



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Tartu kolledž

**RUUMIPÕHISE VENTILATSIOONISÜSTEEMI JUHTIMINE
CO₂ ANDURI SISENDI KAUDU PUIESTEE 80A
LOENGUMAJA NÄITEL**

**CONTROL OF ROOM-BASED VENTILATION SYSTEM VIA CO₂
SENSOR INPUT USING THE EXAMPLE OF PUIESTEE 80A LECTURE
HALL**

RAKENDUSKÕRGHARIDUSTÖÖ

Üliõpilane: Kaia Jõgiste

Üliõpilaskood: 193124EDTR

Juhendaja: Ago Rootsi, lektor

Tartu 2023

(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.

01.2023

Autor: Kaia Jõgiste / allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab bakalaureusetöö esitatud nõuetele

01.2023

Juhendaja: Ago Rootsi / allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

01.2023

Kaitsmiskomisjoni esimees: Aime Ruus / allkirjastatud digitaalselt /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Kaia Jõgiste (sünnikuupäev: 06.07.2000)

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

„RUUMIPÕHISE VENTILATSIOONISÜSTEEMI JUHTIMINE CO₂ ANDURI SISENDI KAUDU PUIESTEE 80A LOENGUMAJA NÄITEL“,
mille juhendaja on Ago Rootsi,

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 /

01.2023

TALTECH TARTU KOLLEDŽ

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Kaia Jõgiste, 193124EDTR
Õppekava, peeriala: EDTR17/18 Telemaatika ja arukad süsteemid
Juhendaja: Lektor Ago Rootsi, +372 56629821

Lõputöö teema:

Ruumipõhise ventilatsioonisüsteemi juhtimine CO₂ anduri sisendi kaudu Puiestee 80A loengumaja näitel

Control of room-based ventilation system via CO₂ sensor input using the example of Puiestee 80A lecture hall

Lõputöö põhieesmärgid:

- 1.
- 2.
- 3.

Lõputöö etapid ja ajakava:

| Nr | Ülesande kirjeldus | Tähtaeg |
|----|--------------------|---------|
| 1. | | |
| 2. | | |
| 3. | | |

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** 04. jaanuar 2023. a

Üliõpilane: Kaia Jõgiste / allkirjastatud digitaalselt / jaanuar 2023. a

Juhendaja: Ago Rootsi / allkirjastatud digitaalselt / jaanuar 2023. a

Programmijuht: Aime Ruus / allkirjastatud digitaalselt / jaanuar 2023. a

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

| | |
|--|----|
| EESSÕNA | 6 |
| LÜHENDID JA MÕISTED | 7 |
| SISSEJUHATUS | 8 |
| 1 VENTILATSIOONISÜSTEEM..... | 9 |
| 1.1 Olemasolev ventilatsioonisüsteem | 9 |
| 1.1.1 Olemasoleva ventilatsioonisüsteemi puudused..... | 9 |
| 1.2 Tulevane ventilatsioonisüsteem | 10 |
| 1.2.1 Nõuded süsteemile | 10 |
| 2 ELUSLABORATOORIUM | 11 |
| 2.1 Eluslaboratooriumi olemasolev lahendus..... | 11 |
| 3 ELUSLABORATOORIUMI RUUMILAHENDUS..... | 12 |
| 3.1 Miks mitte juhtida kõike Eluslaboratooriumi kaudu? | 14 |
| 3.2 Eluslaboratooriumi tehnoloogiad..... | 15 |
| 3.2.1 Schneider SE8350 ruumikontroller..... | 15 |
| 3.2.2 SRC210 mõõtemoodul | 16 |
| 3.2.3 Schneider LSS10020032 magnetkontaktandur | 17 |
| 3.2.4 Passiivne infrapunaandur ehk PIR..... | 18 |
| 4 PROGRAMMI KIRJELDUS..... | 19 |
| 4.1 Manipuleerimise ja mitte manipuleerimise olukorrad | 19 |
| 4.2 Programmi töö selgitus | 20 |
| 5 KATSETAMINE..... | 22 |
| 5.1 Stendil katsetamine | 22 |
| 5.2 Katsed loengumaja ruumikontrollerite peal | 23 |
| 6 KATSETE JA VÕRDLUSTE TULEMUSED | 24 |
| 6.1 Katsetulemuste analüüsimine..... | 24 |
| Katsete ülevaade ja tulemused | 24 |
| 6.2 | 24 |
| Võrdluste ülevaated ja tulemused | 26 |
| 6.3 | 26 |
| 6.3.1 Sissepuhkeõhu võrdlus | 26 |
| Energiaatarbe võrdlus..... | 27 |
| 6.3.2 | 27 |
| 7 EDASIARENDUSED | 28 |
| 7.1 Õhuniiskuse ja välistemperatuuri seos..... | 28 |
| KOKKUVÕTE..... | 29 |
| SUMMARY | 30 |
| KASUTATUD KIRJANDUS..... | 32 |
| Kasutatud seadmete passid ja juhendid | 33 |
| LISAD..... | 34 |

EESSÕNA

Iga hooneautomaatika on mingil määral unikaalne ja seda isegi ühesuguse riistvara korral. Kui mitte muud, siis vähemasti seadistused on ka ühesuguste hoonete automaatikasüsteemidel detailides erinevad.

Tänapäevaste vabalt programmeeritavate automaatikakontrollerite kasutamine võimaldab luua väga erinevaid kohandatud juhtimislahendusi. Sellele mitmekesisusele vaatamata on välja kujunenud rida tüüplahendusi, mida varieeritakse pigem pisiasjades. Läbiproovitud lahendused tulevad omahinnalt odavamad ja kätkevad endas vähem riske.

Vahel aga kujuneb ebatüüpiline olukord, kus traditsioonilised lahendused pole optimaalsed või pole ohutud. Üheks selliseks on vajadus ühendada omavahel TalTech Tartu kolledži Puiestee 80A õppehoones olemasolev Eluslaboratooriumi (õpikeskkond) hooneautomaatika lähema aasta jooksul ruumipõhiseks renoveeritava ventilatsioonisüsteemiga. Need kaks automaatikasüsteemi tuleb omavahel funktsionaalselt siduda nii, et Eluslaboratooriumil tekiks ventilatsioonisüsteemi õhuhulkade juhtimise võimalus ja seejuures ei seota neid kahte süsteemi omavahel järgalt ühtseks hooneautomaatikasüsteemiks. Sekkumine kasutusesoleva ventilatsioonisüsteemi automaatikasse seadistuste tasemel on õppetöö mahus seotud liiga suurte kaasnevate riskidega.

Kirjeldatud ebatüüpilises olukorras sobiva lahenduse leidmise vajadusest lähtubki käesoleva lõputöö teema. Autor eesmärk on programmeerida TalTech Tartu kolledži klassiruumides asuvad ruumikontrollerid ventilatsiooni kontrollima ilma ventilatsioonisüsteemi enda tarkvara muutmata, muutes seeläbi ventilatsioonisüsteemi toimimist targemaks ja ökonoomsemaks.

Märksõnad: kontroller, tarkvara, ventilatsioonisüsteem, bakalaureusetöö

LÜHENDID JA MÕISTED

BMS (*Building Management System*) - hooneautomaatika arvutipõhine süsteem, mille eesmärk on jälgida ja reguleerida hoone mehaanilisi ja elektrilisi seadmeid, säästes seeläbi energia tarbimist.

Debugger – tarkvaraprogramm koodist vigade leidmiseks.

Manipuleeritud CO₂ mõõdis – muutuja, mida edastatakse ventilatsioonisüsteemile selle juhtimiseks, vastavalt parameetritele salvestatakse muutujasse kas tegelikku CO₂ taset või väärtust, mis lülitaks ventilatsioonisüsteemi sobivale kiirusele.

potentsiomeeter – reguleeritav pingejagur, võimaldab pinget sujuvalt muuta.

Ppm (*parts per million*) – miljondikosa, mis väljendab arvulist suhet üks miljondik tervikust.

VBA (*Visual Basic of Application*) – Microsofti loodud programmeerimiskeel.

SISSEJUHATUS

Tartu kolledži õppehoone, aadressiga Puiestee 80A, edaspidi nimetatud „loengumaja“ ruumidest moodustavad enamiku auditooriumid. Erinevalt kontoriruumidest on auditooriumid tööpäeva lõikes väga ebaühtlaselt hõivatud. Praegune loengumaja ventilatsioonisüsteem on aga tänaseks ~19 aastat vana ja selle ventilatsiooniagregaat ei võimalda ventilatsiooni summaarset õhuhulka reguleerida. Summaarne õhuhulk on planeeritud piisav kõigi ruumide maksimaalse hõivatuse korral. Ventilatsioonisüsteemi esialgse projekti järgi on arvestatud inimeste maksimaalseks arvuks väikestes auditooriumides 13 ja suuremates 28 – 36 inimest. Juba inimeste arv kursusel on tihti väiksem kui 30 inimest ja enamasti käib kohal umbes ½ kuni 2/3 kursusest. Väikestest auditooriumidest kolm on täna bürooruumi funktsioonis ja neljas neist on kasutuses praktikumiruumina, kus ainsana realiseerub vahel planeeritud täituvus.

Ka pole auditooriumid nii töönädala kui ka tööpäeva lõikes pidevalt kasutuses. Tulenevalt sellest ventileeritakse ruume sageli üle ja sellega kaasneb oluline tarbetu energiakulu.

Aastal 2022 otsustas TalTech haldusosakond renoveerida loengumaja ventilatsioonisüsteemi ruumi- ja vajaduspõhiseks. Õhuhulki ruumides juhitakse vastavalt CO₂ tegelikule kontsentratsioonile neis ruumides. Selline ventilatsioonisüsteem eeldab CO₂ pidevat mõõtmist ruumide kaupa ja õhuhulkade juhtimist mõõtmistulemustest lähtuvalt.

Käesoleva lõputöö ülesandeks on leida lahendus, kuidas juhtida hoone ventilatsiooniautomaatikat, manipuleerides vajadusel ventilatsioonisüsteemi automaatikale edastatavaid CO₂ kontsentratsiooni mõõdiseid. Lisaks sellele tuleb analüüsida erinevaid olukordi ruumide kasutamises, mille korral on CO₂ mõõdise manipuleerimine otstarbekas ja tuua välja millisel määral tuleks mõõdist igal sellisel juhul manipuleerida.

Kuna ventilatsioonisüsteemi renoveerimist alustatakse 2023 kevadel, siis piirdub koostatud juhtimisprogrammi katsetamine MeiePilv andmebaasi aegridadena laekuvate mõõdiste ja Eluslaboratooriumi automaatika seisundiandmete jälgimisega. Samuti mõõtes ruumides asuvate ruumikontrollerite pinge muutuseid väljundil, mille kaudu tulevikus edastatakse CO₂ mõõdist ventilatsioonisüsteemile.

1 VENTILATSIOONISÜSTEEM

1.1 Olemasolev ventilatsioonisüsteem

Aastal 2003 loengumajja paigaldatud ventilatsioonisüsteem töötab õhuhulkadega, mis vastavad ruumi saajaprotsendilisele hõivatusele ehk eeldades, et ruumid on alati maksimaalselt õpilasi täis. Väikestes auditooriumide puhul 13 inimest ja suuremates 28 – 36 inimest. Ventilatsioonisüsteem töötab tööpäeviti kell 8-18 täiskiirusel ning kell 18-8 poolkiirusel ehk 10 tundi täiskiirusel ja 14 tundi poolkiirusel. Ventilatsioonisüsteem töötab ka riigipühadel ja vahel ka talvevaheajal, nädalavahetustel on ventilatsioon välja lülitatud. Seda kõike juhib manuaalselt seadistatud piiratud võimalustega programmikell.

1.1.1 Olemasoleva ventilatsioonisüsteemi puudused

Selliselt ventilatsioonisüsteemi juhtides ventileeritakse ruume kordades rohkem, kui tegelikult vaja oleks. Liigne õhuhulkade liigutamine annab olulise energiakao, praegu kulub tööpäeval ööpäevas 125.04 kW energiat (Lisa 2), millest vähemalt kolmandik ventileerib tühja.

Lisaks ventilaatorite ringiajamisele kuluvale energiale paisatakse väljatõmbeõhuga välja sooja õhku ning tõmmatakse asemele külm õhk, mida tuleb uuesti kütta. Ventilatsiooniagregaadis on küll olemas soojatagasti, mis kütab väljamineva õhuga sissetõmmatavat õhku, aga siin on tagastustegur vaid kuni ~80 % ja vähemalt 20 % läheb kaduma. Mida kiirem on õhuvahetus, seda suurem on see 20 % absoluutarvuna. Lisaks sellele kuivatab üleventileerimine talvel oluliselt rohkem õhku, kui vajaduspõhine ventileerimine.

Loengumaja akendele on paigutatud aknakontaktide seisu jälgimiseks magnetkontaktandurid, kuid ventilatsioonisüsteemi tööga ei olnud need siiani seotud. See tähendab, et ventilatsioonisüsteem töötas ka avatud akende korral, kui CO₂ tase oleks suutnud ise normaliseeruda.

1.2 Tulevane ventilatsioonisüsteem

Tulevane ventilatsioonisüsteem reguleerib ruumi õhuhulka vastavalt ruumiandurite CO₂ näitudele. Neid näite kasutades loodi antud lõputöö käigus lahendus ventilatsiooniautomaatika juhtimiseks, manipuleerides vajadusel ventilatsioonisüsteemi automaatikale edastatavaid CO₂ kontsentratsiooni mõõdiseid ruumikontrolleri SE8350 väljundi kaudu. Muutes seeläbi süsteemi optimaalsemaks ning ökonoomsemaks, ilma ventilatsioonisüsteemi enda tarkvara segamata. Manipuleerimisel arvestati ruumi sisekliima parameetreid ja seisundeid, sealhulgas informatsiooni selle kohta, kas hoone on valve all.

1.2.1 Nõuded süsteemile

- Leida võimalus ruumikontrolleri SE8350 väljundi juhtimiseks. Kuna ruumikontrolleri muutujatel on ka oma põhifunktsioonid, tuleb leida lahendus ruumikontrollerile analoogväljundi tekitamiseks vahemikus 1 – 10 V.
- Luua võimalus jälgida hoone valvesüsteemi olekut, valve all või mitte.
- Panna paika optimaalseim lahendus ventilatsioonisüsteemi juhtimiseks, arvestades ruumi hõivatust, valve seisu, akende kontakte, CO₂ taset ja õhuniiskust.
- Leida aeg, mille jooksul CO₂ kontsentratsioon suudab ise ruumis hajuda.
- Kuvada tulemused MeiePilv andmebaasis.
Realiseerida kõik eelnevad punktid LUA keeles programmeerides, arvestades ka varasemalt kontrolleril jooksnud koodiga.
- Katsetada programmi tööd ja ruumikontrolleri käitumist reaalsete ruumide peal, jälgides optimaalsust ja ökonoomsust.

2 ELUSLABORATOORIUM

2.1 Eluslaboratooriumi olemasolev lahendus

Eluslaboratoorium ehk *Living Lab* on innovatsiooni- ja arenduskeskkond, milles proovitakse kasutajatele tuttavates kontekstides uusi lahendusi ning kogutakse andmeid toimunud muutuste kohta. Eluslaboratoorium loob võimaluse eksperimentide turvaliseks läbiviimiseks uurimiskeskonnas. [1]

Tüüpilisest laboratooriumist erineb eluslaboratoorium selle poolest, et ei looda tehiskeskonda üksikute protsesside uurimiseks, küll aga on eluslaboratooriumis enamasti rohkem andureid ning kogutakse suuremal hulgal andmeid, kui mõnes muus samaväärses laboratooriumis.

Eluslaboratooriumiks on Tartu kolledži kontekstis loengumaja koos selle tehnosüsteemidega. Praegu sisekliimaautomaatikale keskenduvat Eluslaboratooriumit kasutatakse peamiselt õppetöös ning seeläbi ka hoone sisekliima optimeerimiseks ja energia kokku hoidmiseks, tagades siiski samal ajal inimestele mugava sisekliima [2]. Kogutuid andmeid läbi töötades saavad üliõpilased praktilisi kogemusi nii hooneautomaatika kui ka hoone sisekliimat tagava muu tehnosüsteemi valdkonnas [3].

Eluslaboratooriumi sisekliima automaatika madalam juhtimistasand baseerub Schneider Electric SE8350 ruumikontrolleritel ja kõrgem sama tootja MPM lüüsi kontrolleritel. Ruumikontrolleritele edastab CO₂ kontsentratsiooni SCR201 andur, praegu kasutatakse neid andureid vaid ruumi CO₂ taseme monitoorimiseks. Kuna tegemist on suhteliselt kallite seadmetega, siis on mõistlik neid kasutada ka ventilatsioonisüsteemi tagasiside tarbeks.

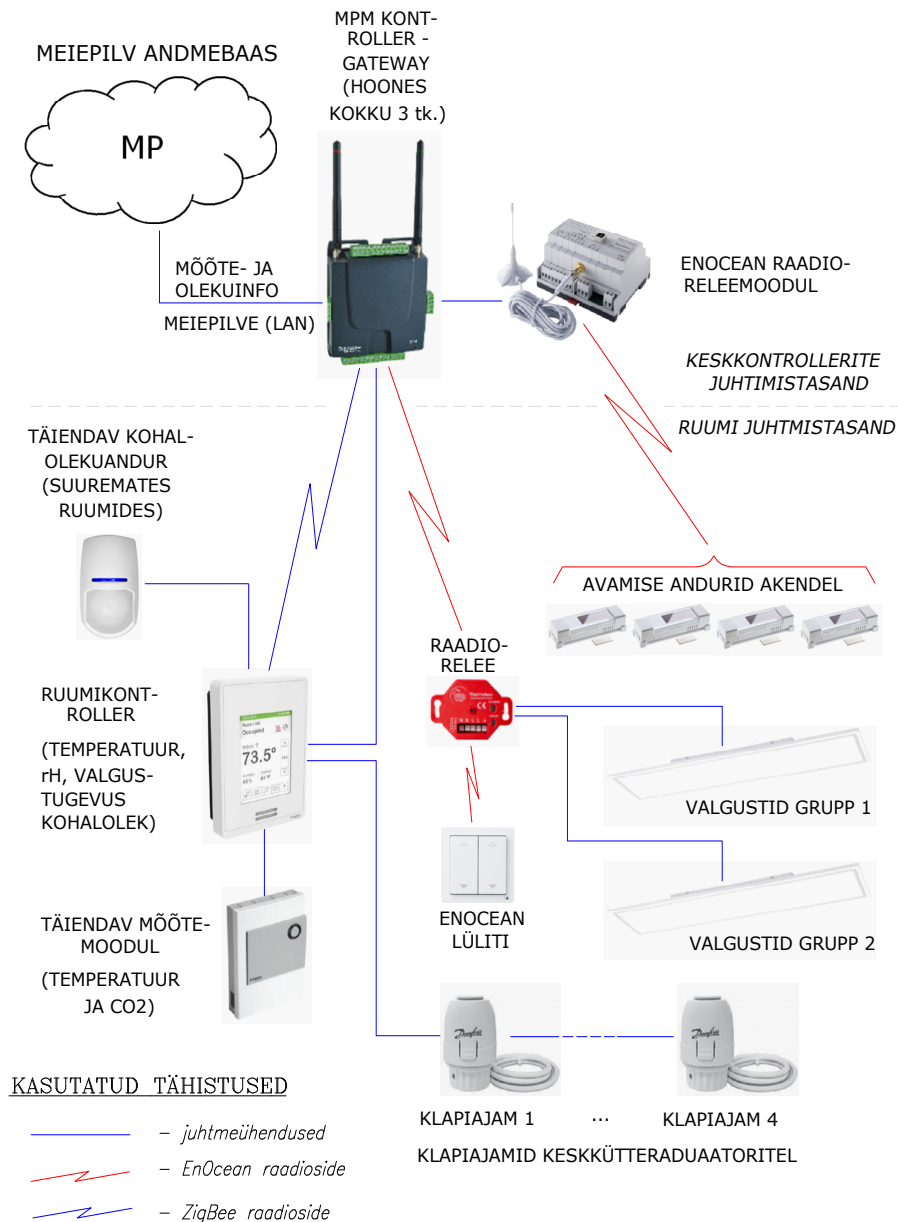
Automaatikasüsteemi mõõdetud sisekliima andmed, automaatika seisundid ja seadeparameetrid salvestatakse MeiePilv-nimelisse andmebaasi. See annab võimaluse kontrollida ruumikontrolleri käitumist ning lahenduse sobivust tulevase ventilatsioonisüsteemi juhtimiseks.

3 ELUSLABORATOORIUMI RUUMILAHENDUS

Kuna ventilatsioonisüsteemi juhtimine otsustati teha ruumikontrollerite kaudu, vaatleme detailsemalt Eluslaboratooriumi ruumilahendust, mis koosneb:

- ruumikontrollerist;
- SRC mõõtemoodulist (mõõdab CO₂ kontsentratsiooni ja ruumi temperatuuri);
- magnetkontaktanduritest (4 tk. suurtes auditooriumiruumides ja 2 väikestes);
- kohaoleku anduritest (väikestes ruumides ruumikontrolleri liikumisandur ja suurtes lisaks veel täiendav andur);
- keskkütteradiaatorite klapiajamitest (4 tk. suurtes auditooriumiruumides ja 2 väikestes);
- raadiolülitist ja raadioreleedest valguse lülitamiseks.

Kaks viimast ei ole seotud käesoleva töö lähteülesandega.



Joonis 3-1: Eluslaboratooriumi seadmete ühendused

Ruumikontrolleri kaudu edastatakse süsteemi alljärgnev mõõte- ja seisundiinfot:

- ruumi temperatuur (°C),
- õhuniiskus (%),
- seadetemperatuur (°C),
- hõivatus (1/0),
- CO₂ tase (ppm),
- valgustugevus,
- aknakontaktid (1/0),

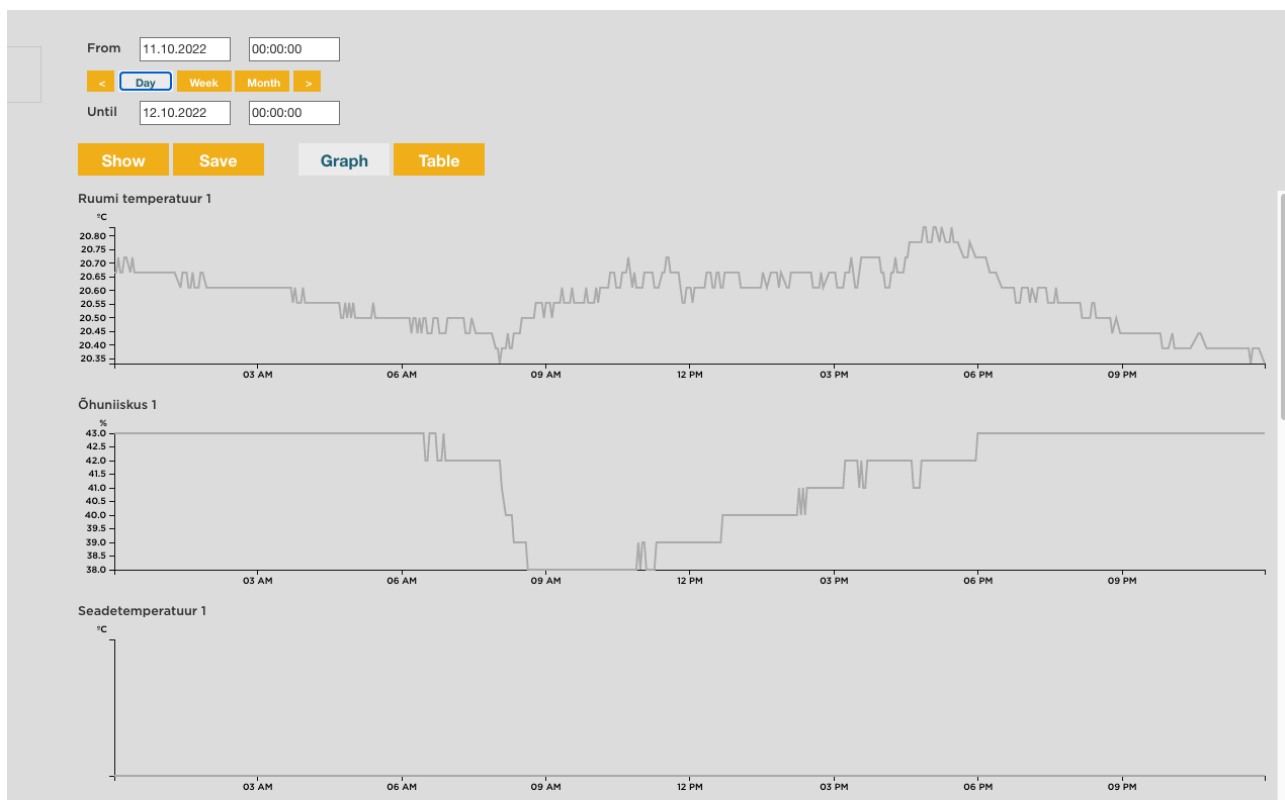
- kütmine (1/0),
- pseudo CO₂ (ppm).

Lüüskontrollerite tasandilt edastatakse ruumikontrolleritesse

- Valvesüsteemi seisund (valve all 1, valveta 2) ja
- Välistemperatuur

Ruumiandmete kogumiseks kasutatakse raadioprotokolliga hooneautomaatika kontrollereid Schneider Electric GMBH MPM. Üheks kasutatavaks raadioprotokolliks on madala energiatarbega ning siseruumis hea leviga EnOcean [4].

Eluslaboratooriumi osa on ka MongoDB andmebaas, tuntud kui MeiePilv. MeiePilvega on Eluslaboratooriumi automaaticasüsteem mõlemasuunaliselt seotud: sinna salvestatakse automaatika tagasisideandurite abil kogutud informatsioon ja automaatika seisundiinfo ning automaaticasüsteem loeb sealt maha etteantud seadesuurusi. [5]



Joonis 3-2: MeiePilve vaade

3.1 Miks mitte juhtida kõike Eluslaboratooriumi kaudu?

Kui anda eluslaboratooriumi automaatika tervikuna ventilatsiooniautomaatika käsutusse, kaotab Tartu kolledž õpikeskkonna. Õpikeskkond tähendab seda, et üliõpilased võivad õppetöö käigus eluslaboratooriumi automaatikasüsteemi seadistusi muuta. Kuni see piirdub ruumide temperatuuri ja valguse juhtimisega, on vead suhteliselt ohutud ning enamasti ka kergesti avastatavad. Õpikeskkonna laiendamine ventilatsioonisüsteemile kätkeb aga ohtu. Ruumipõhise ventilatsioonisüsteemi seadistamine on keerukas ja ventilatsiooniagregaadi mootorite juhtimisse sekkumine võib tuua kaasa ohtlikke rikkeid.

Lisaks tekiks kokku BMS, mis koosneb vanadest Eluslaboratooriumi komponentidest ja uutest paigaldatavatest komponentidest, sellisele süsteemile tervikuna on ehitajal keerukas anda garantiid.

Eelläbirääkimistel ventilatsioonisüsteemi võimalike ehitajatega lepiti kokku, et eluslaboratooriumi automaatikasüsteemist antakse ventilatsioonisüsteemi automaatikale ruumi kaupa CO₂ analoogväljund 0 - 10 V, mis vastab CO₂ kontsentratsioonidele 0 - 2000 ppm. See võimaldab neid kahte süsteemi hoida piisavalt lahus ja võimalike rikete korral mõõta analoogväljunditelt väljastatava informatsiooni õigsust, et eristada kas rikke põhjus on uues ventilatsioonisüsteemis või Eluslaboratooriumi automaatikasüsteemis.

Lisaks analoogväljundite kasutamisele kaaluti ka võimalust edastada info mõnda järjestikside protokollide kasutades (MODBUS, oBIX, BacNet, CANBUS). Kõiki neid protokolle toetavad Schneider MPM keskkontrollerid, kuid kuna pole teada, millise tootja kontrollereid tulevases automaatikasüsteemis kasutatakse, valiti kõige universaalsem ehk analoogväljundit. Lisaks saab võimalike rikete kõrvaldamiseks analoogväljundit kergesti mõõta, et teha kindlaks, kas ventilatsiooniautomaatikasse edastatakse adekvaatne signaal. See omakorda võimaldab määratleda rikke põhjust süsteemiosa täpsusega.

3.2 Eluslaboratooriumi tehnoloogiad

3.2.1 Schneider SE8350 ruumikontroller

SE8350 ruumikontrollerid on suures ulatuses kasutaja poolt programmeeritavad, nende LCD displei võimaldab kajastada jooksvalt ruumi temperatuuri, suhtelist niiskust ja CO₂

konsentratsiooni ruumi õhus. Ekraani värvust on võimalik vastavalt erinevatele piirväärtustele muutuma panna. Näiteks muuta roheline ekraani värvus punaseks, kui CO₂ konsentratsioon on liiga kõrge. See võimaldab juba kaugelt tuvastada, kas ruumis on süsihappegaasi tase kõrgem kui peaks.

Tavakasutaja saab menüü kaudu muuta vaid üksikuid seadeid nagu keel ja kraadide mõõtühikud. Ruumikontrolleril on võimalus ilma arvutiga ühendamata avada arendajamenüü, kust on võimalik osade seadeparameetrite väärtusi manuaalselt muuta. Samuti on võimalik sealt näha vigu kontrollerile laaditud programmi struktuuris ja loogikas.



Joonis 3-3: SE8350 ruumikontroller [13]

3.2.2 SRC210 mõõtemoodul

Schneider SRC210 on sisekliima mõõtemoodulid, mis võimaldavad mõõta ruumi õhu temperatuuri, CO₂ sisaldust ja suhtelist õhuniiskust. CO₂ konsentratsiooni mõõdetakse vahemikus 0-2000 ppm. Ning saadud mõõdised edastatakse SE ruumikontrollerile. [6]



Joonis 3-4: SCR210 mõõtemoodul [13]

3.2.3 Schneider LSS10020032 magnetkontaktandur

LSS10020032 magnetkontaktandurid jälgivad aknakontaktide seisuga magneti liikumise järgi anduri juurde või sealt eemale. Iga muutuse järel ning muutumatu olukorra puhul teatud aja tagant saadab andur kontakti seisuga kohta EnOcean paketi. Paketi saatmiseks saab andur energia esiküljel asuvast päikesepaneelist.



Joonis 3-5: LSS10020032 magnetkontaktandur [15]

3.2.4 Passiivne infrapunaandur ehk PIR

Passiivseid infrapunaandureid kasutatakse liikumise tuvastamiseks. Andurid mõõdavad infrapunakiirgust keskkonnas olevatelt objektidelt. Enamasti suudavad PIR andurid liikumise tuvastada juba 12 meetri pealt, aga käega viipamise umbes 4 meetri pealt. Andurid vajavad töötamiseks toidet elektrivõrgust.

4 PROGRAMMI KIRJELDUS

Kuna valvesüsteemi ühendamine nõuab teenust pakkuvalt ettevõttelt lubasid tehnoloogilist lahendust, pandi praegu valvesüsteemi seisu imiteerima nupp. Nuppu peab küll manuaalselt lülitama, kuid programmi ja sisendi poole pealt on kõik valmis nupu asemel tulevikus valvesüsteemiga ühendamiseks. Vastav parameeter on keskkontrolleris loodud ning MeiePilve andmed tekitatud.

4.1 Manipuleerimise ja mitte manipuleerimise olukorrad

- Valve väljas, ruumis pole kedagi

Ventilatsioon on vajalik ka hoone hõiveta tundide ajal, et vältida saasteainete kogunemist siseõhus või pindadel ning kahjustavat kondenseerumist materjalides, konstruktsioonis või pindadel. Hõiveta ajal võib ventilatsioon olla alandatud, kuid emissioonide lahendamiseks peab summaarne õhuvoolu hulk olema minimaalselt $0,15 \text{ l/(s} \cdot \text{m}^2)$ põrandapinnast kõikides ruumides [2]. Näiteks loengumaja ruumi A103 puhul oleks see $0,15 \cdot 45 = 6 \text{ l/s}$, mille saavutamiseks edastatakse programm ventilatsioonisüsteemile 2 V. Samuti on võimalik programmis vastavalt ruumi suurustele antud muutuja väärtust muuta. [2]

- Valve sees, aknad kinni, õhuniiskus suur

Hoolimata pidevast madalal tasemel ventileerimisest võib tekkida olukordi, kus tühjalt seisvas majas on suhtelise õhuniiskuse protsent suurem, kui antud hoone kohta soovitatud ülempiir, talvel 80 % ja suvel 60 % [8]. Õhuniiskuse alandamise eesmärgil ventileerimise puhul tuleb silmas pidada, et siseõhu niiskust ei tohi eemaldada madalama suhtelise niiskuse tasemeni kui arvutuslikud väärtused [2]. Selleks on programmil kasutaja poolt määratav suhtelise õhuniiskuse taseme piir muutuja AV71 näol, mida vastavalt kontori- ja klassiruumide tingimustele kohandada saab.

- Aknad lahti

Aknad lahti seisu puhul ei reguleerita ventilatsioonisüsteemi vastavalt CO₂ ega õhuniiskuse tasemele kuna CO₂ suudab sellisel juhul ise hajuda (Lisa 3) ning välisõhust järjest juurde tuleva õhuniiskuse ventileerimine on energia raiskamine.

Väärtus, mida sellisel juhul ventilatsioonisüsteemile edastama hakatakse sõltub uuest ventilatsioonisüsteemist. Kui ventilatsioonisüsteemi siibrid ei oma kinnist asendit, ei saa süsteemi täielikult välja lülitada ja see töötaks kõige madalamal kiirusel.

Standardi järgi peab ventilatsioonisüsteem töötama ka hõiveta ruumides emissioonide lahjendamiseks või siis töötama vahetult enne inimeste saabumist ruumi, kuid avatud akende korral konkreetsed juhised puuduvad [2]. Arvestades avatud aknaid, kui loomulikult ventileeritud hoonet, tuleb ventilatsiooniõhu vooluhulk arvutada hoone alusplaani, asukoha ja ilmastikuolude järgi [2].

Praegune programm edastab avatud akende korral ventilatsioonisüsteemile 2 V, mis vastab välisõhu CO₂ sisaldusele ehk 400 – 440 ppm meie tingimustes [9].

4.2 Programmi töö selgitus

Programmis kasutatakse kahte abimuutujat SHG ja C2. SHG hoiab endas reaalselt CO₂ näitu miljondikosakestes ehk ppm-ides, selleks korrutatakse SRC210-lt saadud pinge vahemikus 1-10 V kahesajaga. C2 hoiab pseudo CO₂ pingeväärtust vahemikus 2-10 V. C2-le omistatud väärtus edastatakse väljundisse ning keskkontrollerisse programmi lõpus, et vältida liigseid edastusi keset programmi tsükli.

Kuna ruumikontrolleril on paljudel muutujatel ka põhifunktsioonid, siis programmi korralikuks töötamiseks ei tohi muutujad üksteist segama hakata. Kontrolleris on kasutusel prioriteedisüsteem, mis tähendab, et muutujatele saab määrata tähtsuseastme skaalal 1-16 ning vastavalt sellele kirjutatakse algseadistatud muutujad üle. Kuna prioriteedisüsteemi kasutades on oht rikkuda mõne põhifunktsiooni töö, leiti lahendus prioriteetideta väljundi juhtimiseks.

Selleks määrati väljund UO11 analoogväljundiks olekumuutujaga ME.MV98 = 1, mis võimaldas väljundisse edastada pinget 1-10 V. Nii tegelikku kui manipuleeritud näitu hakati edastama manipuleeritud tulemuse jaoks loodud muutuja AO123 kaudu ning sama näitu ppm-ides kuvatakse MeiePilves muutuja AV29 kaudu. Meie Pilves on alati näha ka tegelik CO₂ näit.

Programmi kõige välimiseks tsükliks on hoone valvesüsteemi oleku kontroll, kui valve on sisse lülitatud, kustutatakse ruumides tuled, selleks määratakse muutuja BO103 seis 0. Lisaks kontrollitakse suletud akende puhul ruumi suhtelise õhuniiskuse taset, kui õhuniiskus on suurem kasutaja poolt muutuvasse AV71 salvestatud protsendist, edastatakse abimuutujale C2-le väärtus 5, mis tähendab, et ruumi hakatakse ventileerima keskmisel kiirusel.

Kui valvesüsteem on väljas, kontrollitakse reaalselt CO₂ taset ruumis, kui see on kõrgem kui 1200 ppm-i, värvub programmi taust punaseks, muul juhul on taust sinine. Järgmine tsükel kontrollib hõivatust ruumis, vastavalt sellele edastab keskkontrollerisse info hõivatuse kohta ning suletud akende korral edastab väljundisse reaalselt CO₂ väärtust. Avatud akende korral ventilatsioonile CO₂ reaalselt mõõdist ei edastata. Lisaks lülitab programm hõivatud ruumis tuled põlema, kui valgustugevus on väiksem kui 200.

5 KATSETAMINE

5.1 Stendil katsetamine

Programmi ning ruumikontrolleri käitumise ohutuks katsetamiseks valmistati stend, mis koosnes ruumikontrollerist, potentsiomeetrist, kolmest tumblerist ja kolmest valgusdiodist. Potentsiomeetri eesmärk oli imiteerida tegelikku CO₂ näitu, keerates seda vastavalt ühele või teisele poole, edastati ruumikontrollerisse pinget 1-10 V, mis teisendati vastavalt 200-2000 ppm-ideks ja kuvati ekraanil. Tumblereid ühendati vastavalt vajadusele erinevateks sisenditeks, et imiteerida valvesüsteemi, aknakontakte ja ruumi hõivatust. Tumblerite seisundi, kas 1 või 0, jälgimiseks ühendati igaüks neist valgusdiodiga.

Programmi kirjutati programmis Notepad++ ning üleslaadimiseks kasutati programmi Room Controller Uploader RC8. Seejärel mängiti nuppude abil läbi erinevaid olukordi ning mõõdeti multimeetriga edastatava pinge väärtust.

Ruumikontrolleri sisseehitatud *debugger* aitas kontrollida esimesi vigu koodi õigekirjas ja loogikas. Kontrolleri arendaja menüüst sai jälgida kõikide ülekirjutatavate muutujate väärtuseid ja muutumist reaajas ning sealt nende väärtuseid ka muuta. Abimuutujate väärtuste kuvamiseks edastati need programmi sees kontrolleri ekraanile. Kui kood peale mitmekordseid muudatusi ja katsetamisi töötas vigadeta, laaditi esimene versioon ventilatsiooniga ühendatud ruumikontrollerile.



5.2 Katsed loengumaja ruumikontrollerite peal

Esimesena laaditi programm ruumi A203 ruumikontrollerile ning jälgiti MeiePilvest muutujate käitumist. Lisaks ühendati ruumikontrolleri CO₂ väljundisse ka valgusdiod, mis põles seda eredamalt, mida suurem oli pinge väljundil. Selliselt hakati andmetest otsima erinevaid anomaaliaid ning kohti, kus programm ei töötanud nii nagu vaja.

Esimene programm töötas peale pisiparandusi rahuldavalt, kuid peale paarinädalast analüüsi ja jälgimist otsustati programmi tsüklite loogika täielikult ümber kirjutada.

Muutes mõned tsüklid ü

ksteisest sõltumatuks. Näiteks eemaldati seos valve ja akende seisu tsüklite vahel.

Peale seda laaditi kood ka ruumide A105 ja A204 ruumikontrolleritesse, nii sai statistikat koguda rohkemate olukordade kohta ning vead ilmusid kiiremini välja.

6 KATSETE JA VÕRDLUSTE TULEMUSED

6.1 Katsetulemuste analüüsimine

MeiePilvest saab CSV formaadis ruumikontrolleritelt kogutud andmeid alla laadida. Miinimum andmevahemik, mida MeiePilves kuvatakse, on 1 tund ning keskmiselt tähendab see 20 rida andmeid. Kuna MeiePilves aga andmeid nende väärtuste järgi filtreerida ei saa, siis paremaks analüüsimiseks laaditi andmed Microsoft Excelisse ning programmeeriti VBA protseduurid. Protseduurid kuvati nuppudena ning neile vajutades filtreeriti tabelist protseduurile mitte vastavad lahtrid välja. Erinevate nuppude tingimusi sai kasutada korraga.

| Time | Ruumi temp | Ohuniiskus 1 | Hoivatus | CO2 ruumis | Valgustugev | Aknakontaktid | CO2 pseudo | Valve |
|------------------|------------|--------------|----------|------------|-------------|---------------|------------|-------|
| 26.09.2022 10:09 | 23.444 | 32 | 1 | 600 | 39 | 0 | 600 | 2 |
| 26.09.2022 10:12 | 23.389 | 33 | 1 | 620 | 36 | 0 | 620 | 2 |
| 26.09.2022 10:15 | 23.611 | 33 | 1 | 640 | 36 | 0 | 640 | 2 |
| 26.09.2022 10:17 | 23.722 | 34 | 1 | 680 | 39 | 0 | 680 | 2 |
| 26.09.2022 10:20 | 23.778 | 33 | 1 | 680 | 39 | 0 | 680 | 2 |
| 26.09.2022 10:22 | 23.833 | 34 | 1 | 720 | 39 | 0 | 720 | 2 |
| 26.09.2022 10:25 | 23.889 | 33 | 1 | 720 | 39 | 0 | 720 | 2 |
| 26.09.2022 10:27 | 23.889 | 34 | 1 | 700 | 39 | 0 | 700 | 2 |
| 26.09.2022 10:30 | 23.944 | 34 | 1 | 700 | 41 | 0 | 700 | 2 |
| 26.09.2022 10:37 | 23.944 | 34 | 1 | 720 | 41 | 0 | 720 | 2 |
| 26.09.2022 10:40 | 23.988 | 34 | 1 | 740 | 41 | 0 | 740 | 2 |
| 26.09.2022 10:45 | 24.056 | 34 | 1 | 720 | 43 | 0 | 720 | 2 |
| 26.09.2022 10:47 | 24.056 | 34 | 1 | 740 | 43 | 0 | 740 | 2 |
| 26.09.2022 10:55 | 24.111 | 34 | 1 | 740 | 41 | 0 | 740 | 2 |
| 26.09.2022 10:57 | 24.111 | 34 | 1 | 720 | 41 | 0 | 720 | 2 |
| 26.09.2022 11:00 | 24.167 | 34 | 1 | 720 | 41 | 0 | 720 | 2 |
| 26.09.2022 11:02 | 24.167 | 34 | 1 | 720 | 43 | 0 | 720 | 2 |
| 26.09.2022 11:05 | 24.167 | 34 | 1 | 720 | 43 | 0 | 720 | 2 |
| 26.09.2022 11:07 | 24.167 | 34 | 1 | 720 | 43 | 0 | 720 | 2 |
| 26.09.2022 11:10 | 24.111 | 34 | 1 | 720 | 43 | 0 | 720 | 2 |
| 26.09.2022 11:12 | 24.111 | 34 | 1 | 720 | 43 | 0 | 720 | 2 |
| 26.09.2022 11:15 | 24.167 | 34 | 1 | 720 | 46 | 0 | 720 | 2 |
| 26.09.2022 11:17 | 24.222 | 33 | 1 | 720 | 43 | 0 | 720 | 2 |
| 26.09.2022 11:20 | 24.167 | 33 | 1 | 720 | 46 | 0 | 720 | 2 |

Joonis 6-1: VBA protseduuride abil filtreeritud andmed, rohelise tekstiga nuppude protseduurid on aktiveeritud

6.2 Katsete ülevaade ja tulemused

Katse 1

16.09.2022

Eesmärk

Ajada suhtelise õhuniiskuse ja CO₂ tase kunstlikult kõrgeks, samal ajal võtta maha valve ja avada aken. Analüüsida ruumikontrolleri käitumist MeiePilv andmete põhjal.

Katse käik

13:43 – siseneti ruumi

13:43 - 13:44 - uuriti SE menüüdest mis on suhtelise õniiskuse eemaldamise seadepunkti väärtus. Oli 50 %.

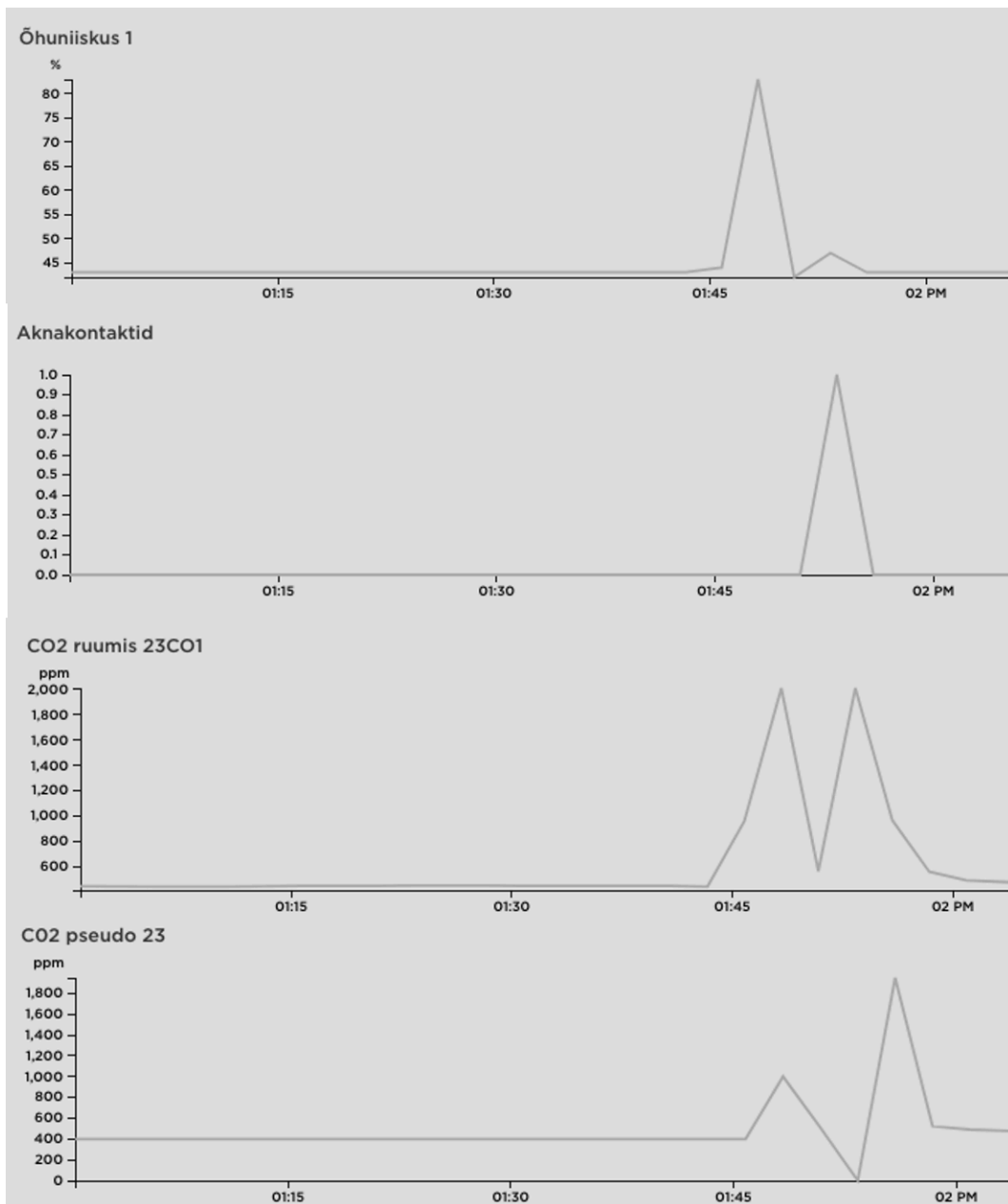
13:46 -13:48 - puhuti niiskusandurisse. Suhteline õhuniiskus vahemikus 76 - 83 %.

13:49 - võeti valve maha ja aeti CO₂ -te andurisse puhudes üles. Ekraan värvus punaseks, CO₂ kontsentratsiooniks ekraanil 1200 ppm

13:43 - avati aken, jätkati CO₂ ülalhooldmist

13:55 - suleti taas aken, lõpetati CO₂ puhumine andurisse, näit langes alguses aeglaselt, lõpus kiiremini.

13:56 - lahkuti ruumist.



Joonis 6-2: Graafikud MeiePilvest katse toimumise ajast

Tulemused

Katsetulemustest selgus, et programmiosa, mis kontrollib aknakontaktide seisu, ei töötanud nii nagu peaks. Avatud akna korral oleks pseudo CO₂ väärtus pidanud jääma 400 ppm juude, mitte muutuma, nagu on näha graafikult.

Lahendusena toodi akende seisu kontrolliv tsükkel teistest tsüklitest välja.

6.3 Võrdluste ülevaated ja tulemused

6.3.1 Sissepuhkeõhu võrdlus

Ventilatsioonisüsteemi sissepuhkeõhu koguste võrdlus praeguse süsteemi ja vajaduspõhise juhtimise järgi. Vajaduspõhise juhtimise uurimiseks on kasutatud tegeliku koolipäeva vaatlusandmeid

Praeguse süsteemi sissepuhkeõhk on (Lisa 1)

$$2500 \text{ l/s} = 9\,000\,000 \text{ l/h}$$

ehk 8 tunni jooksul

$$72\,000\,000 \text{ l}$$

Uue juhtimise järgi 1 h keskmine (MeiePilv vaatlusandmete põhjal)

$$8.71 \text{ l/s} = 31\,356 \text{ l/h}$$

ehk 8 h jooksul

$$250\,848 \text{ l}$$

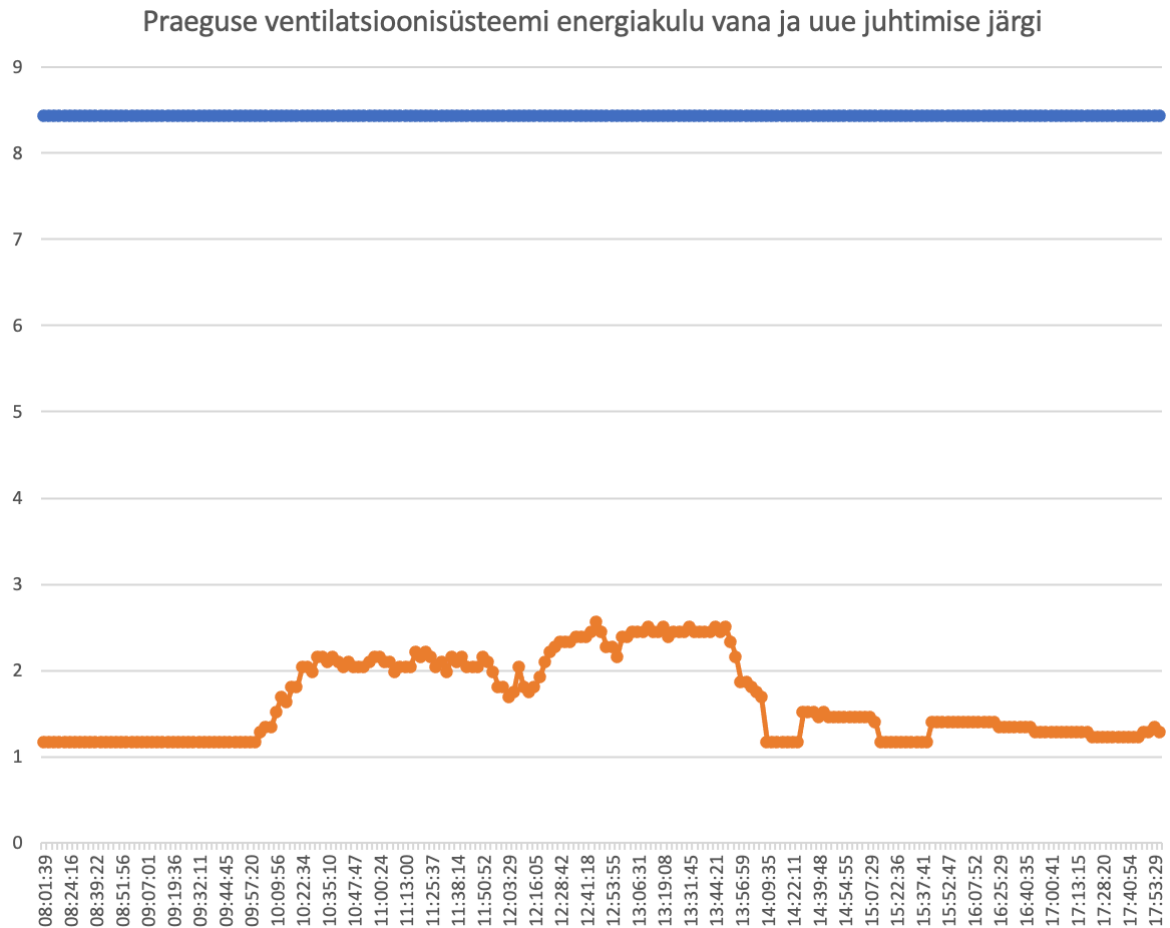
Erinevus

$$72\,000\,000 / 250\,848 = 287,0$$

Antud arvutustest on näha, et vajaduspõhise juhtimisega on sissepuhkeõhu kogus 287 korda väiksem, kui praegu.

6.3.2 Energiatarbe võrdlus

Illustratiivne võrdlus praeguse ventilatsioonisüsteemi energiatarbest, kui seda oleks võimalik uue lahenduse järgi juhtida. Uue juhtimisviisi jaoks kasutati 24. novembri andmeid MeiePilvest.



Joonis 6-3: Ventilatsioonisüsteemi energitarbe võrdlus, sinine - vana juhtimisviis, oranž - uus juhtimisviis, y – telje ühik võimsus [kW]

Graafikult on näha, et uue juhtimisviisiga oleks energia kokkuhoid umbes neljakordne.

7 EDASIARENDUSED

Järgnevas peatükis kirjeldatakse töö käigus tekkinud soovitusi edasiarenduseks, antud töö staapi need ei mahtunud ning puudu jäi ka tehnoloogilisest lahendusest.

7.1 Õhuniiskuse ja välistemperatuuri seos

Kevadepoole esineb soojusliku inertsiga loengumajas olukordi, kus ruumi suhteline õhuniiskus on kõrgem, kui programmis kasutaja poolt määratud piir, sellisel juhul edastatakse ventilatsioonisüsteemile 5 V ehk keskmist kiirust ja ruumidesse puhutakse välisõhku. Kui aga temperatuur õues on kõrgem kui ruumis sees, juhitakse ruumi sooja välisõhku. Soojas ja niiskes välisõhus on suhteline niiskus 100 % ehk absoluutne õhuniiskus on maksimaalne võimalik ning mahutab ruumalaühiku kohta rohkem vett, kui siseõhk. Kui selline õhk puhutakse ruumi, siis osa vett sadestub seintele ja ülejäänud õhu niiskus on 100 %. Seintele sadestuv vesi imendub krohvi, kahjustades seeläbi hoone konstruktsiooni.

SE ruumikontrolleriga saab jälgida ka välistemperatuuri, mis annab kõrge õhuniiskuse korral võimaluse sise- ja välistemperatuure võrrelda ning vastavalt sellele kas ventileerida või mitte. Hoides seeläbi ära vee seintele sadestumise.

Kuna miinuskraadidega on lubatud suhtelise õhuniiskuse ülempiir 80% ja plusskraadidega 60% võimaldaks välistemperatuuri jälgimine muuta ka õhuniiskuse parameetri ülempiiri, et vältida talvel soovimatut ventileerimist, kui õhuniiskus on nagunii kõrgem [8].

8 KOKKUVÕTE

Käesoleva töö eesmärgiks oli leida lahendus, kuidas juhtida TalTech Tartu kolledži Puiestee 80A õppehoone tulevast ventilatsiooniautomaatikat, manipuleerides vajadusel ventilatsioonisüsteemi automaatikale edastatavaid CO₂ kontsentratsiooni mõõdiseid. Muutes ruumipõhise juhtimisega ventilatsioonisüsteemi optimaalsemaks ja ökonoomsemaks.

Lahenduse täideviimiseks kasutati Tartu kolledži õpikeskkonna Eluslaboratooriumi sisekliimaautomaatika seadmeid (SE ruumikontrollerid, SRC mõõtemoodulid, magnetkontaktandurid ja PIR kohalolekuandurid) ning neilt samadelt seadmetelt kogutud andmete jaoks loodud andmebaasi MeiePilv. Võimalike ventilatsioonisüsteemi ehitajatega lepitati kokku, et Eluslaboratooriumi automaatikasüsteemist antakse ventilatsioonisüsteemi automaatikale analoogväljund 0 - 10 V. See võimaldab neid kahte süsteemi hoida piisavalt lahus, et võimalike rikete korral eristada kas rikke põhjus on uues ventilatsioonisüsteemis või Eluslaboratooriumi automaatikasüsteemis.

CO₂ mõõdise edastamiseks programmeeriti Eluslaboratooriumi ruumikontroller SE8350 analoogväljundisse 0 – 10 V pinget edastama, mis vastas CO₂ kontsentratsioonile 0 – 2000 ppm. Programm koosnes tsüklitest, mis arvestasid lisaks CO₂ tasemele ja suhtelisele õhuniiskusele ka ruumi hõivatuse, akende avatuse ning valvesüsteemi seisuga.

Kuna tulevast ventilatsioonisüsteemi ehitamist ei olnud veel antud tööd kirjutades alustatud, siis toimus lahenduse katsetamine MeiePilv andmebaasi aegridadena laekuvate mõõdiste ja Eluslaboratooriumi automaatika seisundiandmete jälgimisega. Kood laeti kolme erineva ruumi ruumikontrolleritele, mis võimaldas koguda andmeid mitmete erinevate olukordade analüüsimiseks ning vastavalt neile koodis parandusi teha.

Töö käigus pandi kirja soovitused välistemperatuuri kaasamiseks, et vältida ruumide liigset niisutamist. Antud töö jooksul polnud seda võimalik realiseerida puuduvate tehnoloogiliste võimaluste ning töömahu suuruse tõttu.

Uue ventilatsioonisüsteemi juhtimiseks on töötav lahendus loodud, selle valmimisel tuleb ruumikontrollerite analoogväljund ühendada ventilatsioonisüsteemi CO₂ mõõteanduriga.

9 SUMMARY

The aim of this work was to find a solution to control the future ventilation automation of the TalTech Tartu College Puiestee 80A building by manipulating the CO₂ concentration measurements transmitted to the automation of the ventilation system if necessary. By doing so the room-based ventilation system is made more optimal and economical.

The solution was implemented using the indoor climate automation equipment of the Living Laboratory of Tartu College's (SE room controllers, SRC measurement modules, magnetic contact sensors and PIR presence sensors) and the MeiePilv database created for the data collected from these same devices. It was agreed with the builders of the possible ventilation system that an analog output of 0 - 10 V will be given from the automation system of the Living Laboratory to the automation of the ventilation system. This allows the two systems to be kept sufficiently separate, so that in case of possible failures, it can be distinguished whether the cause of the failure is because of the new ventilation system or the automation system of the Living Laboratory.

To transmit the CO₂ measurement, the room controller SE8350 was programmed to transmit a voltage of 0 - 10 V to the analog output, which corresponded to a CO₂ concentration of 0 - 2000 ppm. The program is made out of cycles that, in addition to the CO₂ level and relative air humidity, also considers the occupancy of the room, windows state and the status of the security system.

Since the construction of the future ventilation system had not yet started while this work was written, the solution was tested by monitoring the measurements received as time series from the MeiePilv database and the automation statuses of Living Laboratory.

The code was uploaded to the room controllers of three different rooms, which made it possible to collect data to analyze several different situations and make corrections in the code accordingly.

During the work, recommendations were written down to include the outside temperature in order to avoid excessive humidification of the rooms. During this work, it was not possible to realize it due to the lack of technological possibilities and the size of the work volume.

A working solution has been created to control the new ventilation system, upon completion, the analog output of the room controllers must be connected to the CO₂ measuring sensor of the ventilation system.

10 KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] F. Asbjørn, „LIVING LABS FOR INNOVATION AND DEVELOPMENT OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY: A LITERATURE REVIEW,“ *The Electronic Journal for Virtual Idots*, kd. 10, nr 99, p. 131, 2008.
- [2] „EVS-EN 16798-1:2019+NA:2019 HPPNETE ENERGIATÕHUSUS Hoonete ventilatsioon Osa 1: Sisekeskkonna lähteandmed hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust keskkonnast, valgustusest ja akustikast Moodul“.
- [3] [Võrgumaterjal]. Available: <file:///Users/kasutaja/Downloads/3f7000cb97a3474b8205e0c2c4de78c2.pdf>.
- [4] G. Randla, „ENOCEAN RAADIOLIIKLUSE JÄLGIMISE VÕIMEKUSE LOOMINE TARTU KOLLEDŽI ELUSLABORATOORIUMILE [Bakalaureusetöö], Inseneriteaduskond, TalTech, Tartu, 2020. [Online]. Loetud aadressil <https://digikogu.taltech.ee/en/Item/e53fbb58-82fd-4a19-a40a-f0d959c88ecb>.,“ Kasutatud 02.12.2022.
- [5] Artikkel, „TELEMAATIKA JA ARUKATE SÜSTEEMIDE ASJATUNDJATE TÖÖPÕLD ON LAI: ELAME JUBA PRAEGU KESET KÜBERFÜÜSIKALISI SÜSTEEME,“ 05 05 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://taltech.ee/uudised/telemaatika-ja-arukate-susteemide-asjatundjate-toopold-lai-elame-juba-praegu-keset>. Kasutatud 10.10.2022.
- [6]
- [7] A. Rootsi, M. Roosileht, „Pilvelabori platvorm viib digiõppe uuele tasemele,“ 03 04 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://taltech.ee/uudised/pilvelabori-platvorm-viib-digiõppe-ueele-tasemele>. [Kasutatud 12 09 2022].
- [8] A. Veisman, „SELETUSKIRI TALTECH TARTU KOLLEDŽ PUIESTEE 80A,“ Veisman Projekt, Tartu, 2021.
- [9] E. U. P. O. [. A. h. [. 09-Apr-2015]., „The EU Emissions Trading System (EU ETS),“ 2015. [Võrgumaterjal]. Available: http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/index_en.htm.. [Kasutatud 02 11 2022].
- [10] L. S. Sterling, *The Art of Agent-Oriented Modeling*, London: The MIT Press, 2009.
- [11] P. Wargoki, D. P. Wyon, J. Sundell, G. Clausen, P. O. Fanger, „The Effects of Outdoor Air Supply Rate in an Office on Perceived Air Quality, Sick Building Syndrome (SBS) Symptoms and Productivity,“ *Indoor Air*, kd. 10, nr 4, pp. 222-236, 2001.
- [13] S. Electric, „SmartStruxure™ Lite Solution,“ Schneider Electric.
- [15] S. Electric, „EcoStruxure Building Expert Enocean room occupancy sensor,“ 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.se.com/ww/en/product/LSS10020032/ecostruxure-building-expert-enocean-room-occupancy-sensor/>.

10.1 Kasutatud seadmete passid ja juhendid

S. Electric, „SCR Series“, 2011. [Võrgumaterjal]. https://portal2.schneider-electric.com/Contents/docs/F-27758_SCR_DATASHEET.PDF Kasutatud 10.08.2022.

S. Electric, „SE8650 Installation Guide“, 2021. [Võrgumaterjal]. https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=II-SE8300&p_enDocType=Instruction+sheet&p_File_Name=028-0436-13_II-SpaceLogic-SE8650-2.5.1_EN_CP20211005.pdf Kasutatud 10.08.2022.

S. Electric, „SE8350 User Interface Guide“, 2021. [Võrgumaterjal]. https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=UI-SE8300-HMI&p_enDocType=User+guide&p_File_Name=028-0428-16_UI-SpaceLogic-SE8350-2.5.1_A4_EN_CP20211004.pdf, Kasutatud 10.08.22

S. Electric, „Lua Programming for SpaceLogic™ SE8000 Room Controllers“, 2021. [Võrgumaterjal]. https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=028-6163&p_enDocType=User+guide&p_File_Name=028-6163-06_Lua-Prog-for-SpaceLogic-SE8000_A4_EN_CP20211025.pdf, Kasutatud 10.08.22

S. Electric, „SE8350 Data Sheet“, 2020.

S. Electric, „SER8300 / SE8300 Series BACnet Integration“, 2015.

11 LISAD

Lisa 1: Dokument praeguse ventilatsioonisüsteemi kohta

KOOLIMAIA PIJESTE 80A JÄRATU
VENTILATSIOONISEADMETE LOETELU JA TEHNILISED PARAMEETRID

| Tähis | Nimetus | Teenendavad Ruumid | Seadme asukoht | Arv | Ventilaator | | Küteteguriteer | | | Filter | Soojus- vaheti tüüp | Ventilaatori elmotor nimivõimsus kW | Seade rali. firma | Märkused |
|---------|--|--------------------------------|----------------------|-----|--------------|-----------------------|----------------|---------|------|--------|---------------------|-------------------------------------|---|----------|
| | | | | | õhuhulk m³/s | rõhketaustaustemõõ Pa | Ohk °C | Vesi °C | N kW | | | | | |
| S-1/V-1 | Sisepuhke-väljatõmbeseade sisepuhke ventilator väljatõmbe ventilator | 1, 2 ja 3 k õppe- ja tööruumid | Tehni ruumis keldris | 1 | 2,50 | 300 | 21 | 60/40 | 45 | EU7 | rootor | EU 30 | juhime programmeeritava 2-taseme ventilatorid | |
| | | | | 1 | 2,30 | 300 | | | | EU3 | | Fikri | | |
| V-2 | Katuseventilaator | 1, 2 ja 3 k san ruumid | Katusel | 1 | 0,17 | 200 | ? | | | | | TFER 315 M Systemair | juhime tehni ruumis | |

| Tähis | Nimetus | Teenendavad ruumid | Seadme asukoht | Arv | Võimsus kW | Seade näiteks | Märkused |
|-------|--|--------------------|----------------|-----|------------|--|----------|
| JK-1 | "SPLIT"-jahuti 4,5 kW (T+24°C, RH 50% jahutus välistemp.kuni -10C 1 sisecsa + 1 välisosa | arvutihiias | | 2 | 4,5 | seinapaneeel välisliinil L=2x13m dH=1m m. <=45 dB(A) | |

2003.a. alla -15 °C
 $2,5 \times 3600 = 9000 \text{ m}^3/\text{h}$
 õhukogus 68 l/s arve vtiat
 arvevõimsus 150 l/s
 Kõige pildil 947,1 m²
 $\text{summitud koormus} = \frac{2500}{947,1} = 2,6$
 Kõige suurem koormus 2,6
 Kõige suurem koormus 2,6

Ventilatsiooni mootorite võimsuse mõõtmine 80A 09.12.22

Poolkiirus

Energiatarve 2.91 kWh

Tööaeg 18-8 ehk 14 tundi

Täiskiirus

Energiatarve 8.43 kWh

Tööaeg 8-18 ehk 10 tundi

Energiatarve ööpäevas

Täiskiirusel 10 h x 8.43 kWh = 84.3 kWh

Poolkiirusel 14 h x 2.91 kWh = 40.74 kWh

Ööpäevas kokku 84.3 kWh + 40.74 kWh = 125.04 kWh

Kui kasutada poolkiirust kogu ööpäeva jooksul, oleks kokkuhoid kokkuhoid

125.04 kWh – 24 h x 2.91 kWh = 55.2 kWh

Lisa 3: CO₂ hajumise näide hõiveta ruumis

| Kuupäev ja kellaaeg | | | Hõivatus | CO2 tase | |
|---------------------|--------|----|----------|----------|------|
| 19.10.2022 20:00:13 | 25.333 | 36 | 19 | 1 | 2000 |
| 19.10.2022 20:02:44 | 25.278 | 36 | 19 | 0 | 2000 |
| 19.10.2022 20:05:15 | 25.167 | 36 | 19 | 0 | 1980 |
| 20.10.2022 02:19:36 | 23.5 | 26 | 19 | 0 | 440 |
| 20.10.2022 02:22:06 | 23.5 | 26 | 19 | 0 | 440 |

Kuue tunni ja 19 minuti möödudes on klassiruumis A105 CO₂ tase suutnud ise normaliseeruda.

Lisa 4: SE8350 ruumikontrollerile koostatud lõplik kood

```
-- v.5.2.23          --# koodi versioonide eristamiseks
if not init then

    Ps = 15*60        --15 minutit
    I1 = 0            --abimuutuja näitab hõivatust
    V1 = 200         --valguse lävi tulede lülitamisel
    J1 = 0            --abimuutuja kuvamise intervalli tarbeks

    ME.AV2 = 5        --X kasutaja ekraan 5
    ME.AV25 = 0       --ülekandemuutuja A nulli
    ME.AV26 = 0       --ülekandemuutuja B nulli
    ME.AV29 = 0       --ülekandemuutuja E nulli, hakkab hoidma pseudo
CO2 väärtust
    ME.AV52 = 2        --seada kahe toru süsteem
    ME.AV58 = 20       --X max seadetemp
    ME.AV84 = 5        --X CPH seadmine

    ME.MV1 = 3         --sõnumi taust siniseks
    ME.MV2 = 3         --X ka ekraanivorming sisuseks.
    ME.MV4 = 1         --X inglise keel ekraanikeeleks
    ME.MV5 = 2         --X ajaformaat 24 h
    ME.MV6 = 1         --panen ühikute süsteemiks SI
    ME.MV10 = 2        --X pidevalt hõivatud
    ME.MV15 = 2        --sean kütterežiimi
    ME.MV16 = 4        --ainult küte
    ME.MV46 = 5        --X UI16 aknakontaktiks
    ME.MV47 = 1        --UI17 SE põhikoodi jaoks režiimi „None“
    ME.MV51 = 1        --temperatuur kraadidesse. Pole siin oluline
    ME.MV70 = 2        --õhuniiskuse kuvamine on lubatud.
    ME.MV71 = 2        --X Smart Recovery sisse
    ME.MV81 = 1        --B01 binaarväljundiks
    ME.MV95 = 3        --ventilatsioon seisma kütmise ajal !!!
    ME.MV96 = 2        --X U09 binaarväljundiks
    ME.MV98 = 1        --U011 (AO123) analoogväljundiks
    ME.MV140 = 1       --X UI19 termistoriks
    ME.MV144 = 3       --sean UI24 pingesisendiks
    ME.MV145 = 1       --temperatuurianduri lülitus juhtmega anduriks
    ME.MV146 = 1       --CO2 näitamine ekraanil välja
```

```

    ME.MV147 = 1          --X CO2 isekalibreerimine välja (sndur teeb seda
ise)
    ME.MV149 = 2        --võtan õhuniiskuse sisemiselt andurilt
    ME.MV154 = 2        --vent režiimi ECM (kas vajalik)

init = true
end

SHG = ME.AV107 * 200          --
UI24*200 annab CO2 konts. -i ppm -des
ME.AV25 = SHG                -
-omistamine üle vahemuutuja SHG

C2 = 2.0                      -
-muutuja C2 hoiab endas pseudo CO2 pinget
if (ME.AV28 == 1) then          --VALVE
SEES
    ME.CSV1 = ("MAJA VALVE ALL!")    --teade et on
valve all / ei sõltu millestku muust
    ME.BO103 = 0                  --
BO1 seisu 0 = "tuli kustu" / ei sõltu muust
    --if (ME.BV3 == 0 and ME.AV103 > ME.AV71) then --aknad kinni,
niiskus kõrge vana
    if (ME.BI29 == 0 and ME.AV103 > ME.AV71) then --@aknad kinni,
niiskus kõrge / uus. BV3 kontrollib juhtmevaba kontakti
        C2 = 5.0                  -
-sellistel tingimustel C2 = 5
    end

else                            -
-VALVE VÄLJAS
    ME.CSV1 = (Rm..ME.AV25.." ppm")    --kuvab
CO2 näitu
    if (SHG >= 1200) then          --kui
liiga kõrge CO2 (oma muutujad on paremad)
        ME.MV2 = 8                -
-taust punane
    else
        ME.MV2 = 3                -
-normaalse CO2 taseme puhul taust sinine
    end

```

```

        if ME.BV32 == 1 or ME.BI30 == 0      then          --Kui kas oma
PIR või lae PIR on aktiivsed ehk on hõivatus
            I1 = Ps - 15                                -
-Intervall algusse tagasi
        end

        if I1 > 0 then                                -
-Kui intervall veel jookseb, siis
            ME.AV26 = 1                                -
-LUA parameeter MPM -i saatmiseks "hõivatud"
            I1 = I1 - 1                                -
-I1 sekund vähemaks
            --      if (ME.BV3 == 0) then              --aknad
kinni ja hõivatus / vana
                if (ME.BI29 == 0) then                --aknad
kinni ja hõivatus / uus BV3 ei reageeri UI16 -le
                    C2 = ME.AV107                      -
-C2 -te CO2 näit V -des otse sisendilt
                end
                if ME.AI2 < V1 then                    -
-kui aga on pime ka, siis
                    ME.BO103 = 1                        -
-lülitan BO1 seisu 1 (MPM lülitan valguse sisse)
                end
            else
                ME.AV26 = 0                                -
-LUA parameeter MPM -i saatmiseks "pole hõivatud"
                ME.BO103 = 0                                -
-BO1 seisu 0 = "tuli kustu"
--@          C2 = 2.0                                    -
-igaks juhuks
            end
        end

ME.AO123 = C2                                          -
-# kujunenud CO2 pseudonäit väljundisse U011
ME.AV29 = C2 * 200                                    -
-# sama ppm -des peakontrollerisse

```