

Tartu Ülikool

Loodus- ja täppisteaduste valdkond

Tehnoloogiainstituut

Urmo Schults-Kopp

Viljakuivati automatiseerimine ja kaugjuhitavaks muutmine

Bakalaureusetöö (12 EAP)

Arvutitehnika eriala

Juhendaja:

MSc Heilo Altin

Tartu 2023

Resümee/Abstract

Viljakuivati automatiseerimine ja kaugjuhitavaks muutmine

Viljakuivati on vajalik vilja ettevalmistamisel müügiks ja säilitamiseks. Viljakuivati kasutamist mugavdab selle erinevate tööprotsesside automatiseerimine.

Käesoleva bakalaureuse lõputöö eesmärgiks oli kaughaldussüsteemi väljatöötamine. Lõputöö tulemusena valmis modulaarne süsteem, mille abil on võimalik mobiilselt jälgida andurite väljundeid ja kontrollida mootoreid.

CERCS: T120 Süsteemitehnoloogia, arvutitehnoloogia; T125 Automatiseerimine, robotika, juhtimistehnika; T170 Elektroonika; T420 Põllumajandustehnika, põllumajandusmasinad, põllumajanduslike hoonete ehitus

Märksõnad: viljakuivati, kaugjuhitav,

Automation of grain dryer and making it remotely monitorable

The dehydrator is necessary for preparing the grain for sale and for storage. The use of a grain dryer is simplified by the automation of its various processes.

The aim of this bachelor thesis was to develop a wireless control system. As a result of the thesis, a modular system has been developed, which allows mobile monitoring of sensor outputs and control of motors.

CERCS: T120 Systems engineering, computer technology; T125 Automation, robotics, control engineering; T170 Electronics; T420 Agricultural engineering, agricultural machines, farmhouse construction

Keywords: grain dryer, remotely controlled

Jooniste loetelu

Joonis 1 Mällona viljakuivati.....	11
Joonis 2 Farmpoint niiskusmõõtja	12
Joonis 3 Eaton DILM12-10 kontaktor	12
Joonis 4 Süsteemi omavaheline seotus	13
Joonis 5 Tasemeandur	15
Joonis 6 MQTT serveri ja dashboardi ühendus Node-RED'is	19
Joonis 7 Nelja kanaliga relee kinnituse mudel Fusion360s	20
Joonis 8 Temperatuurianduri kinnituse mudel	21
Joonis 9 Temperatuurianduri pika kinnituse mudel	21
Joonis 10 Valmis kilbi sisu.....	22
Joonis 11 Node-REDi poolt kuvatav kasutajaliides telefoni veebilehitsejas	23
Joonis 12 Lõik config.ini failist	24
Joonis 13 Kontaktori ja relee ahel.....	26

Sisukord

Resümee/Abstract	2
Jooniste loetelu.....	3
Lühendid, konstandid, mõisted	6
1 Sissejuhatus.....	7
1.1 Viljakuivati	7
1.2 Probleemi tutvustus	7
2 Ülevaade probleemist.....	8
2.1 Tehtud uuringud	8
2.2 Eesti üks moodsamaid viljakuivateid.....	8
2.3 Olemasolevad lahendused viljakuivatite moderniseerimiseks	9
2.3.1 AgroEkspert ja BalticAgro lahendused	9
2.3.2 Niiskusandur	9
3 Töö eesmärk ja nõuded	10
3.1 Töö eesmärk	10
3.2 Süsteeminõuded	10
4 Lõputöö raames uuendatava kuivati tööprotsessid ja olemasolev süsteem	11
5 Lahendus	13
5.1 Süsteemi arhitektuur.....	13
5.2 Riistvara ja tarkvara valik	13
5.2.1 Kontrollerid.....	13
5.2.2 Suhtlus kontrolleriga - MQTT	14
5.2.3 Tasemeandurid	15
5.2.4 Temperatuuri andurid.....	15
5.2.5 Relee mootorite juhtimiseks	16
5.2.6 Mootorite tagasiside relee	16
5.2.7 Kilp	17

5.3	Süsteemi ülesehitus – Paigaldusviis ja otstarve	18
5.3.1	Server RasPi.....	18
5.3.2	Kuivati RasPi	18
5.3.3	Suhtlus kahe RasPi vahel.....	19
5.3.4	Mootorite lülitusreleed.....	19
5.3.5	Mootori töös oleku relee	20
5.3.6	Tasemeandur	20
5.3.7	Temperatuuri andurid.....	21
5.3.8	Kilp	22
5.4	Süsteemi tarkvara	23
5.4.1	MQTT server	23
5.4.2	Kasutajaliides – Node-RED.....	23
5.4.3	Põhiprogramm.....	24
5.4.4	Põhiprogrammi uuendamine.....	25
5.4.5	Ülal oleku kontroll	25
5.4.6	Temperatuuri andur ja 1-wire protokoll.....	25
5.5	Süsteemi testimine moodulitena.....	26
5.5.1	MQTT ühendus	26
5.5.2	RasPi – Relee - kontaktor	26
5.5.3	Mobiilside test.....	27
5.6	Edasiarenduse võimalused	28
	Kokkuvõte.....	29
	Viited.....	31
	Lisad.....	35
	Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks.....	36

Lühendid, konstandid, mõisted

RasPi (Raspberry Pi) – Väike plaatarvuti mitmete sisend- ja väljundviikudega. [1]

MQTT (Message Queue Telemetry Transport) – Standardiseeritud suhtlusprotokoll masinate vahel. [2]

GPIO (General Purpose Input-Output) – Mitmeotstarbeline digitaalne sisend ja väljund. [3]

IoT (Internet of Things) – Interneti kaudu seotud asjade võrk. [4]

Viljakuivati – Ehitis, mille sees paikneb kuivati ja muud seadmed vilja kuivatamise protsessimiseks. [5]

Vilja kuivati – Seade vilja kuivatamiseks.

1 Sissejuhatus

1.1 Viljakuivati

Vilja kuivatamine on vajalik vilja säilivuse parandamiseks. Väiksema niiskusega vili säilib oluliselt kauem. Selle jaoks on kasutusel viljakuivatid.

Viljakuivati töö põhineb sooja õhuvoolu segamisel viljaga. Õhuvool aurustab viljaterade pinnalt vett ja viib seda välisõhku.

Levinud on kaks kuivati tüüpi, portsjonkuivati ja läbivoolukuivati. Portsjonkuivati puhul vili ringleb kuivatis mitmeid kordi. Läbivoolukuivati puhul liigub vili läbi kuivatimahuti üks kord.

Peale vilja kuivatamist sooja õhuga on vajalik vilja jahutamine väli temperatuurile, et peatada vilja liigne kuivamine. Vilja jahutamisel puhutakse kuivatisse välisõhku, seega vilja saab kuivatada niikaua, kui vilja temperatuur jõuab välisõhu lähedale. Vilja kuivatamine võib toimuda terve päeva vältel. Eestis suvel kõigub temperatuur päeva vältel palju. Juuli 2022 kuu õhutemperatuuri maksimum oli 32,6 °C, miinimum aga ainult 5,2 °C. [5, 6]

1.2 Probleemi tutvustus

Selles bakalaureusetöös tehakse koostööd Mällona Mõis OÜ-ga. Nimetatud ettevõtte tegeleb põllumajandusega, sealhulgas ka vilja kuivatamisega [7]. Ettevõtte pakkus bakalaureusetöö autori (edaspidi autor) ülesandeks automatiseerida viljakuivatusprotsessi.

Manuaalselt juhitalval vilja kuivatil esineb mitu probleemi. Ilma automaatselt mõõtvate andurite süsteemita tuleb vilja niiskustaset mõõta käsitsi. See kasutab inimressurssi, mis on vilja valmimis hooajal piiratud. Samuti tekitab see ohu mõõtmisvea tekkimiseks.

Teine probleem seisneb mõõtmisageduses. Manuaalselt mõõtmisi tehes on raske tabada ideaalset niiskustaset. Anduritega mõõtes on võimalik teha reaajas mõõtmisi ja täpsemini tabada vajalik niiskustase, seejuures vähendades energiaraisku, kuna süsteemi on võimalik vähem töös hoida.

2 Ülevaade probleemist

2.1 Tehtud uuringud

Vilja kuivatamine ei ole lineaarne protsess ja seda mõjutavad väga paljud tegurid, muuhulgas näiteks saagikoristuse ajal olev ilm, temperatuur ja ka kuivati sooja õhu tootmiskvaliteet. Sellepärast üritatakse leida erinevaid võimalusi selle protsessi täpsemaks muutmiseks. Li & Chen (2020) kasutasid selleks mitmeid andureid, nagu niiskusemõõtja ja temperatuuri mõõtja, et luua reaajas tagasiside ahel. Selle tagasiside abil muudetakse kuivati kuuma õhu kogust ja kuivatamise aega, et saavutada soovitud niiskuse tase viljas.

Li, Ban & Shen, (2008) lähenesid probleemile teisiti. Nad üritasid luua närvivõrgustiku abil süsteemi, mis suudaks ennustada kuivatusprotsessi tööaega ja võimsust. Li jt, (2008) kasutasid võrgustiku treenimiseks MATLAB tarkvara ja leidsid süsteemi simuleerides, et nad suutsid tagada täpsuse eesmärgist $\pm 0.52\%$. Seda süsteemi plaanitakse tulevikus katsetada kuivatites.

Li & Chen, (2020) aga rakendasid oma süsteemi reaalse kuivati peal ja said tulemuseks, et viga riisi niiskustasemes ei olnud suurem kui $\pm 0.5\%$. Süsteemi rakendamise tagajärjel paranes ka saagi kvaliteet ja säästeti energiat. Seega mõlemad tehnoloogiad on võimalised parandama viljakuivatusprotsessi. [8, 9]

2.2 Eesti üks moodsamaid viljakuivateid

KEVILI kirjeldab ennast Eesti suurimateks ja kaasaegsemateks viljakuivatiterminalideks. Lõputöö loomise ajal avanes võimalus külastada Rõngus asuvat terminali ja uurida kuidas käib seal vilja kuivatamine ja selle töö juhtimine. [10]

KEVILI terminalis asub läbivoolukuivati. Tegu on vilja kuivatiga, kus toimub samaaegselt nii vilja sisse laadimine, kuivatamine ja väljalaadimine. Vili voolab vaikselt tempol ülalt alla ja keskel asuvatest õhuavadest puhutakse kuuma õhku, mis kuivatab vilja.

Viljakuivati juhtruumis asub kuivati juhtpult ja arvuti, kus toimub terve ülejäänud süsteemi juhtimine. Kuivati juhtpuldil on võimalik seadistada kuivatise siseneva õhu temperatuuri ja vilja liikumise tempot. Sealt näeb ka temperatuuriandurite väljundit. Arvutis on võimalik juhtida vilja liikumist viljakuivati erinevate osade vahel. Selleks saab liigutada arvutist siibreid ja linte mida pidi vili liigub.

Kuigi on olemas temperatuuriandurid ja nende väljundeid kuvatakse juhtruumis, ei ole võimalik mobiilselt näha neid andmeid ega vajadusel muuta nende seadeid.

2.3 Olemasolevad lahendused viljakuivatite moderniseerimiseks

2.3.1 AgroEkspert ja BalticAgro lahendused

AgroEkspert ja BalticAgro pakuvad mõlemad viljakuivati automaatika lahendusi, kuid ainult uutele projektidele, ning nende poolt valitud seadmetega [11, 12].

Vanadel viljakuivatitel on üldiselt olemas kilp, kus asuvad mootorite lülitid. Alati ei ole ka kõik manuaalsed juhtsüsteemid standardsed ja seega selle uuendamine oleks kulukas.

2.3.2 Niiskusandur

Vilja niiskuse mõõtmine ei ole lihtne protsess. Tavaliselt kasutatakse selleks eraldi seadet, kus pressitakse väike viljakogus tihedalt kokku ning seejärel läbistatakse elektriga ja mõõdetakse takistust [13].

Tööstuslikud niiskusandurid, mis suudavad ise reaajas mõõtmisi teha on kallid [14].

Vesteldes Mällona Mõisa ja Kevili kuivati operaatoritega selgus, et vilja temperatuuri ja niiskuse vahel on korrelatsioon, mis on erinev viljatüüpide vahel. See tähendab, et mõõtes vilja temperatuuri on läbi selle võimalik hinnata vilja niiskuse taset.

3 Töö eesmärk ja nõuded

3.1 Töö eesmärk

Selle bakalaureusetöö eesmärk on luua Mällona Mõisa (edasi tellija) portsjonviljakuivatile modulaarne süsteem, mida oleks võimalik integreerida ka teistele viljakuivatitele [5]. Süsteemi põhieesmärk on anduritega jälgida kuivatusprotsessi ja luua võimalus nendelt saadud andmeid näha üle võrgu. Kõrval eesmärkideks on luua võimalus mobiilselt juhtida erinevate mootorite tööd viljakuivatis.

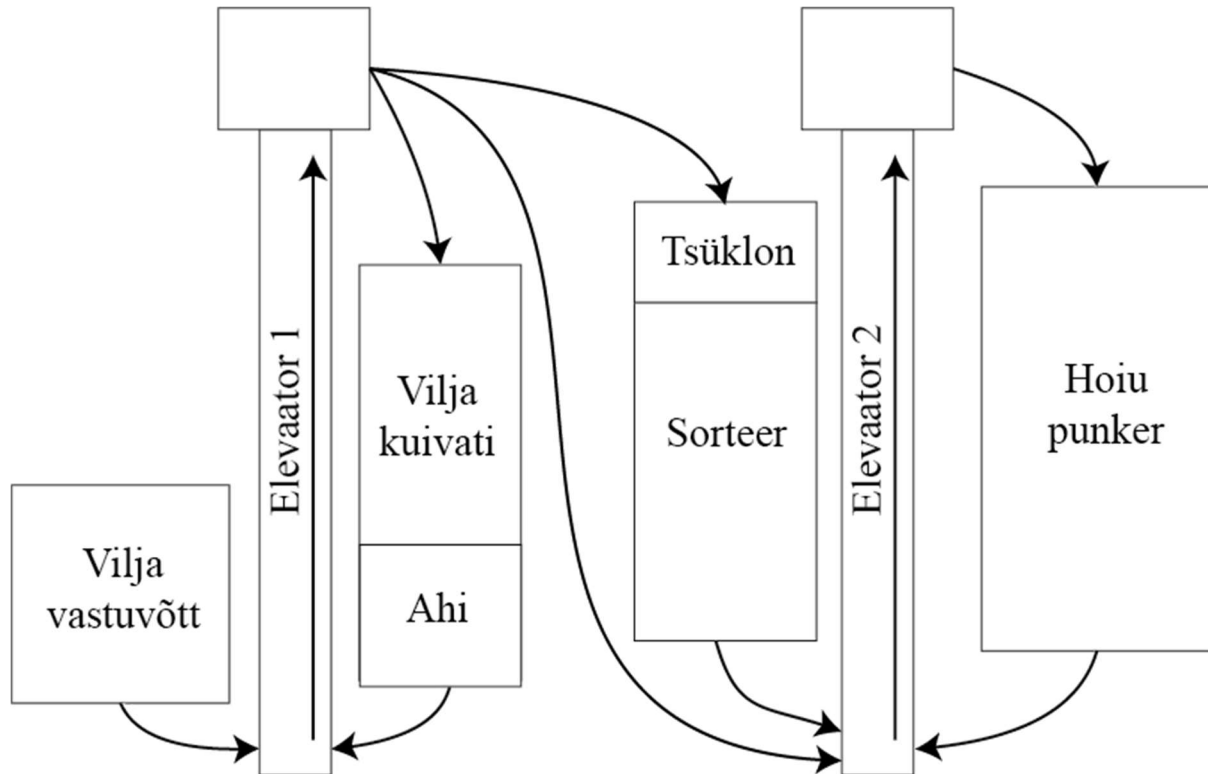
Töö teoreetilises osas uuritakse varasemaid lahendusi ja nendega saavutatud tulemusi ning räägitakse manuaalselt käsitletava viljakuivati probleemidest. Töö praktilises osas selgitatakse süsteemi loomise nõudeid, valitakse sobivad komponendid, komplekteeritakse seade, integreeritakse olemasolevasse süsteemi, luuakse vajalik tarkvara ja seejärel testitakse viljakuivatil.

3.2 Süsteeminõuded

Loodavale lahendusele on tellija seadnud järgmised nõuded:

- Mobiilsest seadmest üle välisvõrgu on võimalik:
 - Jälgida temperatuure vilja kuivatamisel.
 - Näha vilja tasemeid punkrites.
 - Näha millised mootorid on töös.
 - Lülitada mootoreid sisse ja välja.
- Loodav lahendus peab mahtuma võimalikult väiksesse elektrikilpi, kuhu sisse tulevad ainult vajalikud ühendusjuhtmed.
- Loodav lahendus peab olema integreeritav olemasolevale süsteemile selliselt, et kõik algsed juhtimissüsteemid jäävad alles.
- Süsteemi tarkvara on võimalik uuendada üle võrgu.
- Riistvara peab vastu pidama välitingimustele.
- Süsteemi poolt kasutatavad teenuste ja seadmete kuumaks tuleb hoida võimalikult väike.
- Süsteem ei tohi segada viljakuivati tootja poolt ettenähtud töö protsessi.

4 Lõputöö raames uuendatava kuivati tööprotsessid ja olemasolev süsteem



Joonis 1 Mällona viljakuivati

Joonisel 1 on Mällona mõisa viljakuivati erinevad süsteemid ja nende omavaheline seotus.

Viljakuivatus protsess algab vilja vastuvõttu kallamisega. Seejärel veab esimene elevaator vilja esimesse jaotuspunkti, mis asub kõrgel viljakuivati lae all. Sealt on võimalik vilja suunata kas kuivatusmahutisse, sorteerimisse või läbi teise elevaatori hoiupunkrisse.

Vilja kuivatamiseks on ahi vedelkütuse põletiga. Sellest tulenev soe õhuvool juhitakse kuivatimahuti õhukäikudesse. Peale vilja kuivatust saadetakse vili läbi esimese elevaatori hoiupunkrisse või sorteerimisse.

Süsteemis ei ole lõputöö alustamise hetkel ühtegi andurit. Vilja niiskustaseme mõõtmine käib manuaalselt Farmpoint niiskusanalüsaatoriga, mis on nähtav joonisel 2 [15].



Joonis 2 Farmpoint niiskumõõdja

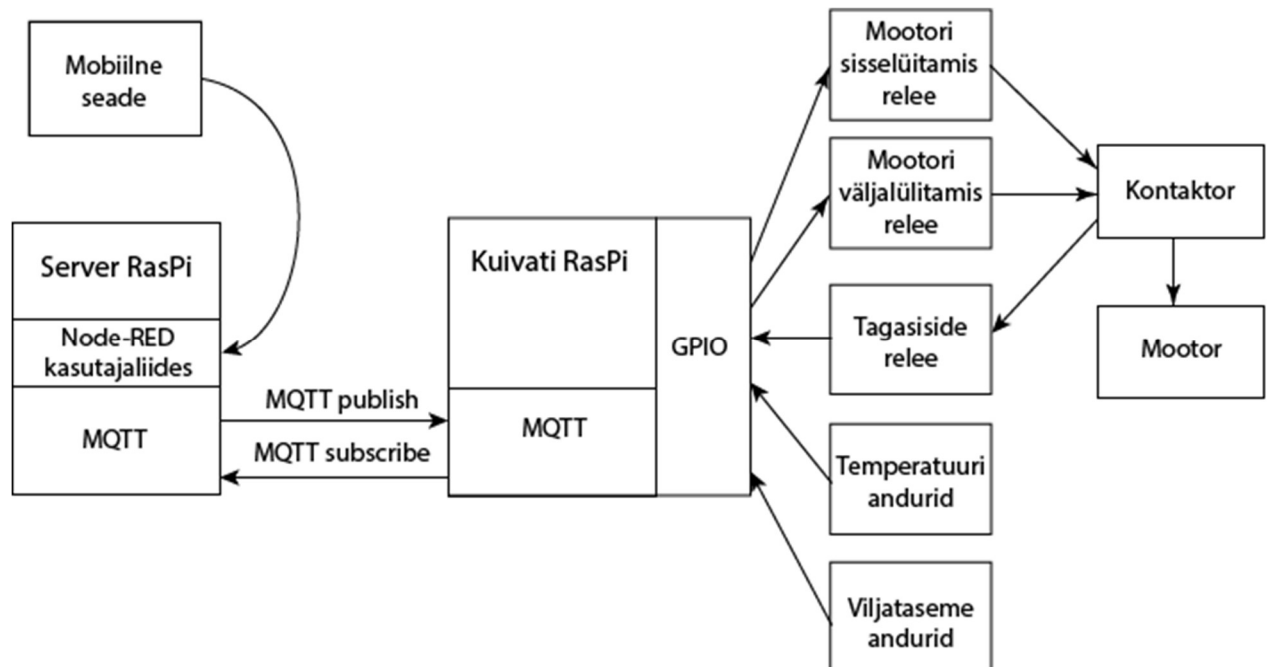
Kõikide mootorite jaoks on paigaldatud elektrikilp, kus asuvad nende kontaktorid Eaton DILM12-10 [16]. Kontaktor ehk magnetkäiviti on lülitusseade, mis ühendab kokku kontaktid, kui kontaktori mähist läbib elektrivool. Kontaktoreid kasutatakse suurte võimsustega tarbijate ühendamiseks elektrivõrku [17]. Kontaktoritega lülitavaid mootoreid on viis. Iga mootori jaoks on roheline sisse lülitus nupp ja punane väljalülitus nupp.



Joonis 3 Eaton DILM12-10 kontaktor

5 Lahendus

5.1 Süsteemi arhitektuur



Joonis 4 Süsteemi omavaheline seotus

Joonisel 4 on kuvatud süsteemi arhitektuur. Kasutaja sisendiks on mobiilne seade, mis suhtleb läbi Node-REDi kasutajaliidese server RasPiga. Server RasPi ja kuivati RasPi kasutavad omavaheliseks suhtluseks MQTT protokoll. Kuivati RasPi külge on ühendatud releed mootori kontrollimiseks ja andurid temperatuuri ja viljataseme mõõtmiseks.

5.2 Riistvara ja tarkvara valik

5.2.1 Kontrollerid

Süsteeminõuetest tulenevalt peab kuivatis olev kontroller suutma ühendada internetiga ja lugeda ning kirjutada digitaalviikudega. IoT lahendustes on selleks populaarne Raspberry Pi (edasi RasPi) platvorm [18]. RasPi on võimekas väikearvuti, millel on võimalik käivitada ka Linuxi operatsiooni süsteemi. Sellest tulenevalt on sellel olemas suur kataloog mooduleid, mille abiga on kiiresti võimalik arendada keerukaid süsteeme.

Viljakuivatis ei ole internetiühenduse taristut. See tähendab, et sealse RasPiga oli vaja luua mobiilne andmeside. Selle jaoks telliti sim-kaart mobiilseandmesidega ning see ühildati

RasPiga USB modemiga Huawei-E3372. USB modem oli tellijal juba olemas ja selle kasutamine vältis ruuteri ostmist.

Mobiilsel andmesidel ei ole staatilist internetiaadressi. Seega ei ole võimalik kuivatis asuvasse RasPisse stabiilselt ühendada. Võimalik on sim-kaardile juurde osta staatilise internetiaadressi pakett, kuid see tähendaks lisa kuumaksu.

Teine võimalus on luua RasPi server tellija kohalikku võrku, kus on võimalik määrata server RasPile staatiline internetiaadress ning avada ka porte. Sel juhul saab kuivati RasPi suhelda server RasPiga. Kuna tellijal on tulevikus plaanis ka teisi süsteeme mobiilselt jälgida ja automatiseerida, on lihtne selle serverile neid lisada. Seega sobis teine võimalus.

Server RasPiks sai valitud Raspberry Pi 4. Sel on neli Cortex A72 protsessori tuuma, mis tagavad serveri jaoks sujuva töö [19]. Kuivatisse valiti Raspberry B+, millel on üks protsessori tuum, sest selle töökoormus on väiksem ja see on odavam [20]. RasPidel töötab Debiani põhine Raspberry Pi operatsioonisüsteem, mis on optimeeritud RasPide jaoks [21].

5.2.2 Suhtlus kontrolleriga - MQTT

Kahe RasPi vaheliseks suhtluseks valiti Message Queue Telemetry Transport ehk MQTT protokoll. MQTT on standardiseeritud suhtlusprotokoll kahe masina vahel. Kasutatakse tavaliselt IoT lahendustes, kus seda kasutatakse erinevate anduritega suhtlemisel. [2]

MQTT protokoll kasutamine nõuab kasutatavalt seadmelt vähe ressursse. Pythonil on lai tugi MQTT protokollil implementeerimiseks. Lisaks on MQTT protokollil olemas erinevad teenuse kvaliteedi tasemed ehk Quality-of-service, lühidalt QOS. Need tasemed lisavad töökindlust sõnumite saatmisel. Tase 0 määrab, et kohale jõuab maksimaalselt üks sõnum. Tase 1 määrab, et vähemalt üks sõnum jõuab kohale. Tase 2 määrab, et kohale jõuab täpselt üks sõnum. [22]

Lõputöö raames on oluline just tase 2, sest sõnumite edastamiseks kasutatakse mobiilset andmesidet, mille levi ei pruugi viljakuivatis olla alati hea. Mootorite lülitamisel on oluline, et kindlasti jõuaks ainult üks sõnum kohale. Vastasel juhul ei saa kasutaja olla kindel, kas saadetud käsk jõudis kohale.

5.2.3 Tasemeandurid

Süsteemi nõude kohaselt on vajadus mõõta vilja tasemeid punkrites. Tasemeandurid on vajalikud, et elevaatoritega punkritest vilja välja laadimisel oleks indikatsioon, kui see on tühjaks saanud ning vilja sisse laadimisel, kui see hakkab täituma.

Tasemeandurite valimisel oli tähtis, et andur oleks tolmu ja niiskuskindel, kuna see võib veeta mitmeid kuid vilja sees. Oluline oli ka, et andur oleks füüsiliselt vastupidav.

Anduri otsimisel uuriti olemasolevaid lahendusi põllumajanduses. Valituks sai joonisel 5 nähtav viljakombaini punkris asuv tasemeandur. See andur ongi mõeldud tuvastama vilja taset ning peab vastu pidama keerulistes oludes viljakombainis. Andur on saadaval kombaini varuosana. [23]



Joonis 5 Tasemeandur

5.2.4 Temperatuuri andurid

Temperatuuriandurite valimisel oli eelkõige tähtis jälgida selle töötemperatuuri vahemikku. Toiduvilja kuivatusõhu soovitatav temperatuur on $+60...+70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Söödavilja puhul võib see isegi kõrgem olla. [24]

Otsides sobilikke temperatuuri andureid RasPile jäi silma DS18B20 sensor [25]. Sensoril on digitaalne väljund ja kasutab suhtlemiseks 1-Wire protokoll. Tehnilistes andmetes on kirjas kasutatav temperatuuri vahemik -55 kuni $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ aga kuna kaabel on mähitud PVCga, soovitatakse mitte ületada $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatuuri [26]. Kuigi DS18B20 ei ole IP sertifitseeritud,

on tootelehel kirjas, et mõõtepea on veekindel. Anduri mõõtepea on pikendatud metallist toruga, mis sobib hästi vilja sisse matmiseks.

5.2.5 Relee mootorite juhtimiseks

Mootorite lülitamiseks on vajalik lühiajaliselt pingestada kontaktori mähis 230 V pingega. RasPi väljundviigu pinge on aga ainult 3.3 V. Seega on vajalik leida sobilik relee, mis suudaks väikse kontrollpingega lülitada 230 V.

Releesid, mis suudavad otse 3.3 V kontrollpingega on turul vähe. Teiseks, relee kontrollmähist peab läbima elektrivool, mille tugevus on vähemalt 70 mA. RasPi viik võimaldab kuni 16 mA. Suurem voolutugevus võib viiku kahjustada. [27]

Sellise probleemi juures on rohkem levinud kasutada releesid, millel on lülitamiseks vajalik nimipinge 3.3 V kuni 5 V, aga mähise pingestamiseks kasutatakse välist 5 V toiteahelat. Sellisel juhul on relee lülitamiseks vajalik väike voolutugevus RasPi viigult. [28]

Internetipoes Lemona oli selline relee müügil. Toote kirjelduses leiab, et vajalik on 15-20 mA ja juhtpinge jaoks kasutatakse eraldi 5 – 12 VDC pinget. Tegemist on nelja kanalise releega. Selle laius on 5.5 cm ja pikkus 7.8 cm, ehk ta on natuke väiksem kui RasPi, mille mõõdud on 5.65 cm ja 8.56 cm. Seega kilbi valimisel ei ole relee suurus takistuseks. [29]

5.2.6 Mootorite tagasiside relee

Mootorite käivitamiseks on vaja pingestada mootori kontaktorit lühiajaliselt. Kui lülitamine õnnestus jääb kontaktor pingestatuks, kuni selle stopp ahelas tehakse katkestus. Mootori rikki mineku puhul lülitab mootori kaitse end välja ja see katkestab stopp ahela. Seega on tagasiside ahel vajalik tuvastamast probleeme mootoriga.

Teisalt on tähtis saada tagasisidet elevaatorite mootoritelt. Elevaatori suutlikus vilja teisaldada ei ole alati sama suur, kui elevaatorisse tuleva vilja kogus. See tähendab, et elevaator võib ummistuda. Selle leevendamiseks on elevaatori mootoril olemas tsentrifugaallüliti. Mootori käivitamisel mootori pöördumine tõukab tsentrifugaaljõuga lüliti kontaktid kokku. Ummistuse tagajärjel tsentrifugaallüliti seiskub ning lüliti ühendub lahti, mistõttu kontaktori stopp ahel katkeb.

Seega mootori töös oleku teabe saamiseks on vaja kontrollida, kas selle mootori kontaktori mähis on parasjagu pingestatud. Selleks on vajalik leida relee, mille kontrollpool oleks võimeline lülituma 230 V pingega ja seejärel ühendada relee kontaktide pool RasPi viiguga.

Kuna tegemist on seadmega, mis ühendub elektrivõrku, otsiti vajalikku osa elektripoodidest. Sobiv seade leiti Effexi elektripoest [30]. Finderi seeria 40.51 on relee, mis sellega sobiva pesaga Finder 95.75 kinnitub DIN liistule [26, 27].

5.2.7 Kilp

Elektrikilbi valimisel tuli jälgida, et sinna sisse mahuks vertikaalselt ja küliti asetsev RasPi koos selle jaoks tehtud DIN liistu kinnitusega. Kilp pidi olema ka pinnapealselt kinnituv, sest selle paigalduskohta peab olema võimalik vajadusel liigutada.

Elektrikilbi esimene paigalduskoht on teiste elektrikilpide läheduses. See tähendab, et see kilp on paljastatud nii viljatolmule, kui ka välitingimustele. Selleks, et kilbi sees asuvad elektroonikakomponendid kestaksid, peaks kilp omama ka vähemalt IP64 kaitset. IP64 tähendab, et kilp on tolmuindel ja kaitstud pritsiva vee eest [33].

Valituks osutus Domino pinnapealne moodulkilp, sest see täitis kõiki eelnevaid nõudeid. Effexi poes sai testitud, kas kilpi mahub RasPi kinnitus [34].

5.3 Süsteemi ülesehitus – Paigaldusviis ja otstarve

5.3.1 Server RasPi

Server RasPi töötab kaks tähtsat teenust. Esimeseks on MQTT server ja teiseks Node-REDi kasutajaliidese programm.

Server RasPi on ühendatud internetikaabliga tellija kohalikku võrku. RasPi on määratud staatiline IP, mis sai määratud internetipakkuja võrguinseneriga suheldes. Samuti sai edasi suunatud vajalikud portid. Port 1880 Node-REDi kasutajaliidese muutmiseks ja nägemiseks [35]. Port 1883 MQTT serveriga suhtlemiseks [36].

Viimaseks tuli suunata SSH port. Vesteldes võrguinseneriga sai selgeks, et avada otse SSH tavapärane port oleks turvarisk. Pordi lahtiolek on nähtav välisvõrgule ehk kõigile maailmas, mis tähendab, et on võimalik näiteks distributed denial-of-service ehk DDOS rünnakud [37]. Selle vältimiseks on SSH port muudetud.

5.3.2 Kuivati RasPi

Kuivati RasPi ülesanne on lugeda temperatuuri andurite seisu, tuvastada tasemeandurite lülitusi ja lülitada GPIO viikudega mootoreid.

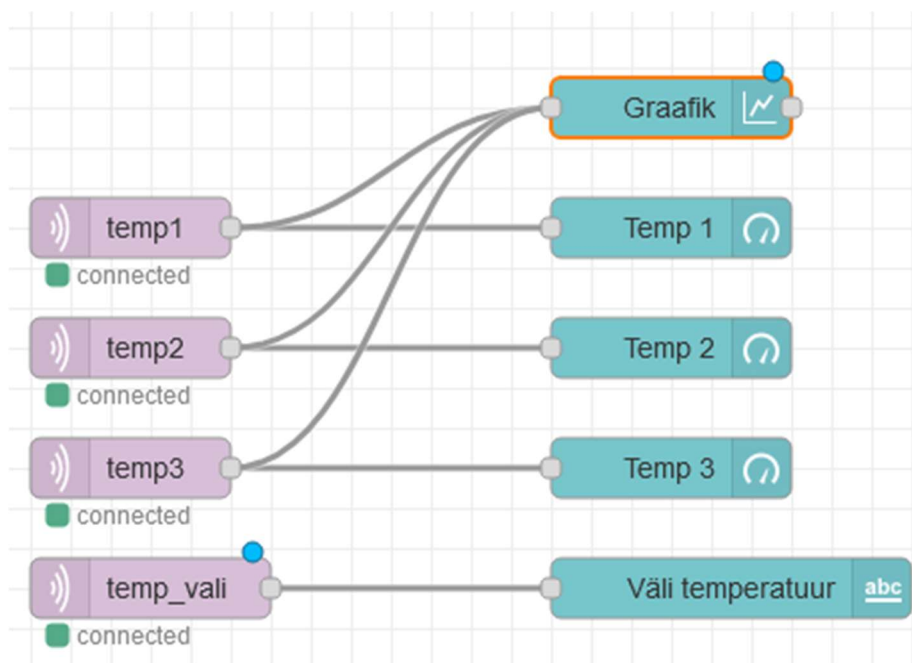
Iga mootor kasutab kolme GPIO viiku. Kaks neist on seatud väljund viiguks ning on vajalikud mootori sisse ja välja lülitamiseks. Kolmas viik on seatud sisendiks ja tuvastab tagasiside relee olekut.

Kuivati RasPi on ühendatud internetiga läbi USB modemi, kus sees on sim kaart mobiilside võimekusega.

Kuivati RasPi oli vaja kinnitada DIN liistu külge. Selle jaoks on Thingiverse's olemas 3D mudeleid, kus on olemas alus RasPi kinnitamiseks [38]. Selle aluse küljes on kinnitusmehhanism, mis lukustab end DIN liistu külge. Mudel prinditi välja Tartu Ülikooli Delta õppehoone laboris Prusa i3 MK3S printeriga ja PLA filamendiga. Kinnitusplaadi testimisel DIN liistu külge püsis plaat tihedalt küljes ja seega oli sobilik valik.

5.3.3 Suhtlus kahe RasPi vahel

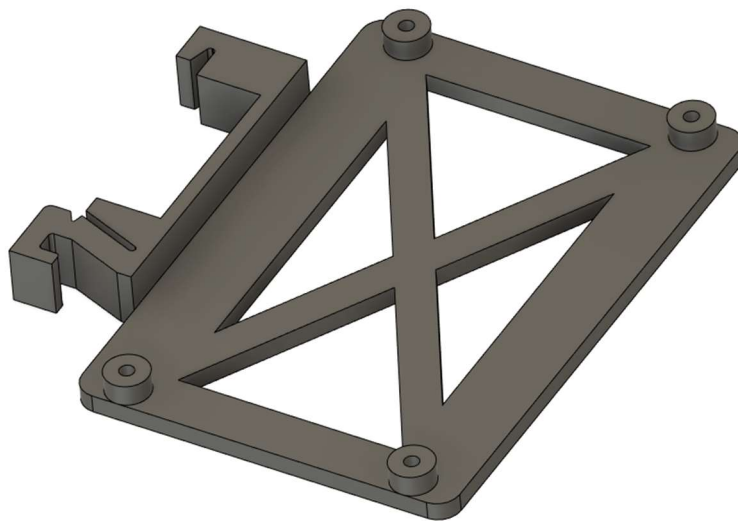
RasPide vaheliseks suhtlemiseks on kasutatud MQTT protokoll. Node-REDiga on loodud andurite ja releede jaoks unikaalsete nimedega MQTT sisendid ja väljundid. Iga sisend ja väljund loob ühenduse MQTT serveriga. Joonisel 6 on näha temperatuuriandurite sisendid. MQTT sisendid. Seejärel oodatakse kuni kuivati RasPi saadab selle nimelisse ühenduspunkti andmeid, mis seejärel töödeldakse Node-RED'is. MQTT väljund ootab kasutajaliideses tehtud valikuid ja seejärel edastab MQTT server käsu edasi.



Joonis 6 MQTT serveri ja dashboardi ühendus Node-RED'is

5.3.4 Mootorite lülitusreleed

Relee kinnitamiseks DIN liistule disainiti spetsiaalne 3D-prinditav kinnitusmehhanism. Disainimiseks kasutati Fusion360 tarkvara. Modelleerimisel arvestati relee kinnitusaukude vahedega ja DIN liistu laiusega 35 mm, mis on standardiseeritud [39].



Joonis 7 Nelja kanaliga relee kinnituse mudel Fusion360s

Joonisel 7 on näha relee kinnituse lõppversioon Fusion360's. Mudeli esimestes versioonides tuli kinnituse testimise käigus välja kaks probleemi. Esimeseks oli kinnitusmehhanismi purunemine. Seal ei olnud jäetud piisavalt paindumisruumi, et kinnitust oleks võimalik suruda liistu külge. Selle probleemi lahenduseks piisas kinnitusmehhanismi alumise hamba juurde lõhe lisamine. Teiseks ei olnud aluse ja kinnitusmehhanismi vahele jäetud piisavalt ruumi, mis tähendas, et releed ei olnud võimalik kruvida aluse külge. Selle jaoks liigutati kinnitusauke kaugemale kinnituse mehhanismist.

Releede lülituste jaoks on kilpi toodud eraldi toiteadaptoriga 5 V ühendus. Sellega väldib RasPi 5 V viigu kasutamist, et seda vähem koormata.

5.3.5 Mootori tagasiside relee

Tagasiside relee kinnitub oma pesaga DIN liistu külge. Relee kontrollpoole üks klemm on ühendatud mootori kontaktori mähisega ja teine klemm on ühendatud elektrivõrgu neutraal klemmiga. Relee üks kontakt on ühendatud RasPi sisendviiguga ja teine on ühendatud RasPi *groundiga* ehk maandusega.

5.3.6 Tasemeandur

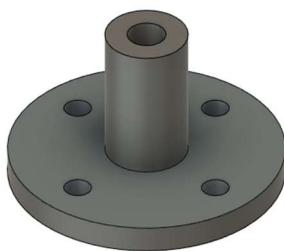
Tasemeandureid oleks terve kuivati peale vaja palju, kuid väljavalitud anduri on kallid ja seega esimese etapina testimiseks telliti kolm andurit. Kaks neist paigaldati kuivatipunktrisse. Üks on kõige alumises otsas ja näitab, kas punker on tühjaks saanud. Teine on kõige ülemises ääres ja

näitab, kui punkri täislaadimisel on see täitunud. Viimane andur on paigaldatud vilja vastuvõtu alumisse otsa ja näitab, kui see on tühjaks saanud.

5.3.7 Temperatuuri andurid

Kolm temperatuuriandurit on ühendatud kuivatus punkri külge. Iga andur on eri tasemel, et oleks võimalik leida keskmine vilja temperatuur punkris. Anduri paigutusel on tähtis, et andur oleks uputatud vilja sisse, mitte ei jääks kuivatusõhu voolu kätte, et mõõtmisel saadaks võimalikult täpne vilja enda temperatuur.

Viljakuivatuspunker on plekkseintega. Temperatuuriandur koosneb juhtmest, mille otsas on andur ning mille ümber on 6x50mm roostevabast silindriline korpus. Seega oli vaja luua kinnitus selle jaoks. Fusion360's loodi mudel, kuhu on võimalik sisse paigaldada juhe selliselt, et see kinnitus hoiab andurit ühes asendis paigal. Kinnituse ühes otsas on ringikujuline plaat, kus sees on augud, millega on võimalik see kruvida kuivati plekkseina külge. Valminud kinnituse mudel on joonisel 8.



Joonis 8 Temperatuurianduri kinnituse mudel

Andur istub kinnitusavas tihedalt kinni ja hetkel ei kasutata liimimisvahendeid anduri kinni hoidmiseks, et tulevikus oleks võimalik anduri riknemisel seda lihtsasti vahetada.



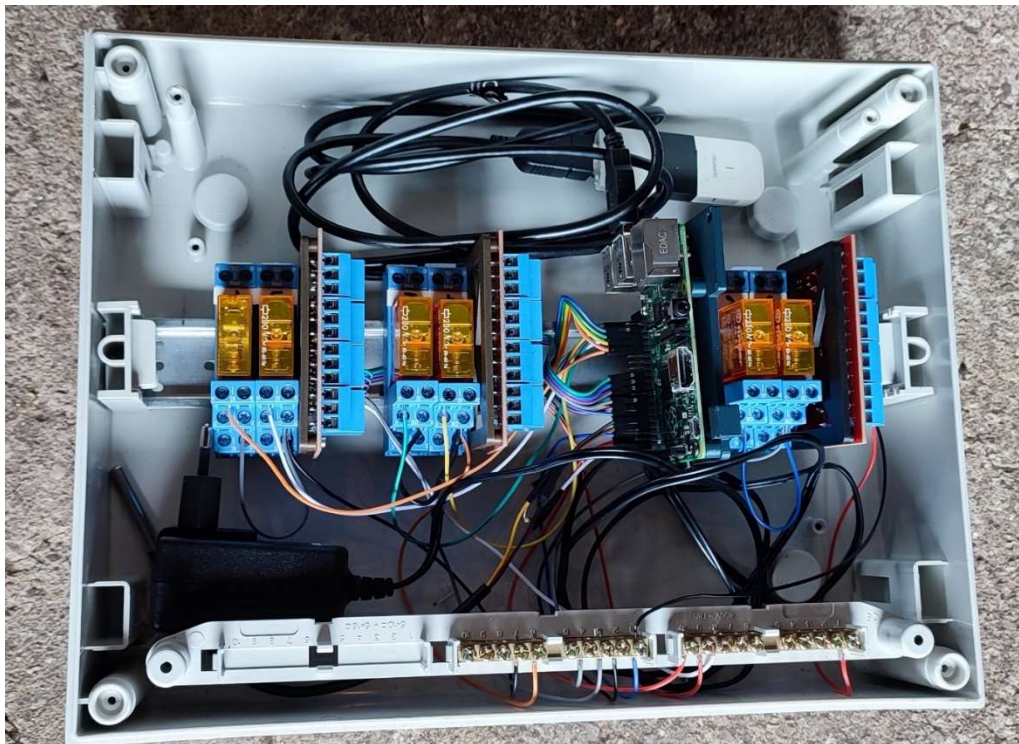
Joonis 9 Temperatuurianduri pika kinnituse mudel

Kuivati keskel asuv andur oli vajalik viia sügavamale punkri sisse. Selle jaoks tuli modelleerida pikema toruga kinniti, mis on näha joonisel 9. Toru on 15 cm pikk. Lisati ka tugevdused, et hoida toru jäik.

Üks andur mõõdab ka väli temperatuuri, sest peale vilja kuivatamist on vaja vili selleni maha jahutada.

5.3.8 Kilp

Joonisel 10. on näha valmis kilbi sisu. DIN liistu külge on paigaldatud kuivati RasPi ja releed. Releed on paigaldatud järjest selliselt, et mootoreid juhtiva releelaadi järel tulevad kaks nende samade mootorite tagasiside releed. USB modem on ühendatud läbi USB pikenduse RasPi külge.



Joonis 10 Valmis kilbi sisu

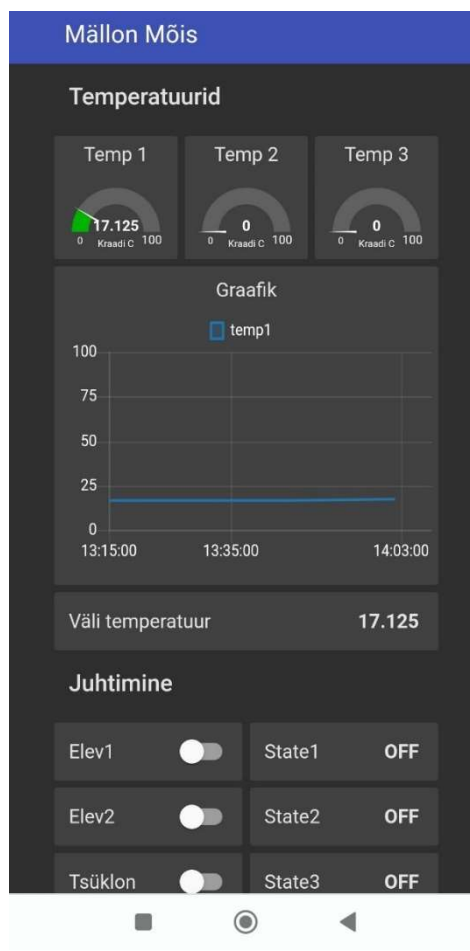
5.4 Süsteemi tarkvara

5.4.1 MQTT server

MQTT serverina on kasutusel Eclipse Mosquitto [40]. Mosquitto on üks populaarsemaid avatud lähtekoodiga MQTT servereid. See on väiksemahuline ja sobib hästi väikese jõudlusega väikearvutitele. Sellel on ka tugi RasPi jaoks [41]. Mosquitto serveriga ühendamiseks on vajalik autentimine.

5.4.2 Kasutajaliides – Node-RED

MQTT serveriga suhtlemiseks ning sinna jõudvate sõnumite nägemiseks on kasutusel Node-RED programm [42]. Programmi on lisatud ka Dashboard'i lisa, mis võimaldab visuaalprogrammeerimise teel lisada kasutajaliidesele graafikuid, näidikuid, nuppe ja teksti [43]. Need on ühendatud MQTT brokeriga, ehk kõik sissetulevad sõnumid kuvatakse kasutajaliideses ning nupuvajutustega saadetakse sõnumid kirjeldatud klientidele. Lõputööga valminud Node-REDi kasutajaliides telefoni veebilehitsejast on näha jooniselt 11.



Joonis 11 Node-REDi poolt kuvatav kasutajaliides telefoni veebilehitsejas

Node-RED on suunatud kuulama interneti porti 1880. Porti ühendumisel on vajalik kasutaja autentimine kasutajatunnuse ja parooliga. Kasutaja loomiseks on vajalik lisada kasutajatunnus ja parool Node-REDi sätete faili. Parool krüpteeritakse bcrypt algoritmiga, seega inimloetavat parooli seadmetest ei näe [44].

Kasutajaliides asub aadressil domain:1880/ui, millele ühendumisel samuti vajalik autentimine.

5.4.3 Põhiprogramm

Kuivati RasPi põhiprogramm käivitatakse RasPi alglaadimisel service'i ehk teenusena [45]. Teenus on seadistatud automaatselt taaskäivitama, kui programm peaks vea tõttu sulguma. Need seadistused võimaldavad hoida kuivati RasPi programmi töös ilma füüsiliselt sekkumata.

Põhiprogrammi käivitamisel seadistatakse need kuivati RasPi GPIO viigud, mis on kirjeldatud config.ini failis. Joonisel 12 on näha lõik Config.ini failist, kus märgitud kõik mootorite releede, tagasiside releede ja tasemeandurite viikude numbrid, mis on ühendatud RasPi külge. Iga viigu jaoks ka luuakse side MQTT serveriga.

```
[FEEDBACK_PINS]
feedback1 = 40
feedback2 = 38
feedback3 = 36
feedback4 = 32
```

Joonis 12 Lõik config.ini failist

Sisendiks seadistatud viikudele on GPIO moodulit kasutades lisatud *edge detection* ehk serva tuvastus. See tähendab, et kui sisend muutub madalast kõrgeks või vastupidi, siis automaatselt kutsutakse eraldi lõimes välja funktsioon, mis seda infot edasi töötleb [46].

Põhiprogramm lähtestab ka temperatuuriandurid. Selleks leiab ta 1-wire kaustast kõik sellega ühendatud seadmed. Igal DS18B20 anduril on unikaalne 64 bitiline seeriakood, mis teeb andurite eristamise lihtsaks [47].

5.4.4 Põhiprogrammi uuendamine

Põhiprogrammi uuendamiseks on loodud eraldiseisev programm, mis on käivitatud teenusena ning hakkab automaatselt RasPi käivitamisel tööle. See programm ühendab end MQTT serveriga ja kuulab, kas kasutaja on vajutanud uuendamise nupule. Uuendamise signaali saabudes kontrollib programm, kas uus versioon on Githubis saadaval [48]. Versiooni kontrollimine käib GitPython mooduli kaudu programmeeriliselt [49]. Uue versiooni olemasolul tõmmatakse see alla ja taaskäivitatakse põhiprogrammi uue versiooniga.

5.4.5 Ülal oleku kontroll

Kuivati RasPi ülal oleku jaoks on olemas ka lihtne olekukontroll. Server RasPi pingib kuivati RasPi, ning vastuse saamisel määratakse see kasutajaliideses töös olevaks ehk “ONLINE”. Kui vastust ei saabu, siis järelkult kuivati RasPi põhiprogramm ei ole töös, sest MQTT konfiguratsioonis on seatud sõnumi saatmise QoS 2, mistõttu alati peaks vastus saabuma. Seega kuivati RasPi määratakse kasutajaliideses ühenduseta ehk “OFFLINE”.

5.4.6 Temperatuuri andur ja 1-wire protokoll

Temperatuuriandurite suhtlemiseks on kasutusel 1-wire protokoll [50]. Seda protokoll kasutades on võimalik kõik temperatuuri andurid ühendada RasPi-ga ainult ühe digitaal viigu kaudu, mis on algseades RasPi füüsiline viik number seitse [51]. See aga tähendab, et on võimalik lugeda ainult ühe anduri väljundit korraga. Lisaks võtab iga andurilt temperatuuri küsimine aega kuni 750 ms [47]. Nende probleemide tõttu on temperatuuride lugemine viidud eraldi lõime.

Vajalik on ühendada 4.7 k Ω *pull-up* takisti Data ja Vcc juhtme vahele. DS18B20 temperatuuri anduritel on võimalik seadistada programmeeriliselt mõõtmise lahutusvõimet. See on seatud kõige täpsemaks, ehk 12 bitiliseks, mis annab temperatuuri lahutusvõimeks 0.0625°C. [47]

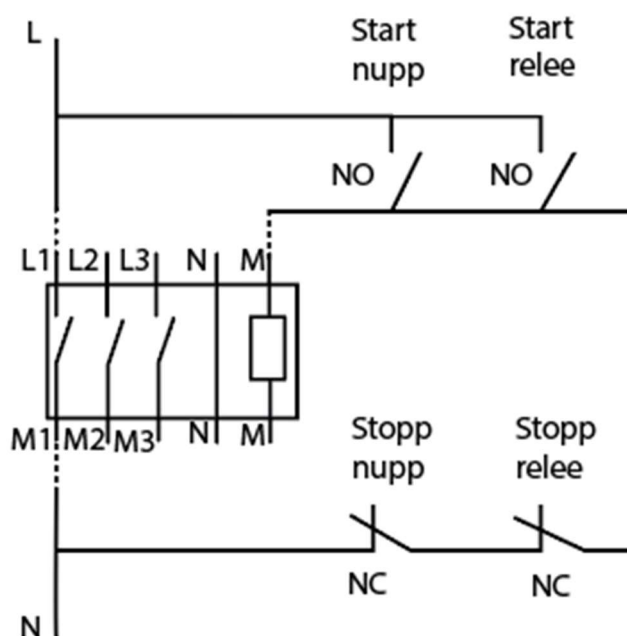
5.5 Süsteemi testimine moodulitena

5.5.1 MQTT ühendus

Esimene test hõlmas MQTT töös oleku kontrolli. Testil kontrolliti kohtvõrgus kahe RasPi vahelist suhtlust. Mõlemalt RasPilt saadeti sõnumeid, ning kontrolliti, kas alati jõudis täpselt üks sõnum kohale.

5.5.2 RasPi – Relee - kontaktor

Teine test kontrollis, kas RasPi viik suudab lülitada releed, mis omakorda lülitab mootori kontaktorit. Selle testi jaoks koostati testi ahel, mis on näha joonisel 13. RasPi ühele viigule ühendati esimene relee NO ehk tavaolekus lahti ühendatud seadistuses. Teisele viigule ühendati teine relee NC ehk tavaolekus kinni ühendatud seadistuses. Relee väljundid ühendati kontaktori külge. Kontaktori L1 ja M1 külge ühendati elektripistik. Testimise käigus ühendati kontaktor vooluvõrku. Seejärel lülitati RasPi sisselülitamis viiku. Kontrolliti, kas relee tegi klõpsu ja LED tuli läks põlema. Multimeetriga kontrolliti, kas kontaktori mähis on pingestatud. Seejärel lülitati teist viiku ja kontrolliti, kas kontaktori mähis ei olnud enam pingestatud.



Joonis 13 Kontaktori ja relee ahel

5.5.3 Mobiilside test

Peale süsteemi komplekteerimisel kipli tuli testida mobiilset juhtimist. Selleks käivitati server RasPi tellija kohtvõrgus. Seejärel viidi terve kilp viljakuivatisse ja ühendati kuivati RasPi modemiga mobiilside võrku. Ühtlasi kontrolliti ka levitugevust viljakuivatis, mis oli hea. Seejärel avati telefoni netilehel Node-REDi kasutajaliides, logiti sisse ja testiti, kas antud käsud lülitasid mootorite käivitusreleesid. Test õnnestus.

Peale õnnestunud testi kontrolliti QoSi töökindlust. Selleks lülitati telefonist üht releed mitukümmend korda ja vaadati, kas relee lülitas end iga kord ainult ühe korra. Test õnnestus. Relee lülitas end alati ühe korra peale igat käsku.

Järgmisena korraldati stressi test. Selleks kasutati kahte telefoni käskude andmiseks. Mõlemad telefonid lülitasid ühte erinevat releed 5 korda järjest ja samal ajal jälgiti, kas mõlemad releed lülitasid end täpselt 5 korda. Test õnnestus iga kord.

5.6 Edasiarenduse võimalused

Praeguse implementatsiooni jaoks piisas RasPi GPIO viikude arvust. Kasutatud on 22 viiku 25st. Kui on tulevikus vaja lisada juurde releesid või muid andureid, oleks vaja leida sobiv GPIO laiendusplaat.

Lõputoo raames valminud lahendusega on võimalik jälgida ja juhtida kuivati tööd, aga puuduvad automaatsed programmid, mis suudaksid mitut protsessi järjekorras läbi viia.

Süsteemil puudub hetkel võimalus juhtida mootoreid läbi sagedusmuunduri.

Tulevikus on plaan lisada süsteemile tehisintellekti võimekus, mis suudaks etteantud parameetrite põhjal soovitada või läbi viia optimaalset kuivatusprotsessi.

Kokkuvõte

Vilja kuivati on oluline protsess vilja kvaliteedi tõstmisel. Viljakuivati mitmed töö protsessid on olnud siiani manuaalsed. Nende kaugjälgitavaks ja -juhitavaks muutmine hõlbustab viljakuivati kontrollimist.

Uurides olemasolevaid lahendusi erinevate tööprotsesside mõõtmiseks ja kontrollimiseks ning jälgides ette antud nõuded valiti välja sobilikud komponendid. Peale erinevate osade testimist komplekteeriti süsteem.

Töö tulemusena valmis modulaarne süsteem, mis on võimeline mõõtma vilja temperatuuri, vilja tasemeid punkrites ning juhtima mootorite tööd üle välisvõrgu.

Tänuavaldused

Tänan Mällona Mõisa põneva ja arendava bakalaureusetöö teema eest. Heilo Altinit lõputöö juhendamise ja nõustamise eest. Kevili viljakuivati vanemoperaatorit Riko Orast huvitava ja hariva õppekäigu eest. Veiko Vunderit lõputöö kirjaliku osa kontrollimise eest.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "U. Schults-K". The signature is written in a cursive, flowing style.

Viited

- [1] „Raspberry Pi“, *Wikipedia*. 3. mai 2023. Vaadatud: 15. mai 2023. [Online]. Available at: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Raspberry_Pi&oldid=1152941519
- [2] „What is MQTT? - MQTT Protocol Explained - AWS“, *Amazon Web Services, Inc.* <https://aws.amazon.com/what-is/mqtt/> (vaadatud 14. mai 2023).
- [3] „General-purpose input/output“, *Wikipedia*. 8. märts 2023. Vaadatud: 15. mai 2023. [Online]. Available at: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=General-purpose_input/output&oldid=1143571275
- [4] „Internet of things“, *Wikipedia*. 12. mai 2023. Vaadatud: 15. mai 2023. [Online]. Available at: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Internet_of_things&oldid=1154435030
- [5] „Viljakuivati“, *Vikipeedia*. 16. juuli 2022. Vaadatud: 14. mai 2023. [Online]. Available at: <https://et.wikipedia.org/w/index.php?title=Viljakuivati&oldid=6161564>
- [6] „Kuukokkuvõtteid |“, *Keskkonnaagentuur | ILM*. <https://www.ilmateenistus.ee/kliima/kuukokkuvotted/> (vaadatud 14. mai 2023).
- [7] „Mällona Mõis OÜ“. <https://mallona-mois-ou.business.site> (vaadatud 14. mai 2023).
- [8] H. Li ja S. Chen, „A neural-network-based model predictive control scheme for grain dryers“, *Dry. Technol.*, kd 38, nr 8, lk 1079–1091, juuni 2020, doi: 10.1080/07373937.2019.1611598.
- [9] C. Li, H. Ban, ja W. Shen, „Self-Adaptive Control System of Grain Drying Device“, *Dry. Technol.*, kd 26, nr 11, lk 1351–1354, okt 2008, doi: 10.1080/07373930802333437.
- [10] „Mida teeb KEVILI põllumeeste heaks?“, *Kevili*. <https://www.kevili.ee/> (vaadatud 14. mai 2023).
- [11] „ANTTI viljakuivatid I Baltic Agro“. <https://www.balticagro.ee/antti-viljakuivatid-ja-viljapunkrid> (vaadatud 20. mai 2023).
- [12] „Automaatika | AgroEkspert“, 12. juuli 2021. <https://www.agroekspert.ee/automaatika/> (vaadatud 20. mai 2023).
- [13] isaacesi, „How To Measure Moisture Content In Grains“, *Sesi Technologies*, 6. aprill 2021. <https://sesitechnologies.com/measuring-moisture-content-in-grains/> (vaadatud 20. mai 2023).
- [14] „Inline Moisture Sensor for Grain PCE-A-315-WD | PCE Instruments“. https://www.pce-instruments.com/eu/measuring-instruments/test-meters/moisture-meter-pce-instruments-inline-moisture-sensor-for-grain-pce-a-315-wd-det_5971165.htm (vaadatud 20. mai 2023).
- [15] „Farmpoint“, *AgroLog*. <https://www.agrolog.io/farmpoint> (vaadatud 14. mai 2023).

- [16] „Datasheet - DILM12-10(230V50HZ,240V60HZ)“. https://datasheet.eaton.com/datasheet.php?locale=en_GB&model=276830 (vaadatud 14. mai 2023).
- [17] „Kontaktor“, *Vikipeedia*. 19. november 2019. Vaadatud: 14. mai 2023. [Online]. Available at: <https://et.wikipedia.org/w/index.php?title=Kontaktor&oldid=5492624>
- [18] „Which Microcontroller is Suitable for the Internet of Things (IoT)“. <https://www.tutorialspoint.com/which-microcontroller-is-suitable-for-the-internet-of-things-iot> (vaadatud 14. mai 2023).
- [19] R. P. Ltd, „Raspberry Pi 4 Model B specifications“, *Raspberry Pi*. <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications/> (vaadatud 14. mai 2023).
- [20] R. P. Ltd, „Buy a Raspberry Pi 1 Model B+“, *Raspberry Pi*. <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-1-model-b-plus/> (vaadatud 15. mai 2023).
- [21] „FrontPage - Raspbian“. <http://www.raspbian.org/> (vaadatud 14. mai 2023).
- [22] „MQTT Quality of Service (QoS) 0,1, & 2 – MQTT Essentials: Part 6“. <https://www.hivemq.com/blog/mqtt-essentials-part-6-mqtt-quality-of-service-levels/> (vaadatud 14. mai 2023).
- [23] eftichiam88_id9h422z, „87532857 SWITCH - NEW HOLLAND CASE PARTS TRACTORS“, *Agrorepair*. <https://agrorepair.gr/product/87532857-switch-new-holland-case-en/> (vaadatud 14. mai 2023).
- [24] „Wayback Machine“, 12. juuli 2017. https://web.archive.org/web/20170712151021/http://www.mepu.fi/files/8014/9742/5507/D03835_EE_2017A_Kuivurikoneistot_S_M_C_kayttoohje_web.pdf (vaadatud 14. mai 2023).
- [25] I. State, „How to Build a Raspberry Pi Temperature Monitor“, *Initial State*, 2. detsember 2021. <https://medium.com/initial-state/how-to-build-a-raspberry-pi-temperature-monitor-8c2f70acaea9> (vaadatud 14. mai 2023).
- [26] A. Industries, „Waterproof 1-Wire DS18B20 Digital temperature sensor“. <https://www.adafruit.com/product/381> (vaadatud 14. mai 2023).
- [27] L. P. published, „Raspberry Pi GPIO Pinout: What Each Pin Does on Pi 4, Earlier Models“, *Tom's Hardware*, 28. märts 2023. <https://www.tomshardware.com/reviews/raspberry-pi-gpio-pinout,6122.html> (vaadatud 14. mai 2023).
- [28] „looking for 3.3V => 220v relay - Raspberry Pi Forums“. <https://forums.raspberrypi.com/viewtopic.php?t=304044> (vaadatud 14. mai 2023).
- [29] „IDUINO Relee moodul 4 kanaliga, toide 5 VDC, IDUINO | LEMONA“. <https://www.lemona.ee/relee-moodul-4-kanaliga-toide-5-vdc-iduino.html> (vaadatud 14. mai 2023).

- [30] „Meist“, *Effex AS*. <https://effex.ee/et/content/4-meist> (vaadatud 15. mai 2023).
- [31] „Series 40.51 miniature PCB Relay“, *Effex AS*. <https://effex.ee/et/minireleed/500-10741-series-4051-miniature-pcb-relay.html> (vaadatud 15. mai 2023).
- [32] „95.75 socket relee pesa“, *Effex AS*. <https://effex.ee/et/minireleed/502-10755-9575-socket-relee-pesa.html> (vaadatud 15. mai 2023).
- [33] „IP ratings | IEC“. <https://www.iec.ch/ip-ratings> (vaadatud 14. mai 2023).
- [34] „Domino pinnapealne moodulkilp IP66“, *Effex AS*. <https://effex.ee/et/kilbid/611-8625-domino-pinnapealne-moodulkilp-ip66.html> (vaadatud 14. mai 2023).
- [35] „Configuration : Node-RED“. <https://nodered.org/docs/user-guide/runtime/configuration> (vaadatud 15. mai 2023).
- [36] „mosquitto.conf man page“, *Eclipse Mosquitto*, 16. august 2022. <https://mosquitto.org/man/mosquitto-conf-5.html> (vaadatud 15. mai 2023).
- [37] „What is a distributed denial-of-service (DDoS) attack?“, *Cloudflare*. <https://www.cloudflare.com/learning/ddos/what-is-a-ddos-attack/> (vaadatud 14. mai 2023).
- [38] Thingiverse.com, „Raspberry Pi DIN Rail Mount by diatonic“. <https://www.thingiverse.com/thing:2659908> (vaadatud 14. mai 2023).
- [39] „DIN rail“, *Wikipedia*. 8. oktoober 2022. Vaadatud: 14. mai 2023. [Online]. Available at: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=DIN_rail&oldid=1114908656
- [40] „Eclipse Mosquitto“, *Eclipse Mosquitto*, 8. jaanuar 2018. <https://mosquitto.org/> (vaadatud 14. mai 2023).
- [41] N. Agnihotri, „The top MQTT brokers of 2022“, *Engineers Garage*. <https://www.engineersgarage.com/top-mqtt-brokers-2022/> (vaadatud 14. mai 2023).
- [42] „Node-RED“. <https://nodered.org/> (vaadatud 14. mai 2023).
- [43] „node-red-dashboard“. <http://flows.nodered.org/node/node-red-dashboard> (vaadatud 14. mai 2023).
- [44] „bcrypt“, *Wikipedia*. 6. märts 2023. Vaadatud: 14. mai 2023. [Online]. Available at: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Bcrypt&oldid=1143122827>
- [45] Sandi, „What is Service in Linux“, *ImagineLinux*, 6. september 2021. <https://www.imaginelinux.com/service-in-linux/> (vaadatud 14. mai 2023).
- [46] „raspberrypi-gpio-python / Wiki / Inputs“. <https://sourceforge.net/p/raspberrypi-gpio-python/wiki/Inputs/> (vaadatud 15. mai 2023).
- [47] „DS18B20 - Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer“.
- [48] „GitHub: Let's build from here“, *GitHub*. <https://github.com/> (vaadatud 14. mai 2023).

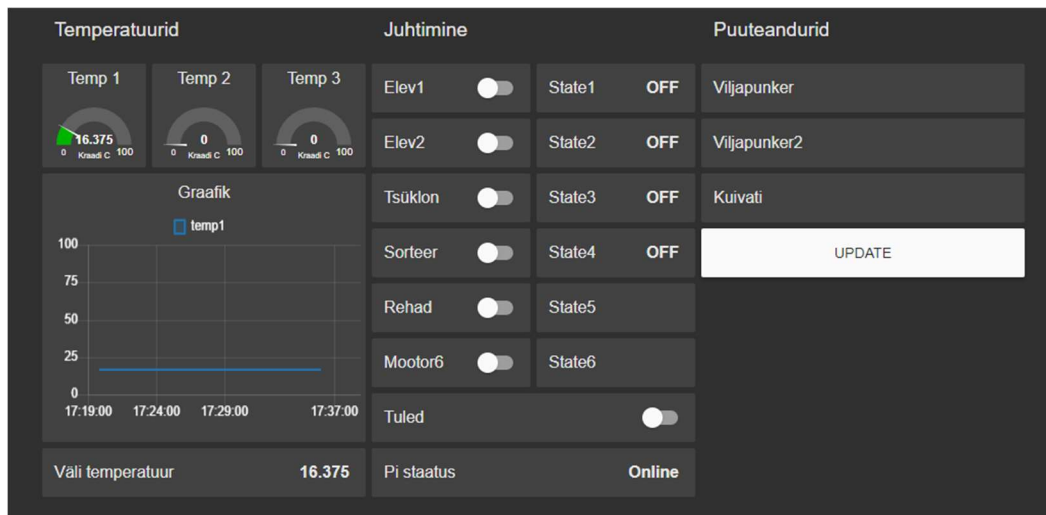
- [49] „GitPython Documentation — GitPython 3.1.31 documentation“. <https://gitpython.readthedocs.io/en/stable/> (vaadatud 14. mai 2023).
- [50] N. Agnihotri, „What is the 1-Wire protocol?“, *Engineers Garage*. <https://www.engineersgarage.com/what-is-the-1-wire-protocol/> (vaadatud 14. mai 2023).
- [51] „1-WIRE at Raspberry Pi GPIO Pinout“. https://pinout.xyz/pinout/1_wire# (vaadatud 15. mai 2023).

Lisad

Lisa 1. Lõputöö repositoorium GitHubis:

https://github.com/uschults/Loputoo_viljakuivati

Lisa 2. Node-REDi kasutajaliides arvuti veebilehitsejas.



Lisa 3. Monteeritud kilp viljakuivatis.



Lihthitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Urmo Schults-Kopp

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihthitsentsi) minu loodud teose

“Viljakuivati automatiseerimine ja kaugjuhitavaks muutmine ”

mille juhendaja on Heilo Altin

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons litsentsiga CC BY NC ND 4.0 mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihthitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Urmo Schults-Kopp

20.05.2023