



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Tartu kolledž

**VAHEMOODULI VÄLJATÖÖTAMINE PULDIGA
JUHTIVA ÕHKSOOJUSPUMBA
RUUMIKONTROLLERIGA JUHTIMISEKS**

**DEVELOPMENT OF MODULE TO CONTROL REMOTE
CONTROLLED HEAT PUMP WITH ROOM CONTROLLER**

RAKENDUSKÕRGHARIDUSTÖÖ

Üliõpilane: Kevin Talts

Üliõpilaskood: 207740EDTR

Juhendaja: Ago Rootsi, lektor

Tartu 2024

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.

01.2024

Autor: Kevin Talts

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

01.2024

Juhendaja: Ago Rootsi

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

01.2024

Kaitsmiskomisjoni esimees: Aime Ruus

/ allkirjastatud digitaalselt /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Kevin Talts (sünnikuupäev: 07.10.1998)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Vahemooduli väljatöötamine puldiga juhitava õhksoojuspumba ruumikontrolleriga juhtimiseks“, 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 /

01.2024

TalTech Tartu kolledž

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Kevin Talts, 207740EDTR

Õppekava, peeriala: EDTR17/18, Küberfüüsikalised süsteemid

Juhendaja(d): Ago Rootsi, lektor, +372 56629821

Lõputöö teema:

Vahemooduli väljatöötamine puldiga juhitava õhksoojuspumba ruumikontrolleriga juhtimiseks

Development of module to control remote-controlled heat pump with room controller

Lõputöö põhieesmärgid:

- 1.
- 2.
- 3.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.		
2.		
3.		

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: 11 jaanuar 2024. a

Üliõpilane: Kevin Talts /allkirjastatud digitaalselt/ 01.2024.a

Juhendaja: Ago Rootsi /allkirjastatud digitaalselt/ 01.2024.a

Programmijuht: Aime Ruus /allkirjastatud digitaalselt/ 01.2024.a

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

Lühendite ja tähiste loetelu	6
SISSEJUHATUS	7
1. LÄHTEÜLESANNE	8
2. KIRJANDUSE ÜLEVAADE	9
2.1 Side infrapunakiirguse abi	9
2.2 Olemasolevate lahenduste mittesobivus	10
2.3 Ruumikontroller	12
2.4 Sisekliima automatiseerimise olulisusest	13
3. MATERJAL JA METOODIKA	15
3.1 Analüüs	15
3.1.1 Puldi imiteerimine	15
3.1.2 Erinevad puldi lahendused	16
3.2 Riistvara	17
3.2.1 Arendusplaat	17
3.2.2 IR-diod	18
3.2.3 IR-vastuvõtja	18
3.2.4 Transistor	19
3.2.5 Takistid	19
3.2.6 Pingemuundur	20
3.2.7 Pingejagur	20
3.2.8 Prototüübi ühendusskeem	21
3.3 Tarkvara	22
3.3.1 Arenduskeskkonnad ja programmeermiskeeled	22
3.3.2 Arduino programmi kirjeldus	23
3.3.3 SE8350 programmi ja seade kirjeldus	23
3.4 Korpus	25
3.5 Katsetamise meetoodika	25
3.5.1 IR-signaali lugemine ja saatmine	25
3.5.2 Prototüübi sidumine ruumikontrolleriga	26
3.5.3 Prototüübi valmistamine	27
4. TULEMUSED	28
5. KOMPONENTIDE MAKSUMUS	29
6. EDASIARENDUS	30
KOKKUVÕTE	31
SUMMARY	32
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	33
LISAD	36

Lühendite ja tähiste loetelu

IR - infrapuna

NPN - transistori juhtivustüüp: elektronjuhtivus - aukjuhtivus - elektronjuhtivus

GND - maandus- või ühisklemm

IDE - integreeritud arenduskeskkond

SISSEJUHATUS

Eri hoonete kütmine ja jahutamine on suure energiakuluga protsess, mida tasub võimalusel automatiseerida. Kliimaseadmete automaatikaga juhtimine aitab tagada stabiilse sisekliima ja ära hoida tarbetu energiakulu. Sisekliima reguleerimisel saab võtta arvesse tegureid, nagu näiteks inimeste kohalolek ja akende avatus, mis aitab tagada sobiva sisekliima ilma tarbetu energiakuluta, hoides ära näiteks samaaegse ruumi kütmise ja jahutamise.

Antud rakenduskõrghariduse lõputöö eesmärk on luua Puiestee 80A auditooriumites olevate õhksoojuspumpade jahutuse funktsionaalsuse juhtimiseks IR-signaali edastava seadme prototüüp, mida omakorda juhib SE8350 ruumikontroller, edaspidi ruumikontroller. Puiestee 80A ruumidesse paigaldati 2019. aastal õhksoojuspumbad, et soojade ilmade korral siseruume jahutada. Hiljem ehitati valmis sisekliima-automaatika, kus ruumikontrollerid juhivad keskküttesüsteemi. Ruumikontrollerid on mõeldud kütte- ja jahutusklappide otseseks juhtimiseks, hetkel on ainult keskküttesüsteemi juhtimine automatiseeritud, kus on otsene kütteklappide juhtimine võimalik. Ruumikontrolleriga õhksoojuspumpade juhtimiseks on vajalik luua selleks IR-signaali edastav seade. Selliseid probleeme, kus puudub vajalik ühendusviis õhksoojuspumba ja ruumikontrolleri vahel, esineb mujalgi, mis tähendab, et lõputöö raames loodav seade on ka laiemalt kasutatav teiste õhksoojuspumpade juhtimiseks ruumikontrolleri abil ja rakendatav olukordades, kus on esmalt paigaldatud õhksoojuspumbad ja seejärel on tekkinud vajadus või võimalus minna üle ruumi sisekliima juhtimisele hooneautomaatika kaudu.

Sellise seadme loomine on oluline, kuna hetkel on võimalikud ja on realiseerunud olukorrad, kus korruga ruume jahutatakse ja köetakse või jahutatakse ruumi, kus on aknad avatud. Õhksoojuspumpade sidumine ruumikontrolleriga viib kogu sisekliima halduse üle ruumikontrolleritele, mida seadistades saab tagada optimaalse sisekliima juhtimise ja hoida ära tarbetu energiakulu.

1. LÄHTEÜLESANNE

Käesoleva lõputöö teema on sõnastatud TalTech Tartu kolledži lektori Ago Rootsi poolt, kes on ka selle lõputöö juhendaja. Käesoleva lõputöö eesmärk on luua vahemoodul Puiestee 80A auditooriumites olevate ruumikontrollerite ja õhksoojuspumpade vahele, et juhtida õhksoojuspumpade jahutusfunktsiooni. Selline seade on vajalik, kuna kütet ja jahutust tuleb võimalusel alati omavahel seotult juhtida, et oleks välistatud kahe süsteemi töötamine samaaegselt. Lõputöö raames luuakse seadme prototüüp ja kaardistatakse erinevad võimalikud lahendused seadme edasiarenduseks.

Lõputöö tegemine koosneb järgmistest töödest:

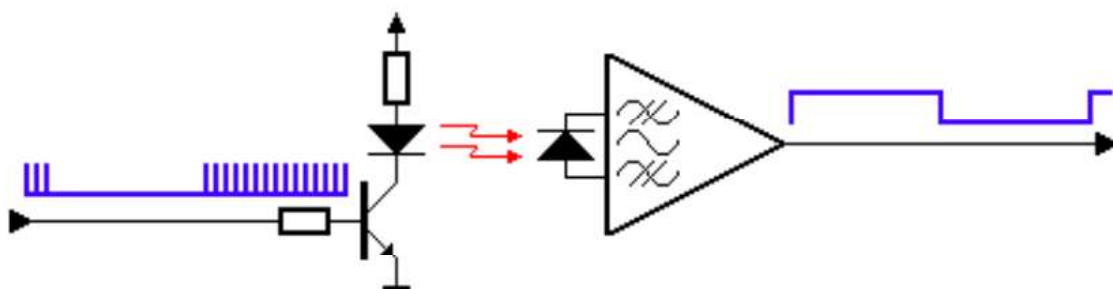
- Uurida, mida samas valdkonnas on tehtud ja leida probleemi lahendamiseks valmis või kohandatavad lahendused.
- Uurida erinevaid meetodeid, kuidas saab õhksoojuspumpade juhtpulte imiteerida, need kaardistada ning katsetada.
- Juhtmooduli prototüübi kokkupanek ja erinevate lahenduste katsetamine ning katsete tulemuste põhjal prototüübi edasiarendus.
- Juhtmooduli sidumine SE8350 ruumikontrolleriga ja katsete tulemuste põhjal prototüübi edasiarendus.
- Tulemuste analüüs ja mõtted edasiarenduseks.

2. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

2.1 Side infrapunakiirguse abi

Infrapunakiirgus ehk IR-kiirgus on inimsilmale nähtamatu kiirgus. IR-kiirguseks loetakse elektromagnetkiirgust, mille lainepikkus on 780 nm - 1 mm vahemikus [1]. Olles inimsilmale nähtamatu ning erinevatelt pindadelt hästi peegelduv on see hea viis, kuidas signaali edastada. Elektroonikas kasutatakse IR-kiirgust erinevate seadmete juhtpultides, täpsemini kasutatakse lähifrapunakiirgust, mille lainepikkus on 780 nm - 1400 nm [1]. IR-kiirgusel põhinevate juhtpultide kasutamise eeliseks on nende odav hind ja töökindlus. Puudusteks on väike saatekaugus, mis on üldjuhul kuni 10 m, ja muud mürasignaalid, nagu teised IR-saatjad, mis võivad seadme tööd häirida või äärmisel juhul IR-signaali kokkulangevusel ka valele seadmele käsklusi saata.

IR-saatjad kiirgavad moduleeritud IR-kiirgust, mis IR-vastuvõtjas dekodeeritakse ja kasutatakse seadme juhtimiseks ehk selliselt töötavad seadmed vajavad nii IR-saatjat kui ka IR-vastuvõtjat. Signaali edastatakse IR-dioidiga. IR-dioididel on enim levinud 850 nm ja 950 nm lainepikkused. Üldjuhul on saadetav signaal moduleeritud ristkülikimpulsid, mille kandesignaal jääb 32 - 40 kHz vahemikku. Kandesignaali sageduse määramine aitab signaali eristada muudest müra signaalidest. IR-signaali saatmiseks on kasutusel erinevad protokollid, mis määravad, kuidas signaali moduleeritakse ja pärast vastuvõtja poolel teisendatakse digitaalsignaali. Vastuvõtja poolel on fotodioid või phototransistor, mis on disainitud lugema signaale teatud sagedustel, üldiselt 32 - 40 kHz vahemikus. Saadud signaal demoduleeritakse digitaalseks signaali, mida saab kasutada seadme juhtimiseks. [2]



Joonis 2.1.1: infrapuna signaaliedastus [2]

2.2 Olemasolevate lahenduste mittesobivus

On olemas erinevaid universaalseid IR-saatjaid, mis suudavad lugeda ja endale mällu salvestada erinevaid IR-signaale ja nii IR-pulte imiteerida. Ruumikontroller toetab erinevaid sideprotokolle nagu näiteks BACnet ja ZigBee, millel põhinevad universaalseid IR-saatjaid on mitmeid. Probleemiks on see, et ruumikontroller toetab ainult väiksel hulgal nendel protokollidel töötavaid Schneider Electric seadmeid, nagu näiteks CO2 ja ruumi hõivatuse andurid, mis edastavad infot ruumikontrollerile, aga mida ruumikontroller ei juhi. Kui sooviks kasutada selliseid universaalseid IR-saatjaid oleks vaja, et ruumikontroller suudaks ka BACnet või ZigBee seadmeid juhtida. Ruumikontrollerile on võimalik kirjutada ka LUA 4.0 keeles skripte, kuid LUA 4.0 ei toeta ZigBee raadioprotokolli ja BACneti poolt kasutatavat RS485 sideprotokolli [3]. Seega ei ole LUA skriptide jaoks SE8350 ruumikontrollerites kättesaadav järjestikandmeside kasutamine, mis oleks vajalik universaalsete IR-saatjate juhtimiseks.

Kuna ruumikontrollerit otse universaalse IR-saatja juhtimiseks kasutada ei saa, siis järgmised seadmed süsteemi hierarhias on Schneider Electric MPM lüüskontrollerid ehk *Multi-Purpose Managerid*, kus ruumikontroller oleks vahendaja rollis MPMi ja IR-saatja vahel, aga sarnaselt ruumikontrollerile toetavad kasutusel olevad Schneider Electric MPMid teisi Schneider Electric seadmeid ja IR-signaali edastamiseks sobivat liidest valikus ei ole.

Schneider Electric seadmete jaoks seega valmis lahendust ei ole IR-seadmete juhtimiseks. Kuid on olemas universaalseid IR-pulte, mida saab kasutada teiste ruumikontrollerite, MPMide või muude seadmetega, eeldusel, et need on toetatud.

Üks selline seade on Intesis Universal IR Air Conditioner to BACnet MSTP Interface. Tegu on BACneti protokollil töötava universaalse IR-puldiga, mis toetab 36 erineva tootja õhksoojuspumpasid [4]. Seade ühildub BACneti kaudu erinevate süsteemidega nagu näiteks BMS, SCADA, HMI ja erinevate kontrolleritega. Seadmel on ka IR-signaali vastuvõtja, mis lubab õhksoojuspumpasid kontrollida ka õhksoojuspumba puldiga, mis tähendab, et seade teab, mis seisus õhksoojuspump parasjagu on ja saab selle info edastada vastavale süsteemile, mis teda juhib. Seade toetab suurel hulgal õhksoojuspumba poolt kasutatavaid funktsioone, seega saab selle abil ruumi sisekliimat vastavalt vajadustele täpselt juhtida. Antud tootja pakub ka teisi õhksoojuspumade juhtimiseks mõeldud lahendusi, sõltuvalt sellest, millist sideprotokolli on vaja kasutada juhtseadmega ühendamiseks. On olemas seadmed

Modbusi, BACneti, KNXi ja erinevate hooneautomaatika seadmete jaoks koos nimekirjaga toetatud tootjate seadmetest. [5]

Tegemist on seega võimeka seadmega, mis pakub laialdast funktsionaalsust, aga see funktsionaalsus tuleb ka vastava hinnaga, mis algab sõltuvalt edasimüüjast 220€.



Joonis 2.2.1: Intesis Universal IR Air Conditioner to Home Automation Interface [5]

Teine selline seade on näiteks Tuya ZigBee Smart IR Remote Controller. Seade vajab tööks ka ZigBee lüüsseadet, mille kaudu seadet juhitakse. See on laiema kasutusala ja ei ole mõeldud ainult õhksoojuspumpade juhtimiseks. Erinevalt Intesise seadmest ei toeta see vaikumisi mitmeid erinevaid seadmeid, vaid sellele tuleb esmalt juhitava seadme IR-signaalid mälusse lugeda ja seejärel saab neid kasutada seadme juhtimiseks. Lisaks toetab see ka Google Home ja Amazon Alexa rakendusi, seega sobib seade hästi ka kodukasutusse. Seadet saab osta otse tootjalt 13€ eest. [6]



Joonis 2.2.2: Tuya ZigBee Smart IR Remote Controller [6]

Tabel 2.2.1: Olemasolevate lahenduste võrdlus

Tootenimi	Intesis Universal IR Air Conditioner to Modbus RTU Interface [5]	Tuya ZigBee IR Blaster Remote ZS06 [6]
Hind	220€	13€
Sideprotokoll	BACnet (Tootja pakub ka seadmeid teiste protokollide jaoks)	ZigBee
Toide	5 V	5 V
Mõõtmed	60 x 93 x 21mm	50 x 50 x 19 mm
Google Home, Amazon Alexa	Ei	Jah
Vaikimisi tugi õhksoojuspumpade juhtimiseks	Jah	Ei

2.3 Ruumikontroller

Puiestee 80A õppehoones on igas auditooriumis ja kabinetis Schneider Electric SE8350 ruumikontroller. SE8350 ruumikontrollerid on programmeeritavad kontrollerid, mis on mõeldud kütte- ja jahutusklappide juhtimiseks. Klappide juhtimiseks on ruumikontrolleril kokku 9 väljundit, millest 4 on programmeeritavad juhul, kui need on vastavas töörežiimis vabad. Ruumikontrolleril on puutetundlik ekraan, millel kuvatakse kasutajale info ruumi kohta ja mis võimaldab ruumikontrolleri seadeid muuta. Ruumikontrollerit programmeeritakse LUA 4.0 keeles, kus on olemas ka arendajamenüü, kuhu kuvatakse ruumikontrollerisse laetud LUA 4.0 skriptid. Selles menüüs on võimalik skripte jooksutada ning kuvada nendega seotud vead juhul, kui neid on. Lisaks on võimalik käsitsi muuta ruumikontrollerite väljundite seise kindla väljundi testimiseks. [7]



Joonis 2.3.1: SE8350 ruumikontroller [7]

2.4 Sisekliima automatiseerimise olulisusest

Hoone sisekliima juhtimine hõlmab endas hoone kütmise, jahutamise ja ventilatsiooni juhtimist. Hoone energiakulu temperatuuri hoidmisele ja ventilatsioonile moodustab ligi 40% hoonete energiatarbest. Erinevaid hooneautomaatika seadmeid kasutades on võimalik hoone kogu energiakulu vähendada kuni 20%. Energiakulude optimeerimiseks on üldiselt fokuseeritud suurema energiatõhususega hoonete disainimisele, mis aitab hoonete energiakulu vähendada. Kuid suurt energiakulu kokkuhoidu on märgatud ka hoone sisekliima optimeeritud juhtimises. Kõige suurem kokkuhoid tuleb väliskliimale ja ruumi hetkeseisule vastavate temperatuuri seadepunktide valimises. Üldiselt saab hooneautomaatika süsteemides valida nelja seadepunkti vahel – kütmine, jahutamine, mitte hõivatud kütmine ja mitte hõivatud jahutamine. Sobivate seadepunktide valimisel on võimalik energiasääst 1.20 - 59.38% sõltuvalt kohalikust kliimast ja hoone energiatõhususest ilma, et ohverdatakse ruumis viibivate inimeste mugavust. [8]

Tabel 2.4.1: optimaalsed temperatuuri seadepunktid ilma soojusmugavuse ohverdamiseta [8]

Linn	Hõivatud ruumi jahutuse seadepunkt (°C)	Hõivatud ruumi kütmise seadepunkt (°C)	mitte hõivatud ruumi jahutuse seadepunkt (°C)	mitte hõivatud ruumi kütmise seadepunkt (°C)	Energiasääst protsent
Phoenix, AZ	24.3	21	28.5	15.2	1.20%

Tabel 2.4.1 järg

Linn	Hõivatud ruumi jahutuse seadepunkt (°C)	Hõivatud ruumi kütmise seadepunkt (°C)	mitte hõivatud ruumi jahutuse seadepunkt (°C)	mitte hõivatud ruumi kütmise seadepunkt (°C)	Energiasääst protsent
San Francisco, CA	26.9	17.5	27.8	14.7	59.38%
Baltimore, MD	26.2	20.5	28.8	14.6	21.89%
Boulder, CO	26.6	19.9	29.3	14.6	31.97%
Minneapolis, MN	25.5	20.3	27.8	16.2	11.53%
Duluth, MN	26.4	20.1	28.3	14.1	18.70%

Puiestee 80A õppehoones on enamik ruumidest auditooriumid ja seal on tagasisidega automaatika kasutamine eriti efektiivne, kuna ühe inimese soojatootlikus istuvat tööd tehes on umbes 120 W [9]. Seega on tühjal ja täis auditooriumil väga erinev küttevõi jahutusvajadus ja selle tagasisidestatud juhtimisega on võimalik energiakulu temperatuuri hoidmisele oluliselt vähendada.

3. MATERJAL JA METOODIKA

3.1 Analüüs

Lõputöö tegemise käigus analüüsiti kahte sisuliselt olulist punkti – kuidas IR-pulte imiteerida ning milliseid erinevaid lahendusi saab kasutada vahemooduli tegemiseks ruumikontrolleri ja õhksoojuspumba vahele. Iga lahenduse kohta toodi välja nende isepärasused.

3.1.1 Puldi imiteerimine

Lõputöös kläsitletav Carrieri õhksoojuspump ja paljud teised õhksoojuspumbad on IR-puldiga juhitavad. Selleks, et neid saaks ruumikontrolleriga juhtida, on vajalik õhksoojuspumba IR-pulti imiteeriv vahemoodul. Erinevate õhksoojuspumpade pultide imiteerimiseks on 2 erinevat võimalust. Üks on universaalne ja toimib iga õhksoojuspumbaga ning teine on kasutada erinevaid teeke, mis toetavad küll suurt hulka õhksoojuspumpasid, aga mitte kõiki.

Esimene võimalus on lugeda IR-signaale otse. Selle meetodi kasutamine eeldab ühe Arendusplaadi ja IR-vastuvõtja olemasolu. Meetodi katsetamiseks kasutasin AnalysIR blogist [10] leitud koodijuppi koos Arduino Uno Rev3 ja HALJIA Digital 38 kHz Infrared IR Receiver Sensor Module'iga. Koodi eeliseks on võimalus salvestada mahukaid IR-signaale. See on oluline õhksoojuspumba puldi signaalide salvestamisel, kuna puldist õhksoojuspumpa edastatakse kogu puldi seis, mitte ainult kindlale nupule vastav seisu muutus. IR-vastuvõtjasse saadetud signaal prinditakse IDE konsooli ning sealt tuleb see kopeerida ja saadud signaalilt eemaldada kõik „-“ märgid. Edasi saab signaali kasutada näiteks koos IRremote teegiga, kus signaali edastamiseks tuleb kasutada sendRaw() meetodit. Sellist meetodit saab kasutada ka teiste IR-pultide signaalide salvestamiseks.

Tabel 3.1.1.1: Arduino ja IR-vastuvõtja ühendus

Arduino Nano	IR-vastuvõtja
2	DAT
5 V	VCC
GND	GND

Teise meetodi jaoks saab kasutada erinevaid õhksoojuspumpade jaoks tehtud teeke, mis töötavad suure hulga õhksoojuspumpadega. Mõned sellised teegid on näiteks arduino-heatpumpir, IRremoteESP8266, MideaUART ja MideaIR. Käesolevas lõputöös kasutatakse MideaIR teeki, mille katsetamisel selgus, et see töötab ka Puiestee 80A hoones olevate Carrieri õhksoojuspumpadega, võimaldades kasutada kõiki funktsionaalsusi. Selle teegi sobivuse avastamine juhtus, kui lõputöö autor proovis Carrieri õhksoojuspumba puldi signaale salvestada oma kodus, kus oli samas toas Midea õhksoojuspump, mis reageeris Carrieri õhksoojuspumba puldi käsklustele. MideaIR teegi kasutamisel tuleb veenduda selles, et kasutatakse AVR mikrokontrollerit, kuna tegu on vana teegiga ja ei paku tuge uutele mikrokontrollerite arhitektuuridele. MegaAVR mikrokontrolleriga see teek näiteks ei tööta [11].

3.1.2 Erinevad puldi lahendused

Sõltuvalt ruumikontrolleri ja õhksoojuspumba asukohast ruumis võib kasutada erinevaid ühendamisviise ruumikontrolleri ja IR-saatja prototüübi vahel.

Esimene variant eeldab, et ruumikontrolleri juurde paigaldatud seadme ja õhksoojuspumba vahel pole ühtegi IR-signaali levimist takistavat objekti nagu näiteks sein, millest IR-signaal läbi ei levi. See variant koosneb ühest moodulist, mis ühendub ruumikontrolleriga

Teine variant sobib kasutamiseks, kui ruumikontrolleri ja õhksoojuspumba vahemaa on suur või nende vahel on mõni füüsiline takistus, mis takistab IR-signaali levikut. See variant nõuab ühe lisamooduli kasutamist ruumikontrolleri ja prototüübi vahel. See lisamoodul edastab ruumikontrollerist saadud signaali juhtmevabalt prototüübile, kasutades selleks näiteks kahte nRF24L01 moodulit. See on 2.4 GHz sagedusel töötav juhtmevaba sidekiip, mis võimaldab andmeid saata ja vastu võtta [12].

Kolmas variant kasutab samuti kahte nRF24L01 moodulit, aga IR-saatja on asetatud otse õhksoojuspumba IR-vastuvõtja juurde. See variant sobib siis, kui soovitakse kontrollida ainult üht seadet. Selline lahendus on ka kõige töökindlam, kuna kaob ära oht, et midagi takistab IR-signaali levimist. Lahenduse miinuseks on see, et õhksoojuspumba ei ole võimalik enam õhksoojuspumba puldiga juhtida, kui just ei kasutata IR-vastuvõtjat, mis õhksoojuspumba puldi signaali loeb ja IR-saatja abil edastab õhksoojuspumbale.

Prototüübi loomiseks kasutasin esimest varianti, kuna see on piisav süsteemi töö testimiseks ja reaalseks kasutuseks. Teiste lahenduste arendus ja testimine ületab lõputöö mahtu, kuna nende rakendamisel tekivad uued probleemid. Üks probleem on näiteks arendatavale prototüübile elektritoite saamine, kui see asub ruumikontrollerist kaugel seina peal. Samuti ei paku need probleemipüstituse seisukohast märgatavat lisaväärtust, vaid pigem pakuvad alternatiivseid lahendusi, kuidas saab antud prototüüpi rakendada.

3.2 Riistvara

3.2.1 Arendusplaat

Prototüüp kasutab Arduino Nano arendusplaati. See valiti, kuna see on väikeste mõõtmetega (45 x 18 mm) ning TalTech Tartu kolledžis on neid mitmeid saadaval, seega ei ole vajalik osta eraldi arendusplaati. Arduino arendusplaati kasutatakse ruumikontrollerilt sisendi saamiseks ja IR-diodi juhtimiseks. Lõputöös tehtud IR-saatja juhtimiseks sobivad ka teised arendusplaadid, kuid selleks tuleb teha vastavad muudatused takistites juhul, kui kasutatakse arendusplaati, millel on 5 V väljundi asemel 3.3 V väljund.

Arduino Nano tehnilised andmed [13]:

- Protsessor: ATmega328
- Staatiline suvapöördusmälu: 2 kB
- Väikmälu: 32 kB
- Digitaalsed I/O viigud: 22 tükki, millest 8 on analoogi võimekusega
- Toide: 5 V



Joonis 3.2.1.1: Arduino Nano [13]

3.2.2 IR-diod

Protoüübis kasutatakse CQY37N IR-diodi. IR-diodi kasutatakse IR-signaali edastamiseks õhksoojuspumbale. Sisendsignaali selleks tuleb ruumikontrollerilt ning see edastatakse läbi Arduino arendusplaadi IR-diodile. Järgnevas tehniliste parameetrite loetelus on märgitud IR-diodi tööpingeks 1.6 V ning sisendvoolutugevuseks 100 mA. Prototüübis töötab IR-diod 1.3 V pingega, mis on tootja poolt soovitatav tööpinge ning 80 mA voolutugevusega, mis on valitud transistori maksimaalse soovitatud kollektorvoolu järgi. Antud IR-diod valiti, kuna see on kättesaadav ning odav.

CQY37N tehnilised andmed [14]:

- Maksimaalne tööpinge: 1.6 V
- Maksimaalne voolutugevus: 100 mA
- IR-signaali lainepikkus: 950 nm
- Poolvõimsusnurk pikitelje suhtes: $\pm 12^\circ$



Joonis 3.2.2.1: CQY37N IR-diod [15]

Autor katsetas ka HALJIA 38KHz Infrared IR Transmitter Sensor Module't, kuid selle mooduli IR-signaali levikaugus oli ainult mõned cm, seega ei sobinud antud moodul töötava lahenduse loomiseks [16].

3.2.3 IR-vastuvõtja

IR-signaalide lugemiseks kasutati HALJIA Digital 38 kHz Infrared IR Receiver Sensor Module'it. IR-vastuvõtja valiti, kuna see oli TalTech Tartu kolledžis saadaval. Komponenti testimisel sai edukalt lugeda IR-signaale ja neid IR-diodiga saata, kuid ühe ja sama IR-signaali lugemisel oli saadud tulemus iga kord veidi erinev nii oma sisu kui ka saadud massiivi pikkuse poolest. Nende veidi erinevate IR-signaalide saatmine õhksoojuspumbale andis iga kord oodatud tulemuse. Testiti õhksoojuspumba sisse- ja väljalülitamist.

HALJIA Digital tehnilised andmed [17]:

- Tööpinge 5 V
- Sagedus: 38 kHz
- Väljundsignaali tüüp: digitaalne

3.2.4 Transistor

Prototüübis kasutatakse BC546 transistorit, mis on NPN tüüpi transistor. Transistor on vajalik, et tagada IR-diodile piisav voolutugevus. Arduino on võimeline oma digitaalväljundist varustama kuni 20 mA voolu, kuid prototüübis kasutatav IR-diod on mõeldud kasutamiseks kuni 100 mA vooluga. Transistor on Arduinoga ühise emitteriga lülituses, mis tähendab, et emitter on Arduino GND klemmi küljes ja tema kollektorahelas on valgusdiod järjestikku voolu piirava takistiga.

BC546 tehnilised andmed: [18]

- Kollektori-emitteri maksimaalne pingeline: 65 V
- Emitteri-baasi maksimaalne pingeline: 6 V
- Maksimaalne voolutugevus 100 mA

3.2.5 Takistid

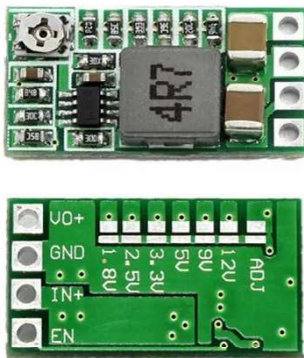
Prototüübis kasutatakse IR-diodi ja transistori jaoks kahte takistit. Esimene takisti, mis on transistori kollektori ja IR-diodiga ühenduses, on valitud vastavalt IR-diodi ja transistori parameetritele. IR-diodile peab jääma umbes 1.3 V tööpinge ning IR-diodi ja transistori maksimaalne lubatud voolutugevus on 100 mA. Kindluse mõttes on valitud takisti selliselt, et voolutugevus on 80 mA, kuna transistor on eriti tundlik selle osas ja võib kiiresti läbi põleda, kui töötab 100 mA või sellele lähedase voolutugevusega. Kuna kasutatakse Arduino 5 V väljundit, mille väljundpinge on võrdne Arduino tööpingega, siis peab takistile jääma $5 - 1.3 = 3.7$ V. Vastavalt Ohmi seaduse valemile $I = \frac{U}{R}$ on selleks vaja $R = \frac{U}{I} = \frac{3.7}{0.08} = 46.25 \Omega$ takistit. Sellise takistusega takistit ei ole olemas, seega on valitud 47Ω takisti. Teine takisti on transistori baasi ja Arduino väljundi vahel. Vastavalt BC457 parameetritele peab transistori baasile jääma maksimaalselt $\frac{1}{10}$ transistori kollektorile minevast voolutugevusest [18]. Vastavalt Ohmi seadusele peab olema seal vähemalt $R = \frac{5}{0.008} = 625 \Omega$ takisti, kuid võib olla ka suurema takistusega takisti. Prototüübil kasutatakse $1 \text{ k}\Omega$ takistit.

3.2.6 Pingemuundur

Protüübis kasutatakse pingemuundurit HW-613. Pingemuundur on vajalik, kuna Arduino Nano vajab töötamiseks sisendiks 7 - 12 V toidet, aga ruumikontrollerist varustatav toide on 24 V. Sellise 24 V toite kasutamine põletaks Arduino arendusplaadi läbi, mistõttu on vaja kasutada pingemuundurit, mis toob 24 V sisendpinge alla. HW-613 pingemuundur lubab valida, kas kasutada sujuvalt reguleeritavat väljundpinget, mida saab potentsiomeetri abil muuta, või kasutada fikseeritud väljundpinget, mida saab kasutada kui joota pingejaguril vastavad rajad kokku. Prototüübis valiti väljundpingeks 9 V. Pingemuundur valiti, kuna see oli TalTech Tartu kolležis saadaval ja oli väiksete mõõtmetega.

HW-613 tehnilised andmed [19]:

- Sisendpinge: 4.5 - 24 V
- Fikseeritud väljundpinge: 1.8 V, 2.5 V, 3.3 V, 5 V, 9 V ja 12 V
- Reguleeritav väljundpinge: 0.8 - 17 V
- Maksimaalne väljundvool: 3 A

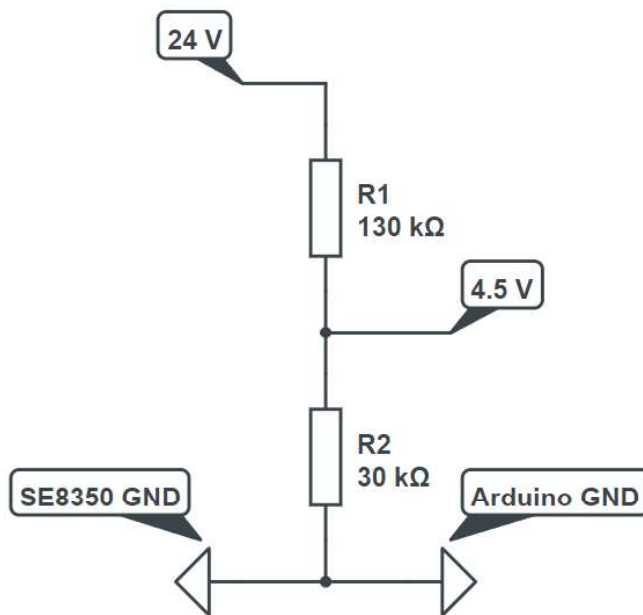


Joonis 3.2.6.1: HW-613 [20]

3.2.7 Pingejagur

Prototüübis kasutatakse ka pingejagurit. Pingejagur on vajalik Arduino Nano arendusplaadi jaoks sobiva pingega sisendsignaali andmiseks ruumikontrollerilt. Ruumikontrolleri väljundsignaal on 24 V ja seda ei saa otse arendusplaadile sisendiks anda, kuna Arduino Nano töötab 5 V loogikaga. SE8350 väljundi (0 või 24 V) sobitamiseks Arduino digitaalsisendiga (0 või 5 V) kasutati sobiva ülekandeteguriga pingejagurit (vt. joonis nr 3.2.7.1). Prototüübis kasutatakse takisteid, millest

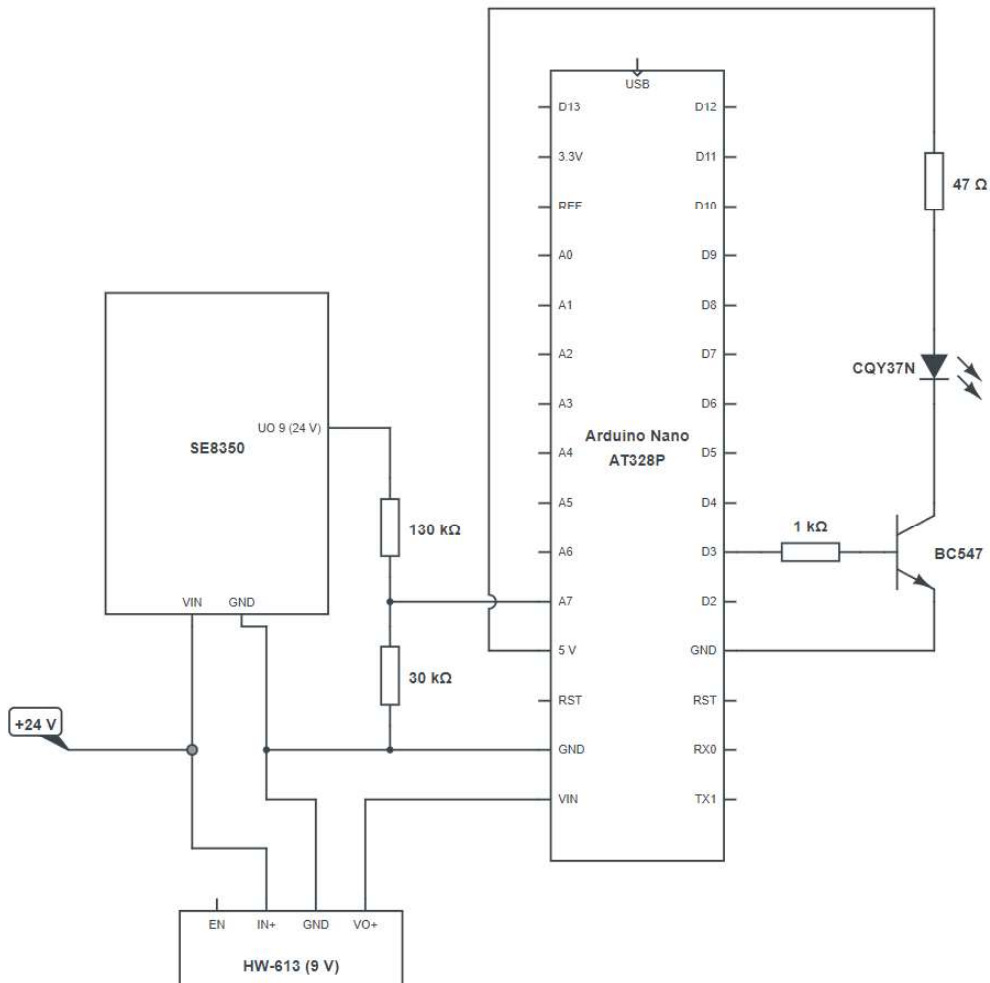
sisendpinge poole jääv takisti on $130\text{ k}\Omega$ ja GND poole jääv takisti on $30\text{ k}\Omega$. Selliselt jääb väljundpingeks $V = \frac{V_{in} \times R_2}{(R_1 + R_2)} = 4.5\text{ V}$.



Joonis 3.2.7.1: pingejagur

3.2.8 Prototüübi ühenduskeem

Prototüüp koosneb Arduino Nano arendusplaadist, CQY37 IR-diodist, BC547 transistorist, HW-613 pingemuundurist, neljast takistist ja korpusest. IR-diod on ühendatud Arduino Nano külge, kasutades selleks transistorit, mis on ühise emitteriga lülituses. Sisendsignaali saamiseks on kasutatud pingejagurit, mille väljundpinge on 4.5 V . Arduino Nano arendusplaadile varustatakse vool HW-613 pingemuunduriga, mille sisendpinge on 24 V ja väljundpinge on 9 V . Prototüübi korpusest läheb välja 3 juhet – sisendsignaali juhe, sisendpinge juhe ja GND juhe. Ühenduskeemil on SE8350 lihtsustatud kujul, kus on välja toodud ainult kasutatud väljundid.



Joonis 3.2.8.1: Ühendusskeem

3.3 Tarkvara

3.3.1 Arenduskeskkonnad ja programmeermiskeeled

Arduino Nano arendusplaadi programmeerimiseks kasutati Arduino IDE arenduskeskkonda ja kood kirjutati Arduino IDE C++ keeles, mis on Arduino jaoks kohandatud C++ programmeerimiskeel. Koodis kasutatakse MideaIR ja IRremote teeke. Töö käigus katsetati ka teisi erinevaid teeke, mis on mõeldud IR-signaaliga töötamiseks. Arduino IDE valiti, sest see on lihtsaim ja levinuim keskkond Arduino arendusplaatidele koodi kirjutamiseks.

Selleks, et ruumikontrolleris teostada praeguse kütte lahendusega ka jahutamist oli vaja sellele kirjutada LUA 4.0 keeles skript. Ruumikontrolleri programmeerimiseks kasutati IntelliJ IDEA koos Luaanalysis lisaga, mis on mõeldud LUA keele jaoks. LUA 4.0 keelt kasutati, kuna see on ainus keel, mis on toetatud ruumikontrolleri poolt.

Koodi kirjutamisel lähtuti SE8350 BACnet integration dokumentatsioonist [21]. Koodi laadimiseks kontrollerisse kasutati Room Controller Uploader tarkvara.

3.3.2 Arduino programmi kirjeldus

Programm kasutab õhksoojuspumba juhtimiseks MideaIR ja IRremote teeke. IRremote teek kasutab versiooni 2.5.0, et tagada ühilduvus MideaIR teegiga, mis vajab töötamiseks IRremote teeki. Programm saab ruumikontrollerilt sisendi, mille järgi lülitatakse õhksoojuspump sisse või välja. Kasutatakse ka abimuutujat, mis hoiab endas õhksoojuspumba hetkeseisu ehk kontrollib, kas õhksoojuspump on hetkel sisse- või välja lülitatud. Selle abil ei saadeta signaali õhksoojuspumba sisse- või väljalülitamiseks, kui ta juba on vastavas seisus. Seadme töökindluse tagamiseks edastatakse sisse- või väljalülitamise signaali iga 5 sekundi tagant, kokku 5 korda, kuna keegi võib pahaaimamatult blokeerida signaali levikut IR-saatja ja õhksoojuspumba vahel. See küll tõstab tõenäosust, et signaal jõuab lõpuks õhksoojuspumbani, kuid võib ka juhtuda, et signaal õhksoojuspumbani ei jõua. Seega on võimalus, et õhksoojuspumba seisund jääb ruumikontrolleri signaali põhjal muutmata. Seda saaks vältida, kui õhksoojuspump saadaks oma seisundi kohta ka vastuse, mida saaks IR-vastuvõtjaga registreerida ja seejärel IR-saatja poolel signaali rohkem mitte edastada, aga lõputöös vaadeldavad Carrieri õhksoojuspumbad sellist funktsionaalsust ei paku.

3.3.3 SE8350 programmi ja seade kirjeldus

Ruumikontrolleri seadistamiseks ja paindlikumaks kasutamiseks saab sellele kirjutada LUA 4.0 keeles skripte. Käesoleva lõputöö raames kirjutati Puiestee 80A ruumi 301 jaoks skript, mis võimaldab juhtida jahutust ja kütmist seotult. Samuti tehti läbi sama seadistus ruumikontrolleris endas, kuna see on enamike kasutajate jaoks ainus kättesaadav lahendus ruumikontrolleri seadistamiseks, sest Schneider Electric tarkvarad pole tavakasutajatele tihtipeale kättesaadavad.

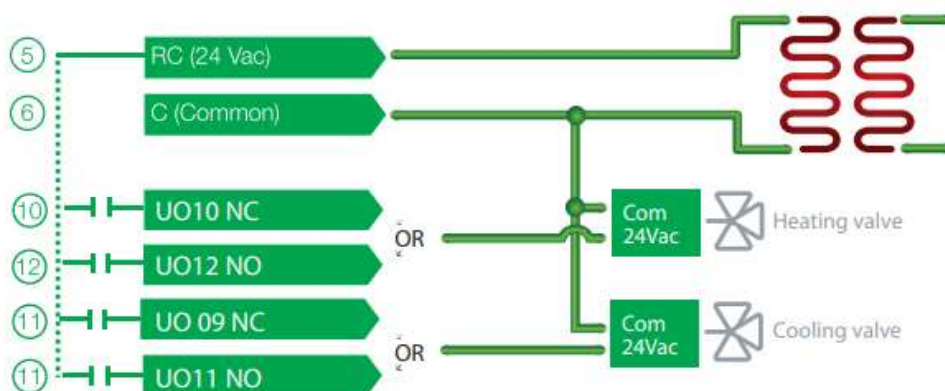
Ruumikontroller on puutekraani kaudu seadistatav, kui vaikimisi kasutajaekraan lülitatakse seadistusmenüüde režiimi. Ümberlülitus tehakse sama ekraani vahendusel. Seadistamiseks, kasutades selleks ruumikontrolleri enda seadistusemenüüd, pidi alguses taastama selle lähteseaded. Edasi seadistusmenüüst, ruumikontrolleris *Configuration* nimega, tehti järgnevad muudatused:

- 5/9 *Configuration*:
 - *Control type*: *On/Off*
- 6/9 *Configuration*:
 - *No. of pipes*: 4

- *Operation seq: Cool/Heat*

Viiendal leheküljel on *Control type* muutmine vajalik selleks, et ruumikontroller annaks väljundile pidevalt pinget. Vaikimisi on selle väärtuseks *Floating*, mis tähendab, et pinget antakse väljundile nii pikalt kui pikaks on seatud *Floating time* muutuja. *Floating time* muutuja väärtus saab olla vahemikus 0.5 - 9 min. *On/Off* seades on väljund seni aktiivne, kuni ruumikontroller on vastavas režiimis.

Kuuendal leheküljel on ruumikontroller pandud 4 toru režiimi ehk *No. of pipes* on pandud 4 peale, vaikimisi on see 2. See tähendab, et on võimalik 4 väljundi abil juhtida nii külma- ja soojaklappide ajameid. Üks väljund avab klapi ja teine sulgeb. Teine töörežiim on 2 toruga, selliselt juhitakse klappe kahe väljundiga ja võimalik töörežiimide valik on piiratud võrreldes 4 toru režiimiga. Jahutuse ja kütmise režiim on saadaval ainult 4 toru režiimis, aga siin režiimis kasutatakse jahutuse juhtimiseks siiski 1 väljundit, mis ruumikontrolleril on UO09 väljund. Samuti kasutatakse kütmise juhtimiseks ühte väljundit, milleks on UO12. Siin tuleb tähele panna, et saab kasutada ainult sellist soojaklappi, mis on avatud siis, kui ta ei ole pinge all. Seda sellel põhjusel, et ruumikontrolleris ei aktiveerinud kunagi UO10 väljund kui ruumikontroller oli *Cool/Heat* töörežiimis ja kasutati 4 toru süsteemi. *Operation seq* määrab ära, mis režiime ruumikontroller oma töös kasutab. Siin seadistati ruumikontroller jahutamise ja kütmise režiimile ehk *Cool/Heat*. Lisaks eelmainitud seadistustele on võimalik määrata ruumikontrolleri seadistusmenüüst ka erinevad seadistuspunktid, et määrata ära temperatuurid, millal lülitub jahutus üle kütmisele ja samuti piirkond, kus ei teostata ei jahutamist ega kütmist. Samu seadistuspunkte saab määrata ka LUA skriptis.



Joonis 3.3.3.1: ruumikontrolleri binaarväljundid 4 toru töörežiimis [22]

Ruumikontrollerile kirjutati ka Puiestee 80A ruum 301 näitel LUA skript, kus olemasolevas koodis on tehtud samad muudatused, mis tehti ruumikontrolleri seadistusmenüüst, et toetada lisaks kütmisele ka jahutuse funktsionaalsust. Erinevus ruumikontrolleris seadistuste tegemisega on see, et skriptis tehti muudatus, et kasutada kütmise jaoks U008 binaarväljundit, selliselt, et kui kontroller on kütmise režiimis, siis muutub U008 väljund aktiivseks ja muudes töörežiimides ei ole väljund aktiivne. See oli vajalik, kuna Puiestee 80A õppehoones kasutatakse kütmise jaoks radiaatoril pinge all avatud klappe.

Ruumikontrolleripoolne jahutuse ja kütmise juhtimine vastavalt ruumi seisule toimub automaatselt. Selleks on abiks ruumikontrollerisisene hõivatuse andur või välised PIR laeandurid ja välised magnetkontaktandurid akendel. Kui ruum pole hõivatud siis muutuvad vastavalt seadistusele temperatuurid, mille juures kütmist või jahutamist teostatakse. Samamoodi loetakse ka signaali magnetkontaktanduritelt ja avatud akna korral ruumi kütmist või jahutamist ei teostata.

3.4 Korpus

Prototüüp on paigaldatud 12.5 x 8 x 3 cm plastikust karpi. Karbile on puuritud augud juhtmete vahemooduliga ühendamiseks ruumikontrolleriga, toite ja IR-diodi jaoks. Karbis puuduvad eraldi kinnitused, seega on komponendid karbi külge fikseeritud kahepoolse teibiga.

3.5 Katsetamise metoodika

3.5.1 IR-signaali lugemine ja saatmine

Katsetamist alustati esmalt IR-signaalide lugemisega. Esialgsel katsetamisel kasutati Arduino UNO Rev3 arendusplaati. Alguses otsiti internetist materjale ja leiti ka selle katsetamiseks IRremote teek, mis on mõeldud Arduino arendusplaatidele. Teegis kasutati sisseehitatud meetodeid IR-signaali lugemiseks ja signaali protokollileidmiseks. Loetud signaali edastamiseks kasutati algul HALJIA 38KHz Infrared IR Transmitter Sensor Module't ja IRremote teeki. Selle teegiga loetud signaalide saatmine ebaõnnestus. Edasisel uurimisel selgus, et õhksoojuspumba puldi poolt saadetakse signaal on pikem kui selle teegiga on võimalik lugeda. Edasisel uurimisel avastati AnalysIR blogi postitus, kus oli kood mahukate IR-signaalide lugemiseks [10]. Selliselt õnnestus IR-signaale õhksoojuspumbale saata. Selline lahendus sobib igasuguse IR-signaali lugemiseks. Edasisel uurimisel otsiti õhksoojuspumpade

juhtimiseks mõeldud teek ning nende katsetamisel leiti MideaIR teek, mis töötab lisaks Midea õhksoojuspumpade ka Puiestee 80A õppehoones kasutatavate Carrieri õhksoojuspumpadega. Edasine koodi kirjutati Arduino arendusplaadile kasutades MideaIR teeki, kuna see võimaldas mugavalt juhtida kõiki vajalike õhksoojuspumba funktsioone ning seda on seega prototüübi edasiarendusel hea kasutada.

IR-signaalide saatmisel selgus, et hetkel kasutatav HALJIA IR-saatja töötas ainult siis kui asetada see otse õhksoojuspumba vastu. Selline lahendus ei sobi, kuna siis on vaja loodud vahemoodul asetada õhksoojuspumba peale ja puldiga ei oleks enam võimalik õhksoojuspumba juhtida. Edasisel katsetamisel leiti CQY37N IR-diod, mis on võimsam kui HALJIA 38KHz Infrared IR Transmitter Sensor Module. Selle kasutamiseks oli vaja ka transistorit, et IR-diodi piisavalt tugeva vooluga juhtida. IR-diodi katsetamisel saadi selle IR-signaali levikauguseks umbes 5 m, mis on antud prototüübi katsetamiseks sobiv levikaugus.

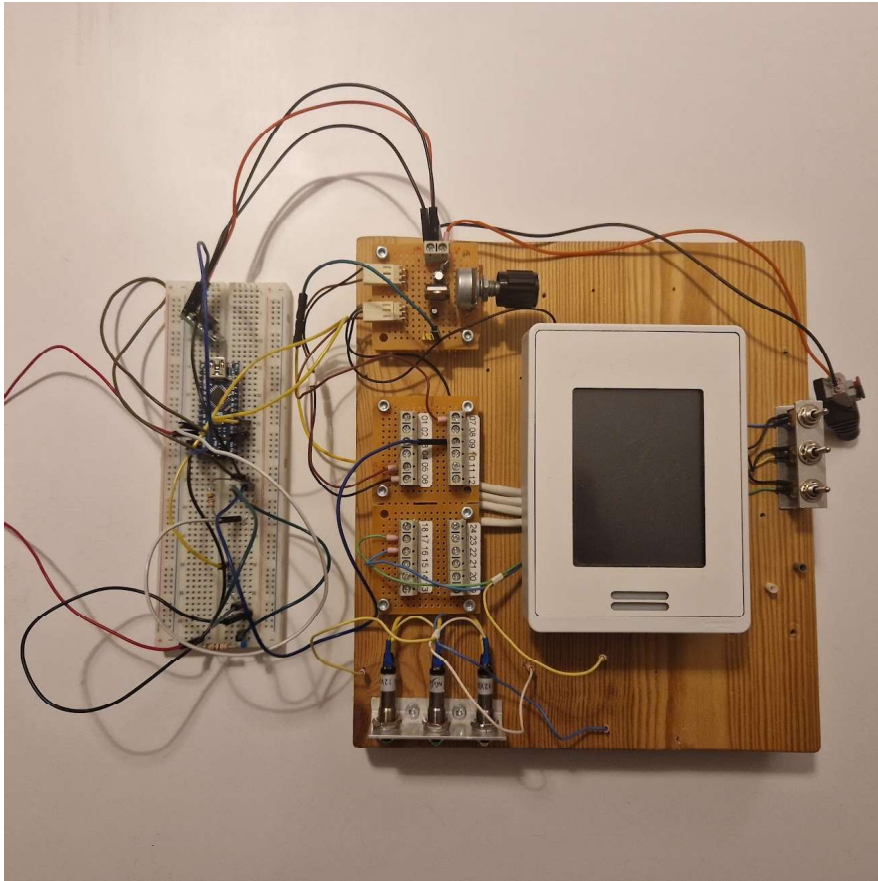
3.5.2 Prototüübi sidumine ruumikontrolleriga

Katsetamiseks kasutati ruumikontrolleri stendi, kus olid erinevad lülitid, mida sai kasutada näiteks avatud akende simuleerimiseks kui ruumikontrolleri skriptis vastavad muudatused teha. Kasutusel olevad väljundid sai ühendada ka stendil olevate 3 LED tulega, et vaadata väljundite hetkeseisu. Stendil olid ka välja toodud kõik ruumikontrolleri väljundid, et neid oleks mugav kasutada testimiseks. Lisaks oli stendil ka potensioomeeter, mis oli mõeldud CO2 anduri simuleerimiseks, seda testimisel ei kasutatud.

Prototüübi sidumiseks ruumikontrolleriga katsetati esmalt ruumikontrolleril erinevaid funktsionaalsuseid ja vaadati, kuidas selle väljundid reageerivad seadete muutmisele. Esmalt prooviti leida sobivat lahendust kasutades ruumikontrollerit 2 toru režiimis, nagu seda hetkel kasutatakse kütmise juhtimiseks. Selles režiimis aga puudus sobiv töörežiim juhtimaks nii jahutust kui ka kütmist korraga. Edasi katsetati 4 toru režiimi ja leiti sealt sobiv töörežiimi, milleks oli *Cool/Heat*. Selles režiimis sai juhtida kütmist ja jahutamist kasutades selleks 4 väljundit. Reealselt kasutatakse neist 2 väljundit – 1 väljund kütmise ja 1 väljund jahutuse juhtimiseks.

Edasi kirjutati sama režiimi jaoks ümber hetkel Puiestee 80A ruumis 301 kasutatava ruumikontrolleri skript, et see juhiks lisaks kütmisele ka jahutamist. Selle testimiseks veenduti, et LUA koodis ei oleks vigu kasutades selleks arendajamenüüd. Siis kontrolliti, et väljundid töötaksid ootuspäraselt. Olles selles veendunud ühendati prototüüp ruumikontrolleriga. Sisendi saamiseks kasutati pingejagurit ruumikontrolleri

U09 väljundi ja prototüübi digitaalsisendi vahel. Selliselt saadi edukalt ruumikontrolleri jahutuserežiimis sisselülitada õhksoojuspumpa. Muutes ruumikontrolleri töörežiimi kütmisele lülitati õhksoojuspump välja.



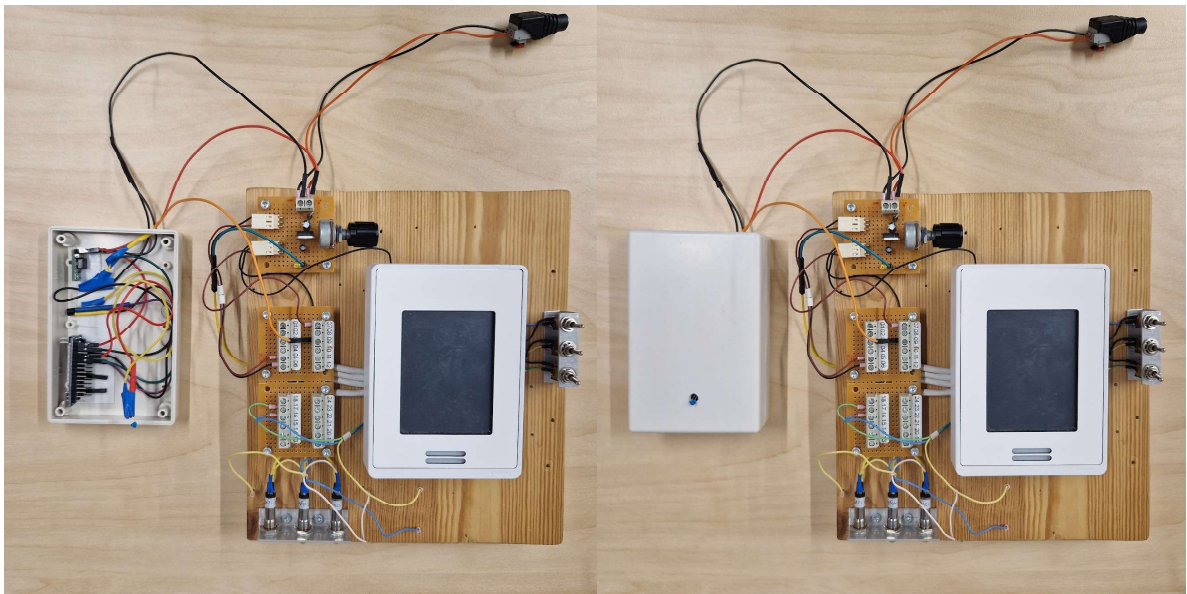
Joonis 3.5.2.1: prototüübi katsetamine stendil

3.5.3 Prototüübi valmistamine

Prototüübi katsetamise vältel tehti kõik ühendused komponentide vahel maketeerimislaual. Selliselt ei saa prototüüpi kasutusele võtta, kuna ühendused võivad kergesti lahti tulla ning seeläbi võib midagi läbi põleda. Selle ärahoidmiseks on mõned komponendid üksteisega kokku joodetud ning jootekohad on isoleerteibi ja termokahaneva toruga kaetud, et välistada lühiste teke komponentide vahel. Komponendid, mis pole millegi külge joodetud, on Arduino Nano arendusplaat ja HW-613. Nende külge ühendatakse komponendid kasutades maketeerimislaua juhtmeid.

4. TULEMUSED

Lõputöö tulemusena valmis vahemoodul, mis võimaldab ruumikontrolleriga juhtida Puiestee 80A õppehoones olevaid õhksoojuspumpasid. Loodud prototüüp on lihtsasti kohandatav ka teistsugustes süsteemides kasutamiseks, kuna lõputöö käigus katsetati ning kaardistati erinevad meetodid IR-signaalide lugemiseks ja saatmiseks, kasutades selleks Arduino arendusplaati. Lisaks uuriti ja katsetati erinevaid meetodeid, kuidas saab ruumikontrollerit seadistada kütmise ja jahutamise seotud juhtimiseks, kirjutades ruumikontrollerile skript või muutes ruumikontrolleri seadistusi selle menüüst Seega sai lõputöö eesmärk saavutatud ning valminud prototüübi saab kasutusele võtta.



Joonis 4.1: valminud prototüüp avatud ja kinnise korpusega

5. KOMPONENTIDE MAKSUMUS

Tabel 5.1: komponentide maksumus

Komponent	Hind
Arduino Nano	29€
CQY37N	1.94€
Takistid (4x)	2€
BC547	1.70€
HALJIA Digital 38 kHz Infrared IR Receiver Sensor Module	6.51€
HW-613	2.14€
Juhtmed	4€
Isoleerteip	1.5€
Kahepoolne teip	4€
Kokku	52.79€

Komponentide maksumuse tabelist on välja jäetud erinevad komponendid, mida prototüübi loomisel katsetati, aga kasutusele ei võetud, kuna lõpuks võeti kasutusele testitud komponentidest kõige paremini sobivad komponendid, mida kasutades on võimalik luua samasugune kohandatav lahendus ka teistsugustes süsteemides kasutamiseks. Välja on jäetud ka korpus ja termokahanev toru, kuna need saadi TalTech Tartu kolledžist, siis nende hind ei ole teada. Komponentide hinnad on võetud valdavalt Eesti poodides saadaolevatest toodetest 2024. aasta jaanuarikuu seisuga. Välismaa poodidest on tellitud HALJIA Digital 38 kHz Infrared IR Receiver Sensor Module ja HW-613.

6. EDASIARENDUS

Lõputöö käigus valmis seadme prototüüp, mis suudab ruumikontrollerilt saadud sisendi põhjal õhksoojuspumpa sisse- ja väljalülitada. Prototüübil on piiratud funktsionaalsus ning oleks hea kui saaks ka õhksoojuspumba tööd täpsemini juhtida, nagu näiteks valida jahutustemperatuur ning õhksoojuspumba ventilaatori kiirus. Temperatuuri muutmiseks saab kasutada näiteks potentsiomeetrit ja ekraani. Prototüübi koodis kasutatav MideaIR teek toetab ka temperatuuri muutmist ja selliselt oleks seda suhteliselt lihtne teostada. Sarnaselt temperatuuri muutmisele potentsiomeetriga saab muuta ka õhksoojuspumpa ventilaatori kiirust, kuid siis on vaja lisada ka nupud, et valida, mis seadistust potentsiomeetriga muudetakse. Ventilaatori kiiruse muutmist saab teostada ka ruumikontrolleri poolel, kuna sellel on ventilaatori kiiruse muutmiseks 3 väljundit olemas, mida saab kasutada.

Edasi tuleks veel realiseerida variandid, kus kasutatakse teist lisamoodulit ruumikontrolleri ja lõputöö raames loodud seadme prototüübi vahel, mis edastab ruumikontrollerilt saadud signaali juhtmevabalt. See muudab seadme kasutamise rohkem paindlikumaks, kuna võimaldab näiteks ühe ruumikontrolleri abil kontrollida mitut õhksoojuspumpa kui ühest IR-saatjast ruumis ei piisa, et juhtida mitut õhksoojuspumpa.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli luua Puiestee 80A õppehoone jaoks vahemoodul õhksoojuspumpade juhtimiseks ruumikontrolleriga ning kaardistada erinevad viisid, kuidas sellist seadet saab luua. Lõputöö tulemusena valmis Arduino Nano arendusplaadile ehitatud vahemoodul, mis ühildub SE8350 ruumikontrolleriga, koos ruumikontrolleri seadistustega.

Lõputöö tegemine algas taustamaterjali kogumise ja olemasolevate lahenduste uurimisega ning nendest ülevaate andmisega. Jõuti järeldusele, et Puiestee 80A õppehoones olemasolevaid lahendusi kasutada ei saa, kuna Schneider Electricu SE8350 ruumikontrollerid ja lüüsseadmed neid ei toeta. Edasi uuriti, mida sarnast on varem tehtud ja selle põhjal hakati katsetama IR-signaalide lugemist ja edastamist. Selle käigus kaardistati erinevad lahendused ning prooviti need läbi, et luua kohandatav lahendus, mida saab ka teistes süsteemides kasutada IR-seadmete juhtimiseks. Prototüübi ehitamine hõlmas endas ka sobivate komponentide valimist, et luua töökindel lahendus lõputöö eesmärgis püstitatud probleemile. Lisaks prototüübi loomisele katsetati SE8350 ruumikontrolleri erinevaid töörežiime, et leida sobiv lahendus kütmise ja jahutuse seotult juhtimiseks ning anti ülevaade erinevatest meetoditest, kuidas SE8350 ruumikontrolleril seda soovitud tulemust saavutada.

Lõputöö lähteülesandes püstitatud eesmärgid said täidetud ning lõputöö tulemuseks oli töötav vahemooduli prototüüp. Käesoleva lõputöö raames piirduti õhksoojuspumba sisse- ja väljalülitamise juhtimisega, mis hoiab ära ruumi samaaegse kütmise ja jahutamise. Sõltuvalt kasutatava õhksoojuspumba tüübist on siin võimalikud tulevikus edasiarendused.

SUMMARY

This thesis aimed to create a module to control heat pumps with a room controller for the Puiestee 80A building and to map out various ways of creating such a device. As a result of the thesis, a module was developed on an Arduino Nano development board, compatible with the SE8350 room controller, along with the configuration settings for the room controller.

The thesis work began with gathering background information, researching existing solutions and providing an overview of them. It was concluded that the existing solutions couldn't be used in the Puiestee 80A building because Schneider Electric's SE8350 room controllers and gateway devices do not support them. Further research was conducted on similar previous work, leading to experiments with reading and transmitting IR signals. Various solutions were mapped out and tested to create an adaptable solution for controlling IR devices in other systems. Building the prototype also involved selecting suitable components to create a reliable solution for the problem outlined in the thesis. In addition to creating the prototype, different operating modes of the SE8350 room controller were tested to find a suitable solution to control heating and cooling together and provide an overview of different methods to achieve the desired result on the SE8350 room controller.

The objectives set in the thesis assignment were achieved, resulting in a functional prototype of a module. Within this thesis, the focus was on controlling the on/off functionality of the heat pump to prevent simultaneous heating and cooling in the room. Depending on the type of heat pump used, there are possibilities for future developments in this area.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] „ICNIRP Infrared“, [www]
<https://www.icnirp.org/en/frequencies/infrared/index.html#>, kasutatud 06.11.2023
- [2] S. M. Nejakar, „Wireless Infrared Remote Controller for Multiple Home Appliances“, *International Journal of Electrical and Electronics Research*, kd 2, nr 1, lk 25-35, 2014 [www]
<https://www.researchpublish.com/papers/wireless-infrared-remote-controller-for-multiple-home-appliances>, kasutatud 16.11.2023.
- [3] „Lua: 4.0 reference manual“, [www]
<https://www.lua.org/manual/4.0/manual.html>, kasutatud 25.11.2023.
- [4] „Universal IR AC Compatibility List r1.1 Intesis ®“, [www]
https://www.intesis.com/docs/librariesprovider11/manuals-design-guides/compatibility-list/intesis_inxxxuni001i000_universal_ac_compatibility.pdf?sfvrsn=c445fd7_20, kasutatud 08.12.2023.
- [5] „BACnet MS/TP interface for HVAC integration USER MANUAL“, [www]
https://www.intesis.com/docs/librariesprovider11/manuals-design-guides/user-manuals/ac-interfaces/user-manual-in485uni001i100-bacnet-r2.1.pdf?sfvrsn=15acdd7_8, kasutatud 08.12.2023.
- [6] „ZigBee Smart IR Remote Controller Infrared Angle with 360 Degree Works with Amazon Alexa Echo Google Home“, [www]
<https://expo.tuya.com/product/1031055>, kasutatud 09.12.2023.
- [7] „SpaceLogic SE8350 Low Voltage Fan Coil Unit Specification Sheet“, [www]
https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=Datasheet_SE8300&p_enDocType=Specification+sheet&p_File_Name=028-0434-17_SDS-SpaceLogic-SE8350-2.6_A4_EN_RH20230728.pdf, kasutatud 25.11.2023
- [8] S. Papadopoulos, C. E. Kontokosta, A. Vlachokostas, ja E. Azar, „Rethinking HVAC temperature setpoints in commercial buildings: The potential for zero-cost energy savings and comfort improvement in different climates,“ *Building and Environment*, kd 155, lk 350–359, mai 2019, doi:
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.03.062>.
- [9] R. Riemer ja A. Shapiro, „Biomechanical energy harvesting from human motion: theory, state of the art, design guidelines, and future directions,“ *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, kd 8, lk 22, aprill 2011, doi:
<https://doi.org/10.1186/1743-0003-8-22>.

- [11] „MideaIRWrapper - Arduino Reference,“ [www]
<https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/mideairwrapper/>, kasutatud 27.12.2023.
- [12] „NRF24L01Pluss Preliminary Product Specification v1 0,“ [www]
https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/nRF24L01Pluss_Preliminary_Product_Specification_v1_0.pdf, kasutatud 01.01.2024.
- [13] „Arduino® Nano,“ [www]:
<https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000005-datasheet.pdf>, kasutatud 03.12.2023.
- [14] „Infrared Emitting Diode, 950 nm, GaAs,“ [www]
<https://www.vishay.com/docs/81002/cqy37n.pdf>, kasutatud 05.11.2023.
- [15] „Infrared Emitter, Miniature, 950 nm, 12 °, T-3/4 (1.8mm), 800 mW/Sr, 800 ns,“ [www]
<https://ee.farnell.com/vishay/cqy37n/infrared-emitter-950nm-t-3-4/dp/104552>, kasutatud 05.11.2023.
- [16] „HALJIA 38KHz Infrared IR Transmitter Sensor Module Modulating Compatible with Arduino,“ [www]
<https://www.haljia.com/products/haljia-38khz-infrared-ir-transmitter-sensor-module-modulating-compatible-with-arduino>, kasutatud 09.12.2023.
- [17] „HALJIA Digital 38KHz IR Receiver Sensor Module - Universal Infrared Re,“ [www]
<https://www.haljia.com/products/haljia-digital-38khz-ir-receiver-sensor-module-universal-infrared-receiver>, kasutatud 09.12.2023.
- [18] „BC546/547/548/549/550 Switching and Applications,“ [www]
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/BC546.pdf>, kasutatud 02.12.2023.
- [19] „HW-613 Mini Step Down Module, 12-24Vdc To 5Vdc 3A,“ [www]
<https://ampere-electronics.com/product/hw-613-mini-step-down-module-12-24vdc-to-5vdc-3a/>, kasutatud 31.12.2023.
- [20] „DC Adjustable Buck Converter Module 3A,“ [www]
<https://www.rawlix.com/product/hw-613-adjustable-dc-to-dc-buck-converter-module-3a-637242880252950008>, kasutatud 31.12.2023.
- [21] „SER8300 / SE8300 Series BACnet ® Integration Manual,“ [www]
<https://iportal2.schneider-electric.com/Contents/docs/SE8000%20SERIES%20BACNET%20-%20INTEGRATION%20GUIDE.PDF>, kasutatud 25.11.2023.
- [22] „SE8300 Series Installation Guide,“ [www]
<https://iportal2.schneider-electric.com/Contents/docs/II-SE8300-A4.PDF>, kasutatud 22.12.2023

Viitamise nõuetele vaid osaliselt vastavad allikad

- [10] „Air Conditioner Record long Infrared Remote control signals - Arduino,“ *AnalysIR Blog*, märts 2014, [www]
<https://www.analysir.com/blog/2014/03/19/air-conditioners-problems-recording-long-infrared-remote-control-signals-arduino/>, kasutatud 26.11.2023.

LISAD

Lisa 1 Arduino kood õhksoojuspumba juhtimiseks

```
#include <IRremote.h>                // versioon 2.5.0
#include <MideaIR.h>

#define IR_EMITER 3                   // IR-diodi väljund
#define INPUT A7                      // SE8350 UO09 sisend

IRsend irsend;                       // IRsend objekt
MideaIR remote_control(&irsend);     // MideaIR objekt
byte currentState = 0;                // õhksoojuspumba seis (0 väljas, 1 sees)

void setup() {
  pinMode(IR_EMITER, OUTPUT);         // IR-diodi väljund outputiks
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  int sensorValue = analogRead(INPUT); // SE8350 analoogsisend

  float voltage = sensorValue * (5 / 1023.0); // SE8350 analoogsisendi teisendus
  // voltideks (0-5 V)

  if (voltage >= 2 && currentState == 0) { // kui sisendpinge on olemas ja
  // õhksoojuspump on välja lülitatud siis lülitatakse õhksoojuspump sisse

    for (int i = 0; i < 5; i++) {      // seda korratakse 5 korda, iga 5 sekundi
    tagant

      remote_control.turnON();

      delay(5000);

    }

    currentState = 1;                  // õhksoojuspumba seisu määramine olekusse
    // 1 ehk sees

  }
}
```

```
    if(voltage == 0 && currentState == 1) {           // kui sisendpinget ei ole ja
    õhksoojuspump on sisse lülitatud siis lülitatakse õhksoojuspump välja

        for (int i = 0; i < 5; i++) {                 // seda korratakse 5 korda, iga 5 sekundi
    tagant

            remote_control.turnOFF();

            delay(5000);

        }

        currentState = 0;                             // õhksoojuspumba seisu määramine olekusse
    0 ehk väljas

    }

}
```

Lisa 2 SE8350 Puiestee 80A ruum 301 skript

```
-- v.5.2.24          --# koodi versioonide eristamiseks

if not init then

    Rm = 'Ruum 301    C02 = '
    Ps = 15*60       --15 minutit
    I1 = 0           --abimuutuja näitab hõivatust
    V1 = 200         --valguse lävi tulede lülitamiseks
    J1 = 0           --abimuutuja kuvamise intervalli tarbeks
    ME.MV51 = 1     --temperatuur kraadidesse. Pole siin oluline
    ME.AV52 = 4     --seada nelja toru süsteem
    ME.MV145 = 1    --temperatuurianduri lülitus juhtmega anduriks
    ME.MV6 = 1      --panen ühikute süsteemiks SI
    ME.MV15 = 5    --sean kütte ja jahutuse režiimi
    ME.MV16 = 2    --automaatne režiim
    ME.MV70 = 2    --õhuniiskuse kuvamine on lubatud.
    ME.MV149 = 2   --võtan õhuniiskuse sisemiselt andurilt
    ME.MV144 = 3   --sean UI24 pingesisendiks
    ME.MV146 = 1   --CO2 näitamine ekraanil välja
    ME.MV1 = 3     --sõnumi taust siniseks
    ME.MV95 = 3    --ventilatsioon seisma kütmise ajal !!!
    ME.MV47 = 1    --UI17 SE põhikoodi jaoks režiimi „None“
    ME.MV154 = 2   --vent režiimi ECM
    ME.MV81 = 1    --B01 binaarväljundiks
    ME.AV25 = 0    --ülekan demuutuja A nulli
    ME.AV26 = 0    --ülekan demuutuja B nulli
    ME.AV29 = 0    --ülekan demuutuja E nulli, hakkab hoidma pseudo CO2
väärtust
```

```

        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
SEES
--VALVE

        ME.CSV1 = ("MAJA VALVE ALL!")
valve all / ei sõltu millestku muust
--teade et on

        ME.BO103 = 0
--BO1 seisu 0 = "tuli kustu" / ei sõltu muust

        --if (ME.BV3 == 0 and ME.AV103 > ME.AV71) then
kõrge vana
--aknad kinni, niiskus

        if (ME.BI29 == 0 and ME.AV103 > ME.AV71) then
niiskus kõrge / uus, BV3 kontrollib juhtmevaba kontakti
--@aknad kinni,

                C2 = 5.0
--sellistel tingimustel C2 = 5

        end

else
--VALVE VÄLJAS

        ME.CSV1 = (Rm..ME.AV25.." ppm")
CO2 näitu
--kuvab

        if (SHG >= 1200) then
liiga kõrge CO2 (oma muutujad on paremad)
--kui

                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
            lae PIR on aktiivsed ehk on hõivatus
            I1 = Ps - 15
            --Intervall algusse tagasi
        end

        if I1 > 0 then
            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
                kinni ja hõivatus / uus BV3 ei reageeri UI16 -le
                C2 = ME.AV107
                --CO2 -te CO2 näit V -des otse sisendilt
            end
            if ME.AI2 < VI then
                aga on pime ka, siis
                ME.AV29 = 0
                --ülekan demuutuja E nulli, hakkab hoidma pseudo CO2 väärtust
                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

```

if ME.AO21>10 then ME.BO98=1 end --Ainult 4 toru
režiimis vajalik, et kasutada BO8 väljundit kütmise sisse lülitamiseks

if ME.AO21==0 then ME.BO98=0 end --Ainult 4 toru
režiimis vajalik, et kasutada BO8 väljundit kütmise välja lülitamiseks

ME.AO123 = C2
--# kujunenud CO2 pseudonäit väljundisse UO11

ME.AV29 = C2 * 200 --#
sama ppm -des peakontrollerisse