



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Tartu kolledž

**RUUMIDE SISEKLIIMA ANDMETE ESMANE
ANALÜÜS MEIEPILVE ANDMETE PÕHJAL**

**INITIAL ANALYSIS OF INDOOR CLIMATE DATA BASED
ON MEIEPILV DATA**

RAKENDUSKÕRGHARIDUSTÖÖ

Üliõpilane: Reimo-Taavi Lõbu

Üliõpilaskood: 193136EDTR

Juhendaja: Taavi Kase, Insener

(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.

22. mai 2023

Autor:

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

22. mai 2023

Juhendaja:

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

"....."202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Reimo-Taavi Lõbu (sünnikuupäev: 25.03.1999)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Ruumi sisekliima andmete esmane analüüs MeiePilve andmete põhjal“, mille juhendaja on Taavi Kase,
 - 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.

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

/ allkirjastatud digitaalselt /

22.05.2023

Tartu kolledž

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Reimo-Taavi Lõbu, 193136EDTR
Õppekava, peeriala: EDTR17/18, Küberfüüsikalised süsteemid
Juhendaja(d): Insener, Taavi Kase, +372 5398 9158

Lõputöö teema:

Ruumi sisekliima andmete esmane analüüs MeiePilve andmete põhjal.
Initial analysis of indoor climate data based on MeiePilv data.

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Leida kui kiiresti kasvavad loengu jooksul ruumi temperatuur ja CO₂ kontsentratsioon
2. Leida, kui palju sõltub ruumi temperatuur välistemperatuurist

Töö keel: Eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: 22 mai 2023 a

Üliõpilane: Reimo-Taavi Lõbu 22. mai 2023 a / allkirjastatud digitaalselt /
Juhendaja: Taavi Kase 22. mai 2023 a / allkirjastatud digitaalselt /
Programmijuht: Aime Ruus ".....".....202....a / allkirjastatud digitaalselt /

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	7
Lühendite ja tähiste loetelu	8
SISSEJUHATUS	9
1. ÜLESANDE PÜSTITUS	10
2. ANDMED	11
2.1 Andmete töötlemine	11
2.2 Andmete analüüs	11
2.3 Klassiruumi optimaalne temperatuur ja CO ₂ kontsentratsioon	13
3. METOODIKA	14
3.1 Andmete kogumine	14
3.2 Andmete töötlemine	14
3.3 Ruumi temperatuuri ja CO ₂ kontsentratsiooni kasvu kiiruse leidmine	15
3.4 Ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahelise seose leidmine	16
4. RUUMI TEMPERATUURI JA CO ₂ TASEME KASVU KIIRUS	17
4.1 Andmete töötlemine	17
4.2 Oktoober 2022 loengute temperatuuri ja CO ₂ kontsentratsiooni kasvu kiirus ruumis A105	18
4.3 November 2022 loengute temperatuuri ja CO ₂ kontsentratsiooni kasvu kiirus ruumis A105	19
4.4 Veebruar 2023 loengute temperatuuri ja CO ₂ kontsentratsiooni kasvu kiirus ruumis A105	20
4.5 Märts 2023 loengute temperatuuri ja CO ₂ kontsentratsiooni kasvu kiirus ruumis A105	22
5. RUUMI TEMPERATUURI JA VÄLISE TEMPERATUURI VAHELINE SEOS	24
5.1 Ruumi A105 regressioonanalüüs	24
5.2 Ruumi A104 regressioonanalüüs	27
5.3 Ruumi A102 regressioonanalüüs	30
6. TULEMUSTE ANALÜÜS	34
6.1 Oktoober – november 2022 loengute temperatuuri ja CO ₂ kontsentratsiooni kasvu kiiruse tulemuste analüüs	34
6.2 Veebruar – märts 2023 loengute temperatuuri ja CO ₂ kontsentratsiooni kasvu kiiruse tulemuste analüüs	35
6.3 Ruumide temperatuuri sõltuvus välistemperatuurist 2022. a jaanuaris	35
6.4 Ruumide temperatuuri sõltuvus välistemperatuurist 2022. a aprillis	35

6.5 Ruumide temperatuuri sõltuvus välistemperatuurist 2022. a juulis	36
6.6 Ruumide temperatuuri sõltuvus välistemperatuurist 2022. a oktoobris	36
6.7 Ruumide temperatuuri sõltuvuste võrdlus eri kuudel	36
KOKKUVÕTE	37
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	38
LISAD	40

EESSÕNA

Lõputöö teema on sõnastatud autoril koostöös Tallinna Tehnikaülikooli Tartu kolledži inseneri Taavi Kasega. Töös on kasutatud Tartu kolledži poolt kogutavaid andmeid ruumide sisekliima kohta, mis on salvestatud Tartu kolledži MeiePilve.

Andmetöötlus, andmeanalüüs, rakenduskõrgharidustöö.

Lühendite ja tähiste loetelu

CSV – *Comma-separated value*. Komaga eraldatud väärtused. Failivorming, kus andmerea väärtused on eraldatud enamasti koma või semikooloniga.

IDE – *Integrated development environment*. Integreeritud programmeerimiskeskond. Rakendus, mis on mõeldud tarkvara arendamiseks ning sisaldab mitmeid tööriistu.

PPM – *Parts per million*. Miljondikosa. Väljendab mitu vastavat osakest on miljoni osakese kohta.

MPM – *Multi-Purpose Manager*. Mitmeotstarbeline juht. Juhtseade, mis juhib temaga ühenduses olevaid seadmeid.

SISSEJUHATUS

Tallinna Tehnikaülikooli Tartu kolledži Eluslaboris kogutakse MeiePilve serverisse andmeid ruumide sisekliima ja automaatikasüsteemide muutujate seisundite kohta. Praegu kogutavate andmetega analüüsi ei tehta.

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on teha MeiePilve kogutavate andmetega esmane analüüs. Töös keskendutakse kahele alameesmärgile: leida, kui kiiresti kasvavad loengu jooksul ruumi temperatuur ja CO₂ kontsentratsioon ning uurida ruumide temperatuuri sõltuvust välistemperatuurist.

Töö teoreetilises osas tehakse ülevaade MeiePilve kogutavatest andmetest, töös kasutatavatest andmetöötluse ja -analüüsi meetoditest ning nende rakendamisest. Töö praktilises osas rakendatakse andmetöötluse ja -analüüsi meetodeid ja tehakse ülevaade saadud tulemustest. Samuti tehakse saadud tulemuste põhjal järeldusi ning antakse soovitusi, mida edaspidi analüüsida.

1. ÜLESANDE PÜSTITUS

Käesoleva töö esimene eesmärk on leida, kuidas ja kui kiiresti muutub loengu jooksul ruumi siseõhu kvaliteet temperatuuri ja CO₂ kontsentratsiooni näitel. Seda uuriti, sest praegune Tallinna Tehnikaülikooli Tartu kolledži A hoone ventilatsioon on iganenud ning seda ootab renovatsioon. Käesoleva töö tulemuste abil on võimalik võrrelda renoveerimata ja renoveeritud ventilatsiooni tõhusust ruumi siseõhu kvaliteedile.

K. Jõgiste kirjeldab oma diplomitöös [1], et Tartu kolledži A hoone praegune ventilatsioon on juhitud manuaalselt seadistatavate programmikellade järgi, tööpäeviti töötab ventilatsioon täisvõimsusel kell 8-18 ning kell 18-8 poolvõimsusel. See on ebaefektiivne, sest enamik ajast seisab ruum tühjana ja ei vaja ventileerimist ning üleventileerimisega kaasneb ka soojakadu. Planeeritav uus ventilatsioonisüsteem on vajaduspõhine ning jälgib reguleerimisel ruumi hõivatust, aknakontakte, CO₂ kontsentratsiooni ning õhuniiskust.

Töö teine eesmärk on uurida ruumi temperatuuri sõltuvust välistemperatuurist. Neid andmeid saab kasutada võrdluseks, kui tehakse näiteks hoone remonttöid.

Tartu kolledži A hoone on 2-korruseline kivist hoone. Hoone fassaad on soojustamata ning aknad üle 15 aasta vanad. Aknad ja nende ümbrus on amortiseerunud, mis vähendavad hoone soojapidavust. Hoones asuvad loenguruumid kirde küljel ning edela küljel (lisa 1). Edela küljel asuvad loenguruumid on mõjutatud ka otseselt päikesevalgusest, kirde küljel asuvatesse loenguruumidesse otsene päikesevalgus ei paista.

Kogutavaid andmeid hoiustatakse MeiePilve andmebaasis. MeiePilvele edastavad andmeid Tartu kolledži A hoones MPM kontrollid, mida on hoones kolm tükki. MPM kontrollid suhtlevad ruumikontrolleritega. Ruumikontrollerid koguvad andmeid ruumi temperatuuri, suhtelise õhuniiskuse, CO₂ kontsentratsiooni, valgustugevuse ja hõivatuse kohta. Ruumikontrolleritele on lisatud täiendavad mõõtemoodulid, mis mõõdavad ruumi temperatuuri ja CO₂ kontsentratsiooni. Ruumikontroller suhtleb radiaatorite klapiajamitega ning saab informatsiooni akende avatuse kohta läbi EnOcean raadio väljundmooduli. Lisaks on suurematesse ruumidesse paigutatud täiendavad kohalolekuandurid.

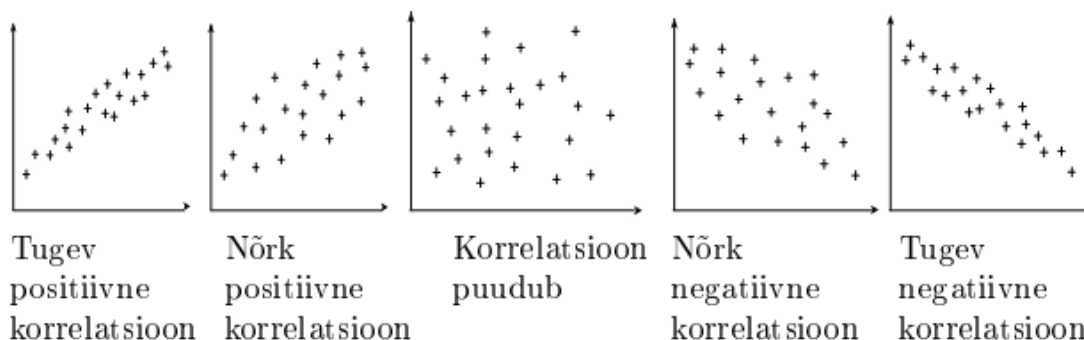
2. ANDMED

2.1 Andmete töötlemine

Suurte andmehulkade kogumisel mitmelt erinevalt seadmelt on paratamatu, et tekivad andmerekad, milles esinevad anomaaliad ning vahel on andmerekad puudulikud. Madala kvaliteediga andmetest on keerulisem saada soovitud tulemusi ning seetõttu on mõistlik andmeid enne analüüsimist puhastada ja töödelda. Andmete puhastamise protseduurid proovivad täita puuduolevad väärtused ja siluda kõrvalekaldeid. Puuduolevaid väärtusi täidetakse enamasti konstant, mediaan või keskmise väärtusega. MeiePilves olevad andmed on hea kvaliteediga ning suurt töötlust ei vaja. Käesolevas töös kasutati andmete töötlemiseks libiseva keskmise meetodit. Libiseva keskmise meetodit kasutati temperatuuri ja CO₂ kontsentratsiooni andmete silumiseks, sest libisev keskmine silub lühiajalisi kõikumisi ning toob paremini esile trende. Alternatiivina kaaluti ka eksponentsilumise kasutamist. Eksponentsilumine on võrreldes libiseva keskmisega kiiremini reageeriv ehk muutused andmetes kajastuvad kiiremini, aga seetõttu ei silu lühiajalisi kõikumisi nii hästi kui libisev keskmine. Kuna temperatuuri muutumine ruumis on aeglane protsess ning käesolevas töös pole vaja tuvastada kiireid muutuseid temperatuuris, siis otsustati töös kasutada libiseva keskmise meetodit. [2]

2.2 Andmete analüüs

Üks andmete analüüsimise võimalusi on korrelatsioonide leidmine. Korrelatsioon näitab, kui tugevalt on üks tunnus sõltuv teisest tunnusest. Korrelatsioon võib olla nõrk või tugev ning positiivne või negatiivne. Samuti võib korrelatsioon puududa. Tugeva korrelatsiooni korral on andmepunktid hajumisdiagrammil tihedalt koos ning nõrga korrelatsiooni korral hajusalt. Positiivse korrelatsiooni korral on hajusdiagrammil eristatav suund diagonaalis alt üles ning negatiivse korrelatsiooni korral diagonaalis ülevalt alla (joonis 2.1). [2]



Joonis 2.1. Korrelatsiooni hajuvusdiagrammid.

Korrelatsiooni olemasolu ei tähenda, et tegemist oleks põhjusliku seosega. Põhjusliku seose leidmiseks tuleb andmeid veel analüüsida, aga korrelatsioon on hea indikaator näitamaks, kas edasine analüüs on mõttekas. Kui tunnuste väärtused on erinevate ühikutega, kuid seostuvad lineaarselt, siis sobib seoste tugevuse hindamiseks lineaarne korrelatsioonikordaja ehk Pearsoni korrelatsioonikordaja. Pearsoni korrelatsioonikordaja arvutatakse valemiga: $r = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{n\sigma_X\sigma_Y}$, kus r on Pearsoni korrelatsioonikordaja, n on valimi maht, \bar{x} ja \bar{y} aritmeetilised keskmised ning σ_X ja σ_Y vastavad standardhälbed. Pearsoni korrelatsioonikordaja väärtus on vahemikus -1 kuni 1. Kui korrelatsioonikordaja on suurem kui 0, siis on tegemist positiivse korrelatsiooniga ning kui korrelatsioonikordaja on väiksem kui 0, siis on tegemist negatiivse korrelatsiooniga. Kui korrelatsioonikordaja on 0, siis korrelatsioon puudub. Nõrk seos on juhul, kui korrelatsioonikordaja absoluutväärtus on väiksem-võrdne 0,3-st, keskmise tugevusega seose korral on korrelatsioonikordaja absoluutväärtus vahemikus 0,3 – 0,7 ning tugev seos on juhul, kui korrelatsioonikordaja on suurem-võrdne 0,7-st. [2]

Kui tunnuste seos ei ole lineaarne või on vaja vähendada erindite mõju, siis kasutatakse astak korrelatsioonikordajat ehk Spearmani korrelatsioonikordajat. Spearmani korrelatsioonikordaja leitakse valemiga: $r_s = 1 - \frac{6\sum d_i^2}{n(n^2-1)}$, kus r_s on Spearmani korrelatsioonikordaja, n väärtuspaaride arv ja d_i erinevates gruppides kõrvuti olevate järjekorranumbrite vahe. Spearmani korrelatsioonikordaja jääb vahemikku -1 kuni 1. Spearmani korrelatsioonikordaja puhul eristatakse monotoonset ja mitte-monotoonset sõltuvust. Sõltuvus on monotoonne, kui ühe tunnuse suurenedes suureneb ka teine tunnus või kui ühe tunnuse vähenedes väheneb ka teine tunnus. Mitte-monotoonse sõltuvuse korral väheneb üks tunnus teise tunnuse suurenedes. [2]

Seoseid saab matemaatiliselt modelleerida kasutades regressioonanalüüsi. Regressioonanalüüsi põhjal koostatakse regressioonimudel. Regressioonimudelid jaotuvad lineaarseks ja mittelineaarseks. Lineaarse regressioonimudeli üldkuju on $y = \alpha x + \beta + \varepsilon$, kus α ja β on mudeli parameetrid ning ε on juhuslik liige. $\alpha x + \beta$ on deterministlik komponent ning ε on juhuslik komponent. Analüüsimiseks on vaja leida deterministlik komponent. Juhuslik komponent on ebaoluline ning seda analüüsiks vaja pole. Mudeli parameetrite leidmist nimetatakse lineaarseks regressioonülesandeks. Leitakse α ja β väärtused, mis kõige paremini kirjeldavad punktipilve. Graafiliseks kujutamiseks koostatakse 2 tunnuse vahel hajuvusdiagramm ning kantakse graafikule saadud lineaarse võrrandi sirge. [2]

Lisaks saab leida ka determinatsioonikordaja – R^2 . Determinatsioonikordaja on suhtarv, mis jääb vahemikku 0 kuni 1 ning näitab seose tugevust. Mida lähemal on determinatsioonikordaja ühele, seda tugevam on seos. Lineaarse mudeli

determinatsioonikordaja võrdub lineaarse korrelatsioonikordaja ehk Pearsoni korrelatsioonikordaja ruuduga. [2]

2.3 Klassiruumi optimaalne temperatuur ja CO₂ kontsentratsioon

Määruse Tervisekaitseõuded koolidele [3] paragrahv 12 punkt 3 kohaselt võib õpperuumi CO₂ kontsentratsioon olla kuni 1000 PPM. Määrus kehtib põhikoolidele ja gümnaasiumitele, kuid seda võib rakendada ka kõrghariduskoolidele. Seppäneni jt. uuringus [4] leiti, et kontoritöötajate produktiivsus suureneb kuni temperatuurideni 21-22 °C ning produktiivsus langeb alates temperatuuridest 23-24 °C. Leiti samuti, et kõige suurem on kontoritöötajate produktiivsus temperatuuril 22 °C.

3. METOODIKA

3.1 Andmete kogumine

Andmed on MeiePilvest allalaetavad CSV failidena. Ruumide andmetabelis on veerud ruumi temperatuuri, suhtelise õhuniiskuse, seadetemperatuuri, hõivatuse, CO₂ kontsentratsiooni, valgustugevuse, aknakontaktide seisu, kütmise, CO₂ pseudo kontsentratsiooni ning valve oleku kohta. Lisaks lisab server igale andmereal ajamärgise veeru. Töös ei kasutata andmeid valgustugevuse ja CO₂ pseudo kontsentratsiooni kohta, sest valgustugevus ei anna töö kontekstis lisandväärtust ning CO₂ pseudo kontsentratsiooni näit on arvutatud erinevate parameetritega ning mõeldud renoveeritud ventilatsioonisüsteemi juhtimiseks. Välistemperatuuri andmed on võetud Keskkonnaagentuuri veebilehelt, mille mõõtmised on tehtud Tõravere ilmajaamas.

MeiePilves leiduvate andmetega on mõned puudused. MeiePilve salvestatakse parameeter ruumi hõivatuse kohta, kuid see ei näita, mitu inimest ruumis on, vaid näitab, kas keegi viibib ruumis või ei. Kuna iga inimene eritab ruumi soojust ja CO₂-te, siis oleks paremaks analüüsiks vaja ka teada inimeste arvu. Praegu on teada ainult arv, kui palju loengutes inimesi osalema peaks, kuid suure tõenäosusega ei ole loengute osalus 100 %. Lisaks ei saa täielikult usaldada ka ruumi hõivatuse näitajat, sest leidub andmeridu, kus ruumi hõivatuse näitaja on 1, kuid tegelikult seda olla ei saa, sest hoone on valve all ning teated alarmi käivitumisest puuduvad. Ruumi akendele on paigaldatud andurid, mis tuvastavad, kas aken on lahti või kinni. Samaväärsed andurid puuduvad ruumi ustel. Uste avatus muudab oluliselt ruumi kliimat, sest ruumi mahule on sel juhul liidetud ka koridori maht ning suureneb õhu liikuvus. MeiePilve kogutakse andmeid ka ilmajaamalt, kuid andmed alates 2022. maist puuduvad. Seetõttu tuli töö jaoks kasutada andmeid Keskkonnaagentuurilt.

3.2 Andmete töötlemine

Andmete töötlemiseks kaaluti kahe programmeerimiskeele kasutamist: Python ja R. Python on üldotstarbeline programmeerimiskeel, mille peamiseks kasutusalaadeks on veebiarendus, arvutimängud ning andmeteadus. R on samuti üldotstarbeline programmeerimiskeel, kuid see on peamiselt mõeldud andmeteaduseks. [5]. Mõlemad programmeerimiskeeled on avatud lähtekoodiga [5], mis tähendab, et kogu programmi dokumentatsioon ning kood on kõigile kättesaadav ning piiranguteta või väheste piirangutega modifitseeritav ja levitatav [6]. Pythoni ja Ri süntaksid on sarnased ning algajasõbralikud, sest sarnanevad inimeste kasutatavale keelele. Pythonis programmeerimiseks on levinud Jupyter Notebooks IDE ning R-is programmeerimiseks RStudio IDE [5].

Käesolevas töös on andmete töötlemiseks ja analüüsiks kasutatud R-i ning selle IDE-t RStudio. Selline valik tehti, sest RStudio IDE ning R-i funktsioonide kasutamine oli töö autori jaoks mugavam ning andmete visualiseerimise võimalused töö kontekstis paremad.

Ruumikontrolleri andmed salvestatakse MeiePilve iga 2,5 minuti järel. Keskkonnaagentuurilt pärinevad temperatuuriandmed igal täistunnil. Ühise andmetabeli loomiseks oli vaja lisada igale ruumikontrolleri andmeregale välistemperatuuri andmepunkt. Käesolevas töös on see lahendatud nii, et igale ruumikontrolleri andmeregale on leitud sellele andmeregale ajaliselt kõige lähim välistemperatuuri andmepunkt. See tähendab, et suurim ajaline erinevus ruumikontrolleri andmeregale ja välistemperatuuri andmepunkti vahel on 30 minutit. Kuna välise kliima muutumisprotsessid on võrdlemisi aeglased, siis selline ajaline erinevus andmete üldpilti oluliselt ei mõjuta.

Libiseva keskmise arvutused on tehtud R-i funktsiooniga *rollmean(andmed, samm, täiteväärtus, joondus)*. Käesolevas töös on kasutatud sammu parameetrit 9, mis tähendab, et arvutatakse umbes 22,5 minuti keskmine. Selline valik tehti, sest see ajavahemik on piisav, et siluda lühiajalised anomaaliad ning mitte liialt moonutada temperatuuri liikumist. Täiteväärtuse parameetrina kasutati väärtust *NA*, mis tähendab, et puuduolevad väärtused jäetakse välja. Joonduse parameetrina kasutati väärtust *right*, mis tähendab, et keskmise arvutamiseks kasutatakse leitavale väärtusele eelnevat väärtusi.

3.3 Ruumi temperatuuri ja CO₂ kontsentratsiooni kasvu kiiruse leidmine

Ruumi temperatuuri ja CO₂ kontsentratsiooni kasvu kiiruse leidmiseks loengu jooksul uuriti päeva esimesi loenguid loenguruumis A105. Vaadeldi ruumi A105 tunniplaani ning ruumi temperatuuri ja CO₂ kontsentratsiooni liikumise graafikuid, et tuvastada, millal toimusid päeva esimesed loengud. Ainult päeva esimesi loenguid uuriti seetõttu, et loengute vahepealse aja jooksul ei jõua ruumi sisekliima taastuda normaalsele tasemele. Kasvu kiiruse arvutamiseks võeti ruumi temperatuuri ja CO₂ kontsentratsiooni väärtused loengu alguses, 30 minutit peale loengu algust, üks tund peale loengu algust ning loengu lõpus. Kasvu kiiruste leidmiseks kasutati valemit: $(\text{lõppväärtus} - \text{algväärtus}) / \text{aeg}(h)$. Kasvude võrdlemiseks leiti kasvu kiirused igal pooltunnil ning kasvu kiirused terve loengu jooksul.

Uuriti ja võrreldi nelja kuu andmeid: oktoober ja november 2022 ning veebruar ja märts 2023. Sellised andmed valiti, et saaks võrrelda kahe kuu andmeid, kus on sarnane tunniplaan, kuid erinev keskmine väline õhutemperatuur. Kahe kuu võrdluses võime eeldada, et loengutes käib sarnane hulk inimesi ning saame välja uurida, kas ja kui palju

avaldata väline õhutemperatuur mõju ruumi temperatuuri ja CO₂ kontsentratsiooni kasvu kiirusele.

R-i funktsioon *cor.test(x, y, method)* võimaldab meil genereerida Pearsoni ja Spearmani korrelatsioonikordajad. Parameeter *x* ja *y* väärtusteks on andmed ning parameeter *method* väärtuseks korrelatsioonikordaja tüüp, mis käesolevas töös on nii Pearson kui Spearman.

3.4 Ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahelise seose leidmine

Ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri seose leidmiseks vaadeldi andmeid vahemikus kell 17-08, et vähendada võimalikku inimeste mõju ruumi parameetritele. Lisaks filtreeriti välja olukorrad, mil aken oli lahti, sest see avaldata otsest mõju ruumi parameetritele. Vaadeldi seost ruumi temperatuuri ja välise temperatuuri vahel erineva keskmise õhutemperatuuriga kuudel.

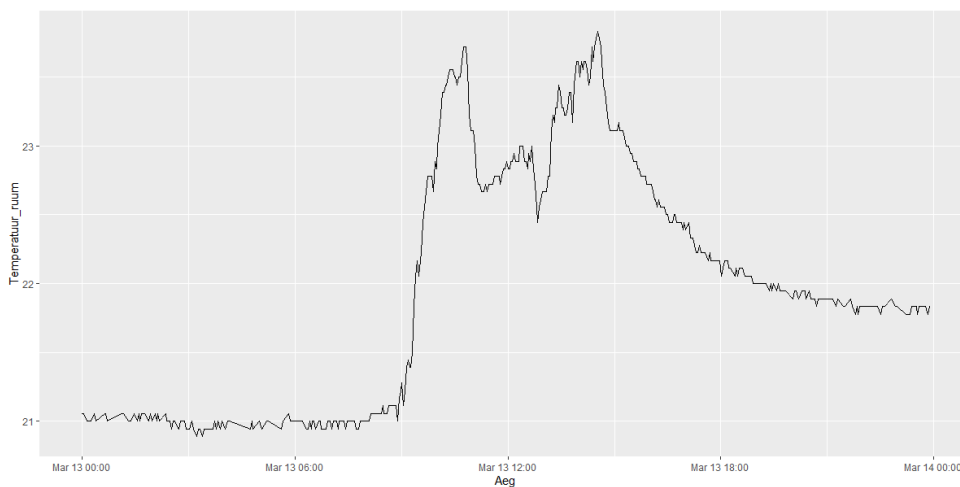
Analüüs on tehtud kolme ruumi kohta: A105, A104 ning A102. Need ruumid valiti, sest need on sarnase suurusega üldotstarbelised loenguruumid. Lisaks asuvad ruumid A105 ning A104 hoone kirde küljel ning A102 hoone edela küljel. See võimaldata võrrelda, kas ühel küljel asuvad ruumid käituvad sarnaselt ning, kas erinevatel külgedel asuvad ruumid käituvad erinevalt. Analüüsiks on kasutatud 2022. aasta jaanuari, aprilli, juuli ja oktoobri andmeid. Sellised andmed valiti, et saaks võrrelda erinevate keskmiste välistemperatuuridega kuid.

Hajuvusdiagrammid on koostatud R-i funktsiooniga *plot(x, y)*. Parameetrik *x* on x-teljel asuvad andmepunktid, käesoleva töö puhul välistemperatuur, ning parameetrik *y* on y-teljel asuvad andmepunktid, mis on käesoleva töö puhul ruumi temperatuur. Hajuvusdiagrammile on lisatud lineaarne regressioonjoon, tähistatud punasega, ning sujuv regressioonjoon, tähistatud sinisega. Lineaarne regressioonjoon on lisatud funktsiooniga *lm(vastus~ennustaja)*. Parameeter *vastus* on väärtus, mida me üritame ennustada, käesolevas töös ruumi temperatuur, ning parameeter *ennustaja* on väärtus, mille põhjal me ennustatavat vastust ennustame, käesolevas töös välistemperatuur. Sujuv regressioonjoon on lisatud funktsiooniga *lowess(x, y)*. Parameetrik *x* on x-teljel asuvad andmepunktid, käesolevas töös välistemperatuur, ning parameetrik *y* on y-teljel asuvad andmepunktid, käesolevas töös ruumi temperatuur. Regressioonvalemit saab leida funktsiooniga *summary(data)*, mille *data* väärtuseks on funktsioon *lm(vastus~ennustaja)*. Funktsioon kuvab koefitsiendid, mille põhjal saab koostada regressioonvalemi.

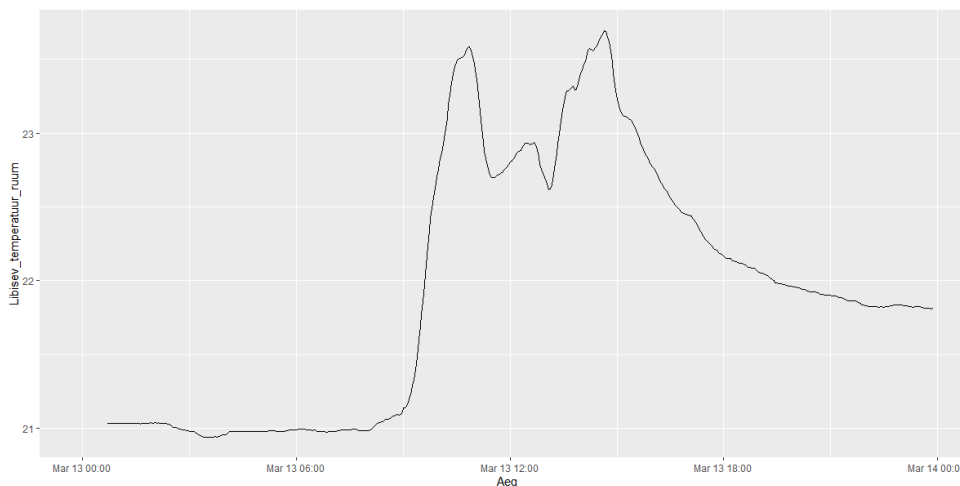
4. RUUMI TEMPERAATUURI JA CO₂ TASEME KASVU KIIRUS

4.1 Andmete töötlemine

Ruumi temperatuuri ja CO₂ kontsentratsiooni andmeid töödeldi libiseva keskmise arvutustega. Joonisel 4.1 on näha töötlemata ruumi temperatuuri graafik. Joonisel 4.2 on näha libiseva keskmisega töödeldud ruumi temperatuuri graafik. Töötlemata andmetega graafik on hüplik, kuid libiseva keskmisega töödeldud andmete graafik on sujuvama kujuga ning lühiajalised kõikumised on silutud. Libiseva keskmise arvutustel kasutati sammu 9.



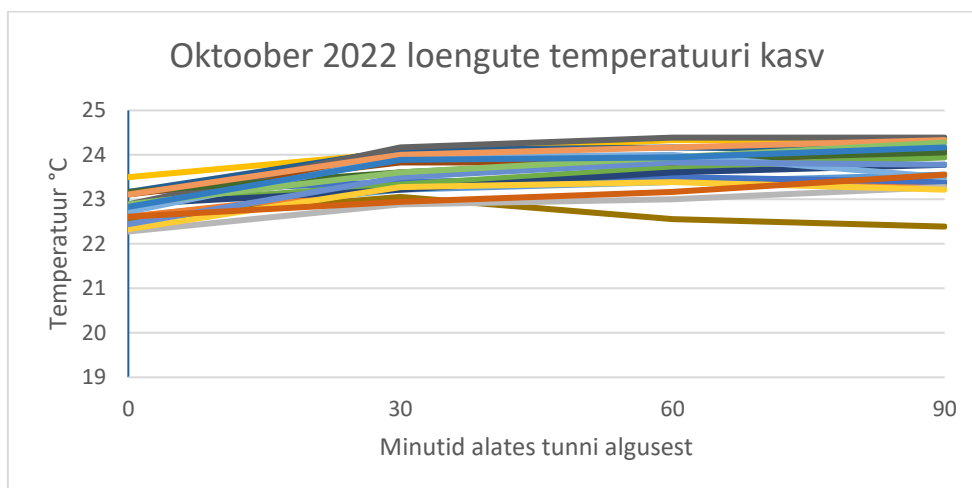
Joonis 4.1. Töötlemata ruumi temperatuuri andmete graafik.



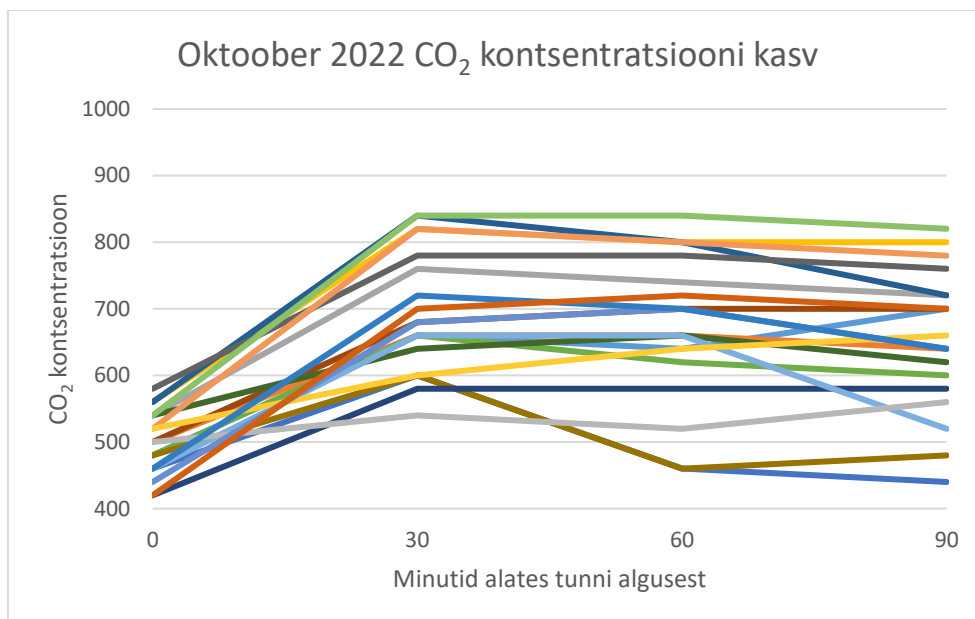
Joonis 4.2. Libiseva keskmisega töödeldud ruumi temperatuuri andmete graafik.

4.2 Oktoober 2022 loengute temperatuuri ja CO₂ kontsentratsiooni kasvu kiirus ruumis A105

Oktoobris uuriti kokku 20 loengut. Keskkonnaagentuuri info kohaselt oli 2022. aasta oktoobri keskmine õhutemperatuur 8,8 °C [7]. Loengute alguse mediaan temperatuur oli 22,89 °C ning mediaan CO₂ kontsentratsioon 500 PPM. Loengute keskmine temperatuuri kasvu kiirus oli 0,63 °C/h ja mediaan kasvu kiirus 0,63 °C/h ning CO₂ kontsentratsiooni keskmine kasvu kiirus 104 PPM/h ja mediaan kasvu kiirus 113 PPM/h. Loengute esimese pooltunni keskmine temperatuuri kasvu kiirus oli 1,43 °C/h ning mediaan kasvu kiirus 1,39 °C/h. Esimese pooltunni keskmine CO₂ kontsentratsiooni kasvu kiirus oli 388 PPM/h ning mediaan kasvu kiirus 380 PPM/h. Teise pooltunni keskmine temperatuuri kasvu kiirus oli 0,32 °C/h ja mediaan kasvu kiirus 0,33 °C/h ning keskmine CO₂ kontsentratsiooni kasvu kiirus -36 PPM/h ja mediaan kasvu kiirus -20 PPM/h. Kolmanda pooltunni keskmine temperatuuri kasvu kiirus oli 0,14 °C/h ja mediaan kasvu kiirus 0,33 °C/h ning keskmine CO₂ kontsentratsiooni kasvu kiirus -40 PPM/h ja mediaan kasvu kiirus -40 PPM/h. Oktoobris uuritud loengute kõrgeim ruumi temperatuur oli 24.39 °C ning kõrgeim CO₂ kontsentratsioon 840 PPM. Joonisel 4.3 on näha, et loengute alguse temperatuurid jäid 1 °C vahemikku ning loengute lõpuks ei ületanud ruumi temperatuur enamasti 24 °C. Joonisel 4.4 on näha, et loengute alguse CO₂ kontsentratsioonid jäi vahemikku 400–600 PPM ning loengute lõpuks ei ületanud oluliselt 800 PPM-i.



Joonis 4.3. Oktoober 2022 loengute temperatuuri kasv.



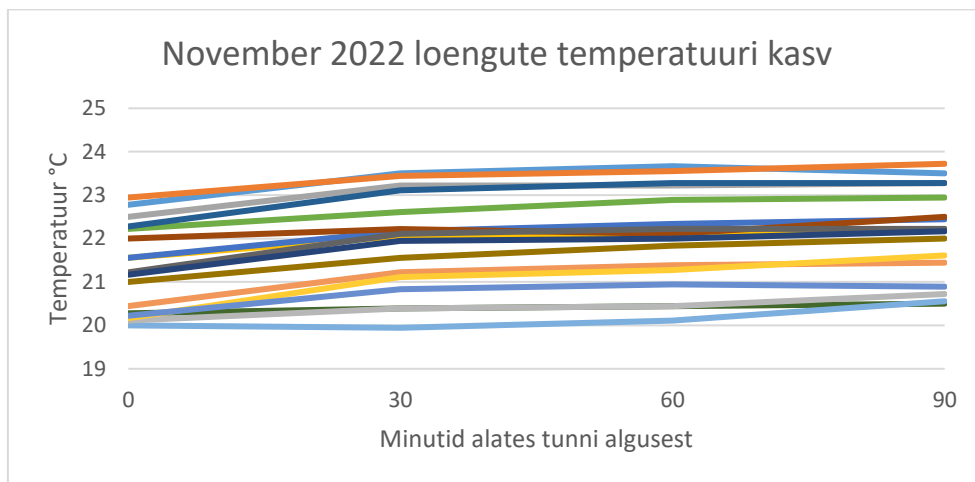
Joonis 4.4. Oktoober 2022 loengute CO₂ kontsentratsiooni kasv.

Andmetest väljendub, et temperatuuri ja CO₂ kontsentratsiooni kasvud olid kõige kiiremad esimesel pooltunnil peale loengu algust. Järgneval kahel pooltunnil jätkas temperatuur tõusmist, kuid üle nelja korra aeglasema tempoga. CO₂ kontsentratsioon järgneva kahe pooltunni jooksul langes.

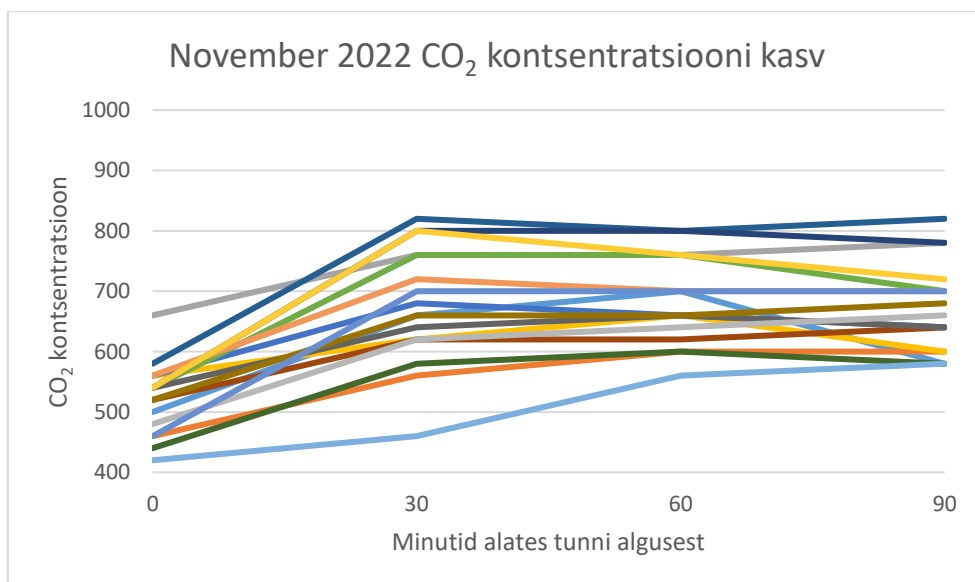
4.3 November 2022 loengute temperatuuri ja CO₂ kontsentratsiooni kasvu kiirus ruumis A105

Novembris uuriti kokku 17 loengut. Keskkonnaagentuuri info kohaselt oli 2022. aasta novembri keskmine õhutemperatuur 2,8 °C [7]. Loengute alguse mediaan temperatuur oli 21,22 °C ning mediaan CO₂ kontsentratsioon 540 PPM. Loengute keskmine temperatuuri kasvu kiirus oli 0,53 °C/h ja mediaan kasvu kiirus 0,52 °C/h ning CO₂ kontsentratsiooni keskmine kasvu kiirus 99 PPM/h ja mediaan kasvu kiirus 93 PPM/h. Loengute esimese pooltunni keskmine temperatuuri kasvu kiirus oli 1,10 °C/h ning mediaan kasvu kiirus 1,22 °C/h. Esimese pooltunni keskmine CO₂ kontsentratsiooni kasvu kiirus oli 304 PPM/h ning mediaan kasvu kiirus 280 PPM/h. Teise pooltunni keskmine temperatuuri kasvu kiirus oli 0,23 °C/h ja mediaan kasvu kiirus 0,22 °C/h ning keskmine CO₂ kontsentratsiooni kasvu kiirus 21 PPM/h ja mediaan kasvu kiirus 0 PPM/h. Kolmanda pooltunni keskmine temperatuuri kasvu kiirus oli 0,26 °C/h ja mediaan kasvu kiirus 0,22 °C/h ning keskmine CO₂ kontsentratsiooni kasvu kiirus -28 PPM/h ja mediaan kasvu kiirus 0 PPM/h. Novembris uuritud loengute kõrgeim ruumi temperatuur oli 23.72 °C ning kõrgeim CO₂ kontsentratsioon 820 PPM. Joonisel 4.5 on näha, et loengute alguse temperatuur kõikis vahemikus 20–23 °C, kuid ühegi loengu lõpuks ruumi temperatuur 24 °C ei ületanud. Joonisel 4.6 on näha, et loengute alguse CO₂ kontsentratsioon jäi ühe

erandiga vahemikku 400–600 PPM ning ainult ühel juhul ületas CO₂ kontsentratsioon loengu lõpuks 800 PPM-i.



Joonis 4.5. November 2022 loengute temperatuuri kasv.



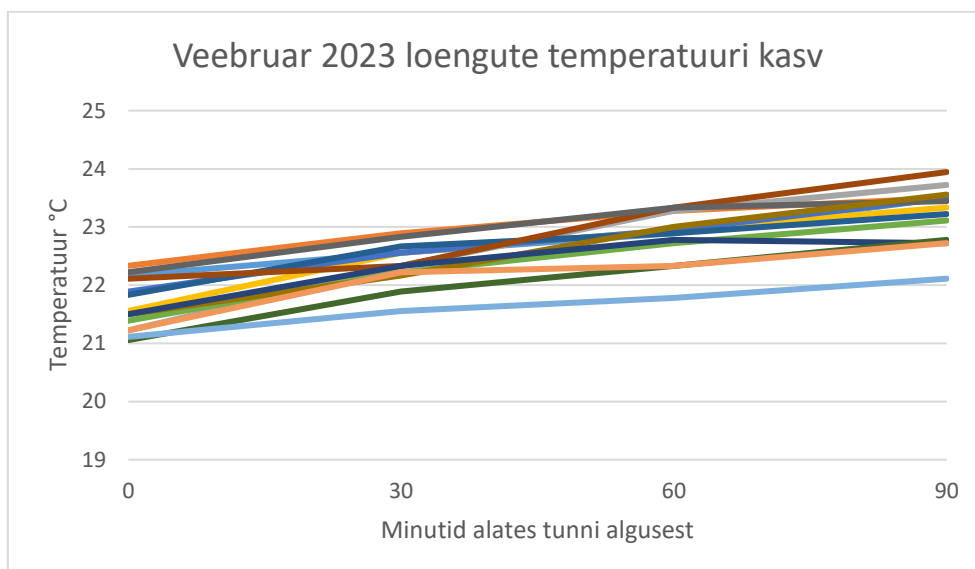
Joonis 4.6. November 2022 loengute CO₂ kontsentratsiooni kasv.

Andmetest väljendub, et temperatuuri ja CO₂ kontsentratsiooni kasvud olid kõige kiiremad esimesel pooltunnil peale loengu algust. Järgneval kahel pooltunnil jätkas temperatuur tõusmist, aga rohkem kui 5 korda aeglasema tempoga. CO₂ kontsentratsioon järgneva kahe pooltunni jooksul mediaan väärtuse kohaselt muutusi ei omanud.

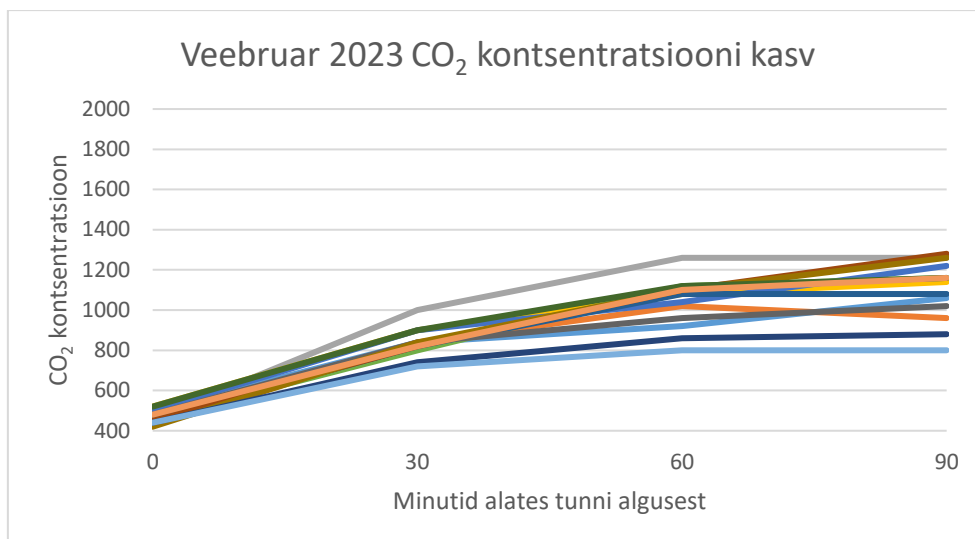
4.4 Veebruar 2023 loengute temperatuuri ja CO₂ kontsentratsiooni kasvu kiirus ruumis A105

Veebruaris uuriti kokku 14 loengut. Keskkonnaagentuuri info kohaselt oli 2023. aasta veebruari keskmine õhutemperatuur -1,3 °C [7]. Loengute alguse mediaan temperatuur

oli 21,5 °C ning mediaan CO₂ kontsentratsioon 460 PPM. Loengute keskmine temperatuuri kasvu kiirus oli 1,05 °C/h ja mediaan kasvu kiirus 1,04 °C/h ning CO₂ kontsentratsiooni keskmine kasvu kiirus 421 PPM/h ja mediaan kasvu kiirus 420 PPM/h. Loengute esimese pooltunni keskmine temperatuuri kasvu kiirus oli 1,43 °C/h ning mediaan kasvu kiirus 1,5 °C/h. Esimese pooltunni keskmine CO₂ kontsentratsiooni kasvu kiirus oli 740 PPM/h ning mediaan kasvu kiirus 720 PPM/h. Teise pooltunni keskmine temperatuuri kasvu kiirus oli 0,96 °C/h ja mediaan kasvu kiirus 0,83 °C/h ning keskmine CO₂ kontsentratsiooni kasvu kiirus 397 PPM/h ja mediaan kasvu kiirus 400 PPM/h. Kolmanda pooltunni keskmine temperatuuri kasvu kiirus oli 0,76 °C/h ja mediaan kasvu kiirus 0,78 °C/h ning keskmine CO₂ kontsentratsiooni kasvu kiirus 126 PPM/h ja mediaan kasvu kiirus 100 PPM/h. Veebruaris uuritud loengute kõrgeim ruumi temperatuur oli 23,94 °C ning kõrgeim CO₂ kontsentratsioon 1280 PPM. Joonisel 4.7 on näha, et loengute alguse temperatuurid jäid vahemikku 21–22,5 °C ning ühegi loengu lõpuks ruumi temperatuur 24 °C ei ületanud. Joonisel 4.8 on näha, et loengute alguse CO₂ kontsentratsioon jäi vahemikku 400–600 PPM ning ületas mõne loengu lõpuks 1200 PPM-i.



Joonis 4.7. Veebruar 2023 loengute temperatuuri kasv.



Joonis 4.8. Veebruar 2023 CO₂ kontsentratsiooni kasv.

Andmetest väljendub, et temperatuuri ja CO₂ kontsentratsiooni kasvud olid kõige kiiremad esimesel pooltunnil. Teisel pooltunnil jätkasid temperatuur ja CO₂ kontsentratsioon tõusmist umbes 1,8 korda aeglasemalt kui esimesel pooltunnil. Kolmandal pooltunnil jätkas temperatuur kasvamist 1,9 korda aeglasemalt kui esimesel pooltunnil ning CO₂ kontsentratsioon jätkas kolmandal pooltunnil kasvamist 7,2 korda aeglasemalt kui esimesel pooltunnil.

4.5 Märts 2023 loengute temperatuuri ja CO₂ kontsentratsiooni kasvu kiirus ruumis A105

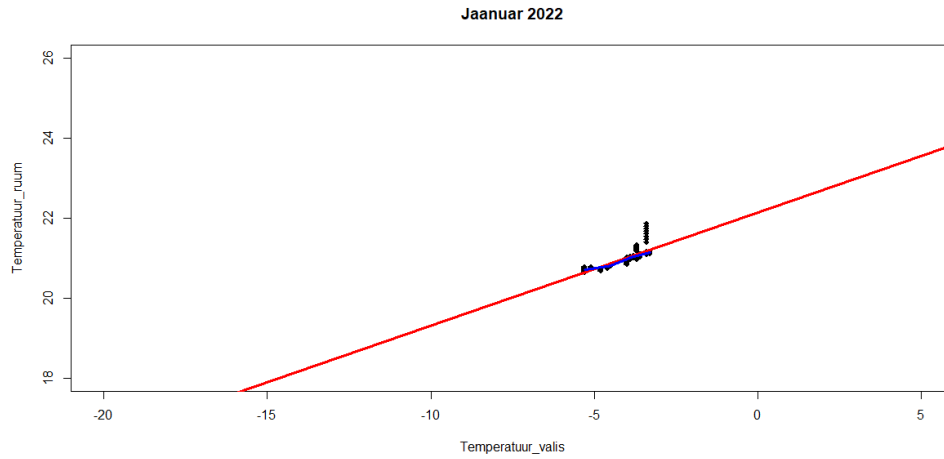
Märtsis uuriti kokku 16 loengut. Keskkonnaagentuuri info kohaselt oli 2023. aasta veebruari keskmine õhutemperatuur 0,4 °C [7]. Loengute alguse mediaan temperatuur oli 22,33 °C ning mediaan CO₂ kontsentratsioon 500 PPM. Loengute keskmine temperatuuri kasvu kiirus oli 0,81 °C/h ja mediaan kasvu kiirus 0,7 °C/h ning CO₂ kontsentratsiooni keskmine kasvu kiirus 311 PPM/h ja mediaan kasvu kiirus 273 PPM/h. Loengute esimese pooltunni keskmine temperatuuri kasvu kiirus oli 1,33 °C/h ning mediaan kasvu kiirus 1,22 °C/h. Esimese pooltunni keskmine CO₂ kontsentratsiooni kasvu kiirus oli 693 PPM/h ning mediaan kasvu kiirus 600 PPM/h. Teise pooltunni keskmine temperatuuri kasvu kiirus oli 0,72 °C/h ja mediaan kasvu kiirus 0,72 °C/h ning keskmine CO₂ kontsentratsiooni kasvu kiirus 225 PPM/h ja mediaan kasvu kiirus 160 PPM/h. Kolmanda pooltunni keskmine temperatuuri kasvu kiirus oli 0,38 °C/h ja mediaan kasvu kiirus 0,44 °C/h ning keskmine CO₂ kontsentratsiooni kasvu kiirus 15 PPM/h ja mediaan kasvu kiirus 40 PPM/h. Märtsis uuritud loengute kõrgeim temperatuur oli 25 °C ning kõrgeim CO₂ kontsentratsioon 2000 PPM, kuid 2000 PPM on suurim, mida ruumikontroller mõõta suudab. Joonisel 4.9 on näha, et loengute alguse temperatuurid jäid vahemikku 21–23 °C ning kahel loengul ületas ruumi temperatuur loengu lõpuks

5. RUUMI TEMPERATUURI JA VÄLISE TEMPERATUURI VAHELINE SEOS

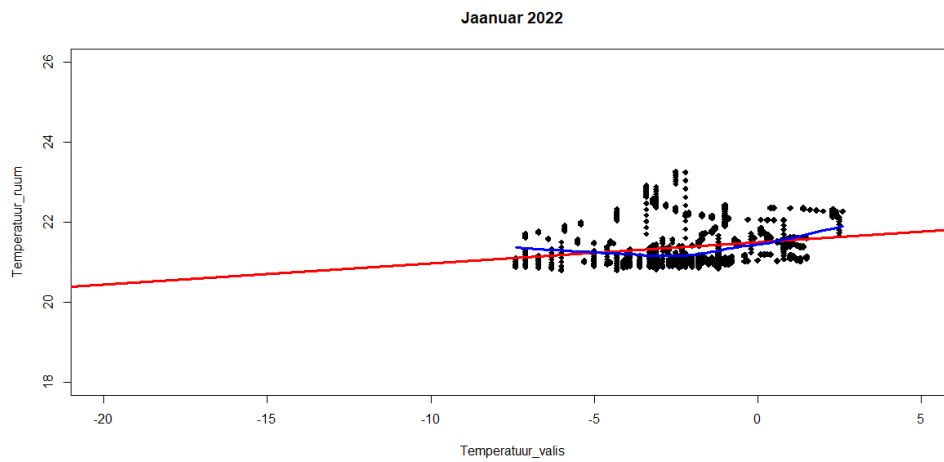
Hajuvusdiagrammid on koostatud kahe tunnuse vahel: ruumi temperatuur ja välis-temperatuur. Diagrammidel nähtav punane joon tähistab lineaarset regressioonijoont ning sinine joon sujuvat regressioonijoont.

5.1 Ruumi A105 regressioonanalüüs

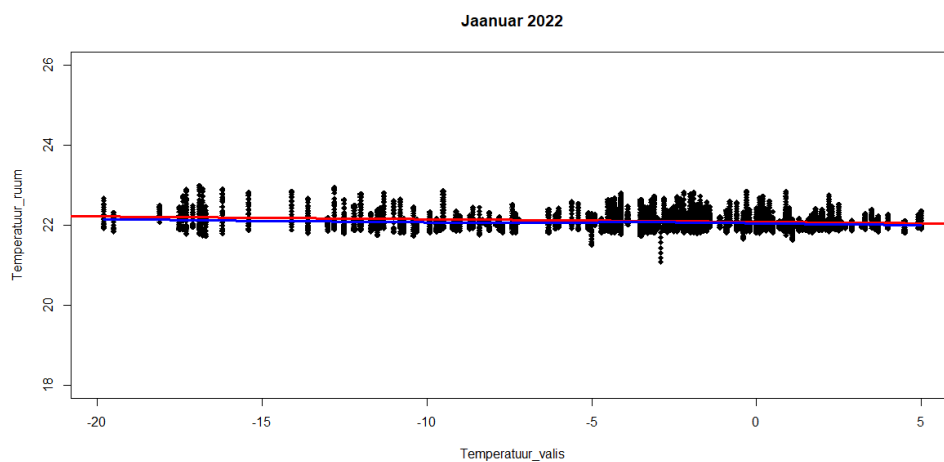
Jaauaris oli ruumi seadetemperatuur 17 °C, 21 °C ja 22 °C ning kütmist toimus kokku 10 % ajast. Jaanuari keskmine välistemperatuur oli -2,3 °C [7]. Joonisel 5.1, kui seadetemperatuur oli 17 °C, on näha, et ruumi temperatuuri hajuvus jäi vahemikku 20–22 °C. Lineaarne regressioonvalem oli $y = 22,13 + 0,28x$, kus y on ennustatav väärtus ehk ruumi temperatuur ning x on ennustaja väärtus ehk välistemperatuur. Determinatsioonikordaja oli 0,71. Pearsoni ja Spearmani korrelatsioonikordajad olid vastavalt 0,84 ja 0,91. Ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel oli tugev positiivne seos. Seadetemperatuuril 17 °C kütmist ei toimunud. Joonisel 5.2, kui seadetemperatuur oli 21 °C, on näha, et ruumi temperatuuri hajuvus jäi vahemikku 20–24 °C. Lineaarne regressioonvalem oli $y = 21,5 + 0,053x$ ning determinatsiooni-kordaja 0,058. Pearsoni ja Spearmani korrelatsioonikordajad olid vastavalt 0,24 ja 0,32. Seos ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel oli nõrgalt positiivne. Kütmist toimus 2,8 % ajast. Joonisel 5.3, kui seadetemperatuur oli 22 °C, on näha, et ruumi temperatuuri hajuvus jäi vahemikku 21–23 °C. Lineaarne regressioonvalem oli $y = 22,07 + (-0,01x)$ ning determinatsioonikordaja 0,03. Pearsoni ja Spearmani korrelatsioonikordajad olid vastavalt -0,17 ja -0,13. Seos ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel oli nõrgalt negatiivne. Kütmist toimus 15,8 % ajast.



Joonis 5.1. Jaanuar 2022 hajuvusdiagramm seadetemperatuuril 17 °C ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel ruumis A105.

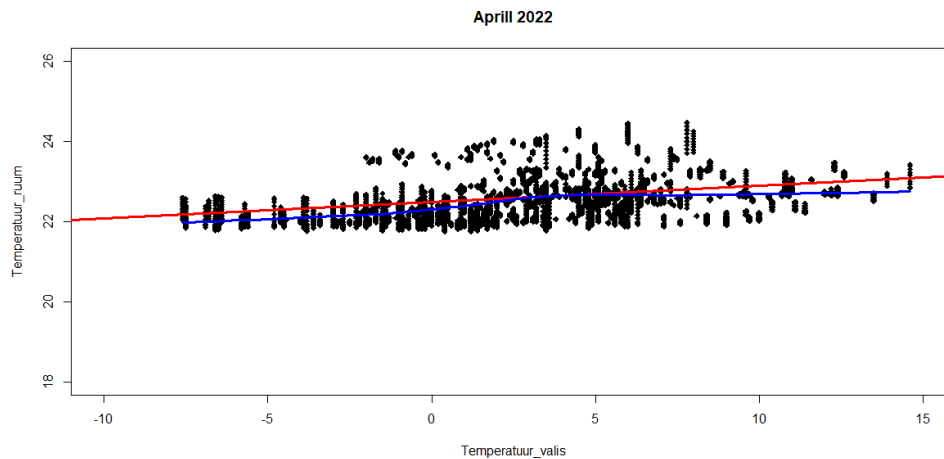


Joonis 5.2. Jaanuar 2022 hajuvusdiagramm seadetemperatuuril 21 °C ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel ruumis A105.



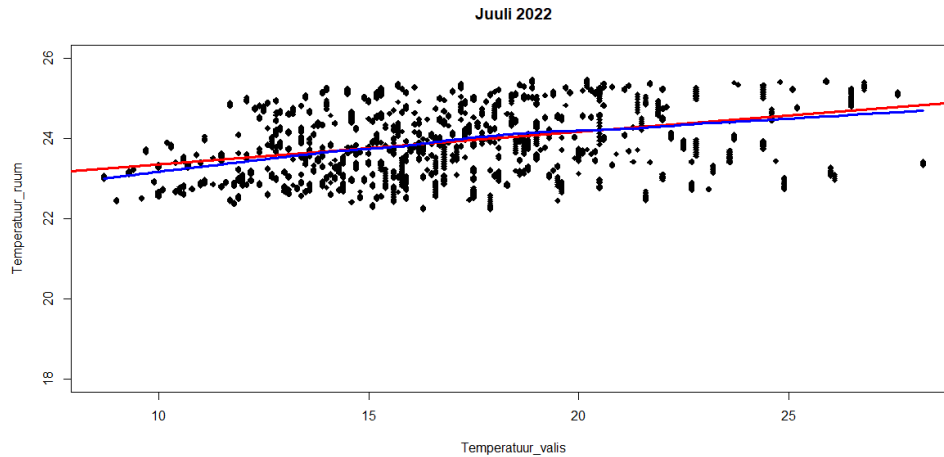
Joonis 5.3. Jaanuar 2022 hajuvusdiagramm seadetemperatuuril 22 °C ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel ruumis A105.

Aprillis oli terve kuu vältel seadetemperatuur 22 °C ning keskmine välistemperatuur oli 4,4 °C [7]. Joonisel 5.4 on näha, et ruumi temperatuuri hajuvus jäi vahemikku 21–25 °C. Lineaarne regressioonvalem oli $y = 22,5 + 0,04x$ ning determinatsioonikordaja 0,08. Pearsoni ja Spearmani korrelatsioonikordajad olid vastavalt 0,28 ja 0,35. Ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel oli keskmise tugevusega positiivne seos. Kütmist toimus 3 % ajast.



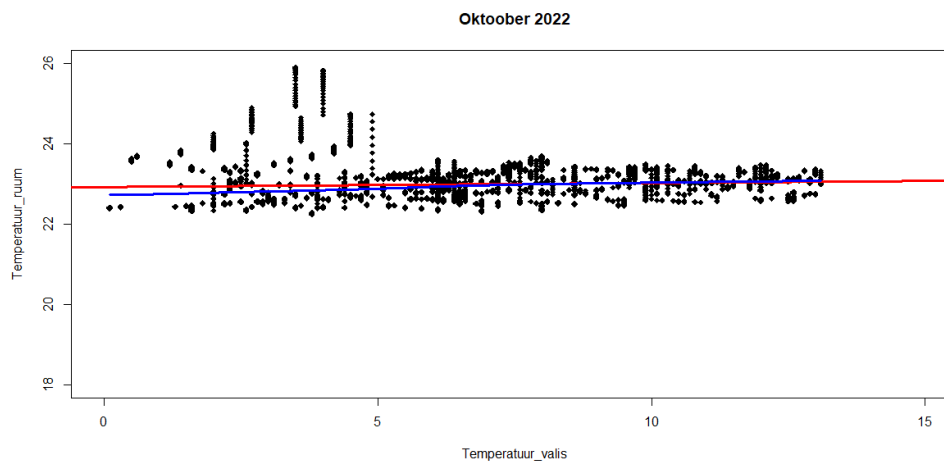
Joonis 5.4. Aprill 2022 hajuvusdiagramm seadetemperatuuril 22 °C ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel ruumis A105.

Juulis oli ruumi seadetemperatuur 19 °C ning keskmine välistemperatuur 17,9 °C [7]. Joonisel 5.5 on näha, et ruumi temperatuuri hajuvus jäi vahemikku 22–26 °C. Lineaarne regressioonvalem oli $y = 22,52 + 0,08x$ ning determinatsioonikordaja 0,13. Pearsoni ja Spearmani korrelatsioonikordajad olid vastavalt 0,35 ja 0,35. Ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel oli keskmise tugevusega positiivne seos. Juulis kütmist ei toimunud.



Joonis 5.5. Juuli 2022 hajuvusdiagramm seadetemperatuuril 19 °C ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel ruumis A105.

Oktoobris olid ruumi seadetemperatuurideks 19 °C ja 20 °C ning keskmine välistemperatuur oli 8,1 °C [7]. Kuna oktoobris kütmist ei toimunud, siis vaadeldi kogu kuu andmeid ühel hajuvusdiagrammil. Joonisel 5.6 on näha, et ruumi temperatuuri hajuvus jäi vahemikku 22–26 °C. Lineaarne regressioonvalem oli $y = 22,92 + (0,01x)$ ning determinatsioonikordaja 0. Pearsoni ja Spearmani korrelatsioonikordajad olid vastavalt 0,08 ja 0,2. Ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel oli nõrk positiivne seos.

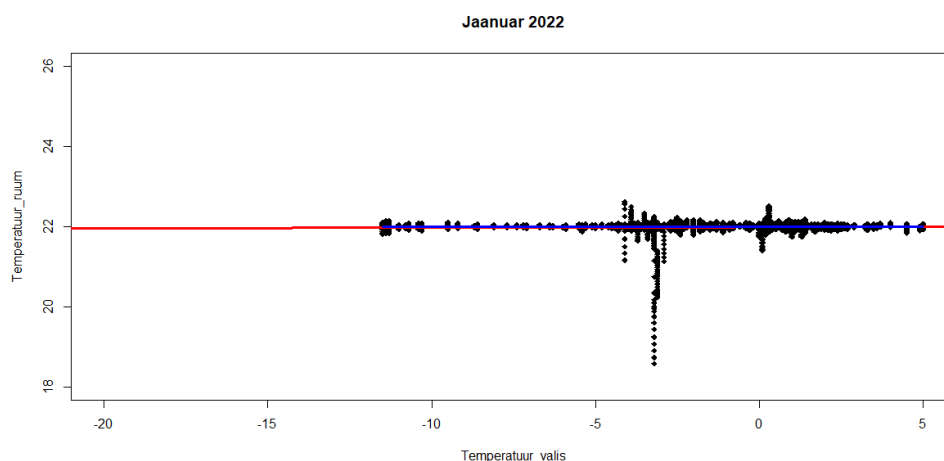


Joonis 5.6. Oktoober 2022 hajuvusdiagramm ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel ruumis A105.

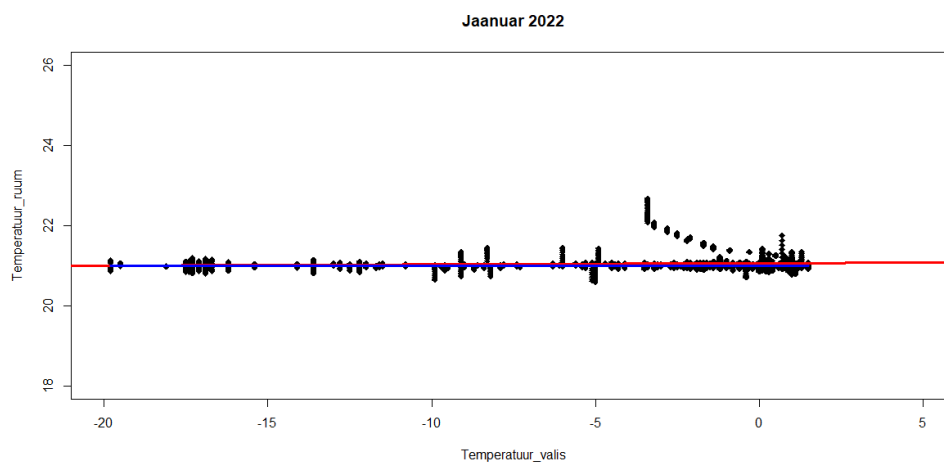
5.2 Ruumi A104 regressioonanalüüs

Jaanuaris oli ruumi seadetemperatuur 21 °C ja 22 °C ning keskmine välistemperatuur oli -2,3 °C [7]. Kütmist toimus kokku 31,5 % ajast. Joonisel 5.7, kui seadetemperatuur oli 22 °C, on näha, et ruumi temperatuur püsis stabiilsena seadetemperatuuri läheduses sõltumata välistemperatuurist. Lineaarne regressioonvalem oli $y = 21,99 + 0,002x$ ning

determinatsioonikordaja 0. Pearsoni ja Spearmani korrelatsioonikordajad olid vastavalt 0,03 ja 0,01. Seos ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel puudub. Kütmist toimus 32,8 % ajast. Joonisel 5.8, kui seadetemperatuur oli 21 °C, on näha, et ruumi temperatuur püsis stabiilne seadetemperatuuri läheduses sõltumata välistemperatuurist. Lineaarne regressioonvalem oli $y = 21,06 + 0,003x$ ning determinatsioonikordaja 0. Pearsoni ja Spearmani korrelatsioonikordajad olid vastavalt 0,08 ja 0,03. Seos ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel oli nõrgalt positiivne. Kütmist toimus 29,7 % ajast.



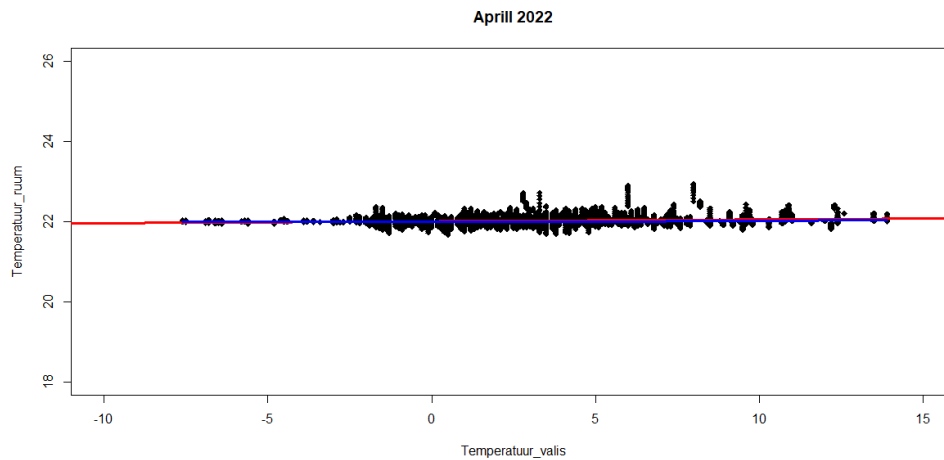
Joonis 5.7. Jaanuar 2022 hajuvusdiagramm seadetemperatuuril 22 °C ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel ruumis A104.



Joonis 5.8. Jaanuar 2022 hajuvusdiagramm seadetemperatuuril 21 °C ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel ruumis A104.

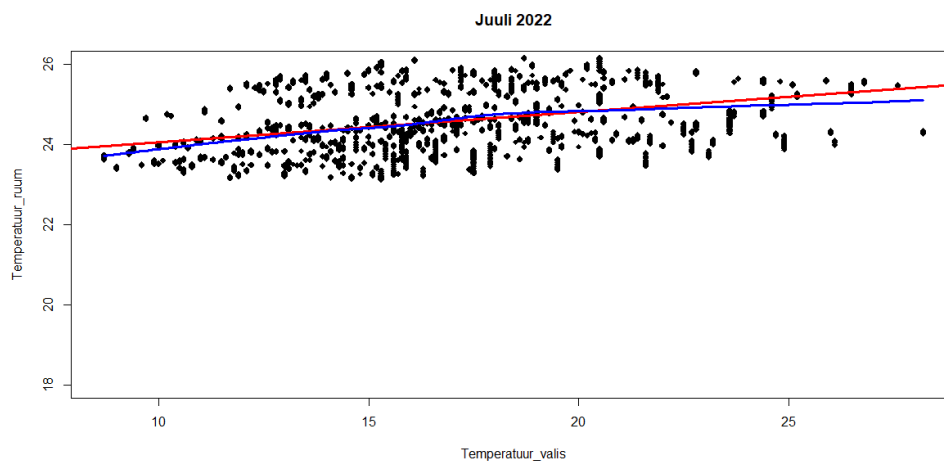
Aprillis oli seadetemperatuur kuu vältel 22 °C ning keskmine välistemperatuur oli 4,4 °C. Kütmist toimus 22,6 % ajast. Joonisel 5.9 on näha, et ruumi temperatuur püsis stabiilselt seadetemperatuuri läheduses sõltumata välistemperatuurist. Lineaarne regressioonvalem oli $y = 22,01 + 0,005x$ ning determinatsioonikordaja 0,02. Pearsoni ja

Spearmani korrelatsioonikordajad olid vastavalt 0,14 ja 0,09. Seos ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel oli nõrgalt positiivne.



Joonis 5.9. Aprill 2022 hajuvusdiagramm seadetemperatuuril 22 °C ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel ruumis A104.

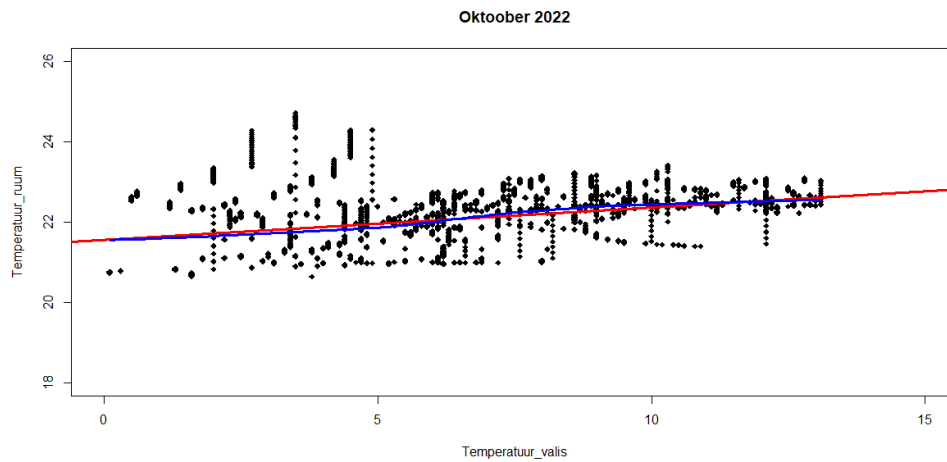
Juulis oli ruumi seadetemperatuuriks 19 °C ning keskmine välistemperatuur oli 17,9 °C. Kütmist ei toimunud. Joonisel 5.10 on näha, et ruumi temperatuuri hajuvus jäi vahemikku 23–26 °C. Lineaarne regressioonvalem oli $y = 23.31 + 0,08x$ ning determinatsioonikordaja 0,12. Pearsoni ja Spearmani korrelatsioonikordajad olid vastavalt 0,35 ja 0,37. Ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel oli keskmise tugevusega positiivne seos.



Joonis 5.10. Juuni 2022 hajuvusdiagramm seadetemperatuuril 19 °C ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel ruumis A104.

Oktoobris oli ruumi seadetemperatuuriks 19 °C ning 20 °C ning keskmine välistemperatuur oli 8,1 °C [7]. Kuna oktoobris kütmist ei toimunud, siis vaadeldi kõiki andmeid ühel hajuvusdiagrammil. Joonisel 5.11 on näha, et ruumi temperatuuri hajuvus jäi vahemikku 20–25 °C. Lineaarne regressioonvalem oli $y = 21,56 + 0,08x$ ning determinatsioonikordaja 0,16. Pearsoni ja Spearmani korrelatsioonikordajad olid

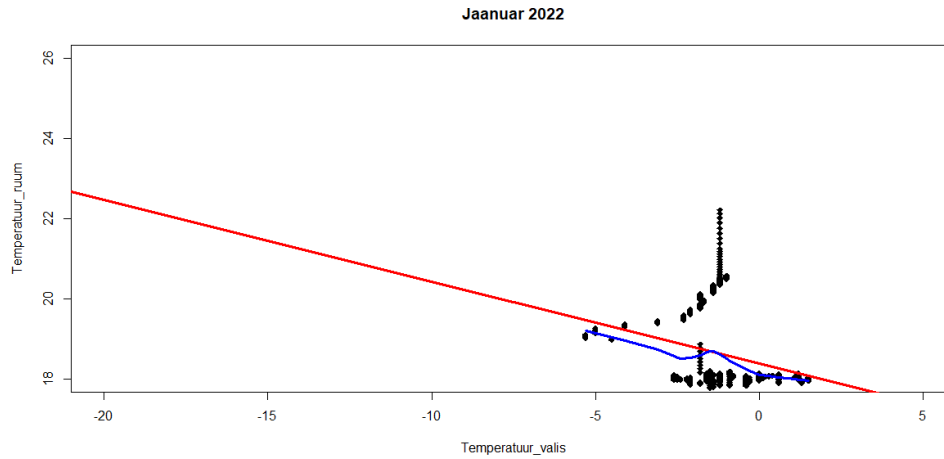
vastavalt 0,41 ja 0,44. Ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel oli keskmise tugevusega positiivne seos.



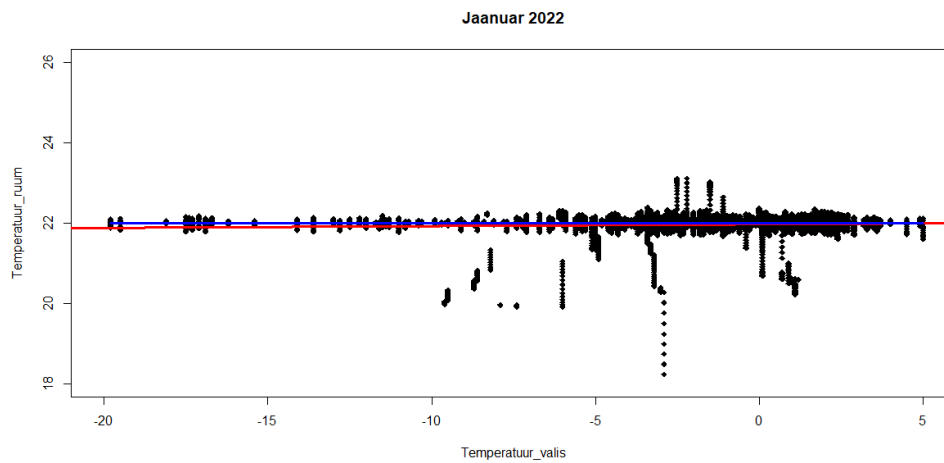
Joonis 5.11. Oktoober 2022 hajuvusdiagramm seadetemperatuuril 19 °C ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel ruumis A104.

5.3 Ruumi A102 regressioonanalüüs

Jaauaris oli ruumi seadetemperatuuriks 18 °C ja 22 °C ning keskmine välistemperatuur oli -2,3 °C [7]. Kütmist toimus kokku 27,2 % ajast. Joonisel 5.12, kui seadetemperatuur oli 18 °C, on näha, et ruumi temperatuuri hajuvus jäi vahemikku 17,5–22,5 °C. Lineaarne regressioonvalem oli $y = 18,39 + (-0,2x)$ ning determinatsioonikordaja 0,09. Pearsoni ja Spearmani korrelatsioonikordajad olid vastavalt -0,31 ning -0,21. Ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel oli nõrk negatiivne seos. Kütmist toimus 8 % ajast. Negatiivse seose põhjuseks on see, et kui seadetemperatuuriks määrati 18 °C, siis oli ruumi temperatuur üle 19 °C ning välistemperatuur -5 °C läheduses. Ruum jahtus seadetemperatuurini ning sel perioodil kasvas ka väline õhutemperatuur, mis graafikul kajastubki negatiivse seosena. Joonisel 5.13, kui seadetemperatuur oli 22 °C, on näha, et ruumi temperatuur püsis stabiilsena seadetemperatuuri läheduses sõltumata välistemperatuurist. Lineaarne regressioonvalem oli $y = 21,96 + 0,005x$ ning determinatsioonikordaja 0. Pearsoni ja Spearmani korrelatsioonikordajad olid vastavalt 0,06 ja 0,02. Seos ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel oli väga nõrgalt positiivne. Kütmist toimus 28,9 % ajast.

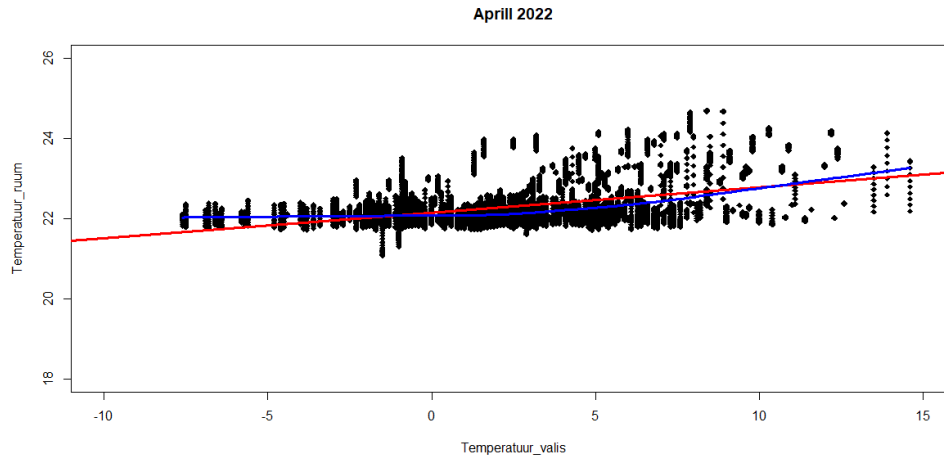


Joonis 5.12. Jaanuar 2022 hajuvusdiagramm seadetemperatuuril 18 °C ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel ruumis A102.



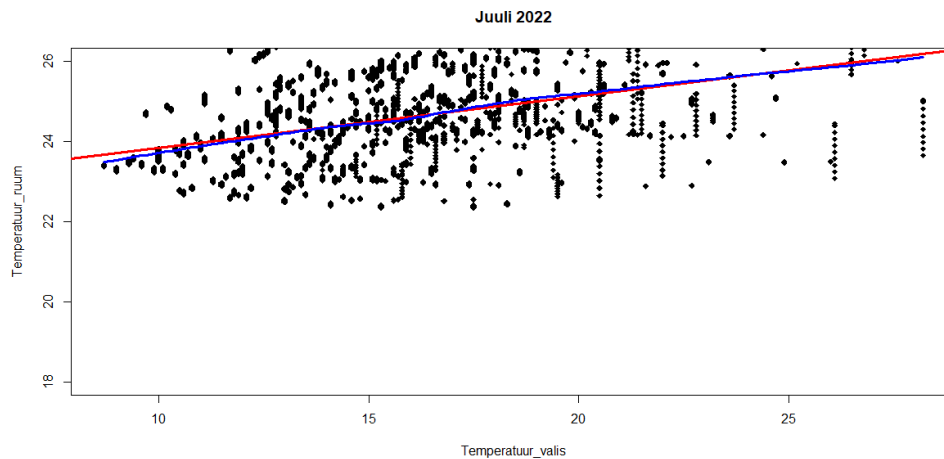
Joonis 5.13. Jaanuar 2022 hajuvusdiagramm seadetemperatuuril 22 °C ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel ruumis A102.

Aprillis oli seadetemperatuur kuu vältel 22 °C ning keskmine välistemperatuur oli 4,4 °C [7]. Kütmist toimus 12,36 % ajast. Joonisel 5.14 on näha, et ruumi temperatuuri hajuvus jäi vahemikku 21–25 °C. Lineaarne regressioonvalem oli $y = 22,15 + 0,06x$ ning determinatsioonikordaja 0,2. Pearsoni ja Spearmani korrelatsioonikordajad olid vastavalt 0,44 ja 0,39. Ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel oli keskmise tugevusega positiivne seos.



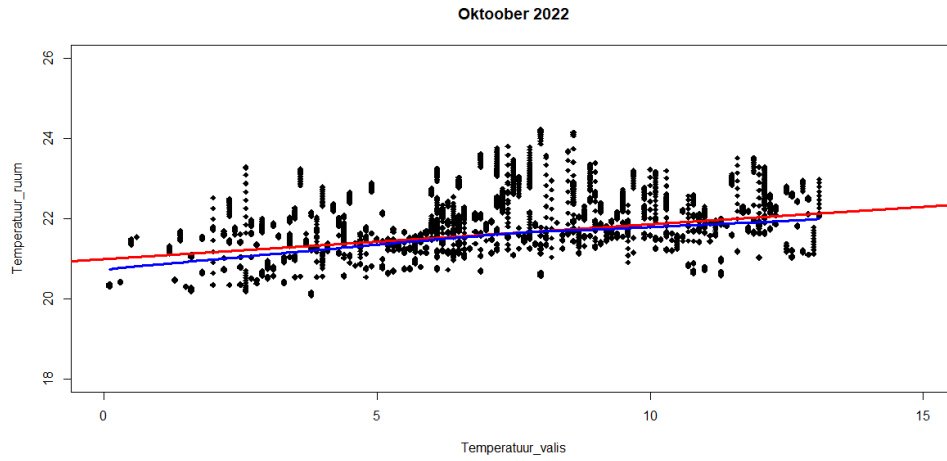
Joonis 5.14. Aprill 2022 hajuvusdiagramm seadetemperatuuril 22 °C ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel ruumis A102.

Juulis oli seadetemperatuur 19 °C ning keskmine välistemperatuur 17,9 °C [7]. Juulis kütmist ei toimunud. Joonisel 5.15 on näha, et ruumi temperatuuri hajuvus jäi vahemikku 22–27 °C. Lineaarne regressioonvalem oli $y = 22,55 + 0,13x$ ning determinatsiooni-kordaja 0,16. Pearsoni ja Spearmani korrelatsioonikordajad olid vastavalt 0,4 ja 0,38. Ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel oli keskmise tugevusega positiivne seos.



Joonis 5.15. Juuli 2022 hajuvusdiagramm seadetemperatuuril 19 °C ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel ruumis A102.

Oktoobris oli seadetemperatuur 19 °C ning keskmine välistemperatuur 8,1 °C [7]. Oktoobris kütmist ei toimunud. Joonisel 5.18 on näha, et ruumi temperatuuri hajuvus jäi vahemikku 20–24 °C. Lineaarne regressioonvalem oli $y = 20,98 + 0,09x$ ning determinatsioonikordaja 0,18. Pearsoni ja Spearmani korrelatsioonikordajad olid vastavalt 0,42 ja 0,44. Ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel oli keskmise tugevusega positiivne seos.



Joonis 5.18. Oktoober 2022 hajuvusdiagramm seadetemperatuuril 19 °C ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel ruumis A102.

6. TULEMUSTE ANALÜÜS

6.1 Oktoober – november 2022 loengute temperatuuri ja CO₂

kontsentratsiooni kasvu kiiruse tulemuste analüüs

Loengu esimese pooltunni keskmine temperatuuri kasvu kiirus oli oktoobris 0,33 °C/h võrra kiirem ning CO₂ kontsentratsiooni keskmine kasvu kiirus oli oktoobris 84 PPM/h võrra kiirem kui novembris. Teisel pooltunnil oli oktoobris temperatuuri kasvu kiirus 0,09 °C/h kiirem ning kolmandal pooltunnil 0,12 °C/h aeglasem kui novembris. Teisel pooltunnil ja kolmandal pooltunnil oli oktoobris keskmine CO₂ kontsentratsiooni kasv negatiivne. Novembris oli teise pooltunni CO₂ kontsentratsiooni kasv positiivne, kuid kolmandal pooltunnil negatiivne. Kõikide loengute keskmine temperatuuri kasvu kiirus oli oktoobris 0,63 °C/h ning novembris 0,53 °C/h. Kõikide loengute keskmine CO₂ kontsentratsiooni kasvu kiirus oli oktoobris 104 PPM/h ning novembris 99 PPM/h. Loengute maksimaalne ruumi temperatuur oli oktoobris 24,39 °C ja novembris 23,72 °C. Loengute maksimaalne CO₂ kontsentratsioon oli oktoobris 840 PPM ning novembris 820 PPM. Oktoobris ületas ruumi temperatuur mitme loengu jooksul 24 °C. Novembris ühegi loengu jooksul 24 °C ei ületatud. Mõlemal kuul jäi CO₂ maksimaalne kontsentratsioon ruumis alla 1000 PPM.

CO₂ kontsentratsioon tavaolukorras loengu jooksul langeda ei saa, sest iga inimene eritab ruumi CO₂-te. CO₂ kontsentratsiooni langust saab põhjustada akende avamine, ventilatsiooni suurem võimsus, ukse avamine või suure hulga inimeste lahkumine ruumist. Aken oli vaadeldud perioodil lahti vaid ühe loengu ajal ning ventilatsioon töötab praegu loengute ajal täisvõimsusel. See tähendab, et CO₂ kontsentratsiooni langus on suure tõenäosusega põhjustatud ukse avamisest, sest on vähetõenäoline, et loengu teisel pooltunnil lahkub ruumist suur hulk inimesi. Puudulike andmete tõttu seda väidet kinnitada ei saa.

Keskmiselt olid oktoobris nii temperatuuri kui ka CO₂ kontsentratsiooni kasvu kiirused suuremad kui novembris. Erinevus väljendus kõige enam just loengu esimesel pooltunnil. Kiirem kasv saab olla põhjustatud suuremast hulgast inimestest, ventilatsiooni väiksemast töökiirusest või ukse avatusest. Kuna ventilatsioon töötab igapäevaselt ühtemoodi, siis saab selle põhjuse välistada. Üks võimalik põhjus on see, et novembris osales loengutes vähem inimesi kui oktoobris, kuid puuduvate andmete tõttu seda tõestada ei saa. Ukse avatus mõjutab samuti kasvu kiirust. Kui näiteks ühes loengus avati üks esimesel pooltunnil ja teises loengus teisel pooltunnil, siis kajastub see ka andmetes. Võime eeldada, et semestri jooksul on loengutes sarnane käitumine, kuid puuduvate andmete tõttu seda täie kindlusega väita ei saa.

6.2 Veebruar – märts 2023 loengute temperatuuri ja CO₂ kontsentratsiooni kasvu kiiruse tulemuste analüüs

Loengu esimese pooltunni keskmine temperatuuri kasvu kiirus oli veebruaris 0,1 °C/h võrra kiirem ning CO₂ kontsentratsiooni keskmine kasvu kiirus oli veebruaris 47 PPM/h kiirem kui märtsis. Teisel pooltunnil oli veebruaris temperatuuri kasvu kiirus 0,24 °C/h kiirem ning kolmandal pooltunnil 0,28 °C/h kiirem kui märtsis. Teisel pooltunnil oli veebruaris keskmine CO₂ kontsentratsiooni kasvu kiirus 172 PPM/h ning kolmandal pooltunnil 111 PPM/h kiirem kui märtsis. Kõikide loengute keskmine temperatuuri kasvu kiirus oli veebruaris 1,05 °C/h ning märtsis 0,81 °C/h. Kõikide loengute keskmine CO₂ kontsentratsiooni kasvu kiirus oli veebruaris 421 PPM/h ning märtsis 311 PPM/h. Loengute maksimaalne ruumi temperatuur oli veebruaris 23,94 °C ja märtsis 25 °C. Loengute maksimaalne CO₂ kontsentratsioon oli veebruaris 1280 PPM ning märtsis 2000 PPM, mis on maksimaalne ruumikontrolleri poolt mõõdetav CO₂ kontsentratsioon. Ruumi temperatuurid jäid mõlemal kuul enamasti optimaalsetesse piiridesse, kuid kahe märtsi loengu jooksul ületas ruumi temperatuur 24 °C. Mõlemal kuul ületas CO₂ kontsentratsioon mitme loengu jooksul optimaalse piiri 1000 PPM.

Sarnaselt oktoobri ja novembri võrdlusega olid esimesel vaadeldud kuul keskmised kasvu kiirused kiiremad kui teisel vaadeldaval kuul. Võime eeldada, et kasvu kiiruse erinevustel on samad põhjused, mis oktoobri ja novembri loengute võrdluses.

6.3 Ruumide temperatuuri sõltuvus välistemperatuurist 2022. a jaanuaris

Jaanuaris toimus kütmist ruumis A105 10 % ajast, ruumis A104 31,5 % ajast ning ruumis A102 27,7 % ajast. Pearsoni ja Spearmani korrelatsioonikordajate põhjal võib öelda, et jaanuaris puudub seos ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel. Seos puudub, sest ruumi temperatuuri hoitakse kütte sisse-välja lülitamisega seadetemperatuuril. Kütmine lülitatakse sisse, kui ruumi temperatuur oli 0,5 °C alla seadetemperatuuri ning välja, kui ruumi temperatuur on 0,5 °C üle seadetemperatuuri. Jaanuaris saame võrrelda, kui palju vajasisid ruumid kütmist. Ruum A105 vajab umbes 3 korda vähem kütmist, kui ruumid A104 ja A102. Ruumi A105 läbib küttemagistraal, mis kütab sõltumatult ruumi. Magistraali mõju ruumile pole teada ning käesolevas töös seda ei hinnatud. Seetõttu koetavatel kuudel ruumi A105 teiste ruumidega võrrelda ei saa. Ruum A104 vajab võrreldes ruumiga A102 13,7 % rohkem kütmist.

6.4 Ruumide temperatuuri sõltuvus välistemperatuurist 2022. a aprillis

Aprillis toimus kütmist ruumis A105 3 % ajast, ruumis A104 22,6 % ajast ja ruumis A102 12,36 % ajast. Pearsoni ja Spearmani korrelatsioonikordajate põhjal saab öelda, et ruumides A105 ja A102 oli keskmise tugevusega positiivne seos ning ruumis A104

nõrk positiivne seos ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel. Võrreldes jaanuariga on seosed tugevamad, sest ruumides toimus vähem kütmist ehk välise temperatuuri mõju võrreldes kütmise mõjuga suurenes. Kuna tegemist oli köetava kuuga, siis ruumi A105 teistega võrrelda ei saa. Ruum A104 vajab võrreldes ruumiga A102 83 % rohkem kütmist.

6.5 Ruumide temperatuuri sõltuvus välistemperatuurist 2022. a juulis

Juulis kütmist ei toimunud. Pearsoni ja Spearmani korrelatsioonikordajate põhjal võib öelda, et kõikides ruumides oli ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel keskmise tugevusega positiivne seos. Ruumides A105 ja A104 olid korrelatsioonikordajad sarnased. Pearsoni korrelatsioonikordajad vastavalt 0,35 ja 0,35 ning Spearmani korrelatsioonikordajad vastavalt 0,35 ja 0,37. Ruumis A104 oli Pearsoni korrelatsioonikordaja 0,4 ning Spearmani korrelatsioonikordaja 0,38.

6.6 Ruumide temperatuuri sõltuvus välistemperatuurist 2022. a oktoobris

Oktoobris kütmist ei toimunud. Pearsoni ja Spearmani korrelatsioonikordajate põhjal võib öelda, et ruumides A104 ja A102 olid ruumi temperatuuri ja välistemperatuuri vahel keskmise tugevusega positiivsed seosed ning ruumis A105 nõrk positiivne seos. Ruumide A104 ja A102 Pearsoni ja Spearmani korrelatsioonikordajad olid sarnased, vastavalt 0,41 ja 0,44 ning 0,42 ja 0,44. Ruumi A105 Pearsoni ja Spearmani korrelatsioonikordajad olid vastavalt 0,08 ja 0,2.

6.7 Ruumide temperatuuri sõltuvuste võrdlus eri kuudel

Köetavatel kuudel väljendub andmetest, et ruum A102 vajab võrreldes ruumiga A104 vähem kütmist. Kuigi Pearsoni ja Spearmani korrelatsioonikordajaid köetavatel kuudel võrrelda ei saa, siis võib kütmise põhjal öelda, et köetavatel kuudel on ruumi A102 temperatuur vähem sõltuv välistemperatuurist. Kuna vaadeldavad andmed olid kellaaja vahemikus 17:00 – 08:00 ei saa öelda, et ruumi temperatuuri mõjutaks päikesevalgus, sest köetavatel kuudel selles kellaaja vahemikus päikest palju ei paista. Päikese mõju uurimiseks võiks näiteks vaadelda ainult nädalavahetuste andmeid terve päeva jooksul.

Mitteköetavatel kuudel väljendub andmetest, et ruumi A102 temperatuur on välistemperatuurist rohkem sõltuv, kui ruumide A105 ja A104 temperatuur. Kuna mitteköetavatel kuudel on kellaaja vahemikus 17:00 – 08:00 rohkem päikest kui köetavatel kuudel, siis võib ruumi A102 temperatuuri suurem sõltuvus välistemperatuurist olla seletatav päikese mõjuga ruumile. Põhjalikumaks uurimiseks tuleks vaadelda ainult nädalavahetuse andmeid terve päeva jooksul.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli teha MeiePilves leiduvatele andmetele esmane analüüs ja leida ruumi temperatuuri ja CO₂ taseme kasvu kiirused loengu jooksul ning uurida ruumide temperatuuri sõltuvust välistemperatuurist.

Lõputöö teoreetilises osas on antud ülevaade MeiePilve kogutavatest andmetest, andmetöötamise ja -analüüsi meetoditest ning nende meetodite rakendamisest. Samuti on antud soovitusi, milliseid andmeid parema analüüsi jaoks koguda võiks.

Lõputöö praktilises osas rakendati andmetöötamise ja -analüüsi meetodeid ning kirjeldati saadud tulemusi. Töös kasutati erinevate perioodide ning ruumide andmeid ning võrreldi neid andmeid omavahel.

Töö tulemusena tehti saadud tulemuste analüüs ning nende põhjal järeldused. Samuti valmisid RStudio skriptid, mida saab kasutada edaspidistes andmeanalüüsides, et saada töös saadud tulemustega võrreldavad tulemused.

Lõputöö eesmärgid täideti edukalt. Töö tulemusena leiti, kui kiiresti kasvavad loengu jooksul ruumi temperatuur ja CO₂ kontsentratsioon loenguruumis A105 ning leiti loenguruumide A105, A104 ja A102 temperatuuri sõltuvused välistemperatuurist eri kuudel.

SUMMARY

The aim of this thesis was to make an initial analysis of the data available on MeiePilv and find the rates of temperature and CO₂ level increase in a lecture room during a lecture, as well as investigate the dependence of room temperature on external temperature.

In the theoretical part of the thesis, an overview of data processing and data analysis methods, and their application is provided. Recommendations are also given on what data could be collected for a better analysis.

In the practical part of the thesis, data processing and data analysis methods were applied and the obtained results were described. Data from different periods and rooms was used and compared with each other.

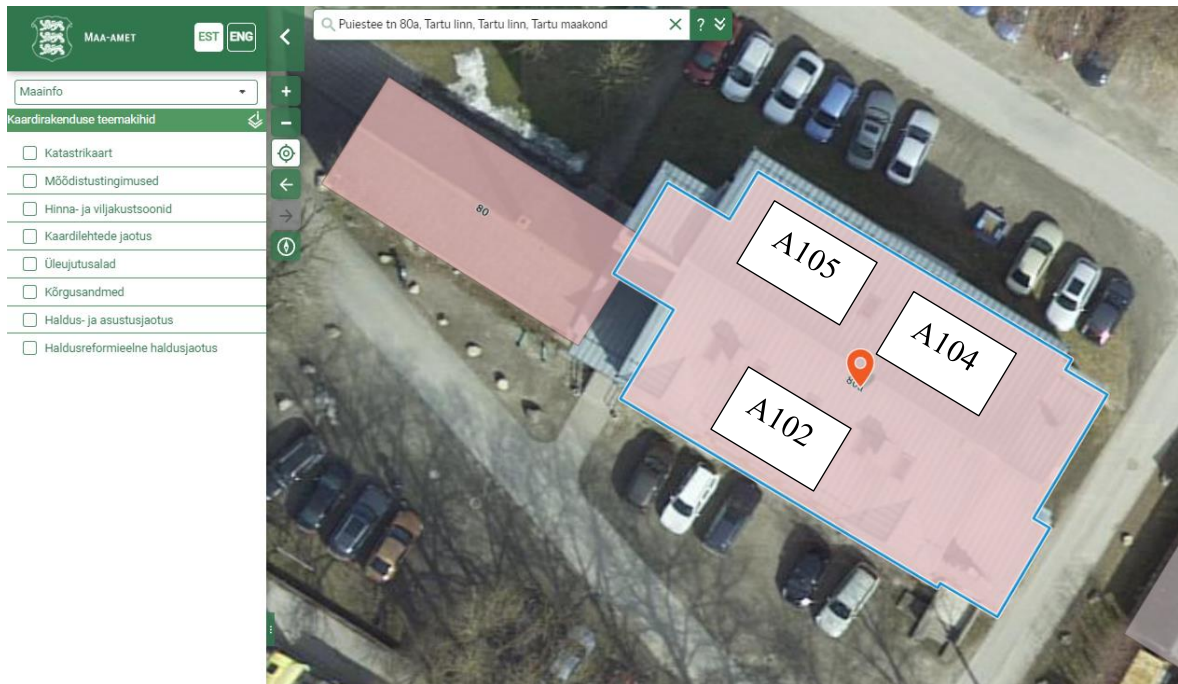
As a result of the work, an analysis of obtained results was performed, and conclusions were made based on them. Additionally, RStudio scripts were developed, which could be used for future analysis to obtain comparable results to those obtained in this thesis.

The objectives of the thesis were successfully fulfilled. The thesis found the rates of temperature and CO₂ concentration growth in lecture room A105 during the lecture period, and also identified the dependence of the temperature in lecture rooms A105, A104, and A102 on the external temperature in different months.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] K. Jõgiste, "Ruumipõhise ventilatsioonisüsteemi juhtimine CO2 anduri sisendi kaudu Puiestee 80A loengumaja näitel", [Diplomitöö], Inseneriteaduskond, TalTech Tartu kolledž, Tartu, Eesti, 2023. [Online]. Loetud aadressil: <https://digikogu.taltech.ee/et/Item/c6a74df8-974a-427f-93a7-51e9813c968b>. Kasutatud 05.05.2023.
- [2] A. Sauga, *Statistika õpik majanduseriala üliõpilastele*. 2nd ed. Tallinn: TalTech kirjastus, 2020. [Online]. Loetud aadressil: <https://digikogu.taltech.ee/et/Item/bdcc647f-fa18-47c1-b499-99024f8bcc93>. Kasutatud 07.04.2023.
- [3] *Tervisekaitseenõuded koolidele*, Vastu võetud 30.05.2013. RT I, 31.05.2013, 12. Kasutatud 12.05.2023.
- [4] O. Seppänen, F. W. J. ja L. Q. Hong, "Room temperature and productivity in office work", in *Healthy Buildings 2006 Conference*, Lisboa, 2006. Loetud aadressil: <https://indoor.lbl.gov/publications/room-temperature-and-productivity>. Kasutatud 19.05.2023.
- [5] DataCamp. *Python vs R for Data Science: Which Should You Learn?* [www] <https://www.datacamp.com/blog/python-vs-r-for-data-science-whats-the-difference>. Kasutatud 29.04.2023.
- [6] Red Hat, *What is open source?* [www] <https://opensource.com/resources/what-open-source>. Kasutatud 29.04.2023.
- [7] Keskkonnaagentuur, *Kuukokkuvõtted*. [www] <https://www.ilmateenistus.ee/kliima/kuukokkuvotted/>. Kasutatud 29.04.2023.

LISAD



Lisa 1. Maa-ameti katastrikaardi kuvatõmmis. Põhjasuund üleval.