



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Aldo Heino

Fermentointikaappi ja PID-säätimet

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

13.5.2019

Tekijä Otsikko	Aldo Heino Fermentointikaappi ja PID-säätimet
Sivumäärä Aika	46 sivua 13.5.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	Elektroniikka
Ohjaajat	Lehtori Anssi Ikonen
<p>Insinööriyön tavoitteena oli fermentointikaapin rakentaminen ja sen tuotteiden taustojen ja biologian selvittäminen Metropolia Ammattikorkeakoululle. Työn tekninen pääpainotus oli PID-säätimien teorian tutkimisessa ja selventämisessä sekä fermentointikaapin rakennusprosessin kuvaaminen ja erilaisten ratkaisujen määrittely. Työhön sisältyi myös vahvasti biologiaan liittyvä osio, jossa käsitellään fermentointiin liittyviä käytäntöjä ja ilmiötä sekä erilaisten riskien kuvailu.</p> <p>Fermentointikaapin idean avulla tarkasteltiin monia elektroniikkaan liittyviä ilmiöitä. Eniten käytiin läpi PID-säätimeen liittyvää teoriaa, ja ideoita miten on mahdollista lähestyä oman PID-säätimen ohjelmointia. Eri ohjelmakielten etuja ja haittoja käytiin läpi. Myös Raspberry Pi:n käyttöä säätimen käytössä tarkasteltiin.</p> <p>Työ tehtiin tutkimalla eri fermentointitapojen vaatimuksia ja valmistusprosesseja. Näiden tietojen avulla pystyttiin aloittamaan osien valitseminen ja laitteen suunnittelu. Samoin myös ohjelmien vaativuus ja parametrit määrittyivät eri fermentointitapojen vaatimusten mukaisesti. Tarkan ohjauksen ja hallinnan myötä myös valittiin PID-ohjaus ja sen kautta oli välttämätöntä tutkia PID-ohjauksen perusteita ja viritystä. PID-ohjausta tutkittiin akateemisten tutkimusten avulla, ei niinkään käytännön kautta.</p> <p>Tämän työn lopputuloksena syntyi toimiva kaappi, jota voi kehittää monin eri tavoin sekä tiivistetty selvitys PID-ohjauksen teoriasta ja säädöstä. Työn aikana törmättiin ongelmiin, jotka vaikuttivat kaapin lopullisiin toimintoihin. Tämän työn odottamaton arvo onkin sen toimivuus hyvänä pohjana, jonka avulla voi alkaa kehittää omiin tarpeisiin sopivaa fermentointikaappia.</p>	
Avainsanat	fermentointi, koji, ohjelmointi, PID, Raspberry Pi

Author Title	Aldo Heino Fermentation Chamber and PID-controllers
Number of Pages Date	46 pages 13 May 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Professional Major	Electronics
Instructors	Anssi Ikonen, Senior Lecturer
<p>This Bachelor's study deals with prospect of building a fermentation chamber as well as the basic biology of complex fermentation products. This study was produced for Metropolia University of Applied Sciences. The technical emphasis of this study lies with theory of PID-controllers, as well giving a clear idea on how to construct a functional fermentation chamber with humidity and temperature control. The thesis also includes a section that carefully goes into explaining the science and biology behind fermentation as well as giving an idea about the risks involved.</p> <p>Through the concept of a fermentation chamber a myriad of electronics- and programming-based phenomena can be explored. In this thesis the phenomena that are investigated are the theory of PID-control and how to approach the programming of a PID-controller depending on resources and skill level. The pros and cons of different programming languages are also included.</p> <p>The methods of acquiring information for this project were found by researching the basics of different fermentation styles. The requirements for different ferments varies and those requirements set the parameters for the parts needed. The needs of the programs created for this chamber were also outlined by the needs of different products. The need for precise control led to the choice of PID-control and thus it was necessary to heavily research the basics of PID-tuning.</p> <p>The result of project is a well-formed guide on how to construct a fermentation chamber. During the project many problems were encountered, and as an unexpected result the study also functions as a very good base for building a better and more customized chamber. It provides examples and suggestions on how to approach the programming and tuning of a PID-controller as well as giving ideas on what features could be added into the device.</p>	
Keywords	Fermentation, koji, PID, programming, Raspberry Pi

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	Fermentointi	2
2.1	Fermentoinnin historia	2
2.2	Fermentointi käytännössä	4
2.2.1	Bakteeripohjainen fermentaatio	4
2.2.2	Sienipohjainen fermentaatio	6
2.2.3	Entsymaattinen fermentaatio	9
2.2.4	Pyrolyyttinen fermentaatio	10
2.3	Fermentoinnin turvallisuus ja kontrollipisteet	11
2.4	Fermentointikaapin tekniset vaatimukset ja muut käyttökohteet	12
3	PID-säädin	13
3.1	PID-säätimen teoria	13
3.1.1	Suhteellinen osa	14
3.1.2	Integraaliosa	15
3.1.3	Derivoiva osa	15
3.1.4	Yhdistetty funktio ja sarjaan- tai rinnankytkentä	16
3.2	PID-säätimen virittäminen	17
3.3	PID-säätimen ohjelmallinen toteutus	20
3.4	Ongelmat oman PID-säätimen rakentamisessa	22
4	Fermentointikaapin rakentaminen ja koodaaminen	23
4.1	Suunnittelu ja rakentaminen	23
4.2	Fermentointikaapin osat ja vaatimukset	25
4.3	Lämpötilaanturin ja datalokin koodaaminen	26
4.3.1	Arduinon ja lämpötilaanturin suunnittelu ja ohjelmointi	26
4.3.2	Arduinon ja Raspberry Pi:n yhdistäminen	29
4.3.3	Raspberry Pi:n datalokin ohjelmointi ja verkkokäyttöliittymä	29
4.4	Fermentointikaapin käyttö ja paloturvallisuus	30

5	Kehitysmahdollisuudet	30
5.1	Kehitysmahdollisuudet	30
6	Yhteenveto	32
	Lähteet	34
	Liite 1	

Lyhenteet ja käsitteet

Arduino:	Ohjelmoitava mikrokontrolleri, jolla ohjataan antureita.
DAQ	Data acquisition eli datalukija/siirtäjä. DAQ:t lukevat signaaleja, jotka kuvaavat eri ilmiöitä ja kääntävät ne digitaalisiksi numeerisiksi arvoiksi.
PID	Proportional Integral Derivative, hyvin sulavasti toimiva kontrolleri, jolla voi tarkasti säädellä esim. lämpötilaa.
DS18B20:	Lämpötila-anturi, jota projektissa käytettiin.
Entsyymi	Biologinen katalyytti, joka nopeuttaa kemiallisia reaktioita. Niiden pilkkoman aineen voi päätellä nimestä, etuliitteenä on pilkottava aine, sitä seuraa pääte -aasi. Esimerkiksi amyl-aasi, joka pilkkoo amyliinia.
Fermentointi	Orgaanisten aineiden hallittua hajoamista. Fermentointi perustuu luonnon omiin mekanismeihin, joilla voidaan säilöä ruokaa.
HACCP	Hazard Analysis and Critical Control Points, kriittisten riskien minimointiin suunniteltu suunnitelma, jonka ruokatuottajan pitää suunnitella eri korkean riskin tuotteille.
Koji	Homeella rokotettu jyvä, joka sisältää monia eri entsyymejä.
Kombucha	Volgansienellä tai scoby:na tunnetun bakteeri- ja sienikulttuurin fermentoima hiilihapollinen juoma.
LabVIEW:	NI:n suunnittelema graafinen ohjelmointikieli.
Maitohappokäyminen	<i>Lactobacillus</i> -bakteerien kykyyn tuottaa maitohappoa perustuva säilömismetodi. Esimerkkinä suolakurkut.

NI	National Instruments, tunnettu automaattisten testijärjestelmien ja VI-ohjelmistojen tuottaja.
Nyquistin kriteerit	Tai Nyquist Stability Criterion, on graafinen tekniikka, jonka avulla määritetään systeemin stabiiliteettia. Nyquistin kriteereitä käytetään yleisesti elektroniikassa ja muissa tekniikan aloissa, kun suunnitellaan ja analysoidaan systeemeitä, joissa on takaisinkytkentää (englanniksi feedback).
Nyquistin käyrä	Parametrien avulla piirretty käyrä, joka käytetään kuvaamaan systeemin stabiiliteettia takaisinkytkennän (feedback) avulla.
pH	Potential of hydrogen eli vedyn potentiaali, logaritminen mitausasteikko happamuudelle ja emäksisyydelle. Perustuu vetyionien aktiivisuuteen liuoksessa
PID-säädin	Portaaton säädin, jolla on helppoa kontrolloida haluttua suurta.
Pyrolyysi	Palamiseen perustuva reaktio.
Python:	Ohjelmointikieli, jonka suosio kasvaa koko ajan.
RaspberryPi	Tietokone, jota on helppo ohjelmoida omien tarpeiden mukaan, käytettiin projektissa siirtämään dataa antureilta datalokiin. Dataloki on internet-pohjainen käyttöliittymä, jota voi tarkkailla etänä.

1 Johdanto

Fermentointi on kiinnostava tapa käsitellä ruokaa ja sen ymmärtäminen länsimaissa on vasta viime aikoina alkanut syventyä. Tämä on innovatiivisten ravintoloiden, kuten Kööpenhaminassa sijaitsevan Noman, Järpenissa vuoteen 2020 asti olleen Fävikenin ja New Yorkissa toimivan Momofuku Ko:n ansiosta. Nämä ravintolat ovat puskeneet eteenpäin ja uudelleenlöytäneet ja innovoineet tapoja käsitellä ruokaa.

Vaikka fermentointi perustuukin luonnon omiin prosesseihin ja on sähköä ja tietokoneita edeltävää, niin voidaan fermentointiprosessin hallintaan soveltaa hyvin paljon tietoteknisiä prosesseja ja sähkölaitteita. Paremmat laitteet ja tiedontarkkailu avaavat uusia mahdollisuuksia ja eväät parempien tuotteiden tuottamiseen. Anturitekniikka on kuin luotu parantamaan fermentointia ja tekemään siitä niin turvallisempaa, kuin myös helpommin lähestyttävää suurelle yleisölle. Proportional(suhde)-Integral(integroiva)-derivative(derivoiva), eli PID-säätimen käyttö anturien avulla mahdollistaa tarkan lämpötilan, kosteuden tai minkä tahansa halutun suureen säätelyyn.

Opinnäytetyö rajattiin käsittelemään fermentointikaapin rakentamista, PID-säädinten tutkimista sekä fermentoinnin biologiaa ja käytäntöjä. Työn tavoitteena on antaa kattava selvitys, miten fermentointikaapin voi rakentaa omaan käyttöön mahdollisimman yksinkertaisesti ja edullisesti. Työssä käydään myös läpi PID-säädinten teoriaa ja eri mahdollisuuksia oman PID-säätimen toteuttamiseksi, koska PID-säädinten avulla saadaan haluttu tarkkuus fermentointikaapin tuottaman ympäristön hallintaan. On järkevää ymmärtää PID:n toimintaa hyvin, jotta laitteen mahdollisia vikoja on helpompi selvittää omin avuin.

Työssä myös käsitellään parannuksia ja tapoja, miten rakentaa dataloki fermentointikaapin prosessien valvontaan. Datalokin hyödyllisyys on käyttäjäkohtaista, koska sitä käytetään vain datan tallennukseen aikaleimalla. Aikaleimojen avulla voidaan kasata keskiarvokäyriä ja huomata mahdollisia lämpötilavaihteluita. Eri ohjelmointikielten etuja ja haittoja käsitellään työssä hieman, jotta syntyy ymmärrys eri vaihtoehtojen monipuolisuudesta. Jonkin verran painoarvoa annetaan myös fermentoinnin biologialle ja käytän-

nön toteutukselle, koska on tärkeää antaa ideoita ja ohjeita, miten fermentoitujen tuotteiden valmistus kaapin kanssa käytännössä tapahtuu. Eri tuotteiden kontrollipisteitä määrittämään työssä, samoin kuin tarkkoja turvallisuuden takaavia riskirajoja. Toiseen tieteenalan perehtyminen oli välttämätöntä, jotta kaapin vaatimukset pystyttäisiin tietämään ja täten suunnittelemaan laite, joka pystyy tuottamaan halutut tuotteet.

Kotiloissa prosessien hallintaan voidaan käyttää PID-säätimiä. Niiden avulla mahdollistuvat monet monimutkaiset ja tarkkuutta vaativat fermentointiprojektit. Vaikka moniin asioihin riittää hyvin valmis PID-säädin, on suuremman skaalan tuotantoon järkevää rakentaa omiin tarpeisiin sopiva PID-säädin. Tämä työ käsittelee myös kunnianhimoisempien projektien toteuttamista, ja eri tapoja lähestyä fermentointikaappia tai miksei jopa fermentointihuonetta?

2 Fermentointi

2.1 Fermentoinnin historia

Säilöminen on ollut elintärkeää ihmiskunnalle ennen jääkaappien keksimistä. Jääkaappi, yleisessä käytössä, on vasta hädin tuskin 100-vuotias. Erinäisiä prototyyppisiä on ollut 1800-luvulta asti ja sitä ennen niin kutsuttuja jäätaloja ja juureskellareita, joiden toiminta perustui luonnon omiin mekanismeihin. Ihmiskunta on kuitenkin ollut olemassa paljon pitempään ja ruokia on pitänyt pystyä pitämään syömäkelpoisina satokauden jälkeisinä aikoina.

Ruokaa piti muuttaa muotoon, jossa se olisi mahdollisimman mikrobiologisesti stabiilia. Fermentointi on ollut kautta historian yksi parhaista tavoista säilöä ruokaa. Se perustuu hyvin yksinkertaisiin periaatteisiin: suolaan ja happamuuteen. Lähestulkoon kaiken säilyvyys parantuu monikertaisesti käymisellä. Käyminen myös avaa monista ruoista ravinteita, jotka muuten jäisivät saamatta. Leivän pitkä käyminen auttaa gluteenin hajottamisessa, koska bakteerit ja sienet syövät monille ihmisille ongelmia aiheuttavia ravinteita. Gluteeniyliherkkyyttä kärsiville hapanjuuren leivottu leipä ei aina tuota mahavaivoja. Asiaa ollaan vasta alettu tutkimaan tieteellisesti, joten todisteet ovat tapauskohtaisia. [1.]

Samaten maitohappokäymisellä tehty hapankaali on hellempää mahalle kuin raaka kaali. Probioottien hyvydestä on puhuttu paljon viime vuosina, todellisuus kuitenkin on, että ellei syö hyvin paljon fermentoitua ruokaa niin on epätodennäköistä, että mahan bakteerikanta muuttuisi radikaalisti vain jogurttia ja kimchiä syömällä. Se ei kuitenkaan vähennä niiden arvoa ruoansulatusta vähemmän kuormittavina ruokina. [2.]

Fermentointia on harjoitettu siis hyvin pitkään – todisteita on jo 7000 – 6600 eKr. [3.] Vanhimmat prosessit ovat alkoholin tuottaminen ja onkin esitetty teorioita, että ihmiskunta alkoi viljellä viljaa, jotta olutta olisi helpompi tuottaa. [4.] Villivehnän kerääminen on hyvin työlästä, joten on luonnollista, että ihmiset ovat yrittäneet helpottaa prosessia. Etikka on yhtä vanhaa, kuin viinin ja oluen teko, koska se on suoraan samasta prosessista syntyvä jälkituote. Suolattu liha ja kala ovat myös eräänlaisia fermentointeja, hyvin hitaita ja enemmän osmoottisen ilmiön perustuvia, mutta hidasta käymistä tapahtuu entsyymitasolla. [5, s. 191.]

Kiinassa alkoi noin 2500 vuotta sitten kojien tarina, joka on erittäin kiinnostava ja monimutkainen prosessi. Kiinan kosteissa ja lämpimissä oloissa alettiin huomata, että riisin ja ohran päälle kasvoi hyvin tasainen ja tiivis kerros valkoista homeetta, joka tuoksui vahvasti persikalle ja maistui hyvältä liemeltä. On varmaa, että näissä ensimmäisissä *Aspergillus Oryzaen* maisteluissa tapahtui paljon kuolemia ja ongelmia. Homeisen ruoan syöminen harvoin tappaa, mutta mykotoksiinit ovat hyvin vahvoja karsinogeenisiä, joten mahasyöpä oli varmaa näille rohkeille kiinalaisille kulinaristeille. Tosin eliniänodote oli hyvin paljon lyhyempi ja kuolema saattoi johtua monesta muustakin tekijästä. [6, s. 218.]

Kiinasta koji levisi Japaniin, jossa se alkoi kukoistaa. Sitä alettiin valikoimaan ja jalostamaan kuten kasveja. Täten hyvin vaarallisen homelajin edustajasta kesytettiin tärkeä apulainen ruoan säilönnässä. *Aspergillus*-genuksesta on jalostettu monia tärkeitä homelajeja niin ruoka- kuin lääketieteellisyydelle vuosien aikana. Ilman fermentointia ei olisi samaa pohjaa bakteeribiologialle tai kemialle. [7.]

Fermentoinnin historia on mielenkiintoinen ja monimuotoinen aihe, johon voi syventyä ja sen avulla voi löytää jo lähes unohdettuja ruoanvalmistuksen metodeja. Tämänhetkiset huippuravintolat ympäri maailmaa tutkivat fermentoinnin eri mahdollisuuksia syömäkel-

vottomien asioiden muuttamisessa herkullisiksi. Bakteerien avulla avautuu mahdollisuuksia, jotka voivat muuttaa ruokateollisuutta. Maailmassa, jossa ruokahävikki on suuri ongelma voi fermentointi olla ratkaisu.

2.2 Fermentointi käytännössä

Fermentointi on käytännössä erinäisten biologisten prosessien hyödyntämistä ruoan säilömisessä ja muuttamisessa uuteen muotoon. Fermentoinnin voi jakaa neljään päähaaraan, jotka esitellään seuraavissa kappaleissa: bakteeripohjainen, sienipohjainen, entsyymaattinen ja pyrolyyttinen

2.2.1 Bakteeripohjainen fermentaatio

Bakteeripohjainen fermentointi perustuu usein *Lactobacillus*-genukseen kuuluvien maitohappobakteerien toimintaan. Nämä bakteerit ovat erikoistuneet toimimaan hapettomissa tiloissa ja sietävät hyvin korkeita suolapitoisuuksia. On löydetty lajeja, jotka sietävät jopa 8 %:n suolapitoisuuksia. [6, s. 61.] Nämä bakteerit syövät sokereita ja muita ravintoaineita vihanneksista, hedelmistä ja jyvistä sekä tietysti maidosta. Vastalahjaksi ravinnosta ne tuottavat maitohappoa ja metaboliitteja, jotka säilövät tuotteen.

Maitohappokäyminen on tutuin fermentoinnin muoto. Se on turvallinen ja historiallisesti merkittävä säilömistapa. Suomalaisille tutut suolakurkut ovat bakteeripohjaista fermentointia, samoin kimchi, hapankaali ja viili. Tosin viili ei ole suoranaisesti vain *Lactobacillus*-fermentaatiota, vaan siinä on läsnä *Streptococcus Salivarius*. [8, s 50.] Monet fermentoinnin muodot ovat myös yhdistelmä edellä mainittuja. Esimerkiksi juusto on aluksi entsyymaattista, mutta ikääntymisvaiheessa se muuttuu bakteerifermentaatioksi ja mahdollisesti myös sienifermentaatioksi.

Fermentointikaappia voi käyttää hyväksi bakteerifermentaatioissa. Huoneenlämpö on täysin riittävä hyvän lopputuloksen saavuttamiseen, mutta tasaisesti ylläpidetty 28°C:n [6, s. 65.] lämpötila luo optimilämpötilan nopealle maitohapon tuottamiselle ja täten vähentää herkkien tuotteiden muuttumisen tekstuuriltaan epämiellyttäviksi. Tietyissä tilanteissa myös jarrutusliike voi olla tarpeen. Alle 3°C:n lämpötilassa fermentointiprosessi

pysähtyy lähes täysin. Fermentointikaapilla voidaan ylläpitää optimilämpötilaa, jotta tuotteet ovat erityisen hyviä.

Hapatus ei ole ainoa merkittävä bakteeripohjainen fermentointiprosessi. Etikka perustuu etikkahappobakteerin kykyyn muuttaa etanolia etikkahapoksi. Kemiallinen reaktioyhtälö on $C_2H_5OH + O_2 \rightarrow CH_3COOH + H_2O$. Tämä tapahtuu luonnollisesti kaikelle alkoholipitoiselle juomalle, joka pääsee kontaktiin hapen kanssa. Etikkahappobakteereja on läsnä kaikkialla ja niiden ainoa elinehto on alkoholi ja happi. Näiden toteutuessa bakteerit alkavat syödä alkoholia ja tuottaa etikkahappoa. Prosessi ei ole nopea, se kestää noin 3 – 4 kuukautta, mutta prosessia voidaan merkittävästi nopeuttaa käyttämällä ilmapumppua, joka pumppaa ilmaa kaikkialle fermentoitavaan nesteeseen. Näin hapantumiseen kuluva aika muuttuu kuukausista kahteen viikkoon. Ilmapumpulla tulokset ovat hyvin ennalta-arvattavia ja standardoitavia, sen sijaan villifermentointiin perustuva pitkä prosessi voi tuottaa hyvinkin mielenkiintoisia sivumakuja, mutta sen tuloksia ei voi koskaan ennustaa. Jokainen erä siideriä tai viiniä on erilainen ja jokainen huone tai kellari on erilainen. Bakteerikannat voivat olla hyvinkin poikkeavia huoneesta toiseen, ja vaikka etikkahappobakteeri on päätyöläinen etikanteossa, niin muutkin bakteerit tekevät osansa etikan maun tasapainottamisessa. [6, s. 167.]

Riippumatta mitä metodia käytetään voi etikkaa edelleen kypsyttää lisää tynnyrissä tai suurissa lasipulloissa. Puutynnyri on järkevin, koska puu antaa oman lisänsä etikan maulle. Etikkaa haihtuu hitaasti ja etikan suhteellinen sokerimäärä kasvaa veden haihtuessa. Maut sulautuvat paremmin yhteen ja etikasta tulee moniulotteisempi tuote. Modenassa tuotettu balsamico on kypsytyksen paras esimerkki. Leiman saadakseen tulee etikkaa kypsyttää minimissään 12 vuotta, ja käytettyjä tynnyreitä on ainakin viisi. Jokainen tynnyri on asteittain pienempi ja tehty eri materiaalista, mikä maustaa etikkaa. Vanhimmat balsamicot ovat yli 100-vuotiaita. [9.]

Etikan tekoon noin 24-26°C:n lämpötilan on optimaalinen, jotta tuote hapettuisi hyvin. Huoneenlämmössä hapettumisen aiheuttamaa pientä karamellisointia ei tapahdu, ainakaan silmällä havaittavana. Fermentointikaappia voi käyttää tähänkin, jos haluaa tuottaa mahdollisimman korkealaatuista etikkaa, mutta huoneenlämpökin riittää jo erittäin hyviin tuloksiin.

2.2.2 Sienipohjainen fermentaatio

Sienipohjainen fermentaatio perustuu joko homeisiin tai hiivaan. Molemmat ovat sieniä, mutta niiden käyttötavat ovat hyvin erilaiset.

Hiivan toimintaperiaate perustuu sen kykyyn muuttaa sokeria alkoholiksi. Aina tosin fermentaatiota ei päästetä niin pitkälle, että alkoholin syntyminen olisi tavoitteena. Esimerkiksi leivän teossa käytetään hyväksi tätä prosessia ja samalla syntyvää hiilidioksidia. Tämä aiheuttaa taikinan nousemisen, koska hiilidioksidi ei pääse täysin vapautumaan taikinasta vaan siihen syntyy ilmakuplia vahvan gluteeniverkon ansiosta. Sama gluteeni myös antaa hiivalle käytännössä anaerobisen tilan missä käydä. Hiiva ei tuota alkoholia hapellisessa ympäristössä. [10.]

Oluen ja viinin teossa käytetään hyväksi hiivan pääkykyä. Tavoitteena on vain tuottaa alkoholia. Tosin on tärkeää jälleen hallita lämpötilaa ja muita muuttujia, jottei lopputulos maistu huonolta. Tässäkin on mahdollista käyttää fermentointikammiota, etenkin kerrostalossa. Hyvä siideri, olut tai viini on optimaalista fermentoida alle 18°C:n lämpötilassa. Korkeammat lämpötilat antavat hiivalle mahdollisuuden tuottaa rikkipitoisia metaboliitteja. [6, s 177.] Nopea käyminen on myös riskinä huoneenlämmössä, hiiva syö sokeria liian tehokkaasti ja täten tuottaa vain alkoholia nopeasti. Tämä peittää sivumakuja ja hienovaraisuuksia sekä lopulta nostaa pH-arvoa, kun hiiva aloittaa autolyysin – eli itsensä syömisen. Kun pH-arvo nousee, syntyy myös teoreettinen mahdollisuus haitallisille bakteereille ja homeille. [11.]

Homepohjainen käyminen on tutuinta länsimaissa homejuustojen muodossa. Juustoista ei tässä työssä puhuta, koska niiden tekeminen ei sovellu fermentointikammion yhteyteen. Teoriassa yksittäisiä juustoja voisi kypsyttää viilentävässä kaapissa kuten alkoholijuomia panemisvaiheessa, mutta tosin kuin alkoholi, joka käy 1 – 2 viikkoa, on juuston ikäänntymisaika jopa vuosia. Se ei ole käytännöllistä tällä kaapilla. Juustokellari ajaa saman asian hyvin paljon kustannustehokkaammin. [12.]

Kuitenkin homepohjaiset fermentaatiot ovat hyvin merkittäviä, ja pääsyy tämän fermentointikaapin rakentamiseen. Koji on japanilaisen ruoan kulmakivi. Se on nimike riisille tai ohralle, johon on rokotettu *Aspergillus Oryzae* -nimistä homeetta. Tällä homeella on lähestulkoon maagisia voimia. Se tuottaa amylaasia, proteaasia ja jossain määrin myös

lipaasia. Näiden entsyymien avulla koji pystyy pilkkomaan tärkkelystä, proteiinia ja rasvaa. Kojia itsessään tarvitaan saken, amazaken, soijakastikkeen ja mison tekoon. Sen käyttötavat eivät kuitenkaan rajoitu vain tähän. Koji on itsessään täynnä umamia, joten se soveltuu hyvin lisäämään makua liemiin ja proteaasin ansiosta, sillä voi mureuttaa lihaa. [6, s. 266.]

Kojista tekee vaikean vain sen erittäin tarkat vaatimukset elinympäristölle. Koji on alun perin eteläisestä Kiinasta, joten se kaipaa kuumuutta ja kosteutta. Sille ideaalit kasvuolosuhteet ovat 30°:n lämpötila ja 70 – 75%:n kosteus. Jos nämä olosuhteet toteutuvat, koji kasvaa 48 tunnissa sopivaksi fermentointiin ja 84 tunnissa valmiiksi tuottamaan lisää itiöitä seuraavaan erään, kuvassa 1 on kojia itiövaiheessa. [6, s. 241.]



Kuva 1. Ohraan tehtyä kojia itiövaiheessa, kuivattuna.

Nämä tiukat vaatimukset ovat pääsyy fermentointikammion tekoon. Koji on tuote, jota voi hyvin monella tapaa muokata erilasiin variaatioihin. Pelkästään rokotettavan jyvän vaihtaminen muuttaa maun ja sokeripitoisuuden. Riisiin tehty koji on makea ja yksinuotinen, kun taas ohraan tehty on rikkaampi ja rukiisen tehty on lihaisa. Käyttämällä eri *Aspergillus*-lajikkeita muuttuvat metaboliitit. Esimerkiksi *Aspergillus Luchuensis* tuottaa sitruunahappoa sivutuotteena ja *Aspergillus Awamori* mustaa kojia, joka pystyy tuottamaan inulaasia – eli maa-artisokkien, ilmavaivoja aiheuttavan inuliinin pilkkovaa entsyymiä. [6, s. 220.]

On myös hyvin todennäköistä, että kun useammat ravintolat alkavat harrastavat fermentointia niin tulevat myös ruokaviraston standardit tiukentumaan. Täten datalokin käyttö helpottaa todisteiden antamisen ruokaviranomaisille, että kaikki on edennyt turvallisiksi määriteltyjen rajojen puitteissa.

Mison teossa tavoitteena on vain lisätä valmista kojia proteiinipitoiseen pohjaan. Esimerkiksi herneet, soija, leipä ja siemenet ovat hyviä pohjia mison tekemiseen, koska niissä on paljon pilkottavaa proteiinia ja tärkkelystä. Ne käyvät huoneenlämmössä 3-12 kuukautta. Niiden pinnalle muodostuva neste on nimeltään tamari. Tamaria tulee yhdestä erästä hyvin vähän. joten on kehitetty tapa tuottaa enemmän vain tätä umamirikasta nestettä. [6, s. 298.]

Tamarin korvikkeeksi kehiteltiin soijakastike tai *shoyu*, kuten se Japanissa tunnetaan. Tässä prosessissa kojia ei kasvateta vain jyvälle vaan se kasvatetaan palkokasvi-jyväseokselle, josta proteiinitkin saadaan. Vehnä on parempi soijakastikkeen kojijyväksi, koska se sisältää itsessään paljon gluteenia, joka antaa lisää potkua ja proteiinia kastikkeelle. Koji kasvatetaan 50/50 palkokasvi-jyväseokseen samoilla lämpö- ja kosteusarvoilla. Homepohjaan sekoitetaan vettä ja suolaa, tämän seoksen annetaan käydä huoneenlämmössä 2-4 kuukautta. Siivilöidyn nesteen voi antaa ikääntyä pitkiäkin aikoja stabiilissa ja viileässä ympäristössä. Koreassa on 100-vuotiaita soijakastikkeita, aivan kuten Italiassa on 100-vuotiaita balsamicoetikoita. Hyvin tehty fermentoitu tuote on kestävämpi kuin useimmat modernin ruokateollisuuden tuotteet. Aika ja paikka ovat hioneet niistä täydellisyyttä hipovia ruokia.

Lyhyesti voidaan mainita myös kombucha, joka on scobyn (symbiotic culture of bacteria and yeast) fermentoima makea ja hapan juoma. Se perustuu scobyn kykyyn syödä sokeria ja muuntaa sitä hiilihapoksi, alkoholiksi ja etikkahapoksi. Juoma on lähtöisin Mantšuriasta. Suomessa scoby tunnetaan myös nimellä volgansieni. Scoby on kiinnostava fermentoinnin aloittaja, koska se muodostaa selluloosasta nesteen pinnalla kelluvan kokonaisuuden, jossa monimuotoiset bakteerit ja hiivat elävät harmoniassa. Optimaalinen lämpötila kombuchan tekoon on 28°C: lämpötila. [6, s. 110.] Kombucha nauttii suurta suosiota maailmalla terveysjuomana probioottien takia, vaikka todellisuudessa juoma on

todennäköisesti yhtä haitallinen kuin virvoitusjuomat johtuen sen sokeri- ja happopitoisuudesta. Se ei kuitenkaan vaikuta kombucha hyödyllisyyteen tai maukkauteen. Parhaimmillaan kombucha tuo mieleen hyvät kuohuviinit tai mineraalirikkaat valkoviinit.

2.2.3 Entsymaattinen fermentaatio

Entsymaattista fermentointia käsiteltiin jo edellisessä luvussa hieman, mutta koji itsessään ei ole entsyymiaattista fermentointia. Sitä voidaan tosin käyttää edesauttamaan entsyymien käyttöä garumeissa.

Garum on antiikin Roomassa kehitetty kalakastike. Samanlainen ja todennäköisesti vanhempi on Vietnamin- ja Thai-keittiölle ominainen kalakastike. Myös pohjoiseurooppalaisen rakfiskin sivutuotteena tuleva neste on eräänlainen garum. Nämä tuotteet perustuvat autolyysiin eli itsensä tuhoaavaan ilmiöön. Lihassa ja elimissä on aina läsnä entsyymejä, jotka elämän aikana pilkkovat proteiineja esimerkiksi aminohapoiksi. Ne ovat elintärkeitä, mutta entsyymit eivät ole bakteereja tai muutenkaan eläviä, ne ovat vain kemiallisten reaktioiden katalysaattoreita. Kun ihminen tai eläin kuolee entsyymit aloittavat kehon oman proteiinilähteen, eli lihan pilkkomisen ja tuhoamisen. Ne siis käytännössä syövät itseään. [6, s. 366.]

Rikkaimmat entsyymilähteet ovat sisäelimet, erityisesti haima. Kuitenkin vain kalassa on fiksua käyttää sen elimiä autolyysin aloittamiseen. Korkea suolapitoisuus (12 – 18 %) tuhoaa kaiken haitallisen, kuitenkin on suositeltavaa välttää turhaa kontaminaatiota. Kaloissa *E. Coli* ja *Salmonella* ovat harvinaisia ja hyvä hygienia sekä suola takaavat turvallisuuden. Sen sijaan lehmien ja kanojen sisälmyksissä on korkeat määrät haitallisia bakteereita ja riski on turha. Vaikka suolan pitäisi teoriassa tappaa ne koska veden liikkuvuus laskee alle 0,95:n, niin on typerää ottaa turhia riskejä. [6, s. 39.] Varsinkin kun fermentointikammion avulla voidaan tuottaa voimakas ja turvallinen apulainen, koji.

Koji sisältää proteaasia, joten se pystyy helposti pilkkomaan lihan proteiinit herkullisiksi aminohapoiksi. Lisäämällä kojia prosessiin on mahdollista tehdä garumia lähestulkoon kaikesta missä on proteiinia, niinkin erilaisista asioista kuin jauheliha ja hiiva. Nämä garumit tosin vaativat 60°C:n lämpötilan, jotta mädäntyminen tapahtuu nopeasti ja sivumakuja ei kehity liikaa, keskimäärin aikaa menee kaksi kuukautta. Jos tehdään perinteistä

garumia kalasta tai katkaravuista, sisälmyksineen, voi käymisen suorittaa huoneenlämmössä. Suolapitoisuuden pitää tällöin olla 18 %. [6, s. 378.]

2.2.4 Pyrolyyttinen fermentaatio

Viimeisenä mainittava pyrolyyttinen fermentaatio ei sinänsä ole fermentointia, koska se ei perustuu eläviin ilmiöihin. Pyrolyyttinen fermentaatio tunnetaan paremmin tummentamisena (englanniksi blackening), se on hidasta palamista. Sitä voisi pitää ruoan ruostumisena. Ideana on pitää ruokaa, jossa on paljon tärkkelystä, sokeria ja kosteutta 60°C:n lämpötilassa. Lämpötilassa mahdollistuvat samat tummumisreaktiot kuin paistaessa ruokaa pannulla, vain hyvin paljon hitaammin koska reaktiota ei tapahdu nopeassa tois-
tossa.

Pannulla kuumennettaessa miljardit molekyylit ovat liikkeessä ja törmäilevät toisiinsa. Nämä törmäilyt aiheuttavat kemiallisia muutoksia ja makujen kehityksiä. Ne ovat nopeita muutoksia ja silmällä havaittavia, kun kuumennus tapahtuu yli 110°C. Ne ovat kuitenkin hyvin mahdollisia myös alhaisissa lämpötiloissa. 60°C lämmössä valtaosa molekyyleistä on hitaassa liikkeessä, mutta yksikin saattaa liikkua tarpeeksi nopeasti, jotta se törmää muihin ja katalysoi energiapurkauksia törmätessään muihin molekyyliin. Törmäys aloittaa ketjureaktiota, jotka aiheuttavat palamista. [6, s. 406.] Palaminen on niin hidasta, että se vaatii kuukausia, jotta todellinen tummuminen tapahtuu. Nämä reaktiot eivät kuitenkaan ole entsyymaattisia.

Mustat vihannekset ja hedelmät, joita tässä luvussa käsitellään, kuitenkin toimivat osin myös entsyymien avulla. Tällä kertaa apuna ei toimi ulkoinen tekijä vaan valmiiksi hedelmissä ja vihanneksissa läsnäolevat puolustusmekanismit. Kun omenan pudottaa lattialle tai sitä leikkaa, pinta tummuu. Tämä johtuu entsyymistä nimeltään *polyfenolioksidaasi*. Entsyymi alkaa toimia, kun happea pääsee hedelmän tai vihanneksen pintaan. Se kertoo kasville, että nyt on "haava" jota pitää hoitaa, ettei infektiota tai homeita pääse kasvaan. Pinnan tummuminen on kuin kasvien laastari ja desinfiointiaine. Se on toisenlainen palamisen muoto. [6, s. 406.]

Mustien vihannesten ja hedelmien tekoon fermentointikaappi on jälleen välttämätön, koska reaktiot on tuotettavat säädelyssä lämpötilassa. 60°C on ideaalinen lämpötila,

koska se on juuri sopivan matala hitaalle palamiselle, mutta tarpeeksi korkea etteivät haitalliset bakteerit pysty kasvamaan. Tämä hidas prosessi sallii hyvin monimuotoisten makujen esilletuomisen. Makeutta tasapainottavat aminohapot ja rikkaat syvät palaneet maut. [6, s. 413]

2.3 Fermentoinnin turvallisuus ja kontrollipisteet

Edellisissä luvuissa on käsitelty fermentoinnin monia eri muotoja, ja pintaa on vasta raa- paistu. Fermentointi on hyvin turvallista, se perustuu luonnon omiin prosesseihin ja on vanhimpia ruoan säilömisen tapoja. Jopa pyrolyttiset fermentaatiot ovat hyvin vanhoja. Koreassa mustaa valkosipulia valmistettiin maahan haudatuissa saviastioissa kesäisin, kun maa oli kuuma. [6, s. 407.]

On kuitenkin huomioitava mahdolliset riskit. Näistä erityistä huolta vaatii *Clostridium Botulinum*. *C. Botulinum* on anaerobinen, gram-positiivinen bakteeri, joka on hyvin yleinen maaperässä ja vedessä. Se ei itsessään ole vaarallinen, hunajassa sitä on hyvin usein itiöinä. Ongelmia syntyy, kun *C. Botulinum* pääsee hapettomaan tilaan, jossa sen itiöt saavat mahdollisuuden kasvaa. Kasvaessaan tämä bakteeri tuottaa botuliinitoksiinia, joka on hyvin vaarallinen. Vaikka sen aiheuttama botulismi on hoidettavissa, niin vaatii se silti pitkän kuntoutuksen ja voi aiheuttaa pysyviä vammoja, jos sitä ei hoideta ajoissa. Botulismi on harvinainen nykyään ja edelleen sitä löytyy usein vain savustetusta kalasta, joka on huonosti käsitelty tai purkitetusta ruoasta. [13.]

Fermentointi luo olosuhteet, jotka ovat *C. Botulinumille* epäsuotuisat. Kaikkiin metodeihin liittyy suola tai korkea lämpötila. Vaikka *C. Botulinum* voi kasvaa suolaisessakin ympäristössä (5 %:n pitoisuus on kuitenkin sillekin liian korkea), suola merkittävästi hidastaa kasvua. Sen sijaan *Lactobacillus* ja *Aspergillus Oryzae* eivät koe suolaa ongelmaksi ja alkavat ottamaan valtasijaa fermentoidussa tuotteessa. Niiden tuottamat sivutuotteet ja happamuus sen sijaan ovat *C. Botulinumin* kasvun lopullisia pysäyttäjiä, koska alle 4.6 pH riittää täysin pistämään tämän bakteerin pysähdyksiin. Pyrolyttisissa fermentointituotteissa sen sijaan 60°C:n lämpötila riittää estämään *C. Botulinumin* kasvun. [6, s. 38.]

Muita riskitekijöitä ovat homeet ja ruokamyrkytysbakteerit. Niiden ehkäisyyn ei ole muita tekijöitä kuin hyvä hygienia ja eri prosessien turvarajojen tarkka noudattaminen. Monet

turvarajat pH-arvoissa ja lämpötiloissa ovat ylimitoitettuja, tuote voi olla täysin stabiili ja turvallinen, vaikka se ei välttämättä menisi turvallisiksi määriteltyihin rajoihin. Hyvä hygienia usein riittää kaiken turvaamiseksi, mutta rajat auttavat luomaan myös tuotteille standardin. Rajojen yli meneminen antaa tilaa myös harmittomille terveyden kannalta, mutta huonoja makuja tuottaville bakteereille. Fermentointi on niin aikavievää ja resursseja imevää sekä monia muuttujia sisältävä, että on hyvin tärkeää pyrkiä tuottamaan laadukkaita tuotteita. Erinäisten standardien noudattaminen luo pohjan hyvälle tuotteelle ja vähentää jo suuria muuttujien määriä. Vaikka on täysin mahdollista kasvattaa homeita huoneenlämmössä kostean viltin alla, on se hyvin epävarmaa ja todennäköisesti mukaan pääsee mahdollisesti haittallisiakin homeita. Monet *Aspergillus*-lajit eivät ole mustia tai sinisiä, vaan vitivalkoisia kuten *A. Oryzae*, mutta tuottavat toksineja, jotka pitkällä aikavälillä ja jatkuvalla käytöllä voivat olla haitallisia. Kaappia käyttämällä luodaan ympäristöä, jossa vain halutut homeet ja bakteerit pääsevät toimimaan. Fermentointi on tiedettä ja kädentaitoa.

Fermentointikaapin datalokia käyttäen voidaankin suunnitella HACCP-järjestelmiä eri fermentoiduille tuotteille. HACCP on lyhenne sanoista Hazard Analysis and Critical Control Points, eli vaarojen arviointi ja kriittiset hallintapisteet. [14.] Hyviä hallintapisteitä ovat esimerkiksi lämpötilan muutokset, pH-arvojen nopea lasku ja kosteuden nopeat muutokset. Kaikki nämä on mahdollista toteuttaa tällä fermentointiyksiköllä, koska pH-anturin lisääminen ei olisi erityisen vaikeaa.

2.4 Fermentointikaapin tekniset vaatimukset ja muut käyttökohteet

Teknisiä vaatimuksia on käyty jo aiemmissa kappaleissa, mutta tähän on koottu lyhyesti tärkeimmät sovellukset, jotka fermentointikaapissa tulee olla.

1. Kosteuden- ja lämmönsäätely (18 – 60°C ja 30 – 90% ilmankosteus)
2. Ilmanvaihto ja puhallus kuivauskäytössä
3. Dataloki (kirjaa joka viides minuutti lämpötilan ja kosteuden lokiin, josta dataa voi tarkastella halutulta päivältä.)

Kaappia voi käyttää muuhunkin kuin fermentointiin. Sille on suunniteltu myös toimivuus kuivurina. Tämä toiminto toimii ottamalla käyttöön ylimääräiset puhaltimet laitteessa. Ne puhaltavat lämmintä ilmaa kuivattavien raaka-aineiden ympärille. Tämä tuo laitteelle lisäarvoa ja myös fermentoiduille tuotteille, koska kuivaamalla niitä saadaan uusia tuotteita. Esimerkiksi kuivaamalla maitohappokäytettyjä luumujen kuoria saadaan mauste, joka antaa uusia ulottuvuuksia niin makeille kuin suolaisille ruoille. Toinen vaihtoehto on kuivata liemiä, joita syntyy garumeista ja maitohappotuotteista, niihin käytetty suola kiteytyy uudelleen kuivauksessa, ja siihen sulautuvat vahvat umamimaut ja happamuus fermentoiduista tuotteista. Kuivurilla voi myös kuivata yleisesti ruokaa ja yrttejä kotiloissa tehokkaammin kuin useimmilla markkinoilla olevista kuivureista.

Toinen käyttökohde on kasvien siementen idättäminen. Siementen itäminen tapahtuu optimaalisesti lämpimissä ja kosteissa oloissa, kuten kojien inkubointi. Käyttämällä kaappia tähän tarkoitukseen saadaan nopeampia ja varmempia tuloksia kuin huoneenlämmössä idättämällä. Kaappi on ihanteellinen inkubaattori idätykseen.

3 PID-säädin

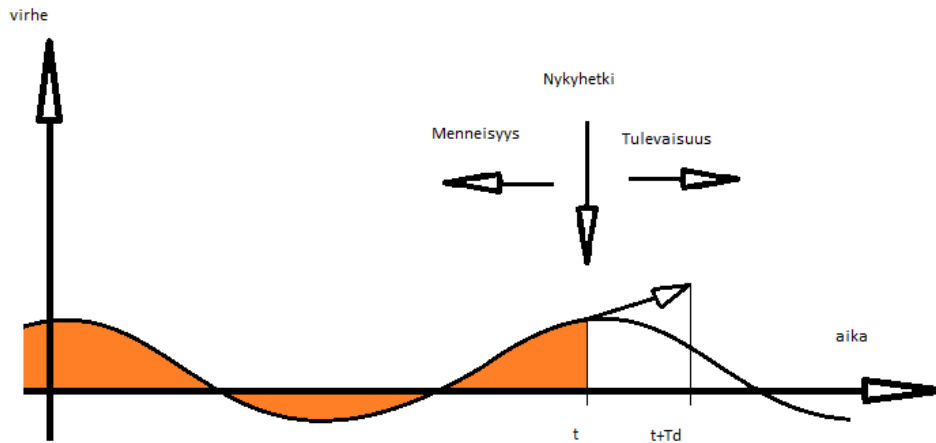
3.1 PID-säätimen teoria

PID on lyhenne sanoista proportional-integral-derivative. PID-säädin, yksinkertaisimmillaan perustuu anturin lukemiseen ja sitten halutun ulostulosignaalin saamiseen laskeamalla yhteen suhteellisen (proportional), integraalisen ja derivoivan sisäänmenon vastaukset virhearvoon nähden.

$$u = K_P e + K_I \int e dt + K_D \frac{de}{dt} \quad (1)$$

Kaavassa 1 u on ulostulon arvo, e on virhe ja t aika. Kaava 1 on yksinkertaisin muoto PID-säätimen toimintaa kuvaavalle matemaattiselle kaavalle.

Kaavan 1 ja kuvan 2 avulla on hyvin helppo ymmärtää mihin PID-säädin perustuu. Alussa esiintyvä suhteellinen osuus ei pysty kompensoimaan säätövirhettä. Se tarvitsee muita, eli derivoivaa ja integraalista osaa toimiakseen käytännössä portaattomasti.



Kuva 2. PID-säädin säätää haluttua suuretta ottamalla huomioon niin nykyhetken kuin myös menneet ja tulevat hallintavirheet. [15, s 203.]

3.1.1 Suhteellinen osa

Suhteellinen osa on suhteellinen nykyhetken virhearvoon. Se perustuu kaavaan 2:

$$u(t) = K_p e(t) = K_p (r(t) - y(t)). \quad (2)$$

Kaavassa 2 ja 3 K_p on suhteellinen vahvistus. Sen toiminta on hyvin helppo ymmärtää koska se vain reagoi virhearvoihin. Siirtofunktion voi periaatteessa supistaa muotoon

$$C(s) = K_p \quad (3)$$

Suhteellinen osa onkin käytännössä, vain hieman muunneltua, on/off-hallintaa. Toiminta on kuitenkin hieman tasaisempaa, koska suhteellinen hallinta pystyy tekemään pieniä muutoksia, toisin kuin on/off-hallinnan binäärinen ohjaus. Pelkkää suhteellista ohjausta ei tosin voi suositella, koska sen toiminta ei ota virheen kasautumista huomioon. Ainoa tapa korjata virhe on nollata systeemi, joka sen sijaan tuhoaa tasaisesti toimivan systeemin. On/off- ja suhteellinen hallinta kuitenkin soveltuvat sovelluksiin, joissa tarkka hallinta ei ole tarpeellista. [16, s. 3.] Verrattuna PID-säätimiin se on hyvin paljon halvempi ohjaustapa.

3.1.2 Integraaliosa

Integraaliosan toiminta perustuu menneisyyden virhearvojen tulkitsemiseen. Se on suhteellinen virheen integraalin nähden. Alla olevassa kaavassa 4 näkyy integraaliosa, K_i integraalinen vahvistus. Siitä on havaittavissa myös, että integraalinen osa on kiinteästi yhteydessä menneisiin virhearvoihin. [16, s 7.]

$$u(t) = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau. \quad (4)$$

Siirtofunktio sen sijaan merkitään seuraavasti:

$$C(s) = \frac{K_i}{s}. \quad (5)$$

Integraaliosan tärkein osa onkin sen kyky automaattisesti nollata kasautuvaa virhettä, kun se yhdistetään suhteellisen hallintaan. PI-säätimet riittävätkin moniin sovelluksiin ja ovat hyvin käytännöllisiä. Integraaliosan ainoa haittapuoli on integraaliosan ylikuormittuminen, jos liian suuria muutoksia ilmenee asetetuissa pisteissä. Esimerkiksi jos yllättäen lämpötila kasvaa suureksi (ylikuumentunut vastuslanka), niin integraaliosalle kertyy hyvin suuria virheitä. Virheiden korjaus häiriintyy eivätkä asetetut rajat enää toteudu. Integraaliosa ei enää pysty käsittelemään virhettä oikein, ja suuret virheet kasvavat. Ongelma on korjattavissa vain resetoimalla tai odottamalla. Usein kuitenkin odottaminen ei ole vaihtoehto herkissä sovelluksissa.

3.1.3 Derivoiva osa

Derivoiva osa perustuu tulevaisuuden virhearvoihin. Se on ennakoiva osa, joka on tärkeä osa hyvin vakaata järjestelmää. Siihen kuitenkin liittyy myös hankaluuksia. Kaavoilla 6 ja 7 pyritään selittämään, miten derivoiva osa toimii.

$$u(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (6)$$

Kaavassa 6 ja 7 K_d on vahvistus derivoivassa osassa, sitä vastaava siirtofunktio ohjaimella on:

$$C(s) = K_d s. \quad (7)$$

3.1.4 Yhdistetty funktio ja sarjaan- tai rinnankytkentä

Ihanteellisen PID-säätimen siirtofunktio voidaan kuvata seuraavalla kaavalla:

$$C_i(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i} + T_d s \right). \quad (8)$$

Ideaaliset PID:t eivät ole kuitenkaan yleisessä käytössä, koska suurin osa sovelluksista toteutetaan todellisilla laitteilla, jotka eivät ole lineaarisia toiminnoissaan. Silloin täytyy kehittää systeemejä, jotka toimivat todellisessa maailmassa. Ideaaliset säätimet ovat myös hyvin herkkiä kohinan aiheuttamille häiriöille. Tämän takia ne eivät sovellu suoraan käyttöön.

PID-säätimen voi laittaa käytäntöön eri tavoin, yleisimmin joko sarjaan- tai rinnankytkentänä. Molemmilla on omat hyvät ja huonot puolensa, myös niiden funktiot poikkeavat toisistaan.

$$C_s(s) = K_p' \left(1 + \frac{1}{T_i' s} \right) (T_d' s + 1) = K_p' \left(\frac{T_i' s + 1}{T_i' s} \right) (T_d' s + 1). \quad (9)$$

Kaavasta 9 on havaittavissa, että sarjaankytkettynä PID-säätimen integraaliosaan vaikuttaa myös derivatiivisen osan aikavakion T muutokset. Tämän takia sarjaankytkettyä PID:tä kutsutaan myös vuorovaikutukselliseksi. Sarjaankytketty PID on suositumpi kuin rinnankytketty tai ideaalinen PID. Sarjaankytketty malli on hyvin vanha, ja tapojen sekä tottumusten takia monet valmistajat ovat vastahakoisia muuttamaan PID:n toimintaperiaatteita ja malleja. [16, s. 8.]

Rinnankytketty on helpoin ymmärtää suoraan kaavasta 10, koska jokainen osa on selkeästi erillään toisesta. Mikään osa ei ole riippuvainen toisesta. Rinnankytketyssä laitteessa on mahdollista kytkeä integraaliosa pois päältä.

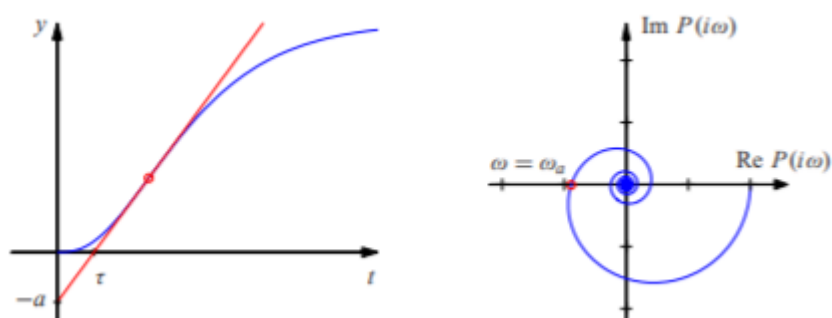
$$C_p(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (10)$$

Molemmat yhdistetyt funktiot on mahdollista myös muuntaa takaisin ideaalimuotoon, kunhan tiettyjä rajoja noudatetaan.

3.2 PID-säätimen virittäminen

PID-säätimen viritys on tärkeä osa PID:n suunnittelutyötä, se tulee ottaa kuitenkin huomioon jo kontrollien määrittelyssä. PID:n virittämistä helpottaa, että sen eri parametreilla on selkeät käytännön merkitykset. Painottamalla suhteellista osaa kasvatetaan myös systeemin vaatimaa kaistanleveyttä. Vastoin tämä johtaa nopeampaan vastausnopeuteen, mutta oskillaatio kasvaa samassa suhteessa. Integroivaa aikavakiota nostamalla saadaan parempi virheentasaus, mutta vastausnopeus hidastuu hyvin paljon. Derivoivaa osaa nostamalla sen sijaan saadaan aikaan hyvä vastustava efekti. Derivoivan osan liiallinen painotus johtaa myös hyvin epätasaiseen systeemin, joten sen osuutta pitää hyvin tarkasti miettiä. [16, s. 16.] Usein kuitenkin insinöörit painottavat omien tarpeidensa mukaisesti jotain P-, I- tai D-osista. Täydellistä hallintafunktiota ei ole. [11.]

Yleisimmässä käytössä olevat PID-säätimen viritykseen käytettävät viritysmetodit ovat Zieglerin ja Nicholsin kehittämät metodit. Vaikka metodit kehitettiin jo 1940-luvulla, ovat ne edelleen erittäin hyödyllisiä. [15, s. 213.] Metodit perustuvat empiiriseen havaitsemiseen ja tekemiseen. Tapa on seuraava: suunnittele yksinkertainen testi ja ota talteen testidatasta havaittavia piirteitä, jotka heijastavat prosessia, joiden kautta voit päätellä säätimen parametrejä. Tätä prosessia voi toistaa parempien tuloksien saamiseen. [15, s. 213.]



Kuva 3. Kuvassa näkyy vasemmalla askelvasteeseen perustuva metodi A ja oikealla taajuusvasteeseen perustuva metodi B.

Toinen metodi, jota kutsutaan vastedes metodi A:ksi, perustuu aikaan. Siinä mitataan avoimen silmukan vastausta prosessiin ja tarkkaillaan muutosta askel askeleelta. Askelvaste saadaan mitattua syöttämällä ennalta määritelty askelyksikkö systeemiin ja ottamalla talteen systeemin vastaus. Vastetta tulkitaan asetetuilla parametreilla a ja τ . τ kuvastaa systeemin aikaviivettä ja a on leikkauspiste y-akselilla. Ennen kuin a/τ -suoraa piirretään, pitää odottaa, että prosessi on vakaa, jotta oikeat parametrit voidaan löytää. Jos a/τ -suora piirretään ennenaikaisesti, on viritys epätarkka. Usein riittää, että käyrän käännekohta on havaittavissa. Koetta tulee toistaa moneen otteeseen ja eri koesimulatioissa, jotta viritys saadaan mahdollisimman tarkaksi. [17, s. 302.]

Taulukko 1. Askelvastemetodin esimerkkitaulukointi.

Type	k_p	T_i	T_d
P	$1/a$		
PI	$0,9/a$	3τ	
PID	$1,2/a$	2τ	$0,5\tau$

Taulukko 2. Taajuusvastemetodin esimerkkitaulukointi.

Type	k_p	T_i	T_d
P	$0,5k_c$		
PI	$0,4k_c$	$0,8T_c$	
PID	$0,6k_c$	$0,5T_c$	$0,125T_c$

Metodissa B sen sijaan käytetään taajuusvastetta hyväksi virittämisessä. Hallintalaite liitetään tässä metodissa prosessiin. Integraali- ja derivaattaosat asetetaan nolliksi ja suhteellista osaa säädetään, kunnes systeemi alkaa oskilloida. Suhteellisen vahvistuksen kriittistä arvoa (k_c) ja oskillaatiojaksoa (T_c) seurataan. Käyttämällä hyväksi Nyquistin stabiliteetti kriteereitä voidaan päätellä kriittinen piste. Sen mukaan siirtofunktio, $L = k_c P(s)$, leikkaa kriittisen pisteen taajuudessa $\omega_c = 2\pi/T$. Kuvasta 3 voidaan nähdä kriitti-

nen piste punaisena merkittynä. Tässä pisteessä Nyquistin kuvaajalla kuvattu siirtofunktio on 180 astetta jäljessä vaiheesta. Taulukoissa 1 ja 2 on esitetty taulukointi molemmille viritysmetodeille.

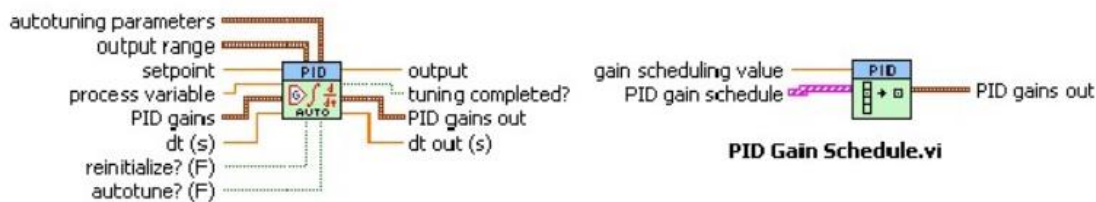
Nämä menetöt ovat laajasti käytettyjä ja suhteellisen helppoja ymmärtää. Erityisesti taa juuteen perustuva metodi B. Ne soveltuvat erityisen hyvin manuaalisen viritykseen. Niiden ongelmana on kuitenkin, etteivät ne käytä erityisen paljon dataa prosessista viritykseen. Ne perustuvat hyvin lyhyisiin jaksoihin, joten testisilmukoista saatavat tiedot eivät ole kattavia. [17, s. 303.]

Metodia A pystyy parantamaan merkittävästi lisäämällä parametrejä. Näitä parametrejä saadaan lisää sovittamalla testimalli valmiiksi mitattuun askelvastaukseen. Parametreina toimivat K , τ ja T . Testissä kestää pitempään, koska parametriä K ei tunneta ennen kuin tasainen funktio on saavutettu. Aiemmin metodi A:ssa käytetty parametri a määritellään nyt: $a = K\tau/T$.

$$P(s) = \frac{K}{1+sT} e^{-\tau s} \quad (11)$$

Metodia B parannetaan mittaamalla lisää pisteitä Nyquistin kuvaajalta. Mitattavia pisteitä voivat olla piste K eli zero frequency gain tai piste, jossa prosessin vaihe on 90 astetta jäljessä vaihetta. Vaihe-eroa mittaavaa pistettä voidaan etsiä integraalisella ohjaimella ja lisäämällä vahvistusta, kunnes systeemi saavuutta vakavuushuippupisteeseen.

Edellä mainitut ovat vain esimerkkejä siitä, miten parantaa viritystarkkuutta ja perustuvat manuaalisen viritykseen. Viritys kuitenkin usein nykyään toteutetaan automaattisesti. Manuaaliset menetöt ovat hyvin aikavieviä ja vaativat hyvää ymmärrystä PID:n toiminnasta ja matematiikasta. Monet laitteet kuitenkin automaattisesti virittävät itsensä, ja valmiita viritysohjelmia löytyy, esimerkiksi IPCOS valmistaa PID-viritin ohjelmia. [19.] Myös LabVIEW sisältää automaattisen virityksen kuten kuvasta 4 käy ilmi. Kuitenkin yleisin tapa on puhdas virhe-ja-toisto. Toistamalla ja kokeilemalla eri arvoja, kunnes haluttu vakaa funktio löytyy. Useimpiin tarkoituksiin tämä riittää, on kuitenkin mielenkiintoista yrittää ymmärtää mihin tarkka ja tieteellinen viritys perustuu. LabVIEW-ohjelmisto tarjoaa yksinkertaisimman ratkaisun oman PID-säätimen ohjelmointiin.



Kuva 4. LabVIEW:n PID-viritin.

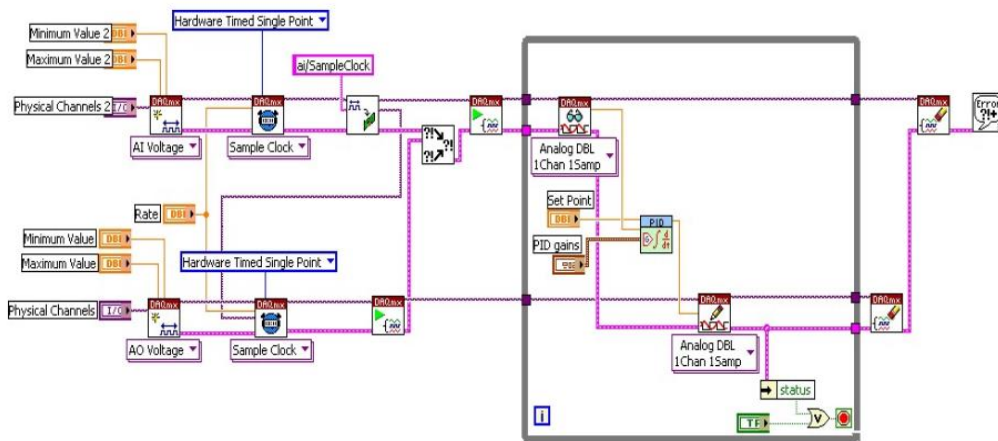
LabVIEW:n PID-viritin on PID-kuvakkeen edistyneiden työkalujen valikossa, koska LabVIEW:n PID-toiminto on jo valmiiksi automaattinen. Viritystä voi kuitenkin itse tarkentaa, jos automaattiset arvot eivät ole tyydyttäviä.

3.3 PID-säätimen ohjelmallinen toteutus

PID-säätimen ohjelmointiin vaikuttaa moni tekijä. Onko tavoitteena ohjelmoida puhtaasti omana moduulinaan toimiva säädin? Onko anturit kytketty keskusyksikköön? Ohjelmoidaanko laitteelle itsenäinen käyttöjärjestelmä? Riippuen miten näihin kysymyksiin vastataan, määrittäytyy myös ohjelmoinnin vaatavuus.

Jos tavoitteena on ohjelmoida itsenäinen järjestelmä, tulee ottaa huomioon, miten data esitetään. Todennäköisesti LCD-näyttö on helpoin tapa saada pelkkää dataa esille, tosin jotta käyttöjärjestelmää ja laitetta pystyisi manuaalisesti säätämään, on kosketusnäyttöärkevin lähestymistapa. Kosketusnäyttöä käyttämällä pystyy myös yksinkertaistamaan ohjelmaa, koska Raspberry Pi:n pystyy liittämään suoraan moniin kosketusnäyttöihin. Täten riittää, että ohjelmoidaan ohjelma Raspberry Pi:n työpöydälle.

Itse säätöohjelman kirjoittaminen ei ole erityisen haastavaa. Valmiita malleja löytyy hyvin paljon, niitä pitää vain hienosäätää omiin tarkoituksiin ja selventää. Esimerkiksi LabVIEW:lta löytyy suoraan PID-kuvake, jota voi käyttää. [18.]



Kuva 5. LabVIEW:lla tehty malliohjelma PID-kontrollista, valmis malli NI:n nettisivuilta, tämä malli käyttää NI:n datanhallinta laitetta (DAQ, data acquisition).

Kuvassa 5 näkyy mallipohja LabVIEW:lla tehdystä PID-säätimestä. While-silmukan sisällä on itse PID-toiminto. LabVIEW on hyvä vaihtoehto PID-säätimeen ohjelmointiin, jos on käyttöoikeuslisenssi. Koska LabVIEW on kaupallinen ohjelmisto, on sen yksityiskäyttö harvinaista. Tosin jos tehdään suurempaa fermentointihuoneprojektiä, niin LabVIEW helppokäyttöisyys ja monipuolisuus ovat ylimääräisten kustannusten arvoisia. Ohjelmointikieltä valittaessa täytyy miettiä omia tarpeita ja niiden kautta päättää onko, LabVIEW:n käyttö järkevää.

Järkevämpi vaihtoehto on käyttää Python-kieltä tai C++:aa laitteen ohjelmointiin. Python on helppokäyttöinen kieli. Sen perusteet ovat nopeasti opittavissa ja Pythonilla on laaja valikoima kirjastoja, joita hyödyntää ohjelmaa kirjoittaessa. Python onkin yksi käytetyimmistä kielistä ja sen käyttö yleistyy koko ajan. [20.] C++:lla kirjoitettu ohjelma olisi monipuolisin ja antaisi suurimmat vapaudet laitteiden valitsemiseen, mutta C++:n kanssa ohjelmointi vaatisi syvällistä tuntemusta kielen hienovaraisuuksista. Tämän projektin suunnitteluvaiheessa valittiin Python ohjelmointikieleksi ja tutkimusta tehtiin PID-ohjelman kehittelyyn. Mahdollisia malliohjelmaa löytyi paljon, kuitenkin työn helpottamiseksi malliohjelmat rajattiin Raspberry Pi:lle tehtyihin ohjelmiin. [22.] Tutkimuksen aikana myös löytyi BrewPi-niminen, Raspberry Pi -pohjainen laite oluen- ja siiderinpanijoille.

BrewPi on Pythonilla kirjoitettu opensource-työkalu pienpanijoille. Laitteet on suunniteltu Raspberry Pi:lle. Niiden päätehtävänä on hallita lämpötilaa. Laitteet toteutetaan ”hakeroimalla” jääkaappi, jonka kompressoriin liitetään BrewPi:ta pyörittävä Raspberry Pi.

Jääkaapin pohjalle asetetaan pieni lämpökaapeli, jotta lämpötilan säätö ei ole vain kompressorin vastuulla. Kaapin dataa talletetaan BrewPi:n omille servereille etäisesti. Dataa voi sieltä itse tarkkailla. BrewPi on alkanut kehittää myös mäskintekoon soveltuvia ohjelmia. Näissä laitteissa käytetään suuritehoisia lämpövastuksia ja venttiilikontrollia, jotta mäskiä voidaan siirtää kattilasta toiseen sulavasti. [21.]

Kaikki BrewPi:n koodi on githubista katseltavissa, työ on erittäin innovatiivista ja antaa hyviä malleja, miten alkaa rakentaa itsenäisiä PID- ja automaattiohjelmia. [25.] BrewPi onkin hyvä vaihtoehto fermentointikaapin toteuttamiseen, jos ei halua kirjoittaa yhtään koodia, eikä ostaa kuin yhden laitteen ohjaamaan koko kaappia.

3.4 Ongelmat oman PID-säätimen rakentamisessa

Suurimmaksi ongelmaksi itesuunnitellun PID-säätimen kanssa ilmeni verkkovirran muuttaminen Raspberry Pi:lle käsiteltäväksi. Jäähdytys tuulettimien avulla ei olisi aiheuttanut päänsäryä, eikä myöskään kostuttimen. Sen sijaan lämmityselementti toimii verkkovirralla. Väliin tarvittava muuntaja olisi ollut vaikeaa toteuttaa opinnäytetyölle annettussa ajassa. Sen tekemiseen olisi liittynyt hyvin paljon sähkövoimaan liittyvää tekniikkaa. Vaikka teoriassa pelkkä tyristori Raspberry Pi:n ja lämpöelementin väliin riittäisi hallitsemaan lämpöä, ei se ratkaisisi virransaannin ongelmaa.

Tämän ongelman takia valittiin Inkbird:in valmiit säätimet. Niiden tarkkuus on hyväksyttävissä rajoissa, ja ne toimivat Plug and Play -periaatteella. Kunhan laite pysyy Inkbird:in turvarajojen sisällä, voi sen vain kytkeä laitteen mukana tuleviin välipistokkeisiin, jotka yhdistävät laitteen säätimeen. Tämän välipistokkeen suunnitteleminen olisi ollut haastavaa niin teknisesti ja resurssien puolesta. Sen testaaminen ja kehitys olisi pitänyt toteuttaa täysin koululla.

Muita ongelmia PID:n kehitystyön jatkuessa olisivat olleet parempien anturien hankkiminen ja implementointi laitteeseen. Nyt käytetyt lämpöanturit eivät riittäisi tarkkuudeltaan. Harkitut PT100-anturit sen sijaan ovat jo hyvin paljon kalliimpia ja koska projekti on itse-rahoitettu, ovat resurssit rajalliset.

Tulevaisuudessa on kuitenkin mahdollista rakentaa kokonaisen huoneen kokoinen säädelty fermentointihuone. Huoneeseen on suunniteltu seiniin upotetut lämmityselementit, korkean luokan lämpötila- ja kosteusanturit sekä täysin itsesuunniteltu ja -ohjelmoitu PID-säädin on tavoitteena. Tähän ei enää pelkästään Inkbird:in pieni säädin riitä, vaan tehon ja rasituksen kasvaessa on PID-säädin suunniteltava täysin omien tarpeiden mukaiseksi.

4 Fermentointikaapin rakentaminen ja koodaaminen

4.1 Suunnittelu ja rakentaminen

Fermentointikaapin suunnittelu aloitettiin jo 3 vuotta sitten. Kiinnostus syntyi ideasta saada ideaalinen ympäristö missä tuottaa maitohappokäytettyjä tuotteita. Niille oli tavoitteena vain saada tasainen 28°C:n lämpötila ja jonkinlainen automaattinen ilmanpaineen vapautus, jotteivat purkit tai vakuumpussit räjähtäisi hiilidioksidin synnyn takia. Idea kuitenkin jäi toteuttamatta resurssien ja tiedon puutteen vuoksi. Vuoden sisällä idea muuttui myös radikaalisti, koska kojien kasvattaminen tuli mukaan vaatimusmäärittelyyn. Kosteuksen hallinta vaatisi ihan erilaisia laitteita kuin vain lämpötilan hallitseminen. Myös tarkemmat lämpötilavaatimukset tekivät projektista monimutkaisemman kuin alkuperäinen alhaisen lämmön lämmityskaappi. Garumien ja tummien kasvien myötä myös lämmityksen tulisi olla tehokkaampaa.

Suunnittelun alkupuolella ideat kaapista olivat monimutkaisia ja kaapista haluttiin tehdä ulkonäöltään tyylikäs. Lämmityselementtien ajateltiin menevän kaapien sivujen sisään ja eteen suojapaneelit. Kaapin visuaalista puolta mietittiin enemmän kuin käytännöllisyyttä tai lämpötilanhallintaa. Toisen opintovuoden aikana moduulien kurseissa käytiin nopeasti myös PID-säätimiä ja niiden käyttö lämpötilan sulavaan hallintaan oli selkeästi paras valinta.

Kun PID-säädin oli valittu laitteen lämpötilan hallintaan, alettiin pohtia eri ratkaisuja kaapin rungon suhteen. Helppo ratkaisu on GN-kärryn käyttö. GN eli GastroNorm on yleinen ruokateollisuuden käyttämä standardikoko. Kärry on suunniteltu niin, että siihen mahtuu

vain tietynkokoluokan astioita ja tarjottimia. Tähän projektiin hyödylliset mitat GN-standardista ovat 1/1 ja 2/1. Standardien mitat ovat [23.]:

- GN 2/1-20, 650x530mm, 4,5 litraa
- GN 1/1-20, 530x325, 1,9 litraa
- GN 1/1-40, 530x325, 4,5 litraa
- GN 1/1-65, 530x325, 7,4 litraa
- GN 1/1-100, 530x325, 12,6 litraa
- GN 1/1-150, 530x325, 18 litraa
- GN 1/1-200, 530x325, 25 litraa

Projektissa päädyttiin käyttämään vanhaa jääkaappia, mutta osat on helppo siirtää tulevaisuudessa tarpeiden mukaan GN-kärryyn. Sen sijaan GN-astioita edelleen käytetään. Kojin tekoon reiitetyt 1/1 GN-astiat ovat erittäin hyödyllisiä. Reiät astian pohjassa antavat ilman kiertää ja ylimääräisen kosteuden valua pois. Jos kärryä haluaisi käyttää ravintolassa tai ruokatuotannossa GN-kärry olisi hyvä valinta, koska se on ruokateollisuuden standardien mukainen. Fermentoiduissa tuotteissa on muutenkin tarpeeksi kontrollipisteitä ja HACCP-järjestelmien suunnittelu niille on jo niin monimutkaista, ettei lisämurheita kaivata.

Kotikäyttöön pakastin tai jääkaappi ovat tosin paljon järkevämpiä vaihtoehtoja. Toisin kuin GN-kärry, ovat jääkaapit tai pakastimet jo valmiiksi suunniteltu olemaan mahdollisimman eristäviä. Ainoa asia, joka pitää ottaa huomioon laitetta jääkaappiin suunniteltavaksi, on kosteuden poisto. Ilman pitää päästää kiertämään ja ylimääräisen kosteuden pitää päästä haihtumaan. Hyvä ratkaisu on muutaman reiän poraaminen kaappiin ja niiden tukkiminen hyvin hengittävällä materiaalilla. Muita ratkaisuja ovat kosteutta imevät pussit tai silikageeli. Liiallisen puhalluksen käyttö kosteuden haihuttamiseen ei ole järkevää.

Muita ratkaisuja kotikäytössä olevalle fermentointikaapille ovat myös kylmälaukut. Ne ovat erityisen hyviä pienessä mittakaavassa tekeville henkilöille. Ainoa asia, joka pitää miettiä uudelleen, on lämmityselementti. Todennäköisesti paras vaihtoehto on pieni lämmitysmatto, esimerkiksi Hortosolin lämmitysmatot. Pieni käsituuletin riittää ilmanvaihtoon pienissä kylmälaukuissa. Litteessä 1 on kuvia kaapin laitteista ja ohjeet sen kasaamiseen

kotikäyttöön. Liitteen ohje on suunniteltu kaappiratkaisuun, ei kylmälaukkuun rakennettua fermentointilaitetta varten.

Lopullinen kaappi on noin 450-550 euron sijoitus, riippuen millä hinnalla saa ostettua itse kaapin. Hintaa voi verrata hyvään monitoimikoneeseen. Monitoimikone on keittiössä hintansa arvoinen vain, jos taloudessa leivotaan paljon. Samoin fermentointikaapin hinta on hyväksyttävä, jos käytettäviä tuotteita tehdään usein ja suurissa määrissä. Suositeltavaa onkin jakaa raaka-aine kuluja tuttavien kesken ja tehdä suuria eriä. Alle 1,5 litran garum tai soijakastike eriä ei ole järkevää tehdä, samoin kuin alle 3 – 4kg:n miso- ja kojieriä. Tuotteet säilyvät kyllä pitkään, mutta fermentoinnin iloja on mukava jakaa perheen ja ystävien kanssa. Erityisesti garumit lisäävät jokapäiväiseen ruoanlaittoon aivan uudenlaista sähköistä terää umamin avulla.

4.2 Fermentointikaapin osat ja vaatimukset

Projekti rakennettiin omaan käyttöön, joten tavoitteena oli myös käyttää mahdollisimman vähän resursseja, kuitenkin tinkimättä varmasti toimivasta laitteesta. Seuraaviin osiin päädyttiin hinnan ja toimivuuden perusteella.

Laiteen osat:

- Inkbird ITC-310T-B on lämpötilanhallintalaite. Se on PID hallittu.
- Inkbird IHC-200 on hygrometri ja kosteudenhallintalaite. Se on PID hallittu
- Lämpöeristetty kaappi on projektissa käytettävä laitteen runko. Hyvin insuloitu, jottei tule turhaa lämmön ja kosteuden häviötä. Projektissa käytettiin vanhaa puista kaappia, jota eristettiin pyyhkeillä ja liinoilla. Kokeiluihin käytettiin myös vanhaa pakastinta.
- Lämmityselementtinä käytettiin sisätilälämmitintä, jossa on kolmiasentoinen tehonsäätö: 750/1250/2000 W. Tässä projektissa käytetty laite on Thermal Plus 2117.
- Perinteinen kodissa käytettävä ilmankostutin. Tässä projektissa käytettiin: Air Humidifier Model M60137AA-DE.
- Tuulettimina toimii kaksi tuuletinta, joita voi ohjata manuaalisesti.
- Arduino on helposti ohjelmoitava mikrokontrolleripiiri, jota voi käyttää esimerkiksi anturien ohjelmointiin.

- DS18B20 Digitaalinen lämpöanturi, kytketään Arduinoon ja ohjelmoidaan sillä.
- Raspberry Pi 3 model B+ on pieni tietokone, jota voi ohjelmoida omaan käyttöön ja käytetään projektissa datalokin aivoina.

Kaapille merkittävimmät vaatimukset ovat lämpötilan- ja kosteudenhallinta ± 2 asteen tarkkuudella, sekä puhaltimien käyttöönotto tarpeen vaatiessa. Datalokin käyttövaatimukset ovat kaapin lämpö- ja kosteusdatan tallennus joka viides minuutti. Dataloki tallentaa kaikkien anturien arvot ja laskee myös keskiarvot.

4.3 Lämpötilaanturin ja datalokin koodaaminen

4.3.1 Arduinon ja lämpötilaanturin suunnittelu ja ohjelmointi

Kun antureita alettiin yhdistää fermentointikaapin datalokiin, käytettiin Arduinon mukana tullutta anturia. Kyseinen anturi (LM35) oli analoginen, koodi oli hyvin yksinkertainen ja sille kirjoitettiin myös monella anturilla toimiva ohjelma, jonka esimerkkikoodi on nähtävissä esimerkkikoodissa 1.

```
const int sensorPinTEMP1 = A0;
const int sensorPinTEMP2 = A1;
const int sensorPinTempkoji3 = A2;
void setup(){
  Serial.begin(9600); //open sport
}
void loop(){
  int sensorVal = analogRead(sensorPin);
  Serial.print("Sensor Value");
  Serial.print(sensorVal);
  //conv ADC to volt
  float voltage = (sensorVal/1024.0) * 5.0;
  Serial.print(", Volts: ");
  Serial.print(voltage);
  Serial.print(", degrees C: ");
  //conv volt to tempCdeg
  float temperature1 = (voltage - .5) * 100;
  float temperature2 = (voltage - .5) * 100;
  float temperaturekoji3 = (voltage - .5) * 100;
  float temperatureAVG = ((temperature1 + temperature2 + temperaturekoji3)/3);
  Serial.println(temperatureAVG);
  Serial.println(temperaturekoji3);

  delay(5000);
}
```

Esimerkkikoodi 1.

Alkuperäinen lämpötila-anturiohjelma analogiselle LM35-anturille.

Tämä ohjelma on toimiva. LM35-anturi on halpa ja helppo muokata siirrettäväksi anturiksi juottamalla lankaa anturin jalkoihin ja käyttämällä eristyssukkaa. Fermentointikaapin tarkoituksiin se on tarpeeksi tarkka. Ongelmaksi kuitenkin muodostui kosteuden mittaaminen. Ohjelmaan sisällytettiin myös kosteudenmittaus analogiselle anturille. Tuli kuitenkin selväksi, ettei analogisia kosteusantureita ole, tai niitä ei ole saatavilla. Jotta ymmärtää miksi analogisia antureita ei yleisesti käytetä kosteuden mittaukseen, on ymmärrettävä mihin kosteuden mittaaminen perustuu.

Kosteusanturien mittaaminen voidaan toteuttaa kolmella eri anturityypillä: kapasitiivisella anturilla, resistiivisellä anturilla ja lämpötilan mittaamiseen perustuvalla anturilla.

Kapasitiivisessa kosteusanturissa kosteutta mitataan asettamalla ohut metallioksidinauha kahden elektrodin väliin. Nauhassa tapahtuvat varausmuutokset johtuvat ilman kosteuden muutoksista. Kapasitiiviset anturit ovat yleisimmin käytössä, mikä johtuu niiden lineaarisuudesta ja helpposta käytöstä lämpötilasta riippumatta. Ne toimivat yhtä hyvin niin kylmissä kuin kuumissakin tiloissa. Niiden kalibrointi ja piirisuunnittelu on rasittavaa, mutta edut ovat sen arvoisia. [24.]

Resistiiviset anturit perustuvat suolojen ionien toimintaan ja atomien sähköiseen impedanssiin. Kosteuden muuttuessa elektrodien resistiivisyys kasvaa suolapinnan puoleen ja toiseen. [24.]

Lämpöön perustuvat anturit sen sijaan koostuvat kahdesta lämpöanturista, joista toinen on kuivalla vedyllä päällystetty ja toinen on paljas. Anturien sähkönjohtavuus on eri luokkaa riippuen ilmankosteudesta ja tämä erotuksen avulla voidaan mitata ilmankosteutta. [24.]

Kosteusanturit ovat hyvin herkkiä, ja ne soveltuvat paremmin digitaaliseen käyttöön kuin analogisiin. Muutokset ovat hyvin pieniä ja niiden käsittely analogisesti ei olisi järkevää.

Digitaalisten kosteusanturien etu on myös, että ne usein sisältävät myös lämpötila-anturin. Kytkenät yksinkertaistuvat ja Arduinoon on helppo kytkeä suuret määrät antureita. Harmillista on kuitenkin, että tähän projektiin saatiin käyttöön vain DS1B20-antureita,

jotka pystyvät vain mittaamaan lämpötilaa. Asia ei ole kuitenkaan ongelma, koska yhdistelmäanturin käyttö ei muuttaisi ohjelmaa merkittävästi. Ainoastaan pitäisi löytää oikea kirjasto valitulle komponentille ja lisätä muutama vakio. Ohjelman muoto ei suuresti muuttuisi.

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
/*****
// Wire is plugged into pins 2,4,7 on Arduino
#define ONE_WIRE_BUS1 2
#define ONE_WIRE_BUS2 4
#define ONE_WIRE_BUS3 7
/*****
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS1);
OneWire oneWire1(ONE_WIRE_BUS2);
OneWire oneWire2(ONE_WIRE_BUS3);
/*****
DallasTemperature sensors(&oneWire);
DallasTemperature sensors1(&oneWire1);
DallasTemperature sensors2(&oneWire2);

/*****
void setup(void)
{
  Serial.begin(9600);
  sensors.begin();
  sensors1.begin();
  sensors2.begin();
}
void loop(void)
{
  // call sensors.requestTemperatures() to issue a global temperature
  // request to all devices on the bus
/*****
  Serial.print(" Requesting temperatures...");
  sensors.requestTemperatures(); // Send the command to get temperature readings
  sensors1.requestTemperatures();
  sensors2.requestTemperatures();
  Serial.println("DONE");
/*****
  Serial.print("Temperature is: ");
  Serial.println(sensors.getTempCByIndex(0));
  Serial.println(sensors1.getTempCByIndex(0));
  Serial.println(sensors2.getTempCByIndex(0));
  delay(1000);
}
```

Esimerkkikoodi 2. Ohjelma lämpötila-anturien hallintaan.

Esimerkkikoodissa 2 on käytetty digitaalista lämpötila-anturia. Oheisessa koodissa on kytkettynä kolme anturia. Tämän avulla pystytään tarkkailemaan laitteen lämpötilaa kolmesta eri pisteestä. Tämän lisäksi on vielä säätimen oma lämpötila-anturi, joka ei ole mitenkään yhteydessä Raspberry Pi:hin.

4.3.2 Arduinon ja Raspberry Pi:n yhdistäminen

Arduino ei itsessään riitä tämän projektin tarpeisiin, sillä se ei pysty siirtämään dataa suoraan internetin tai itsessään edes tiedostoon. Arduino vaatii tässä tapauksessa tietokoneen, jolla tarkkailla dataa. Arduinoon on kuitenkin mahdollista lisätä LCD-näyttö tai jopa kosketusnäyttö, jota voidaan käyttää käyttöliittymän hallintaan. Suunniteltuun PID-säätimeen oli tavoitteena lisätä LCD-näyttö, mutta koska itsetehdystä PID-säätimestä luovuttiin, olisi LCD-näyttö turhanpäiväinen. Kaapin lämpötilan ja kosteuden pystyy tarkistamaan säätimistä.

Projektin tarpeisiin riitti hyvin vain liittää Arduino Raspberry Pi:n USB-porttiin. Raspberry Pi:lle ladattiin Linux-versio Arduino IDE-ohjelmistosta ja koodi kirjoitettiin Arduinolle. Kun laitteet oli yhdistetty, annettiin Arduinolle osoite, johon kirjoittaa dataa.

4.3.3 Raspberry Pi:n datalokin ohjelmointi ja verkkokäyttöliittymä

Työssä oli tarkoituksena suunnitella verkossa toimiva, Raspberry Pi:lta hostattu verkkokäyttöliittymä. Työn aikana kuitenkin törmättiin hidasteisiin ja ongelmiin kehitystyön aikana. Lopulliseen projektiin saatiin tehtyä toimiva lämpötila-anturi sekä pohja-ohjelma, johon on helppoa liittää muita antureita. Ohjelmalle on saatu tehtyä *write-to-file* -funktio, jotta dataa voidaan tarkkailla, kuten kuvasta 6 on nähtävissä. Sitä ei vielä pysty tarkkailemaan etänä, mutta tutkimusta asiaan liittyen on tehty. Etänä toimiva dataloki on tärkeä osa projektia, mutta se ei ole kriittinen itse tuotteiden tuottamiseen. Sitä voidaan pitää tärkeänä ammattilaiselle, ei niinkään kotiolosuhteissa fermentointia harrastavalle. Ennen kuin etäinen hätäkatkaisin saadaan kehiteltyä, on etäinen datan tarkkailu hieman turhaa.

```
19:38:33.107 -> Reing temperatures...DONE
19:38:33.107 -> Temperature is: 25.12
19:38:33.107 -> 24.81
19:38:33.107 -> 25.00
19:38:34.817 -> Requesting temperatures...DONE
19:38:34.851 -> Temperature is: 25.12
19:38:34.894 -> 24.75
19:38:34.918 -> 25.00
19:41:04.954 -> Requesting temperatures...DONE
19:41:06.781 -> Temperature is: 24.87
19:41:06.818 -> 24.62
19:41:06.848 -> 24.81
```

Kuva 6. Näyte datalokin toiminnasta, aikaleima ja jokaisen lämpöanturin arvo.

4.4 Fermentointikaapin käyttö ja paloturvallisuus

Kaapin käyttö on pitkälti suoraviivaista. Halutut lämpötilat ja kosteudet määritetään Ink-bird-säätimiin ja annetaan niiden nousta haluttuihin tasoihin. Riippuen tuotteesta kosteudesta ei tarvitse välittää. Kun arvot ovat tasoittuneet haluttuun, voi tuotteet asettaa kaappiin ja joko jättää oven raolleen tai sulkea jos kyseessä on korkean lämpötilan tuote. Kuivurikäytössä puhaltimet pitää käynnistää kuivauksen ajaksi, jotta saadaan maksimaalinen kuivausteho.

Paloturvallisuuden varmistamiseksi on tarkistettava aina, ettei lämmityselementin tuuletusaukon päällä ole mitään. Toiseksi on katsottava kostuttimen sijainti, ettei vettä pääse kondensoitumaan herkkien osien päälle ja lopuksi ettei missään ole kuristuneita johtoja. Johdot voivat jäädä kaapin oveen puristuksiin, niiden tulee mennä niille tehdystä raosta, jottei puristumisen vaaraa ole. Fermentointikaappi on suunniteltu turvallisesti, mutta turhia turvallisuusriskejä ei tule ottaa. Pitkään 60°C asteessa pidetty lämmityselementti ei tarvitse ylimääräistä rasitusta.

Jos halutaan käyttää Raspberry Pi:n datalokia, kytketään Raspberry Pi:hin virta ja anturit sijoitetaan haluttuihin paikkoihin. Anturit tulee sijoittaa mahdollisimman eri puolelle kaappia, jotta keskiarvo on todellisuutta vastaava, ja mahdolliset kylmät pisteet paljastuvat. Tämän jälkeen tarkistetaan, että Raspberry Pi:lla on internet-yhteys ja käynnistetään dataloki. Myös on mahdollista avata Raspberry Pi:lla sijaitseva tiedosto, jonne dataa talletetaan myös, jos jostain syystä internetyhteyttä ei ole. Jos kaikki toimii hyvin voi tuotteen jättää hyvin mielin fermentoitumaan tapauskohtaisen aikataulun mukaisesti.

5 Kehitysmahdollisuudet

5.1 Kehitysmahdollisuudet

Fermentointikaappi ei ole vielä valmis. Siihen on mahdollista lisätä monia toimintoja, joita tähän projektiin ei saatu sisällytettyä. Ihanteellisia toimintoja olisivat hätäsammutus ja PID-säätimien etäinen säätäminen Raspberry Pi:n avulla. Olisi hyvin käytännöllistä pysyä säätämän laitetta etäisesti, jos dataloki kertoo, että tuotteen lämpötila on tippunut

haluttujen arvojen alapuolelle yli kahdella asteella. Vaikka tätä ei todennäköisesti tarvitsisi koskaan tehdä on sen mahdollistaminen hyvin hyödyllinen lisäominaisuus. Samoin myös hätäsammutus olisi kätevää, jos yllättäen lämmityselementti alkaa kuumentua odottamattomasti. Näillä lisätoiminnoilla saataisiin helposti lisättyä turvallisuutta.

Automaattiset ohjelmat eri tuotteille ovat myös hyviä kehityskohteita. Tavoitteena olisi ohjelmoida kuusi erilaista ohjelmaa:

1. Maitohappokäyminen ja kombucha: lämpötila 28°C, ilmankosteus 40, ei puhallusta
2. Idätysinkubaattori: lämpötila 26°C, ilmankosteus 65 – 70%, puhallus.
3. A. Luchuensis-koji: lämpötila 28°C, ilmankosteus 70 – 75%, puhallus.
4. A. Oryzae-koji: lämpötila 30°C, ilmankosteus 70 – 75%, puhallus.
5. Garum ja pyrolyysit: lämpötila 60°C, ei kostutinta, puhallus.
6. Kuivuri: lämpötila 60°C, ei kostutinta, 2 puhallinta

Automaattiset ohjelmat helpottaisivat laitteen käyttöä ja ne eliminoisivat mahdolliset huolimattomuusvirheet. Toki laitetta pystyisi edelleen käyttämään manuaalisäädöllä, mutta näin saadaan jälleen yksi muuttuja pelistä pois. Näiden parannussuunnitelmien tekeminen tullaan toteuttamaan pikkuhiljaa ajan myötä. Ne vaativat Inkbird:in purkamista ja uudelleenohjelmointia, mahdollisesti myös piirien muokkausta, jotta ne saadaan yhdistettyä Raspberry Pi:hin. Teoriassa tämä on kuitenkin täysin mahdollista. Hätäkatkaisin on todennäköisesti ensimmäinen lisäosa, joka laitteeseen liitetään.

Tavoitteena olisi myös yhdistää pieni jäähdytinelementti, jolla lämpötiloja saataisiin alennettua 12 – 18°C:seen. Näillä saataisiin aikaan hyviä tuloksia leivän ja alkoholin fermentoinnissa. Tähän projektiin ei tätä valittu, koska jäähdytys on jo hyvin paljon kalliimpaa resurssimielessä. Edullisia ja PID:llä toimivia jäähdyttimiä on vaikea löytää. Hyvän osan

osuessa silmään sen lisääminen on kuitenkin helppoa. Inkbird PID-lämpösäätimet tukevat myös jäädytystä aina -50°C asteeseen. Tällöin pitäisi myös lisätä automaattiohjelmiä.

Luvussa 4.3 mainittiin myös mahdollisuus suuremman fermentointitilan suunnittelusta. Tämän projektin aikana opitut asiat liittyen Raspberry Pi:hin ja PID-säätimien toiminnasta antavat hyvät eväät, joilla kehitellä suurempaa ja omiin tarpeisiin muotoiltua laitetta.

On siis selvää, että tässä insinööriyössä esitelty laite on hyvin monipuolinen käyttötarkoituksissaan ja kehitysmahdollisuuksissa. Muutamilla lisäosilla ja muutoksilla pystyy laitetta käyttämään hyvinkin monella tavalla, jota tässä työssä ei ole edes käsitelty.

6 Yhteenveto

Opinnäytetyön yhteydessä opeteltiin monia eri asioita. Työ vaati syventymistä PID:n periaatteisiin ja toimintaan. Työstä saatiin nykyelektroniikkaan paremmin soveltuva käyttämällä Raspberry Pi:ta. Sen käytöllä saatiin projektiin ohjelmointia ja erilaisten ratkaisujen tutkimista. Vaikkei projektin lopputulokseen tämän työn osalta tullut suurta määrää toimintoja, saatiin tässä työssä kehitettyä vahva pohja, jolle rakentaa tulevaisuudessa.

Tämän raportin avulla on kenelle tahansa mahdollista rakentaa toimiva fermentointikaappi, jolla voi tehdä niin kylmällä tehtäviä tuotteita kuin myös lämpöä ja kosteutta vaativia projekteja. Luvussa 3 syvällisesti käyty fermentoinnin käytännöt ja riskit antavat myös ohjeistusta tuotteiden tekoon ja niiden turvallisuuden varmistamiseen. Luvusta saa myös idean fermentoinnin tieteestä, koska eihän insinöörille ei koskaan riitä vain arvailuun ja aavistuksiin perustava tieto.

Fermentointikaappi voi tuntua alkuun oudolta aiheelta insinööriyöksi, mutta siihen syventymällä löytyy paljon ilmiöitä, joita tutkia, esimerkiksi PID:n teoria, ohjelmointi, langattomat mahdollisuudet, laitesuunnittelu, virranmuuntaminen ja fermentoinnin biologia. Tässä työssä käsitellään hyvin vähän itse PID:n elektronista sisältöä, suurempi painotus annetaan hyvän funktion ohjelmointiin ja sulavalle hallinnalle sekä itse rakennusproses-

sille ja biologisille ilmiöille. On kuitenkin selvää, ettei laite toimi ilman hyvää laitesuunnittelua. Hyvän PID:n kokonaisvaltainen suunnittelu riittäisi hyvinkin laajaksi projektiksi. Tätä tutkimustyötä tullaan jatkamaan tulevaisuudessa, kun resursseja ja osaamista kertyy lisää. Todennäköiseksi malliksi otetaan aiemmin mainittu BrewPi.

Lähteet

- 1 Adams, Jefferson. 2018. Could Sourdough Bread Help Conquer Wheat Sensitivity? Verkkoaineisto <https://www.celiac.com/articles.html/celiac-disease-gluten-intolerance-research/could-sourdough-bread-help-conquer-wheat-sensitivity-r4451/>. Luettu 10.4.2019
- 2 Jabr Ferris. 2017. Do Probiotics Really Work? Verkkoaineisto. <https://www.scientificamerican.com/article/do-probiotics-really-work/>. Luettu 10.4.2019
- 3 De Witte, Melissa. 2018. An ancient thirst for beer may have inspired agriculture, Stanford archaeologists say. Verkkoaineisto. <https://news.stanford.edu/press-releases/2018/09/12/crafting-beer-lerreal-cultivation/>. Luettu 10.4.2019
- 4 The earliest alcoholic beverage in the world. 2005. Verkkoaineisto. <https://www.penn.museum/research/projects-researchers/asian-section/112-the-earliest-alcoholic-beverage-in-the-world>. Luettu 13.5.2019
- 5 Nilsson, Magnus. 2015. The Nordic Cookbook. New York, Phaidon Press
- 6 Redzepi, René, Zilber, David. 2018. The Noma Guide to Fermentation. New York, Artisan Book.
- 7 Newman, Tim. 2019. How do penicillins work? Verkkoaineisto. <https://www.medicalnewstoday.com/articles/216798.php>. Luettu 13.5.2019.
- 8 McGee, Harold. 1984, 2004. On Food and Cooking: The Science and Lore of the Kitchen. New York, Scribner.
- 9 Ministero delle politiche Agricole e forestali. 2000. Disciplinare di produzione della denominazione di origine protetta "Acetato balsamico tradizionale di Modena". Bologna, Ministero delle politiche Agricole e forestali
- 10 Mikell, Meredith. 2018. Alcohol Fermentation: Definition, Equation and Process. Verkkoaineisto. <https://study.com/academy/lesson/alcohol-fermentation-definition-equation-process.html>. Luettu 13.5.2019
- 11 Philliskirk, George. 2019. Autolysis. Verkkoaineisto. <https://beerandbrewing.com/dictionary/DQXAk4DwuE/>. Luettu 12.4.2019.
- 12 McSweeney, P.L.H. 2004. Biochemistry of Cheese Ripening: Introduction and Overview. Verkkoaineisto. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1874558X04800733>. Luettu 8.4.2019.

- 13 Botulism. 2018. Verkkoaineisto. <https://www.cdc.gov/botulism/symptoms.html>. Luettu 23.4.2019
- 14 Evira. 2006. Verkkoaineisto. <https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/elintarvike-ala/elintarvikealan-yhteiset-vaatimukset/omavalvonta/omavalvonnan-periaatteet/haccp/>. Luettu 13.4.2019.
- 15 PID-Control. 2004. Verkkoaineisto. https://www.cds.caltech.edu/~murray/courses/cds101/fa04/caltech/am04_ch8-3nov04.pdf. Luettu 9.4.2019
- 16 Visioli, Antonio. 2006. Practical PID control. London, Springer.
- 17 Åström, Karl Johan, Murray, Richard. 2009. Feedback Systems. New Jersey, Princeton Press
- 18 National Instruments. 2019. Verkkoaineisto. <http://www.ni.com/fi-fi/innovations/white-papers/06/pid-theory-explained.html>. Luettu 12.4.2019
- 19 IPCOS. 2019. Verkkoaineisto. <https://ipcos.com/products/>. Luettu 14.4.2019
- 20 Python is becoming the world's most popular coding language. 2018. Verkkoaineisto. <https://www.economist.com/graphic-detail/2018/07/26/python-is-becoming-the-worlds-most-popular-coding-language>. Luettu 8.4.2019.
- 21 Elco Jacobs. 2015. Fridge Hacking Guide. Verkkoaineisto. <https://www.brewpi.com/fridge-hacking-guide/>. Luettu 12.4.2019
- 22 Martin O'Hanlon. Going Straight with PID. Verkkoaineisto. <https://projects.raspberrypi.org/en/projects/robotPID>. Luettu 5.4.2019
- 23 Metos. 2018. Gastronorm dimensioning indicates the size of the GN containers. Verkkoaineisto. <https://www.metos.fi/page.asp?pageid=7,2&languageid=FI>. Luettu 7.4.2019
- 24 Gupta Nikita, 2018. Humidity Sensor: Basics, Usage, Parameters and Applications. Verkkoaineisto. <https://electronicsforu.com/resources/electronics-components/humidity-sensor-basic-usage-parameter>. Luettu 14.4.2019
- 25 Elco Jacobs, 2019. Brewpi/firmware. Verkkoaineisto. <https://github.com/BrewPi/firmware>. Luettu 27.4.2019

Fermentointikammion rakentaminen vaiheittain

Osat:

Aloita valitsemalla sinun tarpeisiisi sopiva runko. Runkona voi toimia jääkaappi, pakastin, kylmälaukku tai puinen kaappi. Riippuen valinnasta täytyy miettiä erityistä. Eniten työtä vaatii puinen kaappi, mutta jos kaappi on tehty seetristä, on ylimääräinen työ sen arvoinen. Seetri on antimikrobiaalinen ja edesauttaa kojien teossa, koska muut homeet ja bakteerit eivät tule toimeen seetripitoisessa ympäristössä.

Seuraavaksi tulee mitata kaapin syvyys, korkeus ja pituus. Näiden pohjalta on helppoa valita sopiva lämmityselementti. Kylmälaukkuun on järkevä käyttää lämpömattoa. Lämmityselementtiä valitessa on suositeltavaa ostaa lämmityselementti, jossa on jo valmiiksi puhallin sisäänrakennettuna.



Kuva 1. Lämmityselementti.

Kostutinta valittaessa on parasta ostaa mahdollisimman yksinkertainen ja pieni kostutin. Jos on ajastamia tai muita lisätoimintoja, niin on mahdollista, että PID-säädin ei pysty käynnistämään kostutinta. Halvin ja yksinkertaisin on tässä tapauksessa paras.



Kuva 2. Projektissa käytetty kostutin.

PID-säätimiä valitessa voi miettiä itse mitä haluaa, mutta Inkbird:n kosteus- ja lämpötilansäätimet ovat täysin riittäviä. Ne ovat helppokäyttöisiä ja pitävät lämpötilan ja kosteuden hyvin hallinnassa.



Kuva 3. Inkbird:n lämpö- ja kosteussäätimet.

Rakentaminen:

Jääkaappia tai pakastinta käytettäessä poraa pienet reiät kaapin kattoon ja täytä ne eristävällä huokoisella materiaalilla. Ylimääräinen kosteus pääsee näiden kautta poistumaan kaapista nopeasti. Puukaapin kanssa kosteuden kondensaatio ei ole ongelma. Sen sijaan puukaapin kanssa tulee ovet eristää mahdollisimman hyvin. Tarkista etteivät sähköjohdot kuristu ovien väliin, kun kaappi on kiinni.

Poraa reiät kaappiin, johon ripustaa Inkbird:t ja kosteusanturi. Pidä mielessä, minne sijoitat kostuttimen, jottei kosteusanturi ole aivan höyrylähteen päällä.



Kuva 4. Prototyypimalli kaapista, tässä asennettuna puukaappiin.

Niputa johdot järkevästi ja tarkista etteivät ne ole aivan lämpöelementissä kiinni. Sijoita kaappiin tuet, joilla GN-astiat tai pellit voivat levätä, kun kaappia käytetään. Sijoita kaapin sisälle datalokin anturiosa, jos käytössä, ja kytke laite päälle.