



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Ehituse ja arhitektuuri instituut

**ÕHU KVALITEEDI HINDAMINE KONSTANTSE  
ÕHUVOOLUHULGAGA  
VENTILATSIOONISÜSTEEMI POOLT  
TEENINDAVATES RUUMIDES**

**INDOOR AIR QUALITY ASSESSMENT IN ROOMS  
SERVICED BY A CONSTANT AIR FLOW VENTILATION  
SYSTEM**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Tanel Heinsoo

Üliõpilaskood 165134EAKI

Juhendaja: Martin Thalfeldt, professor  
Vahur Maask, doktorant-  
nooremteadur

Tallinn 2022

*(Tiitellehe pöördel)*

## **AUTORIDEKLARATSIOON**

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

16. mai 2022

Autor: Tanel Heinsoo

/allkirjastatud digitaalselt/

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

16. mai 2022

Juhendajad: Martin Thalfeldt

/allkirjastatud digitaalselt/

Vahur Maask

/allkirjastatud digitaalselt/

Kaitsmisele lubatud

"....." .....20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina, Tanel Heinsoo (*autori nimi*)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Õhu kvaliteedi hindamine konstantse õhuvooluhulgaga ventilatsioonisüsteemi poolt teenindavates ruumides

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendajad on Martin Thalfeldt ja Vahur Maask.

(*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.

---

16.05.2022 (kuupäev)  
/allkirjastatud digitaalselt/

---

<sup>1</sup> Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Tanel Heinsoo (nimi, üliõpilaskood)  
Õppekava, peeriala: EAKI02/17 - Hoone tehnosüsteemid ja energiatõhusus (kood ja nimetus)  
**Juhendaja(d):** Professor, Martin Thalfeldt, 6202505 (amet, nimi, telefon)  
Doktorant-nooremteadur, Vahur Maask, 6203703 (amet, nimi, telefon)

### Lõputöö teema:

(eesti keeles) *Õhu kvaliteedi hindamine konstantse õhuvooluhulgaga ventilatsioonisüsteemi poolt teenindavates ruumides*

(inglise keeles) Indoor air quality assessment in rooms serviced by a constant air flow ventilation systems

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Millise täpsusega saab CAV süsteemi poolt teenindatavatest ruumidest kõige kehvemat õhu kvaliteeti hinnata sõltuvalt CO<sub>2</sub> andurite arvust ja paigutusest?
2. Kui täpselt saab jooksvalt arvutada ventilaatorite miinimumkiirusele viimise maksimaalset kestust sõltuvalt CO<sub>2</sub> andurite arvust ja paigutusest?
3. Kas ja kuidas on võimalik automaatselt CO<sub>2</sub> muutuste põhjal arvutada ruumi õhuvahetuse kordarv?

### Lõputöö etapid ja ajakava:

| Nr | Ülesande kirjeldus  | Tähtaeg              |
|----|---|----------------------|
| 1. | Kirjanduse ülevaate koostamine                            | november 2021        |
| 2. | Mõõtmiste plaani koostamine ja mõõtmiste ettevalmistused  | jaanuar 2022         |
| 3. | Mõõtmiste teostamine                                      | veebruar-aprill 2022 |
| 4. | Mõõtetulemuste analüüs; jooniste ja tabelite vormistamine | aprill 2022          |
| 5. | Töö lõplik vormistamine                                   | mai 2022             |

**Töö keel:** eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** 16. mai 2022. a

---

*ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.*

**Üliõpilane:** Tanel Heinsoo /allkirjastatud digitaalselt/ 16. mai 2022. a  
/allkiri/

**Juhendaja:** Martin Thalfeldt /allkirjastatud digitaalselt/ 16. mai 2022. a  
/allkiri/

**Juhendaja:** Vahur Maask /allkirjastatud digitaalselt/ 16. mai 2022. a  
/allkiri/

**Konsultant:** ..... ".....".....202...a  
/allkiri/

**Programmijuht:** Martin Thalfeldt ..... ".....".....2022a  
/allkiri/

*Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel*

# SISUKORD

|  |    |
|--|----|
| EESSÕNA .....  | 8  |
| Lühendite ja tähiste loetelu .....   | 9  |
| 1.    SISSEJUHATUS .....   | 10 |
| 2.    KIRJANDUSE ÜLEVAADE .....  | 11 |
| 2.1 CO <sub>2</sub> taseme hindamine märkegaasi järgi .....  | 11 |
| 2.2 Ventilatsioonikoormuse paindlikkuse analüüs sõltuvalt sisekliima tingimustest.....                   | 11 |
| 2.3 Hingamisteede infektsiooni riskipõhine ventilatsiooni kavandamise meetod.....                        | 12 |
| 2.4 Ventilatsiooni õhuvahetuse kordarvu hindamine CO <sub>2</sub> sisalduse põhjal.....                  | 13 |
| 2.5 Paindlikkusteenused ventilatsioonisüsteemide kontekstis.....   | 14 |
| 3.    TEOORIA .....  | 16 |
| 3.1 Sisekliima ning selle olulisus .....   | 16 |
| 3.1.1 Sisekliima klassid.....  | 16 |
| 3.2 Peamised sisekliima kvaliteeti mõjutavad tegurid.....  | 17 |
| 3.2.1 Saasteainete olemasolu .....   | 17 |
| 3.3 Ventilatsioon.....   | 18 |
| 3.3.1 Ventilatsiooni olemus .....  | 18 |
| 3.3.2 Ventilatsiooni arvutuspõhimõtted ja dimensioneerimine EVS-EN 16798-<br>1:2019/NA:2019 põhjal ..... | 18 |
| 3.3.3 Ventilatsiooni arvutuspõhimõtted ja dimensioneerimine EVS 906:2017 põhjal                          | 20 |
| 3.3.4 Ventilatsiooni juhtimispõhimõtted.....   | 22 |
| 4.    METOODIKA .....  | 24 |
| 4.1 Töö etappide kirjeldus .....   | 24 |
| 4.2 Ventilatsioonisüsteemi kirjeldus.....  | 25 |
| 4.3 Ventilatsiooni õhuvooluhulkade tuvastamine .....   | 25 |
| 4.4 Süsihappegaasi andurite paigaldamine .....   | 28 |
| 4.5 Õhukvaliteedi mõõtmised.....   | 30 |
| 5.    TULEMUSED JA ANALÜÜS.....  | 32 |
| 5.1 Mõõdetud õhuvooluhulkade tulemused.....  | 32 |
| 5.2 Projekti ja standardite järgsed õhuvooluhulgad.....  | 36 |
| 5.3 Ventilatsioonisüsteemi töögraafik ning ruumide hõivatus .....  | 37 |
| 5.4 Õhukvaliteedi hinnang.....   | 40 |

|  |    |
|--|----|
| 5.4.1 CO <sub>2</sub> taseme arvutus .....                             | 40 |
| 5.4.2 Õhuvooluhulga sõltuvus CO <sub>2</sub> tasemest .....            | 42 |
| 5.4.3 Hinnang ruumide õhuvahetusele.....                               | 45 |
| 5.4.4 Süsihappegaasi tase.....   | 45 |
| 5.4.5 Sisekliimaklasside jaotus ruumides .....                         | 46 |
| 5.4.6 Sisekliima klasside jaotus ruumides tegeliku töö aja suhtes..... | 49 |
| 5.4.7 Hinnang õhu kvaliteedile .....                                   | 51 |
| 5.5 Paindlikkuse hindamine.....  | 52 |
| KOKKUVÕTE .....  | 57 |
| SUMMARY .....  | 59 |
| KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....                                     | 61 |
| LISAD .....  | 63 |

## EESSÕNA

Hea sisekliima olemasolu ruumides on aastatega muutunud aina olulisemaks. Ühtlasi on väga vajalik energiapaindlikkus, millega soovitakse võrgule vabastada energiat selliselt, et ruumi sisekliima oma kvaliteeti ei kaotaks.

Lõputöö teema on sõnastatud Tallinna Tehnikaülikooli professori Martin Thalfeldti algatusel. Analüüsimise jaoks algandmed koguti Tallinna Tehnikaülikooli Majandusteaduskonna kaheteistkümnest õpperuumist. Mõõtmiste läbiviimiseks laenas Tallinna Tehnikaülikool mõõteseadmeid. Autor tänab väga oma juhendajaid Martin Thalfeldti ning Vahur Maaski toetamise ning innustamise eest lõputöö koostamisel.

Mõned võtmesõnad, mis käesoleva magistritöö kokku võtavad on: ventilatsioon, ruumi õhuvahetuse kordarv, sisekliima kvaliteet CO<sub>2</sub> taseme näitel, paindlikkus.



## Lühendite ja tähiste loetelu

CO<sub>2</sub> - süsihappegaas

ppm – osakest miljoni osakese kohta (*Parts per million*)

FCR – primaarreserv (*Frequency Containment Reserve*)

aFRR - automaatselt käivitatav sageduse taastamise reserv (*Automatically activated Frequency Restoration Reserve*)

mFRR – manuaalselt käivitatav sageduse taastamise reserv (*Manually activated Frequency Restoration Reserve*)

RR – taastamise reserv (*Restoration Reserve*)

BMS – hooneautomaatika juhtimissüsteem (*Building management system*)

CAV – konstantne õhuhulk (*Constant Air Flow*)

VAV – muutuv õhuhulk (*Variable Air Volume*)

RMSE – ruudu keskmine hälve ehk ruutkeskmine viga (*Root Mean Square Error*)

# 1. SISSEJUHATUS

Lõputöö teema on arvestades praegust maailmas toimuvat koroonapandeemiat ning hilja aegu Eestis toimunud kiiret energiahindade tõusu väga aktuaalne. Esiteks on väga oluline see, et ruumis oleks väga heal tasemel ventilatsioon, mis aitaks ära hoida viiruse levikut siseruumides. Teiseks on väga oluline paindlikkus, mille tulemusel saab viia ventilaatorite kiiruse miinimumini, et vabastada võrgule võimsust, mis ühtlasi aitaks kokku hoida energiatarbimist.

Antud teema on laiemas pildis oluline kogu ühiskonnale, kuna kiirelt kallinevas maailmas muutuvad energiahinnad pidevalt ning selle tõttu oleks vajalik süsteeme, mis suudaksid pakkuda paindlikkust, mille eesmärgiks on pakkuda elektrisüsteemi operaatorile läbi tarbimise juhtimise elektrisüsteemi stabiliseerimisteenust. Paindlikkuse puhul tuleb silmas pidada ka seda, et selle tagajärjelt ei kannataks ruumide sisekliima, mis on eriti tähtis praegu, kui levivad erinevad viirused.

Antud magistritöö eesmärgiks on õhu kvaliteedi hindamine konstantse õhuvooluhulgaga ventilatsioonisüsteemi poolt teenindavates ruumides. Selle jaoks püstitatud eesmärkidega hinnatakse millise täpsusega saab CAV süsteemi poolt teenindavates ruumides kõige kehvemad õhu kvaliteeti hinnata sõltuvalt CO<sub>2</sub> andurite arvust ja paigutusest. Ühtlasi hinnatakse ruumide kasutust ning kõige kõrgemat ruumides esinevat süsihappegaasitaset, mis näitab, kui pikalt on võimalik viia ventilaatorite kiirust miinimumini, et pakkuda paindlikkust. Magistritöö käigus tuuakse välja meetod õhuvahetuse hindamiseks, mida antud juhul hinnatakse CO<sub>2</sub> kontsentratsiooni languse järgi ning analüüsitakse mil moel ja kui täpselt on võimalik pakkuda paindlikkust. Lõputöö on jaotatud viite peatükki. Esimeses tehakse põgusalt ülevaade kirjandusest, tuuakse välja mõningad sarnased uurimistööd ning lähtuvalt neist tuuakse välja mõtted mida oleks soovituslik edasi teha, et saavutada veelgi paremaid tulemusi. Teises peatükis tehakse ülevaade teoreetilistest alustest. Kolmandas peatükis tehakse ülevaade uuritavast ventilatsioonisüsteemist, tutvustatakse töö meetodeid ning selle käigus kasutatavaid mõõteseadmeid. Lõpetuseks tuuakse välja mõõtetulemused, analüüsitakse neid ning antakse lõputöö jaoks püstitatud eesmärkidele vastused. Lisade all on välja toodud teenindavate ruumide korruste plaanid, mõõtmiste käigus lauale asetatud õpilaste märkimise leht, tunniplaanide hõivatus, mõõtetulemuste õhuvahetuse analüüsi koondtabel ning lõputöö arvutuste tegemiseks kasutatud MATLABi kood.

## **2. KIRJANDUSE ÜLEVAADE**

### **2.1 CO<sub>2</sub> taseme hindamine märkegaasi järgi**

Vahur Maaski, Alo Mikola, Tarmo Korõtko, Argo Rosini ja Martin Thalfeldti poolt läbiviidud uurimuses [1] Tallinna Tehnikaülikooli auditooriumis hinnati antud auditooriumi ventilatsioonisüsteemi energiapaindlikkust. Uurimuse käigus viidi läbi eksperiment, mille kohaselt oli saasteallikaks CO<sub>2</sub> gaas, mida lasti auditooriumisse spetsiaalsest gaasiballoonist. Saasteallikas asetati auditooriumi keskele ning gaasiballooni vahetusse lähedusse paigutati ventilaator, mille eesmärgiks oli CO<sub>2</sub> segamine ruumiõhuga. Antud ventilaator oli vajalik selle tõttu, et ruumi lastud CO<sub>2</sub> temperatuur oli madalam, kui siseõhu temperatuur ning need ei oleks omavahel hästi segunenud. Paremate mõõtetulemuste saamiseks paigutati ruumi lisaks 13 CO<sub>2</sub> logerit, millest 12 asetati 0,8 m kõrgusele ning üks paigutati ventilatsiooni väljatõmbe ava juurde umbes 3m kõrgusele. Eksperiment kestis kokku 1 tund ja 54 minutit. Uurimuse alguses avati gaasiballoon ning sama aegselt töötas auditooriumi ventilatsioon täiel võimsusel 52 minutit ning pärast seda lülitati võimsus miinimumi peale. Järgnevalt lülitis segamisventilaator 11 minutiks välja ning peale seda uuesti sisse. Selle põhjuseks oli CO<sub>2</sub> kontsentratsiooni vähenemine väljatõmbeõhust, mis oli tingitud halvast gaasi segunemisest auditooriumi õhus. Ruumi siseõhu CO<sub>2</sub> tase jõudis oma maksimum lubatud tasemeni 1100 ppm 55 minutiga peale ventilatsiooni lülitumist miinimum tasemele. Kui maksimum tase oli saavutatud siis lülitati ventilatsioon täiele võimsusele ning eksperiment loeti lõppenuks. Uurimuse lõppedes tehti ruumi paigutatud logerite põhjal selgeks, et kui ruumi õhuvahetus oli normaalses töös, siis oli väljatõmbekanalisis mõõdetud CO<sub>2</sub> kontsentratsioon ja auditooriumi CO<sub>2</sub> taseme kontsentratsiooni vahel nõrk positiivne korrelatsioon, mille korrelatsioonikordaja oli ligikaudu 0,48 ehk väärtused oli enam-vähem võrdsed ning kui ruumi õhuvahetus oli häiritud, siis antud väärtused olid tunduvalt erinevad. Selle põhjuseks võis olla näiteks kehv CO<sub>2</sub> segunemine auditooriumis või inertsist auditooriumi ja väljatõmbeõhu mõõtmiste vahel. Selleks, et saada tegelikkusele reaalsemaid ning aru saadavamaid väärtusi, siis tuleks antud eksperimenti korrata uuesti koos reaalse inimestega.

### **2.2 Ventilatsioonikoormuse paindlikkuse analüüs sõltuvalt sisekliima tingimustest**

Vahur Maaski, Tobias Häringi, Roya Ahmadiyahangari, Argo Rosini ja Tarmo Korõtko poolt läbi viidud uurimuses [2] teostati simulatsioon, mille käigus viidi läbi kaks juhtumit, et

hinnata elektrienergia tarbimist. Esimesel juhul töötas ventilatsioon pidevalt ning teisel juhul lülitati ventilatsioon maksimaalse elektrienergia hinna juures välja üheks tunniks. Uurimus viidi läbi ühe nädala jooksul, mil iga päev lülitati tunniks ajaks ventilatsioon välja. Sisekliima kvaliteedi hindamiseks uuriti CO<sub>2</sub> taseme kontsentratsiooni tõusu, kuna see avaldab suuremat mõju sisekliima taseme kvaliteedi halvenemisele, kui näiteks ruumi temperatuuri ning suhtelise niiskuse taseme tõus, mis võtavad tunduvalt kauem aega. Antud uurimused teostati ühe pere elamus, kus elas kokku viis inimest ning hinnatava elamu suuruseks oli 100m<sup>2</sup> elamupinda ning hoone oma kogumõõtmel oli 250m<sup>3</sup>. Mõõtmiste käigus selgus, et näiteks 250m<sup>3</sup> ruumi puhul, kus korraga viibib viis inimest, võib ventilatsiooni tunniks ajaks välja lülitada, ilma et see ületaks lubatavat maksimaalset piiri. Ventilatsioon lülitati välja ajavahemikul 15:00-17:00 enamuse päevadel nädalas, kui elektri hind oli kõige kõrgem. Selle aja jooksul viibis ruumis valdavalt üks kuni kolm inimest, mis tähendas, et ventilatsiooni oleks võinud energia säästmise eesmärgil hoida isegi kauem välja lülitatuna. Mõõtmiste käigus ei tõusnud CO<sub>2</sub> taseme kontsentratsioon üle lubatud maksimaalse 1200 ppm taseme. Simulatsiooni tulemused näitasid, et elektrienergia kulusid on võimalik säästa kuni 5%. Selline lähenemine on eelistatav ventilatsioonisüsteemide puhul, millel ei ole sagedusmuundurid ning mis töötavad kindlal kiirusel. Selleks, et saada uurimuse käigus püstitatud eesmärgid paremini hinnata oleks hea mõõtmisi korrata ning seda olukorras kus ruumis viibib täpselt nii palju inimesi nagu algselt mainitud. Sellisel juhul tuleks analüüsi kõigus kõige täpsemini välja vastav olukord, mil CO<sub>2</sub> tase on ületatud ning kui palju aega sellele kulus. Väga olulist rolli antud mõõtmiste juures mängib elamupinna suurus ning ruumis viibivate inimeste arv.

## **2.3 Hingamisteede infektsiooni riskipõhine ventilatsiooni kavandamise meetod**

Jarek Kurnitski, Martin Kiili, Pawel Wargocki, Atze Boerstra, Olli Seppäneni, Bjarne Olseni ja Lidia Morawska poolt läbi viidud uurimuses [3] teostati kontorile, koolile ja restoranile uuringud, kus hinnati kui suur on vastavates asutustes risk nakatuda COVID-19-ga. Antud ruumid olid kõik erineva suurusega ning inimeste arv mõõtmiste ajal vastavates ruumides olid samuti erinevad. Mõõtmisi teostati kolmes sisekliima klassis ning igas klassis on erinevad ventilatsiooni õhuvooluhulgad inimeste ja ruumi pindala kohta. Lähtuvalt erinevatest sisekliima klassidest sooviti kindlaks teha, et millisel juhul ning olukorras on nakatumise tõenäosus kõige suurem. Eeldati, et kõigis arvutatud ruumides on üks nakkushaige isik. Uurimus viidi läbi kahes etapis, esimesel juhul olid inimesed ilma näo maskita ning teisel juhul kandsid isikud näo maski. Esimeses etapis tuli analüüsida käigus välja, et suurim nakatumise oht oli ruumis, kus korraga töötas

kaks inimest. Olgugi et antud ruum oli hästi ventileeritud, kuid õhuvahetus ühe inimese kohta on tunduvalt väiksem, kui näiteks suuremas ruumis. Mida suurem oli ruum kubatuurilt seda väiksem tõenäosus oli nakatuda viirusega, samuti olenes see ka inimeste arvust ning tegevusest antud ruumis. Teises etapis, kui kõik ruumis viibijad kandsid maski, siis nakatumise tõenäosus oli suuremates klassi- ning koosolekute ruumides väiksem, kui näiteks väiksemates ruumides. Selleks et mitte nakatuda oleks soovituslikud suuremad õhuvooluhulgad, kui standardi järgselt nõutud.

## **2.4 Ventilatsiooni õhuvahetuse kordarvu hindamine**

### **CO<sub>2</sub> sisalduse põhjal**

Krakovi Tehnikaülikooli teadurid K. Nowak, K. Nowak-Dzieszko ja A. Marcinowski teostasid uurimuse [4] läbi praktilise katse, kus nad hindasin ventilatsiooni õhuvahetuse kordarvu ja siseõhu kvaliteeti kontoriruumis, CO<sub>2</sub> sisalduse põhjal ruumis. Katse viidi läbi viie korruselises kontorihoones ning mõõdetav ruum asus teisel korrusel. Kontoriruum on kolmest küljest piiratud siseruumidega ning ühest küljest välisseinaga, kus on kaks akent. Mõõtmised viiakse läbi neljal järjestikusel päeval seitse tundi päevas septembrikuus. Mõõtmiste teostamisel kasutatakse Retronic CP 11 andurit, millega mõõdetakse CO<sub>2</sub> taseme sisaldust, temperatuuri ning suhtelist niiskust. Mõõtmiste teostamisel kasutatakse kolme andurit ning iga andur on paigutatud ruumi selliselt, et need asetseksid inimestest vähemalt 2 meetri kaugusel, ruumis viibis kokku neli töölis. Mõõtmiste käigus esimese kahe tunniga tõusis CO<sub>2</sub> taseme näit kiirelt 1500 ppm-ni mille järel avasid töölised akna ning süsihappegaasi tase langes umbes 1200 ppm peale. Kell 12 mindi lõunale ning pärast lõunat oli aken pooleldi avatud kuni tööpäeva lõpuni ning andur näidud olid vahemikus 600 kuni 1000 ppm. Võrdlusena kolme anduri vahel kõige madalam süsihappegaasi näit oli sellel anduril, mis asetseb aknale kõige lähemal, ülejäänud kahel anduril mis paiknevad aknast kaugemal olid näidud suuremad. Saadud tulemuste põhjal arvutati neljale järjestikusele päevale õhuvooluhulgad ning seda neljale perioodile päevas, ühe-, kolme-, kuue- ja kaheksa tunni kohta. Vastavad tundide vahemikud olid vajalikud selleks, et hinnata ruumi õhuvahetust olukordades, kus aken oli täiesti suletud, pool avatud või täielikult avatud ning vastavate tulemuste põhjal leiti ruumi keskmine väärtus. Saadud tulemuste põhjal arvatud õhuvahetuse kordarv ning õhu hulk ühe inimese kohta olid märgatavalt madalamad standardis nõutavale väärtusele. Tulemuste põhjal järeldati, et ventilatsioonisüsteemi efektiivsus on madal, mille tulemusel on ruumis kõrge CO<sub>2</sub> ning selle tulemusel on ruumis halb õhukvaliteet. Mõõtmiste käigus toodi ka välja, et temperatuuride vahe ruumis sees ning õues oli 10°C. Sellest järeldati, et ventilatsiooni efektiivsus peaks olema suurem talve kuudel. Selleks, et hinnata kui efektiivne on antud hoone ventilatsioon oleks soovituslik mõõtmisi korrata

ka talve kuudel, mil välistemperatuurid on veelgi madalamad. Selline mõõtmiste võrdlus annaks ventilatsioonisüsteemi efektiivsuse kohta parema ülevaate.

## **2.5 Paindlikkusteenused ventilatsioonisüsteemide kontekstis**

Baltic Load sageduse kontrolli ploki kontseptsioonidokumendist [5] võis välja lugeda erinevate juhtimisviiside (FCR, aFRR, mFRR, RR) kohta. Eestis haldab vastavaid juhtimisviise põhivõrguettevõtja Elering AS. Lähtuvalt nendest juhtimisviisidest on igale meetodile seatud mingid kindlad ajalised väärtused ning toimivused (Tabel 2.1). Näiteks kui ventilatsioonisüsteem on seotud aFRRteenusega, siis vastav teenus käivitub süsteemi kõikumise ajal automaatselt ning selle reageerimise aeg on kuni 5 minutit. mFRR ja RR puhul toimib vastav teenus mõlemal pakkujal käsitsi käivitamisega ning reageerimis aeg on vastavalt 12,5 ja 30 minutit. FCR täielikuks aktiveerimiseajaks on märgitud 30 sekundit, mis on lühikene aeg ning hoonete tehnosüsteemide seadmed ei suuda selle aja jooksul reageerida, et oma töötamise parameetreid ümber seadistada. Kõikide teenusepakkujate puhul on minimaalne pakutav kogus 1 MW, kuid sellise koguse täitmiseks peab koondama mitmeid süsteeme, näiteks ventilatsioonisüsteeme agregeerides. Kui ventilatsioonisüsteemi juhtida, siis see peab reageerima kindla aja jooksul. Olenevalt süsteemidest võib andmeside võtta aega. Kui näiteks turult tuleb signaal, et oleks vaja süsteemi tarbitavat võimsust tõsta või langetada, siis enne kui see jõuab ventilaatorini, selleks võib eelnevalt olla väga mitmeid ahelaid, mis tõttu vastavate juhtimisviiside juures on aeg väga oluline parameeter. Antud uurimustöö kontekstis on oluline teada saada, et kuidas näiteks Balti turul töötav ventilatsioon peab nendele juhtimisviiside teenustele reageerima. Selleks oleks vaja mudelit, mille põhjal oleks võimalik hinnata seda, et sisekliima oleks tagatud, kui ventilatsioonisüsteeme kasutada vastavatel turgudel. See mudel on oluliseks aluseks ka selliste süsteemide puhul, kus võib-olla igas ruumis pole süsihappegaasi andurit, selleks et oleks võimalik nende süsteemidega turul osaleda.

Antud töö peamise eesmärgina on vaja välja töötada selline sisekliima hindamine ja juhtimine, mida oleks võimalik reaalajas kasutada ja muuta sõltuvalt turul toimuvatest muutustest. Selle teostamiseks on vajalik teha sisekliima mõõtmissüsteemidest teostada modelleerimine. Modelleerimise põhjal on võimalik CO<sub>2</sub> muutuste järgi arvutada ruumi õhuvahetuse kordarvu, mis annaks omakorda võimaluse hinnata ruumide kasutust ning kõige kõrgemat ruumides esinevat süsihappegaasitaset, mille põhjal on võimalik osaleda potentsiaali võimsusturgudel. Lähtuvalt sellest sõltub, kui pikalt saab viia ventilaatorite

kiiruse miinimumini, et pakkuda paindlikkust mille tulemusel vabastatakse võrgule võimsust. Tabel 2.1 Standardsete bilansienergiatoodete pakkumiste omadused

|                            | <b>FCR</b>  | <b>aFRR</b>  | <b>mFRR</b>  | <b>RR</b>  |
|----------------------------|-------------|--|--|------------|
| Aktiveerimine              |             | Automaatne   | Manuaalne  | Manuaalne  |
| Aktiveerimis tüüp          |             | Automaatne   | Otsene või plaaniline  | Plaaniline |
| Täielik aktiveerimise aeg  | 30 sekundit | 5 minutit  | 12,5 minutit   | 30 minutit |
| Minimaalne kogus           | 1 MW        | 1 MW   | 1 MW   | 1 MW       |
| Pakkumise detailsus        | 1 MW        | 1 MW   | 1 MW   | 1 MW       |
| Maksimaalne kogus          |             | 9999 MW  | 9999 MW  | 9999 MW    |
| Tarneaja minimaalne kestus |             | Minimaalset tarneperioodi pole   | 5 minutit  | 30 minutit |
| Hinna resolutsioon         |             | 0,01 €/MWh   | 0,01 €/MWh   | 0,01 €/MWh |
| Kehtivusaeg                |             | Kehtivusaeg on 15 minutit. Kehtivusaeg hakkab kohe pärast kella 00:00. Kehtivusaeg peab olema järjestikune ega tohi kattuda. | Plaanitud aktiveerimine võib toimuda ainult aktiveerimise kohas. Otsene aktiveerimine võib toimuda igal ajal 15 minuti jooksul pärast ajastatud aktiveerimist. | 60 minutit |

### 3. TEOORIA

Antud peatükis antakse ülevaade sellest, mis on sisekliima ning kuidas seda ventilatsiooniga tagatakse. Antakse ülevaade standarditest EVS-EN 16798-1 [6], EVS-EN 16798-3 [7]. Lisaks dimensioneerimisele antakse ülevaade ventilatsiooni juhtimise põhimõtetest [3].

#### 3.1 Sisekliima ning selle olulisus

Sisekliima on hoonetes väga oluline, kuna inimesed viibivad valdavalt 90% oma ajast siseruumides [8]. Selle tõttu on väga tähtis, et hoonetes, kus inimesed viibivad enamuse oma ajast, seal peab alati õhu kvaliteet ning soojuslik sisekliima vastama nõuetele, mis on ette nähtud inimeste heaolu ja tervise suhtes. Sisekliima nõuded võivad hoonetele või ruumidele olla erinevad, sõltuvalt nende kasutamise otstarbest [9].

##### 3.1.1 Sisekliima klassid

Hoonete sisekliima on jaotatud nelja klassi ning igale klassile on määratud kindlad ootused (Tabel 3.1) [6], [10].

Tabel 3.1 Sisekliima klasse iseloomustav kokkuvõttev tabel [10]

| Klass | Ootuste tase  | Kirjeldus  |
|-------|---------------|--|
| I     | Kõrge         | Sobilik hoonetele, kus viibivad eakad inimesed, puuetega inimesed ja lapsed. Antud hooned on näiteks haiglad, hooldekodud ja lasteaiad. Kõrge sisekliima klass on vajalik vastavates hoonetes just selle tõttu, kuna seal viibivad inimesed, kelle tervise eest tuleb eriti hoolt kanda. |
| II    | Keskmine      | Kõige enam levinum klass. Vastavasse klassi projekteeritakse enamuse uued hooned   |
| III   | Tagasihoidlik | Sobilik enamuse olemasolevatele hoonetele, aga hoone olulise rekonstrueerimisel tuleb parandada sisekliimat.   |
| IV    | Madal         | Sisekliima tase hoones on madal, mis võib väljenduda väheses mugavuses, kuid ei põhjusta terviseriski. Soovituslik on viibida sellistes hoonetes hooajaliselt, näiteks suvel.  |

Õhu kvaliteedi hindamiseks on vajalik teada siseõhu CO<sub>2</sub> taseme sisaldust. Selleks, et saaks välja arvutada ventilatsiooni jaoks vajalikke õhuvoolukiiruseid on vajalik kasutada



massi tasakaalu võrrandit. Antud valemi jaoks on vajalik teada ruumis olevat CO<sub>2</sub> taseme kontsentratsiooni ning samuti tuleb arvesse võtta välisõhu kontsentratsiooni. Lähtuvalt standardist on sisekliima jaotatud nelja kategooriasse, mille alusel on võimalik hinnata hoonete sisekliima kvaliteeti lähtuvalt CO<sub>2</sub> kontsentratsioonist üle välisõhu kontsentratsiooni. Vastav tulemus saadakse PPM-ides [6].

Õhu kvaliteedi hindamiseks on ette määratud lubatud kõrvalekalded erinevatest sisekliima klassidest päeva, kuu ning aasta lõikes. Näiteks on I klassi lubatavad kõrvalekalded tööajast 3% aastas, 12% kuus ning 20% nädalas. II-st sisekliima klassist on lubatavad kõrvalekalded umbes kaks korda suuremad ning kui vastavad väärtused jäävad antud klassi piiresse siis võib öelda, et see on tulemus on aktsepteeritav [10].

## **3.2 Peamised sisekliima kvaliteeti mõjutavad tegurid**

Hoone sisekliimat on võimalik hinnata erinevate parameetrite alusel. Põhilised näitajad mille alusel sisekeskkonna kvaliteeti saab hinnata on: õhu kvaliteet siseruumides (CO<sub>2</sub> taseme sisaldus), soojuslik mugavus, akustika ja valgustus. Igale välja toodud näitajale vastavad omakorda erinevad alakomponendid, mis aitavad täpsemalt hinnata sisekliima kvaliteeti [6].

### **3.2.1 Saasteainete olemasolu**

Saasteained levivad igas keskkonnas seal viibivate inimeste ümber ning tihti peale pole need tajutavad. Tahkete ja gaasiliste ainete olemasolu ning kontsentratsioon pole kunagi ühesugune vaid see on muutuv ning sõltub nii viibimiskohast kui ka ajast. Siseruumis on peamisteks saasteallikateks inimesed. See väljendub enamasti välja hingatavas süsihappegaasis, mille kontsentratsioon ventileeritud tühjas ruumis on ligikaudu 400 ppm ning ruumis, kus viibivad inimesed, seal on ligikaudu 1000 ppm või enam. Süsihappegaasi kontsentratsiooni suurus ruumis sõltub seal viibivate inimeste arvust ning nende tegevusest. Ainuüksi CO<sub>2</sub> põhjal ei saa hinnata õhu kvaliteeti, jälgida tuleb ka seda, et mitte inimtekkelised saasteained oleksid enne ruumide kasutamist välja ventileeritud.[9].

Põhilised hoonesisesed siseõhu kvaliteeti mõjutavad saasteallikad on [9]:

- inimesed;
- kontoriseadmed (arvutid, printerid, projektorid jms seadmed);
- sisustus ja ehitusmaterjalid;

- sissepuhkeõhk;
- allergeenide allikad.

### **3.3 Ventilatsioon**

Ventilatsiooni peamine eesmärk on õhuvahetus ruumis, mille käigus tuleb ruumi suunata puhast õhku ning ruumist tuleb eemaldada sinna tekkinud saastunud õhk, et hoida ruumis sisekliimale vastavat õhu kvaliteeti [9].

#### **3.3.1 Ventilatsiooni olemus**

Ventilatsiooni kaudu puhutakse ruumi puhast ja värsket õhku, mis paneb ruumis olemas oleva õhu ringlema. Mida suurem on plafoonist väljuva õhu kiirus ja õhuvooluhulk ruumi sisenemisel, seda suuremat mõju see ruumile avaldab ehk ruumis toimub õhu segunemine ühtlaselt kogu ruumi ulatuses. Oluline on siinkohal jälgida, et sissepuhke kiirus liiga suur poleks, vastasel juhul võib see hakata inimestele peale puhuma ning see võib tekitada ebamugavus tunnet. Ruumis aset leidev liikumine ning tegevus mõjutavad olulisel määral ventilatsiooniõhu liikumist. Mida rohkem on ruumis liikumist, seda paremini toimub ruumis õhu segunemine [9].

Ventilatsiooni kaudu on võimalik ruumist eemaldada liigset soojust või hoopiski ruumi varustada soojusega. Sellisel juhul tuleks soojuse eemaldamiseks projekteerida sissepuhutav õhutemperatuur madalam, kui ruumiõhu temperatuur ning kui on soov ruumis saada veelgi soojemat temperatuuri, siis peab sissepuhke õhutemperatuur olema ruumiõhu temperatuurist soojem [9].

Sarnaselt on võimalik ventilatsiooni sissepuhkeõhu kaudu reguleerida ka ruumiõhu niiskust. Sellisel juhul kui soovitakse ruumist niiskust eemaldada, peab sissepuhkeõhu niiskussisaldus olema ruumiõhu niiskussisaldusest madalam ning kui soovitakse ruume niisutada, siis peab sissepuhkeõhu niiskussisaldus olema suurem ruumiõhu niiskussisaldusest [9].

#### **3.3.2 Ventilatsiooni arvutuspõhimõtted ja dimensioneerimine EVS-EN 16798-1:2019/NA:2019 põhjal**

Ventilatsiooni projekteerimisel tuleb paika panna arvutuslikud ventilatsiooniõhu vooluhulgad, mis on ventilatsioonisüsteemi arvutamise ja dimensioneerimise aluseks. Teisalt tuleb ventilatsiooni projekteerimisel arvestada saasteainete allikatega, oluline on teostada nende kontroll. Saasteainete allika kontrolli all on vaja tuvastada saasteainete

põhilised allikad ning ventilatsiooni eesmärgiks on need ruumist ventilatsiooni kaudu eemaldada või vähendada. Pärast allikate kindlaks määramist ja kontrolli peavad projekteeritud ventilatsiooniõhu vooluhulgad arvestama alles jäänud saasteainetega ning nende emissiooni tasemega [6].

Siseõhu kvaliteedi määramiseks on soovituslik kasutada järgmisi meetodeid [6]:

- meetod 1: tunnetusliku õhu kvaliteedi meetod;
- meetod 2: aine kontsentratsiooni piirväärtusi kasutav meetod;
- meetod 3: kindlaks määratud ventilatsiooniõhu vooluhulgal põhinev meetod.

Ventilatsiooni tasemeid hingamistsoonides leitakse kombineerimise teel ning kokku sobitatakse ventilatsioon hoone ja inimeste jaoks, mis arvutatakse valemi (3.1)3.1 põhjal [6]:

$$q_{tot} = n \cdot q_p + A_R \cdot q_B \quad 3.1$$

kus

$q_{tot}$  – summaarne ventilatsiooni tase hingamistsooni jaoks, l/s;

$n$  – arvutuslik väärtus ruumis viibivate inimeste arvu jaoks;

$q_p$  – ventilatsiooni tase hõive jaoks inimese kohta, l/(s inimene);

$A_R$  – põranda pindala, m<sup>2</sup>;

$q_B$  – ventilatsiooni tase hoone emissiooni jaoks, l/(s·m<sup>2</sup>).

Üksikute ainete lahustamiseks vaja minev arvutuslik ventilatsiooni tase arvutatakse valemi (3.2) põhjal [6]:

$$Q_h = \frac{G_h}{C_{h,i} - C_{h,0}} - \frac{1}{\varepsilon_v} \quad 3.2$$

kus

$Q_h$  – on lahendamiseks vajalik ventilatsiooni tase, väljendatud m<sup>3</sup> sekundis;

$G_h$  – on aine tekkimise kogus, väljendatud mikrogrammides sekundis;

$C_{h,i}$  – on aine juhendväärtus, väljendatud mikrogrammides  $m^3$  kohta;

$C_{h,0}$  – on aine kontsentratsioon sissepuhkeõhus, väljendatud mikrogrammides  $m^3$  kohta;

$\varepsilon_v$  – on ventilatsiooni efektiivsus.

### **3.3.3 Ventilatsiooni arvutuspõhimõtted ja dimensioneerimine EVS 906:2017 põhjal**

Mitteeluhoonete ventilatsiooni õhuvooluhulkade projekteerimisel tuleb lähtuda arvutuslikul režiimil ohtlike ainete, liigniiskuse või liigsoojuse eraldumisest ruumist. Ohtlike ainete puhul tuleb arvesse võtta nende eraldumise ebaühtlust nii ruumi pinna kui ka kõrguse puhul. Ühtlasi tuleb ohtlike ainete eemaldamiseks arvestada kohtäratõmmetega ning tehnoloogiliste äratõmmetega. Ventilatsioon tuleb projekteerida selliselt, et inimeste viibimistsooni jõuaks võimalikult värske ning sobiliku kiirusega sissepuhkeõhk [7].

Värske õhu sissepuhke vooluhulk peab täiesti segunenud õhuvahetuse korral olema projekteeritud selliselt, et klassiruumide sissepuhke inimeste kohta oleks 8 l/(s in) ning põranda pinna kohta 4 l/(s  $m^2$ ). Jalutuskoridoride (rekreatsiooniruum) puhul on vastav näit põranda pinna kohta 1 l/(s  $m^2$ ) [7].

Õhuvahetus ohtlike gaasiliste ainete puhul arvutatakse valemi (3.3) põhjal [7]:

$$L = \frac{G}{C_p - C_s} \cdot \varepsilon, m^3/h \quad 3.3$$

kus

$G$  – eralduv ohtlike ainete kogus mg/h;

$C_p$  – ohtlike ainete piirkontsentratsioon viibimistsoonis mg/ $m^3$ ;

$C_s$  – vastava paikkonna välisõhus sisalduvate ohtlike ainete piirkontsentratsioon, mis leitakse kohapeal tehtud mõõtmiste või kompetentsest tervisekaitseasutusest saadud andmete alusel mg/ $m^3$ ;

$\varepsilon$  – ventilatsiooni efektiivsuse tegur.

Õhuvahetus niiskuseralduste puhul arvutatakse järgneva valemi (3.4) põhjal

$$L = \frac{W_x}{(x_p - x_s)} \cdot 1,2 \cdot \varepsilon, m^3/h \quad 3.4$$

kus

$W_x$  – ruumi eralduv liigniiskus, g/h;

$X_p$  – ruumis lubatav niiskussisaldus, g/kg;

$X_s$  – sissepuhkeõhus olev niiskussisaldus, g/kg;

$\varepsilon$  – ventilatsiooni efektiivsuse tegur.

Õhuvahetus soojuseralduste puhul on leitav kahel viisil [7]:

- 1) Õhuvahetus soojussisalduste vahe järgi arvutatakse järgneva valemi (3.5) põhjal [7]:

$$L = \frac{\Phi}{h_{vt} - h_s} \cdot 1,2 \cdot \varepsilon, m^3/h \quad 3.5$$

kus

$\Phi$  – ruumi jahutuskooormus, kW;

$h_{vt}$  – väljatõmmatava õhu soojussisaldus, kJ/kg;

$h_s$  – sissepuhkeõhu soojussisaldus, kJ/kg;

$\varepsilon$  – ventilatsiooni efektiivsuse tegur.

- 2) Õhuvahetus temperatuuride vahe järgi arvutatakse valemi (3.6) põhjal [7]:

$$L = \frac{\Phi}{t_{vt} - t_s} \cdot c \cdot 1,2 \cdot \varepsilon, m^3/h \quad 3.6$$

kus

$\Phi$  – ruumi jahutuskooormus, kW;

$t_{vt}$  – väljatõmmatava õhu temperatuur, °C;

$t_s$  – sissepuhkeõhu temperatuur, °C;

$\epsilon$  – ventilatsiooni efektiivsuse tegur.

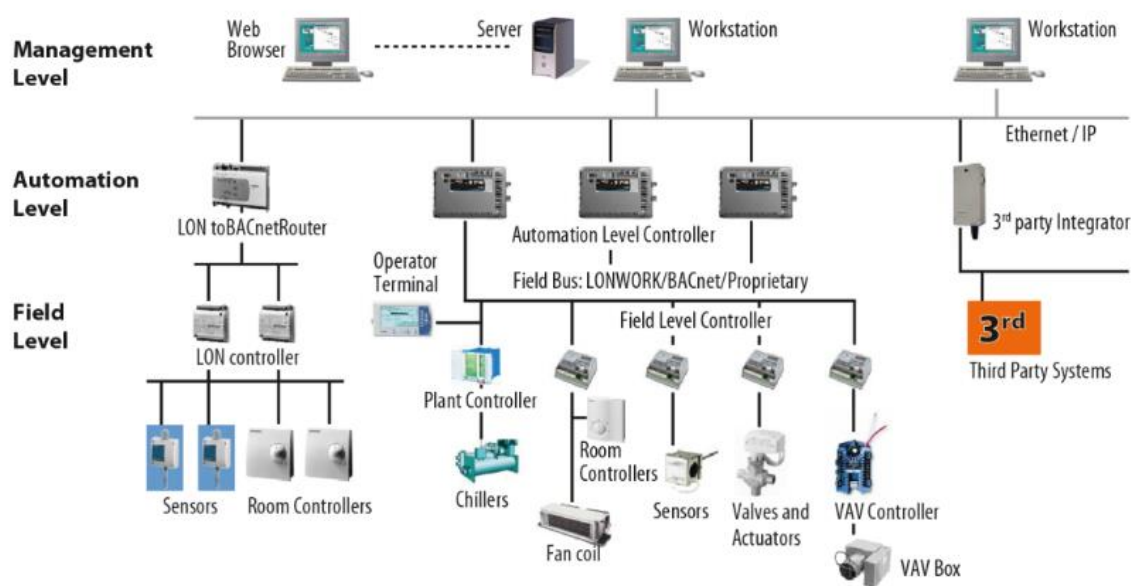
### **3.3.4 Ventilatsiooni juhtimispõhimõtted**

Ventilatsioonisüsteemid jaotuvad põhiliselt kaheks, CAV ja VAV süsteemiks. CAV süsteem on konstantse õhuhulgaga süsteem, kus ruumides hoitakse ühesugust õhuvooluhulka või õhurõhku. VAV süsteem on muutuva õhuhulgaga süsteem, mille juhtimine käib kas süsihappegaasi sisalduse järgi ruumis ehk ruumi juhitakse vastavalt õhu kvaliteedile või ruumi temperatuuri järgi. Kui ruumiõhus suureneb süsihappegaasi sisaldus, siis ventilatsioon suurendab tänu VAV süsteemile oma õhuvooluhulka, et CO<sub>2</sub> sisaldust ruumis alandada. Seda kui palju ruum sisaldab süsihappegaasi sõltub ruumis viibivate inimeste arvust, mida suurem see arv on seda suurem on ka CO<sub>2</sub> sisaldus õhus. Teise lahendusena kasutatakse temperatuuri järgset reguleerimist ehk kui ruumi temperatuur on tõusmas, siis suurendatakse õhuvooluhulka ning kui temperatuur on langemas, siis vähendatakse õhuvooluhulka. Väga tihti projekteeritakse ka süsteeme, kus VAV süsteemi juhitakse nii temperatuuri-, kui ka CO<sub>2</sub> andurite põhjal. Selline kombineeritud juhtimine tagab sisekliima kvaliteedi nii õhu, kui ka temperatuuri suhtes [9].

Ventilatsiooni mugavaks juhtimiseks kasutatakse uutes hoonetes BMS süsteemi ehk hoone automaatika juhtimissüsteemi. Hooneautomaatika juhtimissüsteem on hoonesse paigaldatav arvutipõhine süsteem, mis võimaldab sellega ühendatud tehnosüsteemide tööd jälgida ning vajadusel seda ka juhtida. Hooneautomaatika süsteemi alla on võimalik ühendada kõik võimalikke hoonet teenindavaid süsteeme, näiteks valgustust, soojusvarustust, külmavarustust ning ventilatsiooni. Tänapäeva uutele hoonetele lisatakse automaatne BMS süsteem (Joonis 3.1), mis ühendatakse näiteks hoonet teenindavate ventilatsiooniseadmetega, mille kaudu toimub nende automaatne juhtimine lähtuvalt ruumis esinevatest parameetristest muutustest. BMS juhtimine toimub läbi ruumi kontrollerite või andurite. Vastavatest anduritest antakse signaal edasi ruumi automaatikasse, mis omakorda annab signaali hoone automaatikat juhtivasse serverisse, kuhu on seadistatud ruume teenindavate seadmete piirväärtused, mida tuleb jälgida, et hoida vastavat sisekliima taset ruumis. Kui hoone automaatika saab signaali ruumist kätte, siis see võimaldab ruumi kontrolleritesse edastada uut informatsiooni vastavalt millele muudetakse ruume teenindavate seadmete tööd. Hoone juhtimissüsteemi kasutamise peamine eesmärk on see, et see võimaldab jälgida ja paremini kontrollida hoone toimivust selle teenuste osas saavutamaks energiatõhusust,

ökonoomsust ning ohutut tööd. Ruumis tekkivate sisekliima muutuste tagajärjel on hoone juhtimissüsteemi automaatika abil võimalik kiiresti ja tõhusalt muuta ruumi teenindavate seadmete parameetreid, et need vastaksid sisekliima normidele [11].

Ventilatsioonisüsteemide poolel on võimalik ruumi sisekliimat mõõta andurite abil, mis paigaldatakse teenindavatesse ruumidesse. Näiteks on võimalik mõõta ja lähtuvalt mõõdetud tulemuste põhjal automaatselt muuta ventilatsiooni õhuvooluhulka, temperatuuri, niiskust, CO<sub>2</sub> sisaldust ning ventilaatorite töötamise kiirust. Kui väljatõmbetorustiku juures olev CO<sub>2</sub> andur tuvastab liiga suure süsihappegaasi kontsentratsiooni ppm-des, siis on vajalik ruumis suurendada ventilatsiooni õhuvooluhulkasid, et ruumis tagada projekti järgselt määratud sisekliimaklassid [11].



Joonis 3.1 Illustratsioon hoone automatiseerimis- ja juhtimisvõrgu arhitektuurimudelist ja selle erinevatest tasemetest [11]

CAV süsteemi puhul väljatõmbeõhu CO<sub>2</sub> järgi juhtimine sisaldab endas riske ning seetõttu olemasolevaid süsteeme vastavalt ruumide kasutusele juhtida on keeruline. Kui mõõta näiteks väljatõmbeõhus süsihappegaasi, siis see ei pruugi kirjeldada kõige kõrgema CO<sub>2</sub> kasutusega ruumis, sest ruumide kasutus muutub ajas. Olemasolevatesse süsteemidesse on CO<sub>2</sub> andurite lisamine suhteliselt kallid, seega olekski vaja teada, et kui palju on neid andureid vaja lisada süsteemi, planeerides seejuures ruumide kasutust, et oleks võimalik hinnata auditooriumide õhukvaliteeti kõige intensiivsemalt kasutatavas ruumis.

Selle töö eesmärk on vaadata, et kui palju on vaja lisada CO<sub>2</sub> andureid selleks, et hinnata õhu kvaliteeti kõige intensiivsema kasutusega ruumis.

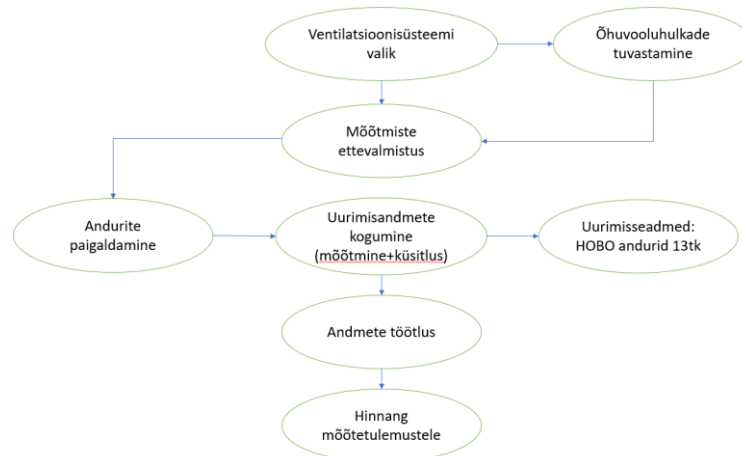
## 4. METOODIKA

### 4.1 Töö etappide kirjeldus

Antud lõputöö läbiviimise etapid on välja toodud joonisel (Joonis 4.1). Esiteks tuli välja valida sobilik ventilatsioonisüsteem ning teostada sellele õhuvooluhulkade tuvastamised ning seejärel anda hinnang kas need on vastavuses projekteeritud väärtustele. Järgnevalt teostati mõõtmiste ettevalmistumised, mis nägi ette tunniplaanide ning ventilatsioonisüsteemide koondtabeli koostamist, millelt on näha ruumide hõivatus protsentuaalselt (Tabel 5.3) ning ventilatsioonisüsteemi töögraafik (Joonis 5.3), ühtlasi paigaldati klassiruumidesse ka uurimisseadmed. Kokku paigaldati 13 CO<sub>2</sub> logerit, millest 12 paigutati klassiruumidesse ning üks ventilatsiooniagregaadi 303 väljatõmbe ühenduse sisse. Pärast andmete paigaldamist teostati mõõtmisi kuuel õppenädalal ning saadud logide andmeid laaditi iga nädala alguses alla. Ühtlasi koos mõõtmistega paluti õppejõududel klassiruumi õppejõu laua peale asetatud küsitluse lehele märkida loengus viibivate inimeste arv, et andmete analüüsimisel oleks võimalik anda paremat hinnangut tulemustele. Alla laaditud tulemusi tuli esiteks excelis töödelda, tunnivälised väärtused tuli viia baasväärtuse juurde ning seejärel sai arvutada ruumi õhuvahetuse kordarvu, mida leitakse ruudu keskmise hälve (RMSE) valemiga.

Töö tehti järgmistes etappides:

- Töö etappide kirjeldus;
- Ventilatsioonisüsteemi kirjeldus;
- Ventilatsiooni õhuvooluhulkade tuvastamine;
- Süsihappegaasi andurite paigaldamine;
- Õhukvaliteedi mõõtmised;



Joonis 4.1 Meetodite skeem



## 4.2 Ventilatsioonisüsteemi kirjeldus

Mõõtmiste teostamiseks valiti välja ventilatsioonisüsteem, mis teenindaks ainult auditoriume. Auditoriumis viibivatelt inimestelt eralduva süsihappegaasi põhjal oleks võimalik hinnata õpperuumide sisekliima kvaliteeti lähtuvalt ventilatsioonisüsteemi efektiivsusest. Samuti oli süsteemi valiku puhul oluline ka see, et süsteem oleks tasakaalus ehk ruumis oleks ainult üks teenindav ventilatsiooniseade. Vastavat ventilatsioonisüsteemi töörežiimi on ühtlasi võimalik viia ka poole kiiruse peale, mis tuleb mõõtmisi tehes samuti kasuks. Valituks süsteemiks osutus ventilatsioonisüsteem 303, mis teenindab TalTech'i majandusteaduskonna õppehoone auditoriume. Ventilatsioonisüsteemi 303 ülesandeks on teenindada 2-4. korrusel asuvaid õpperuume ning ühte fuajeed. Vastava seadme ventilatsioonigregaat on paigutatud 5. korruse ventilatsioonikambrisse. Ventilatsioonisüsteemi 303 korruste joonised ning teenindavad ruumid on leitavad lisade all (LISA 1, LISA 2, LISA 3) [12].

## 4.3 Ventilatsiooni õhuvooluhulkade tuvastamine

Ventilatsioonisüsteemi 303 sissepuhke- ja väljatõmbe õhuvooluhulkade määramiseks uurisin TalTech'i majandusteaduskonna õppehoone korruste plaane, kust oli võimalik välja lugeda ruume teenindavad õhuvooluhulgad [12].

Vastavate õhuvooluhulkade projekti järgselt mõõdistatud väärtustele teostati ventilatsioonisüsteem 303 poolt teenindavates TalTech'i majandusteaduskonna õpperuumides pistelisi mõõtmisi. Mõõtmised olid vajalikud selleks, et selgusele jõuda, kas reaalselt mõõdetud väärtused vastavad projektidokumentatsioonis olevatele ventilatsioonipassi [13] mõõdetud väärtustele. Selleks mõõdeti mõningates õpperuumides sissepuhkeplafooni rõhulangu Testo 440 dP mõõteseadmega (Tabel 4.1) (Joonis 4.2) ning väljatõmbeplafooni õhuvooluhulka samuti Testo mõõteseadmega. Väljatõmbeplafoonides ei õnnestunud mõõta täpset õhuvooluhulka, kuna rest oli laiuselt suurem kui mõõteseadme (Joonis 4.3), mis tõttu see ei ulatanud tervenisti väljatõmbe resti katma, seega tuli välja jäänud resti osa teibiga kinni katta, et saaks mõõteandmeid kätte. Sissepuhkeplafoonides õnnestus mõõta, kuid mõõdetud elementide takistus mõõtmiste käigus varieerus vahemikus 3-10 Pa. Rõhkude varieerumiste puhul oli keeruline mõõteseadmelt kõige õigemat väärtust välja lugeda, seega selle vahemiku jaoks arvutati valemi (4.1) abil igale näidule vastav õhuvooluhulk. Mõõdetud ja arvutatud tulemused on välja toodud peatükis 5 (Joonis 5.1). Kuna ruumide kaupa oli mõõtmiste käigus keeruline aru saada, kas iga ruumi õhuvooluhulk on projektile vastav, siis selle kontrollimiseks mõõtdeti kõikide kolme korruse sissepuhke- ja väljatõmbe

magistraalitorustike reglueerklappides rõhulangu. Selle põhjal oli võimalik reguleerklapi nomogrammi (Joonis 4.4) alusel mõõdetud rõhulangu ja reguleerklapi asendi põhjal teada saada seda, kas magistraalitorustike õhuvooluhulk vastab summeeritult sellele, mis teenindab vastava haru õpperuume. Vastavad arvutuste tulemused on välja toodud peatükis 5 (Tabel 5.1).

Tabel 4.1 Mõõteseadme Testo 440 dP parameetrid

| <b>Testo 440 dP</b>     |                                     |
|-------------------------|-------------------------------------|
| Temperatuur (NTC)       |                                     |
| Mõõtekpiirkond          | -40 kuni +150 °C                    |
| Täpsus (±1)             | ±0,4 °C (-40 kuni -25,1 °C)         |
|                         | ±0,3 °C (-25 kuni -74,9 °C)         |
|                         | ±0,4 °C (+70 kuni +99,9 °C)         |
| Resolutsioon            | 0,1 °C                              |
| Temperatuur (TC)        |                                     |
| Mõõtekpiirkond          | -200 kuni +1370 °C                  |
| Täpsus (±1)             | ±(0,3 °C +0,3 %)                    |
| Resolutsioon            | 0,1 °C                              |
| Diferentsiaal rõhk      |                                     |
| Mõõtekpiirkond          | -150 kuni +150 hPa                  |
| Täpsus (±1)             | ± 0,05 hPa (0 kuni +1,00 hPa)       |
|                         | ± 0,2 hPa + 1,5% (+1,01...+150 hPa) |
| Tehnilised andmed       |                                     |
| Töötemperatuur          | -20 kuni +50 °C                     |
| Hoiustamise temperatuur | -20 kuni +50 °C                     |

Õhuvooluhulka rõhu järgi on võimalik arvutada järgneva valemi (4.1) põhjal:

$$q = k \cdot \sqrt{\Delta p_m}$$

4.1

kus

q – õhu vooluhulk, l/s;

$\Delta p_m$  – mõõdetud rõhkude vahe, Pa;

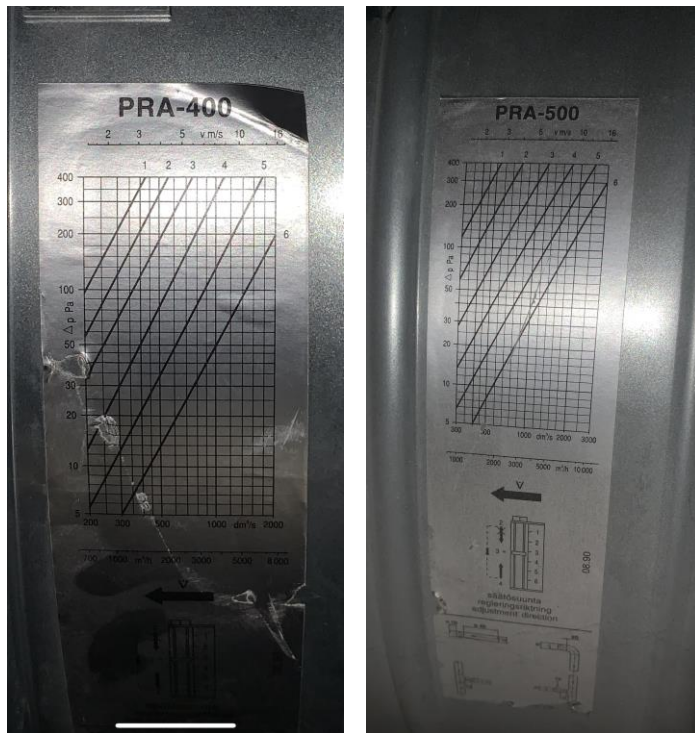
k - parandustegur, tuleb tabelist vaadata;



Joonis 4.2 Mõõteseade Testo 440, millega oli võimalik mõõta sissepuhke plafoonide rõhulangu.



Joonis 4.3 Mõõteseade Testo 440 ning mõõdistuskast koos külge ühendatud anduriga, nende abil oli võimalik mõõta väljatõmbe plafoonide õhuvoolu hulka.

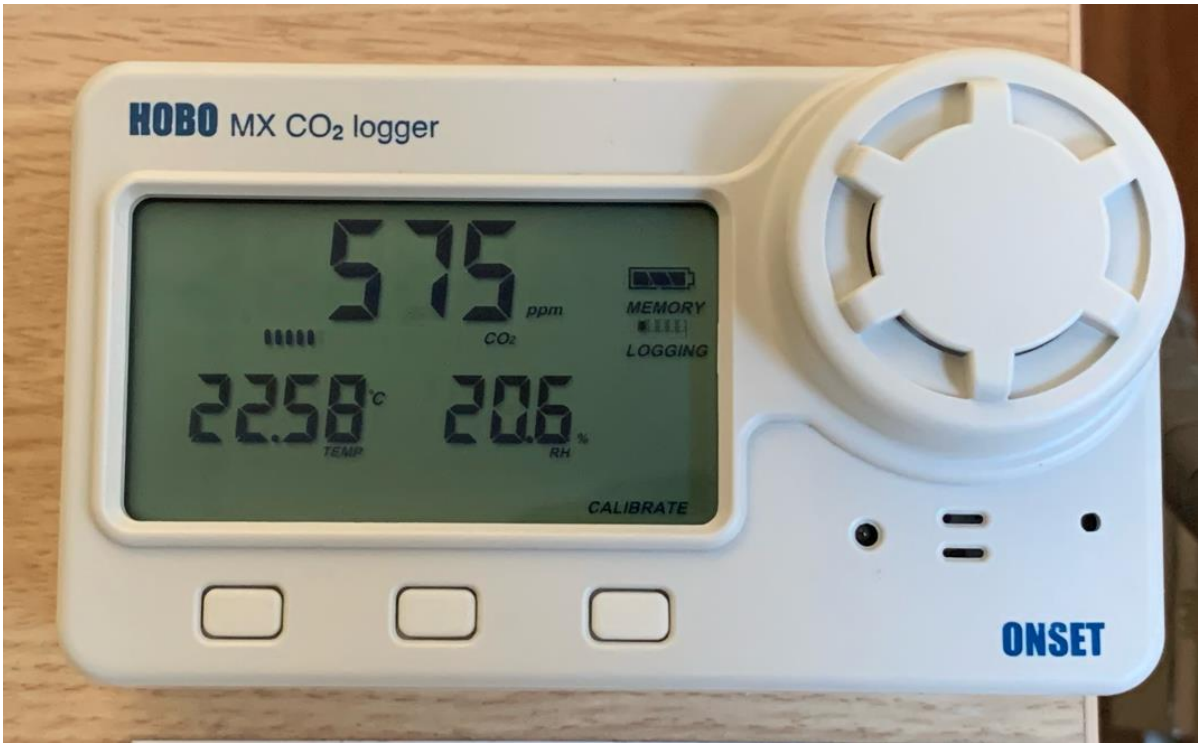


Joonis 4.4 Reguleerklappide nomogrammide, mille põhjal sai rõhulangu ja reguleerklapi asendi kaudu määrata haru õhuvoolu hulga.

#### 4.4 Süsihappegaasi andurite paigaldamine

Mõõdetavatesse auditooriumidesse, mida on kokku 12 paigaldati igasse ühte üks Onset HOBO MX1102A CO<sub>2</sub> loger (Joonis 4.5). Logeri parameetrid on välja toodud tabelis (Tabel 4.2) [14]. Logerid paigutati õppejõu laua peale umbes 0,8 m kõrgusele (Joonis 4.6), arvuti monitori taha. Üks logeritest paigutati ka ventilatsiooniseadme 303 agregaat, väljatõmbe poolele. Lisaks logeritele asetati õppejõu laua peal leht (LISA 4), kuhu paluti märkida ruumis viibivate inimeste arvu, et analüüsimise käigus oleks võimalik täpsemalt hinnata ruumis esinevat olukorda. Lisaks oli lehele jäetud tühje ridu selleks, et oleks võimalik märkida tunniplaani väliselt toimunud tunde kuupäeva ja kellaajaga ning ühtlasi oli jäetud ka kommentaaride lahter lisa märkuste tegemiseks.

Mõõtmistega hakati pihta 07.02.2022 ning neid teostati kuuel nädalal. Esimesed kaks nädalat mõõtmisi teostati 07.02 – 20.02.2022 ning ülejäänud neli nädalat vahemikus 21.03 – 17.04.2022. Iga õppenädala alguses käisin auditooriumides ning laadisin süsihappegaasi logeritest alla nädala jooksul mõõdetud andmed ning ühtlasi võtsin eelneva nädala inimeste märkimiste lehe ning asetasin selle uue nädala lehega.



Joonis 4.5 Onset HOBO MX1102A loger



Joonis 4.6 Mõõteseadme paigutus auditooriumis

Tabel 4.2 Onset HOBO MX1102A logeri parameetrid [14].

| <b>Temperatuuri andur</b>           |   |
|-------------------------------------|---|
| Vahemik                             | 0° kuni 50°C  |
| Täpsus                              | ±0.21°C alates 0° kuni 50°C   |
| Resolutsioon                        | 0.024°C 25°C juures   |
| Kõrvalekalle                        | <0.1°C aastas   |
| <b>RH andur (suhteline niiskus)</b> |   |
| Vahemik                             | 1% kuni 90% RH (mitte kondenseeruv)   |
| Täpsus                              | ±2% 20% kuni 80% tüüpiline kuni maksimumini<br>±4,5%, sealhulgas hüsterees 25 °C juures       |
| Resolutsioon                        | 0.01%   |
| Kõrvalekalle                        | <1% aastas  |
| <b>CO<sub>2</sub> andur</b>         |   |
| Vahemik                             | 0 kuni 5000 ppm   |
| Täpsus                              | ±50 ppm ±5% näidust temperatuuril 25°C , vähem kui<br>90% RH mitte kondenseeruv ja 1,013 mbar |
| Üles seadistamise aeg               | 1,013 mbar  |
| Kalibreerimine                      | Automaatne või käsitsi kuni 400 ppm   |
| Mittelineaarsus                     | <1% of FS   |
| Rõhu sõltuvus                       | 0,13% näidust mm Hg kohta (korrigeeritud<br>kõrguse/kõrguse kasutaja sisendiga)               |
| Töörõhu vahemik                     | 950–1050 mbar (väljaspool seda vahemikku kasutage<br>kõrguskompensatsiooni)                   |
| Kompenseeritud rõhuvahemik          | -305 kuni 5486 m  |
| <b>Reaktsiooniaeg</b>               |   |
| Temperatuur                         | 12 minutit kuni 90%-ni õhukiiruse 1 m/s juures  |
| RH                                  | 1 minut kuni 90%-ni õhukiiruse 1 m/s juures   |
| CO <sub>2</sub>                     | 1 minut kuni 90%-ni õhukiiruse 1 m/s juures   |
| <b>Loger</b>                        |   |
| Logeri töövahemik                   | 0° to 50°C; 0 kuni 95% RH (mitte kondenseeruv)  |
| Logimise sagedus                    | 1 sekund kuni 18 tundi  |
| Aja täpsus                          | ± 1 minut kuus 25°C juures  |

## 4.5 Õhukvaliteedi mõõtmised

Pärast kahte nädalat teostatud sisekliima mõõtmisi tuli hakata vastavate ruumide süsihappegaasi taseme muutust analüüsima. Andmete alla laadimisel arvutisse tuli kõigepealt teostada toorandmete töötlemine ehk välja tuli sorteerida ajavahemikud, kus tundi parajasti ei toimunud ning nendele ajavahemikele tuli teha töötlemine, et vastavad väärtused oleksid lähedased süsihappegaasi baasväärtusele ehk ligi kaudu 400 ppm. Selleks arvutasin tunnivälisele aegadele keskmise CO<sub>2</sub> väärtuse ning seejärel lahutasin eelduslikult välisõhu CO<sub>2</sub> tasemest ehk 400 ppm-st maha eelnevalt arvutatud keskmise väärtuse. Vastava vahe liitsin juurde CO<sub>2</sub> anduri poolt mõõdetud väärtustele, mille tulemusel olid väljaspool tunni kasutusaeg vastavad näidud ligi lähedased baasväärtustele. Selline CO<sub>2</sub> anduri andmete töötlemine oli vajalik selleks, kuna osad

süsihappegaasi andurid kas ei autokalibreerinud end või just tegid seda ehk vastav CO<sub>2</sub> taseme näit oli välisõhu baasväärtusest tunduvalt erinevad.

Järgmise sammuna peale toorandmete töötlemist tuli arvutada ruumi õhuvahetuse kordarv. Selleks tuvastasin ma mõõteandmetest perioodid, kus pärast ruumi kasutuse lõppemist vähenes CO<sub>2</sub> logaritmiliselt baasväärtusele. Alates sellest hetkest, kui CO<sub>2</sub> vähenemine algas, arvutasin massibilansi võrrandit (4.2) kasutades igale ajasammule vastava CO<sub>2</sub> väärtuse. Seejärel rakendasin ruudu keskmise hälve (RMSE) valemit (4.3), et arvutada minimaalne vigade ruutude summa, mis on sobilik vastava ruumi mõõteandmete järgi. Massibilansi võrrand (4.2):

$$C_0 - \frac{m}{L} - C_{sp} = \left( C_{00} - \frac{m}{L} - C_{sp} \right) \cdot e^{-\frac{L}{V} \tau} \quad 4.2$$

kus,

L – õhuvooluhulk, m<sup>3</sup>/s;

τ – aeg, s või h;

V – ruumi kubatuur, m<sup>3</sup>;

m – saasteainete eraldus, µg/s;

C<sub>sp</sub> – saasteainete kontsentratsioon sissepuhkeõhus, µg/m<sup>3</sup>;

C<sub>0</sub> – saasteainete kontsentratsioon ruumis, µg/m<sup>3</sup>.

Ruudu keskmist hälvet ehk ruutkeskmist viga arvutatakse järgneva valemiga (4.3):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad 4.3$$

kus,

y<sub>i</sub> – funktsioonitunnuse tegelik väärtus;

ŷ<sub>i</sub> – funktsioonitunnuse ennustatud väärtus;

n – vaatluste arv.

Mõõteandmete kätte saamisel võrdlesin ka seda, et kas CO<sub>2</sub> anduri näidud vastavad sellele, mida õppejõud minu poolt lauale lisatud õpilaste loenduse lehele (LISA 4) märkisid. Selle põhjal võib öelda, et kui lehele oli tund märgitud, siis see kajastus ka CO<sub>2</sub> anduri logis. Leidus ka ruume ja ajahetki mil ruumis on anduri põhjal CO<sub>2</sub> taseme näit suurenenud, kuid õpilaste lehele ei olnud tehtud ühtegi märget.



## 5. TULEMUSED JA ANALÜÜS

### 5.1 Mõõdetud õhuvooluhulkade tulemused

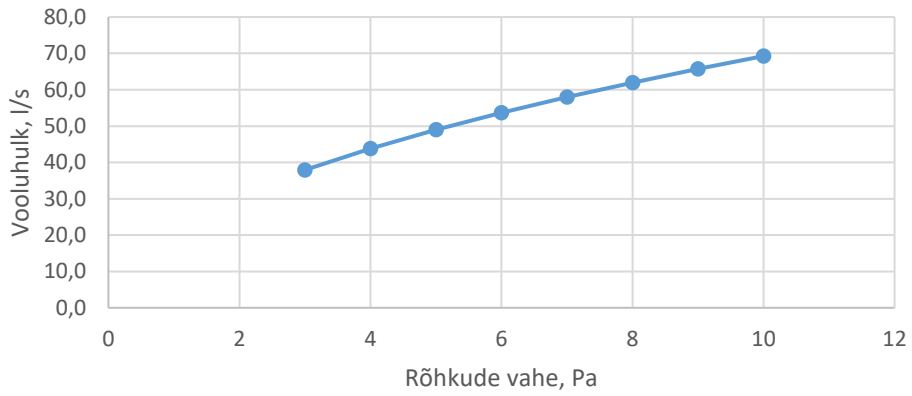
Valdavalt olid teise korruse auditooriumid arvutusliku õhuvahetusega 200 l/s sissepuhe ja väljatõmme, ühes auditooriumis olid vastavad näidud 220 l/s. Kolmandal ja neljandal korrusel olid kõikides auditooriumides 280 l/s sissepuhe ja väljatõmme (Tabel 5.2). Ruumide kõrgus on 3,5 m, sinna sisse on arvestatud kogu ruumi kõrgus, kaasa arvatud ka ripplagi. Vastava ruumi kõrguse põhjal on igale auditooriumile välja arvatud õhuvahetuse kordarv.

Kõikide kolme korruse harutorustike õhuhulgad olid suuremad, kui projektijärgselt paika pandud summeeritud väärtused (Tabel 5.1). Kuna harutorustike reguleerklappide puhul olid tulemused sarnaselt ühe auditooriumi sissepuhkeplafoonile varieeruvad mingis vahemikus, siis kõige õigemal väärtusel oli keeruline paika panna, mis tõttu valiti vastava vahemiku keskmine väärtus ning sellega teostati õhuvooluhulga arvutused. Tulemustest võib järeldada seda, et sissepuhe on pigem suurem kui väljatõmme. Õhuvooluhulgad on eeldatavasti maksimaalselt poolteist korda suuremad, kui projekteeritud väärtused ning need pigem vastavad hästi. Sulgudes toodud väärtused (Tabel 5.2) on mõõdetud vooluhulgad summeeritud harude kaupa ning neid on võrreldud vastavalt projekteeritud väärtustele.

Ruumide sissepuhkeplafoonide mõõttelemendi rõhkude vahe kõikus vahemikus 3-10 Pa, mille põhjal oli keeruline määrata õiget väärtust, sest sellele rõhkude vahele vastab õhuvooluhulk vahemikus 40-70 l/s, seetõttu on keeruline õhujagajate kaupa mõõta. Selle näitamiseks arvutasin metoodika peatükis välja toodud valemi (4.1) põhjal igale rõhu väärtusele vastava õhuvooluhulga (Joonis 5.1). Ruumidesse olid paigaldatud TRI-160 sissepuhkeplafoonid, mille k-väärtuseks on arvestatud 21,9.



### Vooluhulga sõltuvus rõhulangust



Joonis 5.1 vooluhulga sõltuvus rõhulangust

Tabel 5.1 Õhuvooluhulkade mõõtmiste tulemused harutorustike reguleerklappides

| Reguleerklapi asukoht | Sissepuhe/väljatõmme | Reguleerklapp | Rõhk, Pa | Asend | Õhuvooluhulk reguleerklapi ja rõhu järgi, l/s |
|-----------------------|----------------------|---------------|----------|-------|---|
| SOC 216 koridor       | SP 1                 | PRA 500       | 65       | 5     | 980   |
|                       | SP 2                 | PRA 400       | 22       | 6     | 630   |
|                       | VT 1                 | PRA 500       | 66       | 4,5   | 850   |
|                       | VT 2                 | PRA 400       | 22       | 6     | 630   |
| SOC 304 koridor       | SP                   | PRA 500       | 90       | 5     | 1200  |
|                       | VT                   | PRA 500       | 185      | 3,5   | 980   |
| SOC 404 koridor       | VT                   | PRA 500       | 155      | 3,5   | 900   |
|                       | SP                   | PRA 500       | 110      | 4,5   | 1050  |

Tabel 5.2 Ventilatsioonisüsteemi 303 poolt teenindavate ruumide õhuvooluhulgad. Mõõdetud väärtuste all sulgudes olevad väärtused näitavad mõõdetud vooluhulkasid võrrelduna projekteeritud väärtustega.

| <b>VENTILATSIOONISÜSTEEM 303</b>   |                   |                          |                 |                         |   |                 |                          |                    |                 |
|------------------------------------|-------------------|--------------------------|-----------------|-------------------------|---|-----------------|--------------------------|--------------------|-----------------|
| <b>2. korrus</b>                   |                   |                          |                 |                         |   |                 |                          |                    |                 |
| Ruumi nr                           | Ruum              | Projekteeritud väärtused |                 |                         |   |                 |                          | Mõõdetud väärtused |                 |
|                                    |                   | Sissepuhe, l/s           | Väljatõmme, l/s | Pindala, m <sup>2</sup> | Õhuvahetus pindala kohta, l/(s·m <sup>2</sup> ) | Ruumi kõrgus, m | Õhuvahetuse kordarv, 1/h | Sissepuhe, l/s     | Väljatõmme, l/s |
| 216                                | Rekreatsiooniruum | +200                     | -200            | 190,3                   | 1,1   | 3,5             | 1,1                      | +980-(+800)        | -850 (-805)     |
| 217                                | Auditoorium       | +200                     | -200            | 35                      | 5,7   | 3,5             | 5,9                      |                    |                 |
| 218                                | Auditoorium       | +200                     | -200            | 34,1                    | 5,9   | 3,5             | 6,1                      |                    |                 |
| 219                                | Auditoorium       | +200                     | -200            | 34,1                    | 5,9   | 3,5             | 6,1                      |                    |                 |
| 223                                | Abiruum           | s                        | -5              | 4,8                     | 1   | 3,5             | 1,0                      |                    |                 |
| 220                                | Auditoorium       | +200                     | -200            | 35                      | 5,7   | 3,5             | 5,9                      | +630 (+620)        | -630 (-620)     |
| 221                                | Auditoorium       | +200                     | -200            | 35                      | 5,7   | 3,5             | 5,9                      |                    |                 |
| 222                                | Auditoorium       | +220                     | -220            | 37,2                    | 5,9   | 3,5             | 6,1                      |                    |                 |
| <b>2. korruse õhuvahetus kokku</b> |                   | <b>+1420</b>             | <b>-1425</b>    |                         |   |                 |                          | +1610              | -1480           |
| <b>3. korrus</b>                   |                   |                          |                 |                         |   |                 |                          |                    |                 |
| Ruumi nr                           | Ruum              | Projekteeritud väärtused |                 |                         |   |                 |                          | Mõõdetud väärtused |                 |
|                                    |                   | Sissepuhe, l/s           | Väljatõmme, l/s | Pindala, m <sup>2</sup> | Õhuvahetus pindala kohta, l/(s·m <sup>2</sup> ) | Kõrgus, m       | Õhuvahetuse kordarv, 1/h | Sissepuhe, l/s     | Väljatõmme, l/s |
| 315                                | Auditoorium       | +280                     | -280            | 44                      | 6,4   | 3,5             | 6,6                      | +1200 (+840)       | -980 (-840)     |
| 316                                | Auditoorium       | +280                     | -280            | 44                      | 6,4   | 3,5             | 6,6                      |                    |                 |
| 317                                | Auditoorium       | +280                     | -280            | 43,7                    | 6,4   | 3,5             | 6,6                      |                    |                 |
| <b>3. korruse õhuvahetus kokku</b> |                   | <b>+840</b>              | <b>-840</b>     |                         |   |                 |                          | +1200              | -980            |

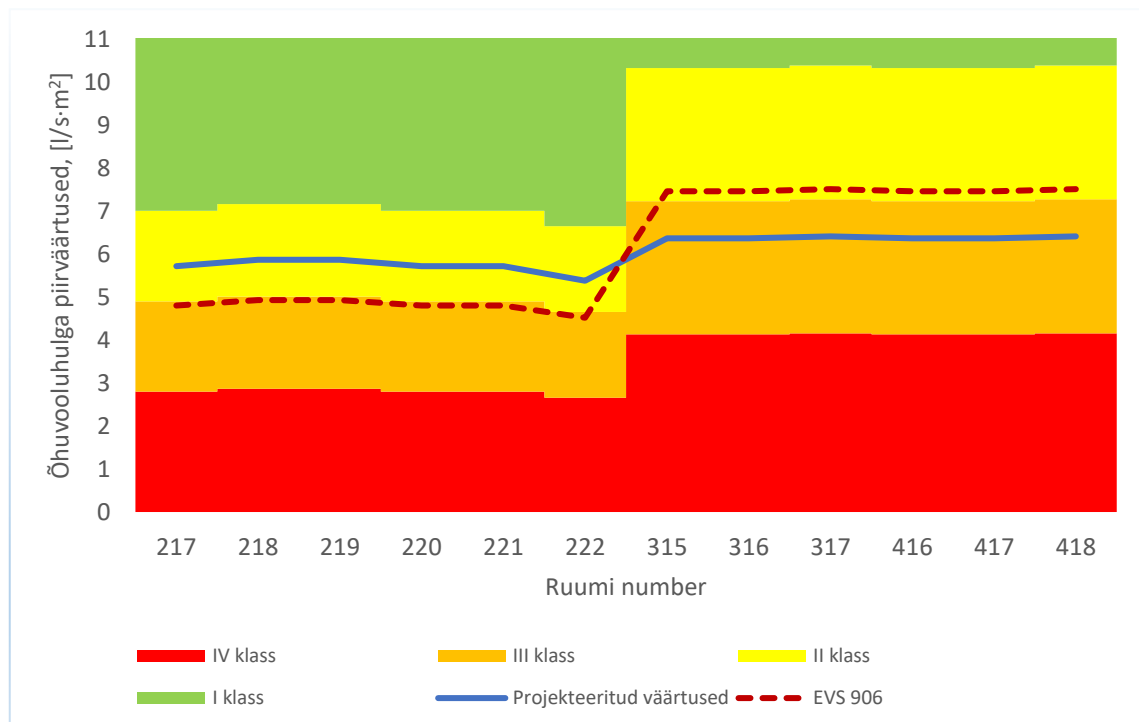
| 4. korrus   |             |                          |                 |                         |   |           |                          |                    |                 |
|---|-------------|--------------------------|-----------------|-------------------------|---|-----------|--------------------------|--------------------|-----------------|
| Ruumi nr  | Ruum        | Projekteeritud väärtused |                 |                         |   |           |                          | Mõõdetud väärtused |                 |
|   |             | Sissepuhe, l/s           | Väljatõmme, l/s | Pindala, m <sup>2</sup> | Õhuvahetus pindala kohta, l/(s*m <sup>2</sup> ) | Kõrgus, m | Õhuvahetuse kordarv, 1/h | Sissepuhe, l/s     | Väljatõmme, l/s |
| 416   | Auditoorium | +280                     | -280            | 44                      | 6,4   | 3,5       | 6,6                      | +1050 (+840)       | -900 (-840)     |
| 417   | Auditoorium | +280                     | -280            | 44                      | 6,4   | 3,5       | 6,6                      |                    |                 |
| 418   | Auditoorium | +280                     | -280            | 43,7                    | 6,4   | 3,5       | 6,6                      |                    |                 |
| <b>4. korruse õhuvahetus kokku</b>                |             | <b>+840</b>              | <b>-840</b>     |                         |   |           |                          | +1050 (+840)       | -900 (-840)     |
| <b>Ventilatsioonisüsteem 303 õhuvahetus kokku</b> |             | <b>+3100</b>             | <b>-3105</b>    |                         |   |           |                          | +3860 (+3100)      | -3360 (-3105)   |

## 5.2 Projekti ja standardite järgsed õhuvooluhulgad

Ruumidele on välja arvatud kahe standardi järgselt vastavad õhuvooluhulga piirväärtused l/s põranda pinna kohta ning ühtlasi on ära näidatud ka reaalselt projekteeritud väärtused ehk millisesse sisekliima klassi on vastavad õpperuumid projekteeritud (Joonis 5.2). Taustal toodud sisekliimaklasside vahemikud on arvatatud standardi EVS-EN 16798-1:2019/NA:2019 põhjal ning punase kriipsjoonega näitavad standardi EVS 906:2017 väärtusi.

EVS-906 põhjal on ruumid 217 kuni 222 projekteeritud teise ja kolmanda sisekliima klassi piiri peale, arvutuste järgi on vastavad näidud umbes 4,5-4,9 l/s·m<sup>2</sup> ning ruumid 315 kuni 418 on projekteeritud teise sisekliima klassi, mille väärtused on umbes 7,5 l/s·m<sup>2</sup>. Arvutatud väärtuste tulemused sõltusid inimeste arvust ning ruumi pindalast, mis tõttu ruumid 315 kuni 418 oli suurema õhuvooluhulgaga põranda pinna kohta.

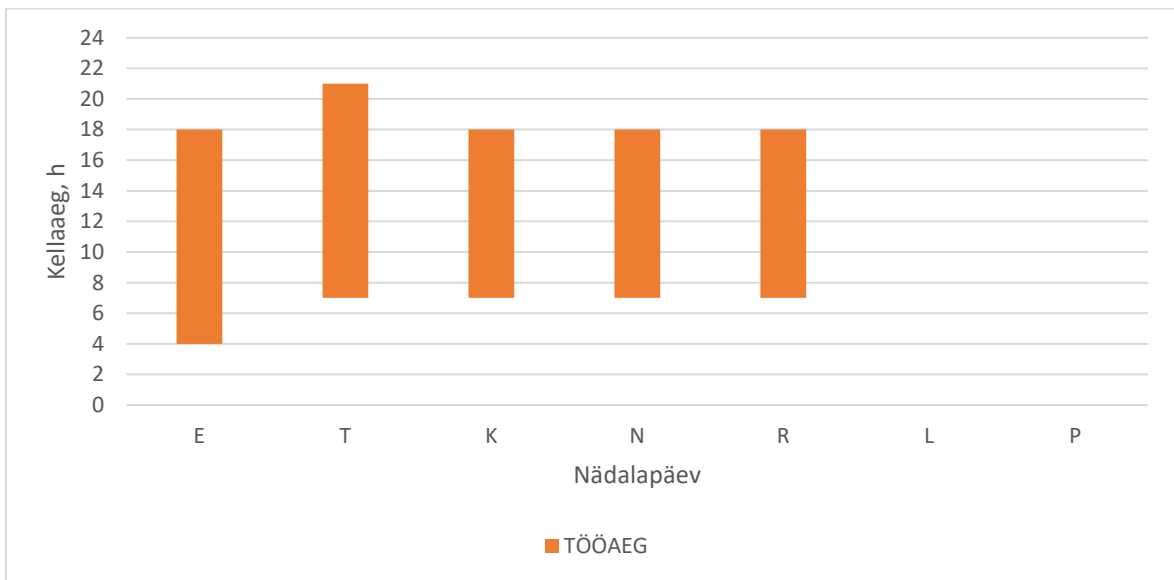
Sinise joonega on tähistatud ruumide reaalselt projekteeritud väärtused põranda pinna kohta. Ruumid 217 kuni 222 on projekteeritud teise sisekliima klassi ning ruumid 315 kuni 418 on kolmandasse sisekliima klassi.



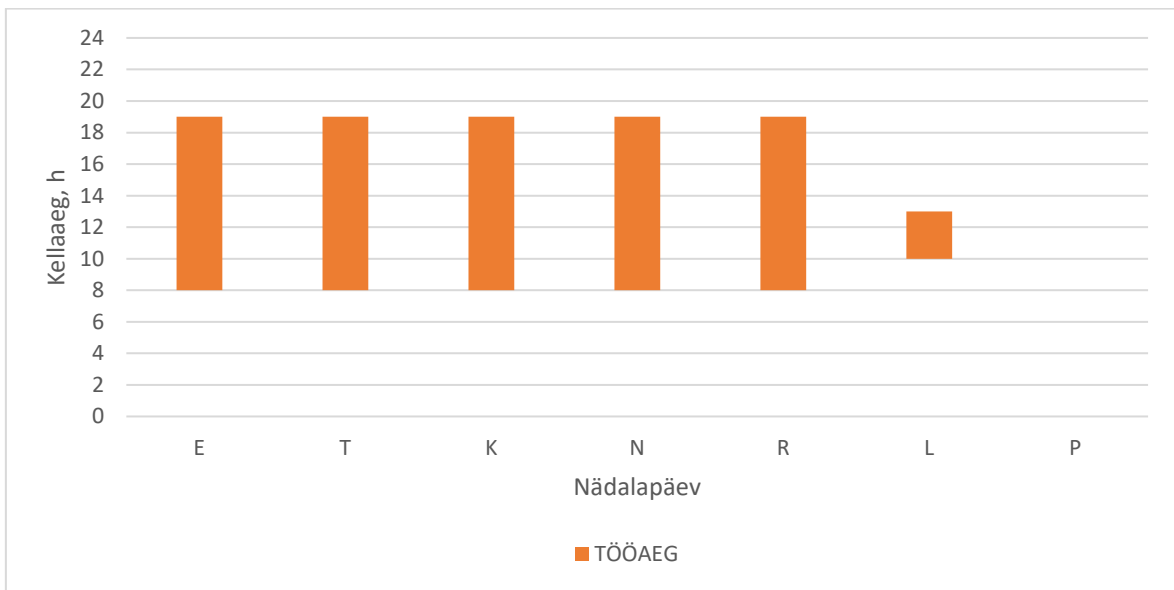
Joonis 5.2 Ruumid õhuvooluhulgad vastavalt standarditele EVS 16798-1, EVS 906 ja projekteeritud väärtused

## 5.3 Ventilatsioonisüsteemi töögraafik ning ruumide hõivatus

TalTech'i majandusteaduskonna ventilatsioonisüsteem 303 töögraafik on nähtav järgneval joonisel (Joonis 5.3). Esmaspäeviti hakkab ventilatsioon tööle kella neljast hommikul ning töötab kuni kella kuueni õhtul. Teispäeval töötab ventilatsioon kella seitsmest hommikul kuni üheksani õhtul ning kolmapäevast reedeni kella seitsmest kuni õhtu kella kuueni. Nädalavahetuseti on ventilatsioonisüsteem välja lülitatud.



Joonis 5.3 Ventilatsiooniagregaadi töögraafik



Joonis 5.4 Tunniplaanide järgne ruumide kasutusaeg

Joonisel (Joonis 5.4) on välja toodud tunniplaani järgsed ruumide kasutusajad. Esmaspäevast kuni reedeni on ruumid kasutuses hommikul kella kaheksast, kuni õhtul kella üheksani. Laupäeviti on ruumid kasutuses hommikul kella kümnest kuni päeval kella üheni. Pühapäeviti ruumides tunde ei toimunud.

Jooniste (Joonis 5.3) ja (Joonis 5.4) põhjal on nähtav, et ventilatsiooni töögraafiku ja ruumide tegeliku kasutusaja vahel on ebakõla. Esmaspäeval, kolmapäeval, neljapäeval ja reedel lülitub ventilatsioon kolm tundi varem välja võrreldes ruumide tegeliku kasutusajaga ehk kell kuus õhtul. Laupäeviti kui ruumides toimuvad lõuna paiku tunnid, siis ventilatsioonisüsteem on sellel ajal täielikult välja lülitatud.

TalTech õppeinfosüsteemi leheküljelt on tunniplaanide järgi koostatud igale ruumile ajalised tabelid, millelt on näha ruumide hõivatus kellaajaliselt (LISA 5, LISA 6, LISA 7). Siinkohal tuleb märkida, et tundide ajad ning kohad võivad iga nädalasel muutuda, seega on vastavates tabelites välja toodud need ajad, mis antud hetkel tunniplaan koostades oli märgitud. Tabelisse on tunnid märgitud numbriliste väärtustega 1 ja 0. Väärtus 1 tähistab tunni toimimist ning väärtus 0 seda, et ruum oli antud hetkel tühi. Värvilisega on tähistatud tundide toimumise ajad nädalates. Roheline värv tähistab seda, et antud ajal toimub tund kõikidel õppenädalatel. Sinine värv tähistab tunde, mis toimuvad paaris nädalatel, oranž värv näitab tunde, mis toimuvad esimesel poolsemestril ehk nädalatel 1-8. Kollase värviga oli keeruline täpset aega märkida, kuna tunnid toimuvad erinevatel nädalatel, näiteks nädalal 3-7 ning siis uuesti nädalatel 9-16.

Lisades välja toodud tabelite (LISA 5, LISA 6, LISA 7) põhjal on koostatud ruumide hõivatus protsentuaalselt, summeerituna kõikidest ruumidest ning nädalapäevast (

Tabel 5.3). Antud tabelist on nähtav, mis kellaajal ning nädalapäeval on ruumide hõivatus protsentuaalselt kõige suurem

Tabel 5.3 Ruumide hõivatus protsentuaalselt, summeerituna kõikidest ruumidest ning nädalapäevast

| Kellaeg | Ruumide hõivatus, % |     |     |     |     |    |    | Ventilatsiooni töögraafik |   |   |   |   |   |   |
|---------|---------------------|-----|-----|-----|-----|----|----|---------------------------|---|---|---|---|---|---|
|         | E                   | T   | K   | N   | R   | L  | P  | E                         | T | K | N | R | L | P |
| 4:00    | 0%                  | 0%  | 0%  | 0%  | 0%  | 0% | 0% | 1                         | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|         | 0%                  | 0%  | 0%  | 0%  | 0%  | 0% | 0% | 1                         | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|         | 0%                  | 0%  | 0%  | 0%  | 0%  | 0% | 0% | 1                         | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|         | 0%                  | 0%  | 0%  | 0%  | 0%  | 0% | 0% | 1                         | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5:00    | 0%                  | 0%  | 0%  | 0%  | 0%  | 0% | 0% | 1                         | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|         | 0%                  | 0%  | 0%  | 0%  | 0%  | 0% | 0% | 1                         | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|         | 0%                  | 0%  | 0%  | 0%  | 0%  | 0% | 0% | 1                         | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|         | 0%                  | 0%  | 0%  | 0%  | 0%  | 0% | 0% | 1                         | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00    | 0%                  | 0%  | 0%  | 0%  | 0%  | 0% | 0% | 1                         | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|         | 0%                  | 0%  | 0%  | 0%  | 0%  | 0% | 0% | 1                         | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|         | 0%                  | 0%  | 0%  | 0%  | 0%  | 0% | 0% | 1                         | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|         | 0%                  | 0%  | 0%  | 0%  | 0%  | 0% | 0% | 1                         | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7:00    | 0%                  | 0%  | 0%  | 0%  | 0%  | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 0%                  | 0%  | 0%  | 0%  | 0%  | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 0%                  | 0%  | 0%  | 0%  | 0%  | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 0%                  | 0%  | 0%  | 0%  | 0%  | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 8:00    | 0%                  | 8%  | 0%  | 0%  | 8%  | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 0%                  | 8%  | 0%  | 17% | 8%  | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 0%                  | 17% | 0%  | 17% | 17% | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 0%                  | 17% | 0%  | 17% | 17% | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 9:00    | 0%                  | 17% | 17% | 17% | 17% | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 0%                  | 25% | 17% | 17% | 17% | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 0%                  | 17% | 17% | 25% | 8%  | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 0%                  | 17% | 17% | 8%  | 8%  | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 10:00   | 25%                 | 42% | 58% | 58% | 17% | 8% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 25%                 | 42% | 58% | 67% | 33% | 8% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 25%                 | 42% | 58% | 67% | 25% | 8% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 25%                 | 42% | 58% | 67% | 25% | 8% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 11:00   | 25%                 | 42% | 58% | 58% | 25% | 8% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 25%                 | 8%  | 17% | 8%  | 25% | 8% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 25%                 | 8%  | 17% | 8%  | 17% | 8% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 25%                 | 17% | 58% | 75% | 25% | 8% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 12:00   | 25%                 | 17% | 58% | 75% | 25% | 8% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 25%                 | 17% | 58% | 75% | 25% | 8% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 25%                 | 17% | 58% | 75% | 25% | 8% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 25%                 | 17% | 58% | 75% | 25% | 8% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 13:00   | 8%                  | 8%  | 42% | 75% | 25% | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 17%                 | 0%  | 25% | 17% | 8%  | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 17%                 | 0%  | 25% | 17% | 8%  | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 42%                 | 42% | 83% | 33% | 17% | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 14:00   | 50%                 | 42% | 83% | 25% | 25% | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 42%                 | 42% | 83% | 25% | 25% | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 50%                 | 42% | 83% | 25% | 25% | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 42%                 | 42% | 83% | 25% | 25% | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 15:00   | 42%                 | 42% | 83% | 25% | 25% | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 50%                 | 42% | 75% | 25% | 17% | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 33%                 | 17% | 25% | 8%  | 17% | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 33%                 | 17% | 17% | 8%  | 17% | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 16:00   | 58%                 | 50% | 58% | 33% | 33% | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 50%                 | 50% | 58% | 42% | 33% | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 42%                 | 50% | 58% | 42% | 33% | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 42%                 | 42% | 58% | 42% | 33% | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 17:00   | 25%                 | 42% | 67% | 42% | 25% | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 8%                  | 8%  | 33% | 25% | 8%  | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 33%                 | 25% | 50% | 42% | 25% | 0% | 0% | 1                         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|         | 25%                 | 25% | 42% | 42% | 25% | 0% | 0% | 0                         | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18:00   | 25%                 | 25% | 42% | 42% | 25% | 0% | 0% | 0                         | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|         | 25%                 | 25% | 42% | 42% | 25% | 0% | 0% | 0                         | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|         | 25%                 | 42% | 42% | 42% | 25% | 0% | 0% | 0                         | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|         | 25%                 | 42% | 50% | 42% | 25% | 0% | 0% | 0                         | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19:00   | 17%                 | 33% | 50% | 33% | 17% | 0% | 0% | 0                         | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|         | 17%                 | 33% | 50% | 33% | 17% | 0% | 0% | 0                         | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|         | 17%                 | 33% | 42% | 25% | 17% | 0% | 0% | 0                         | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|         | 17%                 | 33% | 42% | 25% | 17% | 0% | 0% | 0                         | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20:00   | 17%                 | 8%  | 33% | 25% | 17% | 0% | 0% | 0                         | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|         | 17%                 | 8%  | 33% | 25% | 17% | 0% | 0% | 0                         | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|         | 17%                 | 8%  | 33% | 25% | 17% | 0% | 0% | 0                         | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|         | 0%                  | 0%  | 0%  | 0%  | 0%  | 0% | 0% | 0                         | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21:00   | 0%                  | 0%  | 0%  | 0%  | 0%  | 0% | 0% | 0                         | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|         | 0%                  | 0%  | 0%  | 0%  | 0%  | 0% | 0% | 0                         | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|         | 0%                  | 0%  | 0%  | 0%  | 0%  | 0% | 0% | 0                         | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|         | 0%                  | 0%  | 0%  | 0%  | 0%  | 0% | 0% | 0                         | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| Ruumide hõivatus, % |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      | Ventilatsiooni töörežiim |        |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|--------------------------|--------|
| 0%                  | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% | 100% | Sees                     | Väljas |
|                     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      | 1                        | 0      |

Tabel 5.4 TalTech ÕIS'i tunniplaani järgi toimuma pidanud tundide arv, tegelikult toimunud tundide arv ning tegelik tundide kestvus õpperuumides

| Ruumi number | Tunniplaani järgi toimuma pidanud tundide arv, tk | Tegelikult toimunud tundide arv, tk | Tegelik tundide kestvus ruumis, h |
|--------------|---|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 217          | 55  | 26                                  | 40,5                              |
| 218          | 54  | 30                                  | 45                                |
| 219          | 57  | 43                                  | 64,5                              |
| 220          | 14  | 2                                   | 3                                 |
| 221          | 62  | 36                                  | 54                                |
| 222          | 63  | 20                                  | 30                                |
| 315          | 46  | 19                                  | 28,5                              |
| 316          | 42  | 17                                  | 25,5                              |
| 317          | 61  | 31                                  | 46,5                              |
| 416          | 32  | 20                                  | 30                                |
| 417          | 38  | 20                                  | 30                                |
| 418          | 51  | 29                                  | 43,5                              |

Nähtaval tabelil (Tabel 5.4) on TalTech õppeinfosüsteemi tunniplaani alusel välja loendatud tundide arvud, mis oleksid pidanud toimuma kuue nädala jooksul, mil vastavates ruumides teostati sisekliima mõõtmisi. Süsihappegaasiandurite logide põhjal ning samuti ruumi õpilaste märkelehtede täitmise põhjal võis näha, et märgatav kogus tunde on nende toimumise hetkel hoopiski ära jäänud. Ühe põhjusena võib välja tuua koroonast tingitud olukorra, kus välditi kokku saamisi ning suurem osa tunde, mis võimalik viidi läbi veebi teel.

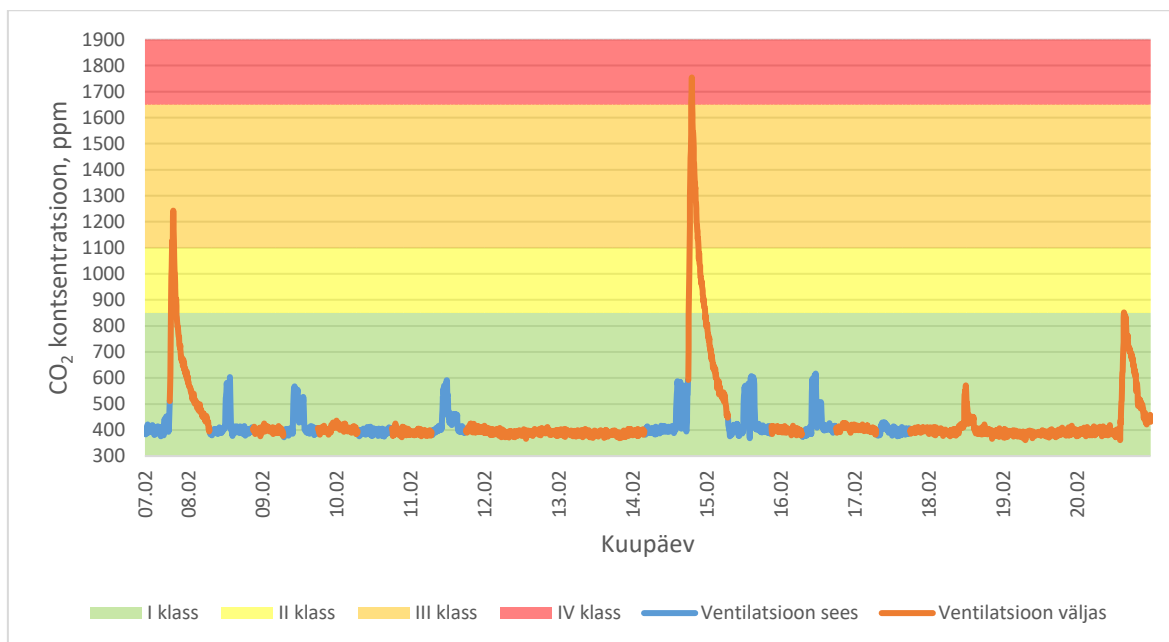
## 5.4 Õhukvaliteedi hinnang

### 5.4.1 CO<sub>2</sub> taseme arvutus

Ruumidele on teostatud pärast andmete alla laadimist nende töötlus. Töötlemise käigus on tunnivälised süsihappegaasi taseme näidud töödeldud baasväärtuse lähedale ehk umbes 400 ppm juurde. Nendel hetkedel, kus on toimunud CO<sub>2</sub> taseme tõusud on ruumis viibinud inimesed ning need väärtused on jäetud töötlemata. Pärast andmete töötlemist on koostatud graafikud (Joonis 5.5), mis näitavad ära mis hetkel on ruumis inimesed viibinud ning kui kõrgele on vastavatel hetkedel CO<sub>2</sub> kontsentratsioon ruumis kerkinud. Jooniselt on nähtav, et ventilatsiooni tööajal on kõik korras, aga väljaspool tööaega on CO<sub>2</sub> taseme kontsentratsioon väga kõrgele tõusnud. Üheks põhjuseks on eelmises peatükis välja toodud jooniste (Joonis 5.3) ja (Joonis 5.4) ebakõla.

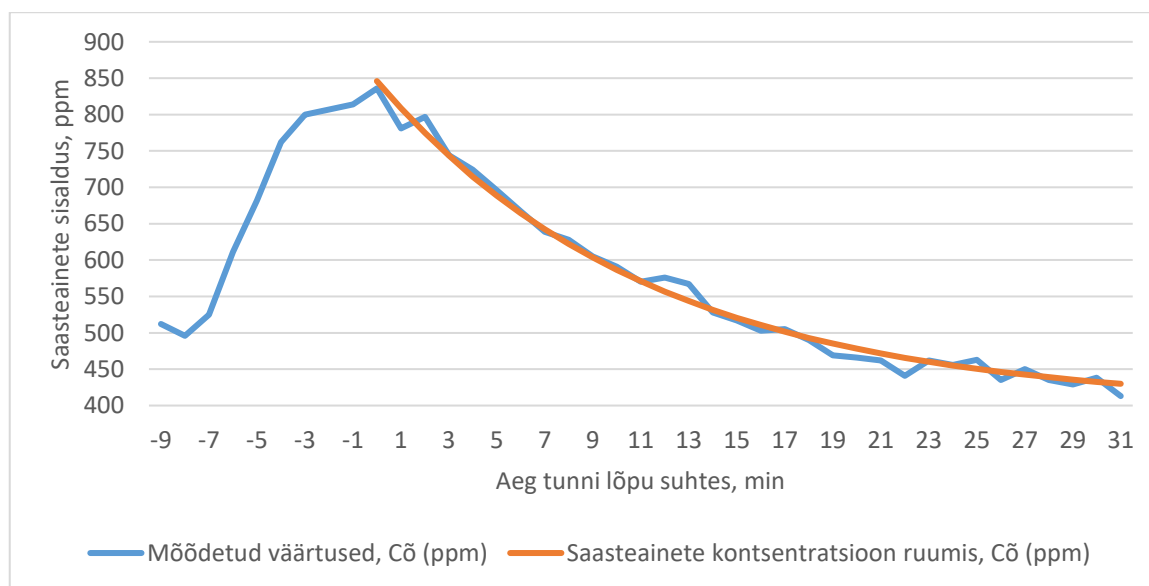


Järgneva sammuna teostati detailsem andmete töötlus. Täpsemate andmete töötlemiste jaoks võeti järgnevalt kõikides ruumides üks haaval ette kõik esinevad CO<sub>2</sub> tasemete tõusud. Hetkest, mil CO<sub>2</sub> tase ruumis on hakanud langema, sellest ajast alates on ruumile arvatud sobilikud minimaalsed õhuvooluhulgad. Näitena on välja toodud üks arvutuse käik, mis on nähtav joonisel (Joonis 5.6).



Joonis 5.5 CO<sub>2</sub> taseme muutus ajas perioodil 07.02-20.02.2022 ruumis SOC-218

Joonise näide on teostatud ruumi lastud süsihappegaasi katse tulemuse põhjal. Sinise joonega on märgitud väärtused, mis on mõõdetud süsihappegaasi anduri põhjal. Oranž joon tähistab hetke, mil tund on lõppenud ning alates sellest hetkest on ruumile arvatud massibilansi võrrandi (4.2) ja ruutkeskmise hälbe (4.3) valemite põhjal ruumi õhuvahetus.



Joonis 5.6 Saasteainete kontsentratsiooni muutus ruumis sõltuvalt ajast

## 5.4.2 Õhuvooluhulga sõltuvus CO<sub>2</sub> tasemest

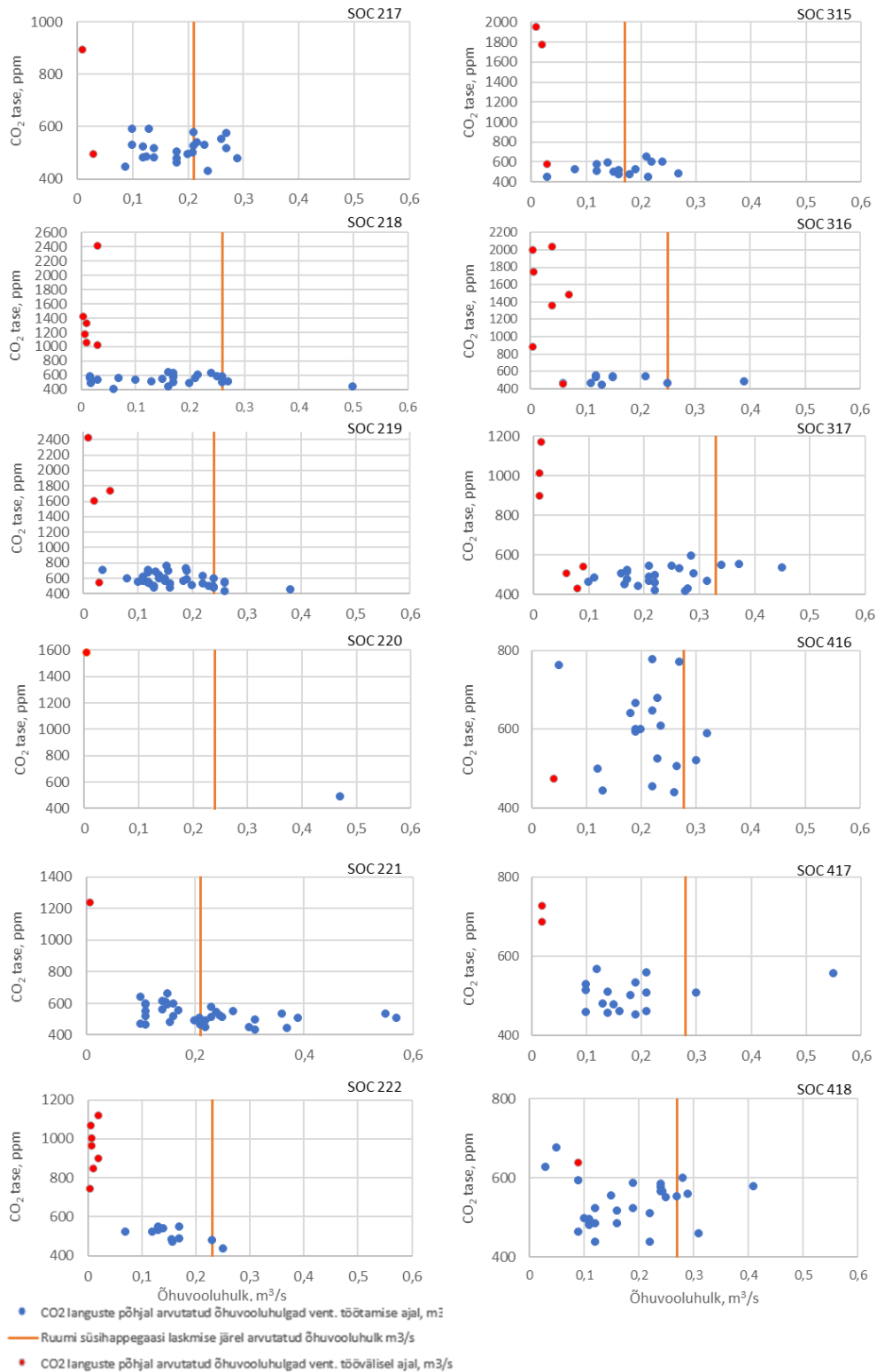
Kuue nädala jooksul teostatud sisekliima mõõtmiste põhjal on koostatud igale ruumile kokkuvõtvad graafikud (Joonis 5.7), ruumide kõik väärtused on välja toodud (LISA 8) all. Vastavatel graafikutel on näha, kuidas pärast tunni lõppemist maksimaalsest süsihappegaasi tasemest, millest alates ruum hakkas tühjenema ning vastavalt peatükis 4.3 toodud massibilansivõrrandi (4.2) ja ruutkeskmise hälve (4.3) valemitele on välja arvatud minimaalne õhuvooluhulk lähtuvalt süsihappegaasi taseme langusest 5 minutilise aja sammuga, kuni stabiliseerumiseni baasväärtuseni ehk umbes 400 ppm juurde.

Antud mõõtmiste käigus viidi ühel päeval läbi eksperiment, kus lasti igasse ruumi gaasiballoonist süsihappegaasi, see oli vajalik selleks et ruum oleks tervenisti täidetud süsihappegaasiga. Vastava meetodiga oli võimalik hinnata ventilatsiooni efektiivsust mille läbi arvutati ruumile õhuvahetuse kordarv. Vastava katse tulemus on graafikutele märgitud oranži püstise kriipsuga ning antud tulemus näitab ära kõige täpsemat õhuvooluhulka, mis on antud ruumis. Edasistes arvutustes on kasutatud CO<sub>2</sub> katsetuste põhjal saadud õhuvooluhulka, mis on võetud referents õhuvooluhulgaks. Graafikutele on igale ruumile märgitud erinev kogus näite, see sõltus sellest kui mitmel korral antud ruumis inimesed olid viibinud, millest tulenevalt sai arvutada nendele aja hetkedele soovituslike minimaalseid õhuvooluhulkasid.

Graafikutelt on näha, et väärtused kõiguvad igal ruumil väga erinevalt. See erinevus on tingitud inimeste arvust ruumis ning tunni lõppedes esimesest aja hetkest võetud maksimaalsest süsihappegaasi väärtusest. Mõningatel ruumidel ja ajahetkedel on inimeste arv ning algväärtus suurem ning sellest tulenevalt on samuti soovituslikud minimaalsed õhuvooluhulgad ruumides erinevad. Pole täpselt teada, mis hetkedel inimesed ruumist lahkusid, kas näiteks kõik korraga peale tunni lõppu või siis mõned õpilased hiljem. Sellised asjaolud mõjutavad arvutuse käekäiku, seega sellest tulenevalt on ühes ruumis nii palju erinevaid tulemusi.

Hooneautomaatika põhjal tuli välja, et ventilatsiooniseadme seadetemperatuuriks oli seadistatud 20°C. Täpset õhutemperatuuri, mis ruumi värske õhuga sisse puhuti pole teada, see sõltub sellest kui palju õhu temperatuur magistraaltorustikus liikudes muutub. Mõõtmiste põhjal võib oletada seda, et sissepuhke temperatuur ruumi oli ligilähedaselt sama suur kui seadetemperatuur, seega suurem osa sissepuhutavast värskest õhust jäi lae alla ringlema, mis tõttu ei tekkinud ruumis täielikku õhu segunemist. Katsetuste huvides palusin hoone automaatikat haldaval isikul ventilatsiooni seadetemperatuuriks panna 18°C, et näha kuidas see mõjutab arvutuste

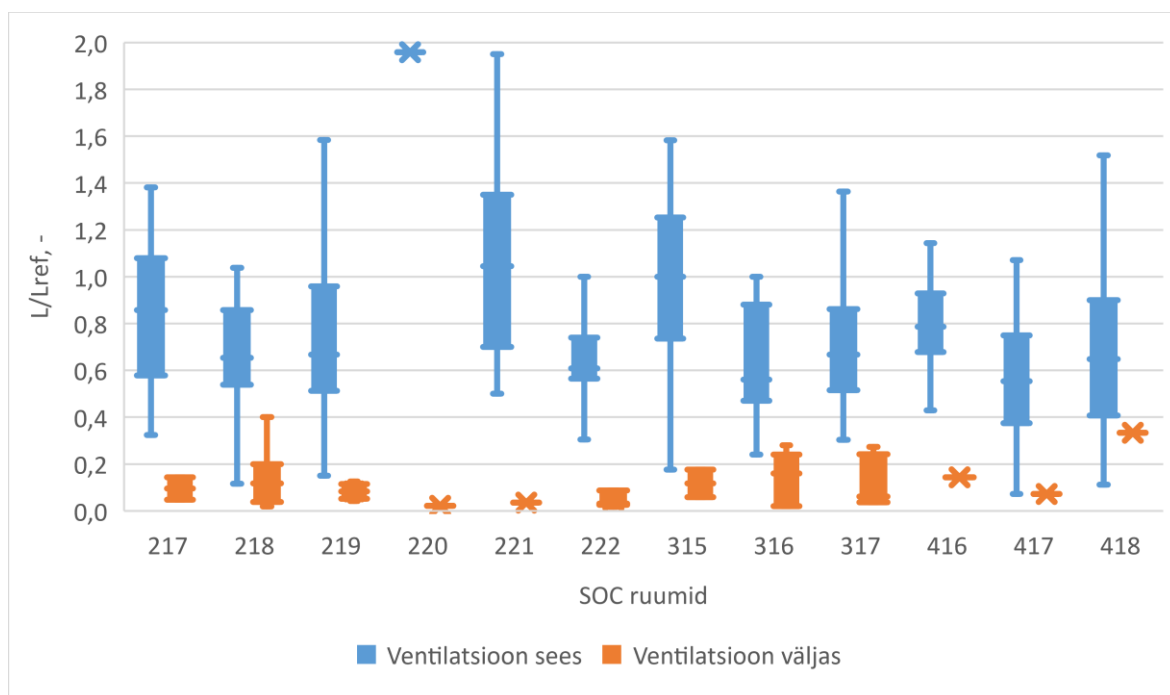
tulemusi. Temperatuuri muutus ei aidanud kaasa parematele ja ühtlasematele tulemustele. Teostatud arvutuste põhjal oli näha, et tulemused kõikusid endiselt oranži püstkriipsuga märgitud õhuvooluhulga ümber suhteliselt hajutatult.



Joonis 5.7 Minimaalne õhuvooluhulga sõltuvus CO<sub>2</sub> tasemest

Joonisel (Joonis 5.7) märgitud tulemuste põhjal on koostatud karpdiagramm (Joonis 5.8), kus on näidatud nii ventilatsiooni töötavas režiimis, kui ka töövälises režiimis mõõdetud väärtuste vooluhulga sõltuvused lähtuvalt referents vooluhulgadest. Igale ruumile on referents vooluhulgaks võetud ruumi süsihappegaasi katsetuse tagajärjel arvutatud õhu vooluhulk. Joonisele (Joonis 5.8) kantud mõõtepunktide arv lähtuvalt ventilatsiooni töörežiimist on nähtav tabelis (Tabel 5.5). Mõõtepunktide arvu erinevus ruumiti sõltus sellest, kui mitmel korral ruum kasutuses oli, mille kohta sai teostada arvutusi. Paaris ruumis mõõtmiste käigus toimusid tunnid ainult üks või kaks korda, sellest tulenevalt on osadel ruumidel karpdiagrammide tulemused märgatavamalt kitsama ulatusega. Mõõtmiste põhjal on võimalik selgelt tuvastada olukord, mil ventilatsioon kas töötas või mitte, aga tulemuste hajuvused on küllaltki suured.

Eeldatavasti on kõige täpsem ruumi õhuvahtuse arvutuse tulemus saadud süsihappegaasi katsetuse tulemusel arvutatud õhu vooluhulk, kuna siis oli terve ruum ühtlaselt süsihappegaasi täis ning see tulemus näitas ära, milline on antud ruumi õhu vooluhulk. Alumise joonise põhjal on näha, et mida lähemal ning rohkem kaetud on karpdiagrammi väärtus number ühele, siis selle ruumi õhu vooluhulk vastab suhteliselt hästi referent väärtusele. Antud joonisel on välja toodud protsentuaalsed võrdlused õhu vooluhulga ning referentsvooluhulga vahel. Tulenevalt mõõdetud väärtuste suurest kõikumisest paiknevad enamuse ruumide keskmised väärtused vahemikus 0,6-0,9 ehk umbes 70% tõenäosusega on mõõdetud väärtused vastavuses referents õhu vooluhulgaga.



Joonis 5.8 Õhu vooluhulga sõltuvus referents vooluhulgast

Tabel 5.5 Karpdiagrammi ruumide mõõtepunktide arv lähtuvalt ventilatsiooni töörežiimist

| Ventilatsiooni töörežiim | Ruumi number/Mõõtepunktide kogus, tk |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------------------|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                          | 217                                  | 218 | 219 | 220 | 221 | 222 | 315 | 316 | 317 | 416 | 417 | 418 |
| Sees                     | 24                                   | 24  | 39  | 1   | 35  | 11  | 16  | 10  | 24  | 19  | 20  | 2   |
| Väljas                   | 2                                    | 6   | 4   | 1   | 1   | 7   | 3   | 7   | 7   | 1   | 2   | 1   |

### 5.4.3 Hinnang ruumide õhuvahetusele

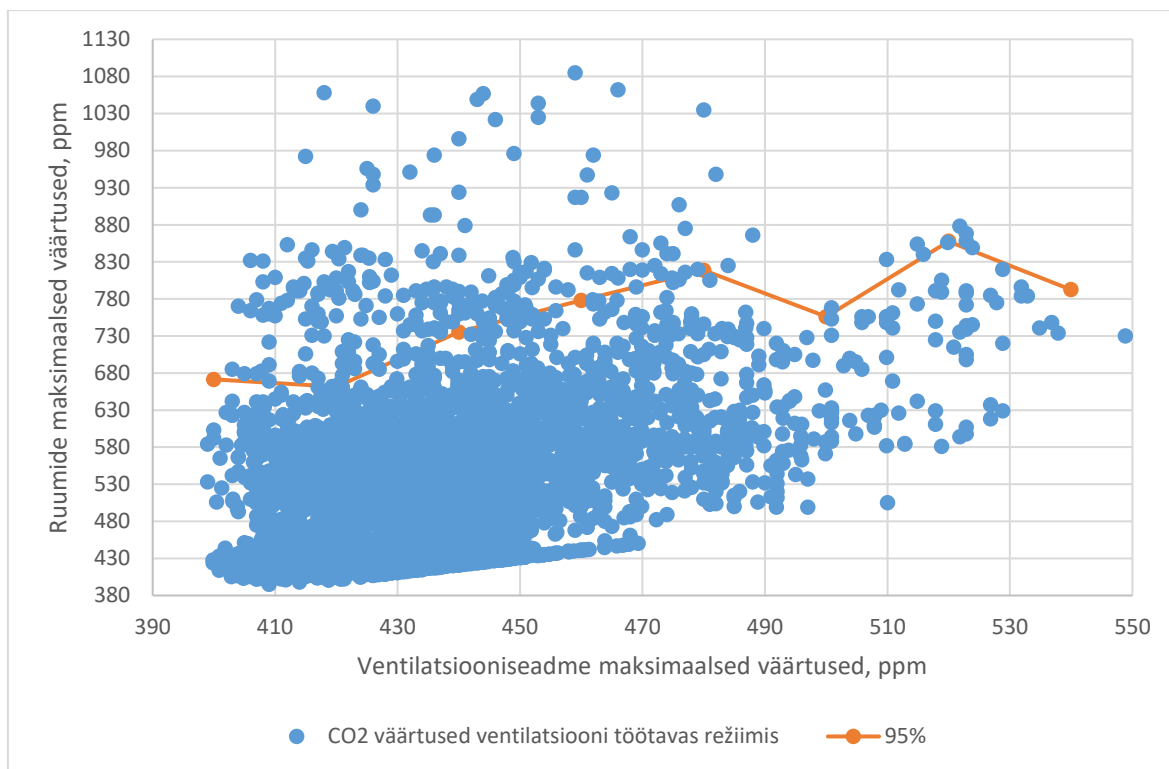
Projekteeritud väärtused vastavad väga hästi sellele, mis on kirjas mõõdistuspassis [13], erinevus on väga minimaalne. Inimeste CO<sub>2</sub> eralduse põhjal tuvastatud õhuvooluhulgad ruumides on väga hajuvad ning vastavad umbes 70% täpsusega sellele, mis on projekteeritud ning mis on ühtlasi kirjas mõõdistuspassis. Kõige täpsema tulemuse õhuvooluhulga arvutamisel andis süsihappegaasiga tehtud katse, mil ruum lasti tervenisti CO<sub>2</sub>-te täis. Nende põhjal välja arvatud õhuvooluhulgad vastavasid hästi sellele, mis projekti järgselt oli nõutud. Üldiselt on ruumides ventilatsioon hea, kuid ventilatsioonisüsteemi ajalisel seadistamisel tuleks hoolega jälgida seda, kuidas tunniplaan koostatud on, et ei tekiks olukordi, kus ruumis on tund ning ventilatsioon on välja lülitatud.

### 5.4.4 Süsihappegaasi tase

Ruumidesse ning ventilatsiooniagregaadi väljatõmbe poolele paigutatud andurite põhjal on koostatud kuue nädala mõõteandmete alusel andurite maksimaalsete näitude seosed (Joonis 5.9). Graafikule on peale jäetud ainult need väärtused, mis olid logitud sel hetkel, mil ventilatsiooniagregaat oli töötavas režiimis. Kõik väärtused mis logiti hetkel, kui ventilatsiooniagregaat oli töövälisel režiimil, need on välja filtreeritud. Vastavate mõõtetulemuste punktide arv vahemikes ning 95% joone väärtus on nähtav tabelis (Tabel 5.6).

Nähtavalt jooniselt (Joonis 5.9) on hästi näha positiivne korrelatsioon ehk kui ruumides on toimunud süsihappegaasi taseme tõus, siis see väljendub selgesti ka ventilatsiooniagregaadi väljatõmbe poolel, ühe näidu suurenedes on kasvanud ka teine.

Joonisele on peale märgitud ka 95% piir, mis näitab ära alumise mõõteteljestiku keskväärtuste piire. Keskväärtuste järgi maksimaalne ruumiväärtus 95% tõenäosusega ei ületa graafikul näidatud keskväärtust.



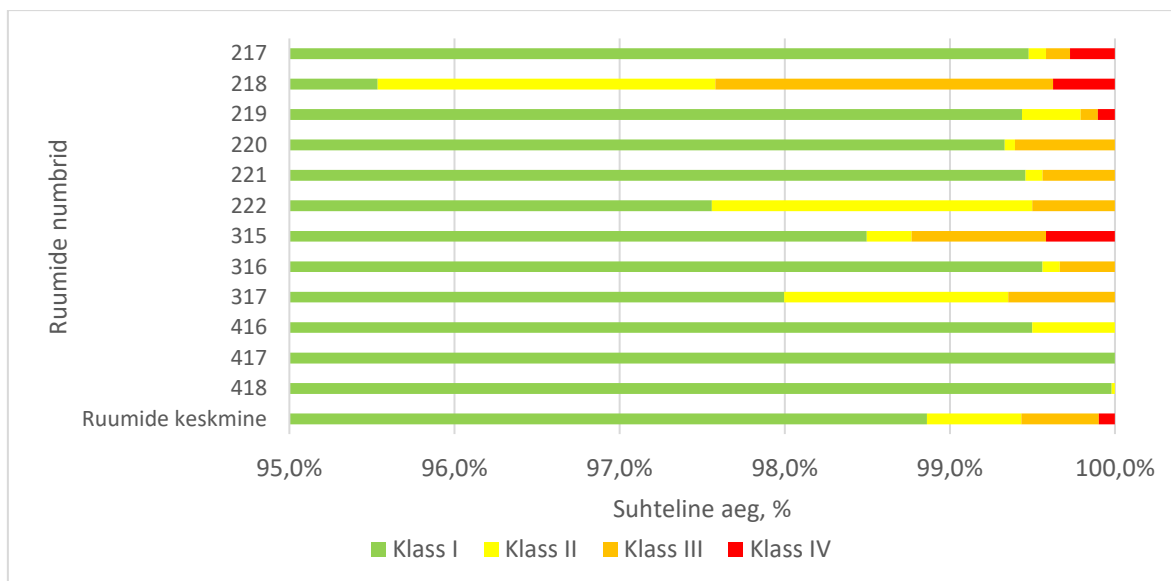
Joonis 5.9 Ruumide ja ventilatsiooniseadme vaheline korrelatsioon CO<sub>2</sub> näitel

Tabel 5.6 Ruumide ja ventilatsiooniseadme vahelise korrelatsiooni joonise CO<sub>2</sub> mõõtepunktide arv vahemikes ning 95% joone väärtus

| CO <sub>2</sub> vahemikud, ppm | Punktide arv vahemikus, tk | 95% väärtus |
|--------------------------------|----------------------------|-------------|
| 390-410                        | 296                        | 672         |
| 410-430                        | 1549                       | 662         |
| 430-450                        | 1454                       | 735         |
| 450-470                        | 560                        | 778         |
| 470-490                        | 243                        | 819         |
| 490-510                        | 74                         | 756         |
| 510-530                        | 45                         | 858         |
| 530-550                        | 7                          | 792         |

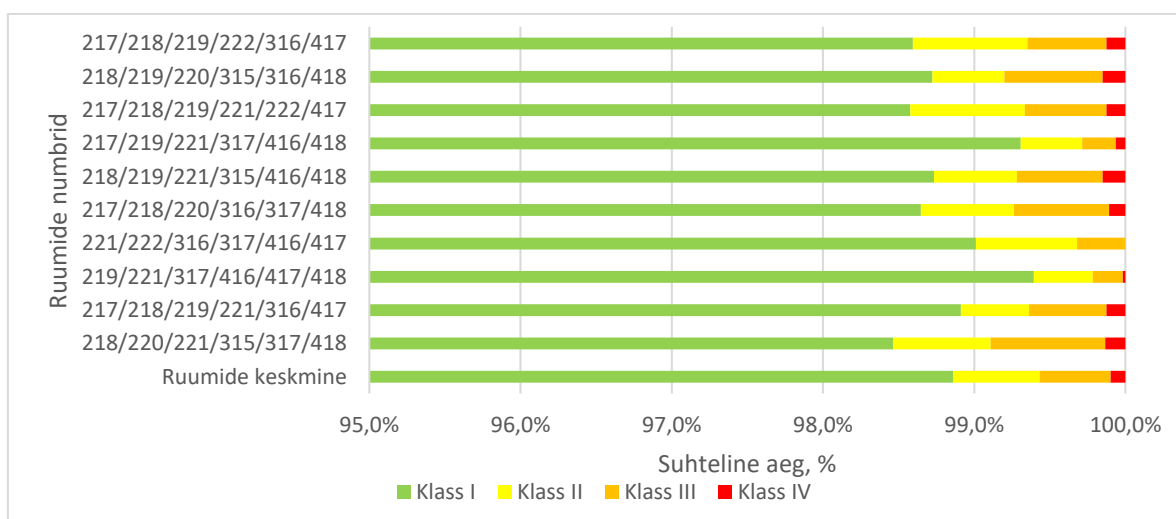
#### 5.4.5 Sisekliimaklasside jaotus ruumides

Mõõdetud CO<sub>2</sub> kontsentratsioonide põhjal on koostatud kolm joonist, mis tähistavad ruumide protsentuaalset jaotust sisekliima klassidesse. Jooniste tegemisel on arvestatud kuue nädala mõõte andmetega ehk 100% vastab 1008 tunnile, mis on mõõdetud ajavahemikel 07.02 – 20.02.2022 ja 21.03 – 17.04.2022 Esimesel joonisel (Joonis 5.10) on kujutatud kõikide 12 ruumi sisekliima jaotust eraldi seisvalt ning nende ruumide keskmist tulemust.

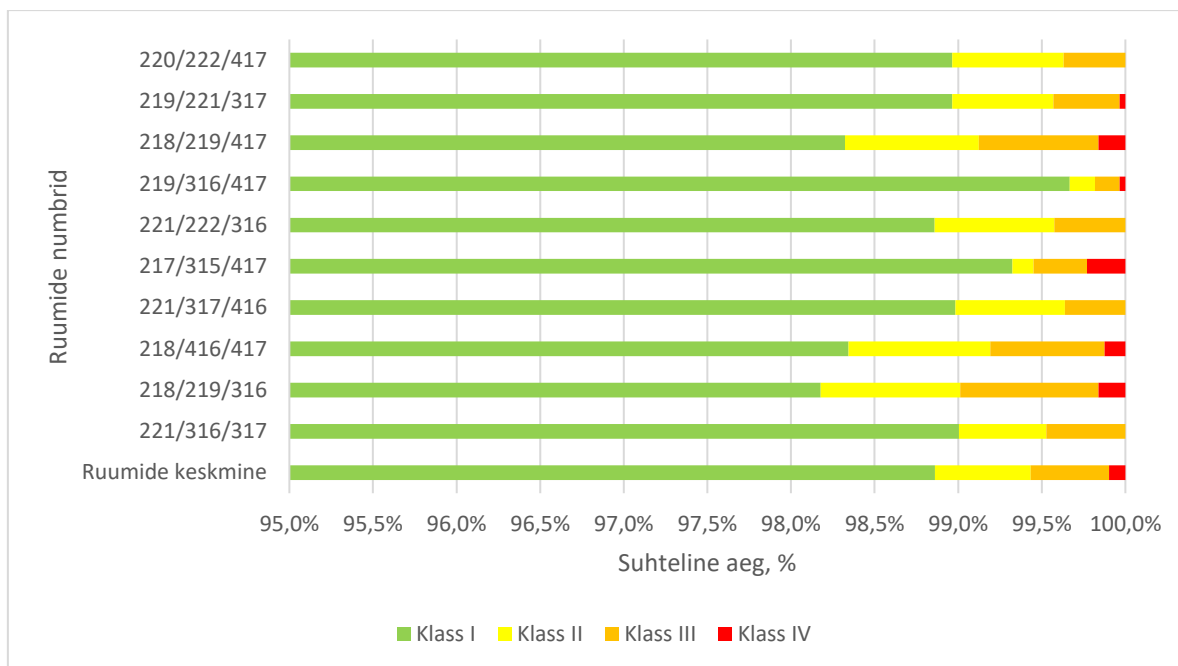


Joonis 5.10 Ruumide sisekliimaklasside protsentuaalne jaotus ajavahemikul tööpäeviti 8:00-21:00 ja laupäeviti 10:00-13:00. Joonise skaala on vahemikus 95-100%, et tulemused oleksid loetavamad.

Teisel joonisel (Joonis 5.11) on nähtav 10 katset millest igale katsele on juhuslikult välja valitud kuus ruumi, kuhu on andurid paigutatud. Kuue anduri põhjal on arvatud kuue ruumi keskmised ning neid ruume on võrreldud esimese katse 12 ruumi keskmisega. Kolmandal joonisel (Joonis 5.12) on sarnaselt teisele nähtav 10 katset, kuid sel korral on igale katsele juhuslikult välja valitud kolm ruumi ning neid on samuti võrreldud esimese katse 12 ruumi keskmisega. Juhuslikult välja valitud ruumid CO<sub>2</sub> logerite paigutamiseks on genereeritud MATLABi kirjutatud koodi põhjal (LISA 9).



Joonis 5.11 Ruumide sisekliima klasside protsentuaalne jaotus juhuslikult välja valitud 6 ruumi põhjal ajavahemikul tööpäeviti 8:00-21:00 ja laupäeviti 10:00-13:00. Joonise skaala on vahemikus 95-100%, et tulemused oleksid loetavamad.



Joonis 5.12 Ruumide sisekliima klasside protsentuaalne jaotus juhuslikult välja valitud 3 ruumi põhjal ajavahemikul tööpäeviti 8-21:00 ja laupäeviti 10:00-13:00. Joonise skaala on vahemikus 95-100%, et tulemused oleksid loetavamad.

Lõputöö mõõtmiste käigus oli igasse ruumi paigutatud üks süsihappegaasi andur. Kui andur oleks igasse ruumi püsivalt paigutatud, siis selle järgi saaks ruumide kohta väga usaldusväärsed tulemused ning nende põhjal saaks CAV süsteemi kõige kehvema ruumi õhukvaliteeti jooksvalt hinnata.

Kui võrrelda näiteks juhuslikult kolme või kuute ruumi paigutatud andurite põhjal õhu kvaliteedi hindamist, siis kolme anduri puhul on seda küllaltki keeruline hinnata. Esiteks ruumid on väga erineva hõivatuses, osades auditooriumides toimusid tunnid väga tihedalt igapäevaselt, kuid leidis ka selliseid ruume, kus kuue nädala mõõtmiste jooksul tunde praktiliselt ei toimunudki. Sellisel juhul kolme juhuslikult valitud ruumi keskmised võivad kümne katse jooksul märgatavalt erineda. Näiteks, kui kokku on sattunud paar sellist ruumi, kus tunde praktiliselt ei toimunud või oli neid võrreldes teistega kordades vähem, siis antud ruumide keskmine tulemus näitab väga head õhu kvaliteeti, kuna ruumid on enamuse ajast tühjad olnud. Kolme juhuslikult valitud ruumi kümne katse võrdlust 12 ruumi keskmisega (Joonis 5.12) näitab hästi seda, et tulemused on selgelt hajuvad üksteise suhtes ning selle tõttu kolme juhuslikult valitud ruumi põhjal on keeruline hinnata kõige kehvemat õhu kvaliteeti ruumides.

Märgatavamalt parema tulemuse annab kuue juhuslikult valitud ruumi õhu kvaliteedi hindamine. Sellise mõõtmise käigus on enamuse ruumi hulka juhuslikult valitud auditooriumid suurema hõivatusesega ning mõni üksik ruum selline, kus tunde toimus

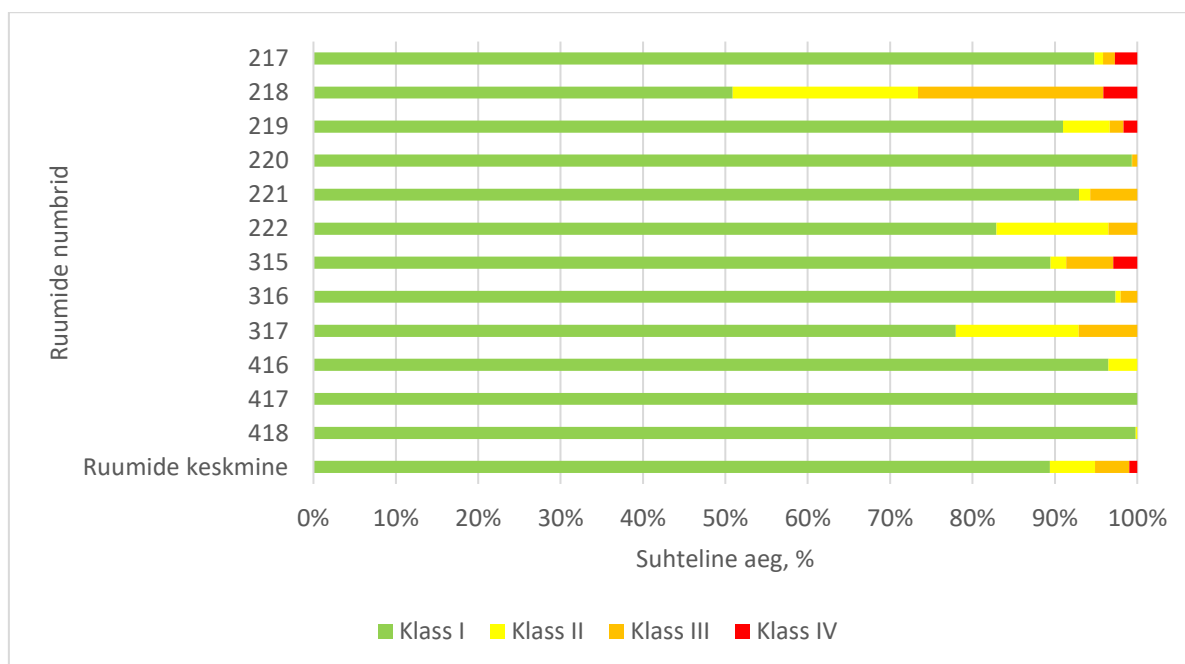


vähem. Nende kuue ruumi keskmine tulemus annab ühtlasema jaotuse ning kui neid kümne katse tulemusi võrrelda lõputöö käigus mõõdetud 12 ruumi keskmisega (Joonis 5.11), siis on väga hästi näha, et mõõdetud tulemuste keskmised on palju ühtlasemad, kui seda kolme ruumi puhul.

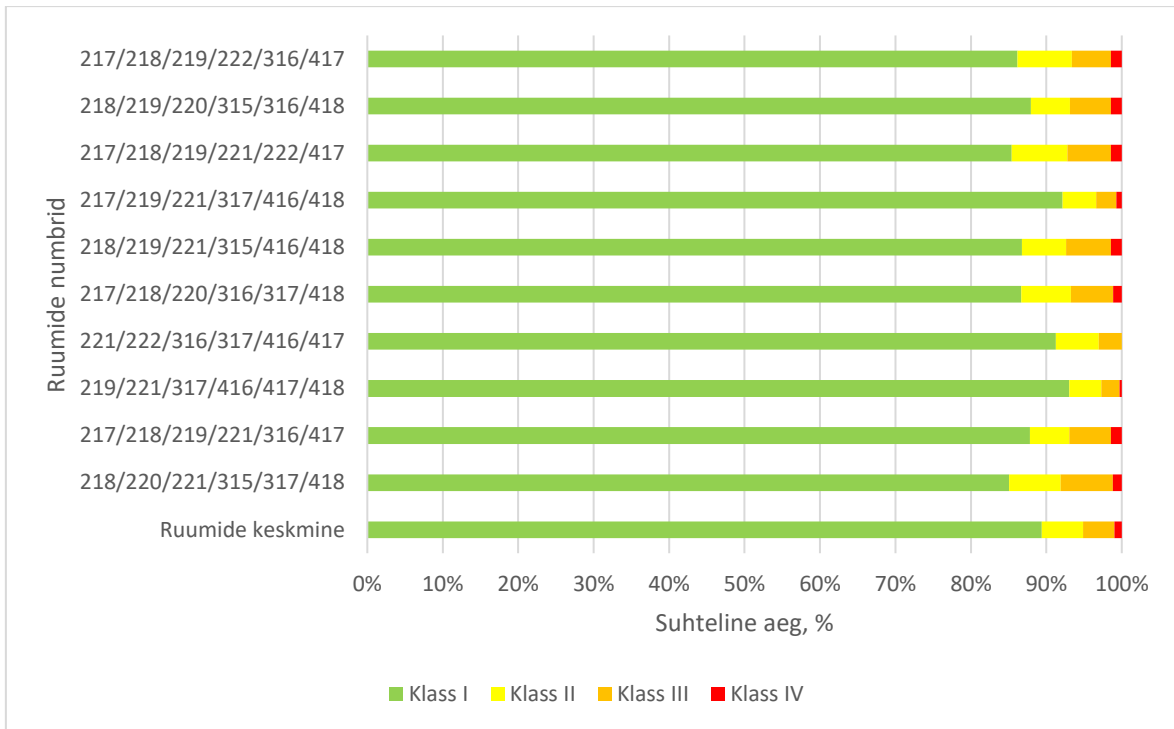
### 5.4.6 Sisekliima klasside jaotus ruumides tegeliku töö aja suhtes

Eelnevas peatükis välja toodud joonistele on sarnased joonised ka siin, kuid sel korral on need võrdlused toodud tegeliku kasutusaja suhtes ruumides, mis on näidatud tabelis (Tabel 5.4). Mõõdetud väärtuste põhjal, mis saadi CO<sub>2</sub> logeritest on igale ruumile kokku arvatud summaarne toimunud tundide arv ning see on võetud joonisel 100% väärtuseks. Selle järgi on igale sisekliima klassile arvatud vastav protsendiline väärtus ehk aeg, kui suure osa kogu mahust moodustasid I-IV sisekliima klassid eraldiseisvalt.

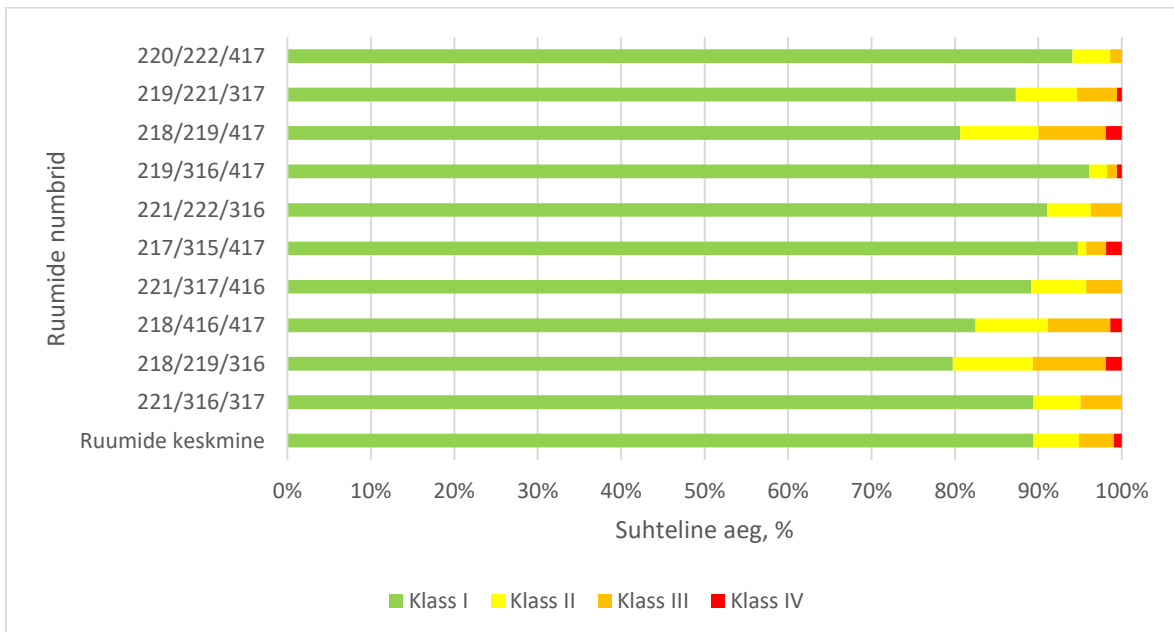
Esimesel joonisel (Joonis 5.13) on selgelt näha, et kõikides ruumides on toimunud erinev arv tunde ning sellest tulenevalt on ka sisekliima klasside jaotust protsentides väga erinev. Põhjused on täpselt samad, mis eelnevas peatükis mainitud.



Joonis 5.13 Ruumide sisekliimaklasside protsentuaalne jaotus tegeliku kasutusaja järgi.



Joonis 5.14 Ruumide sisekliima klasside protsentuaalne jaotus 6 juhuslikult valitud ruumi põhjal tegeliku kasutusaja järgi



Joonis 5.15 Ruumide sisekliima klasside protsentuaalne jaotus 3 juhuslikult valitud ruumi põhjal tegeliku kasutusaja järgi

Tegeliku kasutusaja suhtes teostatud arvutuste põhjal võib samuti öelda, et kuute ruumi juhuslikult paigutatud andurite keskmised tulemused võrreldes kõikide ruumide keskmisega on selgelt ühtlasemad (Joonis 5.14), kui seda kolme juhuslikult paigutatud anduri puhul (Joonis 5.15). Kolme anduri katse puhul on tulemused võrreldes kõikide

ruumide keskmise tulemusega väga hajuvad ning nende põhjal on jooksvalt keeruline hinnata milline on kõige kehvema õhu kvaliteediga ruum.

Tabel 5.7 Ruumide jaotus sisekliima klassidesse 3% kõrvalekalde [10].

| Selgitus                                      | Ruumide jaotus sisekliima klassidesse |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|   | 217                                   | 218 | 219 | 220 | 221 | 222 | 315 | 316 | 317 | 416 | 417 | 418 |
| Tööpäeviti kell 8-21 ja laupäeviti kell 10-13 | I                                     | II  | I   | I   | I   | I   | I   | I   | I   | I   | I   | I   |
| Ruumide tegeliku kasutuse järgi               | III                                   | IV  | III | I   | III | III | III | I   | III | II  | I   | I   |

Tabelis (Tabel 5.7) on välja toodud jooniste (Joonis 5.10) ja (Joonis 5.13) põhjal ruumide jaotus sisekliima klassidesse 3% kõrvalekalde põhjal kogu tööaja suhtes. Tööpäeviti kella 8-21 ja laupäeviti kella 10-13 on kõikides ruumides kõrvalekalded väiksemad kui 3%, ainus ruum mis natukene ületas lubatud oli ruum numbriga 218, mis jäi II sisekliima klassi. Ruumide tegeliku kasutuse järgi on tulemused palju hajuvamad ning esindatud on kõik neli sisekliima klassi. Enamus ruumidest jäi I ja III sisekliima klassi, kahest ruumist üks asetus II ning teine IV sisekliima klassis.

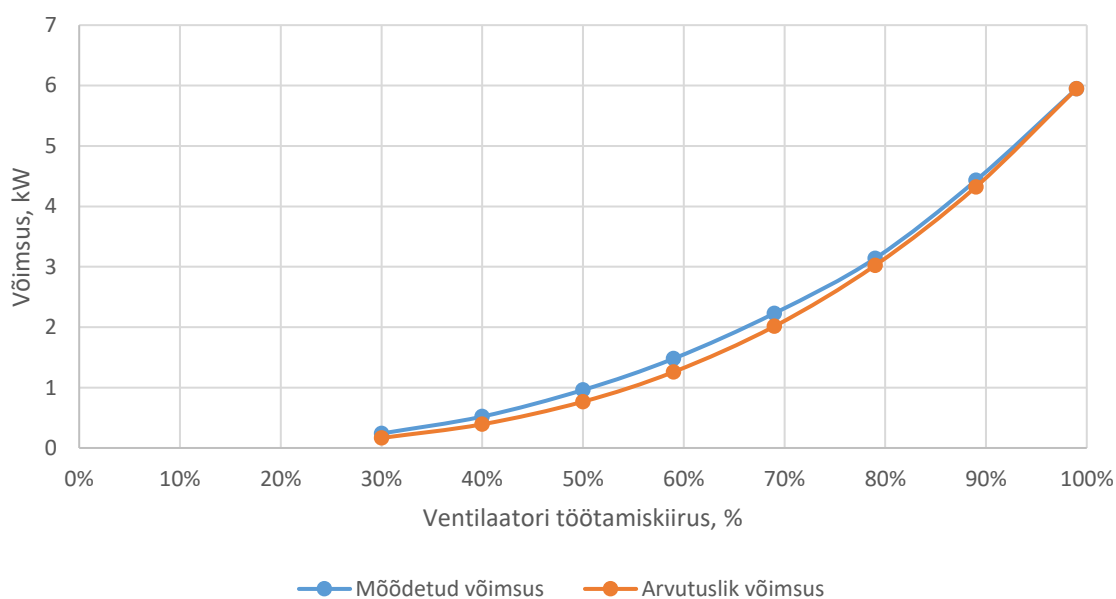
Väljatõmbe järgi on sellise kasutuse üheaegsuse juures ruumides süsihappegaasi kontsentratsiooni keeruline hinnata, aga kui panna pooltesse ruumidesse CO<sub>2</sub> andurid, siis saab tõenäoliselt hea pildi ette. Kolme anduri puhul on tulemus palju juhuslikum, kuna tulemused kõiguvad väga hajutatult keskmiste väärtuste suhtes. Väiksema CO<sub>2</sub> andurite arvuga saaks üheaegsusega hakkama, kui seada mingid ruumid tunniplaani tehes või broneeringusüsteemis prioriteetseks.

#### 5.4.7 Hinnang õhu kvaliteedile

Sisekliima klasside arvutamise tulemusel tuleb selgelt välja ebakõla ruumide kasutusaja ja ventilatsiooni tööaja vahel, kui arvutusi tehes kasutada tegelikku tööaega. Ventilatsiooni tööajal on õhu kvaliteet väga hea, kuid nii pea kui ventilatsioon välja lülitub, siis õhu kvaliteet hakkab langema. Ruumide suhteliselt väike kasutus tingib selle, et tegeliku kasutuse mõju analüüsi tulemustele on suur. Samuti ei saa väljatõmbe CO<sub>2</sub> taseme põhjal teha olulisi järeldusi kõrgeima CO<sub>2</sub> taseme kohta ruumides. Paremate tulemuste saamiseks võiks analüüsida VAV süsteemi ehitamise tasuvust, sest vastava süsteemiga on võimalik jooksvalt suurendada või vähendada ventilatsiooni efektiivsust, mis kindlasti aitaks saavutada märkimisväärset energiasäästu.

## 5.5 Paindlikkuse hindamine

Ventilatsioonisüsteemi paindlikkuse hindamise jaoks on joonise (Joonis 5.8) põhjal välja valitud ruum 221, kus ruumi õhuvooluhulk vastab päris täpselt realselt projekteeritud väärtustele. Järgnevalt on vastavas ruumis valitud ajavahemik, mil tunnid on toimunud tihedamalt ning et ruumides oleks viibinud rohkem arv inimesi. Valitud perioodiks osutus 14.02 – 19.02.2022. Vastavale perioodile on massibilansi võrrandi (4.2) põhjal välja arvutatud ruumide CO<sub>2</sub> väärtused sõltuvalt inimeste arvust ruumis ning ventilaatorite pöörlemiskiirusest, mille tagajärjel võib õhuvooluhulk sõltuvalt ajast olla kas 100%, 80%, 50% või 30%.



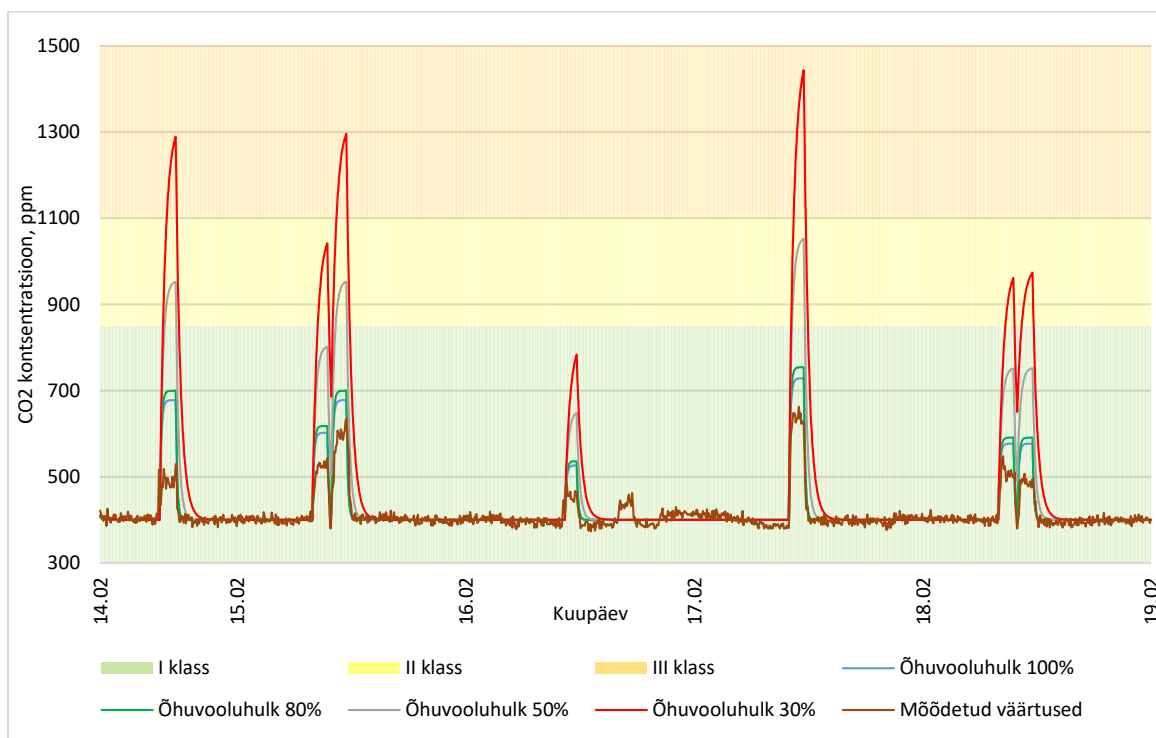
Joonis 5.16 Ventilatsiooniagregaadi 303 ventilaatori mõõdetud- ja arvutuslik võimsus sõltuvalt ventilaatorite pöörlemiskiirusest.

Joonise (Joonis 5.16) pealt on näha ventilatsiooniagregaadi 303 mõõdetud- ja arvutuslikud võimsused sõltuvalt ventilaatorite pöörlemiskiirusest. Mõõdetud võimsuste mõõtmine on teostatud elektriarvestiga SATEC BFM136, mille täpsusklass on 0,5. Mida väiksemaks muutub ventilaatori pöörlemiskiirus, seda vähem võimsust tarbitakse. Kui näiteks ventilaatorite pöörlemiskiirust langetada 80% peale, siis sellega saab pool võimsusest kätte võrreldes 100% koguvõimsusega. Paindlikkusteenus toimub hetkel, mil agregaatort tuleb korraldus, mille tagajärjel ventilaatorid vähendavad oma pöörlemiskiirust ning selle tulemusel vabastavad nad võrgule energiat.

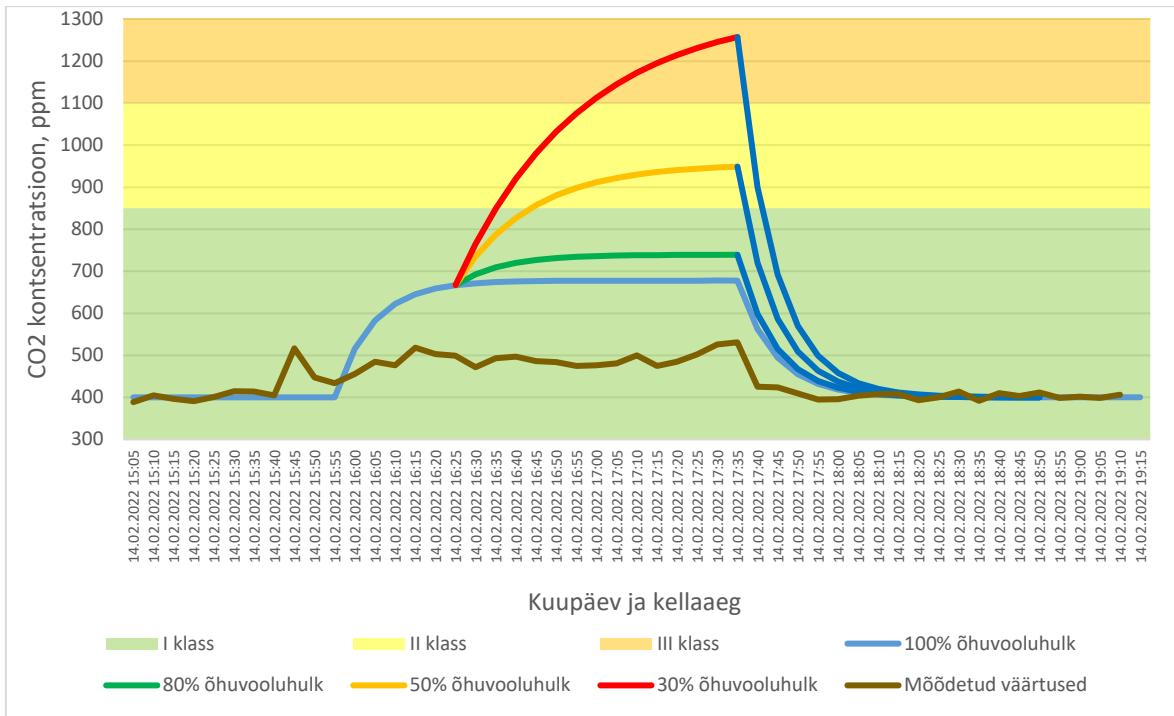
Antud joonisel (Joonis 5.17) on näha terves ulatuses igale pöörlemiskiirusele vastavad CO<sub>2</sub> taseme näidud. 100% ja 80% ventilaatori pöörlemiskiiruse juures püsivad CO<sub>2</sub> näidud ilusti I klassi piires, kuid kui pöörlemiskiirus muuta 50% peale, siis olenevalt

inimeste arvust tõusevad CO<sub>2</sub> taseme näidud valdavalt juba II sisekliima klassi. 30% pöörlemiskiiruse juures on selgelt näha, et kui ruumis viibib rohkem inimesi, siis CO<sub>2</sub> väärtused tõusevad III sisekliima klassi, mis näitab seda, et ventilatsioon ei suuda sellisel pöörlemiskiirusel ruumis nõutud sisekliimat tagada. Joonisele on peale kantud ka CO<sub>2</sub> logeri poolt mõõdetud väärtused, millest võib järeldada, et tõenäoliselt ei ole CO<sub>2</sub> kontsentratsioon ruumis ühtlane ehk õppejõu laua peale paigutatud logeri juures on CO<sub>2</sub> tase natukene madalam, kui ülejäänud ruumis.

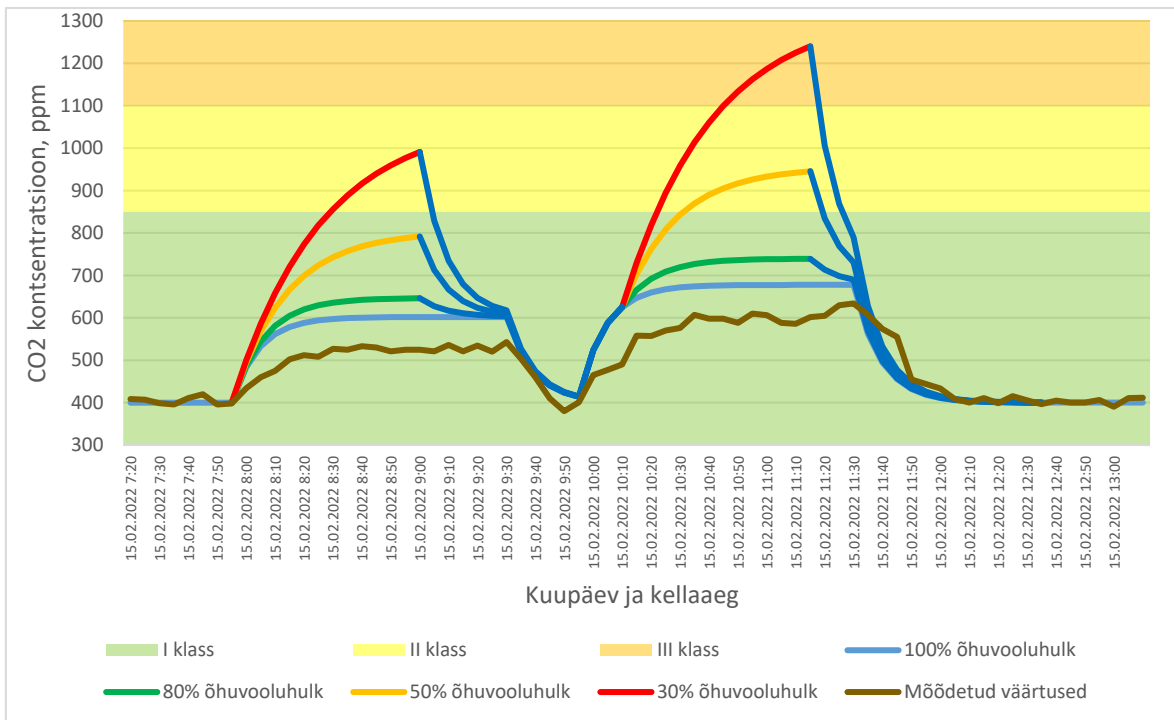
Selle hindamiseks, et kui pikalt saab ventilaatorite kiirust madalamal hoida nii, et pakkuda võrgule paindlikkust, mille tulemusel oleks ühtlasi tagatud sisekliima ruumides, on läbi mängitud olukord, mille põhjal on koostatud joonise (Joonis 5.17) põhjal graafikud (Joonis 5.18), (Joonis 5.19), kuhu on valitud kaks esimest päeva, et oleks detailsemalt näha kui kiirelt muutub CO<sub>2</sub> taseme väärtus, kui muuta ventilaatorite pöörlemiskiirust. Hetkel on joonisele teostatud olukorrad, mil virtuaalselt tuleb elektri jaamalt tellimus viia ventilaatorite kiirused tunniks ajaks kas 80%, 50% või 30% peale. Vastavad muutused on joonisele teostatud kas enne tunni algust või tunni ajal, et näha kui kiirelt olukord muutub.



Joonis 5.17 CO<sub>2</sub> kontsentratsioon sõltuvalt ventilaatori pöörlemiskiirusest ning õhuvooluhulgast ajavahemikul 14.02 – 19.02.2022



Joonis 5.18 Jooksvalt muutuva ventilaatori pöörlemiskiirusega ning õhuvooluhulgaga toimuvad CO2 taseme kontsentratsiooni muutused



Joonis 5.19 Jooksvalt muutuva ventilaatori pöörlemiskiirusega ning õhuvooluhulgaga toimuvad CO2 taseme kontsentratsiooni muutused

Joonisel (Joonis 5.18) on näha, et kui muuta ventilaatorite pöörlemiskiirust 100% pealt 50% peale, siis umbes 20 minutiga on õhu kvaliteet ületanud II sisekliima taseme piiri ning kui ventilaatorid lülitatakse tagasi maksimum kiirusele siis umbes 5 minutiga on

langenud CO<sub>2</sub> tase tagasi I sisekliima klassi. Sellele kiirele olukorrale aitas kaasa ka see, et tund oli koheselt lõppemas ning arvutuse käigus, mis teostati 5 minutilise aja sammuga, on järgmises olukorras inimeste arv 0 ning saasteainete eraldus puudub. Kui muuta ventilaatorite pöörlemiskiirust 100% pealt 30% peale, siis esimese 10 minutiga on sisekliima tase ületanud II klassi piiri ning järgneva 25 minutiga juba III sisekliima klassi piiri. Pöörlemiskiiruse maksimaalseks muutmise tagajärjel on umbes 5 minutiga sisekliima langanud II klassi ning järgneva 5 minuti jooksul I sisekliima klassi. 80% pöörlemiskiiruse juures on väärtused jäänud I sisekliima klassi.

Joonise (Joonis 5.19) pealt on näha, et kui esimesel CO<sub>2</sub> taseme tõusul on ventilaatorite pöörlemiskiirust muudetud 80% ja 50% peale, siis väärtused on püsinud I sisekliima klassis. 30% pöörlemiskiiruse juures on väärtused tõusnud II sisekliima klassi 30 minutiga ning tagasi lülitamisel maksimaalsele ventilaatorite pöörlemiskiirusele on 5 minutiga saavutatud I sisekliima klass. Teisel CO<sub>2</sub> tasemete tõusul on 80% pöörlemiskiiruse juures väärtused I sisekliima klassis. 50% pöörlemiskiiruse juures on II sisekliima klass ületatud umbes 20 minutiga ning tagasi langus I sisekliima klassi on toimunud 5 minutiga. 30% puhul on tõus II ja III sisekliima klassi toimunud vastavalt 10 ja 25 minutiga eelneva klassi suhtes. Maksimaalsele pöörlemiskiirusele lülitamisel on III-II ja II-I langused toimunud mõlemad 5 minutiga.

Ühe juhuslikult ruumi paigutatud anduri puhul olid mõõdetud väärtused pigem madalamad, kui mudeli arvutatud väärtused ning kindlat põhjust on keeruline välja tuua. See võis olla mõjutatud näiteks ruumiõhu segunemise ebaühtlusest ehk CO<sub>2</sub> ei jaotu ruumis ühtlaselt. Ühtlasi võib see olla mõjutatud inimeste aktiivsusest ehk kas nad olid ärkvel ning töötasid tunnis aktiivselt kaasa või siis pigem olid väsinud olekus, mil nende aktiivsustase on madalam, mille tulemusel on ka CO<sub>2</sub> eraldus väiksem. Kolmanda põhjusena võib tuua inimeste arvu ning nende paiknemise ruumis CO<sub>2</sub> anduri suhtes. Näiteks antud mõõtmiste käigus oli CO<sub>2</sub> andur paigutatud õppejõu laua peale ning kui õpilased enamasti istusid klassi taga otsas, siis anduri juurde ei pruukinud jõuda ruumis realselt esinevad CO<sub>2</sub> kontsentratsiooni väärtused kehva ruumiõhu segunemise tõttu.

Paindlikkusteenust oleks kõige parem pakkuda aegadel, mil ruumid antud hetkel kasutuses pole, siis püsivad tasemed I klassis ning poleks probleemi ruumi kiire CO<sub>2</sub> taseme tõusuga. Sellist olukorda on muidugi raske ette planeerida. Juhul kui antud käsklused tuleksid hetkel, mil auditooriumides toimuvad tunnid, siis maksimaalne aeg mille jooksul ventilaatorite kiirust saaks madalamale viia on umbes 20-30 minutit, sellisel vahemikul toimub küll CO<sub>2</sub> taseme tõus, kuid väärtused ei jõua kerkida väga

suureks. CO<sub>2</sub> taseme tõus sõltub muidugi ka ruumis viibivate inimeste arvust, kui näiteks ruumis on maksimaalne kogus inimesi lähtuvalt töökohtade arvust, siis sellisel juhul saaks paindlikkust pakkuda alla 20 minuti, sest saasteainete sisaldus ruumis tõuseb väga kiirelt üle soovituslike väärtuste. Paindlikkusteenuse parimaks kasutamiseks tuleks paigaldada kõikidesse ruumidesse CO<sub>2</sub> andurid või siis paigaldada mõned andurid ning seade, mis ruumide broneerimisel jätab valikusse ainult vastavad ruumid, kus on andur paigaldatud ehk eelistus peaks olema ainult kindlatel ruumidel.



## KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli õhu kvaliteedi hindamine konstantse õhuvooluhulgaga ventilatsioonisüsteemi poolt teenindavates ruumides. Töö eesmärgi täitmiseks teostati TalTech'i Majandusteaduskonnas sisekliima mõõtmisi ruumides, mida teenindas ventilatsioonisüsteem 303. Töö käigus paigutati ruumidesse, mida oli kokku 12, HOBO sisekliima logerid, millega mõõdeti ruumides esinevat süsihappegaasi taset. HOBO logeritest saadud mõõtetulemuste põhjal arvutati hetkest, mil CO<sub>2</sub> tase ruumis langema hakkas, kõikidele hetkedele sobilikud õhuvahetuse kordarvud. Mõõtmiste põhjal oli võimalik selgelt tuvastada olukord, mil ventilatsioon kas töötas või mitte, aga tulemuste hajuvused olid küllaltki suured. Tulemusi võrreldi realselt projekteeritud väärtusega, millest järeldus et umbes 70% tõenäosusega on mõõdetud väärtused vastavuses referents õhuvooluhulgaga.

Teise eesmärgina hinnati millise täpsusega saab CAV süsteemi poolt teenindavates ruumides kõige kehvemat õhu kvaliteeti hinnata sõltuvalt andurite arvust ja paigutusest. Selle hindamiseks viidi ruumidesse paigutatud CO<sub>2</sub> logerite mõõdetud väärtuste põhjal läbi analüüs, kus hinnati tegeliku kasutusaaja jooksul esinevat süsihappegaasi taset. Paremaks ülevaateks teostati vastav analüüs olukordadele, kus igasse ruumi on paigutatud andur, 50% ruumidesse ning 25% ruumidesse. 50% ja 25% korral teostati mõlemal juhul kaks katset, esimesel juhul valiti juhuslikult simuleerimise tulemusel kuus ruumi kuhu paigutati andurid, teostati 10 katset ning võrreldi neid kõikide ruumide keskmisega. Sarnaselt tehti ka teine katse, aga sel juhul paigutati andurid ainult kolme juhuslikult valitud ruumi. Väljatõmbe järgi on sellise kasutuse üheaegsuse juures ruumides süsihappegaasi kontsentratsiooni keeruline hinnata, aga kui panna pooltesse ruumidesse CO<sub>2</sub> andurid, siis saab tõenäoliselt hea pildi ette. Kolme anduri puhul on tulemus palju juhuslikum, kuna tulemused kõiguvad väga hajutatult keskmiste väärtuste suhtes. Kokkuvõtvalt võib öelda, et mida rohkematesse ruumidesse on andurid paigutatud, seda täpsemalt saab hinnata ruumides kõige kehvemat õhu kvaliteeti.

Kolmanda eesmärgina hinnati kui täpselt saab jooksvalt arvutada ventilaatorite miinimumkiirusele viimise maksimaalset kestust sõltuvalt CO<sub>2</sub> andurite arvust ja paigutusest. Selle hindamiseks arvutati mõõdetud väärtuste põhjal arvutuslikud väärtused ning analüüsiti kuidas muutub CO<sub>2</sub> taseme sisaldus ruumis, kui muuta ventilaatorite kiirust maksimaalsest 80%, 50% ning 30% peale. Tulemuste põhjal oli näha, et maksimaalne aeg, mis võimaldaks ventilaatorite kiirust madalamal hoida on

umbes 20-30 minutit. Selle aja jooksul tõuseb küll CO<sub>2</sub> tase, kuid väärtused ei jõua kerkida väga kõrgele.

Lõputöö mõõtmised toimusid osaliselt ka perioodil, kus oli endiselt suur oht koroonaviirusesse nakatuda. Selle tõttu oli soovituslik kokkupuuteid vältida ning väga suur osa algselt õpperuumides toimuma pidanud tunnid viidi läbi hoopiski veebi teel. Veelgi paremate ning huvitavamate tulemuste saamiseks oleks vajalik vastavaid mõõtmisi ning tulemuste analüüsi teostada olukorras, kus on teada et pole mingeid takistusi klaasitundide normaalseks toimimiseks. Väga huvitavaid mõõtetulemusi saaks olukorrast, kus ruumis viibib maksimaalne arv inimesi lähtuvalt töökohtade arvust. Autori lõputöö mõõtmiste käigus viibis ruumides heal juhul pool ruumi maksimaalsest mahutavusest. Antud uuringus oli ruumide kasutuse üheaegsus väga madal, aga seda meetodit peaks testima ka ruumigruppide puhul, kus kasutamise üheaegsus on palju kõrgem. Teiseks võiks uurida, et kus kohas peaks täpselt andur paiknema, et saaks mõõtetulemuste põhjal väiksema hajuvuse. Kolmandaks võiks realselt testida, et kui täpselt ning kauaks saab viia ventilaatorite kiirust minimaalsemaks, selleks et pakkuda paindlikkust. Tulevaste mõõtmiste käigus tuleks kindlasti valida mõõtmiseks ruumid, kus tunniplaan ning ventilatsiooni töögraafik ühtivad, et ei tekiks mõõtmiste käigus ebakõlasid.

## SUMMARY

The purpose of this Master's thesis was to assess indoor air quality in rooms served by a constant air flow ventilation system. In order to achieve the objective of the work, indoor climate measurements were carried out at TalTech Economic Sciences in rooms serviced by the ventilation system 303. During the work, the rooms, which had a total number of 12, were placed with HOBO indoor climate loggers, which measured the level of carbon dioxide present in the rooms. Based on the measurements obtained from the HOBO loggers, the air exchange ratios suitable for all moments were calculated from the moment the CO<sub>2</sub> level started to fall in the room. Based on the measurements, it was possible to clearly identify the situation when the ventilation was working or not, however the scatter of the results were quite large. The results were compared with the actual design value, which concluded that, with a probability of approximately 70%, the measured values are in line with the reference air flow rate.

As a second objective, the accuracy with which the lowest air quality in the rooms served by the CAV system can be assessed, depending on the number and position of the sensors. To assess this, an analysis was carried out on the basis of the measured values of the CO<sub>2</sub> loggers placed in the premises, assessing the carbon dioxide level occurring during the actual operation. For a better overview, appropriate analysis was carried out for situations where a sensor is placed in each room, 50% in rooms and 25% in rooms. In both cases, two tests were carried out at 50% and 25%, in the first case six rooms were randomly selected as a result of simulation, 10 tests were carried out and compared with the average of all rooms. Similarly, a second test was carried out, but in this case the sensors were placed in only three randomly selected rooms. According to the extract, the concentration of carbon dioxide in the rooms at the same time of such use is difficult to estimate, but if you place CO<sub>2</sub> sensors in half of the rooms, it is likely to be a good picture. In the case of the three sensors, the result is much more random, as the results fluctuate very dispersively relative to the average values. In summary, the more rooms the sensors are placed, the more accurate the air quality in the rooms can be assessed.

As a third objective, it was assessed how accurately the maximum length of the fans to the minimum speed can be calculated on an ongoing basis, depending on the number and placement of CO<sub>2</sub> sensors. To assess this, calculated values were calculated on the basis of the measured values and analysed how CO<sub>2</sub> levels in the room would change if the fan speed was changed from maximum to 50% and 30%. The results showed that the maximum time to keep the fan speed down was about 20-30 minutes. During that time, CO<sub>2</sub> levels will rise, but values can't rise very high.

The measurements of the final work were also partly carried out in a period where there was still a high risk of getting infected with coronavirus. As a result, it was recommended to avoid contact, and a very large proportion of the hours originally scheduled to take place in study rooms were carried out online instead. In order to obtain even better and more interesting results, appropriate measurements and analysis of the results would be necessary in a situation where it is known that there are no impediments to the normal functioning of class hours. Very interesting measurement results can be obtained from a situation where the maximum number of people in the room is based on the number of jobs. In the course of the author's Master's thesis measurements, half of the maximum capacity of the room was in good case present in the rooms.

In this study, the simultaneity of the use of the premises was very low, but this method should also be tested in groups of rooms where the simultaneity of the use is much higher. Secondly, it could be examined where exactly the sensor should be located in order to obtain less scatter based on the measurement results. Thirdly, it could be realistically tested how accurately and for how long the fan speed can be kept to a minimum in order to provide flexibility. In the course of future measurements, it is important to select rooms for measurement where the timetable and the ventilation work schedule match to avoid inconsistencies in measurements.

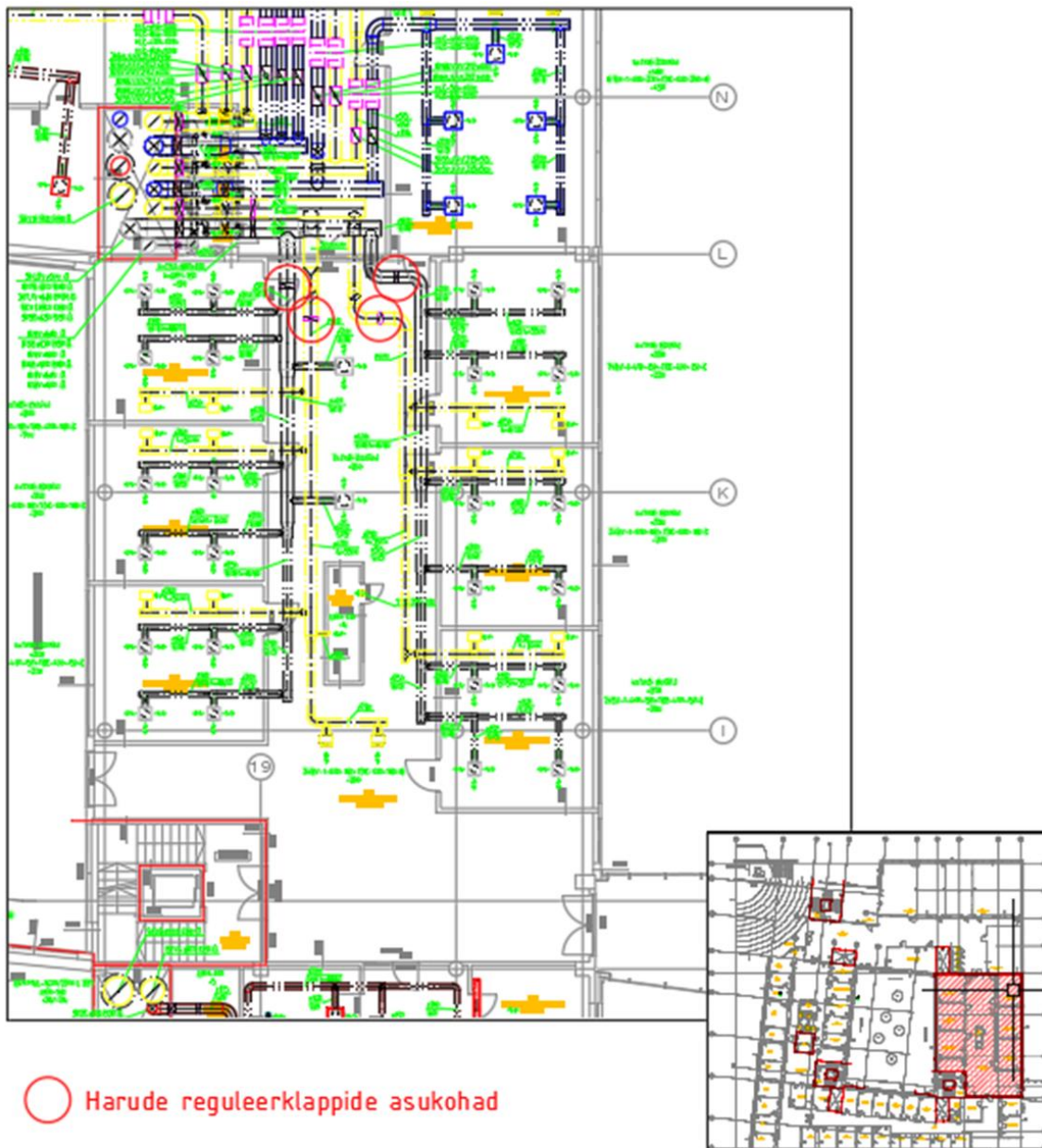
## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] V. Maask, A. Mikola, T. Korotko, A. Rosin, and M. Thalfeldt, "Contributions to ventilation system demand response: A case study of an educational building," in *E3S Web of Conferences*, 2021, vol. 246. doi: 10.1051/e3sconf/202124611001.
- [2] V. Maask, T. Haring, R. Ahmadiyahangar, A. Rosin, and T. Korotko, "Analysis of ventilation load flexibility depending on indoor climate conditions," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology*, 2020, vol. 2020-February. doi: 10.1109/ICIT45562.2020.9067153.
- [3] J. Kurnitski *et al.*, "Respiratory infection risk-based ventilation design method," *Building and Environment*, vol. 206, 2021, doi: 10.1016/j.buildenv.2021.108387.
- [4] K. Nowak, K. Nowak-Dzieszko, and A. Marcinowski, "Analysis of ventilation air exchange rate and indoor air quality in the office room using metabolically generated CO<sub>2</sub>," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Nov. 2018, vol. 415, no. 1. doi: 10.1088/1757-899X/415/1/012028.
- [5] Elering AS, AS "Augstsprieguma tikls," and LITGRID AB, "Baltic Load-Frequency Control block concept document," 2020.
- [6] Eesti Standardikeskus, "HOONETE ENERGIATÕHUSUS Hoonete ventilatsioon Osa 1: Sisekeskkonna lähteandmed hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust keskkonnast, valgustusest ja akustikast Moodul M1-6 Energy performance of buildings Ventilation for buildings Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics Module M1-6," 2019. [Online]. Available: [www.evs.ee](http://www.evs.ee);
- [7] Eesti Standardikeskus, "MITTEELUHOONETE VENTILATSIOON Üldnõuded ventilatsiooni-ja ruumiõhu konditsioneerimissüsteemidele Eesti rahvuslik lisa standardile EVS-EN 16798-3:2017," 2018.
- [8] Kõiv T.-A. and Rant A, *Hoonete küte*. 2013.
- [9] Abel E, Voll H, and Tark T, *Hoonete energiatarve ja sisekliima*. 2014.
- [10] European Committee For Standardization, "Energy performance of buildings - Ventilation for buildings - Part 2: Interpretation of the requirements in EN 16798-1 - Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics (Module M1-6)," 2018.

- [11] A. D. Litiu Bonnie Brook Stefano Corgnati Simona and O. Valentina Fabi Markus Keel Hans Kranz Jarek Kurnitski Peter Schoenenberger Roland Ullmann, "Introduction to Building Automation, Controls and Technical Building Management," 2017.
- [12] OÜ PAKRUM, "TTU MH õppehoone ventilatsiooni projekt," 2009.
- [13] OÜ VARIAX, "TTÜ MH õppehoone ventilatsiooni mõõdistuspass," 2009.
- [14] Onset Computer Corporation, "HOBO MX1102A Data Logger," Feb. 14, 2022. <https://www.onsetcomp.com/datasheet/MX1102A> (accessed Feb. 14, 2022).

## LISAD

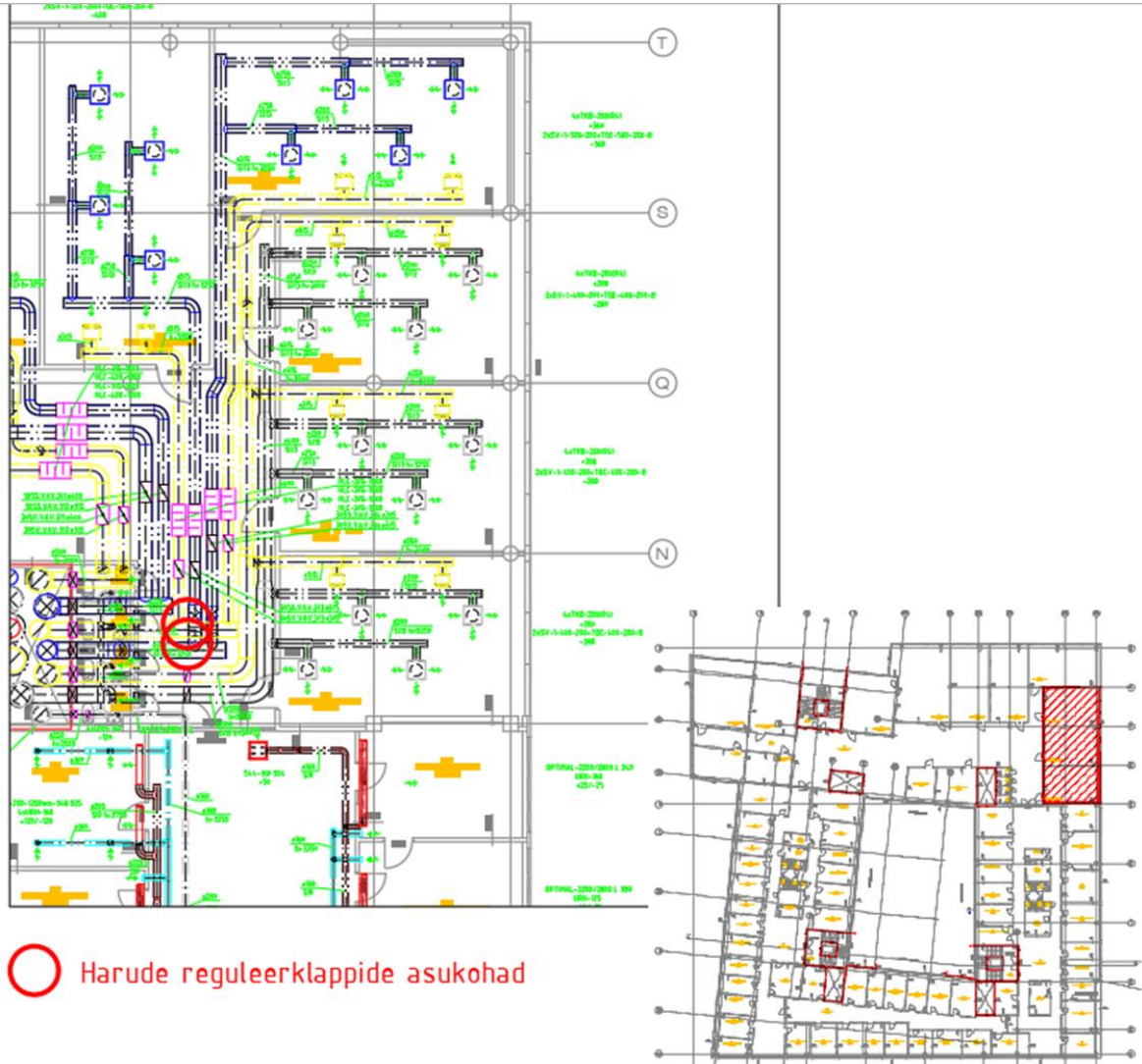
LISA 1 TalTech Majandusteaduskonna 2. korruse ventilatsiooni plaan ning seadme 303 poolt teenindavate ruumide piirkond



TTÜ MH ÕPPEHOONE AKADEEMIA TEE 3, TALLINN

2. KORRUSE VENTILATSIOONI PLAAN  
303-S/303-V VENTILATSIOONSÜSTEEM

LISA 2 TalTech Majandusteaduskonna 3. korruse ventilatsiooni plaan ning seadme 303 poolt teenindavate ruumide piirkond

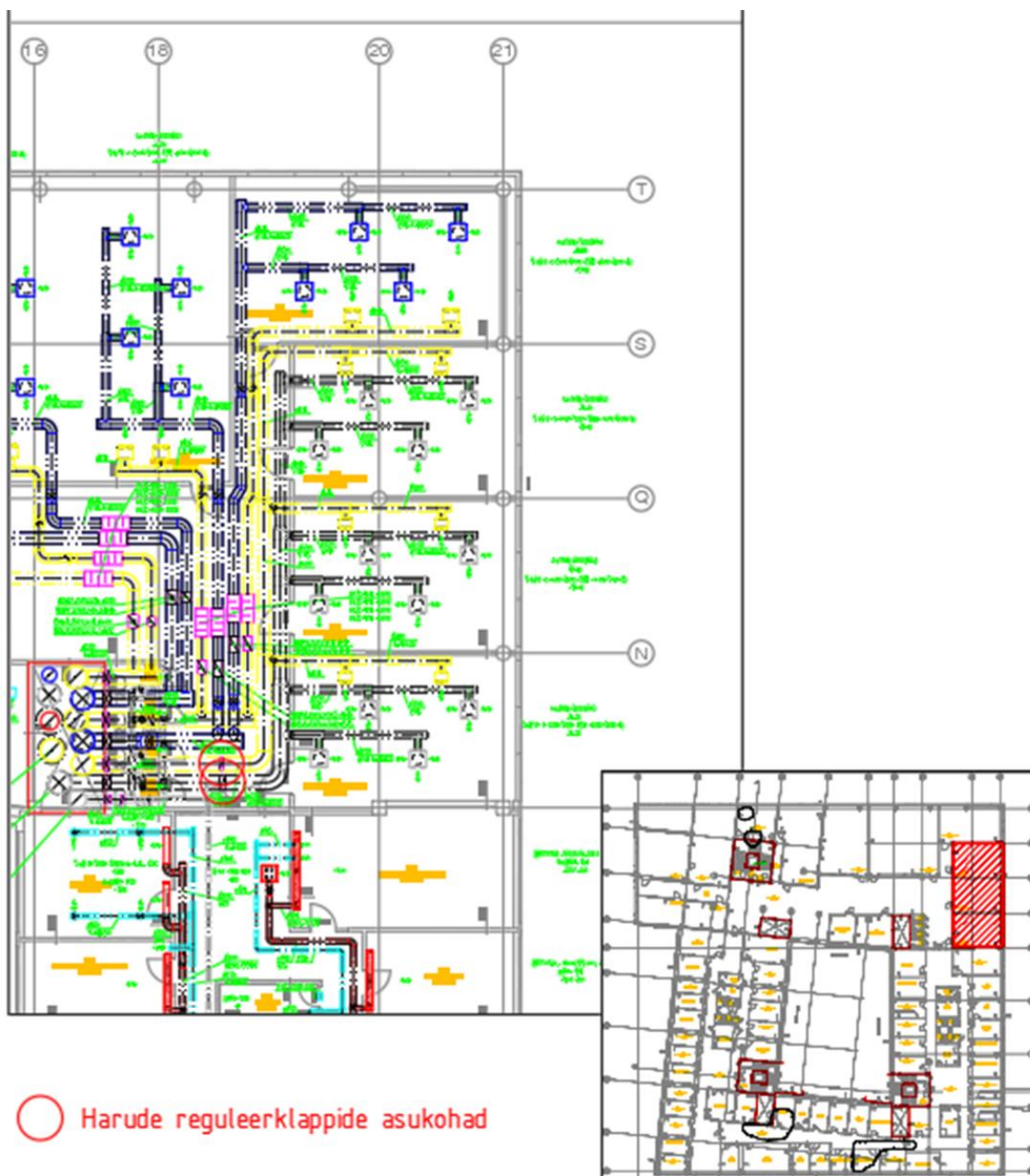


TTÜ MH ÕPPEHOONE AKADEEMIA TEE 3, TALLINN

3. KORRUSE VENTILATSIOONI PLAAN  
303-S/303-V VENTILATSIOONSÜSTEEM



LISA 3 TalTech Majandusteaduskonna 4. korruse ventilatsiooni plaan ning seadme 303 poolt teenindavate ruumide piirkond



TTÜ MH ÕPPEHOONE AKADEEMIA TEE 3, TALLINN

4. KORRUSE VENTILATSIOONI PLAAN  
303-S/303-V VENTILATSIOONSÜSTEEM

LISA 4 Leht tunni kestvuse ja õpilaste arvu märkimiseks

Tere!

Minu nimi Tanel Heinsoo ning ma teen magistritööd, mille jaoks on vaja uurida õpperuumide õhukvaliteeti, muuhulgas siin auditoriumis. Lisaks mõõtmistele oleks väga väärtuslik Teie tagasiside loengu kestvuse ja osalejate arvu kohta. Kas te saaksite palun täita laua peal olevat tabelit, et mul oleks võimalik oma magistritöö raames hinnata õpperuumide kasutatavuse järgi sisekliima taset.

Hello!

My name is Tanel Heinsoo and I am making a master's thesis for which I need to study the air quality of study rooms, including this auditorium. In addition to measuring I would be very grateful for your feedback on duration of lecture and about the number of participants. Could you please fill the table so I could assess indoor climate level by usability of study rooms in the framework of my master's thesis.

Ette tänades/ Best regards,

Tanel Heinsoo

| <b>Õpperuum - SOC-218</b> |                  |   |   |  |
|---------------------------|------------------|---|---|--|
| Õppenädal/<br>Study week  | Kuupäev/<br>Date | Loengu<br>ajavahemik/<br>Lecture period | Õpilaste arv<br>loengus/<br>Number of<br>students in the<br>lecture | Kommentaar (nt. kui loeng kestis<br>lühemalt)/<br>Comment (for example if<br>the lecture lasted shorter) |
| <b>Nädal 4</b>            | 14.02            | 14:00-15:30                             |   |  |
|                           |                  | 16:00-17:30                             |   |  |
|                           |                  | 17:45-19:15                             |   |  |
|                           |                  |   |   |  |
|                           | 15.02            | 12:00-13:30                             |   |  |
|                           |                  | 14:00-15:30                             |   |  |
|                           |                  |   |   |  |
|                           | 16.02            | 10:00-11:30                             |   |  |
|                           |                  | 12:00-15:15                             |   |  |
|                           |                  |   |   |  |
|                           | 17.02            |   |   |  |
|                           | 18.02            | 10:15-11:45                             |   |  |
|                           |                  | 16:00-17:30                             |   |  |
|                           |                  |   |   |  |
|                           | 19.02            |   |   |  |
|                           | 20.02            |   |   |  |



LISA 6 TalTech Majandusteaduskonna kolmanda korruse ruumide hõivatus lähtuvalt ÕIS-i tunniplaanist

| Kellaeg          |                | SOC-315    |   |   |   |   |   | SOC-316    |   |   |   |   |   | SOC-317    |   |   |   |   |   |   |   |   |
|------------------|----------------|------------|---|---|---|---|---|------------|---|---|---|---|---|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tunni alguse aeg | Tunni lõpu aeg | Nädalapäev |   |   |   |   |   | Nädalapäev |   |   |   |   |   | Nädalapäev |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                  |                | E          | T | K | N | R | L | P          | E | T | K | N | R | L          | P | E | T | K | N | R | L | P |
| 4:00             | 4:15           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4:15             | 4:30           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4:30             | 4:45           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4:45             | 5:00           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5:00             | 5:15           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5:15             | 5:30           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5:30             | 5:45           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5:45             | 6:00           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00             | 6:15           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6:15             | 6:30           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6:30             | 6:45           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6:45             | 7:00           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7:00             | 7:15           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7:15             | 7:30           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7:30             | 7:45           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7:45             | 8:00           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00             | 8:15           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8:15             | 8:30           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8:30             | 8:45           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8:45             | 9:00           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9:00             | 9:15           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 9:15             | 9:30           | 0          | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 9:30             | 9:45           | 0          | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 9:45             | 10:00          | 0          | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 10:00            | 10:15          | 0          | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 10:15            | 10:30          | 0          | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 10:30            | 10:45          | 0          | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 10:45            | 11:00          | 0          | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 11:00            | 11:15          | 0          | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 11:15            | 11:30          | 0          | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 11:30            | 11:45          | 1          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 11:45            | 12:00          | 1          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 12:00            | 12:15          | 1          | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 12:15            | 12:30          | 1          | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 12:30            | 12:45          | 1          | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 12:45            | 13:00          | 1          | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 13:00            | 13:15          | 0          | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 13:15            | 13:30          | 0          | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 13:30            | 13:45          | 1          | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13:45            | 14:00          | 1          | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14:00            | 14:15          | 1          | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 14:15            | 14:30          | 1          | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 14:30            | 14:45          | 1          | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 14:45            | 15:00          | 1          | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 15:00            | 15:15          | 0          | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 15:15            | 15:30          | 1          | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 15:30            | 15:45          | 1          | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 15:45            | 16:00          | 1          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 16:00            | 16:15          | 1          | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 16:15            | 16:30          | 1          | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 16:30            | 16:45          | 1          | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 16:45            | 17:00          | 0          | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 17:00            | 17:15          | 0          | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 17:15            | 17:30          | 0          | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 17:30            | 17:45          | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17:45            | 18:00          | 1          | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 18:00            | 18:15          | 1          | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 18:15            | 18:30          | 1          | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 18:30            | 18:45          | 1          | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 18:45            | 19:00          | 1          | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 19:00            | 19:15          | 1          | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 19:15            | 19:30          | 1          | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 19:30            | 19:45          | 1          | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 19:45            | 20:00          | 1          | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 20:00            | 20:15          | 1          | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 20:15            | 20:30          | 1          | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 20:30            | 20:45          | 1          | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 20:45            | 21:00          | 1          | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 21:00            | 21:15          | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21:15            | 21:30          | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

LISA 7 TalTech Majandusteaduskonna neljanda korruse ruumide hõivatus lähtuvalt ÕIS-i tunniplaani

| Kellaeg          |                | SOC-416    |   |   |   |   |   | SOC-417    |   |   |   |   |   | SOC-418    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|------------------|----------------|------------|---|---|---|---|---|------------|---|---|---|---|---|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tunni alguse aeg | Tunni lõpu aeg | Nädalapäev |   |   |   |   |   | Nädalapäev |   |   |   |   |   | Nädalapäev |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                  |                | E          | T | K | N | R | L | P          | E | T | K | N | R | L          | P | E | T | K | N | R | L | P |   |
| 4:00             | 4:15           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |   |
| 4:15             | 4:30           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |   |
| 4:30             | 4:45           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |   |
| 4:45             | 5:00           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |   |
| 5:00             | 5:15           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |   |
| 5:15             | 5:30           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |   |
| 5:30             | 5:45           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |   |
| 5:45             | 6:00           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |   |
| 6:00             | 6:15           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |   |
| 6:15             | 6:30           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |   |
| 6:30             | 6:45           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |   |
| 6:45             | 7:00           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |   |
| 7:00             | 7:15           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |   |
| 7:15             | 7:30           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |   |
| 7:30             | 7:45           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |   |
| 7:45             | 8:00           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |   |
| 8:00             | 8:15           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |   |
| 8:15             | 8:30           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |   |
| 8:30             | 8:45           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |   |
| 8:45             | 9:00           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |   |
| 9:00             | 9:15           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |   |
| 9:15             | 9:30           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |   |
| 9:30             | 9:45           | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |   |
| 9:45             | 10:00          | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |   |
| 10:00            | 10:15          | 0          | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 10:15            | 10:30          | 0          | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 10:30            | 10:45          | 0          | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 10:45            | 11:00          | 0          | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 11:00            | 11:15          | 0          | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 11:15            | 11:30          | 0          | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 11:30            | 11:45          | 0          | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 11:45            | 12:00          | 0          | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 12:00            | 12:15          | 0          | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 12:15            | 12:30          | 0          | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 12:30            | 12:45          | 0          | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 12:45            | 13:00          | 0          | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 13:00            | 13:15          | 0          | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 13:15            | 13:30          | 0          | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 13:30            | 13:45          | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13:45            | 14:00          | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14:00            | 14:15          | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 14:15            | 14:30          | 0          | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 14:30            | 14:45          | 0          | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 14:45            | 15:00          | 0          | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 15:00            | 15:15          | 0          | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 15:15            | 15:30          | 0          | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 15:30            | 15:45          | 0          | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 15:45            | 16:00          | 0          | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 16:00            | 16:15          | 0          | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 16:15            | 16:30          | 0          | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 16:30            | 16:45          | 0          | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 16:45            | 17:00          | 0          | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 17:00            | 17:15          | 0          | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 17:15            | 17:30          | 0          | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17:30            | 17:45          | 0          | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17:45            | 18:00          | 0          | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 18:00            | 18:15          | 0          | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 18:15            | 18:30          | 0          | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 18:30            | 18:45          | 0          | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 18:45            | 19:00          | 0          | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 19:00            | 19:15          | 0          | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 19:15            | 19:30          | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 19:30            | 19:45          | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 19:45            | 20:00          | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 20:00            | 20:15          | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 20:15            | 20:30          | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 20:30            | 20:45          | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20:45            | 21:00          | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 21:00            | 21:15          | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21:15            | 21:30          | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

## LISA 8 Õhuvahetuse analüüs ruumide kaupa

| Õhuvahetuse analüüs ruumide kaupa |             |              |                  |   |   |                                |                 |
|-----------------------------------|-------------|--------------|------------------|---|---|--------------------------------|-----------------|
| Ruum                              | Kuupäev     | Tunni kestus | Inimes<br>te arv | Projekteeritud<br>õhuhulk,<br>m <sup>3</sup> /s | SOLVER<br>funktsiooni<br>min<br>õhuhulk,<br>m <sup>3</sup> /s | Mõõdetud<br>algväärtus,<br>ppm | RMSE<br>väärtus |
| 217                               | 09.02       | 14:00-15:30  | 6                | 0,2   | 0,22  | 538                            | 7,8             |
|                                   | 10.02       | 12:00-13:30  | 7                | 0,2   | 0,26  | 550                            | 18,2            |
|                                   |             | 14:00-15:30  | 4                | 0,2   | 0,29  | 477                            | 19,1            |
|                                   |             | 16:00-17:30  | 4                | 0,2   | 0,24  | 429                            | 3,2             |
|                                   | 11.02       | 12:00-13:30  | 7                | 0,2   | 0,20  | 494                            | 9               |
|                                   | 16.02       | 14:00-15:30  | 7                | 0,2   | 0,12  | 523                            | 10              |
|                                   | 17.02       | 12:00-13:30  | 7                | 0,2   | 0,27  | 574                            | 38,5            |
|                                   |             | 16:00-17:30  | 4                | 0,2   | 0,14  | 480                            | 7,3             |
|                                   | 18.02       | 12:00-13:30  | 9                | 0,2   | 0,21  | 499                            | 5               |
|                                   | 22.03       | 20:55        | -                | 0,2   | 0,13  | 485                            | 14              |
|                                   | 24.03       | 12:00-13:30  | 6                | 0,2   | 0,14  | 516                            | 12              |
|                                   |             | 16:00-17:30  | 4                | 0,2   | 0,09  | 444                            | 10              |
|                                   | 25.03       | 12:35        | -                | 0,2   | 0,21  | 526                            | 15              |
|                                   | 26.03       | 11:45        | -                | 0,2   | 0,07  | 2206                           | 62              |
|                                   | 28.03       | 10:50        | -                | 0,2   | 0,21  | 2901                           | 74              |
|                                   | 30.03       | 14:00-15:30  | 6                | 0,2   | 0,23  | 529                            | 9               |
|                                   | 31.03       | 10:15-11:45  | 6                | 0,2   | 0,12  | 481                            | 6               |
|                                   |             | 16:00-17:30  | 5                | 0,2   | 0,27  | 516                            | 8               |
|                                   | 01.04       | 12:00-13:30  | 9                | 0,2   | 0,21  | 578                            | 10              |
|                                   | 04.04       | 16:00-17:30  | 4                | 0,2   | 0,18  | 460                            | 10              |
|                                   | 05.04       | 19:25        | -                | 0,2   | 0,10  | 530                            | 16              |
| 07.04                             | 10:15-11:45 | -            | 0,2              | 0,18  | 478   | 13                             |                 |
|                                   | 14:00-15:30 | 3            | 0,2              | 0,03  | 493   | 4                              |                 |
|                                   | 16:00-17:30 | 5            | 0,2              | 0,01  | 893   | 18                             |                 |
| 08.04                             | 12:00-13:30 | 9            | 0,2              | 0,10  | 591   | 25                             |                 |
| 12.04                             | 19:30       | -            | 0,2              | 0,13  | 589   | 6                              |                 |
| 13.04                             | 14:00-15:30 | 7            | 0,2              | 0,18  | 503   | 8                              |                 |
| 218                               | 07.02       | 16:00-17:30  | 3                | 0,2   | 0,50  | 443                            | 5               |
|                                   |             | 17:45-19:15  | 8                | 0,2   | 0,01  | 1171                           | 28              |
|                                   | 08.02       | 12:00-13:30  | 9                | 0,2   | 0,22  | 604                            | 13              |
|                                   | 09.02       | 10:00-11:30  | 8                | 0,2   | 0,07  | 556                            | 18              |
|                                   | 14.02       | 14:00-15:30  | 10               | 0,2   | 0,26  | 585                            | 9               |
|                                   |             | 16:00-17:30  | 6                | 0,2   | 0,21  | 562                            | 30              |
|                                   | 15.02       | 12:00-13:30  | 8                | 0,2   | 0,02  | 579                            | 17              |
|                                   |             | 14:00-15:30  | 10               | 0,2   | 0,02  | 489                            | 7               |
|                                   | 16.02       | 10:00-11:30  | 10               | 0,2   | 0,02  | 554                            | 7               |
|                                   | 21.03       | 14:00-15:30  | 12               | 0,2   | 0,06  | 408                            | 9               |
| 16:00-17:30                       |             | 5            | 0,2              | 0,27  | 515   | 11                             |                 |
| 22.03                             | 14:00-15:30 | 12           | 0,2              | 0,17  | 630   | 16                             |                 |
| 23.03                             | 10:00-11:30 | 8            | 0,2              | 0,20  | 489   | 13                             |                 |

| Õhuvahetuse analüüs ruumide kaupa |             |              |                  |   |   |                                |                 |
|-----------------------------------|-------------|--------------|------------------|---|---|--------------------------------|-----------------|
| Ruum                              | Kuupäev     | Tunni kestus | Inimes<br>te arv | Projekteeritud<br>õhuhulk,<br>m <sup>3</sup> /s | SOLVER<br>funktsiooni<br>min<br>õhuhulk,<br>m <sup>3</sup> /s | Möödetud<br>algväärtus,<br>ppm | RMSE<br>väärtus |
|                                   | 26.03       | 18:40        | -                | 0,2   | 0,03  | 2404                           | 345             |
|                                   | 28.03       | 10:55        | -                | 0,2   | 0,26  | 1212                           | 12              |
|                                   |             | 14:00-15:30  | 7                | 0,2   | 0,26  | 503                            | 13              |
|                                   |             | 17:45-19:15  | 8                | 0,2   | 0,01  | 1324                           | 50              |
|                                   | 29.03       | 14:00-15:30  | -                | 0,2   | 0,16  | 634                            | 14              |
|                                   | 30.03       | 10:00-11:30  | 6                | 0,2   | 0,16  | 444                            | 6               |
|                                   | 04.04       | 14:00-15:30  | 9                | 0,2   | 0,17  | 578                            | 25              |
|                                   |             | 17:45-19:15  | 5                | 0,2   | 0,01  | 1051                           | 22              |
|                                   | 05.04       | 12:00-13:30  | 5                | 0,2   | 0,10  | 530                            | 28              |
|                                   |             | 14:00-15:30  | 8                | 0,2   | 0,25  | 576                            | 15              |
|                                   | 06.04       | 10:00-11:30  | 10               | 0,2   | 0,24  | 628                            | 12              |
|                                   |             | 12:00-13:30  | 3                | 0,2   | 0,13  | 507                            | 14              |
|                                   | 08.04       | 10:15-11:45  | -                | 0,2   | 0,03  | 536                            | 27              |
|                                   | 11.04       | 14:00-15:30  | 10               | 0,2   | 0,17  | 568                            | 13              |
|                                   |             | 17:45-19:15  | 6                | 0,2   | 0,03  | 1016                           | 29              |
| 12.04                             | 12:00-13:30 | 7            | 0,2              | 0,15  | 546   | 25                             |                 |
|                                   | 14:00-15:30 | 7            | 0,2              | 0,17  | 494   | 14                             |                 |
| 14.04                             | 18:25       | -            | 0,2              | 0,01  | 1423  | 48                             |                 |
| 219                               | 07.02       | 16:00-17:30  | 12               | 0,2   | 0,12  | 534                            | 19              |
|                                   | 08.02       | 8:45-10:40   | 13               | 0,2   | 0,19  | 698                            | 38              |
|                                   |             | 12:00-13:30  | 9                | 0,2   | 0,16  | 476                            | 10              |
|                                   |             | 14:00-15:30  | 9                | 0,21  | 0,12  | 708                            | 11              |
|                                   | 09.02       | 15:15-13:45  | 9                | 0,2   | 0,11  | 622                            | 19              |
|                                   |             | 14:00-15:30  | 6                | 0,2   | 0,19  | 568                            | 22              |
|                                   | 10.02       | 10:00-11:30  | 13               | 0,2   | 0,16  | 697                            | 17              |
|                                   | 14.02       | 16:00-17:30  | 11               | 0,2   | 0,14  | 638                            | 22              |
|                                   |             | 10:25-11:25  | 14               | 0,2   | 0,19  | 732                            | 32              |
|                                   |             | 14:00-15:30  | 11               | 0,2   | 0,15  | 759                            | 24              |
|                                   |             | 16:00-17:30  | 6                | 0,2   | 0,11  | 563                            | 27              |
|                                   |             | 12:00-13:30  | 10               | 0,2   | 0,22  | 630                            | 14              |
|                                   | 16.02       | 12:15-13:45  | 9                | 0,2   | 0,08  | 594                            | 16              |
|                                   |             | 14:00-15:30  | 7                | 0,2   | 0,23  | 500                            | 13              |
|                                   | 17.02       | 10:00-11:30  | 10               | 0,2   | 0,13  | 686                            | 12              |
|                                   | 22.03       | 10:05        | -                | 0,2   | 0,04  | 704                            | 47              |
|                                   |             | 8:30-11:30   | 15               | 0,2   | 0,12  | 674                            | 25              |
|                                   |             | 12:00-13:30  | 10               | 0,2   | 0,26  | 541                            | 12              |
|                                   |             | 14:00-15:30  | 7                | 0,2   | 0,20  | 509                            | 11              |
|                                   |             | 16:00-17:30  | 6                | 0,2   | 0,24  | 494                            | 10              |
|                                   | 23.03       | 14:00-15:30  | 6                | 0,2   | 0,26  | 433                            | 12              |
| 25.03                             | 10:00-15:1  | 8            | 0,2              | 0,24  | 480   | 12                             |                 |
| 26.03                             | 11:15       | -            | 0,2              | 0,05  | 1728  | 156                            |                 |

| Õhuvahetuse analüüs ruumide kaupa |             |              |                  |                                    |  |                                |                 |
|-----------------------------------|-------------|--------------|------------------|------------------------------------|--|--------------------------------|-----------------|
| Ruum                              | Kuupäev     | Tunni kestus | Inimes<br>te arv | Projekteeritud<br>õhuhulk,<br>m3/s | SOLVER<br>funktsiooni<br>min<br>õhuhulk,<br>m3/s | Möödetud<br>algväärtus,<br>ppm | RMSE<br>väärtus |
|                                   |             | 14:20        | -                | 0,2                                | 0,02   | 1600                           | 12              |
|                                   |             | 16:40        | -                | 0,2                                | 0,01   | 2420                           | 217             |
|                                   | 28.03       | 11:00        | -                | 0,2                                | 0,24   | 1472                           | 21              |
|                                   | 29.03       | 08:30-11:30  | 11               | 0,2                                | 0,26   | 555                            | 6               |
|                                   |             | 12:00-13:30  | 8                | 0,2                                | 0,24   | 599                            | 33              |
|                                   |             | 16:00-17:30  | 6                | 0,2                                | 0,22   | 530                            | 10              |
|                                   | 30.03       | 12:15-13:45  | 8                | 0,2                                | 0,16   | 528                            | 5               |
|                                   |             | 14:00-15:30  | -                | 0,2                                | 0,24   | 491                            | 6               |
|                                   | 04.04       | 16:00-17:30  | 10               | 0,2                                | 0,19   | 582                            | 17              |
|                                   | 05.04       | 8:00-11:30   | 10               | 0,2                                | 0,38   | 453                            | 13              |
|                                   |             | 12:00-13:30  | 12               | 0,2                                | 0,86   | 579                            | 10              |
|                                   |             | 14:00-15:30  | 5                | 0,2                                | 0,16   | 530                            | 5               |
|                                   |             | 16:00-17:30  | 6                | 0,2                                | 0,12   | 542                            | 10              |
|                                   | 06.04       | 12:15-13:45  | 6                | 0,2                                | 0,03   | 539                            | 0               |
|                                   |             | 14:00-15:30  | 5                | 0,2                                | 0,13   | 495                            | 7               |
|                                   | 07.04       | 10:00-11:30  | 7                | 0,2                                | 0,13   | 481                            | 13              |
|                                   | 12.04       | 08:30-11:30  | 13               | 0,2                                | 0,12   | 551                            | 12              |
|                                   |             | 12:00-13:30  | 11               | 0,2                                | 0,10   | 555                            | 18              |
|                                   |             | 14:00-15:30  | 5                | 0,2                                | 0,14   | 599                            | 7               |
|                                   | 13.04       | 14:00-15:30  | 7                | 0,2                                | 0,15   | 598                            | 13              |
| 10:00-11:30                       |             | 6            | 0,2              | 0,15                               | 568  | 7                              |                 |
| 220                               | 24.03       | 18:20        | -                | 0,2                                | 0,01   | 1579                           | 55              |
|                                   | 28.03       | 9:45         | -                | 0,2                                | 0,24   | 4940                           | 17              |
|                                   |             | 13:45-15:45  | -                | 0,2                                | 0,47   | 486                            | 12              |
| 221                               | 07.02       | 16:00-17:30  | 8                | 0,22                               | 0,25   | 525                            | 11              |
|                                   | 08.02       | 08:00-09:30  | 7                | 0,22                               | 0,36   | 534                            | 3               |
|                                   |             | 10:00-11:40  | 12               | 0,22                               | 0,23   | 576                            | 8               |
|                                   | 09.02       | 16:00-17:30  | 5                | 0,22                               | 0,31   | 432                            | 3               |
|                                   | 10.02       | 10:00-11:30  | 9                | 0,22                               | 0,22   | 490                            | 9               |
|                                   | 11.02       | 08:00-09:30  | 6                | 0,22                               | 0,21   | 508                            | 9               |
|                                   |             | 10:00-11:40  | 9                | 0,22                               | 0,22   | 450                            | 6               |
|                                   | 14.02       | 16:00-17:35  | 6                | 0,22                               | 0,55   | 531                            | 8               |
|                                   | 15.02       | 08:00-09:30  | 8                | 0,22                               | 0,24   | 543                            | 20              |
|                                   |             | 10:00-11:30  | 11               | 0,22                               | 0,15   | 607                            | 22              |
|                                   | 16.02       | 10:30-11:40  | 5                | 0,22                               | 0,37   | 440                            | 9               |
|                                   | 17.02       | 10:00-11:30  | 13               | 0,22                               | 0,27   | 547                            | 10              |
|                                   |             | 13:15        | -                | 0,22                               | 0,20   | 489                            | 43              |
|                                   | 18.02       | 08:00-09:30  | 7                | 0,22                               | 0,57   | 509                            | 13              |
|                                   |             | 10:00-11:30  | 7                | 0,22                               | 0,16   | 481                            | 10              |
| 21.03                             | 16:00-17:35 | 5            | 0,22             | 0,25                               | 511  | 18                             |                 |
| 22.03                             | 08:00-09:35 | 9            | 0,22             | 0,14                               | 614  | 25                             |                 |



| Õhuvahetuse analüüs ruumide kaupa |         |              |                  |                                    |  |                                |                 |
|-----------------------------------|---------|--------------|------------------|------------------------------------|--|--------------------------------|-----------------|
| Ruum                              | Kuupäev | Tunni kestus | Inimes<br>te arv | Projekteeritud<br>õhuhulk,<br>m3/s | SOLVER<br>funktsiooni<br>min<br>õhuhulk,<br>m3/s | Möödetud<br>algväärtus,<br>ppm | RMSE<br>väärtus |
|                                   |         | 10:00-11:30  | 9                | 0,22                               | 0,17   | 555                            | 15              |
|                                   | 24.03   | 20:05        | -                | 0,22                               | 0,01   | 1235                           | 19              |
|                                   | 25.03   | 08:00-09:40  | 8                | 0,22                               | 0,16   | 515                            | 13              |
|                                   |         | 10:00-11:40  | 7                | 0,22                               | 0,14   | 558                            | 16              |
|                                   | 28.03   | 9:45         | -                | 0,22                               | 0,20   | 3028                           | 58              |
|                                   |         | 16:00-17:45  | -                | 0,22                               | 0,11   | 463                            | 12              |
|                                   | 29.03   | 08:00-09:35  | 9                | 0,22                               | 0,30   | 450                            | 1               |
|                                   |         | 10:00-11:45  | 10               | 0,22                               | 0,11   | 516                            | 17              |
|                                   | 31.03   | 10:00-11:30  | -                | 0,22                               | 0,31   | 494                            | 1               |
|                                   | 01.04   | 8:00-09:30   | 7                | 0,22                               | 0,11   | 551                            | 12              |
|                                   |         | 10:00-11:30  | 6                | 0,22                               | 0,23   | 511                            | 14              |
|                                   | 04.04   | 14:00-15:05  | 4                | 0,22                               | 0,10   | 471                            | 10              |
|                                   | 05.04   | 8:00-9:30    | 4                | 0,22                               | 0,21   | 463                            | 0               |
|                                   |         | 10:00-11:40  | 9                | 0,22                               | 0,39   | 507                            | 7               |
|                                   | 06.04   | 10:30-13:00  | 10               | 0,22                               | 0,15   | 593                            | 18              |
|                                   | 07.04   | 10:00-11:30  | 11               | 0,22                               | 0,15   | 663                            | 16              |
|                                   | 08.04   | 8:00-11:30   | 8                | 0,22                               | 0,11   | 593                            | 9               |
|                                   | 11.04   | 16:00-17:30  | 7                | 0,22                               | 0,16   | 598                            | 8               |
|                                   | 12.04   | 08:00-09:30  | 9                | 0,22                               | 0,10   | 640                            | 3               |
|                                   |         | 10:00-11:30  | 8                | 0,22                               | 0,11   | 597                            | 26              |
| 222                               | 15.02   | 17:30-20:00  | -                | 0,22                               | 0,12   | 522                            | 9               |
|                                   | 17.02   | 14:00-15:30  | 11               | 0,22                               | 0,16   | 472                            | 6               |
|                                   |         | 12:00-13:30  |                  | 0,22                               | 0,17   | 489                            | 12              |
|                                   |         | 15:55-17:30  | 10               | 0,22                               | 0,16   | 481                            | 10              |
|                                   | 23.03   | 12:00-14:15  | 12               | 0,22                               | 0,13   | 532                            | 12              |
|                                   |         | 19:40        | -                | 0,22                               | 0,01   | 1068                           | 27              |
|                                   | 24.03   | 14:00-15:30  | 7                | 0,22                               | 0,07   | 520                            | 3               |
|                                   | 25.03   | 17:45-20:00  | 9                | 0,22                               | 0,01   | 848                            | 15              |
|                                   | 28.03   | 10:45        | -                | 0,22                               | 0,23   | 4337                           | 26              |
|                                   | 29.03   | 20:15        | -                | 0,22                               | 0,17   | 548                            | 9               |
|                                   | 30.03   | 19:00-20:30  | -                | 0,22                               | 0,02   | 898                            | 13              |
|                                   | 31.03   | 12:00-13:30  | -                | 0,22                               | 0,23   | 480                            | 4               |
|                                   |         | 14:00-15:30  | 8                | 0,22                               | 0,13   | 537                            | 9               |
|                                   |         | 17:45-18:45  | 8                | 0,22                               | 0,02   | 1116                           | 19              |
|                                   | 06.04   | 19:35        | -                | 0,22                               | 0,01   | 962                            | 20              |
|                                   | 07.04   | 17:15        | -                | 0,22                               | 0,01   | 1002                           | 14              |
|                                   | 12.04   | 17:45-20:00  | -                | 0,22                               | 0,14   | 540                            | 4               |
|                                   | 13.04   | 12:00-14:45  | 1                | 0,22                               | 0,25   | 434                            | 14              |
|                                   |         | 19:50        | -                | 0,22                               | 0,01   | 1235                           | 16              |
|                                   | 14.04   | 12:00-13:30  | -                | 0,22                               | 0,13   | 548                            | 10              |
| 17:30-20:45                       |         | 3            | 0,22             | 0,00                               | 741  | 14                             |                 |

| Õhuvahetuse analüüs ruumide kaupa |             |              |                  |                                    |  |                                |                 |
|-----------------------------------|-------------|--------------|------------------|------------------------------------|--|--------------------------------|-----------------|
| Ruum                              | Kuupäev     | Tunni kestus | Inimes<br>te arv | Projekteeritud<br>õhuhulk,<br>m3/s | SOLVER<br>funktsiooni<br>min<br>õhuhulk,<br>m3/s | Mõõdetud<br>algväärtus,<br>ppm | RMSE<br>väärtus |
| 315                               | 08.02       | 16:00-17:30  | 10               | 0,28                               | 0,21   | 448                            | 13              |
|                                   | 10.02       | 12:00-13:30  | 13               | 0,28                               | 0,16   | 474                            | 17              |
|                                   | 12.02       | 10:00-13:15  | 14               | 0,28                               | 0,03   | 578                            | 8               |
|                                   | 15.02       | 16:00-17:30  | 11               | 0,28                               | 0,27   | 485                            | 6               |
|                                   | 22.03       | 09:15-11:10  | 21               | 0,28                               | 0,12   | 576                            | 15              |
|                                   | 23.03       | 16:00-17:30  | 15               | 0,28                               | 0,14   | 589                            | 15              |
|                                   | 24.03       | 10:00-11:30  | -                | 0,28                               | 0,16   | 512                            | 8               |
|                                   | 26.03       | 10:00-13:15  | 13               | 0,28                               | 0,01   | 1944                           | 36              |
|                                   | 28.03       | 11:05        | -                | 0,28                               | 0,17   | 895                            | 11              |
|                                   | 29.03       | 16:00-17:30  | 9                | 0,28                               | 0,08   | 522                            | 6               |
|                                   | 31.03       | 10:00-11:30  | -                | 0,28                               | 0,22   | 601                            | 11              |
|                                   |             | 12:00-13:30  | 11               | 0,28                               | 0,15   | 501                            | 6               |
|                                   | 02.04       | 10:00-13:50  | -                | 0,28                               | 0,02   | 1773                           | 75              |
|                                   | 05.04       | 16:00-17:30  | 7                | 0,28                               | 0,19   | 524                            | 3               |
|                                   | 06.04       | 16:00-17:30  | 14               | 0,28                               | 0,18   | 210                            | 13              |
|                                   | 07.04       | 10:00-11:30  | -                | 0,28                               | 0,24   | 601                            | 5               |
|                                   | 08.04       | 14:00-15:30  | 5                | 0,28                               | 0,03   | 450                            | 7               |
|                                   | 12.04       | 16:00-17:30  | 7                | 0,28                               | 0,12   | 506                            | 9               |
| 13.04                             | 16:00-17:30 | 17           | 0,28             | 0,21                               | 651  | 14                             |                 |
| 14.04                             | 14:00-15:30 | 4            | 0,28             | 0,18                               | 473  | 17                             |                 |
| 316                               | 09.02       | 10:00-11:30  | 3                | 0,28                               | 0,06   | 463                            | 5               |
|                                   | 10.02       | 08:15-9:45   | 17               | 0,28                               | 0,11   | 465                            | 2               |
|                                   | 16.02       | 10:00-11:30  | 5                | 0,28                               | 0,39   | 487                            | 10              |
|                                   | 17.02       | 08:15-9:45   | 13               | 0,28                               | 0,15   | 545                            | 14              |
|                                   | 23.03       | 20:05        | -                | 0,28                               | 0,01   | 881                            | 29              |
|                                   | 24.03       | 10:00-11:30  | 4                | 0,28                               | 0,25   | 466                            | 8               |
|                                   | 26.03       | 12:00        | -                | 0,28                               | 0,04   | 1358                           | 35              |
|                                   |             | 15:05        | -                | 0,28                               | 0,04   | 2037                           | 21              |
|                                   |             | 17:35        | -                | 0,28                               | 0,07   | 1478                           | 29              |
|                                   |             | 20:05        | -                | 0,28                               | 0,01   | 1990                           | 26              |
|                                   | 27.03       | 11:35        | -                | 0,28                               | 0,01   | 1743                           | 35              |
|                                   | 28.03       | 10:00        | -                | 0,28                               | 0,25   | 1124                           | 25              |
|                                   | 30.03       | 10:00-11:30  | -                | 0,28                               | 0,13   | 445                            | 2               |
|                                   |             | 12:00-14:15  | 11               | 0,28                               | 0,15   | 527                            | 19              |
|                                   | 06.04       | 10:00-11:30  | 8                | 0,28                               | 0,12   | 527                            | 12              |
|                                   | 07.04       | 9:00-11:30   | 2                | 0,28                               | 0,06   | 456                            | 8               |
| 12:00-14:15                       |             | 6            | 0,28             | 0,12                               | 551  | 12                             |                 |
| 13.04                             | 10:00-11:30 | -            | 0,28             | 0,21                               | 537  | 11                             |                 |
| 317                               | 07.02       | 10:00-13:15  | 21               | 0,28                               | 0,45   | 534                            | 6               |
|                                   | 09.02       | 14:00-15:30  | 16               | 0,28                               | 0,34   | 547                            | 11              |
|                                   |             | 18:30-20:45  | 8                | 0,28                               | 0,01   | 899                            | 19              |

| Õhuvahetuse analüüs ruumide kaupa |         |              |                  |                                    |  |                                |                 |
|-----------------------------------|---------|--------------|------------------|------------------------------------|--|--------------------------------|-----------------|
| Ruum                              | Kuupäev | Tunni kestus | Inimes<br>te arv | Projekteeritud<br>õhuhulk,<br>m3/s | SOLVER<br>funktsiooni<br>min<br>õhuhulk,<br>m3/s | Möödetud<br>algväärtus,<br>ppm | RMSE<br>väärtus |
|                                   | 10.02   | 14:00-15:30  | 15               | 0,28                               | 0,31   | 469                            | 8               |
|                                   | 14.02   | 10:00-13:15  | 26               | 0,28                               | 0,29   | 595                            | 17              |
|                                   | 16.02   | 14:00-15:30  | 19               | 0,28                               | 0,37   | 553                            | 14              |
|                                   |         | 16:00-17:30  | 8                | 0,28                               | 0,17   | 450                            | 6               |
|                                   | 17.02   | 12:00-13:30  | 8                | 0,28                               | 0,28   | 415                            | 2               |
|                                   |         | 14:00-15:30  | 20               | 0,28                               | 0,26   | 533                            | 6               |
|                                   | 23.03   | 14:00-15:30  | 11               | 0,28                               | 0,16   | 504                            | 6               |
|                                   |         | 18:30-20:45  | 7                | 0,28                               | 0,02   | 1169                           | 27              |
|                                   | 24.03   | 10:15-11:45  | -                | 0,28                               | 0,17   | 524                            | 22              |
|                                   |         | 12:00-13:30  | 5                | 0,28                               | 0,19   | 442                            | 4               |
|                                   |         | 14:00-15:30  | 4                | 0,28                               | 0,28   | 429                            | 7               |
|                                   | 28.03   | 10:00-13:15  | 21               | 0,28                               | 0,33   | 413                            | 6               |
|                                   | 30.03   | 09:00-11:15  | 11               | 0,28                               | 0,29   | 508                            | 4               |
|                                   |         | 14:00-15:30  | 21               | 0,28                               | 0,25   | 545                            | 3               |
|                                   |         | 16:00-17:30  | 9                | 0,28                               | 0,22   | 497                            | 13              |
|                                   | 31.03   | 12:00-13:30  | 5                | 0,28                               | 0,22   | 421                            | 5               |
|                                   |         | 14:00-15:30  | 12               | 0,28                               | 0,22   | 458                            | 12              |
|                                   | 04.04   | 10:00-13:15  | 21               | 0,28                               | 0,21   | 467                            | 7               |
|                                   | 06.04   | 09:00-11:15  | 4                | 0,28                               | 0,08   | 431                            | 10              |
|                                   |         | 14:00-15:30  | 6                | 0,28                               | 0,10   | 464                            | 7               |
|                                   |         | 16:00-17:30  | 4                | 0,28                               | 0,17   | 475                            | 5               |
|                                   |         | 18:30-20:45  | 7                | 0,28                               | 0,02   | 1255                           | 25              |
|                                   | 07.04   | 12:00-13:30  | 5                | 0,28                               | 0,06   | 505                            | 9               |
|                                   |         | 14:00-15:30  | 5                | 0,28                               | 0,09   | 540                            | 9               |
|                                   | 13.04   | 09:00-11:15  | 8                | 0,28                               | 0,17   | 513                            | 15              |
|                                   |         | 14:00-15:30  | 6                | 0,28                               | 0,11   | 485                            | 0               |
|                                   |         | 16:00-17:30  | 5                | 0,28                               | 0,21   | 490                            | 2               |
|                                   |         | 18:30-20:45  | 5                | 0,28                               | 0,01   | 1011                           | 13              |
|                                   | 14.04   | 10:15-11:45  | -                | 0,28                               | 0,21   | 545                            | 9               |
|                                   | 416     | 09.02        | 14:45-18:00      | -                                  | 0,28   | 0,30                           | 521             |
| 10.02                             |         | 12:00-13:30  | -                | 0,28                               | 0,27   | 507                            | 13              |
| 11.02                             |         | 18:20-19:50  | -                | 0,28                               | 0,04   | 475                            | 7               |
| 16.02                             |         | 10:00-11:30  | -                | 0,28                               | 0,23   | 526                            | 5               |
|                                   |         | 14:45-16:50  | 14               | 0,28                               | 0,24   | 609                            | 5               |
| 17.02                             |         | 12:00-13:30  | -                | 0,28                               | 0,32   | 589                            | 8               |
| 18.02                             |         | 10:15-13:15  | 7                | 0,28                               | 0,22   | 454                            | 13              |
| 23.03                             |         | 10:30        | -                | 0,28                               | 0,20   | 600                            | 6               |
|                                   |         | 14:45-17:30  | 28               | 0,28                               | 0,23   | 679                            | 10              |
| 24.03                             |         | 12:35        | -                | 0,28                               | 0,19   | 594                            | 11              |
| 28.03                             |         | 10:15        | -                | 0,28                               | 0,28   | 1114                           | 13              |
| 30.03                             |         | 10:00-11:30  | 21               | 0,28                               | 0,19   | 599                            | 10              |

| Õhuvahetuse analüüs ruumide kaupa |             |              |                  |                                    |  |                                |                 |
|-----------------------------------|-------------|--------------|------------------|------------------------------------|--|--------------------------------|-----------------|
| Ruum                              | Kuupäev     | Tunni kestus | Inimes<br>te arv | Projekteeritud<br>õhuhulk,<br>m3/s | SOLVER<br>funktsiooni<br>min<br>õhuhulk,<br>m3/s | Möödetud<br>algväärtus,<br>ppm | RMSE<br>väärtus |
|                                   |             | 14:45-17:45  | 28               | 0,28                               | 0,27   | 770                            | 9               |
|                                   | 31.03       | 10:30-12:00  | -                | 0,28                               | 0,05   | 761                            | 56              |
|                                   | 01.04       | 10:15-13:15  | 9                | 0,28                               | 0,26   | 440                            | 3               |
|                                   | 06.04       | 10:00-11:30  | -                | 0,28                               | 0,18   | 641                            | 12              |
|                                   |             | 14:45-18:00  | 29               | 0,28                               | 0,13   | 445                            | 9               |
|                                   | 07.04       | 12:00-13:30  | -                | 0,28                               | 0,19   | 665                            | 9               |
|                                   | 08.04       | 10:15-13:30  | 7                | 0,28                               | 0,12   | 500                            | 9               |
|                                   | 13.04       | 14:45-17:15  | 29               | 0,28                               | 0,22   | 777                            | 19              |
| 14.04                             | 12:35       | -            | 0,28             | 0,22                               | 647  | 7                              |                 |
| 417                               | 17.02       | 10:00-11:30  | 7                | 0,28                               | 0,19   | 452                            | 13              |
|                                   | 23.03       | 14:00-16:15  | 7                | 0,28                               | 0,15   | 478                            | 6               |
|                                   | 24.03       | 10:00-11:30  | 7                | 0,28                               | 0,21   | 460                            | 17              |
|                                   |             | 12:00-12:35  | 8                | 0,28                               | 0,13   | 480                            | 11              |
|                                   | 28.03       | 11:11        | -                | 0,28                               | 0,28   | 1002                           | 20              |
|                                   |             | 13:00-16:15  | -                | 0,28                               | 0,30   | 508                            | 23              |
|                                   | 29.03       | 18:45-20:45  | -                | 0,28                               | 0,19   | 532                            | 14              |
|                                   | 30.03       | 14:00-16:15  | 14               | 0,28                               | 0,21   | 507                            | 12              |
|                                   | 31.03       | 10:00-11:30  | 4                | 0,28                               | 0,10   | 459                            | 11              |
|                                   |             | 14:30-16:00  | 8                | 0,28                               | 0,16   | 460                            | 6               |
|                                   | 04.04       | 14:45-16:15  | -                | 0,28                               | 0,55   | 557                            | 18              |
|                                   |             | 18:00-19:30  | -                | 0,28                               | 0,02   | 686                            | 14              |
|                                   | 06.04       | 14:00-16:15  | 7                | 0,28                               | 0,14   | 510                            | 12              |
|                                   | 07.04       | 10:00-11:30  | 4                | 0,28                               | 0,14   | 457                            | 5               |
|                                   |             | 12:00-13:30  | 11               | 0,28                               | 0,10   | 528                            | 15              |
|                                   | 08.04       | 17:45-19:15  | -                | 0,28                               | 0,02   | 726                            | 9               |
| 12.04                             | 18:45-20:15 | -            | 0,28             | 0,21                               | 559  | 10                             |                 |
| 13.04                             | 14:00-16:15 | 8            | 0,28             | 0,18                               | 502  | 9                              |                 |
| 14.04                             | 10:00-11:30 | 6            | 0,28             | 0,10                               | 513  | 1                              |                 |
|                                   | 12:00-13:30 | 10           | 0,28             | 0,12                               | 568  | 12                             |                 |
| 418                               | 08.02       | 14:00-17:15  | 19               | 0,28                               | 0,29   | 559                            | 12              |
|                                   | 10.02       | 10:00-11:30  | 20               | 0,28                               | 0,05   | 676                            | 13              |
|                                   |             | 12:00-13:30  | 20               | 0,28                               | 0,24   | 576                            | 19              |
|                                   | 15.02       | 14:00-15:30  | 18               | 0,28                               | 0,24   | 565                            | 9               |
|                                   |             | 17:20        | -                | 0,28                               | 0,15   | 554                            | 22              |
|                                   | 17.02       | 10:00-11:30  | -                | 0,28                               | 0,28   | 599                            | 78              |
|                                   |             | 12:00-13:30  | 18               | 0,28                               | 0,24   | 565                            | 9               |
|                                   | 21.03       | 10:00-13:15  | 17               | 0,28                               | 0,19   | 587                            | 11              |
|                                   | 22.03       | 10:00-13:15  | -                | 0,28                               | 0,16   | 517                            | 16              |
|                                   |             | 17:05        | -                | 0,28                               | 0,24   | 584                            | 8               |
| 23.03                             | 12:00-13:30 | -            | 0,28             | 0,22                               | 437  | 4                              |                 |
|                                   | 14:00-15:30 | -            | 0,28             | 0,11                               | 481  | 10                             |                 |

| Õhuvahetuse analüüs ruumide kaupa |         |              |              |   |   |                          |              |
|-----------------------------------|---------|--------------|--------------|---|---|--------------------------|--------------|
| Ruum                              | Kuupäev | Tunni kestus | Inimeste arv | Projekteeritud õhuhulk, m <sup>3</sup> /s | SOLVER funktsiooni min õhuhulk, m <sup>3</sup> /s | Möödetud algväärtus, ppm | RMSE väärtus |
|                                   | 24.03   | 8:15-11:30   | -            | 0,28                                      | 0,09  | 593                      | 13           |
|                                   |         | 12:00-13:30  | 6            | 0,28                                      | 0,12  | 437                      | 9            |
|                                   | 28.03   | 10:00-13:15  | 17           | 0,28                                      | 0,27  | 492                      | 15           |
|                                   | 29.03   | 15:00-18:20  | -            | 0,28                                      | 0,22  | 509                      | 9            |
|                                   | 30.03   | 12:00-13:30  | 6            | 0,28                                      | 0,09  | 463                      | 8            |
|                                   |         | 14:00-15:30  | 6            | 0,28                                      | 0,11  | 485                      | 13           |
|                                   | 31.03   | 10:00-11:30  | -            | 0,28                                      | 0,03  | 627                      | 3            |
|                                   |         | 12:00-13:30  | -            | 0,28                                      | 0,25  | 550                      | 9            |
|                                   | 04.04   | 10:00-13:15  | 16           | 0,28                                      | 0,41  | 579                      | 9            |
|                                   | 06.04   | 12:00-13:30  | -            | 0,28                                      | 0,16  | 485                      | 13           |
|                                   |         | 14:00-15:30  | -            | 0,28                                      | 0,12  | 484                      | 11           |
|                                   | 07.04   | 10:00-11:30  | -            | 0,28                                      | 0,09  | 637                      | 6            |
|                                   |         | 12:00-13:30  | -            | 0,28                                      | 0,10  | 497                      | 6            |
|                                   | 11.04   | 10:00-13:15  | 17           | 0,28                                      | 0,19  | 523                      | 15           |
|                                   | 12.04   | 16:00-19:15  | -            | 0,28                                      | 0,31  | 458                      | 16           |
|                                   | 13.04   | 12:00-13:30  | -            | 0,28                                      | 0,12  | 523                      | 8            |
|                                   |         | 14:00-15:30  | -            | 0,28                                      | 0,27  | 553                      | 21           |
|                                   | 14.04   | 12:00-13:30  | 6            | 0,28                                      | 0,11  | 494                      | 12           |

LISA 9 MATLABi kood CO<sub>2</sub> andurite juhuslikuks paigutamiseks mõõdetavatesse ruumidesse

```
function [RoomArray] = RandomSensorsGen(RoomsTotal, NoSensors)
% Description: Function to generate random sensor locations

%Greate random seed
rng('shuffle');

%Create empty room array
RoomArray = zeros(1,RoomsTotal);

%Create random sensor locations
if NoSensors > 0 && NoSensors <= RoomsTotal
    for i = 1:NoSensors
        GenDone = 0;
        while ~GenDone
            SensorLocation = round(rand*RoomsTotal);
            if SensorLocation > 0 && ~RoomArray(1,SensorLocation)
                RoomArray(1,SensorLocation) = 1;
                GenDone = 1;
            end
        end
    end
end
end
```