



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

**SOOJUSLIKU MUGAVUSE HINDAMINE
RADIAATORKÜTTE JA AVATUD RIPPLAE
AKTIIVJAHUTUSTALADEGA BÜROOHOONES
EVALUATION OF THERMAL COMFORT IN AN OFFICE
BUILDING WITH RADIATOR HEATING AND OPEN
CEILING ACTIVE CHILLED BEAMS
MAGISTRITÖÖ**

Üliõpilane: Sandra Uustal

Üliõpilaskood 122450EAKI

Juhendaja: Martin Kiil, nooremteadur

(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.

"....." 2020

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"....." 2020

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."2020

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Sandra Uustal (sünnikuupäev: 01.06.1991)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Soojusliku mugavuse hindamine Lõõtsa 5 büroohoones,

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.

_____ (allkiri)

_____ (kuupäev)

1.1 Ehituse ja arhitektuuri instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Sandra Uustal, 122450EAKI

Õppekava, peeriala: EAKI02/09, Hoonete sisekliima ja veetehnika

Juhendaja(d): Martin Kiil, nooremteadur, +3725189963

Konsultant: -

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Soojusliku mugavuse hindamine radiaatorkütte ja avatud ripplae aktiivjahutustaladega büroohoones

(inglise keeles) Evaluation of thermal comfort in an office building with radiator heating and open ceiling active chilled beams

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Analüüsida büroohoones soojuslikku mugavust läbi mõõtmiste ja sisekliima küsitluse suve, ülemineku- ning talveperioodi.
2. Anda hinnang radiaatorkütte ja avatud ripplae aktiivjahutustaladega süsteemide toimivusele soojusliku mugavuse seisukohast.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Mõõtmised suveperioodil	31.08.2019
2.	Mõõtmised üleminekuperioodil	15.10.2019
3.	Mõõtmised kütteperioodil	21.02.2020
4.	Sisekliima küsitlused	Jooksvalt
5.	Kirjanduse ülevaade	02.03.2020
6.	Teooria ja metoodika peatükk	09.03.2020
7.	Tulemuste koondamine ja analüüs	31.03.2020
8.	Töö kokkukirjutamine ja vormistamine	30.04.2020
9.	Presentatsioon ja plakat	10.05.2020

Töö keel: est **Lõputöö esitamise tähtaeg:** ".....".....2020.a

Üliõpilane: Sandra Uustal ".....".....2020.a

/allkiri/

Juhendaja: Martin Kiil ".....".....2020.a
/allkiri/

Konsultant: ".....".....2020.a
/allkiri/

Programmijuht: Martin Thalfeldt..... ".....".....2020.a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	8
Lühendite ja tähiste loetelu.....	9
1. SISSEJUHATUS	10
2. KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	11
3. SOOJUSLIKU SISEKLIIMA HINDAMINE	14
3.1 Sisekliima klassid	14
3.2 Õhutemperatuur ja liikumiskiirus	15
3.3 PMV ja PPD indeks	16
4. METOODIKA ÜLEVAADE	22
4.1 Mõõtmised	22
4.2 Uuritav objekt	24
4.2.1 Mõõtepunktide asukohad.....	27
4.3 Sisekliima küsitlus	28
5. TULEMUSED JA ANALÜÜS	29
5.1 Suvine mõõtmine	29
5.2 Üleminekuperioodi mõõtmine	32
5.3 Kütteperioodi mõõtmine	35
5.4 PMV ja PPD graafikud	37
5.5 Turbulents ja tõmbustunne.....	39
5.6 Küsitluse tulemused.....	40
5.6.1 Temperatuur	41
5.6.2 Valgus ja müra.....	43
5.6.3 Tõmbustunne ja pealepuhumine.....	44
5.6.4 Õhu kvaliteet ja sümptomite esinemine	45
5.7 Koondatud tulemused	46
5.7.1 Suveperiood.....	47
5.7.2 Üleminekuperiood	48
5.7.3 Talveperiood.....	49
5.7.4 Küsitluste kokkuvõte	51
6. JÄRELDUSED.....	52
KOKKUVÕTE	55

SUMMARY	57
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	59
LISAD	61
Lisa 1 Talvine küsitlus.....	61

EESSÕNA

Energiasääst ja inimeste heaolu on muutunud aina olulisemaks. Seetõttu on oluline leida optimaalne kombinatsioon KVJ-süsteemidest, mille puhul inimeste soojuslik mugavus säiliks. Antud lõputöö uuribki ühe konkreetse süsteemiga büroohoone soojuslikku sisekliimat.

Lõputöö teema on sõnastatud Tallinna Tehnikaülikooli nooremteaduri Martin Kiili algatusel. Algandmed koguti Tallinna büroohonest aadressil Lõõtsa 5. Hoone haldaja aitas ligipääsuga ja Tallinna Tehnikaülikool laenas mõõteseadmeid. Autor täna juhendajat Martin Kiili toetamise ja innustamise eest lõputöö koostamisel.

Võtmesõnad: soojuslik sisekliima, büroohoone, tõmbustunne, magistritöö

Lühendite ja tähiste loetelu

EVS-EN	Eesti Vabariigi standard, baseerub Euroopa standardil
KVJ	küte, ventilatsioon ja jahutus
<i>clo</i>	riietuse soojustakistus
<i>DR</i>	tõmbustunne, <i>draught</i> (%)
<i>f_{cl}</i>	riietuse pindalafaktor
<i>h_c</i>	konvektiivse soojusülekanne koefitsient (W/(m ² *K))
<i>h_{cg}</i>	konvektiivse soojusülekanne koefitsient (W/m ² /°C)
<i>h_r</i>	kiirgussoojuse ülekandetegur (W/m ² /°C)
<i>I_{cl}</i>	riietuse isolatsioon (m ² *K/W)
<i>M</i>	ainevahetuse kiirus (W/m ²)
<i>met</i>	ainevahetuse kiirus
<i>p_a</i>	veeauru osarõhk (Pa)
PMV	prognoositud keskmine hinnang, <i>predicted mean vote</i>
PPD	prognoositud rahulolematute protsent, <i>predicted percentage of dissatisfied</i> (%)
<i>RH</i>	suhteline õhuniiskus, <i>relative air humidity</i> (%)
<i>SD</i>	õhukiiruse standardhälve, <i>standard deviation</i> (m/s)
<i>t_a</i>	õhutemperatuur (°C)
<i>t_{a,l}</i>	lokaalne õhutemperatuur vahemikus 20°C - 26°C
<i>t_{cl}</i>	riietuse pinnatemperatuur (°C)
<i>t_g</i>	õhutemperatuur (°C)
<i>t_r⁻</i>	keskmine kiirgustemperatuur (°C)
<i>Tu</i>	lokaalne turbulentsi efektiivsus vahemikus (%)
<i>W</i>	efektiivne mehaaniline võimsus (W/m ²)
<i>v_a</i>	lokaalne keskmine õhukiirus (m/s)
<i>v_{a,l}⁻</i>	lokaalne keskmine õhukiirus < 0,5m/s
<i>v_{ar}</i>	suhteline õhukiirus (m/s)

1. SISSEJUHATUS

Energiasääst ja inimeste heaolutunne omandavad igapäevaelus aina suuremat tähtsust, mistõttu hoonetele ja ruumidele seatakse aina kõrgemaid nõudmisi. Alustades Euroopa Liidu regulatsioonidest ning lõpetades inimeste enda individuaalsete soovidega. Büroohoone on ühed neist, mis on suure luubi all, kuna paljud inimesed veedavad seal tööpäevadel kolmandiku, kui mitte rohkem, oma ööpäevast. Seetõttu on oluline, et hoone energiakulud oleksid võimalikult hästi optimeeritud, aga samal ajal töötajate mugavus oleks ka tagatud.

Kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemid (KVJ) moodustavad suure osa kontorihoone igapäevases energiatarbest. Uuringud on tõestanud, et KVJ süsteemide optimeerimisega on võimalik kokku hoida ka kuni 20% nende kuludest [1]. Samuti on uuringud näidanud, et heas töökeskkonnas on töötajad produktiivsemad [2]. Seetõttu on oluline uurida ja analüüsida, kuidas olemasolevad süsteemid toimivad ja kas tagavad sobivaid tingimusi.

Antud lõputöö analüüsib soojuslikku mugavust büroohoones, kus on radiaatorküte ja avatud ripplagi aktiivjahutustaladega. Aluseks võeti Tallinnas asuv kontorihoone aadressil Lõõtsa 5. Tegu on uue büroohoonega (valmis aastal 2015). Valitud hoonet on varasemalt magistritöös juba kevadperioodil uuritud ja välja selgitatud kohad, kus esineb rohkem kaebusi [3]. Eesmärk on hinnata soojuslikku mugavust läbi mõõtmiste ja sisekliima küsitluste ning analüüsida mõõtmiste tulemusi ja küsitluste vastuseid. Oluline on märkida, et käesoleva lõputöö raames kasutati võimekamat uut mõõteseadme komplekti. Mõõtmised teostati kolmel korral: suvel, üleminekuperioodil ja talvel. Iga kord tehti mõõtmisi neljal korrusel (6., 7., 11. ja 13. korrus) 18. erinevas punktis. Mõõtepunktid võeti kaebuste esinemise järgi. Mõõtmistel kasutati ComfortSense tarkvara, mõõteseadet ja sonde ning TalTechi mõõtmisstendi ja juhendaja arvutit.

Lõputöö sisu on jaotatud viieks osaks (peatükid 2-6). Peatükk 2 annab ülevaate kirjandusest. Peatükk 3 on sisekliima parameetritest ja klassidest ning sellest, kuidas hindamisparameetreid arvutada. Neljas peatükk annab ülevaate objektist ja kasutatud meetodikast. Peatükis 5 on toodud mõõtmis-, arvutus- ja küsitluse tulemused. Kuuendas peatükis on võetud tulemused kokku ja välja toodud järeldused, millele järgneb kokkuvõte.

2. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

Hoone sisekliima koosneb erinevatest parameetriteks. Sisekliima põhikomponendid on: soojuslik mugavus, õhu kvaliteet, valgustus ja akustika. Kõik need komponendid jagunevad omakorda alakomponentideks. Näiteks soojuslik mugavus koosneb õhu- ja operatiivtemperatuurist, suhtelisest õhuniiskusest ja õhu liikumiskiirusest.

Sisekliima parameetritega arvestamine on oluline, kuna inimesed ei taha veeta aega keskkonnas, kus neil on ebamugav olla. Kontoris mõjutab halb sisekliima näiteks inimese tervist, tööviljakust ja töökohaga rahulolu. Seega on nii tööandja kui ka hoone haldaja huvides, et sisekliima oleks võimalikult sobiv. Büroohonetes tuleb sisekliima mõju rohkem esile, kui näiteks kodus. Kodus veedavad paljud vähem aega ärkvelolekuajast, kui kontoris. Samuti on kontoris vähem vabadust kütte ja jahutuse reguleerimiseks, akende avamiseks, töökohtade asukoha muutmiseks, ringiliikumiseks jms.

Viimastel aastakümnetel on läinud moodi suurte klaasfassaadide kasutamine, eriti just büroohonete puhul. Suur klaasi pindala fassaadis toob kaasa suvise suure jahutuskoormuse päikesekiirguse tõttu. Aknaid on raske aga passiivselt jahutada, seega on selliste hoonete puhul vaja lisaks mehaanilist jahutust. Mehaanilise jahutussüsteemi kasutus aga mõjutab omakorda teisi sisekliima komponente nagu õhu liikumiskiirus ja -temperatuur. Ehk hoone arhitektuur ja KVV-süsteemid on omavahel tihedalt seotud ja nende vahelise seosega peab arvestama hoone kavandamisel. Lisaks inimese heaolu on ka keskkonnasäästlikkus muutunud aina olulisemaks teemaks, mida omakorda tuleb võtta arvesse hoone ehitamisel.

Hollandis tehtud katsetes [4] uuriti erinevate jahutusviiside mõju soojuslikule mugavusele. Katsed tõid veelgi selgemalt välja, et ainuüksi temperatuurist ei piisa selle hindamiseks. Samuti on uuritud, kas esineb soolisi iseärasusi soojusliku mugavuse tajumisel [5]. Leiti, et kuigi neutraalse ehk mugava temperatuuri puhul ei olnud olulisi erinevusi, siis naised on meestega võrreldes tundlikumad temperatuuri kõrvalekallete suhtes ja väljendavad rohkem rahulolematust.

Siseruumis tuuletõmbusest tingitud rahulolematust uuriti juba aastal 1986 [6]. Katsed viidi läbi istuva inimesega temperatuuridel +20, +23 ja +26 °C ning õhu liikumiskiirus oli kuni 0,05-0,40 m/s. Tulemustest selgus, et rahulolematute hulk katsealuste hulgas tõusis kuni 40%-ni. Samuti, mida madalam on temperatuur, seda rohkem mõjutas tulemusi õhu liikumiskiirus. Lisaks on ka võrreldud, kuidas mõjutab inimese vanus ja

väsimus tema tunnetust tuuletõmbuse suhtes [7]. Nendest katsetest leiti, et vanus erinevust ei põhjustanud, aga väsinud inimesed kaldusid rohkem tundma ebamugavust ja külmust.

On ka tõestatud, et töötaja mugavus sõltub kontorimööblist ning selle paiknemisest, eriti kiirgava jahutuse ja kütmise korral [8]. Mööbel võib tekitada nõ varjestusefekti ja takistada soojuskiirguse liikumist planeeritud suunas. See võib oluliselt mõjutada üldist temperatuuri ning tekitada mööbli enda pinnalt õhutemperatuurist jahedama või kõrgema soojuskiirguse temperatuuri. Mis omakorda suurendab ruumi temperatuuri ebahühtlust veelgi. See ei puuduta aga ainult soojuskiirgust. Vaid ka jahutusjoaga jahutuselementide kasutamisel tuleks tähelepanu pöörata kontorimööblile, eriti maast laeni olevate mööblielementide puhul.

Uuringus, kus uuriti laboratoorsetes tingimustes jahutusjoaga ja jahutusjoata olukorda, leiti, et juga parandas lokaalset ja terve keha soojuslikku mugavust [9]. Juga tõstis ka tajutavat õhukvaliteeti ning töötingimusi, kuigi ülesannete täitmisel erilisi erinevusi ei täheldatud. Ei leitud ka soovahelist erinevust töötamist imiteerivate ülesannete täitmisel. Samas erines katsealustel tunnetus jao suhtes ning tekkis ka silmaärritusi, see viitab jahutusjoo individuaalse reguleerimise vajalikkusele.

Sageli peetakse aktiivsete jahutustaladega süsteemi alternatiivseks õhu jaotussüsteemiks. Seepärast, et see annab vastuvõetava soojusliku mugavuse taseme ja energiasäästupotentsiaali, sest vastav süsteem võimaldab korralikult vähendada õhuvoolu kiirust ventilatsiooniseadmest. On isegi teatatud 20-30% energiasäästust võrreldes traditsiooniliste kliimaseadmetega. [10] Aga testruumis tehtud jahutustalade uuring leidis, et õhuvool läbi tala on ebastabiilne, nii piki tala, kui ka talast eemale, ja sellel puudub kindel sagedus [11]. Selline õhuliikumine võib potentsiaalselt tekitada tõmbuse tunnet. Kõikumiste puhul aga leiti sõltuvus tala jahutusvõimsusest, mida suurem on võimsus, seda stabiilsemaks läheb õhuvool. Talast tulevat õhu liikumist mõjutab tugevalt lähedalasuv küttekeha. Näiteks otse jahutustala all paiknev küttekeha võib muuta õhu liikumise alt ülespoole. Sama täheldati ka sooja pinna suhtes, kuhu poole talast tulev õhuvool ka kipub liikuma. See on tingitud õhurõhkude erinevusest, kuna soojem õhk on hõredam, kui jahe õhk, õhk liigub üles ja sinna tekib alarõhk.

Samuti on laboratoorsetes tingimustes uuritud ühe- ja neljasuunalist aktiivset jahutuspalgi [10]. Tulemustest järeldus, et hüppeliigese kõrgusel on tõmbus kõige suurem. Õhukiiruses ja tõmbuses aga nende kahe süsteemi vahel märgatavat erinevust ei olnud. Küll aga selgus, et ühesuunalise jahutuspalgi õhuvoolu ja temperatuurimuster

parandas lokaalset õhukvaliteeti ja soojuslikku olukorda töökohtade läheduses. Samuti oli soojuse eemaldamine neljasuunalisest talast efektiivsem. Väikeste väliste soojusallikate puhul saab ühesuunalise süsteemi kavandada madalama primaarvoolu kiirusega, mis vähendab ventilaatori elektritarbimist. Neljasuunaline süsteem aga tagas edukalt soojusliku ja õhu keskmise vanuse ühtluse. See muudab süsteemi vähem tundlikuks töökohtade ning soojuskoormuste asukoha suhtes.

Sisekliimat planeerides peab arvestama, et standardite/regulatsioonide jms järgi soojusliku mugavuse planeerimine ei pruugi tähendada, et inimesed, kes seda hoonet pärast kasutavad, ka tegelikult ennast hästi tunnevad [12]. Eriti just väikeste gruppide puhul tuleb läheneda individuaalsemalt. Soomes tehtud uuringu järgi hindasid vastajad õhutemperatuuri süstemaatiliselt madalamaks, kui mõõdetud tulemused seda näitasid [13]. Tõmbust hinnati pigem negatiivselt või väga muutlikuks, kuigi laboratoorsed mõõtmised seda ei täheldanud. Ehk soojuslike parameetrite küsimustiku kaudu on keeruline saada piisavalt objektiivset pilti töökeskkonna soojuslikust sisekliimast. Samas inimesed on ruumide lõppkasutajad, seega võimalus individuaalsemalt läheneda tuleb kasuks. Abi võib olla ruumi modelleerimisest, see annab võimaluse luua avatud kontoris erinevaid soojuse tsoone, mida saab ära kasutada töötajate paigutamisel [14]. Näiteks saab panna soojemat temperatuuri eelistavad ühte kontori poolde ja need, kes soovivad jahedamat, teisele poole. See aitab suurendada töötajate rahulolu ja efektiivsemalt ära kasutada olemasolevaid KVJ-süsteeme.

Võimalikult optimaalse soojusliku sisekliima tagamine nii, et inimeste rahulolu oleks võimalikult kõrge ja energiatarve võimalikult madal, on keeruline. Arvestama peab paljude teguritega. Seetõttu on vaja uurida olukordi erinevates kliimades ja erinevate süsteemidega. Eriti tuleb uurida just avatud kontorites, kus on koos palju inimesi. Eestis on mingil määral büroohoonete erinevaid süsteeme juba uuritud [15], aga mitte piisavalt. Käesoleva lõputöö autoriga sarnases süsteemis on juba Tallinnas üks töö tehtud [16], aga vastavas uuringus tõdeti, et on vaja teha veel mõõtmisi. Kasuks tuleb ka, kui kasutatakse samasugust seadet kõikidel mõõtmistel.

3. SOOJUSLIKU SISEKLIIMA HINDAMINE

Soojusliku sisekliima hindamine on võrdlemisi subjektiivne, kuna sisekliimat tajutakse erinevalt. Selleks, et kategoriseerida tajuhinnanguid, on võetud kasutusele PMV ja PPD indeksid. Hoone projekteerimise faasis aga ei ole võimalik neid kasutada, sest neid indekseid saab rakendada juba olemasolevates ruumides. Seetõttu on ette nähtud ka teatud piirparameetritega sisekliima klassid.

3.1 Sisekliima klassid

Tulenevalt EVS-EN 16798 jaotatakse sisekliima nelja kategooriasse ehk klassi, klass I on kõige rangemate nõudmistega, klass IV kõige madalamatega. I klassis on sisekliima kvaliteedile kõrged nõudmised ja sobiv ruumidele, kus viibivad nõrga tervisega, tundlikud, erivajaduste või -nõuetega inimesed, väiksed lapsed või eakad. Selliseid ruumid leidub näiteks haiglas. II klassis on tavapärased nõuded, mida peab järgima uute hoonete ehitamisel või olemasolevate renoveerimisel. III klassis on mõõdukad nõudmised, millele peavad vastama juba olemasolevad hooned. IV klassi sisekliima väärtused on väärtused, mis jäävad eelnimetatud klassidest välja. Sellisesse klassi jäävaid hooneid/ruume võib kasutada ainult piiratud ajal aastast.

Tabelis 3.1.1 on toodud sisekliima ootused erinevatele klassidele. Tabelis 3.1.2 PPD ja PMV väärtuste vahemikud eri kategooriatele. Tabelis 3.1.3 on nõutavad minimaalsed operatiivtemperatuurid kütteperioodil ja maksimaalsed jahutusperioodil sõltuvalt klassist.

Tabel 3.1.1 Sisekeskkonna kvaliteedi kategooriad [17]

Kategooria	Ootuse tase
I	Kõrge
II	Keskmine
III	Tagasihoidlik
IV	Madal

Tabel 3.1.2 Sisekliima klassid mehaaniliselt köetud ja jahutatud hoonete arvutusteks [17]

Kategooria	Keha kui terviku termiline seisund	
	PPD [%]	PMV
I	< 6	-0,2 < PMV < +0,2
II	< 10	-0,5 < PMV < +0,5
III	< 15	-0,7 < PMV < +0,7
IV	< 25	-1,0 < PMV < +1,0

Tabel 3.1.3 Operatiivtemperatuurid [17]

Hoone/ruumi tüüp	Kategooria	Operatiivtemperatuur °C	
		Min. kütteperioodil	Max. jahutusperioodil
Kontorid ja ruumid sarnase tegevusega	I	+21,0	+25,5
	II	+20,0	+26,0
	III	+19,0	+27,0
	IV	+18,0	+28,0
Märkus: eeldatakse 50% suhtelise niiskuse taset ja madalat õhu kiiruse taset (<0,1 m/s)			

Tabelis 3.1.4 on välja toodud tuuletõmbuse ja õhutemperatuuri kriteeriumid erinevatele klassidele. Temperatuuride erinevus on 0,1 m ja 1,1 m kõrguselt mõõdetud tulemuste vahel, kuna aluseks on võetud istuv inimene. Tabelis 3.1.5 on näha temperatuuride vahemikud eri kategooriates, kontoris peaks olema tagatud vähemalt sisekliima klass II. Üleminekuperioodil saab kasutada talvise ja suvise vahemiku vahele jäävaid väärtuseid. Tabelis 3.1.6 on suhtelise õhuniiskuse soovituslikud vahemikud.

Tabel 3.1.4 Õhu liikumise kriteeriumid [17]

Kategooria	Tuuletõmbus			Vertikaalse õhutemperatuuri erinevus (peast pahkluni)	
	DR [%]	Max. Õhukiirus [m/s]		PD [%]	Δt [k]
		talv	suvi		
I	10	0,10	0,12	3	2
II	20	0,16	0,19	5	3
III	30	0,21	0,24	10	4

Tabel 3.1.5 Temperatuuride vahemikud [17]

Hoone/ruumi tüüp	Kategooria	Temperatuurivahemik °C	
		Kütteperioodil	jahutusperioodil
Kontorid ja ruumid sarnase tegevusega	I	+21,0 – +23,0	+23,5 – +25,5
	II	+20,0 – +24,0	+23,0 – +26,0
	III	+19,0 – +25,0	+22,0 – +27,0
	IV	+17,0 – +25,0	+21,0 – +28,0

Tabel 3.1.6 Suhteliste õhuniiskuste soovitusliku vahemikud [17]

Kategooria	Arvutuslik suhteline õhuniiskus [%]
I	30-50
II	25-60
III	20-70

3.2 Õhutemperatuur ja liikumiskiirus

Ainult õhutemperatuurist lähtumine ei anna piisavalt ülevaadet ruumi soojuslikust mugavusest, kuna see ei arvesta õhu liikumiskiirust ega ruumi teiste pindade temperatuure. Igal pinnal on temperatuur ja see võib olla õhutemperatuurist soojem. Sellised pinnad on näiteks töötav arvuti või laud, millele paistab päiksevalgus. Need pinnad kiirgavad soojust, seega on vaja arvestada nende kiirgustemperatuuridega.

Samuti kandub soojust üle konvektsiooni teel, millele avaldab mõju õhu liikumine. Seepärast on oluline ka teada õhu liikumiskiirust. Parema ülevaate saamiseks on võetud kasutusele operatiivse temperatuuri termin. Operatiivne temperatuur võtab arvesse nii õhutemperatuuri, kiirgustemperatuure ja õhu liikumiskiirust. Juhul, kui õhukiirus ei ületa 0,20 m/s, ehk inimene ei tunneta pealepuhumist ega tõmbustunnet, saab soojuslikku mugavust hästi hinnata operatiivse temperatuuri järgi [18]. Tavaolukorras on see leitav õhutemperatuuri ja ümbritsevate pindade keskmise kiirgustemperatuuri aritmeetilise keskmise kaudu.

Büroohoonetel levinud suured klaaspinnad võivad talvel põhjustada õhutemperatuurist madalama operatiivse temperatuuri. Suvel vastupidi, operatiivne temperatuur võib olla õhutemperatuurist seetõttu kõrgem. Tänapäevased aknad on suure soojustakistusega, aga endiselt kehtib: mida suurem on akna pind, seda rohkem mõju see avaldab. See on üheks põhjuseks, miks akende alla paigutatakse radiaatoreid.

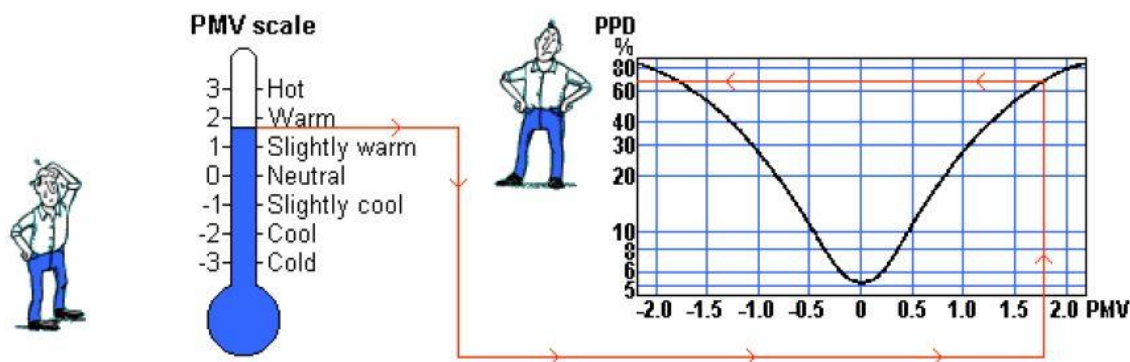
Õhu liikumiskiiruse hindamiseks on väärtustele ette antud sisekliima klassid. Mida kõrgem on ruumi temperatuur, seda kõrgem õhu liikumiskiirus on talutav. Liiga kõrge kiirus aga võib tekitada külmatunnet ja segada töötegemist ning hullemal juhul ka tekitada haigestumist. Samas õigesse klassi sobimine ei taga veel, et antud kohas õhu liikumiskiirusega probleeme ei ole. Seetõttu on soovitatav uurida ka õhu liikumiskiiruse kaudu leitavaid parameetreid, nagu tõmbustunne ja õhu turbulents. Tõmbustunne näitab, kas kuskil konkreetsetes kohas on potentsiaal tajuda pealepuhumist. Õhu turbulents näitab, kui palju õhu liikumiskiirus antud punktis kõigub.

3.3 PMV ja PPD indeks

Soojuslikku sisekliimat saab hinnata kasutades PMV (Predicted Mean Vote) ja PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) indeksit [19]. PMV annab prognoositud keskmise hinnangu 7-palli soojusliku tunnetuse skaalal, kus -3 näitab külma, +3 kuuma tunnetust ja 0 neutraalset ehk rahulolu (tabel 3.3.1). Kui PMV indeks on 0, siis see ei tähenda, et ei pruugi olla rahulolematuid. Ka juhul, kui kõigi tegevus ja riietus on sama, kuna mugavuse tunnetuslik hindamine on individuaalne. Rahulolematute protsendi väljaselgitamiseks kasutatakse PPD indeksit. Indeks võtab arvesse vastanuid, kes PMV puhul vastasid -3, -2, +2 või +3. Reeglina on alati vähemalt 5% rahulolematuid. PMV ja PPD vahelist seost näeb joonisel 1.

Tabel 3.3.1 Rahulolu tabel [19]

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



Joonis 1 PMV ja PPD vaheline seos [19]

Et inimene tunneks ennast neutraalselt, on vaja, et nahapinna- ja keha sisemine temperatuur annaksid soojuslikult mugava tunde. Samuti on vaja, et ainevahetuse käigus tekkinud soojusenergia oleks tasakaalus kehalt eralduva soojusenergiaga. Selle arvutamiseks on välja töötatud valem nr 1. Valem võtab arvesse nii mõõdetavaid füüsikalisi parameetreid, kui ka soojuslikku mugavat tunnetust [20]. Valemis nr 1 kasutatava riietuse pinnatemperatuuri, konvektiivse soojusülekanne koefitsient ja riietuse pindalafaktori saab leida vastavalt valemitest nr 2, 3 ja 4.

$$PMV = [0,303 * \exp(-0,036 * M) + 0,028] * \quad (1)$$

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

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 * (M - W) - l_{cl} * \{3,96 * 10^{-8} f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a)\} \quad (2)$$

$$h_c = \begin{cases} 2,38 * |t_{cl} - t_a|^{0,25} & \text{kui } 2,38 * |t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1 * \sqrt{v_{ar}} \\ 12,1 * \sqrt{v_{ar}} & \text{kui } 2,38 * |t_{cl} - t_a|^{0,25} < 12,1 * \sqrt{v_{ar}} \end{cases} \quad (3)$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 l_{cl} & \text{kui } l_{cl} \leq 0,078 m^2 * K/W \\ 1,05 + 0,645 l_{cl} & \text{kui } l_{cl} > 0,078 m^2 * K/W \end{cases} \quad (4)$$

Kus:

M on ainevahetuse kiirus (W/m^2)

W on efektiivne mehaaniline võimsus (W/m^2)

I_{cl} on riietuse isolatsioon ($m^2 \cdot K/W$)

f_{cl} on riietuse pindalafaktor

t_a on õhutemperatuur ($^{\circ}C$)

\bar{t}_r on keskmine kiirgustemperatuur ($^{\circ}C$)

v_{ar} on suhteline õhukiirus (m/s)

p_a on veeauru osarõhk (Pa)

h_c on konvektiivse soojusülekanne koefitsient ($W/(m^2 \cdot K)$)

t_{cl} on riietuse pinnatemperatuur ($^{\circ}C$)

t_{cl} arvutamise valemis (valem nr 2) on tundmatu ise ka sees. Seetõttu tuleb lahendamiseks kasutada iteratsioonimeetodit, kuni sobiva tulemuse saamiseni. Kuna antud lõputöös võtab autor arvesse kontoris ainult istuvaid inimesi, siis efektiivse mehaanilise võimsuse saab võrdsustada nulliga. Veeauru osarõhk on leitav valemi nr 6 järgi [15].

$$p_a = \frac{RH}{100} * 4,79 + (11,52 + 1,62 + t_a)^2 \quad (5)$$

Kus:

RH on suhteline õhuniiskus (%)

PPD saab arvutada PMV kaudu valemi nr 6 järgi.

$$PPD = 100 - 95 * \exp(-0,03353 * PMV^4 - 0,2179 * PMV^2) \quad (6)$$

PMV ja PPD järgi saab leida soojuslikku mugavust inimese puhul tervikuna. Kuigi see ei kajasta lokaalset ebamugavust, mis võib esineda nt kaelal, kätel või muul kehaosal. Lokaalne soojuslik ebamugavustunne on faktor, millega peab arvestama. Seetõttu on võetud kasutusele tõmbustunde termin ning seda saab arvutada valemi nr 7 järgi [20].

$$DR = (34 - t_{a,l}) * (\bar{v}_{a,l} - 0,05)^{0,62} * (0,37 * \bar{v}_{a,l} * Tu + 3,14) \quad (7)$$

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

Kui $DR > 100\%$, siis kasutada $DR = 100\%$

Kus:

$t_{a,l}$ on lokaalne õhutemperatuur vahemikus 20°C - 26°C

$\bar{v}_{a,l}$ on lokaalne keskmine õhukiirus < 0,5m/s

Tu on lokaalne turbulentsi efektiivsus vahemikus 10% - 60%, kui väärtus pole teada, siis võib kasutada 40%

Lokaalse turbulentsi efektiivsuse saab välja arvutada valemist nr 8 [19].

$$Tu = 100 * \frac{SD}{v_a} \quad (8)$$

Kus:

SD on õhukiiruse standardhälve (m/s)

v_a on lokaalne keskmine õhukiirus (m/s)

Antud valem on mõeldud kasutamiseks kontorihoonetes, kus inimene on istuvas asendis ja liigub vähe, ehk keha soojuslik tunnetus on neutraalne. Liikuvamas tegevuses tunnetab inimene tõmbust vähem. Valemit saab kasutada ainult hindamaks tõmbustunnet kaela piirkonnas, kuna käte või pahklude kõrgusel võib valem ülehinnata tõmbuse väärtust.

Ainevahetuse kiirus sõltub kehalisest aktiivsusest. Mida kõrgem on kehaline aktiivsus, seda kõrgem on ka metabolismi kiirus (joonisel 2). Vastavalt EVS-EN 16798-le on inimese aktiivsustase kontoris istuvas asendis ~1,2 met ja 1 met = 58,15 W/m².



Joonis 2 Ainevahetuse kiirused erinevates tegevustes [19]

Riietuse summaarne isolatsioon sõltub sellest, milliseid riideid kantakse. Sellepärast on aastaajal oma mõju. Seega tuleb arvutustes suvel kasutada ühte väärtust ning talvel ja üleminekuperioodil teist väärtust. Kuigi riietus erineb igal inimesel, siis arvutamise võimalikkuseks valitakse tüüprietus. Tabelis 3.3.2 on toodud antud lõputöös

kasutatavate tüüprideesemete valik [19]. Suveperioodiks on jäetud ära pintsak, muu on sama. Valemites nr 1 ja 4 kasutamiseks tuleb clo ühik teisendada ümber $m^2 \cdot K/W$ kohta, $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot K/W$.

Tabel 3.3.2 Riideesemete clo väärtused [19]

Riietuse	clo	$m^2 \cdot K/W$	clo suvi	$m^2 \cdot K/W$ suvi
Pintsak	0,26	0,040	-	-
Pikkade varrukatega pluus	0,28	0,043	0,28	0,043
Pikad püksid	0,25	0,039	0,25	0,039
Aluspesu	0,04	0,006	0,04	0,006
Sokid	0,06	0,009	0,06	0,009
Jalanõud	0,04	0,006	0,04	0,006
Kokku	0,93	0,144	0,67	0,104

Keskmise kiirgustemperatuuri määrtmine on keeruline ja ajamahukas. Selleks peaks määrtma ruumi kõikide pindade temperatuurid. Arvutamise teeb keeruliseks vastavate nurgategurite arvutamine. Seetõttu on kasutusele võetud valem nr 9, mida aitavad lahendada valemid nr 10 ja 11 [19].

$$\bar{t}_r = \sqrt[4]{(t_g + 273)^4 + \frac{h_{cg}}{h_r} * (t_g - t_a) - 273} \quad (9)$$

$$h_r = 0,95 * 5,67 * 10^{-8} = 5,38 * 10^{-8} \quad (10)$$

$$h_{cg} = 18 * (v_a)^{0,55} \quad (11)$$

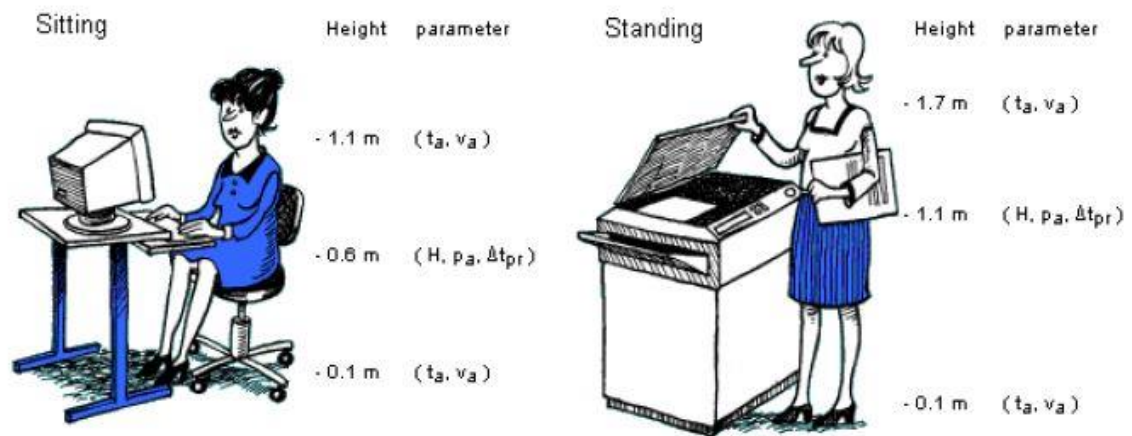
Kus:

t_g on õhutemperatuur ($^{\circ}C$)

h_{cg} on konvektiivse soojusülekanne koefitsient ($W/m^2/^{\circ}C$)

h_r on kiirgussoojuse ülekanneegur ($W/m^2/^{\circ}C$)

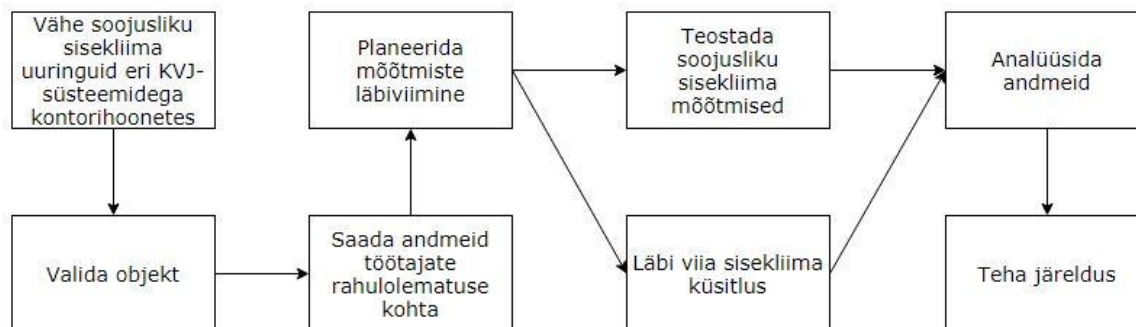
On ka oluline, millistelt kõrgustelt määrdetakse ning ühest kõrgusest ei piisa, sobivad kõrgused erinevad inimese eri positsioonides. Nii seisva kui ka istuva inimese puhul on üheks kõrguseks pahkluu kõrgus ehk 0,1 m. Teine määrtmine tuleks teha inimese raskuskeskmes, istuval inimesel on see 0,6 m kõrguse, seisval inimesel 1,1 m peal. Ning lisaks on vaja määrtma ka kaela kõrgusel, ehk istuval inimesel 1,1 m kõrgusel ja seisval inimesel 1,7 m pealt (joonis 3).



Joonis 3 Mõõtmiste kõrgused istuva inimese puhul (vasakul) ja seisval inimesel (paremal) [19]

4. METOODIKA ÜLEVAADE

Käesolevas peatükis antakse kõigepealt ülevaade, kuidas mõõtmisi teostati. Seejärel on objekti enda taustainfo ja info mõõtmispunktidest. Lõpetauseks on kirjutatud sisekliima küsitluse läbiviimisest. Protsessist ülevaatliku pildi saamiseks on autor koostanud plokk skeemi (joonis 4).



Joonis 4 Metoodika plokk skeem




4.1 Mõõtmised

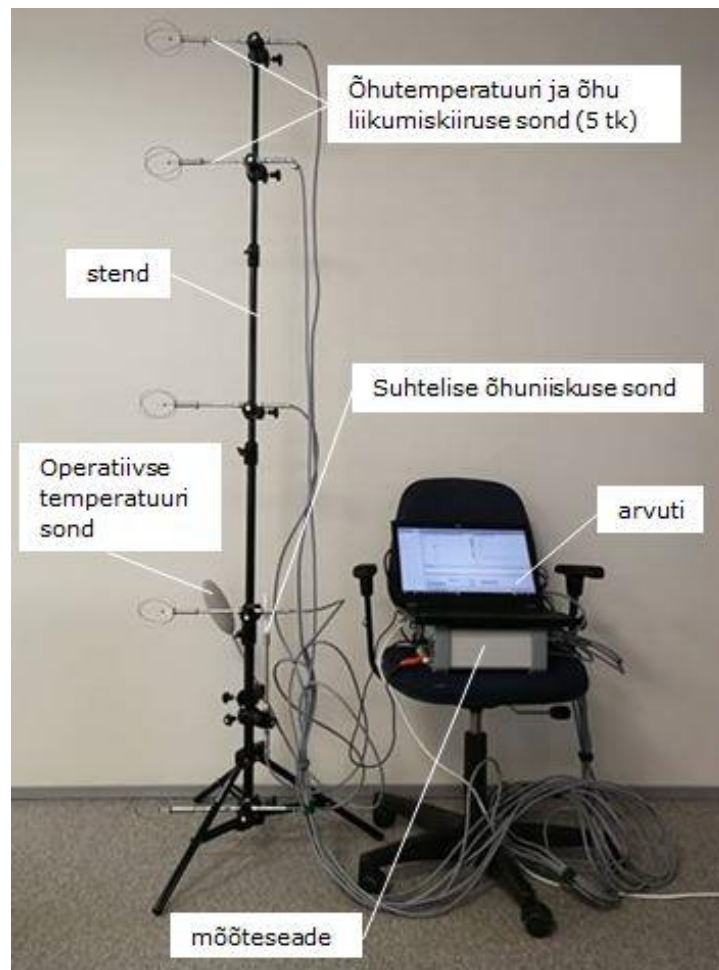
Soojusliku sisekliima analüüsimiseks mõõdeti õhutemperatuuri, õhukiirust, suhtelist niiskust ja operatiivset temperatuuri. Mõõtmisi teostati korra suvel, üleminekuperioodil ja talvel tööpäeva esimeses pooles. Mõõtmiseks kasutati Dantec Dynamics'i 3 erinevat tüüpi sondi (tabel 4.1.1).

Õhutemperatuuri ja õhu liikumise kiiruse sonde oli kokku 5 ja paiknesid horisontaalselt. Sondid asusid kõrgustel 0,1 m (pahkluu kõrgus), 0,6 m (istuva inimese keskmine raskuskeskme kõrgus), 1,1 m (istuva inimese keskmine pea kõrgus), 1,7 m (seisva inimese keskmine kõrgus) ja 2 m. Operatiivse temperatuuri sond oli kõrgusel 0,6 m (istuva inimese keskmine pea kõrgus) ja 30° nurga all vertikaalasendis. Kalle 30° on ette nähtud istuvale inimesele operatiivse temperatuuri mõõtmiseks. Seisva inimese puhul oleks sond olnud vertikaalselt ning lamava inimese puhul horisontaalselt. Suhtelise õhuniiskuse mõõtmiseks pole konkreetset kõrgust ette antud, seetõttu sai suhtelise õhuniiskuse sondi kõrguseks valitud 1,0 m. Sond paiknes horisontaalselt. Kõik sondid olid fikseeritud stendi külge (joonis 5). Sondid olid juhtmetega ühendatud mõõteseadme (54N90 ComfortSense süsteem) külge, mis omakorda oli ühendatud arvutiga. Tulemused jooksid arvutisse, mis peab mõõtmise ajal töötama. Arvutis kasutati ComfortSense tarkvara neljandat versiooni [21]. Analüüsimiseks konverteeriti

tulemused ümber Exceli formaati. Kõik mõõtmised kestsid 3 minutit ja iga sond mõõtis selle aja jooksul kokku 3600 tulemust. Mõõtmiste ajal vastaval töökohal olema pidanud töötaja läks eemale ning kõik mõõtmised tehti samal päeval.

Tabel 4.1.1 Mõõtmeseadmete andmed [15]

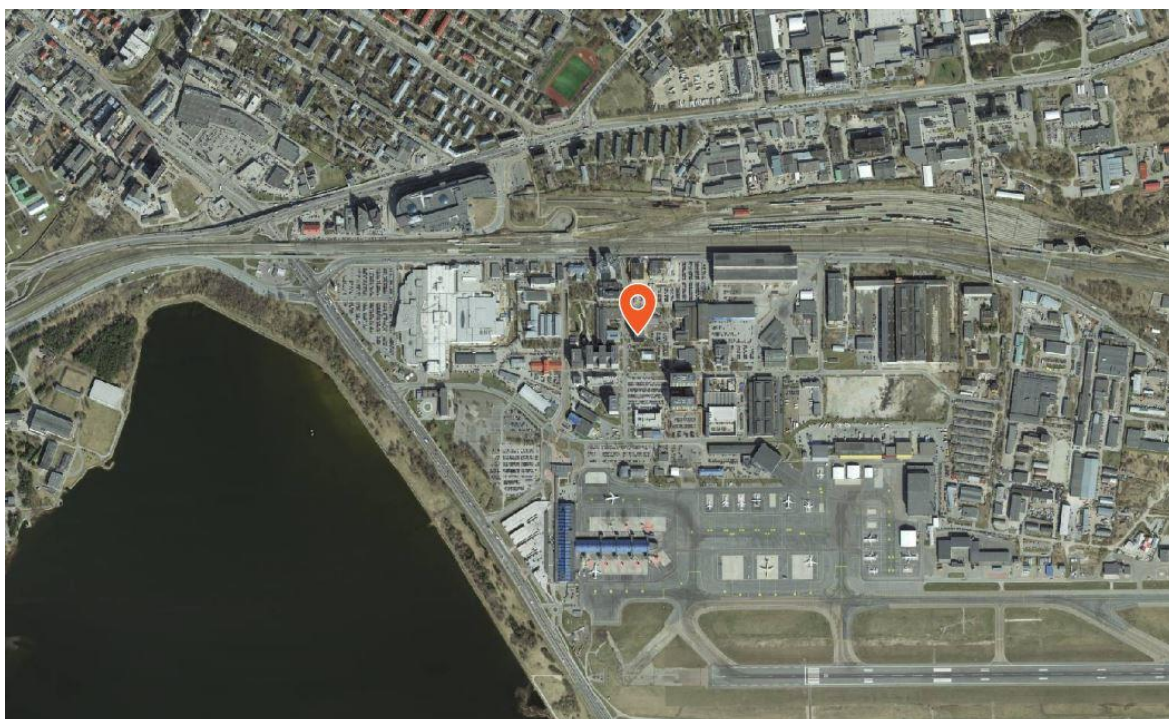
Mõõteseade	Operatiivse temperatuuri sond (ComfortSense 54T38)	Õhutemperatuuri ja õhu liikumise kiiruse sond (ComfortSense 54T33)	Suhtelise õhuniiskuse sond (ComfortSense 54T37)
Mõõtepiirkond	0 - +45 °C	-20 - +80 °C 0,05 - 5 m/s	0 - 100%
Mõõtetäpsus	±0,2 K	±0,2 K ±0,02 m/s	±1,5%
Pilt			



Joonis 5 Mõõtestend, autor: Martin Kiil

4.2 Uuritav objekt

Uuritavaks objektis on Lõõtsa 5, Tallinn (joonis 6) asuv büroohoone. Tegu on 2015-ndal aastal Ülemiste linnakusse ehitatud 13-korruselise hoonega. Hoone ehitusel ja opereerimisel on järgitud säästva arengu ja keskkonnasäästu põhimõtteid, sellele annab kinnitust LEED Gold sertifikaat. Hoone fassaadil kasutatakse erinevaid varjestusviise: lõunaküljel on horisontaalsed seinast eenduvad päikesepaneelid ning ida- ja lääneküljel on kasutatud vertikaalseid varjestusi (joonis 7).



Joonis 6 Hoone asukoht Maa-ameti kaardil

Büroohoone sai valitud, kuna tegu on kaasaegse ehitisega, mis vastab Eesti energiatõhususe miinimumnõuetele, ja hoones olevat jahutussüsteemi (aktiivsed jahutustalad avatud ripplaes) ei ole veel piisavalt uuritud. Hoone suletud netopindala on 10800 m² ja mõõtmisi tehti neljal korrusel 13-st, ehk ca 30%-l. Fassaadi akna ja seinasuhe on 0,69. Akna päikesekaitse väärtus on 0,25, mis näitab stabiilset sisekeskkonda. Tabelis 4.2.1 on toodud hoone erinevate piirete soojuslähivus. Soojuskadu välistarinditest on 0,50 W/(m²*K).

Hoones toimub jahutus aktiivsete jahutustaladega, mis asetsevad avatud ripplaes 2,75 m kõrgusel. Talade jahutusvõimsus on 52 W/m² ja efektiivne pikkus 2700-3300 mm. Ventilatsiooniks kasutatakse soojustagastusega ventilatsioonisüsteemi, kus jahutus-

taladest antakse sissepuhkeõhu [1,4 l/(s*m²)]. Väljatõmme toimub 2,7 m kõrgusel 125 mm läbimõõduga ümmarguste klappide kaudu.

Tabel 4.2.1 Soojuslähivused

	Soojuslähivus [W/(m ² *K)]
Aken	0,80
Sein	0,18
Katus	0,09
Põrand	0,14



Joonis 7 Hoone fassaad UMS Tehnika OÜ lehelt

Hoones kasutatakse kaugkütet. Kütteseadmeteks on veebaasil konvektorid kõrgusega 300 mm ja pikkusega 700-800 mm ning küttevõimsusega 18 W/m². Seadmed on paigaldatud aknalaudade alla. Osades ruumides kasutavad töötajad lisaks niisutusseadmeid.

Hoonel on väga hästi läbimõeldud arhitektuurne lahendus. 13-st korrusest 10 on tüüplahendusega, mida annab kasutada ühe suure büroopinnana või vajadusel jagada kuni neljaks eraldi olevaks bürooks. Lisaks sellele on ruumide lahendused paindlikud, valgustus, KVJ-süsteemid ja aknasammud võimaldavad muuta suure avatud kontori väiksemateks (nt neljasteks) kontoriruumideks või vastupidi. Et seda oleks kiire ja mugav teha, on hoones kasutusel olevad vaheseinad lihtsalt ja kergelt ümberpaigutatavad. See võimaldab ruumilahendust muuta üleöö ning ei ole vaja midagi ehitada. Selline lahendus hoiab kokku kulusid ruumide muutmisel. Samuti ka potentsiaalseid töötunde, mis võivad minna kaduma oodates, millal töötaja oma

töökohal uuesti olla saab. Töötunni väärtus hinnatud spetsialistidel on kõrge. Seega sellist lahendust on soovitatav võimalusel kasutada.

Varasemalt on seda objekti juba uuritud, mõõtmisi tehti kevadisel üleminekuperioodil [3]. Seetõttu jääb antud lõputöös kevad mõõtmisperioodidest välja. Samuti koostati seal sisekliima küsitlus. Küsitlusega selgitati välja probleemsed asukohad. Neid asukohti kasutatakse antud magistritöös mõõtepunktidenä.

Joonistel 8 ja 9 on toodud näidisena hoone kontorilagi väikse (1-2 inimese) kontoris ja avatud kontoris. Mõlema ruumi puhul on näha, et laes on omajagu seadmeid: jahutuspaik/jahutuspaigid, lambid, sprinklersüsteem, summutusplaadid, juhtmed. Need kõik mõjutavad jahutuspaikidest tulevat õhu liikumist ning tulemus ei pruugi vastata planeeritule. Lisaks on väikses kontoris ka vahesein jahutuspaigile lähedal, mis keerab õhujoa liikumissuuna järsemalt allapoole. Need on asjaolud, millega peab ka arvestama hoone projekteerimisel, et ei kaoks ära ruumilahenduste muutmise paindlikkus.



Joonis 8 Lagi väikeses kabinetis



Joonis 9 Lagi avatud kontoris

4.2.1 Mõõtepunktide asukohad

Mõõtepunktid valiti koostöös büroohoone haldajaga, kuna eesmärk oli mõõta kohtades, kus töötajad kaebavad sisekliima üle. Mõõtmisi teostati neljal korrusel: 6, 7, 11 ja 13 korrusel, kokku oli 18 mõõtepunkti (tabel 4.2.1.1). Täpsemad asukohad on toodud ära joonistel tulemuste all.

Tabel 4.2.1.1 Mõõtepunktid korrustel

Korrus	Mõõtepunktide arv	Mõõtepunktide numbrid
6	6	1-6
7	6	7-12
11	2	17-18
13	4	13-16

4.3 Sisekliima küsitlus

Mõõdetud korrustel asuvates ettevõtetes viidi läbi ka sisekliima küsitlus. Küsitlus on toodud lisa 1. Küsitlus viidi läbi elektrooniliselt Google Forms'is eesti ja inglise keeles. Küsitlus saadeti välja peale mõõtmist, seega küsitleti kolm korda: suve-, ülemineku- ja talveperioodil, ning töötajatel paluti vastata terve möödunud kuu kohta. Küsimuste koostamisel on aluseks võetud EVS-EN 15251. Juurde oli lisatud küsimused seoses töökoha, vanuse, soo, valguse, potentsiaalsete sümptomite ja tõmbustundega. Suve- ja üleminekuperioodi küsitlus olid samasugused. Talvisele küsitlusele lisati 2 küsimust seoses tõmbustundega, lisa on toodud talvine küsitlus. Küsitluses on jagatud korrused tsoonideks (Joonis 11 10), et näha, kas tulemused tekitavad mustreid tsoonide kaupa.



Joonis 10 Küsitluse korruste tsoonid

5. TULEMUSED JA ANALÜÜS

Mõõtmistest saadud tulemused on esitatud osaliselt ka hoone haldajale raportite vormis. Antud peatükis on esitatud tulemused mõõteperioodide kaupa, kus igas mõõtetulemuste alapeatükis tuuakse tulemused koondatult korruste kaupa. Küsitlustest saadud tulemused on esitatakse eraldi alapeatükina. Lisaks on eraldi alapeatükkidena ka välja toodud PMV ja PPD arvutustulemused graafikutena ning turbulentsi ja tõmbustunded tulemused tabelitena.

5.1 Suvine mõõtmine

Suvine mõõtmine toimus 6ndal augustil aastal 2019 päeva esimeses pooles. Välisõhu temperatuur oli tol ajal +18 kraadi. Mõõtmised teostati kõigil plaanitud neljal korrusel korruse kaupa.

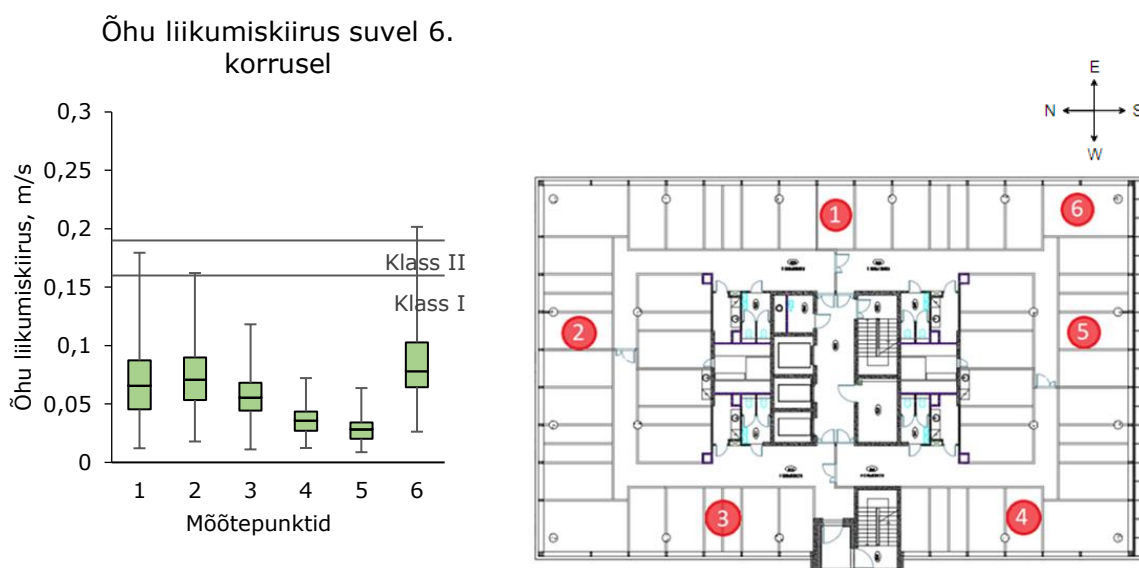
Õhu liikumiskiiruse graafikutes on kajastatud iga punkt eraldi ning igale punktile on ära toodud kõige madalam ja kõige kõrgem saadud väärtus (vertikaalne joon otstega). Kuna enamuse ajast inimene töö istub, siis õhu liikumiskiirused on võetud kolme alumise sondi tulemuste keskmistena. Ehk 0,1 m, 0,6 m ja 1,1m kõrguselt saadud tulemuste keskmised. Andmetest parema ülevaate saamiseks ja et mitte lasta eksitada üksikutest anomaaliatest, on iga punkti tulemused jaotatud kvartiilidesse. Kasti alumine joon näitab alumist kvartiili, ehk on 25% joon, ülemine joon ülemist kvartiili, ehk 75%, keskele jääb mediaansuurus. Kvartiil näitab, mitu protsenti on alumise kvartiili puhul väärtused sama suured või väiksemad kvartiili tunnusest. Ülemine kvartiil näitab mitu protsenti on väärtused samad või suuremad võrreldes kvartiili enda tunnusega. Lisaks on graafikul toodud välja ka sisekliima I ja II klassi ülempiiri. III klassi ülempiiri pole toodud, kuna tavakontoriruumides ei toiks tulemused üle II klassi küündida. Rohelisega on tähistatud punktid, mille kvartiilid jäävad I klassi, ja kollasega need, mille suur osa kvartiilidest on II klassis. Oranži värvi on punktid, mille kvartiilid on üle II klassi piiri, ja punane näitab IV klassi.

Joonisel 11, kus on toodud 6nda korruse tulemused, on selgelt näha, et tulemused on valdavalt märgatavalt alla I klassi ülempiiri. Mõned üksikud tulemused lähevad üle selle piiri ning ainult ühe punkti puhul üle II klassi ülempiiri. Kuna aga ülemisest kvartiilist jääb tulemus kaugemale, siis võib seda lugeda anomaaliaks. Korrusel nr 7 on tulemused

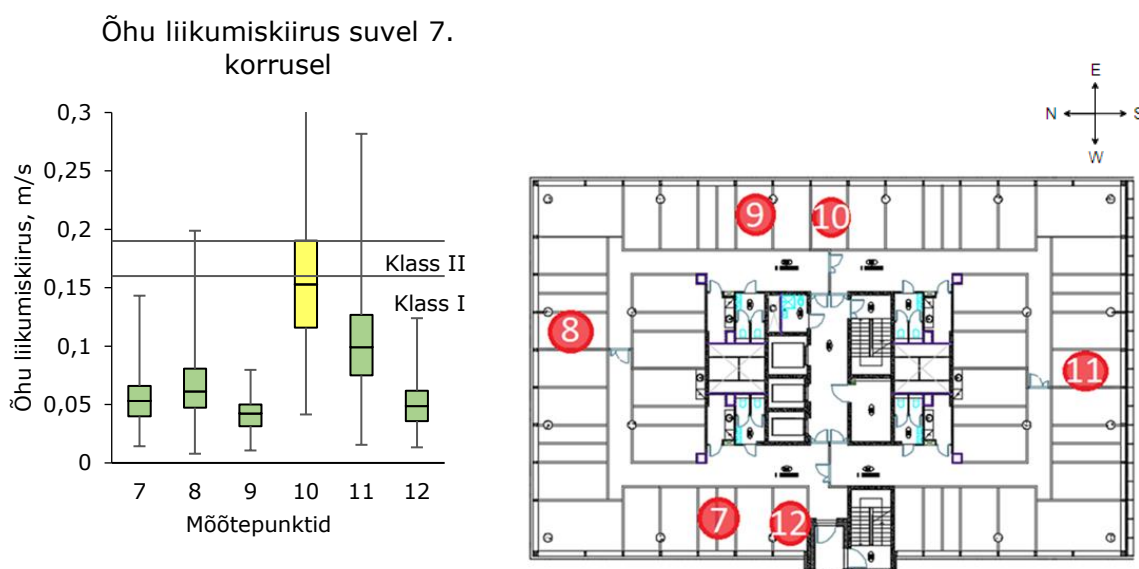
ka põhiliselt I klassis (joonis 12), kui välja jätta punkt 10, millest suur osa väärtusi tuli ka II klassi ning mille maksimumtulemus oli 0,33 m/s. Selle punkti keskmised õhu liikumiskiirused eri kõrgustel on toodud tabelis 5.1.1. Sealt on näha, et mida kõrgemal on punkt, seda rohkem on õhu liikumine I klassis. Punktides 8 ja 11 esineb ka väärtuseid, mis ulatuvad üle II klassi ülemise piiri. Mõlema ülemised kvartiilid asuvad aga märgatavalt allpool I klassi ülempiiri, seega üle piiri minevad väärtused moodustavad väikese protsendi tulemustest. Seitsmendal korrusel esines kõige rohkem kõikumisi suveperioodil võrreldes ülejäänud kahe perioodiga.

Tabel 5.1.1 Mõõtepunkti 10 keskmised õhu liikumiskiirused eri kõrgustel

Kõrgus [m]	0,1	0,6	1,1	1,7	2,0
Õhu liikumiskiirus [m/s]	0,16	0,15	0,15	0,12	0,10



Joonis 11 Õhu liikumiskiirused 6ndal korrusel suveperioodil ja punktide asukohad korrusel



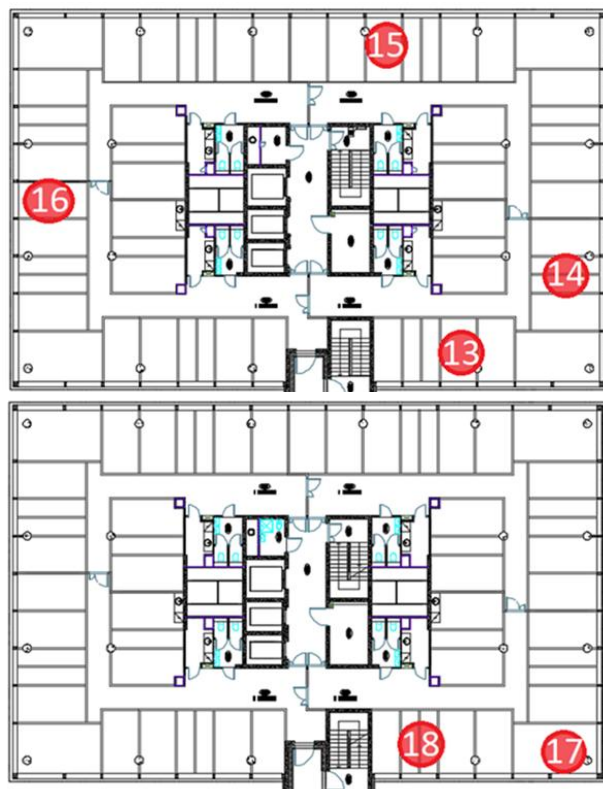
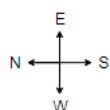
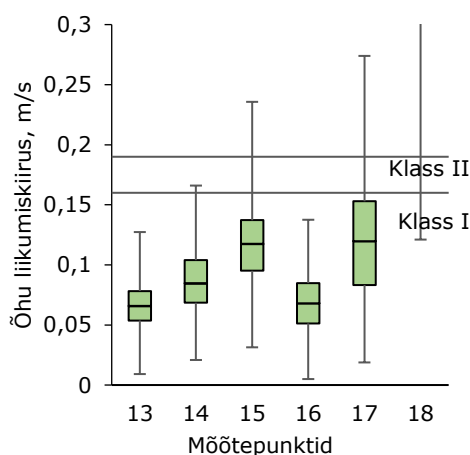
Joonis 12 Õhu liikumiskiirused 7ndal korrusel suveperioodil ja punktide asukohad korrusel

Joonisel 13 on pandud 11. ja 13. korrus kokku, kuna 11ndal korrusel tehti ainult kaks mõõtmist. Punktid 13-16 on 13ndal korrusel ning mõõtepunktid 17 ja 18 11ndal korrusel. 13nda korruse enamus tulemused jäid I klassi, aga mõõtepunkti 15 kõrgeimad tulemused ulatusid märgatavalt üle II klassi ülempiiri. Kuna vastava punkti ülemine kvartiil on I sisekliima klassis, siis järelikult III klassis on ainult üksikud tulemused. 11nda korruse punktid on märgatavalt suurema amplituudiga. Punkt 18 kvartiilid on täiesti II klassist väljas, alumine kvartiil on alles 0,31 juures, mediaan 0,42 ja ülemine kvartiil 0,52 ning kõige kõrgem punkt alles 0,93 m/s. Selle punkti keskmised õhu liikumiskiirused eri kõrgustel on toodud tabelis 5.1.2. Sealt on näha, et kõige suurem kiirus on istuva inimese pea kõrgusel, mis on eriti ebasoodne töötamiseks. Tegu on mittetüüpse kontoriruumiga, kus alaliselt ei töötata ning ruumi eripära nõuab suurt jahutuskoormust, seetõttu on ka suvel seal õhu liikumiskiirus suur. Ruumis olevad seadmed mõjutavad märgatavalt õhu liikumissuunda, mis on üks põhjustest, miks õhu liikumiskiirus ei ole ühtlane kogu ruumis. Mõõtepunkt nr 17 asus ka samas ruumis, aga näitab märgatavalt madalamaid tulemusi, kuigi ka selles punktis oli väärtuseid, mis ulatusid III klassi.

Tabel 5.1.2 Mõõtepunkti 18 keskmised õhu liikumiskiirused eri kõrgustel

Kõrgus [m]	0,1	0,6	1,1	1,7	2,0
Õhu liikumiskiirus [m/s]	0,25	0,42	0,60	0,40	0,25

Õhu liikumiskiirus suvel 11. ja 13. korrusel



Joonis 13 Õhu liikumiskiirus 11ndal ja 13ndal korrusel suveperioodil ja punktide asukohad korrustel

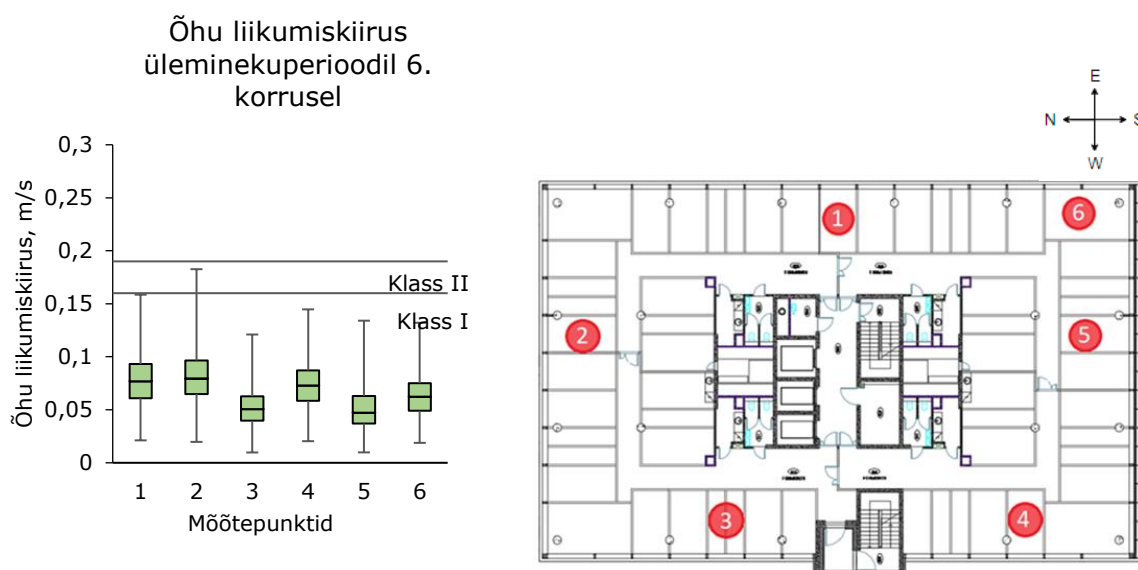
Tabel 5.1.3 Õhu suhteline niiskussisalduse ja -temperatuuri tulemused mõõtepunktide kaupa

Mõõtepunkt	1	2	3	4	5	6
RH (%)	50,5	52,8	54,4	52,6	51,7	52,1
t (°C)	+24,7	+23,7	+23,8	+24,3	+24,6	+24,7
Punkt	7	8	9	10	11	12
RH (%)	51,7	52,1	50,9	52,1	55,9	53,4
t (°C)	+24,2	+24,1	+24,6	+24,7	+23,9	+24,1
Punkt	13	14	15	16	17	18
RH (%)	52,5	53,2	55,3	54,0	49,4	52,7
t (°C)	+24,2	+24,2	+24,1	+24,7	+23,6	+22,9

Tabelis 5.1.3 on toodud suhteline õhuniiskus ja operatiivne temperatuur iga mõõtepunkti kohta. Jättes välja punkti 18, siis jäid kõik operatiivsed temperatuurid sisekliima I klassi (+23,5 kuni +25,5 °C jahutusperioodil), punkt 18 on III klassis (vahemik +22 kuni +27°C). Tabelis on temperatuuri klassid näidatud värvidega. I klass on roheline, II klass kollane, III klass oranž ja IV klass punane. Kõikide mõõtepunktide suhteline õhuniiskus tuli sobiv. Antud väärtused ei põhjusta ebamugavustunnet.

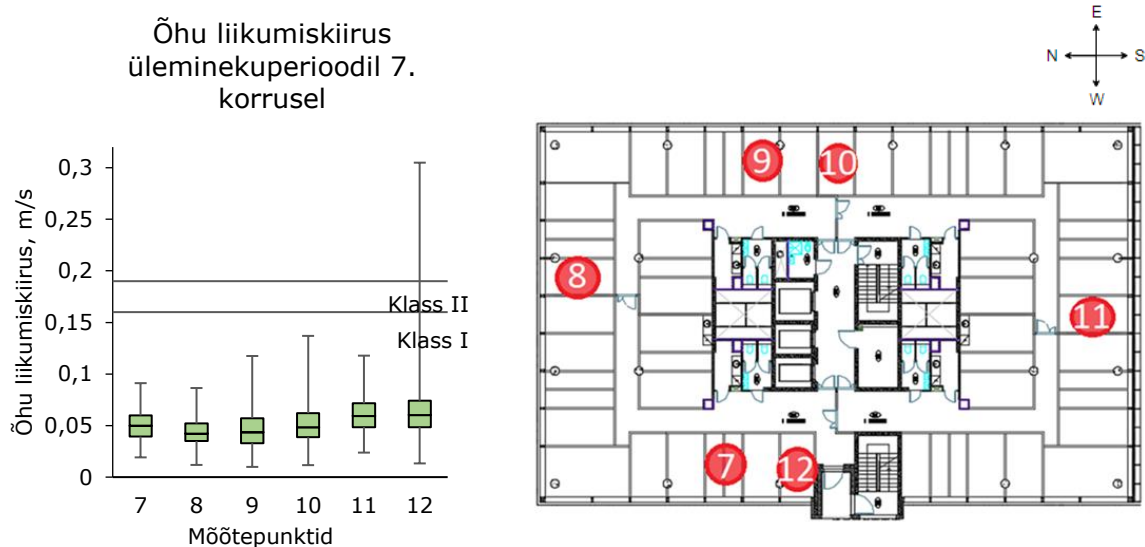
5.2 Üleminekuperioodi mõõtmine

Üleminekuperioodi mõõtmine toimus 25ndal novembril aastal 2019 päeva esimeses pooles. Peale esimest mõõtmist oli toimunud muudatus 6nda korruse kabinetide planeeringus. Esimene mõõtepunkt polnud enam 4 inimesega kabinetis, vaid kabinet oli jaotatud kaheks 2 inimesega kabinetiks. Välisõhu temperatuur oli tol ajal +2 kraadi.



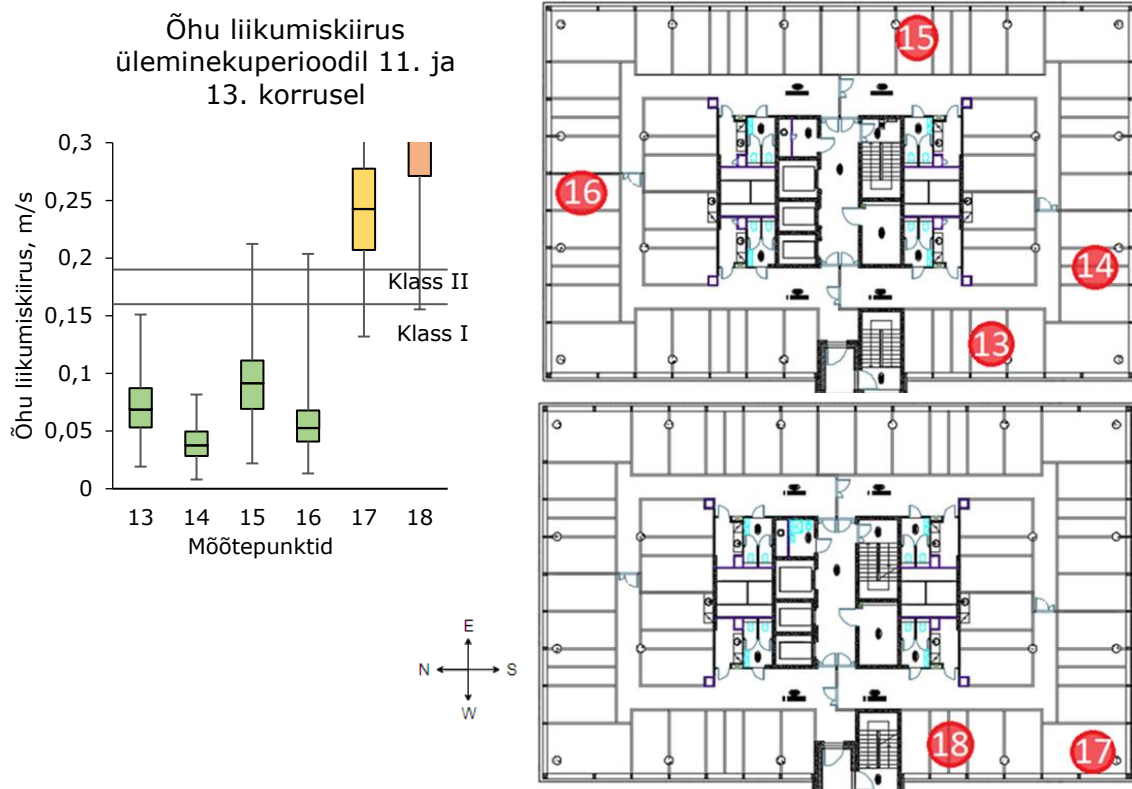
Joonis 14 Õhu liikumiskiirus 6ndal korrusel üleminekuperioodil ja punktide asukohad korrusel

Joonisel 14 on toodud 6nda korruse novembris mõõdetud tulemused. Graafikult on näha, et tulemused jäid tervenisti allapoole II klassi ülempiiri, peaaegu kõik ka allapoole I klassi ülempiiri. Tulemused tulid ühtlased ja punktide vahel kõikumist palju ei ole. Seitsmenda korruse mõõtmistulemused (joonisel 15) on samuti ühtlased. Kui välja arvata punkti nr 12 mõned ebaharilikult kõrged tulemused (maksimaalselt kuni 0,30 m/s), on kõik mõõdetud väärtused tervenisti I klassis. Punkti 12 ülemine kvartiil asub madalal I klassis, seega ainult üksikud punktid ulatuvad üle II klassi.



Joonis 15 Õhu liikumiskiirus 7ndal korrusel üleminekupeerial ja punktide asukohad korrusel

Joonisel 16 on toodud novembri mõõtmised 11ndal ja 13ndal korrusel. Võrreldes eelmiste korrustega, ei ole 13nda korruse punktide (punktid 13-16) tulemused enam nii ühtlased. Mediaanide omavahelised amplituudid on suuremad ning on tulemusi, mis lähevad üle II klassi ülempiiri. Kvartiilidest on aga näha, et neid punkte ei ole palju. 11nda korruse punktid (punkt 17 ja 18) on mõlemad märgatavalt suuremate väärtustega ning peaaegu täiesti üle sisekliima klassis II ülempiiri. Punkti 17 ülemine kvartiil on 0,28 m/s ning maksimumväärtus 0,42 m/s, punkti 18 mediaan on 0,32, ülemine kvartiil 0,38 ja maksimaalne väärtus 0,63 m/s. Punktide 17 ja 18 keskmised õhu liikumiskiirused eri kõrgustel on toodud tabelis 5.2.1. Sealt on näha, et punkti 17 puhul mida kõrgemal on mõõdetav punkt, seda madalamaks läheb kiirus. Lae all olevad kiirused on väga madalal I klassis. Punkti 18 kiirused seevastu on ebaühtlasemad, olles pahkluu juures ja lae all kõige kiiremad ning istuva inimese raskuskeskmes ja pea juures madalamad. Madalamad kõrgused jäävad aga endiselt üle II klassi ülemise piiri. Kuigi punkti 18 väärtused on madalamad, kui suveperioodil, on punkti 17 tulemused vastupidised. Ehk graafikult näeb, et ruumis on liikumiskiirus ühtlasem, kui oli suveperioodil, aga endiselt pole soovitatav sellises ruumis pikalt järjest töötada.



Joonis 16 Õhu liikumiskiirus 11ndal ja 13ndal korrusel üleminekuperioodil ja punktide asukohad korrustel

Tabel 5.2.1 Mõõtepunktide 17 ja 18 keskmised õhu liikumiskiirused eri kõrgustel

Kõrgus [m]	0,1	0,6	1,1	1,7	2,0
Punkt 17 õhu liikumiskiirus [m/s]	0,33	0,24	0,16	0,07	0,07
Punkt 18 õhu liikumiskiirus [m/s]	0,50	0,24	0,24	0,50	0,55

Tabel 5.2.2 Õhu suhteline niiskussisalduse ja -temperatuuri tulemused mõõtepunktide kaupa

Mõõtepunkt	1	2	3	4	5	6
RH (%)	19,5	20,4	19,9	19,9	20,0	20,3
t (°C)	+24,1	+23,2	+23,6	+23,3	+23,9	+23,9
Punkt	7	8	9	10	11	12
RH (%)	21,7	20,8	20,7	20,2	21,1	21,6
t (°C)	+23,2	+23,7	+23,8	+23,8	+23,8	+23,0
Punkt	13	14	15	16	17	18
RH (%)	18,6	18,8	22,0	19,8	18,5	19,2
t (°C)	+23,2	+23,5	+23,7	+24,1	+23,4	+23,2

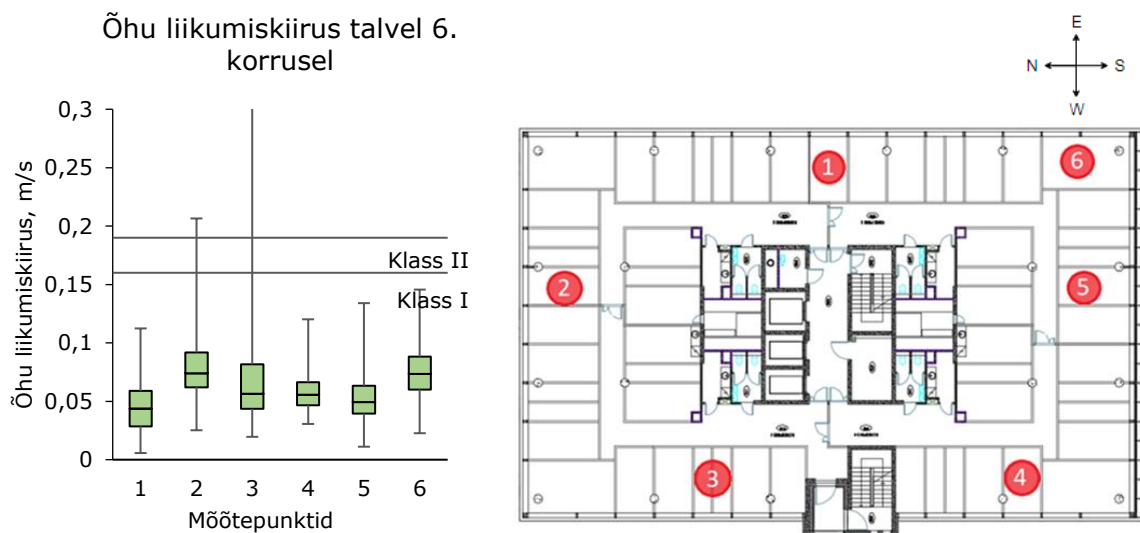
Tabelis 5.2.2 on toodud suhteline õhuniiskus ja operatiivne temperatuur iga mõõtepunkti kohta. Võrreldes suvega on suhteline õhuniiskus rohkem kui 2 korda madalam. Sellised väärtused on võivad põhjustada ebamugavust. Operatiivsetel temperatuuridel pole otseselt toodud üleminekuperioodi klasse, aga tulemused peaksid

jääma jahutuse ja kütteperioodi väärtuste vahele. Seega antud väärtused sobivad, kuna vahemikke vaadates jäävad vähemalt I sisekliima klassi.

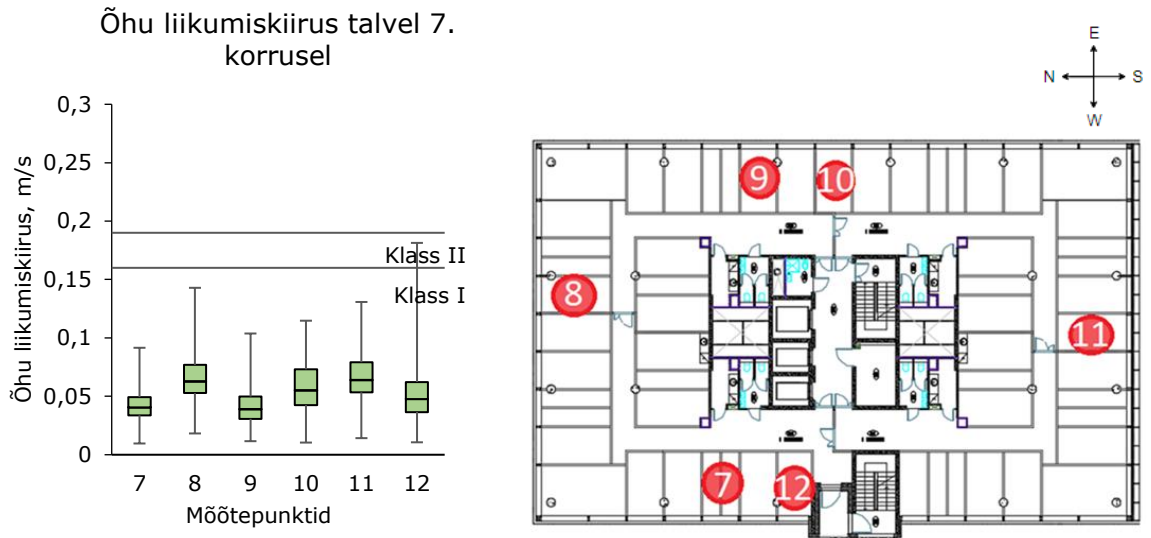
5.3 Kütteperioodi mõõtmine

Talvine mõõtmine toimus 21. veebruaril aastal 2020 päeva esimeses pooles. Välisõhu temperatuur oli tol ajal -2 kraadi. Võrreldes eelmiste perioodidega oli kontorites märgata suuremat õhuniisutajate kasutust.

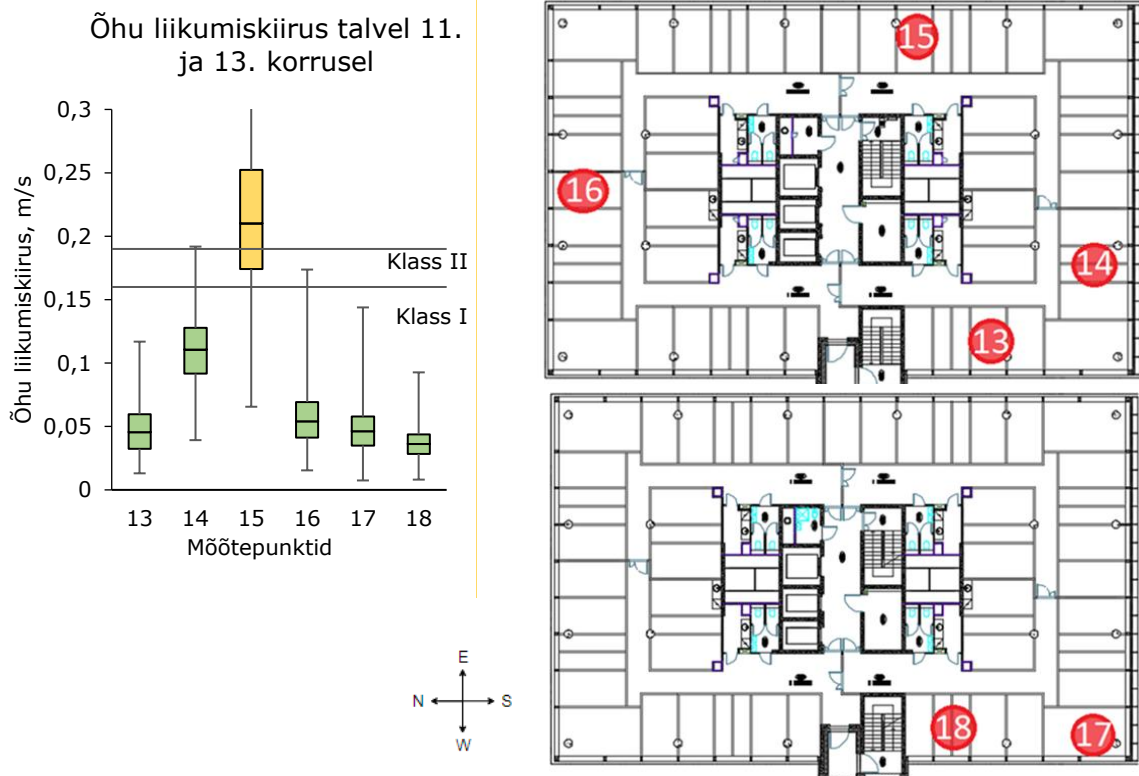
Joonisel 17 paistab välja, et õhu liikumiskiirus on võrreldes kahe eelmise perioodiga ebauhtlasem. Kahes punktis on tulemusi üle II klassi ülempiiri ning esineb ka rohkem kõikumisi I klassi siseselt. Samuti on mõned 3nda punkti väärtused ebatavaliselt kõrged. Maksimalne väärtus 0,62 m/s, kuna aga ülemine kvartiil on madalal I klassis, siis üle II klassi piiri minevaid punkte on vähe. Joonisel 18 on näha, et kõik mõõtmistulemused, välja arvatud punktis 12, jäävad kõik väärtused I klassi. Punktis 12 esinevad mõned ebatavaliselt kõrged tulemused, aga kvartiilide järgi otsustades on neid vähe. Seega talvised seitsmenda korruse tulemused on üsna ühtlased.



Joonis 17 Õhu liikumiskiirus 6ndal korrusel kütteperioodil ja punktide asukohad korrusel



Joonis 18 Õhu liikumiskiirus 7ndal korrusel kütteperioodil ja punktide asukohad korrusel



Joonis 19 Õhu liikumiskiirus 11ndal ja 13ndal korrusel kütteperioodil ja punktide asukohad korrusel

Joonisel 19 näeb, et kütteperioodil on 11ndal korrusel mõõtmistulemused I klassis ja ei kõigu palju. Kütteperioodil on vajaminev jahutuskoormus madal, seega tulemused on vahelduseks sisekliima I klassi sobivad. 13nda korruse väärtused aga kõiguvad palju rohkem ning enamus tulemusi punktis nr 15 jäävad sisekliima klassist II välja. Punkti

15 ülemine kvartiil on 0,25 m/s ja maksimaalne väärtus 0,40 m/s. Samuti ulatub punkti 14 maksimumväärtus üle sisekliima II klassi olles 0,02 m/s kõrgem etteantud piirist. Punkti 15 keskmised õhu liikumiskiirused eri kõrgustel on toodud tabelis 5.3.1. Sealt on näha, et kuigi lae all on liikumine kõige aeglasem ja sisekliima I klassis, siis muutub kiirus ebaühtlaselt. Istuva inimese pea kõrgusel on õhu liikumiskiirus kõige suurem, mis on kõige ebasobivam variant töötamiseks. Võrreldes kahe eelmise perioodiga, siis kütteperioodil kõiguvad tulemused rohkem.

Tabel 5.3.1 Mõõtepunkti 15 keskmised õhu liikumiskiirused eri kõrgustel

Kõrgus [m]	0,1	0,6	1,1	1,7	2,0
Õhu liikumiskiirus [m/s]	0,21	0,17	0,26	0,17	0,12

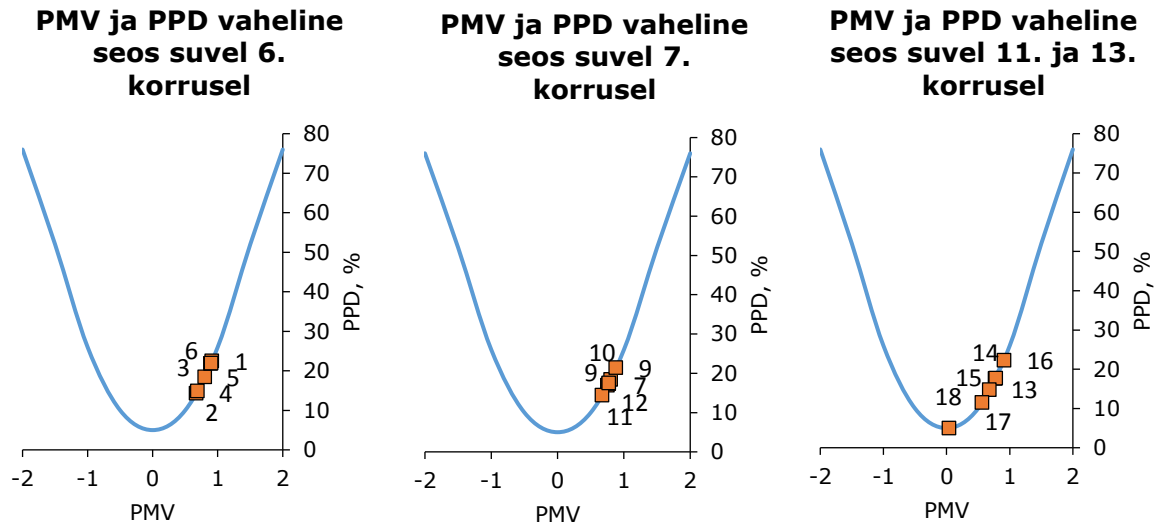
Tabel 5.3.2 Õhu suhteline niiskussisalduse ja -temperatuuri tulemused mõõtepunktide kaupa

Mõõtepunkt	1	2	3	4	5	6
RH (%)	24,9	26,5	24,9	25,0	25,1	26,5
t (°C)	+24,1	+24,1	+23,6	+23,7	+24,2	+24,2
Punkt	7	8	9	10	11	12
RH (%)	24,7	25,2	25,6	24,6	24,1	24,8
t (°C)	+23,5	+23,8	+23,9	+24,0	+23,8	+23,3
Punkt	13	14	15	16	17	18
RH (%)	25,7	24,2	23,0	23,3	23,6	23,8
t (°C)	+23,8	+24,4	+23,4	+23,8	+23,3	+23,4

Tabelis 5.3.2 on toodud suhteline õhuniiskus ja operatiivne temperatuur iga mõõtepunkti kohta. Talvised suhtelised õhuniiskused on kõrgemad, kui olid üleminekuperioodil, aga on endiselt madalad. Nii madalad väärtused võivad põhjustada ebamugavust. Operatiivne temperatuur II klassi puhul peaks jääma kütteperioodil vahemikku +20 kuni +24°C. 7nda ja 11nda korruse punktid on kõik selles vahemikus. 6ndal ja 13ndal korrusel punkte, mis on üle +24°C ning seega napilt sisekliima III klassis.

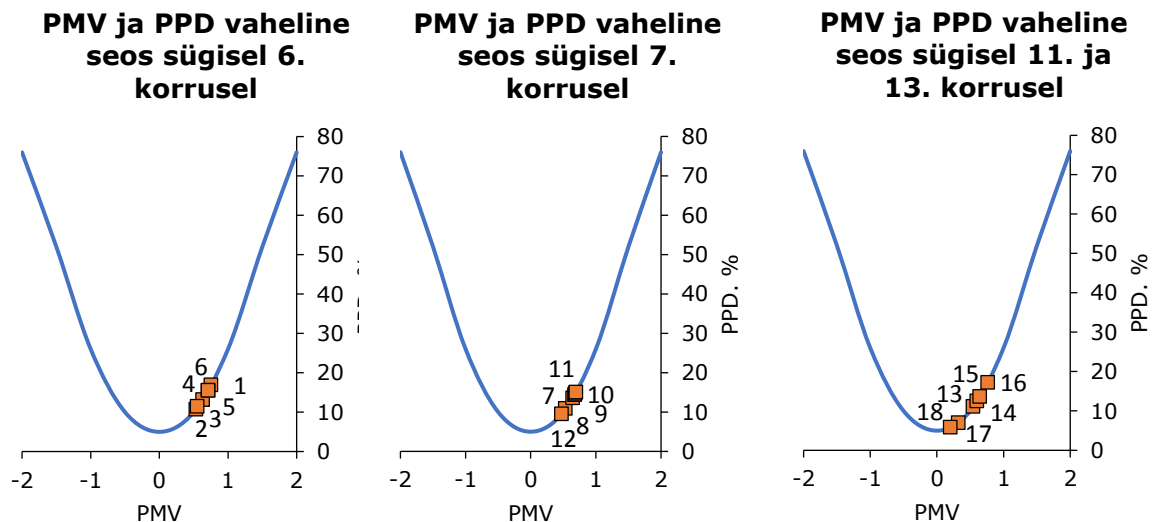
5.4 PMV ja PPD graafikud

PMV ja PPD graafikud on toodud kõigi kolme mõõtmiskorra kohta eraldi. Iga mõõtmiskorra kohta on kolm graafikut: 6. korruse kohta, 7nda korruse kohta ja 11nda ning 13nda korruse kohta kokku. Graafikutel on võrdluseks toodud juurde sinisega Fangeri kõver, millega arvutustulemused ühtivad.



Joonis 20 PMV ja PPD vaheline seos suvistel mõõtmistel

Suviste mõõtmiste kaudu leitud PMV ja PPD väärtused on toodud korruste kaupa (11. ja 13. korrus koos) joonisel 20. PMV tulemustest ainult punkt 18 mahub I klassi ($-0,2 < PMV < +0,2$), mõõtepunkt 2, 3, 11, 15 ja 17 on III klassis ($-0,7 < PMV < +0,7$), kõik ülejäänud on IV klassis ($-1,0 < PMV < +1,0$). PPD väärtused langevad kõigil punktidel samasse klassi, kus on vastava punkti PMV tulemus.

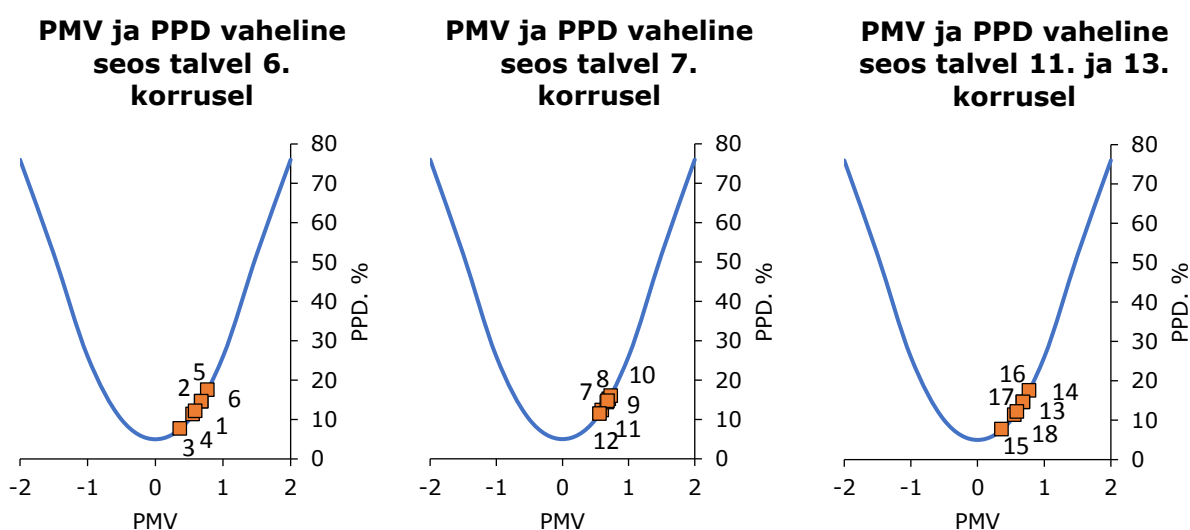


Joonis 21 Joonis 21 PMV ja PPD vaheline seos sügisestel mõõtmistel

Sügiseste mõõtmistulemuste järgi arvatud PMV ja PPD on joonisel 21. PPD väärtus punktis 18 langeb sisekliima I klassi ($PPD < 6\%$), punktid 12 ja 17 on klassis II ($PPD < 10\%$). Punktid 1, 5, 6, 11 ja 16 on klassis IV ($PPD < 25\%$), ülejäänud punktid on III klassis ($PPD < 15\%$). PMV väärtused langevad kõigis punktides (v.a punkt 11)

samasse sisekliima klassi, kus on nende vastavad PPD väärtused. Punkti 11 PMV väärtus on III klassis.

Talviste mõõtmistulemuste kaudu arvatud PMV ja PPD on joonisel 22. Nendest tulemustest on kõige parem PMV klass mõõtepunktil 15, mis asub sisekliima klassis II. Punktid 1, 2, 5, 6, 10 ja 14 on oma väärtustega IV klassis, ülejäänud on III klassis. PPD väärtused on taas samas klassis vastava punkti vastavate PMV väärtustega, välja arvatud punkt 9, mille PPD väärtus on IV klassis.



Joonis 22 PMV ja PPD vaheline seos talvistel mõõtmistel

5.5 Turbulents ja tõmbustunne

Valemite järgi arvatud turbulents (T_u) ja tõmbustunne (DR) on toodud tabelites 5.5.1-5.5.3. Tulenevalt madalatest õhu liikumiskiirustest ja normidesse jäävatest õhutemperatuuridest põhjustavad enamasti turbulentsi vähem kui 15% inimestes rahulolematust [19]. Üleminekuperioodil mõõtepunktil 17 ja 18 ning talvel punktis 15 on rahulolematuse protsent kuni 25%. Suveperioodil punktis 18 üle 25%.

Tõmbustunne jääb esimesse klassi, kui tulemus on kuni 10%, ning teise klassi, kui tulemus on 20%. Selle järgi 6nda korruse kõik tulemused on I klassis ning ka 7nda ja 13nda korruse tulemused, v.a mõõtepunkt 10 suvel ja mõõtepunkt 15 talvel. Need on mõlemad II klassis. Punkti 17 tulemused on suvel ja talvel I klassis, sügisel II klassis. Punkti 18 väärtused talvel I klassis, sügisel III klassis (III klassi ülempiir 30%) ning

suvine tulemus IV klassis. Kuna õhu liikumiskiirused on punktis 18 suvel ja sügisel kõrged, siis on sellised tulemused loogilised. Tabelites on toodud I klass rohelise värviga, II klass kollase värviga, III klass oranžiga ja IV klass punasega.

Tabel 5.5.1 Turbulents ja tõmbustunne korrusel 6

Korrus 6		1	2	3	4	5	6
Tu (%)	suvi	42,5	35,8	31,6	31,5	31,2	37,0
	sügis	30,9	31,0	34,9	29,3	40,9	30,4
	talv	48,5	31,9	80,9	28,6	37,8	28,6
DR (%)	suvi	3,4	4,0	1,7	0,0	0,0	5,1
	sügis	4,3	5,3	0,9	4,0	0,3	2,6
	talv	0,0	4,4	6,0	2,0	1,1	4,0

Tabel 5.5.2 Turbulents ja tõmbustunne korrusel 7

Korrus 7		7	8	9	10	11	12
Tu (%)	suvi	38,9	40,0	31,9	34,1	39,4	39,1
	sügis	28,5	28,9	38,8	38,2	29,0	40,7
	talv	31,3	31,3	33,9	35,3	29,0	49,4
DR (%)	suvi	3,4	2,9	3,4	11,7	7,6	0,0
	sügis	0,0	0,0	0,0	1,0	2,4	3,2
	talv	0,0	3,1	0,0	2,0	3,1	1,3

Tabel 5.5.3 Turbulents ja tõmbustunne korrusel 11 ja 13

Korrus 11 ja 13		13	14	15	16	17	18
Tu (%)	suvi	29,4	31,3	27,0	34,8	40,4	35,1
	sügis	34,5	38,3	33,8	47,0	20,6	24,6
	talv	40,8	24,5	27,7	40,4	42,2	36,0
DR (%)	suvi	2,9	5,1	8,0	3,1	9,8	52,1
	sügis	3,9	0,0	6,1	2,1	19,2	29,8
	talv	0,0	7,0	18,6	2,0	0,0	0,0

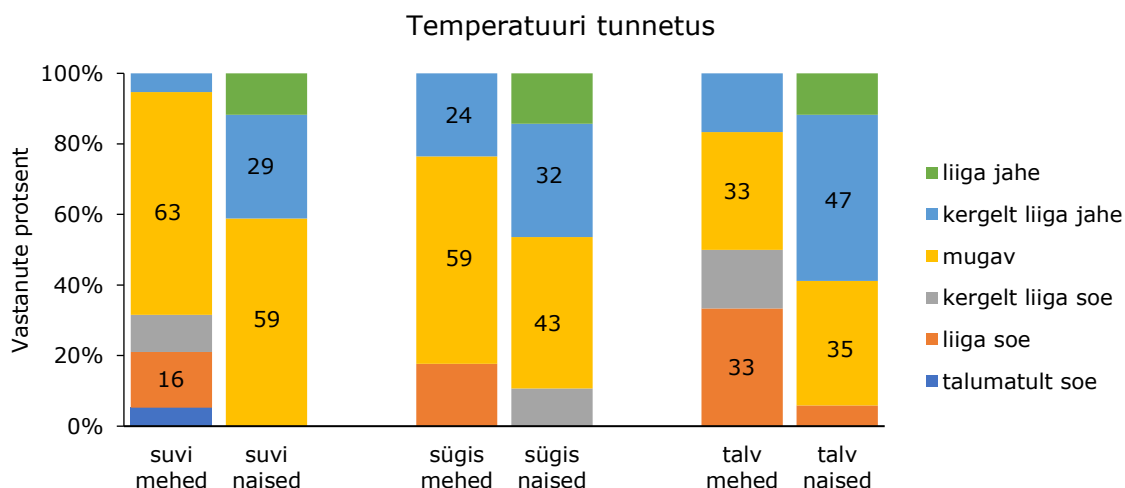
5.6 Küsitluse tulemused

Küsimustikule vastas suvel 36 töötajat, üleminekuajal 45 ja talvel 23 inimest. Arvestades mõõdetud korruste kõik ettevõtted kokku, siis on vastanute protsent päris madal. Ainult üleminekuajal on arvestatav kogus andmeid. Soojusliku mugavuse subjektiivsel hindamisel peaks olema vähemalt 40 vastajat [22], et saada tulemused piisava täpsuse ja usaldusväärsusega.

Kõigil korral oli üle 75% vastanutest vanuses 26-45 aastat ning rohkem kui 80% töötas avatud kontoris. Suvisele ja üleminekuküsitlusele tuli vastuseid kõigilt korrustelt, talvisele aga 6ndalt korruselt ei vastanud keegi. Iga korrus oli jaotatud kuueks tsooniks, et näha, kas tsoonide kaupa joonistud välja mustreid. Ilmnes ainult, et sügisperioodil loodes olevas tsoonis ning talvel edelatsoonis kurdeti rohkem jaheduse üle rohkem, kui teistes tsoonides.

5.6.1 Temperatuur

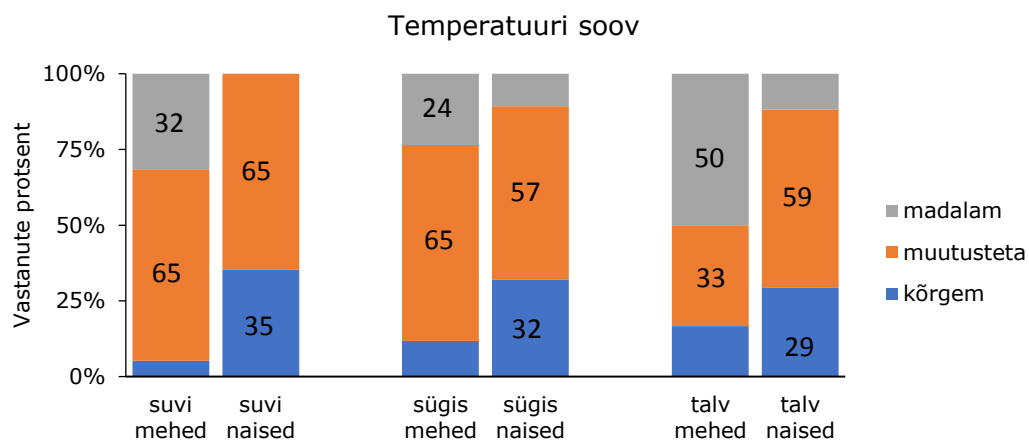
Temperatuuri kohta esitati kokku 3 erinevat küsimust. Esimeses uuriti, kuidas hindavad töötajat õhutemperatuuri skaalal talumatult soojast talumatult külmani (joonis 23). Teine küsimus oli seotud temperatuuri muutusega, kas soovitatakse kõrgemat, madalamat või et ei oleks muutust (joonis 24). Ning kolmas küsimus uuris temperatuuriga rahulolu skaalal väga heast vastuvõetamatuni (joonis 25). Esitatud oli kolm küsimust, et näha, kas tuleb välja erinevusi ja et võtaks arvesse inimeste eelistusi.



Joonis 23 Temperatuuri tunnetus

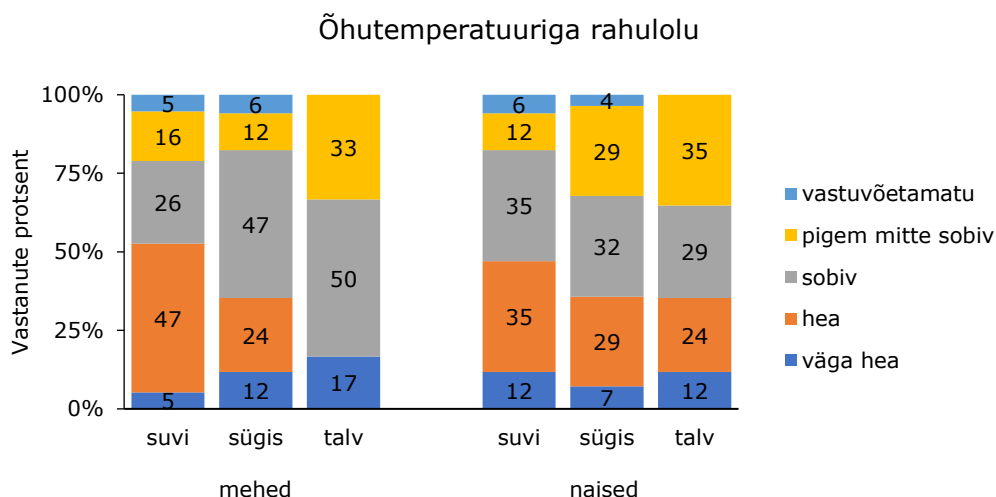
Joonisel 23 on näha, et soolised iseärasused tulevad selgelt välja. Suvel tunnevad mugavalt üle 50% meestest ja naistest. Ülejäänud naised tajuvad temperatuuri jahedana, kui aga meeste puhul ülejäänutest peaaegu kõik vastupidi liigselt soojana. Sügisel on näha, et mugavustunne on langenud. Eriti naiste puhul, olles nüüd alla 50%, ja neist veelgi rohkemad tajuvad temperatuuri jahedana. On aga ka lisandunud neid, kelle jaoks on liiga soe. Meeste hulgas on näha, et märgatavalt on tõusnud vastanute arv, kes tunnetavad temperatuuri jahedana (nüüd 24%), ja vähenenud, kelle jaoks on liigselt soe. Talvel tunnevad end mugavalt ca 1/3 nii meestest kui ka naistest ja naiste puhul on (kergelt) liiga jaheda valiku teinute arv tõusnud üle 50%. Meeste puhul

domineerib endiselt arvamus, et on pigem liiga soe, kui külm. See moodustab nüüd 50% talvisest vastanud meestest. Jooniselt järeldeb, et suvel tunnevad kõige rohkemad ennast mugavamalt.



Joonis 24 Ruumitemperatuuri soov

Joonisel 24 on korrelatsioonis joonisega 23 seoses sugude vaheliste erinevustega. Küll aga on märgatav, et vastanute protsents, kes soovib temperatuur muutumatust, on kõrgem, kui mugavust väljendanute arv (v.a talvel meeste hulgas, kus mõlemal korral oli vastanute protsents 33%). Sellest saab järeldeb, et leidub inimesi, kes eelistavad töötamiseks pigem mugavustundest kas soojemat või jahedamat õhutemperatuuri. Samuti ka sellelt jooniselt paistab välja, et suvel on temperatuuriga kõige rohkem inimesi rahul, 65% nii meeste kui ka naiste puhul.



Joonis 25 Kontori õhutemperatuuriga rahulolu

Viimase temperatuuriküsimusena uuriti, kui rahul ollakse õhutemperatuuriga. Tulemused on joonisel 25. Jooniselt on näha, et vastanute protsents, kelle meelest on õhutemperatuur sobiv, hea või väga hea jääb vahemikku 65%-83%. Mis on märgatavalt

kõrgem suvel (78% mehed, 82% naised) ja sügisel (83% mehed ja 68% naised) võrreldes talvega (67% mehed ja 65% naised). Mehed ja naised kokku võetuna on rahulolu suvel taas kõige kõrgem. Samas vastuvõetamatut temperatuuri esines ainule suvel ja sügisel.

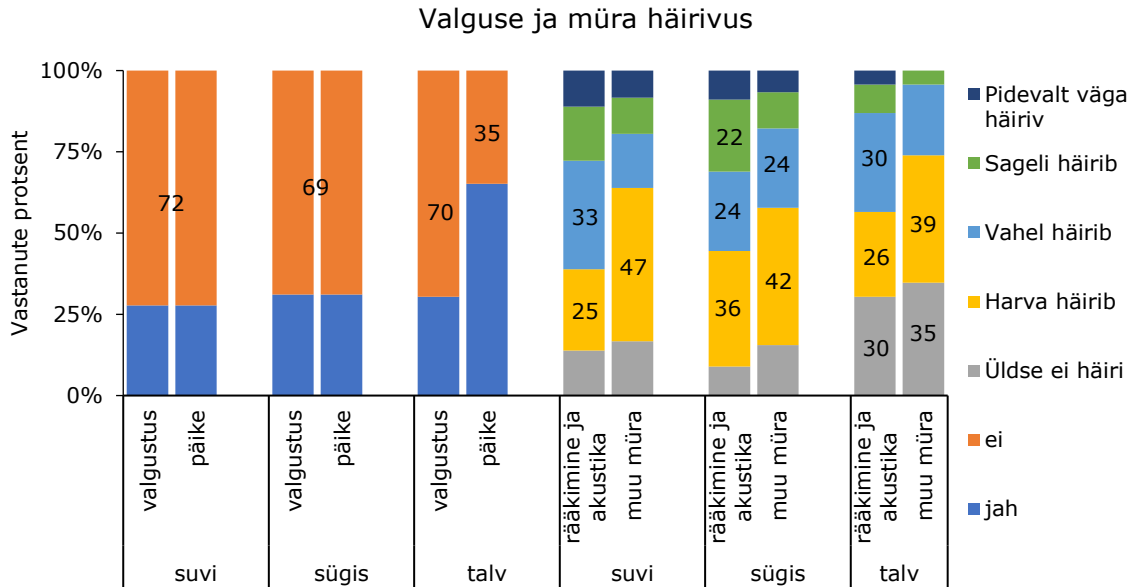
Nendest kolmest joonisest saab järeldada, et oluline on, milline on küsimuse sõnastus ja millised on vastusevariandid. Ning kuigi inimene võib vastata, et temperatuur on liiga soe/jahe, siis tegelikkuses võib talle see sobida. Ning kui ka soovitakse kõrgemat/madalamat temperatuuri, siis see ei tähenda, et ei olda rahul. Soov temperatuuri muutuse jaoks võib olemas olla, aga see võib häirida inimest tegelikkuses nii vähe, et ta on rahul olemasoleva temperatuuriga.

5.6.2 Valgus ja müra

Joonisel 30 on toodud kokku küsimused valgusest ja müra. Küsiti, kas kontoriruumi valgustus ja päike häirivad töötajat. Lisaks oli ka küsimus, kas kolleegide rääkimine/ruumiakustika ja muu müra on häirivad.

Ruumide valgustus ei ole häiriv enamusele vastajatest kõigi 3 perioodi jooksul, olles suvel 72%, sügisel 69% ja talvel 70%. Päikesevalguse häirivuse tulemused on suvel ja sügisel samad, aga talvel märgatavalt kõrgem – 65%. Selle põhjuseks võib olla talvine madal päikesekiirte langemisnurk, millele hoone horisontaalsel välisvarjestusel on väiksem mõju. Seetõttu võib otsese päikesekiirguse räguse esinemine olla talvel suurem, kui muudel aastaaegadel.

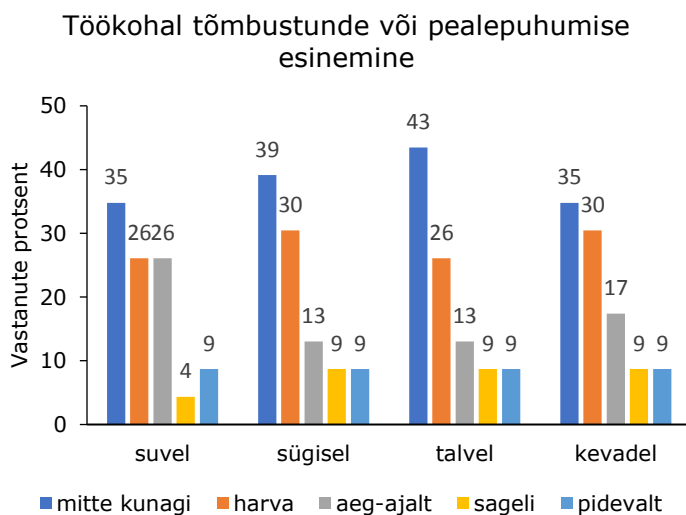
Jooniselt 26 on näha, et kolleegide rääkimine ja kontoriruumide akustika on segavam faktor, kui muu müra. Töökaaslaste rääkimine ja akustika häirib töötajaid kas vahel, sageli või pidevalt 44-61% vastanutest, seevastu muu müra 26-42%. Üle 80% vastanutest töötab avatud kontoris, seega ei ole tulemus üllatav. Mida rohkem on inimesi, seda rohkem tekib ka igasugust müra.



Joonis 26 Valguse ja müra rahuolu aastaegade kaupa

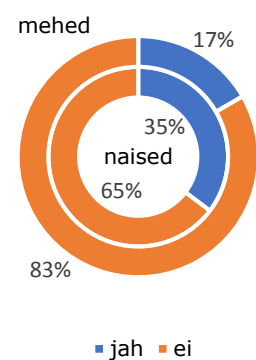
5.6.3 Tõmbustunne ja pealepuhumine

Vastused küsimusele, kui sageli esineb kas tõmbustunnet või pealepuhumist kõigil neljal aastaajal, on toodud joonisel 28. Lisaks küsiti, kas pealepuhumist on esinenud viimase kuu jooksul (joonis 27). Kuna kuu kohta küsimus oli ainult viimases küsitluses, siis vastus käib talvekuu kohta.



Joonis 28 Töökohal tõmbustunde või pealepuhumise esinemine

Viimase kuu jooksul töökohal tõmbustunde või pealepuhumise esinemine (talvel)



Joonis 27 Tõmbustunde või pealepuhumise tunnetus viimase kuu jooksul

Jooniselt 27 tuleb selgelt välja, et mehed tundsid tõmbustunnet või pealepuhumist märgatavalt vähem. 83% meestest vastas, et viimase kuu jooksul ei ole esinenud neist

kumbagi. Naiste hulgas esines vastamise varieeruvust rohkem, aga üle poolte (65%) tõmbustunnet või pealepuhumist ei tunnetanud. Jooniselt 32 on näha, et läbi aasta enamused (61-69%) ei taju tõmbust ega pealepuhumist mitte kunagi või tajub ainult harva. Sageli või pidevalt seevastu tunnetab neid ainult 13-18% vastanutest. Muu faktorite järgi, nagu tsoonid, korrus, kontori tüüp või vanuse, mustrit ei tekkinud.

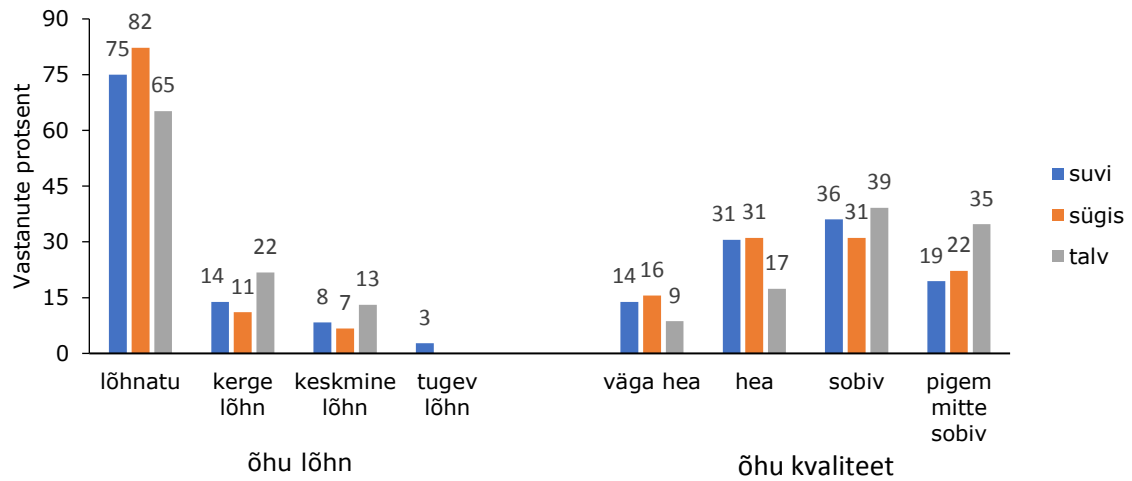
5.6.4 Õhu kvaliteet ja sümptomite esinemine

Õhu kvaliteedi kohta oli igas küsitluses kaks küsimust. Esimene neist uuris töötajate arvamust õhu lõhna osas. Teine uuris, kui sobivaks nad peavad õhu kvaliteeti. Tulemused on toodud joonisel 29.

Vastavalt aastaajale 65-82% vastajatest pidasid õhku lõhnatuks, keskmist või tugevat lõhna tundsid 7-13% vastanutest. Keegi ei pidanud õhulõhna väga tugevaks või talumatuks. Sügisperioodil hinnati õhku lõhna osas kõige paremaks, talvel oli tulemused kõige kehvemad. Sellel võib olla seos vastanute arvuga. Kuna suurema tõenäosusega tahavad vastata need, kellele midagi ei meeldi, ja mida vähem on vastajaid, seda rohkem võib olla tulemus kallutatud. Üleminekuperioodil oli vastajaid kõige rohkem, talvel kõige vähem. Jooniselt 34 on veel näha, et õhu kvaliteediga ollakse rahul. Sobivaks, heaks või väga heaks hindavad seda 65% vastanutest talvel, 78% sügisel ja 81% suvel ja keegi ei hinnanud õhukvaliteeti vastuvõetamatuks.

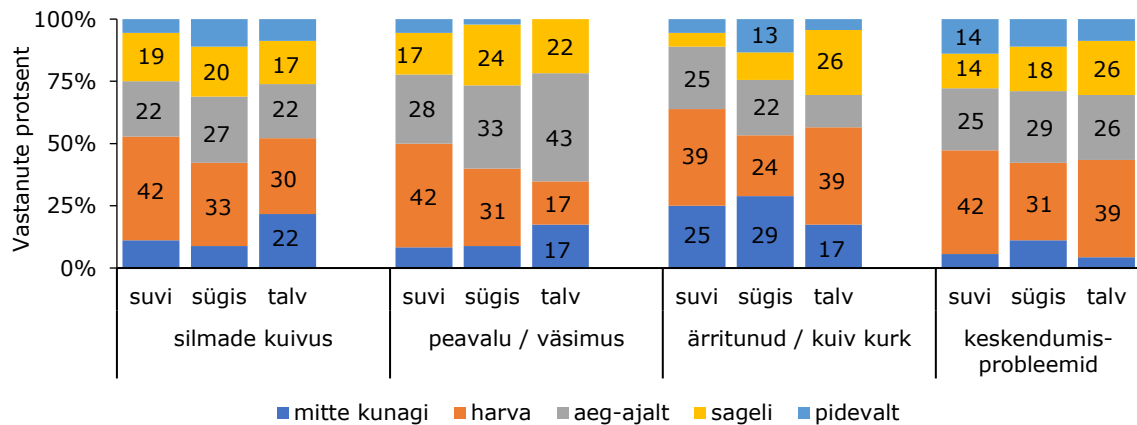
Küsitluses uuriti ka erinevate sümptomite esinemissagedust. Sümptomid jaotati nelja rühma: silmade kuivus, peavalu/väsimus, ärritunud/kuiv kurk ja keskendumisprobleemid. Tulemused on toodud joonisel 30 ning tulemustelt on näha, et kõik sümptomid oli esindatud ca pooltel vastanutest. Kõige vähem kurdeti ärritunud või kuiva kurgu üle. 53-64% vastanutest ei ole seda täheldanud kas mitte kunagi või ainult harva. Kõige rohkem esines peavalu. Seda esines aeg-ajalt, sageli või pidevalt 50% suvel, 60% sügisel ja 66% talvel. Keskendumisprobleemid esinesid aeg-ajalt kuni pidevalt 52-58% vastanutest, silmade kuivus 47-58%. Suvel oli suhteline õhuniiskus üle 50%. Seega on üllatav, et silmade kuivust tunnetasid vähemalt aeg-ajalt või sagedamini 47% ja kuiva või ärritunud kurku 34% vastajatest. Sügisene ja talvine madal suhteline õhuniiskus (~20-26%) võivad olla põhjuseks, miks esines peavalu/väsimust ja kurguprobleeme suvisest märgatavalt rohkem.

Õhu kvaliteet



Joonis 29 Õhu kvaliteet

Sümptomite esinemine



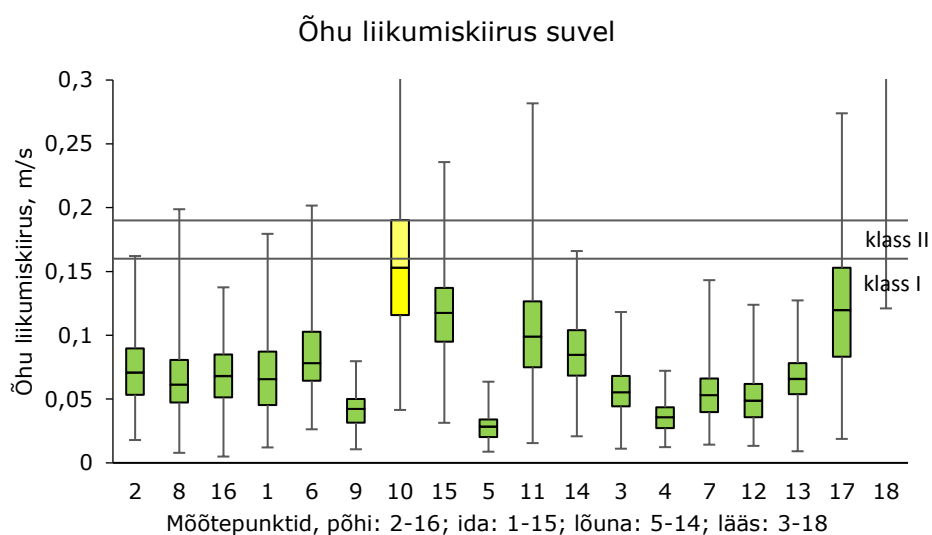
Joonis 30 Erinevate levinud sümptomite esinemine

5.7 Koondatud tulemused

Parema ülevaate saamiseks on mõistlik tulemusi koondada. Antud alapeatükis on mõõtmistulemused ja arvutustulemused võetud kokku mõõtmisperiodi kohta. Lisaks on võetud kokku ka küsitluste vastuste tulemused.

5.7.1 Suveperiood

Joonisel 31 on esitatud suveperioodi kõik mõõtepunktid ilmakaarte kaupa. Tulemused on 0,1 m, 0,6 m ja 1,1 m kõrguselt mõõdetud tulemuste keskmised. Need kõrgused iseloomustavad istuvas asendis inimest. Graafikult on näha, et 16 punkti jäid sisekliima I klassi, üks punk II klassi ning üks punkt on üle II klassi ülempiiri. Kuna büroohoone peaks vastama vähemalt II sisekliima klassile, siis punkti 10 tulemus on ka sobiv. Punkt 18 asub mittestandardises kontoriruumis, kus on kõrge jahutusvajadus ja alaliselt ei töötata. Kui pikemaajaliselt seda kellegi töökohaks ei muudeta, siis pole tulemuse pärast vaja muretseda. Eriti kuna punkt 17 on samas ruumis ja jääb I klassi. Ehk ruumis on suvel õhutemperatuur ebaühtlane ja on võimalik leida ruumisiseselt ka sobivam asukoht.

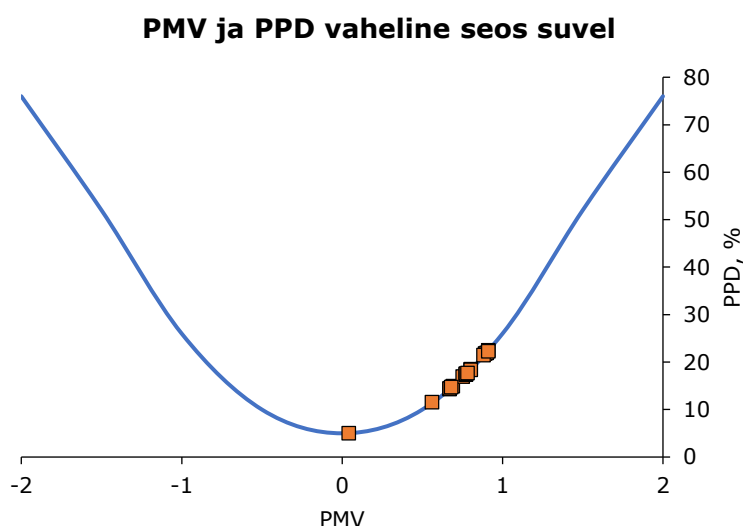


Joonis 31 Õhu liikumiskiirus suvel

Ilmakaarte järgi on näha, et põhjapoolsed punktid (2, 8 ja 16) annavad omavahel võrreldes ühtlase tulemuse. Idapoolsetes punktides (1, 6, 9, 10 ja 15) esineb märgatavalt rohkem kõikumist. See võib olla tingitud asjaolust, et mõõtmisi teostati enne keskpäeva. Mistõttu võib mõnes punktis olla õhu liikumiskiirus reguleeritud kõrgemaks, et tasakaalustada päikesest tulenevat õhutemperatuuri tõusu. Lõunasuunalistes punktides (5, 11 ja 14) võib kiiruste erinevusel olla sama põhjus, mis idapoolsetes punktides. Kui jätta välja punktid 17 ja 18, mis on mittestandardises ruumis, siis läänesuunalised punktid (3, 4, 7 ja 12) on märgatavalt ühtlasemad. Võimalik, et sellel on samuti seos mõõtmise kellaajaga.

Operatiivsed temperatuurid (v.a punktis 18) ja tõmbustunne (v.a punktis 18) jäid kõigis punktides alla II klassi ülempiiri. Punktis 18 oli operatiivne temperatuur III klassis ja

tõmbustunne IV klassis. Kuna tegu on ebastandardse kontoriruumiga, siis need suuri probleeme ei tekita. Õhu suhteline niiskussisaldus tuli soovituslikku vahemikku. Prognoositud sisekliima keskmise hinnangu ja rahulolematuse protsendi tulemused on aga märgatavalt kehvemas klassis (joonis 32). Punkt 18 on ainsana I klassis, ülejäänud kas III või IV klassis. Kõikides punktides (v.a punkt 18) jäi turbulentsi rahulolematuse protsent alla 15%. Punktis 18 on see üle 25%.



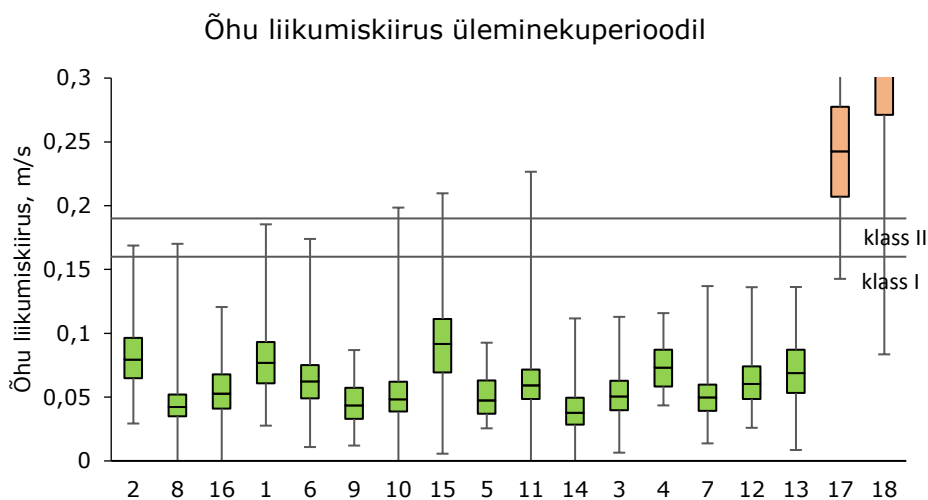
Joonis 32 Kõigi suviste mõõtepunktide PMV ja PPD vaheline seos

5.7.2 Ülemineku periood

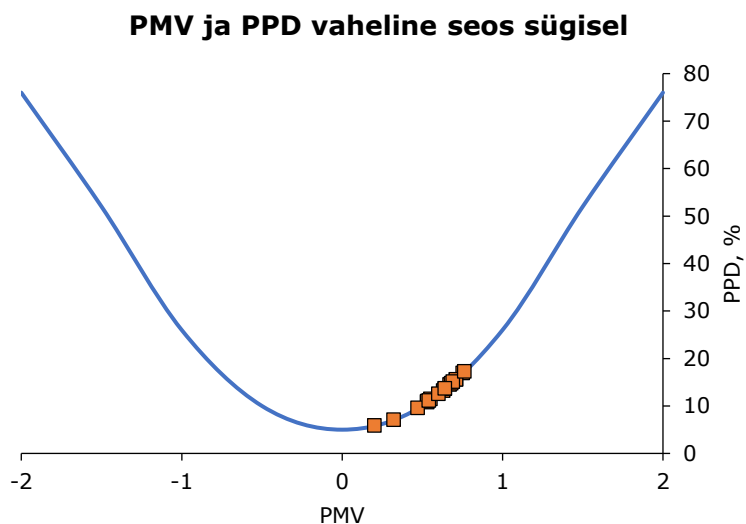
Jooniselt 33 on toodud ülemineku perioodi kõik mõõtmispunktid. Graafikult on näha, et 16 punkti 18-st jäid sisekliima I klassi. Punktid 17 ja 18 on märgatavalt üle II klassi ülempiiri. Need kaks punkti asuvad ebastandardises kontoriruumis, kus alaliselt ei töötata. Seetõttu, kui ruumi funktsioon ei muutu ja kedagi pikemaajaliselt sinna tööle ei panda, siis need probleeme ei pruugi põhjustada. Ilmakaarte kaupa ei paista korrelatsiooni olevat. Jättes välja punktid 17 ja 18, on liikumiskiirused küllaltki ühtlased.

Operatiivsed temperatuurid on kõikides punktides vähemalt II klassis. Õhu suhteline niiskussisaldus tuli väga madal, seega seda peaks kindlasti korrigeerima. Jättes välja punktid 17 ja 18 on turbulentsi rahulolematuse protsent alla 15% ja tõmbustunne I klassis. Punktides 17 ja 18 on rahulolematuse protsent 25%. Punkt 17 tõmbustunne on klassi II ja punktis 18 klassis III. Prognoositud sisekliima keskmise hinnangu ja rahulolematuse protsendi tulemused on märgatavalt kehvemas klassis (joonis 34).

Sisekliima I või II klassis on ainult punktid 12, 17 ja 18. Ülejäänud on kas III või IV klassis.



Joonis 33 Õhu liikumiskiirus üleminekupeerial

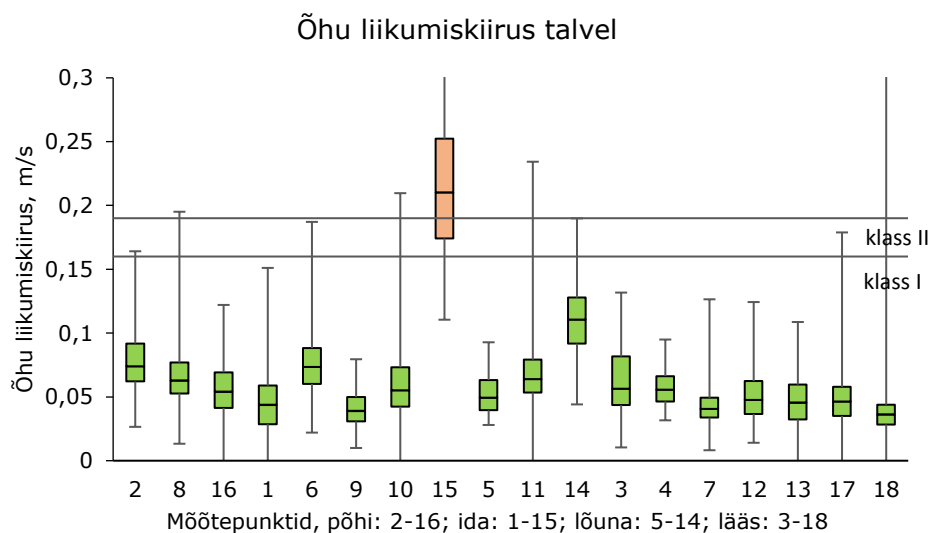


Joonis 34 Kõigi sügiseste mõõtepunktide PMV ja PPD vaheline seos

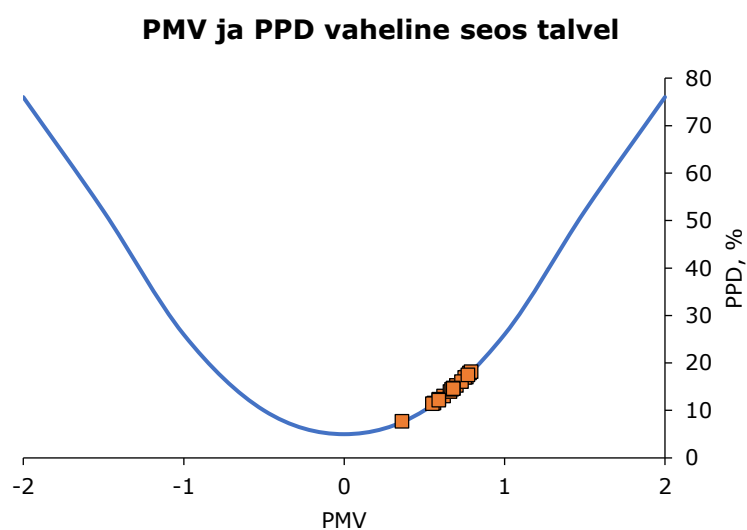
5.7.3 Talveperiood

Joonisel 35 on toodud kõik talviste mõõtmiste punktid. Graafikult on näha, et peale punkti 15, on kõik tulemused sisekliima I klassis. Punkti 15 tulemused on enamasti üle II klassi ülempiiri. On näha, et vahelduseks on punktide 17 ja 18 õhu liikumiskiirused madalad ja mõlemad on I klassis. Kuna tegu on talveperioodiga, siis jahutust ei ole vaja sisse lülitada. Seetõttu on ka õhu liikumiskiirused väiksemad. Ilmakaarte järgi on näha, et läänepoolsed punktid on omavahel ühtlasemad, kui teiste ilmakaarte punktid. Võimalik, et õhu liikumiskiirused on reguleeritud päikese liikumist arvestama ning

seetõttu on mõjutatud mõõtmiste kellaajast. Mõõtmisi tehti päeva esimeses pooles, seega lääneküljele otsest päikesekiirgust selleks ajaks veel ei jõudnud. Muud seost õhu liikumiskiiruste ja ilmakaartega ei paista.



Joonis 35 Õhu liikumiskiirus talvel



Joonis 36 Kõigi sügiseste mõõtepunktide PMV ja PPD vaheline seos

Operatiivsed temperatuurid on 7ndal ja 11ndal korrusel kõik vähemalt II klassis, mõned punktid ka 6ndal ja 13ndal korrusel. Ülejäänud punktid neil kahel korrusel on napilt üle sisekliima II klassi ülempiiri, seega III klassis. Õhu suhteline niiskussisaldus on madal, soovituslik on neid korrigeerida. Kõikides punktides (v.a punktis 15) on turbulentsi rahulolematuse protsent alla 15% ja tõmbustunne I klassis. Punktis 15 on tõmbustunne II klassis ja rahulolematuse protsent alla 25%. Prognoositud sisekliima keskmise

hinnangu ja rahulolematuse protsendi tulemused on märgatavalt kehvemas klassis (joonis 36). Ainult punkt 15 on II klassis, ülejäänud punktid on kõik kas III või IV klassis.

5.7.4 Küsitluste kokkuvõte

Suvel on kontori õhutemperatuur enamusele mugav, nendest veidi rohkem ei soovi muutust. Temperatuuriga on aga rahul 80% töötajatest. Sügisel on meestest endiselt mugav üle poolte, naistel aga veidi alla poolte. Aga endiselt üle poolte ei taha muutust ning õhutemperatuuriga on rahul 75%. Talvel tunneb ennast mugavalt ainult 1/3 vastanutest. Muutust ei soovi naistest pooled, meestest ainult 30%, meestest pooled tahavad madalamat temperatuuri. Rahul on õhutemperatuuriga 66% vastanutest. Külmemal perioodil on töötajad õhutemperatuuriga vähem rahul. Ning eriti siis on selgelt näha, et naised eelistavad soojemat temperatuuri, mehed jahedamat.

Sõltumata aastaajast häirib valgustus 25-30% töötajatest. Päikesevalgus on suvel ja sügisel samas suurusjärgus. Talvel aga teeb hüppe ja häirib koguni 65% vastanutest. Sellel võib olla seos päikesevalguse langemisnurgaga. Kolleegide rääkimine ja muu akustika häirib vahel või harvemini 25% või vähem vastanutest. On näha, et suvel on häiritud inimeste protsent suurem, talvel väiksem ning sügis jääb tulemustelt nende vahele.

Tõmbustunde või pealepuhumise tunnetamine ei sõltu aastaajast. Läbi aasta tunnetavad seda kas harva või vähem 61-69% vastanutest. Kui võtta arvesse neid, kes tunnetavad aeg-ajalt, siis on vastanuid 82-87%. Õhu kvaliteeti hindasid sobivaks enamuse, aga hinnang sõltus aastaajast. Soojemal perioodil hinnati õhu kvaliteeti paremaks. Suvel sobis see 81% vastanutest, talvel 65%-le. Lõhnatuks hindas õhku 65-82% vastanutest. Enamus sümptomeid esines kas aeg-ajalt või sagedamini ca 50% vastanutest. Kõige rohkem esines peavalu või väsimust ning kõige vähem oli probleeme kuiva või ärritunud kurguga.

6. JÄRELDUSED

Hoone oli sobilik antud mõõtmiste läbiviimiseks. Tegu on uue hoonega, kus soojuslikku sisekliimat tagab radiaatorküttesüsteem ja aktiivpalkidega jahutussüsteem avatud ripplaes. Sellist süsteemide kombinatsiooni on veel vähe uuritud.

Õhu liikumiskiirust mõõdetu viiel eri kõrgusel. See andis hiljem võimaluse kriitilistes punktides kontrollida vertikaalselt kiiruste muutusi. Üldiselt õhu liikumiskiirustega antud hoones probleeme ei ole. 11-ndal korrusel olevad punktid andsid suvel ja sügisel väga suuri õhu liikumiskiiruse tulemusi, aga tegu ei ole tavapärase kontoriruumiga. Kui ruumi otstarvet ei muudeta ja pikaajaliselt keegi seal viibima ei pea, siis võib sealsed punktid lugeda erandiks. Küll aga peab talvel uurima 13-nda korruse mõõtepunkti nr 15. Sealsed õhu liikumiskiiruse? tulemused on väga üle nõutava normi ning peaksid olema palju madalamad. Seetõttu on seal punktis ka õhu turbulentsiist põhjustatav rahulolematus ja tõmbustunne suurem. Suvel on 7-nda korruse mõõtepunkt nr 10 piiri peal, seega on soovitatav seal tingimusi muuta. Antud punktis kurtis suvel ka töötaja, et talle puhub peale ja on külm.

Operatiivsete õhutemperatuuridega suvel ja sügisel võib rahule jääda. Nii suvised (v.a mõõtepunkt nr 18), kui ka sügisesed tulemused jäid kõik alla uutes hoonetes nõutud sisekliima II klassi ülemist piiri. Kuna mõõtepunkt nr 18 on ebastandardises ruumis, siis seda võib lugeda erandiks. Talvel on 7-nda ja 11-nda korruse mõõtepunktid vähemalt II klassis. 6-nda ja 13-nda korruse mõõtepunktide hulgas osad on II klassis ja mõned üle II klassi ülemise piiri III klassis. Seega nende tulemustega päris rahule ei saa jääda.

Õhu suhteline niiskussisaldus suveperioodil on sobiv, jäädes soovituslikesse piiridesse. Sügisesed tulemused on kõik väga madalad. Talvised tulemused on veidi kõrgemad, aga on endiselt madalad. Suhtelist õhu niiskussisaldust oleks kindlasti vaja tõsta suvevälisel ajal. Mõõtmise käigus jäi silma, et nii mõnelgi pool olid kasutusel õhuniisutid. Talvel esines neid rohkem, kui sügisel. Sellest võib olla tingitud sügisega võrreldes veidi kõrgemad õhu suhtelised niiskussisaldused talvel.

PMV/PPD tulemused tulevad aasta ringi kas III või IV klassi. Esineb mõni üksik erand, mis tuleb kas I või II sisekliima klassi. Küsitlusest tulnud vastuste põhjal olid töötajad enamasti sisekliimaga rahul. Seega inimeste tunnetus ning arvutatud PMV ja PPD indeksid ei ole omavahel kooskõlas.

Antud kütte- ja jahutussüsteemi kombinatsioon avatud ripplaega uues büroohoones andis vastakaid tulemusi. Tulemusi saaks parandada õhu niiskuse tõstmisega. Õhu liikumiskiiruste ja operatiivsete temperatuuride tulemused on reeglina sisekliima klassidesse sobivad. Ainult talvised temperatuurid osades punktides võiksid olla veidi madalamad. Samas kurdeti värske õhu puuduse üle. Õhu suhteline niiskus on liiga madalad sügise- ja talveperioodil. Lokaalsed õhuniisutid osades kontoriruumides märkimisväärset erinevust töös teostatud pisteliste mõõtmiste alusel ei tekitanud. Eesti tingimustes pole tsentraalsed õhuniisutussüsteemid majanduslikult põhjendatud ega kaalu üles hügieeniriske. Autor hinnangul tuleks korrigeerida külmema välisõhuga perioodidel ruumi siseõhutemperatuuri ja töötajate riietust. Soojusliku sisekliima suhtes kõige tundlikumad inimesed võiksid olla üleüldiselt paigutatud kabinettidesse või tsoonidesse, kus neil on individuaalselt rohkem võimalust temperatuuri ja lokaalse õhuniisutajaga RH taset proovida parandada. Suvega võrreldes esineb sügisel ja talvel sümptomeid sagedamini ning nende esinemissageduse ja õhu suhteline niiskussisaldus vahel on tõenäoliselt otsene seos.

Küsitlusest on näha, et talvel on omajagu inimesi, kes sooviksid madalamat temperatuuri. Seega temperatuuri vähendamine võib potentsiaalselt tõsta temperatuuriga rahulolevate inimeste hulka ja viia operatiivse õhutemperatuuri II või I klassi. Samuti sama suhtelise õhuniiskuse sisalduse juures on madalamal temperatuuril suhteline õhuniiskus kõrgem.

Seega, kui parameetreid korrigeerida, siis on süsteem vägagi sobilik kasutamiseks. Tuleb märkida, et 100% pole võimalik tagada kõikide rahulolu, seda eriti avatud kontoritüübiga büroodes. Kuigi antud juhul andsid mõõtmistulemused ka avatud kontorite puhul häid tulemusi. Siin tuleb aga mängu antud hoones kasutatav paindlik ruumiplaneering. Mõne päevaga saaks avatud kontori muuta väikesteks kabinettideks ilma, et läheks töötunde kaduma ja oleks kulukas. Moodulitest koosnev sisepiirete ja ennetavalt kabinetisüsteemi toetav KVJ süsteemide lahendus annab võimaluse paremini arvestada individuaalselt inimeste soojuslike mugavuste eelistega. Seetõttu näeb autor seda enam, et selliste süsteemidega hoones on palju potentsiaali ja neid võiks kasutada rohkem. Valitud hoone fassaadil on kasutusel varjestuselemendid ja ning akna ja seinasuhe on 0,69. Seega, kui hoone fassaad on tervenisti klaasist ilma ühegi varjestuselemendita, siis peaks teostama analoogseid mõõtmisi, et teada saada, mis tingimustes veel magistritöös uuritud süsteem on sobilik.

Vaadates tulemusi varem tehtud magistritööst [3], on näha, et suhteline õhuniiskus on madal ka kevadel. Seega on suhteline õhuniiskus probleemiks kõigil aastaaegadel peale

suve. Samuti kajastus ka tolles magistritöös, et enamused on kontori õhutemperatuuriga rahul. Varasemalt väljaselgitatud probleemsete kohtade, mis olid aluseks käesoleva lõputöö mõõtepunktide valikul, aga andsid enamasti sobivad tulemusi.

Antud lõputöö üheks puuduseks on hooneautomaatika andmete ja mõõtmistulemuste võrdluse ning analüüsi puudumine. Seda oleks vaja täiendavalt uurida. Samuti on töös keskendunud ainult soojuslikule sisekliimale. Sisekliima jaguneb aga veel muudeks komponentideks, mida saaks täiendavalt uurida. Lisaks oleks võinud vastanute valim olla suurem, see annaks objektiivsema ülevaate küsimustike vastustest. Jätkutöödena võiks teostada veel erinevate süsteemidega büroohoonetes mõõtmisi ning kompaktselt varasemate ning uute uuringute tulemusi omavahel võrrelda.

KOKKUVÕTE

Antud lõputöö eesmärk on analüüsida büroohoones soojuslikku mugavust läbi mõõtmiste ja sisekliima küsitluste. Mõõtmisi tehti kokku kolm korda: suvel, ülemineku- perioodil ja talvel. Küsitlus saadeti pärast igat mõõtmiskorda. Mõõtmisi ja küsitlust ei tehtud kevadperioodil, kuna seda on varasemalt juba uuritud.

Valitud objektiks oli Tallinnas asuv Lõõtsa tn 5 büroohoone. Tegu on uue büroohoonega, kus on 13 korrust. Selles büroohoones kasutatakse radiaatorkütet ning aktiivjahutustalaseid. Jahutustalad on avatud ripplaes. Hoone lõunafassaadil on varjestuseks horisontaalsed seinast eenduvad päikesepaneelid. Ida- ja läänefassaadil kasutatakse vertikaalseid varjestusi. Hoone teeb eriliseks paindlik ruumilahendus, kus avatud kontori saab muuta mõne päevaga kabinettideks ja vastupidi.

Uuritavateks parameetriteks olid õhu liikumiskiirus, õhu suhteline niiskussisaldus ja õhutemperatuur. Mõõtmisteks vajaminevad seadmed saadi Tallinna Tehnikaülikoolist. See koosnes stendist, kolmest eri tüüpi sondist, mõõteseadmest ning arvutist. Nii õhu suhtelise niiskussisalduse kui ka õhu operatiivse temperatuur jaoks oli eraldi üks sond. Õhu liikumiskiirust mõõdeti viiel eri kõrgusel ehk viie eraldi sondiga. Nende parameetrite kaudu leiti turbulents, tõmbusindeks ning PMV ja PPD indekse väärtused.

Õhu liikumiskiiruste tulemused jäid reeglina sisekliima I klassi. Jättes kõrvale ebastandardse kontoriruumi 11-ndal korrusel, siis esines ainult üks problemaatiline punkt ja sedagi ainult ühel mõõteperioodil. Enamus operatiivsetest õhutemperatuuridest olid vähemalt II sisekliima klassis. Talvel esines kõikumist kõige rohkem ja mitmed punktid olid napilt üle II klassi ülemise piiri, ehk III klassis. Suhteline õhuniiskus oli soovituslikes vahemikes ainult suvisel perioodil. Talvel ja eriti sügisel olid tulemused märgatavalt madalamad, jäädes enamasti allapoole soovituslikku piiri.

Lisaks teostati veebipõhine sisekliimaküsitlus, kust selgus, et õhutemperatuuri küsimuste puhul sõltub vastus palju küsimuse sõnastusest. Suvel ja sügisel on suur osa õhutemperatuuriga rahul. Talvel on rahulolu märgatavalt madalam ja paljud soovivad jahedamat temperatuuri. Tõmbustunne või pealepuhumine reeglina ei olnud probleem. Üldiselt hinnati sisekliimat heaks, aga sooviti kõrgemat suhtelist õhuniiskust sügisel ja talvel. Aeg-ajalt või tihedamini aga kurdavad erinevate sümptomite üle pooled vastanutest. Küsitud sümptomite hulka kuulusid probleemid keskendumise või kurguga, väsimus või peavalu ja silmade kuivus või ärritus.

Käesolevas magistritöös uuritud büroohoone mõõtmistulemuste analüüsi põhjal leidis autor, et soojusliku sisekliima parameetrid jahutus- ja üleminekuperioodil vastavad peamiselt I sisekliima klassile. Talveperioodil vastavad soojusliku sisekliima parameetrid peamiselt II sisekliima klassile. Sisekliima küsitluste põhjal on töötajad sisekliimaga pigem rahul, rahuolematust põhjustab madal suhteline õhuniiskus ülemineku- ja kütteperioodil.

SUMMARY

The aim of this dissertation is to analyse the thermal comfort in an office building through measurements and indoor climate surveys. Measurements were taken a total of three times: in summer, in autumn and in winter. The survey was sent after each measurement. No measurements and surveys were conducted in the spring, as this has already been studied in the past.

The selected object was the Lõõtsa street 5 office building in Tallinn. It is a new office building with 13 floors. This office building uses radiator heating and active cooling beams. The cooling beams are on the open ceiling. The south facade of the building is shaded by horizontal solar panels protruding from the wall. Vertical shields are used on the east and west facades. The flexible space solution makes the building special, where an open office can be turned into smaller offices in a few days and vice versa.

The parameters studied were air velocity, relative air humidity and air temperature. The equipment needed for the measurements was obtained from Tallinn University of Technology. It consisted of a stand, three different types of probes, a measuring device and a computer. There was a separate one probe for both the relative humidity of the air and the operating air temperature. The air velocity was measured at five different altitudes, i.e. with five separate probes. Through these parameters, turbulence, draught index, and PMV and PPD index values were found.

As a rule, the results of air velocities remained in the indoor climate class I. Leaving aside the non-standard office space on the 11th floor, there was only one problematic point, and only in one measurement period. Most of the operating air temperatures were at least in indoor climate class II. In winter, the fluctuations were most frequent, and several points were just above the upper limit of class II, i.e. class III. Relative humidity was within the recommended ranges only during the summer period. In winter and especially in autumn, the results were significantly lower, mostly below the recommended limit.

In addition, a web-based indoor climate survey was conducted, which revealed that in the case of air temperature questions, the answer depends a lot on the wording of the question. In summer and autumn, most are satisfied with the air temperature. In winter, satisfaction is significantly lower, and many want cooler temperatures. As a rule, draught or draft wind was not a problem. The indoor climate was generally assessed as good, but higher relative humidity was desired in autumn and winter. Occasionally, or

more often, however, more than half of the respondents complain about various symptoms. Symptoms asked included problems with concentration or throat, tiredness or headache, and dry eyes or irritation.

Based on the analysis of the measurement results of the office building studied in this master's thesis, the author found that the parameters of the thermal indoor climate during the cooling and transition period mainly correspond to indoor climate class I. In winter, the parameters of the thermal indoor climate mainly correspond to the indoor climate class II. According to indoor climate surveys, employees are rather satisfied with the indoor climate, dissatisfaction is caused by low relative humidity during the transition and heating period.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] W. Jung and F. Jazizadeh, "Human-in-the-loop HVAC operations: A quantitative review on occupancy, comfort, and energy-efficiency dimensions," *Applied Energy*, vol. 239. Elsevier Ltd, pp. 1471–1508, Apr. 01, 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.01.070.
- [2] H. Maula, V. Hongisto, L. Östman, A. Haapakangas, H. Koskela, and J. Hyönä, "The effect of slightly warm temperature on work performance and comfort in open-plan offices - a laboratory study," *Indoor Air*, vol. 26, no. 2, pp. 286–297, Apr. 2016, doi: 10.1111/ina.12209.
- [3] D. Teppe, "Soojusliku mugavuse analüüs büroohonete näitel Tallinnas Ülemiste Citys," 2019.
- [4] L. Schellen, M. G. L. C. Loomans, M. H. De Wit, B. W. Olesen, and W. D. V. M. Lichtenbelt, "Effects of different cooling principles on thermal sensation and physiological responses," *Energy Build.*, vol. 62, pp. 116–125, 2013, doi: 10.1016/j.enbuild.2013.01.007.
- [5] S. Karjalainen, "Thermal comfort and gender: A literature review," *Indoor Air*, vol. 22, no. 2, pp. 96–109, Apr. 2012, doi: 10.1111/j.1600-0668.2011.00747.x.
- [6] P. O. Fanger and N. K. Christensen, "Perception of draught in ventilated spaces," *Ergonomics*, vol. 29, no. 2, pp. 215–235, 1986, doi: 10.1080/00140138608968261.
- [7] B. Griefahn and C. Künemund, "The effects of gender, age, and fatigue on susceptibility to draft discomfort," *J. Therm. Biol.*, vol. 26, no. 4–5, pp. 395–400, 2001, doi: 10.1016/S0306-4565(01)00050-X.
- [8] Y. He, N. Li, and Q. Huang, "A field study on thermal environment and occupant local thermal sensation in offices with cooling ceiling in Zhuhai, China," *Energy Build.*, vol. 102, pp. 277–283, Jun. 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.05.058.
- [9] H. Maula, V. Hongisto, H. Koskela, and A. Haapakangas, "The effect of cooling jet on work performance and comfort in warm office environment," *Build. Environ.*, vol. 104, pp. 13–20, Aug. 2016, doi: 10.1016/j.buildenv.2016.04.018.
- [10] M. Cehlin, T. Karimipannah, U. Larsson, and A. Ameen, "Comparing thermal comfort and air quality performance of two active chilled beam systems in an open-plan office," *J. Build. Eng.*, vol. 22, pp. 56–65, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.jobbe.2018.11.013.
- [11] J. Fredriksson, M. Sandberg, and B. Moshfegh, "Experimental investigation of the velocity field and airflow pattern generated by cooling ceiling beams," *Build. Environ.*, vol. 36, no. 7, pp. 891–899, Aug. 2001, doi: 10.1016/S0360-1323(01)00015-4.

- [12] H. S. L. C. Hens, "Thermal comfort in office buildings: Two case studies commented," *Build. Environ.*, vol. 44, no. 7, pp. 1399–1408, Jul. 2009, doi: 10.1016/j.buildenv.2008.07.020.
- [13] E. Kähkönen, "Draught, Radiant Temperature Asymmetry and Air Temperature – a Comparison between Measured and Estimated Thermal Parameters," *Indoor Air*, vol. 1, no. 4, pp. 439–447, 1991, doi: 10.1111/j.1600-0668.1991.00008.x.
- [14] M. Pazhoohesh and C. Zhang, "A satisfaction-range approach for achieving thermal comfort level in a shared office," *Build. Environ.*, vol. 142, pp. 312–326, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.buildenv.2018.06.008.
- [15] 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, Feb. 2020, doi: 10.3390/atmos11020127.
- [16] M. Kiil, A. Mikola, M. Thalfeldt, and J. Kurnitski, "Thermal comfort and draught assessment in a modern open office building in Tallinn," in *E3S Web of Conferences*, Aug. 2019, vol. 111, doi: 10.1051/e3sconf/201911102013.
- [17] Eesti Standardikeskus, *EVS-EN 16798-1:2019 "Hoonete ventilatsioon osa 1: sisekeskkonna lähteandmed hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust keskkonnast, valgustusest ja akustikast."* 2019.
- [18] E. Abel, H. Voll, and T. Tark, *Hoonete energiatarve ja sisekliima*. 2014.
- [19] T. Comfort *et al.*, "Thermal Comfort Booklet," *Innova AirTech Instruments A/S*. pp. 1–25, 1997, [Online]. Available: www.innova.dk.
- [20] ISO, "ISO 7730: Ergonomics of the thermal environment Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria," *Management*, vol. 3, pp. 605–615, 2005, doi: 10.1016/j.soildyn.2004.11.005.
- [21] Dante Dynamics, "ComfortSense specification," 2019.
- [22] J. Wang, Z. Wang, R. de Dear, M. Luo, A. Ghahramani, and B. Lin, "The uncertainty of subjective thermal comfort measurement," *Energy Build.*, vol. 181, pp. 38–49, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2018.09.041.

LISAD

Lisa 1 Talvine küsitlus

Tallinna Tehnikaülikooli töökeskkonna sisekliima uuring / Tallinn University of Technology study of indoor climate

[EST]

Lugupeetud hoone kasutaja

Palume teil võimalusel täita käesolev ankeetküsitlus veebruari põhjal.

Küsimustiku eesmärk on hinnata ja selgitada välja soojusliku sisekliima tunnetuslik olukord hoones Lõõtsa 5 ning seejärel analüüsida saadud tulemusi. Küsimustiku läbiviijaks on tudeng ning kogu uuring toimub koostöös Tallinna Tehnikaülikooliga.

Küsimustik on anonüümne ja sellele vastamine võtab aega kuni 5 minutit.

Ette tänades!

[ENG]

Dear user of the building

We kindly ask you to complete this questionnaire based on this February.

The purpose of the questionnaire is to assess and find out the cognitive situation of the indoor thermal climate in Lõõtsa 5 and then to analyze the results. The questionnaire is conducted by a student and the whole survey is done in cooperation with Tallinn University of Technology.

The questionnaire is anonymous and takes up to 5 minutes to complete.

Thank you in advance!

***Required**

1. Sugu / Gender *

Mark only one oval.

Mees / Male

Naine / female

2. Vanus / Age *

Mark only one oval.

18-25

26-35

36-45

46-55

56-65

66 +

3. Töökeskkond / Workstation *

Mark only one oval.

Avatud kontor / Open office

Kabinet (max 3 inimest) / Private office (max 3 people)

4. Kui suure osa päevast viibite konkreetselt oma töölaua taga olles? / How large part of the workday you spend at your desk? *

Mark only one oval.

Vähe (max 1-2h) / Few hours (max 1-2 hours)

Pool tööpäevast (kuni 4-5 h) / Half of workday (up to 4-5 h)

Terve tööpäeva / Whole workday

5. Mitmendal korrusel te hoones töötate? / Which floor do you work on? *

Mark only one oval.

6

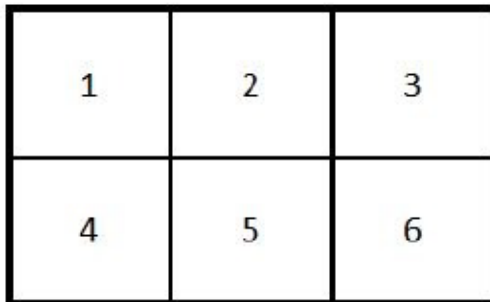
7

11

13

Hoone korruse põhimõtteline skeem / Layout of the building floor

Sepapaja tänav / Sepapaja street



Lõõtsa tänav / Lõõtsa street

6. Millises tsoonis (1-6 ülaloleval pildil) viibite tööpäeva jooksul enim? / In which zone do you spend the most of your workday (1-6 in the picture above)? *

Mark only one oval.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6

Sisekliima / Indoor climate

7. Kas töökohal on soe või külm (kui teie ei soovi temperatuuri muutust, märkige mugav)? / How do you rate your thermal sensation (choose comfortable if you do not want a change in temperature)? *

Mark only one oval.

- Talumatult soe / Unbearably warm
- Liiga soe / Too warm
- Kergelt liiga soe / Slightly too warm
- Mugav / Comfortable
- Kergelt liiga jahe / Slightly too cold
- Liiga jahe / Too cold
- Talumatult jahe / Unbearably cold

8. Palun hindada õhu kvaliteeti. / How do you perceive odor intensity? *

Mark only one oval.

- Lõhnatu / No odor
- Kerge lõhn / Weak odor
- Keskmine lõhn / Moderate odor
- Tugev lõhn / Strong odor
- Väga tugev lõhn / very strong odor
- Talumatu lõhn / Unbearable odor

9. Kas sooviksid, et ruumi temperatuur oleks: / Would you prefer the room temperature to be: *

Mark only one oval.

- Kõrgem / Higher
- Muutusteta / Same
- Madalam / Lower

10. Kas ruumi valgustus häirib töötamist? / Does the room lighting disturb working? *

*

Mark only one oval.

Jah / Yes

Ei / No

11. Kas päike häirib töötamist? / Does the sun disturb working? *

Mark only one oval.

Jah / Yes

Ei / No

12. Palun hinda / Please rate *

Mark only one oval per row.

	Väga hea / Very good	Hea / Good	Sobiv / Suitable	Pigem mitte sobiv / Not suitable	Vastuvõetamatu / Unacceptable
Ruumi temperatuur on / Room temperature is	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Õhu kvaliteet on / Air quality is	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

13. Kuidas hindad? / How do you rate? *

Mark only one oval per row.

	Üldse ei häiri / Does not disturb at all	Harva häirib / Rarely disturbs	Vahel häirib / Sometimes disturbs	Sageli häirib / Often disturbs	Pidevalt väga häiriv / Disturbs all the time
Kuidas hindad töökohal töökaaslaste kõne ja ruumiakustikat? / How do you perceive acoustic level (colleagues' speech and overall room acoustics)?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kuidas hindad töökohal muud müra? / How do you perceive other noise in your workplace?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

14. Kas ja kui sageli on esinenud järgnevaid probleeme? / Whether and how often have you experienced the following symptoms? *

Mark only one oval per row.

	Mitte kunagi / Never	Harva / Rarely	Aeg-ajalt / Sometimes	Sageli / Often	Pidevalt / All the time
Silmade kuivus/ärritus / Eye problems	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Peavalu või väsimus / Headache or fatigue	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nina või kurk on kuiv/ ärritunud / Nasal problems of dry throat	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Keskendumisprobleemid / Unable to concentrate	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

15. Kas viimase kuu jooksul on esinenud teie töökohal tõmbustunnet või pealepuhumist? / In the last month, has there been a feeling of draft wind or blowing at your workplace?

Mark only one oval.

Jah / Yes

Ei / No

16. Kas ja kui sageli on esinenud teie töökohal tõmbustunnet või pealepuhumist? /
Has there been and how often have you experienced a draft wind or blowing at
your workplace?

Mark only one oval per row.

	Mitte kunagi / Never	Harva / Rarely	Aeg-ajalt / Sometimes	Sageli / Often	Pidevalt / All the time
Suvel / In summer	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sügisel / In autumn	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Talvel / In winter	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kevadel / In spring	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

17. Lisakommentaariid / Additional comments
