



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Tartu kolledž

**ELUSLABORATOORIUMI RUUMIKONTROLLERITE
TEMPERATUURIANDURITE KALIBREERIMINE
TÖÖOLUKORRAS
CALIBRATION OF ROOM CONTROLLER TEMPERATURE SENSORS
FOR LIVINGLABORATORY
RAKENDUSKÕRGHARIDUSTÖÖ**

Üliõpilane: Kristjan Kivimeister

Üliõpilaskood: 183575EDTR

Juhendaja: Ago Rootsi

Tartu 2023

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.

Kuupäev: 01.2023

Autor: Kristjan Kivimeister

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab bakalaureusetööle esitatud nõuetele

Kuupäev: 01.2023

Juhendaja: Ago Rootsi

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

Kuupäev: 01.2023

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkirjastatud digitaalselt /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Kristjan Kivimeister (sünnikuupäev: 15.05.1999)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Eluslaboratooriumi ruumikontrollerite temperatuuriandurite kalibreerimine tööolukorras,

mille juhendaja on Ago Roots

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

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

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

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

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

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kuupäev: 01.2023

TalTech Tartu kolledž

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Kristjan Kivimeister, 183575EDTR (nimi, üliõpilaskood)
Õppekava, peeriala: EDTR17/18 - Küberfüüsikalised süsteemid (kood ja nimetus)

Juhendaja(d): Lektor, Ago Rootsi, 6204808 (amet, nimi, telefon)

Lõputöö teema:

Eluslaboratooriumi ruumikontrollerite temperatuuriandurite kalibreerimine tööolukorras

Calibration of room controller temperature sensors for Livinglaboratory

Lõputöö põhieesmärgid:

- | |
|--|
| 1. Ruumikontrollerite kalibreerimiseks käepärase meetodika leidmine |
| 2. Leitud meetodika järgi ruumikontrollerite temperatuuriandurite kalibreerimine |

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kirjanduse ülevaade	
2.	Käepärase meetodika leidmine	
3.	HOBO mõõtetute katsetamine ja parandi leidmine	
4.	Ruumikontrollerite temperatuuri andurite kalibreerimine	
5.	Auditooriumite temperatuuri ebaühtluse uurimine	

Töö keel: Eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: 04.01 2023a

Üliõpilane: Kristjan Kivimeister 01.2023a
/allkirjastatud digitaalselt/

Juhendaja: Ago Rootsi 01.2023a
/ allkirjastatud digitaalselt /

Programmijuht: Helle Hallik "....."..... 01.2023a
/allkirjastatud digitaalselt/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

Sisukord

SISSEJUHATUS	6
1. KASUTATAVAD SEADMED	7
2. KIRJANDUSE ÜLEVAADE	8
3. METOODIKA	9
4. HOBO MÕÕTURITE MÕÕDISTE KALIBREERIMINE	13
4.1 Ettevalmistus HOBO mõõturite kalibreerimiseks	13
4.2 HOBO mõõturite Katsed ja saadud tulemused	14
4.3 HOBO mõõturite mõõdistele parandite leidmine	17
5. RUUMIKONTROLLERI MÕÕTEMOODULI MÕÕDISTE KALIBREERIMINE	20
5.1 Ruumikontrollerite mõõtemooduli katse kirjeldus	20
5.2 Ruumikontrollerite mõõtemoodulitele parandi leidmine	22
6. AUDITOOORIUMIDE RUUMIDE TEMPERATUURI EBAÜHTLUSE HINDAMINE.	25
6.1 Temperatuuri ebaühtluse katsete kirjeldus	25
6.2 Temperatuuri ebaühtluse katsete tulemus	26
6.3 Temperatuuri ebaühtluse katsete põhjal järelendus	28
KOKKUVÕTE	29
SUMMARY	30
KASUTATUD KIRJANDUS	31
LISAD	32

SISSEJUHATUS

Käesoleva lõputöö ülesandeks on Eluslaboratooriumi ruumikontrollerite temperatuuriandurite tööolukorras kalibreerimiseks käepärase meetodika leidmine ja selle meetodika järgi ruumikontrollerite mõõtemoodulite kalibreerimine kasutades parandid ehk mõõdemooduli mõõdiste metrooloogilise jälgitavuse tagamine.

Ruumikontrollerid mõõdavad ruumis olevat temperatuuri kasutades eraldi teist moodulit ehk mõõtemoodulit, mille kõik mõõdised logitakse MeiePilve. Ruumikontrollerite kalibreerimiseks kasutatakse kaheksa HOBO temperatuuri ja õhuniiskuse logerit, mida lõputöös kutsutakse HOBO mõõturiteks. Mõõtureid kasutan selleks, et kindlaks määrata kontrolleri süstemaatiline mõõtemääramatus, mille kompenseerimiseks saab rakendada parandit.

Ruumikontrollerid on tähtis osa ülikooli Eluslaboratooriumist ja seetõttu on vajalik, et nad oleksid metrooloogiliselt jälgitavad. Eluslaboratoorium on Tartu kolledžis õpetatava peeriala Küberfüüsikalised süsteemid üks õpikeskkondi. Õppehoone on küberfüüsikaline süsteem, kus tegeldakse mugava sisekliima tagamisega võimalikult väikese ressursikuluga. Eluslaboratoorium on orienteeritud katsete läbiviimisele otse uuritavas keskkonnas õppe- ja teadustöödeks.[4]

Kuna peale ruumikontrollerite mõõtemoodulite kasutatakse ka kaheksa HOBO mõõturit, siis jaguneb lõputöö kaheks etapiks. Esimeses etapis toimub HOBO mõõturite valik ja nende süstemaatilise vea (nullinihe) ja juhusliku vea kindlakstegemine. Teises etapis toimub ruumikontrollerite mõõtemoodulite kalibreerimine ja sealhulgas mõõtemoodulite mõõdiste süstemaatilise hälbe kindlakstegemine ja parandi leidmine.

Kuna on kasutusel mitu kalibreeritud HOBO mõõturit ja neid saab ruumis laiali paigutada, tuli idee mõõta auditooriumide temperatuuri ebaühtlust, kus katsete abil näha, kuidas jaotub ruumides temperatuur, et võrrelda milline on ruumi erinevates kohtades temperatuur võrreldes kohaga, kus asub ja mõõdab ruumikontrolleri mõõtemoodul. Ebaühtluse uurimine on lõputöös kolmandaks lisa etapiks.

Siit tuleneb ka hüpotees milleks on, et isegi kui on ainult üks mõõtemoodul, mis mõõdab terve ruumi temperatuuri, siis ruumis olev temperatuuri ebaühtlus ei mängi suurt rolli ruumi keskmise temperatuuri mõõtmises.

Uurimisprobleemiks oleks, kui võrd esindab ruumikontrolleri mõõtemoodul ruumi tegelikku temperatuuri selle erinevates osades.

1. KASUTATAVAD SEADMED

Lõputöös kasutatakse HOBO firma mõõtureid (8 mõõturit) ja Schneider Electric firma ruumikontrollerid. Andmete töötlemiseks arvuti ja programmi excel.

HOBO firma poolt mõõturid mõõdavad nii temperatuuri, kui ka õhuniiskust. HOBO mõõturi tootjapoolne riistmääramatus on $\pm 0.21^{\circ}\text{C}$ vahemikus 0°C - 50°C . Mõõtur ise töötab temperatuuride -20°C - 70°C vahemikus.[2]. Kahjuks HOBO mõõturites ei saa mõõtmistulemusi mõjutada ehk kui on teada, et mõõdab pool kraadi mööda ei saa HOBO mõõturi seadme sees parandust teha. Ainus viis on mõõtemääramatus leida ja panna kuhugi kirja, et hiljem saaks alati ülevaadata ja kui vaja käsitsi parandused teha. On mitu erinevat seadistust, et valida kuidas ja kui kaua mõõdiseid salvestab.

Kasutusel on SE8350 ruumikontrollerid tootjalt schneider electric. Kontrolleril on puuetundlik ekraan ja temperatuuri andur. Kontrolleril on juhtmevaba ligipääs tänu millele salvestatakse mõõtmised MeiePilv andmebaasi. Ruumikontroller töötab temperatuuridel 0 - 50 kraadi ja mõõtetäpsus ± 0.5 kraadi.[3]

Ruumikontrollerile on külge ühendatud lisaks mõõtemoodul. Mõõtemoodul mõõdab temperatuuri ja CO_2 . Ruumikontrolleris kasutatakse mõõtemooduli temperatuurimõõdist, mida kuvatakse ruumikontrolleri ekraanil.

Lõputöös oli kasutusel HOBO mõõturid, Schneider ruumikontrollerid, lisatud mõõtemoodulid, termokasti, külmaelementi ja arvuti.

2. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

Enne katseid alustasin lugemisega ja uurimisega. Algul üritasin uurida, kuidas üldse erinevaid seadmeid kalibreeritakse, et saada paremat ettekujutust, kuidas kalibreerimise protsess käib. Üritasin leida, kas on juba olemas meetodikad, mida võiksin kasutada lõputöös. Kuna mul polnud võimalust ruumikontrollereid ja mõõtemoduleid seinalt eemaldada ei suutnud leida head meetodikat, mistõttu tuli koostada oma variant. Seetõttu tuli leida lugeda kõik, mis on seotud mõõtmisega ja kalibreerimisega. Selleks võtsin metroloogia kohta õpiku, kus oli olemas piisavalt informatsiooni metroloogia ja kalibreerimise kohta.[1] Kuna kõik vajalik minu jaoks on selles metroloogia õpikus seletatud piirdusin ainult selle ühe õpikuga.

Teooriaga aitas metroloogia õpik, milles oli olemas baas teadmised kalibreerimise ja mõõtemääramatuse kohta. Kõige täksamad teemad, mida lugesin, olid kõik erinevad mõõtemääramatuse liigid, kuidas kahe mõõtevahendi mõõdiseid võrrelda ja millest koosneb mõõdis(mõõtetulemus).[1]

Õpiku abil sain teada palju uut ja sain palju vanu teadmisi üle korrata. Kui sai lähemalt tutvunud teooria osaga võis alustada meetodika koostamisega.

3. METOODIKA

Hetkel asub eluslaboratoorium Tartu kolledži õppehoones (Puiestee 80A). Eluslaboratooriumis tegeldakse eelkõige mugava sisekliima võimalikult väikese ressursikuluga tagamise küsimustega. Lisaks õppetööga seotud katsetele tehakse Eluslaboratooriumis ka teaduslikku uurimistööd.

Eluslaboratooriumi automaatikasüsteemi seadmete valikul on silmas peetud, et selle tagasiside andurid oleksid tootja poolt määratletud metrooloogiliste omadustega, kuna nende andurite mõõdiseid süsteemi logitakse ja neid kasutatakse andmetena õppe – ja teadustöös. Mõlemal juhul, kuid eriti teadustöös, on oluline, et mõõdised oleksid metrooloogiliselt jälgitavad.

Need andurid, aga moodustavad osa süsteemist ja neid ei saa viia metrooloogialaboratooriumi kalibreerimisele, sest automaatikasüsteem lakkab ilma nendeta töötamast. Hooneautomaatikasüsteem aga peab pidevalt töös olema.

Eluslaboratooriumisse kuulub praegu 8 õpperuumi, mis on varustatud ruumikontrolleritega, mis teostavad vahetult ruumide sisekliima juhtimist. Ruumi temperatuuri hoidmiseks vajab kontroller tagasisideks mõõtemooduli mõõdist. Ruumikontroller ja mõõtemoodul on kaks erinevat moodulit, mis on omavahel ühendatud.

Kasutatav Schneider Electric SRC mõõtemoodul on, erinevalt enamikust automaatikasüsteemide tagasisideanduritest, tootja poolt määratletud mõõtemääramatusega. See parameeter, aga muutub ajas ja suur osa sellest on süstemaatiline mõõtemääramatus, millest omakorda enamiku moodustab nn. nullinihe. Süstemaatilise mõõtemääramatuse kompenseerimiseks rakendatakse parandid. [1]

Mõõdis on arvvärtus, mida näitab ruumikontroller ja edastab peakontrollerite abil MeiePilv andmebaasi serverisse, kus toimub salvestamine MeiePilv andmebaasi. Lisades mõõdisele juurde parandi saame korrigeeritud mõõtetulemuse. [1]

MeiePilv on andmebaas, millel on veebiliides ja kuhu salvestatakse hooneautomaatikasüsteemi kogutud informatsiooni. Eluslaboratooriumi automaatika mõõtemoodulite mõõdised ja süsteemi seisundid logitakse Eluslaboratooriumi MeiePilv andmebaasi.

Kuna mõõtemooduleid ei saa mahamonteerida on vajalik metoodika, mis võimaldaks mõõtemooduleid kalibreerida neid välja lülitamata ja maha monteerimata. Võttes

seda arvesse kavandasin kasutada teisaldatavaid võrdlus-mõõtureid, mis paigaldatakse automaatika mõõtemooduli juurde ja võrreldakse siis mõlema mõõtevahendi mõõdiseid. Sobivaks osutusid Tartu kolledžis olemasolevad HOBO mõõturid (temperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse logerid).

Vastavalt siis on metoodika alljärgnev:

1. Teha kõigi kaheksa HOBO mõõturitega katseid, isoleeritud keskkonnas.

Kuna aga HOBO mõõtureid ei võetud Tartus mõõtelaboratooriumis kalibreerimisse ja sobivat seadet polnud, lisasin protsessi veel ühe etapi, mis osaliselt asendab metrooloogialaboratooriumis kalibreerimist, kuigi ei asenda seda. Isoleeritud keskkond tähendab, et oli tarvis mõõta võimalikult ühesuguses, kuid muutuva temperatuuriga tingimustes, et saada kõigi kaheksa mõõturi mõõdised ühesuguse temperatuuri juures, et neid mõõdiseid siis võrrelda.

2. Leida katses saadud andmete abil HOBO mõõturi temperatuuri mõõdiste parandid ehk mõõteviga.

3. Kuna ei saa HOBO mõõturitele lisada parandeid nagu saab ruumikontrolleritele, siis tuleb HOBO mõõturite parandid kirja panna ja hiljem kasutada kontrollerite parandite arvutamisel.

4. Paigaldada HOBO mõõtur automaatikasüsteemi ruumikontrolleri mõõtemooduli juurde ja koguda vähemalt ööpäevane võrdlev logi;

5. Võrrelda ruumikontrolleri ja HOBO mõõturi samadel ajahetkedel fikseeritud temperatuure ja leida mõõdiste erinevused, võttes arvesse ka HOBO mõõturi kalibreerimises leitud parandeid;

6. Võrrelda logisid kasutades A -tüüpi mõõtemääramatuse hindamise meetodit

7. Määrata parandid arvestusega, et arvesse lähevad üksnes erinevused, mis ületavad ruumikontrolleri mõõtemooduli riistamääramatust.

Vastavalt jaotasin ruumikontrollerite kalibreerimise kaheks etapiks. Esimese etapis toimub HOBO mõõturite kalibreerimine. Selleks on vaja kindlaks teha süstemaatiline mõõtemääramatus (nullinihe) ja juhuslik viga. Tuli tekitada olukord, kus kõik kaheksa HOBO mõõturid oleksid võimalikult samal temperatuuril keskkonnas, kus ei teki hüppelisi temperatuuri muutusi.

Teises etapis toimub ruumikontrollerite mõõtemoodulite kalibreerimine. Kuna ruumikontrollereid ja mõõtemooduleid ei saa liikutada on mõõdiste kogumine kalibreerimiseks erinev esimesest etapist.

Loogika on mõlemal juhul sarnane. HOBO mõõturite puhul kalibreerimine toimub nende kaheksa samatüübilise mõõturi mõõdiste keskmise järgi. Ruumikontrolleri

mõõtemooduli mõõdiste kalibreerimine toimub mõõtemooduli ja ühe HOBO mõõturi mõõdiste erinevuste põhjal.

Selleks tuli mõõturite andurid (paiknevad umbes 1,5 m pikka juhtme otsas) paigaldada termokasti, mis isoleeris andureid ruumi temperatuurist ja andurid ise kinnitada nn külmakeha külge. Külmakehas olev vedelik on hea soojus-akumulaator ja tagab sellega temperatuuri aeglase muutumise termokastis. Külmakeha koos väliskeskkonnast isoleeriva termokastiga tagasid kalibreerimise protsessile stabiilse temperatuuri muutumise. Külmakeha ja HOBO mõõturitega oli vaja tekitada hea soojuslik kontakt, et tagada mõõturite anduritele ühesuguse temperatuuri. Vajalik on kas külmakeha vedelik jahutada mingi madalama temperatuurini (u. + 17 kraadi) ja paigutada termokast ülekõetud ruumi (u. + 26 kraadi) või vastupidi (soojendada külmakeha vedelik + 26 kraadini ja paigutada termokast koos mõõturitega ruumi, mille temperatuur on +17 kraadi). Piirid on valitud sellised, et saaksid logitud temperatuuride näiduerinevused vahemikus, millest väljapoole töö- ja õpperuumide temperatuuri tavaliselt ei lasta.

Saadud logidest (kokku 8 mõõturit) võetakse ajahetke järgi keskmised. Kuna HOBO mõõturid käivitatakse arvuti abil, töötavad nad ühe kuni 2 ööpäeva jooksul sünkroonis, kuna HOBO mõõturitel on olemas kell ja võimalus valida, millisel kellaajal on soov, et mõõturid alustaksid mõõtmistega.

Saadud logide põhjal joonestada graafikud, mille abil näeb paremini saadud mõõdiste ja välja jätta need osad logist, kus soojakastis pole temperatuurid veel ühtlustunud. Tihti pidi välja jätma katse algused või lõpud, kuna katse algul, termokastis olev temperatuur ei saavutanud külmakeha temperatuuri ja katse lõpus termokasti temperatuur saavutas väliskeskkonna temperatuuri. Ülejäänud logi osas arvutada kõigi 8 mõõturi näitude igal ajahetkel aritmeetilise keskmise ja loetakse see parimaks temperatuuri hinnanguks sellel ajahetkel.

Arvutatud keskmiste põhjal teen graafiku, mis näitab iga mõõdiste erinevust aritmeutilisest keskmisest igal ajahetkel. Tehtud graafiku põhjal leida iga mõõturi jaoks mõõdiste erinevus kaheksa mõõturi mõõdiste keskmisest .

Selleks joonistatakse Exceli abil kuuenda astme polünoom regressioonkõverad. Mõõturite näidu erinevus keskmisest mingil temperatuuril loetakse graafikult mõõtes nende regressioonkõveratelt. Kuna katses on temperatuurivahemik lai koostatakse tabel, kuhu märgitakse sammuga 0.5 kraadi iga mõõturi erinevus keskmisest näidust. Koostatud tabelit kasutatakse kalibreerimistabelina, mille alusel leitakse ruumikontrollerite mõõtemoodulitele parandid.

Sarnast metoodikat kasutan ruumikontrollerite mõõtemoodulitel. Alustatakse katsest riputades igale ruumikontrolleri mõõtemooduli kõrvale ühe HOBO mõõturi. Ruumikontrollerist ja HOBO mõõturi võetakse samal ajahetkel tehtud mõõdised ja võrreldakse mõõtemooduli ja HOBO mõõturi samadel ajahetkedel fikseeritud temperatuure. Ehk pidin eraldama mõõtemooduli ja mõõturi mõõdised, mis ei olnud tehtud samal ajahetkel.

Ruumikontrollerite puhul, kui oli katse tehtud ja logid olemas leian järgmisena mõõtemooduli mõõdiste erinevust HOBO mõõturi mõõdistest. Teen leitud andmete põhjal graafiku, mis näitab iga mõõtemooduli mõõdiste erinevust HOBO mõõturi mõõdistest igal ajahetkel. Saadud graafikule joonistada Exceli abil polünoom regressioonkõver.

Teha sarnane kalibreerimistabel nagu HOBO mõõturi puhul. Tabel kuhu märgitakse mõõtemooduli mõõdiste erinevus HOBO mõõturi mõõdistest sammuga 0.5 kraadi. Ruumikontrollerite mõõtemoodulite kalibreerimistabelisse peab lisama HOBO mõõturi leitud parandid igale sammule ja nendega peab arvestama ruumikontrolleri mõõtemooduli mõõdistele keskmise parandi arvutamisel.

Kuna sai kasutada kaheksa kalibreeritud mõõturi, mis olid mingil määral kalibreeritud, oli mõistlik tööse lisada kolmas etapp, mille käigus mõõdetakse auditooriumis kõigi kaheksa mõõturi abil temperatuuri jaotus ruumi erinevates osades ja võrreldakse neid mõõdiseid ruumikontrolleri logiga MeiePilves.

Eesmärgiks on hinnata kuivõrd esindab ruumi seinal paiknevad ruumikontrollerite mõõtemoodulite mõõdised terve ruumi temperatuurist. Algul mõõta HOBO mõõturi ja mõõtemoodulite abil erinevate ruumiosade temperatuuri ja võrrelda kõigi mõõturi mõõdiseid üksteisega ja ruumikontrolleri mõõtemooduli mõõdistega.

4. HOBO MÕÕTURITE MÕÕDISTE KALIBREERIMINE.

4.1 Ettevalmistus HOBO mõõturite kalibreerimiseks

Enne kui saab alustada mõõdiste kogumisega tuleb kõik ette valmistada. Valmistada termokast ja selle sisse minev külmaelement (Freezepak), et saaks tekitada ühtlaselt kasvava või langeva temperatuuri muutumise. Selleks tuli tagada soojaisolatsioon, et katsete ajal oleks väiksem soojaülekanne.

Alustasin termokasti valmistamisega lõigates termokasti külgešina väikse ava kuna HOBO mõõturi sensorid on ühendatud eraldi kaabli abiga ja ava oli vaja, et sensori kaablid läbi pääseksid. Lõigatud avade kaudu sai kaablid läbi ja leida millega kinni panna ülejäänud lõigatud ava, et mitte suurendada soojaülekannet. (lõigatud ava vahele vahtplast ja väljaspool suurema tükiga võimalikult palju kinni katta.). Sai ka Pandud suure tüki vahtplasti külmaelemendi ja kaane vahele. Kui mõõturi sensorid olid sees ja termokast käis korralikult kinni (Joonis 4.1) võis alustada katsetega.



Joonis 4.1. HOBO mõõturite sensori paigutus termokastis katsete tegemiseks

Termokast on selleks, et võimalikult rohkem isoleerida HOBO mõõturi sensoreid väliskeskkonna mõjudest. On vajalik saavutada olukord, kus mõõturite sensorid oleksid võimalikult samal temperatuuril.

On kaks erinevat katset. Ühe katse korral jahutasin külmaelementi, et saavutada temperatuur madalam kui 18 kraadi, siis panna külmaelement koos mõõturi

sensoritega termokasti sisse ja jätta termokast ruumi, kus oodata kuni temperatuur termokasti sees tõuseks toatemperatuurini. Teise katse korral tegin just vastupidi. Soojendada külmaelement vähemalt 30 kraadini ja panna termokasti, kus oodata kuni temperatuur termokasti sees jõuaks toatemperatuurini.

Katsete mõte on mitte ainult saada paremat vaatepilti selle kohta, kui erinevad on kõigi HOB0 mõõturite mõõdised, aga ka näha, kas moodulid on piisavalt heas korras, et neid oleks võimalik kalibreerida ja kasutada. Seetõttu tuli idee katsetada HOB0 mõõtureid kontrollitud keskkonnas, kus temperatuur liigub pika aja jooksul ühe suunas..

4.2 HOB0 mõõturite Katsed ja saadud tulemused

Kui kõik sai ette valmistatud alustasin esimese etapiga. Esimestes katsetes alandasin külmaelemendi veteliku temperatuuri ehk jahutasin külmaelementi, seda katse nimetasin soojendamise katseks. Kuna mul ei olnud vaja miinuskraade, siis piisas sellest, kui madalaim temperatuur on kuskil 17 kraadi juures. Õues oli selleks ajaks, kui esimest katse tegin jahe ja seetõttu panin külmaelemendi kahe akna vahele, kus õhk oli külmem. Sellist katset tegin veel 3 korda.

Iga kord tekkis parem vaatepilt selle kohta, kui kiiresti soojakastis temperatuur tõuseb ja kas on vaja külmaelementi rohkem jahutada või mitte. Sain rohkem teada, kuidas mõõturid töötavad. Nimelt kui mälu saab täis peatab mõõtur töötamise ja ei salvesta uusi tulemusi ega mõõda hetke temperatuuri.

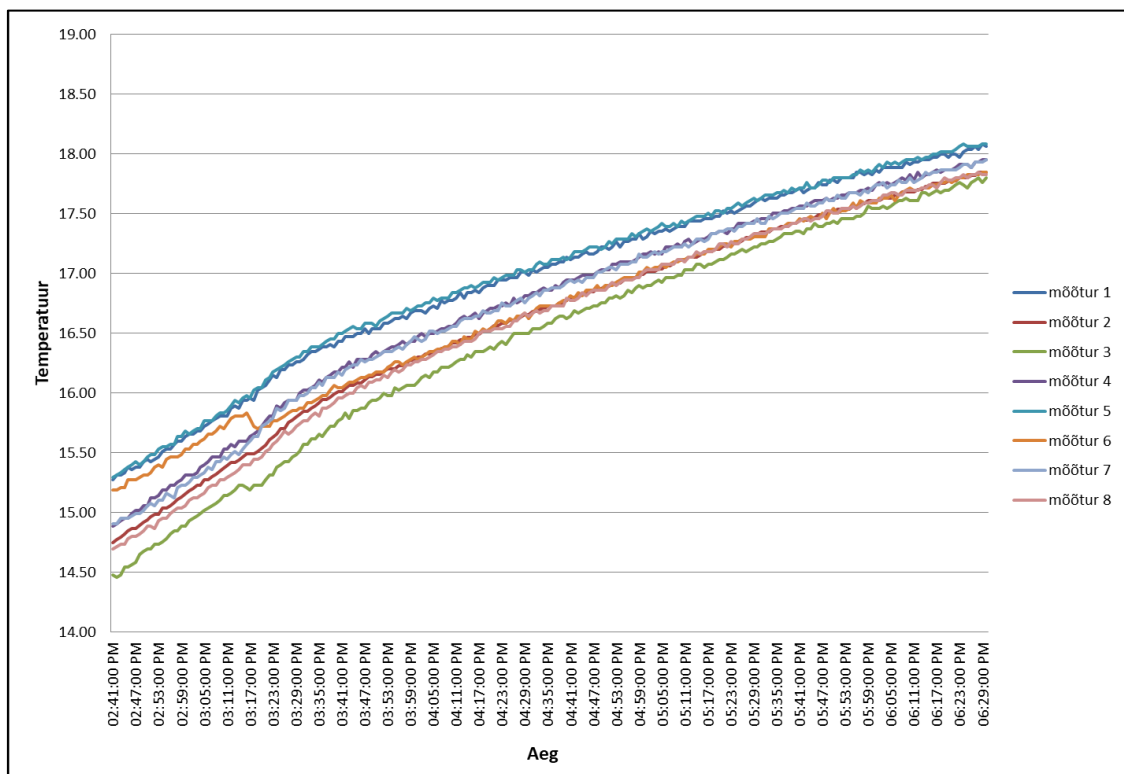
Tänu HOB0 programmile sai kergelt vaadata, millised olid mõõdised enne mälu täis saamist ja kui kuupäev on mõõturites on õigeks pandud saab ka teada, millal täpselt saab mälu täis. Selleks, et uuesti tööle panna on vaja mälu puhastada ja valida, millal on soov, et HOB0 mõõtur alustaks mõõtmistega.

Esinesid olukorrad, kui väljas, oli temperatuur tavalisest madalam ja seetõttu pidi ruumis tõstma temperatuuri.

Üks tegevus mille peale oleks võinud varem tulla, on külmade ilmade korral kasutada radiaatoreid, et toas temperatuuri tõsta. Mõte mille peale ma kahjuks kohe ei tulnud ja hiljem natukene kahetsesin, sest talvel on temperatuur madal ja termokastis jõudis temperatuur tõusta ainult kolm kraadi. Seetõttu paljud katsed ei tulnud korralikult välja ja pidin tegema paar soojendamise katset uuesti. See probleem tekkis, kuna alguses olin rohkem keskendunud katsete tegemistele ja ei pööranud piisavalt tähelepanu juba saadud mõõdiste analüüsimisele.

Kui oli piisavalt soojendamise katseid tehtud alustasin külmetamise katsetega. Need katsed on vastupidised soojendamise katsetele. Külmetamise katsetes soojendan

külmaelemendi vähemalt 30 kraadini ja lasen termokastis temperatuuril langeda, kuni toatemperatuurini ehk külmetamise katse. Tänu varasematele katsetele sain rohkem aru, millistel asjadel tuleks rohkem silma peal hoida enne ja peale katset. Kuna paljud soojendamise katsed pidin uuesti tegema, sest ei valinud õigesti toatemperatuuri, siis üritasin külmetamise katsetes samat viga mitte teha. Õnneks külmutamise katsetega läks paremini ja oli tarvis teha vaid ühe katse lisaks. Veel sain teada, et HOBO mõõturitel kulub katsete alguses aega kõigi mõõturite andurite temperatuuride ühtlustumiseks. Läheb aega enne kui termokasti temperatuur ühtlustub külmaelemendiga ja kui hea on soojuslik kontakt anduri külmaelemendi vahel. Kaua selleks läheb 10-20 minuti periood, aga täitsa kindel ei saa olla. Seetõttu esimeste peaaegu poole tunni mõõdised ei sobi.



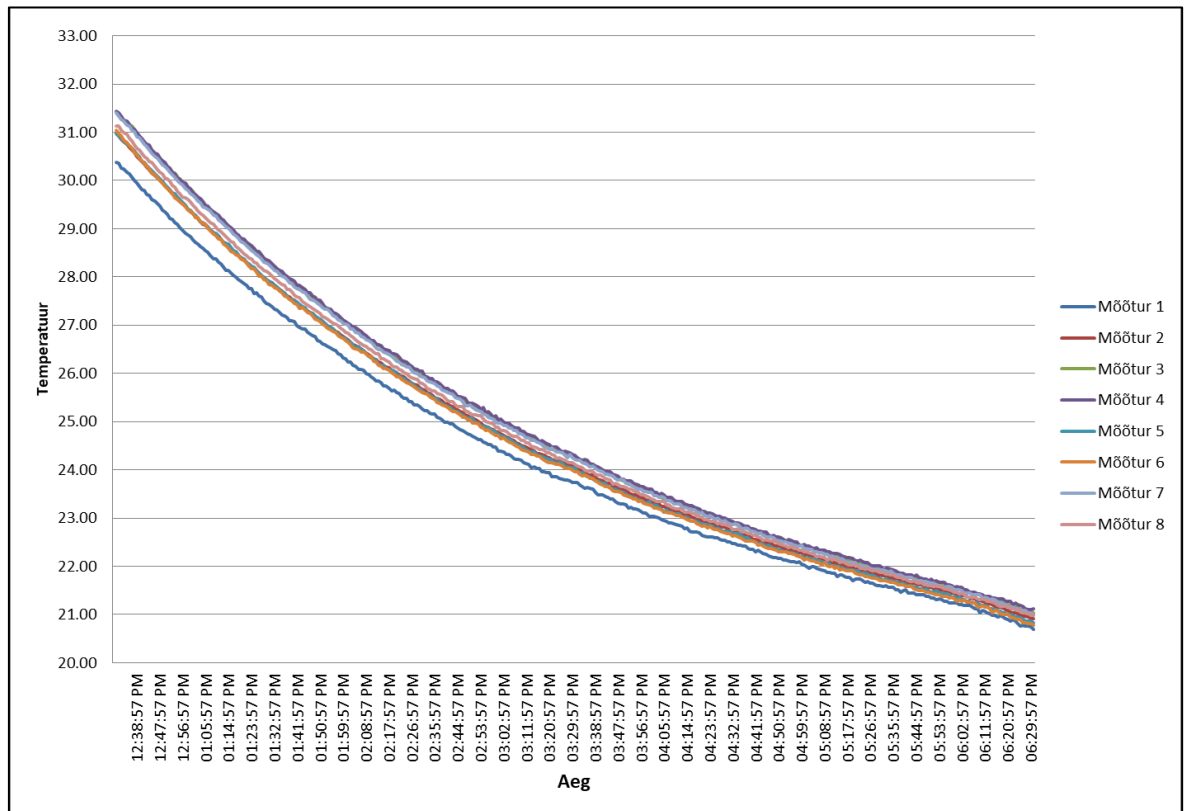
Joonis 4.2. HOBO mõõturite sailvestatud temperatuurid soojendamise katsest

Kui vaadata joonist 4.2 on näha, miks pidi tegema katsed uuesti. Selleks, et saaks HOBO mõõturieid korralikult kalibreerida on vaja suuremat temperatuuri vahemikku ehk kui termokastis jõuab temperatuur muutuda kolme kraadi võrra(15-18 kraadi), siis see vahemik ei kõlba, aga kui temperatuur muutub umbes kaheksa kraadi(17-25 kraadi), siis see vahemik sobib.

Üritasin saada mõõdiseid temperatuuride vahemikus, mis esinevad maja ruumides kõige sagedamini. Seetõttu külmutamise katses üritasin saada mõõdiseid vahemikus

17 - 25 kraadi. Üle 26 kraadi ruumi ei soojendata ja ei usu, et lastakse alla 17 kraadi.

Esimestest katsetes, kus mõõdised ei kõlbanud selleks, et kasutada kalibreerimiseks, aga kohe sai nähtud, kui palju ja kuidas erinevad üksteisest HOBO mõõturite mõõdised tänu millele, sai ka kinnituse ja parema arusaama, kuidas HOBO mõõturied paremini kalibreerida.



Joonis 4.3. HOBO mõõturite sailvestatud temperatuurid külmetamise katsest

Joonises 4.3 on hästi näha, milline nägi välja hea katse. On olemas suurem temperatuuri vahemik, kui kolm kraadi ja temperatuur suurel ajaperioodil ainult langeb või kasvab, tänu millele saab neid andmeid edasi analüüsida ja töödelda.

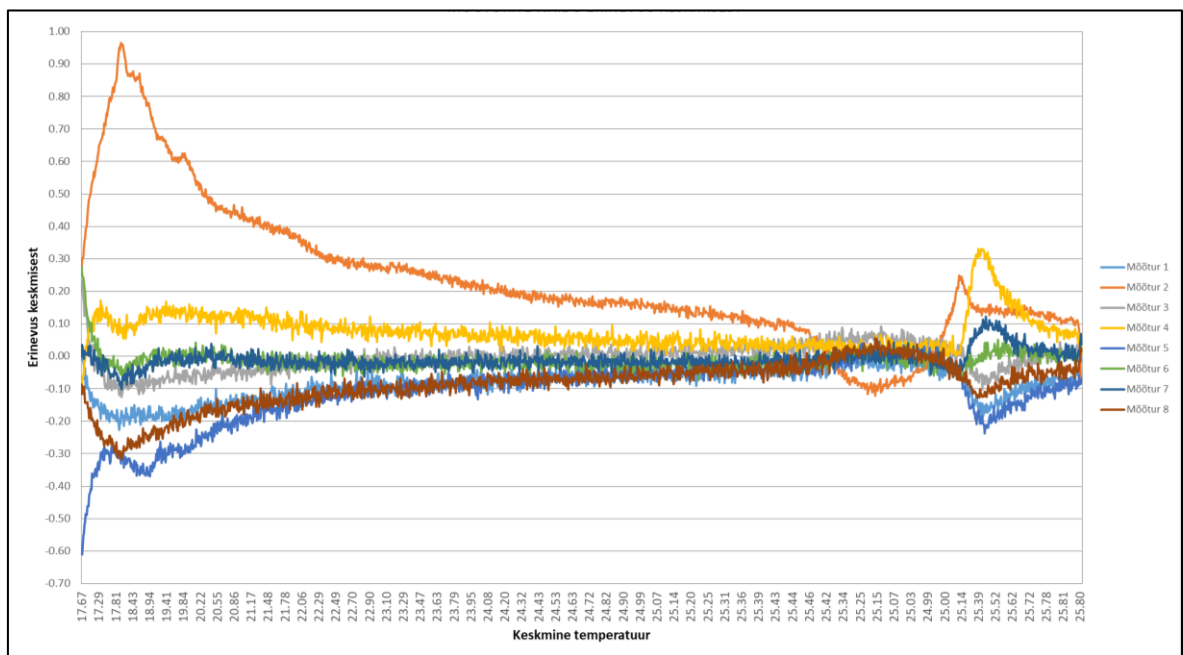
Kui katsetest olid vajalikud mõõdised saadud, hakkasin arvutama nende põhjal iga HOBO mõõturile parandit.

4.3 HOBO mõõturite mõõdistele parandite leidmine

Algul oli idee, et kuna kõik katsed, olid alati tehtud samas keskkonnas ja samades oludes peaks olema võimalik tulemused panna kokku ja vaadelda neid koos. Kahjuks seda ei olnud võimalik teha kuna HOBO mõõturite mõõdistes erinesid mõõdiste keskmisest iga katse puhul üksteisega erinevalt.

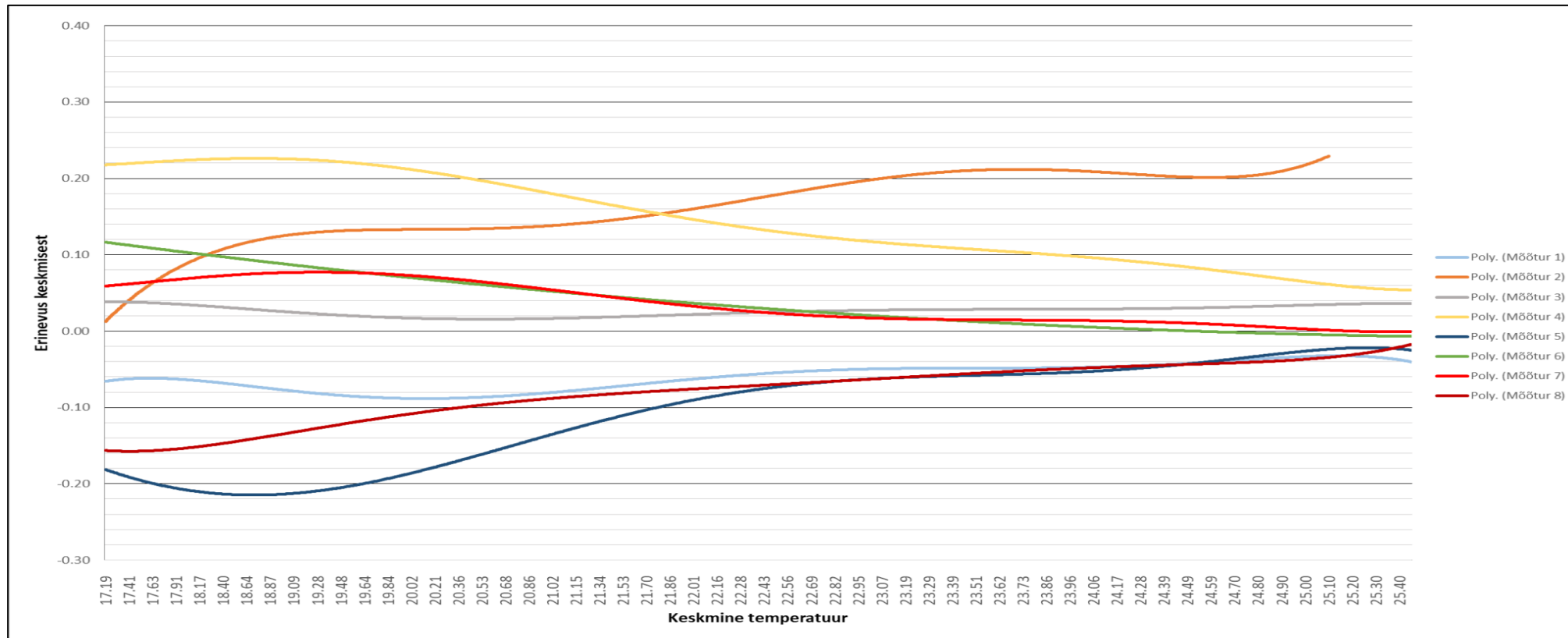
Selleks tegin juurde ühe katse võttes arvesse, mida õppisin eelmistest katsetest. Lisa katses oli piisavalt suur temperatuuri vahemik ja termokasti temperatuur ei jõudnud liiga kiiresti toatemperatuurini. Katse ei ole hea, kui temperatuur jõuab 17 kraadist 25 kraadini vaid 1 tunniga.

Kui katse mõõdistes olid olemas, siis kõige alguses leidsin igale mõõdistele erinevuse kõigi mõõdiste keskmisest. Tegin erinevuste graafiku, et paremini näha, kuidas temperatuur muutus, et leida piirkonnad, mis peab eemaldama ja millised mõõdistes sobivad edasi töötlemiseks.



Joonis 4.4. HOBO mõõturite mõõdiste erinevus mõõdiste keskmisest (korrastamata)

Joonis 4.4 on näha, et kõik mõõdistes ei ole kasutatavad, mistõttu tuleb valida õige piirkonna. Joonises on hästi näha, miks HOBO mõõturi esimese 10-20 minutil saadud mõõdistes ei sobi ja joonise lõpus on näha piirkonda, kus termokasti temperatuur jõuab samale tasemele, kui ruumi temperatuur. Hea piirkond, millega saab tööd teha on keskmine osa kus temperatuur liigub ainult ühes suunas. Lisas 1 on näha korrastatud joonis, mille andmed sobivad. Edasi tegin polünoomregressiooni jooned, et paremini näha kuidas iga mõõturi mõõdistes erinevad keskmisest suhtes.



Joonis 4.5. HOBO Mõõturite mõõdiste erinevus mõõdiste keskmisest temperatuurist polünoomregressiooni joone kaudu

Tegin polünoomregressiooni jooned, kuna regressiooni joon on keskmistatud joon, mis ei tee kaasa üksikpunktide hüppeid. Joonisel 4.5 on näha millised on trendijooned, millelt pealt hakkasin leidma igale HOBO mõõturile parandeid sammuga 0.5 kraadi. Võtsin temperatuurivahemikuks 17-25.5 kraadi leidsin iga poole kraadi järel parandi ehk kui palju erineb iga poole kraadi järel üksiku HOBO mõõturi mõõdis kõigi mõõdiste keskmisest. Need erinevused on kirja pandud tabeli kujul, mis on kujutatud lisas 6.

Parandi saamiseks peab vahetama vastand märgiga HOB0 mõõturi mõõdiste erinevused mõõdiste keskmisest ehk kui erinevus on -0.2 kraadi, siis parand on sellele kohale +0.2 kraadi(vastandmärgiga). Kokku tuli igale HOB0 mõõturile leida 18 parandit(lisa 6).

Ühte kindlat parandit igale HOB0 mõõturile ei olnud vajalik leida, kuna leitud parandite tabel sobib ja HOB0 mõõturitesse neid ei saa sisetada, sest puudub funktsioon, et korrigeerida mõõdiseid. Alati saab ka leida 18 parandi põhjal keskmise parandi ja hiljem peale mõõtmiste tegemisi käsitsi liita juurde parandid mõõdistesse ja näha korreksemat tulemust.

Leitud parandite tabelit kasutan ruumikontrollerite mõõtemoodulite kalibreerimisel.

5. RUUMIKONTROLLERI MÕÕTEMOODULI MÕÕDISTE KALIBREERIMINE.

Kui sai mõõturid korrastatud hakkasin tegelema teise etapiga ehk ruumikontrollerite mõõtemoodulitega. Teise etapi lõpuks selgusid kõigi ruumikontrollerite mõõtemoodulite mõõdiste parandid.

5.1 Ruumikontrollerite mõõtemooduli katse kirjeldus

Kasutasin HOBO mõõtureid, et võrrelda ruumikontrollerite mõõtemoodulitega. Selleks, et saada piisavalt sarnastes olukordades mõõdiseid võtsin HOBO mõõturid ja riputasin mõõtemoodulite kõrvael, et mõlemad mõõdaksid jooksvalt temperatuuri samas kohas samal ajal(joonis 5.1). Ruumikontrollerite mõõtemooduleid, mida kontrollisin oli kaheksa ja igas ruumis üks.

Katsed sooritasin nädalavahetusel, siis ei toimunud ruumides tegevust. Sain ruumid nädalavahetuse alguseks lasta külmemaks ja katse ajaks panna ruum soojendama, et saada suuremat temperatuuride vahemikku, mis omakorda tähendab, et mõõdiseid tuleb kolm korda rohkem.

Selleks, et leida mõõtemoodulite mõõdistele parandid kasutasin sarnast meetodikat, mida kasutasin HOBO mõõturitel. Kui HOBO mõõturite puhul võrdlesin omavahel kõiki kaheksat mõõturit, siis nüüd võrdlesin omavahel ühe HOBO mõõturi mõõdiseid ühe ruumikontrolleri mõõtemooduli mõõdistega.



Joonis 5.1. Mõõtemoodulil ja HOBO mõõturi asetus temperatuuri mõõtmise ajal

Selle katse korral, aga tuli teha lisa tegevus kuna HOBO mõõturi ja mõõtemooduli mõõdiseid ei saanud sama kergelt võrrelda. Probleem oli selles, et mõõtemoodul ei mõõda sama intervalliga nagu HOBO mõõtur. Mõõtemoodulil ei ole kindlaks määratud mõõtmis intervall vaid on juhuslik. Kui mõõtur mõõtis kindla intervalliga ehk iga minuti jooksul, siis mõõtemoodul mõõtis 1-10 minuti vahemikus, kui temperatuur muutub. Seetõttu oli vaja eraldada mõõtemooduli mõõdised, mis olid mõõdetud samal ajal, kui HOBO mõõturi mõõdised. Käsitsi seda teha oleks läinud liiga kaua, kuna mõõdiseid, oli ühes katses vähemalt 2000. Selleks pidin tegema Excelis makro, mis teeks vajava töö lühikese aja jooksul.

Oli tehtud makro, mis otsib välja kõigile vastava ruumikontrolleri logi punktidele vastavused temperatuurid mõõturi logist nii, et tekib uus aegrida, kus igale kellaajale vastab kaks temperatuuri näitu: HOBO mõõturiga mõõdetud temperatuur ja ruumikontrolleri mõõtemooduliga mõõdetud temperatuur.

Esiteks teeb see võimalikuks samas teljestikus graafikute tegemise ja teiseks võimaldab see arvutada mõõtemooduli mõõdiste erinevust HOBO mõõturite mõõdistest ja sealtkaudu parandit. Kindlasti väheneb selleläbi andmemassiiv, kuna kõik mõõturi aegrea punktid, millele ei vasta punkti mõõtemooduli logis, jäävad andmebaasist välja.

Makrot pidi tegema kaks. Esimene võetab Ruumikontrolleri mõõtemooduli logi aja ja otsib HOBO mõõturi mõõdiste vaste samale ajamomendile ehk otsib välja, millisel ajahetkel on nii mõõtemoodulil, kui ka HOBO mõõturil tehtud mõõdised. Mõõdised, mis mõõtemoodul ja mõõtur tegid erinevatel ajahetkedel, need jätab makro välja.

Teine makro tegeleb mõõdistega, mida esimene makro välja otsis. Kuna esines mingit temperatuuri näitu rohkem kui ühel korral, siis võeti aegreast sama temperatuuri näitude aritmeetiline keskmine ja asendati ühe näiduga.

Aegreast kõrvaldati kõik liikmed, kus ruumikontrolleri mõõtemooduli mõõdis oli ühesugune ja asendati see ühe liikmega, kus mõõtemooduli temperatuurimõõdisele vastab samale temperatuurile vastanud HOBO mõõturite mõõdiste aritmeetiline keskmine.

5.2 Ruumikontrollerite mõõtemoodulitele parandi leidmine

Parandi arvutamine mõõtemoodulile toimus sama meetodika abil, mis kasutasin HOBO mõõturitel. Seekord aga pidi võrdlema kahte andmehulka, mitte kaheksat. Kuna seekord uurisin kahe mõõturi mõõdiseid, siis ei pidanud võrdlema HOBO mõõturite ja mõõtemooduli mõõdiseid nende mõõdiste keskmisega, vaid seekord võrlden mõõtemooduli mõõdiseid HOBO mõõturi mõõdistega.

Selleks, et parmini võrrelda oligi vaja teha teine makro, sest esines rohkem, kui kaks mõõdist samale temperatuurinäidule.

Parandid leidsin samamoodi nagu HOBO mõõturitele ehk kasutasin kuuenda astme polünoomregressiooni joont, millelt leidsin mõõtemooduli ja HOBO mõõturi mõõdiste erinevused poole kraadise sammuga. Joonises 5.2 on kujutatud ruumi A102 mõõtemooduli ja HOBO mõõturi mõõdiste erinevuste graafik erinevatel temperatuuridel koos polünoomregressiooni joonega.



Joonis 5.2. Ruumi A102 ruumikontrolleri mõõtemooduli ja HOBO mõõturi mõõdiste erinevus mõõtemooduli erinevate temperatuurimõõdiste korral

Ruumikontrolleri mõõtemoodulite ja HOBO mõõturite mõõdiste erinevust ei onlnud sama kerge analüüsida kui joonises 5.2. Olid mõõtemoodulid, kus mõõdiste erinevus HOBO mõõturitest, oli terve katse vältel väike ehk oli pidevalt -0.4 ja +0.4 kraadi vahel ja esinesid mõõtemoodulid, mille mõõdisteid oli palju raskem töödelda nagu esitatud lisa 7 kujutatud joonises, kus mõõdiste erinevus mõõtemooduli ja HOBO mõõdiste vahel oli -0.5 ja -1.6 vahemikus ja pidevalt järsult muutusid.

Tabel 5.1 Ruumi A102 mõõtemooduli parand

Temperatuur (Celsiuse kraad)	A102 erinevus (Celsiuse kraad)	mõõtur 6 parandid (Celsiuse kraad)	Lõpp-parand (Celsiuse kraad)
18.0	-1.34	-0.1	1.24
18.5	-1.12	-0.1	1.02
19.0	-1.13	-0.1	1.03
19.5	-1.12	-0.09	1.03
20.0	-1.05	-0.08	0.97

Tabelis 5.1 on näiteks välja toodud, mida kasutasin selleks, et leida ruumi A102 mõõtemoodulile parandid. Tabelis on välja toodud esimesest katsest leitud vastavale temperatuurinäidule HOBO mõõturi parand ja ruumi A102 mõõtemooduli erinevus HOBO mõõturi mõõdistest, mille leidsin jooniselt, kus olid mõõdiste erinevused esitatud polünoomregressiooni joone abil.

Tabelis on ka näha, et võrreldes esimese etapiga on temperatuuri vahemik väiksem. Kui esimeses etapis oli HOBO mõõturite korral temperatuuri vahemik 17-25 kraadi, siis mõõtemoodulite korral on temperatuuri vahemik kaheksa kraadi asemel mitte rohkem, kui neli kraadi. HOBO mõõtur 6 näitab vastavale mõõturile esimesest etapist leitud parandit. Lõpp-parand näitab mõõtemooduli mõõdiste erinevust HOBO mõõdistest, kus on arvesse võetud HOBO mõõturite parandid ja saadud lõpp-parandit saab kasutada ruumikontrolleri mõõtemooduli kalibreerimiseks. Lõpp-parandi leidsin, kui lahutasin samal temperatuurinäidul oleva mõõtur 6 parandi A102 erinevusest[[1], lk 321]. Tegin sarnase tehte kõikide mõõtemoodulitega, mille abil sain mõõtemoodulitele HOBO mõõturitega sarnase parandite tabeli (lisa 9).

Edasi sain leida igale ruumikontrolleri mõõtemoodulitele nende ühe kindla parandi, mis on kogu töö eesmärk. Mõõtemoodulitele ühe parandite leidmiseks leian igale mõõtemoodulile lõpp-parandite aritmeetilise keskmise ja saan igale ruumikontrolleri

mõõtemoodulile viiest parandist ühe. Iga ruumikontrolleri mõõtemoodulite keskmine parand mõõdiste korrigeerimiseks on näha tabelis 5.2. Tabeli põhjal on samuti näha, et on palju ruume, kus mõõtemoodulid mõõdavad ühe kraadise erinevusega, aga on paar mõõtemoodulit, kus erinevus on palju väiksem.

Tabel 5.2. Kõigi 8 mõõtemooduli parandid

Ruum	A102	A103	A104	A105	A202	A203	A204	A205
parand	1.06	1.1	0.86	1.18	0.86	0.15	1.01	0.32

Enne, kui saab olla täitsa kindel arvatud parandites tuli arvutada liitmääramatuse. Kuna esimeses ja ka teises etapis oli mõõdiste mõõdetud A-tüüpi hindamismeetodid kasutades ja teises etapis mõõtemoodulite parand oli arvatud kasutades esimese etapi tulemusi, siis on tarvis arvutada liitmääramatus ja kontrollida kas arvatud parandid jäävad liitmääramatuse piiridesse. [[1] lk 156]

Enne kui sain liitmääramatust hakata arvutama olid vajalikud nii HOB0 mõõturite ja mõõtemoodulite standardmääramatused. Mõõturite standardmääramatuse arvutamine tänu Excelile oli lihtsam, aga pidi korralikult jälgima, mis järjekorras tehted teha. [[1], lk 114]

HOB0 mõõturile arvutasin standardmääramatuse, kui võtsin ruutu HOB0 mõõturi mõõdiste erinevused mõõdiste keskmisest ja saadud ruudud kokku liita, mille käigus saan ainult ühe arvu. Saadud arv jagada läbi arvuga, mis on ühe võrra väiksem kui ridade arv tabelis ja lõpuks võtta ruutjuure ja saan mõõturile standardmääramatuse. Mõõtemoodulile arvutasin standardmääramatuse kasutates riistmääramatust. Nimelt, kui võtta tootja poolt määratud määramatuse(riistmääramatus) ja jagada läbi katteteguriga saab kergelt kätte standardmääramatuse. Kuna ei olnud antud tõenäosusvahemikku, siis võtsin selleks 90% kuna rohkemat ei saa eeldada, kui tootja poolt ei ole enam midagi selle kohta kirjas. [[1], lk 142]

Selleks et arvutada liitmääramatust tuleb võtta kasutatud HOB0 mõõturi ja mõõtemooduli standardmääramatused ruutu ja kokku liita. Saadud summast võtta ruutjuure ja saab liitmääramatuse. Liitmääramatuse vahemikuks sain ± 0.43 kraadi, mis tähendab, kui mõõtemooduli keskmine parand jääb liitmääramatuse sisse, siis ei ole nende mõõtemoodulite korral parandid vajalikud. [[1], lk 156-157].

Tabel 5.2 ja liitmääramatuse põhjal ei ole parandeid vajalikud ruumide A203 ja A205 ruumikontrollerite mõõtemoodulitele.

6. AUDITOOORIUMIDE RUUMIDE TEMPERATUURI EBAÜHTLUSE HINDAMINE.

Lõputöös kolmas ehk lisa etapp toimus, kuna sai kalibreeritud kaheksa HOBO mõõturit, mida võis paikudata erinevatesse ruumi osadesse temperatuuri jaotuse mõõtmiseks. HOBO mõõturite ja ruumikontrollerite mõõtemoodulite abil sai tuvastada auditooriumide temperatuuri ebaühtlust ja näha kui palju erineb ruumikontrolleri mõõtemooduli mõõdistest. Selleks tegin kolm eraldi katset kolmes erinevas ruumis kasutades kõiki kaheksat HOBO mõõturit ja ruumis olevaid ruumikontrolleri mõõtemoduleid. Iga katse korral muutsin mõõturite asukohta võrreldes eelmiste katsete ja ruumidega.

6.1 Temperatuuri ebaühtluse katsete kirjeldus

Katse tegemiseks võtsin mitu HOBO mõõturit ja panin nad ruumi erinevatesse osadesse, et saaks täpsemini teada, kuidas temperatuur jaotub ruumis.

Esimest katset tegin kahes ruumis korraga paigutades igasse ruumi kõigest neli HOBO mõõturit. Teine katse oli sarnane esimesega. Erines ainult see, et toimus kahe ruumi asemel ühes ja mõõturite asukoht oli erinev võrreldes esimese katsega. Kolmandaks katseks võtsin kõik kaheksa HOBO mõõturit ja paigutasin ühte ruumi.

Igas ruumis, kus katsed toimusid, olid olemas ruumikontrolleri mõõtemoodulid, mille mõõdiseid uurisin hiljem koos HOBO mõõtuuri mõõdistega. Igas katses kogusin ööpäevased mõõdised ehk järgmisel päeval pärast katse algatus kogusin kokku iga mõõtuuri mõõdised.

Esimese katse HOBO mõõturite jaotust saab näha lisa 2. Võetud oli kaks kõrvuti olevat klassiruumi A104 ja A105. Mõlemas ruumis, oli kasutatud ainult neli mõõturit ja tegin mõlemas ruumis katsed samal ajal. Selles katses otsustasin paigutada mõõturid rohkem ruumi keskele laua peale umbes meetri kõrgusel põrandast hoides eemale seintest ja akendest. Ruumide temperatuuri mõõtmine toimus umbes 15 tundi. Katse algas kell kolm päeval ja lõppes järgmise päeva hommikul.

Teiseks katseks oli võetud ruum A202 ja HOBO mõõturite jaotust saab näha lisa 4. See katse oli sarnane esimesele, kuna oli pandud ühte ruumi kõigest 4 mõõturit. Erines vaid ruum, kus katse toimus ja oli muudetud mõõturite asukoht ja mõndade

mõõturite kõrgust. Ruumis A202 paigutasin mõõturid ruumi keskosast eemale rohkem seinte ja akende lähedale.

Kolmandaks katseks oli võetud kõik 8 HOBO mõõturit ja pandud ühte ruumi A105. Mõõturite jaotust saab näha Lisas 3. Mõõtureid oli kasutuses rohkem, et saada rohkem mõõdiseid selle kohta, kuidas ruumis temperatuur jaotub. Selleks oli ära mõõdetud ka seinte ja põrandate temperatuurid. Kõik seitse mõõturit olid pandud laest rippuma välja arvatud ühe mõõturi, mis oli pandud tooli peale teise kahe mõõturi lähedale.

6.2 Temperatuuri ebahühtluse katsete tulemus

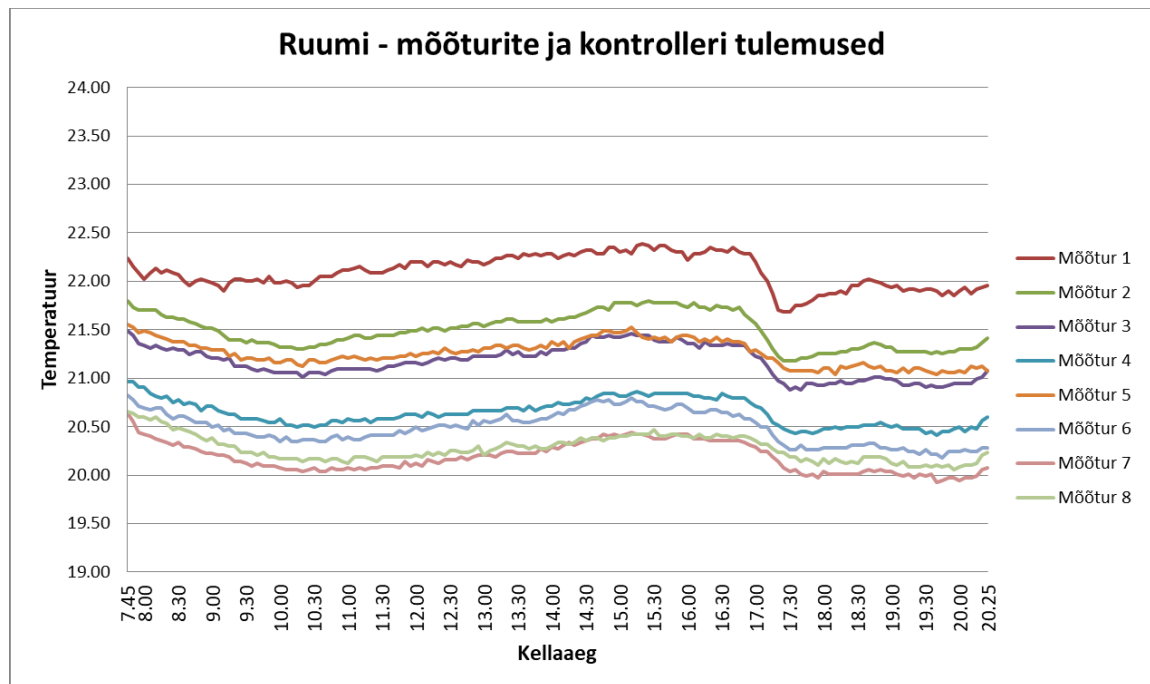
Esimene ja kolmas katse, olid tehtud nädalavahetusel, kui ruumides polnud inimesi ja muid tegevusi. Teine katse oli tehtud samuti nädala lõpu poole neljapäeval ja reedel. Teise katse ruumi nendel päevadel ei kasutatud ja sai teha katseid varem ei pidanud ootama nädalavahetust.

Lisas 8 on näha, millised on esimese katse ruumide A104 ja A105 HOBO mõõturite mõõdised. Ruumis A104 olid kasutusel mõõturid 5-8 ja ruumis A105 mõõturid 1-4. Mõlemas toas olid mõõturid paigutatud üksteisega võrreldes sarnastesse kohtadesse ja kuna mõlemad toad on üksteisega sarnased oli ootuspärane, et ka temperatuuri jaotus on nendes ruumides on sarnane.

Mõõturite mõõdiste erinevused tõid hästi välja, kuidas mõlemas ruumis esines üks HOBO mõõtur, mis sai teistest kolmest kõvasti erinevad mõõdised ja kolm mõõturit, mille mõõdiste erinevused olid kõigest poole kraadi suurused. Mõõturid mille mõõdised erinesid teistest asusid mõlemas ruumis samal kohal, ruumis eesosas ukse pool.

Teine katse toimus ruumis A202, kus on paigaldatud rohkesti arvuteid. Lisas 5 on kujutatud katsest saadud mõõdised. Toimus midagi sarnast nagu esimese katses, et kolm mõõturit näitavad üksteisega sarnast temperatuuri ja üks nendest erineb. Seekord, aga HOBO mõõtur, mis näitas teistest palju madalamat temperatuuri oli pandud otse akna ette. Kui mõõturi asukoht oleks rohkem akendest eemal, siis võib oletada, et tema mõõdised oleks olnud sarnasemad teiste kolme mõõturite mõõdistega.

Lisas 3 on kujutatud kolmandaks katseks (ruum A105) valitud kõigi kaheksa HOBO mõõtuuri asukohad ja ära märgitud millised, olid katse algul pöranda ja seinte temperatuurid.



Joonis 6.1. Ruumi A105 katse mõõtemooduli ja HOBO mõõturite mõõdised

Joonises 6.1 on näha, kuidas kõigi mõõturite mõõdised on 20 ja 23 kraadi vahemikus. Nagu eelmiste kahe katsega, et igas ruumis on kohad, kus temperatuur erineb teisest ruumi osast on sarnane olukord ka kolmanda katse korral. On näha, kuidas tagumises aknapoolses ruumi osas saadud nelja mõõtuuri mõõdised (mõõtur 7,8,6,4) on teistest mõõturite mõõdistest külmemad. Uksepoolsed kolme mõõtuuri mõõdised näitavad, et akendest eemal on temperatuur kõrgem.

Ruumi keskele oli pandud neli mõõturit, millest kaks olid akna pool (mõõtur 8,4) ja ukse pool (mõõtur 5,3) oli samuti kaks mõõturit. Kahe mõõtuuri mõõdised, mis olid akendest eemal olid peaaegu ühe kraadi võrra kõrgemat. Miks selliselt jaotub temperatuur oletan, et on akende tõttu, kuna aknad juhivad kergelt soojust. Samuti näitasid mõõturite mõõdised, et ruumi eesosa ja tagaosa on temperatuur samuti erinev vaatamata sellele, et ruumi eesosa kui tagaosa on üksteisega sarnased.

6.3 Temperatuuri ebaühtluse katsete põhjal järeldus

Kolme katse jooksul sai teada, et isegi, kui ruumis ei toimu tegevusi esineb üksikuid kohti, kus temperatuur erineb võrreldes üljäänud ruumis osadega 1 - 2 kraadi võrra. Kui palju ruumi erinevad osad üksteisest erinevad sõltub väga paljudest teguritest, mille peamisteks on: aastaaeg ja ilmastik, inimeste hulk ruumis ja nende paigutus, hoonel madal akende õhutihedus [6]

Sellistes olukordades, kus on palju tegureid, mis mõjutavad ruumi temperatuuri oleks hea, kui ruumikontrolleri mõõtemoodul suudaks mõõdaks võimalikult täpselt terve auditoriumi ruumi keskmist temperatuuri. Tehtud katsete põhjal on näha, et igas ruumis esineb koht, kus temperatuur erineb. Tänu sellele, et temperatuuri erinevus on niivõrd väike ei ole seda erinevust tunda.

Kuna oli võimalus uurida HOB0 mõõturite ja ruumikontrollerite mõõtemoodulite abil auditoriumide ruumide temperatuuri ebaühtlust, siis seda võimalust kasutasin. Selleks, et täpsemini teada, kuidas temperatuuri jaotub ruumides on kasulik teha katseid igal aastaajal, kui ruumides toimuvad erinevad tegevused ja näha kuidas ilmastik ja inimeste tegevused temperatuuri jaotus mõjutavad.

Suurem osa ruumist on samal temperatuuril, aga kahjuks on iga katse korral kohad, kus temperatuur võib teistest ruumi osadest kõvasti erineda. Miks ruumides, kus ei toimub mitte mingisugust tegevust võib esineda kohti, kus temperatuur on ebaühtlane ei saa täpselt öelda, kuna mõjutavaid tegureid on palju.

Katsetest tuli välja, et suurem osa ruumi katab sama temperatuur ja esinevad vaid üksikud väikesed alad, kus temperatuur erineb ülejäänud ruumist, tänu millele ühest ruumikontrolleri mõõteandurist piisab, et mõõta ruumi temperatuuri.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö ülesandeks oli Eluslaboratooriumi ruumikontrollerite mõõtemoodulite tööolukorras kalibreerimiseks käepärase meetodika leidmine ja selle meetodika järgi ruumikontrollerite mõõtemoodulite kalibreerimine kasutades parandid.

Ülesande täidsin kahe etapi kaupa, kus esimeses etapis kalibreeriti abiks võetud HOB0 mõõturid ja teises etapis kasutati kalibreeritud HOB0 mõõtureid, et kalibreerida mõõdemoodulid. Selleks tuli leida nii mõõturitele kui ka kontrolleritele parandite tabel, mis näitasid, kui mõõdiste erinevust korreksemast mõõdisest. Ülesande täitmiseks sai tehtud hulganisti katseid ja Exceli abil analüüsitud logisid. Sai ka tehtud Excelis kaks makrot, mis lihtsustasid logide ja andmete töötlemist.

Kokku oli kaheksa mõõtemoodulit ja neist kuuel tuli välja parandid ühe kraadi ümbruses. Kahel mõõtemoodulil, olid parandid alla 0.35 kraadi, kuna see on mõõtemääramatuse piirkonnas ei pea nende mõõtemoodulitel parandid sisestama.

Kuna lõputöö jooksul sai kalibreeritud kaheksa HOB0 mõõturid, siis viisin läbi lisa katsed, et näha kuidas maja auditooriumites jaotub temperatuur. Selleks oli lõputöö kolmas etapp.

Katsed olid tehtud ajal, kui ei toimunud ruumides tegevusi ja katsetest tuli välja, et igas ruumis esinevad väikesed ebaühtlased piirkonnad. Kuidas temperatuur võib ebaühtlaselt jaotuda, kui ruumis ei toimu tegevusi ei saa öelda. Kuna alad, kus temperatuur on ebaühtlane on väiksed, siis ruumikontrolleri mõõtemoodul suudab mõõta korrektselt ruumi temperatuur.

Kindel on see, et suurem osa ruumist on samal temperatuuri tasemel, tänu millele ruumikontrolleri mõõtemoodulid ei tohiks esineda probleeme ruumis oleva võimalikult täpse temperatuuri mõõtmisel. Võib kindlasti esineda olukordi ruumis, kus mõõtemooduli mõõdis ei saa olla tõene ruumi kõigi osade kohta, aga see oleneb kõvasti ilmastikust, inimest hulgast ja ruumides kasutatavatest sedmetest.

Lõputöö ülesande loen täidetuks, kuna sai leitud meetodika tänu millele leidsin parandid ruumikontrollerite mõõtemoodulite kalibreerimiseks.

SUMMARY

The task of this thesis is to find a handy methodology for the calibration of the temperature sensors of the Living Laboratory's room controllers in the operating situation and to calibrate the temperature sensors of the room controllers according to this methodology.

The task was completed in two stages, where in the first stage the HOBO gauges used were calibrated and in the second stage the calibrated HOBO gauges were used to calibrate the temperature sensors. For this, it was necessary to find improvements for both the meters and the controllers, which showed how big the measurement error is. To complete the task, a large number of tests were performed and logs analyzed using Excel. Two macros were also made in excel, which helped the processing of logs and data.

There were a total of eight room controllers, and six of them had corrections around one degree. Two room controllers had corrections below 0.35 degrees, which showed that the corresponding room controllers are in good condition.

Since the eight HOBO meters were calibrated during the thesis, I planned to conduct additional tests to see how the temperature is distributed in the auditoriums of the building. This was the third stage of the thesis.

The tests were done at a time when there was a minimal level of activity and it was still visible that there were small uneven temperature areas in each room. How the temperature can be distributed if the activities taking place in the room cannot be said. Since the areas where the temperature is uneven are small, the measuring module of the room controller can measure the temperature of the room correctly.

What is certain is that most of the room is at the same temperature level, thanks to which the room controller's temperature sensor should have no problem detecting the exact temperature in the room. There may definitely be situations due to the, where the reading of the room controller may not be true for all parts of the room, but it depends heavily on the weather, the number of people and the devices using it.

I consider the thesis task completed, because I found a methodology thanks to what I found a fix for calibrating the measuring modules of room controllers.

KASUTATUD KIRJANDUS

1.Rein Laaneots, Olev Mathiesen, Jürgen Riim, *Metroloogia. Õpik kõrgkoolidele*, TTÜ Kirjastus, Tallinn 2012.

2.Onset Computer Corporation, *HOBO Data Logger* , [Online]. URL: <https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/mx1101/>

3.Schneider Electric, *SCR Series Wall Mounted Sensors*, 01/11/2011, [Online]. URL: <https://www.se.com/ww/en/download/document/03-00143/>

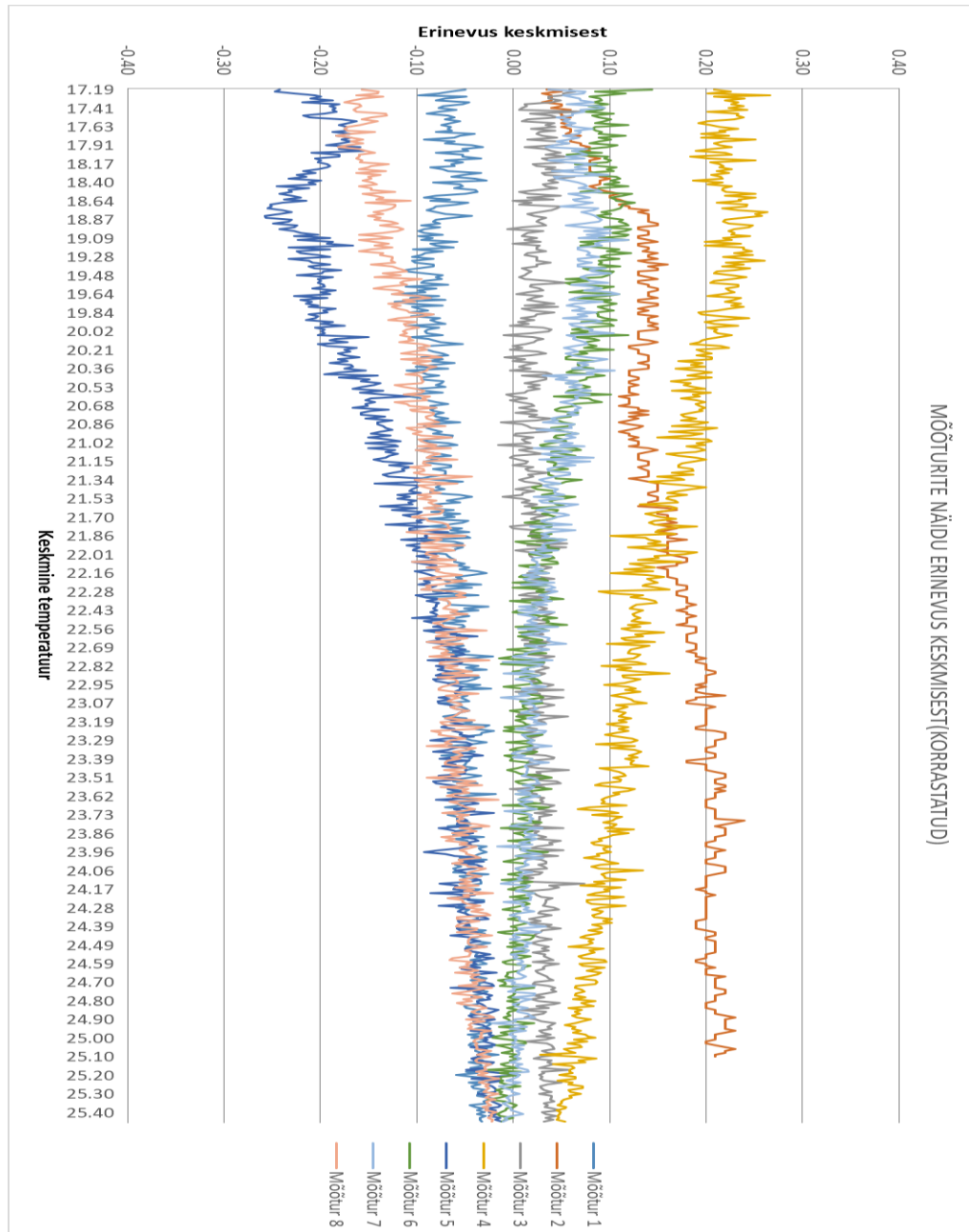
4. Taltech, *Eluslabor*, [Online]. URL: <https://taltech.ee/tartu-kolledz/laborid>

5. Taltech, *Tartu kolledž arendab laboribaasi*, 17.06.2021 [Online]. URL: <https://taltech.ee/uudised/tartu-kolledz-arendab-laboribaasi>

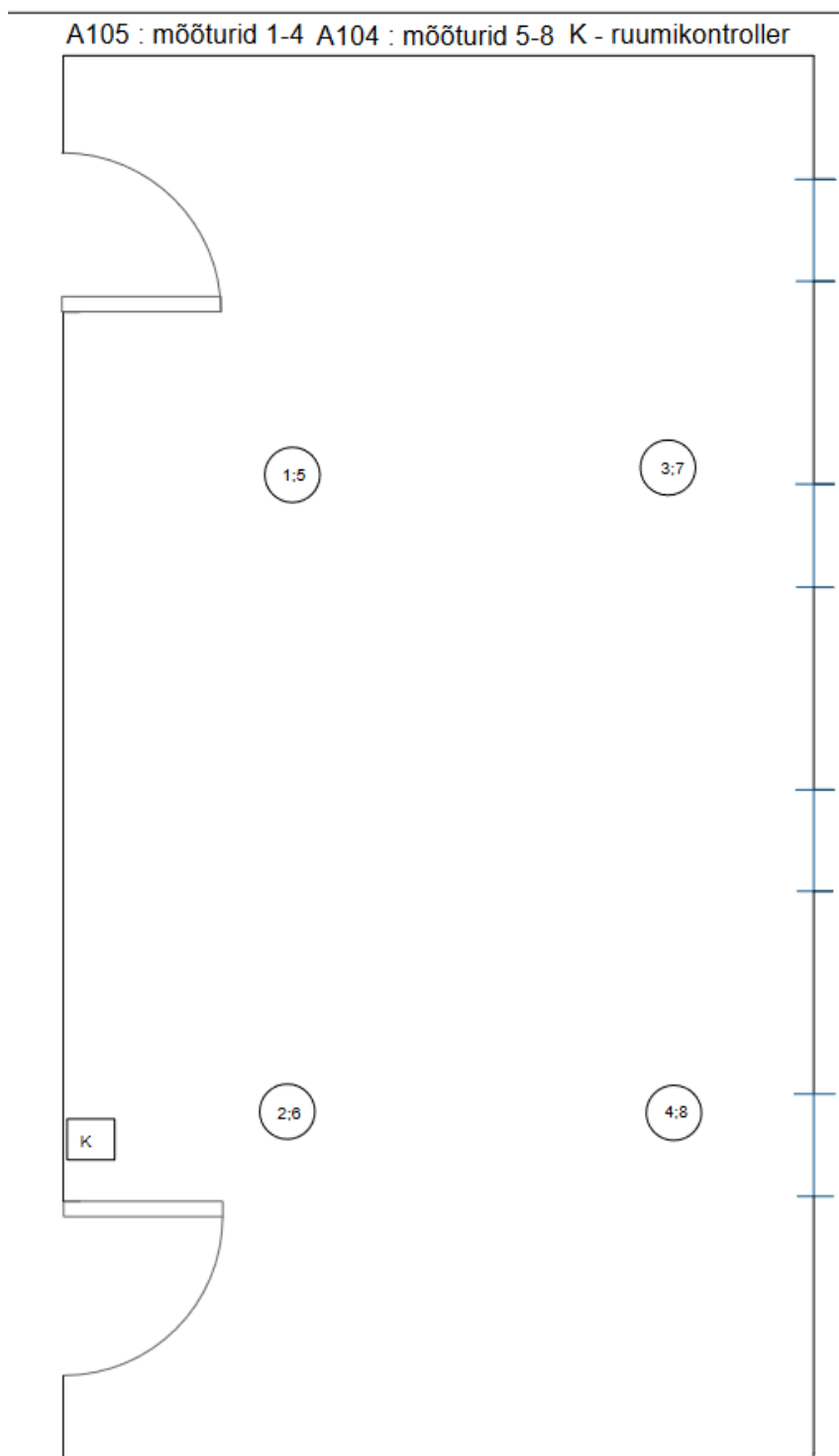
6. Department of energy, *Principles of Heating and Cooling*, [Online]. URL: <https://www.energy.gov/energysaver/principles-heating-and-cooling>

LISAD

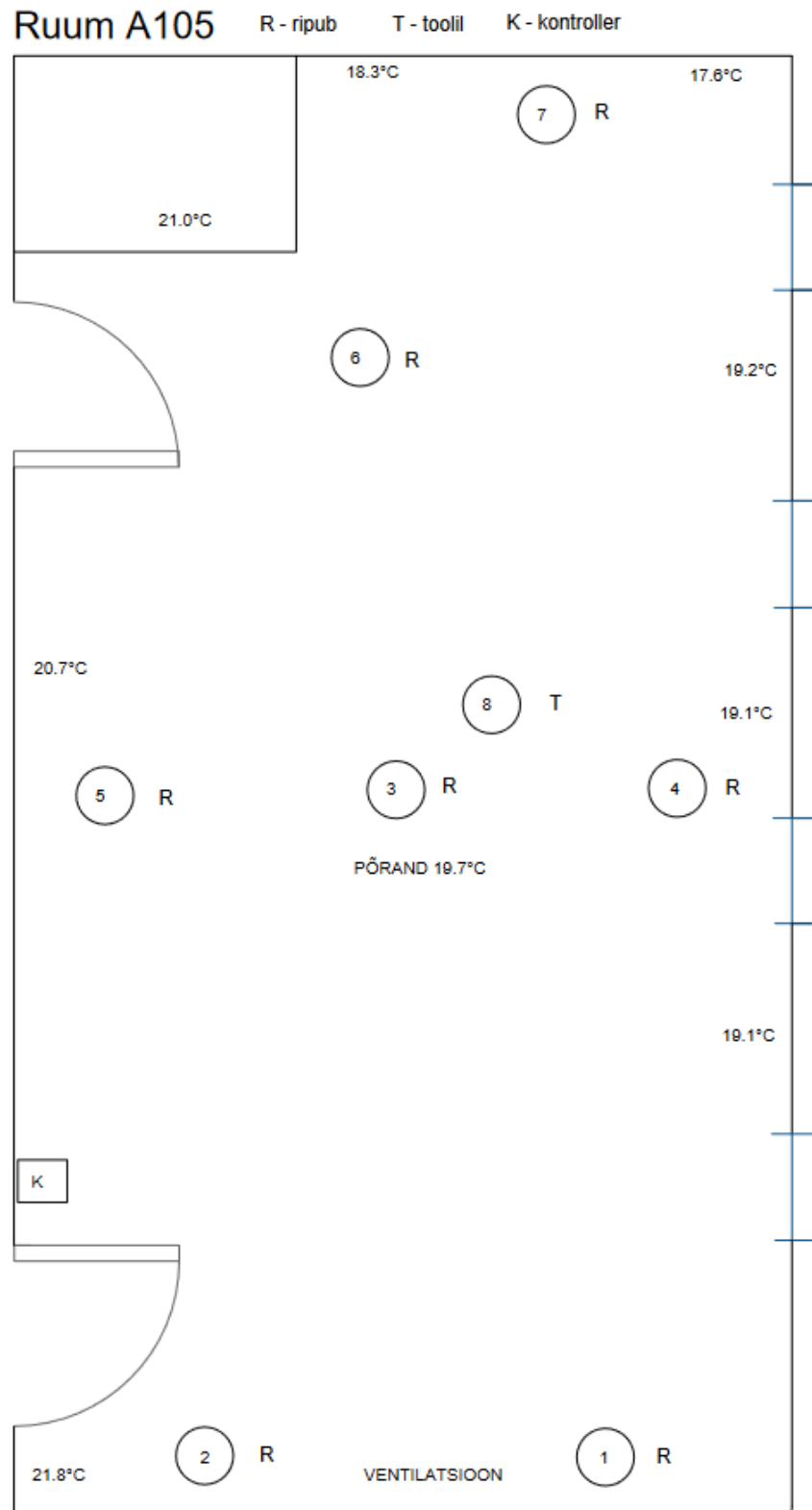
Lisa 1. HOBO mõõturite mõõdiste erinevus mõõdiste keskmisest(korrastatud)



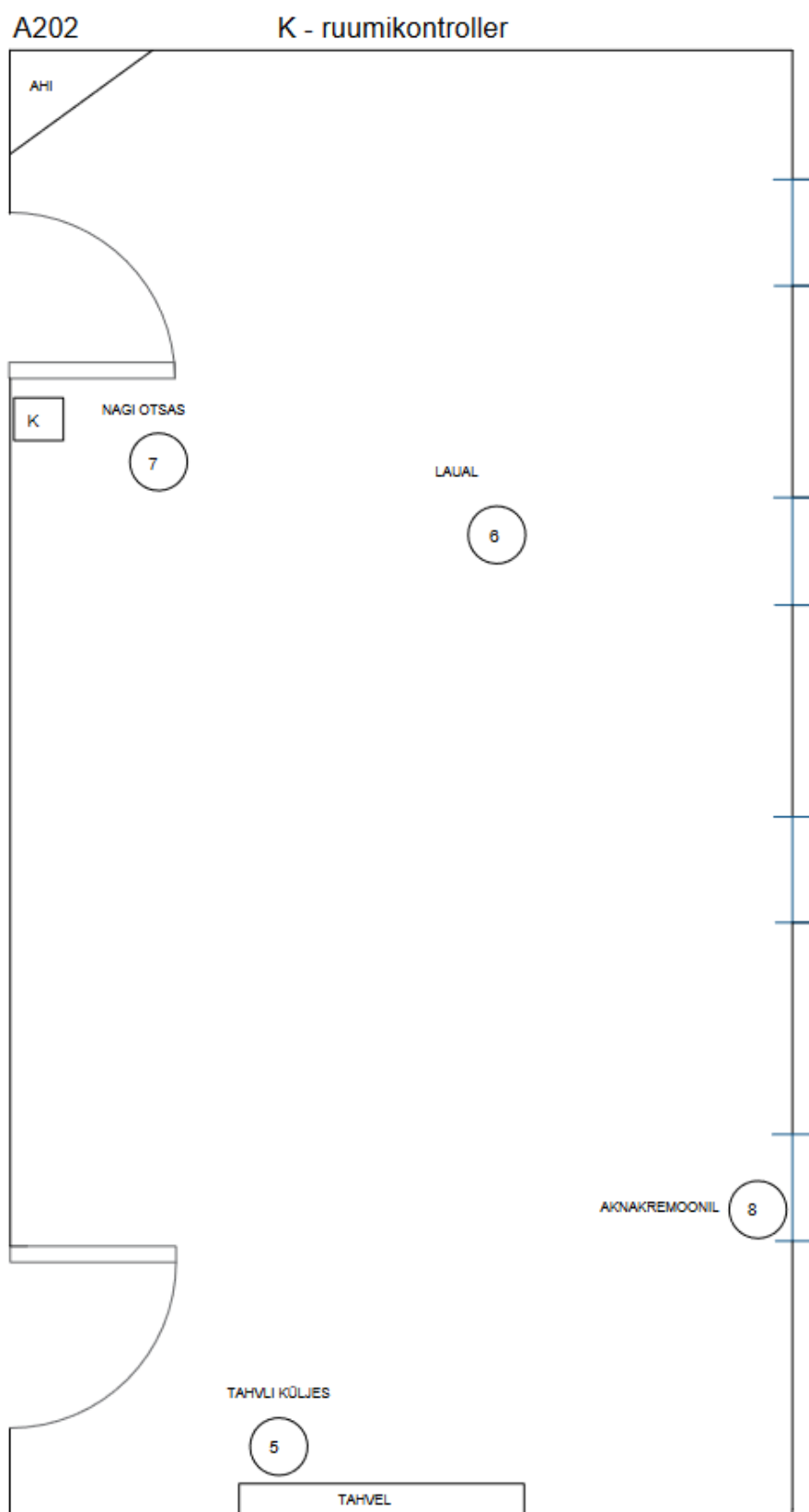
Lisa 2. Ruumide A104 ja A105 HOBO mõõturite paigutus katse ajal



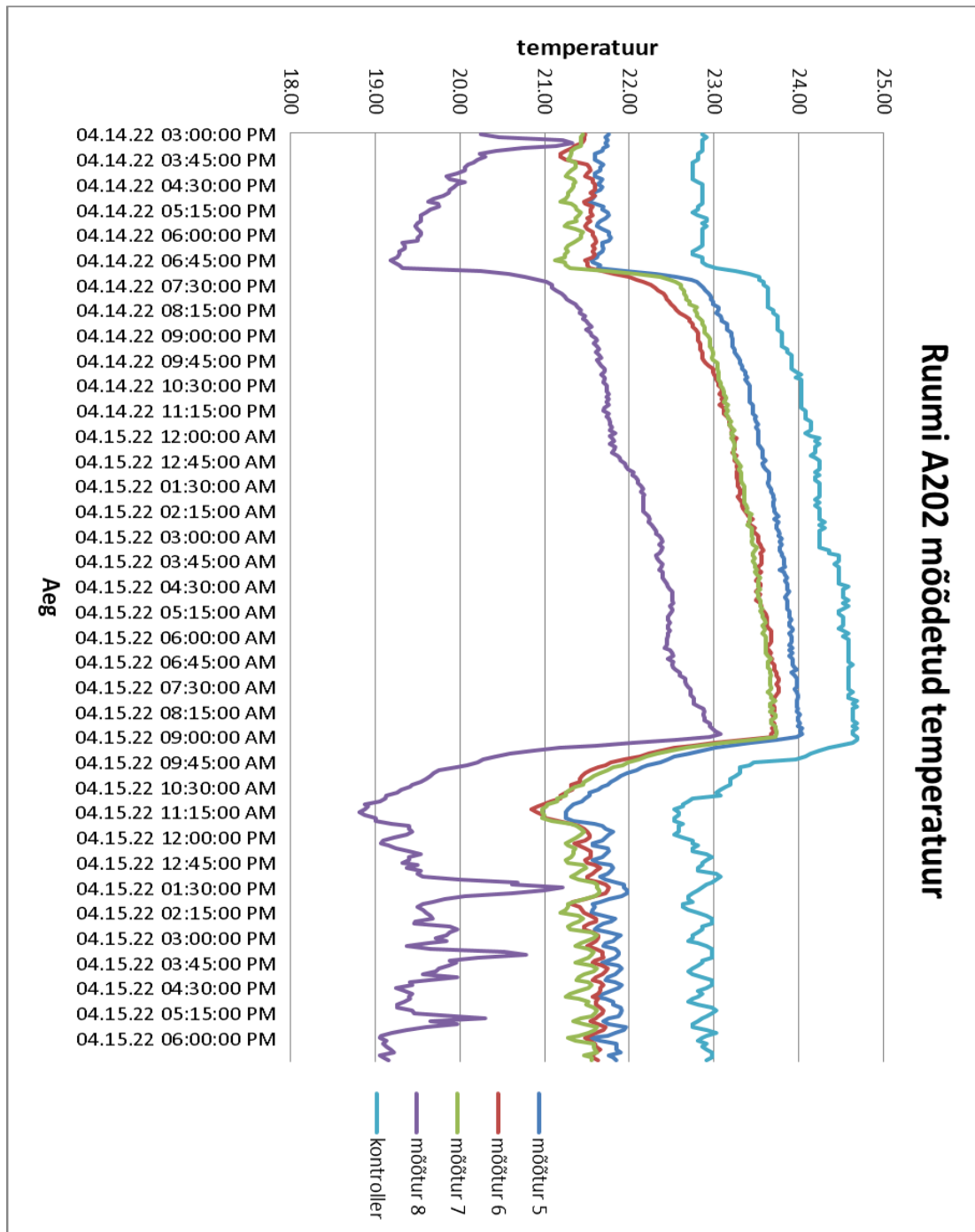
Lisa 3. Ruumi A105 HOBO mõõturite paigutus katse ajal



Lisa 4. Ruumi A202 HOBO mõõturite paigutus katse ajal



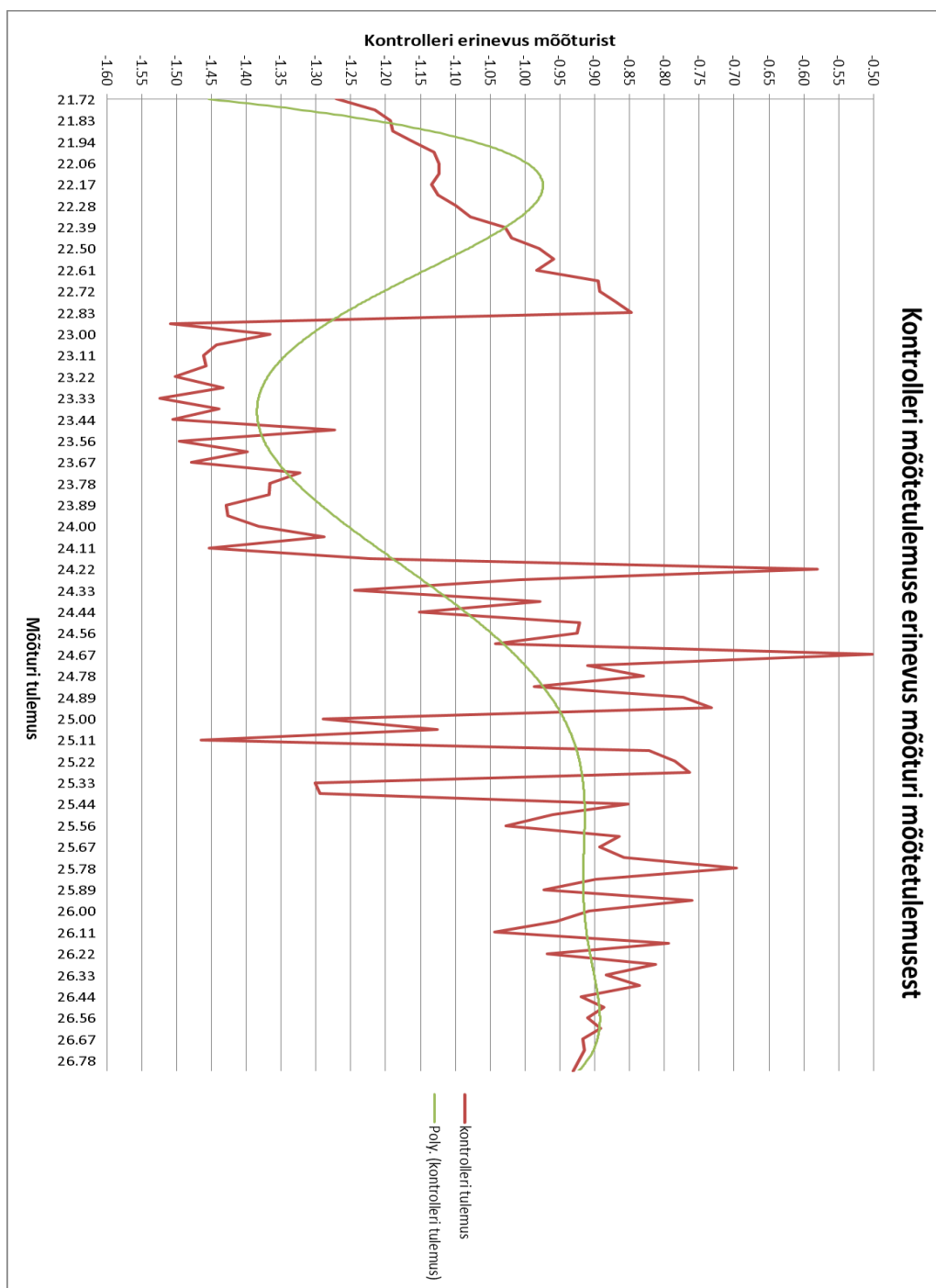
Lisa 5. Ruumi A202 mõõtemooduli ja HOBO mõõturi mõõdsised



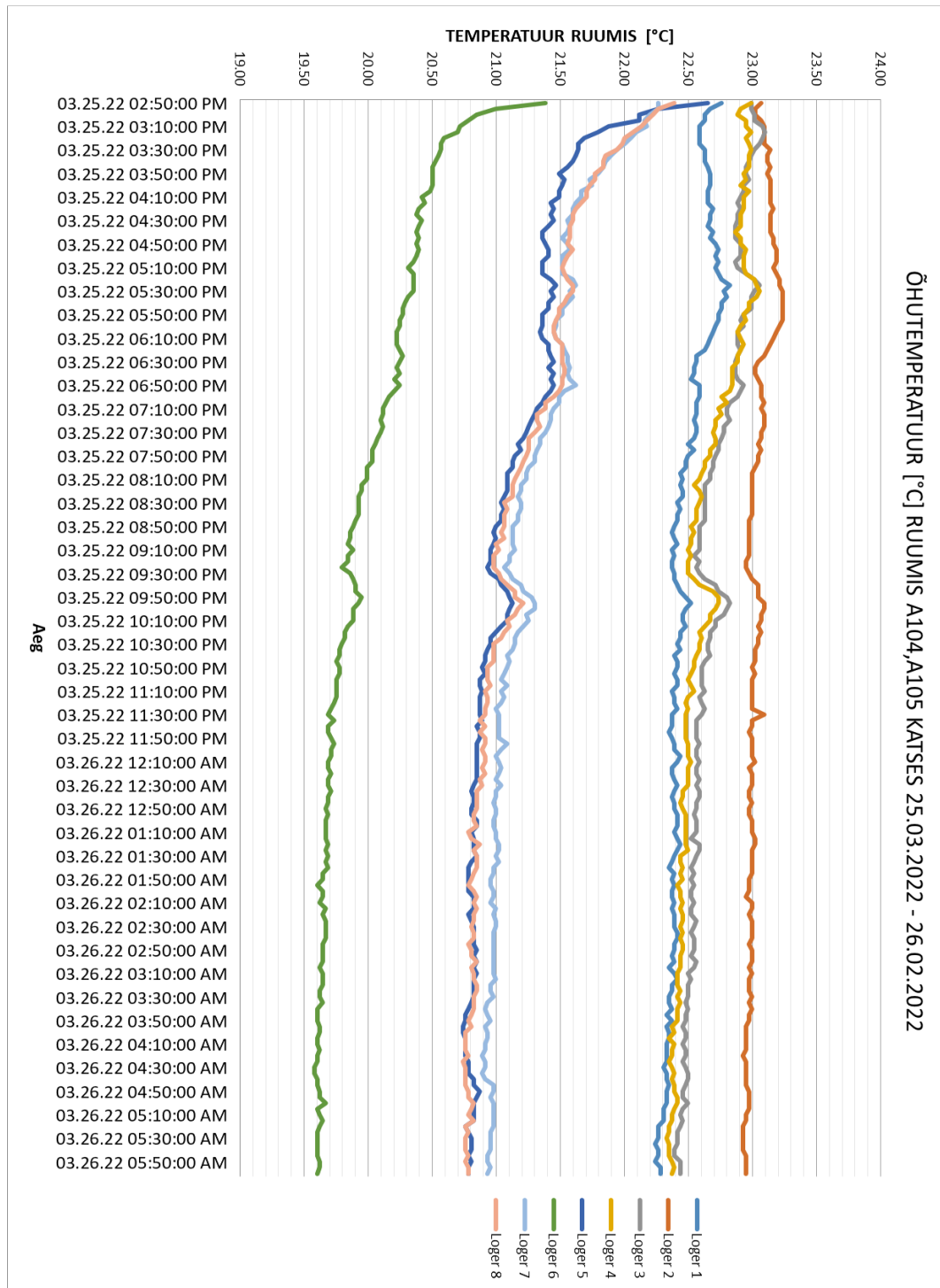
Lisa 6. HOBO mõõturite mõõdiste erinevus mõõdiste keskmisest

Temp. (°C)	HOBO 1 (°C)	HOBO 2 (°C)	HOBO 3 (°C)	HOBO 4 (°C)	HOBO 5 (°C)	HOBO 6 (°C)	HOBO 7 (°C)	HOBO 8 (°C)
17.0	-0.065	0.01	0.04	0.2	-0.18	0.09	0.06	-0.16
17.5	-0.06	0.045	0.04	0.22	-0.2	0.095	0.06	-0.16
18.0	-0.06	0.08	0.035	0.22	-0.21	0.1	0.07	-0.15
18.5	-0.07	0.11	0.03	0.225	-0.21	0.1	0.075	-0.14
19.0	-0.08	0.125	0.025	0.225	-0.21	0.1	0.08	-0.13
19.5	-0.085	0.13	0.02	0.22	-0.205	0.09	0.08	-0.12
20.0	-0.09	0.13	0.019	0.21	-0.19	0.08	0.07	-0.11
20.5	-0.085	0.13	0.019	0.2	-0.16	0.07	0.06	-0.1
21.0	-0.08	0.14	0.019	0.18	-0.14	0.05	0.05	-0.09
21.5	-0.07	0.145	0.02	0.16	-0.11	0.04	0.04	-0.08
22.0	-0.06	0.16	0.02	0.145	-0.09	0.03	0.03	-0.075
22.5	-0.055	0.18	0.025	0.125	-0.07	0.02	0.02	-0.07
23.0	-0.05	0.195	0.03	0.12	-0.065	0.015	0.02	-0.06
23.5	-0.05	0.21	0.03	0.11	-0.06	0.01	0.015	-0.055
24.0	-0.05	0.21	0.03	0.1	-0.05	0.01	0.015	-0.05
24.5	-0.04	0.2	0.03	0.08	-0.04	0	0.01	-0.04
25.0	-0.03	0.22	0.035	0.065	-0.025	-0.01	0	-0.04
25.5	-0.04	-	0.035	0.055	-0.025	-0.01	0	-0.02

lisa 7. A105 mõõtemooduli ja HOBO mõõturi mõõdiste erinevus



Lisa 8. Ruumi A104 ja A105 HOBO mõõturite mõõdised



Lisa 9. Ruumikontrolleri mõõtemooduli parandid erinevatel temperatuuridel

Temp. (°C)	A102 (°C)	A103 (°C)	A104 (°C)	A105 (°C)	A202 (°C)	A203 (°C)	A204 (°C)	A205 (°C)
18.0	1.24	-	-	-	-	-	-	-
18.5	1.02	-	-	-	-	-	-	-
19.0	1.03	-	-	-	0.93	0.02	-	0.24
19.5	1.03	-	-	-	0.88	0.11	-	0.30
20.0	0.97	-	-	-	0.82	0.16	-	0.42
20.5	-	-	-	-	0.83	0.20	-	-
21.0	-	-	-	-	0.91	0.27	-	-
21.5	-	1.36	-	-	0.82	-	-	-
22.0	-	1.26	0.83	1.12	-	-	1.03	-
22.5	-	1.19	0.94	1.15	-	-	1.12	-
23.0	-	1.03	0.93	1.38	-	-	1.10	-
23.5	-	0.89	0.84	1.44	-	-	1.00	-
24.0	-	0.86	0.78	1.31	-	-	0.93	-
24.5	-	-	0.82	1.11	-	-	0.94	-
25.0	-	-	0.88	0.97	-	-	0.98	-
25.5	-	-	0.88	0.94	-	-	0.97	-