



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

**SOOJUSLIK MUGAVUS 4-TORU
AKTIIVJAHUTUSTALADE LAHENDUSEGA
LIGINULLENERGIA BÜROOHOONES KÜTTE – JA
JAHUTUSE PERIOODIL**

**THERMAL COMFORT IN A NEARLY ZERO-ENERGY OFFICE
BUILDING WITH 4-PIPE ACTIVE CHILLED BEAMS
DURING A HEATING AND COOLING PERIOD**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane:	Jevgeni Lukaštšuk
Üliõpilaskood:	163548EAXM
Juhendaja:	Martin Kiil, doktorant

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

"....." 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina _____ (*autori nimi*) (sünnikuupäev:)

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

_____ ,

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on

_____ ,

(*juhendaja nimi*)

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*)

TalTech Ehituse ja arhitektuuri instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Jevgeni Lukaštšuk, 163548EAXM
Õppekava, peeriala: EAXM15/15, Hooned ja rajatised
Juhendaja(d): Doktorant, Martin Kiil, +3725189963

Lõputöö teema:

(eesti keeles)

Soojusliku mugavuse uuring 4-toru aktiivjahutustalade lahendusega liginullenergia büroohoones kütte- ja jahutuse perioodil.

(inglise keeles)

Study of thermal comfort in a nearly zero-energy office building with 4-pipe active chilled beams during a heating and cooling period.

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Hinnata uuritava ala teenindavate soojusliku sisekliima tagamise süsteemide toimivust
2. Hinnata 4-toru aktiivjahutustalade süsteemi mõju soojuslikule mugavusele büroopindades läbi lühiajaliste mõõtmiste ja sisekliima küsitluse läbiviimise
3. Hinnata õhurõhu erinevuse mõju soojuslikule mugavusele büroopindades konkreetse kõrghoone tingimustes

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kirjanduse ülevaate koostamine	28.02.2019
2.	Tehnosüsteemide funktsionaaltoimivuse kontroll (ventilatsiooniseadmete ja ruumiseadmete automaatika toimivus)	02.08.2019 07.10.2018
3.	Lühiajalised soojusliku mugavuse parameetrite mõõtmised (operatiivne temperatuur, õhu liikumiskiirus, suhteline niiskus) jahutuse perioodil	02.08.2019, 12.08.2019
4.	Lühiajalised soojusliku mugavuse parameetrite mõõtmised (operatiivne temperatuur, õhu liikumiskiirus, suhteline niiskus) kütte perioodil	28.10.2019, 17.02.2020
5.	Sisepindade temperatuuri mõõtmine	17.02.2020
6.	Õhurõhu erinevise mõõtmine üle välispiire	01.03.2020
7.	Ventilatsioonisüsteemide staatilise õhurõhu mõõtmine	02.03.2020
8.	Ruumiseadmete staatilise õhurõhu mõõtmine	17.04.2020
9.	Soojusliku mugavuse mõõtetulemuste töötlemine ja vormistamine	17.04.2020
10.	Sisepindade temperatuuride mõõtetulemuste töötlemine ja vormistamine	27.04.2020
11.	Õhurõhkude mõõtetulemuste töötlemine ja vormistamine	27.04.2020
12.	Sisekliima küsitluse tulemuste töötlemine ja vormistamine	11.05.2020
13.	Töö tulemuste süstematiseerimine, järeldused ja kokkuvõte	18.05.2020
14.	Lõputöö lõpliku versiooni kirjutamine.	24.05.2020

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** ".....".....201....a

Üliõpilane:

".....".....201....a

/allkiri/

Juhendaja: ".....".....201....a

/allkiri/

Juhendaja: ".....".....201....a

/allkiri/

Konsultant: ".....".....201....a

/allkiri/

SISUKORD

EESSÕNA	8
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	9
KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	11
1. SISSEJUHATUS	14
1.1 Soojusliku sisekliima mugavuse hindamine.....	14
2. UURITAV OBJEKT	22
2.1 Objekti üldandmed	22
2.2 Uuritav hooneosa (uurimisala)	23
2.3 Uurimisala teenindavate sisekliimasüsteemide lühikirjeldus	23
3. METOODIKA	25
3.1 Soojusliku sisekliima uuringu blokk skeem	25
3.2 Uurimisala teenindavate sisekliimasüsteemide kontroll	26
3.3 Soojusliku sisekliima lühiajalised mõõtmised	28
3.4 Õhurõhkude erinevuse mõõtmine üle hoone välispiirde	42
3.4.1 Mõõtmiste meetodika ja kasutatud mõõtevahendid	42
3.5 Staatilise õhurõhu mõõtmine jahutustalades.....	46
3.6 Staatilise õhurõhu mõõtmine ventilatsioonisüsteemides.	47
3.7 Sisepindade temperatuuri mõõtmine <i>kriitilises tsoonis</i> kütte perioodil	49
4. TULEMUSED JA ANALÜÜS	54
4.1 Uurimisala teenindavate sisekliimasüsteemide seisukord	54
4.2 Sisekliima lühiajalised mõõtmised kütte- ja jahutuse perioodil	56
4.3 Staatilise õhurõhu mõõtmine jahutustalades.....	77
4.4 Staatilise õhurõhu mõõtmine ventilatsioonisüsteemides	82
4.5 Õhurõhkude erinevuse mõõtmine üle välispiirde.....	84
4.6 Sisepindade temperatuuri mõõtmine <i>kriitilises tsoonis</i> kütte perioodil.	88
4.7 Soojusliku sisekliima küsitlus.....	92
5. JÄRELDUSED	95
6. KOKKUVÕTE	100
ENGLISH SUMMARY.....	103
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU.....	106
LISAD	108
Lisa 1. PMV ja PPD indeksi arvutusvalemid	108
Lisa 2. Tõmbusindeksi DR (Draught Rate) arvutusvalem.....	109
Lisa 3. Ruumiseadmete juhtimisskeem	110
Lisa 4. Ventseadmete SV2.1 ja SV2.2 funktsionaalskeemid	111
Lisa 5. Ruumiseadmete jahutusventiilide asendid sisekliima mõõtmise ajal	113

Lisa 6. <i>Kriitilise tsooni</i> kütteventiili asendid pinnatemperatuuride mõõtmise ajal ..	117
Lisa 7. Külmasõlme funktsionaalskeem.....	118
Lisa 8. Ventilatsioonisüsteemide funktsionaaltoimivuse kontrolli tabel	119
Lisa 9. Ruumiseadmete funktsionaaltoimivuse kontrolli tabel.....	120
Lisa 10. Väljavõtte ventsüsteemide õhuhulkade mõõdistuspassist.....	121
Lisa 11. Õhurõhu erinevuse (üle hoone välispiire) mõõtmisakt	128
Lisa 12. Ruumiregulaatori tehniline info	129
Lisa 13. 13 korruse kütte plaan (teostusjoonis)	130
Lisa 14. 14 korruse kütte plaan (teostusjoonis)	131
Lisa 15. 13 korruse jahutuse plaan (teostusjoonis)	132
Lisa 16. 14 korruse jahutuse plaan (teostusjoonis)	133
Lisa 17. 13 korruse ventilatsiooni plaan (teostusjoonis).....	134
Lisa 18. 14 korruse ventilatsiooni plaan (teostusjoonis).....	135

EESSÕNA

Teaduslikult tõendatud, et sisekliima mõjutab otseselt inimesi tervist, produktiivust ja enesetunnet. Kuna meie kliimavööndis viibivad inimesed kuni 90% oma eluajast sisetingimustes, on nõutud sisekliima tagamisel ülioluline tähtsus. Saavutada tuleks niisugune olukord (keskkond), kus sisekliima mõjuks inimese tervisele ja enesetundele positiivselt.

Antud töös on uuritud soojuslik mugavus liginullenergia büroo kõrghoones.

Analoogseid hooneid on tänaseks uuritud vastavalt ISO 7730 [1] ja ISO7726 [2] metoodikale Eestis vähe. Töö autoril tekkis unikaalne võimalus uurida kasutatud lahendusi ning hinnata nende efektiivsust ja mõju soojuslikule sisekliimale mõõtmiste ning katsetuste teel.

Töö põhiülesandeks oli hinnata soojusliku sisekliimat kütte- ja jahutuse perioodil lühiajaliste mõõtmiste põhjal ning soojusliku sisekliima tagamise süsteemide toimivust, tuvastatud probleemidele on töös püütud leida põhjused ning pakkuda praktilised lahendused nende parandamiseks. Töö ülesehituse üldine loogika on väljendatud järgmiselt:

uuring -> tulemuste analüüs -> järeldused (nõetele vastavus / mitte vastavus) -> tuvastatud probleemide põhjused ja nende võimalikud lahendused.

Tulemuste statistiline analüüs antud magistritöös on väiksema kaaluga. Uuringu tulemuste statistilised võrdlused (tsoonide või fassaadide kaupa) on autori poolt antud töös meelega välditud.

Autor soovib eelkõige tänada Tallinna Tehnikaülikooli doktoranti Martin Kiili (antud töö juhendaja), kes aitas nii tehnilistes küsimustes, kui ka ülikooli ennast kõigi vajalike mõõtevahendite osas.

Autor soovib tänada Tallinna Tehnikaülikooli professori Jarek Kurnitskit, kes aitas antud lõputöö objekti valikuga ning sisekliimaga seotud küsimustes.

Autor soovib tänada hoone omaniku ja hoone kasutaja esindajat, kes võimaldasid läbi viia vajalikud mõõtmised ja katsetused hoones ning aitasid tehnilise dokumentatsiooni osas.

Autor soovib tänada ka hoone automaatikasüsteemi koostajat Tarmo Adermanni (Fidelix Automaatika OÜ) , kes toetas tehnilistes küsimustes hoone automaatikasüsteemi (BMS) osas.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

BMS - Hoone keskautomaatikasüsteem (building management system)

EN - Europäische norm, Euroopa standard

EVS - Eesti vabariigi standard

ISO - International standard organization

MP-T2-13.1 - lühiajalise mõõtmise punkti tähis

TC-13T2-03.1 - ruumiautomaatika juhtimis- (kontroll) tsooni tähis ja number

13T2-TH-03.1 - ruumitemperatuuri termostaat-regulaatori tähis ja number

TC_{SP} - ruumiregulaatori temperatuuri seadeväärtus (°C)

TC_{TE} - ruumiregulaatori temperatuuri näit (°C)

TC_{CoUSP} - automaatikasüsteemis etteantud ruumitemperatuuri keskpunkt (°C)
(CoUSP - center of user set-point)

TC_{UAL} - automaatikasüsteemis kasutajale lubatud ruumitemperatuuri reguleerimise ulatus koha pealt (°C) (UAL- user allowed)

TC_{Dz} - automaatikasüsteemis etteantud kütte-jahutuseventiili neutraaltsoon, st kütte-jahutus ventiili avanemistemperatuuri erinevus (°C) (DZ - dead zone)

DR - tõmbusindeks (draught rate %), tuuletõmbusest häiritud inimeste protsent

PMV indeks -väljendab tõenäosuslikku soojuslikku mugavustunnet (predicted mean vote)

PPD indeks - predicted percentage of dissatisfied, väljendab tõenäosuslikku soojuslikku ebamugavustunnet (%)

RH - mõõdetud suhteline õhuniiskus (%)

SD - õhuliikumise kiiruse standardhälve (standard deviation) (m/s)

t_o - operatiivne temperatuur (ruumiõhu ja sisepindade kaalutud keskmine) (°C)

$t_{a(0.6m)}$ - mõõdetud keskmine ruumiõhu temperatuur põrandast kõrgusel 0.6m (°C)

t_r - arvutuslik kiirgustemperatuur (°C)

$dt_{a(1.1-0.1m)}$ – vertikaalne ruumiõhu temperatuuri erinevus põrandast kõrgusel 1.0m ja 0.1m ($^{\circ}\text{C}$)

Tu – arvutuslik turbulentsuse intensiivsus (%)

$v_{a(max)}$ – maksimaalne lubatud õhuliikumise kiirus viibimistoonis (m/s)

$v_{a(1.1m)}$ – mõõdetud keskmine õhuliikumise kiirus põrandast kõrgusel 1.1m (m/s)

VAT – välisõhu arvutuslik temperatuur ($^{\circ}\text{C}$)

VÕT – välisõhu temperatuur ($^{\circ}\text{C}$)

KIRJANDUSE ÜLEVAADE

Sisekliima uuringuid ja mõõtmisi, mis konkreetsetl hindaksid inimese soojuslikku mugavust läbi ruumi õhu liikumiskiiruste, temperatuuri, õhuniiskuse ja operatiivsete temperatuuride mõõtmise vastavalt ISO 7730 [1] ja ISO7726 [2] metoodikale on Eestis tehtud vähe.

Üks värskeimaid dokumenteeritud uuring [3] antud teemal on koostatud Ülemiste City linnakus Lõõtsa 5 aadressil tehtud sisekliima mõõtmiste alusel. Mõõtmisi tehti avatud kontoriga modernsetes büroohoonetes ning mõõtmistulemustena leiti, et kütteperioodi mõõdetud temperatuurid ruumides olid vahemikus $+22,1 \dots +23,2^{\circ}\text{C}$. See on kõrgem, kui hoone projekteeritud ruumitemperatuur $+21^{\circ}\text{C}$ vastavalt hoone projekteerimise ajal kehtinud standardile EVS-EN 15251:2007. Sama uurimuse raames mõõdeti ka büroohoonete õhu liikumise kiirusi, mis jäid kütte perioodil kõikides mõõtepunktides keskmiselt alla $0,16 \text{ m/s}$ piiri, mis on maksimumväärtus II-sisekliima klassi korral. Oluline on pöörata tähelepanu, et Lõõtsa 5 hoones ruumi kütteseadmeteks on kasutatud vesiradiaatorit (paigaldusega välisseinal akna ees). Ruumi jahutusseadmeteks on kasutatud 2-toru jahutustalad. Lõõtsa 5 hoone on kõrghoone. Hoone karbiku soojapidavus ei vasta madalenergiatarbimisega hoone (st B-energiaklass) nõuetele.

Käesoleva magistritöö uuritav hoone on kõrghoone [4] ning vastab liginullenergia hoone energiatõhususe miinimumnõuetele vastavalt määrusele nr.55 [5] [6], kus soojuslikule mugavusale mõjutavad tegurid võivad *tavahoonest* erineda. Hoones tööruumide kütteks ja jahutuseks on kasutatud 4-toru jahutustalad.

Antud töös *tavahoone* tähenduses on hoone, mille kõrgus maapinnast on alla 28 meetrit või kõrgeima korruse põranda kõrgus on alla 24 meetrit planeeritud maapinnast (st mitte kõrghoone [4] ning hoone, mille energiatõhususarv ei vasta madalenergiatarbimisega hoone (st B energiaklass) nõuetele.

Võrreldes tavahoonega, liginullenergiahoone nõutud soojapidavus tagatakse eelkõige fassaadi lahendustega (kus klaasitud fassaadiosa osakaal on väiksem, akna päikeseläbivusetegur $SF (g_{arv})$ on ka üldjuhul väiksem), väliskonstruktsioonide paremate soojusjuhtivuse teguritega (U -arvud on väiksemad), parema õhupidavusega ning efektiivsemate tehnosüsteemide kasutamisega. Seega välistingimuste mõju (välisõhu temperatuur, tuul, päikese koormus) on liginullenergiahoones väiksem, sisetingimuste mõju (vabad soojused) on aga liginullenergiahoones suurem, kui tavahoones.

Liginullenergiahoone soojuslik ajakonstant on suurem (hoone maha jahtumise aeg on pikem). See omakorda tähendab, et sisepindade temperatuuride muutmine (maha

jahtumine) on aeglasem-kiirgustemperatuuride ja kiirgusasümmeetria mõju on siis väiksem. Järelikult väliskonstruktsioonide sisepindade temperatuuri mõju välisseina juures olevas töökohas soojuslikule mugavusele peab liginullenergiahoones olema väiksem (st ruumiõhu ning väliskonstruktsioonide sisepindade temperatuuride erinevuse pärast konvektiivsete õhuvoolude tekke külmal perioodil), kui tavahoones.

Lisaks, tänu parematele soojapidavuse näitajatele samade sisetätingimuste puhul ruumiõhu temperatuuride jaotus liginullenergiahoones peab olema ühtlasem, kui tavahoones.

Kõrghoones välis-sisetätingimustega põhjustatud õhurõhu erinevuste mõju soojusliku sisekliimale on aga suurem, kui tavahoones. Välisõhu - ja ruumitemperatuuri ning õhutihenduse erinevusest külmal ajal hoone alumises osas võib tekkida alarõhk (välisõhu infiltratsioon läbi väliskonstruktsioonide ebatiheduste) ning ülemises osas ülerõhk (ruumiõhu eksfiltratsioon läbi väliskonstruktsioonide ebatiheduste). See omakorda põhjustab õhuliikumist hoone alumisest osast ülemisse ossa. Suveajal kõrge välisõhutemperatuuri puhul toimub sama protsess, kuid vastupidises suunas [8]. Õhurõhu erinevustega põhjustatud õhuliikumine võib mõjutada ruumiõhu temperatuuride ja õhukiiruste muutusi viibimistsoonis. Õhurõhkude erinevusega põhjustatud õhuliikumist üle hoone võib lisaks märgatavalt mõjutada hoone liftišahtide lahendus (nn korstna efekt), sissepääsude ja siseuste lahendus ning ventilatsioonisüsteemi poolt tekitatud rõhud (õhuhulkade tasakaalustamine ning automaatikasüsteemi toimivus). Õhurõhkude erinevust kindlasti lisaks mõjutab hoone asukoht ning hoone geomeetria, tuule suund ja kiirus [9]. Kuid välistätingimustega põhjustatud õhurõhu erinevuse mõju soojuslikule sisekliimale (lisaks hoone kõrgusele) sõltub otseselt konkreetse hoone karbiku sooja- ja õhupidavuse näitajatest. Liginullenergia kõrghoones välistätingimustega põhjustatud õhurõhkude erinevuse mõju soojuslikule sisekliimale peab aga olema väiksem, kui kõrghoones, mille karbiku soojapidavus ei vasta madalenergia hoone nõuetele.

Muidugi mängib rolli konkreetse ruumi asukoht hoones sees (ilmakaares, st tuule- ning päikesemõju) ning ka ruumi lahendus. Avalikus büroopinnas on liginullenergiahoones, võrreldes väikese kabinetiga, soojusliku parameetrite muutuste ulatus ning sagedus peavad olema väiksemad (vabasoojuse laiem jaotus ning suurema kogupindalaga sisepindadesse neeldumine - vahelaed, siseseinad). See omakorda peab tähendama, et avatud büroopindade sisekliimasüsteemide reageerimine sisekliima muutustele on „pehmem“ – kütte- jahutusventiilide avamine ei pea olema nii intensiivne, kui väikeses kabinetis.

Soojuslik sisekliima sõltub ka otseselt tehnosüsteemide seadistusest, ehk tegelikest tööparameetritest (tootlikkus, temperatuurigraafikud, tööajagraafikud) ning nende

vastavusest konkreetsele olukorrale. Projekteerimisnormides ning juhendites soovituslikud parameetrid (sissepuhkeõhu -, sooja- ning külmakandja temperatuurid) on antud arvutusliku välisõhutemperatuuri juures. Tehnosüsteemide temperatuurigraafikute seadistamine üldjuhul kuulub hoone omaniku tehnilise esindaja või hooldaja tööülesandesse. Hoone sisekliimasüsteemide optimaalne seadistamine (sisekliima rahuldab enamus hoone kasutajat) saavutatakse üldjuhul mitme täisaasta möödumisel vastavalt konkreetse hoone omadustele (paiknemine, geomeetria, soojustehnilised näitajad vms) ning kasutamisele (sihtotstarve ning kasutaja ootused). Sisekliimasüsteemide temperatuurigraafikud sõltuvad kindlasti konkreetse hoone soojapidavusest. Liginullenergiahoones, võrreldes tavahoonega, võivad külmal perioodil nõutud sisekliima tagamiseks küttegraafikud olla madalamad ja suveperioodil jahutusgraafikud vastupidi kõrgemad. See omakorda teeb ruumikasutajale sisekliimasüsteemide toimivust vähem tundlikuks (nt. suvel kõrgem sissepuhkeõhu temperatuur tekitab vähem ebamugavust läbi õhuliikumise, tõmbuse). Tänu paremale soojapidavusele liginullenergiahoones võib lisaks temperatuurigraafikule külmal ajal küttesüsteemil olla tavahoonest erinev ka ajagraafik (töötsükliid).

Ehk soojusliku mugavuse tagamise tingimused ja mõjutavad tegurid liginullenergia kõrghoones ei pruugi olla tavahoonega üks ühele võrreldavad.

1. SISSEJUHATUS

1.1 Soojusliku sisekliima mugavuse hindamine

1.1.1 Soojusliku sisekliima parameetrid

Inimese keha soojusliku tundlikusse järgi soojusliku sisekliima parameetrid jagunevad kaheks põhi-grupiks järgmiselt:

1. Üldise soojusliku mugavuse iseloomustavad parameetrid:
 - **PMV, PPD** indeksid
 - *Operatiivne temperatuur (ruumiõhu- ja sisepindade kaalutud keskmine) (t_o)*
 - *Suhteline niiskus (**RH**)*
2. Lokaalse soojusliku ebamugavuse iseloomustavad parameetrid:
 - *Õhuliikumise kiirus (v_a)*
 - *Tõmbusindeks (**DR**)*
 - *Vertikaalne temperatuuri erinevus ($dt_{a(1.1-0.1m)}$)*
 - *Sisepindade kiirgustemperatuurid*
 - *Kiirguse asümmeetria*

Antud töö mahus on eesmärgiks hinnata ülevalpool kõike loetletud parameetrit, va kiirguse asümmeetriat (vajab erimõõtevahendite komplekti, mida mõõtmiseks polnud võimalik hankida) .

Soojusliku sisekliima hindamise aluseks on punktis 1.2.2 toodud normatiivväärtused (võrdlus mõõtmistulemustega) ning ka kasutajate küsitlusel saadud tulemused.

1.1.2 Soojusliku sisekliima parameetrite hindamise alused

Üldise soojusliku sisekliima hindamiseks kasutatakse PMV ja PPD indeksit , mis arvutatakse vastavalt ISO 7730 standardis toodud metoodikale [1] (arvutusvalemid on esitatud Lisa 1).

PMV indeks näitab, kuidas rühm inimesi hindab soojuslikku sisekliimat. Tegurit väljendatakse 7-punktilisel skaalal alates -3 (külm) kuni +3 (kuum) - Tabel 1.

Tabel 1. PMV skaala

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Külm	Jahe	Jahedavõitu	Mugav (neutraalne)	Soojavõitu	Soe	Kuum

Soojuslikku mugavuse saavutamiseks peab olema täidetud kaks tingimust. Esiteks, peab inimese naha- ja keha temperatuur tekitama termiliselt neutraalse tunde. Teise tingimusega peab olema tagatud inimkeha energiatasakaal, ehk inimese ainevahetuse poolt tekitatud soojus peab olema võrdne keha soojuskaoga. Et sellist tingimust saavutada on Fangeri uurimistöö ja laborikatsete tulemusel jõutud soojusliku mugavuse valemieni, milles inimesele neutraalne naha pinnatemperatuur ja higistamine kombineeritaks keha energiatasakaaluga. Antud võrrand kirjeldab seost mõõdetavate füüsiliste parameetrite ja soojuslikult mugava tunde vahel, mida tunneks keskmine inimene (pikkus 175cm, keha kaal 75kg, inimese keha pindala 1,8m²). PMV-indeksit on võimalik välja arvutada mõõdetud parameetrite põhjal. PMV indeksit on võimalik määrata erinevatele metabolismi, riietuse valiku, õhutemperatuuri, keskmise õhu kiirusliku temperatuuri, õhu liikumise kiiruse ja õhu suhtelise niiskuse tingimustele. Lisaks PMV indeksile arvutatakse ka PPD indeks, mis näitab soojusliku sisekliimaga rahulolematute inimeste osakaalu suuremas inimrühmas.

PMV arvutusteks kasutatakse inimese massikeskmest mõõdetud parameetreid, mis tähendab põrandapinnast 0,6m kõrguselt mõõdetud õhutemperatuuri, õhu liikumise kiirust, suhtelist õhuniiskust ja operatiivset temperatuuri.

PMV ja PPD indeksid väljendavad kogu keha soojuslikku mugavust (keha kui terviku termiline seisund), aga soojuslikku ebamugavust võib tekitada ka mingi kindla kehaosa soovimatu jahutamine või soojendamine ehk lokaalne soojuslik ebamugavus. Kõige levinumaks lokaalse ebamugavustunde väljenduseks on välja töötatud tõmbusindeks ehk inglise keeles *Draught Rate*.

Tõmbusindeks arvutusvalemid on vastavalt ISO7730 [1] toodud Lisa 2. Tõmbusindeksi arvutusmudel kohandub inimestele, kes tegelevad suhteliselt madala metabolismi tasemega tegevusega, milles keha on soojuslikult neutraalses seisundis ja tõmbustunnet võib tunda inimese kaelal.

Tõmbusindeksi arvutusteks kasutatakse istuva inimese kaela kõrgusel mõõdetud parameetreid, mis tähendab põrandapinnast 1,1 m kõrguselt mõõdetud õhutemperatuuri ja õhu liikumise kiirust.

Vastavalt EVS-EN 16798-1:2019+NA2019 [10] võetakse aktiivsustasemeks avatud planeeringuga kontoris istuva inimese kehaline aktiivsus 1,2 MET. Inimeste riiete soojustakistust on soovitatav võtta kütteperioodil ~1.0Clo (näidisarvutus vt. Tabel 2) ja jahutuse perioodil ~0.5 Clo (näidisarvutus vt. Tabel 3).

Tabel 2. Riietusesemete soojustakistused, kütteperiood [11]

Riietuse	$m^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$	Clo
Aluspesu	0,005	0,03
Sukad /sukapüksid	0,003	0,02
Rinnahoidja	0,002	0,01
Kerge särk, pikkade varrukatega	0,023	0,15
Püksid	0,039	0,25
Üleriided tööol (nt. pintsak)	0,078	0,50
Kokku:	0,15	0,97

Tabel 3. Riietusesemete soojustakistused, jahutuse perioodil [11] (variant 1)

Riietuse	$m^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$	Clo
Aluspesu	0,005	0,03
Sukad /sukapüksid	0,003	0,02
Rinnahoidja	0,002	0,01
Kerge särk, pikkad varrukad	0,023	0,15
Püksid	0,039	0,25
Kokku:	0,072	0,46

Allpool tabelis (Tabel 4) on aga lisaks esitatud riieuse soojustakistuse alternatiivne arvutus suveperioodile (naistele), millest näeb, et kogu riieuse soojustakistus võib olla kuni 40% arvutuslikust väiksem ja sellest võib tekkida lokaalse soojusliku ebamugavuse tunne.

Tabel 4. Riietusesemete soojustakistused, jahutuse perioodil [11] (variant 2)

Riietuse	$m^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$	Clo
Aluspesu	0,005	0,03
Rinnahoidja	0,002	0,01
Kerge kleit, ilma varrukateta	0,039	0,25
Kokku:	0,046	0,29

Vastavalt standardile EVS-EV 16798-1:2019 + NA:2019 sisekliima kvaliteeditase jaguneb nelja kategooria vahel vastavalt ruumikasutajate mugavuse ootustele.

Sisekliima klasside jagunemine on esitatud Tabel 5.

Tabel 5. Sisekliima klasside jagunemine

Tähis	Kategooria	Ootused
I	Sisekliima I-klass	Kõrged
II	Sisekliima II-klass	Keskmiised
III	Sisekliima III-klass	Tagasihoidlikud
IV	Sisekliima IV-klass	Madalad

Sisekliima parameetrite piirväärtuste osas on oluline ära märkida, et hoone sisekliima peab eelkõige vastama projekteerimise ajal (2015 aasta) kehtinud sisekliima projekteerimise normatiividele. Hoone projekteerimise ajal kehtinud sisekliima standardid on tänaseks suures osas juba kehtetud, osad nendest on tänaseks uuendatud ning oluliselt täiendatud (nt. uued nõudmised õhukiiruste piirväärtuste osas viibimistoonis sõltuvalt aastaajast).

Hoone ehitusloa projektis 2015.a sisekliimasüsteemide projekteerimise aluseks olid järgmised normatiivallikad, standardid ning kasutaja poolt esitatud nõudmised:

- EVS 844:2004 Hoone kütte projekteerimine
- EVS-EN 5251:2007 Sisekeskkonna algandmed hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust mugavusest, valgustusest ja akustikast.
- Eesti Standard EVS-EN 13779:2007: Mitteeluhoonete ventilatsioon
- Eesti Standard EVS 906:2010: Mitteeluhoonete ventilatsioon
- Kasutaja poolt esitatud ruumikaardid koos sisekliima parameetritega:
 - Kütte perioodil minimaalne õhu temperatuur tööruumides 21°C.
 - Jahutuse perioodil maksimaalne õhutemperatuur tööruumides 25°C

Hoone projekteerimisel kehtinud soojusliku sisekliima parameetrid on esitatud Tabel 6.

Tabel 6. Soojusliku sisekliima parameetrite piirväärtused büroohoone sisekliimasüsteemide projekteerimiseks, vastavalt ehitusloa projektis toodud normidele.

Soojusliku sisekliima parameeter	I sisekliima klass	II sisekliima klass	III sisekliima klass
PPD, (%)	< 6	< 10	<15
PMV	-0,2 < PMV < +0,2	-0,5 < PMV < +0,5	-0,7 < PMV < +0,7
Operatiivtemperatuur kütisel, (°C) (<i>~ 1,0 clo, ~ 1.2 met</i>)	21,0...23,0	20,0...24,0	19,0...23,0
Operatiivtemperatuur jahutamisel, (°C) (<i>~ 0,5 clo, ~ 1.2 met</i>)	23,5...25,5	23,0...26,0	22,0...27,0
Suhteline õhuniiskus kütteperioodil, (%)	>20	>20	>20
Maksimaalne õhukiirus kütisel, (m/s)	0,20	0,20	0,20
Maksimaalne õhukiirus jahutamisel, (m/s) (<i>jahutuse periood</i>)	0,20	0,20	0,20
Tõmbusindeks DR, (%)	-	-	-
Vertikaalne temperatuuri erinevus 1.1-0.1m, (°C)	-	-	-

Sisekliimasüsteemide projekteerimiseks ning hindamiseks seisuga November 2020 aasta kehtivad normatiivallikad ning standardid:

- Eesti Standard EVS 906:2018 Mitteeluhoonete ventilatsioon
- EVS-EN-16798-1:2019+NA:2019 Hoonete energiatõhusus osa 1. Sisekeskkonna algandmed hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust mugavusest, valgustusest ja akustikast.
- EVS-EN-16798-3:2017 Hoonete energiatõhusus. Hoonete ventikatsioon. Osa3: Mitteeluhoonete ventilatsioon. Üldnõuded ventilatsiooni- ja ruumiõhu konditsioneerimise süsteemidele (Moodulid M5-1, M5-4)
- EVS-EN ISO 7726:2003 Keskkonna soojuslikud omadused, mõõtevahendid füüsiklaiste suuruste mõõtmiseks
- EVS-EN ISO 7730:2006 Ergonomics of the thermal environment.

Seisuga November 2020.a kehtivad soojusliku sisekliima parameetrid on esitatud Tabel 7.

Tabel 7. Soojusliku sisekliima parameetrite piirväärtused büroohoone sisekliimasüsteemide projekteerimiseks vastavalt EVS-EN-16798-1:2019 + NA:2019.

Soojusliku sisekliima parameeter	I sisekliima klass	II sisekliima klass	III sisekliima klass
PPD, (%)	< 6	< 10	<15
PMV	-0,2 < PMV < +0,2	-0,5 < PMV < +0,5	-0,7 < PMV < +0,7
Operatiivtemperatuur kütisel, (°C) (~ 1,0 clo , ~ 1.2 met)	21,0...23,0	20.0...24,0	19,0...23,0
Operatiivtemperatuur jahutamisel, (°C) (~ 0,5 clo , ~ 1.2 met)	23,5...25,5	23,0...26,0	22,0...27,0
Suhteline õhuniiskus kütteperioodil, (%)	>20	>20	>20
Maksimaalne õhukiirus kütisel, (m/s)	0,14	0,16	
Maksimaalne õhukiirus jahutamisel, (m/s) (jahutuse periood)	0,19	0,25	
Tõmbusindeks DR, (%)	≤15	≤20	≤30
Vertikaalne temperatuuri erinevus 1.1-0.1m, (°C)	≤2	≤3	≤4

Kuna ehitusloa projektis viidatud standartides esitatud üldise soojusliku sisekliima väärtused ei erine 2020 aastal kehtivate sisekliima normatiividega, õhuliikumise kiiruse nõue ehitusloa projektis viidatud standardis EVS906:2010 on aga esitatud väga üldiselt (sama väärtus kehtiv nii talve- kui ka suve-perioodile sõltumata sisekliima klassist ning inimeste riietusest, Clo), **siis antud töös soojusliku sisekliima hindamise aluseks on võetud Tabel 7 toodud normatiivväärtused (sh ka lokaalne soojusliku ebamugavus)**. Siinjuures juhin tähelepanu, et Tabel 7 esitatud temperatuur on operatiivne temperatuur (mida inimene tunnetab, mis koosneb nii ruumiõhu temperatuurist kui ka kiirgustemperatuurist), hoone kasutaja poolt esitatud ruumikaartides on esitatud nõue ainult ruumiõhu temperatuuri kohta.

Vastavalt kehtivale seadusandlusele uue büroohoone sisekliima parameetrid peavad vastama vähemalt II.sisekliima klassile. I.sisekliima klass valitakse kõrgendatud nõudmiste korral: ruumid, kus viibivad erinõuetega ja erivajadustega inimesed, haiged, lapsed ning vanurid. I.sisekliima klassi nõuete ranget tagamist ei ole kehtiva seadusandlusega nõutud.

Sisekliima nõutud parameetrid peavad olema tagatud **viibimistsoonis (kontrolltsoonis)**.

Standardi EVS-EN 16798-3:2017 [12] tähenduses viibimistsoon (kontrolltsoon) on siseruum, mis on ette nähtud inimeste pidevaks viibimiseks seoses elamise, töötamise, tervishoiu, õppimise, puhkamise, sportimise või meelelahutusliku tegevusega. Pidevalt viibitavate ruumide hulka ei kuulu põhitegevust toetavad ruumid ehk ruumid, mis moodustavad tehnopinna ja üldkasutatava pinna.

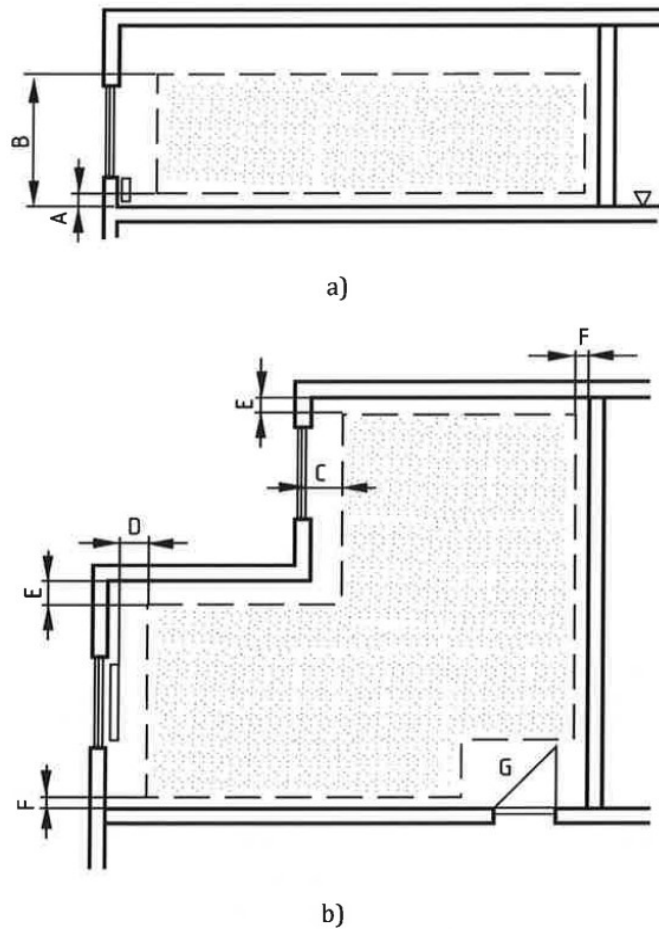
See tähendab, et sisekliima mugavuskriteeriumiga kõik seonduvad mõõtmised tuleb teha kontrolltsoonis. Sisekliima hindamisel võib lähtuda ruumi kogu pindalast, kuid väljaspool kontrolltsooni ei ole mugavuskriteeriumite täitmine garanteeritud.

Kontrolltsooni tüüpilised mõõtmised vastavalt EVS-EN 16798-3:2017 on esitatud Tabel 8 .

Kontrolltsooni kirjeldus vastavalt EVS-EN 16798-3:2017 on esitatud Joonis 1.

Tabel 8. Kontrolltsooni mõõtmised

Kaugus järgmistest sisepindadest	Tüüpiline piirkond (m)	Vaikeväärtus (m)	Antud töös arvestatud (m)
Põrandad (alumine piir) (A)	0.00-0.20	0.05	0.10
Põrandad (ülemine piir) (B)	1.30-2.00	1.80	1.80
Välisaknad ja ukсед (C)	0.50-1.50	1.00	1.00
Kütte- ja või kliimaseadmed (D)	0.50-1.50	1.00	1.00
Välisseinad (E)	0.15-0.75	0.50	0.50
Siseseinad (F)	0.15-0.75	0.50	0.50



Joonis 1. Kontrolltsooni kirjeldus (a- vertikaallõige, b- plaan)

Sisekliimale esitavate nõuete täimise raskuse tõttu võivad erikokkuleppel osutuda vajalikuks ka järgmiste alade korral, eriti tõmbuse ja temperatuuride osas:

- a) Läbikäigualad
- b) Alad sageli avatavate või avatud uste lähedal
- c) Alad sissepuhkeseadmete lähedal
- d) Alad suure soojuskoormuse või õhuvooluhulgaga seadmete lähedal

Kui pole teisti kokkulepitud, siis alasid a) ja b) ei loeta kontrolltsooni kuulvaks, kuid alad c) ja d) loetakse kontrolltsooni kuuluvaks.

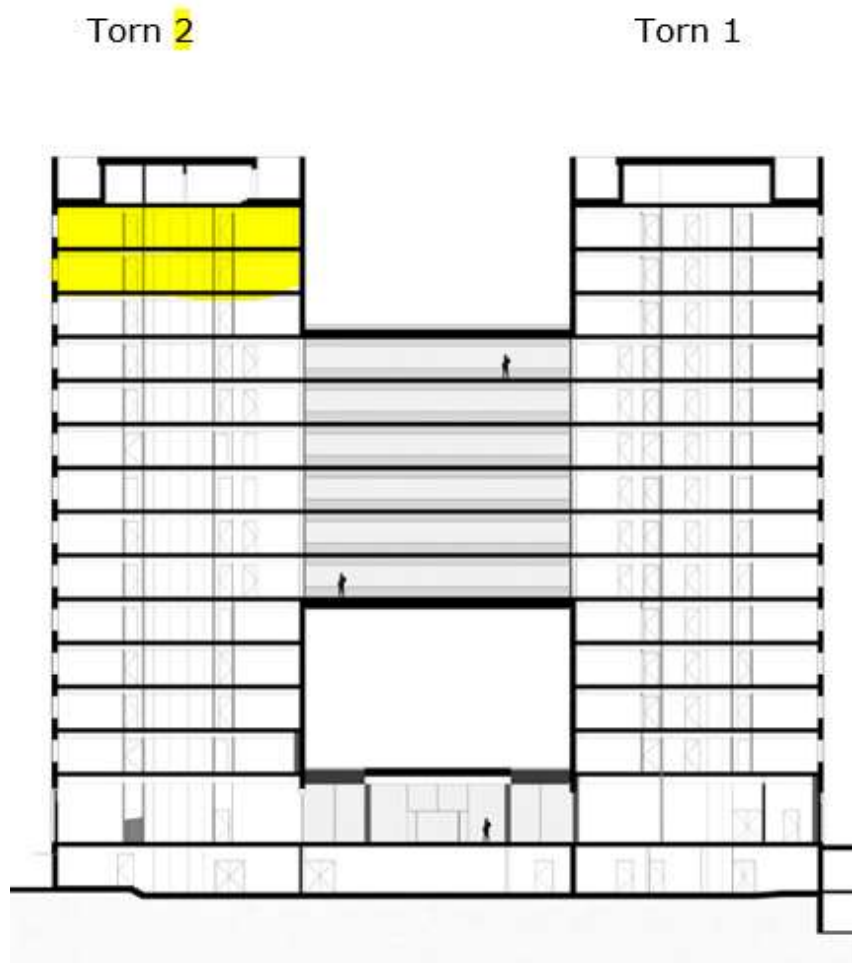
Kui ruumi kasutuse seisukohalt ei ole määrava tähtsusega ruumi suurus, vaid teised tegurid, siis võib kontrolltsooni määratlemisel lähtuda kindlaks määratud töötsooni või hingamistsooni asukohast.

2. UURITAV OBJEKT

2.1 Objekti üldandmed

Liginullenergia büroo kõrghoone:

- 2 torni, igaüks sisaldab: 14 maapealset korrust + tehniline korrus katusel
- maalune soklikorrus
- köetav pindala 18 600 m²
- $ETA=99 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ [5] $KEK=89 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ [6]



Joonis 2. Hoone ristlõike

Hoone väliskonstruktsioonide soojusjuhtivuse tegurid, vastavalt ehitusloa projektile:

- | | |
|----------------------------|---|
| ○ põrand pinnasel | $U= 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| ○ katuslagi | $U= 0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| ○ välissein (termoprofiil) | $U= 0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| ○ aken ⁽¹⁾ | $U= 0.65 \text{ W/m}^2\text{K}, SF=0.3 (g_{arv})$ |

1) kõik tööalade aknad on varustatud sisekardinatega (käsitsi kinni - lahti tõmbamine)

2.2 Uuritav hooneosa (uurimisala)

Vastavalt osapooltega kokkuleppele on soojusliku sisekliima uuringute läbiviimise tsooniks (uurimisalaks) valitud Torn 2 13. korrusel asuvad büroopinnad ja kabinetid. Mõõtmiste käigus on vastavalt personaali soovile (tähelepanekud soojuslikule ebamugavusele) lisaks soojusliku sisekliima mõõdetud ka Torn 2 14. korruse konkreetsetes büroopindades.

2.3 Uurimisala teenindavate sisekliimasüsteemide

lühikirjeldus

Hoone kütteallikaks on maakütte-soojuspump ja kaugküte.

Jahutusenergia allikaks on vedel-jahutusega külmamasinad ja gradiir.

Uurimisala teenindavad ventilatsioonsüsteemid (CAV):

SV2.1 - Torn 2 10.-14. korruse põhjapoolsed ruumid

SV2.2 - Torn 2 10.-14. korruse lõunapoolsed ruumid

Ventilatsioonisüsteemide SV2.1 ja SV2.2 keskseadmete põhikomponentideks on hügrokoopiline rootor-soojustagasti (temperatuuri suhtarv 88% (vastavalt EN308), niiskuse tagastus 95%), küttekalorifeer (soojuskandja - vesi 60/40°C, Tsissepuhe 21°C), jahutuskalorifeer (külmakandja - vesi 7/12°C, Tsissepuhe 16°C 90%RH), õhufiltrid ning EC-mootoritega ventilaatorid.

Ventilatsioonisüsteemid normaalselt töötavad constant Pa režiimis sisse-väljapuhke peaoõhukanalitele paigaldatud rõhuvahe andurite järgi (BMS-ist on võimalik muuta süsteemide töötamist constant RPM režiimile).

Ventilatsiooniseadmete SV2.1 ja SV2.2 funktsionaalskeem on esitatud lisas Lisa 4.

Uurimisala ventilatsiooniplaanid on esitatud Lisa 17 ja Lisa 18 .

Ruumi kütte- jahutusseadmeteks on 4-toru aktiiv-jahutuspalgid Halton REE6 (sisaldavad HAQ elementi). Jahutuspalkide arvutuslikud parameetrid kütteks: soojuskandja 35/30°C, sissepuhkeõhu temperatuur (ventilatsiooniseadmest) 21°C, ruumi temperatuur 21°C. Jahutuspalkide arvutuslikud parameetrid jahutuseks: külmakandja 14/17°C, sissepuhke - temperatuur (ventilatsiooniseadmest) 17°C, ruumiõhk 25°C 55%RH.

Ruumiseadmed on korrustel grupeeritud juhtimistsoonide kaupa, kus ruumiõhu temperatuuri reguleerimiseks on ettenähtud ruumitermostaat-regulaatorid ning kütte - jahutuse reguleer-ventiilid. Juhtimistsoonide jaotus avatud büroopindades on põhiliselt fassaadide kaupa. Väikesed kabinetid ja nõupidamiste ruumid on kõik eraldi juhtimistsoonid (varustatud eraldi reguleerimisventiilidega ja ruumiregulaatoriga).

Uurimisala ruumiseadmete juhtimisskeem on esitatud lisa Lisa 3 .

Uurimisala kütte plaanid on esitatud lisa Lisa 13 ja Lisa 14

Jahutuse paanid on esitatud Lisa 15 ja Lisa 16 .

Hoones on kaasaegne keskautomaatika süsteem (BMS), mille abil juhitakse ning jälgitakse hoone kõik põhiseadmed ning ruumiseadmete kontrolltsoonid vastavalt etteseadistatud parameetritele. BMS võimaldab ka kõikide oluliste häirete jälgimist (st alumise ja ülemise ruumiõhu temperatuuri häirepiirid, trendid vms).

Ruumiseadmete juhtimine kasutaja poolt koha pealt (**TC_{UAL}**) enam osa tsoonidest on lubatud piirides $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Suurtes büroopindades, kus kontrolltsooni piiriks on tegelikkuses virtuaalne joon (st erinevad kontrolltsoonid moodustavad ühist õhuruumi) kütte- jahutussüsteemide konfliktolukordade vältimiseks ja sisekliima olukordade stabiliseerimiseks ruumiseadme kütte- jahutuse režiimi vahele on seadistatud nn neutraaltsoon (**TC_{DZ}**) 3°C kütteperioodil jaotusega küte / jahutus $-1^{\circ}\text{C}/+2^{\circ}\text{C}$ (surnud tsooni temperatuuri jaotust on võimalik automaatikasüsteemist muuta, nt. jahutuse perioodile jahutuse surnud tsooniks määrata $+1^{\circ}\text{C}$).

Ruumiõhu temperatuuri keskpunktiks (**TC_{COUSP}**) on vastavalt hoone kasutaja soovile kütteperioodil 23.0°C ning jahutuse perioodil 22.5°C . Mis tähendab, et kui ruumikasutaja poolt reguleeritud temperatuuri seade arv (**TC_{SP}**) on 23.5°C , siis jahutusventiil hakkab avanema ruumitemperatuuri seade arvu ületamisel 2.0°C (st alates 25.5°C) ja kütteventiil avaneb ruumitemperatuuri seade arvu langetamisel 1.0°C (st alates 22.5°C) ja surnud tsooni vahemikus kontrolltsooni kütte- jahutuse reguleerimisventiilid on mõlemad kinni asendis.

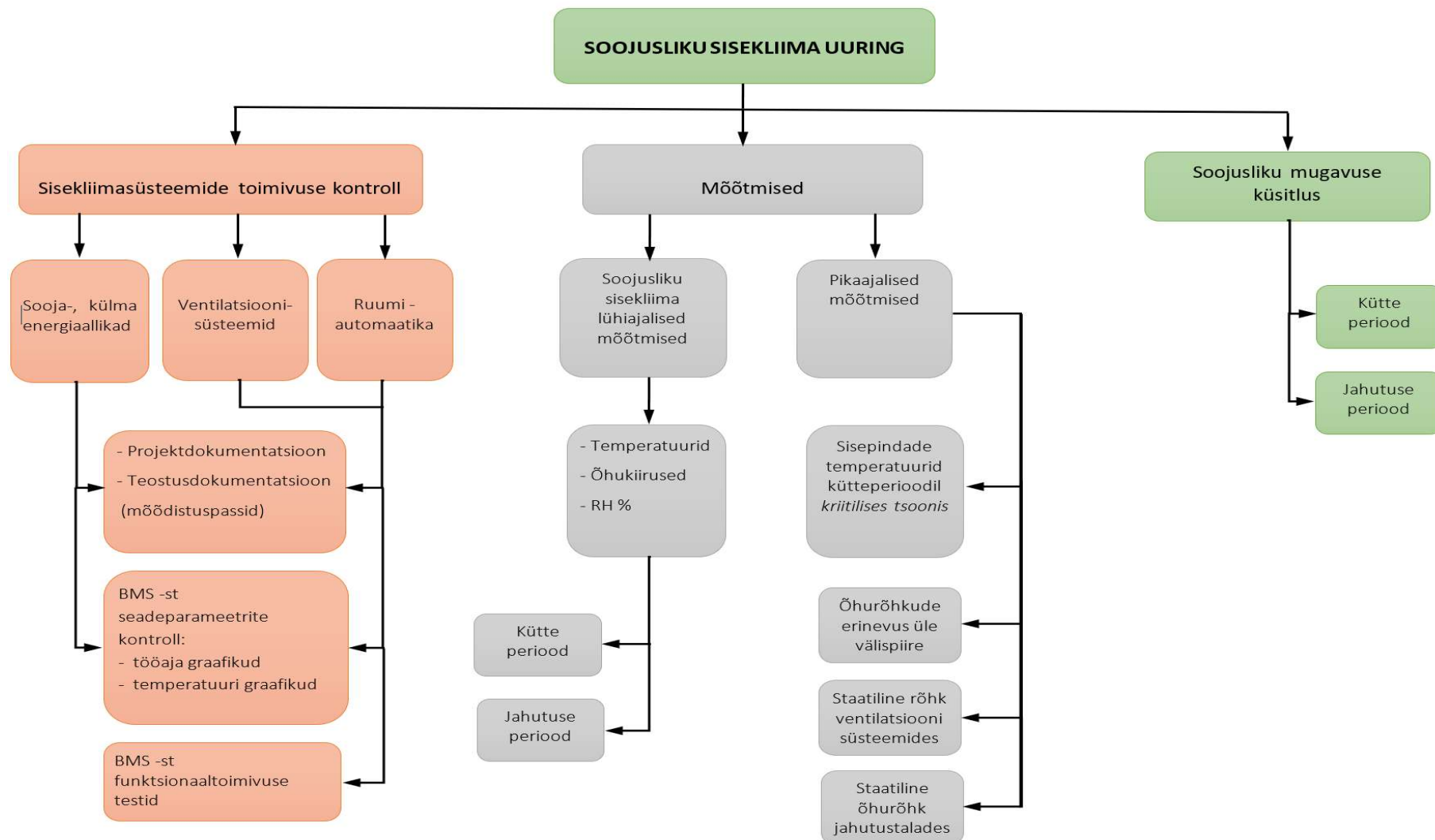
Ruumiseadmete kütte-jahutuse kontrolltsooni reguleerimisventiilideks on valitud IMI TA Compact-P rõhust sõltumatud ventiilid (ülevoolumis on normaalselt välditud), mis on varustatud proportsionaalse juhtimisega elektri ajamitega.

Uurimisala arvutuslikud võimsused ja õhuhulgad vastavalt projektdokumentatsioonile:

- *Õhuhulk avatud büroopinnas* *$\sim 1.7 \text{ l/s m}^2$*
 - *Õhuhulk kabinetis* *$\sim 1.5 \text{ l/s m}^2$*
 - *Ruumiseadme küttevõimsused 13korrusel (tüüpkorrus)* *$\sim 17 \text{ W/m}^2$*
 - *Ruumiseadme küttevõimsused 14korrusel (osaliselt katusepind)* *$\sim 24 \text{ W/m}^2$*
 - *Ruumiseadme jahutusvõimsused (tüüpkorrus)* *$\sim 46 \text{ W/m}^2$*
- (T_{sp}= 17C, vesi 14/17C)*

3. METOODIKA

3.1 Soojusliku sisekliima uuringu blokskeem



3.2 Uurimisala teenindavate sisekliimasüsteemide kontroll

Sisekliimasüsteemide kontrolli eesmärgiks oli kindlaks määrata, et uurimisala kõik soojusliku sisekliima eest vastutavad süsteemiosad toimivad korrektselt vastavalt projektdokumentatsioonis toodud automaatika programmidele ning etteantud seadisparameetritele.

Kütte- ja jahutuse allikate toimivus (sh tegelike parameetrite vastavus seadistusparameetritele) on kontrollitud keskautomaatikasüsteemist (BMS) ning ka koha pealt visuaalselt.

Ventilatsioonisüsteemidele SV2.1 ja SV2.2 lisaks automaatikasüsteemist ülevaatusel on läbiviidud funktsionaaltoimivuse kontroll, mille põhifookus oli kütte - jahutus režiimidele. Ventilatsiooniseadmete funktsionaaltoimivuse kontrolli käigus kontrolliti kütte- ja jahutusrežiimis rootor-soojustagasti ning kütte- ja jahutuse reguleerventiilide töötamist vastavalt etteantud sissepuhkeõhu temperatuurile. Eesmärgiks oli kindlaks määrata, et nimetatud komponentide töötamise programmilised algoritmid on loogilised ning mingit programmist ega füüsilist vigu ei eksisteeri.

Kütte - jahutuse režiimi tekitamiseks on kesk automaatikasüsteemist muudetud sissepuhkeõhu temperatuuri seadearvu nii, et kütterežiimis see oleks tegelikust temperatuurist kõrgem ja jahutuse režiimis vastupidi tegelikust väärtusest madalam.

Kütte- jahutuse režiimis kontrolliti rootorsoojustagasti ning kütte- jahutuse reguleerventiili toimivust. Muutes sissepuhkeõhu temperatuuri on kontrollitud rootorsoojustagasti juhtimine, st automaat režiimis vajaliku kiiruse saavutamine vastavalt etteantud sissepuhkeõhu temperatuurile.

Kütte režiimis kütte reguleerventiili avanemine (järelküte) peab olema alles siis, kui rootorsoojustagasti võtab täiskiirust ja sellest ei jätku nõutud sissepuhkeõhu temperatuuri tagamiseks - alles siis kütteventiil peab avanema. Jahutuse reguleerventiil muidu peab kütte režiimis sulguma enne rootorsoojusvaheti töö alustamist.

Jahutuse režiimis on eraldi kontrollitud külmatagastusega olukord ja ilma. Külmatagastusega olukord: väljatõmbeõhu temperatuur on välisõhu temperatuurist vähemalt 3°C võrra madalam. Antud juhul toimub külmatagastus rootorsoojusvahetiga (pöörlemise kiirus automaat režiimis vastavalt etteantud sissepuhkeõhu temperatuurile) ning järel-jahutuseks on jahutuskalorifeer (jahutuse reguleerventiili avanemine).

Kütte reguleerventiil muidu peab jahutuse režiimis sulguma enne rootorsoojusvaheti töö alustamist (külmatagastuse olukorral) ning enne jahutuse reguleerventiili avanemist ilma külmatagastusega olukorral.

Kütte- jahutuse reguleerventiili toimivuse kontrollimisel oli eriti juhitud tähelepanu, et ventiil ei avaneks / sulguks järsult (ON/OFF ventiilina), vaid toimiks ikka reguleerventiilina (proportsionaalne juhtimine).

Lisaks on kontrollitud ventilatsiooniseadmete üldine korrashoid (sektioonide puhtus seestpoolt), toimivus seisuajal ning kaitseprogrammid (sh blokeeringud).

Kontrolliti ventilatsiooniseadmete SV2.2 ja SV2.2 sisse-väljapuhke õhukanalitesse paigaldatud temperatuuriandurite mõõtetäpsust. Selleks siis mõõdeti sisse-väljapuhkeõhu temperatuuri vastava õhukanali puhastusluugist termomeetriga FLUKE 971 ning saadud tulemust võrreldi vastava temperatuurianduri BMS näiduga.

Ventilatsiooniseadmete SV2.1 ja SV2.2 funktsionaaltoimivuse kontrolli kava ja tulemused on esitatud Lisa 8 .

Uurimisala ruumiseadmete juhtimisautomaatika funktsionaaltoimivus on ka kontrollitud. Eesmärgiks oli kindlaks määrata kütte- jahutuse reguleerventiilide korrektset toimivust vastavalt ette antud ruumitemperatuurile juhtimistsoonide kaupa, ehk kütte-jahutuse reguleerventiilid teenindavad ikkagi õiget juhtimistsooni ning sama juhtimistsooni kütte-jahutusventiilid ei ole korraga lahti.

Lisaks on füüsiliselt kontrollitud ventiilide täielik sulgumine olukorrale kui kütte- jahutuse vajadust ei ole – nii nimetatud neutraaltsoon. Ventiilide täielik sulgumine on 4-toru palkide lahendusega eriti oluline, et vältida olukordi, kus ruumiseadmest samal ajal tsirkuleerib nii sooja- kui ka külmakandja (nt kütte perioodil töötava vaba-jahutusega oleks välditud mitteoodatud külmakandja tsirkulatsioon samas ruumiseadmest, mil on kütte tööloa).

Lisaks on kontrollitud ruumiregulaatorite temperatuuri näidud. Selleks mõõdeti termomeetriga FLUKE 971 ruumiõhu temperatuuri ruumiregulaatorist ~5cm altpoolt.

Ruumiseadete juhtimisautomaatika funktsionaaltoimivuse kontrolli kava ja tulemused on esitatud Lisa 9 .

3.3 Soojusliku sisekliima lühiajalised mõõtmised

3.3.1 Mõõtmiste metoodika ja kasutatud mõõtevahendid

Soojusliku sisekliima parameetrit mõõdeti jahutuse ning kütte perioodil.

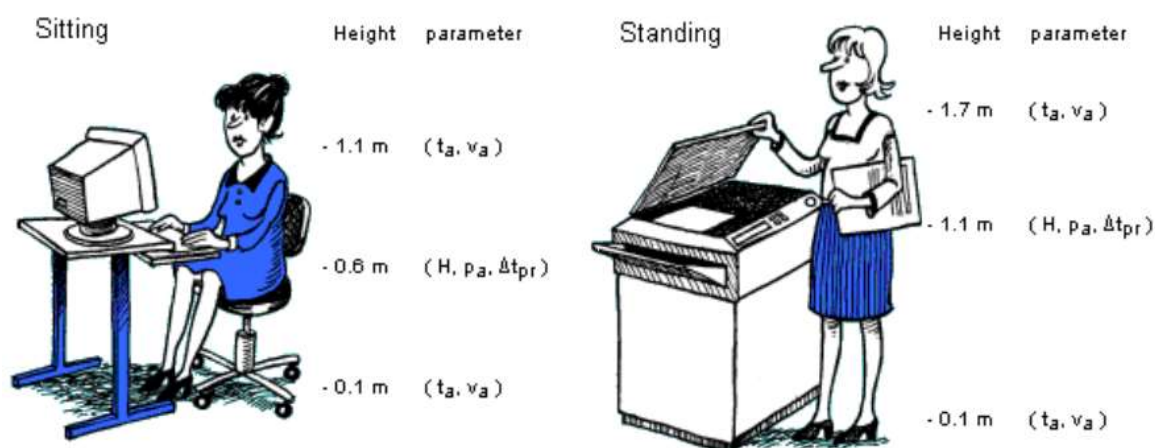
Soojusliku sisekliima uurimisel igast mõõtepunktist on samal ajal mõõdetud järgmised parameetrid:

- ruumiõhu temperatuurid (sondid põrandapinnast kõrgusel 0.1m, 0.6m, 1.1m ja 1.7m)
- õhuliikumise kiirused (sondid põrandapinnast kõrgusel 0.1m, 0.6m, 1.1m ja 1.7m),
- operatiivne temperatuur (sond põrandapinnast kõrgusel 0.6m)
- suhteline niiskus (sond põrandapinnast kõrgusel 0.6m).

Mõõtekõrgused on määratud vastavalt standardile ISO 7726:2003 [2] (Tabel 9 ja Pilt 1).

Tabel 9. Soojusliku sisekliima parameetrite mõõtekõrgused

Andurite asukohad	Kaalutegurid mõõtmistele keskmiste väärtuste arvutamiseks				Soovitavad kõrgused (ainult juhendamiseks)	
	Homogeenne keskkond		Heterogeenne keskkond		Istudes	Seistes
	Klass C	Klass S	Klass C	Klass S		
Pea kõrgus			1	1	1,1 m	1,7 m
Kõhu kõrgus	1	1	1	2	0,6 m	1,1 m
Pahkluu kõrgus			1	1	0,1 m	0,1 m



Pilt 1. Soojusliku sisekliima parameetrite mõõtekõrguste kirjeldus [11]

(sitting - istuv, standing – seisev, height - kõrgus)

Soojusliku sisekliima parameetrite mõõtmiseks kasutati Dantec mõõtekomplekti ComfortSense sondidega (Tabel 10 ja Pilt 2).

Tabel 10. Mõõteseadmete tehniliste andmete koondtabel

Mõõtesead	ComfortSense 54T33	ComfortSense 54T38	ComfortSense 54T37
Kirjeldus	Õhutemperatuuri ja õhu liikumise kiiruse sond (omnidirectional)	Operatiivse temperatuuri sond	Suhtelise õhuniiskuse sond
Illustratsioon			
Mõõtepiirkond	-20...+80 °C 0,05...10 m/s	0...+45°C	0...100 %
Mõõtetäpsus	0...+45 °C: ±0,2 K 0...1 m/s: ±0,02 m/s	+10...+40 °C: ±0,2 K	+10...+30 °: ±1,5 %
Resolutsioon	0,001 °C 0,001 m/s	0,001 °C	0,01 %

Vastavalt ISO 7726:2013 soovitatud mõõtekõrgustele asetatud sondid mõõtsid ühes mõõtmispunktis üheaegselt järjestikku 3 minutit logimise intervalliga 0.05 sekundit, st igast mõõtepunktist 3600 logimist.

Mõõtmistulemuste võrdlemiseks inimkeha mõju arvesse võetud ei olnud (mõõtmise ajal inimesi töökohal ei olnud), logimise stardile ette antud viiteaeg 15 sekundit.



Pilt 2. Uurimisalas kasutatud soojusliku sisekliima mõõtesondide komplekt.

3.3.2 Soojusliku sisekliima mõõtepunktid

Vastavalt osapooltega kokkuleppele on soojusliku sisekliima uuringute läbiviimise tsooniks (uurimisalaks) valitud Torn 2 13. korrusel asuvad büroopinnad ja kabinetid. Mõõtmiste käigus on vastavalt personaali soovile (tähelepanekud soojuslikule ebamugavusele) lisaks soojusliku sisekliima mõõdetud ka Torn 2 14. korruse konkreetses büroopindades.

Mõõtepunktideks on valitud eelkõige personali poolt esitatud sisekliima ebamugavusega töökohad ning ka teised töökohad, kus sisekliima ebamugavusele tähelepanekut esitatud ei olnud, kuid kus ebamugavustega töökohtadega on sarnased tingimused (olukordade võrdlemiseks) ning ka erinevad, st: erinev töökoha asetsemine ruumi sisekliimaseadme-, välisseina-, akna-, kõrvalasuva töökoha ning ka mööbli ja vaheseinte suhtes.

Mõõtepunktid on esitatud joonistel Joonis 3, Joonis 4 ning Joonis 5 ja Joonis 6 .

Joonistel Joonis 3 ja Joonis 4 on lisaks mõõtepunktidele esitatud:

- rohelise värviga varjutatud alad on kontrolltsoonid (viibimistsoonid) vastavalt EVS-EN 16798-3:2017 (Joonis 1)
- ruumiseadmed, st 4-toru jahutuspalgid

Joonistel Joonis 5 ja Joonis 6 on lisaks mõõtepunktidele esitatud:

- ruumiseadmed, st 4-toru jahutuspalgid
- punase kriips - punktiirjoonega on tähistatud ruumiseadmete juhtimistsoonide piirid

Ruumiseadmete juhtimistsoon antud töö tähenduses on ruumiseadmete grupp, mis juhitakse ühest ruumitemperatuuri regulaatorist, millega juhitakse konkreetse ruumiseadmete gruppi kütte- jahutuse reguleerimisventiile vastavalt etteantud ruumi temperatuurile (TC_{SP}).

Kõik mõõtepunktid asuvad viibimistooni piiris sees, välja arvatud mõõtepunkt MP-T2-13.13.

Antud mõõtepunkti asukoht viibimistsoonist väljapool ning aknaga välisseina juures on valitud meelega, et hinnata mõõtmistulemuste erinevust antud punktis viibimistsoonis mõõdetud tulemustega ning selle info põhjal lisaks hinnata ruumiõhu temperatuuri ja väliskonstruktsioonide kiirgustemperatuuride erinevusest tingitud lokaalset soojusliku ebamugavust (sh võimalikud konvektiivsed õhuvoolud).

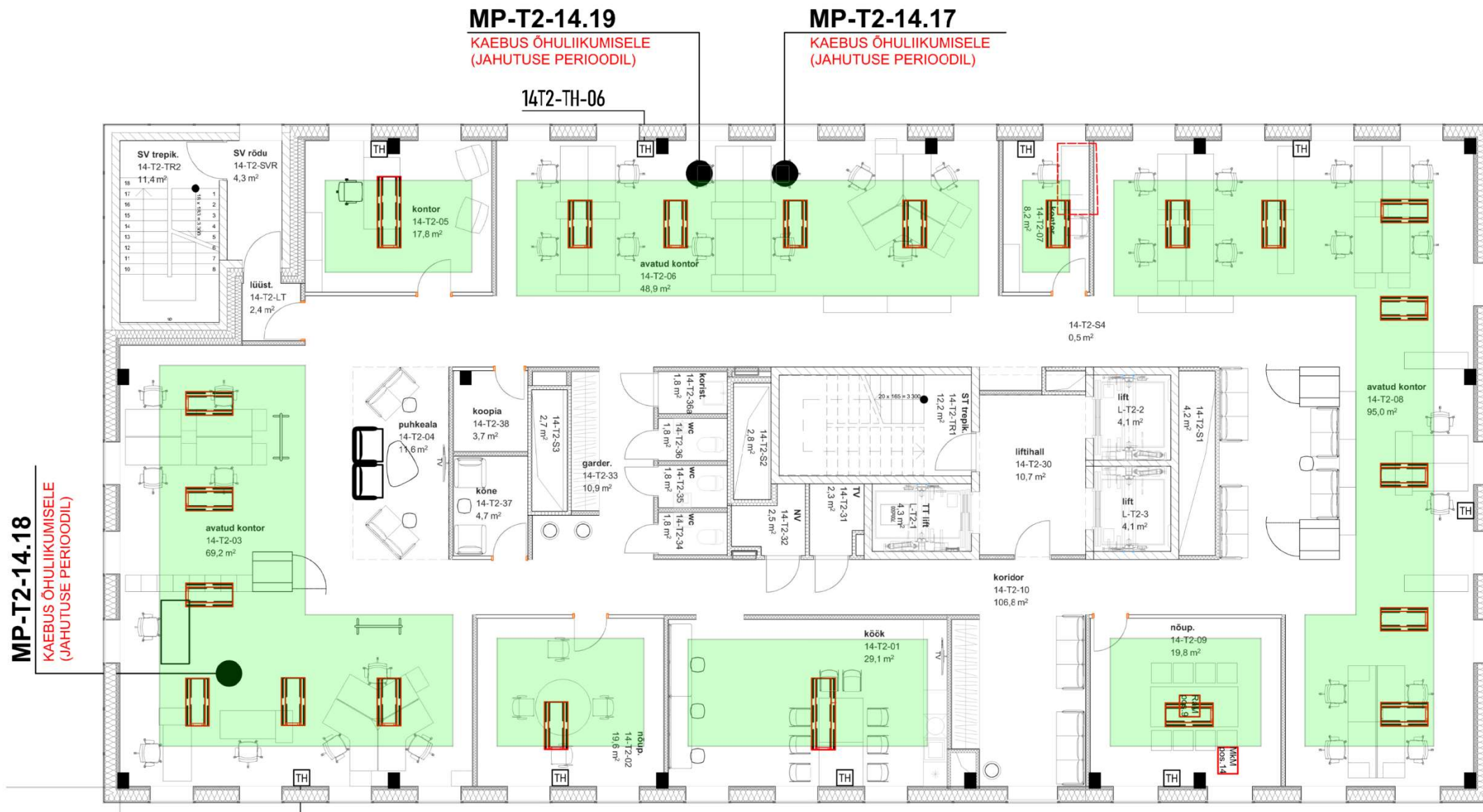
Ruumiseadmete juhtimiskeem on esitatud Lisa 3 .

Uurimisala kütte plaanid on esitatud lisa Lisa 13 ja Lisa 14

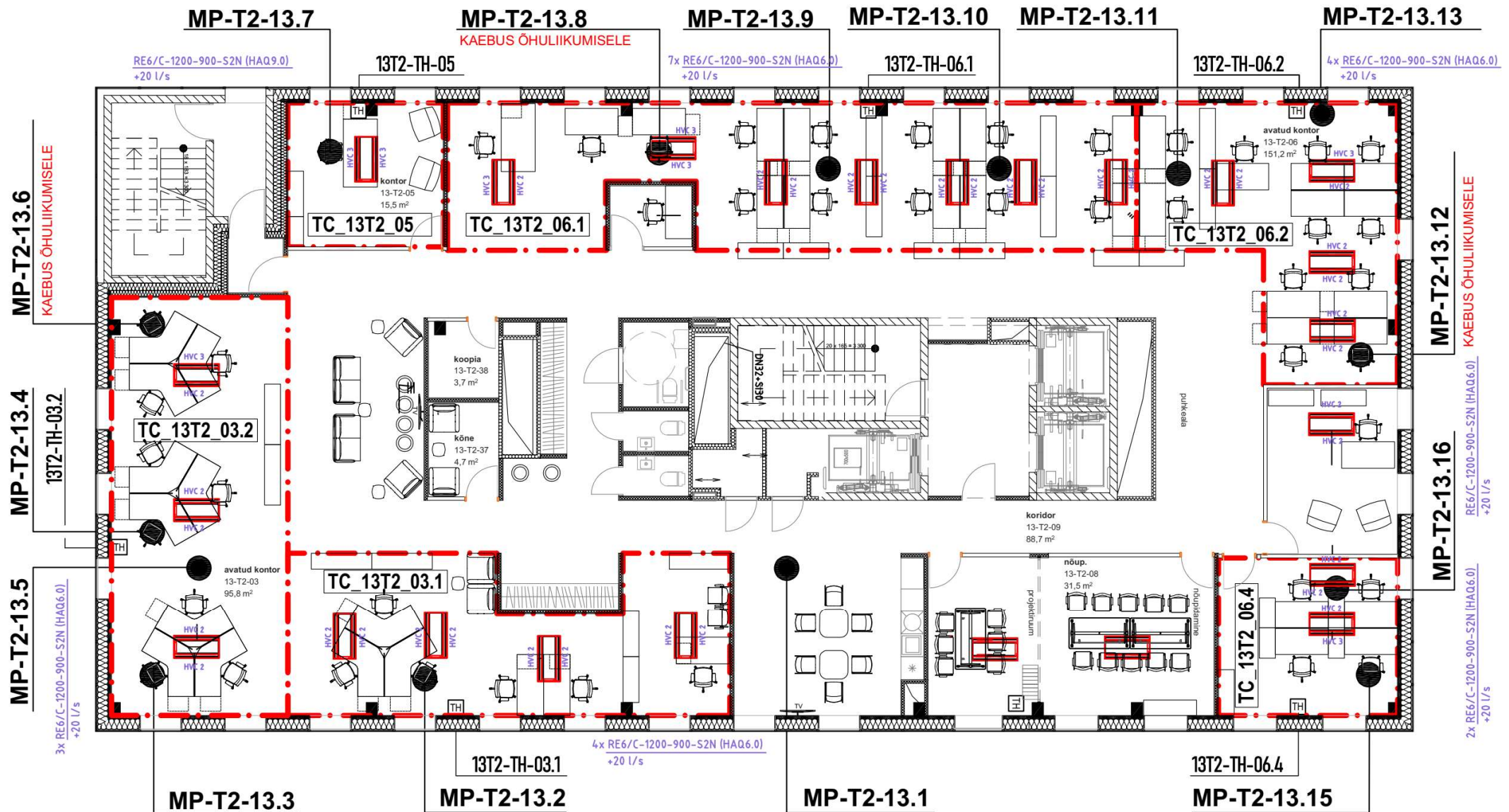
Jahutuse paanid on esitatud lisa Lisa 15 ja Lisa 16 .



32



Joonis 4. 14 korruse plaan: mõõtepunktid, kontrolltsoonid, ruumiseadmed



34



3.3.3 Sisekliima mõõtmiste tingimused jahutuse perioodil

Vastavalt EVS-EN 16798 -1:2019 + NA:2019 jahutusperiood on osa aastast (tavaliselt suvel), millal on vaja jahutada, et hoida sisetemperatuuri määratud tasemel, vähemalt osa aega päevast ja osas ruumides. Jahutusperioodiks loetakse aeg, mil välistemperatuur on $> 17^{\circ}\text{C}$. Järelikult jahutusperioodi määrab ventilatsioonisüsteemi jahutuskalorifeeri ja / või ruumiseadme jahutuse reguleeriventiili asend.

Soojusliku sisekliima mõõtmised jahutuse perioodil on läbi viidud **02.08.2019.a** (kell 10.00-14.00) ja **12.08.2019.a** (kell 13.00-15.30).

02.08.2019 (päikeseline ilm) toimunud mõõtmistel osadest mõõtepunktidest mõõdeti sisekliima parameetrit nii ruumi kasutaja poolt kinni tõmmatud aknakardinatega (aken ilma kardinata ees), kui ka mõõtja poolt lahti tõmmatud aknakardinatega (kardin akna ees) eesmärgiga - tuvastada aknakardinate efektiivsust, ehk aknakardinate mõju operatiivsele temperatuurile (st kiirgustemperatuuri komponendi mõju). Kuid kuna avatud ja suletud aknakardinaga mõõtmiste intervall oli ainult 10...15 minutit ning mõõtmistulemused väga ei erinenud (kinni tõmmatud aknakardinatega operatiivtemperatuur erines ainult $0,15..0,2^{\circ}\text{C}$ võrra (kõrgem) - mida tavainimene eriti ei tunne), siis mõõtja poolt lahti tõmmatud aknakardinatega mõõtmistulemused ning nende analüüsimine ei ole antud töös esitatud. Töös on esitatud ning analüüsitud ainult ruumikasutaja poolt reguleeritud aknakardinate olukorras mõõdetud tulemused (st vastavalt kasutaja mugavustundele).

Mõõtmise ajal kehtinud välistingimused vastavalt EMHI (www.ilmateenistus.ee) andmetele on esitatud Tabel 11.

Uurimisala teenindavate sisekliimasüsteemide tehnilised parameetrid kehtinud mõõtmise ajal vastavalt hoone automaatikasüsteemi (BMS) andmetele on esitatud Tabel 12 .

Ruumiseadmete jahutuse reguleeriventiilide asendid mõõtmise ajal on esitatud Lisa 5 .

Ruumiregulaatorite temperatuuri seadearvud ning ruumiregulaatori termostaadi poolt mõõdetud temperatuurid on esitatud peatükis 4.5 (Tabel 21) .

Tabel 11. Sisekliima mõõtmise ajal kehtinud välistingimused (jahutuse periood)

Välisõhu parameeter	02.08.2019 (kell 12.00)	12.08.2019 (kell 14.00)
Välisõhu temperatuur, (°C)	17,5	20,9
Välisõhu suheline niiskus RH, (%)	40,0	78,0
Taevas päike / pilves / vihm	päike	pilves / vihm

Tabel 12. Sisekliima mõõtmise ajal kehtinud sisekliimasüsteemide tehnilised parameetrid (jahutuse periood)

Parameeter	02.08.2019 (kell 12.00)	12.08.2019 (kell 14.00)
SV2.1 ventseadme kiirus (automaatrežiim)	max. arvutuslik	max. arvutuslik
SV2.2 ventseadme kiirus (automaatrežiim)	max. arvutuslik	max. arvutuslik
SV2.1 ventseadme sisse-/ väljapuhkeõhu temperatuur, (°C)	21,0 ⁽¹⁾ / 23,8	18,0 ⁽²⁾ / 23,6
SV2.2 ventseadme sisse-/ väljapuhkeõhu temperatuur, (°C)	20,2 ⁽¹⁾ / 23,5	18,0 ⁽²⁾ / 23,3
SV2.1 ventseadme väljatõmbeõhu kastepunkti temperatuur, (°C)	10,4	14,8
SV2.2 ventseadme väljatõmbeõhu kastepunkti temperatuur, (°C)	10,1	14,3
Ruumiseadmete pealevoolu temperatuur (külmasõlmest), (°C)	16,5 ⁽³⁾	17,2 ⁽³⁾

Täpsustused:

1. Sissepuhkeõhu temperatuur on vastavalt ette seadistatud temperatuurigraafikule väljatõmbeõhu temperatuuri järgi (temperatuuri graafikut ei ole muudetud).
2. Sissepuhkeõhu temperatuuri muudeti - võrdlemiseks eelmise mõõtmise tulemustega.
3. Vastavalt automaatikasüsteemi kondensaadikaitse programmile külmasõlmes jahutuspalkide 3-T reguleerimise seguventiili minimaalne lubatud pealevoolu temperatuur määratakse järgmiselt: kõikidest ventilatsioonisüsteemidest mõõdetud väljatõmbeõhu maksimaalse kastepunkti temperatuur, millele lisatakse varutegur +1.5°C, kuid minimaalselt lubatud 16,5°C (sõlutmata kõrgeima väljatõmbeõhu kastepunkti temperatuurist).

3.3.4 Sisekliima mõõtmiste tingimused kütte perioodil

Vastavalt EVS-EN 16798 -1:2019 + NA:2019 jahutusperiood on osa aastast, mille vältel on kütmine vajalik, et hoida sisetemperatuuri määratletud tasemel, vähemalt osa aega päevast ja osas ruumides. Kütteperioodiks loetakse aeg, mil välistemperatuur on $< 12^{\circ}\text{C}$.

Soojusliku sisekliima mõõtmised kütte perioodil on läbi viidud **28.10.2019.a** (kell 10.00-15.00) ning **17.02.2020.a.** (kell 09.30-11.30). Mõlema mõõtepäeva mõõtmiseaeg esmaspäeva hommik oli valitud meelega arvestusega, et etteantud ajagraafiku järgi nädalavahetusel ventilatsioonisüsteemid ei tööta ning küttesüsteemil on madalamad seadearvud. Eesmärk oli kontrollida soojusliku mugavuse tagamist olukorral nõ kõige riskantsete sisekliimasüsteemide seadistuse tingimustes.

Mõõtmise ajal kehtinud välistingimused vastavalt EMHI (www.ilmateenistus.ee) andmetele on esitatud Tabel 13.

Uurimisala teenindavate sisekliimasüsteemide tehnilised parameetrid kehtinud mõõtmise ajal vastavalt hoone automaatikasüsteemi (BMS) andmetele on esitatud Tabel 14.

Ruumiregulaatorite temperatuuri seadearvud ning ruumiregulaatori termostaadi poolt mõõdetud temperatuurid on esitatud peatükis 4.5 (Tabel 22) .

Tabel 13. Sisekliima mõõtmise ajal kehtinud välistingimused (kütte periood)

Välisõhu parameeter	28.10.2019 (kell 13.00)	17.02.2020 (kell 10.00)
Välisõhu temperatuur, ($^{\circ}\text{C}$)	4,5	6,4
Tuule kiirus 10minuti keskmise (puhang), (m/s)	1,5 (3,9)	8,6 (15,3)
Tuule suund, ($^{\circ}$)	178	237
Taevas päike / pilves / vihm	pilves	pilves

Tabel 14. Sisekliima mõõtmise ajal kehtinud sisekliimasüsteemide tehnilised parameetrid (kütte periood)

Parameeter	28.10.2019 (kell 13.00)	17.02.2020 (kell 10.00)
SV2.1 ventseadme kiirus (automaatrežiim)	max. arvutuslik	max. arvutuslik
SV2.2 ventseadme kiirus (automaatrežiim)	max. arvutuslik	max. arvutuslik
SV2.1 ventseadme sissepuhkeõhu temperatuur, ($^{\circ}\text{C}$)	20,5 / 22,9	20,5 / 22,8
SV2.2 ventseadme sissepuhkeõhu temperatuur, ($^{\circ}\text{C}$)	20,7 / 22,3	20,8 / 22,2
Ruumiseadmete pealevoolu temperatuur (soojasõlmest), ($^{\circ}\text{C}$)	37,7	36,6



Pilt 3. Mõõtepunkt MP-T2-13.4 (02.08.2019)



Pilt 4. Mõõtepunkt MP-T2-13.5 (02.08.2019)



Pilt 5. Mõõtepunkt MP-T2-13.9 (02.08.2019)



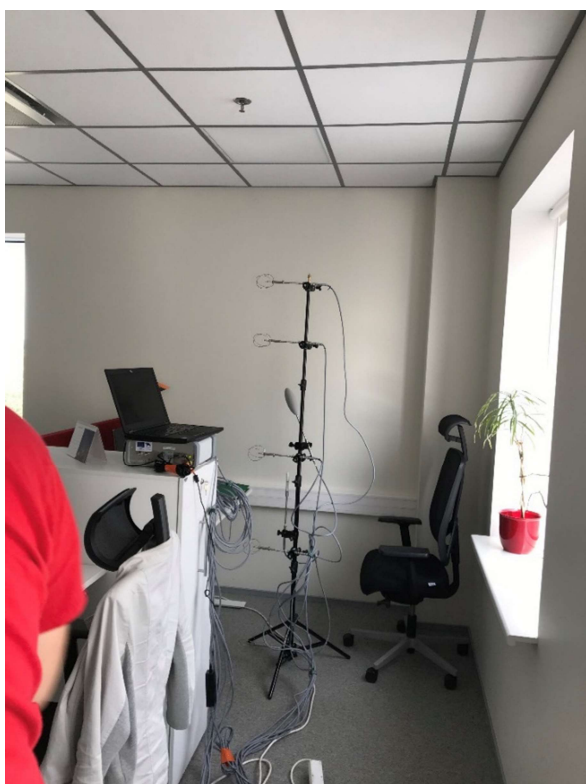
Pilt 6. Mõõtepunkt MP-T2-13.10 (02.08.2019)



Pilt 7. Mõõtepunkt MP-T2-13.12 (02.08.2019)



Pilt 8. Mõõtepunkt MP-T2-13.13 (02.08.2019)



Pilt 9. Mõõtepunkt MP-T2-13.15 (02.08.2019)



Pilt 10. Mõõtepunkt MP-T2-13.18 (02.08.2019)

3.4 Õhurõhkude erinevuse mõõtmine üle hoone välispiirde

3.4.1 Mõõtmiste metoodika ja kasutatud mõõtevahendid

Õhurõhu erinevuse mõõtmine üle hoone välispiirde on uurimisalas läbi viidud 29.02.2020 (12.00-17.00) ja 02.05.2020 (12.00-17.00). Mõõteaeg oli meelega valitud nädalavahetusel, ehk ajal, mil sisetingimuste mõju (eelkõige liftide kasutamine ning siseuste avamine) õhurõhu erinevusele ning selle muutustele oleks minimaalne.

Õhurõhu erinevuse mõõtmiseks kasutatud mõõtevahendite tehnilised andmed on esitatud Tabel 15.

Mõõtmise aja kehtinud välistingimused vastavalt EMHI andmetele (www.ilmateenistus.ee) on esitatud Tabel 16.

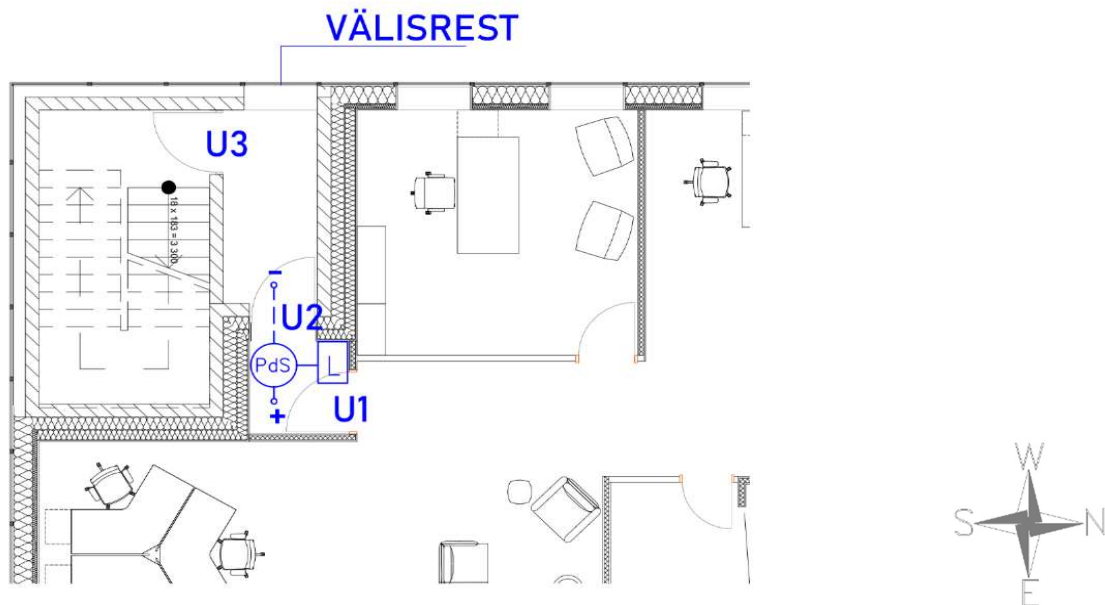
Mõõtmise ajal ventilatsioonisüsteemid kogu hoones olid välja lülitatud.

Tabel 15. Õhurõhku erinevuse mõõtmiseks kasutatud mõõtevahendid

MÕÕTESEADE	HOBO UX120-006M	PX3ULX05
Kirjeldus	4-kanaliga analoog andmelogija	Diferentsiaal rõhu muundur
Illustratsioon		
Mõõtepiirkond		± 500Pa bi-directional (4..20mA)
Mõõtetäpsus		± 1 % FS (combined linearity and hysteresis)

Õhurõhu erinevuse mõõtmine uurimisalas on tehtud Tornis 2 13 korrusel suitsu-vaba trepikoja lüüstamburi ja välisrõdu ukse **U2** kaudu vastavalt joonisele Joonis 7.

Mõõtmiste ajal siseuksed **U2** ja **U3** olid kinni, siseuks **U1** oli avatud. Joonisel tähistatud **Pds** on diferentsiaalrõhu muundur PX3ULX05, **L** on andmelogier HOBO UX120-006M.

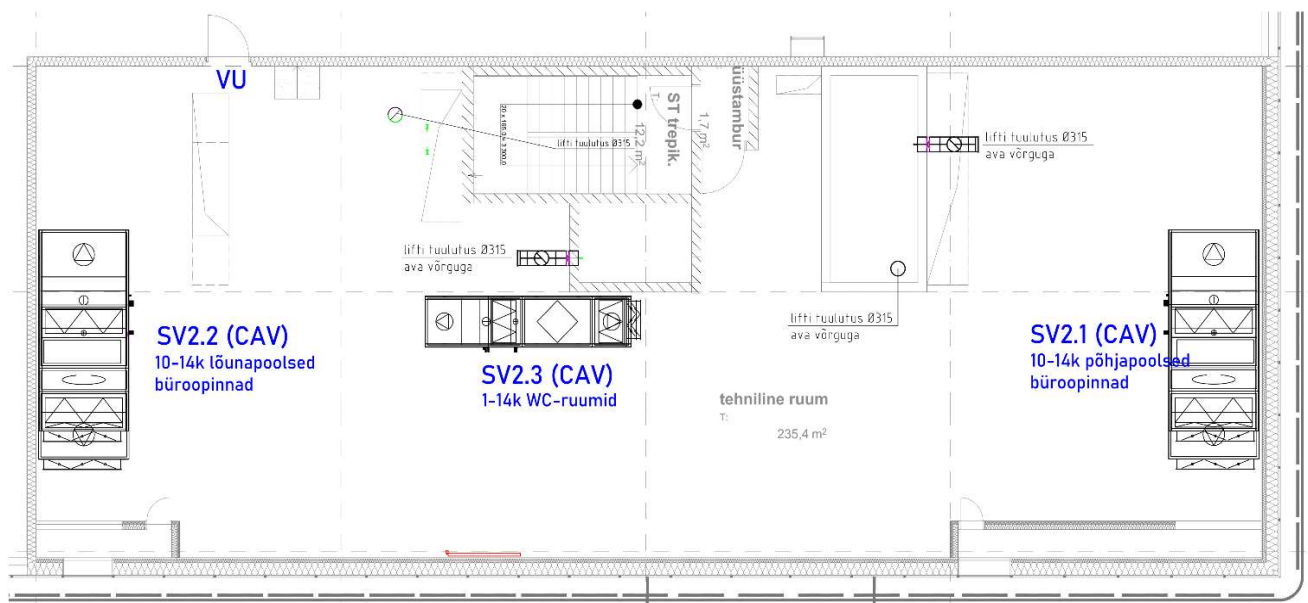


Joonis 7. Õhurõhu erinevuse mõõtepunkt (Torn2 13 korrus)

Nii 29.02.2020 kui ka 02.05.2020 mõõtmise vahemikus 12.00-16.30 15 korruse tehnilise ruumi välisukse **VU** (katusele) oli kinni (Joonis 8) ning vahemikus 16.30-17.00 oli see avatud (erinevates olukordades mõõtetulemuste võrdlemiseks).

Lisaks uurimisalale õhurõhu erinevus üle välispiirde on mõõdetud Torn 2 15 korruse tehnilises ruumis välisukse (**VU**) kaudu 13.05.2020.

Mõõtmise ajal kõik ventilatsioonisüsteemid olid täiskiirusel töös.



Joonis 8. Torn2 15 korruse tehnilise ruumi plaan

Tabel 16. Väritingimused, kehtinud õhurõhu erinevuse mõõtmise ajal (www.ilmateenistus.ee)

Mõõtekoht / Aeg	Välisõhu temperatuur (°C)	Tuule kiirus 10 minuti keskmine (puhang), (m/s)	Tuule suud (°)
Torn 2 13 korrus (uurimisala)			
29.02.2020			
12.00	0,6	1,9 (3,9)	220
13.00	0,4	2,2 (4,9)	226
14.00	0,8	1,2 (3,1)	177
15.00	0,9	2,3 (4,8)	190
16.00	0,4	3,0 (5,3)	177
17.00	0,6	3,8 (7,2)	213
02.05.2020			
12.00	13,3	1,3 (5,7)	150
13.00	10,5	1,6 (4,0)	317
14.00	9,1	2,0 (3,2)	253
15.00	8,6	1,6 (3,0)	264
16.00	8,8	1,3 (2,4)	28
17.00	7,4	2,1 (5,7)	261
Torn 2 15 korrus (tehnoruum)			
13.05.2020			
12.00	6,2	4,0 (7,3)	209
13.00	5,4	2,6 (7,5)	218
14.00	6,2	2,4 (7,8)	190
15.00	4,8	3,4 (10,3)	214
16.00	2,7	1,9 (8,3)	239
17.00	3,6	2,0 (4,9)	229



Pilt 11. Torn 2 13 korrus. Õhurõhuvahe muunduri ja andmelogi asetsemine. Õhurõhu mõõtmistraat ukseavas **U2** välisrõdu poolt (paremal).



Pilt 12. Torn 2 15 korrus (tehnoruum). Õhurõhuvahe muunduri ja andmelogi asetsemine. Atmosfääri õhurõhu mõõtmistraat ukseavas **VU** (paremal) on tuulest kaitsetorus sees.

3.5 Staatilise õhurõhu mõõtmine jahutustalades

Jahutustalade staatiline õhurõhk on mõõdetud pistiliselt. Mõõtmiseks on valitud punktid, kus vastavalt kasutaja infole esineb (esineb) ebamugav tõmbus: MP-T2-13.8, MP-T2-13.12 ja lisaks MP-T2-13.10. Antud punktide läheduses olevates jahutuspalkides on mõõdetud staatiline õhurõhk eesmärgiga - kontrollida staatilise rõhu vastavust projektile ja kas see püsib stabiilseks.

Mõõtmiseks kasutatud mõõtevahendite tehnilised andmed on esitatud Tabel 15.

Mõõtmise ajal ventilatsioonisüsteemid SV2.1 ja SV2.2 on töötanud automaatrežiimis täiskiirusel.

Jahutustalade staatilise õhurõhu mõõtmiseks on kasutatud tehases ette valmistatud staatilise kambri mõõtmisvoolikut (vt Pilt 13).



Pilt 13. Jahutala staatilise rõhu mõõtmisvoolik



Pilt 14. Mõõtepunkt MP-T2-13.8



Pilt 15. Mõõtepunkt MP-T2-13.12

3.6 Staatilise õhurõhu mõõtmine ventilatsiooni süsteemides.

Kuna ventilatsioonisüsteemid töötavad pidev rõhk juhtimisega (õhufiltrite mustumise kompenseerimiseks, st filtrite mustumisel nõutud õhuhulkade tagamiseks ning teenindusalas õhurõhu muutuse puhul õhurõhkude stabiliseerimiseks vms), siis staatilise õhurõhu mõõtmise eesmärgiks oli kontrollida, kuidas tegelikkuses tagatakse ette antud rõhkude kontroll ja kas ventilatsioonisüsteemide õhurõhud püsivad stabiilseteks.

Staatilise õhurõhu mõõtmiseks kasutatud mõõtevahendite tehnilised andmed on esitatud Tabel 15.

Ventilatsioonisüsteemi SV2.1 staatilise õhurõhu mõõtmine on tehtud 28.04.2020 st juba Covid-19 eriolukorra ajal, ehk hoone oluliselt piiratud kasutamistingimustes (eelkõige liftide kasutamine oli oluliselt piiratud, võrreldes tavaolukorraga).

Ventilatsioonisüsteemi SV2.2 staatiline õhurõhk on mõõdetud 26.02.2020 (tavaolukord) ning täiendavalt 11.05.2020 ja 15.05.2020.

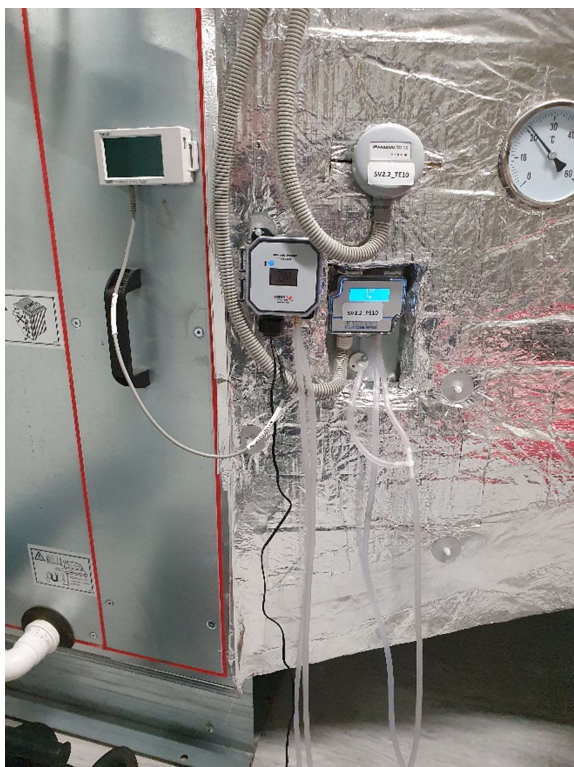
Mõlema ventilatsioonisüsteemi sissepuhkeõhu staatilise rõhu mõõtmised on läbiviidud tööajal. Mõõtmise ajal ventilatsioonisüsteemid SV2.1 ja SV2.2 on töötanud täiskiirusel pidev rõhk (constant Pa) juhtimisega automaatrežiimis.

Ventilatsioonisüsteemide SV2.1 ja SV2.2 sissepuhkeõhu staatiline rõhk on mõõdetud sissepuhke peakanalisse paigaldatud rõhuvahe anduri mõõtmisotsikute kohtadest (vt Pilt 16). Siinjuures tuleb pöörata tähelepanu, et sissepuhke õhukanalitele paigaldatud rõhuvahe andurid mõõdavad atmosfäärirõhku mitte väliskeskkonnast, vaid samast tehnilisest ruumist, kus antud ventilatsiooniseadmed asuvad (15 korruse tehnoruum).

Ventilatsioonisüsteemi SV2.1 sissepuhkeõhu staatilise rõhu mõõtmisel atmosfäärirõhku mõõdeti 15 korruse tehnoruumist .

Ventilatsioonisüsteemi SV2.2 sissepuhkeõhu staatilise rõhu mõõtmisel 26.02.2020 atmosfäärirõhku mõõdeti 15 korruse tehnoruumist ning 11.05.2020 oli atmosfäärirõhk mõõdetud väliskeskkonnast 15 korruse tehnilise ruumi välisukse kaudu (Pilt 17).

Antud lisa mõõtmine oli tehtud eesmärgiga hinnata ventilatsioonisüsteemi „tunnetust“ hoones tekkivat õhurõhu muutusi (liftide mõju), võrreldes olukorraga kui atmosfäärirõhuks on 15 korruse tehnoruumi õhurõhk.



Pilt 16. Ventseadme SV2.2 sissepuhkeõhu staatilise õhurõhu mõõtmine (atmosfääri rõhu mõõtmine väliskeskkonnast)



Pilt 17. Atmosfääri rõhu mõõtmistraat ukseavas **VU**: vasakul tehnoruumi poolt ja paremal katuse poolt (tuulest kaitsetorus sees).

3.7 Sisepindade temperatuuri mõõtmine *kriitilises tsoonis* kütte perioodil

3.7.1 Mõõtmise metoodika ja kasutatud mõõtevahendid

Sisepindade temperatuure mõõtmiseks on läbiviidud 14.02.2020 18.00 – 17.02.2020 09.00.

Sisepindade temperatuuri mõõtmine on läbi viidud, et hinnata sisepindade temperatuuride mõju soojuslikule mugavusele kütteperioodil (ruumiõhu temperatuuri ja väliskonstruksioonide kiirgustemperatuuride erinevusest tingitud lokaalne soojuslik ebamugavus ning võimalikud konvektiivsed õhuvoolud). Kuna uurimisala kütteks on ventilatsioonist sõltuv 4-toru aktiivpalkidega õhkküte, millede kütte- (ka jahutuse) toimivus põhineb eelkõige induktsioonil (eelduseks vajalik staatiline rõhk palgis on tagatud), ette seadistatud ajagraafikuga ventilatsiooniseadmed öisel ajal ei tööta (ka kütteperioodil), siis tekkis huvi hinnata sisepindade temperatuure kütteperioodil just hommikul ajal, st hinnata olukorra viibimistoonis tavalise tööpäeva alguseks.

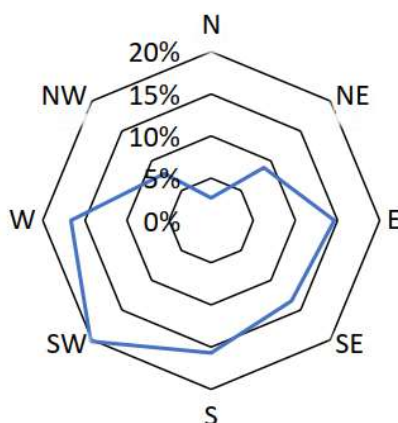
Sisepindade temperatuuri mõõtmiseks on valitud nn *kriitiline tsoon*.

Kriitiline tsoon antud töö tähenduses on kütte perioodil kõige suurema eri-soojuskaoga tsoon hoones.

Kõige suurema eri-soojuskaos kriteeriumid:

- kõige suurem väliskonstruksioonide ja köetava pindala suhe
- kõige tihedama tuulesuunaga hoonefassaad kütte perioodil

Vastavalt energiaarvutuste baasaastale (Estonia TRY) külmal ajal Tallinnas kõige enim puhuvad edelatuuled (mis on tingitud lääne tuulte nihkumisest maapinnal edela suunas).



Joonis 9. Tuulesuundade jaotus talvekuudel vastavalt energiaarvutuste baasaastale (Estonia TRY)

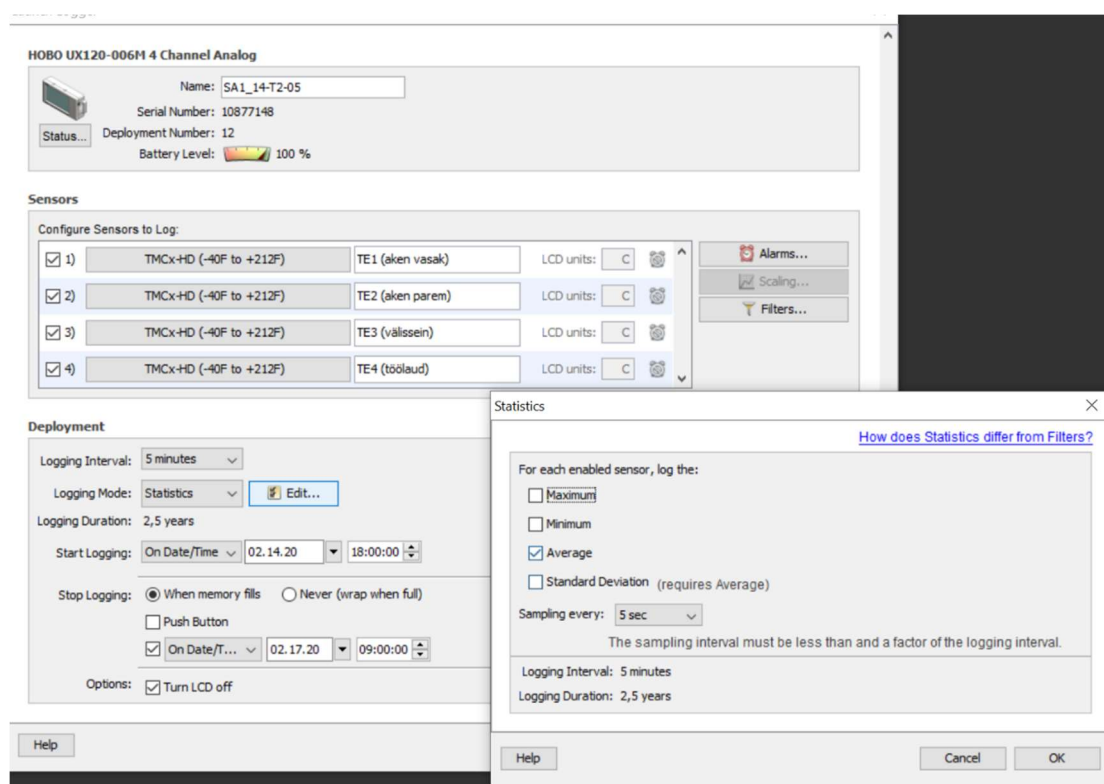
Seega *kriitiliseks tsooniks* on määratud Tornis 2 14 korrusel asuv kabinet 14-T2-05 (Joonis 10), kus lisaks akna-, katuse- ning välisseina pinnale on ka kõrvalasuva suitsuvaba trepikoja välisrõdu sein.

Sisepindadeks on valitud akna klaaspinnad ning akende vahel oleva välisseina sisepind. Lisaks on samal ajal mõõdetud ruumiõhu temperatuur töökoha juures (töölaua). Ehk samal ajal mõõdeti nelja temperatuurianduriga.

Mõõtmiseks kasutatud mõõtevahendite andmed on toodud Tabel 17.

Tabel 17. Sisepindade temperatuuri mõõtmiseks kasutatud mõõtevahendid

MÕÕTESEADE	HOBO UX120-006M	TMC6-HD
Kirjeldus	4-kanaliga analoog andmelogija	temperatuuriandur
Illustratsioon		
Mõõtepiirkond		-40 °C ...100 °C
Resolutsioon		0,002 °C +20 °C
Mõõtetäpsus		± 0,15 °C 0...+70°C mõõtepiirkonnas



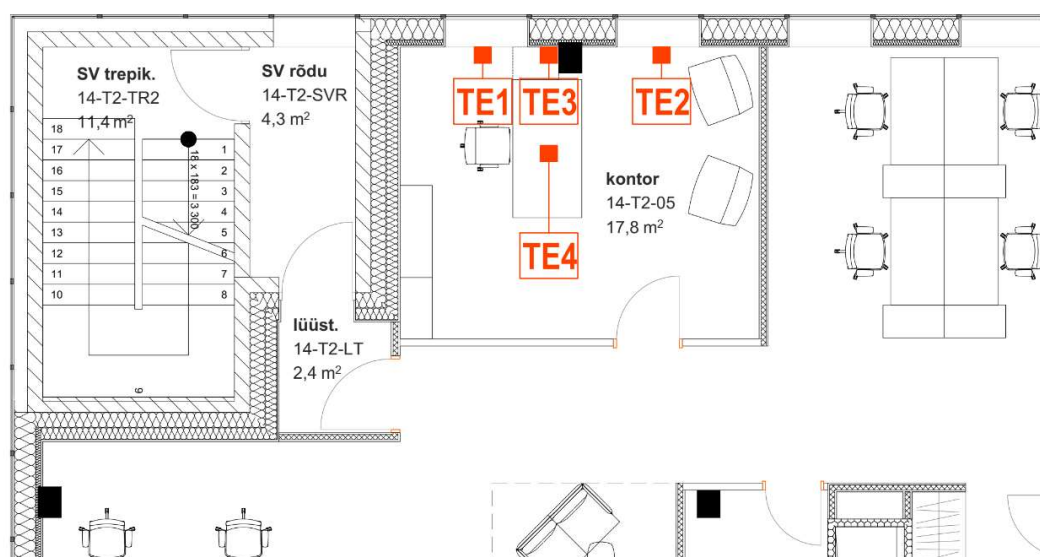
Pilt 18. Ruum 14-T2-05 andmelogeri seadistusparameetrid

3.7.2 Mõõtepunktid ja temperatuuriandurite asetsemine

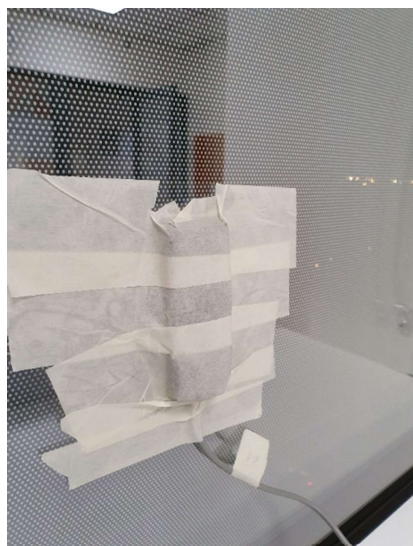
Kuna sisepindade temperatuuride mõõtmise eesmärgiks on kiirgustemperatuuridega tingitud soojusliku lokaalse ebamugavuse hindamine (ruumiõhu temperatuuri ja väliskonstruktsioonide kiirgustemperatuuride erinevusest tingitud lokaalne soojuslik ebamugavus ning võimalikud konvektiivsed õhuvoolud), siis temperatuurandurid on kõik asetsetud kõrgusele põrandast ~1.10m (istuva inimese kaela kõrgus).

Mõõtepunktid ning andurite asetsemine ruumis on esitatud joonistel Joonis 10 .

Ruumiõhu temperatuuri mõju vältimiseks pinnatemperatuuri anduritele andurite kinnitamisel aknaklaasile ning välisseinale on ruumist isoleerimiseks kasutatud kuumisolatsiooni Armaflex 19mm.



Joonis 10. Temperatuuriandurite asetsemine ruumis 14-T2-05



Pilt 19. Pinnatemperatuuriandur aknal



Pilt 20. Pinnatemperatuuriandur välisseinal

3.7.3 Mõõtetetingimused

Vastavalt mõõtmise ajal kehtinud ventilatsioonisüsteemide SV2.1 ja SV2.2 ajagraafikule nädalavahetusel ventilatsioonisüsteemid ei ole töötanud ning reedel lõpetasid töötamist kell 18.00. Mõõtmise ajal ventilatsioonisüsteemid SV2.1 ja SV2.2 olid automaat- režiimis täiskiirusel töös ette seadistatud ajagraafiku järgi ainult 17.02.2020 vahemikus 06.00-09.00 (esmaspäev).

Seega ventilatsioonisüsteemid SV2.1 ja SV2.2 ei olnud mõõtmise ajal töös 60 tunni jooksul.

Hoone automaatikasüsteemist on ruumikliima juhtseadmete ajagraafikus ette nähtud eraldi PÄEV ja ÖÖ režiimid.

PÄEV režiimis (E 02.00-20.00, T-R 04.00-20.00, L-P 07.00-19.00) ruumiautomaatika hoiab ruumi kasutaja poolt ette seadistud ruumitemperatuuri seadearvud.

ÖÖ režiimis kütteperioodil ruumiautomaatika töötab nõ säästurežiimis ning hoiab madalamat ruumitemperatuuri (kütteperioodil ette seadistud öine set - point 20.5°C).

Mõõtmise ajale ruumi 14-T2-05 temperatuuri seadearv oli muudetud 18.5°C peale vahemikus 14.02.2020 18.00 – 17.02.2020 02.00.

Nii varane ÖÖ-PÄEV ruumiautomaatika režiimi ülemineku aeg (kõrgemate ruumi temperatuuride seadearvudega olukorrale) on mõeldud öisel ajal seisvate ventilatsioonisüsteemide kompenseerimiseks eelkõige kütte perioodil.

Mõõtmise ajal ruumi 14-T2-05 kütteventiili asendid, ruumitemperatuuri seadearv ja ruumiregulaatori poolt mõõdetud temperatuur on esitatud Lisa 6.

Vastavalt sellele ruumi 14-T2-05 kütteventiil oli täielikult kinni asendis vahemikus 14.02.2020 18.00 – 17.02.2020 02.30, st 56 tunni jooksul.

Ruumi 14-T2-05 siseuks oli mõõtmise ajal kinni (teiste ruumide soojusliku mõju vähendamiseks).

Mõõtmise ajal kehtinud välistingimused vastavalt EMHI andmetele (www.ilmateenistus.ee) on esitatud Tabel 18 .

Tabel 18. Väritingimused, kehtinud sisepindade temperatuuri mõõtmise ajal
(www.ilmateenistus.ee)

Aeg		Välisõhu temperatuur (°C)	Tuule kiirus 10 minuti keskmine (puhang), (m/s)	Tuule suud (°)
14.02.2020	18.00	-1,8	1,4 (2,4)	189
14.02.2020	20.00	-3,2	1,6 (2,0)	183
14.02.2020	22.00	-2,8	1,8 (2,6)	178
15.02.2020	00.00	-1,5	2,4 (3,9)	201
15.02.2020	02.00	-0,8	2,6 (4,1)	191
15.02.2020	04.00	-0,6	3,0 (5,8)	196
15.02.2020	06.00	0,4	4,2 (6,9)	196
15.02.2020	08.00	1,5	4,6 (7,9)	196
15.02.2020	10.00	2,4	5,5 (9,2)	199
15.02.2020	12.00	2,7	5,1 (9,9)	186
15.02.2020	14.00	0,8	5,4 (10,1)	186
15.02.2020	16.00	1,4	5,5 (10,1)	209
15.02.2020	18.00	2,3	4,5 (8,6)	207
15.02.2020	20.00	3,1	3,5 (7,1)	215
15.02.2020	22.00	3,5	3,1 (6,5)	215
16.02.2020	00.00	3,8	2,8 (6,9)	208
16.02.2020	02.00	3,8	3,8 (6,5)	196
16.02.2020	04.00	3,3	5,0 (9,7)	181
16.02.2020	06.00	2,2	6,5 (11,4)	176
16.02.2020	08.00	2,4	6,2 (12,2)	183
16.02.2020	10.00	3,0	6,5 (12,8)	188
16.02.2020	12.00	3,7	6,9 (12,8)	191
16.02.2020	14.00	3,9	6,6 (12,6)	185
16.02.2020	16.00	4,2	8,0 (14,1)	189
16.02.2020	18.00	4,8	7,2 (14,4)	196
16.02.2020	20.00	5,9	6,5 (14,2)	201
16.02.2020	22.00	7,0	5,1 (10,9)	207
17.02.2020	00.00	7,2	5,0 (10,0)	207
17.02.2020	02.00	7,7	5,6 (11,5)	207
17.02.2020	04.00	7,1	6,4 (12,8)	229
17.02.2020	06.00	4,5	5,7 (13,0)	247
17.02.2020	08.00	5,3	7,7 (17,4)	251
17.02.2020	10.00	6,4	8,6 (15,3)	237

4. TULEMUSED JA ANALÜÜS

4.1 Uurimisala teenindavate sisekliimasüsteemide seisukord

4.1.1 Ventilatsiooniseadmete funktsionaaltoimivus

Ventilatsiooniseadmete SV2.1 ja SV2.2 funktsionaaltoimivuse kontrolli tulemused on esitatud Lisa 8 .

Kontrolli tulemusena ei ole mingit programmilist ega füüsilist vigu leitud, ventilatsiooni-seadmed olid väga heas seisukorras ning soojusliku sisekliima eest vastutavad komponendid (rootorsoojustagasti, kütte- jahutuse reguleerventiilid) toimisid korrektselt. Etteantud sissepuhkeõhu temperatuuri seadearvud olid saavutatud ülevalpool nimetatud komponentidega kütte- jahutuse režiimis loogiliste algoritmide põhjal.

Ventilatsiooniseadmete SV2.1 ja SV2.2 sisse-väljapuhke temperatuuriandurite näidud erinesid FLUKE 971 termomeetri näitudest mõõteseadmete mõõtetäpsuse $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ piires.

4.1.2 Ruumiseadmete funktsionaaltoimivus

Ruumiseadmete funktsionaaltoimivuse kontrolli tulemused on esitatud Lisa 9 .

Kontrolli tulemusena ruumiseadmete automaatika toimib korrektselt.

Ruumiregulaator – termostaatide näidud erinesid FLUKE 971 termomeetri näitudest mõõteseadmete mõõtetäpsuse $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ piires.

Siinjuures tuleb juhtida tähelepanu ruumiregulaatorite paiknemisele avatud büroopindades välisseinal. Külmal ajal viibimistooni ruumiõhust jahedama välisseina ja akna sisepind võib mõjutada ruumiregulaatori näituseid nii, et ruumiregulaatori näit on samal ajal viibimistsoonis mõõdetud õhu temperatuurist madalam (ehk kütteventiil avaneb varem) ja suveperioodil vastupidi - ruumitermostaadi näit võib samal ajal mõõdetud viibimistooni ruumiõhu temperatuurist kõrgem (jahutusventiili avaneb varem). Antud arhitektuurse avatud korruse lahendusega ruumitermostaatide paiknemine välisseinal (kõrgusel põrandast $\sim 1.5\text{m}$) töökohtade lähenduses tundub siiski optimaalseks. Alternatiivvõimalus ruumiregulaatorite paigaldusega näiteks välisseina vastastikule siseseinale (või vahelakke) tähendaks veel ebatäpsemat juhtimist nii kütte – kui ka jahutuse perioodil, kuna antud juhul ruumiregulaator oleks viibimis (kontroll-) toonist väljaspool ning kõige ebasoodsas positsioonis soojusliku sisekliima muutustele just viibimistooni suhtes (kiirgustemperatuuride mõju operatiivsele temperatuurile viibimistoonis). Välise temperatuuri anduri kasutamisega tekkiks analoogsed küsimused.

Lisaks tuleb juhtida tähelepanu, et antud tüüpi ruumiregulaatoritel on kalibreerimis võimaluse optsioon, mis tähendab temperatuuri korrigeerimisteguri sisestamist (COR).

Vastavalt hooneautomaatika süsteemi andmetele on igale tsoonile sisestatud individuaalne korrigeerimistegur (Tabel 19) eesmärgiga kompenseerida välisseina ja akende soojusliku mõju ruumiregulaatorite näidule, ehk viia ruumiregulaatorinäidud maksimaalselt võrdseks ruumiõhu temperatuuridele viibimistoonis.

Vastavalt autoril laekunud informatsioonile COR teguri määramiseks oli igast ruumist suveperioodil mõõdetud ruumiõhu temperatuur (väidetavalt töökoha juurest töölaua kõrguselt) ning võrreldud vastava tsooni ruumiregulaatori näiduga. Korrigeerimisteguri väärtuseks oli võetud nende väärtuste pool erinevust (nt ruumiregulaatori näit 26°C ja töökoha juures 25°C, siis korrigeerimistegur antud tsoonis on -0.5°C). Täpsemat infot korrigeerimisteguri määramisel kehtinud tingimuste kohta (välisõhu ja ruumiõhu-temperatuur, välisseina pinnatemperatuur, täpsed mõõtekohad vms) ning kasutatud mõõteseadmete osas autoril ei ole. Staatiliste korrigeerimisteguritega ei ole muidugi võimalik tagada maksimaalset mõõtetäpsust igale olukorrale, kuid avatud büroopindades võrreldes eraldi kabinettidega soojuslike parameetrite muutused on aeglasemad ning olukorrad on stabiilsemad. Seega väliskonstruktsioonide soojusliku mõju kompenseerimiseks ruumiregulaatori näidule avatud büroodes staatiliste korrigeerimistegurite kasutamine on õigustatud. Kuid nende väärtuste määramisel peab selgeks tegema, mis aastaajal ning mis tingimustes on ruumiregulaatorite „eksimus“ (näidu erinevus ruumiõhu temperatuurist töökoha juures) on suurem (nt. päikese mõju konkreetsele fassaadile).

Ruumiregulaatorite näitude kontrollimiseks kõik korrigeerimistegurid olid muudetud väärtusele 0°C.

Tabel 19. Torn2 13 korruse ruumiregulaatorite seadistused

	TE	SP	TV	FV	SP_MOD	COR	CoUSP	Dz	UAL	NSP
TC_13T2_03.1	21.7 °C	20.5 °C	0.0 %	0.0 %	22.5 °C	0.0 °C	22.5 °C	3.0 °C	1.0 °C	19.5 °C
TC_13T2_03.2	22.3 °C	20.5 °C	0.0 %	0.0 %	22.5 °C	0.0 °C	22.5 °C	3.0 °C	1.0 °C	19.5 °C
TC_13T2_05	23.1 °C	20.5 °C	0.0 %	0.0 %	22.5 °C	1.0 °C	22.5 °C	3.0 °C	1.0 °C	19.5 °C
TC_13T2_06.1	22.7 °C	20.5 °C	0.0 %	0.0 %	22.5 °C	0.0 °C	22.5 °C	3.0 °C	1.0 °C	19.5 °C
TC_13T2_06.2	22.0 °C	20.5 °C	0.0 %	0.0 %	22.5 °C	-0.3 °C	22.5 °C	3.0 °C	1.0 °C	19.5 °C
TC_13T2_06.3	22.5 °C	20.5 °C	0.0 %	0.0 %	22.5 °C	0.3 °C	22.5 °C	3.0 °C	1.0 °C	19.5 °C
TC_13T2_06.4	21.0 °C	20.5 °C	0.0 %	0.0 %	22.5 °C	-0.8 °C	22.5 °C	3.0 °C	1.0 °C	19.5 °C
TC_13T2_08.1	22.4 °C	20.5 °C	0.0 %	0.0 %	22.5 °C	0.1 °C	22.5 °C	2.0 °C	1.0 °C	19.5 °C
TC_13T2_08.2	21.8 °C	20.5 °C	0.0 %	0.0 %	22.5 °C	0.0 °C	22.5 °C	2.0 °C	1.0 °C	19.5 °C

4.2 Sisekliima lühiajalised mõõtmised kütte- ja jahutuse perioodil

4.2.1 Mõõtetulemuste koondandmed

Jahutuse perioodi mõõtetulemuste andmed on esitatud koondtabelis Tabel 21 .

Kütte perioodi mõõtetulemuste andmed on esitatud koondtabelis Tabel 22 .

Mõõtetulemuste koondtabelites punases värvis tähistatud mõõtepunktid (MP-T2-13.6, MP-T2-13.8, MP-T2-13.12, MP-T2-14.17, MP-T2-14.18, MP-T2-14.19) on punktid, kus vastavalt kasutaja infole esineb (esineb) ebamugav tõmbus.

Soojusliku sisekliima parameetrite **PMV**, **PPD**, t_o (operatiivne temperatuur) , $v_{a(1.1m)}$ (mõõdetud keskmine õhukiirus põrandast 1.1m), **DR** (tõmbusindeks) ning $dt_{a(1.1-0.1m)}$ (vertikaalne temperatuuri erinevus põrandast kõrgusel 1.1 /0,1m) mõõtetulemused on koondtabelites esitatud värviskaalas vastavalt allpool tabelis (

Tabel 20) toodud parameetrite normväärtustele sisekliima klasside kaupa.

Mõõdetud õhu temperatuurid ning suhtelise niiskuse tulemused ei ole värviskaalas näidatud, kuna antud parameetrid ei ole uuringu seisuga normeeritud.

Mõõtetulemuste koondtabelitesse on lisatud ka ruumiregulaatorite andmed (seadistused ning temperatuuri näidud). Siinjuures peab täpsustama, et ruumiregulaatorite temperatuuri näidud on võetud automaatikasüsteemi trendist (mitte ruumiregulaatorite pealt just mõõtmise ajal). Vastavalt hooneautomaatika süsteemi seadistustele mõõdetud informatsioon salvestatakse süsteemis intervalliga 5minutit (mõõtmine ja juhtimine toimub pidevalt, kuid automaatika süsteemi mahu ning kasutuskiiruse optimeerimiseks parameetrite salvestusperioodiks on kokkulepitud intervall 5 minutit). Kuna tegemist oli lühiajaliste mõõtmistega kestusega 3 minutit, siis on võimalik et trendist saadud ruumiregulaatorite temperatuuri näidud ei vasta tegelikele väärtustele kehtinud mõõtmise ajal.

Tabel 20. Soojusliku sisekliima parameetrite normväärtused vastavalt EVS-EN-16798-1:2019+NA:2019

SISEKLIIMA KLASSIDE JAGUNEMINE		ÜLDINE SOOJUSLIK MUGAVUS (KEHA SOOJUSLIK SEISUND TERVIKUNA)				KOHALIKUD SOOJUSLIKU SISEKLIIMA EBAMUGAVUSE KRITERIUMID			
Sisekliima klass (kategooria)	Ootused	PPD (%)	PMV	Operatiivne temperatuur (°C)		DR (%)	Maksimaalne õhukiirus (m/s)		Vertikaalne õhutemp. erinevus (°C) (1.1 - 0.1m kõrgusel)
				Talv (kütteperiood)	Suvi (jahutusperiood)		Talv (kütteperiood)	Suvi (jahutusperiood)	
I	Kõrged	< 6	-0,2 < PMV < +0,2	+21...+23	+23,5...+25,5	15	0,14	0,19	2
II	Keskmiised	< 10	-0,5 < PMV < 0,5	+20...+24	+23...+26	20	0,16	0,25	3
III	Tagasihoidlikud	< 15	-0,7 < PMV < 0,7	+19...+25	+22...+27	30			4

Tabel 21. Lühiajaliste mõõtmiste tulemuste koondtabel, jahutuse periood

Mõõtepunkt		MP-T2-13.1	MP-T2-13.2	MP-T2-13.3	MP-T2-13.4	MP-T2-13.5	MP-T2-13.6	MP-T2-13.7	MP-T2-13.8	MP-T2-13.9	MP-T2-13.10	MP-T2-13.11	MP-T2-13.12	MP-T2-13.13	MP-T2-13.15	MP-T2-13.16	MP-T2-14.17	MP-T2-14.18	MP-T2-14.19																			
Kuupäev		02.08.19	12.08.19	02.08.19	12.08.19	02.08.19	12.08.19	02.08.19	12.08.19	02.08.19	12.08.19	02.08.19	12.08.19	02.08.19	12.08.19	02.08.19	12.08.19	02.08.19	12.08.19	02.08.19																		
SSK parameeter		MÕÖTMISTULEMUSED																																				
t _{a(1.7m)}	°C	25,4	25,0	24,9	24,4	25,2	24,3	25,2	24,1	24,8	23,5	24,8	24,2	24,5	23,8	24,3	23,9	23,9	23,2	24,3	23,8	24,2	23,5	24,9	24,4	25,2	24,5	24,0	24,2	24,2	24,1	23,9						
t _{a(1.1m)}	°C	25,2	24,8	24,7	24,3	25,0	24,3	25,1	24,1	24,9	23,8	24,8	24,1	24,3	23,7	24,2	23,9	24,1	23,8	24,1	24,1	24,2	23,4	24,2	23,7	24,2	23,4	24,8	24,3	25,1	24,4	23,8	24,0	24,2	24,3	24,0		
t _{a(0.6m)}	°C	25,2	24,5	24,7	24,1	24,6	24,0	24,8	23,9	24,7	23,9	24,5	23,9	24,1	23,4	24,1	23,9	24,0	23,8	24,1	24,0	24,2	23,5	24,2	23,5	24,1	23,4	24,7	24,2	25,0	24,3	23,7	23,9	24,1	24,2	23,8		
t _{a(0.1m)}	°C	25,0	24,4	24,7	24,1	25,0	24,3	24,9	24,2	24,7	23,9	24,6	24,2	24,1	23,8	23,8	23,9	24,1	24,0	24,2	24,1	24,3	23,8	24,2	23,7	24,2	23,6	24,9	24,4	25,0	24,5	23,7	24,0	24,1	24,2	23,7		
V _{a(1.7m)}	m/s	0,03	0,05	0,07	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,11	0,26	0,06	0,04	0,06	0,04	0,11	0,08	0,15	0,26	0,32	0,14	0,25	0,27	0,06	0,07	0,11	0,11	0,07	0,10	0,11	0,10	0,08	0,07	0,19	0,12	0,08		
V _{a(1.1m)}	m/s	0,03	0,06	0,11	0,07	0,05	0,08	0,07	0,06	0,07	0,16	0,07	0,04	0,10	0,08	0,11	0,09	0,13	0,21	0,21	0,06	0,17	0,21	0,09	0,12	0,11	0,15	0,07	0,10	0,09	0,23	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09		
V _{a(0.6m)}	m/s	0,03	0,07	0,09	0,07	0,10	0,12	0,11	0,11	0,08	0,11	0,11	0,06	0,11	0,10	0,09	0,12	0,12	0,16	0,13	0,06	0,11	0,13	0,06	0,12	0,08	0,14	0,09	0,07	0,07	0,14	0,10	0,08	0,05	0,08	0,09		
V _{a(0.1m)}	m/s	0,11	0,12	0,06	0,07	0,08	0,10	0,10	0,09	0,14	0,09	0,08	0,06	0,13	0,06	0,21	0,11	0,06	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,10	0,13	0,08	0,14	0,09	0,05	0,11	0,08	0,13	0,08	0,06	0,09	0,16		
RH	%	32,8	53,3	33,7	57,5	33,9	57,3	34,1	58,0	34,7	57,7	35,1	58,0	36,6	56,7	35,6	57,0	36,2	56,0	35,8	56,2	35,8	56,5	36,2	56,5	36,9	57,0	35,2	54,2	35,0	53,6	37,1	54,0	37,4	52,5	54,5		
ÜLDISE SOOJUSLIKU SISEKLIIMA PARAMEETRID (KEHA KUI TERVIKU TERMIINE SEISUND)																																						
t _{o(0.6m)}	°C	25,3	24,7	25,0	24,3	25,7	24,4	25,4	24,2	24,9	23,9	24,8	23,8	24,3	23,5	24,3	24,0	24,2	24,1	24,1	24,3	23,7	24,3	23,8	24,2	23,6	24,9	24,4	25,1	24,6	24,0	24,2	24,5	24,1	24,0			
PMV _(0.6m)	-	0,08	0,04	0,00	-0,05	0,15	-0,12	0,04	-0,14	-0,03	-0,25	-0,11	-0,19	-0,25	-0,30	-0,21	-0,23	-0,32	-0,35	-0,39	-0,11	-0,25	-0,37	-0,19	-0,31	-0,20	-0,44	-0,01	-0,05	0,05	-0,15	-0,32	-0,12	-0,14	-0,13	-0,15		
PPD _(0.6m)	%	5,12	5,04	5,00	5,05	5,48	5,29	5,03	5,43	5,02	6,30	5,25	5,73	6,29	6,89	5,91	6,05	7,12	7,51	8,16	5,26	6,30	7,81	5,75	6,98	5,87	8,97	5,00	5,05	5,05	5,47	7,14	5,29	5,39	5,38	5,50		
t _{r(0.6m)}	°C	25,3	24,9	25,3	24,4	26,8	24,7	26,0	24,5	25,0	23,9	25,1	23,7	24,6	23,6	24,4	24,1	24,3	24,4	24,1	24,2	24,5	23,9	24,4	24,0	24,3	23,7	25,2	24,5	25,3	24,8	24,3	24,4	24,8	24,1	24,3		
KOHALIKUD SOOJUSLIKU SISEKLIIMA EBAMUGAVUSE PARAMEETRID																																						
dt _{a(1.1-0.1m)}	°C	0,1	0,4	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	-0,1	0,3	-0,1	0,2	0,0	0,2	-0,1	0,4	0,0	0,0	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,4	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,1	0,0	0,1	-0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,3		
DR _(1.1m)	%	0,0	3,0	7,2	3,9	1,4	5,5	3,4	2,9	4,0	17,4	3,9	0,0	8,2	5,8	9,7	7,7	13,3	23,5	23,6	3,5	18,2	22,8	5,9	9,9	9,9	13,5	4,0	6,6	6,1	24,2	8,5	7,5	7,6	7,8	6,9		
SD _(1.1m)		0,020	0,040	0,038	0,032	0,039	0,058	0,040	0,040	0,048	0,093	0,042	0,042	0,058	0,052	0,070	0,069	0,088	0,113	0,118	0,051	0,099	0,099	0,045	0,047	0,076	0,056	0,033	0,040	0,053	0,111	0,051	0,043	0,056	0,072	0,055		
Tu _(1.1m)	%	70,2	62,9	35,1	45,3	71,7	74,6	59,6	65,0	68,5	56,9	59,5	105,5	56,5	66,4	64,8	77,7	66,9	54,5	57,2	78,9	57,4	47,9	52,3	37,9	71,2	36,6	43,6	41,7	59,2	47,7	49,0	42,9	58,3	79,0	61,8		
RUUMIREGULAATORITE ANDMED																																						
TC _{CoUSP}	°C		22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5			
TC _{UAL}	°C		±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1			
TC _{Dz}	°C		2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0			
TC _{SP}	°C		21,5	21,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,0	22,1	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5		
TC _{TE}	°C		24,5	24,1	25,4	25,5	25,8	25,5	25,8	25,5	25,5	25,5	25,4	25,8	25,3	25,1	25,3	24,8	25,1	25,0	25,2	24,7	24,2	24,7	23,8	24,7	24,0	24,2	23,9	24,2	23,9	25,3	25,4	25,0	24,5	25,6		
COR	°C		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	1,5	1,5	1,0	1,0	1,5
t _{o(0.6m)} - TC _{TE}	°C		0,5	0,2	0,3	-1,1	-0,4	-1,3	-0,9	-1,6	-0,7	-1,6	-1,5	-1,8	-0,8	-1,3	-0,6	-1,0	-0,9	-1,1	-0,4	-0,5	-0,4	0,0	-0,5	-0,4	0,7	0,5	0,9	0,7	-1,3	-1,2	-0,5	-0,4	-1,6			

I sisekliima klass II sisekliima klass III sisekliima klass

Tabel 22. Lühiajaliste mõõtmiste tulemuste koondtabel, kütte periood

Mõõtepunkt		MP-T2-13.1	MP-T2-13.2	MP-T2-13.3	MP-T2-13.4	MP-T2-13.5	MP-T2-13.6	MP-T2-13.7	MP-T2-13.8	MP-T2-13.9	MP-T2-13.10	MP-T2-13.11	MP-T2-13.12	MP-T2-13.13	MP-T2-13.15	MP-T2-13.16	MP-T2-14.17	MP-T2-14.18	MP-T2-14.19																		
Kuupäev		28.10.19	17.02.20	28.10.19	17.02.20	28.10.19	17.02.20	28.10.19	17.02.20	28.10.19	17.02.20	28.10.19	17.02.20	28.10.19	17.02.20	28.10.19	17.02.20	28.10.19	17.02.20	28.10.19	17.02.20																
SSK parameeter		MÕÖTMISTULEMUSED																																			
t _{a(1.7m)}	°C	23,9	23,3	24,0	23,2	24,0	23,2	24,0	23,2	23,8	23,2	23,8	23,0	23,8	22,7	23,4	22,8	23,5	23,0	23,6	23,1	24,0	23,6	24,1	23,8	23,8	24,9	23,9	24,6	23,6	23,6	23,1	23,9	23,9	23,5		
t _{a(1.1m)}	°C	23,7	23,1	23,8	23,0	23,7	23,1	23,9	23,0	23,7	23,0	23,8	22,9	23,7	22,5	23,3	22,7	23,5	23,0	23,5	23,2	23,6	23,4	23,9	23,7	23,8	23,6	23,7	24,8	23,7	24,5	23,4	23,3	23,2	23,3	23,6	23,2
t _{a(0.6m)}	°C	23,3	22,7	23,5	22,7	23,4	22,6	23,5	22,5	23,5	22,5	23,4	22,5	23,3	22,2	23,1	22,4	23,2	22,8	23,2	23,0	23,3	23,1	23,5	23,2	23,3	23,2	23,6	23,8	23,4	23,6	23,0	22,7	23,0	22,7	23,0	22,7
t _{a(0.1m)}	°C	23,2	22,5	23,3	22,3	23,2	22,2	23,3	22,2	23,3	22,3	23,2	21,9	22,9	21,8	23,0	22,3	23,1	22,3	23,1	22,8	23,1	22,9	23,3	23,0	23,2	22,9	23,3	23,3	23,3	23,1	22,9	22,3	22,9	22,4	22,9	22,4
V _{a(1.7m)}	m/s	0,06	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,03	0,11	0,10	0,05	0,06	0,03	0,04	0,08	0,08	0,08	0,09	0,05	0,28	0,04	0,11	0,07	0,06	0,10	0,06	0,08	0,03	0,06	0,12	0,06	0,05	0,13	0,04	0,07	0,10
V _{a(1.1m)}	m/s	0,05	0,04	0,03	0,05	0,06	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,03	0,05	0,12	0,08	0,07	0,07	0,06	0,18	0,05	0,05	0,03	0,05	0,05	0,03	0,09	0,02	0,08	0,12	0,02	0,02	0,08	0,03	0,05	0,04
V _{a(0.6m)}	m/s	0,06	0,03	0,04	0,02	0,05	0,02	0,03	0,03	0,05	0,03	0,04	0,02	0,02	0,04	0,06	0,05	0,05	0,06	0,06	0,13	0,04	0,03	0,03	0,03	0,05	0,02	0,06	0,02	0,06	0,06	0,02	0,02	0,05	0,02	0,04	0,02
V _{a(0.1m)}	m/s	0,07	0,04	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,02	0,07	0,05	0,05	0,03	0,07	0,07	0,08	0,05	0,02	0,02	0,04	0,05	0,02	0,03	0,02	0,06	0,05	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03
RH	%	30,2	31,7	30,3	31,4	31,1	32,2	31,0	32,9	30,6	32,4	30,4	33,0	30,0	31,9	30,2	31,9	30,1	31,6	29,7	31,7	30,1	32,0	30,2	31,4	30,9	31,6	31,5	31,9	31,3	31,4	31,7	32,9	31,5	31,5	31,1	32,4
ÜLDISE SOOJUSLIKU SISEKLIIMA PARAMEETRID (KEHA KUI TERVIKU TERMLINE SEISUND)																																					
t _{o(0.6m)}	°C	23,6	22,6	23,5	22,2	23,2	22,2	23,5	22,0	23,4	22,0	23,3	21,9	23,0	21,6	23,2	22,6	23,1	22,8	23,4	22,8	23,6	22,9	23,4	22,8	23,4	23,3	23,5	23,4	23,1	22,4	23,0	22,3	23,5	22,3		
PMV _(0.6m)	-	0,35	0,16	0,35	0,08	0,28	0,08	0,34	0,03	0,33	0,04	0,30	0,01	0,24	-0,05	0,24	0,07	0,27	0,15	0,26	0,12	0,32	0,21	0,36	0,21	0,32	0,20	0,32	0,32	0,35	0,33	0,25	0,12	0,23	0,08	0,33	0,09
PPD _(0.6m)	%	7,53	5,52	7,48	5,13	6,65	5,13	7,47	5,03	7,25	5,04	6,90	5,00	6,15	5,04	6,19	5,11	6,56	5,45	6,38	5,28	7,12	5,94	7,63	5,94	7,15	5,85	7,18	7,14	7,54	7,33	6,35	5,30	6,09	5,15	7,31	5,18
t _{r(0.6m)}	°C	23,8	22,5	23,6	21,8	23,0	21,8	23,5	21,4	23,4	21,6	23,3	21,2	22,7	21,1	22,9	22,0	23,2	22,4	23,0	22,7	23,5	22,6	23,6	22,5	23,6	22,4	23,2	22,8	23,6	23,3	23,1	22,1	23,0	21,8	24,0	21,8
KOHALIKUD SOOJUSLIKU SISEKLIIMA EBAMUGAVUSE PARAMEETRID																																					
dt _{a(1.1-0.1m)}	°C	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,9	0,6	0,8	0,4	0,7	0,5	0,9	0,7	0,8	0,2	0,5	0,4	0,8	0,4	0,3	0,5	0,5	0,6	0,7	0,6	0,7	0,3	1,5	0,4	1,4	0,5	1,0	0,2	0,9	0,7	0,8
DR _(1.1m)	%	0,6	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	11,0	6,1	4,0	5,9	2,5	23,3	1,6	1,1	0,0	0,0	1,9	0,0	6,7	0,0	5,0	11,6	0,0	0,0	6,9	0,0	0,0	0,0
SD _(1.1m)		0,042	0,035	0,028	0,029	0,027	0,014	0,021	0,031	0,041	0,027	0,022	0,023	0,018	0,024	0,057	0,051	0,045	0,061	0,037	0,122	0,032	0,038	0,015	0,023	0,052	0,031	0,036	0,011	0,040	0,087	0,012	0,009	0,073	0,012	0,030	0,025
Tu _(1.1m)	%	82,7	81,1	80,2	59,8	44,6	38,5	52,8	85,1	75,6	72,2	47,8	58,6	65,0	44,8	46,9	65,6	67,4	82,7	63,1	68,0	58,5	71,8	46,0	48,5	94,9	91,8	38,2	46,4	52,4	73,0	49,4	37,6	93,8	46,6	64,2	65,5
RUUMIREGULAATORITE ANDMED																																					
TC _{CoUSP}	°C			23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	
TC _{UAL}	°C			±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	±1	
TC _{Dz}	°C			1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
TC _{SP}	°C			23,5	22,1	23,5	24,0	23,5	24,0	23,5	24,0	23,5	24,0	23,5	24,0	23,5	24,0	23,5	24,0	23,5	24,0	23,5	24,0	23,5	24,0	23,5	24,0	23,5	24,0	23,5	24,0	23,5	24,0	23,5	24,0	23,5	24,0
TC _{TE}	°C			22,6	21,3	23,3	22,3	23,1	22,4	23,2	22,5	23,1	22,5	23,0	23,2	22,5	23,1	22,9	23,3	22,8	23,2	22,9	22,9	22,7	23,0	22,8	22,9	22,5	23,2	22,5	23,0	22,5	22,9	22,8	22,6	22,7	22,9
COR	°C			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	1,5	1,5	1,0	1,0
t _{o(0.6m)} - TC _{TE}	°C			0,9	0,9	-0,1	-0,1	0,4	-0,4	0,2	-0,5	0,2	-0,6	0,0	-1,6	0,5	-0,9	0,3	-0,7	0,3	-0,4	0,5	-0,1	0,9	-0,1	0,6	-0,1	0,9	0,1	1,0	0,4	0,6	-0,5	0,2	-0,3		-0,6

I sisekliima klass II sisekliima klass III sisekliima klass

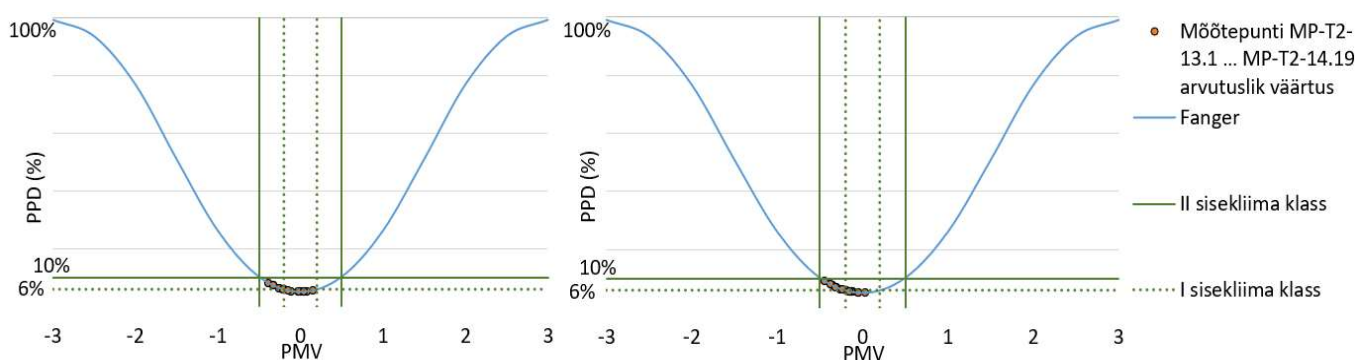
4.2.2 Üldine soojuslik mugavus

4.2.2.1 PMV ja PPD indeksid

Üldise soojusliku mugavuse iseloomustavad PMV ja PPD arvutuslikud indeksid (arvutatud välja vastavalt

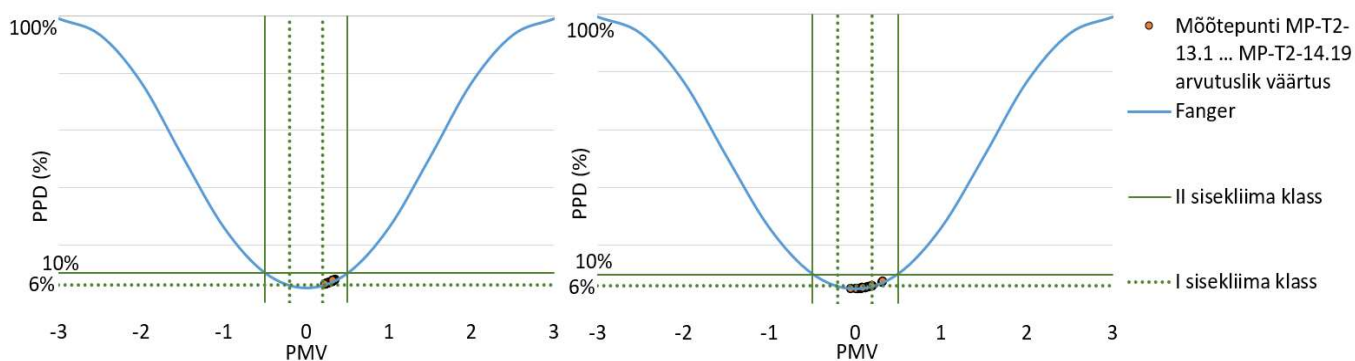
Lisa 1 toodud valemitele) vastavalt mõõtmistulemustele jahutuse perioodil on esitatud Joonis 11 ning kütte perioodil Joonis 12, kust on näha antud arvutuste tulemusi võrdluses Fangeri teoreetilise skaalaga.

Kõik mõõtepunktide tulemused vastavad vähemalt II. sisekliima klassile nii jahutuse- kui ka kütteperioodil (osad mõõtetulemused mahtusid ka I sisekliima klassi piiresse). Siinjuures tuleb pöörata tähelepanu, et nii jahutuse- kui ka kütteperioodil vähemalt II. sisekliima klassile vastasid ka mõõtepunkti MP-T2-13.13 tulemused (antud mõõtepunkt oli viibimistsoonist väljaspool-aknaga välisseina juures (Joonis 3)).



Joonis 11. PMV ja PPD indeksid jahutusperioodil (02.08.2019 vasakul ja 12.08.2019 paremal)

Jahutusperioodil läbiviidud mõõtmiste tulemused omavahel oluliselt ei erine, kuigi 02.08.2019 toimunud mõõtmisel sissepuhkeõhu temperatuur oli vastavalt ette seadistatud temperatuurigraafikule 20,2...21°C ning 12.08.2020 mõõtmisel sissepuhkeõhu temperatuur oli hoone automaatikasüsteemist „käsitsi“ seadistatud 18°C (vt Tabel 12). Vastavalt mõõtetulemustele soojuslik mugavus on jahutusperioodil normikohaselt tagatud. Osad mõõtepunktid on neutraalolukorrast (PMV=0) isegi nihkes kergel liiga jahe suunas. Antud mõõtepunktide tsoonis on võimalik soojusliku mugavust korrigeerida (vajadusel) ruumiregulaatori seadearvu tõstmisega.



Joonis 12. PMV ja PPD indeksid kütte perioodil (28.10.2019 vasakul ja 17.02.2020 paremal)

Kütteperioodil läbiviidud kahe mõõtepäeva tulemused omavahel erinevad ainult niipalju, et 28.10.2019 läbiviidud mõõtmiste tulemused vastasid kõik II. sisekliima klassile (veidi liiga kõrge operatiivne temperatuur - ülekütmine) ning 17.02.2020 mõõtmistulemused on peaaegu kõik vastavuses I. sisekliima klassiga (madalam operatiivne temperatuur).

4.2.2.2 Operatiivne temperatuur, suhteline niiskus

Operatiivse temperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse tulemused mõlemal mõõtmispäeval jahutusperioodil on esitatud Joonis 13 ja kütteperioodil Joonis 14.

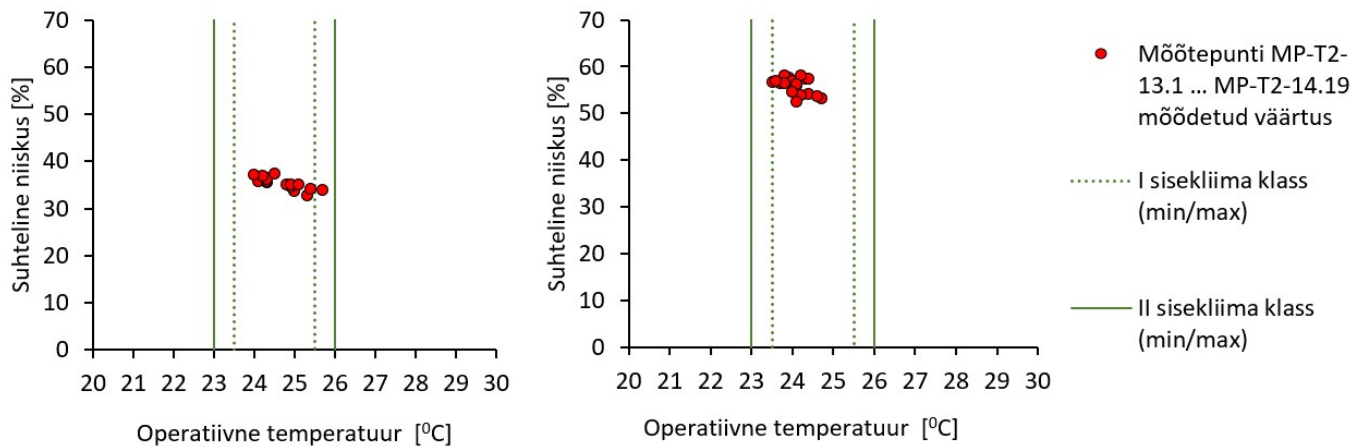
Nii jahutuse- kui ka kütteperioodil kõik mõõtepunktide operatiivtemperatuuri tulemused vastavad vähemalt II. sisekliima klassile. Tuleb pöörata tähelepanu, et nii jahutuse- kui ka kütteperioodil vähemalt II. sisekliima klassile vastasid ka mõõtepunkti MP-T2-13.13 tulemused (antud mõõtepunkt oli viibimistoonist väljaspool-aknaga välisseina juures (Joonis 3)).

Ruumiõhu suhtelise niiskuse soovituslikud piirid on 20...70%RH.

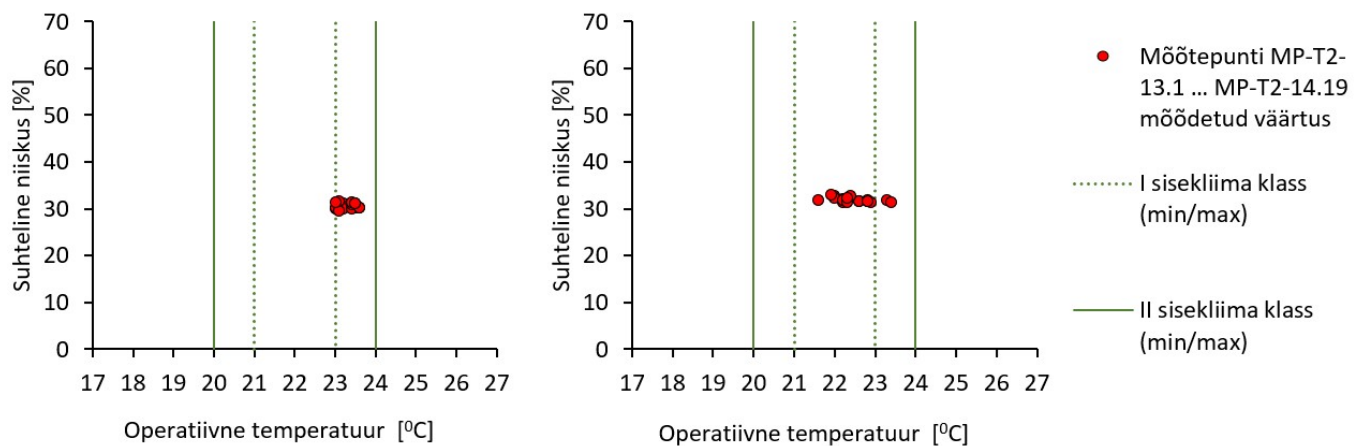
Vastavalt mõõtetulemustele ruumiõhu suhteline niiskus vastas soovituslikele väärtustele nii jahutuse – kui ka kütteperioodil.

Jahutusperioodil (Joonis 14) operatiivtemperatuuri mõõtetulemused on enamasti kõik vastavuses isegi I. sisekliima klassi nõuetega. Jahutusperioodil kahe mõõtepäeva tulemused omavahel erinevad ainult niipalju, et 02.08.2019 mõõdetud operatiivtemperatuurid olid veidi kõrgemad (maksimaalne 25,7°C ning enamus 24,0...25,0°C), kui 12.08.2019 (maksimaalne 24,7°C ning enamus 23,5...24,3°C).

Mõõtepäeval 02.08.2019 ruumiõhu suhteline niiskus (33...37RH%) oli madalam, võrreldes 12.08.2019 mõõtetulemustega (53...58RH%). Mõõtepäeva 12.08.2018 kõrgem ruumiõhu suhteline niiskus on tingitud eelkõige kõrgemast sissepuhkeõhu niiskusest (~10g/kg, 85%RH), võrreldes mõõtepäeval 02.08.2019 (~5.2g/kg, 36%RH).



Joonis 13. Mõõdetud operatiivne temperatuur ja suhteline niiskus jahutusperioodil (02.08.2019 vasakul ja 12.08.2019 paremal)



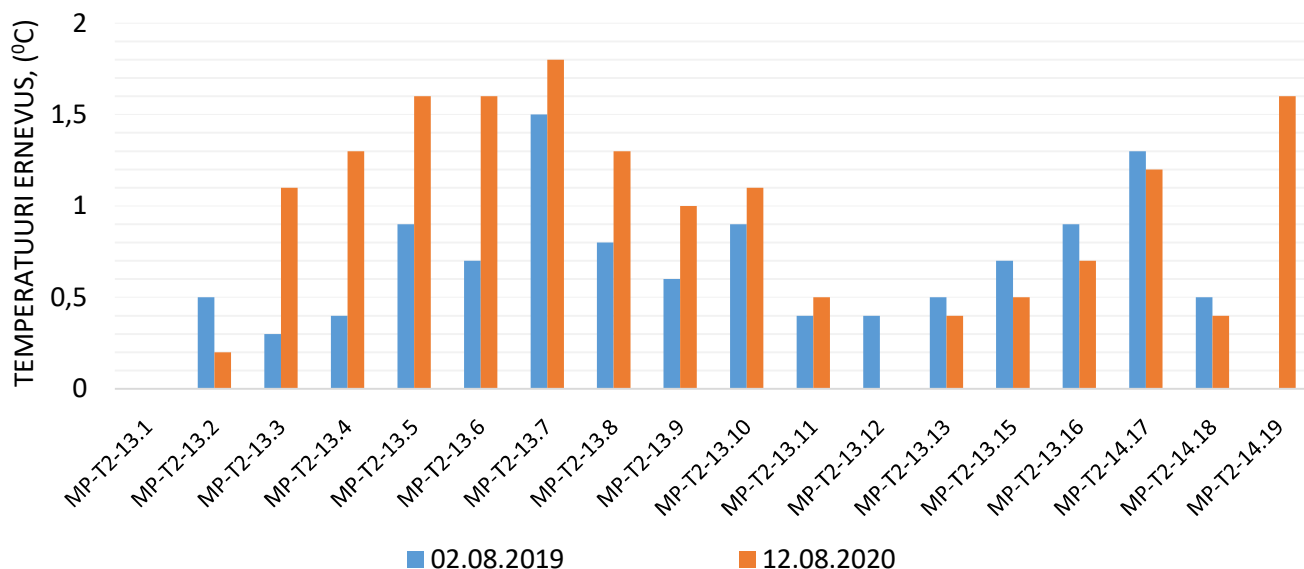
Joonis 14. Mõõdetud operatiivtemperatuur ja suhteline niiskus kütte perioodil (28.10.2019 vasakul ja 17.12.2020 paremal)

Kütteperioodil 28.10.2019 läbiviidud mõõtmiste tulemused vastasid kõik II. sisekliima klassile liiga kõrge operatiivse temperatuuri pärast (minimaalne 23,0°C ning enamus 23,3...23,6°C - ülekütmine) ning 17.02.2020 mõõtetulemused on peaaegu kõik vastavuses I. sisekliima klassile (minimaalne 21,6°C ning enamus 22,2...22,9°C). Mõlema kuupäeva mõõdetud ruumiõhu suhteline niiskus väga ei erine ning jääb vahemikusse 30..33% (minimaalne soovituslik 20%). Siinjuures tuleb pöörata tähelepanu, et suhteline niiskus on otseses sõltuvusest temperatuurist ning mõõdetud operatiivtemperatuurid on tundlikult kõrgemad, kui minimaalselt lubatud kütteperioodil. Seega suhtelise niiskuse parameetri parandamiseks on üks võimalus alandada ruumiõhu temperatuuri (temperatuuri alandamine 1°C võimaldaks suhtelise niiskuse tõusu ~3%).

Järgnevalt on analüüsitud ruumiregulaatorite temperatuurinäitude vastavust mõõdetud operatiivtemperatuuridele.

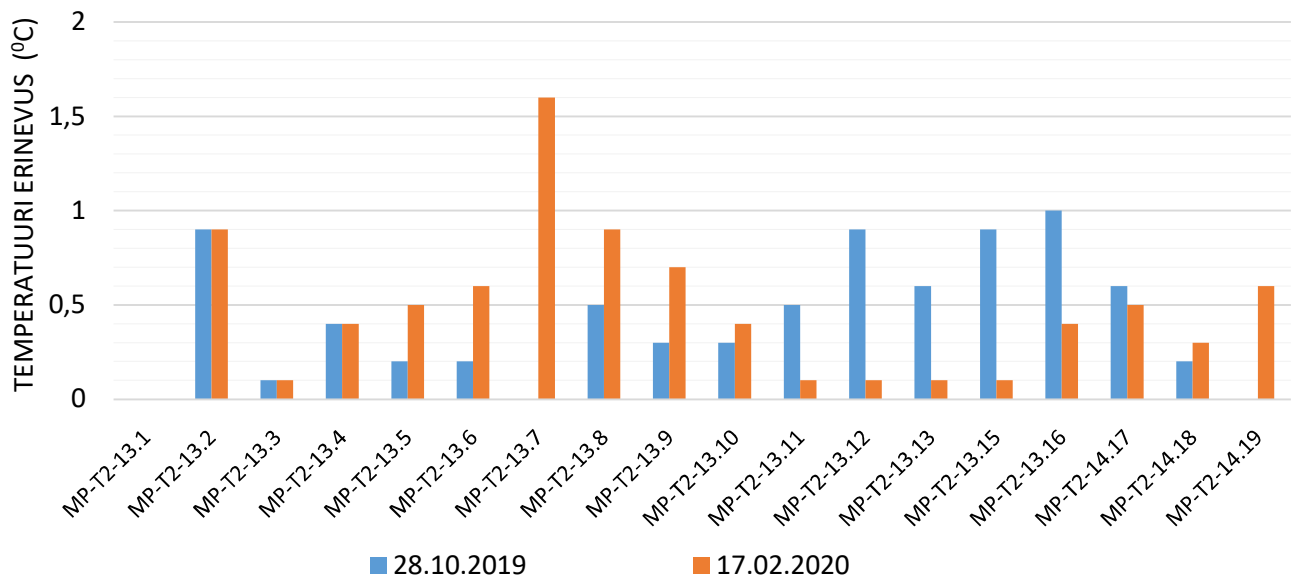
Absoluutne temperatuuride erinevus mõlemale mõõtmispäevale jahutuseperioodil on esitatud Joonis 15 ning kütteperioodil on esitatud Joonis 16 .

Detailsem info ruumiregulaatorite näitudest, seadistusest ning erinevusest operatiivtemperatuuridest on esitatud Tabel 21 (jahutusperiood) ja Tabel 22 (kütteperiood).



Joonis 15. Mõõdetud operatiivse temperatuuri ja ruumiregulaatori temperatuurinäidu absoluutne erinevus mõõtepunktide kaupa jahutusperioodil

Jahutusperioodil mõlema mõõtepäeva maksimaalne temperatuuri erinevus esineb mõõtepunktis MP-T2-13.7 (1.5°C ja 1.8°C vastavalt). Ruumiregulaatori ja mõõdetud operatiivtemperatuuri erinevus rohkem kui 0.7°C (ruumiregulaatori mõõtetäpsus $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ja operatiivse temperatuurianduri mõõtetäpsus $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$) esineb enamus mõõtepunktides mõõtepäeval 12.08.2019. Vastavalt Tabel 21 andmete põhjal mõlemal mõõtepäeval enamus mõõtepunktides (kaasa arvatud MP-T2-13.7) ruumiregulaatorite näidud on aga mõõdetud operatiivtemperatuuridest kõrgemad. Vastavalt Tabel 11 toodud välistingimuste andmete põhjal mõõtepäeval 12.08.2019 oli välisõhutemperatuur kõrgem kui mõõtepäeval 02.08.2019. Kuna ruumiregulaatorid paiknevad välisseinal, siis nende suurem „eksimus“ kõrgema välisõhutemperatuuriga mõõtepäeval 12.08.2019 on ilmselt tingitud välisseina ja akna soojusliku mõjuga (soojusjuhtivus, kiirgus). Antud olukorral siis vastava juhtimistooni jahutusventiilid avanevad veidi varem kui peaksid (vastavalt optimaalsele operatiivtemperatuurile viibimistsoonis).



Joonis 16. Mõõdetud operatiivse temperatuuri ja ruumiregulaatori temperatuurinäidu absoluutne erinevus mõõdepunktide kaupa kütteperioodil

Kütteperioodil mõlema mõõtepäeva enamus punktides ruumiregulaatori näidu ja mõõdetud operatiivtemperatuuri erinevus oli väiksem kui 0.7°C (ruumiregulaatori mõõtetäpsus $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ja operatiivse temperatuurianduri mõõtetäpsus $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$).

Kuid maksimaalne temperatuuri erinevus esineb jälle mõõdepunktis MP-T2-13.7. Vastavalt Tabel 22 andmetele antud punktis oli mõõtepäeval 17.02.2020 ruumiregulaatori näit operatiivtemperatuurist jälle kõrgem 1.6°C .

Võrreldes teiste mõõdepunktidega punkt MP-T2-13.7 on kabinetis (ülejäänud on avatud büroopindades), milles väga suure tõenäosusega tekitab lisa mõju suitsu-vaba trepikoja välisrõdu sein (sisuliselt välissein) - lisa kiirguspind, mis antud kabinetis (antud korrusel kõige suurem eri-soojuskaoga ruum köetava ruutmeetri kohta) võib päris tundlikult mõjutada operatiivtemperatuuri, mida ei tunneta ruumiregulaator. Antud olukorral ruumiseadme kütteventiil sulgub veidi varem kui peaks (optimaalse operatiivtemperatuuri seisukohalt). Ruumitemperatuuri korrigeerimiseks on kasutajale antud temperatuuri reguleerimisvõimalus koha pealt $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$. Siinjuures tuleb pöörata tähelepanu, et mõõdepunktis MP-T2-13.7 mõõdetud operatiivne temperatuur vastas I. sisekliima klassile nii jahutuse- kui ka kütteperioodi mõlemal mõõtepäeval (Tabel 22, Tabel 22).

4.2.3 Lokaalne soojuslik ebamugavus

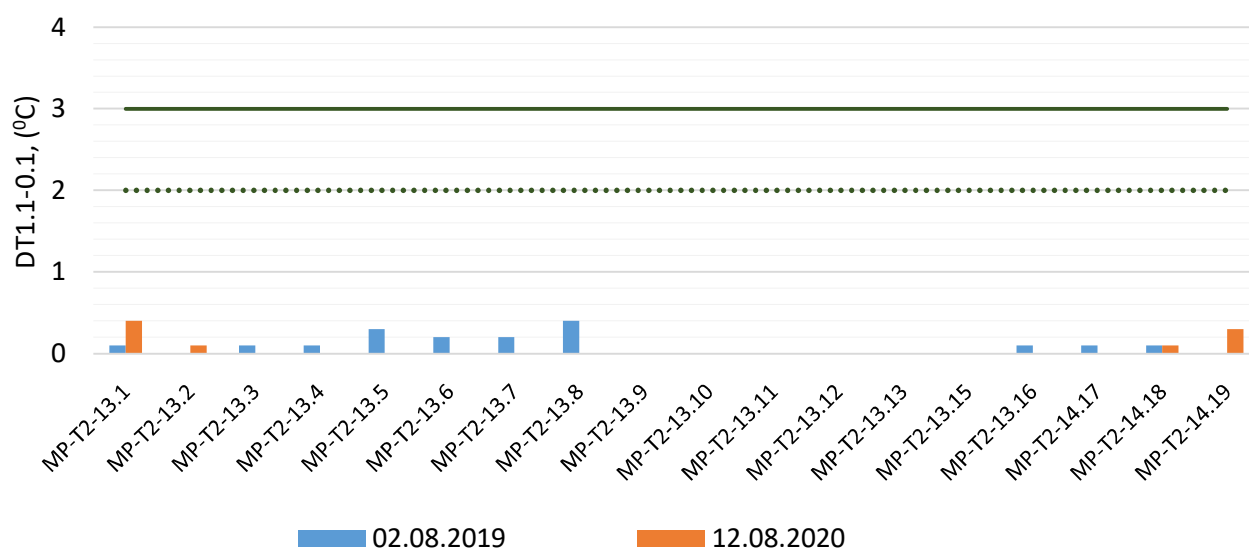
4.2.3.1 Vertikaalne temperatuuri erinevus

Vastavalt standardile EVS-EN 16798-1:2019+NA:2019 [10] on sisekliima klasside kirjeldamiseks kasutatud ka lokaalse soojusliku ebamugavuse parameetrit, mis näitab ruumitemperatuuri erinevust põrandast kõrgusel 0,1m ja 1,1m (vertikaalne temperatuuri erinevus). I.sisekliima klassile vastav vertikaalne temperatuuri erinevus $<2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja II.sisekliima klassis temperatuuride erinevus $<3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Eriti huvitav oli hinnata mõõtmistulemusi just kütteperioodil, kuna ruumikütteks on õhkküte lakke paigaldatud 4-toru aktiivpalkidega.

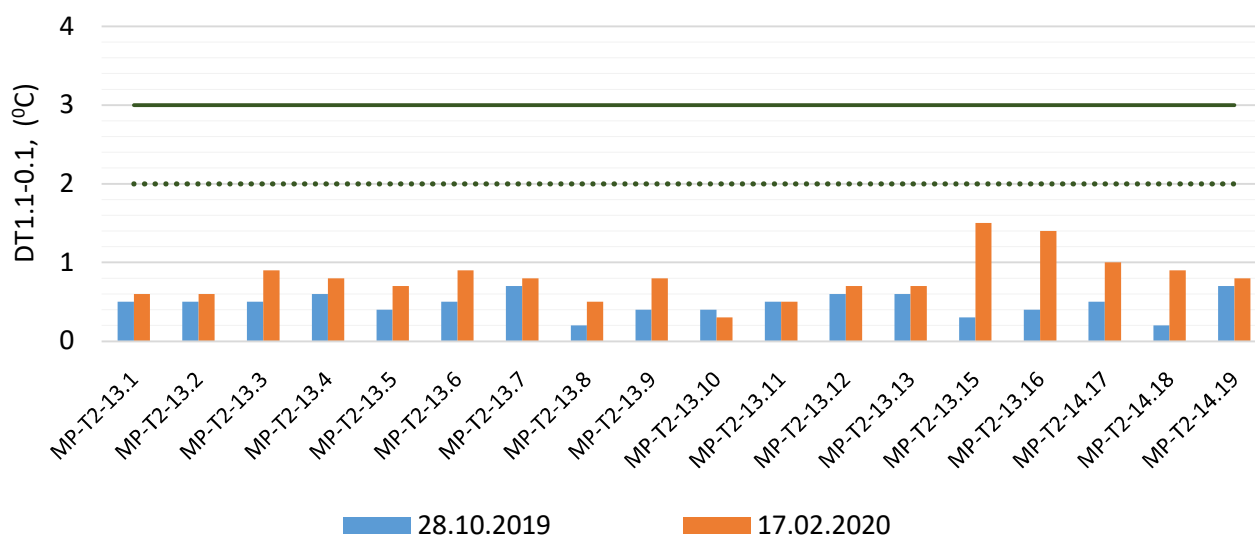
Vertikaalse temperatuurierinevuse tulemused mõlemal mõõtmispäeval jahutusperioodil on esitatud Joonis 17 ja kütteperioodil Joonis 18.

Kõigepealt on väga selgelt näha, et vertikaalne temperatuurierinevus antud kõrgustel jääb selgelt I-sisekliima klassi piiresse nii jahutuse kui ka kütteperioodil.



Joonis 17. Vertikaaltertemperatuuri erinevus $dt_{1.1-0.1}$ mõõtepunktide kaupa, jahutusperiood

Jahutusperioodil mõlema mõõtepäeva suurim vertikaalne temperatuurierinevus on 0.4°C , mis ei vaja lisa kommenteerimist.



Joonis 18. Vertikaaltemperatuuri erinevus $dt_{1.1-0.1}$ mõõtepunktide kaupa, kütte periood

Suurim vertikaalne temperatuurierinevus kütteperioodil on $1,5^{\circ}\text{C}$ ($VAT=4,5..6,4^{\circ}\text{C}$). Kütteperioodil enamus temperatuurierinevusi jääb aga kindlalt $0,8^{\circ}\text{C}$ piiresse sõltumata kas mõõtepunkt asus avatud büroos või kabinetis (MP-T2-13.7).

Lisaks tuleb pöörata tähelepanu mõõtepunkti MP-T2-13.13 tulemustele, mis ei erinenud ülejäänud mõõtepunktide tulemustest (mõõtepunkt MP-T2-13.13 oli viibimistoonist väljaspool - aknaga välisseina juures (Joonis 3)).

Seega saab öelda, et uurimisalas on ruumitemperatuurid vertikaalsel teljel suhteliselt ühtlased ka kütteperioodil. Sellele annab muidugi suurt mõju liginullenergiahoone nõuetele vastav õhu- ja soojapidavus .

4.2.3.2 Õhuliikumise kiirused ja tõmbusindeksid

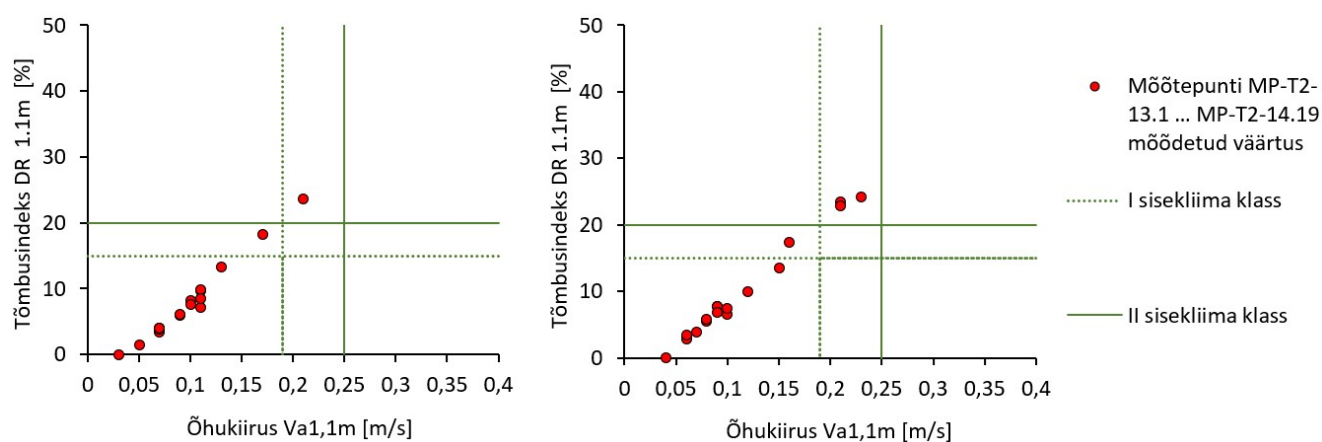
Õhukiiruse ja tõmbusindeksi tulemused mõlemal mõõtmispäeval jahutusperioodil on esitatud Joonis 19 ja kütteperioodil Joonis 20.

Enamus mõõtepunktide tulemused vastavad vähemalt II. sisekliima klassi nõuetele nii jahutuse- kui ka kütteperioodil (osad mõõtetulemused mahtusid ka I sisekliima klassi piiresse).

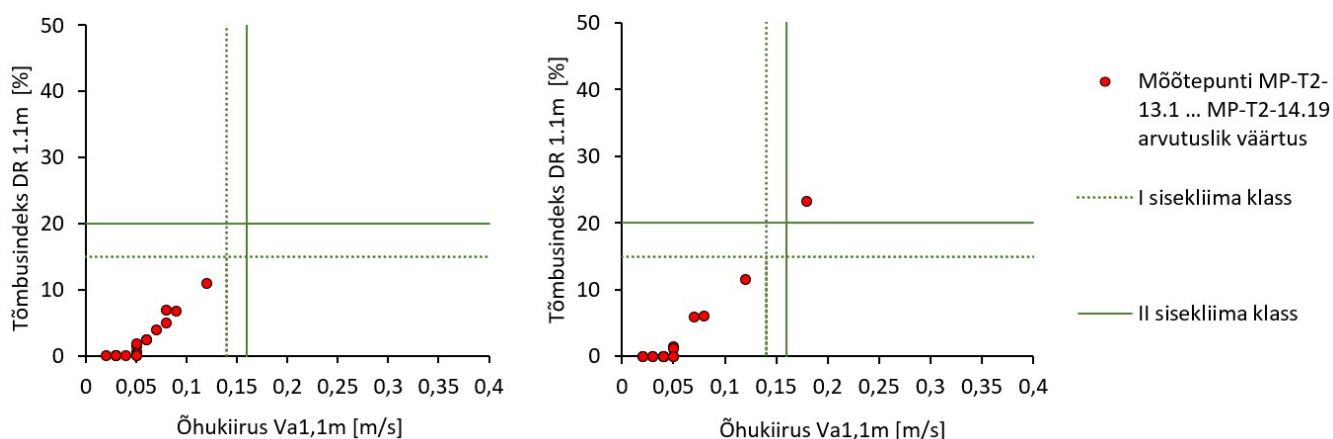
Jahutusperioodil tõmbusindeksi II. sisekliima klassi piirväärtuse ületamine esines mõõtepäeval 02.08.2019 ainult mõõtepunktis MP-T2-13.10, tingitud õhukiirusest $v_{a(1.1m)}=0,21\text{m/s}$ õhutemperatuuril $t_{a(1.1m)}=24,1^{\circ}\text{C}$ (Tabel 21). Kusjuures õhukiirus $0,21\text{m/s}$ ning temperatuur $24,1^{\circ}\text{C}$ iseenesest vastavad II. sisekliima klassi nõuetele.

Mõõtepäeval 12.08.2019 antud mõõtepunktis nii õhukiiruse kui ka tõmbusindeksi tulemused olid aga juba vastavuses isegi I. sisekliima klassi nõuetega.

Mõõtepäeval 12.08.2019 tõmbusindeksi II. sisekliima klassi piirväärtuse ületamine esines ainult mõõtepunktides MP-T2-13.9, MP-T2-13.11 ja MP-T2-13.16 (Tabel 21). Mõõtepäeval 02.08.2019 punktide MP-T2-13.9 ning MP-T2-13.16 õhukiiruse kui ka tõmbusindeksi mõõtetulemused vastasid I. sisekliima klassile ja mõõtepunkti MP-T2-13.11 tulemused olid vastavuses II. sisekliima klassi nõuetega. Seega antud mõõtepunktides olukorrad ei ole mõõtepäevadel kordunud. Ülejäänud mõõtepunktides mõlema mõõtepäeva tulemused on aga enam-vähem samad ning vastavad enamuses I. sisekliima klassile.



Joonis 19. Mõõdetud õhukiirused $v_{a(1.1m)}$ ja tõmbusindeksid jahutusperioodil (02.08.2019 vasakul ja 12.08.2019 paremal)



Joonis 20. Mõõdetud õhukiirused $v_{a(1.1m)}$ ja tõmbusindeksid kütte perioodil (28.10.2019 vasakul ja 17.02.2020 paremal)

Kütteperioodil tõmbusindeksi II. sisekliima klassi piirväärtuse ületamine esines ainult mõõtepäeval 17.02.2020 ja ainult mõõtepunktis MP-T2-13.10, tingitud eelkõige õhukiirusest $v_{a(1.1m)}=0,18\text{m/s}$. Mõõtepäeval 28.10.2019 antud mõõtepunktis õhukiiruse kui ka tõmbusindeksi tulemused aga vastasid isegi I. sisekliima klassi nõuetele (õhukiirus $0,06\text{m/s}$). Ülejäänud mõõtepunktides mõlema mõõtepäeva tulemused olid aga enam-vähem samad ning vastasid kõik I. sisekliima klassile.

Tuleb pöörata tähelepanu sellele, et kasutaja kaebustega mõõtepunktides õhukiiruste ja tõmbusindeksite kõik tulemused vastasid vähemalt II. sisekliima klassile nii jahutuse – kui ka kütte perioodil.

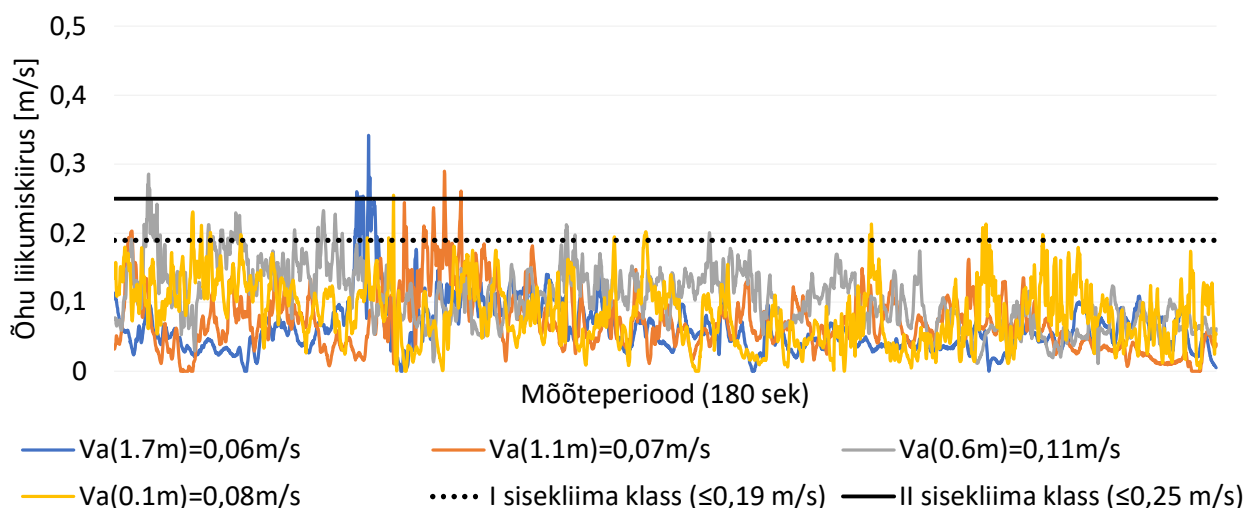
Kütteperioodil lubatud õhukiirused on väiksemad kui jahutusperioodil, kuna kütteperioodil suurema riietuse soojustakistuse pärast $\sim 1,0\text{Clo}$ kui soojal ajal $\sim 0,5\text{Clo}$ (Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4) inimkeha juures tekkiv konvektiivne õhuvool on väiksem, seega õhuliikumine (tõmbus) on kütteperioodil inimesel tundlikum, kui suveperioodil.

Muidugi tõmbustundlikkus sõltub ka õhu temperatuurist. Antud hoones on kasutatud segav tüüpi ventilatsioon (*mixing ventilation*). Kütte- ja jahutuse ruumiseadmeteks on uurimisalas kasutatud 4-toru aktiivpalgid, milledega ruumi ülemisse ossa (viibimistooni väljaspool) antakse värsket ning jahutatud või soojendatud õhku, mis viibimistooni peab normaalselt jõudma juba madalama kiirusega ning ruumiõhuga ühtlustatud temperatuuriga (sissepuhkeõhk segab ruumiõhuga ennem viibimistooni jõudmist). Siin muidugi mängib rolli ka sissepuhkeõhu-, soojus – külmakandja temperatuurigraafikud ning ka ruumiseadme kütte- / jahutuse reguleerventiili toimivuse põhimõte. Ehk olukorral kui külmakandja graafik on liiga madal ning jahutusventiil toimib on-off ventiilina risk, et viibimistooni jõudva õhu temperatuur tundlikult erineb ruumitemperatuurist ning sellega seonduv tõmbus oleks oluliselt suurem. Antud hoones on kasutatud proportsionaal-juhtimisega ruumiseadmete reguleerventiilid (sujuv avamine, mis põhineb ruumitemperatuuri muutuse analüüsil) ning suhteliselt kõrge külmakandja graafik. Mõõtepäeval 02.08.2019 kõige kõrgema operatiivtemperatuuriga mõõtepunktis MP-T2-13.3 külmakandaja pealevoolu temperatuuriga $16,5^{\circ}\text{C}$ avatud jahutusventiiliga olukorral jahutuspalgist väljuva õhu temperatuur oli $24,1^{\circ}\text{C}$ ning õhukiirus $1,6\text{ m/s}$ (mõõdetud palgi sissepuhkeelemendi juurest), kuid samal ajal antud punktis viibimistoonis kõrgusel põrandast $1,7\text{m}$ mõõdetud õhutemperatuur oli $25,2^{\circ}\text{C}$ ning õhukiirus $0,04\text{ m/s}$. Ehk antud hoones seadistatud temperatuurigraafikutega ning ruumiseadmete reguleerventiilide põhimõttega ei tohi viibimistoonis normaalselt tekkida tõmbusega seonduvat ebamugavust.

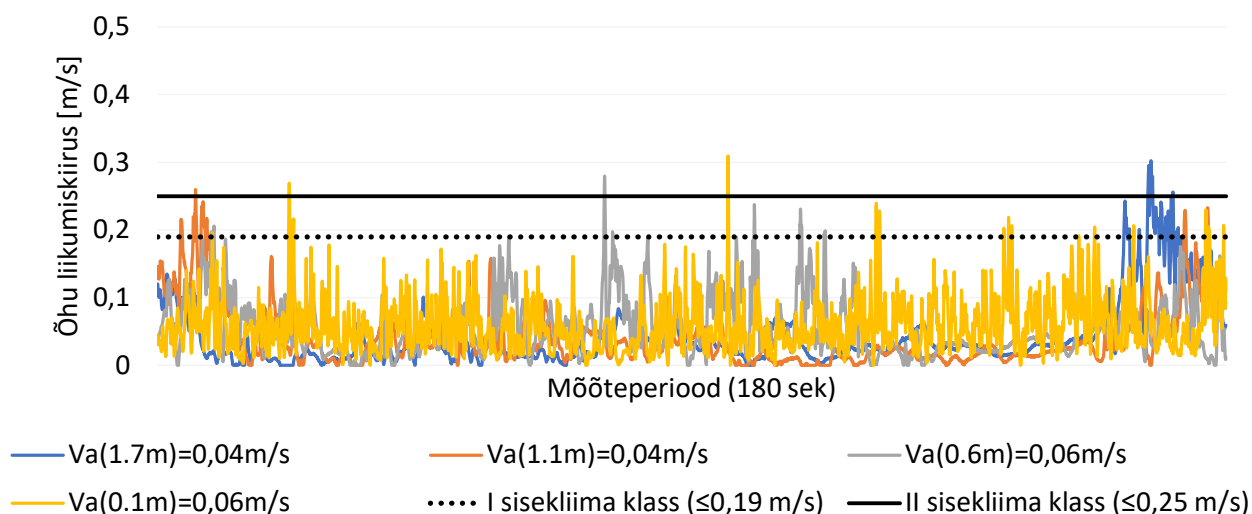
Järgnevalt on analüüsitud mõõdetud õhukiirused kasutaja kaebustega mõõtepunktidest (jahutusperioodil) ning mõõtepunktidest, kus saadud tulemused ületasid II sisekliima klassi piirväärtusi. Allpool joonistel (Joonis 21 - Joonis 38) on esitatud õhukiiruste

graafikud põrandast kõrgustel 0.1m, 0.6m, 1.1m ja 1.7m. Legendis kasutatud tähis $v_{a(1.7m)} = 0,06\text{m/s}$ tähendab mõõteperioodi (180sekundit) keskmist õhukiirust vastaval kõrgusel (1.7m). Lisaks on graafikutele lisatud normatiivpiirväärtuse jooned vastavalt I ja II sisekliima klassile jahutuse ja kütte perioodil.

Mõõtepunkt MP-T2-13.6 (mõõtepunkt kaebusega tõmbusele)



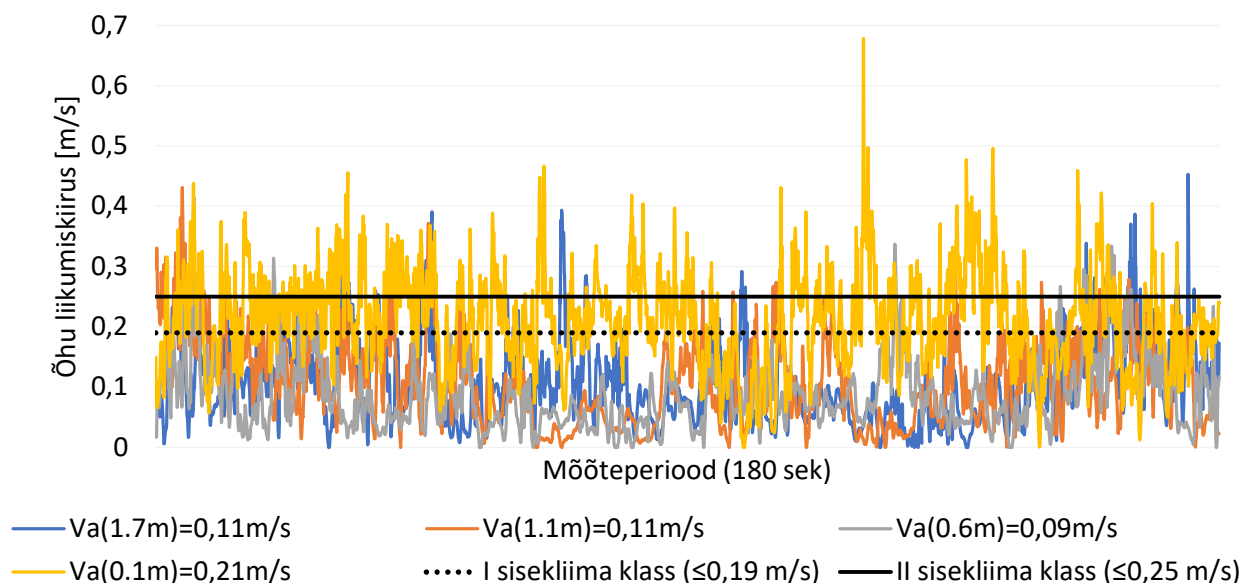
Joonis 21. Õhukiiruste graafik mõõtepunktis MP-T2-13.6 02.08.2019 (jahutuse periood)



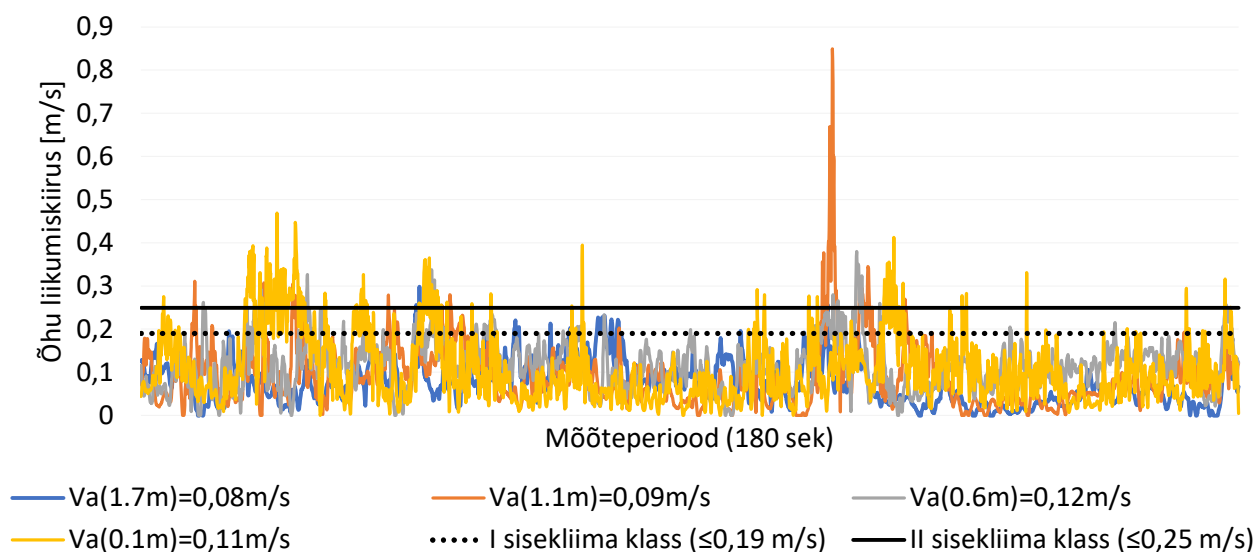
Joonis 22. Õhukiiruste graafik mõõtepunktis MP-T2-13.6 12.08.2019 (jahutuse periood)

Mõlema mõõtepäeva tulemused kõikidel kõrgustel on kenasti vastavuses I. sisekliima klassi nõuetega. Kuid esineb õhukiiruste kõikumine (turbulentsus) ning perioodilised ja lühiajalised tõusud üle piirväärtuse joone (põhiliselt mõõtekõrgusel 1.1m ja 1.7m).

Mõõtepunkt MP-T2-13.8 (mõõtepunkt kaebusega tõmbusele)



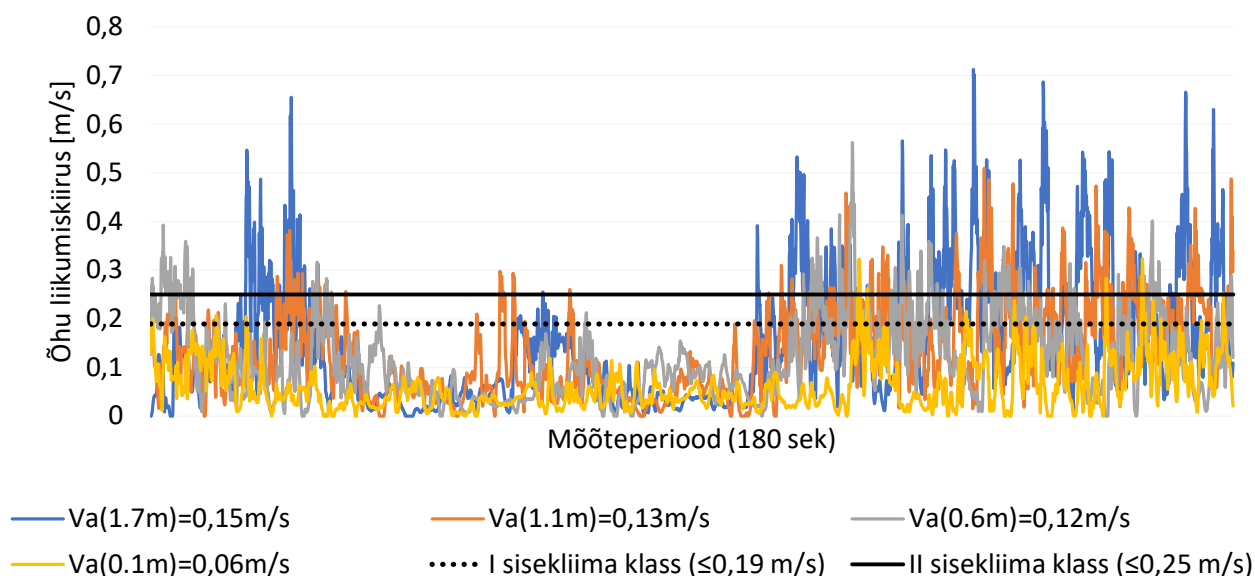
Joonis 23. Õhukiiruste graafik mõõtepunktis MP-T2-13.8 02.08.2019 (jahutuse periood)



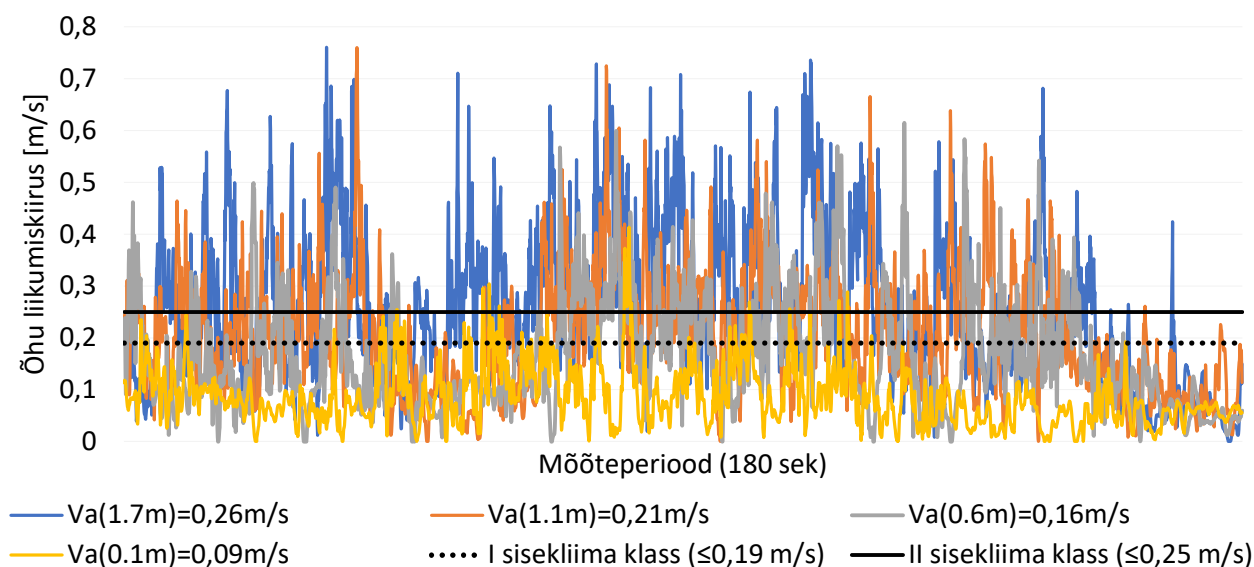
Joonis 24. Õhukiiruste graafik mõõtepunktis MP-T2-13.8 12.08.2019 (jahutuse periood)

Mõlema mõõtepäeva tulemused on enamuse vastavuses I. sisekliima klassi nõuetega (va mõõtepäev 02.08.2019 õhukiirus kõrgusel 0.1m, mis vastab II. sisekliima klassile). Kuid esineb õhukiiruste kerge kõikumine (turbulentsus) ning lühiajalised tsüklilised tõusud üle piirväärtuse joone (põhiliselt mõõtekõrgusel 0.1m, mis antud mõõtepunktis on suure tõenäosusega tingitud jahutuspalgi paigaldamisest välis- ja siseseina vahele kitsaskohta ning palgi suunajate (HVC) seadistusest (Joonis 42). Seinaga läheduses maksimaalselt avatud HVC elemendid suurendavad õhuliikumise kiirust just seinte ja põranda tsoonis.

Mõõtepunkt MP-T2-13.9



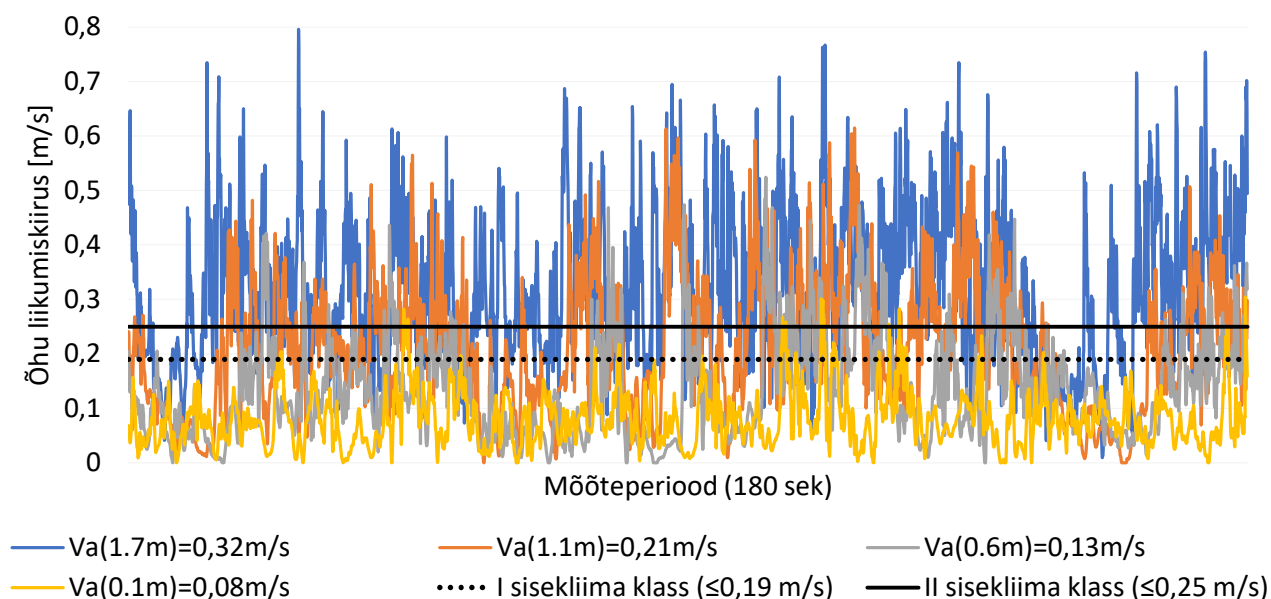
Joonis 25. Õhukiiruste graafik mõõtepunktis MP-T2-13.9 02.08.2019 (jahutuse periood)



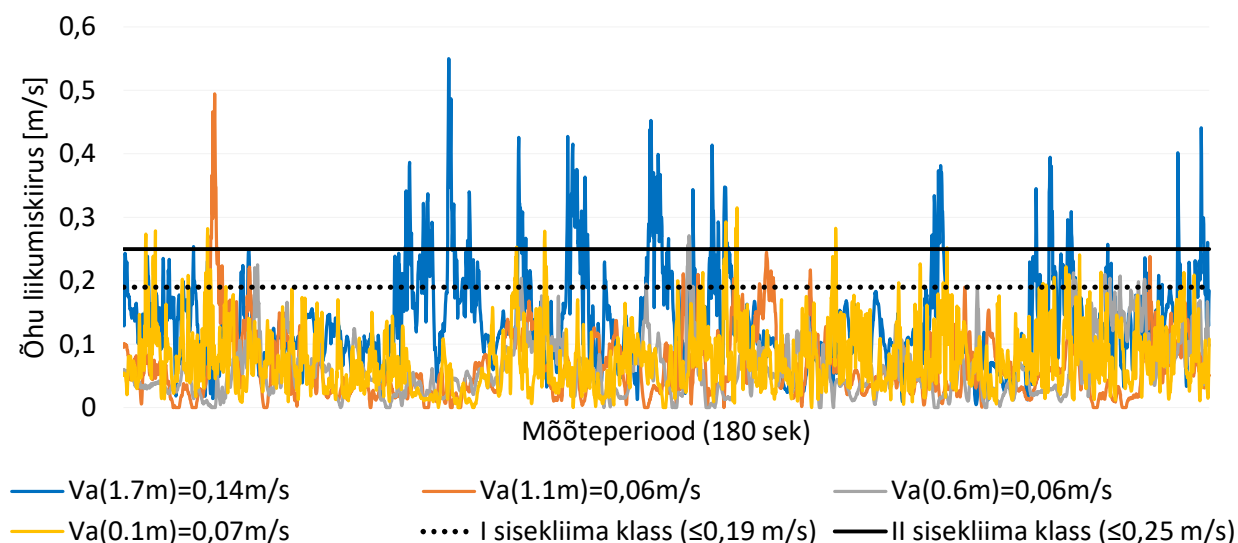
Joonis 26. Õhukiiruste graafik mõõtepunktis MP-T2-13.9 02.08.2019 (jahutuse periood)

Mõlema mõõtepäeva tulemused on vastavuses II. sisekliima klassi nõuetega (va mõõtepäev 12.08.2019 õhukiirus kõrgusel 1.7m). Kuid nagu graafikutest näeb, antud punktis kahe mõõtepäeva tulemused omavahel tundlikult erinevad: mõõtepäeval 02.08.2019 õhukiiruste kõikumine (turbulentsus) ning lühiajalised tsüklilised tõusud üle piirväärtuse joone on tihedam (mõõtekõrgusel 0.6, 1.1 ja 1.7m), mis võib kasutajal perioodiliselt tekitada ebamugavust (tõmbus) viibimistsoonis. Mõõtepäevade tulemuste erinevuse võimalik põhjus - õhurõhu muutused hoones.

Mõõtepunkt MP-T2-13.10 (jahutusperiood)



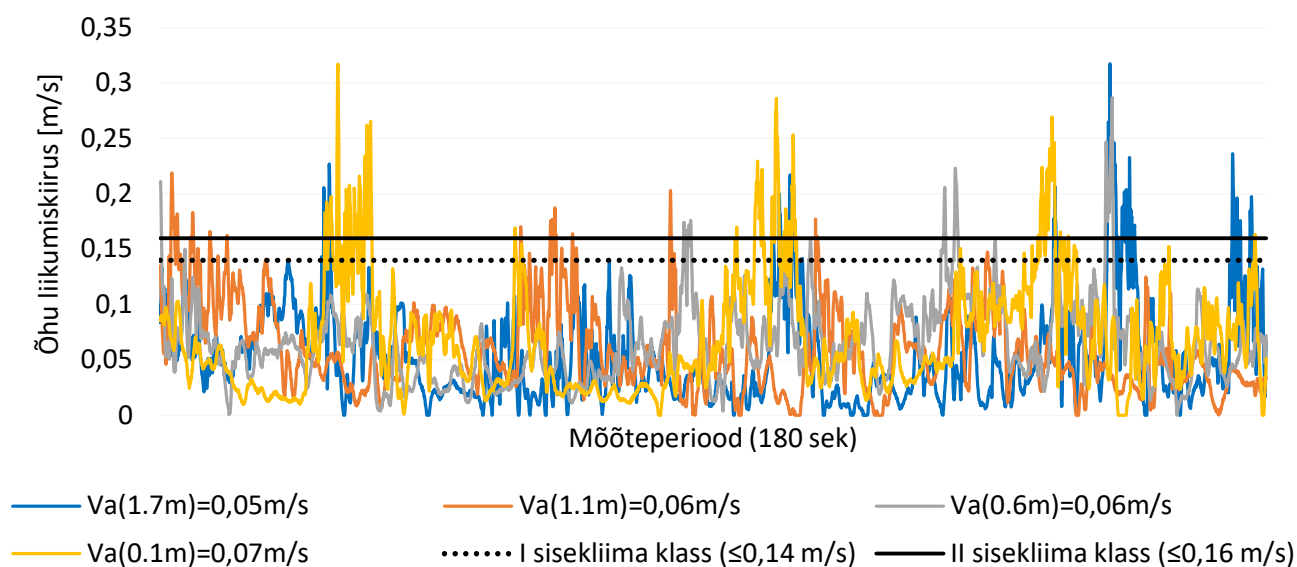
Joonis 27. Õhukiiruste graafik mõõtepunktis MP-T2-13.10 02.08.2019 (jahutuse periood)



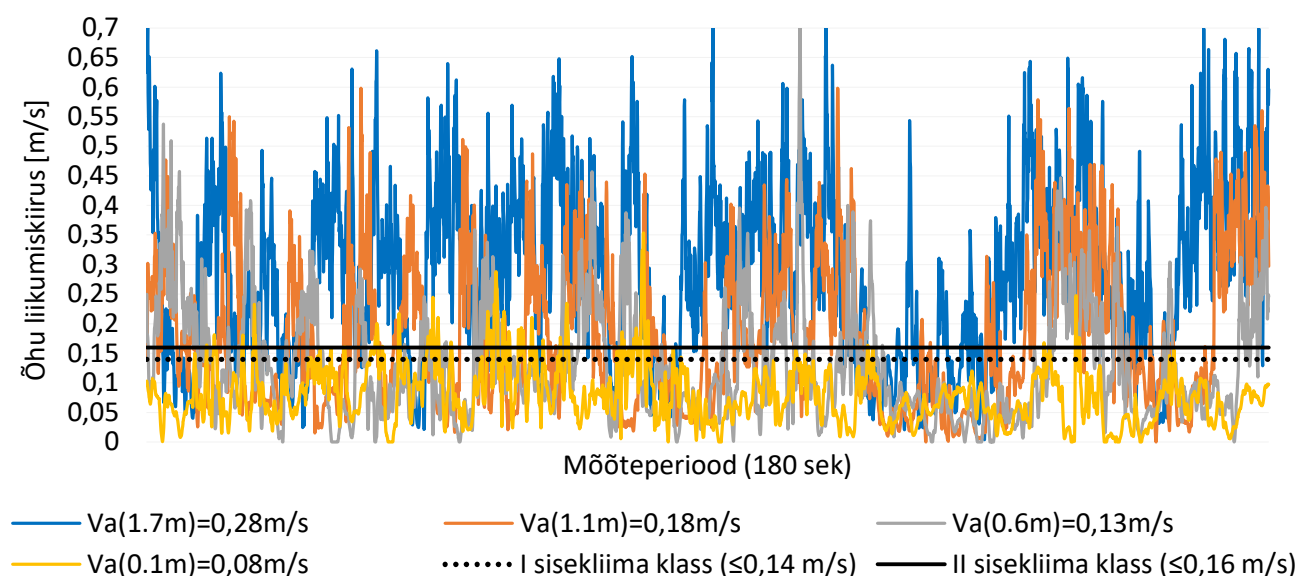
Joonis 28. Õhukiiruste graafik mõõtepunktis MP-T2-13.10 12.08.2019 (jahutuse periood)

Nagu graafikutest näeb, antud mõõtepunkti tulemused erinevad väga tundlikult. Antud erinevus ei või olla tingitud inimese liikumisest (mõõtmise ajal inimesi kohal ei olnud), sissepuhkeõhu temperatuurist (ruumiseadmest sissepuhkeõhu temperatuurid olid jahutusperioodi mõlema mõõtepäeval enam-vähem võrdsed) ja ruumitemperatuuridest. Seega on põhjust arvata, et mõõtepäeva 02.08.2019 õhukiiruste suuremad kõikumised on pigem põhjustatud õhurõhkude muutustega hoones.

Mõõtepunkt MP-T2-13.10 (kütte periood)



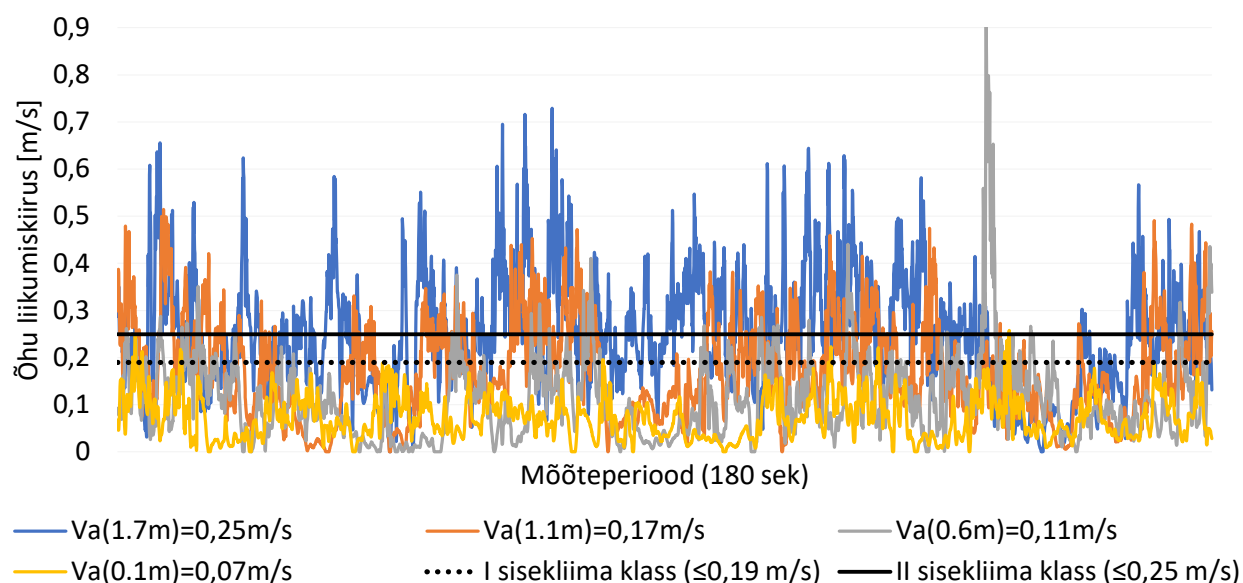
Joonis 29. Õhukiiruste graafik mõõtepunktis MP-T2-13.10 28.10.2019 (kütte periood)



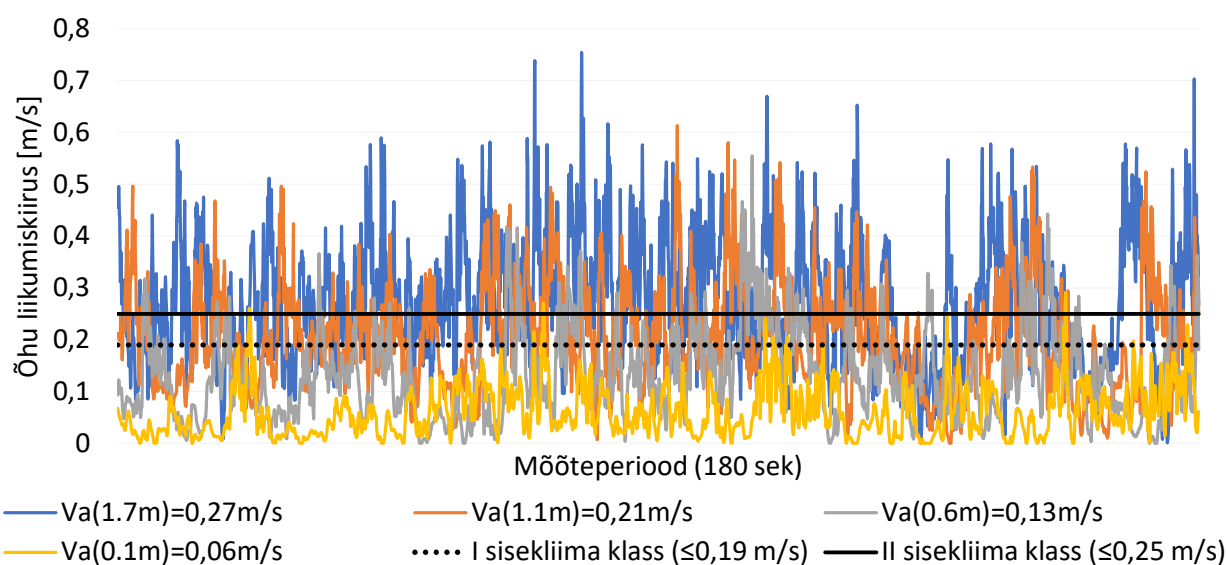
Joonis 30. Õhukiiruste graafik mõõtepunktis MP-T2-13.10 17.02.2020 (kütte periood)

Nagu graafikutest näeb, antud mõõtepunkti tulemused erinevad väga tundlikult. Antud erinevus ei või olla tingitud inimese liikumisest (mõõtmise ajal inimesi kohal ei olnud), sissepuhkeõhu temperatuurist (ruumiseadmest sissepuhkeõhu temperatuurid olid kütte perioodi mõlemal mõõtepäeval enam-vähem võrdsed) ja ruumitemperatuuridest. Seega on põhjust arvata, et mõõtepäeva 17.02.2020 õhukiiruste suuremad kõikumised on pigem põhjustatud õhurõhkude muutustega hoones.

Mõõtepunkt MP-T2-13.11



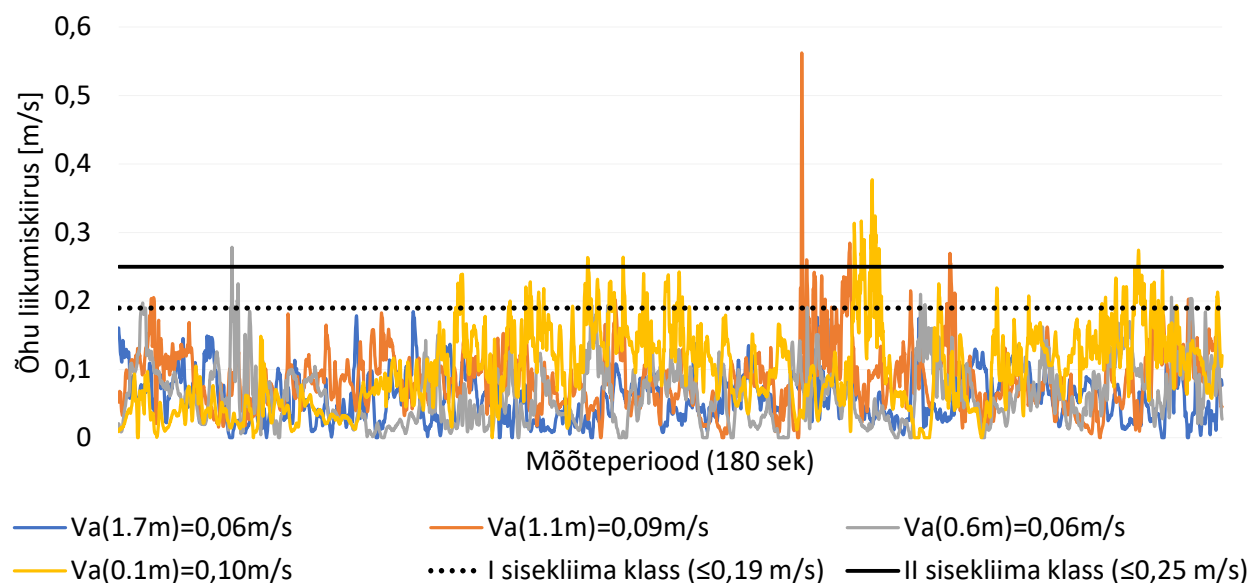
Joonis 31. Õhukiiruste graafik mõõtepunktis MP-T2-13.11 02.08.2019 (jahutuse periood)



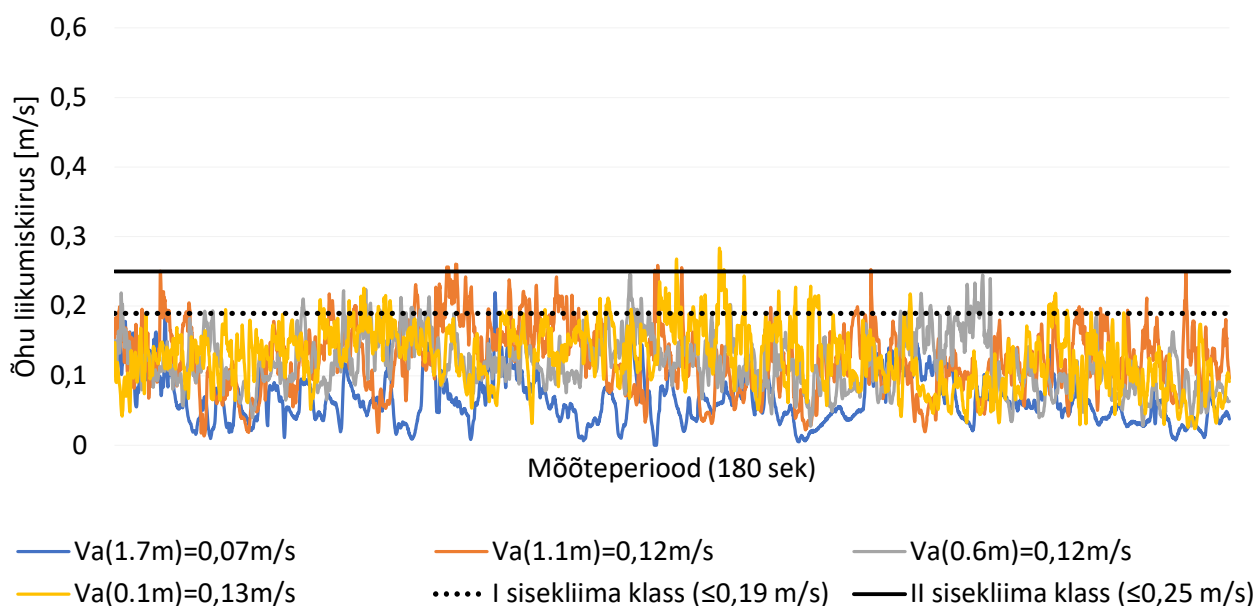
Joonis 32. Õhukiiruste graafik mõõtepunktis MP-T2-13.11 12.08.2019 (jahutuse periood)

Mõlema mõõtepäeva tulemused on vastavuses II. sisekliima klassi nõuetega (va mõõtepäev 12.08.2019 õhukiirus kõrgusel 1.7m). Kuid nagu graafikutest näeb, antud punktis kahe mõõtepäeva tulemused omavahel erinevad - mõõtepäeval 12.08.2019 õhukiiruste kõikumine (turbulentsus) ning lühiajalised tsüklilised tõusud üle piirväärtuse joone on suuremad (mõõtekõrgusel 0.6, 1.1 ja 1.7m), mis võib kasutajal perioodiliselt tekitada ebamugavust (tõmbustunnet) viibimistsoonis. Mõõtepäevade tulemuste erinevuse võimalik põhjus - õhurõhu muutused hoones.

Mõõtepunkt MP-T2-13.12 (mõõtepunkt kaebusega tõmbusele)



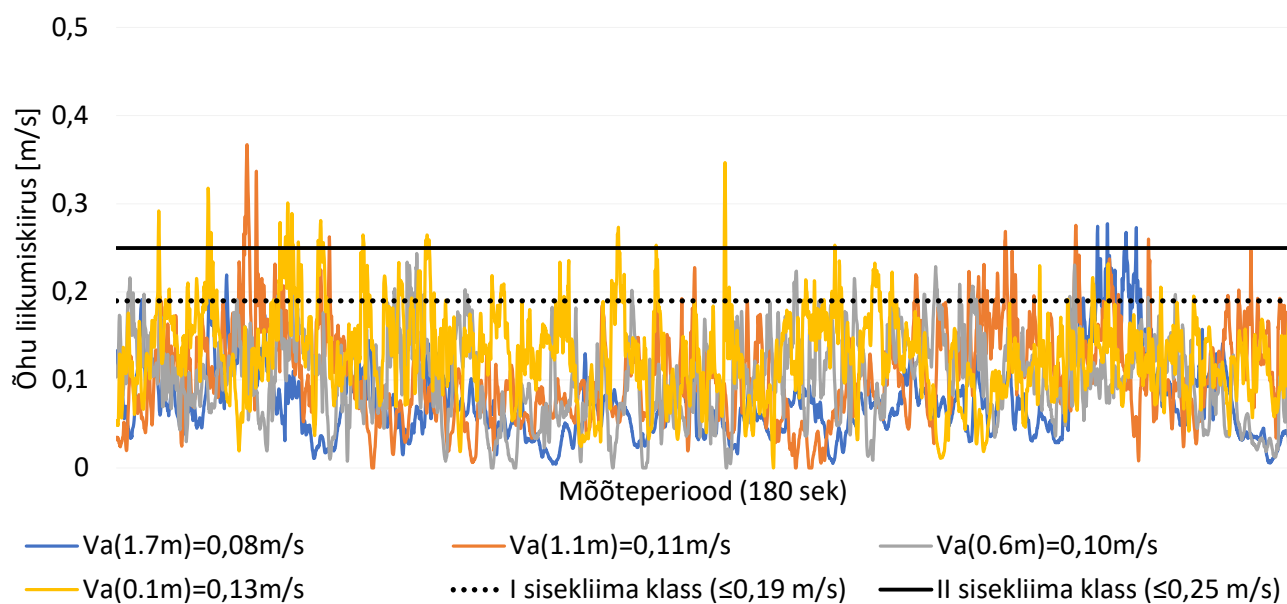
Joonis 33. Õhukiiruste graafik mõõtepunktis MP-T2-13.12 02.08.2019 (jahutuse periood)



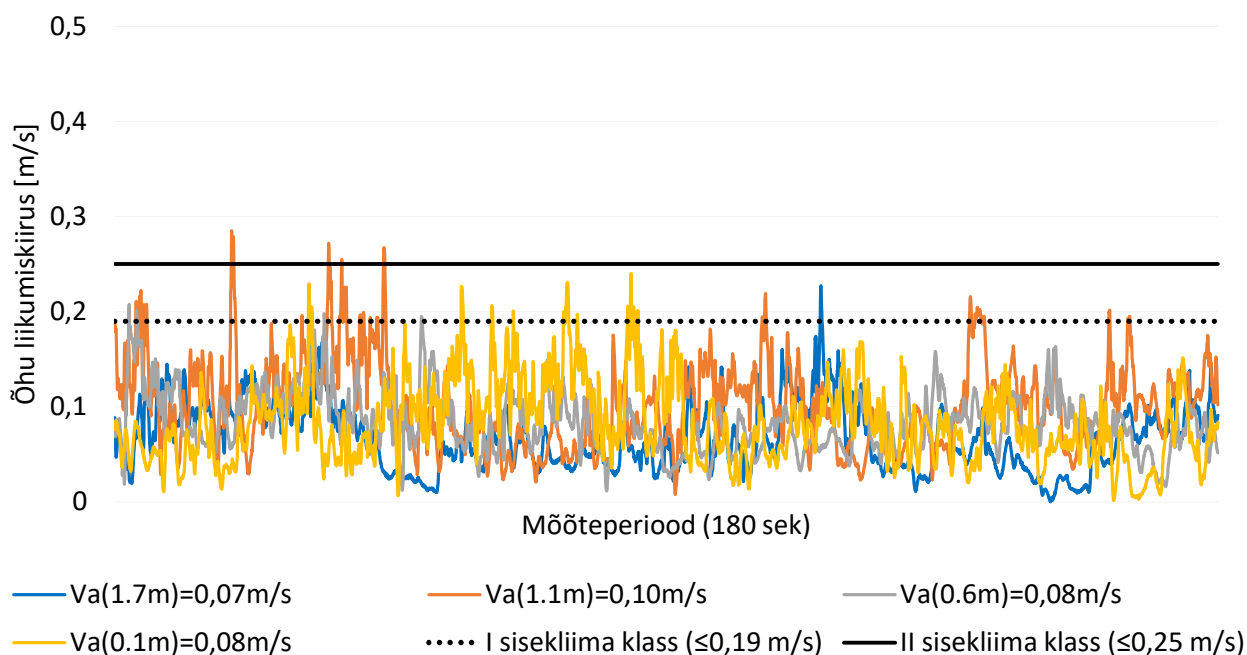
Joonis 34. Õhukiiruste graafik mõõtepunktis MP-T2-13.12 12.08.2019 (jahutuse periood)

Mõlema mõõtepäeva tulemused on kõik vastavuses I. sisekliima klassi nõuetega. Õhukiiruste kõikumine (turbulentsus) esineb põhiliselt alla II. sisekliima klassi piirväärtuse joone.

Mõõtepunkt MP-T2-14.17 (mõõtepunkt kaebusega tõmbusele)



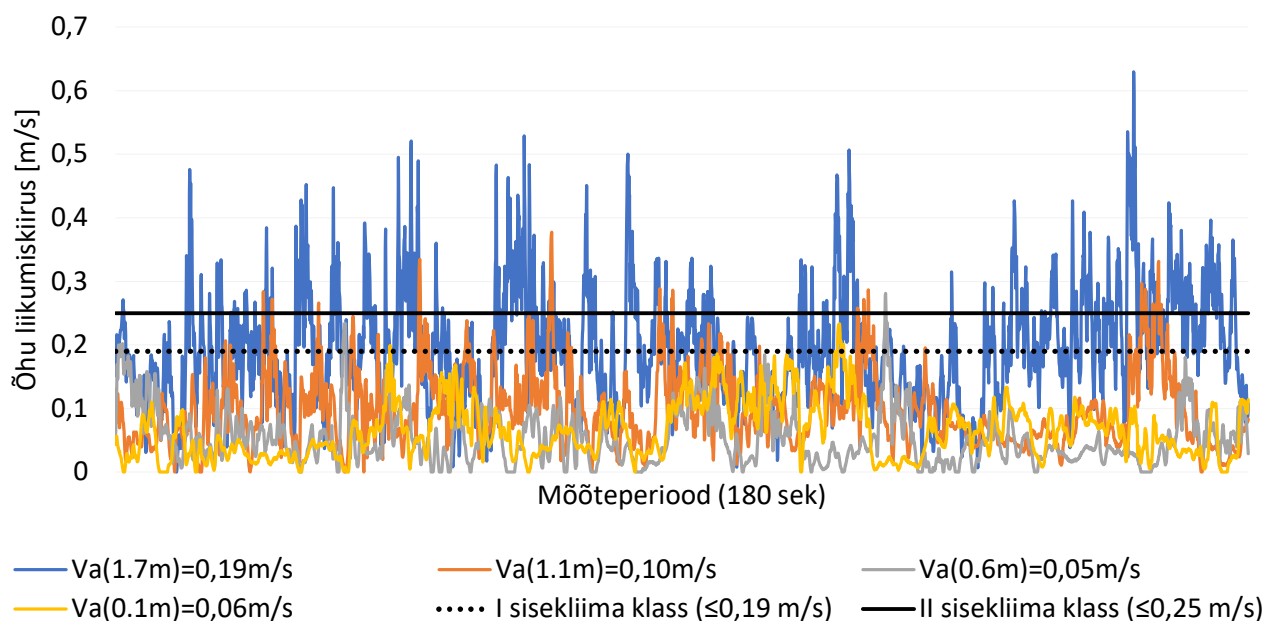
Joonis 35. Õhukiiruste graafik mõõtepunktis MP-T2-14.17 02.08.2019 (jahutuse periood)



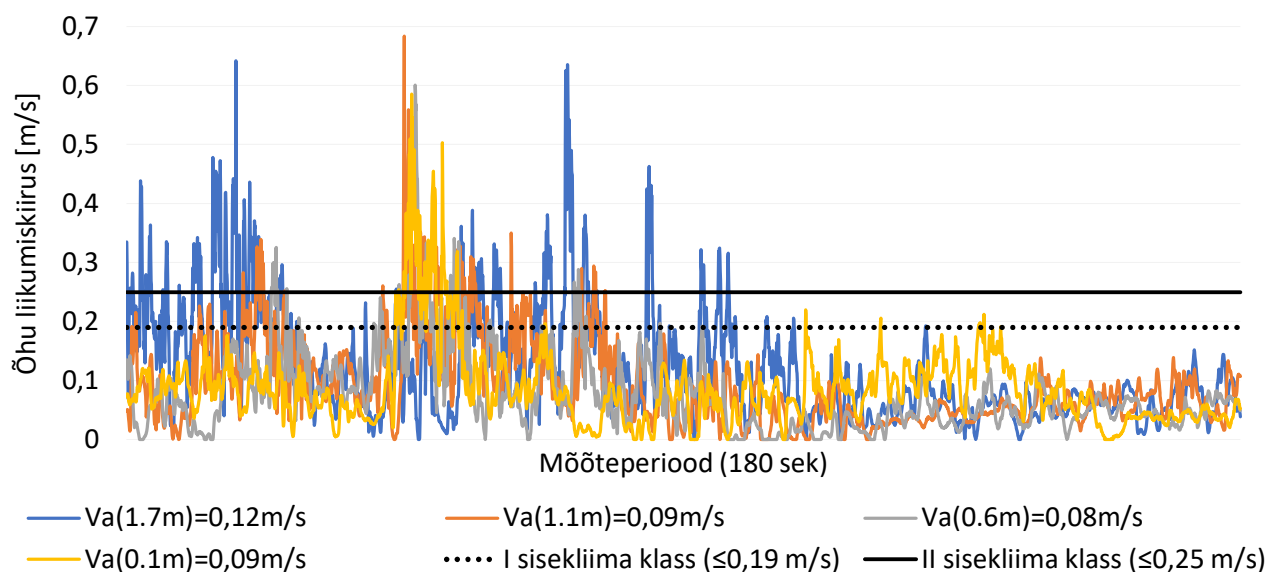
Joonis 36. Õhukiiruste graafik mõõtepunktis MP-T2-14.17 12.08.2019 (jahutuse periood)

Mõlema mõõtepäeva tulemused on kõik vastavuses I. sisekliima klassi nõuetega. Õhukiiruste kõikumine (turbulentsus) esineb põhiliselt alla II. sisekliima klassi piirväärtuse joone.

Mõõtepunkt MP-T2-14.18 (mõõtepunkt kaebusega tõmbusele)



Joonis 37. Õhukiiruste graafik mõõtepunktis MP-T2-14.18 02.08.2019 (jahutuse periood)



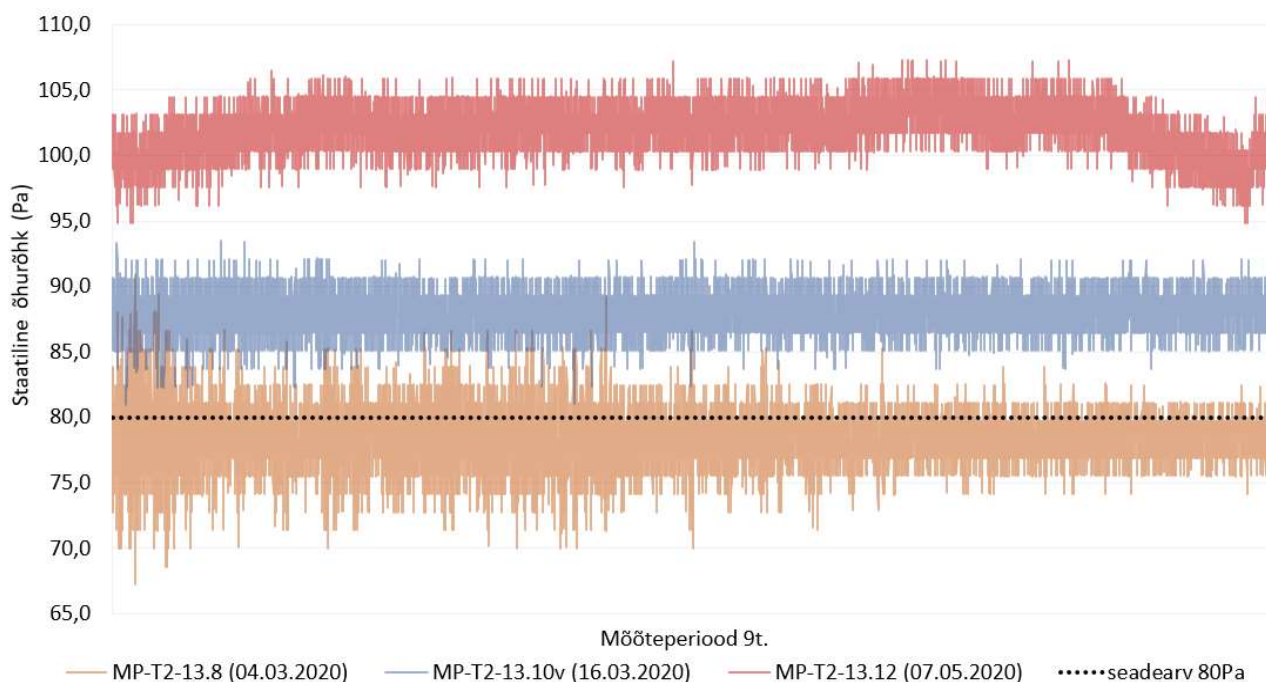
Joonis 38. Õhukiiruste graafik mõõtepunktis MP-T2-14.18 12.08.2019 (jahutuse periood)

Mõlema mõõtepäeva tulemused on vastavuses II. sisekliima klassi nõuetega. Kuid nagu graafikutest näeb, antud punktis kahe mõõtepäeva tulemused omavahel erinevad - mõõtepäeval 02.08.2019 õhukiiruste kõikumine (turbulentsus) ning lühiajalised tsüklilised tõusud üle piirväärtuse joone on tihedamad (mõõtekõrgusel 1.1 ja 1.7m), mis võib kasutajal tekitada ebamugavust (tõmbustunnet) viibimistsoonis. Mõõtepäevade tulemuste erinevuse võimalik põhjus - õhurõhu muutused hoones.

4.3 Staatilise õhurõhu mõõtmine jahutustalades

Jahutustalade staatilise õhurõhu mõõtmine on tehtud eelkõige kaebustega mõõtepunktidest MP-T2-13.8, MP-T2-13.12 ning lisaks mõõtepunktis MP-T2-13.10v, kus kütte perioodi mõõtepäeval 17.02.2020 oli täheldatud õhukiiruste suured kõikumised.

Staatilise õhurõhu mõõtetulemused on esitatud graafiku kujul Joonis 39.



Joonis 39. Torn 2 13 korruse jahutustalade staatilise õhurõhu graafik

Mõõtepunktis MP-T2-13.12 mõõdetud staatiline rõhk (keskväärtus 103Pa) esiteks tundlikult ületab projekteeritud väärtuse 80Pa, teiseks - staatiline õhurõhk lisaks muutub. Antud olukord võib viibimistoonis põhjustada lubatud piirväärtusest kõrgemat õhukiirust ning sellega seonduvat lokaalset soojusliku ebamugavust kasutajal (tõmbus).

Mõõtepunktis MP-T2-13.10v mõõdetud staatiline rõhk ka ületab projekteeritud väärtust, mis võib ka olla viibimistoonis piirväärtusest kõrgema õhukiiruse põhjuseks. Mõõdetud keskväärtusest 87Pa kõikumine ei ületa ± 3 Pa, seega see võib olla mõõteseadme enda mõõtetäpsusega seonduv kõikumine.

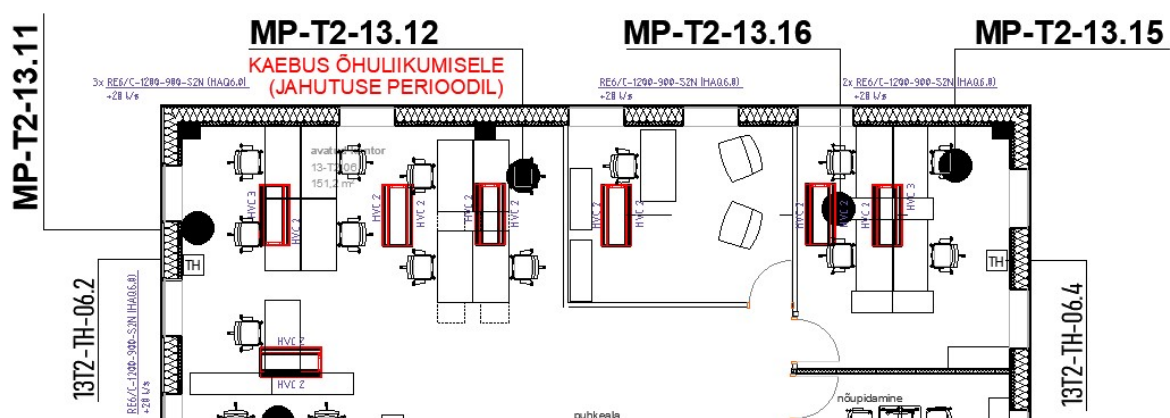
Mõõtepunktis MP-T2-13.8 mõõdetud keskmine väärtus ~ 78 Pa vastab projekteeritud väärtusele, kuid graafikust saab näha, et mõõdetud staatiline õhurõhk kõigub keskväärtusest ± 10 Pa ulatuses. Antud olukord võib olla tingitud õhurõhkude erinevusest ning muutustest hoones ja ventilatsioonisüsteemides, mis omakorda võib põhjustada soojusliku ebamugavust kasutajal viibimistoonis.

Tuleb pöörata tähelepanu , et antud mõõtmised olid tehtud erineval perioodil.

Punktis MP-T2-13.08 mõõtmine toimus tavaolukorra ajal. Punktides MP-T2-13.10v ja MP-T2-13.2 on mõõtmised läbiviidud juba Covid 19 eriolukorra ajal, mil hoone kasutamine oli võrreldes tavaolukorraga väga piiratud (inimeste arv hoones, liftide kasutamine vms).

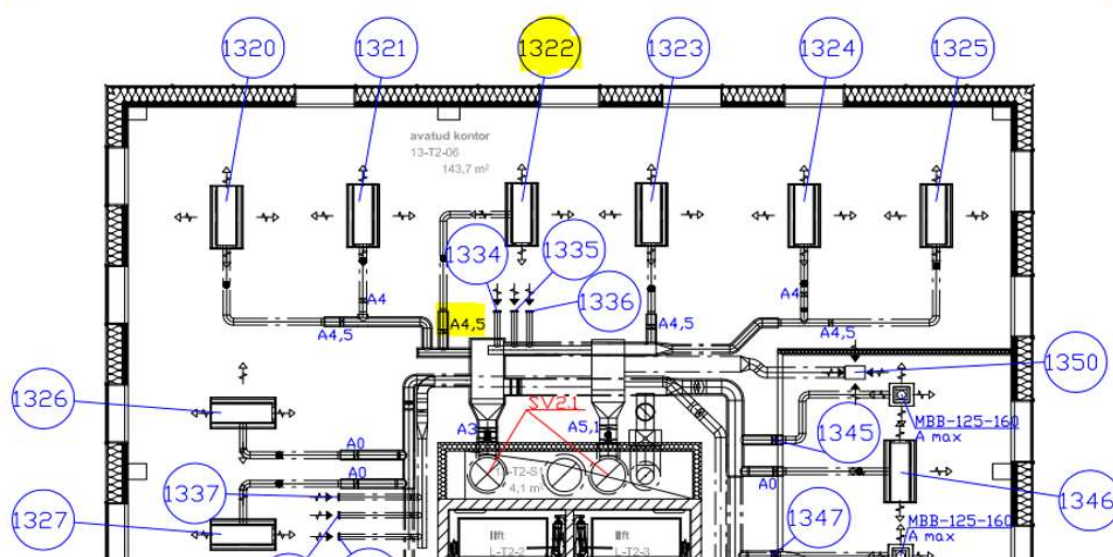
Sellest võib olla tingitud väiksem õhurõhu kõikumine mõõtepunktidest MP-T2-13.10v ja MP-T2-13.12, võrreldes punktiga MP-T2-13.8.

Mõõtepunkt MP-T2-13.12



Joonis 40. Plaanifragment - mõõtepunkt MP-T2-13.12

13-T2-06	sissepuhe	1320	RE6/C-1200-900 + AQ	6	76	19,6	283,7	280	1,3
	sissepuhe	1321	RE6/C-1200-900 + AQ	6	78	19,8			
	sissepuhe	1322	RE6/C-1200-900 + AQ	6	79	19,9			
	sissepuhe	1323	RE6/C-1200-900 + AQ	6	83	20,4			
	sissepuhe	1324	RE6/C-1200-900 + AQ	6	81	20,2			



Joonis 41. Väljavõte ventilatsiooni õhuhulkade mõõdistussist. Punkt 1322 on mõõtepunktis MP-T2-13.12

Vastavalt ventilatsiooni õhuhulkade mõõdistuspassile (Lisa 10) mõõtepunktis MP-T2-13.12 jahutuspalgi reguleerklapp on asendis 4.5 seadistatud staatilisele õhurõhule 79Pa (Joonis 41– punkt 1322). Nagu jooniselt (Joonis 41) näeb antud mõõtepunkt on harutorustikul esimene, kuid reguleerklapi asend on sama kui antud haruliinil viimasel palgil - mis on kahtlane ning vajab üle kontrollimist (loogiline oleks, et punkti 1322 reguleerklapp oleks rohkem piiratud / suletud, kui antud haru sama õhuhulgaga viimase jahutuspalgi reguleerklapp).

Järgnevalt on esitatud õhukiiruste võrdlus mõõtepunktis MP-T2-13.12 projekteeritud staatilise õhurõhuga 80Pa (Pilt 22) ja mõõdetud staatilise õhurõhuga (Pilt 23) Halton Hit tarkvara tehniliste väljatrükkide põhjal. Vastavalt tehnilistele väljatrükkidele projekteeritud staatilise õhurõhuga õhukiirus viibimistoonis kõrgusel põrandast 1.8m on 0,20m/s ning staatilise õhurõhuga 99Pa õhukiiruse samas punktis on juba 0,25m/s (jahutusperioodil II. sisekliima klassi piirväärtus).

Lisaks joonistelt Joonis 40 ja Joonis 41 on näha, et mõõtepunkti MP-T2-13.2 tsoonis esialgne olukord (avatud büroo) on muutunud - on tekkinud kabinet ning antud punkti jahutuspalk paikneb juba siseseinaga läheduses, mis võib põhjustada suuremat õhuliikumist just seina ja põrand tsoonis.

Antud jahutuspalkidel on tehasest ettenähtud HVC elemendid (Pilt 21), millede asendi reguleerimisega on võimalik vähendada õhukiirust viibimistsoonis (sõltuvalt jahutuspalki paiknemisest ruumis).



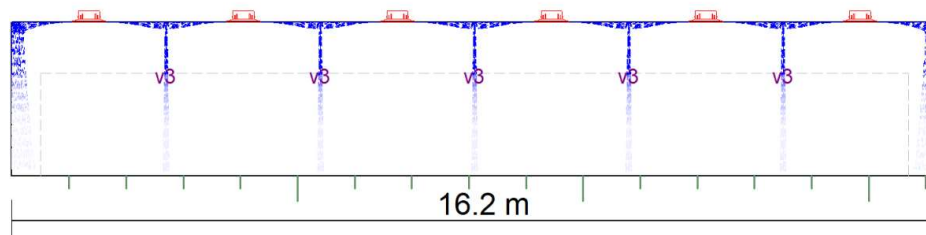
Pos.1 = Throttle position **Pos.2** = Normal position **Pos. 3** = Boost position

The HVC damper is divided into sections (Pos.1-3) to enable the adjustment of conditions in different parts of the occupied zone.

Pilt 21. Halton REE6 jahutuspakide suunajate (HVC damper) reguleemise võimalused.

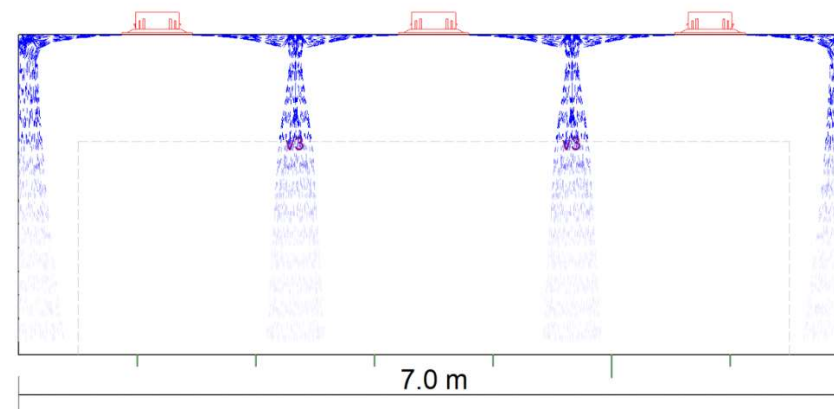
Seega mõõtepunktis MP-T2-13.12 oleks vajalik seinapoolne HVC element seadistada minimaalse ringlusõhuhulga asendisse Pos1 (tegelik asend on Pos2) ning korrigeerida reguleerklapi asendit.

Cooling RE6/C-1200-900-S2N+N+HAQ(6.4)				2017.12
Room: Avatud 13-T2-06/2		Supply air flow rate		6 x 20 l/s / 6 x 11 l/s
Room size: 16.2 x 4.2 x 2.7 m		total/nozzle(s):		1.8 l/(sm ²)
Occupied zone: h=1.8 m / dw=0.5 m		Supply air temperature:		17.0 °C
Room air: 25.0 °C / 55 %		Static chamber pressure:		80 Pa
Heat gain: 1500 W		Total pressure drop:		81 Pa
Installation height: 2.70 m		Total sound pressure level:		30 dB(A)
Inlet water temperature: 14.0 °C		Primary air capacity:		1169 W (6 x 195 W)
Outlet water temperature: 17.0 °C		Total cooling capacity:		3255 W (6 x 542 W)
Water flow rate: 0.166 kg/s (6 x 0.028 kg/s)		Dew point temperature:		15.3 °C
Coil capacity: 2086 W (6 x 348 W)		Velocity control:		side=3, middle=2
386 W/m		Flow damper opening:		-
Water pressure drop: 0.4 kPa		L _d :		-
Velocity point	v3			
Nozzle jet	~0.20 m/s			
HAQ diffuser jet	~0.20 m/s			
Nozzle jet, isothermal	~0.15 m/s			
dt (nozzle jet-room air)	-0.8 °C			
Heat sources and their location may influence the velocity and direction of the jet				
vlim = 0.15 m/s				



Pilt 22. Ruumi 13-T2-06.2 jahutustalade arvutuslik väljatrükk jahutuse perioodile vastavalt projekte (staatiline rõhk 80Pa, arvutuslik õhukiirus kõrgusel põrandast 1.8m ~ 0.20 m/s)

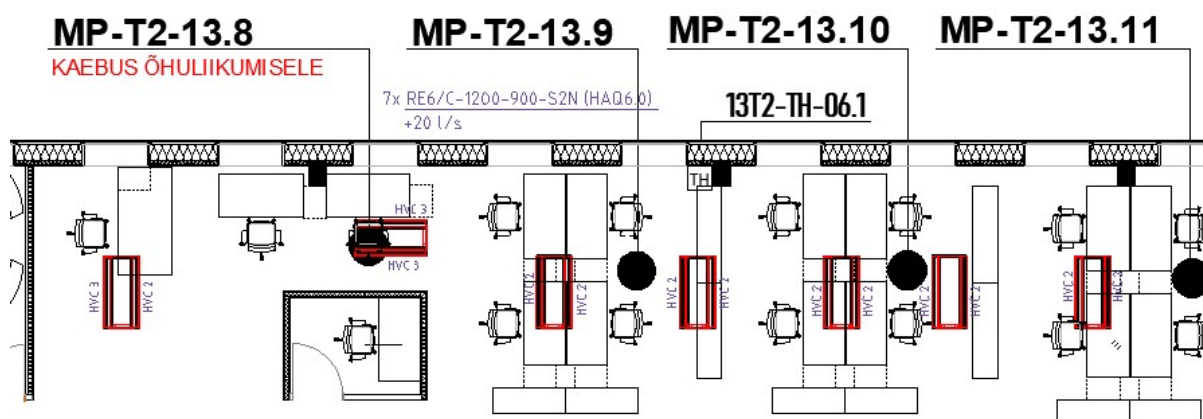
Cooling RE6/C-1200-900-S2N+N+HAQ(6.0)				2017.12
Room: Avatud 13-T2-06/2		Supply air flow rate		3 x 22 l/s / 3 x 12 l/s
Room size: 7.0 x 4.2 x 2.7 m		total/nozzle(s):		2.2 l/(sm ²)
Occupied zone: h=1.8 m / dw=0.5 m		Supply air temperature:		17.0 °C
Room air: 25.0 °C / 55 %		Static chamber pressure:		99 Pa
Heat gain: 1500 W		Total pressure drop:		101 Pa
Installation height: 2.70 m		Total sound pressure level:		33 dB(A)
Inlet water temperature: 14.0 °C		Primary air capacity:		638 W (3 x 213 W)
Outlet water temperature: 17.0 °C		Total cooling capacity:		1626 W (3 x 542 W)
Water flow rate: 0.079 kg/s (3 x 0.026 kg/s)		Dew point temperature:		15.3 °C
Coil capacity: 988 W (3 x 329 W)		Velocity control:		side=2, middle=2
366 W/m		Flow damper opening:		-
Water pressure drop: 0.3 kPa		L _d :		-
Velocity point	v3			
Nozzle jet	~0.25 m/s			
HAQ diffuser jet	~0.20 m/s			
Nozzle jet, isothermal	~0.15 m/s			
dt (nozzle jet-room air)	-0.9 °C			
Heat sources and their location may influence the velocity and direction of the jet				
vlim = 0.15 m/s				



Pilt 23. Ruumi 13-T2-06.2 jahutustalade arvutuslik väljatrükk jahutuse perioodile vastavalt tegelikule olukorrale (staatiline rõhk ~99Pa , arvutuslik õhukiirus kõrgusel põrandast 1.8m ~ 0.25 m/s)

Mõõtepunkt MP-T2-13.8

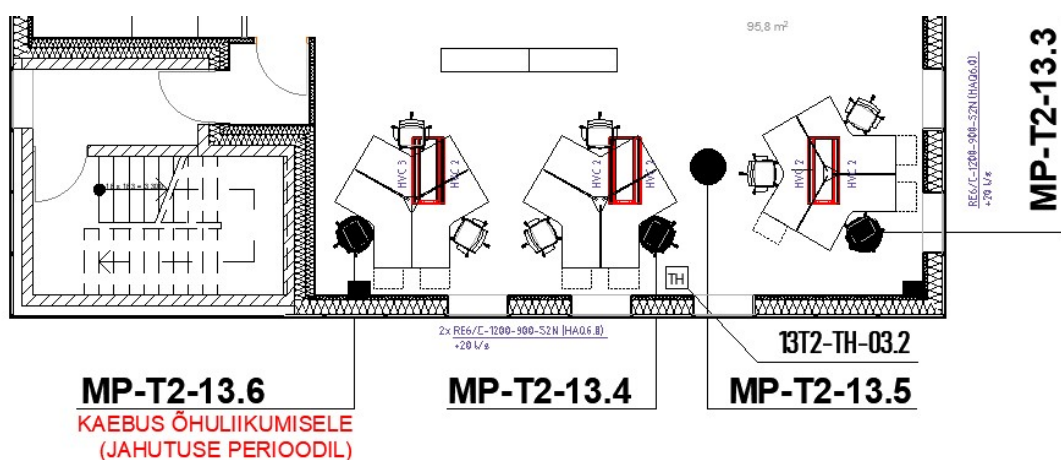
Mõõtepunktis MP-T2-13.8 jahutusalk paikneb kitsaskohas sise – ja välisseina vahel, seejuures mõlema poole HVC elemendid on maksimaalse ringlusõhuhulga asendis (Pos3). See võib antud punktis kindlasti põhjustada tõmbust just seina ja põranda tsoonis. Seega antud punkti jahutusalki mõlemad HVC elemendid peavad olema piiratud minimaalse ringlusõhu asendisse Pos1.



Joonis 42. Plaanifragment - mõõtepunkt MP-T2-13.8

Mõõtepunkt MP-T2-13.6

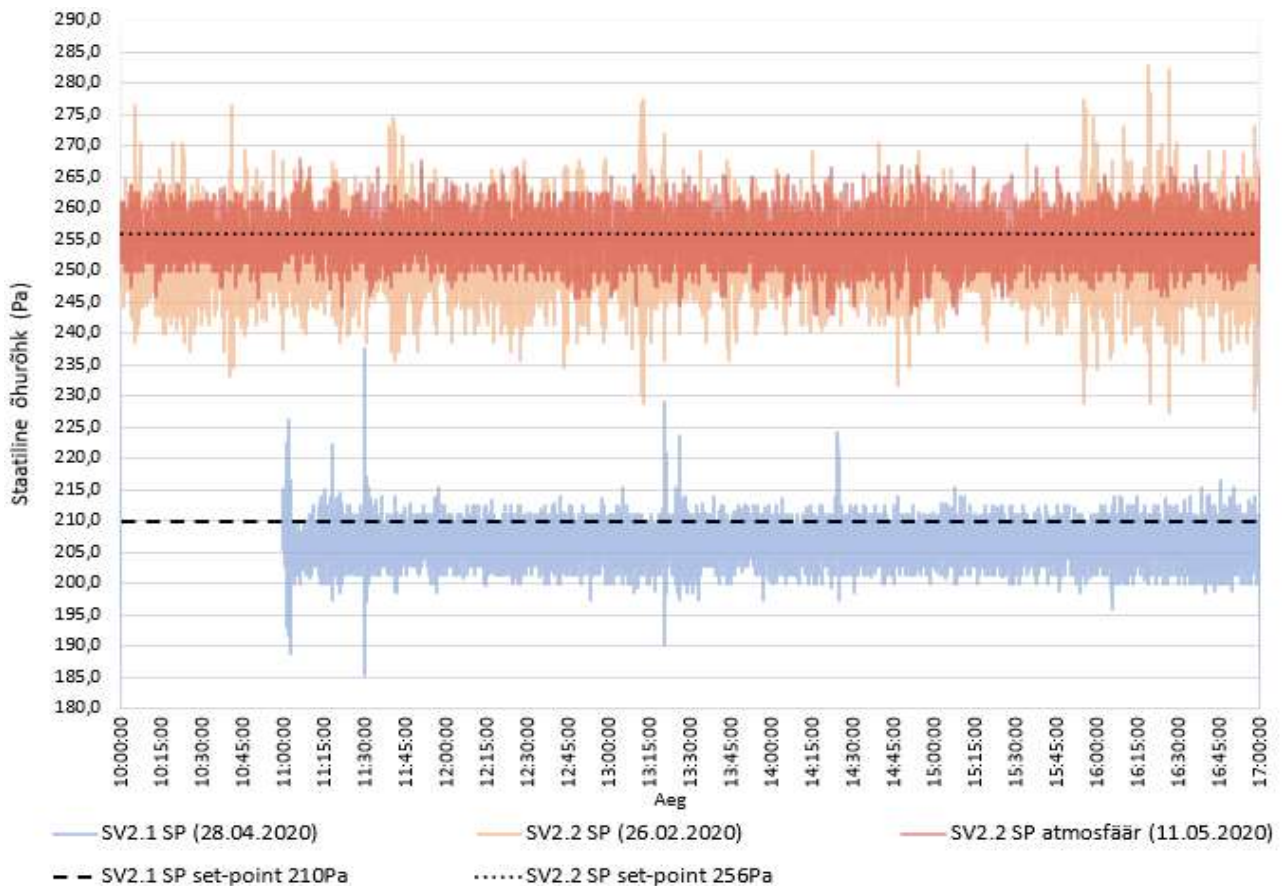
Mõõtepunktis MP-T2-13.6 on jahutusalk sarnases positsioonis (seina juures) mõõtepunkti MP-T2-13.12 jahutusalkiga. Kuid punktis MP-T2-13.6 jahutusalki seinapoolne HVC element on seadistatud maksimaalsele ringlusõhuhulgale (Pos3). Seega antud punkti jahutusalki seinapoolne HVC element on soovitatavalt piirata minimaalse ringlusõhu asendisse Pos1.



Joonis 43. Plaanifragment - mõõtepunkt MP-T2-13.6

4.4 Staatilise õhurõhu mõõtmine ventilatsiooni süsteemides

Ventilatsioonisüsteemide SV2.1 ja SV2.2 sissepuhkeõhu staatilise õhurõhu mõõtetulemused on esitatud graafiku kujul Joonis 44 .



Joonis 44. Ventilatsioonisüsteemi SV2.1 ja SV2.2 sissepuhkeõhu staatilise rõhu graafikud

Eelkõige peab täpsustama, et mõõdetud sissepuhkeõhu staatiline rõhk on sissepuhkeõhu ja atmosfääri rõhkude erinevus. Ventilatsioonisüsteemide SV2.1 ja SV2.2 tavapärasel töötamisel etteantud staatilise õhurõhu hoidmiseks õhukanalitele paigaldatud rõhuvaheandurid mõõdavad atmosfäärirõhku („nullrõhku“) mitte väliskeskkonnast, vaid 15 korruse tehnilisest ruumist (Pilt 24).



Pilt 24. Õhukanali rõhu-vaheandur

Ventilatsioonisüsteemi SV2.1 sissepuhkeõhu staatilise õhurõhu mõõtmisel on süsteemid SV2.1 ja SV2.2 töötanud täiskiirusel pidev rõhk juhtimisega automaatrežiimis, atmosfääri rõhku mõõdeti 15 korruse tehnoruumist. Nagu graafikust näha saab, ventilatsioonisüsteemi SV2.1 sissepuhkeõhu staatiline rõhk oli mõõtmise ajal suhteliselt stabiilne (keskväärtusest 206Pa kõikumine ainult ± 6 Pa ulatuses), välja arvatud üksikud hüpped/langused. Graafikust saab näha, et mõõdetud keskväärtus 206Pa oli seadearvust pisut madalam umbes 4Pa võrra (mõõtevahendite mõõtetäpsus). Kuid peab juhtima tähelepanu, et ventilatsioonisüsteemi SV2.1 mõõtmine on tehtud 28.04.2020 juba Covid-19 eriolukorra ajal, ehk hoone oluliselt piiratud kasutamistingimustes (liftide kasutamine oli oluliselt väiksem, võrreldes tavaolukorraga).

Ventilatsioonisüsteemi SV2.2 staatilise õhurõhu mõõtmisel 26.02.2020 on süsteemid SV2.1 ja SV2.2 töötanud täiskiirusel pidev rõhk juhtimisega automaatrežiimis, atmosfääri rõhku mõõdeti 15 korruse tehnoruumist. Graafikust SV2.2_SP_26.02.2020 (enne Covid 19 eriolukorra) saab leida, et mõõdetud õhurõhu kõikumised olid oluliselt tihedamad ja suuremas ulatuses, võrreldes ventilatsioonisüsteemiga SV2.1.

Ventilatsioonisüsteemi SV2.2 staatilise õhurõhu mõõtmisel 11.05.2020 on süsteemid SV2.1 ja SV2.2 töötanud täiskiirusel pidev rõhk juhtimisega automaatrežiimis, atmosfääri rõhku mõõdeti väliskeskkonnast (Pilt 17).

Mõõtepäeva 11.05.2020 graafikust saab näha, et staatiline õhurõhk oli oluliselt stabiilsem, võrreldes mõõtepäeva 26.02.2020 tulemustega, kus õhurõhu kõikumine keskväärtusest oli suuremas ulatuses ning mõlemale poole (üles ja alla).

Ventilatsioonisüsteemide töötamisel pidev rõhk 26.02.2020 ja 11.05.2020 mõõtetulemuste erinevuse üks võimalik põhjus - õhurõhu muutused sissepuhke õhukanalis sees, tingitud õhurõhu muutustega ventilatsioonisüsteemide teenindusala nt siseuste avamisega, mida ventilatsioonisüsteemid üritavad kompenseerida ehk siis ühtlustada õhurõhkude erinevusi ja / või muutusi. Teine võimalik põhjus - rõhuvaheandurite „nullrõhk“ (atmosfäärirõhk) oli mõõtepäeval 11.05.2020 stabiilsem (mõõtmine väliskeskkonnast) võrreldes mõõtepäevaga 26.02.2020. Kui „nullrõhk“ mingil põhjusel tõuseb, siis õhurõhu erinevus väheneb ning kui „nullrõhk“ mingil põhjusel langeb, siis õhurõhu erinevus vastupidi suureneb. Või siis mõlema faktori koosmõju.

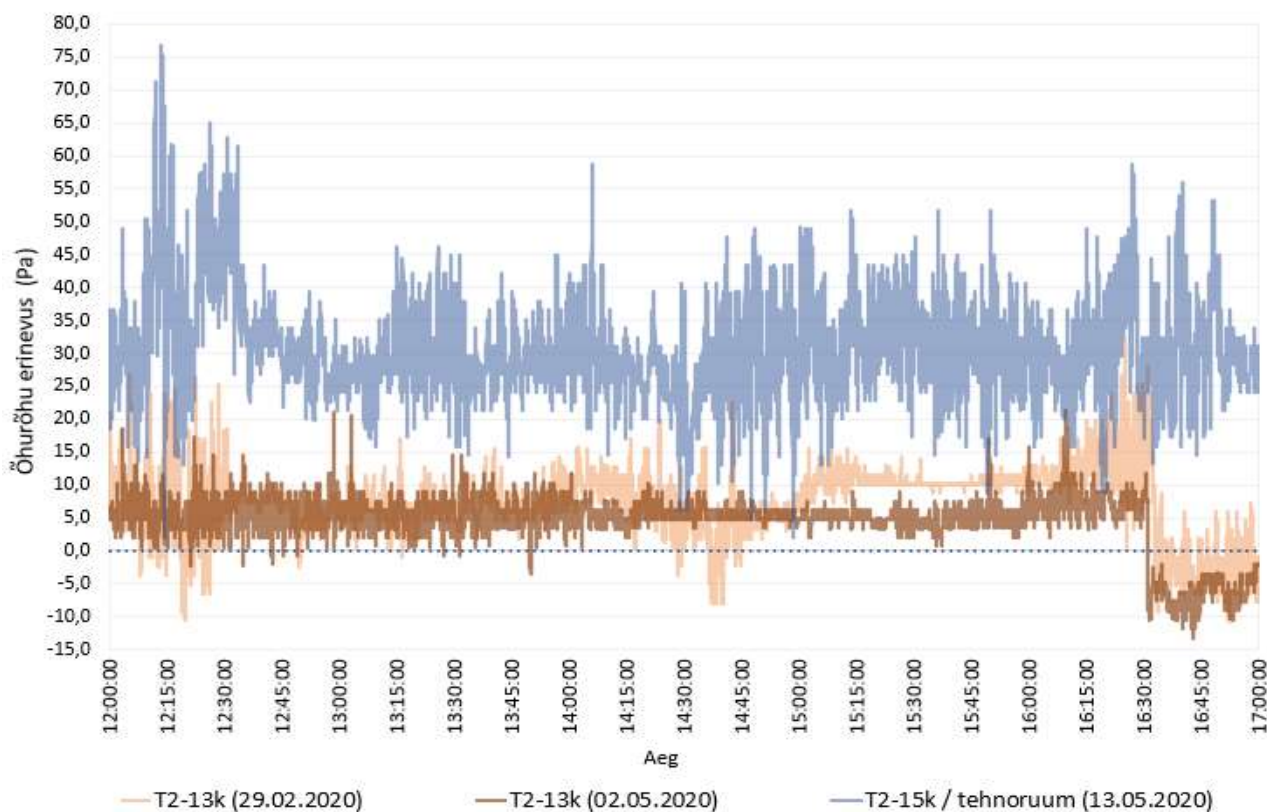
Antud küsimuse analüüsimiseks on järgnevalt mõõdetud õhurõhu erinevus ventilatsioonisüsteemi teenindusala 13 korrusel (õhurõhu stabiilsuse kontroll) ning 15 korruse tehnoruumist (kas ventilatsiooniseadmete rõhuvaheandurite „nullrõhk“ tavaolukorral tööajal ikka püsib stabiilseks).

4.5 Õhurõhkude erinevuse mõõtmise üle välispiirde

Torn 2 13 ja 15 korruse ruumi- ja atmosfääri rõhu erinevuse mõõtetulemused on esitatud graafiku kujul Joonis 45.

Välistingimuste andmed kehtinud mõõtmise ajal on esitatud Tabel 16.

Õhurõhu erinevuse eraldi tellitud mõõtmise 16-17.12.2019 tulemused on esitatud Lisa 11.



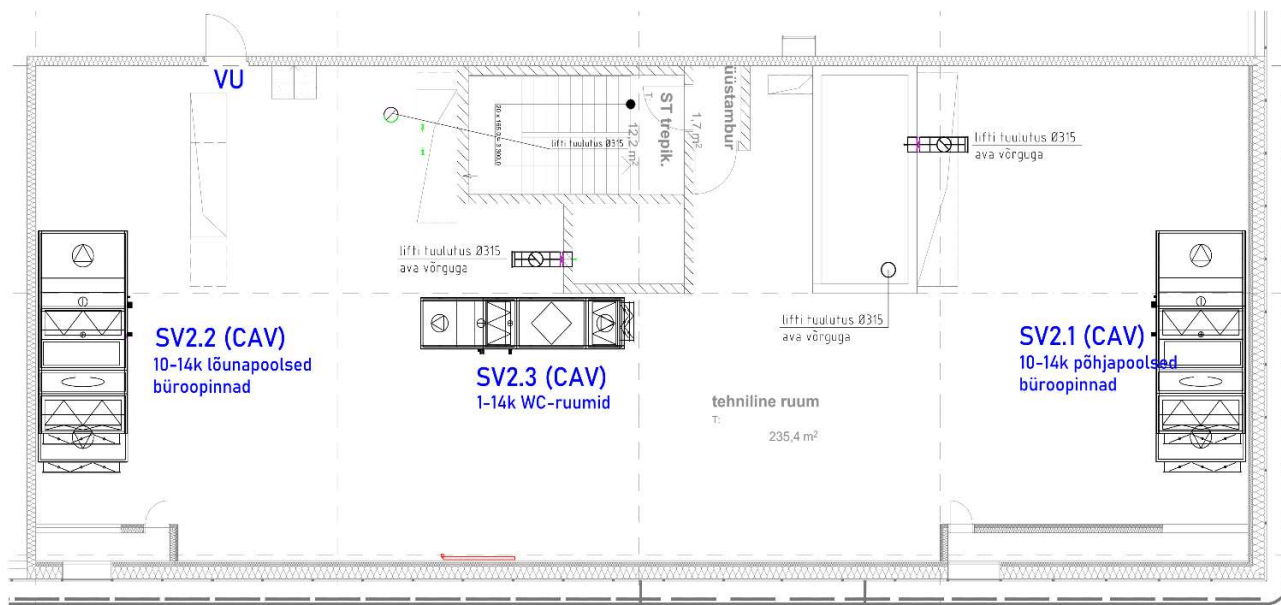
Joonis 45. Torn 2 13 ja 15 korruse ruumi -ja atmosfääri rõhu erinevuse graafikud

Vastavalt mõõtetulemuste graafikule uurimisaslas 13 korrusel ning 15 korruse tehnoruumis pidevalt esineb ülerõhk (välja arvatud 13 korrus mõõteajal 16.30-17.00, mil 15 korruse tehnoruumi välisuks hoiti lahti). Nagu graafikust näha saab 13 korrusel mõlema mõõtepäeva õhurõhu erinevuse väärtused on võrreldes 15 korruse mõõtetulemusega oluliselt väiksemad ning palju stabiilsemad. Väga sarnased tulemused on saadud ka mõõtmisel 16-17.12.2019 (Lisa 11), kui mõõdeti õhurõhkude erinevust 15 korrusel.

Antud mõõtetulemuste põhjal võib juba järeldada, et uurimisaslas õhurõhu erinevus ja muutused ei mõjuta nii palju ventilatsioonisüsteemide õhurõhkude stabiilsust, kui seda mõjutab 15 korruse tehnoruumis muutuv õhurõhk (ventilatsioonisüsteemide „nullrõhk”),

mille tulemusena perioodiliselt tekkivad õhurõhu kõikumised jahutustalades ning sellega seonduv soojuslik ebamugavus (tõmbus) viibimistoonis.

15 korruse tehnoruumis tekkivad õhurõhu kõikumised on tingitud liftišahtide tuulutuse lahendusest. Vastavalt projektile liftišahtide (tornis kokku 3 lifti) tuulutus on lahendatud 15 korruse tehnoruumis tuulutusotsaga DN315 (Joonis 46 ja Pilt 25).



Joonis 46. Torn2 15 korruse tehnilise ruumi plaan



Pilt 25. Torn 2 15 korruse tehnoruum, liftišahti tuulutuse ots

Seega liftide liikumisel üles-alla tekkivad 15 korruse tehnoruumis õhurõhu muutused. Õhurõhu muutuste tihedus ja ulatus sõltub otseselt sellest, mitu lifti, mis suunas ja mis kõrgusmäärgilt korraga liigub.

Kui liftid ei liigu, siis olukord 15 tehnoruumis stabiliseerub ülerõhuliseks, mis lisaks liftišehtide tuulutusele on tingitud veel kommunikatsioonišehtide avatud lahendusest tehnoruumi poole, ehk esineb nn korstnaefekt (Pilt 25: vasakul salvrätik - „ülerõhuandur“ iseloomustab õhuliikumist hetkel, kui lift sõidab alla ja tehnoruumi välisuks on kinni ning paremal kui lift ei liigu ning tehnoruumi välisuks on lahti).

Olukorral, kui liftid ei liigu ning 15 korrusel tehnoruumis õhurõhk stabiliseerub (ülerõhk) ventilatsioonisüsteemide rõhuvaheandrid „tunnetavad“ atmosfäärist kõrgemat „nullrõhku“ ning ette seadistatud staatilise õhurõhu (õhurõhu erinevus) tagamiseks ventilatsioonisüsteemid peavad töötama kõrgemal kiirusel, võrreldes olukorraga kui „nullrõhuks“ oleks atmosfäärirõhk.

Lisaks mängib kindlasti ka rolli, mis tingimustes olid ventilatsioonisüsteemide tasakaalustustööd läbiviidud. Kui korrusel oli ülerõhk (nagu mõõtetulemuste graafikus ~5..7Pa), mida võeti süsteemi häälestuse ajal „nullrõhuks“, siis tegelik staatiline rõhk on jahutuspalkides atmosfääri suhtes suurem (suurem õhuhulk). Siinjuures peab arusaama, et õhurõhu erinevus atmosfääri suhtes võib hoones sees muutuda sõltuvalt sise- ja välistingimuste muutustest (sise- ja välisõhu temperatuuri ja tihenduse erinevuse pärast), ehk kui talveperioodil on hoone ülemistel korrustel üldjuhul ülerõhk (nagu antud hoones ka mõõdetud oli), siis suvel võib sise- välistingimuste muutusest kõrghoone ülemises osas tekkida juba alarõhk.

Ehk siis antud lahendusega isegi liftide seisua ajal võivad tekkida olukorrad, mil tegelikud õhulgad on projektsetest ning ka mõõdetud väärtusest suuremad ja seetõttu viibimistsooni osades punktides võib tekkida soojuslik ebamugavus (tõmbus).

Õhurõhkude erinevuse ja nende muutuste stabiliseerimiseks oleks vajalik ventilatsioonisüsteemide õhurõhuvahe anduritele tagada stabiilne (mitte muutuv) ja õige „nullrõhk“.

Liftišehtide tuulutuse ehitus väliskeskkonda võimaldaks, võrreldes tänase olukorraga, palju stabiilsemat „nullrõhku“, kuid see oleks kommunikatsioonišehtide lahenduse pärast atmosfäärirõhust ikka kõrgem. Lisaks, nagu graafikust (Joonis 45) näha saab, 15 korruse tehnoruumis avatud välisuksega uurimisalas 13 korrusel mõlemal mõõtepäeval olukord on muutunud alarõhuliseks. Väga sarnased tulemused on saadud ka mõõtmisel 16-17.12.2019 (Lisa 11), kui mõõdeti õhurõhkude erinevust 12 korrusel. 15 korruse tehnoruumi välisukse avamine sisuliselt imiteerib olukorda, kui liftišehtide ventilatsioon

oleks lahendatud väliskeskkonda. See siis omakorda tähendaks, et pidev rõhk juhtimisega ventilatsioonisüsteemid etteantud staatilise õhurõhu tagamiseks ning teenindusala alarõhu kompenseerimiseks peaksid töötama pidevalt kõrgemal kiirusel, mis omakorda tähendaks suuremat staatilist õhurõhku jahutustalades (mõju õhukiirustele viibimistsoonis) ning sellejuures veel suuremat energiakulusid. Ehk liftišahtide ventilatsiooni ümberehitus (tuulutus väliskeskkonda) ei ole kindlasti mõistlik.

Mõistlik lahendus oleks ventilatsiooniseadmete rõhuvaheanduritele „nullrõhuks“ võtta atmosfäärirõhku. Selleks siis peab organiseerima eelkõige ülemisel korrusel liftišahtide tuulutusotsadega tehnoruumis asuvate ventilatsiooniseadmete rõhuvaheandurite atmosfäärirõhku mõõtmisvooliku toomist väliskeskkonda ning mõõteotsa kaitset tuulerõhust. Juhul, kui atmosfäärirõhu mõõtmisotsa tuulerõhust efektiivne kaitse ei ole tagatud, siis õhurõhkudega seonduvad probleemid hoones (kaasa arvatud soojuslik sisekliima ning energiatarbimine) võivad aga veel oluliselt suurendada. Ehk atmosfäärirõhu mõõtmisotsiku asukoha määramisel peab kindlasti arvesse võtma tuulte statistikat ning konkreetse hoone aerodünaamikat. Ülejäänud korrustel asuvates ventilatsioonikambrites, kus õhurõhu kõikumist normaalselt ei tohi tekkida, soovitavalt üle kontrollida ventilatsiooniseadmete rõhuvaheandurite „nullrõhku“ ning vastavalt sellele vajadusel kalibreerida õhukanalite rõhuvaheandurit. See siis võimaldaks lisaks õhurõhkude erinevusest ja muutustest tingitud soojusliku sisekliima parenemist ning stabiliseerimist vähendada ka energiakulusid (ventilatsiooniseadmete töötamine madalamatel kiirustel).

4.6 Sisepindade temperatuuri mõõtmise kriitilises tsoonis kütte perioodil.

Mõõtetulemused seisuga 17.02.2020 08.00 on esitatud Tabel 23, kus lisaks pinnatemperatuuri andurite näidule on lisatud välisõhu temperatuur ja ruumitermostaadi näidud.

Detailsemalt on mõõtetulemused esitatud graafiku kujul Joonis 47.

Tabel 23. Sisepindade temperatuuride mõõtetulemused seisuga 17.02.2020 kell 08.00

TEMPERATUURIANDUR	TEMPERATUUR, (°C)
Välis temperatuur BMS	4,35
Ruumitermostaadi näit BMS	22,5
TE1 (aken vasak)	19,0
TE2 (aken parem)	19,3
TE3 (välissein)	20,8
TE4 (töölaud)	21,2

Välisõhu temperatuuri ja ruumi termostaadi näidud antud tabelis ja graafikul (Joonis 47) on esitatud vastavalt hoone automaatikasüsteemi andmetele.

Välistingimuste andmed kehtinud mõõtmise ajal on esitatud Tabel 18.

Keskmine välisõhu temperatuur mõõtmise ajal oli 2,8°C (Tabel 18).

Vastavalt energiaarvutuste baasaasta (Estonia TRY) andmetele keskmine välisõhutemperatuur Tallinnas kütteperioodil -0,3°C (1.oktoober – 30.aprill).

Mõõtmise ajal ruumi 14-T2-05 kütteventiili asendid, ruumitemperatuuri seade arv ja ruumiregulaatori poolt mõõdetud temperatuur on esitatud lisas Lisa 6.

Vastavalt sellele ruumi 14-T2-05 kütteventiil oli täielikult kinni asendis vahemikus 14.02.2020 18.00 – 17.02.2020 02.30, st 56 tunni jooksul.

Kohaliku soojusliku ebamugavuse kriteeriumiks, mis väljendab kiirgustemperatuuride erinevusest tingitud soojuliku ebamugavust on kiirgustemperatuuri asümmeetria.

Kiirgustemperatuuri asümmeetria on väikese tasapinnalise elemendi kahe vastaskülje pinna kiirgustemperatuuri erinevus. Kiirgustemperatuuri asümmeetria mõõdetakse või arvutatakse pinna kiirgustemperatuuri väärtustest kahes vastastikus suunas.

Kiirgustemperatuuri assümmeetria mõõtmine on üsna keeruline protsess, mis vajab eri mõõtevahendit, mida antud töös ei olnud kasutatud. Küll aga on see hinnatud väliskonstruktsiooni sisepinna- ja ruumiõhu temperatuuri andurite näitude põhjal, eeldusega et väliskonstruktsioonile vastastikus suunas sisepinna temperatuur on umbes sama, kui ruumiõhu temperatuur viibimistoonis (TE4 töölaud) .

Vastavalt EVS-EN 16798-1:2019 + NA:2019 jahe seina kiirgusasümmeetria I. ja II. sisekliima klassi puhul peab jääma alla 10°C (vastastikus suunas välis- ja sisekonstruktsiooni pindade temperatuuri erinevus viibimistoonis).

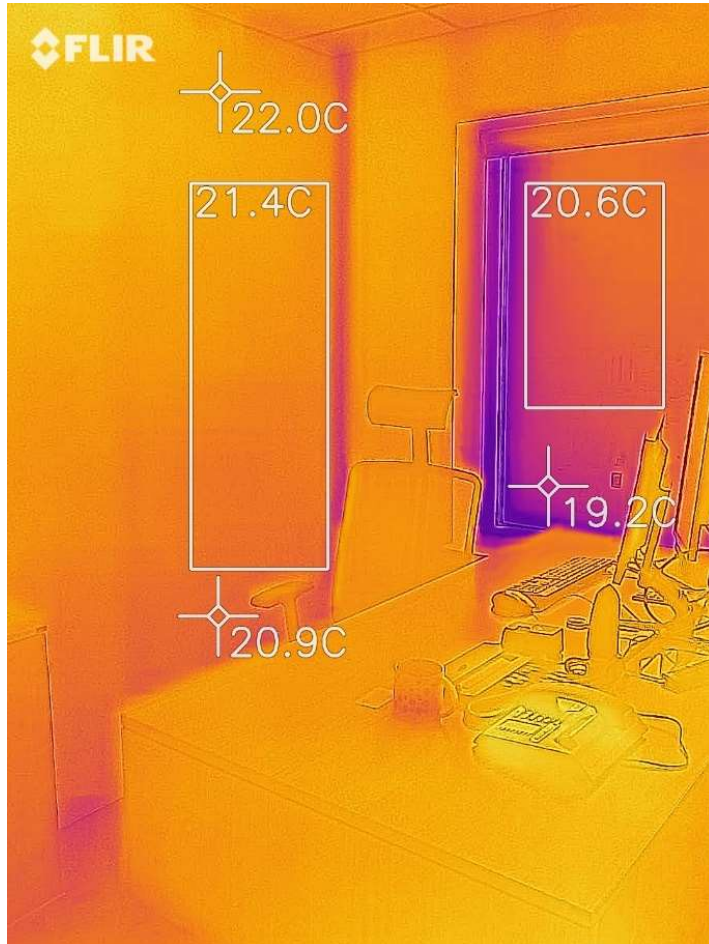
Ruumis 14-T2-05 kõrgusel põrandast 1.1m mõõdetud välisseina sisepinna temperatuur $20,8^{\circ}\text{C}$ seisuga 17.02.2020 08.00 oli vastavuses II.sisekliima klass operatiivse temperatuuri normväärtusega (kui arvestada temperatuurianduri mõõtetäpsust $\pm 0,15^{\circ}\text{C}$, siis saadud tulemus on isegi I.sisekliima klassi piiri peal).

Ruumis 14-T2-05 kõrgusel põrandast 1.1m mõõdetud akna klaaspinna temperatuur $19,0..19,3^{\circ}\text{C}$ seisuga 17.02.2020 08.00 erines II. sisekliima klass operatiivse temperatuuri minimaalselt lubatud väärtusest ($20,0^{\circ}\text{C}$) ainult 1°C võrra, mis on tegelikult väga hea tulemus (akna $U_{arv}=0,65 \text{ W/m}^2\text{K}$). Siinjuures tuleb juhtida tähelepanu mõõtekõrgusele. Vastavalt FLIR PRO ONE termokaamera pildile (Pilt 26) klaaspinda keskmine temperatuur oli $20,6^{\circ}\text{C}$, mis on juba vastavuses II.sisekliima klass operatiivse temperatuuri normväärtusega.

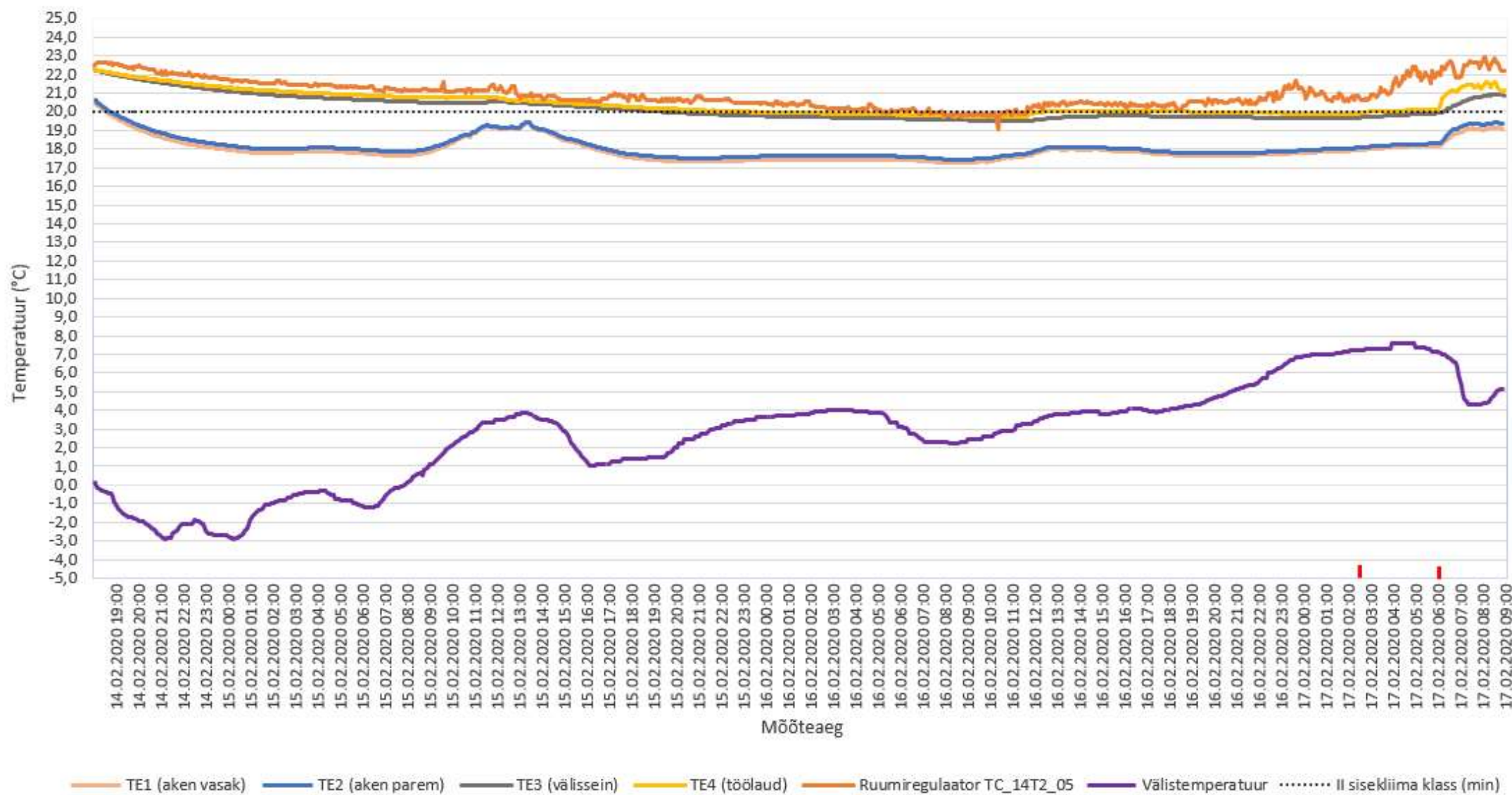
Mõõtetulemused (väliseina- ja akna klaaspinna temperatuurid ning nende erinevused ruumiõhu temperatuuriga) on kindlasti vastavuses I.sisekliima klass kiirgusasümmeetria normväärtusega $<10^{\circ}\text{C}$.

Saadud tulemuste põhjal võib järeldada, et liginullenergiahoones tänu parematele soojapidavuse näitajale (suurem hoone soojuslik ajakonstant – aeglasem hoone konstruktsioonide maha jahtumine) 4-toru aktiivpalkidega süsteemis nõutud soojusliku mugavuse tagamiseks tööajal ei pea ventilatsioonisüsteemid meie kliimavööndis töötama töövälisel ajal (öösel) kütteperioodil kogu aeg. Kindlasti see sõltub konkreetse hoone omadustest (sh paiknemine ja geomeetria), hoone kastustingimustest (vabasoojused) ning välistingimustest, mil hoone soojusliku mugavuse tagamiseks 4-toru aktiivpalkidega süsteemis oleks vaja kas hoida ventilatsioonisüsteemid pikemalt töös.

Kuid uuritava hoone mõõtmistulemuste näidel võib järeldada, et 4-toru aktiivpalkidega süsteemis on sisekliimasüsteemide ajagraafiku optimeerimisega on korraga võimalik tagada mõlemat eesmärki: nõutud soojuslik mugavus tööajal ning energiatõhusus (süsteemide mõistlikud töötunnid ning sellega kaasnev energiakulude optimeerimine)



Pilt 26. Ruum 14-T2-05 FLIR ONE PRO termokaamera pilt 17.02.2020 08.30



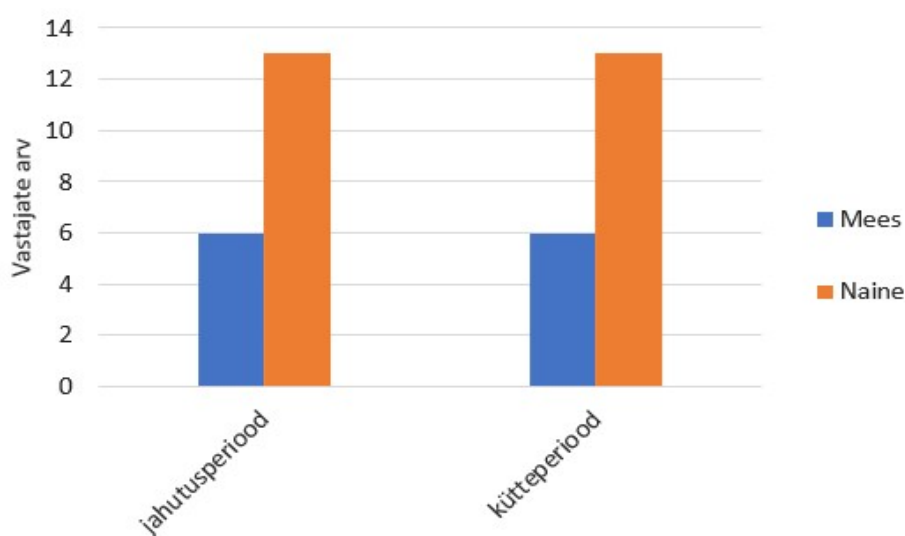
Joonis 47. Ruumi 14-T2-05 temperatuuride graafik 14.02.2020 18.00 – 17.02.2020 09.00

4.7 Soojusliku sisekliima küsitlus

Lisaks mõõtmistele kasutati uurimisala sisekliima hindamiseks ka subjektiivse küsimustiku, mis saadeti hoone uurimisala kasutajatele elektrooniliselt. Küsitlused viidi läbi jahutuse ning kütteperioodile. Vastajaid mõlemale küsimustikule oli 19 inimest.

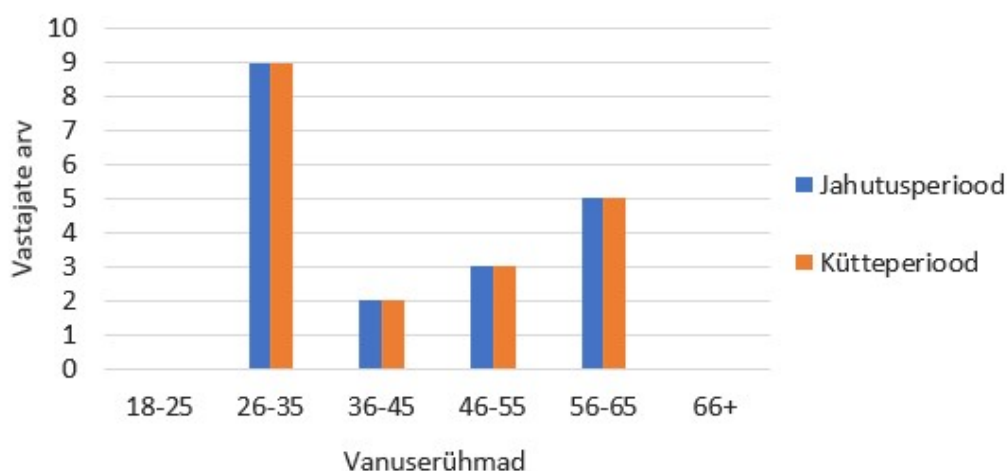
Järgnevas analüüsis on fookuseeritud tähelepanu just soojusliku sisekliima parameetritele, lõhna, heli ja valgusega seotud küsimusi ei ole antud töös analüüsitud.

Vastajatest suurema osa moodustasid naisterahvad, kelle osakaal jahutuse ja kütteperioodil tehtud mõõtmistel oli 68,4% (Joonis 48).



Joonis 48. Sisekliima küsitlusele vastajate sugu

Mõlemal küsitluse korral oli kõige rohkem vastajaid vanuse vahemikus 26-35a (Joonis 49).

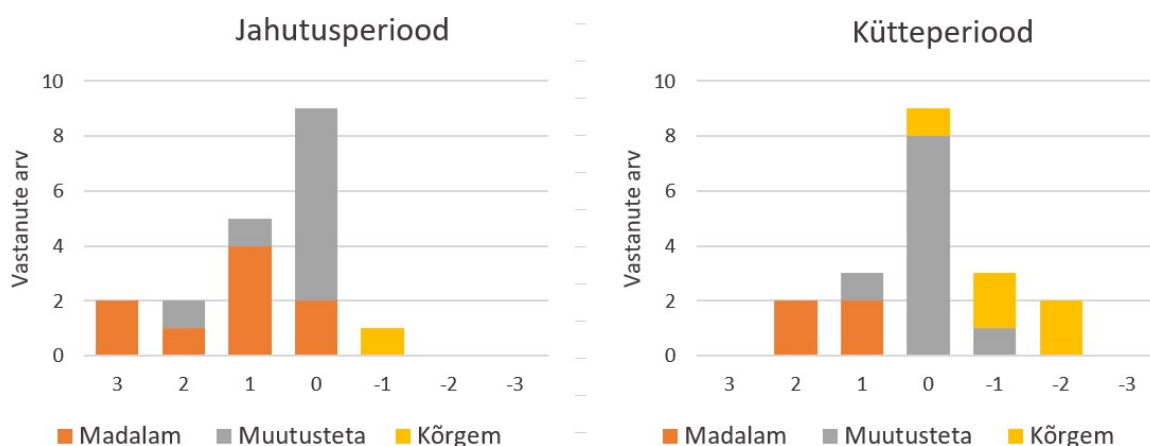


Joonis 49. Sisekliima küsitlusele vastajate vanusegrupid

Jahutuse ja kütte perioodil läbi viidud küsitluse ajal oli tervelt 94,7% vastajatest inimesed, kelle igapäevaseks töökeskkonnaks oli avatud kontor. Ülejäänud inimesed viibisid töökeskkonnas milleks oli kabinet, kus viibis kuni 3 inimest.

Uuritud ka kui suure osa päevast töötajad viibivad oma töökohal töölaua taga. Terve tööpäeva viibib oma töölaua taga 63,2%. Vastajaid, kes viibivad oma laua taga poole tööpäevast (kuni 4-5h) on 31,6%. Ülejäänud viibivad oma laua taga vähe (maksimaalselt kuskil 1-2h).

Uuritud inimeste soove ruumitemperatuuri muutmise osas (Joonis 50).



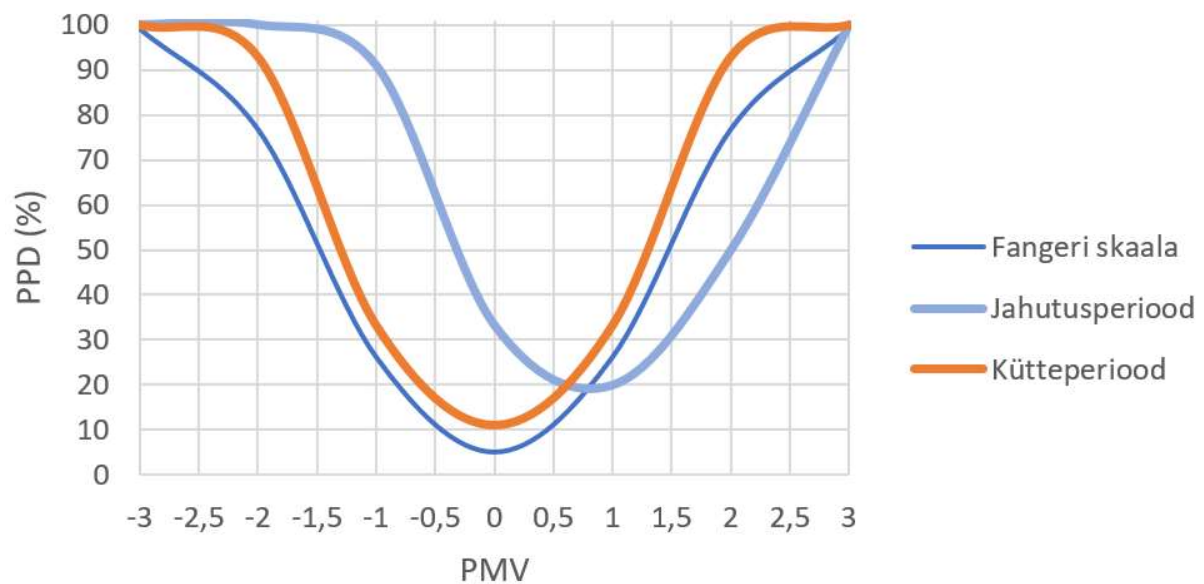
Joonis 50. Temperatuuri muutmise soovid jahutuse ja kütteperioodil

Jahutuse perioodi graafikul soovinud temperatuuri mitte muuta ja temperatuuri langetada jagunes kaheks võrdseks osaks (9 vastajat). Ja ainult üks vastaja sooviks temperatuur pigem tõsta kõrgemaks. Temperatuuri langetamise puhul võib aga tekkida lokaalne ebamugavus (tõmbus). Ehk ennem sisekliimasüsteemides seadeparameetrite muutmist soovitavalt nendes tsoonides sisekliima täiendavalt (pikkemalt) läbi uurida ning selgitada välja, kus ja mis tingimustes täpselt seal tekitab palavustunnet ning võimalusel lahendada seda lokaalselt (vastava tsooni temperatuuri regulaatori seadistuse ning mõõtetäpsuse kontroll).

Kütteperioodi graafikul domineerib soov temperatuuri mitte muuta (10 vastajat). Temperatuuri muutuse osas (kas langetada või tõsta kõrgemaks) soovid jagunevad umbes võrdselt: temperatuuri kõrgemaks tõsta soovis 5 vastajat ja temperatuuri langetamist soovis 4 vastajat. See tähendab, et enam osa vastajatest on kütteperioodil soojusliku sisekliimaga rahul.

Küsitluse tulemuste põhjal on koostatud ka Fangeri soojusliku sisekliimaga rahulolu kõver (Joonis 51). Tulemustest on samamoodi näha, et jahutuse perioodil on ca. 20-30% inimest tundnud rahulolematust ja et neil on kergelt soe (soov jahedamaks muuta).

Kütteperioodil soojuslik sisekliima on enamosa kasutajatele tundnud mugavaks .



Joonis 51. Sisekliima küsitluste PMV kõverad võrdluses teoreetilise (Fanger) kõveraga

5. JÄRELDUSED

Uurimisala teenindavate süsteemide funktsionaaltoimivuse kontroll andis väga positiivset tulemust. Kontrolli tulemusena ei ole mingit programmilist ega füüsilist vigu leitud.

Ventilatsiooniseadmed olid väga heas seisukorras ning soojusliku sisekliima eest vastutavad komponendid (rootorsoojustagasti, kütte- jahutuse reguleerventiilid) toimisid korrektselt. Etteantud sissepuhkeõhu temperatuuri seadearvud olid saavutatud ülevalpool nimetatud komponentide toimivusega kütte- jahutuse režiimis loogiliste algoritmide põhjal. Ventilatsiooniseadmete SV2.2 ja SV2.2 sisse-väljapuhke temperatuuriandurite näidud erinesid FLUKE 971 termomeetri näitudest mõõteseadmete mõõtetäpsuse $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ piires.

Ruumiseadmete kütte- jahutuse reguleerventiilide toimivad korrektselt vastavalt ette antud ruumitemperatuurile juhtimistsoonide kaupa, kütte-jahutuse reguleerventiilid teenindavad õiget juhtimistsoone (ei ole vahetuses) ning sama juhtimistsooni kütte-jahutusventiilid ei ole korraga lahti. Lisaks on füüsiliselt kontrollitud ruumiseadmete ventiilide täielik sulgumine neutraaltsoonis. Ventiilide täielik sulgumine on 4-toru palkide lahendusega eriti oluline, et vältida olukordi, kus ruumiseadmest samal ajal tsirkuleeriks nii sooja- kui ka külmakandja (nt kütte perioodil töötava vaba-jahutusega oleks välditud mitteoodatud külmakandja tsirkulatsioon samas ruumiseadmest, mil kütte töölooba on).

Üldise soojusliku mugavuse iseloomustavad PMV ja PPD indeksid on arvutatud välja vastavalt Lisa 1 toodud valemitele mõõdetud parameetrite põhjal. Vastavalt sellele kõik mõõtepunktide PMV-PPD tulemused ning mõõdetud operatiivtemperatuurid vastasid vähemalt II. sisekliima klassile nii jahutuse- kui ka kütteperioodil (osad mõõtetulemused mahtusid ka I sisekliima klassi piiresse). Tuleb pöörata tähelepanu, et nii jahutuse- kui ka kütteperioodil vähemalt II. sisekliima klassile vastasid ka mõõtepunkti MP-T2-13.13 tulemused (antud mõõtepunkt oli viibimistsoonist väljaspool - aknaga välisseina juures).

Jahutusperioodil läbiviidud kahe mõõtepäeva üldise soojusliku sisekliima tulemused omavahel oluliselt ei erinenud, kuigi 02.08.2019 toimunud mõõtmisel sissepuhkeõhu temperatuur oli vastavalt ette seadistatud temperatuurigraafikule $20,2...21^{\circ}\text{C}$ ning mõõtepäeval 12.08.2020 sissepuhkeõhu temperatuur oli hoone automaatikasüsteemist „käsitsi“ seadistatud 18°C . Jahutusperioodil operatiivtemperatuuri mõõtetulemused olid enamasti kõik vastavuses isegi I. sisekliima klassile. Jahutusperioodil kahe mõõtepäeva tulemused omavahel erinevad ainult niipalju, et 02.08.2019 mõõdetud operatiivtemperatuurid olid veidi kõrgemad (maksimaalne $25,7^{\circ}\text{C}$ ning enamus $24,0...25,0^{\circ}\text{C}$), kui 12.08.2019 (maksimaalne $24,7^{\circ}\text{C}$ ning enamus $23,5...24,3^{\circ}\text{C}$). Jahutusperioodil mõlema mõõtepäeva tulemusena osad mõõtepunktid on neutraalolukorrast ($\text{PMV}=0$) nihkes kergel

liiga jahe suunas. Antud mõõtepunktide tsoonis on võimalik soojusliku mugavust (vajadusel) korrigeerida ruumiregulaatori seadearvu tõstmisega.

Mõõtepäeval 02.08.2019 ruumiõhu suhteline niiskus (33..37RH%) oli madalam, võrreldes 12.08.2019 mõõtetulemustega (53..58%RH). Mõõtepäeva 12.08.2018 kõrgem ruumiõhu suhteline niiskus on tingitud eelkõige kõrgemast sissepuhkeõhu niiskusest ($\sim 10\text{g/kg}$, 85%RH), võrreldes mõõtepäevaga 02.08.2019 ($\sim 5,2\text{g/kg}$, 36%RH).

Kütteperioodil läbiviidud kahe mõõtepäeva üldise soojusliku sisekliima tulemused omavahel erinevad ainult niipalju, et mõõtepäeva 28.10.2019 tulemused vastasid kõik II. sisekliima klassile liiga kõrge operatiivse temperatuuri pärast (minimaalne $23,0^{\circ}\text{C}$ ning enamus $23,3\ldots 23,6^{\circ}\text{C}$ - ülekütmine) ning 17.02.2020 mõõtetulemused on peaaegu kõik vastavuses I. sisekliima klassile (minimaalne $21,6^{\circ}\text{C}$ ning enamus $22,2\ldots 22,9^{\circ}\text{C}$).

Kütteperioodil mõlema mõõtepäeva ruumiõhu suhteline niiskus väga ei erinenud ning jäi vahemikusse 30..33% (minimaalne soovituslik 20%). Siinjuures tuleb pöörata tähelepanu, et suhteline niiskus on otseses sõltuvusest temperatuurist ning mõõdetud operatiivtemperatuurid on tundlikult kõrgemad, kui minimaalselt lubatud kütteperioodil. Seega suhtelise niiskuse parameetri parandamiseks on üks võimalus alandada ruumiõhu temperatuuri (temperatuuri alandamine 1°C võimaldaks suhtelise niiskuse tõusu $\sim 3\%$).

Vastavalt standardile EVS-EN 16798-1:2019+NA:2019 [10] on sisekliima klasside kirjeldamiseks kasutatud ka lokaalse soojusliku ebamugavuse parameetrit, mis näitab ruumitemperatuuri erinevust põrandast kõrgusel 0.1m ja 1.1m (vertikaalne temperatuuri erinevus). I.sisekliima klassile vastav vertikaalne temperatuuri erinevus $<2^{\circ}\text{C}$ ja II.sisekliima klassis temperatuuride erinevus $<3^{\circ}\text{C}$. Jahutusperioodil mõlema mõõtepäeva suurim vertikaalne temperatuurierinevus on $0,4^{\circ}\text{C}$, mis ei vaja lisa kommenteerimist.

Eriti huvitav oli hinnata mõõtmistulemusi just kütteperioodil, kuna ruumikütteks on õhkküte lakke paigaldatud 4-toru aktiivpalkidega. Vastavalt mõlema mõõtepäeva tulemustele suurim vertikaalne temperatuurierinevus kütteperioodil on $1,5^{\circ}\text{C}$ (välisõhu temperatuur $4,5\ldots 6,4^{\circ}\text{C}$). Kütteperioodil enamus temperatuurierinevusi jäi aga kindlalt $0,8^{\circ}\text{C}$ piiresse sõltumata kas mõõtepunkt asus avatud büroos või kabinetis (MP-T2-13.7). Lisaks tuleb pöörata tähelepanu mõõtepunkti MP-T2-13.13 tulemustele, mis ei erinenud ülejäänud mõõtepunktide tulemustest (mõõtepunkt MP-T2-13.13 oli viibimistoonist väljaspool - aknaga välisseina juures). Seega saab öelda, et uurimisas on ruumitemperatuurid vertikaalsel teljel suhteliselt ühtlased ka kütteperioodil. Sellele annab muidugi suurt mõju liginullenergiahoone nõuetele vastav õhu- ja soojapidavus.

Õhukiiruste ning tõmbusindeksite mõõtetulemused enamus mõõtepunktides vastasid vähemalt II. sisekliima klassile (osad mõõtetulemused mahtusid ka I sisekliima klassi piiresse) nii jahutuse - kui ka kütteperioodil.

Jahutusperioodil tõmbusindeksi II. sisekliima klassi piirväärtuse ületamine esines mõõtepäeval 02.08.2019 ainult mõõtepunktis MP-T2-13.10, tingitud õhukiirusest $v_{a(1.1m)}=0,21\text{m/s}$ õhutemperatuuril $t_{a(1.1m)}=24,1^{\circ}\text{C}$ (Tabel 21). Kusjuures õhukiirus 0,21m/s ning temperatuur 24,1°C iseenesest vastavad II. sisekliima klassi nõuetele (jahutusperioodil). Mõõtepäeval 12.08.2019 antud mõõtepunktis nii õhukiiruse kui ka tõmbusindeksi tulemused olid aga juba vastavuses isegi I. sisekliima klassi nõuetega. Mõõtepäeval 12.08.2019 tõmbusindeksi II. sisekliima klassi piirväärtuse ületamine esines ainult mõõtepunktides MP-T2-13.9, MP-T2-13.11 ja MP-T2-13.16. Mõõtepäeval 02.08.2019 mõõtepunktide MP-T2-13.9 ning MP-T2-13.16 nii õhukiiruse kui ka tõmbusindeksi mõõtetulemused olid aga vastavuses I. sisekliima klassi nõuetega ja mõõtepunkti MP-T2-13.11 tulemused olid vastavuses II. sisekliima klassiga. Seega antud mõõtepunktides olukorrad ei ole mõõtepäevadel kordunud. Ülejäänud mõõtepunktides mõlema mõõtepäeva tulemused olid aga enam-vähem samad ning vastasid enamuses I. sisekliima klassile. Kütteperioodil tõmbusindeksi II. sisekliima klassi piirväärtuse ületamine esines ainult mõõtepäeval 17.02.2020 ja ainult mõõtepunktis MP-T2-13.10, tingitud eelkõige õhukiirusest $v_{a(1.1m)}=0,18\text{m/s}$. Mõõtepäeval 28.10.2019 antud mõõtepunktis nii õhukiiruse kui ka tõmbusindeksi tulemused aga vastasid isegi I. sisekliima klassile (õhukiirus 0,06m/s). Ülejäänud mõõtepunktides mõlema mõõtepäeva tulemused olid aga enam-vähem samad ning vastasid kõik I. sisekliima klassi nõuetele. Tuleb pöörata tähelepanu sellele, et kasutaja kaebustega mõõtepunktides õhukiiruste ja tõmbusindeksite kõik tulemused vastasid vähemalt II. sisekliima klassile nii jahutuse – kui ka kütte perioodil.

Õhukiiruste mõõtetulemuste analüüsimisel on aga täheldatud, et osades mõõtepunktides esines perioodiliselt tekkiv ja tundlikult muutuv turbulentsus, mis omakorda võib kasutajale perioodiliselt tekitada soojusliku ebamugavust (tõmbus) viibimistoonis. Uurimisalas, jahutustalades ning ventilatsioonisüsteemides õhurõhkude mõõtmistulemuste põhjal on jõutud järelduseni, et viibimistoonis osades punktides täheldatud muutuvad õhuliikumise turbulentsused on tingitud õhurõhu muutusest ventilatsioonisüsteemides, mis omakorda on tingitud ventilatsioonisüsteemide õhukanalitele paigaldatud rõhuvaheanduri „nullrõhu“ ebastabiilsusest. Rõhuvaheandurite ebastabiilne „nullrõhk“ on tehnoruumist mõõdetav atmosfäärirõhk, millele mõjub väga tundlikult samasse tehnoruumi lahendatud liftišahtide tuulutuse ning kommunikatsioonišahtide avatud lahendus. Avatud kommunikatsioonišahtid põhjustavad pidevad ülerõhku tehnoruumis ning liftide liikumine põhjustab õhurõhu muutusi, mida tunnetavad samas tehnoruumis asuvate ventilatsiooniseadmete õhukanalitele paigaldatud rõhuvaheandurid. Ventilatsioonisüsteemid töötavad pidev rõhk juhtimisega ning muutuv „nullrõhk“ põhjustab rõhumuutusi ventilatsioonisüsteemi lõppelementides (jahutustalades). Mõistlik

lahendus oleks ventilatsiooniseadmete rõhuvaheanduritele „nullrõhuks“ võtta atmosfäärirõhku väliskeskkonnast. Selleks siis peab organiseerima eelkõige ülemisel korrusel liftišahtide tuulutussotsadega tehnoruumis asuvate ventilatsiooniseadmete rõhuvaheandurite atmosfäärirõhku mõõtmisvooliku toomist väliskeskkonda ning mõõteotsa kaitset tuulerõhust. Juhul, kui atmosfäärirõhu mõõtmisotsa tuulerõhust efektiivne kaitse ei ole tagatud, siis õhurõhkudega seonduvad probleemid hoones (kaasa arvatud soojuslik sisekliima ning energiatarbimine) võivad aga veel oluliselt suurendada. Ehk atmosfäärirõhu mõõtmisotsiku asukoha määramisel peab kindlasti arvesse võtma tuulte statistikat ning konkreetse hoone aerodünaamikat. Ülejäänud korrustel asuvates ventilatsioonikambrites, kus õhurõhu kõikumist normaalselt ei tohi tekkida, soovitavalt üle kontrollida ventilatsiooniseadmete rõhuvaheandurite „nullrõhku“ ning vastavalt sellele vajadusel kalibreerida õhukanalite rõhuvaheandurit. See siis võimaldaks lisaks õhurõhkude erinevusest ja muutustest tingitud soojusliku sisekliima paranemist ning stabiliseerimist vähendada ka energiakulusid (ventilatsiooniseadmete töötamine madalamatel kiirustel).

Lisaks mängib kindlasti ka rolli, mis tingimustes olid ventilatsioonisüsteemide tasakaalustustööd läbiviidud. Kui korrusel oli ülerõhk, mida võeti süsteemi häälestuse ajal „nullrõhuks“, siis tegelik staatiline rõhk on jahutuspalkides atmosfääri suhtes suurem (suurem õhuhulk). Siinjuures peab arusaama, et õhurõhu erinevus atmosfääri suhtes võib hoones sees muutuda sõltuvalt sise- ja välistingimuste muutustest (sise- ja välisõhu temperatuuri ja tihenduse erinevuse pärast), ehk kui talveperioodil on hoone ülemistel korrustel üldjuhul ülerõhk (nagu antud hoones ka mõõdetud oli - Joonis 45), siis suvel võib sise- välistingimuste muutusest kõrghoone ülemises osas tekkida juba alarõhk. Ehk siis antud lahendusega isegi liftide seisualal võivad tekkida olukorrad, mil tegelikud õhulgad on projektsetest ning ka mõõdetud väärtusest suuremad ja seetõttu viibimistsooni osades punktides võib tekkida soojuslik ebamugavus (tõmbus).

Sisekliima uurimisel on lisaks täheldatud, et mõõtepunktides kus jahutustala on seinaga läheduses viibimistsoonis õhukiiruste vähendamiseks on vajalik jahutustalade suunajate (HVC element) piiramine minimaalsele ringlusõhuhulgale.

Ruumiregulaatorid avatud büroopindades paiknevad välisseinal. Jahutusperioodil mõlema mõõtepäeva maksimaalne temperatuuri erinevus esines mõõtepunktis MP-T2-13.7 (1.5°C ja 1.8°C vastavalt). Ruumiregulaatori ja mõõdetud operatiivtemperatuuri erinevus rohkem kui 0.7°C (ruumiregulaatori mõõtetäpsus $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ja operatiivse temperatuurianduri mõõtetäpsus $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$) esines enamus mõõtepunktides mõõtepäeval 12.08.2019. Jahutusperioodil mõlemal mõõtepäeval enamus punktides (kaasa arvatud MP-T2-13.7) ruumiregulaatorite näidud olid aga mõõdetud operatiivtemperatuuridest kõrgemad. Mõõtepäeval 12.08.2019 oli välisõhutemperatuur kõrgem kui mõõtepäeval 02.08.2019.

Kuna ruumiregulaatorid paiknevad välisseinal, siis nende suurem „eksimus“ kõrgema välisõhutemperatuuriga mõõtepäeval 12.08.2019 on ilmselt tingitud välisseina ja akna soojusliku mõjuga (soojusjuhtivus, kiirus). Antud olukorral siis vastava juhtimistsooni jahutusventiilid avanevad veidi varem kui peaksid (vastavalt optimaalsele operatiivtemperatuurile viibimistsoonis).

Kütteperioodil mõlema mõõtepäeva enamus mõõtepunktes ruumiregulaatori näidu ja mõõdetud operatiivtemperatuuri erinevus oli väiksem kui 0.7°C . Kuid maksimaalne temperatuuri erinevus esines jälle mõõtepunktis MP-T2-13.7. Mõõtepäeval 17.02.2020 ruumiregulaatori näit oli operatiivtemperatuurist kõrgem 1.6°C . Võrreldes teiste mõõtepunktidega mõõtepunkt MP-T2-13.7 oli kabinetis, milles väga suure tõenäosusega tekitab lisa mõju suitsu-vaba trepikoja välisrõdu sein (sisuliselt välissein) - lisa kiirguspind, mis antud kabinetis (antud korrusel kõige suurem eri-soojuskaoga ruum köetava ruutmeetri kohta) võib päris tundlikult mõjutada operatiivtemperatuuri, mida ei tunnetata ruumiregulaator. Antud olukorral ruumiseadme kütteventiil sulgub veidi varem kui peaks (optimaalse operatiivtemperatuuri seisukohalt). Ruumitemperatuuri korrigeerimiseks on kasutajale antud temperatuuri reguleerimisvõimalus koha pealt $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$. Siinjuures tuleb pöörata tähelepanu, et mõõtepunktis MP-T2-13.7 mõõdetud operatiivne temperatuur vastas I. sisekliima klassile nii jahutuse- kui ka kütteperioodi mõlemal mõõtepäeval (Tabel 22).

Peab pöörama tähelepanu, et soojusliku sisekliima uurimisel lühiajaliste mõõtmiste ajal välistingimused ei olnud arvutuslike väärtuste juures: jahutusperioodi mõõtmistel oli välisõhutemperatuur arvutuslikust väärtusest madalam ning kütteperioodi mõõtmistel oli välisõhutemperatuur arvutuslikust oluliselt kõrgem). Ehk antud töös saadud mõõtmistulemused võivad erineda kasutaja küsitluse andmetest, mis on koostatud kogu kütte- ja jahutusperioodile.

Lisaks mõõtmistele kasutati uurimisala sisekliima hindamiseks ka subjektiivse küsimustiku, mis saadeti hoone uurimisala kasutajatele elektrooniliselt. Küsitlused viidi läbi jahutuse ning kütteperioodile. Vastajaid mõlemale küsimustikule oli 19 inimest.

Vastavalt küsitluse vastustele jahutusperioodil soovinud ruumitemperatuuri mitte muuta ja temperatuuri langetada jagunes kaheks võrdseks osaks (9 vastajat). Temperatuuri langetamise puhul võib aga tekkida lokaalne ebamugavus (tõmbus). Ehk enne sisekliimasüsteemides seadeparameetrite muutmist soovitavalt nende tsoonide sisekliimat täiendavalt (pikkemalt) läbi uurida ning selgitada välja, kus ja mis tingimustes täpselt seal tekitab palavustunnet ning võimalusel lahendada seda lokaalselt (vastava tsooni temperatuuri regulaatori seadistuse ning mõõtetäpsuse kontroll).

Kütteperioodil domineerib soov temperatuuri mitte muuta (10 vastajat). See tähendab, et enam osa vastajatest on kütteperioodil soojusliku sisekliimaga rahul.

6. KOKKUVÕTE

Töö põhiülesandeks oli hinnata soojusliku sisekliimat kütte- ja jahutusperioodil ning soojusliku sisekliima tagamise süsteemide toimivust 4-toru jahutustaladega kõrghoone büroopindadel.

Soojusliku sisekliima lühiajalised mõõtmised vastavalt ISO 7730 [1] ja ISO7726 [2] viidi läbi jahutusperioodil 02.08.2019 ja 12.08.2019 ning kütteperioodil 28.10.2019 ja 17.02.2020. Uurimisalas (Torn 2 13 ja 14 korrusel) mõõdeti ruumiõhu temperatuuri ning õhukiirust kõrgustel põrandast 0.1, 0.6, 1.1. ja 1.7m. Lisaks mõõdeti ruumiõhu suhtelist niiskust ja operatiivset temperatuuri. Eesmärgiks oli hinnata nii üldist soojusliku mugavust, kui ka lokaalset ebamugavust.

Jahutusperioodil operatiivtemperatuuri mõõtetulemused olid enamasti kõik vastavuses isegi I. sisekliima klassile. Esimese mõõtepäeva maksimaalne operatiivtemperatuur 25,7°C ning enamus 24,0...25,0°C ja teise mõõtepäeva maksimaalne 24,7°C ning enamus 23,5...24,3°C. Mõõtepäevade ruumiõhu suhteline niiskus vastavalt 33..37RH% ja 53..58%RH.

Kütteperioodil läbiviidud kahe mõõtepäeva üldise soojusliku sisekliima tulemused omavahel erinevad ainult niipalju, et esimese mõõtepäeva operatiivtemperatuuri tulemused vastasid kõik II. sisekliima klassile (minimaalne operatiivtemperatuur 23,0°C ning enamus 23,3...23,6°C). Teise mõõtepäeva tulemused on peaaegu kõik vastavuses I. sisekliima klassile (minimaalne operatiivtemperatuur 21,6°C ning enamus 22,2...22,9°C). Kütteperioodil mõlema mõõtepäeva ruumiõhu suhteline niiskus väga ei erinenud ning jäi vahemikusse 30..33%.

Jahutusperioodil mõlema mõõtepäeva suurim vertikaalne temperatuurierinevus on 0.4°C. Vastavalt mõlema mõõtepäeva tulemustele suurim vertikaalne temperatuurierinevus kütteperioodil on 1,5°C (välisõhu temperatuur 4,5..6,4°C). Kütteperioodil enamus temperatuurierinevusi jäi aga kindlalt 0,8 °C piiresse sõltumata kas mõõtepunkt asus avatud büroos või kabinetis.

Õhu liikumiskiiruste ning tõmbusindeksite mõõtetulemused enamus mõõtepunktides vastasid vähemalt II. sisekliima klassile (osad mõõtetulemused mahtusid ka I sisekliima klassi piiresse) nii jahutuse- kui ka kütteperioodil. Jahutusperioodil tõmbusindeksi II. sisekliima klassi piirväärtuse ületamine esines kummalgi mõõtepäeval üksikutes mõõtepunktides. Kütteperioodi mõõtmistulemused vastasid enamjaolt I klassile. Õhukiiruste mõõtetulemuste analüüsimisel on täheldatud, et osades mõõtepunktides esines perioodiliselt tekkiv ja tundlikult muutuv turbulentsus, mis omakorda võib

kasutajale perioodiliselt tekitada soojusliku ebamugavust. Uurimisalas, jahutustalades ning ventilatsioonisüsteemides, õhurõhkude mõõtmistulemuste põhjal on jõutud järelduseni, et viibimistoonis osades punktides täheldatud muutuvad õhuliikumise turbulentsused on tingitud õhurõhu muutusest ventilatsioonisüsteemides. See omakorda on tingitud ventilatsioonisüsteemide õhukanalitele paigaldatud rõhuvaheanduri „nullrõhu“ ebastabiilsusest. Rõhuvaheandurite ebastabiilne „nullrõhk“ on tehnoruumist mõõdetav atmosfäärirõhk, millele mõjub väga tundlikult samasse tehnoruumi lahendatud liftišahtide tuulutuse ning kommunikatsioonišahtide avatud lahendus. Mõistlik lahendus oleks liftišahtide tuulutussadega samas tehnoruumis asuvate ventilatsiooniseadmete rõhuvaheanduritele „nullrõhuks“ võtta atmosfäärirõhku väliskeskkonnast. Sisekliima uurimisel on lisaks täheldatud, et mõõtepunktides kus jahutustala on seinaga läheduses viibimistoonis õhukiiruste vähendamiseks on vajalik jahutustalade suunajate (HVC element) piiramine minimaalsele ringlusõhuhulgale.

Ruumiregulaatorid avatud büroopindades paiknevad välisseinal. Jahutusperioodil mõlema mõõtepäeva maksimaalne temperatuuri erinevus oli 1.5°C ja 1.8°C . Ruumiregulaatori ja mõõdetud operatiivtemperatuuri erinevus rohkem kui 0.7°C (ruumiregulaatori mõõtetäpsus $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ja operatiivse temperatuurianduri mõõtetäpsus $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$) esines enamuse mõõtepunktides teisel jahutusperioodi mõõtepäeval. Jahutusperioodil mõlemal mõõtepäeval olid enamuse punktides ruumiregulaatorite näidud aga mõõdetud operatiivtemperatuuridest kõrgemad. Kuna ruumiregulaatorid paiknevad välisseinal, siis nende suurem „eksimus“ kõrgema välisõhutemperatuuriga teisel mõõtepäeval võib olla tingitud välisseina ja akna soojuslikust mõjust (soojusjuhtivus, kiirgus). Antud olukorras vastava juhtimistsooni jahutusventiilid avanevad veidi varem kui peaksid. Kütteperioodil mõlema mõõtepäeva enamuse mõõtepunktides ruumiregulaatori näidu ja mõõdetud operatiivtemperatuuri erinevus oli väiksem kui 0.7°C . Maksimaalne temperatuuri erinevus esines teisel mõõtepäeval, kus ruumiregulaatori näit oli operatiivtemperatuurist kõrgem 1.6°C võrra. Ruumitemperatuuri korrigeerimiseks on kasutajale antud temperatuuri reguleerimisvõimalus koha pealt $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$.

Lisaks mõõtmistele kasutati uurimisala sisekliima hindamiseks ka subjektiivse küsimustikku, mis saadeti hoone uurimisala kasutajatele elektrooniliselt. Lisaks mõõtmistele kasutati uurimisala sisekliima hindamiseks ka subjektiivse küsimustiku, mis saadeti hoone uurimisala kasutajatele elektrooniliselt. Küsitlused viidi läbi jahutuse ning kütteperioodile. Vastajaid mõlemale küsimustikule oli 19 inimest.

Jahutusperioodil jagunesid vastused ruumitemperatuuri mitte muuta ja temperatuuri langetada kaheks võrdseks osaks. Kütteperioodil domineerib soov temperatuuri mitte muuta ehk enamuse vastajatest on kütteperioodil soojusliku sisekliimaga rahul.

Käesolevas magistritöös uuritud liginullenergia kõrghoone büroopindade mõõtmis- ja katsetustulemuste analüüsi põhjal leidis autor, et:

- Uurimisala teenindavad sisekliimasüsteemid töötavad korrektselt
- Üldise soojusliku sisekliima parameetrid nii kütte- kui jahutusperioodil vastasid uurimisalas vähemalt II sisekliima klassile;
- Õhu liikumiskiiruste ja tõmbusindeksi osaline ebavastavus II sisekliima klassile on tingitud perioodilistest õhurõhu kõikumistest ventilatsioonisüsteemides;
- Tähelestatud õhurõhu kõikumistele ventilatsioonisüsteemis oleks lahendus ventilatsiooniseadmete rõhuvaheanduritele „nullrõhuks“ võtta atmosfäärirõhku väliskeskkonnast;
- Punktides, kus jahutustala on seinaga läheduses viibimistoonis õhukiiruste vähendamiseks on vajalik jahutustalade suunajate (HVC element) piiramine minimaalsele ringlusõhuhulgale;
- Sisekliima küsitluse põhjal on töötajad keskkonnaga kokkuvõttes pigem rahul

ENGLISH SUMMARY

The main task of the work was to assess the performance of the indoor climate systems responsible for the thermal indoor climate in the heating and cooling season and for the thermal indoor climate.

The functional performance check of the systems servicing the research area gave a very positive result. The verification has resulted in no programmatic or physical errors being found.

Short-term measurements of the thermal indoor climate according to the ISO 7730 and ISO7726 methodology [1] [2] have been carried out during the cooling period 02.08.2019 and 12.08.2019, and during the heating period 28.10.2019 and 17.02.2020. In the area of investigation (Tower 2 13 and 14 floor), the temperature of the room and air velocity were measured from the height of the floor 0.1, 0.6, 1.1. and 1.7 m. In addition, the relative humidity and the operative temperature of the room air were measured. The goal was to assess both overall thermal comfort and local discomfort.

In the cooling period, the results of the overall thermal indoor climate carried out during the two measurement days were not significantly different. During the cooling period, the measurement results for the operative temperature were mostly all matched even indoor climate category I. The results of two measuring days in the cooling period differ only in so far as the operative temperatures measured during 02.08.2019 were slightly higher (maximum 25.7°C, and the majority of 24.0... 25.0°C), than results measured during 12.08.2019 (maximum 24.7°C, and the majority of 23.5... 24.3°C). Relative humidity of the room air 02.08.2019 (33... 37RH%) was lower compared to the 12.08.2019 measurement results (53%-58% RH).

The results of the overall thermal indoor climate performed on two measuring days during the heating period differ only in so far as that results of the measuring day 28.10.2019 fitted all category II limits caused by too high operative temperature (minimum 23.0°C, and the majority of 23.3... 23.6°C -overheating) and 17.02.2020 measured results are almost all compliant with the category I (minimum 21.6°C, and the majority of 22.2... 22.9°C).

The relative humidity of the room air for both measuring days was not very different during the heating period and ranged from 30% to 33% (minimum recommended 20%).

The maximum vertical temperature difference during the heating period was 1.5°C (ambient temperature 4,5...6,4°C). However, most temperature differences during the heating period remained firmly within 0.8 °C regardless of whether the measuring point was located in a big open office area or in separate small office room .

The measurement results of the air velocity and the draught rate at most of the measuring points corresponded to at least for the indoor climate category II (some of the measuring results were also within the category I limits), during cooling and heating periods.

However, when analysing the measurement results for air velocity, it has been observed that periodic and sensitively variable turbulence has occurred in some measuring points, which in turn may cause the user to periodically generate thermal discomfort (draught) in the occupied area. On the basis of the results of measuring air pressure difference in the area of investigation, static air pressure in chilled beams and ventilation systems, it has been concluded that the periodical air velocity fluctuation observed in some points of the occupied area is due to the static air pressure fluctuation in ventilation systems, which in turn is due to the instability of the "zero pressure" for pressure transducers fitted to the supply and extract air ducts. The unstable "zero pressure" for the air pressure transducers is the air pressure measured from the same technical room (not atmospheric pressure) where the air handling units are located (15-th floor technical room- top floor). The lift shafts airing is resolved into the same technical room by normally open dampers. Open communications shafts cause continuous overpressure in this technical room, and the motion of the lifts results in air pressure fluctuation, which is felt by the pressure air transducers fitted to the air ducts of the ventilation equipment. Ventilation systems operate with continuous pressure management and unstable "zero pressure" causes air pressure jumps in the ventilation system terminal elements (cooling beams) and as the result periodical local discomfort in the occupied zone (draughts). A reasonable solution would be to take the atmospheric pressure from the outside environment for the ' zero pressure ' of the ventilation equipment pressure sensors.

When studying the indoor climate, it is also noted that in some measuring points, where the chilled beam location is close to the walls in order to reduce an air velocity in occupied zone, it is necessary to readjust the chilling beam HVC (Halton velocity control) damper to a minimum recycling air volume position.

Room temperature controllers in open office spaces are all located on exterior wall. The maximum temperature difference for both measuring days during the cooling period was specified in MP-T2-13.7 (1.5°C and 1.8°C respectively). The difference between the room controller reading and the measured operative temperature more than 0.7°C (the room controller's accuracy $\pm 0.5^\circ\text{C}$ and the operative temperature sensor accuracy $\pm 0.2^\circ\text{C}$) was observed at most of the metering points on the 12.08.2019. During the cooling period on both measuring days, the majority of the room controllers' readings at measuring points were higher than the operative temperatures measured. On the measuring day 12.08.2019 the ambient temperature was higher than in the measuring day 02.08.2019. As well as room controllers are located on the external wall, their greater "error" at the

measurement date of the higher ambient air temperature 12.08.2019 is apparently due to the thermal effect of the exterior walls and the windows (thermal conductivity, radiation). In this situation, the cooling control valves of the corresponding control zone open slightly earlier than they should (according to optimal operative temperature in the occupied zone).

During the heating season, the majority of the room controller readings and the measured operational temperature of the two measurement days were less than 0.7°C.

In addition to measurements, a subjective questionnaire was used to assess the indoor climate of the research area, which was sent electronically to the users of the building's research area. Surveys were carried out for cooling and heating. Respondents to both questionnaires had 19 people.

According to survey responses during the cooling period, the amount of desirous not change the room temperature and the amount of desirous for lowering of room temperature was equal - 9 respondents. And only one of the respondents would like the temperature rather to raise. However, when lowering the temperature, local discomfort (draughts) may occur. So, before changing any parameters of the indoor climate systems, the indoor climate should be further explored in these zones (during longer period) and find out where and under what conditions there is a sense of warm and, if possible, to resolve it locally (check room controller settings and measurement accuracy, re-adjusting if needed).

In the heating season, the desire to not change the temperature (10 respondents) dominates. This means that more of the respondents are satisfied with the thermal indoor climate during the heating period.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] ISO 7730, Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of the thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria (ISO 7730:2005), 2006.
- [2] ISO 7726, Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities, 2001.
- [3] D. Teppe, A. Tretjak, A. Engels and M. Kiil, "Ülemiste City linnakus kogutavatest andmetest lähtuvad uued ärivõimalused ja ärimudelid," Tallinna Tehnikaülikool, Ehituse ja arhitektuuri instituut, Tallinn, 2018.
- [4] EVS 812-8:2018, EHITISTE TULEOHUTUS Osa8: Kõrghoonete tuleohutus, 2018.
- [5] Hoone energiatõhususe arvutus, AMECON OÜ, 2015.
- [6] Hoone energiamärgis, AU Energiateenus OÜ, 2019.
- [7] A. Sandelewski, Can high-rise buildings be near zero energy buildings (NZEB), 2019.
- [8] Ю. А. Табунщиков, Н. В. Шилкин, Аэродинамика высотных зданий (Aerodynamics of high-rise buildings).
- [9] EVS-EN 16798-1:2019+NA:2019, HOONETE ENERGIATÕHUSUS. Hoonete ventilatsioon Osa1: Sisekeskkonna lähteandmed hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist, soovuslikust keskkonnast, valgustusest ja akustikast Moodul M1-6, 2019.
- [10] Innova AirTech Instruments, "Thermal booklet," 18 03 1997. [Online]. Available: http://www.labeee.ufsc.br/antigo/arquivos/publicacoes/Thermal_Booklet.pdf.
- [11] EVS-EN 16798-3:2017, HOONETE ENERGIATÕHUSUS. Hoonete ventilatsioon Osa3: Mitteleluhoonete ventilatsioon. Üldnõuded ventilatsiooni ja ruumiõhu konditsioneerimise süsteemidele (Moodulid M5-1,M5-4), 2017.
- [12] E. Abel, H. Voll and T. Tark, Hoonete energiatarve ja sisekliima, Tallinn: EKVÜ, 2014.
- [13] T. A. Kõiv, Õhu konditsioneerimine I Õhutöötlemisprotsessid, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, Keskkonatehnika instituut, 2014.
- [14] P. Wargocki, O. Seppänen, J. Andersson, A. Boerstra, D. C. Croome, K. Fitzner and S. O. Hanssen, Indoor climate and productivity in offices, Brussels: Rehva, 2006.
- [15] Sisekliima määruse mustand, Tallinn, 2019.

- [16] EVS 906:2018, Mitteeluhoonete ventilatsioon. Üldnõuded ventilatsiooni ja ruumiõhu konditsioneerimissüsteemidele. Eesti rahvuslik lisa standardile EVS-EN 16798-3:2017, 2018.
- [17] EVS 844:2016, HOONETE KÜTTE PROJEKTEERIMINE, 2016.
- [18] P. Peter V.Nielsen, The Fluid Dynamics of Human Body Micro-Environment, Aalborg University.
- [19] B. H.Montazeri, Extention of generalized forced convective heat transfer coefficient expressions for isolated buildings taking into account oblique wind directions, 2018.
- [20] Jarek Kurnitski, Martin Thalfeldt, Aivar Uutar, Targo Kalamees, Hendrik Voll, Argo Rosin, Madal- ja liginullenergiahooned. Büroohoonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektis., Riigi Kinnisavara AS ja Tallinna Tehnikaülikool, 2018.

LISAD

Lisa 1. PMV ja PPD indeksite arvutusvalemid

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

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

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

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

Kus

- M - metabolismi tase (W/m²);
- W - efektiivne mehaaniline jõud (W/m²);
- I_{cl} - riietuse soojusisolatsioon (m²·K/W);
- f_{cl} - riietuse pindalafaktor;
- t_a - õhutemperatuur (°C);
- $\bar{t}_r$ - keskmine kiirguslik temperatuur (°C);
- v_{ar} - suhteline õhu liikumise kiirus (m/s);
- p_a - veeauru osarõhk (Pa);
- h_c - konvektiivse soojusülekanne koefitsient [W/(m²·K)];
- t_{cl} - riietuse pinnatemperatuur (°C).

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2) \quad (5)$$

Lisa 2. Tõmbusindeksi DR (Draught Rate) arvutusvalem

$$DR = (34 - t_{a,I})(\overline{v_{a,I}} - 0,05)^{0,62}(0,37 \cdot \overline{v_{a,I}} \cdot T_u + 3,14) \quad (6)$$

$\overline{v_{a,I}} < 0,05$ m/s kasutada $\overline{v_{a,I}} = 0,05$ m/s

$DR > 100\%$ kasutada $DR = 100\%$

Kus

$t_{a,I}$ - mõõdetud ruumiõhu temperatuur +20 kuni +26 (°C)

$\overline{v_{a,I}}$ - mõõdetud õhu liikumise kiirus <0,5 (m/s)

T_u - õhu turbulentsuse intensiivsus (%)

$$T_u = 100 \frac{SD}{\overline{v_{a,I}}} \quad (7)$$

Kus

SD - õhukiiruse standart hälve /Standart deviation)

$\overline{v_{a,I}}$ - mõõdetud õhu liikumise kiirus <0,5 (m/s)

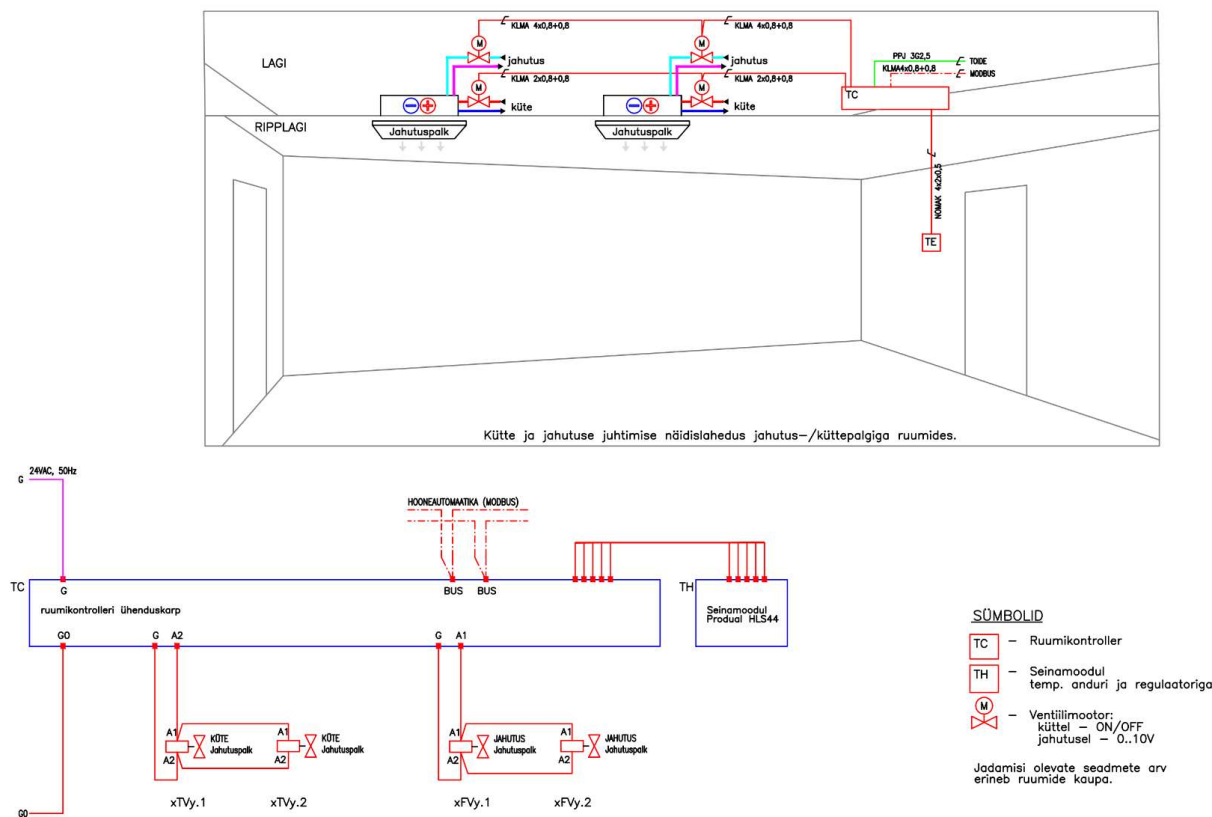
T_u - õhu turbulentsuse intensiivsus (%)

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(v_{a,i} - \overline{v_a} \right)^2}$$

kus

$v_{a,i}$ on kiirus mõõteperioodi mingil ajahetkel „i“.

Lisa 3. Ruumiseadmete juhtimisskeem



TÖÖREŽIIMID:

RUUMIL ON KAKS REŽIIMI:

- TÖÖREŽIIM (MÄÄRAB HOONEAUTOMAATIKA AEGPROGRAMMI VÕI RUUMI HÕIVATUSE INFO VALVESIGNALISATSIOONILT)
- SÄÄSTUREŽIIM (VÄLJASPOOL TÖÖAEGA VÕI RUUMI HÕIVATUST)

ERINEVAID REŽIIME PEAB OLEMA VÕIMALIK SEADISTADA HOONEAUTOMAATIKA LOKAALVÕRGU KAUDU. AUTOMAATIKASÜSTEEMI PROGRAMMIGA PEAB OLEMA VÕIMALIK ÜKSIKUD RUUMID VÕI RUUMIDE GRUPID ÜLE VIA TÖÖREŽIIMILT SÄÄSTUREŽIIMILE JA VASTUPIDI.

RUUMI SEINAMOODULILT (TC) PEAB OLEMA VÕIMALUS:

- SIIRDEOLEKULE VIIMINE – TÖÖVÄLISEL AJAL SIIRDEOLEKU NUPPU VAJUTADES LÄHEB JUHTPROGRAMMI SÄÄSTUREŽIIMIST TÖÖREŽIIMI. SIIRDEOLEKU AJA MÕÕDUDES, MIS ON SEADISTATAV AUTOMAATIKA JUHTIMISKESKUSEST, LÄHEB PROGRAMMI TAGASI SÄÄSTUREŽIIMI.

AUTOMAATIKA JUHTIMISKESKUSEST PEAVAD OLEMA JÄLGITAVAD JA SEADISTATAVAD JÄRGMISED FUNKTSIOONID:

- KELLAAEG
- RUUMI TEMPERATUUR
- PÕHISEADESUURUSED JA RUUMI SEINAMOODULI NÄIT
- RUUMI SEINAMOODULI MÕJU SEADESUURUSELE

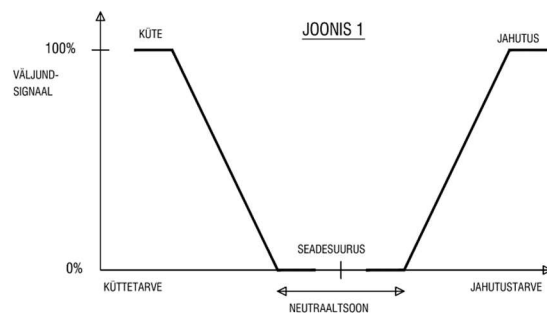
JAHUTUSPALGIGA RUUMID:

TÖÖREŽIIM:

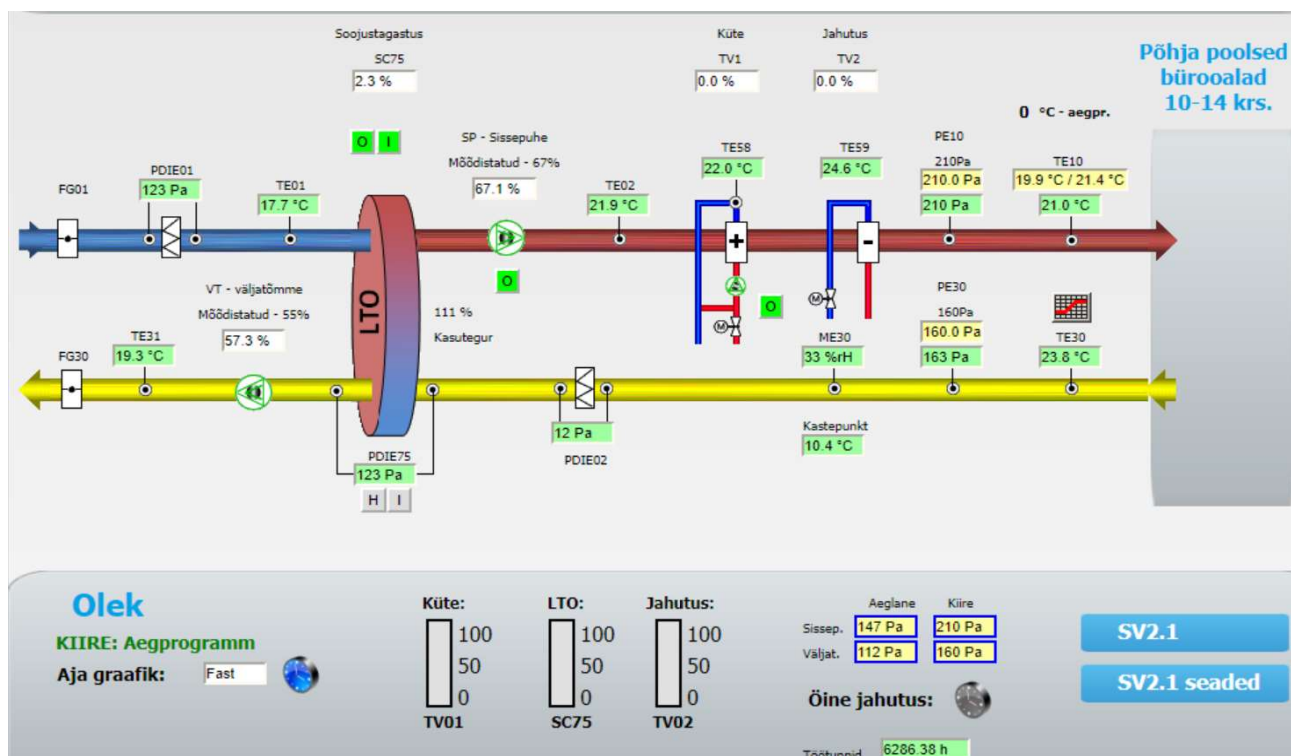
RUUMIKONTROLLERI (TC) JUHTPROGRAMM VÄLDIB RUUMITEMPERATUURI (TE) KÕRVALEKALDUMIST SEADESUURUSEST (NÄT. +0,5...-0,5°C) JAHUTUSVENTILI (FV) JA KÜTTEVENTILI (TV) JÄRJESTIKUSE JUHTIMISEGA (JÕONIS 1).

SÄÄSTUREŽIIM:

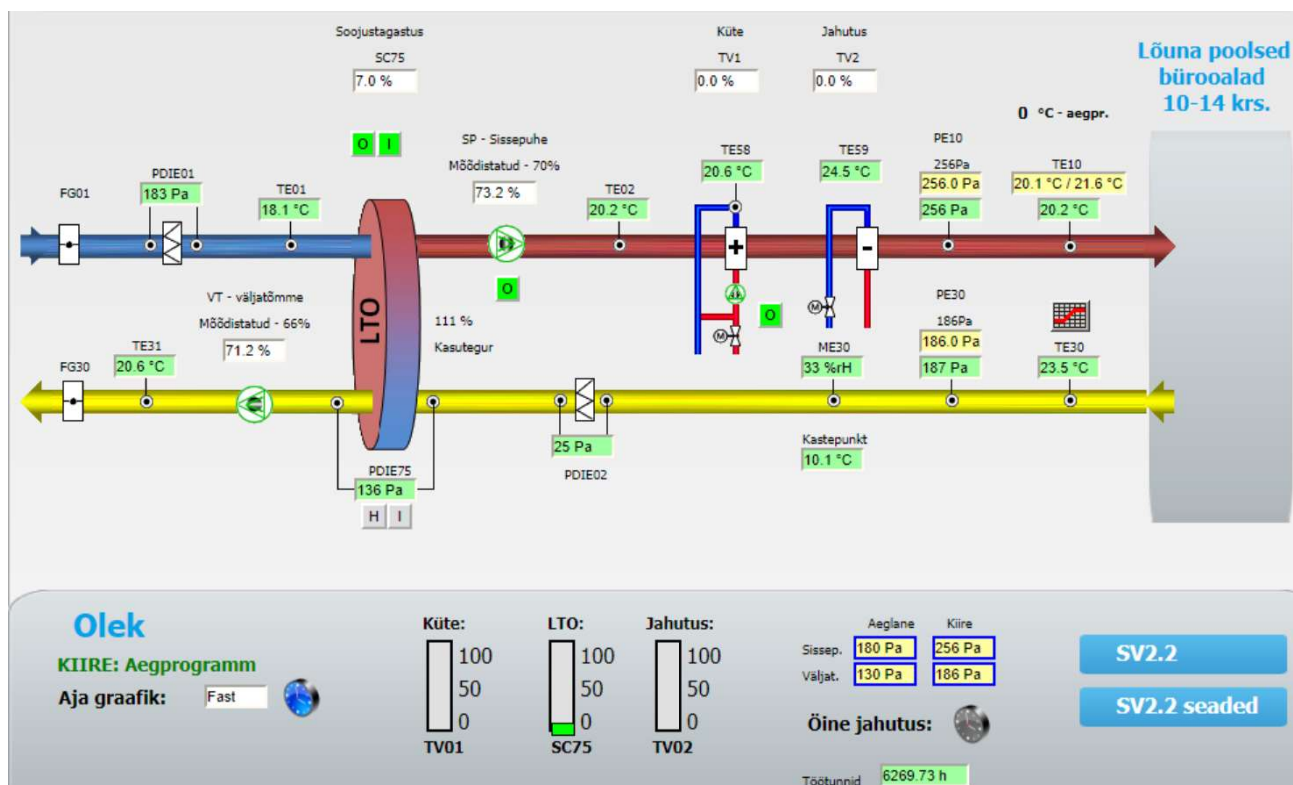
RUUMIKONTROLLERI (TC) JUHTPROGRAMM VÄLDIB RUUMITEMPERATUURI (TEH16) KÕRVALEKALDUMIST SEADESUURUSEST (NÄT. +3...-3°C) JAHUTUSVENTILI (FV) JA KÜTTEVENTILI (TV) JÄRJESTIKUSE JUHTIMISEGA (JÕONIS 1).



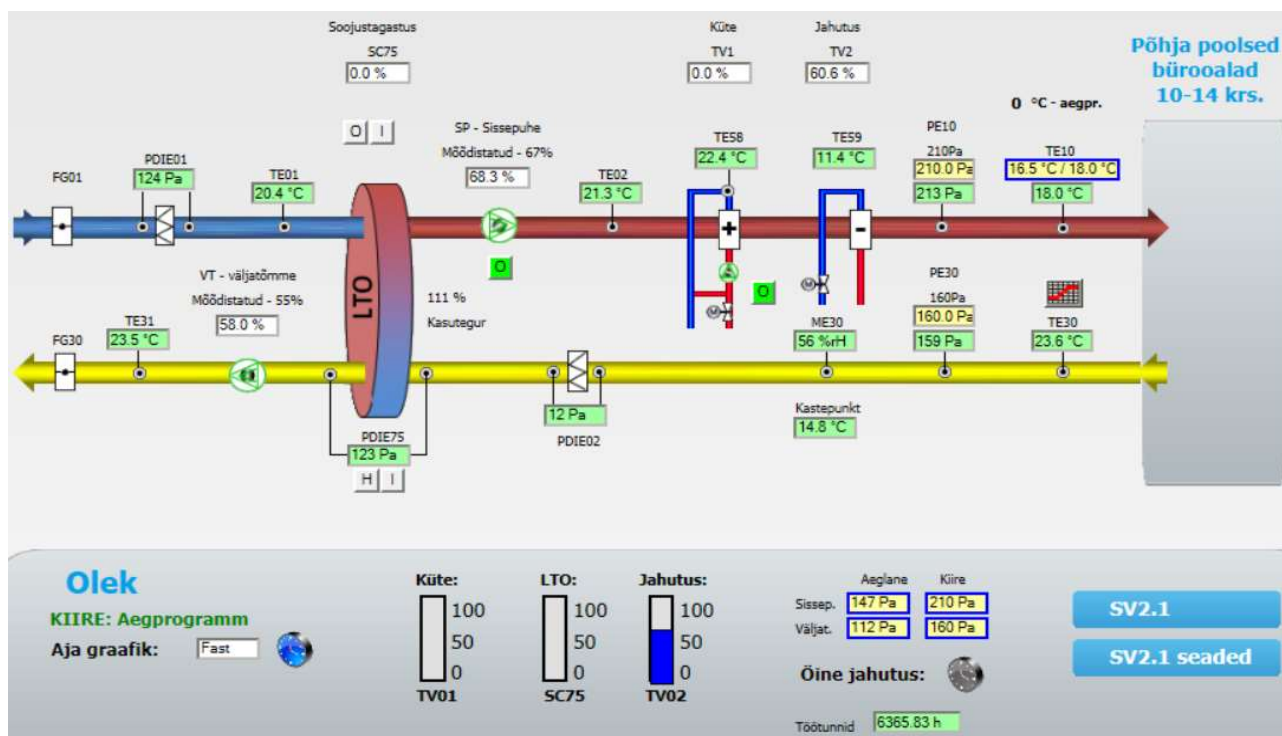
Lisa 4. Ventseadmete SV2.1 ja SV2.2 funktsionaalskeemid



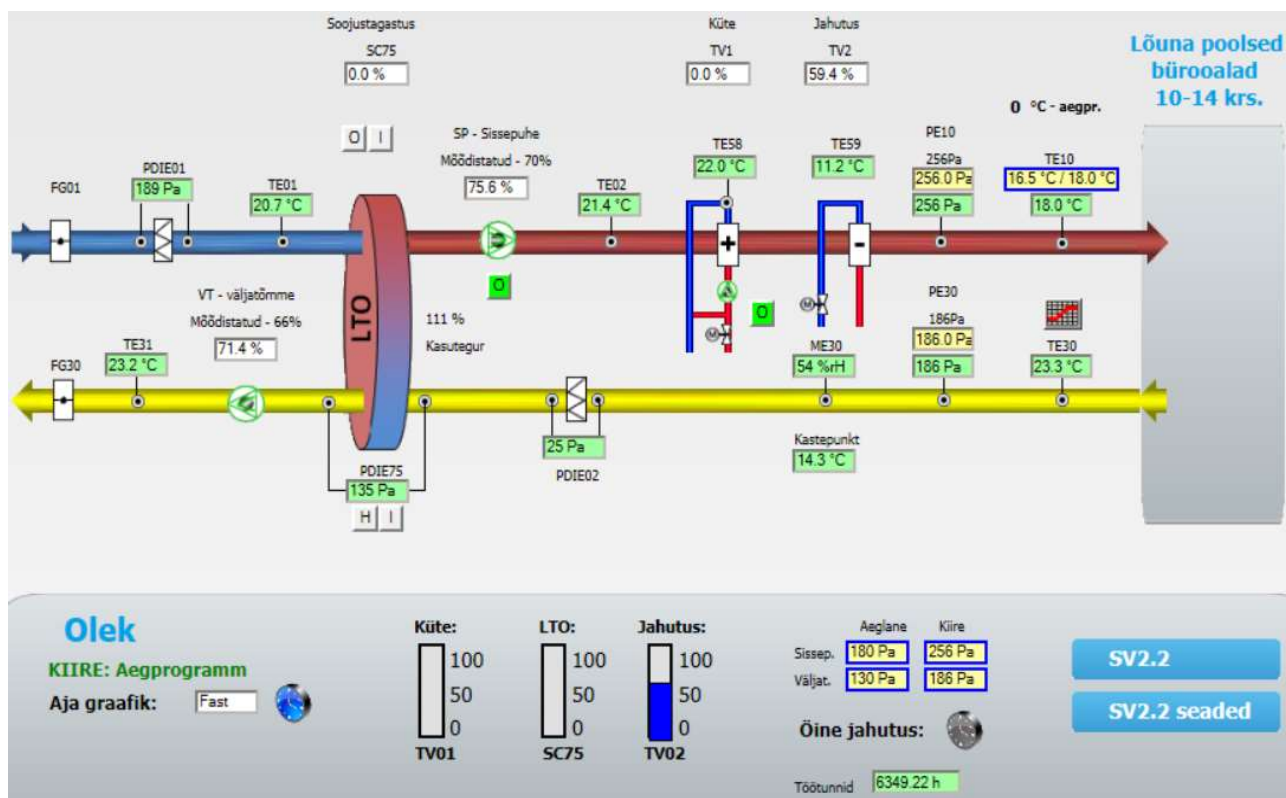
Pilt 27. SV2.1 ventilatsioonisüsteemi BMS andmed seisuga 02.08.2019 12.45



Pilt 28. SV2.2 ventilatsioonisüsteemi BMS andmed seisuga 02.08.2019 12.45

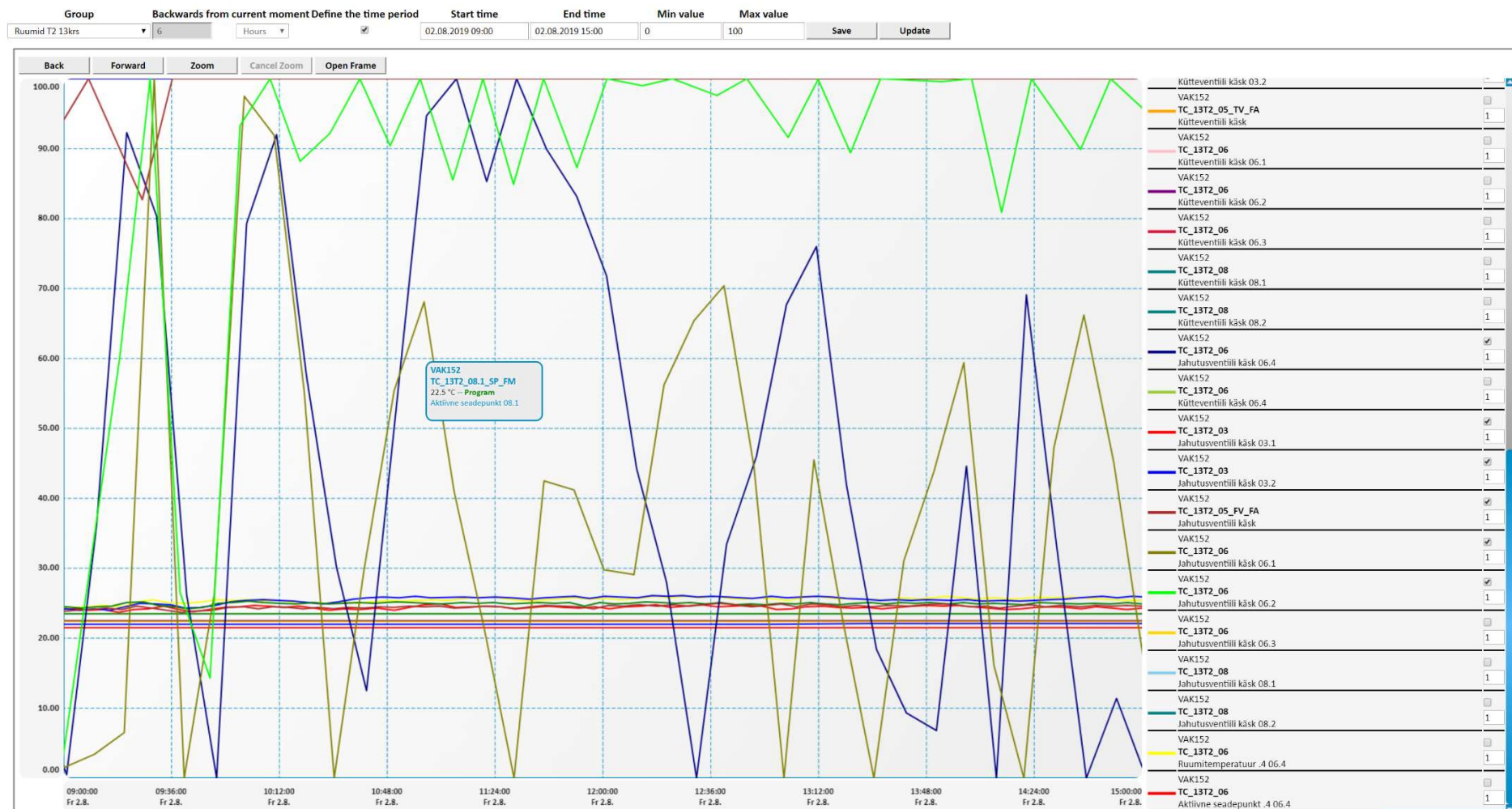


Pilt 29. SV2.1 ventilatsioonisüsteemi BMS andmed seisuga 12.08.2019 12.20

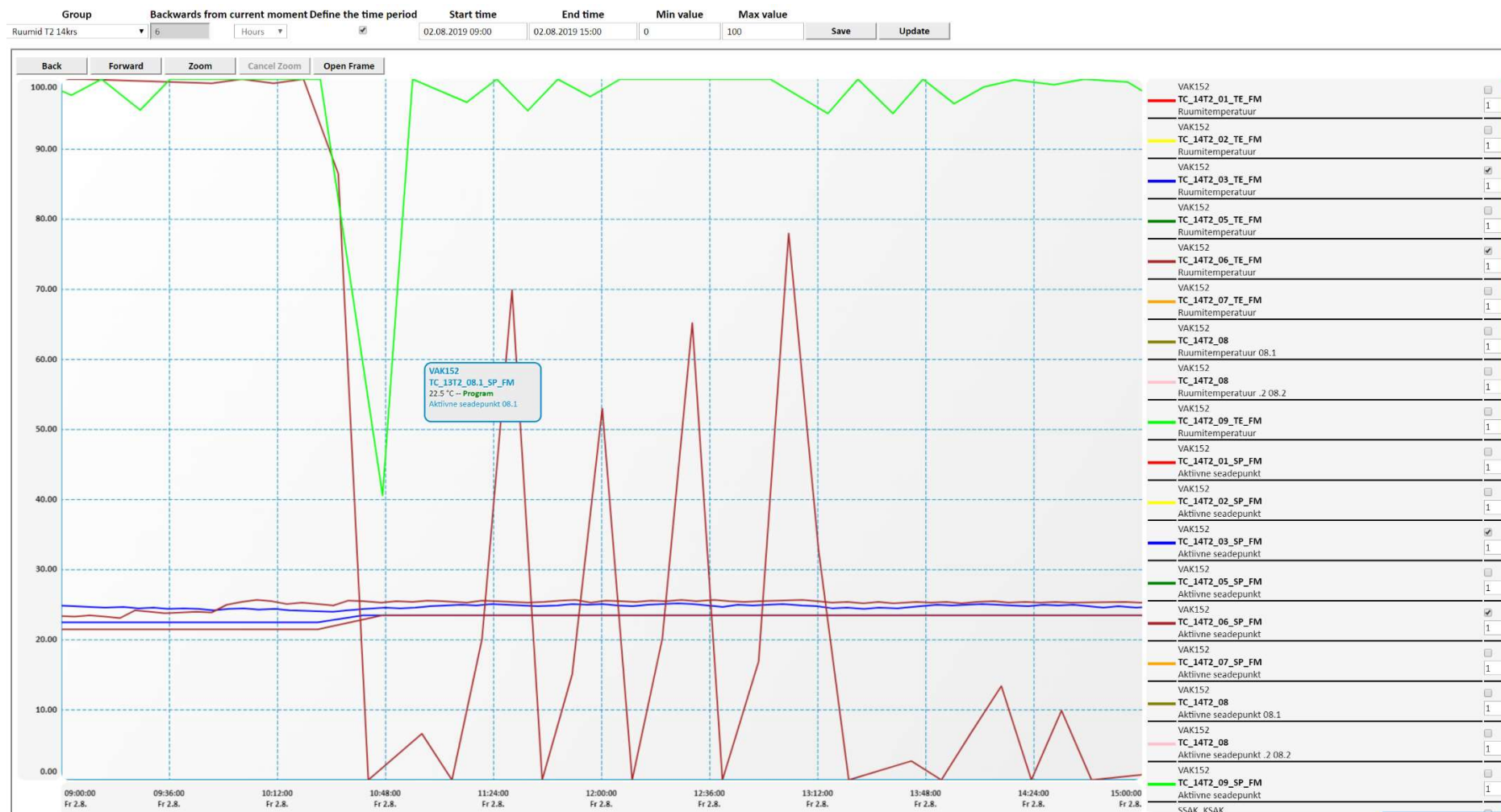


Pilt 30. SV2.2 ventilatsioonisüsteemi BMS andmed seisuga 12.08.2019 12.20

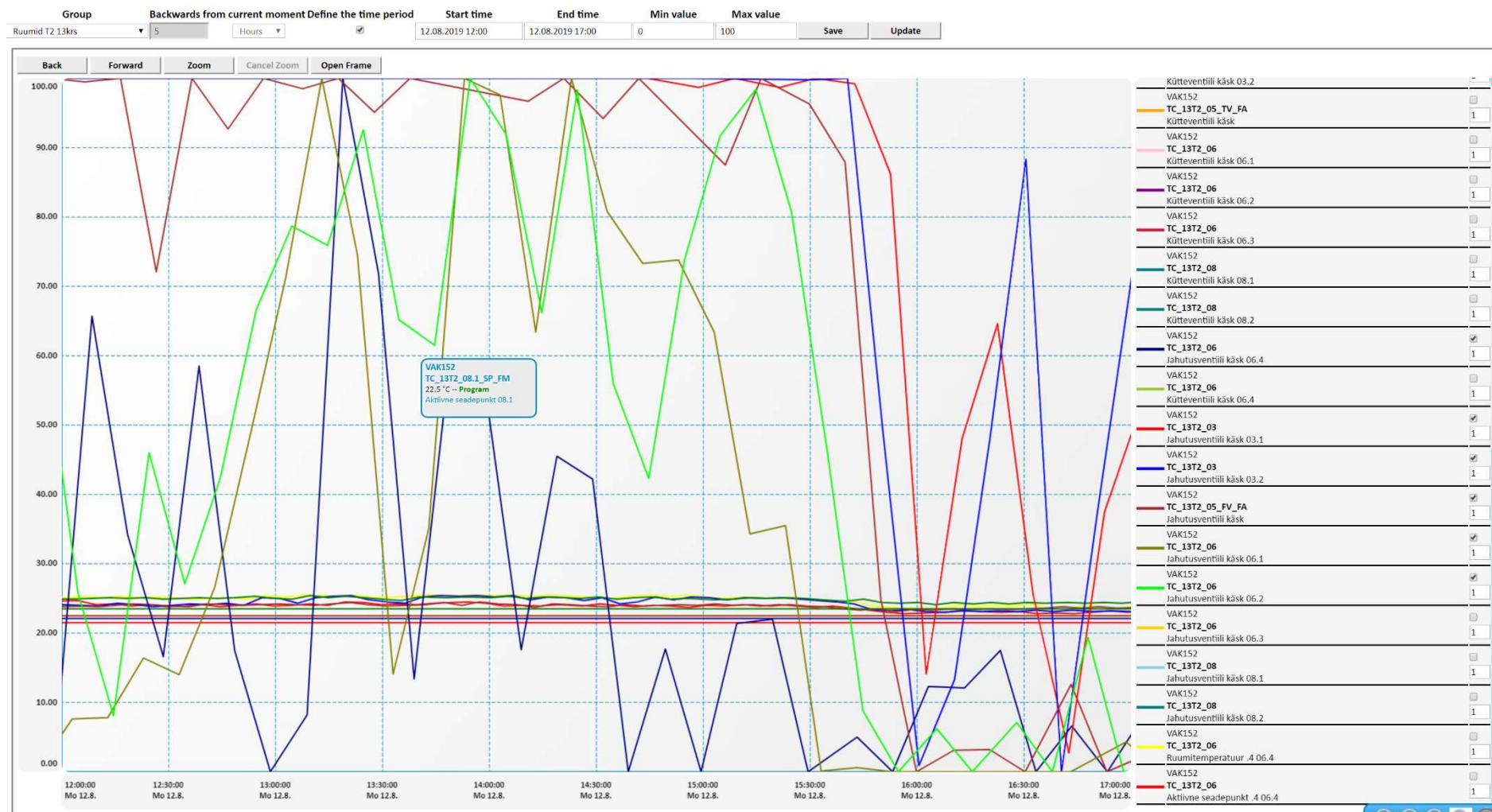
Lisa 5. Ruumiseadmete jahutusventiilide asendid sisekliima mõõtmise ajal



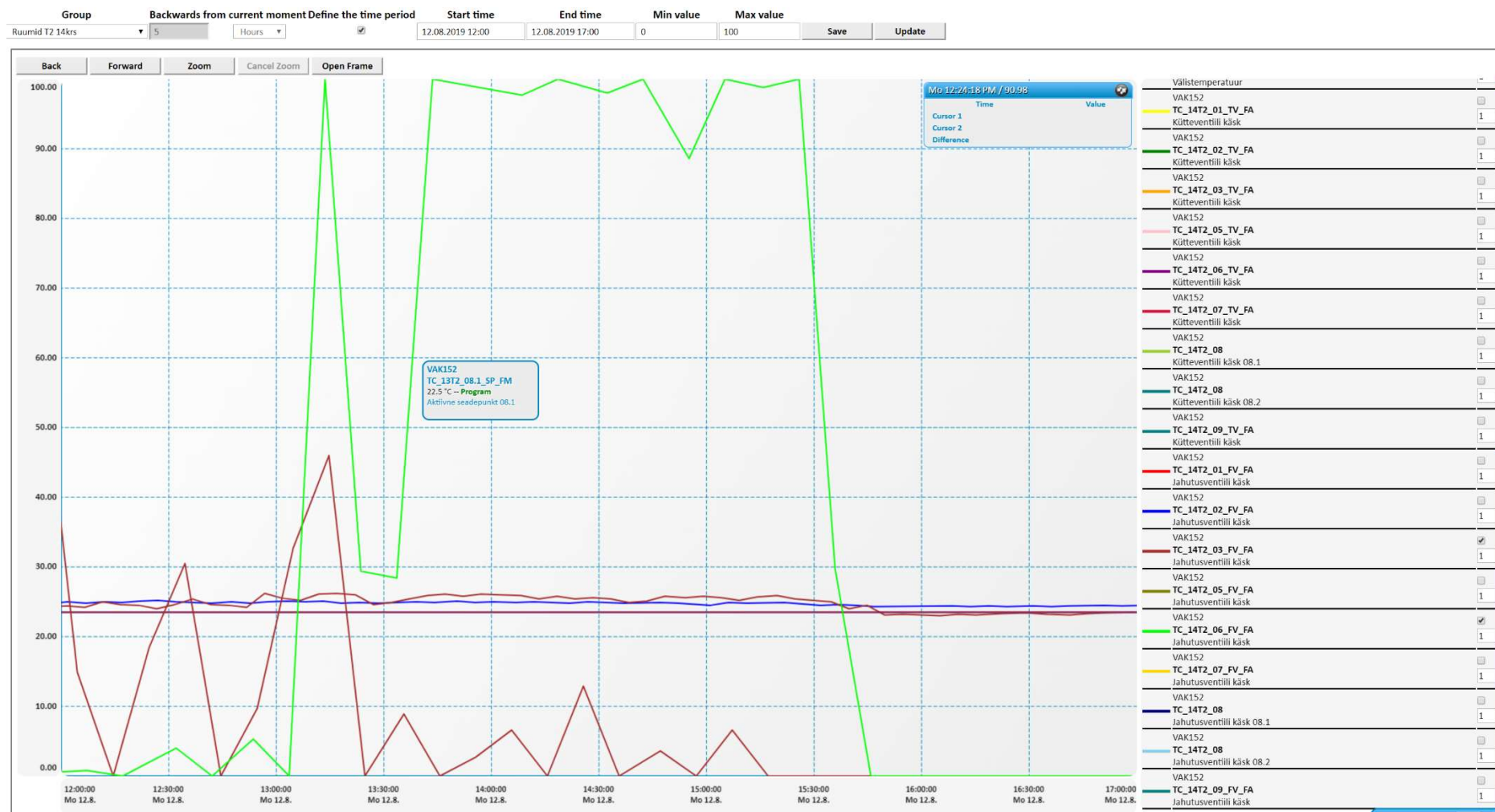
Pilt 31. 13 korruse ruumiseadmete jahutusventiilide asendite BMS andmed 02.08.2019 (09.00-15.00)



Pilt 32. 14 korruse ruumiseadmete jahutusventiilide asendite BMS andmed 02.08.2019 (09.00-15.00)



Pilt 33. 13 korruse ruumiseadmete jahutusventiilide asendite BMS andmed 12.08.2019 (12.00-17.00)



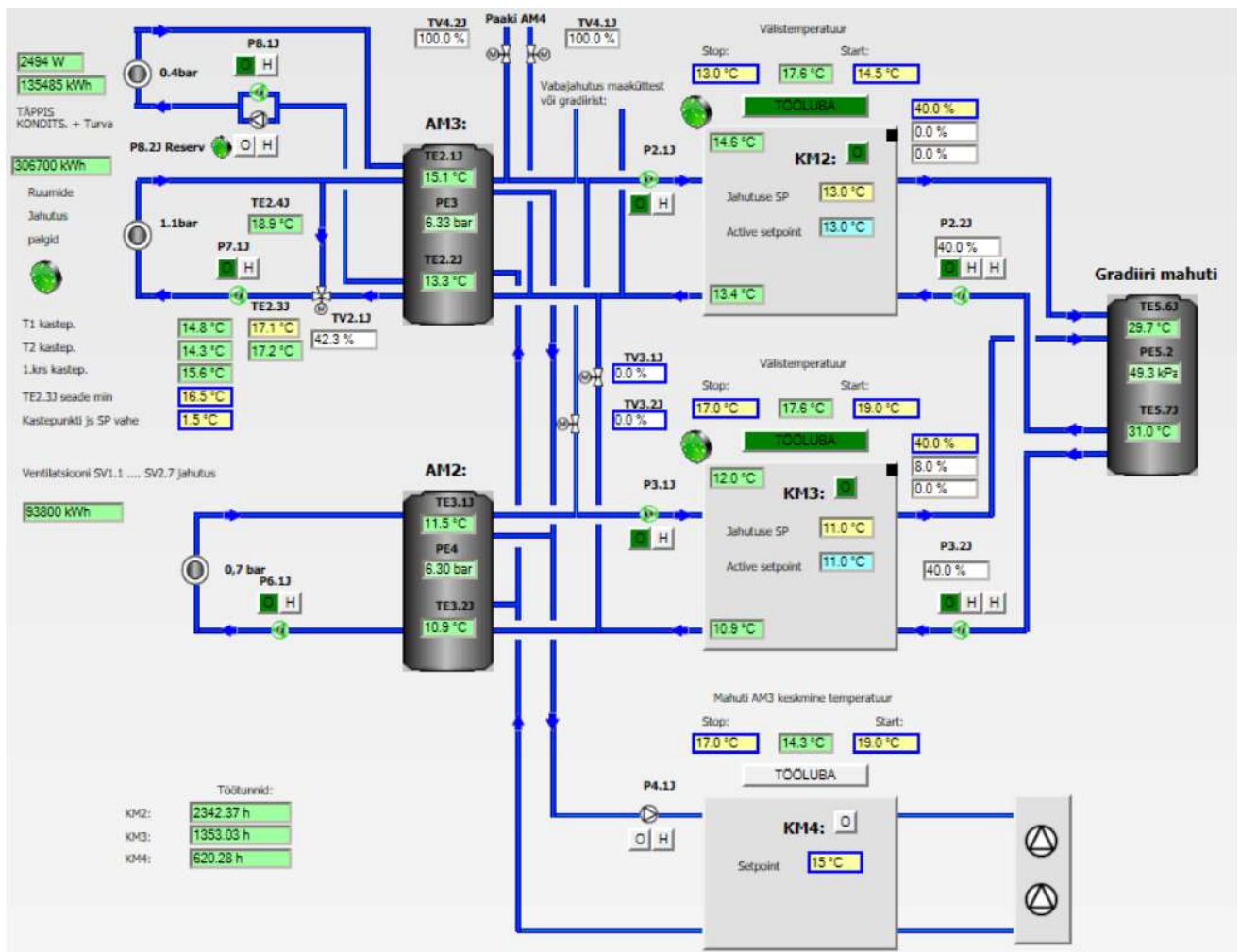
Pilt 34. 14 korruse ruumiseadmete jahutusventiilide asendite BMS andmed 12.08.2019 (12.00-17.00)

Lisa 6. Kriitilise tsooni kütteventiili asendid pinnatemperatuuride mõõtmise ajal



Pilt 35. Ruumi 14-T2-05 kütte reguleerventiili asendid pinnatemperatuuride mõõtmise ajal

Lisa 7. Külmasõlme funktsionaalskeem



Lisa 8. Ventilatsioonisüsteemide funktsionaaltoimivuse kontrolli tabel

Tabel 24. Ventilatsiooniseadmete funktsionaaltoimivuse kontrolli tulemused

Kontrollis:

Ülevaatuse kuupäev

Jevgeni Lukaštšuk

04.10.2019

POS.	KONTROLLTEGEVUSE KIRJELDUS	VENTILATSIOONISÜSTEEM		MÄRKUS
		SV2.1	SV2.2	
1 ÜLDINE SESUKORD				
1,1	TE , PE - andurire ja mõõtenäidikute korrashoid ning mõõtenäitude täpsus	X	X	
1,2	Sissepuhke eel-filtrite ja sektsiooni puhtus	X	X	
1,3	Sissepuhke peen-filtrite ja sektsiooni puhtus	X	X	
1,4	Väljapuhke õhufiltrite ja sektsiooni puhtus	X	X	
1,5	Soojustagasti sektsiooni korrashoid ja puhtus	X	X	
1,6	Kütte kalorifeeri sektsiooni korrashoid ja sektsiooni puhtus	X	X	
1,7	Jahutuse kalorifeeri sektsiooni korrashoid ja sektsiooni puhtus	X	X	
1,8	Küttesõlme prim.ringis temperatuur vastavalt soojussõlmest väljuva veetemperatuurile	X	X	
1,9	Küttekalorifeeri juhtsõlmes rõhk vähemalt 1.0 bar	X	X	
1,10	Küttesõlme tsirkulatsioonipump töö	X	X	
2 KÄIVITAMINE				
2,1	SP, VT õhuklappide avamine (klapilabad sirgelt avatud)	X	X	
2,2	SP ja VT ventilaatorite käivitamine: arvutusliku kiiruse saavutamise viiteaeg 5 minutit	X	X	
2,3	Rootorsoojustagasti kiirus vastavalt sissepuhkeõhu temperatuuri set-pointile (automaat režiimis)	X	X	
2,4	Kütte-jahutuse ventiili avamine vastavalt sissepuhkeõhu temperatuuri set-pointile (automaat režiimis)	X	X	
3 KÜTTE REŽIIM				
3,1	Jahutuse reguleeventiili automaatne sulgumine 100%	X	X	
3,2	Rootorsoojustagasti kiirus vastavalt sissepuhkeõhu temperatuuri set-pointile (automaat režiimis)	X	X	
3,3	Kütte reguleeventiili avamine: asend vastavalt sissepuhkeõhu temperatuuri set-pointile	X	X	
3,4	Küttesõlme tsirkulatsioonipump töö	X	X	
4 JAHUTUSE REŽIIM				
4,1	Kütte reguleeventiili automaatne sulgumine (asend 0)%	X	X	
4,2	Rootorsoojustagasti seiskamine (va külmatagastuse olukord)	X	X	
4,3	Külmatagastus rootorsoojutagastiga (TEvälisõhk - Teväljatõmme > 3C)	X	X	
4,4	Jahutuse reguleeventiili automaatne avamine: asend vastavalt sissepuhkeõhu temperatuuri set-pointile	X	X	
5 SEISUAEG				
5,1	Sisse- väljapuhke ventilaatorite seiskamine	X	X	
5,2	Sisse- väljatõmbe õhuklappide sulgumine (klapilabad silgelt kinni)	X	X	
5,3	Rootorsoojustagasti seiskamine	X	X	
5,4	Jahutuse teguleeventiili sulgumine (asend 0%)	X	X	
5,5	Küttekalorifeeri juhtsõlme pump töö	X	X	
5,6	Küttekalorifeeri tagasivoolu min.temperatuuri 20C kontroll kütte ventiiliga	X	X	
6 KAITSE, BLOKEERINGUD				
6,1	Programmiline külmumiskaitse 9C - ventseadme blokeering	X	X	
6,2	Ristvaraline külmumiskaitse 8C - ventseadme blokeering	X	X	
6,3	Rootorsoojutagasti jäätumiskaitse programm: rõhulangusel üle soojusvaheti 250Pa rootor lülitub miinimum kiirusele (10%) kuni sulatamiseni (rõhulang taastub - alla 250Pa) max.10 minuti vältel ; juhul kui 10 minuti jooksul alates min.kiirusele ümberlülitamise hetkest rõhulangus ei taastu ventseade blokeeritakse. Pärast sulatamist rootorsoojutagasti jääb töötama automaat režiimis.	X	X	
6,4	Ventseadme blokeering küttepumbast	X	X	
6,5	Väljatõmbeventilaatori blokeering sissepuhkeventilaatorist	X	X	
6,6	Ventseadme blokeering tuleohust sissepuhkekanalis (Tsp 45C)	X	X	
6,7	Ventseadme blokeering tuleohust väljatõmbekanalil (Tvt 45C)	X	X	
6,8	Blokeeritud ventseade on seisurežiimis (vt 5. SEISUAEG)	X	X	

X

- KORRAS

V

- VIGA / PUUDUS

Lisa 9. Ruumiseadmete funktsionaaltoimivuse kontrolli tabel

Kontrollis:
Jevgeni Lukaštšuk

Ülevaatuse kuupäev
05.10.2019

RUUM	KONTROLLTsoon	SEADEARV	HALL Tsoon	RUUMITERMOSTAADI NÄIT (TC _{TE})			KONTROLLMÕÕTMINE		RUUMIAUTOMAATIKA TOIMIVUS			MÄRKUS
	(TC_XXX)			(SP)	(Dz)	TC _{TE_BMS}	TC _{TE_RUUM}	ERINEVUS	TE1	TE1 - TC _{TE}	KÜTE	
13 korrus												
13-T2-03	TC_13T2_03.1	22,5	3,0	22,1	22,1	0,0	22,4	0,30	X	X	X	
13-T2-03	TC_13T2_03.2	22,5	3,0	22,3	22,3	0,0	22,5	0,20	X	X	X	
13-T2-05	TC_13T2_05	22,5	3,0	21,3	21,3	0,0	21,7	0,40	X	X	X	
13-T2-06	TC_13T2_06.1	22,5	3,0	22,2	22,2	0,0	22,6	0,40	X	X	X	
13-T2-06	TC_13T2_06.2	22,5	3,0	22,3	22,3	0,0	22,6	0,30	X	X	X	
13-T2-06	TC_13T2_06.4	22,5	3,0	21,9	21,9	0,0	22,3	0,40	X	X	X	
14 korrus												
14-T2-03	TC_14T2_03	22,5	3,0	22,0	22,0	0,0	22,3	0,30	X	X	X	
14-T2-06	TC_14T2_06	22,5	3,0	22,1	22,1	0,0	22,5	0,40	X	X	X	

RUUMIAUTOMAATIKA TÖÖPÕHIMÕTE:

KÜTE	TC _{Te} < SP - Dz/2	KÜTTEVENTIIL AVATUD, JAHUTUSVENTIIL KINNI, RUUMISEADE KÜTAB	X	- KORRAS
JAHUTUS	TC _{Te} > SP + Dz/2	JAHUTUSVENTIIL AVATUD, KÜTTEVENTIIL KINNI, RUUMISEADE JAHUTAB	V	- VIGA / PUUDUS
NEUTRAL	(SP - Dz/2) < TC _{Te} < (SP + Dz/2)	KÜTTE- JA JAHUTUSVENTIILID ON KINNI, FAN-COIL EI TÖÖTA		

- TÄHISED:
- TC_{TE_BMS} - vastava kontrolltsooni temperatuuri näit BMS-ist, (°C)
 - TC_{TE_RUUM} - vastava kontrolltsooni ruumitermostaadi näit, (°C)
 - TE1 - õhutemperatuur mõõdetud termomeetriga FLUKE 971 ruumitermostaadi juures (ca 5cm termostaadi allpool), (°C)

Lisa 10. Väljavõte ventsüsteemide õhuhulkade mõõdistuspassist



AMECON
ADJUSTING · MEASURING · CONSULTING

Mõõtetulemused

Töö nr: 170272

Käesolevat katseprotokollit käsitletakse tervikliku dokumendina, mis koosneb:

seletuskirjast, mõõtetulemustest, seadmete tabelist, joonistest ja akrediteerimisdokumentatsioonist

leht 24 (45

Õhuhulgad ventilatsioonisüsteemides 13. korrus

Ruumi nr	Sissepuhe või väljatõmme	Mõõte-koht	Element	Asend	Rõhkude vahe (Pa)	Õhu kiirus (m/s)	Tegelik õhuhulk		Projekt. õhuhulk ruumis (l/s)	Õhuhulga erinevus projektist %
							Mõõte-kohas (l/s)	Ruumis kokku (l/s)		
13-T2-01	väljatõmme	1301	KSU 200	25	36		52,3	108,8	104	4,6
	väljatõmme	1302	KSU 200	25	42		56,5			
13-T2-03	sissepuhe	1303	RE6/C-1200-900 + AQ	6	84		20,6	140,6	140	0,4
	sissepuhe	1304	RE6/C-1200-900 + AQ	6	81		20,2			
	sissepuhe	1305	RE6/C-1200-900 + AQ	6	84		20,6			
	sissepuhe	1306	RE6/C-1200-900 + AQ	6	74		19,3			
	sissepuhe	1307	RE6/C-1200-900 + AQ	6	77		19,7			
	sissepuhe	1308	RE6/C-1200-900 + AQ	6	79		19,9			
	sissepuhe	1309	RE6/C-1200-900 + AQ	6	82		20,3			
	väljatõmme	1310	KSU 100	10	64		22	130,3	120	8,6
	väljatõmme	1311	KSU 100	10	64		22			
13-T2-04	väljatõmme	1312	KSU 100	10	69		22,8			
	väljatõmme	1313	KSU 100	10	63		21,8			
	väljatõmme	1314	KSU 100	10	62		21,7			
	väljatõmme	1315	KSU 100	10	53		20			
	sissepuhe	1316	IRIS 100	6,5	117		22,7	22,7	23	-1,3
	sissepuhe	1317	RE6/C-1200-900 + AQ	9	81		24,8	24,8	25	-0,8
	väljatõmme	1318	KSU 100	-2	56		12,2	24,8	25	-0,8
	väljatõmme	1319	KSU 100	-2	59		12,6			
	sissepuhe	1320	RE6/C-1200-900 + AQ	6	76		19,6	283,7	280	1,3
13-T2-06	sissepuhe	1321	RE6/C-1200-900 + AQ	6	78		19,8			
	sissepuhe	1322	RE6/C-1200-900 + AQ	6	79		19,9			
	sissepuhe	1323	RE6/C-1200-900 + AQ	6	83		20,4			
	sissepuhe	1324	RE6/C-1200-900 + AQ	6	81		20,2			
	sissepuhe	1325	RE6/C-1200-900 + AQ	6	81		20,2			
	sissepuhe	1326	RE6/C-1200-900 + AQ	6	84		20,6			
	sissepuhe	1327	RE6/C-1200-900 + AQ	6	84		20,6			
	sissepuhe	1328	RE6/C-1200-900 + AQ	6	82		20,3			
	sissepuhe	1329	RE6/C-1200-900 + AQ	6	88		21,1			
	sissepuhe	1330	RE6/C-1200-900 + AQ	6	82		20,3			
	sissepuhe	1331	RE6/C-1200-900 + AQ	6	82		20,3			
	sissepuhe	1332	RE6/C-1200-900 + AQ	6	78		19,8			
	sissepuhe	1333	RE6/C-1200-900 + AQ	6	84		20,6			
	väljatõmme	1334	KSU 100	10	53		20	188,3	186	1,2
	väljatõmme	1335	KSU 100	10	62		21,7			
13-T2-07	väljatõmme	1336	KSU 100	10	66		22,3			
	väljatõmme	1337	KSU 100	10	54		20,2			
	väljatõmme	1338	KSU 100	10	20		19,4			
	väljatõmme	1339	KSU 100	10	47		18,9			
	väljatõmme	1340	KSU 100	10	37		16,7			
	väljatõmme	1341	KSU 100	10	42		17,8			
	väljatõmme	1342	KSU 100	5	43		15,2			
	väljatõmme	1343	KSU 100	5	48		16,1			
	sissepuhe	1344	KIR 100	12 180°	11		9,6	9,6	10	-4,0

AMECON OÜ Peterburi tee 53G 11415 Tallinn tel (372) 640 5000, tallinn@amecon.ee
EESTI AKREDITEERIMISKESKUSE akrediteeritud katselabor reg. nr L041, Akrediteeritud on mõõtmised
MTR: EK 10717495-0001; EO 10717495-0001; EP 10717495-0001; FPR 000233

Tööst on lubatud teha koopia ainult tervikuna.
Töö üksikute lehtede ja nendest tehtud koopia kasutamine on keelatud.

Töö nr: 170272

seletuskirjast, mõõtetulemustest, seadmete tabelist, joonistest ja akrediteerimisdokumentatsioonist

leht 25 (45

AMECON OÜ Peterburi tee 53G 11415 Tallinn tel (372) 640 5000, tallinn@amecon.ee
EESTI AKREDITEERIMISKESKUSE akrediteeritud katselabor reg. nr L041, Akrediteeritud on mõõtmised
MTR: EK 10717495-0001; EO 10717495-0001; EP 10717495-0001; FPR 000233

Töö üksikute lehtede ja nendest tehtud koopiade kasutamine on keelatud.



Mõõtetulemused

Töö nr: 170272

Käesolevat katseprotokolli käsitletakse tervikliku dokumendina, mis koosneb:

seletuskirjast, mõõtetulemustest, seadmete tabelist, joonistest ja akrediteerimisdokumentatsioonist

leht 26 (45)

Õhuhulgad ventilatsioonisüsteemides 14. korrus

Ruumi nr	Sissepuhe või väljatõmme	Mõõte-koht	Element	Asend	Rõhkude vahe (Pa)	Õhu kiirus (m/s)	Tegelik õhuhulk		Projekt. õhuhulk ruumis (l/s)	Õhuhulga erinevus projektist %
							Mõõte-kohas (l/s)	Ruumis kokku (l/s)		
14-T2-01	sissepuhe	1401	RE6/B-1800-1500 + AQ	1	78		14,6	14,6	15	-2,7
	väljatõmme	1402	KSU 160	15	36		39,1	151,5	145	4,5
	väljatõmme	1403	KSU 160	15	33		37,5			
	väljatõmme	1404	KSU 160	15	34		38			
	väljatõmme	1405	KSU 160	15	32		36,9			
14-T2-02	sissepuhe	1406	MBB-160-200	7	72		59,4	79,6	80	-0,5
	sissepuhe	1407	RE6/C-1200-900 + AQ	6	81		20,2			
	väljatõmme	1408	VBA-2-300-150	8	23		82,5	82,5	80	3,1
14-T2-03	sissepuhe	1409	RE6/C-1200-900 + AQ	6	83		20,4	119,9	120	-0,1
	sissepuhe	1410	RE6/C-1200-900 + AQ	6	74		19,3			
	sissepuhe	1411	RE6/C-1200-900 + AQ	6	74		19,3			
	sissepuhe	1412	RE6/C-1200-900 + AQ	6	84		20,6			
	sissepuhe	1413	RE6/C-1200-900 + AQ	6	80		20,1			
	sissepuhe	1414	RE6/C-1200-900 + AQ	6	81		20,2			
	väljatõmme	1415	KSU 100	10	54		20,2	60,2	60	0,3
	väljatõmme	1416	KSU 100	10	54		20,2			
	väljatõmme	1417	KSU 100	10	52		19,8			
14-T2-04	sissepuhe	1418	MBB-100-125	7	10		22,1	22,1	22	0,5
14-T2-05	sissepuhe	1419	RE6/C-1800-1500 + AQ	5	78		25,5	25,5	25	2,0
	väljatõmme	1420	KSU 100	-2	53		12,2	24,7	25	-1,2
	väljatõmme	1421	KSU 100	-2	56		12,5			
14-T2-06	sissepuhe	1422	RE6/C-1200-900 + AQ	6	86		20,8	81,7	80	2,1
	sissepuhe	1423	RE6/C-1200-900 + AQ	6	84		20,6			
	sissepuhe	1424	RE6/C-1200-900 + AQ	6	81		20,2			
	sissepuhe	1425	RE6/C-1200-900 + AQ	6	80		20,1			
	väljatõmme	1426	KSU 100	10	46		18,7	76,9	80	-3,9
	väljatõmme	1427	KSU 100	10	44		18,2			
	väljatõmme	1428	KSU 100	10	52		19,8			
	väljatõmme	1429	KSU 100	10	54		20,2			
14-T2-07	sissepuhe	1430	RE6/D-1200-900 + AQ	2	82		20,1	20,1	20	0,5
	väljatõmme	1431	KSU 100	10	46		18,7	18,7	20	-6,5
14-T2-08	sissepuhe	1432	RE6/D-1200-900 + AQ	2	88		20,8	139,6	140	-0,3
	sissepuhe	1433	RE6/D-1200-900 + AQ	2	84		20,4			
	sissepuhe	1434	RE6/D-1200-900 + AQ	2	80		19,9			
	sissepuhe	1435	RE6/D-1200-900 + AQ	2	72		18,8			
	sissepuhe	1436	RE6/D-1200-900 + AQ	2	75		19,2			
	sissepuhe	1437	RE6/D-1200-900 + AQ	2	84		20,4			
	sissepuhe	1438	RE6/D-1200-900 + AQ	2	82		20,1			
	väljatõmme	1439	KSU 100	3	60		16,4	48	49	-2,0
	väljatõmme	1440	KSU 100	3	56		15,9			
	väljatõmme	1441	KSU 100	3	55		15,7			
14-T2-09	sissepuhe	1442	IRIS 125	4,5	98		39,6	102	100	2,0
	sissepuhe	1443	RE6/C-1200-900 + AQ	6	80		20,1			
	sissepuhe	1444	IRIS 125	4	81		42,3			

AMECON OÜ Peterburi tee 53G 11415 Tallinn tel (372) 640 5000, tallinn@amecon.ee

EESTI AKREDITEERIMISKESKUSE akrediteeritud katselabor reg. nr L041, Akrediteeritud on mõõtmised

MTR: EK 10717495-0001; EO 10717495-0001; EP 10717495-0001; FPR 000233

Tööst on lubatud teha koopia ainult tervikuna.

Töö üksikute lehtede ja nendest tehtud koopiade kasutamine on keelatud.



Töö nr: 170272

leht 27 (45

seletuskirjast, mõõtetulemustest, seadmete tabelist, joonistest ja akrediteerimisdokumentatsioonist

[illegible]

AMECON OÜ Peterburi tee 53G 11415 Tallinn tel (372) 640 5000, tallinn@amecon.ee
EESTI AKREDITEERIMISKESKUSE akrediteeritud katselabor reg. nr. L041, Akrediteeritud on mõõtmised
MTR: EK 10717495-0001: EO 10717495-0001: EP 10717495-0001: FPR 000233

**Tööst on lubatud teha koopia ainult tervikuna.
Töö üksikute lehtede ja nendest tehtud koopiade kasutamine on keelatud.**

Seadmete tabel 1

Töö nr: 170272

Käesolevat katseprotokolli käsitletakse tervikliku dokumendina, mis koosneb:

seletuskirjast, mõõtetulemustest, seadmete tabelist,ioonistest ja akrediteerimisdokumentatsioonist

leht 29 (45)

Ventilatsioonisüsteemides kasutatavad ventilatsiooniseadmed

[illegible]

AMECON OÜ Peterburi tee 53G 11415 Tallinn tel (372) 640 5000, tallinn@amecon.ee
EESTI AKREDITEERIMISKESKUSE akrediteeritud katselabor reg. nr L041, Akrediteeritud on mõõtmised
MTR: EK 10717495-0001; EO 10717495-0001; EP 10717495-000; FPR 000233

Tööst on lubatud teha koopia ainult tervikuna.
Töö üksikute lehtede ja nendest tehtud koopiade kasutamine on keelatud

Seadmete tabel 2

Töö nr: 170272

Käesolevat katseprotokollit käsitletakse tervikliku dokumendina, mis koosneb:

seletuskirjast, mõõtetulemustest, seadmete tabelist, joonistest ja akrediteerimisdokumentatsioonist

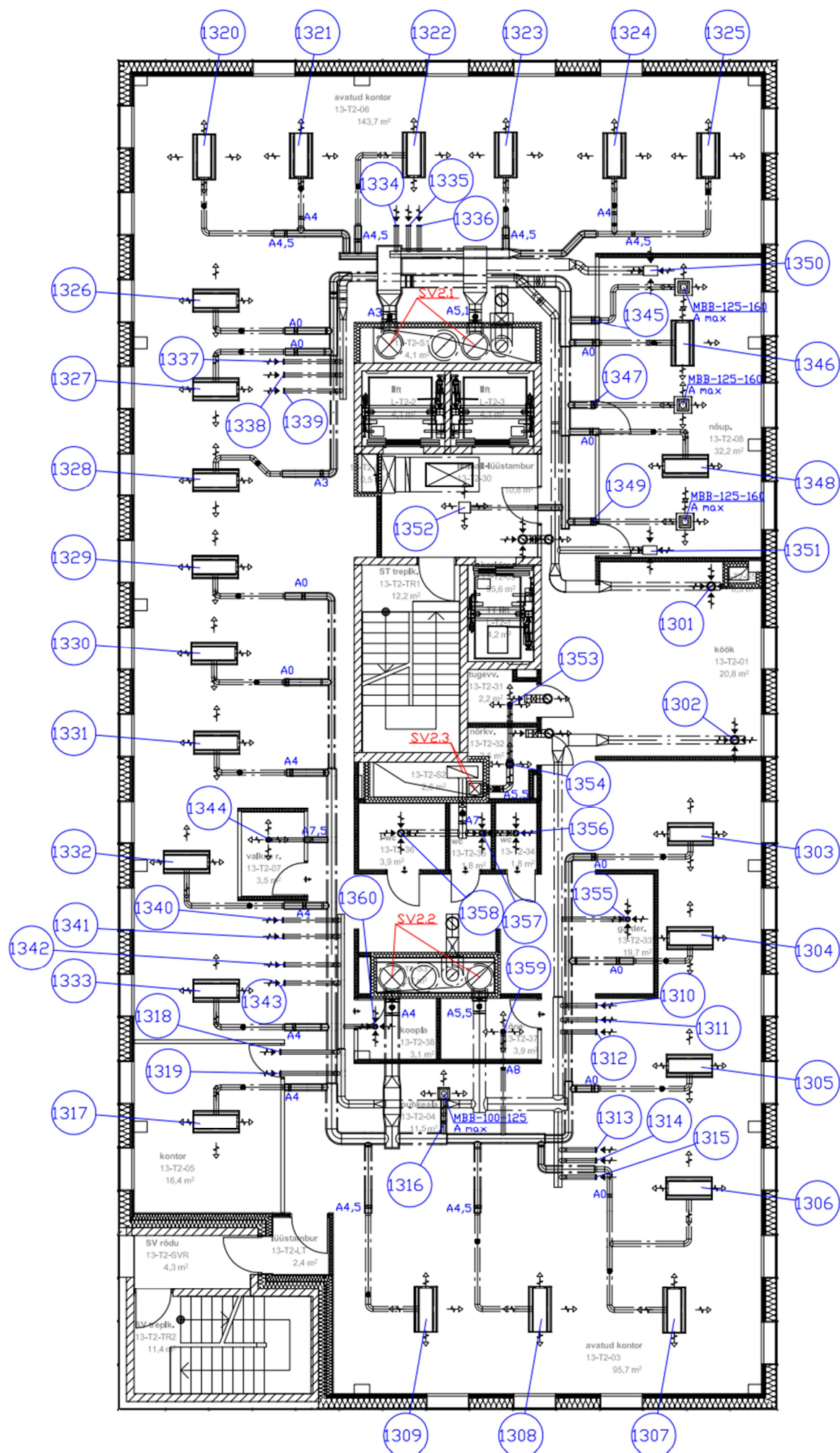
leht 30 (45)

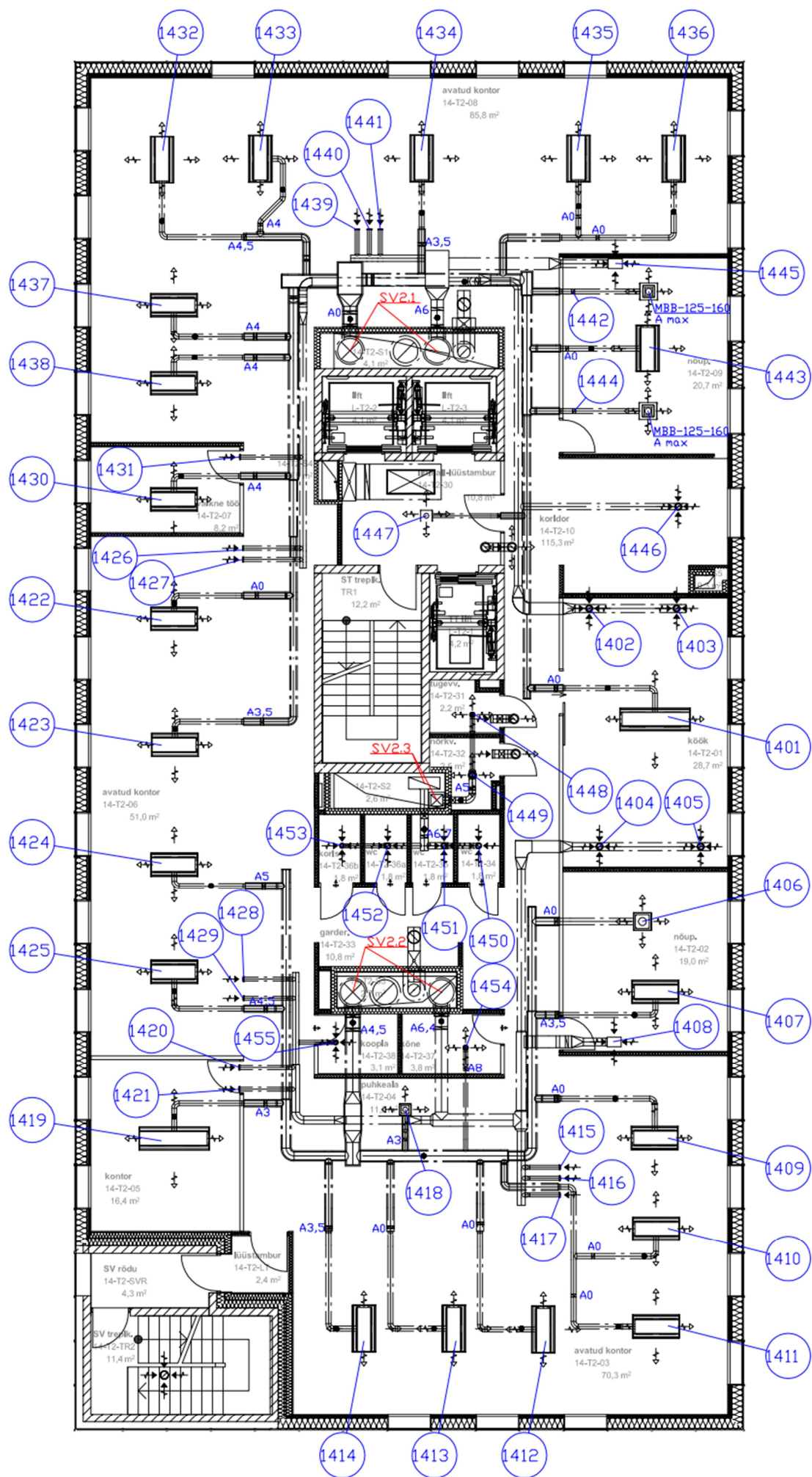
Ventilatsioonisüsteemides kasutatavad ventilatsiooniseadmed

[illegible]

AMECON OÜ Peterburi tee 53G 11415 Tallinn tel (372) 640 5000, tallinn@amecon.ee
EESTI AKREDITEERIMISKESKUSE akrediteeritud katselabor reg. nr L041, Akrediteeritud on mõõtmised
MTR: EK 10717495-0001; EO 10717495-0001; EP 10717495-0001; FPR 000233

Tööst on lubatud teha koopia ainult tervikuna.
Töö üksikute lehtede ja nendest tehtud koopiade kasutamine on keelatud.





Lisa 11. Õhurõhu erinevuse (üle hoone välispiire) mõõtmisakt



AMECON

ADJUSTING · MEASURING · CONSULTING

Leht 1/1

Töö nr. 190946B

Lp Jevgeni Lukaštšuk
2Torni OÜ

190946B/17.12.2019

Teatis

Objekt: Büroohoone. , Tallinn

AMECON OÜ teostas objektil 16-17.12.2019 kontrollmõõtmisi vastavalt standardile SFS 5512:1989 "Ilmastointi. Ilmavirtojen ja painesuhteiden mittaus ilmastointilaitoksissa".

Rõhud korrustel:

Korrus	Vent. töös (režiim FAST)	T2 Kogu vent. väljas	SV2.1 ja SV2.2 väljas, 15.k välisuks kinni	SV2.1, SV2.2 ja SV2.3 väljas, 15.k välisuks kinni	SV2.1, SV2.2 ja SV2.3 väljas ja 15.k välisuks lahti	Vent. töös (režiim FAST) ja 15.k välisuks lahti
0	-11...-21Pa	-10...-15Pa				
1 (peauks)	0Pa	10Pa				
1 (evak.)*	-3...-13Pa	-8...-20Pa				
2 (evak.)*	-1...-8Pa	-4...-7Pa				
12(evak.)*	7...17Pa		3...15Pa	10...21Pa	-10...+6Pa	-2...-17Pa
12 (lifti ees)	3...4Pa					
13 (lifti ees)	4Pa					
14 (evak.)*	15Pa					
15 (T2)	38...58Pa	24...57Pa				
15 (T1)	17...41Pa					

* sise- ja väliskeskkonna rõhuvahe mõõtmine suitsuvaba trepikoja lüüstamburi välisukse kaudu, st lüüstamburi siseuks korrusele oli avatud.

Mõõtmiste ajal oli välistemperatuur 3,5°C (16.12), 4,3-4,6°C (17.12). Idatuul 1,8-3,3 (max 5,5) m/s (16.12), edelatuul 2,6 (max 4,8) m/s (17.12).

Allikas: <http://www.ilmateenistus.ee/ilm/ilmavaatlused/vaatlusandmed> (Tallinn-Harku).

Kasutatud mõõtevahendid:

Õhuparameetrite mõõtur VelociCalc Air Velocity Meter 9565-P, S/N:9565P1843004

Mõõtis: Lauri Kõonverk

Lugupidamisega,

Lauri Kõonverk
Mõõtetehnik
Ventilatsioonisüsteemid
505 32 71
lauri.koonverk@amecon.ee

Marko Nurmsalu
Osakonnajuhataja
Ventilatsioonisüsteemid
510 16 42
marko.nurmsalu@amecon.ee

HLS 44 ROOM CONTROLLER

HLS 44 is a versatile room controller for individual room temperature and VAV control applications. The controller can be connected to any system that supports Modbus RTU protocol by using the RS-485 connection. The bus is galvanically isolated from the controller's other electronics.

Controller supports 0...10 V controlled actuators and/or thermal actuators and 0...10 V controlled dampers. The fan coil fan speed can be controlled directly with a 0...10 V output if the fan coil is equipped with EC motor. FCRY 3 relay module is needed for controlling the fan speed of 3-step motors.

There is one 0...10 V output reserved for variable air volume control. A demand based and energy saving ventilation can be implemented with a separate carbon dioxide measurement connected to the U1 input.

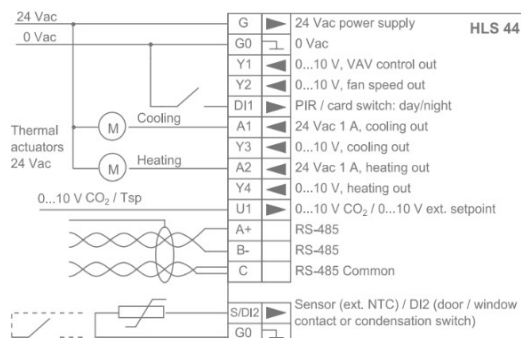
Temperature is detected with an internal or external NTC10 sensor (terminals included). Alternatively the external temperature sensor terminals can be used for connecting door/window contact or condensation switch.

The controller has day and night operating modes. The operating modes can be controlled by an external card switch, PIR occupancy detector, over Modbus and from menu. The day mode can be activated temporarily for a specific time by touching the "man in house" button. The temporary time can be 1...480 min. After that delay, the controller returns to the night mode if the day mode is not simultaneously activated over the Modbus.

Controller can be used in dry surroundings mounted on the wall surface or on the standard flush mounting boxes (60 mm hole distance).

The controller settings can be supplied with controller buttons or by using the HLS 44-SER commissioning tool which speeds up the commissioning.

Wiring:



Technical data

Supply	24 Vac/dc** (20...28 V), < 1 VA
Set point	- day mode 18...26 °C, *21 °C, ±3 °C - night mode Frost protection 8...50 °C, *17 °C ±0.5 °C
Accuracy (measuring inaccuracy)	
Dead zone	Dz in day mode 0,2...3 °C, *0,2 °C in night mode 0...10 °C, *6,0 °C
Proportional band	Xp 1...32 °C, *1 °C
Integration time	Tn 50...5000 s, *300 s
Outputs	4 x 0...10 V, 2 mA 2 x triac output 24 Vac 1A for thermal actuators
Allowed ambient humidity	0...85 % rH (non-condensing)
Wiring terminals	1,5 mm ²
Housing	ABS plastic, IP20
Dimensions (w x h x d)	87 x 86 x 32 mm

* Factory setting

** **NOTE:** Only the 0...10 V outputs work when using DC supply voltage.

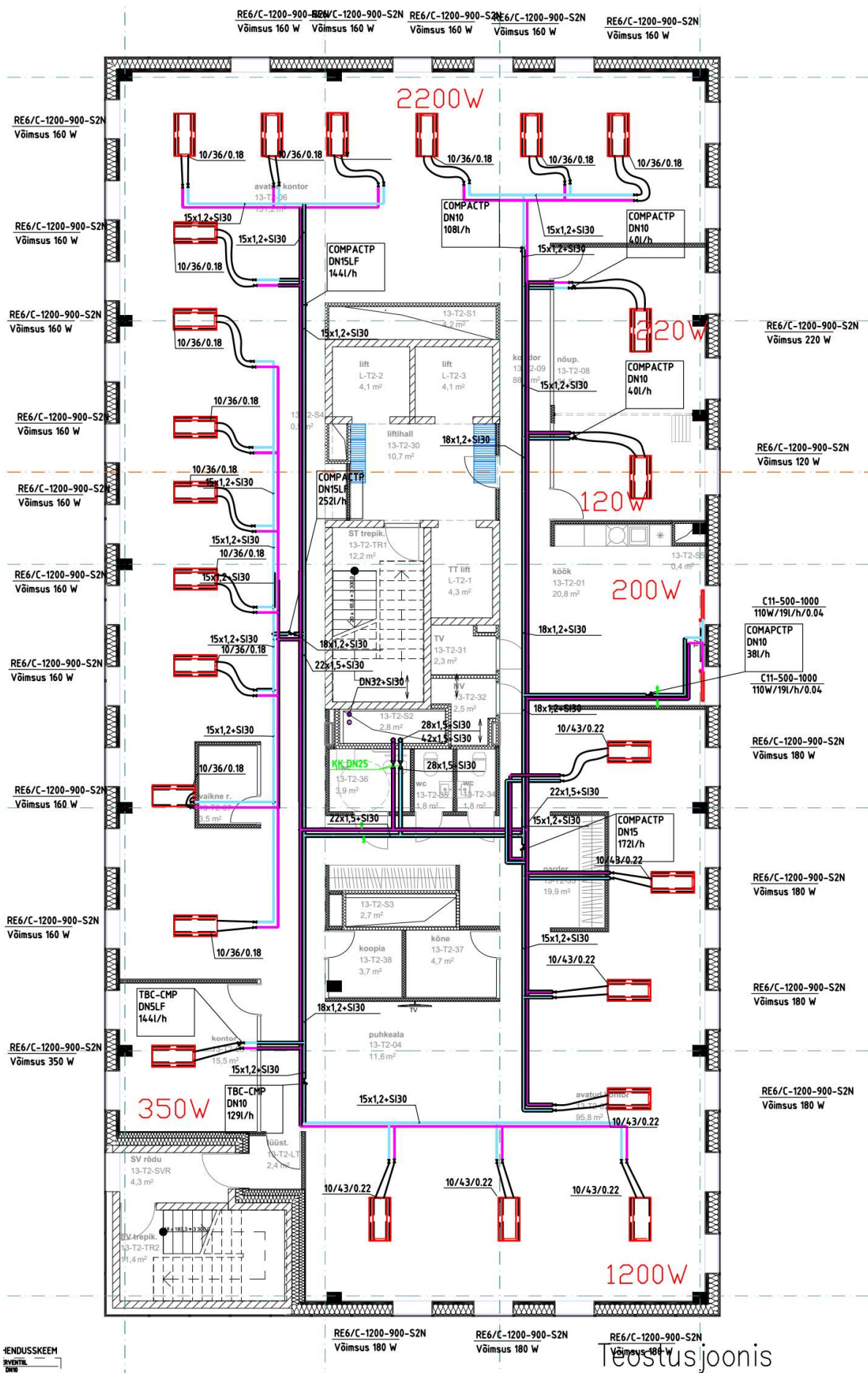
Ordering guide:

Model	Product number	Description
HLS 44	1150250	Modbus room controller
FCRY 3	1183070	fan coil relay with a 0...10 V input
HLS 44-SER	1150251	commissioning tool for HLS 44

NOTE: The controller is available also with various button configurations.

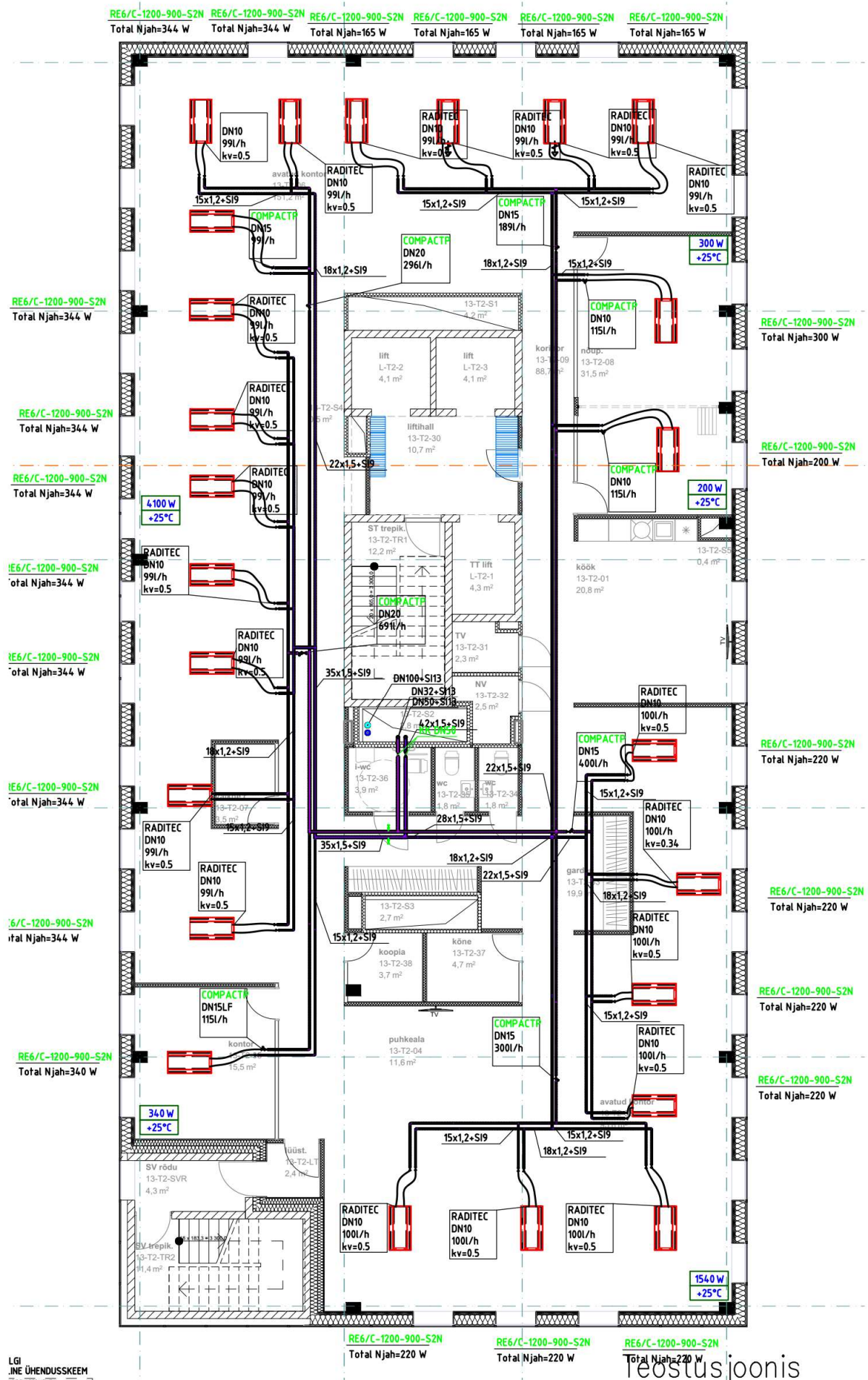
Products fulfil the requirements of directive 2004/108/EY and are in accordance with the standards EN61000-6-3: 2001 (Emission) and EN61000-6-2: 2001 (Immunity).

Lisa 13. 13 korruse kütte plaan (teostusjoonis)



[illegible]

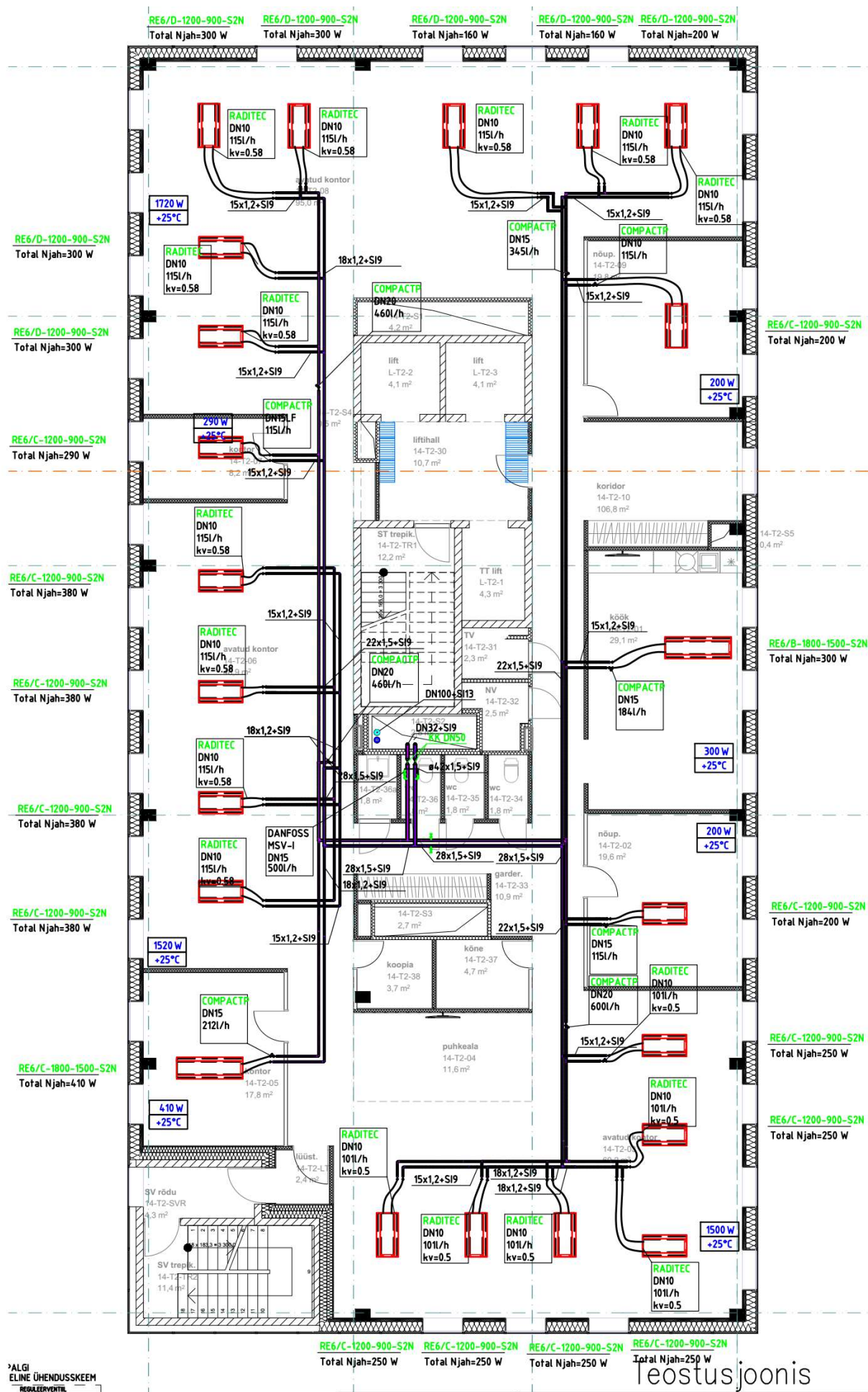
Lisa 15. 13 korruse jahutuse plaan (teostusjoonis)



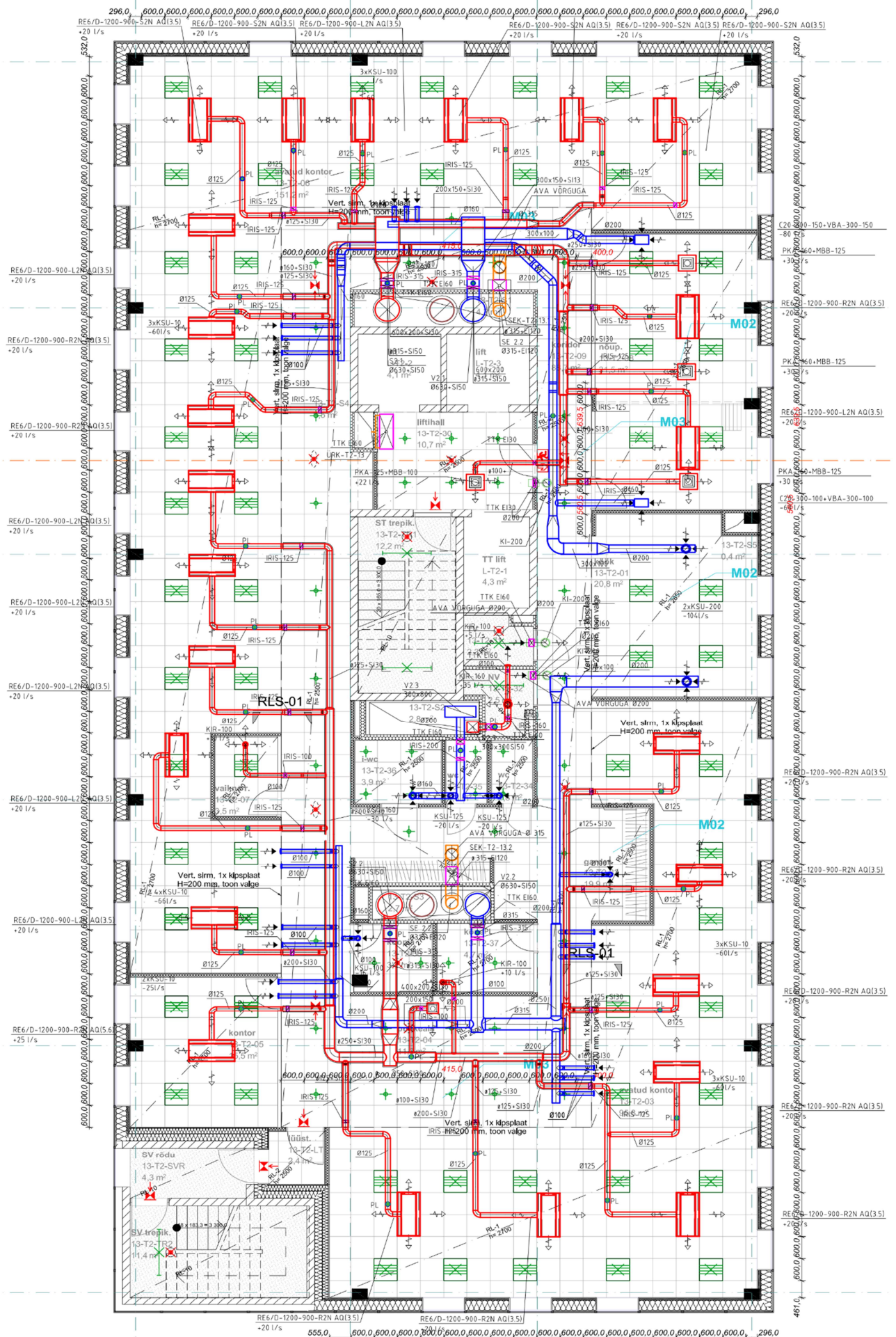
LGI
INE ÜHENDUSKEEM

Teostusjoonis

Lisa 16. 14 korruse jahutuse plaan (teostusjoonis)



Lisa 17. 13 korruse ventilatsiooni plan (teostusjoonis)



Lisa 18. 14 korruse ventilatsiooni plaan (teostusjoonis)

