5733 - 6,99 * (M - W) - p_a] - 0,42 * [(M - W) - 58,15] \\ -1,7 * 10^{-5} * M * (5867 - p_a) - 0,0014 * M * (34 - t_a) \\ -3,96 * 10^{-8} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a) \end{array} \right. \quad (3)$$

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 * (M - W) - I_{cl} * \{3,96 * 10^{-8} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a)\} \quad (4)$$

$$h_c = \begin{cases} 2,38 * |t_{cl} - t_a|^{0,25} & \text{for } 2,38 * |t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1 * \sqrt{v_{ar}} \\ 12,1 * \sqrt{v_{ar}} & \text{for } 2,38 * |t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1 * \sqrt{v_{ar}} \end{cases} \quad (5)$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290I_{cl} & \text{for } I_{cl} \leq 0,078m^2 * K/W \\ 1,05 + 0,645I_{cl} & \text{for } I_{cl} > 0,078m^2 * K/W \end{cases} \quad (6)$$

kus:

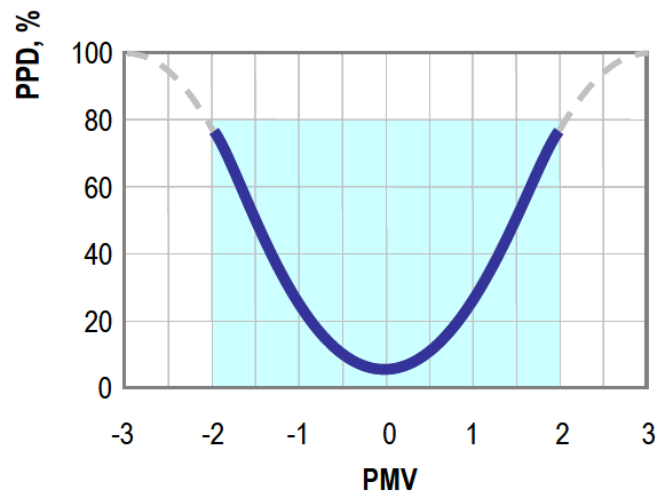
- M on metabolismi väärtus (W/m²);
- W on kasulik mehaaniline energia (W/m²);
- I_{cl} on riietuse isolatsioon (m² * K/W);
- f_{cl} on riietuse pindala osakaal;
- t_a on õhutemperatuur (°C);
- \bar{t}_r on tuntav kiirgustemperatuur (°C);
- v_{ar} on suhteline õhu liikumiskiirus (m/s);
- p_a on veeauru osarõhk Paskalites (Pa);
- h_c on konvektiivne soojusülekanne [W/(m² * K)];
- t_{cl} on rõivaste pinnatemperatuur (°C).

Saadud PMV väärtuste põhjal saame ülevaate suure grupi inimeste arvamusest keskkonna kohta. Seejuures peame võtma arvesse, et iga inimene tunnetab ennast ümbritsevat erinevalt ja PMV neutraalne tulemus ei tähenda, et ruumis olev sisekliima pakub kõigile maksimaalset mugavust. Alati on inimesi, kes ei tunne end keskkonnas täiesti mugavalt. Siin võetakse appi PPD indeks, mis võimaldab määrata rahulolematute protsendi nendest, kelle jaoks ei ole neid ümbritsev keskkond neutraalne. Tegemist on grupi inimestega, kes PMV küsimustikus valib vastuseks ühe kuuest väärtusest peale neutraalse ehk null [27].

Selleks, et saada teada protsentuaalne hulk inimestest, kes ei pidanud ruumis olevat sisekliimat neutraalseks, vaid pidas ruumi temperatuuri liiga soojaks või külmaks, kasutame saadud PMV tulemusi Valemis 7.

$$PPD = 100 - 95 * \exp(-0,03353 * PMV^4 - 0,2179 * PMV^2) \quad (7)$$

Samuti on teada, et ei ole võimalik saavutada täielikku rahulolu sisekliima küsimuses. Antud olukord on kujutatud Joonis 3.2.1, kus on näha, et leidub alati väike hulk inimesi, kes ei ole ruumi sisekliimaga täielikult rahul. Täpsemini on näha, et 10% inimestest ei ole rahul sisekliimaga vahemikus $-0,5 < PMV < 0,5$ [16].



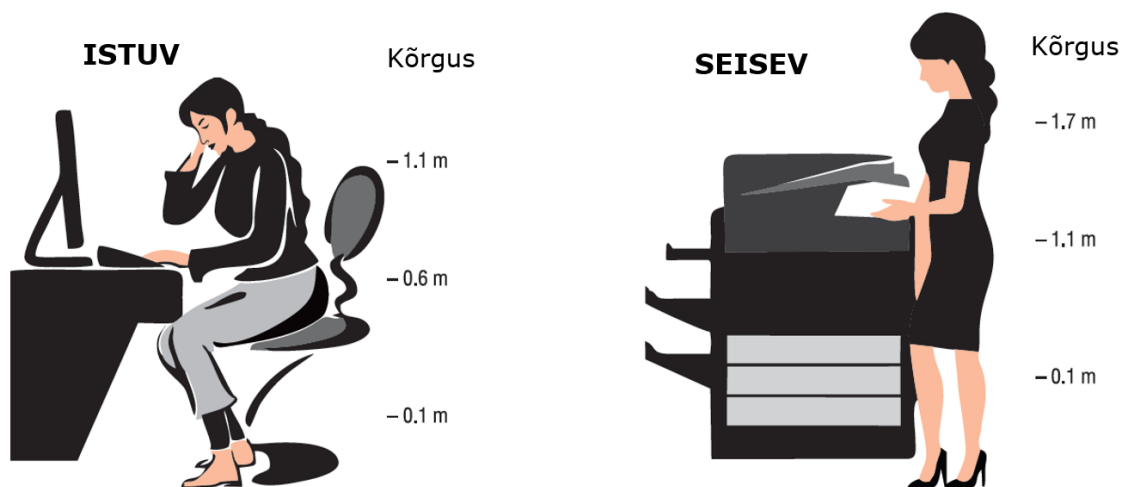
Joonis 3.2.1 Ennustatav rahulolematute protsent (PPD) sõltuvuses soojuslikust tunnetusest (PMV)

Siinkohal peab meelde tuletama, et PMV ja PPD indeksid käsitlevad ebamugavust terve keha mõistes. Lisaks on alati vaja silmas pidada ka eelnevalt käsitletud DR indeksit mis hindab ebamugavust ühele kindlale kehaosale, täpsemini peamiselt kaela piirkonnale.

3.2.3 Õhu liikumiskiiruse mõõtmine ja hindamine

Õhu liikumiskiiruse mõõtmiseks erinevates ruumides ja viibimistsoonides on kasutusel meetodika, mis on kirjeldatud erinevates standardites ja juhendmaterjalides. Standardis ISO 7726 [20] on kirjeldatud, millised peavad olema mõõteseadme mõõtevahemikud ning mis kriteeriumitele need peavad vastama. Samuti on kirjeldatud soojusliku mugavuse mõõtmiste meetodikat ISHRAE-10001:2019 standardis [18].

Mõõtmiste läbiviimisel on oluline välja selgitada, millised on ruumi kõige kriitilisemad tsoonid. Tavaliselt on nendeks töökohad, mis asuvad akende läheduses, ventilatsiooni, kütte ja jahutusseadmete läheduses ning nurkades ja välisuste lähedal. Õhu liikumiskiiruse ja õhutamise mõõtmisel tuleb valida mõõtekõrgusteks 0.1 m, 0.6 m ja 1.1 m põrandapinnast, mis imiteerib istuva inimese asendit [18]. Seisva inimese asendi [18] mõõtmiseks tuleb mõõteseadmed asetada 0.1 m, 1.1 m ja 1.7 m kõrgusele põrandapinnast. Vastavad mõõtekõrgused on välja toodud ka Joonis 3.2.2, kus on näha, et kõige tundlikum ehk kaela piirkond on istuvas asendis 1.1 m kõrgusel.



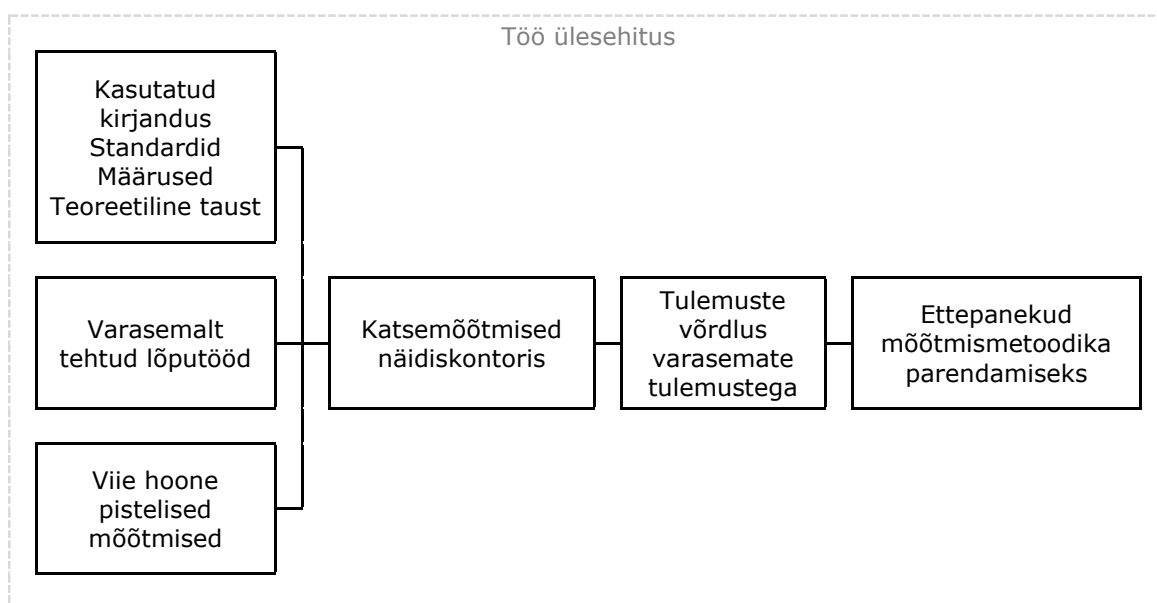
Joonis 3.2.2 Soojusliku mugavuse mõõtekõrgus istuvas tööasendis (vasakul) ja seisvas tööasendis (paremal) [18]

Õhu liikumiskiiruse mõõtmine peaks toimuma mitte vähem kui 1 minuti vältel ja mitte rohkem kui 3 minutit vältel [18]. Selleks et tagada mõõtmiste usaldusväärsus, on oluline jätta mõõtepositsioonide vahetamise vahele piisav paus, et mõõteseadme ümberpaigutamisel tekkinud õhuliikumine ei mõjutaks mõõtmistulemusi. Samuti on oluline mõõtmiste ajal silmas pidada kindla katse meetodikat ning vältida üleliigset liikumist ruumis, kui meetodika seda ette ei näe.

4 METOODIKA PEATÜKK

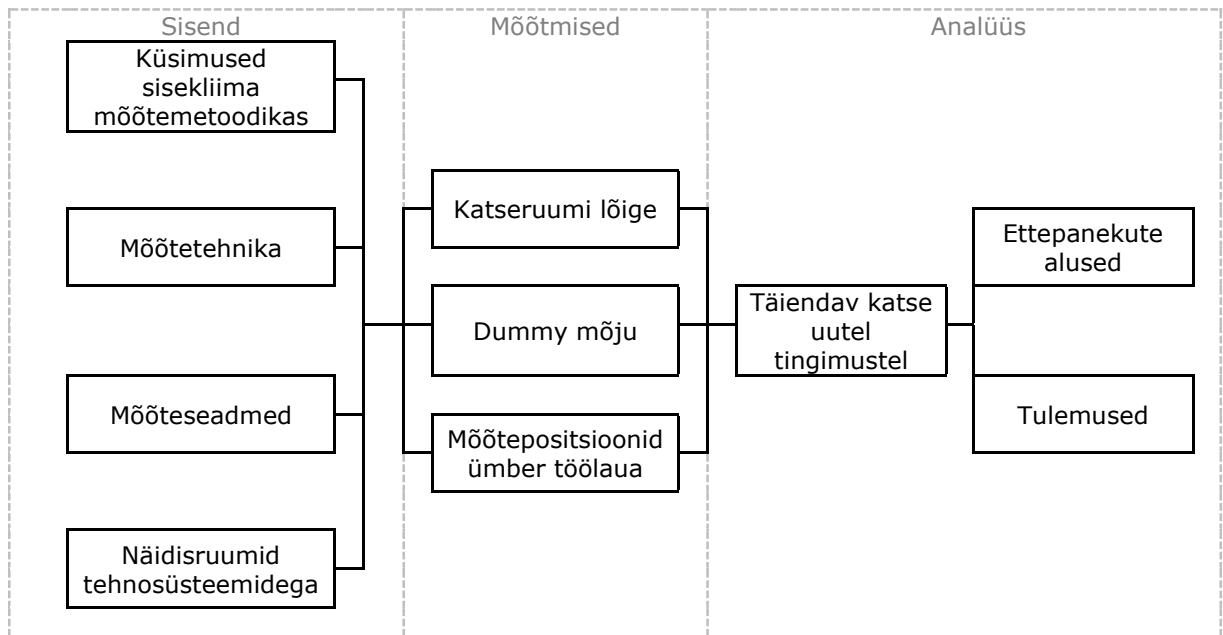
4.1 Töö ülesehitus

Järgnevas peatükis käsitleb autor lõputöö metoodilist poolt. Töö üldine ülesehitus on kirjeldatud plokk skeemil Joonis 4.1.1



Joonis 4.1.1 Lõputöö plokk skeem

Töö ülesehituse esimese osana on kirjeldatud kogu temaatika teoreetilist osa, kuhu kuuluvad erinevad standardid, määrused ja teoreetiline taustinfo. Lisaks on olulisel kohal juba tehtud lõputööd ning olemasolevad mõõtmistulemused viie büroohoone kohta. Samuti viidi autori poolt läbi katsemõõtmised, mida hiljem võrreldi varasemate tulemustega. Lõputöö viimaseks osaks on ettepanekud edaspidiseks antud temaatika uurimiseks ning edendamiseks, tuginedes antud lõputöös saadud tulemustele.



Joonis 4.1.2 Soojusliku mugavuse uuringu plokskeem




Töö uurimusliku osa aluseks oli sisend mis andis väljundi edasisteks mõõtmisteks. Viidi läbi kaks mõõtmist, millest esimese jooksul teostati kolm katset. Saadud tulemuste põhjal tehtud järeldused näitasid, et tulemuste kinnituseks on vaja viia läbi teine mõõtmine teistel tingimustel, kui seda tehti esimese mõõtmise käigus. Kokkuvõtva osana analüüsiti saadud tulemusi, mille põhjal tehti ettepanekuid ning järeldusi. Vastav töö osa on kirjeldatud ka Joonis 4.1.2 toodud plokskeemil.

4.2 Pistelise mõõtmise meetodika

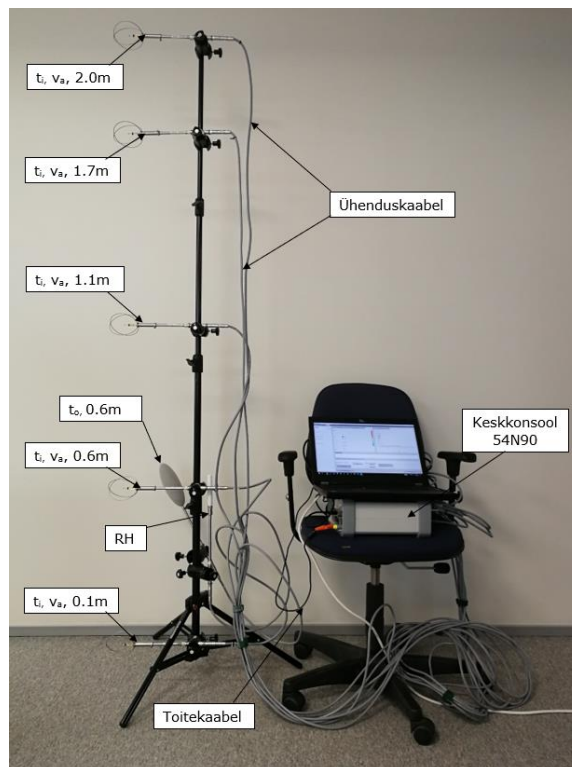
4.2.1 Mõõtesead

Soojusliku mugavuse parameetrite mõõtmiseks ruumides kasutati Dantec mõõtekomplekti (Joonis 4.2.1). Mõõtmiste käigus mõõdeti õhu liikumiskiirust, suhtelist õhuniiskust ning temperatuuri, kasutades ComfoSense sonde (Tabel 4.2.1).

Tabel 4.2.1 Kasutatud mõõteseadmete tabel [2]

Mõõteseade	Anemomeeter (ComfortSense 54T33)	Anemomeeter (ComfortSense 54T38)	Temperatuuri hügromeeter (ComfortSense 54T37)
Kirjeldus	Õhu temperatuuri ja õhu liikumiskiiruse sond	Operatiivse temperatuuri sond	Suhtelise õhuniiskuse sond
Illustratsioon			
Mõõtepiirkond	-20...+70°C 0,05...10 m/s	0...+45°C	0...100%
Mõõtetäpsus	0...+45°C (±0,5°C) 0...1 m/s (±0,02 m/s)	+10...+40°C (±0,2°C)	+10...+30°C (±1,5%)
Resolutsioon	0,001°C 0,001 m/s	0,001°C	0.01%

Mõõtekomplekti kuulusid peale sondide ka 54N90 ComfortSense keskkonsool, millel kasutati seitset sisendit olemasolevast 16 sisendist. Keskkonsool oli ühendatud sülearvutiga, mille abil salvestati kogu mõõtmise tulemused, kasutades ComfortSense tarkvara (Joonis 4.2.1).

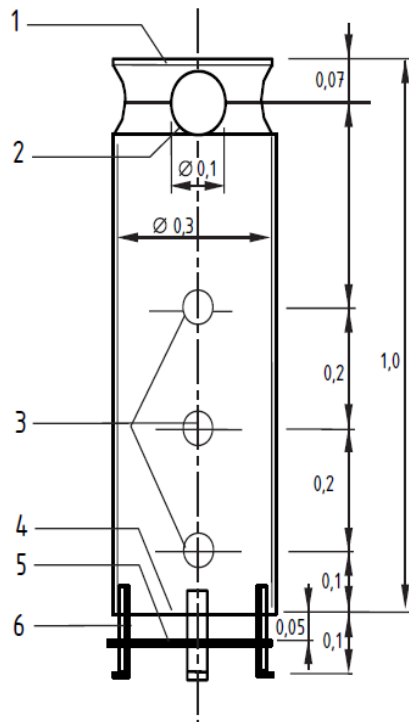


Joonis 4.2.1 Mõõtmisel kasutatud soojusliku mugavuse mõõtesondide komplekt. Foto pärineb juhendaja Martin Kiili isiklikust fotopangast.

Möötesondide kõrguste puhul lähtuti standardis ISO 7726 [20] kirjeldatud möötekõrgustest inimese töökohal. Hilisemad järeldused on tehtud 1.1 m kõrgusel, mille puhul on tegemist istuvas asendis inimese kaela piirkonnaga. Kuna kaela peetakse kõige tundlikumaks osaks õhu liikumiskiirustele, siis sellele tuginedes keskendutakse analüüsis kriitilisele möötekõrgusele. Selleks et saada kogu infot positsioonil toimuvast, teostatakse mõõtmisi kõigil möötekõrgustel. Varasemalt on hinnatud ka 0.6 m peal olevat olukorda, mille puhul on tegemist keha soojusliku lokaalse raskuskeskmega [16].

4.2.2 Termiline mannekeen *Dummy*

Mõõtmistel kasutati inimeste imiteerimiseks *Dummysid*, mis olid valmistatud lähtudes standardis EN 14240 [21] toodud joonisest ning kirjeldustest. Tallinna Tehnikaülikooli liginullenergiahoonete uurimiserühma ning kütte ja ventilatsiooni eriala magistrandi Andre Kesküll poolt kokku pandud *Dummyde* konstrueerimisel kasutati 300 mm läbimõõduga terasplekist ümarat 1 m pikkust ventilatsioonikanalit. Toru alumine osa oli 5 cm kõrgusel põrandast 5 cm laiuse piluga avatud ning ülemine osa kaanega suletud. Pealmine pimeots ja alumine avaus on joonisel (Joonis 4.2.2) tähistatud numbritega 1 ja 4. Lisaks sellele oli lõigatud *Dummy* ülemisse osasse neli ava vastavalt standardis näidatud 10 cm läbimõõdule ja asukohale. Avaused on tähistatud joonisel (Joonis 4.2.2) numbriga 2. *Dummy* sisse paigaldati kolm järjestiku asetsevat hõõglampi, mille kogu soojuseraldused olid 180-184 W ning mis imiteerisid ligikaudu kahe inimese soojuseraldusi. Hõõglambid on tähistatud joonisel (Joonis 4.2.2) numbriga 3. *Dummy* stabiilsuse püsti seismisel tagasid neli jalga, mis olid kinnitatud ülemise kaanena kasutatava pimeotsa külge (Joonis 4.2.2). Põhi ja tugijalad on tähistatud joonisel (Joonis 4.2.2) numbritega 5 ja 6. Täpsemad mõõdud ja mõõtmistel kasutatud *Dummy* on nähtavad joonisel (Joonis 4.2.2) .

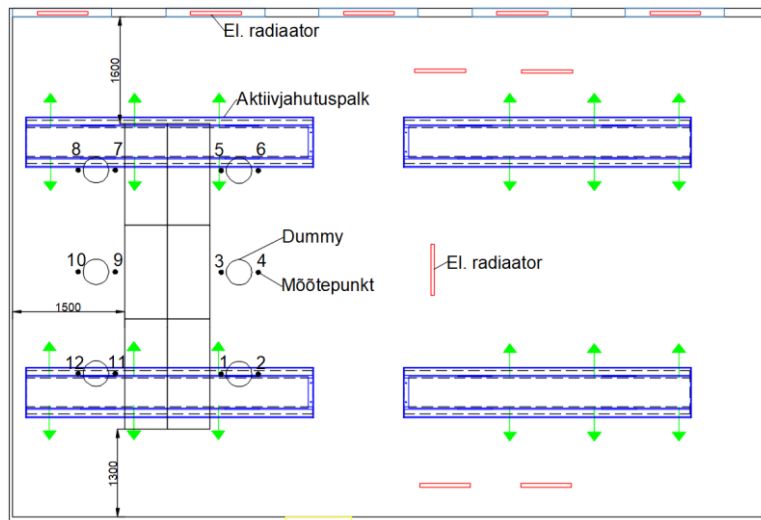


Joonis 4.2.2 *Dummy* joonis ja mõõtmistel kasutatud *Dummy*. Vasakul joonisel number 1 – pealmine pimeots, 2 – avaused ülaosas, 3 – hõõgpirnid *Dummy* sees, 4 – alumine avaus, 5 – põhi, 6 – tugijalad [21]. Foto pärineb Martin Kiili isiklikust fotopangast.

4.2.3 Näidiskontori ruumi kirjeldus

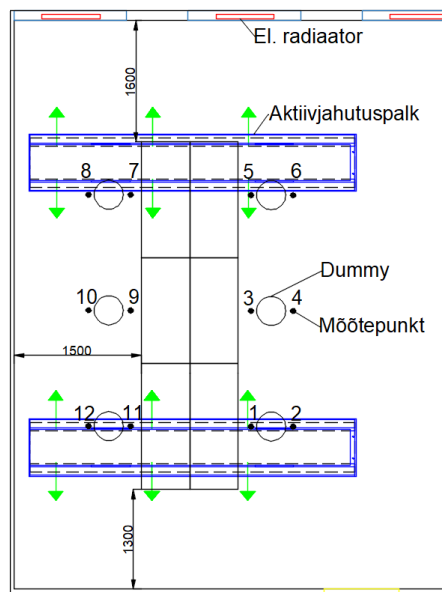
Mõõtmised viidi läbi Tallinna Tehnikaülikooli III korpuse nõupidamiste ruumis U03-215, kus paigutati mööbel lähtudes levinud lahendusest avatud kontoris (Joonis 4.2.3). Ruumi mõõtmeteks oli 5.9 x 8.9 x 3.2 meetrit, millest mõõtmised viidi läbi alal 5.9 x 4.0 x 3.2 meetrit. Mõõtmisteks kasutatud ala moodustas umbes pool kogu ruumi pindalast, millest piisas katsete läbi viimiseks.

Kontorilaudade asetusel lähtuti jahutuspalkide paiknemisest ning üldisest ruumi lahendusest. Samuti pöörati tähelepanu, et mõõtepunktid hõlmaks piisavalt palju erinevaid olukordi, nt jahutuspalkide mõjualade suhtes. Laudade kaugus akendest oli 1.6 m ning akende vastas olevast seinast 1.3 m. Laudade reaga paralleelselt olevast seinast olid laudad asetatud 1.5 m kaugusele.



Joonis 4.2.3 Kogu nädiskontori paigutus töökohtade katse läbi viimisel.

Katses kasutatud laudade mõõtudeks oli 1.2 x 0.6 meetrit, mille ümber olid paigutatud *Dummy*. Joonis 4.2.4 on näidatud ka kasutatud mõõtepunktid, millest lähtudes mõõtmised läbi viidi.





Joonis 4.2.4 Nädiskontori katse ala paigutus töökohtade katse läbiviimisel

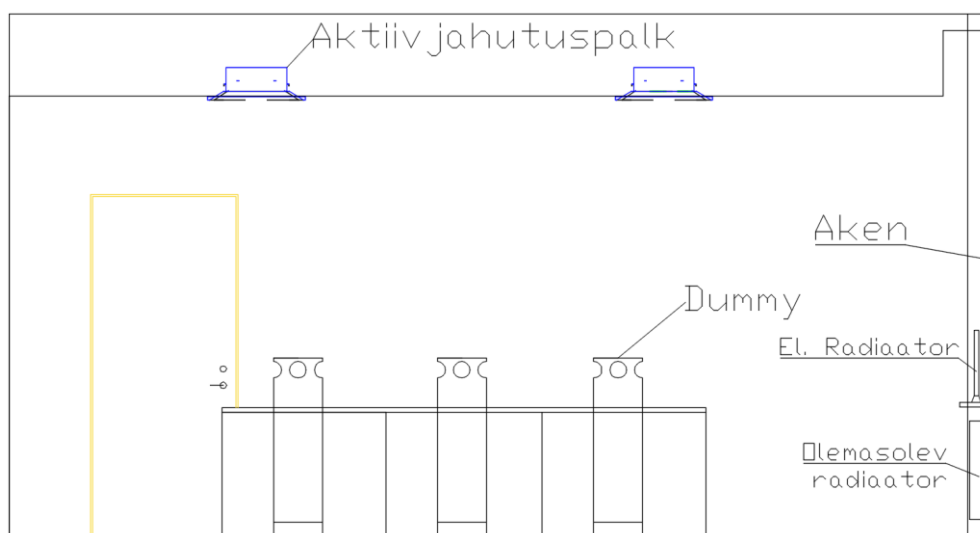
Selleks, et tagada mõõtmisteks vajalik soovine olukord, paigutati lisaks olemasolevatele kütteseadmetele aknalaudadele ning ruumi sisse seitse elektriradiaatorit, mille keskmine soojuseraldus ühe radiaatori kohta oli 958 W (927 - 972 W). Oluline on märkida ära, et katses kasutatud elektriradiaatorite ja *Dummys* ühendamisel voluvõrku tuleb jälgida katseruumi elektrisüsteemi võimekust.

Kuna lisa soojusallikate tõttu tõusis ruumi temperatuur +27°C juurde, siis ruumi termostaat keeras ruumis olevate radiaatorite termostaatventiilid kinni. Ruumi temperatuuri puhul oli oluline saavutada paar kraadi kõrgem temperatuur suvisest lubatud ruumi temperatuurist [15].

Tabel 4.2.2 Näidiskontori katseks kasutatud mõõteseadmed [28][29]

Mõõtesead	Hama Premium, Energy Monitor	HOBO UX120-006M
Kirjeldus		4-kanaliga analoog temp. andmelogija
Illustratsioon		
Mõõtepiirkond	1-3680 W	0...+50°C
Mõõtetäpsus	± 2%	

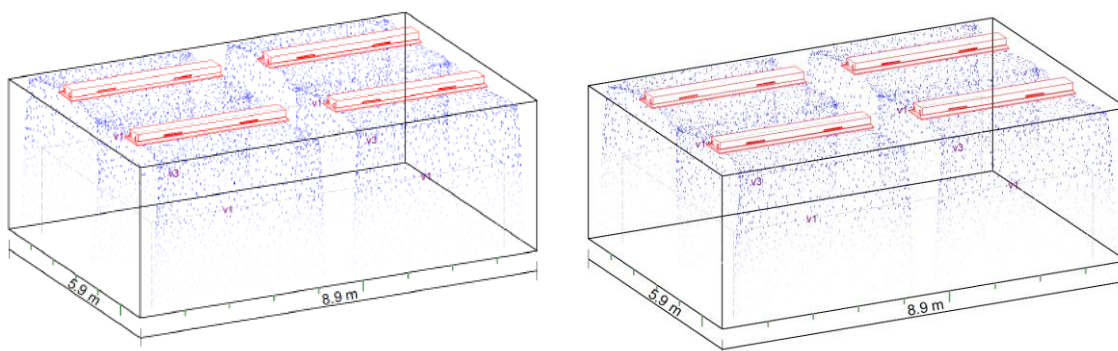
Tabel 4.2.2 on välja toodud elektrivõimsuste mõõtmiseks kasutatud mõõteseadme info ning samuti andmed sissepuhkeõhu mõõtmisel kasutatud analoogtemperatuuri andmelogija kohta. Andmelogija andurid olid paigaldatud vasakpoolse palgi sisse, palgi sissepuhke ava juurde, lae alla ning palgi kõrval olevasse sissepuhke elemendi sisse. Elektriradiaatori asukoht on nähtav ka näidiskontori lõikel Joonis 4.2.5



Joonis 4.2.5 Näidiskontori lõige kolme näidiskontori katse ajal

Ruumi on projekteeritud neli Halton RE6/D-3400-3200-R2N+N jahutuspaiki mõõdetud õhuhulgaga 65 l/s palgi kohta [1]. Jahutuspaikidesse on juhitud +15/+23,9°C temperatuuri graafikuga jahutuskandja vooluhulgal 0,02 l/s. Ruumi temperatuur on

projekteeritud +24°C; lae all on arvestatud +25°C ning sissepuhke temperatuuriks on +18°C. Mõõtmise hetkel oli tegelik keskmine ruumi temperatuur 27°C, lae all 28°C ning sissepuhke temperatuur 20°C. Ruumi siseõhutemperatuuri juhtimiseks ja kontrolliks on paigaldatud ruumi seinale temperatuuri kontroller. Jahutuspalkide jahutusvõimsuse kontrollimiseks on paigaldatud iga palgi pealevoolu torule 2-tee ventiil, mida kontrollitakse vastavalt ruumi kontrollerist tulevale signaalile [1]. Lisaks on kõrvaloleva tüdrukute WC lae all segusõlm, mis oli katse hetkel manuaalselt 100% avatud asendis. Jahutuspalkide valikul kontrolliti õhujugade liikumist HaltonHIT valiku tarkvara abil. Joonis 4.2.6 on näha ka 3D joonis õhujugade liikumisest ruumis tava olukorras ning mõõtmise hetkel.

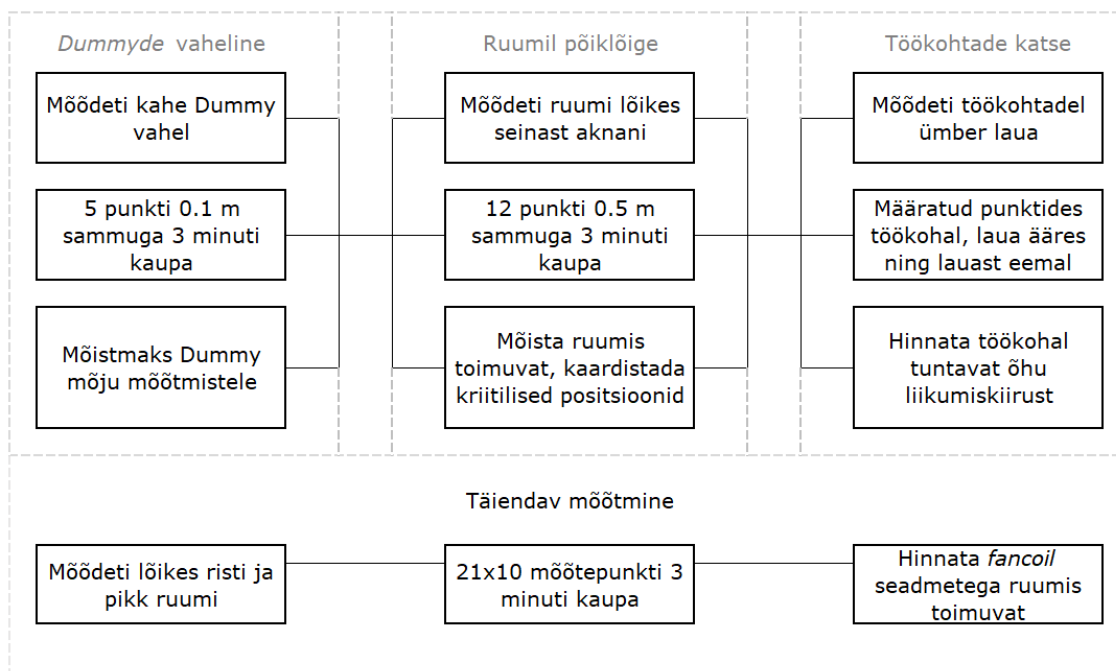


Joonis 4.2.6 HaltonHIT jahutuspalkide õhujugade liikumine [1]. Vasakul projekteeritud ja paremal tegelikel tingimustel mõõtmise hetkel.

Ruumis paiknevad aktiivjahutuspalgid seadistati mõõtmise ajaks jahutusrežiimi ning samuti kontrolliti, et töötaks ka hoone külmajaam. Lisaks mõõdeti sissepuhkeõhu temperatuuri palkide sisse paigutatud temperatuuri anduritega. Info mõõtmiseks kasutatud seadme kohta, leiab Tabel 4.2.2.

Mõõtmiste käigus viidi läbi kolm erinevat katset, mille käigus mõõdeti:

- standardi järgi ehitatud *Dummy* mõju õhu liikumiskiirusele viiel erineval kaugusel;
- õhu liikumiskiirusi ruumi lõikes maast laeni;
- viibimistsoonis olevat õhu liikumiskiirust maatriksil asuvas kaheteistkümnes punktis (edaspidi maatriks).



Joonis 4.2.7 Näidiskontori ja täiendava katsemõõtmise plokskeem

Esimeses kahes katses toimus mõõtmine 3 minutit, millele eelnes 15 sekundiline viiteaeg enne käivitamist. Kolmanda katse puhul mõõtis seade igas mõõtepunktis 10 minutit, ning enne igat mõõtmist oli seadmel 15 sekundiline viiteaeg enne käivitamist. 15 sekundiline viiteaeg oli vajalik selleks, et vältida mõõtepunkti muutusest tingitud õhuliikumisi. Täpsem katsete struktuur on toodu Joonis 4.2.7 kujutatud plokskeemil.

4.2.4 Näidiskontori katse olukorra kirjeldus

Järgnevalt on kirjeldatud nõupidamiste ruumis kolme katse olukorda.

Tabel 4.2.3 on välja toodud ruumi parameetrid, näiteks nagu ruumi kogupindala, katse ala pindala, ruumi paiknemine korruselisel ning katse läbiviimise hetkel ruumis olev temperatuur.

Tabel 4.2.3 Näidiskontori ruumi andmed

Ruumi tüüp	Ruumi pindala	Katse ala pindala	Korrus	Ruumi temp. mõõtmise hetkel
Nõupidamiste ruum	53,1 m ²	23,6 m ²	2/4	+27 °C

Tabel 4.2.4 on kirjeldatud ruumi tehnosüsteeme antud ruumi sisekliima tagamiseks. Tegemist on aasta tagasi renoveeritud nõupidamiste ruumiga, kuhu on paigaldatud aktiivjahutuspalgid, mis kombineerivad endas valgustust, õhujahutit ja ka õhujaotajat. Küttesüsteemiks on ruumis malmribiradiaatorid milles soojuskandjaks vesi ning mida juhitakse elektriliste ajamitega, mis on ühendatud ruumi automaatikaga.

Tabel 4.2.4 Näidiskontori kütte, ventilatsiooni ja jahutuse kirjeldus

Küte	Ventilatsioon	Jahutus
Vesi/malm radiaatorid paigaldatud akende alla, Lisatud ruumi akendele ning ruumi sisse 7 umbes 1kW elektri radiaatorit.	Segunev ventilatsioon, 65 l/s x 4 õhuvahetus läbi aktiivjahutuspalgi (Palgi pikkus: 3100-3400mm), paigaldatuna ripplae sisse kõrgusele 3.2 m, koos väljatõmbe elementi (Ø200 mm) kõrgusel 3.2 m, üks sissepuhke element (Ø160 mm).	Ripplae sisesed aktiivjahutuspalgid (Palgi pikkus: 3100-3400mm), kõrgusel 3.2 m, jahutusvõimsus 620W seadme kohta.

Aktiivjahutuspalgid on ühendatud hoones olevasse tsentraalsesse soojustagastusega ventilatsioonisüsteemi, mille seade asub viimasel tehnokorrusel. Näidiskatse viidi läbi jaanuari esimeses pooles. Nagu ka eelnevas peatükis kirjeldatud loodi ruumis ekstreemne suvine olukord, lisades ruumi lisasoojuskoormust, et illustreerida paremini ruumis toimuvat.

Tabel 4.2.5 Näidiskatse aeg ja ilmastik Eesti Riiklikust Ilmateenistusest[30]

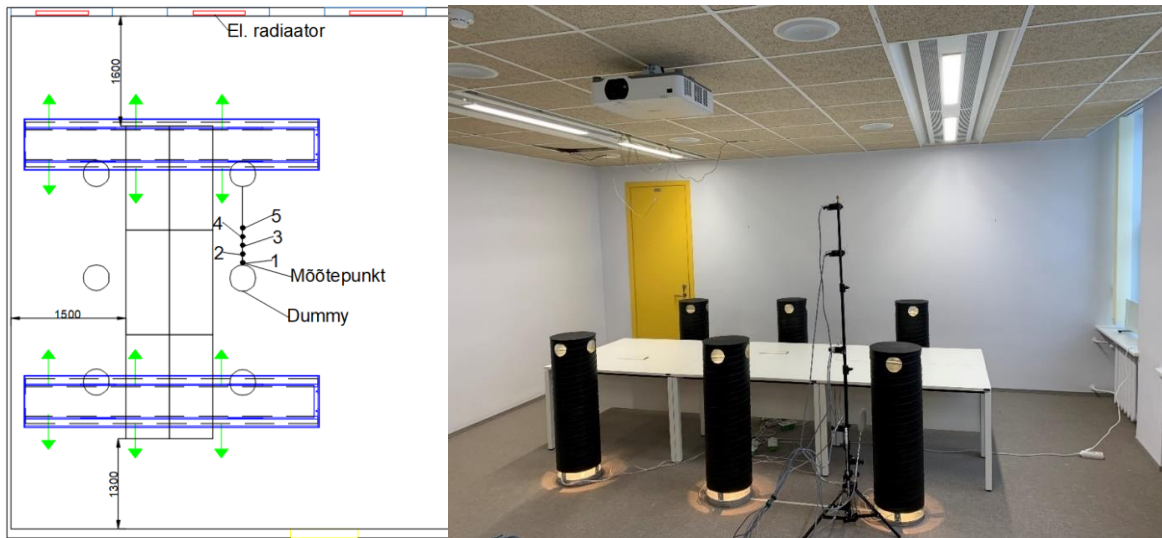
Aeg	Ilmastikuolud	Välisõhu temperatuur	Tuntav õhutemperatuur
13.01.2021 peale lõunat	Pilves, kerge lumesadu	-3,9°C	-10°C

Kuna antud kuupäeval oli ilm pilvine ning kerge lumesajuga, siis olulist päikesest tulenevat mõju ei olnud.

4.2.5 Näidiskontori katsemõõtmised

Dummyde vahelises katses asetati mõõteseadet kahe *Dummy* vahel asuvatesse mõõtepunktidesse. Mõõtepunktideks võeti viis ühel joonel asuvat punkti, mis asusid

üksteisest 10 cm kaugusel alustades mõõdetavast vasakpoolsest *Dummys*t. Joonis 4.2.8 on kujutatud *Dummys*de ning mõõtepunktide asetus.

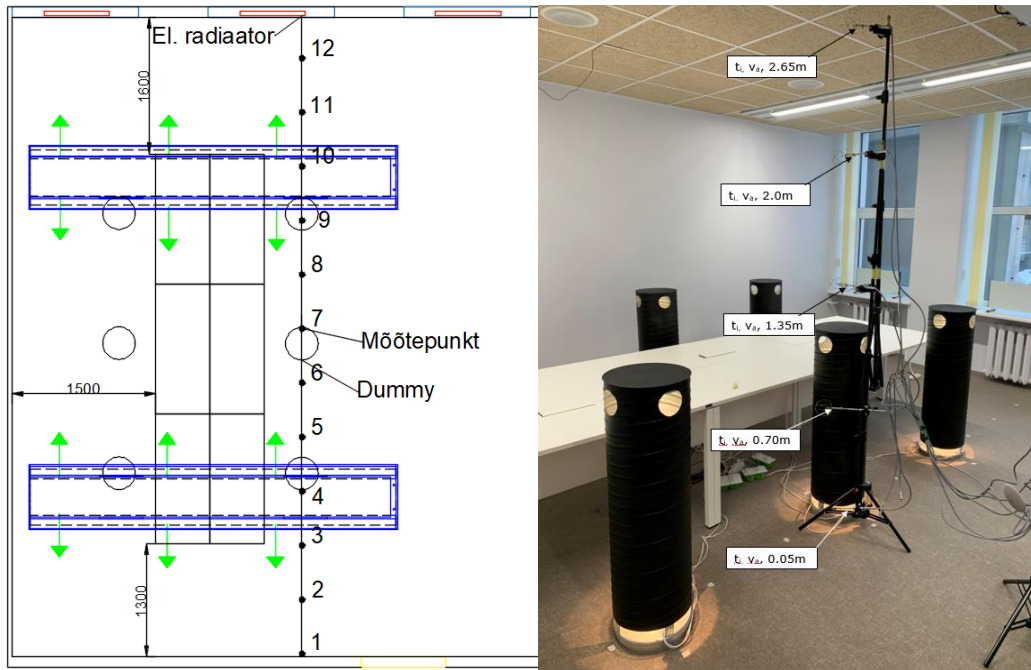


Joonis 4.2.8 *Dummys*de vahelise katse mõõtepunktide ja *Dummys*de paigutuse plaan vasakul. Paremalt mõõteseadme paigutus *Dummys*de vahelises katses.

Mõju õhu liikumiskiirusele mõõdeti vastavalt ISO 7730 metoodikale mille järgi asetati sondid 0.1 m, 0.6 m, 1.1 m, 1.7 m kõrgusele [9]. Lisaks kasutati ka mõõtesondi kõrgusel 2.0 m, mis pole standardis välja toodud, kuid antud mõõtmise puhul on seda kasutatud täiendava info saamiseks ruumis toimuva kohta. Täpsem mõõteseadme ning *Dummys*de asetus on nähtav üleval oleval joonisel (Joonis 4.2.8).

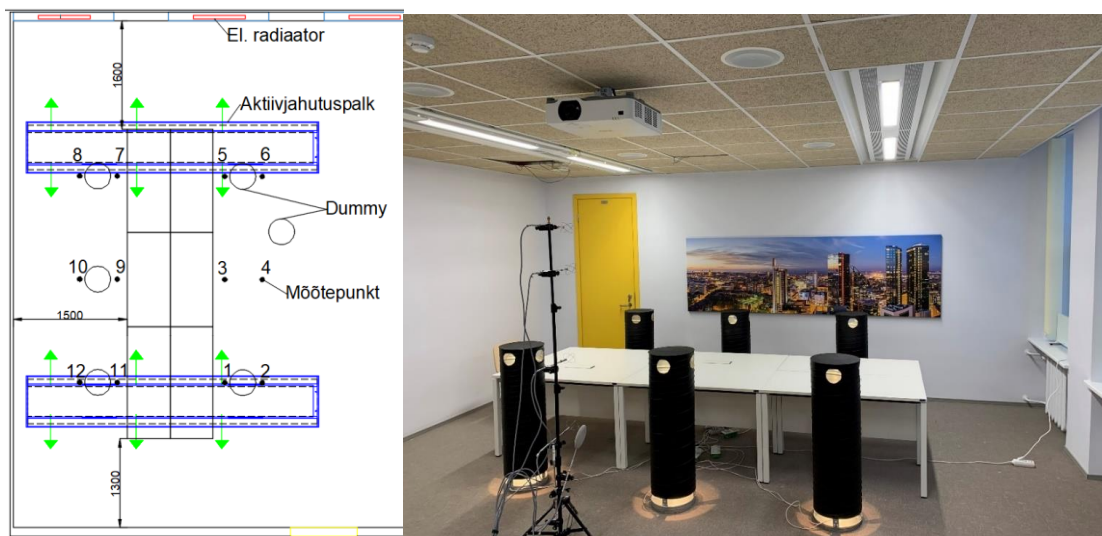
Lõikekatsel mõõdeti ruumi lõikes õhu liikumiskiiruseid kaheteistkümnes punktis 3 minuti jooksul, alustades ruumi koridoripoolsest siseseinast ning liikudes mööda sirget joont 0,5 m sammuga ruumi välisseinas asuva aknani. Mõõtepunktide asukohad on kujutatud ka Joonis 4.2.9. Antud katse puhul muudeti mõõteseadme sondide kõrguseid, et tagada mõõtmine kogu ruumi kõrgusel. Sondid asetsevad kõrgustel 0.05 m, 0.70 m, 1.35 m, 2.00 m, 2.65 m. Kuna kolm mõõtepunkti jäid täpselt *Dummy* kohale või väga lähedale, tuli alumised kaks sondi keerata veidi kõrvale ning nendes punktides nende tulemusi mitte arvestada.

Ülemised kolm sondi asetsevad *Dummy* kohal ning neid väärtusi arvestatakse mõõtmistulemustes. Täpsem mõõteseadme asetus on kujutatud all oleval joonisel (Joonis 4.2.9).



Joonis 4.2.9 Ruumi lõikes õhu liikumiskiiruste mõõtmise plaan lõikekatsel (paremal), mõõteseadme paigutus lõikekatsel (vasakul)

Töökohtade maatriksi katses mõõdeti õhu liikumise kiiruseid viibimistsoonis 0.1 m ning 0.6 m kaugusel laua servast. Antud punktid kujutavad kontoritöötaja erinevat istumiskaugust lauast. Antud mõõtmise käigus loodi maatriks kaheteistkümne punktiga ümber laua. Mõõtmise hetkel eemaldati vastavas mõõtepunktis asetsev *Dummy*, kuid teiste *Dummy*de asukohta ei muudetud.



Joonis 4.2.10 Õhu liikumiskiiruste mõõtmise plaan määratud positsioonidel töökohtade katsel (vasakul), ruumi paigutus katse alguses (paremal)

Mõõtmine viidi läbi 10 minuti kaupa, kasutades ISO 7730 mõõtekõrgusi sondide asetusel [9]. Täpsem mõõteseadme asend on kujutatud üleval oleval joonisel (Joonis 4.2.10).

4.2.6 Nädiskontori mõtetulemuste analüüsi meetoodika

Mõõtmistel saadud tulemused sisestati Microsoft Exceli programmi ning seejärel leiti peatükis 3.2.2 kirjeldatud arvutusvalemite abil DR, PMV ja PPD väärtused. Antud väärtused arvutati kõigis mõõtepunktides saadud tulemuste põhjal. Väärtuste arvutamisel lähtuti peatükis 3.2 toodud valemite ning arvutusmetoodikast.

Arvutustes kasutati peale mõõdetud väärtuste ka standardis EVS-EN 16798 toodud standardväärtusi, mis valiti vastavalt ruumide iseloomule, milles viidi läbi mõõtmised. Kasutatud väärtused on välja toodud Tabel 4.2.6.

Tabel 4.2.6 Arvutustes kasutatud standardväärtused

	Met	Clo	M W/m ²	W W/m ²
Väärtus	1.2	0.5	69.8	0

Vastavalt kontoritöö iseloomule on metabolismi (*Met*) kiiruseks valitud 1.2, mille põhjal on arvutatud ka inimese soojuseraldus. Kuna kontoris on tegemist istuva tööga, ei ole arvutustes arvestatud efektiivse mehaanilise võimsusega.

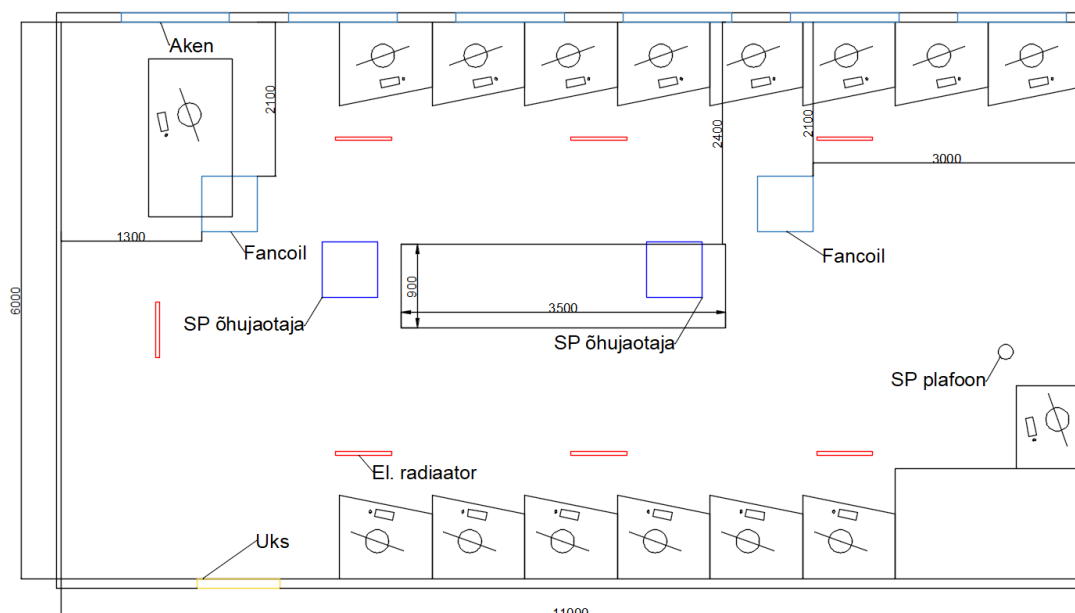
Tulemuste võrdluses on kasutatud varasemalt esitatud lõputööde [3][4][26] ja artikli [11] mõõteandmeid, kus on mõõdetud viie erineva büroopinna soojuslikku sisekliimat. Antud tööde tulemused vormistati lähtudes EVS-EN 16798 toodud normidest õhukiirusele ning sisekliima klassidele [10]. Vormistatud tabelid ning graafikud on parema ülevaate saamiseks toodud lisades.

Tulemustena esitati 10 minutilisest mõõteperioodist leitud kriitilise 3 minutilise mõõteperioodi tulemused. Kriitiline 3 minutit valiti lahterdamise abil, kus 10 minutiline mõõteperiood jagati 3 minutilisteks perioodideks. Saadud perioodide keskmistest väärtustest arvutati kogu mõõtepunkti keskmine väärtus ning samuti mõõtepunkti

madalaim ning kõrgeim tulemus. Sama arvutus tehti ka perioodide lõikes, mis andis võimaluse leida kõige kriitilisem 3 minutit 10 minutilise mõõteperioodi vältel. Täpsem ülevaade tulemustest on lahti kirjutatud peatükis 5.1.3.

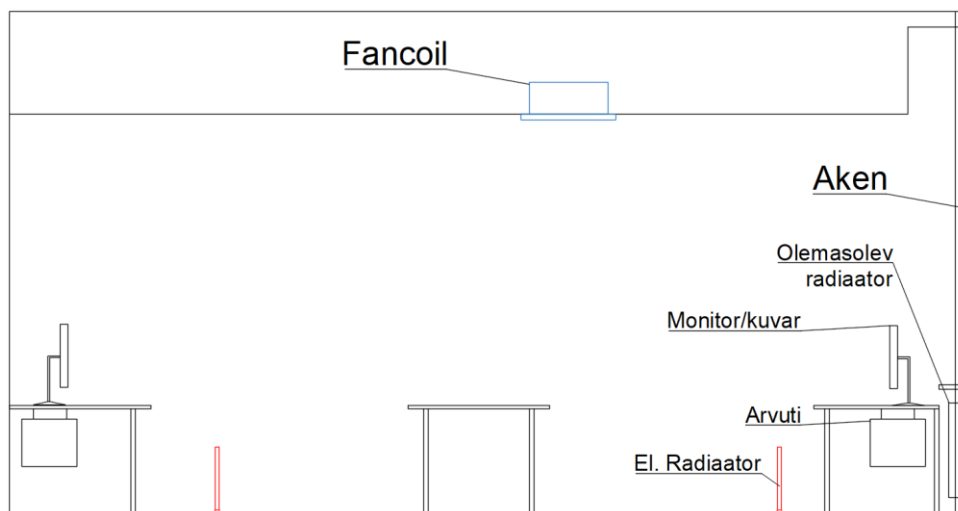
4.2.7 Täiendava mõõtmise ruumi kirjeldus

Näidiskontori katse järel teostati lisaks täiendav katse olukorra kaardistamiseks *fancoil* seadmetega ruumis. Katse viidi läbi Tallinna Tehnikaülikooli III korpuse ruumis U03-217 mis on arvutiklass. Ruumi mõõtmeteks oli 6.00 x 11.00 x 2.55 meetrit ning ruumis oli kaks LG *fancoil* seadet võimusega 4 kW seadme kohta. Ruumi keskel asus suurem nõupidamiste laud mõõtudega 0.9 x 3.5 meetrit. Täpsem ruumi paigutus on näha Joonis 4.2.11, kus on kujutatud ruumi üldine paigutus ning samuti näidatud mõõtepunktide asukohad, mida kasutati täiendaval mõõtmise katsel. Antud mõõtmisel *Dummysid* inimeste simuleerimiseks ei kasutatud. Ruumis asuvad arvutilauad koos arvutitega olid paigutatud akende ning seina äärde. Mõõtmise hetkel oli ruumi keskmine temperatuur +24.6°C mis oluliselt ei tõusnud tänu ruumis töötavatele otseaurustusega *fancoil* seadmetele. Seadmed on ühendatud multisplit süsteemi ning nende juhtimine toimub ruumis oleva kaugjuhtimispuldi abil.



Joonis 4.2.11 Täiendava katse läbiviimiseks kasutatud arvutiklassi ruumi plaan

Ruumi paigutati seitse elektriradiaatorit mida kasutati ka eelnevatel katsetel. Kuna katse viidi läbi kütteperioodi välisel ajal, siis olemasolevad radiaatorid katse hetkel soojust ei eraldanud. Lisasoojuseralduste eesmärgiks oli saavutada suvine olukord, kus on ruumis ka inimesed. Mõõtmise hetkel ruumis olevad arvutid olid *sleep mode* režiimis, millest tulenevalt nende soojuseraldus ruumi oli minimaalne.



Joonis 4.2.12 Arvutiklassi ristlõige.

Joonis 4.2.12 on näha katseruumi risti suunaline lõige, millel on kujutatud ruumis olnud laudu ning nende paiknemist. Ruumi on projekteeritud soojustagastusega sissepuhke ja väljatõmbe ventilatsioon millel oli mõõtmise hetkel õhuvooluhulgaks 240 l/s, ning mis on ühendatud hoone tsentraalsesse ventilatsioonisüsteemi.

4.2.8 Täiendava katse olukorra kirjeldus

Järgnevas peatükis on kirjeldatud täiendava katse olukorda mõõtmiste hetkel. Tabel 4.2.7 on välja toodud ruumi parameetrid, näiteks nagu ruumi kogu pindala, katse ala pindala, ruumi paiknemine korruselisel ning katse läbiviimise hetkel ruumis olev temperatuur.

Tabel 4.2.7 Täiendava katse ruumi parameetrid

Ruumi tüüp	Ruumi pindala	Katse ala pindala	Korrus	Ruumi temp. mõõtmis hetkel
Arvutiklass	61 m ²	61 m ²	2/4	+24.6 °C

Tabel 4.2.8 on kirjeldatud ruumis paiknevaid tehnosüsteeme, mille eesmärk on tagada ruumi hea sisekliima. Tegemist on arvutiklassiga, kuhu on paigaldatud otseaurustusega *fancoil* seadmed. Vajaliku õhuvahetuse tagamiseks on paigaldatud kaks sissepuhke difuusorit, üks sissepuhke element ning 6 väljatõmbe elementi, mis asuvad ripplae taga. Õhuliikumine ripplae taha on tagatud silmusrestidega, mis on paigaldatud ripplae plaatide asemele. Küttesüsteemiks on ruumis malmribiradiaatorid, milles soojuskandjaks on vesi ning mida juhitakse elektriliste ajamitega, mis on ühendatud ruumi automaatikaga.

Tabel 4.2.8 Täiendava katse tehnosüsteemide kirjeldus

Küte	Ventilatsioon	Jahutus
Vesi/malm radiaatorid paigaldatud akende alla, lisatud ruumi sisse 7 umbes 1kW elektriradiaatorit.	Segunev ventilatsioon, 240 l/s õhuvahetus läbi sissepuhke difuusorite ning väljatõmbe elementide, mis asuvad ripplae taga kõrgusel 3.2 m. Õhuliikumine läbi ripplae tagatud restidega.	Ripplae sisesed otseaurustusega <i>fancoil</i> seadmed kõrgusel 2.55 m.

Katse viidi läbi mai esimesel nädalal pärast keskpäeva. Ilm oli vastaval päeval pilvine. Sellest tulenevalt puudus ka päikese mõju, mis oleks võinud ilmned kahest aknast, millele polnud ette tõmmatud pimendavaid ruloosid.

Tabel 4.2.9 Täiendava katse aeg ja ilmastik Eesti Riiklikust Ilmateenistusest [30]

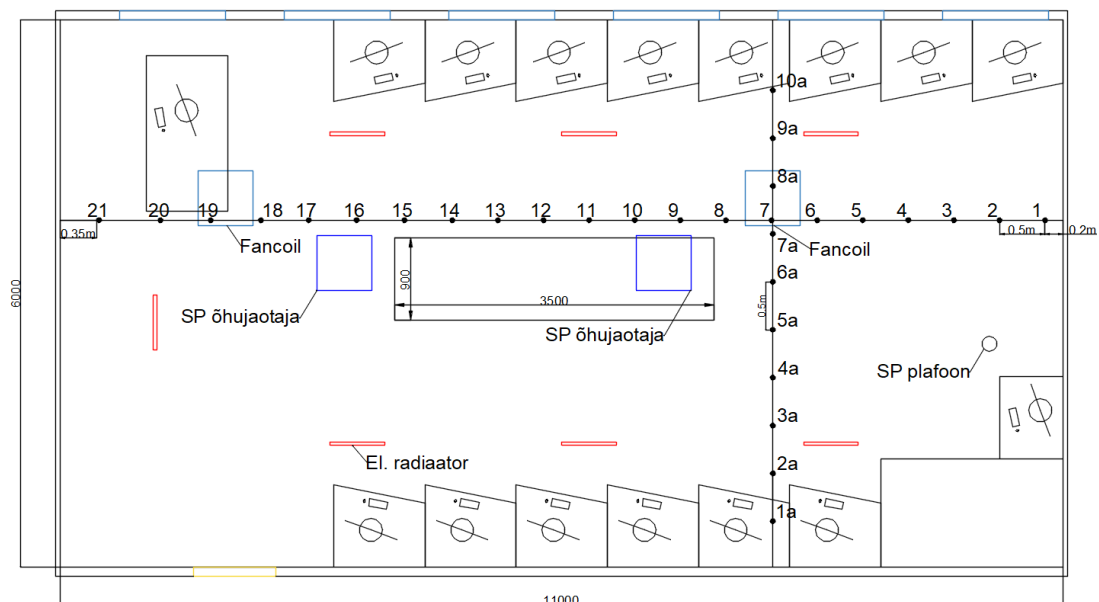
Aeg	Ilmastikuolud	Välisõhu temperatuur	Tuntav õhutemperatuur
07.05.2021 peale lõunat	Pilves, vihmane	+5,4°C	+2°C

Täpsem ülevaade katse päeval olnud ilmast on toodud Tabel 4.2.9, kus on näha aeg, ilmatikuolud ning väljas olnud temperatuurid.

4.2.9 Täiendava katse kirjeldus

Varasemalt läbiviidud näidiskontori katse ja viie hoone pisteliste mõõtmiste tulemuste analüüsis saadud tulemuste kinnitamiseks ning täiendavate tulemuste saamiseks viidi läbi täiendav katse fancoil seadmetega varustatud ruumis. Katse eesmärk oli hinnata fancoil seadmete mõju sisekliimale ja õhu liikumiskiirustele viibimistsoonis, mille tulemuste põhjal saab autor hinnata kahe erineva süsteemi toimimist. Täpsem katse ülesehitus on toodud Joonis 4.2.7 oleval plokk skeemil.

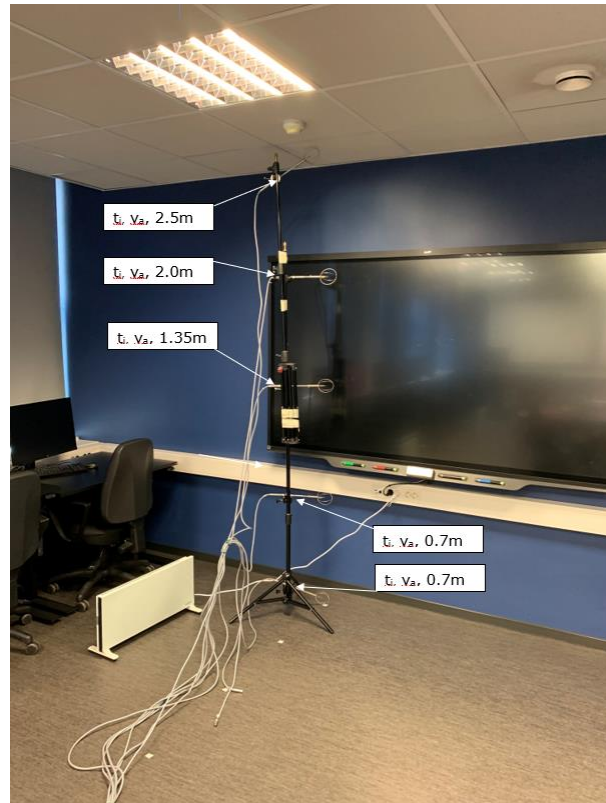
Katses mõõdeti ruumi lõikes õhu liikumiskiiruseid ja temperatuure nii piki ruumi kui risti ruumi vastavalt 21 ja 10 mõõtepunktis. Mõõtmisi teostati sarnaselt näidiskontori ruumile 0.5 m sammuga ja lisaks siseseinast välisseinani ka piki välisseina. Täpsemad mõõtepunktide asukohad on kujutatud Joonis 4.2.13



Joonis 4.2.13 Mõõtepunktide asukohad täiendaval katsel

Mõõteseadmena kasutati juba varem kasutatud Dantec mõõteseadet, mille täpne kirjeldus on toodud peatükis 4.2.1. Mõõtekõrgused olid valitud sarnaselt eelnevale näidiskontori lõike katsele, kuid kuna arvutiklassi lagi oli veidi madalam tuli mõõtekõrguseid veidi korrigeerida. Mõõtekõrguste kirjeldus on toodud Joonis 4.2.14, kus on näha mõõtmistel kasutatud seade ning mõõtesondide kõrgused.

Mõõtmiste ajal töötasid ruumi mõlemad jahutusseadmed maksimaalsel ventilaatori kiirusel ning seadetemperatuuril $+18^{\circ}\text{C}$. 0.5 m sammuga mõõtepunktid märgistati teibiga põrandale.



Joonis 4.2.14 Täiendava lõikekatse mõõtekõrguste kirjeldus

Mõõtepunktide asukoha valikul mängis olulist rolli ruumis olevate fancoil seadmete asetsemine ruumis tsentrist veidi akna pool ning ruumi üldine paigutus. Lisaks arvestati, et fancoil seadmed ei olnud paigaldatud ruumi keskjoonele ja tänu sellele olid aknaalused laud oluliselt lähemal jahutusseadmetele. Sellest tulenevalt on ka suurem tõenäosus ebamugavusele ning peale puhumisele jahutusperioodil kasutusajal. Joonis 4.2.15 on näha mõõtmiste läbiviimise hetkel olnud ruumi paigutus.



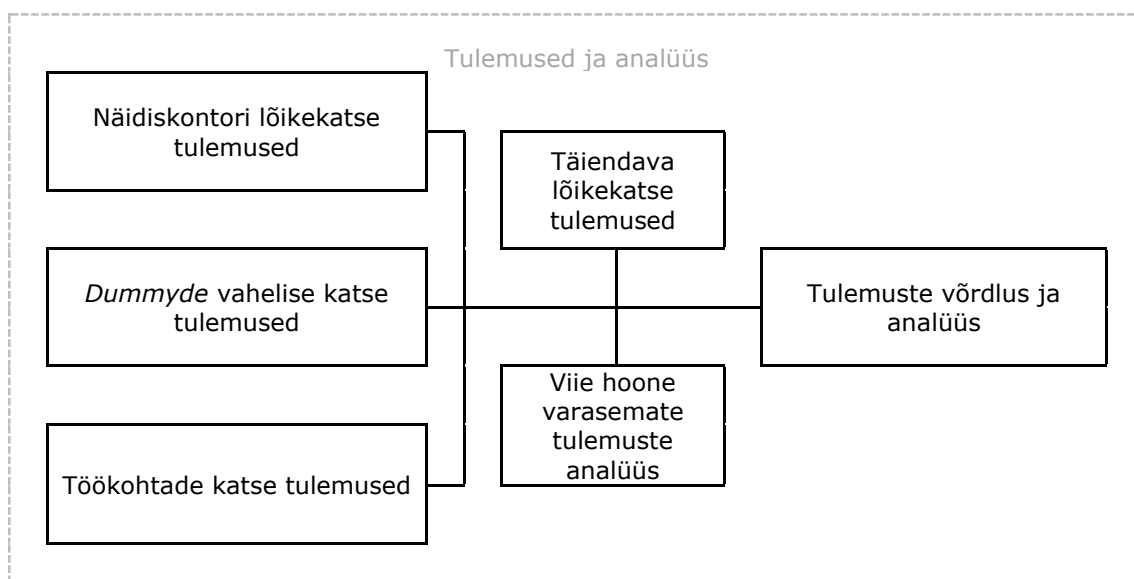
Joonis 4.2.15 Täiendava mõõtmise katseruumi paigutus

Mõõtmisel saadud tulemuste esitamiseks ja analüüsiks on kasutatud sama metoodikat, mida kasutati näidiskontori katsete puhul. Täiendava katsena viidi läbi ainult lõikekatse, kuna näidiskontori ruumis varem läbiviidud kahe katse tulemused andsid autori jaoks piisava ülevaate katsete alguses püstitatud hüpoteesidest. Täpsema ülevaate tulemustest leiab allpool olevast tulemuste peatükist, kus saadud tulemused on täpsemalt lahti kirjutatud.

5 TULEMUSED JA ANALÜÜS

5.1 Katsed ja tulemused

Järgnevas peatükis keskendub autor näidiskontoris ning arvutiklassis läbiviidud mõõtmiste tulemustele, kirjeldades taas lühidalt katse olemust ning selgitades, mis tulemusteni mõõtmisel jõuti. Käesoleva töö autor esitab tulemused kompaktselt, kuid pöörates seejuures erilist tähelepanu tulemuste arusaadavusele. Oluline on, et info jõuaks ka lugejani ning aitaks kaasa lugeja enda analüüsile, mida hiljem autori omaga kõrvutada. Ülevaate tulemuste peatükist annab Joonis 5.1.1 esitatud plokkskeem



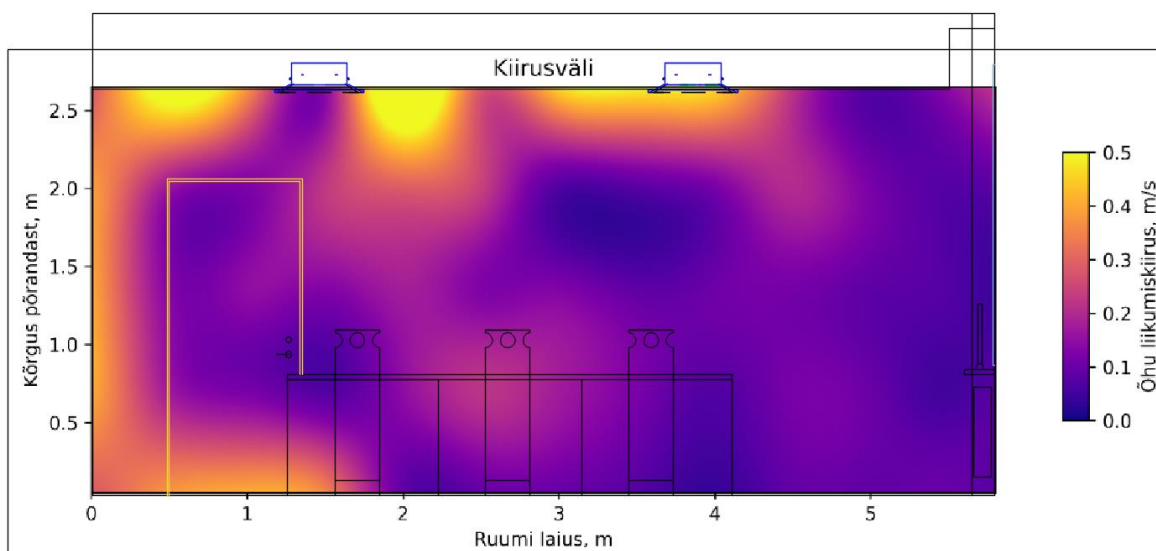
Joonis 5.1.1 Tulemuste ja analüüsi plokkskeem

Analüüsi osas võrreldakse näidiskontori katsetest saadud tulemusi varem mõõdetud büroopindade tulemustega. Samuti käsitleb analüüs täiendavast mõõtmisest saadud tulemusi ning kõrvutab varasemad andmed *fancoil* seadmetega teostatud mõõtmisel saadud tulemustega. Analüüsi käigus soovib autor välja selgitada katsete erinevusi ning sarnasusi, mille põhjal teha järeldusi, millist mõju saadud tulemustes omab meetodika.

Juhul kui tulemustest peegeldub välja meetodika mõju, on oluline jõuda ettepanekuteni, millega oleks võimalik antud järeldusi veel kord kinnitada või vastupidi ümber lükata.

5.1.1 Näidiskontori olukord ning lõikekatse tulemused

Lõputöö katseteks kasutatud näidiskontoris sooritati lõikekatse, mille eesmärgiks oli selgitada välja, mis ruumis üldiselt õhu liikumiskiirustega toimub. Nimelt oli oluline aru saada, mis on ruumi üldine olukord, et hiljem täpsemalt mõõta erinevaid olukordi. Antud katse on täpsemalt kirjeldatud meetodika osas näidiskontori lõikekatsena.

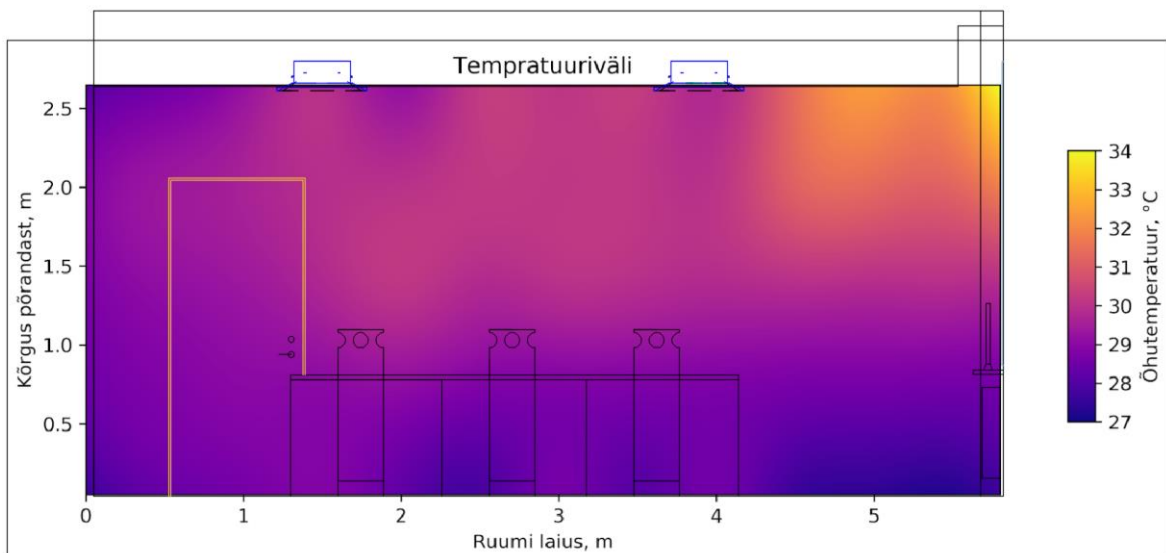


Joonis 5.1.2 Näidiskontori lõikekatse õhu liikumiskiiruse väli

Joonis 5.1.2 on kujutatud näidiskontori lõige koos simulatsiooni pildiga, mis kujutab õhu liikumiskiiruseid ning õhu liikumise tsoone. Antud pilt annab meile hea visuaalse ettekujutuse ruumis toimuvast. Pildilt on näha, et ruumi vasakus küljes on siseseinaäärne õhu liikumiskiirus suurem, kui seda on ruumi keskel või akna ääres. Antud olukord võib olla tingitud sellest, et vasakpoolne aktiivjahutuspaik on seinale lähemal kui parempoolne aknale ning tänu sellele liibub õhujuga oluliselt paremini seinale. See aga tähendab koheselt suuremat kiirust seina ääres ja selle pinnal. Samas hinnates parempoolset ruumi osa, järeldub, et akna poolne õhujuga ei liigu kuigi alla. Seda võib selgitada aknalauale asetatud elektriradiaatori soojusvoog, mida on hästi näha Joonis 5.1.3. Samuti on näha ruumi keskel õhujugade pörkimist, mistõttu on

keskmise töökoha viibimistsoonis õhu liikumiskiirus veidi suurem kui kõrvalasuvatel töökohtadel.

Kuigi katse viidi läbi jaanuaris, siis loodi ruumi suvise perioodi ekstreemne olukord, mis vastab päikesepaistelisele suveilmale, mille tagajärjel ruumi täielikul täitmisel tõuseb ruumi temperatuur üle 25°C. Ekstreemse olukorra loomise eesmärk oli saada võimalikult ekstreemseid tulemusi, mis võimaldaks paremini hinnata ruumis toimuvat suvisel perioodil. Sel perioodil on oht suuremale jahtusvajadusele ning selles tulenevalt ka suuremateks õhu liikumiskiirusteks. Olukorra saavutamiseks paigutati aknalauale lisaelektriradiaator ning selle mõju ruumi temperatuuriväljale võib hinnata küllalt suureks.



Joonis 5.1.3 Näidiskontori temperatuuriväli

Suurtest lisa soojuskoormustest hoolimata on jooniselt näha, et temperatuur jaguneb ruumi keskosas ühtlaselt ning tänu aktiivjahutuspaikidele toimub õhu segunemine.

Kokkuvõtteks võib öelda, et kõrge õhutemperatuuriga oludes on viibimistsoonis õhu liikumiskiirused vastavalt Joonis 5.1.2 piiripealsed. Lisaks on näha, et keskmise töökoha on üsna täpselt aktiivjahutuspaigilt tulevate õhuvoolude liitumispunktis, mis omakorda näitab, et tegemist on kriitilise kohaga. Antud olukorra esmaseks hindamiseks piisab ka üldisest jahutuspaikide vaatlusest, millest võib järeldada, et umbes 1 m kaugusel mõlemast palgist on kindel oht sattuda palgi õhuvoolude liitumispunkti, kus õhu liikumiskiirused liituvad. Samuti võib tekkida vasakpoolsel töökohal tõmbusest tingitud ebamugavus erinevate kehaosade vahel. Selle põhjuseks on mööda seina tulev õhuvool,

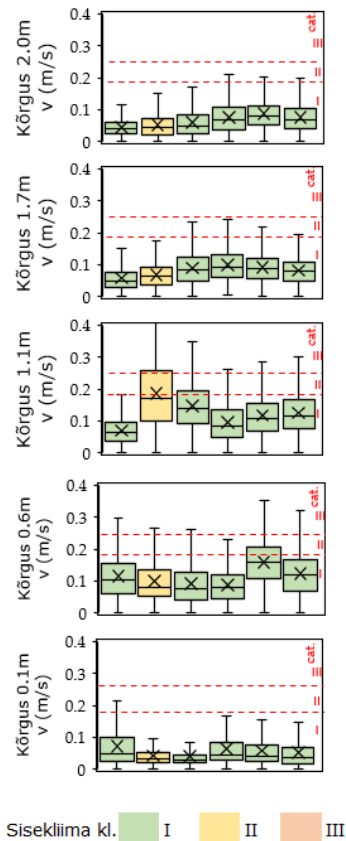
mis liigub edasi mööda põrandat ning võib tekitada pahkluude ja jalgade piirkonnas ebamugavust.

Kuna katse eesmärk oli mõista ruumis toimuvat, siis siinkohal on mitmeid pidepunkte mida järgnevate tulemuste juures silmas pidada. Näiteks antud ruumi puhul on seina äärne palk ning selle juures olevad töökohad kriitilised tsoonid, millele rohkem tähelepanu juhtida.

5.1.2 Näidiskontori *Dummyde* vaheline katse

Positsiooni määramatuse katse eesmärk oli välja selgitada katses kasutatud *Dummy* mõju mõõtetulemustele kahe *Dummy* vahel. Selleks mõõdeti õhu liikumiskiirusi kahe *Dummy* vahel 10 cm sammuga. Täpsem katse ning positsiooni kirjeldus nähtub peatükist 4.2.5

Mõõtetulemuste keskmised väärtused on kujutatud Joonis 5.1.4, kus on lisaks välja toodud ka millisesse sisekliima klassi antud tulemus jääb. Iga mõõtepunkti kohta on diagrammil kujutatud karpdiagramm. Punktis mõõdetud miinimum- ja maksimumkiirused on kujutatud kastist välja ulatuvate joonte tipus olevate horisontaalsete joontega. Kasti ülemine ja alumine ots tähistavad esimest ja kolmandat sektorit mõõteperioodist, mida nimetatakse kvartiiliks. Nimelt saame tänu ülemisele ja alumisele kvartiilile eemaldada suured kõrvalekalded keskmistest kiirustest, mis võivad mõõtmistes tekkida. Karpdiagrammi keskel olev keskjoon ning sellel olev rist tähistavad mõõtmistulemuse mediaanväärtust mõõdetud punktis. Mõõtepunkti sisekliima määramisel on lähtutud nelja alumise mõõtekõrguse keskmisest suurimast väärtusest. Viimast viiendat ehk kõige kõrgemat mõõtepunkti pole sisekliima klassi määramisel arvestatud, kuna see on väljapool viibimistsooni.



Joonis 5.1.4 *Dummyde* mõju katse tulemustele

Jooniselt on näha, et alumisel mõõtekõrgusel jäävad kõigis punktides õhu liikumiskiirused alla 0,1 m/s ning on peamiselt ühel tasemel. Kõrgusel 0,6 m on näha juba veidi suuremat õhu liikumiskiirust. Samuti võib märgata esimeses ja viiendas punktis veidi suuremaid õhu liikumiskiirusi, millest võime järeldada mõningat *Dummyde* soojade õhuvoolude liikumise mõju katse tulemustele.

Mõõtmiste kõige kriitilisemal kõrgusel, st kõrgusel 1,1 m näeme, et teises mõõtepunktis on õhu liikumiskiirus teistest punktidest oluliselt kiirem. Samuti langeb saadud kolmanda kvartiili tulemus kolmandasse sisekliima klassi. Vastavat olukorda võivad põhjustada *Dummyde* kestas olevad avad, millest eraldub kesta sisemuses põlevate lambipirnide soojus on samuti 1,1 m peal. Seega tekib sellel kõrgusel soojusvoolu liikumine, mis lisaks ruumis olevate ventilatsioonielementide õhuvooludele avaldab mõju mõõtmisel saadud tulemusele. Ülemistel kõrgustel on näha, et õhu liikumiskiirused vähenevad ning olukord ühtlustub. Seega saame järeldada, et kõrgusel 1,1 m on *Dummyde* mõju mõõtmistele täiesti arvestatav.

Joonis 4.2.8 on kujutatud antud katse mõõtepunktide asukohad, mis aitavad visualiseerida saadud tulemusi. Siinkohal on hea võrrelda antud katse mõõtepunktide asukohta eelneva katse kiirusvälja pildiga. Nende kahe omavahelisel võrdlusel saame öelda, et kuna ruumi löikes õhukiirused on pigem normis, siis *Dummyde* kõrval mõõtes peab kindlasti arvestama 1,1 m peal *Dummyde* mõjuga.

5.1.3 Näidiskontori töökohtade katse tulemused

Töökohtade maatriksi katsel mõõdeti õhu liikumiskiirusi laua ümber olevatel töökohtadel 10 minuti jooksul. Katse eesmärk oli välja selgitada, kas pikema mõõteperioodi kasutamine toob kaasa olulised erisused tulemuses, võrreldes olukorraga, kus kasutatakse kolmeminutilist mõõteperioodi. Täpsema katse läbiviimise kirjelduse leiab peatükist 4.2.5 töökoha maatriksi katse kirjelduses. Antud eesmärkide saavutamiseks eraldas autor katse tulemused kaheks osaks. Tulemuste esimeses osas tehakse üldisemad järeldused 10 minuti mõõteperioodist saadud tulemuste põhjal ning seejärel keskendutakse kriitilisele ja madalale kolmeminutilisele mõõteperioodile, kust saab tuua paralleele pikema perioodi jooksul toimunuga.

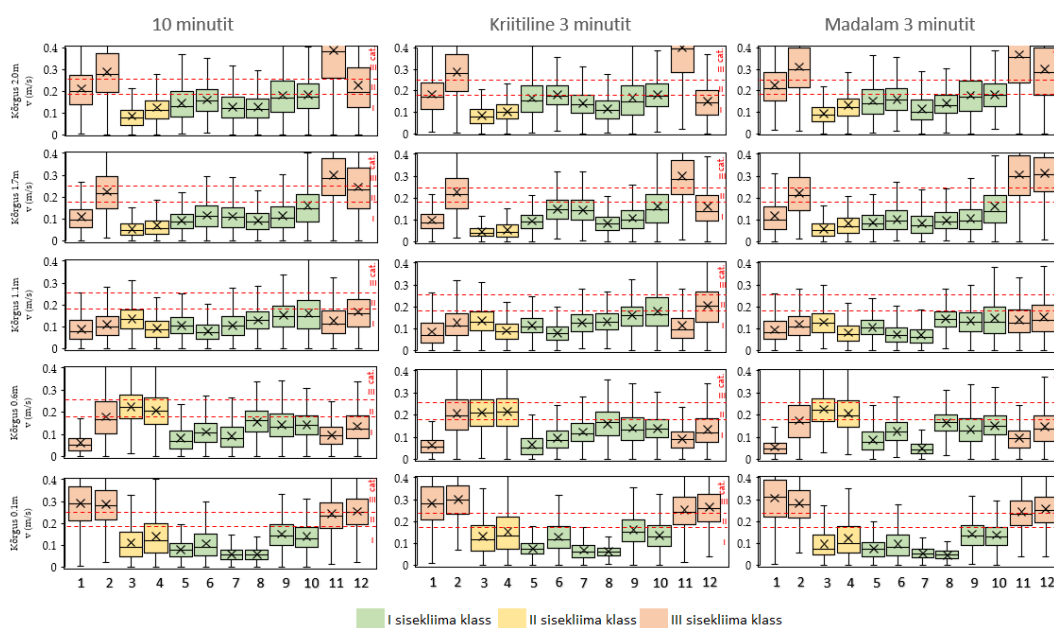
Katse hetkeks oli ruumi tekitatud ekstreemne olukord, mis väljendus eriti kõrges õhutemperatuuris. Olukord tekitati eesmärgiga saada tulemusi, mille põhjal teha järeldusi, kuhu maani antud ruumi sisekliima olukord võib üldse minna. Eelnev on oluline, kuivõrd juhul kui me teame, mis sisekliimaga toimub kriitilises olukorras, saame välja selgitada aspektid, millele on vaja tähelepanu pöörata sisekliima parandamiseks. Joonis 5.1.5 on näha näidiskontori katse tulemustest, et 10-minutilise mõõteperioodi jooksul joonistuvad välja väga selgelt kriitilised mõõtepunktid.

Jooniselt on näha, et suurte õhu liikumiskiirustega piirkonnad jäävad ruumis seina äärde, mida nägime ka ruumi löike katsel. Samuti peab tõdema, et kõige suuremad keskmised kiirused on saadud ülemisel ja alumisel mõõtekõrgusel. Nagu eelneva katse tulemustes mainitud, ei arvestata kõige kõrgemat mõõtekõrgust 2.0 m sisekliima klassi määramisel, kuna see jääb viibimistsoonist välja. Ühe erisusena jäävad esmapilgul silma esimese mõõtepunkti 0,6-1,7 m mõõtekõrguste tulemused, kus on erinevalt teisest mõõtepunktist oluliselt madalam õhu liikumiskiirus. Antud olukorras võis mõju avaldada kontori laud, mis suunas seinalt tuleva õhujoa liikumist. Kuna esimene punkt on lauale lähemal kui teine, siis võiks erisust pidada põhjendatuks. Sarnast mustrit on

näha ka 11. ja 12. mõõtepunkti puhul, kus pole olukord nii märgatav, kuid sellele vaatamata teatav muster ikkagi tekib. Tulemusi mõjutab ka asjaolu, et mõõtepunkti kaugust lauast ei ole üheselt määratud antud katse meetodikas.

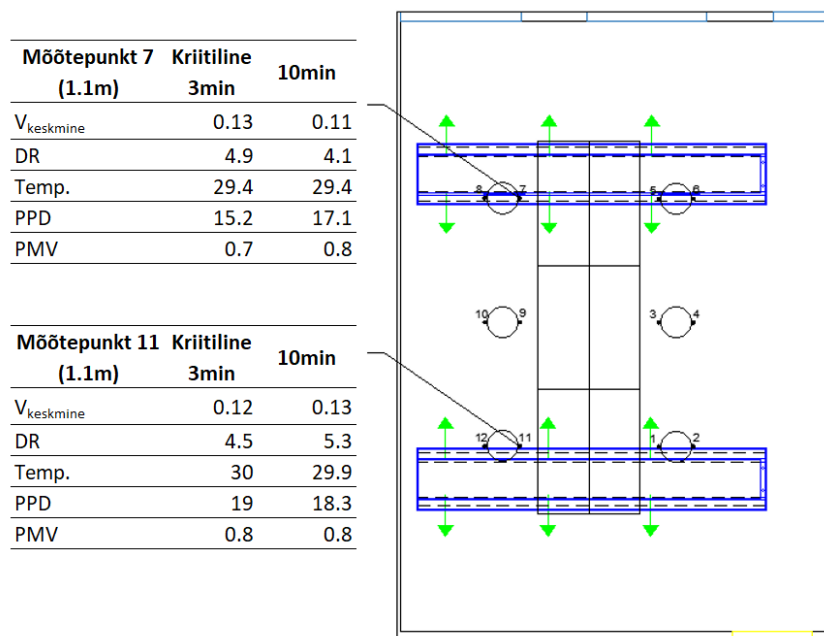
Kindlasti peab ära märkima, et arvestades ekstreemseid olusid, mis tekitati, on keskmiste mõõtepunktide tulemused üsna head. Joonis 5.1.5 on näha, et mitmed mõõtepunktid jäid üsna napilt välja esimesest sisekliima klassist. Arvestades ruumis olevat +27°C õhutemperatuuri, jäävad õhu liikumiskiirused lubatud teise sisekliima klassi. Samuti jäi viies mõõtepunktis kõigi mõõtekõrguste lõikes tulemus esimesse sisekliima klassi. Seega võib öelda, et antud mõõtmise tulemuste põhjal on ruumi sisekliima osas kõige kriitilisemad ja probleemsemad sein ääres asuvad tökohad. Saadud tulemustest saab teha järelduse, et ruumis on väga hästi projekteeritud lahendus või reaalsuses jääb jahutusvõimsusest puudu, ning seetõttu ei tõuse ka õhukiirused oluliselt.

Katse tulemuste teise osana käsitletakse sellest kümnest minutist filtreeritud kriitilist ja madalat kolme minutit. Leitud kriitilise kolme minuti andmed on olulised, et tekitada võrdlusmoment ning tuvastada, kui suur on vahe kümne minuti jooksul tehtud mõõtmisega samades mõõtepunktides kolme minuti jooksul. Samuti tuuakse välja kõige madalamate keskmiste õhu liikumiskiirustega periood, mistõttu on toodud välja kogu katse kolme minuti piirväärtused.



Joonis 5.1.5 Näidiskontori töökohtade maatriksi katse tulemused. Vasakul 10 minuti tulemused, keskel kriitilise 3 minuti tulemused ja paremal ideaalse 3 minuti tulemused

Joonis 5.1.5 on kujutatud kaheteistkümne mõõtepunkti tulemused, kus on kõrvuti pandud 10-minutilise katse keskmised tulemused ning sellest 10 minutist valitud kriitilise ja madala 3 minuti tulemused. Nagu on tulemustest näha, siis roheline karpdiagramm ehk esimene sisekliima klass on kõigi perioodide vältel tagatud kuues mõõtepunktis. Kõigis teistes mõõtepunktides on vastavalt EVS-EN 16798-1:2019/NA:2019 tulemused teises või kolmandas sisekliimaklassis [15]. Sarnaselt kümne minuti jooksul saadud tulemustega on kõige kehvem olukord üheteistkümne mõõtepunktis, kus nii ülemistel kui ka alumistel mõõtekõrgustel ületavad õhu liikumiskiirused kolmanda sisekliima klassi alumise piiri. Küll on näha väikest erinevust mõõteperioodide vahel, kuid suuri erinevusi mis mõjutaks sisekliima klassi ei ole. Mõõtmiste kõige kriitilisema ja kõige ideaalsema punkti asukoht ja täpsemad andmed 1.1 m peal on kujutatud Joonis 5.1.6.

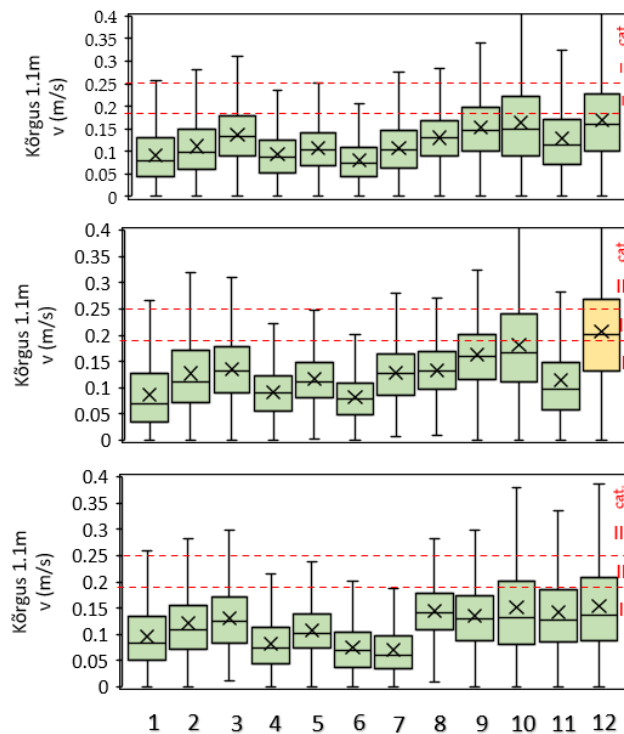


Joonis 5.1.6 Mõõtepunktid 7 ja 11 nädiskontori plaanil

Võrreldes antud joonisel välja toodud tulemusi eelneva joonisega saame öelda, et õhu liikumiskiiruste osas annab 10 minutiline mõõtmine üldiselt ühtlasema väärtuse. Seda tänu sellele, et mõõtmise käigus olnud üksikud kõikumised ühtlustuvad. Samas peab ka tõdema, et väga suurt erinevust tulemustes ei ole ning selle põhjal saame esmapilgul öelda, et pikem mõõteperiood ei pruugi tulemust oluliselt muuta.

Kuna antud mõõtmistel pöörati peamist tähelepanu õhu liikumiskiirustele, siis Joonis 5.1.7 on eraldi välja toodud kriitilise ja madala 3 minuti ning 10-minutilise

mõõteperioodi tulemused kõrgusel 1.1 m. Erinevalt eelmistest joonistest, kus tulemused on kujutatud sarnasel kujul, on antud joonisel sisekliima klasside jaotus ainult 1.1 m põhine.



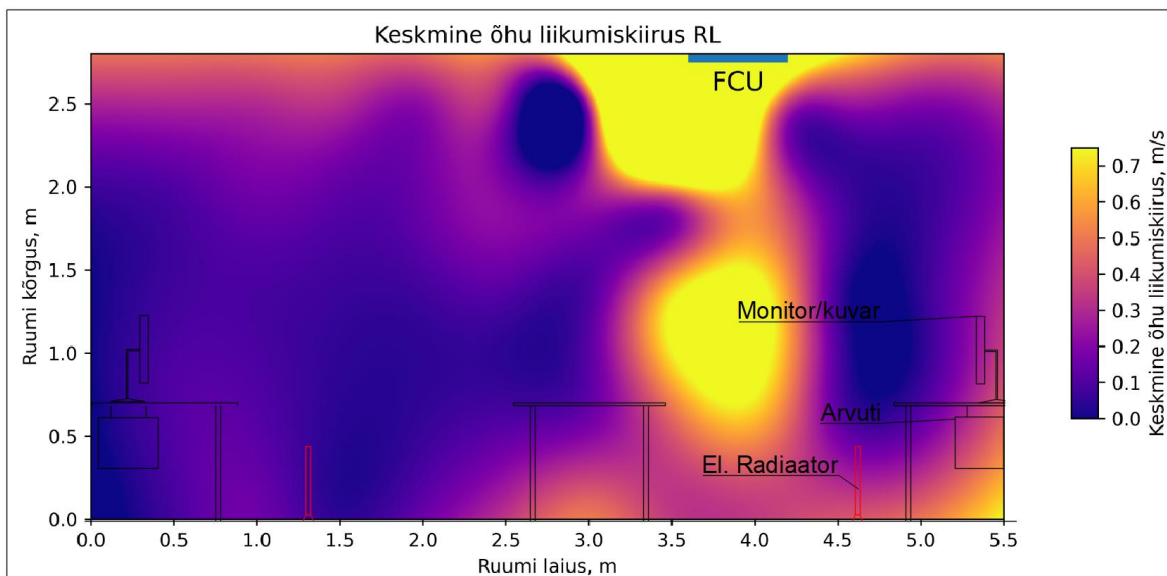
Joonis 5.1.7 10 minuti tulemused eraldiseisvalt 1.1 meetri kõrgusel (ülemine joonis), kriitilise 3 minuti tulemused eraldiseisvalt 1.1 meetri kõrgusel (keskmise joonis), madala 3 minuti tulemused eraldiseisvalt 1.1 meetri kõrgusel (alumine joonis)

Antud joonis näitab seda, et käsitledes tõmbusele kõige tundlikumat kaela piirkonda ehk 1.1 m eraldi, jäävad kriitilise 3 minuti kaheteistkümnest punktist 11 esimesse sisekliima klassi. Kõigist punktidest ainult üks jääb teise klassi ning see pole olnud eelnevates mõõtmistes kõige kriitilisem punkt. Kõige kriitilisem punkt on olnud eelnevalt üheteistkümnes punkt, mille kriitilisus on tulenevalt ülemistel mõõtekõrgustel saadud suurtest õhu liikumiskiirustest. Siinkohal võib öelda, et keskendudes ühele punktile võivad tulemused olla oluliselt paremad, kuid üldise olukorra mõistes võib see siiski anda eksitavaid tulemusi.

Kui vaadata 10 minutilise ja madala 3 minuti mõõteperioodi tulemusi, siis kõik tulemused jäid esimesse sisekliima klassi. See näitab seda, et pikem mõõteperiood ühtlustab mõõtmisel tekkinud suuri kiiruseid ning saadud tulemus võib olla kriitilises punktis olla eksitav. Kuid samas leides 10-minutilise mõõteperioodi keskelt kriitiline periood, saame kriitilisema tulemuse ning muutub ka sisekliima klass.

5.1.4 Täiendava mõõtmise tulemused

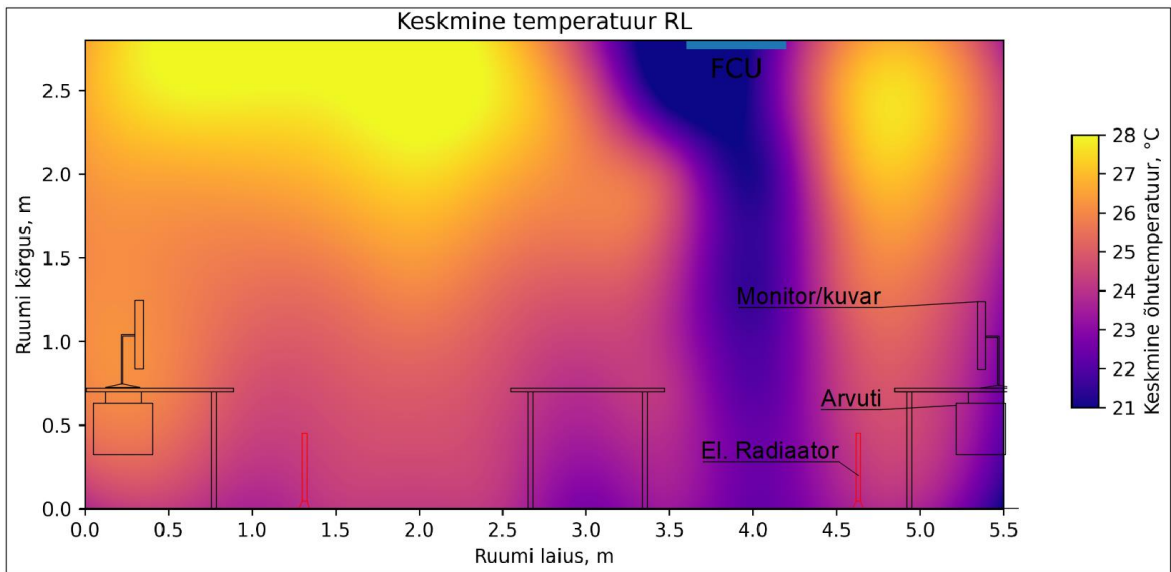
Täiendava mõõtmise käigus tehti sarnaselt näidiskontori lõikekatsele mõõtmine mõistmaks ruumis toimuvat. Kuna tegemist oli arvutiklassiga, mis oli varustatud *fancoil* jahutusseadmetega, oli oluline mõista, mis ruumis toimub. Erinevalt näidiskontoris teostatud katsele mõõdeti täiendaval mõõtmisel nii risti kui ka piki ruumi 0.5 m sammuga liikudes mööda sirget joont.



Joonis 5.1.8 Täiendava katse keskmine õhu liikumisekiirus ruumi ristlõikel

Joonis 5.1.8 on kujutatud õhu liikumiskiirused ruumi ristlõikes, kus mõõte tsooni jäi üks *fancoil* seade. Jooniselt on selgelt näha, et *fancoili* all olevas tsoonis on õhu liikumiskiirused kuni 0.7 m/s mis on mitmeid kordi suurem lubatud 0.2 m/s-st [15]. Samuti on probleemses tsoonis ka istekohad, kus on enam kui kindel, et inimene tunnetab, et õhk puhub talle peale.

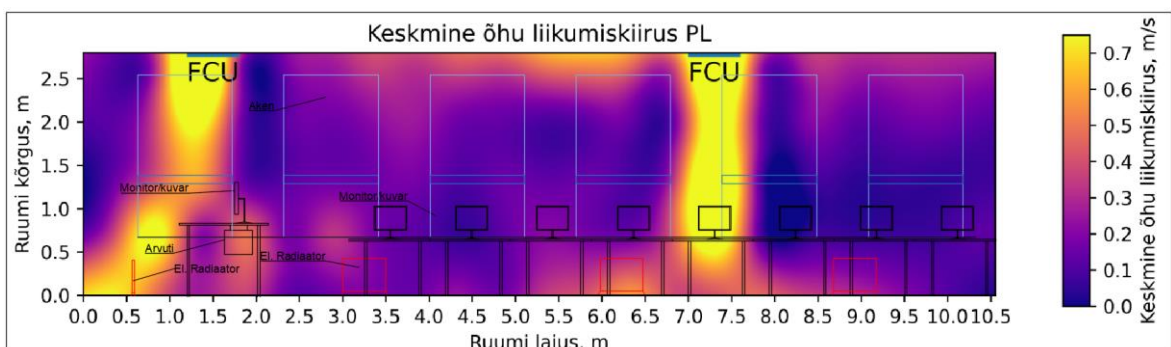
Joonis 5.1.9 on välja toodud sama mõõtepiirkond, kuid kajastatud on keskmised õhutemperatuurid. Jällegi on näha, et täpselt seadme all on temperatuur oluliselt madalam kui seadmest kaugemal. Jällegi on näha, et seadme all ja vahetus läheduses on oht ebamugavustundeks, kuna temperatuuride vahe on ruumis päris suur.



Joonis 5.1.9 Täiendava katse keskmine temperatuur ruumi ristlõikel

Kuna *fancoil* seadme eesmärk antud ruumis on tagada ette antud sisekliima parameetrid, siis saadud tulemuste põhjal võib öelda, et laias laastus suudab seade tagada ette antud ruumi temperatuuri. Küll aga ei jõua piisavalt jahe õhk vasakul olevate laudadeni.

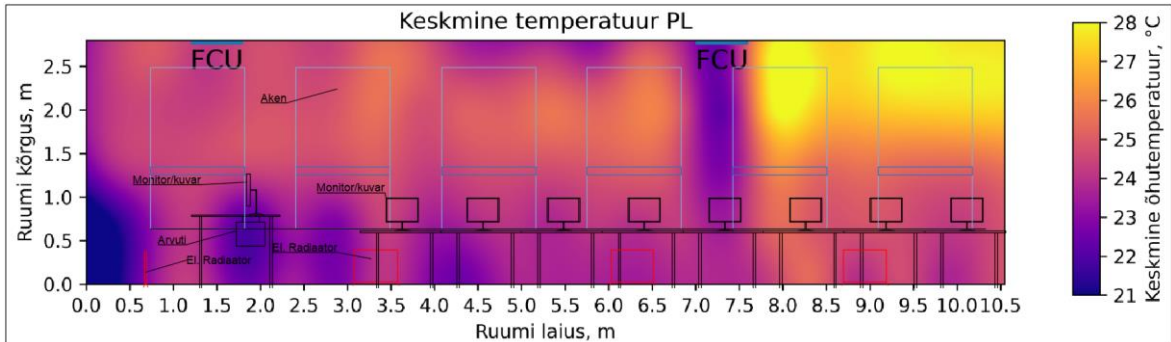
Joonis 5.1.10 on esitatud ruumi põiklõike katsel saadud keskmise õhu liikumiskiiruse tulemused. Nagu ka eelnevalt eristuvad oluliselt suuremad keskmised õhu liikumiskiirused *fancoil* seadmete all. Vasakpoolse seadme puhul on näha, et *fancoili* all olev laud segab õhuvoolu jõudmist otse põrandani ning seetõttu hajub õhujuga laualt laiali. See tähendab aga seda, et laua taga töötavale õppejõule puhub pidevalt peale ning tekitab ebamugavust.



Joonis 5.1.10 Täiendava katse keskmine õhu liikumisekiirus ruumi põiklõikel

Lae pinnal olevate õhuliikumiste põhjuseks on ruumis olevad sissepuhke difuusorid, mis tagavad ruumis piisava ventilatsiooni.

Keskmete temperatuuride osas joonistub aga välja olukord kus soe õhk jääb kinni ruumi paremasse üles nurka. Joonis 5.1.11 on näha, kuidas võrreldes ülejäänud ruumiga on parema ülemise nurga keskmine temperatuur oluliselt kõrgem. Kuna nimetatud tsoonis puudub ka ventilatsiooni väljatõmme, ei toimu õhuringlust ning jahe õhk ei jõua sinna.



Joonis 5.1.11 Täiendava katse keskmine temperatuur ruumi põiklõikel

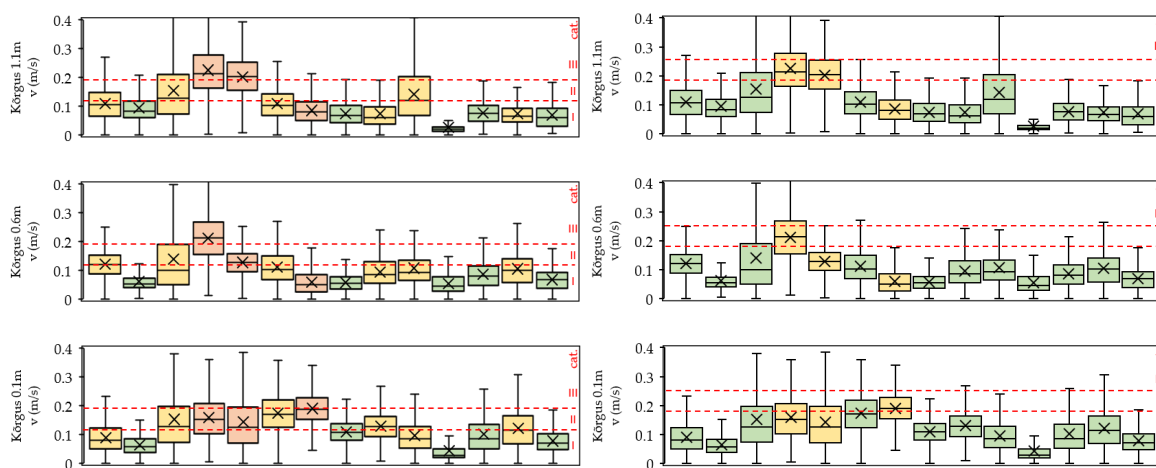
Teistes ruumi osades on näha ühtlast temperatuuri jaotust ning suuri iseärasusi märgata ei ole. Kui võrrelda kahe seadme poolt tekitatavat õhujuga, siis parempoolsel seadmel joonistub see märksa selgemalt välja. Ilmselt on põhjuseks nurka kinni jäänud soojem õhk, mis suurema temperatuuri erinevuse tõttu ei lase õhul piisavalt seguneda ning jahe õhk liigub sirgjooneliselt alla. Vasakpoolse seadme puhul eristuvat juga pole näha, kuid siin võib seda mõjutada juba eelnevalt mainitud õppejõu laud, mille vastu liikus õhujuga ning sealt omakorda hajus laiali.

Teostatud mõõtmiste põhjal võib öelda, et *fancoil* seadmete puhul on nende all ning läheduses viibides tunda tõmbust ning ebamugavust. Seda põhjusel, et seadmeest tulev jahe õhk liigub üsna sirgjooneliselt ning kiirest alla põrandani. Seadmeest eemal viibides ei jõua alati piisavalt jahe õhk nõutud viibimistsooni, mis on samuti probleem. Täiendavalt on *fancoil* seadmete puhul probleemiks müra, mida antud lõputöö raames ei hinnata, kuid edasiste uuringute ning mõõtmiste valguses on tegemist olulise parameetriga antud tüüpi seadmete puhul.

5.2 Saadud tulemuste analüüs võrreldes varasemate tulemustega

5.2.1 Viie hoone pistelised mõõtmised

Varasemalt on mõõdetud ning hinnatud viie kaasaegse büroohoone sisekliimat ja soojusliku mugavust. Antud mõõtmiste puhul on hinnatud saadud tulemusi rahvusvahelise standardi EN 16798-1:2019 järgi. Täpsem ülevaade mõõtemetoodikast ning üldistest tulemustest leiab 2020. aastal välja antud soojuslikku mugavust käsitletud artiklis [11]. Antud lõputöös läbi viidud katse võrdluseks on varem mõõdetud tulemusi analüüsitud lähtudes EN 16798-1:2019/NA:2019 toodud normidest, mis on mõnevõrra leebemad rahvusvahelise standardi väärtustest [15]. Joonis 5.2.1 on kõrvuti välja toodud hoone E mõõtetulemused lähtudes rahvusvahelisest standardist ja Eesti rahvuslikust lisast. Kõigi viie hoone tulemused lähtudes rahvuslikuvahelisest standardist on toodud järgmistes lisades: Lisa 6, Lisa 7, Lisa 8, Lisa 9 ja Lisa 10



Joonis 5.2.1 Vasakul hoone 2 EN 16798-1 väärtuste põhjal esitatud tulemused, paremal EVS-EN 16798-1:2019/NA:2019 väärtuste põhjal esitatud tulemused

Kuna näidiskontori katsel loodi ekstreemne suvine olukord, siis viie hoone tulemustes on kasutatud vaid suviste mõõtmiste tulemusi. Saadud tulemused on esitatud lõputöö lisadena: Lisa 1, Lisa 2, Lisa 3, Lisa 4, Lisa 5.

Hinnates lisades välja toodud tulemusi võib öelda, et sisekliimat ja soojuslikku mugavust mõjutab suures osas vastavat ruumi teenindav tehnosüsteemi tüüp. Nimelt Lisa 4 välja toodud tulemused jäävad kõik peamiselt esimesse sisekliima klassi. Antud hoones on kasutatud kiiruslikke jahutuspaneele, mis ei tekita suuri õhu liikumiskiiruseid, kuna jahutus toimub kiiruslikul teel ning jahutuseks ei kasutata mehaanilist õhu liigutamist. Kolmandasse sisekliima klassi jäid Lisa 3 toodud hoone A tulemused, kus olid kasutuses nii aktiivjahutuspalgid kui ka *fancoil* seadmed, kuna kontoris olid suured sisemised soojuskoormused. Lisa 1 toodud hoone B tulemused, kus oli kasutusel *TABS* süsteem, kuid suurte õhu liikumiskiiruste põhjuseks võib olla kahekordistatud õhu hulk. Kuid samas on teistes mõõtepunktides saadud tulemused esimeses sisekliima klassis. Sellest saame järeldada, et hoones on paar kriitilist kohta, mida tuleks täpsemalt uurida ning millele tuleks leida lahendus olukorra parendamiseks.

Hoone E tulemustega sarnast olukorda on näha ka hoone C puhul, kus peamiselt jäävad tulemused esimesse sisekliima klassi, kuid on ka teise klassi jäävaid mõõtepunkte. Hoone A tulemuste puhul eristub 14. mõõtepunkt, kus õhu liikumiskiirused on teiste punktidega võrreldes oluliselt suuremad. Tulemusi kirjeldatud artiklis on välja toodud olukord, kus 14. mõõtepunkti vahetus läheduses oli lisaks aktiivjahutuspaikidele paigaldatud ka *fancoil* seade, mis antud olukorra võis põhjustada [11]. Hoonetes E (Lisa 2) ja C (Lisa 5) on mõlemas kolm mõõtepunkti, kus õhu liikumiskiirus ületab teise sisekliima klassi piiri. Üldiselt õhu liikumiskiiruse tulemusi hinnates on hoones B üle 2/3 kõigist punktidest esimeses sisekliima klassis ning hoones E on veidi alla 2/3 punktidest esimeses sisekliima klassis.

Kui hinnata kõigi hoonete PMV, PPD ja DR arvutuslikke tulemusi, siis selgelt tulevad esile hoone E tulemused, kus umbes pooled tulemused jäävad teise või kolmandasse sisekliima klassi. Kuna antud hoone on ainus täielikult *fancoil* seadmetega lahendatud hoone, siis võib öelda, et *fancoil* seadmete kasutamisel on suurem oht soojuslikule ebamugavusele. Samuti on hoone A punktis 14 saadud sisekliima parameetrid ületanud kolmanda sisekliima klassi piiri, kuid nagu eelnevalt mainitud, siis antud punkti vahetus läheduses oli lisaks üldisele aktiivjahutuspaikide süsteemile ka *fancoil*, mis võis mõõdetud tulemusi mõjutada.

Autori hinnangul tuleks mainitud viie hoone tulemusi täpsustada või neid kontoripindasid täpsemalt uurida. Mõõtemetoodikates ega käsitletud viie hoone kokkuvõttes pole üheselt selgitatud, kuidas määrata ning mis koormustel jahtusseadmed töötasid. Eelkõige on oluline teada mõõdetud positsioonide juures olevate seadmete koormused. Samuti tuleks kontrollida hüpoteesi, kas otsese

päikesekiirguse eest efektiivsemalt kaitstud avatäidetega ruumides teostatud mõõtetulemustes on päikesekiirguse mõju määrava tähtsusega.

Antud magistritöös keskenduti täiendavatele mõõtmistele juba paigaldatud süsteemide puhul. Samuti peaks edaspidi uurima täpsemalt ka ülejäänud protsesse, mis eelnevad lõplikule süsteemi valikule ning paigaldusele. Uurida tuleks jahutuse projekteerimise aluseid õhu liikumiskiirusest lähtudes, näiteks KVJ inseneri vaatenurgast. Kui on teada *fancoilide*, kiirguspaneelide ja aktiivjahutusplankide soovituslikud jahutusvõimsused või nende vahemikud, saame anda juhiseid ja kriteeriume teistele osapooltele, näiteks fassaadide kujundamiseks. Antud võimalus toimib on juhul kui tellijal on kindel soov kasutada just üht nendest süsteemidest. Teiseks tuleks uurida algselt projekteeritud lahenduste ning hilisemate muudatuste mõju, tulenevalt ehitaja eelarvest või toodete saadavusest ehituse hetkel. Ning kolmandaks oleks võimalik uurida eripärasid süsteemide seadistuses, ning kui palju reaalselt paigaldaja seadmete toimivust kontrollib peale paigaldust.

Pakutud lahendused aitavad probleemidest tingitud hilisemate mõõtmiste käigus hoida kokku aega, analüüsides ning kaardistades probleemseid kohti juba varem. Antud tegevused on üpris ajamahukad ning tänu sellele tellijale lisakulu, kuid nendest tekib kogemus mida hilisemates projektides on võimalik rakendada.

5.2.2 Tulemuste võrdlus ning ettepanekud

Antud lõputöös tehtud mõõtmised olid edukad ning saadud tulemuste põhjal on võimalik töös püstitatud hüpoteese analüüsida. Näidiskontori mõõtmisel sai hea ülevaate ruumis toimuvast ning samuti õnnestus visualiseerida ja välja selgitada ruumi kriitilisemad kohad. Lisaks kriitiliste kohtade välja selgitamisele andis mõõtmine ülevaate ka *Dummyde* mõjust ning soojusliku mugavuse olukorrast kindlaks määratud töökohtadel ümber avatud kontori laua. Täiendavalt viidi läbi mõõtmine *fancoil* seadmetega ruumis, kus teostati ruumi risti- ja pikilõike katse, millega hinnati ruumis toimuvat.

Üheks oluliseks eesmärgiks antud lõputöös oli välja selgitada, kuidas mõjutab pikem mõõteperiood mõõte tulemusi. Samuti oli oluliseks käesoleva lõputöö eesmärgiks selgitada välja, kas pikema mõõteperioodiga saame adekvaatsema ning selgema ülevaate õhuliikumisest ning teistest parameetritest. Näidiskontori töökohtade

maatriksi katses kasutati mõõteperioodina 10 minutit, millest hiljem parema võrdluse ning ülevaate saamiseks leiti kriitiline ja madal 3 minutit. Kriitiline 3 minutit andis võimaluse kõrvutada saadud tulemus teiste varasemalt mõõdetud tulemustega, kuna varasemates mõõtmistes pikemat mõõteperioodi pole kasutatud.

Võrreldes omavahel 10 minuti jooksul mõõdetud väärtusi ning sealt avaldatud kriitilist ja madalat kolme minutit, siis pikem mõõteperiood ei avaldanud erilist mõju. Tulemused olid sisekliima klasside osas samaväärsed ning seega võib öelda, et pikem mõõteperiood antud katse puhul oodatud erinevust ei andnud. Küll aga võib pikem mõõteperiood ja sealt leitav kriitiline kolm minutit anda erinevust juhul, kui ruumi sisekliima on suurel määral mõjutatud välismõjudest. Eraldi välja toodud 1.1 m mõõtekõrgusel eristus olukord, kus 10 minuti ja madala kolme minuti mõõteperioodi tulemused oli kõik esimeses klassis. Kriitilise kolme minuti perioodil jäi samas üks mõõtepunkt teise sisekliima klassi, mida võib pidada mõõtemetoodika oluliseks mõjukuks. Kuna antud töös välismõjule olulist tähelepanu ei pööratud, on edasistes analüüsides see üks punkt mida uurida ning kaardistada.

Kuna mõõtmisi viidi läbi katselises näidiskontoris, siis inimesi ning nendelt tulevad soojuseraldust simuleerisid *Dummyd*. Varasemates mõõtmistes ei kaasatud mõõtepositsioonidel inimesi, siis oli oluline mõista kuidas mõjutavad mõõtmisi lähtuvalt standardist konstrueeritud *Dummyd*. Kuna *Dummy* ülaosas on avad, mille kaudu eraldus sisemuses olevate hõõgpirnide soojusvoog, võis oletada suuremat mõju 1.1 m kõrgusel, kus avad paiknesid. Saadud tulemused seda ka näitasid ning Joonis 5.1.4 on näha suuremaid õhu liikumiskiiruseid *Dummyst* 20 cm kaugusel asuvas mõõtepunktis 1.1 m kõrgusel. Edasistes mõõtmistes saame saadud tulemust silmas pidada ning sellest lähtuvalt mõista võimalike anomaaliate põhjust. Samuti saame edasiste mõõtmiste puhul mõõtepositsioone valides vältida olukordi, kus *Dummy* mõju pärsib oluliste tulemusteni jõudmist. Kindlasti tuleks tulevikus rohkem süvitsi uurida ja võrrelda samadel tingimustel koos ja ilma *Dummydeta* tulemusi, mis annaks meile täpsed väärtused nende mõju kohta.

Oluline osa sisekliima ning soojusliku mugavuse hindamisel on mõista ruumi üldist olukorda. See aitab keskenduda piirkondadele, kus on suurem tõenäosus ebamugavusele. Töös läbiviidud ruumi lõike katse eesmärk oli mõõta piki sirget 0.5 m sammuga ruumis õhu liikumiskiirust ning temperatuuri. Antud katse tulemuste põhjal koostatud värviline pilt (Joonis 5.1.2, Joonis 5.1.3) annab olulise ülevaate ruumis toimuvast ning võimaldab kiiresti tuvastada ruumi kriitilised kohad.

Samal põhimõttel viidi läbi ka *fancoil* seadmetega ruumis lõikekatse, kus kaardistati ruumis toimuv nii risti kui pikiruumi mõõtes. Joonis 5.1.8 ja Joonis 5.1.10 on selgelt näha, kuidas *fancoil* seadme poolt tekitatav õhujuga on täiesti erinev aktiivjahutuspalgi poolt tekitatava õhujoa suhtes. Peamine erinevus on see, et *fancoil* seadme õhujuga liigub otse seadme alla ning õhu liikumiskiirused seadme all on üsna suured. Palkide puhul õhk seguneb rohkem ning see kinnitab olukorda, kus *fancoil* seadmete all viibides on tõmbustunne ning ebamugavus palju tõenäolisem kui palkidega. *Fancoil* seadmete puhul on küll võimalus need inimese poolt välja lülitada ja seadistada rohkem, kuid sellisel juhul ei ole tagatud sisekliima nõuded ning olukord võib muutuda märksa hullemaks.

Antud töö puhul ilmnes olukord, kus aktiivjahutuspalg oli seinale liialt lähedal ning mööda seina liibuv õhujuga jõudis oluliselt suurema kiirusega viibimistsooni. Antud juhul aitas saadud tulemus efektiivselt eristada ruumi kriitilised alad ning hoida kokku liigsetele mõõtmistele kuluvat aega. Lisaks sellele on tegemist lihtsasti mõistetava tulemuste esitamise viisiga, mis võib tulla kasuks valdkonnaga vähem kursis olevale tellijale olukorra selgitamisel. Lisaks muudab kirjeldatud katse ning selle tulemuste esitamine sisekliima hindamise protsessi efektiivsemaks, mis on tänapäevase kiire elutempo ning protsesside optimeerimise juures oluline aspekt.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärk oli analüüsida õhu liikumiskiiruse hindamismetoodikat, tuues näiteks kaasaegse kontori. Eesmärgi saavutamiseks viidi läbi pistelisi mõõtmisi kahes ruumis, millest esimene nõupidamiste ruum oli varustatud aktiivjahutuspaikidega ning teine arvutiklass otseaurustusega *fancoil* seadmetega. Nõupidamiste ruumis viidi läbi kolm katset, kus hinnati katses kasutatavate *Dummyde* mõju, ruumi lõikes sisekliima parameetreid ning töökohtadel olevat soojulikku mugavust. Teises ruumis viidi läbi täiendav katse, kus hinnati samuti sisekliimat kogu ruumi lõikes, kuid teise ruumi puhul kasutati sisekliima tagamiseks *fancoil* seadmed. See andis võimaluse kahe erineva lahendusega ruume omavahel võrrelda.

Lisaks kasutati lõputöö analüüsi ja järelduste osas varasemalt läbiviidud viie kaasaegse büroohoone mõõtmiste tulemusi, mis esitati hetkel kehtiva sisekliima standardi Eesti rahvuslikus lisas kajastatud normide järgi. Varasemalt esitatud tulemuste ning antud lõputöös esitatud tulemuste vahemike võrdlus näitas, et Eesti rahvusliku lisa nõuded on veidi leebemad kui Euroopa standardis olevad normid.

Lõputöös läbiviidud katsete tulemused näitasid, et õhu liikumiskiiruste mõõtmiste puhul on oluline kaardistada ruumide kriitilised tsoonid, ning pöörata tähelepanu nendes toimuvale. Samuti näitasid tulemused, et oluliselt pikem mõõteperiood ei anna igal juhul ning igas olukorras usaldusväärsemaid tulemusi. Pikem mõõteperiood on pigem põhjendatud juhul, kui ruumi sisekliima on suurel määral mõjutatud välistest teguritest. Seda kinnitavad ka viie maja tulemused, kus hoone E tulemused kõikusid üsna palju tänu suurele välisele mõjule. Samas hoone D puhul oli kõikumine väike, kuna tegemist oli oluliselt väiksemate akendega majaga ning seega polnud väline mõju kuigi suur.

Analüüsides läbiviidud katseid ning varasemaid tulemusi, võib öelda, et suurt rolli inimese soojuslikus mugavuses omavad ka sisekliima parameetrite saavutamiseks projekteeritud tehnosüsteemid. Lähtudes hoone E ja täiendava mõõtmise tulemustest on suur oht soojuslikuks ebamugavuseks ruumides, kuhu on projekteeritud *fancoil* seadmed. Kõige väiksem on oht ebamugavuseks ruumides, kus kasutatakse kiirguslikke jahutuspaneele, mis ei vaja ruumi jahutamiseks õhu liikumist vaid jahutus toimub kiirguslikul teel. Samuti on võimalik lahendada olukord aktiivjahutuspaikidega, kuid see eeldab head projekteerija ja tellija koostööd ning täpset ruumi plaani, mis ei muutu.

Ettepanekud edasisteks mõõtmisteks ning täpsemateks uuringuteks:

- Oluline on kaardistada mõõdetavate ruumide probleemsed tsoonid ning keskenduda mõõtmisel nendele, kasutades näiteks seadistamisel tehtud mõõtmiste tulemusi.;
- Lõputöös läbiviidud täiendav mõõtmine arvutiklassis kinnitas, et *fancoil* seadmetega varustatud ruumides on suurem tõenäosus soojuslikuks ebamugavuseks;
- Ebastandardsetel juhtumitel riskitsoonide defineerimiseks peaks mõõtma kriitiliste positsioonide õhu liikumiskiiruseid ning temperatuuri ruumi lõikes. Visualiseerides saadud tulemused saame hea ülevaate ruumis mõõdetud parameetritest.
- Mõõtmistele eelneva viiteaja pikkus on täpselt defineerimata. Antud küsimus vajab täiendavaid mõõtmisi järgnevates töödes.

SUMMARY

The purpose of this master's thesis was to analyze the air velocity assessment methodology by using a modern office as an example. To achieve this goal, measurements were performed in two rooms: the first of which was equipped with active cooling beams and the second of which was performed in a computer class with direct evaporative fancoil units. Three experiments were performed in the meeting room with the aim of assessing the effect of the Dummies used in the experiment, the indoor climate parameters, and the thermal comfort in the workplace. An additional experiment was carried out in the second room where fancoil units were used to ensure the indoor climate. This made it possible to compare rooms with two different solutions.

In addition, the results of the measurements of five modern office buildings that had already been carried out were used for the analysis and conclusions of the master's thesis. The measurements of the five modern office buildings were presented according to the norms reflected in the Estonian national annex of the valid indoor climate standard. The results of the measurements of five modern office buildings and the comparison of the ranges of results that are presented in this master's thesis showed that the requirements of the Estonian national annex are slightly more lenient than the norms in the European standard.

The results of the experiments carried out in the master's thesis showed that it is important to map the critical zones of the rooms and pay attention to what is happening in them when measuring air velocities. The results also showed that a significantly longer measurement period does not give more reliable results in all cases and in all situations. A longer measurement period is rather justified if the indoor climate of the room is greatly influenced by external factors. This is also confirmed by the results of five houses, where the results of building E fluctuated quite a lot due to large external influences. However, in the case of building D, the fluctuation was small, as it was a house with significantly smaller windows and thus the external impact was not very large.

From the performed tests and previous results it became evident that technical systems designed to achieve indoor climate parameters also play an important role in human thermal comfort. Based on the results of building E and additional

measurements, there is a high risk of thermal discomfort in the rooms where the fancoil devices are designed. The risk of inconvenience is the lowest in rooms where radiant cooling panels are used, which do not require air flow to cool the room but are cooled by radiance. It is also possible to solve the situation with active cooling beams, but this requires good cooperation between the HVAC engineer and the customer as well as a precise room plan that does not change.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

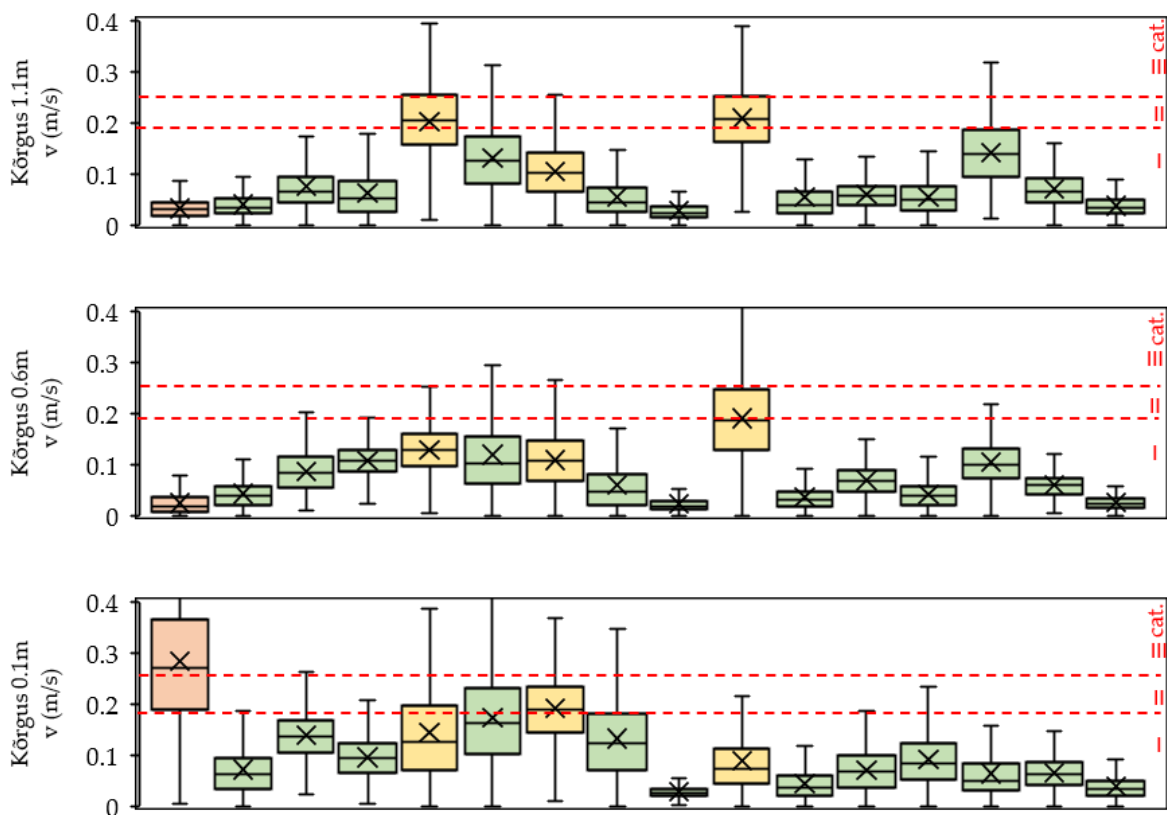
- [1] A. Mikola, "Taltech 3. korpuse ruumide U03-212, U03-213 ja U03-214 ventilatsiooni ja jahutuse eskiisprojekt." TTÜ, Tallinn, 2019.
- [2] Dantec Dynamics, "ComfortSense specification," 2019.
- [3] S. Uustal and M. Kiil, "INSENERITEADUSKOND Ehituse ja arhitektuuri instituut SOOJUSLIKU MUGAVUSE HINDAMINE EVALUATION OF THERMAL COMFORT IN AN OFFICE BUILDING WITH RADIATOR HEATING AND OPEN CEILING ACTIVE CHILLED BEAMS Üliõpilane :," 2020.
- [4] M. Kiil and R. Kaver, "INSENERITEADUSKOND Ehituse ja arhitektuuri instituut SOOJUSLIK MUGAVUS 4-TORU KIIRGUSPANEELIDEGA THERMAL COMFORT IN OFFICE SPACES IN A NEARLY ZERO-ENERGY OFFICE BUILDING WITH 4-PIPE RADIANT CEILING PANELS," 2020.
- [5] O. A. Seppänen and W. Fisk, "Some Quantitative Relations between Indoor Environmental Quality and Work Performance or Health.," *HVAC&R Res.*, vol. 12, no. 4, pp. 957–973, Oct. 2006, [Online]. Available: <http://10.0.4.56/10789669.2006.10391446>.
- [6] F. R. d'Ambrosio Alfano, B. W. Olesen, and B. I. Palella, "Povl Ole Fanger's impact ten years later," *Energy and Buildings*, vol. 152. Elsevier Ltd, pp. 243–249, Oct. 01, 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.07.052.
- [7] P. O. Fanger, "Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering.," *Therm. Comf. Anal. Appl. Environ. Eng.*, 1970.
- [8] B. Kingma and W. Van Marken Lichtenbelt, "Energy consumption in buildings and female thermal demand," *Nat. Clim. Chang.*, vol. 5, no. 12, pp. 1054–1056, 2015, doi: 10.1038/nclimate2741.
- [9] S. S. Sfs, "En Iso 7730 Lämpöolojen Ergonomia . Lämpömukavuuden Analyttinen Määrittäminen Ja Tulkinta Käyttäen Laskettuja Pmv- Ja Ppd-Indeksejä Sekä Paikallista Lämpömukavuutta," 2006.
- [10] "EVS-EN 16798-1:2019 : Hoonete energiatõhusus. Hoonete ventilatsioon. Osa 1: Sisekeskkonna lähteandmed hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust keskkonnast, valgustusest ja akustikast. Moodul M1-," 2019.

- [11] M. Kiil, R. Simson, M. Thalfeldt, and J. Kurnitski, "A comparative study on cooling period thermal comfort assessment in modern open office landscape in Estonia," *Atmosphere (Basel)*, vol. 11, no. 2, pp. 1–21, 2020, doi: 10.3390/atmos11020127.
- [12] M. T. Jarek Kurnitski, Mart Murdvee, Teet-Andrus Kõiv, *Sisekliima Õpitulemus Töövijakus*. 2015.
- [13] M. Kiil, A. Mikola, M. Thalfeldt, and J. Kurnitski, "Thermal comfort and draught assessment in a modern open office building in Tallinn," *E3S Web Conf.*, vol. 111, no. 2019, 2019, doi: 10.1051/e3sconf/201911102013.
- [14] J. Kurnitski, *Madal- ja liginullenergia hooned. Büroohoonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektis*. .
- [15] "EVS-EN 16798-1:2019/NA:2019 - Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus." <https://www.evs.ee/et/evs-en-16798-1-2019-na-2019> (accessed Apr. 18, 2021).
- [16] S. P. Corgnati and M. G. da Silva, *REHVA Guidebook 14: Indoor Climate Quality Assessment*, no. 14. 2011.
- [17] O. Sepp, "Indoor climate and productivity," no. 6, pp. 4–8, 2005.
- [18] "India_IEQ_Standard_Update_18-10-2019.PDF." .
- [19] S. Lestinen, S. Kilpeläinen, R. Kosonen, J. Jokisalo, H. Koskela, and A. Melikov, *Deviation of draught rate in a simplified office environment with diffuse ceiling ventilation*. 2019.
- [20] I. Standard, "Iso 7726," *Ergonomics*, vol. 1998, 1998.
- [21] E. Standard, "EN 14240 Ventilation for buildings - Chilled ceilings - Testing and rating," 2004.
- [22] A. Rt, "Üldsätted," no. 6, pp. 1–8, 2020.
- [23] S. P. Factor, S. Energy, E. Ratio, S. Coefficient, and O. Performance, "Üldsätted," pp. 1–27, 2020.
- [24] M. Kiil, K.-V. Võsa, H. Kuivjõgi, M. Thalfeldt, and J. Kurnitski, "Raport-soojustliku sisekliima hindamine," Tallinn, 2019.

- [25] A. Mikola, K.-V. Võsa, and M. Kiil, "Ettevõtte 2 kontoris läbi viidud õhu liikumise kiiruse mõõtmiste raport," Tallinn, 2019.
- [26] M. Based *et al.*, "Ehituse ja arhitektuuri instituut MÕÕTMISTEL PÕHINEV KÜTTEPERIOODI SOOJUSLIKU MEASUREMENT BASED STUDY OF THERMAL COMFORT IN A NEARLY ZERO- (TABS) DURING A HEATING PERIOD," 2019.
- [27] K. Nagashima, K. Tokizawa, and S. Marui, "Thermal comfort," *Handb. Clin. Neurol.*, vol. 156, pp. 249–260, 2018, doi: 10.1016/B978-0-444-63912-7.00015-1.
- [28] C. Analog, "HOBO ® UX120-006M Data Logger," pp. 9–11.
- [29] O. Instructions, "Energy_Cost_Meter_Instructions.pdf."
- [30] "Ilm Eestis - Riigi IlmateenistusRiigi Ilmateenistus." <https://www.ilmateenistus.ee/ilm/ilmavaatlused/vaatlusandmed/kaart/#> (accessed Mar. 29, 2021).

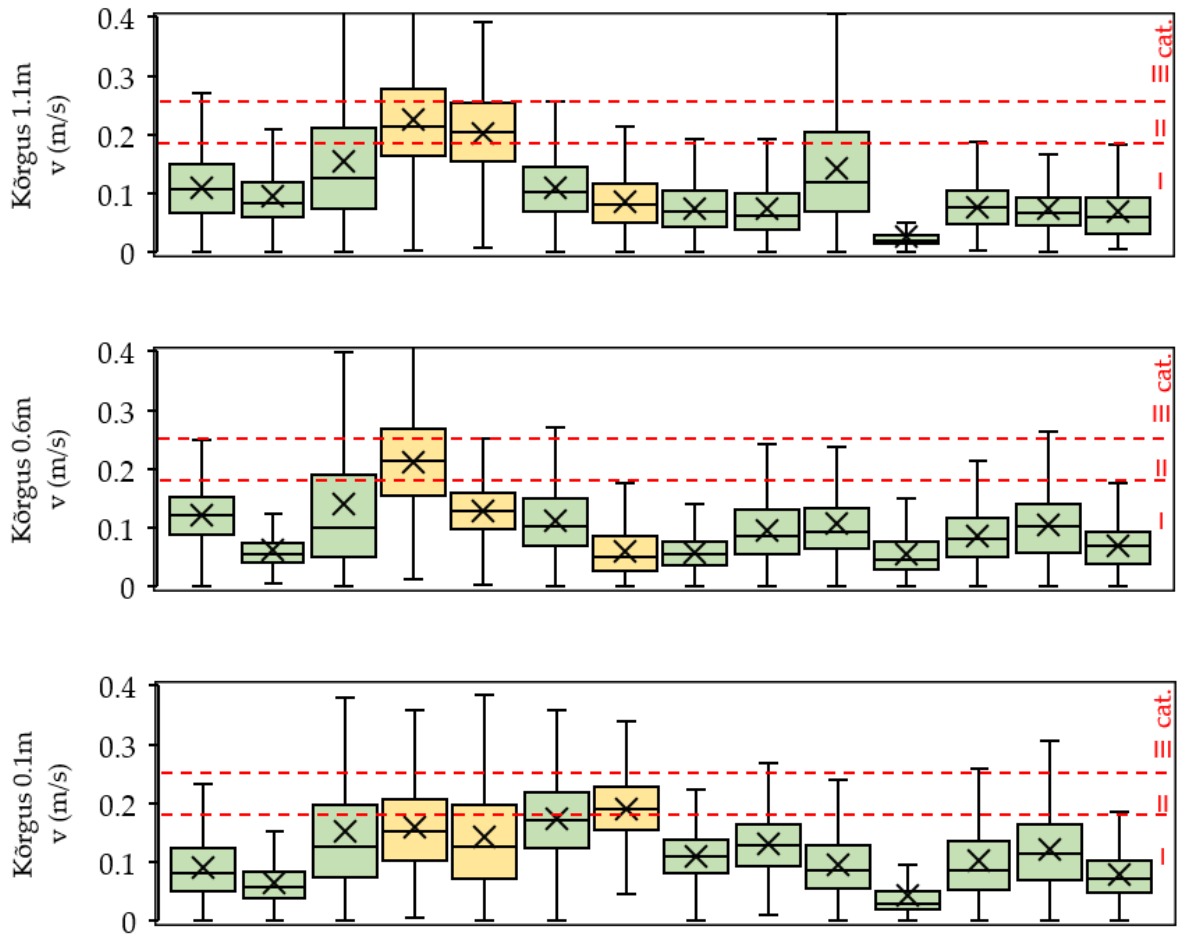
LISAD

Lisa 1 Hoone B suvised mõõtmis tulemused EVS-EN 16798-1:2019/NA:2019 järgi [26]



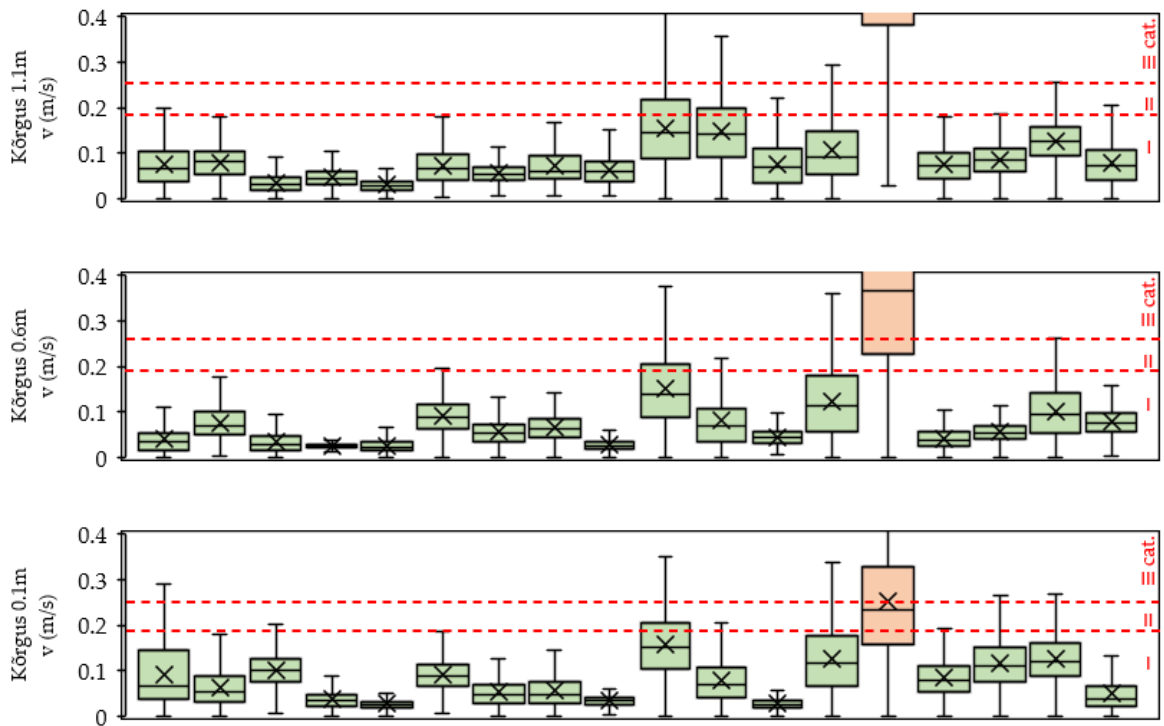
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$t_a(1.1m)$	°C	23.5	23.7	23.8	23.5	24.3	23.8	23.9	24.3	23.6	23.6	24.2	23.4	23.8	24.7	24.0	24.6
$V_a(1.1m)$	m/s	0.03	0.04	0.08	0.06	0.20	0.13	0.10	0.05	0.03	0.21	0.05	0.06	0.05	0.14	0.07	0.04
$T_u(1.1m)$	%	64.2	82.9	63.4	77.4	36.4	53.3	50.7	79.9	84.2	32.6	102.3	48.1	62.2	43.9	58.9	49.7
$DR(1.1m)$	%	0.0	0.0	5.1	3.2	17.7	12.3	8.5	1.3	0.0	18.7	1.6	2.5	1.3	11.5	4.2	0.0
$t_a(0.6m)$	°C	23.4	23.5	23.6	23.5	24.1	23.7	23.7	24.1	24.1	23.5	24.0	23.1	23.4	24.5	23.8	24.4
$t_o(0.6m)$	°C	23.4	23.9	24.1	23.5	24.4	23.8	24.0	24.3	23.6	23.7	24.5	23.3	23.8	24.7	24.3	24.3
$V_a(0.6m)$	m/s	0.02	0.04	0.09	0.11	0.13	0.12	0.11	0.06	0.02	0.19	0.03	0.07	0.04	0.10	0.06	0.03
$RH(0.6m)$	%	49.5	50.5	49.3	50.9	46.5	45.9	45.7	45.9	46.8	47.8	47.4	48.5	46.9	47.5	49.0	47.6
$PMV(0.6m)$	-	-0.4	-0.2	-0.2	-0.4	-0.2	-0.4	-0.3	-0.1	-0.3	-0.6	-0.1	-0.4	-0.3	0.0	-0.1	-0.1
$PPD(0.6m)$	%	8.1	6.2	5.6	8.1	6.1	7.9	6.6	5.4	7.1	12.2	5.1	8.8	6.8	5.0	5.3	5.3

Lisa 2 Hoone E suvised mõõtmis tulemused EVS-EN 16798-1:2019/NA:2019 järgi [11]



		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ta(1.1m)	°C	25.8	25.9	25.4	25.4	24.3	25.3	25.5	25.8	25.9	25.7	26.1	26.5	26.6	27.0
va(1.1m)	m/s	0.11	0.10	0.15	0.23	0.20	0.11	0.09	0.08	0.07	0.14	0.03	0.08	0.07	0.07
Tu(1.1m)	%	51.7	55.6	73.4	41.4	36.4	49.6	55.1	56.0	66.6	67.3	84.1	50.0	55.4	68.1
DR(1.1m)	%	7.6	6.1	15.7	19.3	17.7	7.7	5.3	4.0	4.0	12.8	0.0	3.7	3.4	3.0
ta(0.6m)	°C	25.7	25.8	25.0	25.1	24.1	25.2	25.3	25.6	25.6	25.5	25.7	26.1	26.2	26.4
to(0.6m)	°C	25.8	25.8	25.5	25.6	24.4	25.6	26.2	26.7	27.0	25.9	26.3	27.4	27.1	27.8
va(0.6m)	m/s	0.12	0.06	0.14	0.21	0.13	0.11	0.06	0.06	0.10	0.11	0.06	0.09	0.11	0.07
RH(0.6m)	%	38.4	37.5	38.8	38.6	46.5	38.2	37.9	37.5	37.4	38.2	36.6	36.2	36.6	35.9
PMV(0.6m)	-	0.2	0.3	0.0	-0.1	-0.2	0.1	0.4	0.5	0.6	0.2	0.4	0.7	0.6	0.8
PPD(0.6m)	%	5.7	6.7	5.0	5.2	6.1	5.4	8.0	10.9	11.5	6.2	8.4	14.8	11.8	19.9

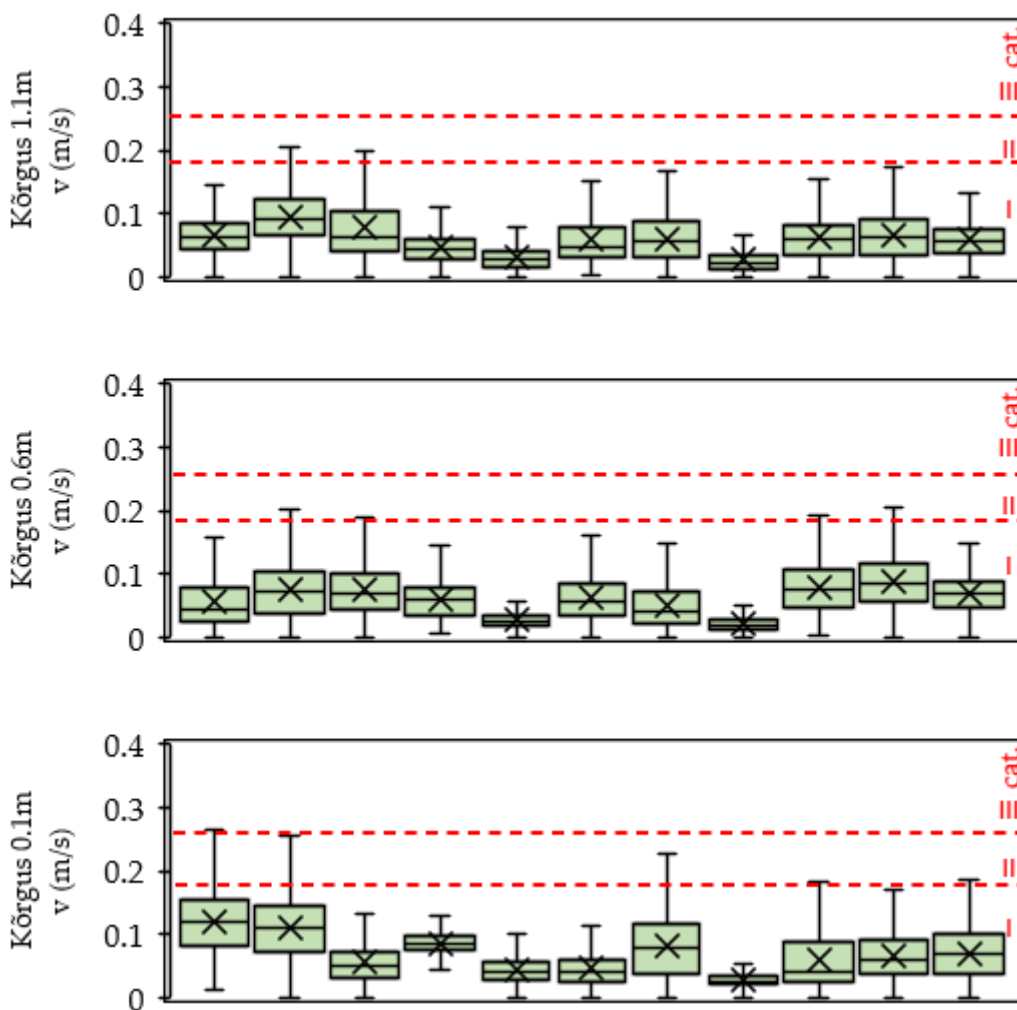
Lisa 3 Hoone A suvised mõõtmistulemused EVS-EN 16798-1:2019/NA:2019 järgi [3]



		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ta(1.1m)	°C	24.5	23.7	23.8	24.1	24.5	24.6	24.1	24.0	24.5	24.4	23.6	24.2	23.5	22.1	24.2	23.9	23.8	24.5
va(1.1m)	m/s	0.07	0.08	0.04	0.05	0.03	0.07	0.06	0.07	0.06	0.15	0.15	0.08	0.11	0.61	0.07	0.08	0.13	0.08
Tu(1.1m)	%	65.3	47.9	58.0	46.9	49.5	59.4	44.3	55.0	51.4	58.7	55.0	68.3	66.6	48.2	47.9	45.9	39.1	58.9
DR(1.1m)	%	4.7	5.2	0.0	0.0	0.0	4.3	1.9	4.2	2.7	15.3	15.4	5.3	10.5	100.0	4.3	5.7	10.3	4.9
ta(0.6m)	°C	24.2	23.5	23.6	23.9	24.2	24.3	23.9	23.8	23.8	24.2	23.5	23.9	23.3	22.2	24.1	23.8	23.7	24.4
to(0.6m)	°C	24.7	23.7	23.8	24.3	24.6	24.7	24.2	24.1	24.6	24.7	23.9	24.1	23.6	22.9	24.2	24.2	24.1	24.7
va(0.6m)	m/s	0.04	0.08	0.03	0.02	0.03	0.09	0.06	0.07	0.03	0.15	0.08	0.05	0.12	0.43	0.04	0.06	0.10	0.08
RH(0.6m)	%	50.5	52.8	54.4	52.6	51.7	52.1	51.7	52.1	50.9	52.1	55.9	53.4	49.4	52.7	52.5	53.2	55.3	54.0
PMV(0.6m)	-	0.0	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.2	0.0	-0.2	-0.2	-0.1	-0.4	-1.3	-0.1	-0.1	-0.2	0.0
PPD(0.6m)	%	5.0	6.4	6.0	5.2	5.0	5.0	5.2	5.5	5.0	5.5	5.7	5.3	8.6	39.2	5.3	5.2	5.5	5.0

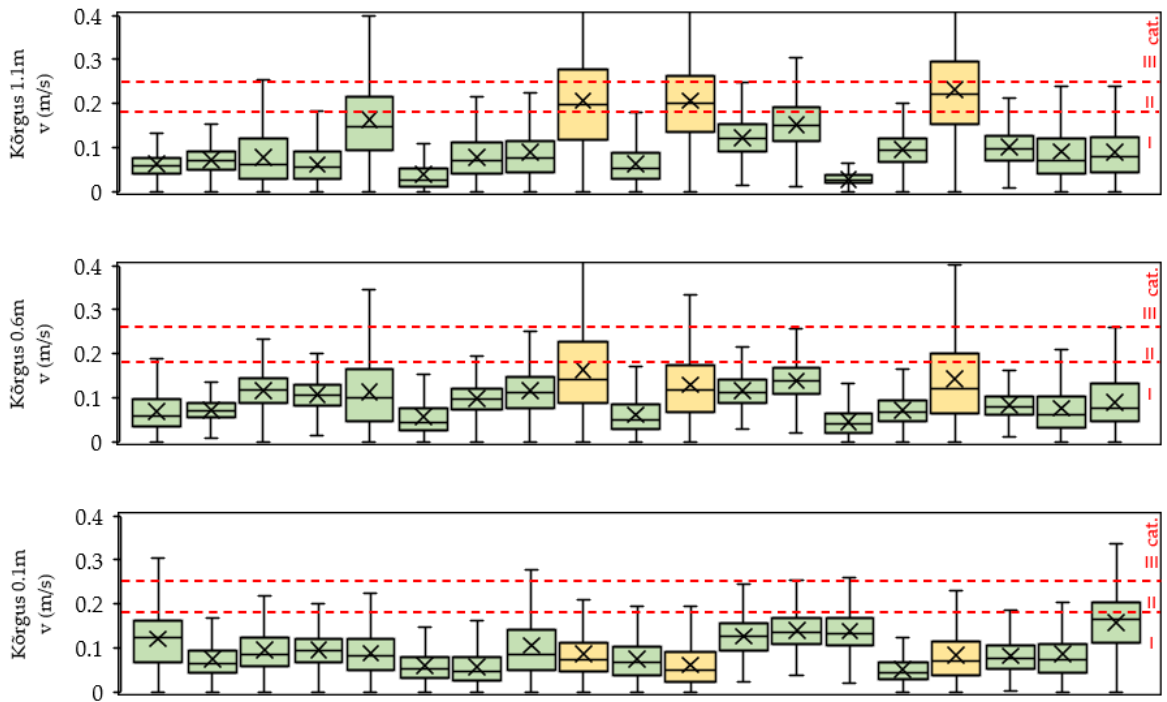
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ta(1.1m)	°C	24.5	23.7	23.8	24.1	24.5	24.6	24.1	24.0	24.5	24.4	23.6	24.2	23.5	22.1	24.2	23.9	23.8	24.5
va(1.1m)	m/s	0.07	0.08	0.04	0.05	0.03	0.07	0.06	0.07	0.06	0.15	0.15	0.08	0.11	0.61	0.07	0.08	0.13	0.08
Tu(1.1m)	%	65.3	47.9	58.0	46.9	49.5	59.4	44.3	55.0	51.4	58.7	55.0	68.3	66.6	48.2	47.9	45.9	39.1	58.9
DR(1.1m)	%	4.7	5.2	0.0	0.0	0.0	4.3	1.9	4.2	2.7	15.3	15.4	5.3	10.5	100.0	4.3	5.7	10.3	4.9
ta(0.6m)	°C	24.2	23.5	23.6	23.9	24.2	24.3	23.9	23.8	23.8	24.2	23.5	23.9	23.3	22.2	24.1	23.8	23.7	24.4
to(0.6m)	°C	24.7	23.7	23.8	24.3	24.6	24.7	24.2	24.1	24.6	24.7	23.9	24.1	23.6	22.9	24.2	24.2	24.1	24.7
va(0.6m)	m/s	0.04	0.08	0.03	0.02	0.03	0.09	0.06	0.07	0.03	0.15	0.08	0.05	0.12	0.43	0.04	0.06	0.10	0.08
RH(0.6m)	%	50.5	52.8	54.4	52.6	51.7	52.1	51.7	52.1	50.9	52.1	55.9	53.4	49.4	52.7	52.5	53.2	55.3	54.0
PMV(0.6m)	-	0.0	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.2	0.0	-0.2	-0.2	-0.1	-0.4	-1.3	-0.1	-0.1	-0.2	0.0
PPD(0.6m)	%	5.0	6.4	6.0	5.2	5.0	5.0	5.2	5.5	5.0	5.5	5.7	5.3	8.6	39.2	5.3	5.2	5.5	5.0

Lisa 4 Hoone D suvised mõõtmis tulemused EVS-EN 16798-1:2019/NA:2019 järgi [4]



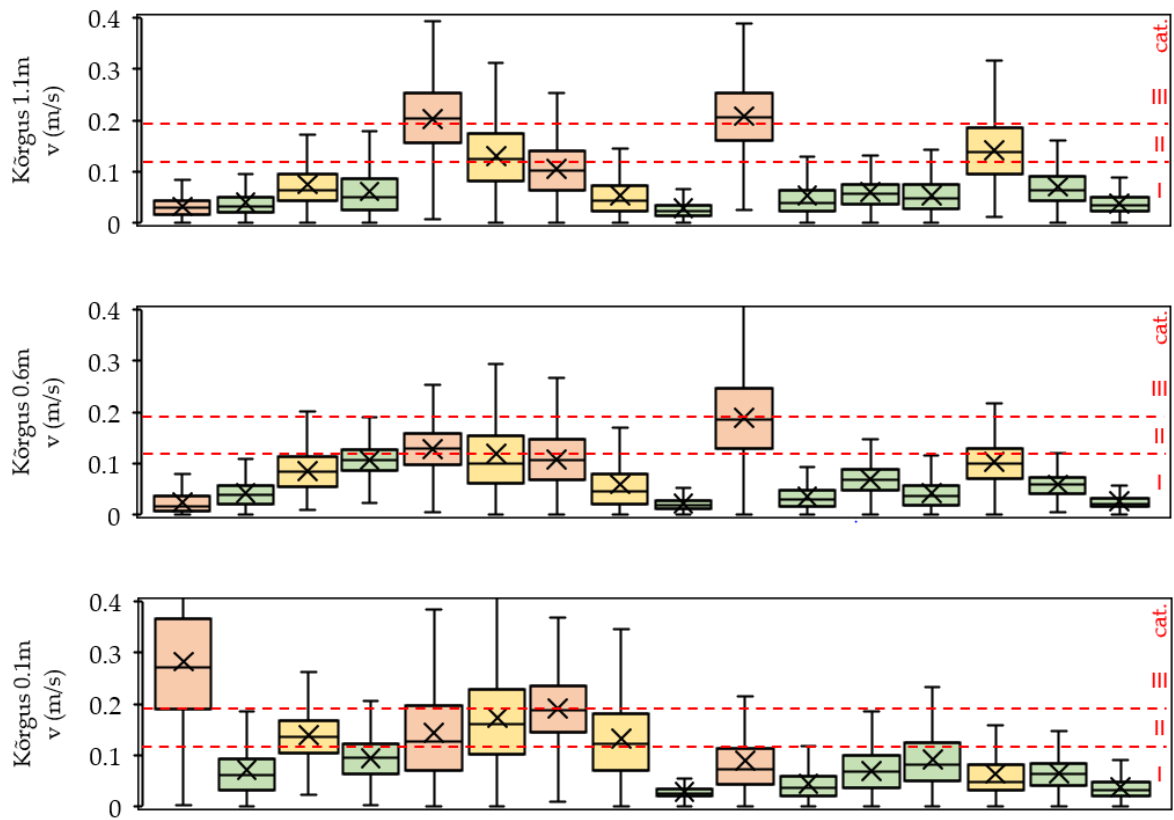
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ta(1.1m)	°C	24.8	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	23.3	23.6	24.5	23.9	23.4
va(1.1m)	m/s	0.07	0.09	0.08	0.05	0.03	0.06	0.06	0.03	0.06	0.07	0.06
Tu(1.1m)	%	53.5	47.5	66.6	72.1	66.1	73.6	62.7	84.2	58.8	59.9	48.1
DR(1.1m)	%	3.2	6.8	5.5	0.0	0.0	2.4	2.9	0.0	2.9	3.6	2.5
ta(0.6m)	°C	24.4	24.0	24.1	24.0	24.1	24.1	23.4	23.4	23.4	23.5	23.1
to(0.6m)	°C	24.3	23.8	24.0	24.0	24.0	24.0	23.1	23.6	24.8	23.7	23.3
va(0.6m)	m/s	0.06	0.07	0.07	0.06	0.03	0.06	0.05	0.02	0.08	0.09	0.07
RH(0.6m)	%	58.0	57.8	57.2	57.4	57.8	58.0	59.9	46.8	57.2	59.7	48.5
PMV(0.6m)	-	0.0	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.4	-0.3	0.1	-0.2	-0.4
PPD(0.6m)	%	5.1	5.7	5.4	5.4	5.4	5.3	8.5	7.3	5.1	6.1	8.8

Lisa 5 Hoone C suvised mõõtmistulemused EVS-EN 16798-1:2019/NA:2019 järgi [11]



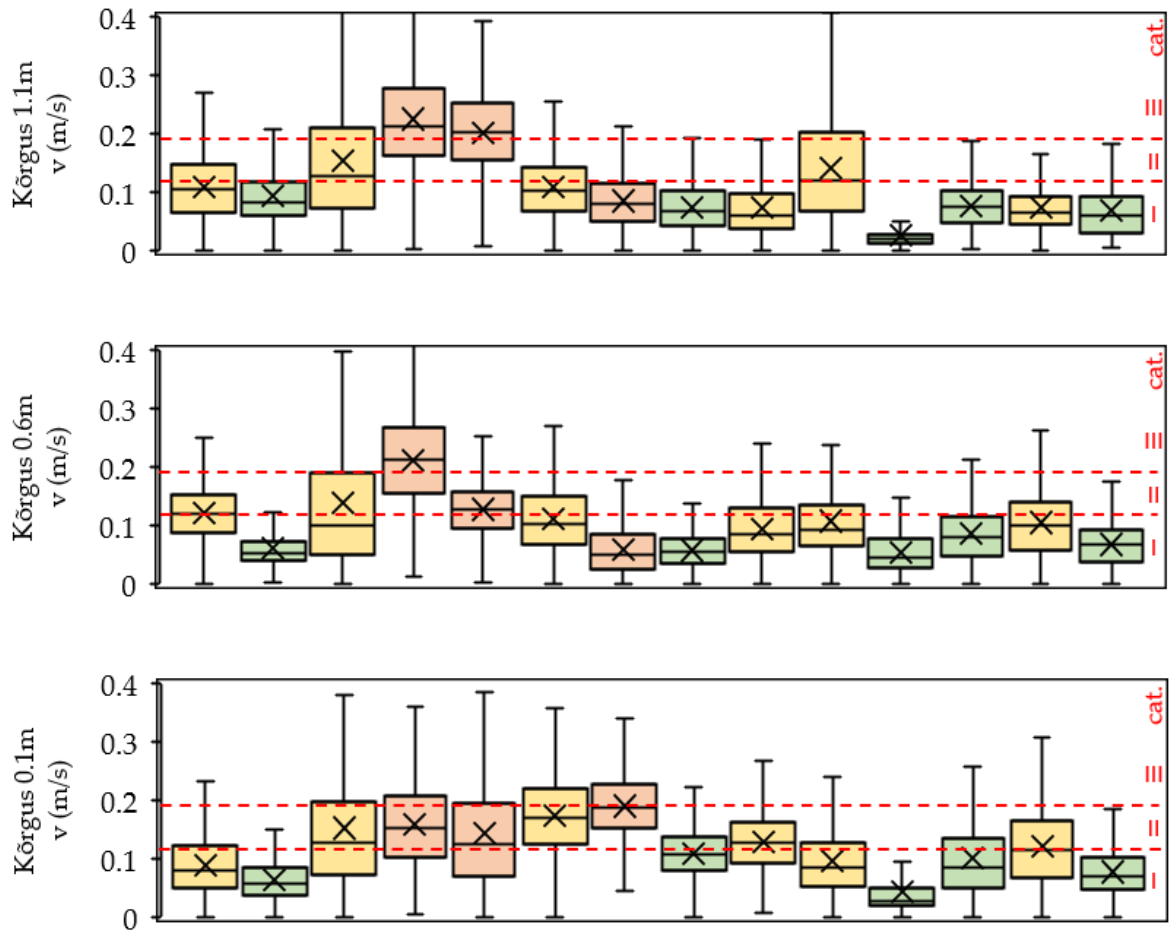
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
ta(1.1m)	°C	24.8	24.3	24.3	24.1	23.8	24.1	23.7	23.9	23.8	24.1	23.4	23.7	23.4	24.3	24.3	24.4	24.0	24.3	24.0
va(1.1m)	m/s	0.06	0.07	0.08	0.06	0.16	0.04	0.08	0.09	0.21	0.06	0.21	0.12	0.15	0.03	0.10	0.23	0.10	0.09	0.09
Tu(1.1m)	%	62.8	45.2	74.6	65.0	56.8	105.3	66.4	77.6	54.5	79.0	47.9	37.9	36.6	51.8	41.7	47.7	42.9	79.0	61.8
DR(1.1m)	%	3.0	3.9	5.5	2.9	17.4	0.0	5.8	7.7	23.5	3.5	22.8	9.9	13.5	0.0	6.6	24.2	7.5	7.8	6.9
ta(0.6m)	°C	24.5	24.1	24.0	23.9	23.9	23.9	23.4	23.9	23.9	24.0	23.5	23.5	23.4	24.0	24.2	24.3	23.9	24.2	23.8
to(0.6m)	°C	24.8	24.4	24.5	24.3	24.0	24.0	23.7	24.1	24.3	24.3	23.8	23.9	23.7	23.9	24.5	24.7	24.3	24.3	24.2
va(0.6m)	m/s	0.07	0.07	0.12	0.11	0.11	0.06	0.10	0.12	0.16	0.06	0.13	0.12	0.14	0.05	0.07	0.14	0.08	0.08	0.09
RH(0.6m)	%	53.3	57.5	57.3	58.0	57.7	58.0	56.7	57.0	56.0	56.2	56.5	56.5	57.0	52.0	54.2	53.6	54.0	52.5	54.5
PMV(0.6m)	-	0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.1	-0.3	-0.2	-0.3	-0.1	-0.3	-0.3	-0.4	-0.2	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
PPD(0.6m)	%	5.2	5.0	5.1	5.2	6.0	5.4	6.4	5.7	6.9	5.1	7.2	6.5	8.3	5.8	5.0	5.2	5.1	5.2	5.3

Lisa 6 Hoone B suvised mõõtmistulemused EN 16798-1 järgi [11]



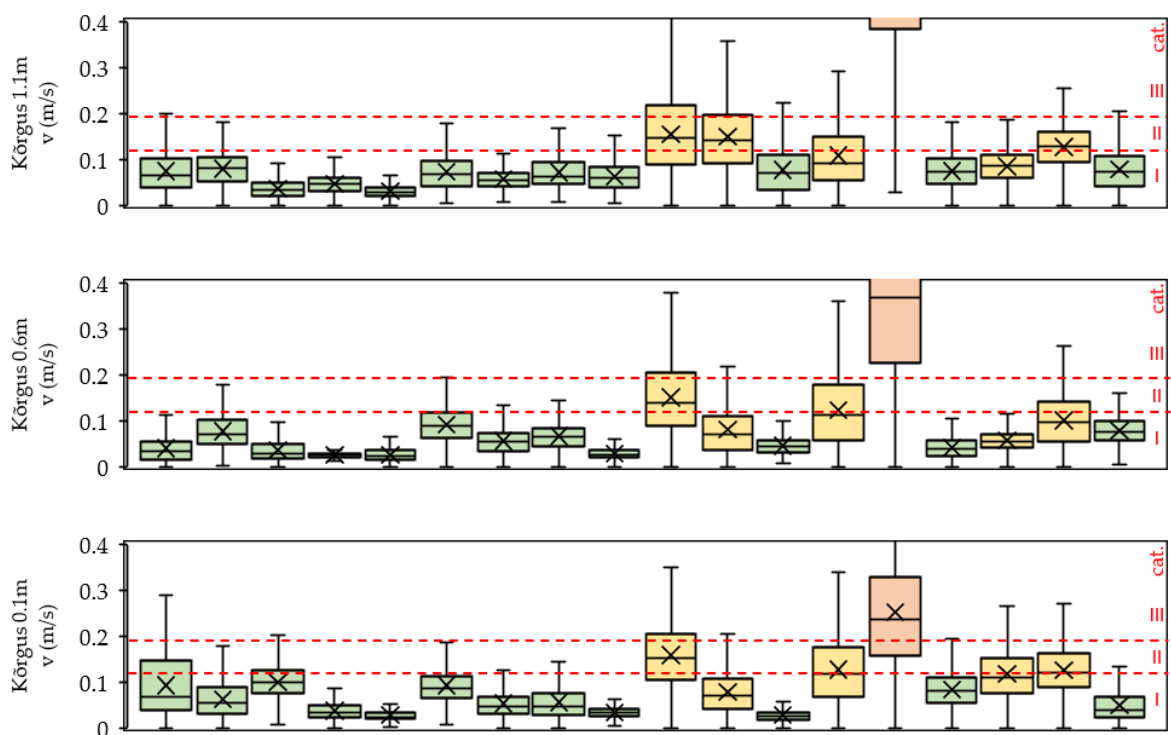
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$t_{a(1.1m)}$	°C	23.5	23.7	23.8	23.5	24.3	23.8	23.9	24.3	23.6	23.6	24.2	23.4	23.8	24.7	24.0	24.6
$V_{a(1.1m)}$	m/s	0.03	0.04	0.08	0.06	0.20	0.13	0.10	0.05	0.03	0.21	0.05	0.06	0.05	0.14	0.07	0.04
$Tu(1.1m)$	%	64.2	82.9	63.4	77.4	36.4	53.3	50.7	79.9	84.2	32.6	102.3	48.1	62.2	43.9	58.9	49.7
$DR(1.1m)$	%	0.0	0.0	5.1	3.2	17.7	12.3	8.5	1.3	0.0	18.7	1.6	2.5	1.3	11.5	4.2	0.0
$t_{a(0.6m)}$	°C	23.4	23.5	23.6	23.5	24.1	23.7	23.7	24.1	24.1	23.5	24.0	23.1	23.4	24.5	23.8	24.4
$t_{o(0.6m)}$	°C	23.4	23.9	24.1	23.5	24.4	23.8	24.0	24.3	23.6	23.7	24.5	23.3	23.8	24.7	24.3	24.3
$V_{a(0.6m)}$	m/s	0.02	0.04	0.09	0.11	0.13	0.12	0.11	0.06	0.02	0.19	0.03	0.07	0.04	0.10	0.06	0.03
$RH(0.6m)$	%	49.5	50.5	49.3	50.9	46.5	45.9	45.7	45.9	46.8	47.8	47.4	48.5	46.9	47.5	49.0	47.6
$PMV(0.6m)$	-	-0.4	-0.2	-0.2	-0.4	-0.2	-0.4	-0.3	-0.1	-0.3	-0.6	-0.1	-0.4	-0.3	0.0	-0.1	-0.1
$PPD(0.6m)$	%	8.1	6.2	5.6	8.1	6.1	7.9	6.6	5.4	7.1	12.2	5.1	8.8	6.8	5.0	5.3	5.3

Lisa 7 Hoone E suvised mõõtetulemused EN 16798-1 järgi [11]



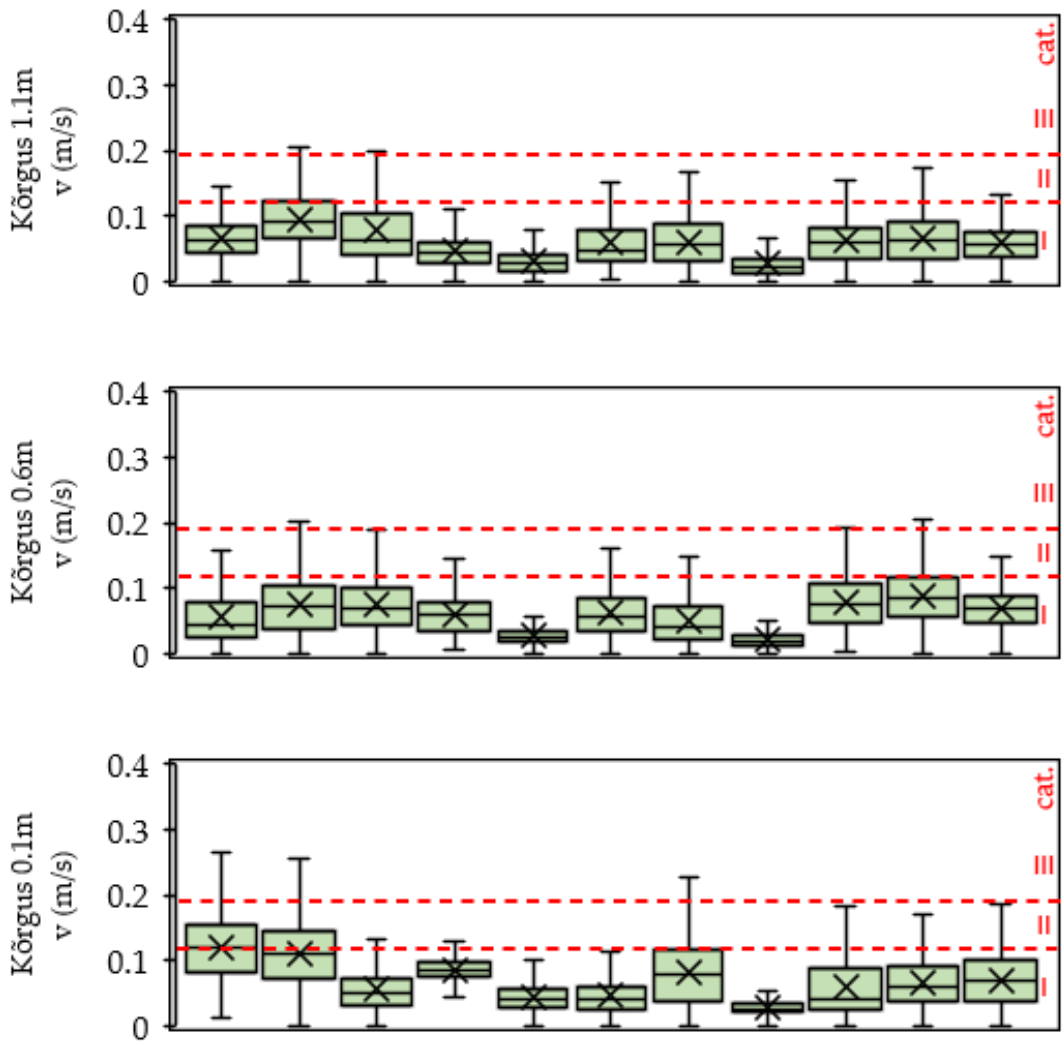
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$t_a(1.1m)$	°C	25.8	25.9	25.4	25.4	24.3	25.3	25.5	25.8	25.9	25.7	26.1	26.5	26.6	27.0
$V_a(1.1m)$	m/s	0.11	0.10	0.15	0.23	0.20	0.11	0.09	0.08	0.07	0.14	0.03	0.08	0.07	0.07
$Tu(1.1m)$	%	51.7	55.6	73.4	41.4	36.4	49.6	55.1	56.0	66.6	67.3	84.1	50.0	55.4	68.1
$DR(1.1m)$	%	7.6	6.1	15.7	19.3	17.7	7.7	5.3	4.0	4.0	12.8	0.0	3.7	3.4	3.0
$t_a(0.6m)$	°C	25.7	25.8	25.0	25.1	24.1	25.2	25.3	25.6	25.6	25.5	25.7	26.1	26.2	26.4
$t_o(0.6m)$	°C	25.8	25.8	25.5	25.6	24.4	25.6	26.2	26.7	27.0	25.9	26.3	27.4	27.1	27.8
$V_a(0.6m)$	m/s	0.12	0.06	0.14	0.21	0.13	0.11	0.06	0.06	0.10	0.11	0.06	0.09	0.11	0.07
$RH(0.6m)$	%	38.4	37.5	38.8	38.6	46.5	38.2	37.9	37.5	37.4	38.2	36.6	36.2	36.6	35.9
$PMV(0.6m)$	-	0.2	0.3	0.0	-0.1	-0.2	0.1	0.4	0.5	0.6	0.2	0.4	0.7	0.6	0.8
$PPD(0.6m)$	%	5.7	6.7	5.0	5.2	6.1	5.4	8.0	10.9	11.5	6.2	8.4	14.8	11.8	19.9

Lisa 8 Hoone A suvised mõõtetulemused EN 16798-1 järgi [11]



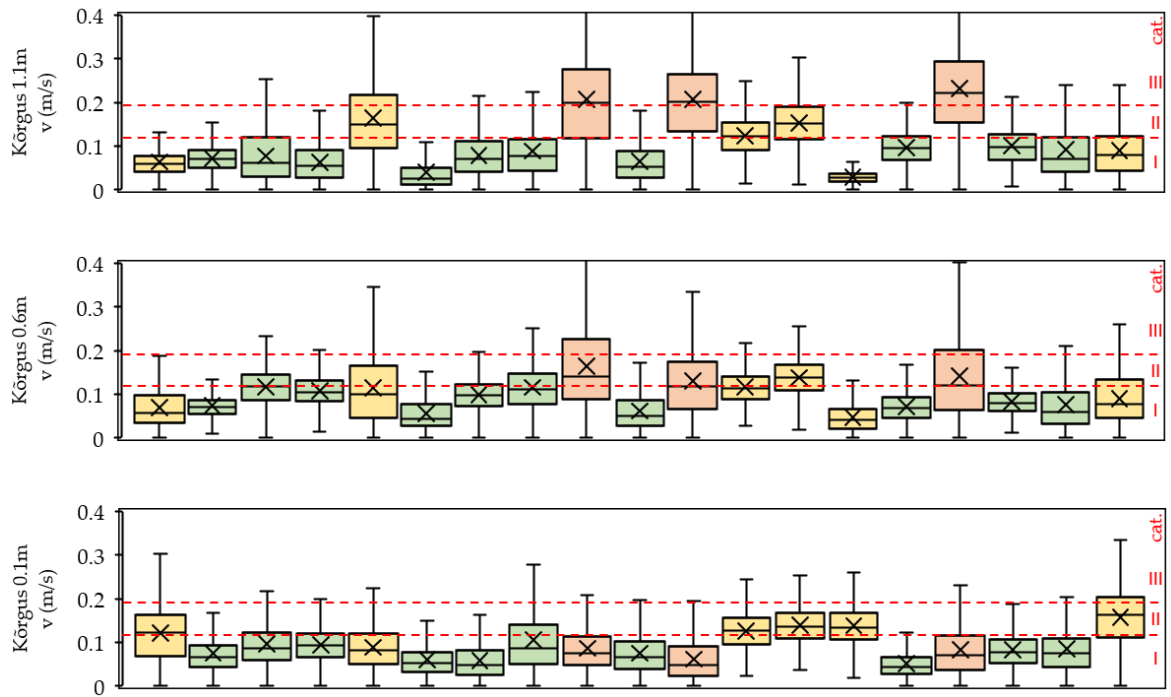
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$t_a(1.1m)$	°C	24.5	23.7	23.8	24.1	24.5	24.6	24.1	24.0	24.5	24.4	23.6	24.2	23.5	22.1	24.2	23.9	23.8	24.5
$V_a(1.1m)$	m/s	0.07	0.08	0.04	0.05	0.03	0.07	0.06	0.07	0.06	0.15	0.15	0.08	0.11	0.61	0.07	0.08	0.13	0.08
$Tu(1.1m)$	%	65.3	47.9	58.0	46.9	49.5	59.4	44.3	55.0	51.4	58.7	55.0	68.3	66.6	48.2	47.9	45.9	39.1	58.9
$DR(1.1m)$	%	4.7	5.2	0.0	0.0	0.0	4.3	1.9	4.2	2.7	15.3	15.4	5.3	10.5	100.0	4.3	5.7	10.3	4.9
$t_a(0.6m)$	°C	24.2	23.5	23.6	23.9	24.2	24.3	23.9	23.8	23.8	24.2	23.5	23.9	23.3	22.2	24.1	23.8	23.7	24.4
$t_o(0.6m)$	°C	24.7	23.7	23.8	24.3	24.6	24.7	24.2	24.1	24.6	24.7	23.9	24.1	23.6	22.9	24.2	24.2	24.1	24.7
$V_a(0.6m)$	m/s	0.04	0.08	0.03	0.02	0.03	0.09	0.06	0.07	0.03	0.15	0.08	0.05	0.12	0.43	0.04	0.06	0.10	0.08
$RH(0.6m)$	%	50.5	52.8	54.4	52.6	51.7	52.1	51.7	52.1	50.9	52.1	55.9	53.4	49.4	52.7	52.5	53.2	55.3	54.0
$PMV(0.6m)$	-	0.0	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.2	0.0	-0.2	-0.2	-0.1	-0.4	-1.3	-0.1	-0.1	-0.2	0.0
$PPD(0.6m)$	%	5.0	6.4	6.0	5.2	5.0	5.0	5.2	5.5	5.0	5.5	5.7	5.3	8.6	39.2	5.3	5.2	5.5	5.0

Lisa 9 Hoone D suvised mõõtetulemused EN 16798-1 järgi [11]



		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ta(1.1m)	°C	24.8	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	23.3	23.6	24.5	23.9	23.4
Va(1.1m)	m/s	0.07	0.09	0.08	0.05	0.03	0.06	0.06	0.03	0.06	0.07	0.06
Tu(1.1m)	%	53.5	47.5	66.6	72.1	66.1	73.6	62.7	84.2	58.8	59.9	48.1
DR(1.1m)	%	3.2	6.8	5.5	0.0	0.0	2.4	2.9	0.0	2.9	3.6	2.5
ta(0.6m)	°C	24.4	24.0	24.1	24.0	24.1	24.1	23.4	23.4	23.4	23.5	23.1
to(0.6m)	°C	24.3	23.8	24.0	24.0	24.0	24.0	23.1	23.6	24.8	23.7	23.3
Va(0.6m)	m/s	0.06	0.07	0.07	0.06	0.03	0.06	0.05	0.02	0.08	0.09	0.07
RH(0.6m)	%	58.0	57.8	57.2	57.4	57.8	58.0	59.9	46.8	57.2	59.7	48.5
PMV(0.6m)	-	0.0	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.4	-0.3	0.1	-0.2	-0.4
PPD(0.6m)	%	5.1	5.7	5.4	5.4	5.4	5.3	8.5	7.3	5.1	6.1	8.8

Lisa 10 Hoone C suvised mõõtetulemused EN 16798-1 järgi [11]



		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
ta(1.1m)	°C	24.8	24.3	24.3	24.1	23.8	24.1	23.7	23.9	23.8	24.1	23.4	23.7	23.4	24.3	24.3	24.4	24.0	24.3	24.0
Va(1.1m)	m/s	0.06	0.07	0.08	0.06	0.16	0.04	0.08	0.09	0.21	0.06	0.21	0.12	0.15	0.03	0.10	0.23	0.10	0.09	0.09
Tu(1.1m)	%	62.8	45.2	74.6	65.0	56.8	105.3	66.4	77.6	54.5	79.0	47.9	37.9	36.6	51.8	41.7	47.7	42.9	79.0	61.8
DR(1.1m)	%	3.0	3.9	5.5	2.9	17.4	0.0	5.8	7.7	23.5	3.5	22.8	9.9	13.5	0.0	6.6	24.2	7.5	7.8	6.9
ta(0.6m)	°C	24.5	24.1	24.0	23.9	23.9	23.9	23.4	23.9	23.9	24.0	23.5	23.5	23.4	24.0	24.2	24.3	23.9	24.2	23.8
to(0.6m)	°C	24.8	24.4	24.5	24.3	24.0	24.0	23.7	24.1	24.3	24.3	23.8	23.9	23.7	23.9	24.5	24.7	24.3	24.3	24.2
Va(0.6m)	m/s	0.07	0.07	0.12	0.11	0.11	0.06	0.10	0.12	0.16	0.06	0.13	0.12	0.14	0.05	0.07	0.14	0.08	0.08	0.09
RH(0.6m)	%	53.3	57.5	57.3	58.0	57.7	58.0	56.7	57.0	56.0	56.2	56.5	56.5	57.0	52.0	54.2	53.6	54.0	52.5	54.5
PMV(0.6m)	-	0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.1	-0.3	-0.2	-0.3	-0.1	-0.3	-0.3	-0.4	-0.2	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
PPD(0.6m)	%	5.2	5.0	5.1	5.2	6.0	5.4	6.4	5.7	6.9	5.1	7.2	6.5	8.3	5.8	5.0	5.2	5.1	5.2	5.3