



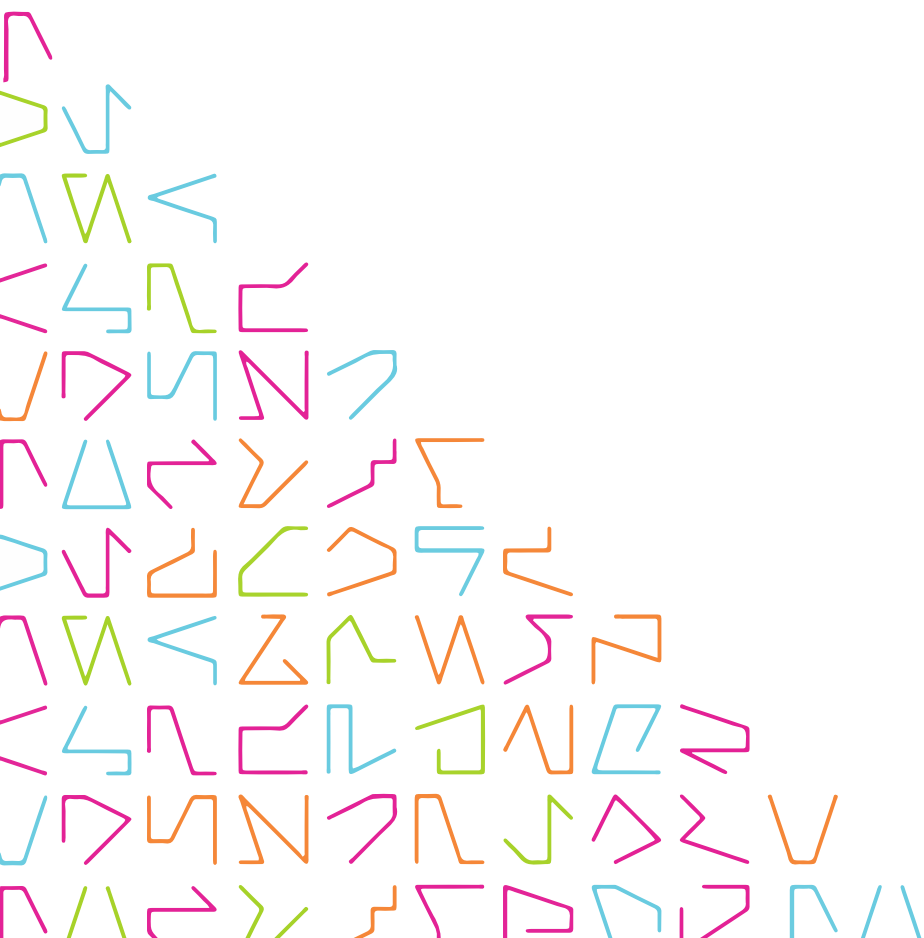
TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

PANOKONE

Viirteen valmistuksen automatisointi

Karri Raatikainen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2016
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Automaatiotekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Automaatiotekniikka

RAATIKAINEN, KARRI:

Panokone
Vierteen valmistuksen automatisointi

Opinnäytetyö 71 sivua, joista liitteitä 9 sivua
Huhtikuu 2016

Tässä opinnäytetyössä esitellään kotipanimon automatisointi. Työssä suunnitellaan ja toteutetaan edullinen järjestelmä, joka automaattisesti käyttäjän asettamien parametrien mukaan suorittaa vierteen valmistuksen eli mäskäyksen, vierteen keiton ja vierteen jäädytyksen.

Työ käsittelee yksityiskohtaisesti ja kattavasti tyypillisen prosessiautomaatiojärjestelmän elinkaaren: automatisoinnin määrittelyn, suunnittelun, toteutuksen (ohjelmoinnin) sekä testauksen ja kelpuutuksen. Työssä kerrotaan lisäksi lyhyesti oluen valmistuksen teoriasta ja Arduino-piirialustan ohjelmoinnista.

Tuloksena syntyi yllä asetetut ehdot täyttävä panimoautomatisointi. Automatisointi onnistui pienellä budjetilla ja järjestelmälle suoritettujen testien tuloksissa todettiin, että vierteen valmistus onnistui vähintään yhtä hyvin kuin kotipanimomestarin käsityönä tekemänä. Automatisointi tehosti lisäksi kotipanimon toimintaa nopeuttamalla hieman vierteen valmistusta.

Kun työn painopiste oli automatisoinnin toteutuksessa, jätettiin panoksen koko tarkoituksella varsin pieneksi. Opinnäytetyön ulkopuolelle jäikin Panokoneen elinkaaren seuraava vaihe eli laitteiston laajennus.

Asiasanat: panimoautomatisointi, automaatio suunnittelu, arduino, panokone, olut

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering
Option of Automation Engineering

RAATIKAINEN, KARRI
Panokone
Automation of the wort manufacturing

Bachelor's thesis 71 pages, appendices 9 pages
April 2016

The subject of this thesis was to automate home brewery. The objective of the thesis was to design and build inexpensive system which automates manufacturing of wort as per the recipe set by user. Manufacturing include mashing, boiling the hop and cooling the temperature of wort.

In this thesis a typical life cycle of automation system was discussed. It starts from the definition of automation and progress to planning, programming, testing and accepting it. Thesis also discusses a bit about theory of wort making and basics of programming with Arduino.

The automated brewery filled all terms. The automation succeeded with small budget and test shows that system make the wort in the same way as a brewer does it manually. The Automation will also accelerate home brewery's operation by speeding up wort making.

Once the focus was in automation, stayed batch size quite small. Therefore, the future development of automated brewery concentrate for example in the extension of the automated home brewery.

Key words: brewery automation, automation engineering, arduino, panokone, beer

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	AUTOMAATIO SUUNNITTELUN ELINKAARIMALLI.....	8
3	VIERTEENVALMISTUKSEN TEORIA.....	9
	3.1 Maltaiden rouhinta ja mäskäys	9
	3.2 Mäskin siivilöinti	12
	3.3 Vierteen keitto, suodatus ja jäähditys	12
4	AUTOMATISOINNIN MÄÄRITTELY	14
	4.1 Reseptiparametrit	15
	4.2 Valmistussekvenssi	16
	4.3 Laitevaatimukset	19
5	SUUNNITTELUVAIHE.....	21
	5.1 Panoksen koko ja ohjauksen toteutus	21
	5.2 Laitevalinnat	23
	5.2.1 Venttiilit ja pumput	23
	5.2.2 Lämpötila-anturit ja virtausmittari	26
	5.2.3 Keittolevyt ja lämmityselementti	28
	5.3 Valvomo.....	32
	5.4 Sähkösuunnittelu.....	33
	5.5 Elektroniset kytkennät	35
	5.5.1 Ohjauksen elektroniset kytkennät	35
	5.5.2 Valvomon elektroniset kytkennät	38
	5.6 Kuivakäyntisuoja	41
6	TOTEUTUSVAIHE.....	44
	6.1 Lämpötilan säätö ja virtauksen mittaaminen	45
	6.2 Kuivakäyntisuoja	49
	6.3 MCP23017-laajennuspiiri	52
	6.4 Peukalokytkin	53
	6.5 EEPROM	56
7	TESTAUKSET JA KELPUUTUS.....	58
8	POHDINTA.....	60
	LÄHTEET	61
	LIITTEET	63
	Liite 1. Valmistussekvenssi.....	63
	Liite 2. Arduino Mega 2560:n tekniset tiedot	64
	Liite 3. PI-kaavio.....	65
	Liite 4. Valvomon layout-piirustus	66

Liite 5. Kotelon sisäiset kytkennät	67
Liite 6. Kotelon layout-piirustus	68
Liite 7. MCP23017-laajennuspiirin nastojen nimet ja niiden tarkoitus.....	69
Liite 8. Testireseptin perusresepti.....	70
Liite 9. Laite- ja komponenttierittely	71

ERITYISSANASTO

Hakkuriteholähde	Jännitemuunnin, joka tyypistä riippuen vaikuttaa taajuuteen tai/ja jännitteen suuruuteen. Verkkovirran tasajännitteeksi muuntava hakkuriteholähde alentaa jännitetasoa ja muuntaa vaihtojännitteen tasajännitteeksi tasasuuntauksella.
Kaksiasentosäätö	Säätö, jossa ohjauksella on vain kaksi arvo: päällä ja pois päältä. Ohjaus on päällä, kun mittausarvo on pienempi kuin asetusarvo ja pois päältä kun mittausarvo ylittää asetusarvon.
Kantavierreväkevyys	Oluen valmistukseen liittyvä suure, jolla ilmoitetaan vierteen sokeripitoisuus ennen käymistä. Kantavierreväkevyys ilmoitetaan ominaispainona, jolloin verrataan vierteen suhteellista tiheyttä veden tiheyteen.
Keskipakopumppu	Pumppu, jossa nopeasti pyörivä siipiras pakottaa nesteen pakenemaan ulos pumpun painepuolelta. Korvaava neste saadaan pumpun imupuolelta.
Magneettiventtiili	Venttiilin sisällä olevaan kelaan johdettu sähkövirta synnyttää magneetikentän, jonka synnyttämän voiman seurauksena venttiili avautuu. Venttiili sulkeutuu esimerkiksi jousen avustamana, kun käyttöjännite katoaa.
OG	Original Gravity. Englanninkielinen nimitys kantavierreväkevyydelle.
Pulssinleveysmodulaatio	Pulssinleveysmodulaation (PWM) avulla pilkotaan tasajännitteestä eripituisia ja levyisiä pulsseja. Pulssisuhdetta muuntamalla tasajännitteestä saadaan siniaaltoja muistuttava syöttöjännite.

1 JOHDANTO

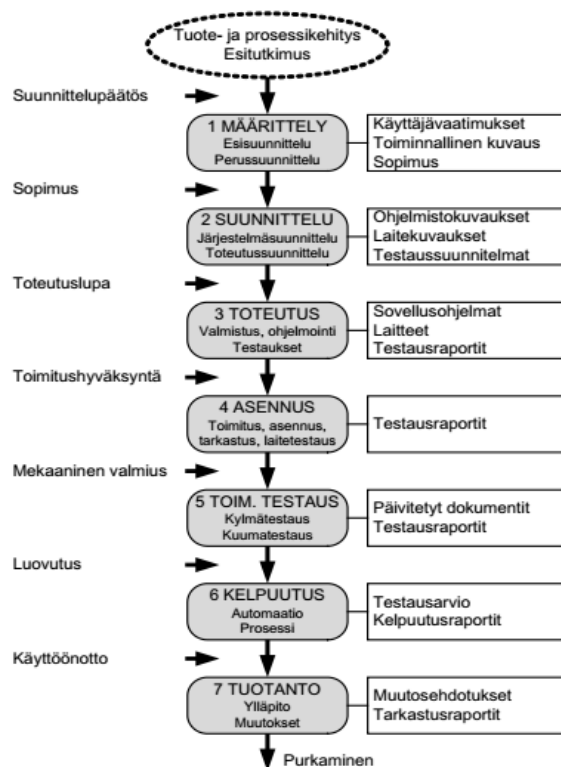
Oluen ja viinin kotivalmistus oli suosittu harrastus 1990-luvun lamavuosien jälkeen ja on ollut erityisesti kotipanimotoiminnan osalta uudessa nousussa viime vuosien aikana. Yhtälailla halpojen ja helposti ohjelmoitavien mikrokontrollerien yleistymisen ja helppo saatavuus on kasvattanut elektronisten laitteiden rakennukseen perehtyneiden harrastajakuntaa. Laiterakennukseen ja oluenvalmistukseen erikoistuneilta verkkosivuilta ja foorumeilta löytyykin paljon esimerkkejä, joissa kotipanimotoimintaan on yhdistetty automaatiikkaa. Yleensä esimerkit kotipanimon ja automatiikan yhdistävistä järjestelmistä keskittyvät esimerkiksi mäsäyksen ohjaamiseen. Järjestelmiä, jotka suorittavat useampia välivaiheita ei löydy yhtä laajalti muuten kuin olutharrastajille suunnattuina kaupallisina sovelluksina.

Tässä opinnäytetyössä tavoitteena onkin esitellä eräs toteutustapa kotipanimon automatisoinnille. Opinnäytetyössä oluen valmistuksen automatisointi rajataan vierteen valmistukseen. Toisin sanoen automatisoitavana on mäsäys, vierteen keitto ja vierteen jäähdytys. Tavoitteena on toteuttaa vierteen valmistuksen automatisointi mahdollisimman edullisesti, mutta kuitenkin niin, että vierteen valmistuksen asettamat ehdot täyttyvät.

Toinen työn tavoite on esitellä vierteen valmistuksen automatisointi automaatio suunnittelun elinkaarimallin kautta, jossa edetään automatisoinnin määrittelyn kautta suunnitteluun, toteutukseen (ohjelmointiin) ja lopuksi testaukseen sekä järjestelmän kelpuutukseen. Lisäksi opinnäytetyö kertoo lyhyesti vierteen valmistuksen teoriasta ja Arduinon ohjelmoinnista.

2 AUTOMAATIOSUUNNITTELUN ELINKAARIMALLI

Automaatiosuunnittelun etenemistä voidaan kuvata niin sanotulla elinkaarimallilla (kuvio 1). Elinkaarimallissa automaatiosuunnittelu alkaa järjestelmän vaatimusten ja toimintojen määrittelystä. Määrittely jakautuu edelleen esi- ja perussuunnitteluun. Esisuunnittelussa arvioidaan esimerkiksi automatisoinnin toteutukset kustannukset ja laaditaan alustava kelpuutus suunnitelma. Perussuunnittelussa kuvataan automaatiojärjestelmän toiminnot tarkempaa suunnittelua ja toteutusta varten. Varsinaisessa suunnitteluvaiheessa määrittelyssä esitettyjä vaatimuksia ja toimintoja tarkennetaan edelleen. Suunnittelun päätavoitteena on saada toteutuslupa järjestelmälle. Toteutusvaiheessa automaatiojärjestelmä testataan (FAT-testi) ja asennusvaiheessa testit läpäissyt automaatiojärjestelmä asennetaan asennuspaikalle. Asennettu järjestelmä testataan toiminnallisessa testausvaiheessa eli suoritetaan kylmä- ja kuumetestaukset. Testeillä todetaan, että järjestelmä vastaa annettua kuvausta. Kelpuutusvaiheessa järjestelmä todetaan toimivaksi. (Automaatiosuunnittelun prosessimalli 2007, 16-17.)



KUVIO 1. Automaatiosuunnittelun elinkaarimalli (Automaatiosuunnittelun prosessimalli 2007, 16).

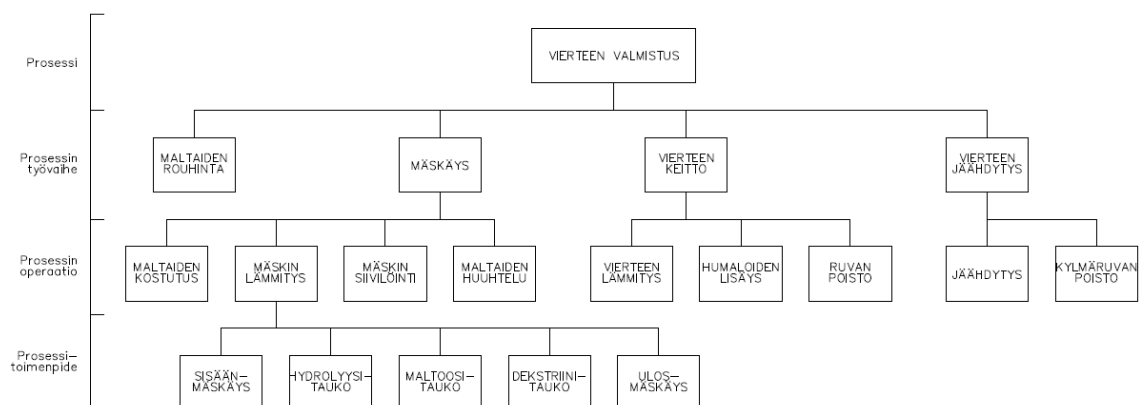
3 VIERTEENVALMISTUKSEN TEORIA

Oluen valmistus tähtää samalla tavalla kuin muidenkin alkoholipitoisten juomien valmistus sokeripitoisen nesteen muuttamiseen alkoholipitoiseksi käymisteitse. Ennen käymisen aloittamista oluentekoprosessissa on kuitenkin suoritettava niin sanottu vierteen valmistus vedestä, maltaista ja humalasta.

Kaiken kaikkiaan vierteen valmistaminen sisältää seuraavat työvaiheet:

- maltaiden rouhinta
- mäsikäys
- vierteen keitto
- vierteen jäähditys.

Tarkempi katsaus vierteen valmistuksen työvaiheisiin sekä niiden sisäisiin operaatioihin ja toimenpiteisiin on annettu prosessimallissa (kuvio 2).



KUVIO 2. Vierteen valmistuksen prosessimalli.

3.1 Maltaiden rouhinta ja mäsikäys

Oluen valmistuksessa käytetään sokerin lähteenä pääasiassa idätetystä ohrasta saatavaa mallassokeria, jota uutetaan maltaista veteen mäsikäyksen aikana. Ennen mäsikäystä idätetyt olutmaltaat rouhitaan, jotta tärkkelyksen uuttaminen onnistuu mahdollisimman tehokkaasti (Pihkala 1998, 46).

Mäskäys on oluenpanijan termi kuumalla vedellä suoritettavalle liuotusprosessille, joka kostuttaa ohran, aktivoi maltaan entsyymit ja muuntaa viljan tärkkelyksen käymiseen sopivaksi (Palmer 2006, 166)¹. Mäskäys on oluenvalmistuksen herkin vaihe. Mäskäyksessä rouhitun maltaan entsyymeille annetaan mahdollisimman suotuisat olosuhteet liukenevattomien yhdisteiden, kuten tärkkelyksen ja proteiinien, muuttamiseksi liukoiseen muotoon (Pihkala 1998, 47). Kukin entsyymiryhmistä suosii eri lämpötilaa ja pH-arvoa (Palmer 2006, 166)². Toisin sanoen, mäskäyksen lämpötilan (ja pH:n) muuttaminen aktivoi entsyymien ominaisuuksia ja vaikuttaa näin mäskäyksen lopputulokseen. Alla on esitetty kunkin entsyymiryhmän suosimat toimintalämpötilat eli niin sanotut entsyymitauot (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Mäskäyksen aikana hyödynnettäviä entsyymitaukoja ja niiden toiminnalle optimeja lämpötila-alueita (Enari & Mäkinen 1983, 85).

Entsyymitauot	Toimintalämpötila
Beta-glukanaasi	30 °C
Hapan proteinaasi ja karboksipeptidaasi	50 – 55 °C
Beta-amylaasi	62 – 65 °C
Alfa-amylaasi	72 – 75 °C

Yllä esitetyillä tauoilla on kullakin omat ominaisuutensa, jotka vaikuttavat vierteentekojä käymisprosessin onnistumiseen. Beta-glukanaasi- eli sisäänmäskäystauolla helpotetaan myöhempää mäskin siivilöintiä (Salakari & Salakari 1996, 134). Sisäänmäskäyksen kesto on välillä 0-45 min.

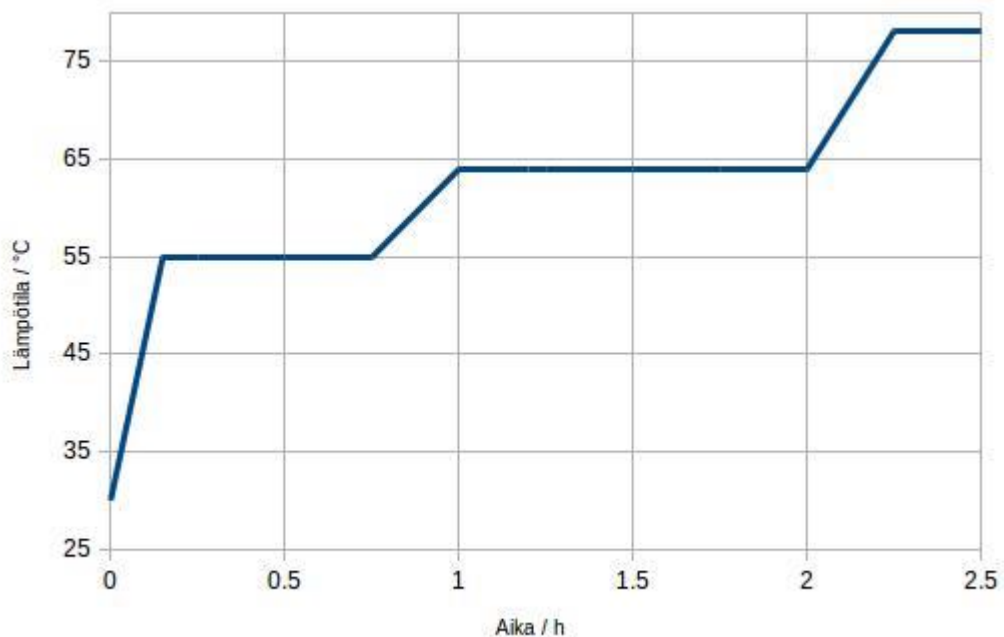
Hydrolyysitauon aikana lämpötila pidetään noin 50-55 °C, jolloin entsyymeistä aktivoituvat hapan proteinaasi ja karboksipeptidaasi. Tämän 15-50 minuuttia kestävä tauon aikana maltaista vapautuu valkuaisaineita, jotka vaikuttavat oluen kirkkauteen ja edistävät hiivan toimintaa. (Halmetoja 1996, 42; Enari & Mäkinen 1983, 85; Salakari & Salakari 1996, 134.)

¹ “Mashing is the brewer's term for the hot water steeping process which hydrates the barley, activates the malt enzymes, and converts the grain starches into fermentable sugars” (Palmer 2006, 166).

² “Each of these enzyme groups is favored by different temperature and pH conditions” (Palmer 2006, 166).

Maltoositauko on ensimmäinen kahdesta sokeroitumistauosta, jolloin Beta-amylaasi -entsyymi aktivoituu ja mallassokeri eli maltoosi liukenee maltaista nesteeseen. Riippuen pantavasta oluesta, maltoositauon pituus vaihtelee 0-120 minuutin välillä. Toisen sokeroitumistauon, dekstriinitauon, pituuteen vaikuttaa edellisen sokeroitumistauon pituus; Ylemmässä sokeroitumislämmössä (72-75 °C) voidaan viettää 0-150 min riippuen kuinka pitkä maltoositauko on pidetty. Toisin sanoen maltoositauko voidaan tarvittaessa ohittaa ja siirtyä suoraan dekstriinitauolle, ja pidettäessä pitkä maltoositauko toinen sokeroitumistauko voidaan jättää tekemättä. (Halmetoja 1996, 42-43; Enari & Mäkinen 1983, 87.)

Oluenvalmistaja käyttää olutreseptistä riippuen pääasiassa kahta eri mäsikäysmenetelmää: vaiheittaista infuusiomäsikäystä tai mäsikäystä vakiolämpötilassa (Halmetoja 1996, 43). Menetelmät eroavat siinä, miten edellä esitettyjä taukoja hyödynnetään. Infuusiomäsikäyksessä lämpötilaa nostetaan portaittain taukojen mukaisesti (kuvio 3) (Halmetoja 1996, 44-45). Vaihtoehtoisesti mäsikäys voidaan suorittaa vakiolämpötilassa (esimerkiksi 65-68 °C), jolloin maltaat lisätään lämmitettyyn veteen ja pidetään siinä tunnista kolmeen riippuen pantavasta oluesta (Halmetoja 1996, 44; Palmer 2006, 196).



KUVIO 3. Esimerkki infuusiomäsikäyksen etenemisestä.

3.2 Mäskän siivilöinti

Mäskäyksen jälkeen sokeripitoinen neste eli vierre erotetaan jäljelle jääneestä liukene-mattomasta aineksesta siivilöimällä. Palmerin (2006, 197) mukaan siivilöintiprosessi voi-daan jakaa kolmeen vaiheeseen: ulosmäskäykseen, vierteen kierrätykseen ja huuhteluun.

Mäskäyksen jälkeen suoritetaan ensimmäisenä ulosmäskäys eli lämpötila nostetaan 78 °C muutamaksi minuutiksi, jolloin entsyymien toiminta lakkaa ja sokeripitoinen aines juoksettuu (Halmetoja 1996, 45; Palmer 2006, 198). Vaikka kierrätyksen ja suodatuksen suorittamiseen vaikuttaa paljon käytössä olevat välineet, varsinainen nesteen erottaminen tapahtuu maltaista muodostuvaa mallaspatjaa hyödyntäen (Salakari & Salakari, 1996, 134).

Vierteen kierrätyksen tarkoituksena on erottaa vierteeseen jäänyt kiintoaine. Lämmin vierre kierrätetään useaan otteeseen mallaspatjan läpi kunnes se kirkastuu. Kirkastunut vierre ohjataan vierrekattilaan. Huuhtelussa mallaspatjan läpi ohjataan 78 °C siivilöinti-vesi. Tarkoituksena on tyhjentää mallaspatja mahdollisimman hyvin sokeripitoisesta ai-neksesta. Huuhtelun jälkeen siivilöintivesi yhdistetään vierteeseen vierrekattilassa. (Palmer 2006, 198-199.)

3.3 Vierteen keitto, suodatus ja jäähdytys

Keittämisen aikana vierre steriloituu, se humaloidaan ja saostuva sakka eli rupa muodos-tuu. Vierteen keittäminen aiheuttaa proteiini-polyfenoli -kompleksien saostumisen. Tämä havaitaan vierteen pinnalle muodostuvana vaahtona, joka on syytä poistaa, jotta olut saa-daan kirkastumaan. Saostuminen on voimakasta erityisesti keittämisen alkuvaiheessa. (Enari & Mäkinen 1983, 108-110; Salakari & Salakari, 1996, 134; Pihkala 1998, 48.)

Humaloinnilla puolestaan haetaan lisää makua ja parempaa säilyvyyttä. Humalointi mää-rää, kuinka kauan keittäminen kestää; vierre kiehuu yhtäjaksoisesti tunnista pariin huma-lointiohjelmasta riippuen. Säilyvyys paranee osaltaan myös siksi, että vierteen kiehuessa ei-toivotut bakteerit tuhoutuvat. (Salakari & Salakari 1996, 134; Pihkala 1998, 48.)

Humalointiohjelman jälkeen jäljelle jäänyt rupa ja humalat erotetaan vierteestä. Kiintoaineen erottamisen lisäksi vierre pyritään jäähdyttämään mahdollisimman nopeasti käymislämpötilaan ($<25\text{ °C}$), jotta vältetään vierteen pilaantuminen ei-toivottujen bakteerien toimesta. Jäähdytyksen seurauksena vierteeseen saostuu niin sanottu kylmärupa, joka poistetaan ennen vierteen siirtämistä käymisastiaan. Käymisastiassa vierteeseen lisätään hiiva ja alkoholikäyminen alkaa. (Enari & Mäkinen 1983, 110; Salakari & Salakari, 1996, 134.)

4 AUTOMATISOINNIN MÄÄRITTELY

Koti- ja pienpanimotoiminnassa oluen valmistus on luoteeltaan panosmaista. Oluen valmistuksella on siis alku- ja loppupiste, joiden välissä valmistuserä eli panos valmistuu. Panosprosessia voidaan kuvata niin sanotulla reseptillä, joka kertoo panoksen valmistuksen vaatimukset. (ANSI/ISA-88.01-1995, 35)

Resepti voidaan jakaa neljään eri tasoon: yleis-, laitos-, perus- ja ajoreseptiin. Yleisresepti toimii perustana muille resepteille ja kertoo prosessiin vaadittavat raaka-aineet, niiden määrät sekä niille tehtävät toimenpiteet, mutta ei prosessin toteutukseen tai raaka-aineiden käsittelyyn vaadittavia laitteita. Laitosreseptissä yhdistyy yleisreseptin informaation laitoksen tietoihin. Laitosresepti kertoo yleisreseptin tietojen lisäksi muun muassa tuotantolaitoksen olosuhteista ja tuotannon aikataulusta. Yleis- ja laitosreseptistä poiketen perus- ja ajoresepti puuttuvat tuotannossa tarvittaviin laitteisiin. Laitosreseptin alle voidaan luoda useita perusreseptejä, joissa annetaan tiedot, joiden avulla haluttu tuote kyetään valmistaa. Perusresepti (master recipe) on välttämätön, koska ilman sitä ei panoksen valmistus ole mahdollista. Ajoresepti tarkentaa edelleen perusreseptiä eli se sisältää kaikki panoksen valmistukseen liittyvät tiedot laitteita ja parametreja myöten. (ANSI/ISA-88.01-1995, 35-38.)

Reseptit sisältävät muun muassa seuraavat osat:

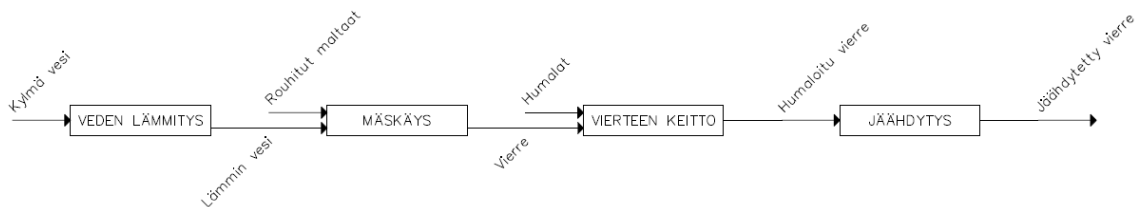
- reseptiparametrit
- valmistussekvenssi
- laitevaatimukset (ANSI/ISA-88.01-1995, 38-39).

Yllä esitettyjä reseptin osien ja edellisessä luvussa esitetyn oluen valmistuksen välivaiheiden pohjalta määritettiin rakennettavan panimoautomatisoinnin yksityiskohdat.

4.1 Reseptiparametrit

Reseptiparametreilla viitataan prosessin tuloihin ja lähtöihin sekä prosessin parametreihin. Tuloilla tarkoitetaan prosessiin tuotavia raaka-aineita ja lähdöt ovat reseptin lopputuloksena saatavaan tuotteeseen viittaavia suureita. Prosessin parametrit ovat puolestaan prosessisuureiden asetusarvoja. (Laitinen & Kuikka 2008, 49.)

Jos maltaiden rouhinta suljetaan automatisoitavan prosessin ulkopuolella, vierteen valmistus voidaan jakaa neljään yksikköprosessiin: raakaveden lämmitykseen, mäsikäykseen, vierteen keittoon sekä vierteen jäädytykseen (kuvio 4). Lohkokaavio esittää automatisoitavan järjestelmän yleisreseptin tasolla.



KUVIO 4. Vierteen valmistus esitettynä lohkokaaviona.

Tulot koostuvat kolmesta raaka-aineesta: vedestä, maltaista ja humalasta. Maltaat lisätään toisessa yksikköprosessissa eli mäsikäyksessä ja humalat kolmannessa eli vierteen keitossa. Maltaiden ja humalien suhde prosessissa käytettävään veteen ei ole vakio, vaan määräytyy pantavan oluttyypin mukaan.

Prosessin lähtöön yhdistetään oluen valmistukseen liittyviä suureita, joilla tarkastellaan mäsikäyksen ja humaloinnin vaikutusta prosessinesteeseen. Näihin suureisiin kuuluu katkeroainepitoisuus ja kantavierreväkevyys (ks. sivu 6).

Yksikköprosessit jaetaan edelleen aktiivisiin ja passiivisiin. Aktiiviset yksikköprosessit sisältävät säädettäviä parametreja, kun taas passiivisten toimintaan ei käyttäjä pääse vaikuttamaan. Aktiivisiksi yksikköprosesseiksi luetaan mäsikäys ja vierteen keitto. Passiivisia ovat raakaveden lämmitys ja vierteen jäädytys. Aktiivisissa yksikköprosesseissa keskitytään kahteen prosessisuureeseen: aikaan (min) ja lämpötilaan (°C). Kun mahdolliset lämpötilaolosuhteet ovat paljolti teorian määrittämät, viitataan säädettävillä parametreilla mäsikäykseen ja vierteen keittoon kuluvaan aikaan, joka muuttuu olutreseptin mukaan

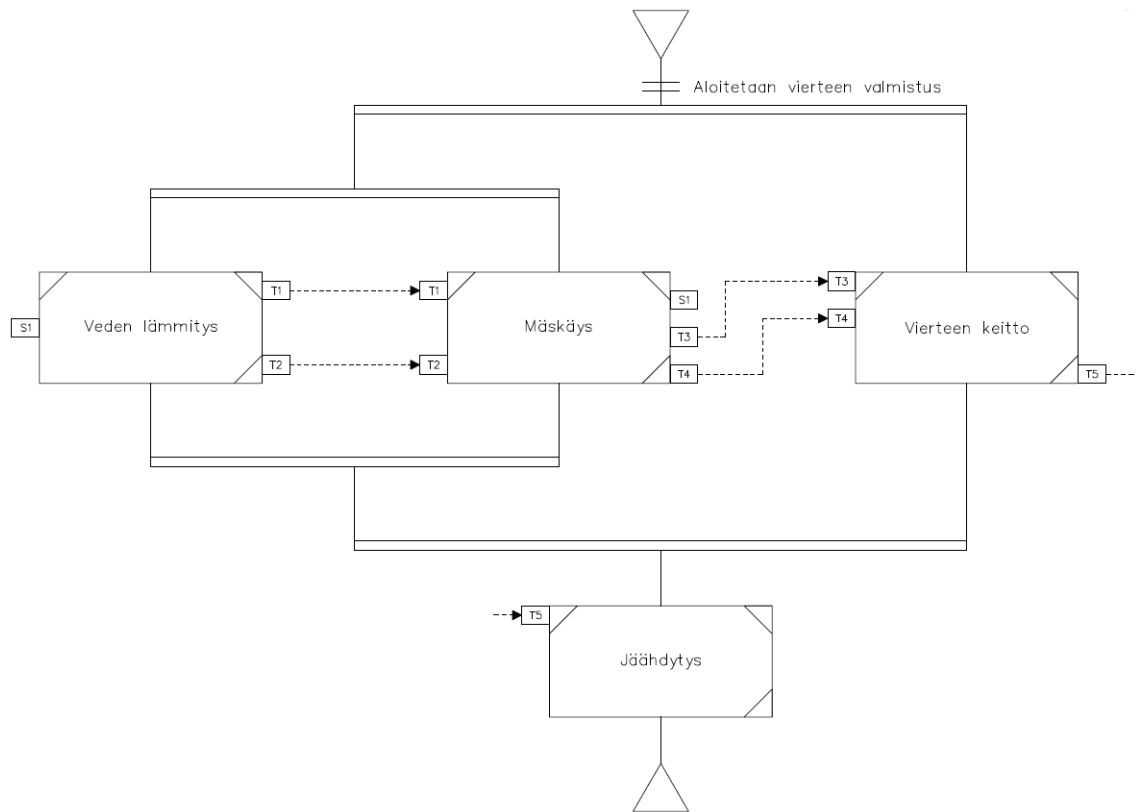
(taulukko 2). Mäskäyksessä aika on suoritettavien entsyymitaukojen summa. Vierteen keiton pituuden määrää puolestaan humalointiohjelman pisin yksittäisen humalan keittoaika.

TAULUKKO 2. Esimerkki mäskäyksessä ja vierteen keitossa käytettävästä ajasta olutreseptissä (Palmer 2006, 256).

Mäskäys		Vierteen keitto	
Sisäänmäskäys	20 min	Humala I	45 min
Hydrolyysitauko	-	Humala II	30 min
Maltoositauko	20 min	Humala III	15 min
Dekstriinitauko	40 min	Humala IV	-
Yhteensä	80 min	Yhteensä	45 min

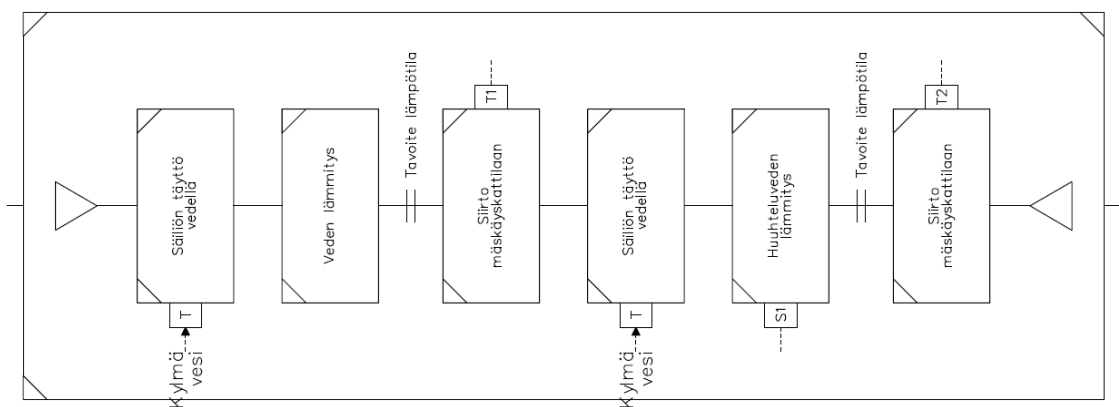
4.2 Valmistussekvenssi

Kuviossa 5 on esitetty PFC-menetelmällä (Procedural Function Chart) laadittu valmistussekvenssi, joka rakentuu neljän yksikköprosessin (veden lämmitys, mäskäys, vierteen keitto ja jäähditys) ympärille. PFC perustuu ANSI/ISA-88.01 -standardiin ja sen avulla voidaan esittää kaikki reseptien valmistussekvenssitason asettamat vaatimukset (Laitinen & Kuikka 2008, 35). Valmistussekvenssistä selviää yksikköprosessien liittyminen toisiinsa, mutta myös yksikköoperaatioihin ja edelleen valmistusvaiheisiin. Valmistussekvenssi kertoo myös prosessin osien suoritusjärjestyksen.



KUVIO 5. Laaja kuvaus valmistussekvenssistä.

Valmistussekvenssiä avautuu tarkemmaksi kunkin yksikköprosessin kohdalta. Kuviossa 6 esitetään veden lämmitys –yksikköprosessin valmistussekvenssi.

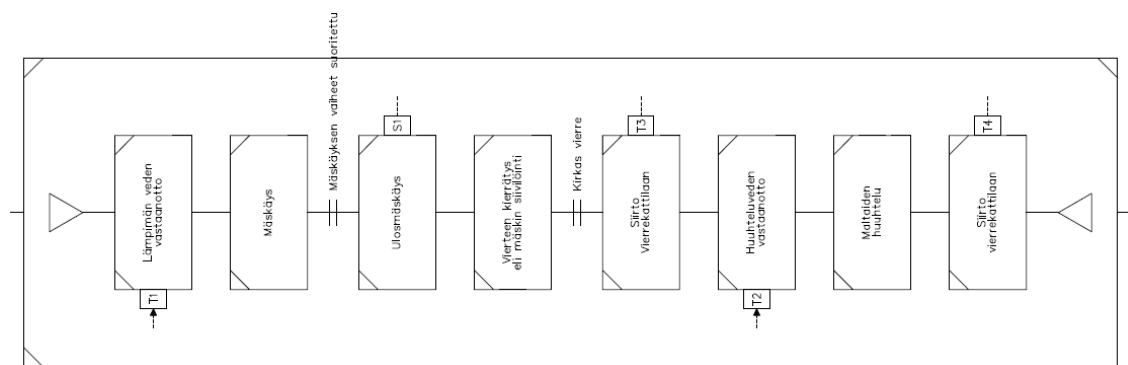


KUVIO 6. Veden lämmitys -yksikköprosessin valmistussekvenssi.

Veden lämmityksestä mäskäykseen vietävä käyttövesi lämmitetään etukäteen ennen mäskäyskattilaan ohjaamista. Ensiksi vesi lämmitetään mäskäyksen aloittamista varten sopivaan lämpötilaan. Esimerkiksi vakiolämpötilassa suoritettavassa mäskäyksessä maltaiden kostutus suoritetaan niin, että mäskin lämpötilaksi saadaan mäskäysohjelman asetettu

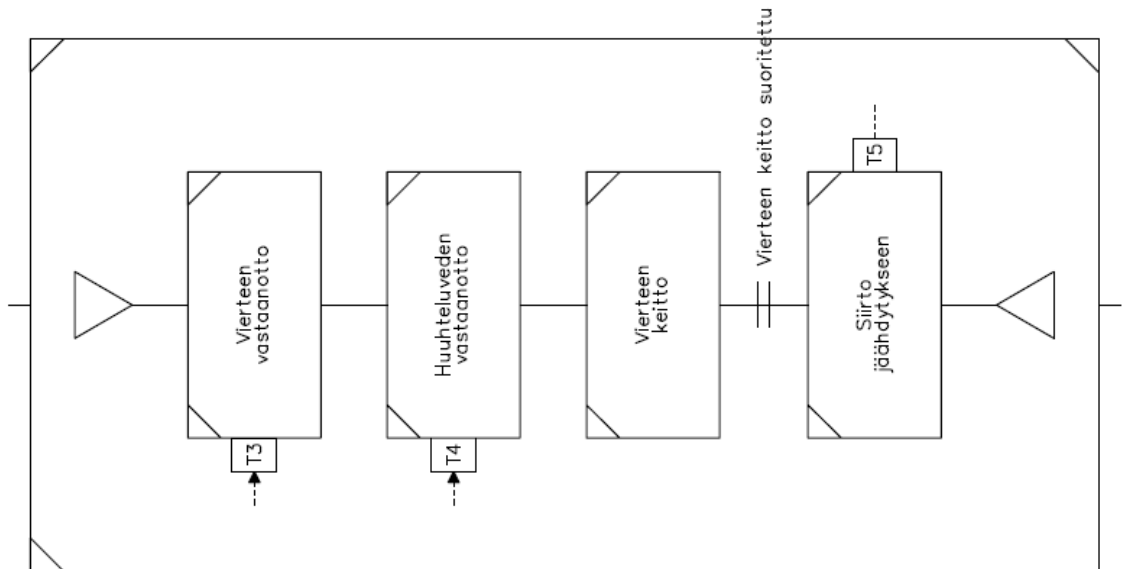
lämpötila. Toiseksi yksikköprosessissa lämmitetään vesi, jolla maltaat huuhdellaan jäljelle jääneestä sokeripitoisesta aineksesta ulosmäskäyksen jälkeen.

Mäskäyksessä edellisestä yksikköprosessista siirretty vesi osallistuu mäskäykseen eli se sekoitetaan maltaiden sekaan (kuvio 7). Maltaiden ja veden seosta eli mäskiä lämmitetään mäskäysohjelman mukaan. Mäskäyksen lopuksi suoritetaan ulosmäskäys, ja sokeroitunut vierre erotetaan maltaista eli suoritetaan maltaiden siivilöinti. Kirkastunut neste siirretään vierrekattilaan. Veden lämmitys -yksikköprosessista tuodaan kuuma vesi, joka huuhtelee maltaat. Huuhteluvesi jatkaa edelleen matkaa vierrekattilaan.

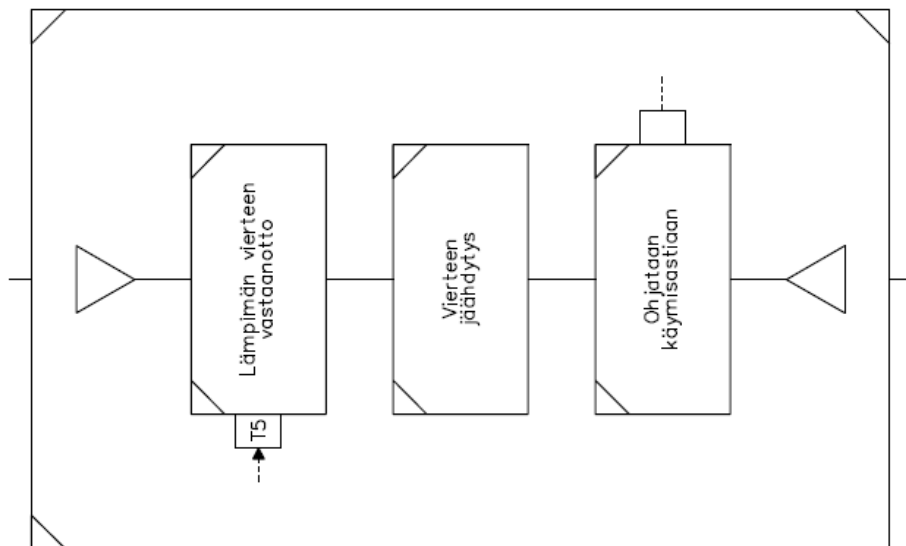


KUVIO 7. Mäskäyksen valmistussekvenssi.

Vierteen keitto -yksikköprosessi alkaa, kun vierre siirtyy vierrekattilaan mäskin siivilöinnin jälkeen (kuvio 8). Kun vierre ja huuhteluvesi on yhdistetty, aloitetaan vierteen keitto. Keittämisen jälkeen kuuma vierre siirtyy jäädytys-yksikköprosessiin (kuvio 9), jossa vierteen lämpötilaa lasketaan alle 35 °C. Vierre siirretään käymisastiaan, jossa vierre jatkaa jäähtymistä käymislämpötilaan.



KUVIO 8. Vierteen keiton valmistussekvenssi.



KUVIO 9. Vierteen jäähdytyksen valmistussekvenssi.

Laajempi kokonaisuus valmistussekvenssistä on esitetty liitteessä 1.

4.3 Laittevaatimukset

Laittevaatimuksilla viitataan tarvittavien laitteiden lisäksi laitteilta vaadittaviin ominaisuuksiin (Laitinen & Kuikka 2008, 50). Oluentekoprosessissa laitteilta vaadittavia ominaisuuksia ovat muun muassa lämpötila- ja materiaalirajoitukset. Teorian mukaisesti

oluen valmistuksessa prosessin lämpötila kohoaa paikoin jopa 100 °C:een. Tarpeen vaatiessa laitteiden on siis toimittava näinkin korkeissa prosessilämpötiloissa. Materiaalirajoituksilla viitataan siihen, että laitteiden on sovelluttava elintarvikekäyttöön. Materiaalirajoitukset tulee osaltaan lämpötilavaatimusten rinnalla; lämpötilan vaihteluista huolimatta laitteista ei saa irrota yhdisteitä tai osia, jotka vaikuttaisivat oluen puhtauteen ja laatuun. Laittevaatimukset ulottuvat tässä opinnäytetyössä varsinaisten laitteiden lisäksi prosessiin valittaviin putkiin tai letkuihin.

Laittevaatimukset koskettavat esimerkiksi seuraavia komponentteja:

- pumput
- venttiilit
- lämpötila-anturit
- virtausmittarit
- lämmityselementit.

5 SUUNNITTELUVAIHE

Suunnittelussa ensimmäisenä päätettiin prosessin valmistaman panoksen koko ja teknologia, jolla valmistuksen ohjaus toteutetaan. Panoksen koosta ja ohjauksesta siirryttiin laitteiden eli venttiilien, pumppujen, lämpötila-anturien sekä lämmittimien valintaan ja niiden kytkemiseen prosessiin ja ohjaukseen. Lisäksi laadittiin suunnitelmat valvomon ja kuivakäyntisuojan toteutuksesta.

5.1 Panoksen koko ja ohjauksen toteutus

Panosluonteisessa oluen valmistuksessa panoksen koko määräytyy käytössä olevien kattiloiden (säiliöiden) mukaan. Jos koko vierre halutaan valmistaa kerralla, on vierrekattilan vastattava tilavuudeltaan panoksen kokoa. Vierrettä voidaan toki jatkaa puhdistetulla vedellä, mutta tällöin pienennetään kantavierreväkevyyttä ja sen myötä oluen alkoholipitoisuutta. Panoksen kokoa rajoittaa myös käymisastian koko; jäähdytetty vierre pitää mahtua kokonaisuudessaan käytössä olevaan käymisastiaan.

Kattiloiden tilavuus vaikuttaa panoksen kokoon, mutta myös valmiin järjestelmän hintaan. Suurempi säiliökoko on luonnollisesti hintavampi kuin pienempi, ja panoksen koko vaikuttaa valittaviin laitteisiin ja sitäkin kautta kustannusten kasaantumiseen. Koska projektin painopiste on kallellaan enemmän automatisoinnin edullisen toteutuksen kuin suuren olutmäärän valmistuksen suuntaan, jätettiin panoksen koko varsin pieneksi. Panoksen koko hahmottuikin tarjolla olevien käymisastioiden kautta, joista projektiin valittiin 5 l lasinen käymisastia. Kun käymisastiaa ei voida täyttää aivan täyteen, on valmistettava panos kooltaan kolmen ja neljän litran välillä.

Panoksen koko vaikuttaa valittavien kattiloiden ja laitteiden lisäksi prosessinohjauksen toteutustapaan. Panoksen ja sen kautta myös laitteiden kasvaessa isommiksi laajenee myös ohjauksesta vaadittavat ominaisuudet. Useiden automaatioyriytysten valikoimasta löytyy laajaa valikoima eri ominaisuuksilla varustettuja ohjelmoitavia logiikoita. Logiikoille suunnitellut käyttökohteet vaihtelevat suurten teollisuuskohteiden ja pienten automaatiojärjestelmien välillä. Käyttökohde määrää paljolti logiikan sisään- ja ulostulojen

määrän lisäksi niiden hinnan, joka kipuaa pienempienkin ohjelmoitavien logiikoiden kohdalla kolminumeroisiin lukuihin.

Projektin kustannuksiin sopivin vaihtoehto löytyi ohjelmoitavien logiikoiden sijasta Arduino-mikrokontrollereista. Huokeammalla hinnalla tarjottaviin mikrokontrollereihin saadaan kaikki vaadittavat ominaisuudet panoksen toteutukseen, mutta tämä vaatii ohjelmoitaviin logiikoihin verratessa enemmän ohjelmointia ja oheislaitteiden hankkimista. Laajasta Arduinojen valikoimasta valittiin malli, joka soveltui kattavampiin ja monimutkaisempiin projekteihin eli Arduino Mega 2560 (kuva 1).

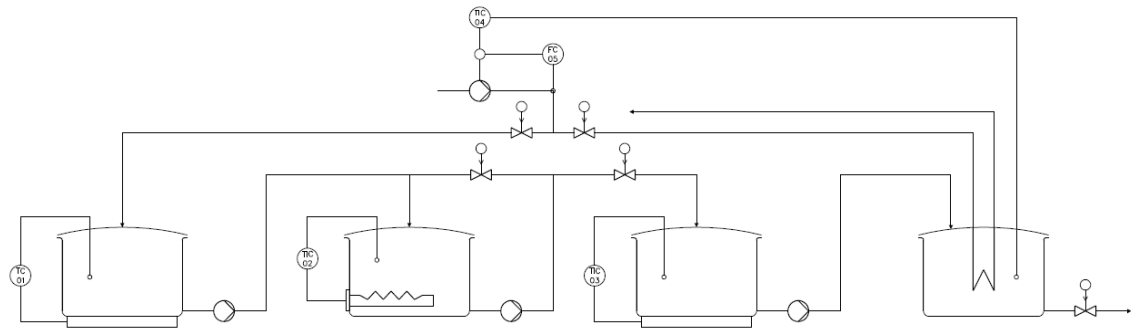


KUVA 1. Arduino Mega 2560 –mikrokontrolleri (Arduino MEGA2560, www.arduino.cc)

Mega 2560 sisältää yhteensä 70 I/O-paikkaa, joista 54 on digitaalisia ja 16 analogisia. Käyttöjännite voidaan antaa USB- tai DC-liittimen kautta. Käyttöjännitteeksi soveltuu 7-12 V tasajännite. Kattavammat tiedot liitteessä 2.

5.2 Laitevalinnat

Panoksen koon ja ohjauksen toteutustavan myötä siirryttiin valitsemaan prosessiin liitettäviä laitteita. Aikaisemmassa luvussa esitettyjä määrittelyjä, erityisesti valmistussekvenssiä, apuna käyttäen alle on laadittu prosessi kuvaamaan PI-kaavio (kuvio 10). PI-kaaviosta nähdään laitteiden lukumäärän lisäksi niiden sijoittelu panosprosessiin ja yksikköprosessien liittyminen toisiinsa. Tarkempi kuva PI-kaaviosta esitetään liitteessä 3. Kuviossa esitettyjen piirien positiotunnukset ja nimet on esitetty taulukossa 3.



KUVIO 10. Panosprosessin PI-kaavio

TAULUKKO 3. Piiriluettelo.

Piiripositio	Piirin nimi
TC-01	Lämminvesikattilan lämpötila
TIC-02	Mäskäyskattilan lämpötila
TIC-03	Vierrekattilan lämpötila
TIC-04	Jäähdytyskattilan lämpötila
FC-05	Panoksen valmistusveden virtaus

Laitteiden valinnassa pidettiin kiinni aikaisemmin määritetyistä laitevaatimuksista. Laittevalinnoissa kiinnitettiin huomiota erityisesti laitteiden lämpötilan kestoon ja soveltuvuuteen elintarvikkeiden valmistuksessa.

5.2.1 Venttiilit ja pumput

Pumppujen ja venttiilien valintaan vaikuttavat kriteerit määräytyivät pääasiassa järjestelmän budjetin ja yksikköprosessien asettamien vaatimusten mukaan. Laitteiden valintaan vaikuttavia ominaisuuksia oli muun muassa käyttöjännite, lämpötilarajoitukset ja suori-

tuskyky. Lisäksi valinnassa otettiin huomioon laitteiden liitännät. Venttiilien ja pumppujen prosessiliitäntöjen oli siis vastattava toisiaan siinä määrin, että järjestelmä olisi mahdollisimman yhdenmukainen.

Suunnitelman mukaisen järjestelmän toteutukseen soveltuvimmat toimilaitteet löytyivät pääasiassa kahdella käyttöjännitteellä, 24 ja 12 voltilla. Tätä korkeammilla käyttöjännitteillä varustetut toimilaitteet olivat joko liian hintavia tai tehojen puolesta ylimitoitettuja.

Matalalla käyttöjännitteellä varustettuja pumppuja tarjottiin eri myyntikanavissa runsaasti. Käyttöjännitteen ja hinnan lisäksi eroja havaittiin suorituskyvyssä eli pumpun tuottamassa virtausnopeudessa sekä laitteille annetuissa lämpötilarajoituksissa. Osalle pumppuista oli lisäksi mainittu nostokorkeus eli korkeusero, jossa pumppu kykenee toimimaan siirrettävän nesteen muodostaman hydrostaattisen paineen vastustuksesta huolimatta.

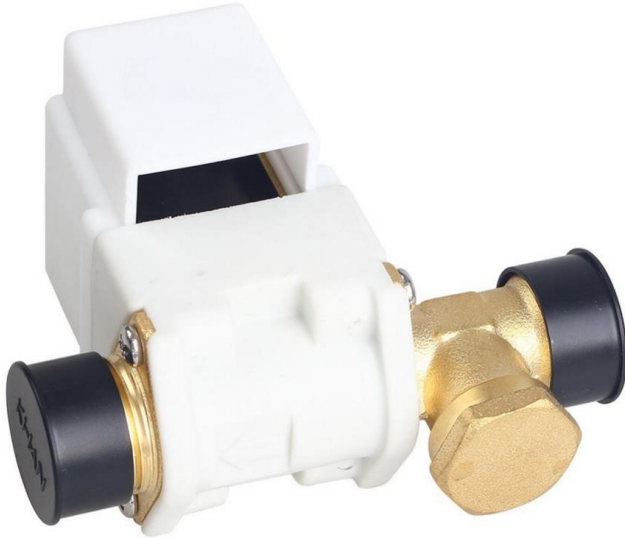
Alle on taulukoitu muutamia matalalla käyttöjännitteellä toimivia pumppuja (taulukko 4). Kaikki esitetyt pumput ovat malliltaan keskipakopumppuja (ks. sivu 6).

TAULUKKO 4. Valikoima eri tyyppisiä pumppuja.

	Käyttöjännite (V)	Nesteen lämpötila (C)	Nostokorkeus (m)	Virtausnopeus (l/min)	Prosessiliitännät	Hinta	Valmistaja
I	12	0-100	3	8	R15	15,40	Bayite
II	12	0-40	5	14	9.7 / 12 mm	6,54	-
III	24	0-100	5.5	15	R15	14,77	Javtop
IV	24	0-100	5	10	R15	11,70	ZXSJ

Pumpun valinnassa kiinnitettiin tarkkaavaisuutta hinnan lisäksi erityisesti prosessiliitäntöihin ja lämpötilarajoituksiin. Virtausnopeus ja nostokorkeus otettiin myös huomioon, mutta ne jäivät valintaan vaikuttavina kriteereinä taka-alalle. Suurin osa vertailtavista pumppuista oli varustettu kierteellisellä sisään- ja ulostulolla. Kyseiselle kierteelle (R15) löytyi runsaasti putkiasennuksiin suunniteltuja sovittimia, muhveja sekä nippoja ja liittäminen esimerkiksi silikoniletkuun onnistui helposti. Suurin osa pumppuista soveltui 100 °C veden siirtämiseen.

Aivan kuten pumppuja, myös venttiilejä löytyi laaja valikoima. Venttiilien välillä oli kuitenkin vähemmän eroavaisuuksia ja määrääviksi kriteereiksi asetui hinnan lisäksi lämpötilarajoitukset. Aikaisemmin mainittu R15-kierre löytyi melkein jokaisesta venttiilistä. Venttiilit olivat tyypiltään magneettiventtiileitä (ks. sivu 6) (kuva 2).



KUVA 2. Magneettiventtiili (Magneettiventtiili, www.aliexpress.com).

Valitut toimilaitteet on esitetty taulukossa 5. Käyttöjännitteeksi valittiin 24 V sijasta 12 V, koska toimilaitteiden ja ohjauksen eli Arduinon käyttämä jännite saadaan tällöin saman jännitemuunnoksen kautta. Tällä käyttöjännitteellä tarjolla olevista pumpuista vaatimuksiin vastasi paremmin Bayiten valmistama kiertovesipumppu. Venttiiliksi valittiin yksilö, joka vastasi asetettuihin lämpötilavaatimuksiin ja oli varustettu samalla käyttöjännitteellä kuin valittu pumppu.

TAULUKKO 5. Valitut pumput ja venttiilit

	Käyttöjännite (V)	Siirrettävän nesteen lämpötila (C)	Prosessiliitännät	Hinta (kpl)	Valmistaja	Määrä
Pumppu	12	0-100	R15	15,40	Bayite	4
Venttiili	12	0-100	R15	5,35	-	5

5.2.2 Lämpötila-anturit ja virtausmittari

Lämpötilan säätöön suunniteltuja piirejä löytyi suunnitelmasta neljä kappaletta: lämminvesi-, mäski-, vierre- ja jäähdytyskattilasta. Kolme ensimmäistä on lämmitettäviä ja viimeinen prosessinesteen lämpötilaa laskeva säätöpiiri. Kustakin piiristä löytyi mittauksessa hyödynnettävä lämpötila-anturi.

Anturivaihtoehtoja löytyi kolmella eri tekniikalla: vastuslämpötila-anturit, termoparit ja digitaaliset lämpötila-anturit. Koska jokainen tekniikka tarjosi sopivia antureita järjestelmän olosuhteisiin, määräytyi anturivalinta pääasiassa anturien myyntihinnan mukaan (taulukko 6). Lisäksi huomioitiin anturin liittämistapa prosessiin.

Vastuslämpötila- eli PT100-antureissa lämpötilan mittausta perustuu anturiin sijoitetun vastuksen resistanssin mittaamiseen. Resistanssi kasvaa lämpötilan kasvaessa. Termoparien kohdalla mitataan jännite-eroa (niin sanottua termojännitettä), joka syntyy kahden eri metallin liitokseen. Digitaalinen lämpötila- eli DS18B20-anturi on Maxim Integrated:n valmistama anturityyppi, joka analogisista PT100:sta ja termoelementistä poiketen välittää mittaustiedon digitaalisesti.

TAULUKKO 6. Lämpötila-anturityyppien ominaisuuksia.

Anturi	Lämpötilarajat (C)	Signaalityyppi	Hinta (e/kpl)	Prosessiliitäntä
PT100	-200 .. +500	Analoginen	0,99	Upotettava
Termopari (K)	0 .. +800	Analoginen	2,48	Kierteellinen
DS18B20	-55 .. +125	Digitaalinen	1,56	Upotettava

Anturin valinnassa tasapainoiltiin kahden vaihtoehdon välillä: vastuslämpötila- eli PT100-anturi tai DS18B20-anturi. Termopari havaittiin sopimattomaksi liitäntänsä ja korkean hintansa vuoksi. PT100:aa puolsi alhainen hinta. Analogisen signaalinsa vuoksi vastuslämpötila-anturi varaa kuitenkin enemmän resursseja mikroprosessorin analogiasäätuloista.

DS18B20-anturi nostaa puolestaan kustannuksia, mutta sallii useamman anturin liittämiseen samaan sisääntuloon. Data siirretään yksilöllisillä osoitteilla leimatuista antureista

niin sanottua 1-Wire -väylää pitkin mikroprosessorille. Digitaaliset anturit saadaan kytettyä rinnakkain ja liitettyä samaa johdinta pitkin yhteiseen sisääntuloon. (DS18B20-anturin manuaali, 1)

Valinta kohdistuu korkeammasta hinnasta huolimatta paremmilla ominaisuuksilla varustettuun DS18B20-anturiin, joka säästää mikroprosessorin I/O-paikkoja ja järjestelmän rakentajan aikaa yksinkertaisemmalla johdotuksellaan (kuva 3).



KUVA 3. Digitaalinen lämpötila-anturi (DS18B20-anturi, www.miniinthebox.com).

Prosessiin liitetään yksi nesteen virtausta mittaava piiri (FC-05). Kyseisen piirin tarkoituksena on kertoa ohjelmalle hetki, jolloin pumpulta P1 lähtevä virtaus saavuttaa lämminvesikattilan ja kertoa ohjelmaan arvion kattilaan virranneesta vedestä.

Virtausmittarin valinnassa kiinnitettiin huomiota erityisesti prosessiliitäntöihin. Lisäksi varmistettiin, että virtausmittari toimii keskipakopumpun tuottaessa maksimivirtauksensa.

Ostopäätös kohdistui Sea:n valmistamaan YF-S201C-turbiinimittariin (kuva 4). Turbiinimittari on siivikkomittarityyppi, jossa virtaus pyörittää mittarin sisälle asetettua turbiinia. Turbiinin pyörimisnopeus mitataan ja muunnetaan mittarin piirillä sähköisiksi pulseiksi, joita laskemalla saadaan selville mittarin ohittaneen tilavuusvirtauksen määrä. Hintaa mittarille tuli toimituskuluineen 3,67 euroa. (Halko, Härkönen, Lähteenmäki & Välimaa 1990, 94.)



KUVA 4. Virtausmittari (Virtausmittari, www.ebay.com).

5.2.3 Keittolevyt ja lämmityselementti

Lämmitettäviä yksikköprosesseja löytyy järjestelmästä kolme kappaletta: lämminvesi-, mäski- ja vierrekattila. Yksikköprosessit eroavat kuitenkin siinä määrin vaatimuksiltaan, että lämmityksen toteutus on pohdittava kunkin yksikköprosessin kohdalla yksilöllisesti. Esimerkiksi veden lämmitys voidaan toteuttaa varsin karkealla säädöllä, kun taas mäs-käyksessä lämmityksen heilahtelu voi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa valmistettavan oluterän pilaantumisen.

Lämmityksen toteutukseen oli saatavilla useimpia toteutustekniikoita. Kun kaasua käyttävät tai höyryn lämmittävää vaikutusta hyödyntävät vaihtoehdot rajattiin valinnan ulkopuolelle, jäi tarjolle sähköllä toimivat ratkaisut. Tarjolla olevissa sähköisissä lämmitys-vaihtoehdoissa havaittiin eroja toki hinnassa ja tehonkulutuksessa, mutta myös tavassa, jolla lämmitin liitetään prosessiin.

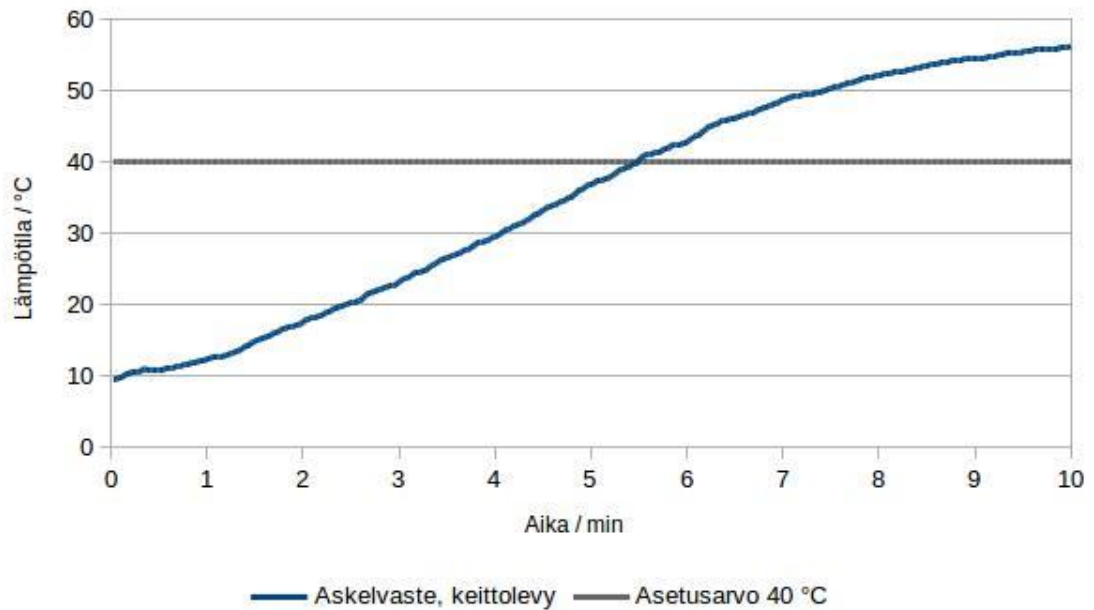
Raakaveden lämmityksessä ja vierteen keitossa lämmitys päädyttiin toteuttamaan keittolevyillä (kuva 5). Erityisesti alhainen hinta ja laaja valikoima eri tehonkulutuksella varustettuja versioita puolsi keittolevyn valintaa sen lisäksi, että levyn liittämässä ei tarvinnut nähdä sen suurempaa vaivaa.



KUVA 5. Wirta 1500 W –keittolevy (Wirta 1500 W 1-osainen keittolevy, www.hongkong.fi).

Levyyn varastoituva lämpöenergia aiheuttaa kuitenkin sen, että keittolevy ei sovellu vaatimuksiltaan tiukemman mäskäyskattilan lämpötilan säätöön. Keittolevyyn varastoitunut lämpöenergia vapautuu kattilan pohjan läpi viiveellä ja aiheuttaa häiriön prosessinesteen lämpötilan säätöön. Kun säätö ei pysty vaikuttamaan prosessin viilentymisnopeuteen, viiveen aiheuttama häiriö korjaantuu hitaasti.

Ilmiön havainnollistamiseksi alla on esitetty keittolevyllä varustetulla säätöpiirillä toteutettu askelvastekoe (kuvio 11). Nesteen lämpötilaa nostettiin huoneenlämpötilasta kohti asetusrvoa (40 °C). Kun mittaus- saavuttaa asetusrvon, suljetaan levyn sähkönsyöttö eli nesteen lämmitys lopetetaan. Kokeessa havaitaan, että levyiltä vapautuva lämpö nostaa prosessinesteen lämpötilaa, vaikka keittolevyn sähkönsyöttö katkaistaan tavoitelämpötilassa, ja aiheuttaa säädön vasteessa suhteellisen korkean ja pitkäkestoisen ylityksen.



KUVIO 11. Keittolevyllä suoritettu askelvastekoe.

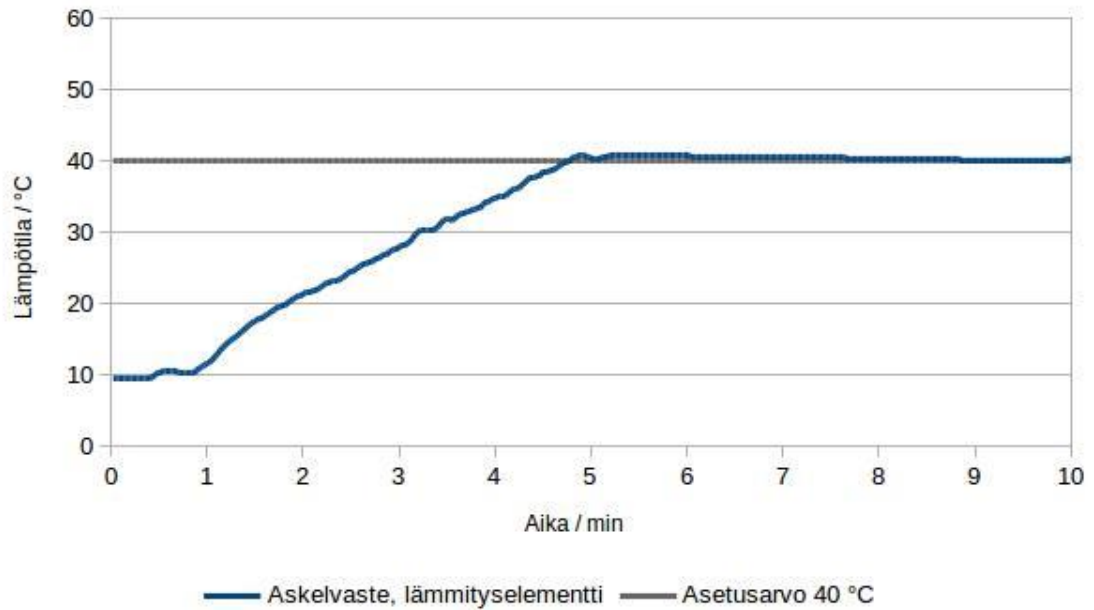
Levyyn varastoituvan lämmön aiheuttamaa häiriötä voidaan yrittää pienentää hienosäätämällä säädön parametreja ja ennakoimalla levyltä vapautuvan lämpöenergian vaikutuksia (lisäämällä hystereesiä). Tosin tällöin tavoiteltavan lämpötilan saavuttaminen hidastuu ja vasteessa havaitaan silti ylitystä ja värähtelyä. Pienikin ylitys havaitaan säädössä pitkäkestoisena häiriönä.

Mäskäyksen lämmityksessä keittolevyn korvaavaksi vaihtoehdoksi löydettiin suoraan kattilaan asennettavat lämmityselementit (kuva 6). Aivan kuten keittolevyjen kohdalla, lämmityselementtejä löytyi paljon eri hintaisina ja eri tehonkulutuslukemilla.



KUVA 6. Lämmityselementti (Lämmityselementti, www.ebay.com).

Suoraan prosessinesteen kanssa yhteydessä oleva lämmityselementti ei keittolevyn tapaan aiheuta asetusarvon nostamisen yhteydessä vastaavaa ylitystä, kun lämpöenergia siirtyy suoraan lämmitettävään nesteeseen. Tämä voidaan havaita askelvastekokeessa, kun nestettä lämmitetään lämmityselementillä samaan 40 °C asetusarvoon (kuvio 12). Lämpötilaero elementin ja prosessinesteen välillä tasoittuu varsin nopeasti eikä samantyyppistä pitkäkestoista häiriötä kuin keittolevyn kohdalla havaita.



KUVIO 12. Lämmityselementillä toteutettu askelvastekoe.

Lopputuloksena panoksen valmistukseen hankittiin siis kaksi keittolevyä ja yksi lämmityselementti (taulukko 7). Edullisin vaihtoehto olisi ollut toteuttaa kaikki lämmitettävät prosessit lämmityselementeillä. Panosprosessin kasaamisessa ja purkamisessa keittolevy on kuitenkin vaivattomampi, kun niiden liittäminen ei vaadi kattiloiden työstöä tai sen kummempaa asentamista.

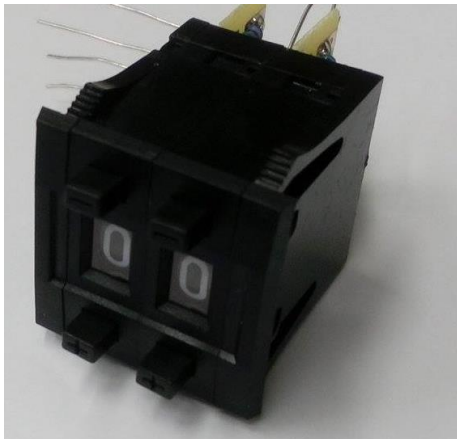
TAULUKKO 7. Keittolevyjen ja lämmityselementtien valinnat.

	Määrä	Hinta / kpl
Keittolevy 1500 W, Wirta	2	16,5 e
Lämmityselementti 1000 W	1	8,75 e

5.3 Valvomo

Panoksen valmistuksen hallinta tapahtuu kotelon kanteen rakennetun valvomon kautta. Aivan kuten kolmannessa luvussa todettiin, teoria määrittää prosessissa mahdollisesti esiintyvät lämpötilojen asetusarvot. Käyttäjä vaikuttaa puolestaan olutreseptin mukaisesti kussakin vaiheessa kuluneeseen aikaan. Mäskäyksessä syötetään kunkin entsyymitauon kestot ja vierteen keitossa humaloiden keittoajat.

Valvomoa suunniteltaessa tehtävien hankintojen yhteishinta oli suuressa roolissa, aivan kuten panoksen koon ja laitteiden valinnan kohdalla. Valvomon suunnittelussa päädyttiinkin nykyaikaisten ja kalliiden näyttöjen sijasta edullisempaan ja teknisesti vanhempaan toteutustapaan. Mäskäykseen ja vierteen keittoon määritettävät ajat tuotiin prosessiin peukalokytkimien (thumbwheel switch) avulla (kuva 7).



KUVA 7. Peukalokytkin.

Peukalokytkimessä kahdella painikkeella (+, -) vaihdetaan näkyvää numero, joka vaihtelee 0 ja 9 välillä. Kytkimiä lisäämällä saadaan muodostettua suurempia lukuja; kahdella kytkimellä saadaan esitettyä luvut välillä 0-99. Peukalokytkimiä tarvittiin siis niin monta, että mäskäyksen ja vierteen keiton kaikki vaiheet saatiin syötettyä (ks. taulukko 2). Peukalokytkimen toimintaperiaate on esitetty luvussa 5.4.

Valvomoon lisättiin kytkinten lisäksi analoginen näyttö (kuva 8) ja huomiovaloja, jotka kertovat prosessin etenemisestä. Jännitemittarista rakennettu lämpötilanäyttö kertoo käynnissä olevan yksikköprosessin lämpötilan. Mäskäyksen aikana lämpötilanäytössä

nähdään mäsikäskattilaan upotetun lämpötila-anturin mittaama lämpötila, vierteen keiton aikana näytössä näkyy puolestaan keitettävän vierteen lämpötila ja jäähtymisen aikana vierteen jäähtymisen eteneminen.



KUVA 8. Jännitemittari (Jännitemittari, www.ebay.com).

Huomiovalojen roolissa ovat 11 kotelon kanteen lisättyä 2-väriLEDiä. Kolme lämpötilanäytön viereen lisättyä LEDiä ilmoittaa sen yksikköprosessin, jonka lämpötilaa kulloinkin esitetään. Ledien osoittamat yksikköprosessit selviävät ledien yhteydessä esitetyistä teksteistä. Neljä LEDiä ilmoittaa värin vaihdoksellaan vierteen keiton etenemisestä; humalan keittoajan päätyttyä siihen viittaava LEDi muuttuu värinsä punaisesta vihreäksi. Loput neljä LEDiä on sijoitettu panosprosessia kuvaavaan kaavioon järjestelmään liitettyjen pumppujen yhteyteen. LEDi kertoo käyttäjälle kunkin pumpun tilan. Luonnos valvomokokonaisuudesta on esitetty liitteessä 4.

5.4 Sähkösuunnittelu

Liitteissä 5 ja 6 on esitetty kotelon sisäisten kytkentöjen ja sähkönsyöttöön liittyvien komponenttien sijoittuminen. Kotelon kautta järjestelmään tuotava vaihtojännite sekä keittolevyille ja lämmityselementille vietävä käyttöjännite kulkevat koteloon liitettyjen kojekoliittimien kautta (kuva 9).



KUVA 9. IEC C19/C20 -standardin mukainen kojeliitin P596 (Kojerunkoliitin uros, www.vekoy.com).

Standardin IEC C19/C20 mukaisen mallin (virrankesto 16 A) kautta tuodaan järjestelmän sähkönsyöttö. P675-63:en (IEC 320, virrankesto 10 A) kautta puolestaan viedään lämmitettäviin yksikköprosesseissa vaadittava käyttöjännite.

Verkkovirta siirtyy riviliittimien kautta keittolevyjen ja lämmitysvastuksen lisäksi hakkuriteholähteelle (kuva 10). Hakkuriteholähde (ks. sivu 6) muuntaa 230 V vaihtojännitteen 12 V tasajännitteeksi. Järjestelmään valitun hakkuriteholähteen suurin käyttökuorma on 120 W.



KUVA 10. Hakkuriteholähde (Hakkuriteholähde, www.ebay.com).

Hakkuriteholähteeltä 12 V tasajännite jaetaan pumpuille ja venttiileille (V1+, V1-) sekä Arduinolle (V2+, V2+). Pumppujen ja venttiilien liittyvät 12 V käyttöjännitteeseen riviliittimien ja DC-runkoliittimien (kuva 11) kautta.



KUVA 11. DC-runkoliitin (DC-runkoliitin, www.vekoy.com).

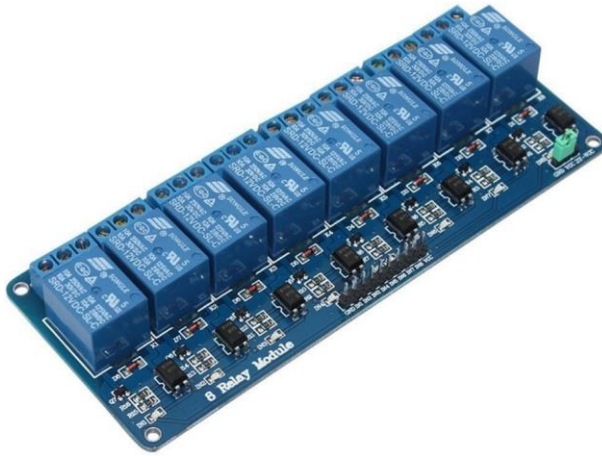
Sähkönsyöttöön liittyvien komponenttien (liittimien, riviliittimien, hakkuriteholähteen jne.) lukumäärät ja valmistajat löytyvät kotelon layout-piirustuksen (liite 6) laiteluettelosta.

5.5 Elektroniset kytkennät

Elektroniset kytkennät pitävät sisällään johdotukset, jotka liittävät Arduinon järjestelmään sijoitettuihin elektronisiin komponentteihin. Toisin sanoen kyseessä on sähköiset kytkennät, jotka jäävät suurempien jännitetasojen eli 230 tai 12 V ulkopuolelle. Elektroniset kytkennät voidaan jakaa kahteen ryhmään: ohjauksen ja valvomon kytkentöihin. Ohjaukseen sisältyy relemoduleiden ja lämpötila-anturien kytkennät. Valvomon kytkennöissä tarkkaillaan ledien, peukalokytkimien, analogisen näytön ja MCP23017-piirien johdotuksia.

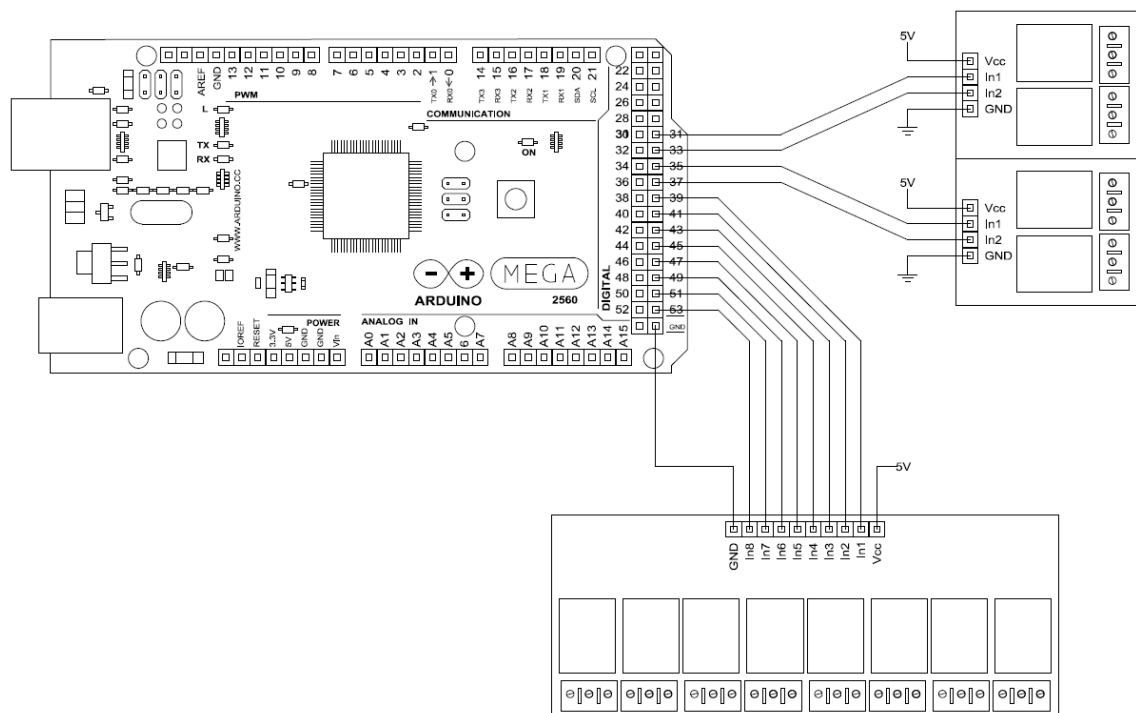
5.5.1 Ohjauksen elektroniset kytkennät

Arduinon nastoille asetettujen virtarajoitusten (ks. liite 2) vuoksi prosessiin liittyvät elektroniset kytkennät on eristettävä korkeimmista 230 ja 12 V jännitetasoista relemoduleiden (kuva 12) avulla.



KUVA 12. Relemoduli (Relemoduli, www.ebay.com).

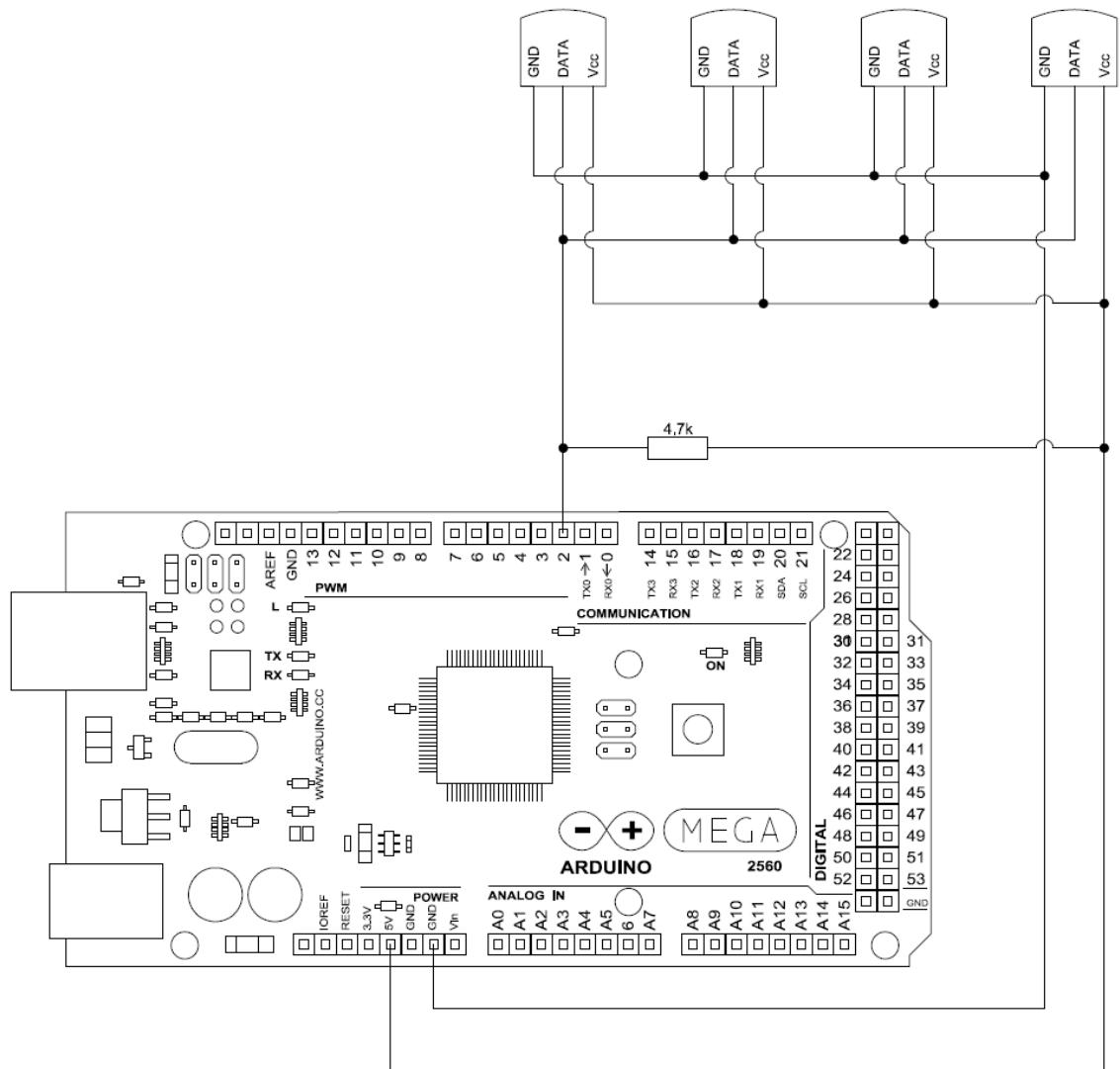
Kun kutakin pumppua, venttiiliä ja lämmittävää kojetta halutaan ohjata yksilöllisesti, tarvitaan yhteensä 12 digitaalista lähtöä. Toisin sanoen järjestelmästä löytyy kaksi kaksikanavaista ja yksi kahdeksankanavainen relemoduli. Pumppujen, venttiilien, keittolevyjen ja lämmityselementin kytkeytymisen releisiin näkee liitteestä 3. Arduinon ja kunkin relemodulin väliset kytkennät on esitetty alla (kuvio 13).



KUVIO 13. Relemodulien kytketyminen Arduinoon.

Kuten luvussa 4.2.2 on kerrottu, lämpötilaa säätevien piirien lämpötilan mittaus päädyttiin toteuttamaan digitaalisilla lämpötila-antureilla niiden säästäessä Arduinon resursseja

verratessa analogisiin antureihin. Digitaalisten eli DS18B20-anturien kytkeminen onnistuikin varsin yksinkertaisesti. Anturien datajohtimet yhdistettiin yhteen digitaaliseen (PWM-)sisääntuloon (kuvio 14). Ainoa spesifi yksityiskohta on data- ja V_{cc}-johtimen väliin asetettava ylösvetovastus, joka varmistaa tarpeellisen virran saannin datajohtimessa. Virtausmittarin kohdalla noudatetaan samaa kytkentäperiaatetta. (DS18B20-ma-
nuuaali, 4).

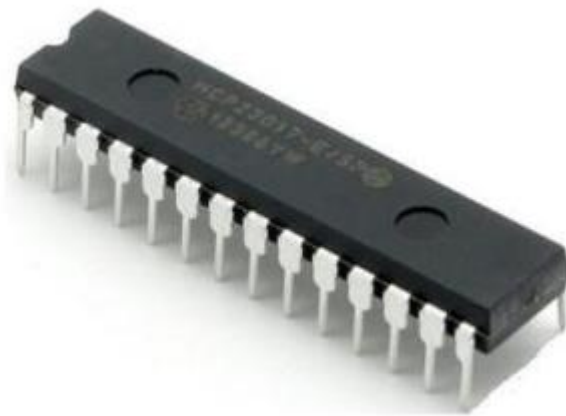


KUVIO 14. DS18B20-anturien kytkeminen Arduinoon.

5.5.2 Valvomon elektroniset kytkennät

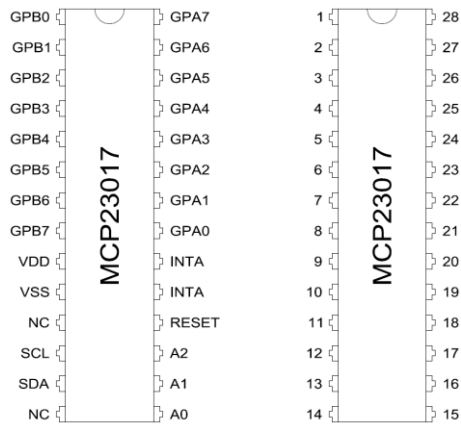
Valvomossa prosessia hallitaan ja sen etenemistä seurataan peukalokytkimien, analogisen näytön ja ledien avulla. Peukalokytkimien kautta syötettiin prosessin parametrit, analogisen näytöltä tarkkailtiin prosessin lämpötilaa ja ledit informoivat prosessin etenemisestä.

Arduino Mega 2560:n kattavista I/O-paikoista huolimatta valvomon toteutukseen päädyttiin hankkimaan lisää sisään- ja ulostulopaikkoja. Näin saatiin valvomon komponenttien sekä Arduinon välistä johdotusta yksinkertaistettua ja Arduinoon jäi vapaita paikkoja mahdollisia järjestelmän laajennuksia ajatellen. Digitaalisia I/O-paikkoja lisättiin yhteensä 32 käyttämällä kahta 16-paikkaista MCP23017 I/O-laajennuspiiriä (kuva 13).



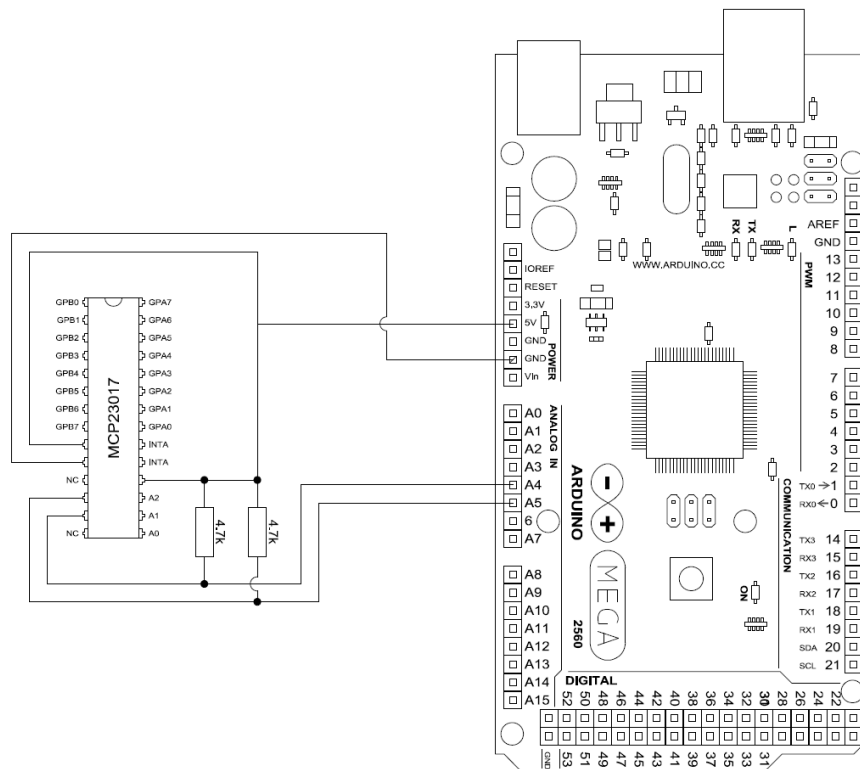
KUVA 13. MCP23017-laajennuspiiri (MCP23017, www.ebay.com).

MCP23017-piiri liittyy Arduinoon hyödyntämällä I²C-protokollaa. Arduino (master) kommunikoi MCP23017-piiriin (slave) kanssa joko kirjoittamalla tai lukemalla. Kirjoittaessa Arduino viittaa piiriin osoitteeseen ja nastoihin, joihin tietojen kirjoitus kohdistuu. Tietoja lukiessa Arduino poimii kaikkien I²C-väylään liitettyjen MCP23017-piirien tiedot. Kuviossa 15 on esitetty MCP23017-piiriin nastat nimien ja numerointien kera. (MCP23017-manuaali, 7.)



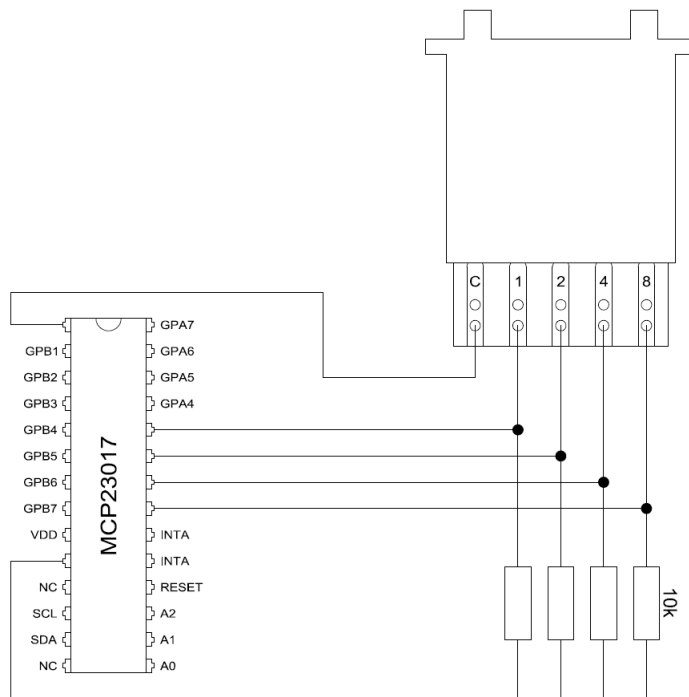
KUVIO 15. MCP23017:n nastojen nimet ja numerointi.

Kuviossa 16 on esitetty kytkentä periaate, jolla MCP23017 liitetään Arduinoon. MCP23017:lle kirjoitettava ja siitä luettava data siirtyy Arduinoon 20-nastan ja laajennuspiirin SDA-nastan (13) välillä. SCL- ja 21-nastan välillä tapahtuu tiedonsiirron ajoittaminen. Nasta 9 (V_{DD}) kytketään 5 V jännitteeseen ja nasta 10 (V_{SS}) Arduinoon GND-nastaan. RESET-nastaan kytketty jännite nolaa piirin. Nastoilta A0, A1 ja A2 muodostetaan piirin osoite, josta on kerrottu tarkemmin luvussa 5.4. Nastojen tarkoituksia on esitelty tarkemmin MCP23017:n manuaalin neljännellä sivulla (liite 7). (MCP23017-manuaali, 4).



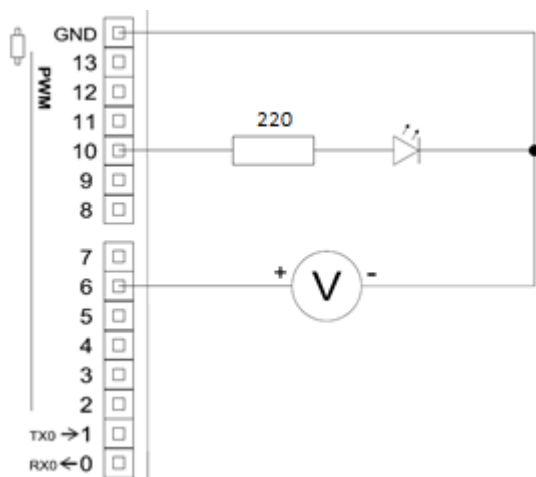
KUVIO 16. Arduinoon ja MCP23017:n välinen kytkentä.

Kahden MCP23017:n tarjoamia I/O-paikkoja hyödynnetään peukalokytkimien liittämiseksi järjestelmään. Kun peukalokytkimen lukemiseen vaaditaan yhteensä neljää sisään-tulopaikkaa ja kytkimiä on yhteensä 18 kappaletta, tulee peukalokytkimille varata kaiken kaikkiaan 72 I/O-paikkaa. Valvomon tapauksessa peukalokytkimet on saatu kytkettyä vain 32 I/O-paikkaan, tästä enemmän luvussa 5.5. Kuviossa 17 on esitetty peukalokytkimen kytkemisperiaate.



KUVIO 17. MCP23017:n ja peukalokytkimen välinen kytkentä (Boxall, 2011)

Valvomon muita komponentteja, analoginäyttöä ja 11 lediä, ohjataan suoraan Arduinolla, koska näiden ohjaamisessa käytetään digitaalisten nastojen (2-13) pulssinleveysmodulaatiota, jota MCP23017:ssä ei ole. Pulssinleveysmodulaatiota (ks. sivu 6) hyödyntäen voidaan digitaalista ulostuloa käyttää analogisen lähdön tapaan. Valvomossa pulssinleveysmodulaatio vaikuttaa analogisen näytön näyttämään ja 2-väriLEDien väriin. Kuviossa 18 on esitetty periaatekytkentä analogiselle näytölle ja ledille.



KUVIO 18. Esimerkki ledin ja jännitemittarin kytkemisestä Arduinoon.

5.6 Kuivakäyntisuoja

Pumppujen operoinnissa ongelmalliseksi osoittautui pumppujen sammuttamisen ajoittaminen. Pumppu ajautuu käymään niin sanotusti kuivana, kun pumpattava neste loppuu pumpun sisääntulosta. Pienten 12 V keskipakopumppujen kohdalla pumpun tyhjänä ajaminen ei aiheuta varsinaisesti laitteistovahinkoa, mutta saattaa viivästyttää panoksen valmistuksen etenemistä.

Pumppujen toiminnan tehostamiseen oli tarjolla useita eri menetelmiä. Yksinkertaisin tapa oli asettaa pumpulle kiinteä käyntiaika, jonka jälkeen pumppu sammutetaan. Vaikka pumpun virtaus onkin tasaista ja sen kautta käyntiaika karkeasti laskettavissa, aiheuttaa aikaan perustuva pumpun sammuttaminen omat ongelmansa. Pumppujen käyntiaikaa määritettäessä kukin pumppu on käsiteltävä erikseen, ja virhetilanteessa pumppaus saattaa lopettaa vaikka pumppausta ei ole saatu vielä päätökseen.

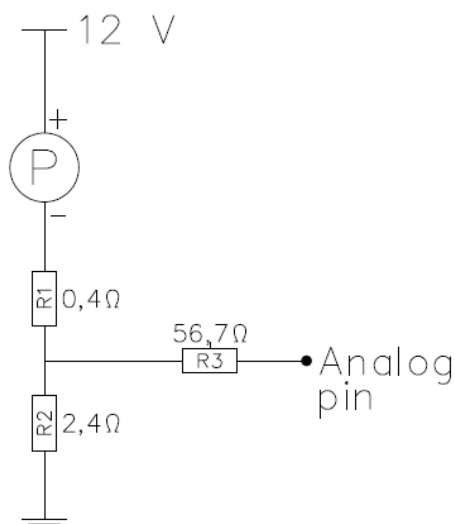
Käyntiajan sijasta tehokkaampaa on keskittyä tutkimaan pumpun tuottamaa virtausta virtausmittarilla. Kuivakäyntisuoja voitaisiin toteuttaa esimerkiksi piiriin FC-05 liitetyllä turbiinimittarilla. Panosprosessissa ongelmia aiheuttaa kuitenkin korkeat lämpötilat; esimerkiksi FC-05 piiriin valittu turbiinimittaria ei suositella käytettäväksi yli 80 °C nesteiden mittauksessa. Lisäksi mittareiden yhteishinta kohoaa varsin korkeaksi, kun niitä tarvitaan kaikille neljälle pumpulle.

Vaihtoehtoisesti voidaan pumppauksen aiheuttaman virtauksen sijasta tutkia pumpun käyttämän sähkövirran suuruutta. Pumpulle suoritettussa testissä (taulukko 8) havaittiin, että pumpun käyttämän sähkövirran määrään vaikuttaa se, että onko pumpulla nestettä mitä pumpata. Täysin tyhjä pumppu käyttää 130 mA, kun nestettä pumpatessaan pumpun käyttämä sähkövirta on suuruudeltaan yli 500 mA. Todellisuudessa pumppu ei saa täysin tyhjennettyä itseään, vaan pumpun ulostuloon jää pieni määrä nestettä. Tällöin pumpun käyttämän sähkövirran suuruus oli noin 224 mA.

TAULUKKO 8. Pumpun virrankulutus

Tila	Kuivakäynti	Virtauksella	Virtauksen pysähtyttyä
I / mA	130	507	224

Mittaustuloksia hyödyntäen rakennettiin pumppuille sähkövirtaan perustuva yksinkertainen kuivakäyntisuoja. Kun pumppujen käyttöjännite (12 V) on vakio, vaihtelee virtapiirin kokonaisvirta kuorman mukaan. Kuviossa 19 esitettyssä virtapiirissä on pumpun perään liitetty kaksi vastusta. Arduinolla mitataan jälkimmäisen vastuksen yli vaikuttavaa jännitettä. Elektronisista kytkennöistä poiketen kuivakäyntisuojakytkeä liittää Arduinon ylempään 12 V jännitetasoon, jolloin on huolehdittava ettei Arduinon I/O-nastalle asetettuja virtarajoituksia (ks. liite 2) ylitetä.



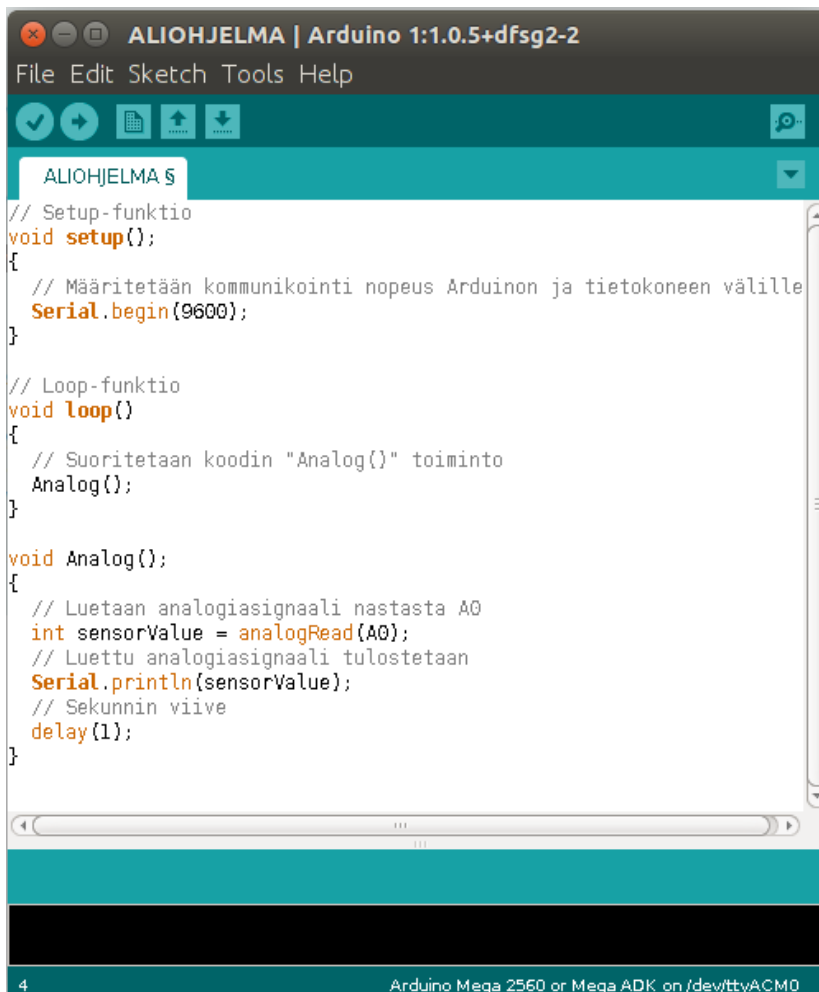
KUVIO 19. Vastuksilla toteutettu kuivakäyntisuoja.

Vastuksen R2 ylivaikuttava jännite vaihtelee pumpun tilan mukaisesti. Jännitteen vaihte-
lut havaitaan myös Arduinon analogiasisääntulossa. Vastusten valinnassa oli huomioitava
jännitehäviö, joka syntyi vastusten pudottaessa pumpun käyttöjännitettä. Vastukset oli
siis valittava mahdollisimman pieneksi, jotta pumppu ei kadota merkittävästi pumppaus-
tehoaan.

6 TOTEUTUSVAIHE

Arduinon ohjelmointi tapahtui Arduino (IDE) –ohjelman ja processing-ohjelmointikielen kautta (Arduino and Processing, 2016). Ohjelman saa ladattua ilmaiseksi Arduinon kotisivuilta (www.arduino.cc) ja ohjelmointikielen käyttöön löytyy runsaasti esimerkkiohjelmiä sekä harjoitteita.

Kuvassa 14 on esitetty esimerkkiohjelma, joka lukee Arduinon ensimmäisen analogianastassa (0) havaittavan analogiasisääntulon ja siirtää lukeman Arduinolta tietokoneelle. Kuvassa ensimmäisenä havaitaan `setup()`-funktio, jonka sisällä määritetään esimerkiksi ohjelman muuttujat ja nastojen toiminnot (sisään- vai ulostulo). Kuvan ohjelmassa `setup()`-funktion sisällä määritetään nopeus (bittejä sekunnissa) Arduinon ja tietokoneen väliselle yhteydelle. `Setup()`-funktio suoritetaan kerran ohjelman käynnistyessä. (`Setup()`, 2016.)



```

ALIOHJELMA | Arduino 1:1.0.5+dfsg2-2
File Edit Sketch Tools Help
ALIOHJELMA $
// Setup-funktio
void setup();
{
  // Määritetään kommunikointi nopeus Arduinon ja tietokoneen välille
  Serial.begin(9600);
}

// Loop-funktio
void loop()
{
  // Suoritetaan koodin "Analog()" toiminto
  Analog();
}

void Analog();
{
  // Luetaan analogiasignaali nastasta A0
  int sensorValue = analogRead(A0);
  // Luettu analogiasignaali tulostetaan
  Serial.println(sensorValue);
  // Sekunnin viive
  delay(1);
}

4 Arduino Mega 2560 or Mega ADK on /dev/ttyACM0

```

KUVA 14. Arduinolle rakennettavan koodin rakenne.

Setup()-funktion jälkeen esitetään loop()-funktio, joka nimensä mukaisesti suorittaa hakusulkujen sisäpuolista ohjelmaansa uudestaan ja uudestaan. Esimerkissä ”loopin” sisällä viitataan Analog()-aliohjelmaan, jossa siirretään ohjelman jokaisella suorituskerralla analogianastaan tulevan signaalin arvo sensorValue nimiseen muuttujaan. Serial.println -komentilla muuttujaan talletettu arvo siirretään Arduinolta tietokoneelle. Sekunnin mittaisen viiveen jälkeen ohjelma suoritetaan uudestaan.

Arduino IDE –ohjelmassa kirjoitettu koodi saadaan ladattua ohjelmoitavalle piirille tietokoneen USB-porttien kautta. Ennen ohjelman lataamista on kuitenkin valittava käytössä olevan Arduinon malli (Board) ja USB-portti (Serial port), jonka kautta ohjelma siirretään. Painamalla Download-painiketta saadaan ohjelma siirtymään Arduinolle.

6.1 Lämpötilan säätö ja virtauksen mittaaminen

DS18B20-anturit on varustettu yksilöllisellä sarjanumerolla, joka mahdollistaa usean anturin mittaustiedon välityksen 1-wire -väylää pitkin. Anturien yksilöiminen eli sarjanumeron selvittäminen onnistuu tarkoitusta varten kirjoitetulla testikoodilla (kuva 15). Ensin tulostetaan väylään liitettyjen anturien lukumäärä ja sitten kunkin anturin sarjanumero. (Arduino 1-Wire Address Finder.)

```

void discoverOneWireDevices(void) {
  byte i;
  byte present = 0;
  byte data[12];
  byte addr[8];

  Serial.print("Looking for 1-Wire devices...\n\r");
  while(ds.search(addr)) {
    Serial.print("\n\rFound '1-Wire' device with address:\n\r");
    for ( i = 0; i < 8; i++) {
      Serial.print("0x");
      if (addr[i] < 16) {
        Serial.print('0');
      }
      Serial.print(addr[i], HEX);
      if (i < 7) {
        Serial.print(" ");
      }
    }
    if { OneWire::crc8( addr, 7) != addr[7]} {
      Serial.print("CRC is not valid!\n\r");
      return;
    }
  }
}

```

Done Saving.

The sketch name had to be modified. Sketch names can only consist of ASCII characters and numbers (but cannot start with a number). They should also be less less than 64 characters long.

22 Arduino Mega 2560 or Mega ADK on /dev/ttyACM0

KUVA 15. Address finder –ohjelma.

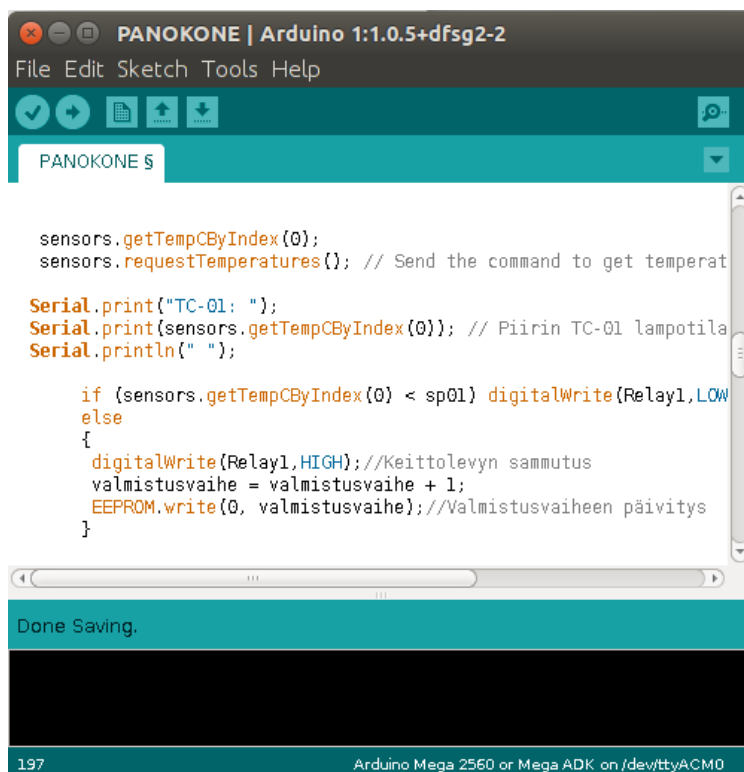
Testiohjelman ajo hankituilla antureilla paljastaa anturien sarjanumerot (taulukko 9). Anturit merkittiin ja sarjanumerot yhdistettiin kukin omaan yksikköprosessiin.

TAULUKKO 9. DS18B20-anturien yksilölliset osoitteet ja sijoituspisteet.

Sijoituspiste	Osoite (HEX)							
Veden lämmitys	0x28	0xAA	0x0C	0x9B	0x07	0x00	0x00	0XA3
Mäskäys	0x28	0xFF	0x37	0xC7	0x6C	0x14	0x03	0x09
Vierteen keitto	0x28	0x91	0xBB	0x9A	0x07	0x00	0x00	0x27
Jäähdytys	0x28	0x33	0x33	0x9A	0x07	0x00	0x00	0xE0

Lämpötila-anturien mittausviestiä hyödynnetään lämpötilaa säätävissä piireissä. Yksinkertaisimmillaan säätö on toteutettu piireissä TC-01 ja TIC-03, joissa keittolevyjen ohjauksessa on päädytty käyttämään kaksiasentosäätöä (ks. sivu 6). Lämpötila-anturin mitausta verrataan kussakin tilanteessa asetettuun asetusarvoon (kuva 16). Kun mittaus on

alle asetusarvon, on ohjaus päällä. Ohjaus kytketään pois päältä kun mittaus on suurempi tai yhtä suuri kuin asetusarvo.



```
sensors.getTempCByIndex(0);
sensors.requestTemperatures(); // Send the command to get temperat

Serial.print("TC-01: ");
Serial.print(sensors.getTempCByIndex(0)); // Piirin TC-01 lampotila
Serial.println(" ");

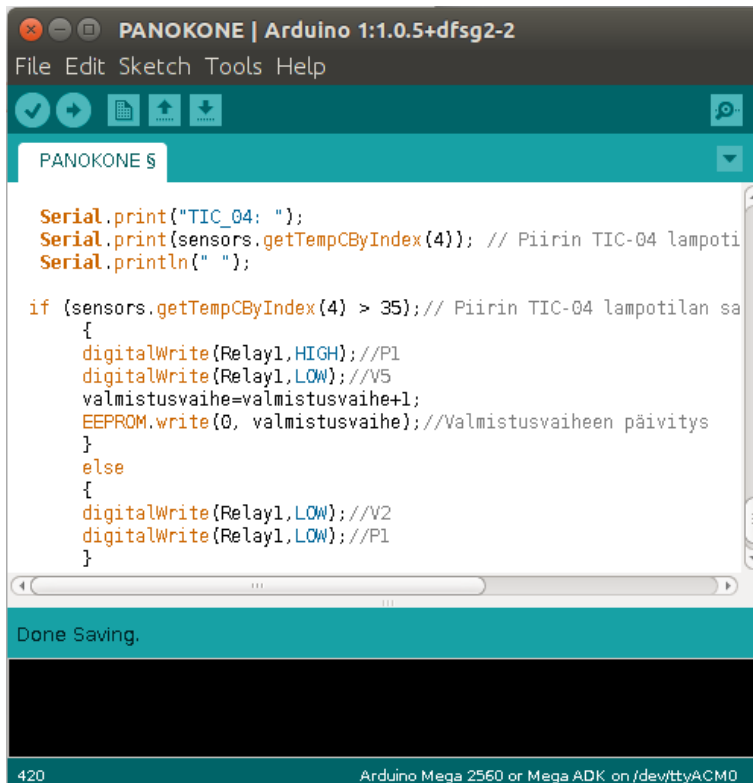
    if (sensors.getTempCByIndex(0) < sp01) digitalWrite(Relay1,LOW
else
{
    digitalWrite(Relay1,HIGH);//Keittolevyn sammutus
    valmistusvaihe = valmistusvaihe + 1;
    EEPROM.write(0, valmistusvaihe);//Valmistusvaiheen päivitys
}
```

Done Saving.

197 Arduino Mega 2560 or Mega ADK on /dev/ttyACM0

KUVA 16. Lämminvesikattilan lämpötilan säätö.

Piiri TIC-04:n säätö on luonteeltaan myös kaksiasentosäätöä. Lämminvesi- ja vierrekattilasta poiketen jäähdytyskattilassa lämpötilan säätö tähtää lämpötilan alentamiseen ja keittolevyn sijasta ohjataan pumppua P1, joka luo jäähdyttävän virtauksen jäähdytyskattilaan upotettuun kupariputkeen. Jäähdytys jatkuu kunnes vierteen lämpötila on saatu laskeutumaan alle 35 °C:n (kuva 17).



```

PANOKONE | Arduino 1:1.0.5+dfsg2-2
File Edit Sketch Tools Help

PANOKONE 5

Serial.print("TIC_04: ");
Serial.print(sensors.getTempCByIndex{4}); // Piirin TIC-04 lampoti
Serial.println(" ");

if (sensors.getTempCByIndex{4} > 35); // Piirin TIC-04 lampotilan sa
{
  digitalWrite(Relay1,HIGH); //P1
  digitalWrite(Relay1,LOW); //V5
  valmistusvaihe=valmistusvaihe+1;
  EEPROM.write(0, valmistusvaihe); //Valmistusvaiheen päivitys
}
else
{
  digitalWrite(Relay1,LOW); //V2
  digitalWrite(Relay1,LOW); //P1
}
}

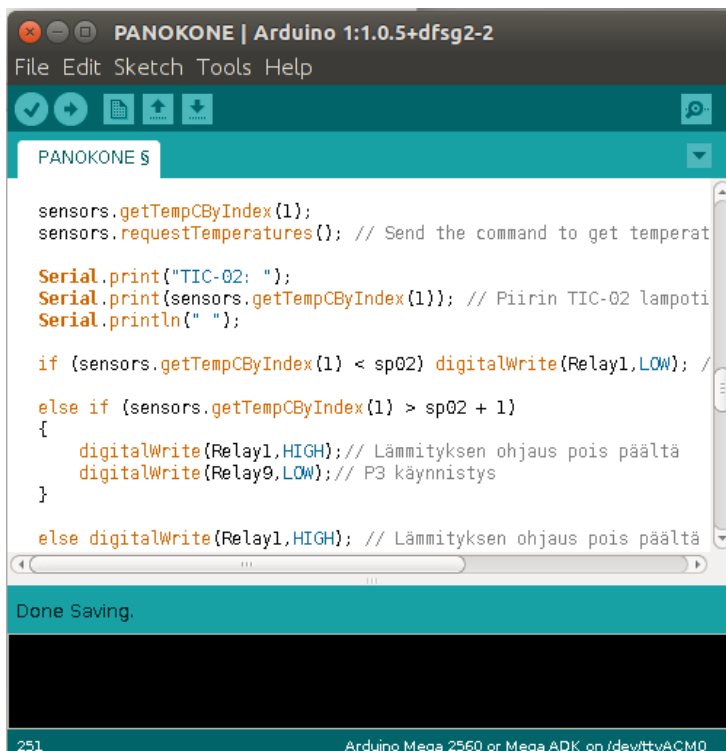
Done Saving.

420 Arduino Mega 2560 or Mega ADK on /dev/ttyACM0

```

KUVA 17. Jäähdytystä ohjaava ohjelmapätkä.

Tarkinta säätöä vaaditaan mäskäyksen aikana. Lämmityselementin ohjaus toteutetaan samaan tapaan kuin edellä eli kaksiasentosäädöllä. Vaikka lämmityselementti ei aiheuta suurta ylitystä (ks. kuvio 12), on mahdolliset asetusarvon ylityksen vaikutukset pyritty minimoimaan. Jos mäskäyksen aikana havaitaan mittauksen ylittävän asetusarvon yhdellä celsiusasteella, käynnistetään pumppu P3 ja mäskäyskattilan prosessineste kierrätetään mallaspatjan läpi (kuva 18). Nesteen kierrätyksen seurauksena kattilan sisäiset pysyvuuntaiset lämpötilaerot tasoittuvat ja prosessin lämpötila saadaan lähemmäs asetusarvoa.



```

PANOKONE $
sensors.getTempCByIndex(1);
sensors.requestTemperatures(); // Send the command to get temperat

Serial.print("TIC-02: ");
Serial.print(sensors.getTempCByIndex(1)); // Piirin TIC-02 lampoti
Serial.println(" ");

if (sensors.getTempCByIndex(1) < sp02) digitalWrite(Relay1,LOW); /

else if (sensors.getTempCByIndex(1) > sp02 + 1)
{
  digitalWrite(Relay1,HIGH); // Lämmityksen ohjaus pois päältä
  digitalWrite(Relay9,LOW); // P3 käynnistys
}

else digitalWrite(Relay1,HIGH); // Lämmityksen ohjaus pois päältä

```

Done Saving.

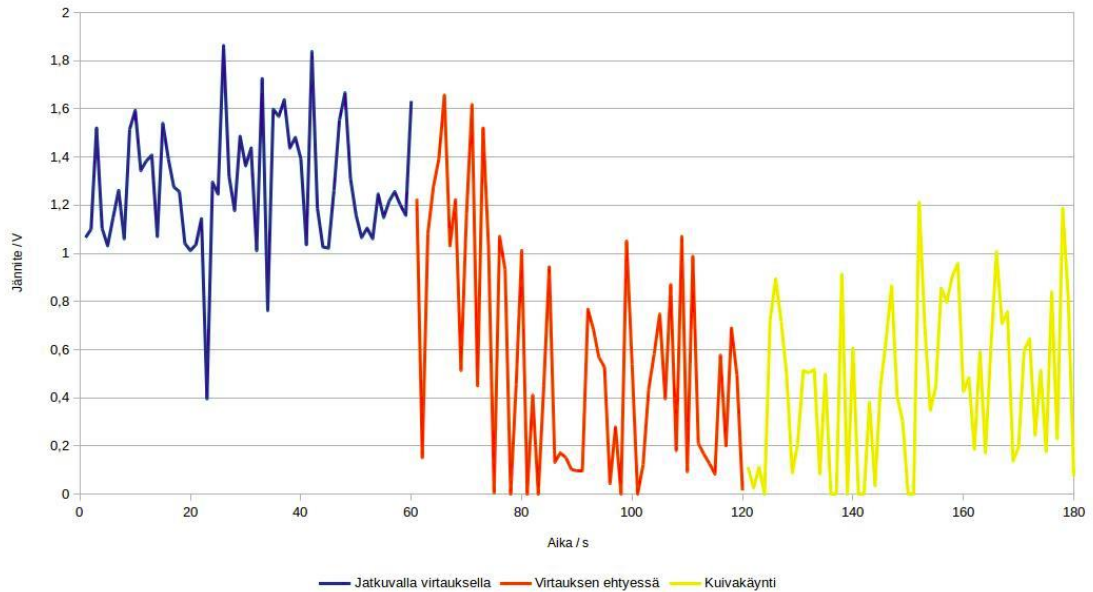
251 Arduino Mega 2560 or Mega ADK on /dev/ttyACM0

KUVA 18. Mäskäyksen lämpötilan säätö lämmityselementin ja pumpun P3 avulla.

Lämpötilaa säätävien piirien lisäksi järjestelmästä löytyi virtausta säätävä FC-05 –piiri, jonka toiminnasta on kerrottu aikaisemmin luvussa 4.2.2. Virtausmittari kytkettiin samaan sisääntuloon kuin lämpötila-anturit. Jotta mittarin ja anturien toiminta ei häiritse toisiaan, otetaan virtauksen mittaukseen käytettävä koodi käyttöön vasta aliohjelmassa. Ohjelmassa lasketaan virtausmittarin piirin lähettämien pulssien lukumäärä, josta pienien laskutoimitusten kautta saadaan tieto säiliöön virranneesta vedestä. Pumppu P1 sammutetaan, kun säiliössä olevan nesteen määrä ylittää 2,5 l.

6.2 Kuivakäyntisuoja

Luvussa 4.6 esitetyn kuivakäyntisuojan toiminta perustuu jännitemittaukseen ja sille annettuihin raja-arvoihin. Jännite vaihtelee pumpun käyttämän sähkövirran vaihdella. Kuviossa 20 on esitetty jännitteen mittaus kolmessa eri tilanteessa. Aluksi on mitattu jännite pumpun kierrättäessä vettä eli tilanteessa, jossa kuivakäynti ei ole mahdollinen. Kesellä on esitetty hetki, jolloin pumpun läpi virtaava neste hupenee ja lopuksi on taltioitu hetki, jolloin pumppu käy niin sanotusti kuivana.



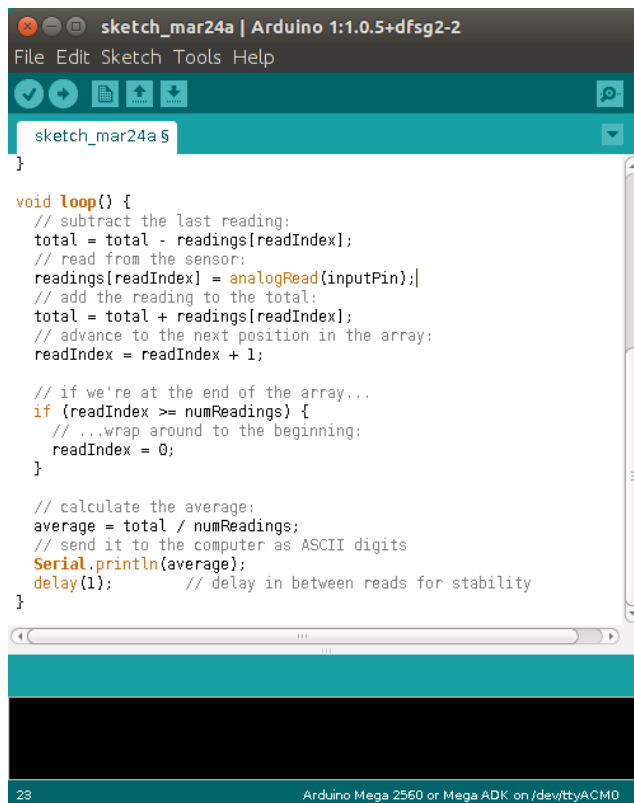
KUVIO 20. Vastuksen R2 yli vaikuttava jännite.

Yhteensä noin kolmen minuutin otannasta nähdään, että vastuksen yli vaikuttava jännite värähtelee rajusti. Värähtelystä huolimatta käyrästä on havaittavissa selvästi jännitteen putoaminen, kun pumpun läpi virtaava neste loppuu. Värähtely on kuitenkin niin laajaa ja sattumanvaraista, että tarkan raja-arvon määrittäminen on hankalaa. Taulukkoon 10 on laskettu kuviossa 20 esitetyn testin ensimmäisen ja viimeisen vaiheen mittaustuloksista lasketut keskiarvot. Havaitaan, että jännite putoaa testin aikana noin 0,8 V.

TAULUKKO 10. Keskiarvo 60 sekunnin ajalta.

	Jatkuvalla virtauksella	Kuivakäynti
0...1023	261	92
0...5 V	1,28 V	0,45 V

Värähtelyn tuottamaa ongelmaa ratkaistiin laskemalla jännitemittauksen tuloksista liukuva keskiarvo (kuva 19). Kuivakäyntisuojaan tapauksessa Arduino tallettaa 25 mitatun jännitteen arvoa muistiin (array) ja laskee niistä keskiarvon. Uusi jännitemittaus korvaa muistiin talletetuista arvoista vanhimman ja näin liukuva keskiarvo päivittyy jokaisella mittauksen jälkeen. (Mellis. 2012)



```

sketch_mar24a $
}

void loop() {
  // subtract the last reading:
  total = total - readings[readIndex];
  // read from the sensor:
  readings[readIndex] = analogRead(inputPin);
  // add the reading to the total:
  total = total + readings[readIndex];
  // advance to the next position in the array:
  readIndex = readIndex + 1;

  // if we're at the end of the array...
  if (readIndex >= numReadings) {
    // ...wrap around to the beginning:
    readIndex = 0;
  }

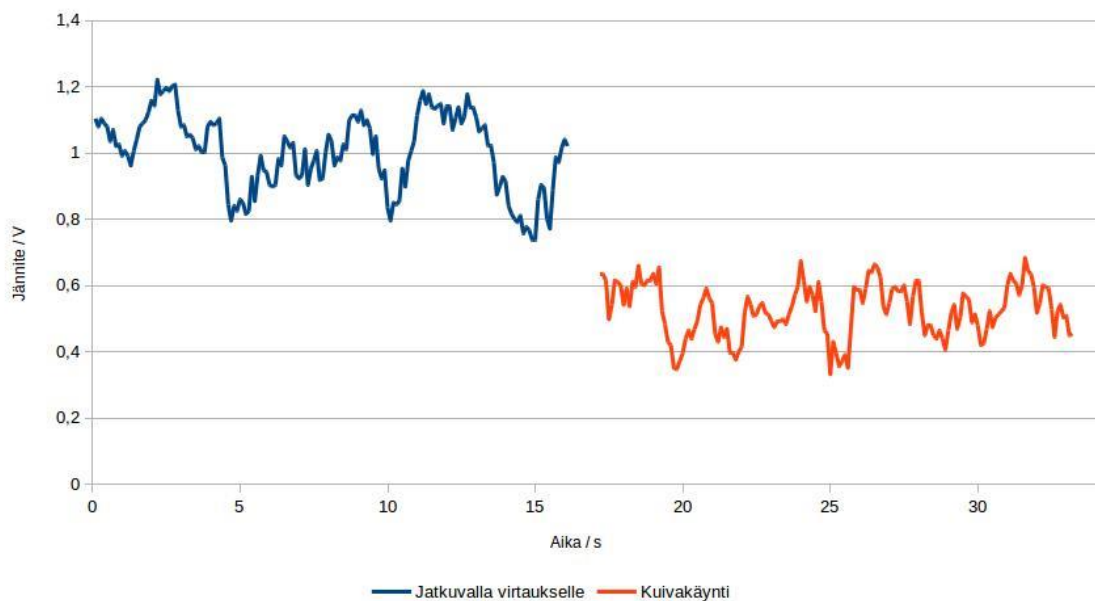
  // calculate the average:
  average = total / numReadings;
  // send it to the computer as ASCII digits
  Serial.println(average);
  delay(1); // delay in between reads for stability
}

```

23 Arduino Mega 2560 or Mega ADK on /dev/ttyACM0

KUVA 19. Liukuva keskiarvo koodin muodossa.

Kuivakäyntisuoja laskee siis liukuvaa keskiarvoa ja vertailee sitä kuivakäynnille asetettuun raja-arvoon. Tässä tapauksessa kuivakäyntisuoja katkaisee pumpun virtapiirin, kun jännitemittauksesta laskettu liukuva keskiarvo alittaa 0,5 V (kuvio 21).



KUVIO 21. Jännitemittaus liukuvalla keskiarvolla.

Kuivakäynnin havaitsemisen lisäksi kuivakäyntisuojailla voidaan havaita, jos joku pumpusta ei ole liitetty kunnolla järjestelmään. Mikäli kuivakäyntisuoja ei havaitse muutosta pumpun käyttövirrassa pumpun käynnistettäessä (analogiasisääntuloon jännitteen arvoksi tulee 0 V mittauksessa), päättelee ohjelma ettei pumpun ole liitetty järjestelmään tai yhteys ei jostain muusta syystä ole kunnossa. Järjestelmä informoi käyttäjää valvomoon ajatulla virheviestillä ja viesti poistuu, kun pumpun oikeaoppisesti liitetty DC-runtoon.

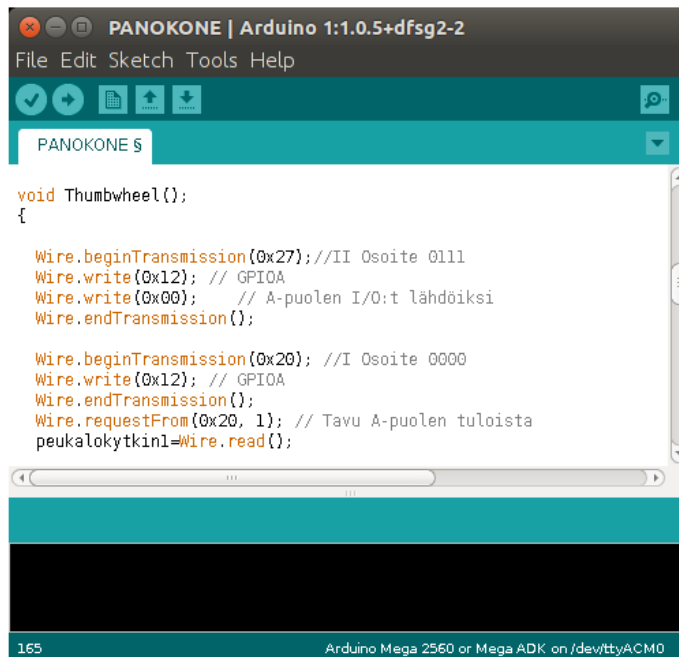
6.3 MCP23017-laajennuspiiri

Kun käytetään useampia MCP23017:siä, yksilöidään kukin piiri nastojen A0-A2 avulla (ks. kuvio 15). Nastojen A0, A1 ja A2 avulla muodostetaan kullekin piirille osoite, johon Arduino ohjelmassaan viittaa. Kytkemällä kaikki nastat Arduinon GND-nastaan on osoite binäärimuodossa 0010 0000. Kun kaikki nastat kytketään 5 V jännitteeseen, on osoite binäärimuodossa 0010 0111. Nastojen kytkentöjä vaihtelemalla kolme nastaa tarjoaa osoitteen yhteensä kahdeksalle MCP23017-piirille. Järjestelmään liitetyt kaksi piiriä saivat osoitteensa taulukon 11 mukaisesti. (Boxall, 2011.)

TAULUKKO 11. MCP23017:n osoitteet.

Osoite (HEX)	Osoite (BIN)	Jännitteeseen kytketyt nastat
0x20	0010 0000	-
0x27	0010 0111	A0, A1, A2

Jotta Arduinon ja MCP23017-piirien välinen kommunikointi onnistuu, on Arduinolle siirrettävään koodiin sisällytettävä I²C-protokollaa hyödyntäville laitteille tarkoitettu wire.h-kirjasto. Kirjaston kautta saadaan käyttöön protokollalla operoimiseen vaadittavat komennot. Kuvassa 20 ohjelma asettaa toisen MCP23017-piirin (0x27) A-nastat ulostuloiksi ja lukee toisen piirin samat nastat sisääntuloina.



```

PANOKONE | Arduino 1:1.0.5+dfsg2-2
File Edit Sketch Tools Help
PANOKONE $

void Thumbwheel();
{

  Wire.beginTransmission(0x27); //II Osoite 0111
  Wire.write(0x12); // GPIOA
  Wire.write(0x00); // A-puolen I/O:t lähdeiksi
  Wire.endTransmission();

  Wire.beginTransmission(0x20); //I Osoite 0000
  Wire.write(0x12); // GPIOA
  Wire.endTransmission();
  Wire.requestFrom(0x20, 1); // Tavu A-puolen tuloista
  peukalokytkin1=Wire.read();
}

165 Arduino Mega 2560 or Mega ADK on /dev/ttyACM0

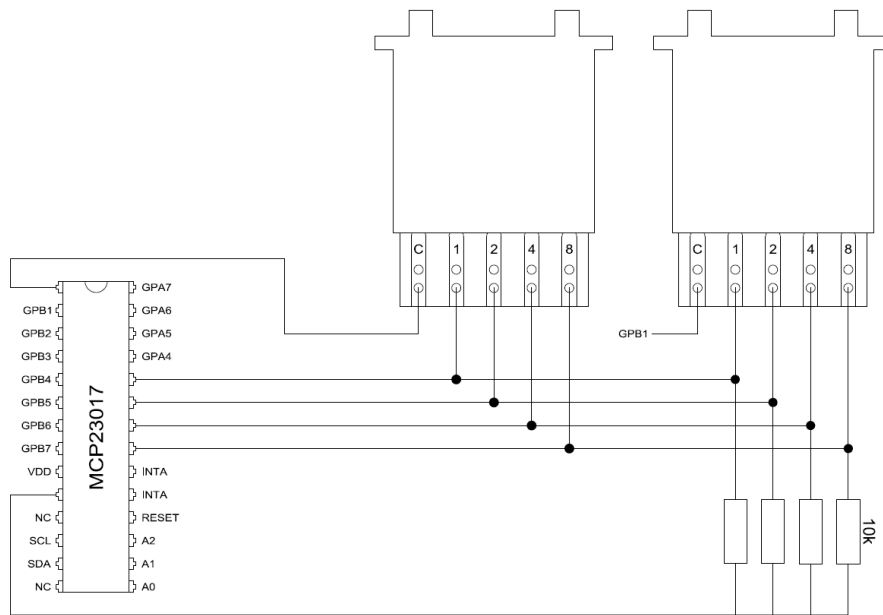
```

KUVA 20. MCP23017-piirien I/O-paikkojen käyttö lähtöinä ja sisääntuloina.

6.4 Peukalokytkin

Peukalokytkimet kytketään kuvion 17 mukaisesti eli kytkimen näyttämä numero saadaan tuotua järjestelmään neljän erillisen johtimen kautta. Peukalokytkimen nastoista (1, 2, 4 ja 8) muodostetaan kytkimen näyttämä desimaalimuotoinen numero binäärimuodossa. Kun kytkimellä valitaan numeroksi 8, siirtyy C-nastan tuotu jännite 8-nastan kautta sisääntulonastaan. Muiden nastojen (1, 2 ja 4) ollessa kiinni on peukalokytkimen välittämä numero binäärimuodossa 1000. Jos valitaan numeroksi puolestaan 6, saadaan C-nastan viety jännite nastoista 2 ja 4, jolloin numero on binäärimuodossa 0110.

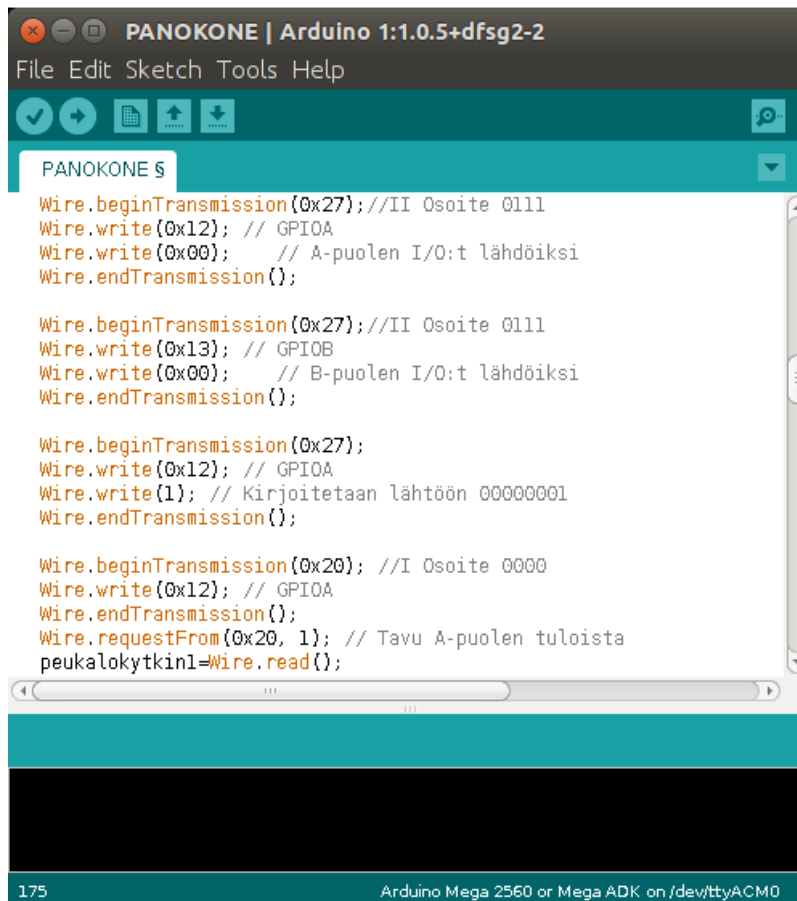
Jos kahdeksantoista peukalokytkintä kytketään niin, että kaikki kytkimen neljä nastaa saa oman sisääntulonsa järjestelmän I/O-paikoista, on kytkimille varattava yhteensä 72 sisääntuloa. Kytkimille varatut 32 I/O-paikkaa eivät siis näin ollen riitä. Sen sijaan, jos jokainen kytkin saisi omat sisääntulonastansa, voidaan liittää useampi peukalokytkin samoihin nastoihin (kuvio 22).



KUVIO 22. Peukalokytkimien rinnankytkentä.

Kun kaksi peukalokytkintä liitetään samoihin sisääntulonastoihin, vaikuttavat kytkimiin asetetut numerot virheellisesti toisiinsa. Näin siis siinä tapauksessa, kun kytkimien C-nastat on kytketty yhteen. Kun peukalokytkimet luetaan yksi kerrallaan eli kukin kytkin saa oman C-nastaan liitettävän ulostulonsa I/O-paikoista ja kytkimet luetaan vaiheittain, voidaan yhdellä MCP23017-piirillä lukea tietoja jopa 12 peukalokytkimeltä. Järjestelmään liitettävät kahdeksantoista peukalokytkintä vievät yhteensä näin vain 32 I/O-paikkaa.

Koodin muodossa peukalokytkimien lukeminen tapahtuu kuvan 21 mukaisesti. MCP23017-piirin I/O-paikat ovat oletuksena sisääntulonastoja eli peukalokytkimien C-nastoihin kytketyt I/O-paikat on asetettava ulostuloiksi. C-nastoihin kytketyn MCP23017:n (0x27) A- ja B-nastojen tilaa voidaan tämän jälkeen muuttaa kirjoittamalla lähtöjä päälle ja pois päältä. Kun lähdöt on määritetty, asetetaan yksi ulostuloista päälle (21) ja luetaan toisesta MCP23017-piiristä (0x20) tavu A-nastoista. Näin saadaan tieto sisääntuloista GPA0-GPA7.



```

PANOKONE | Arduino 1:1.0.5+dfsg2-2
File Edit Sketch Tools Help

PANOKONE $
Wire.beginTransmission(0x27); //II Osoite 0111
Wire.write(0x12); // GPIOA
Wire.write(0x00); // A-puolen I/O:t lähdeiksi
Wire.endTransmission();

Wire.beginTransmission(0x27); //II Osoite 0111
Wire.write(0x13); // GPIOB
Wire.write(0x00); // B-puolen I/O:t lähdeiksi
Wire.endTransmission();

Wire.beginTransmission(0x27);
Wire.write(0x12); // GPIOA
Wire.write(1); // Kirjoitetaan lähtöön 00000001
Wire.endTransmission();

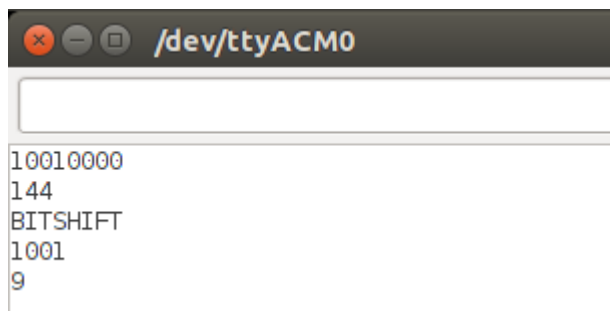
Wire.beginTransmission(0x20); //I Osoite 0000
Wire.write(0x12); // GPIOA
Wire.endTransmission();
Wire.requestFrom(0x20, 1); // Tavu A-puolen tuloista
peukalokytkin1=Wire.read();

175 Arduino Mega 2560 or Mega ADK on /dev/ttyACM0

```

KUVA 21. Peukalokytkimien lukeminen.

MCP23017-piirin I/O-paikkojen GPA4-GPA7 (ja GPB0-GPB3) välillä on peukalokytkimien lukemisessa hyödynnettävä bitshift-komentoa. Kuvassa 22 on esitetty yllä mainittuihin nastoihin liitetyn peukalokytkimeen antama sisääntulo. Desimaalimuodossa luku on 9, mutta nastoista luettuna binäärimuodossa 1001 0000. Jos binääriluvun kääntää suoraan desimaaleiksi, saadaan vastauksena 144. Bitshift-komennolla sisääntulon ykkösiä ja nollija voidaan siirtää joko oikealle tai vasemmalla. Jotta 144 saadaan 9, on bittejä siirrettävä neljä askelta oikealle.



```

/dev/ttyACM0

10010000
144
BITSHIFT
1001
9

```

KUVA 22. Bitshift-komennon vaikutus peukalokytkimestä luettuun arvoon.

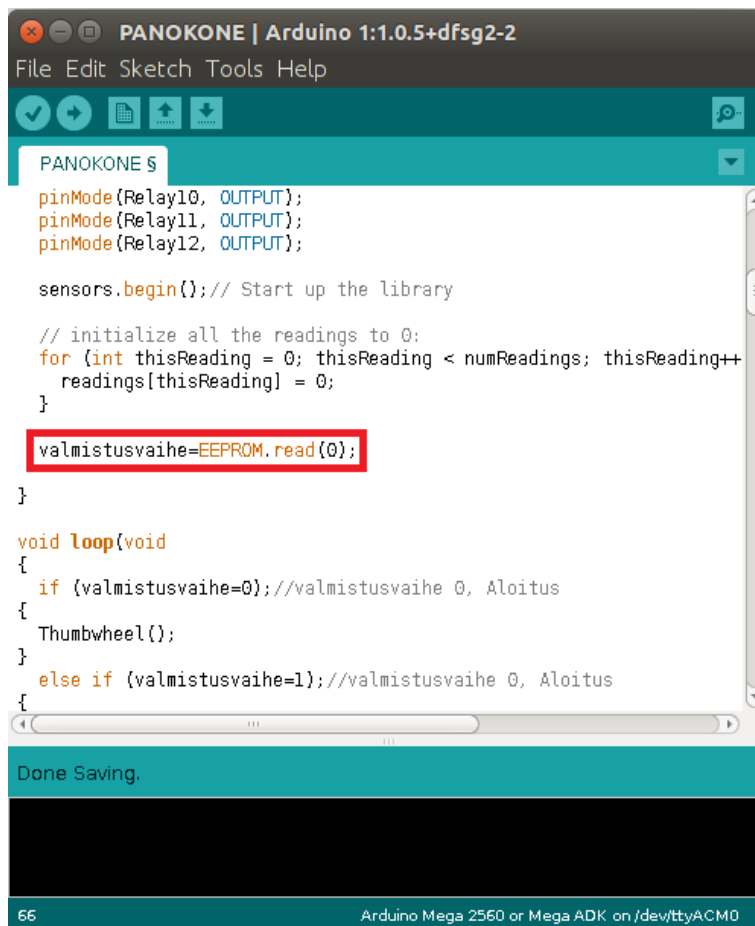
6.5 EEPROM

Panoksen valmistus on ajallisesti useamman tunnin mittainen prosessi. Arduinoa käytettäessä on vaarana, että panoksen valmistus keskeytyy sähkönsyötön katketessa ja alkaa alusta Arduinon uudestaan käynnistyessä. Panoksen valmistuksen keskeytyminen voi siis pilata valmistuksessa olevan panoksen, mutta myös aiheuttaa ylivuotoriskin kattiloissa, kun prosessinestettä on prosessissa kahden panoksen edestä.

Arduinolla on mahdollista tallettaa muuttujia ja niiden arvo muistiin niin, että tiedot pysyvät mikrokontrollerin käyttöjännitteen katketessa. Muistia nimitetään EEPROM:ksi, jonka koko vaihtelee mikrokontrollerimallien välillä. Järjestelmään liitettyssä Arduino Mega 2560:ssa muistia on yhteensä 4 KB.

Ohjelmaan liitetään aivan kuten MCP23017:n I²C-protokollan kohdalla EEPROM-muistin käyttöä helpottamaan luotu kirjasto. Kirjaston kautta voidaan siirtää muuttujien sisältämät arvot muistiin, mutta myös lukemaan ja tyhjentämään talletettuja arvoja. (EEPROM Library, 2016.)

Järjestelmässä panoksen valmistuksen jatkuvuus pyritään varmistamaan tallettamalla prosessin eteneminen valmistusvaihe nimiseen muuttujaan. Kunkin yksikköprosessin, pumpun käytön tai mäskäyksen vaiheen jälkeen koodissa kasvatetaan valmistusvaihe nimen muuttujan arvoa ja se talletetaan EEPROM-muistiin osoitteeseen 0. Jos prosessin valmistus keskeytyy, lukee Arduino järjestelmän uudelleen käynnistyttyä viimeisimmän muistiin talletetun arvon ja jatkaa prosessia sen mukaisesti (kuva 23). Panoksen valmistuksen lopuksi muisti tyhjennetään.



```
PANOKONE | Arduino 1:1.0.5+dfsg2-2
File Edit Sketch Tools Help

PANOKONE S
pinMode(Relay10, OUTPUT);
pinMode(Relay11, OUTPUT);
pinMode(Relay12, OUTPUT);

sensors.begin();// Start up the library

// initialize all the readings to 0:
for (int thisReading = 0; thisReading < numReadings; thisReading++
  readings[thisReading] = 0;
}

valmistusvaihe=EEPROM.read(0);
}

void loop(void
{
  if (valmistusvaihe=0);//valmistusvaihe 0, Aloitus
  {
    Thumbwheel();
  }
  else if (valmistusvaihe=1);//valmistusvaihe 0, Aloitus
  {
}

Done Saving.

66 Arduino Mega 2560 or Mega ADK on /dev/ttyACM0
```

KUVA 23. Arvojen lukeminen EEPROM-muistista.

7 TESTAUKSET JA KELPUUTUS

Tyypillisesti olutresepti pitää sisällään raaka-aineiden ja niiden määrän lisäksi tiedon reseptissä tavoiteltavasta kantavierreväkevyydestä, joka voidaan ilmoittaa esimerkiksi ominaispainon muodossa. Kantavierreväkevyyteen vaikuttaa maltojen määrä ja tyyppi, mutta myös mäskäysohjelma ja sen onnistunut suorittaminen.

Kotipanimossa kantavierreväkevyyttä mitataan joko refraktometrillä tai ominaispainomittarilla. Refraktometri ilmoittaa mitattavan aineen tiheyden valon taittumista hyödyntäen. Aineen tiheys vaikuttaa nesteeseen taitekertoimeen ja sen myötä kulmaan, jossa valon säteet heijastuu refraktometrin sisälle sijoitetun prisman ja mitattavan nesteeseen rajapinnasta. Mitä tiheämpää mitattava aine on, sitä pienemmässä kulmassa valo heijastuu rajapinnasta. (Härkönen, Lähteenmäki & Välimaa 1997, 39.)

Ominaispainomittarin eli aerometrin tapauksessa mitattavan aineen mittariin kohdistama noste vaikuttaa kääntäen verrannollisesti mittarin uppoamissyvyyteen. Mitattavassa nesteessä vapaasti kelluva mittari kohoaa nosteen vaikutuksesta sitä korkeammalle mitä suurempi mittarin ja sitä ympäröivän aineen tiheusero on. (Härkönen ym. 1997, 35.)

Kumpaan mittaria käytettäessä on huomioitava mitattavan nesteeseen lämpötilan vaikutus mittaustulokseen. Osa refraktometreista sisältää sisään rakennetun lämpötilan korjauksen, mutta ominaispainomittareiden kohdalla on suoritettava korjaavia laskelmia, jos mitattavan nesteeseen lämpötila poikkeaa ihanteellisesta lämpötilasta (n. 20 °C).

Kantavierreväkevyyden mittausta toteutettiin ominaispainomittarilla. Järjestelmällä suoritettiin testipanoksen valmistus, jonka valmistusresepti on esitetty taulukossa 12. Wieniläistä lager-olutta valmistettaessa suoritetaan kolmiportainen infuusiomäskäys. Reseptin mukaan ominaispainoksi saadaan 1.053 eli vierre on tiheydeltään 1053g/l. Testireseptistä laadittu perusresepti on esitetty liitteessä 8.

TAULUKKO 12. Testitresepti (Palmer 2006, 256)

Testiresepti, Vienna lager

Maltaat		Humalat		
Mallastyyppe	Määrä	Humalalajike	Määrä	Keittoaika
Vienna	675 g	Liberty	5 g	45 min
Crystal 30	22 g	Liberty	5 g	30 min
Crystal 80	22 g	Liberty	10 g	15 min
Crystal 120	22 g			
Black Patent	17 g			

Mäskäysohjelma		Teoreettinen ominaispaino:	
Lämpötila	Aika	OG:	1.053
35 °C	20 min		
62 °C	20 min		
72 °C	40 min		

Ominaispaino mitattiin panoksen valmistuksen päätyttyä eli näyte otettiin jäähtyneestä vierteestä, jolloin välttyttiin lämpötilan aiheuttamilta virheilä. Ominaispainomittari asetettiin kellumaan vapaasti vierteeseen ja mittaustulos katsottiin mittarin asteikolta. Testipanoksen kohdalla ominaispainoksi mitattiin 1.054.

Mittauksessa epätarkkuutta aiheutti ominaispainomittarin karkea asteikko, mutta myös reseptin skaalaaminen panosprosessiin sopivaksi ja maltaiden punnintaan käytetyn keittäövaa'an keuhko mittaustarkkuus (± 1 g). Mahdollisista virheistä huolimatta mittaustuloksesta voidaan kuitenkin todeta, että panoksen valmistus suoriutui hyväksytysti.

8 POHDINTA

Vierteen valmistuksen automatisointi onnistui tavoitteiden mukaisesti. Vaikka järjestelmälle ei annettu kiinteää budjettia, ei projektin lopullinen kokonaishinta kohonnut liian korkealle. Järjestelmän komponentit, niiden määrät ja hinnat sekä kokonaiskustannukset on eritelty laite- ja komponenttiluettelosta (liite 9). Hintaa nosti erityisesti erityyppiset, metalliset putken osat, joiden kappalehinta saattoi kohota paikoin varsin korkeaksi. Toisaalta automatisoinnin toteutuksessa säästettiin varoja, kun kotelo saatiin koululta ilmaiseksi.

Projektia työstäneelle tuli yllätyksenä, kuinka vähän projektin aikana kohdattiin ongelmia. Kotelon rakentaminen onnistui suunnitelmien mukaan ja kaikki komponentit mahtui kuin mahtuikin kotelon sisälle. Kiinasta tilatut pumput ja venttiilit ovat toimineet moitteettomasti ja aluksi jännittänyt kattiloiden työstäminen onnistui ilman suurempia ongelmia eikä esimerkiksi vuotoja panoksen valmistuksen aikana ole havaittu. Pieniä pulmatilanteita kohdattiin toki järjestelmän ohjelmoinnissa, mutta nämä voidaan laskea ohjelmoijan vähäisen ohjelmointikokemuksen piikkiin.

Aluksi haastavalta tuntunut projekti osoittautui opettavaiseksi kokemukseksi oluen valmistuksen, laiterakennuksen sekä ohjelmoinnin näkökulmasta. Järjestelmän elinkaaren seuraava vaihe on siirtyminen erityyppisten olutreseptien tuotantoon. Kenties tulevaisuudessa järjestelmän valmistavan panoksen kokoa pyritään laajentamaan kattiloiden kokoa kasvattamalla. Valmis, kasattu järjestelmä on esitetty alla (kuva 24).



KUVA 24. Valmis järjestelmä kasattuna.

LÄHTEET

8-kanavainen relemoduli. Kuvakaappaus myyjän sivulta. Katsottu 15.03.2016. <http://www.ebay.com/itm/191674534102?euclid=5533e879c2d9482fae852c69c1a25a69&cp=1&exe=13453&ext=34391&sojTags=exe=exe,ext=ext>

ANSI/ISA-88.01-1995. Batch Control. Part 1: Models and Terminology. 23.10.1995. Instrument Society of America

Arduino 1-Wire Address Finder. Tulostettu 23.03.2016. <http://www.hacktronics.com/Tutorials/arduino-1-wire-address-finder.html>

Arduino and Processing. 2016. Tulostettu 30.03.2016. <http://playground.arduino.cc/Interfacing/Processing>

Arduino MEGA 2560. Kuvakaappaus valmistajan sivuilta. Katsottu 7.3.2016. <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>

Automaatiosuunnittelun prosessimalli. Yhteiset käsitteet verkottuneen suunnittelun perustana. 2007. Helsinki: Suomen automaatioseura ry.

Boxall, J. 2011. Tutorial: Arduino and Thumbwheel switches. Tulostettu 7.3.2016. <http://tronixstuff.com/2011/08/15/tutorial-arduino-and-push-wheel-switches/>

Boxall, J. 2011. Tutorial: Maximising your Arduino's I/O ports with MCP23017. Tulostettu 28.3.2016. <http://tronixstuff.com/2011/08/26/tutorial-maximising-your-arduinos-io-ports/>

DC-runkoliitin. Kuvakaappaus myyjän sivulta. Katsottu 7.3.2016. http://www.veko.com/product_info.php?products_id=300

DS18B20, Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer (050400), manuaali. Dallas Semiconductor.

DS18B20-anturi. Kuvakaappaus myyjän sivulta. Katsottu 7.3.2016. http://www.minithebox.com/fi/diy-stainless-steel-temperature-sensor-probe-musta_p1236010.html?litb_from=sysmail

EEPROM Library. 2016. Tulostettu 30.03.2016. <https://www.arduino.cc/en/Reference/EEPROM>

Enari, T-M. & Mäkinen, V. 1983. Panimotekniikka. Rauma: Länsi-Suomi Oy.

Hakkuriteholähde. Kuvakaappaus myyjän sivulta. Katsottu 7.3.2016. http://www.ebay.com/itm/371422642034?ru=http%3A%2F%2Fwww.ebay.com%2Fsch%2Fi.html%3F_from%3DR40%26_sacat%3D0%26_nkw%3D371422642034%26_rdc%3D1

Halko, P., Härkönen, S., Lähteenmäki, I. & Välimaa, T. 1990. Teollisuuden mittaustekniikka. Perusmittauksia. Helsinki: Valtion painatuskeskus.

Halmetoja, H. 1996. Oluen ja viinin kotivalmistus. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Härkönen, H., Lähteenmäki, I. & Välimaa, T. 1997. Teollisuuden mittaustekniikka. Analyysimittaukset. Helsinki; Oy Edita Ab.

Jännitemittari. Kuvakaappaus myyjän sivulta. Katsottu 9.3.2016. http://www.ebay.com/itm/171638428607?ru=http%3A%2F%2Fwww.ebay.com%2Fsch%2Fi.html%3F_from%3DR40%26_sacat%3D0%26_nkw%3D171638428607%26_rdc%3D1

Kojerunkoliitin uros. Kuvakaappaus myyjän sivulta. Katsottu 7.3.2016. http://www.vekoj.com/product_info.php?products_id=8825

Kuikka, S. & Laitinen, O. 2008. ACI-21110 Panosprosessien automaatio. Luentomoniste. TTY, Tampere.

Lämmityselementti. Kuvakaappaus myyjän sivulta. Katsottu 7.3.2016. http://www.ebay.com/itm/391367042248?ru=http%3A%2F%2Fwww.ebay.com%2Fsch%2Fi.html%3F_from%3DR40%26_sacat%3D0%26_nkw%3D391367042248%26_rdc%3D1

Magneettiventtiili. Kuvakaappaus myyjän sivulta. Katsottu 7.3.2016. <http://g01.a.alicdn.com/kf/HTB151dWJVXXXXbcXXXXq6xXFXXXw/N-C-12V-DC-1-2-Electric-Solenoid-Valve-For-Water-Air-2015-new-arrival-c4.jpg>

MCP23017. Kuvakaappaus myyjän sivulta. Katsottu 23.03.2016. <http://i.ebayimg.com/images/g/hjMAAOSwGzITwy~n/s-l500.jpg>

MCP23017/MCP23S17, 16-bit I/O Expander with Serial Interface, manuaali. 2007. Microchip Technology Inc.

Mellis, D. 2012. Smoothing. Tulostettu 23.03.2016. <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/Smoothing>

Palmer J. 2006. How to Brew. Everything you need to know to brew beer right the first time. 3. Painos. Brewers Publications.

Pihkala, J. 1998. Prosessitekniikan kokonaisprosessit. Helsinki: Hakapaino Oy.

Salakari, T. & Salakari, J-P. 1996. Suomalainen kotiviini & -olut. Porvoo: WSOY.

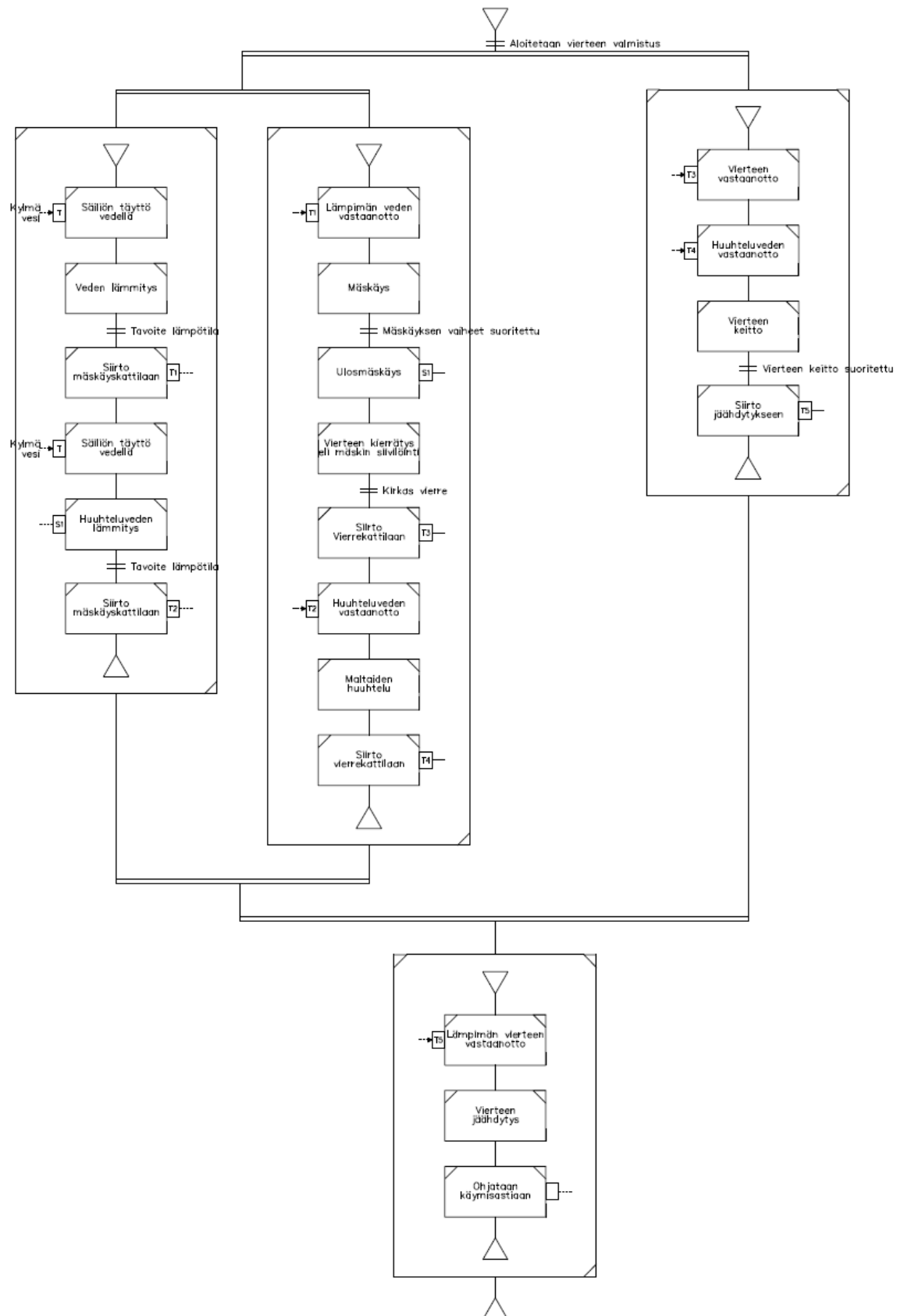
Setup(). 2016. Tulostettu 30.03.2016. <https://www.arduino.cc/en/Reference/Setup>

Wirta 1500 W 1-osainen keittolevy. Kuvakaappaus myyjän sivulta. Katsottu 7.3.2016. <http://www.hongkong.fi/fi/koti-ja-asuminen/kodinkoneet/keittiokoneet/mikroaaltouunit/wirta-1500-w-1-osainen-keittolevy/p/2078815/>

Virtausmittari. Kuvakaappaus myyjän sivulta. Katsottu 15.03.2016. http://www.ebay.com/itm/381384102109?ru=http%3A%2F%2Fwww.ebay.com%2Fsch%2Fi.html%3F_from%3DR40%26_sacat%3D0%26_nkw%3D381384102109%26_rdc%3D1

LIITTEET

Liite 1. Valmistussekvenssi.

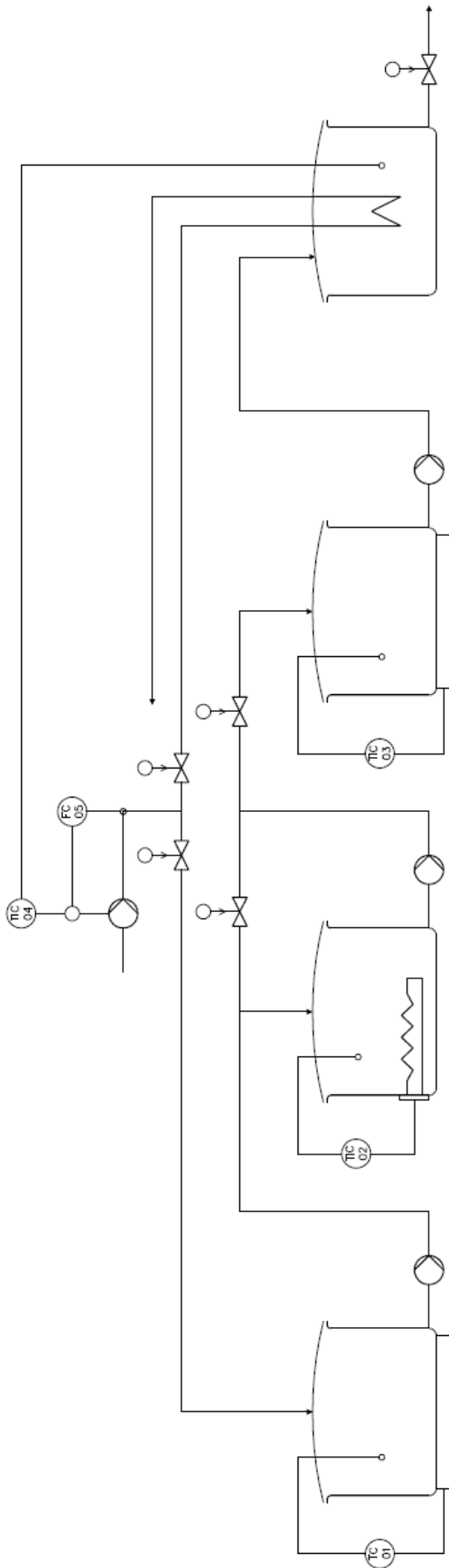


Liite 2. Arduino Mega 2560:n tekniset tiedot

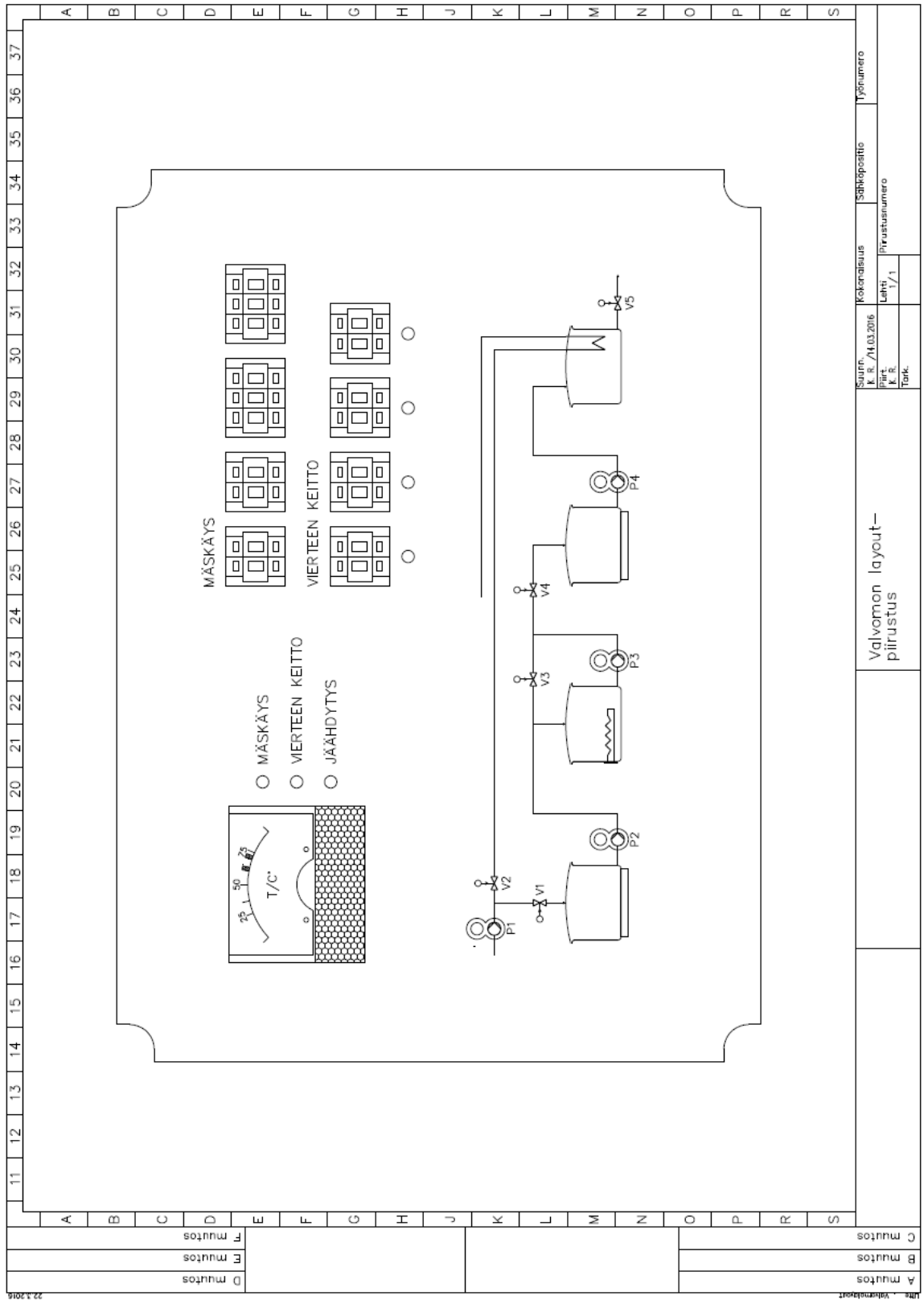
Technical specs

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used 256 KB of which 8 KB used
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	37 g

Liite 3. PI-kaavio.



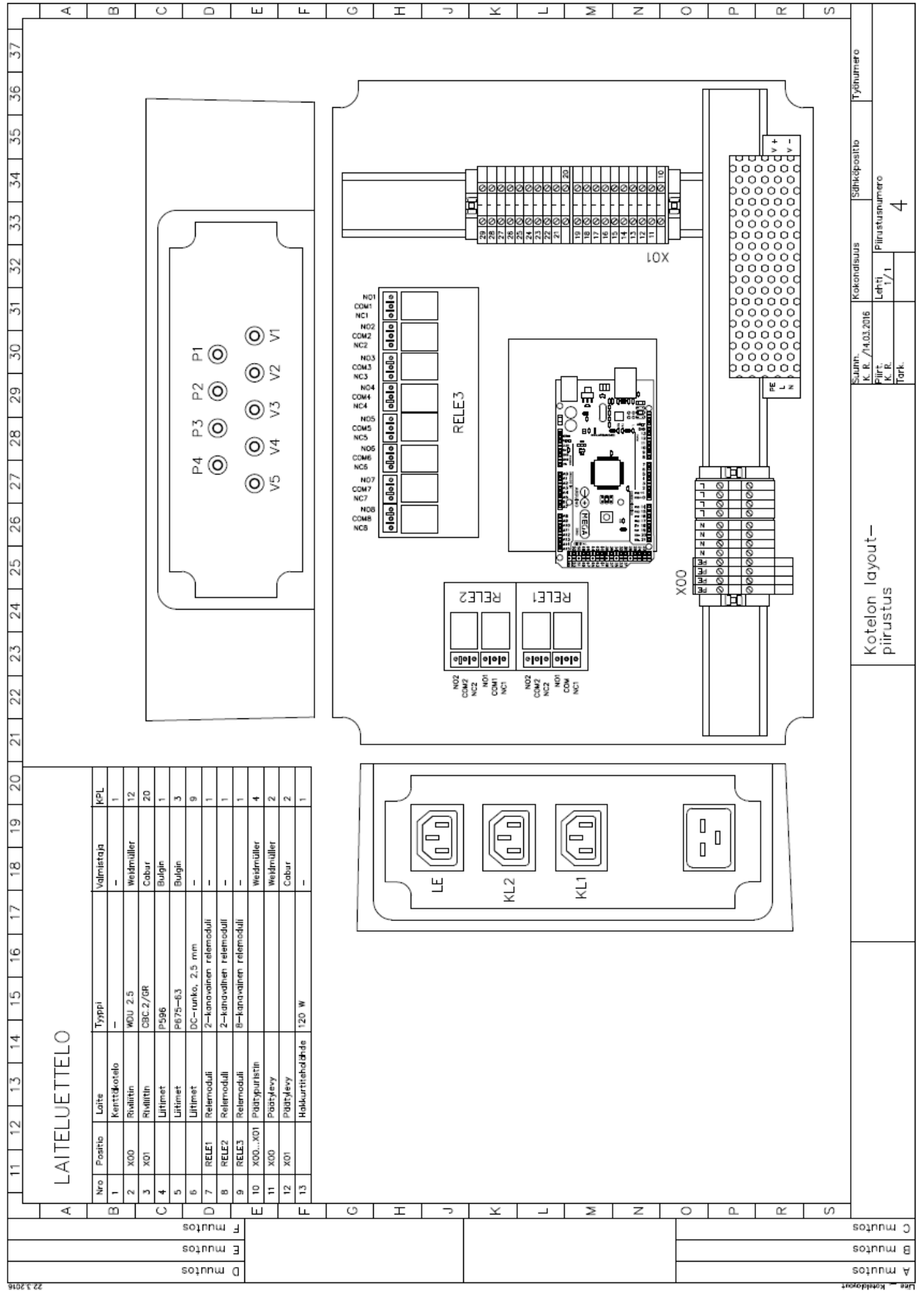
Liite 4. Valvomon layout-piirustus



Liite 5. Kotelon sisäiset kytkennät

RVI	MISTÄ	MIHIN	MILLÄ	MISTÄ	MIHIN	MILLÄ																																																																		
1	SYÖTKAAP.-L	X00.L	MKEM 90.15.RU	X01H (+)	RELE3: COMMON1	MILLÄ RADOX B50.5.PUN																																																																		
2	SYÖTKAAP.-N	X00.N	MKEM 90.15.SI	RELE3: NC1	DC-RUNKO.V1+	RADOX B50.5.PUN																																																																		
3	SYÖTKAAP.-PE	X00.PE	MKEM 90.15.KEVI	X0121 (-)	DC-RUNKO.V1-	RADOX B50.5.MUS																																																																		
4																																																																								
5	X00.L1	RELE1: COMMON1	MKEM 90.15.RU	X01E2 (+)	RELE3: COMMON2	RADOX B50.5.PUN																																																																		
6	RELE1: NC1	KOJEL: KLI.L	MKEM 90.15.RU	RELE3: NC2	DC-RUNKO.P1+	RADOX B50.5.PUN																																																																		
7	X00.N1	KOJEL: KLI.N	MKEM 90.15.SI	X0122 (-)	DC-RUNKO.P1-	RADOX B50.5.MUS																																																																		
8	X00.PE1	KOJEL: KLI.PE	MKEM 90.15.KEVI																																																																					
9				X01B (+)	RELE3: COMMON3	RADOX B50.5.PUN																																																																		
10	X00.L2	RELE1: COMMON2	MKEM 90.15.RU	RELE3: NC3	DC-RUNKO.V2+	RADOX B50.5.PUN																																																																		
11	RELE1: NC2	KOJEL: KLI.L	MKEM 90.15.RU	X0123 (-)	DC-RUNKO.V2-	RADOX B50.5.MUS																																																																		
12	X00.N2	KOJEL: KLI.N	MKEM 90.15.SI																																																																					
13	X00.PE2	KOJEL: KLI.PE	MKEM 90.15.KEVI	X01H (+)	RELE3: COMMON4	RADOX B50.5.PUN																																																																		
14				RELE3: NC4	DC-RUNKO.P2+	RADOX B50.5.PUN																																																																		
15	X00.L3	RELE2: COMMON1	MKEM 90.15.RU	X0124 (-)	DC-RUNKO.P2-	RADOX B50.5.MUS																																																																		
16	RELE2: NC1	KOJEL: IE.L	MKEM 90.15.RU																																																																					
17	X00.N2	KOJEL: IE.N	MKEM 90.15.SI	X01E5 (+)	RELE3: COMMON5	RADOX B50.5.PUN																																																																		
18	X00.PE3	KOJEL: IE.PE	MKEM 90.15.KEVI	RELE3: NC5	DC-RUNKO.V3+	RADOX B50.5.PUN																																																																		
19				X0125 (-)	DC-RUNKO.V3-	RADOX B50.5.MUS																																																																		
20	X00.N	HAKKURI.L	MKEM 90.15.RU																																																																					
21	X00.L	HAKKURI.N	MKEM 90.15.SI	X01E6 (+)	RELE3: COMMON6	RADOX B50.5.PUN																																																																		
22	X00.PE	HAKKURI.PE	MKEM 90.15.KEVI	RELE3: NC6	DC-RUNKO.P3+	RADOX B50.5.PUN																																																																		
23				X0126 (-)	DC-RUNKO.P3-	RADOX B50.5.MUS																																																																		
24	HAKKURI.V-(0)	ARDUINO DC-RUNKO.V1+	RADOX B50.5.PUN																																																																					
25	HAKKURI.V-(1)	ARDUINO DC-RUNKO.V1-	RADOX B50.5.MUS	X01E7 (+)	RELE3: COMMON7	RADOX B50.5.PUN																																																																		
26				RELE3: NC7	DC-RUNKO.V4+	RADOX B50.5.PUN																																																																		
27	HAKKURI.V-(2)	X01E0 (+)	RADOX B50.5.PUN	X0127 (-)	DC-RUNKO.V4-	RADOX B50.5.MUS																																																																		
28	HAKKURI.V-(2)	X0120 (-)	RADOX B50.5.MUS																																																																					
29		IVIVA		X01E8 (+)	RELE3: COMMON8	RADOX B50.5.PUN																																																																		
30	X01E9 (+)	RELE2: COMMON2	RADOX B50.5.PUN	RELE3: NC8	DC-RUNKO.P4+	RADOX B50.5.PUN																																																																		
31	RELE2: NC2	DC-RUNKO.V5+	RADOX B50.5.PUN	X0128 (-)	DC-RUNKO.P4-	RADOX B50.5.MUS																																																																		
32	X01E29 (-)	DC-RUNKO.V5-	RADOX B50.5.MUS																																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">TAMK</th> <th colspan="2">Päristys</th> <th colspan="2">Päristys</th> </tr> <tr> <th colspan="2">SÄHKOTEKNIIKKA</th> <th colspan="2">KOTELON</th> <th colspan="2">SISÄISET KYTKENNÄT</th> </tr> <tr> <td>SUUNN/PIIR.</td> <td>K.R.</td> <td>Järjestelmä</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MUUTOS A p/vm</td> <td>28.12.016</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MUUTOS B p/vm</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MUUTOS C p/vm</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Päristus</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>KOTELON</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>SISÄISET KYTKENNÄT</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Päristus</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>SIVU 1/1</td> </tr> </tbody> </table>							TAMK		Päristys		Päristys		SÄHKOTEKNIIKKA		KOTELON		SISÄISET KYTKENNÄT		SUUNN/PIIR.	K.R.	Järjestelmä				MUUTOS A p/vm	28.12.016					MUUTOS B p/vm						MUUTOS C p/vm											Päristus						KOTELON						SISÄISET KYTKENNÄT						Päristus						SIVU 1/1
TAMK		Päristys		Päristys																																																																				
SÄHKOTEKNIIKKA		KOTELON		SISÄISET KYTKENNÄT																																																																				
SUUNN/PIIR.	K.R.	Järjestelmä																																																																						
MUUTOS A p/vm	28.12.016																																																																							
MUUTOS B p/vm																																																																								
MUUTOS C p/vm																																																																								
					Päristus																																																																			
					KOTELON																																																																			
					SISÄISET KYTKENNÄT																																																																			
					Päristus																																																																			
					SIVU 1/1																																																																			

Liite 6. Kotelon layout-piirustus



Liite 7. MCP23017-laajennuspiirin nastojen nimet ja niiden tarkoitus.

MCP23017/MCP23S17

1.1 Pin Descriptions

TABLE 1-1: PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	PDIP/ SOIC/ SSOP	QFN	Pin Type	Function
GPB0	1	25	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.
GPB1	2	26	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.
GPB2	3	27	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.
GPB3	4	28	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.
GPB4	5	1	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.
GPB5	6	2	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.
GPB6	7	3	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.
GPB7	8	4	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.
V _{DD}	9	5	P	Power
V _{SS}	10	6	P	Ground
NC/CS	11	7	I	NC (MCP23017), Chip Select (MCP23S17)
SCL/SCK	12	8	I	Serial clock input
SDA/SI	13	9	I/O	Serial data I/O (MCP23017), Serial data input (MCP23S17)
NC/SO	14	10	O	NC (MCP23017), Serial data out (MCP23S17)
A0	15	11	I	Hardware address pin. Must be externally biased.
A1	16	12	I	Hardware address pin. Must be externally biased.
A2	17	13	I	Hardware address pin. Must be externally biased.
RESET	18	14	I	Hardware reset. Must be externally biased.
INTB	19	15	O	Interrupt output for PORTB. Can be configured as active-high, active-low or open-drain.
INTA	20	16	O	Interrupt output for PORTA. Can be configured as active-high, active-low or open-drain.
GPA0	21	17	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.
GPA1	22	18	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.
GPA2	23	19	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.
GPA3	24	20	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.
GPA4	25	21	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.
GPA5	26	22	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.
GPA6	27	23	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.
GPA7	28	24	I/O	Bidirectional I/O pin. Can be enabled for interrupt-on-change and/or internal weak pull-up resistor.

Liite 8. Testireseptin perusresepti

PERUSRESEPTI		
Olutreseptin nimi: Vienna Lager		Olutmestari: KR
<hr/>		
1. Mäskäyskattilan täyttö	Raaka-aine	Mallas, Vienna
	Määrä (g)	675
	Raaka-aine	Mallas, Crystal 30
	Määrä (g)	22
	Raaka-aine	Mallas, Crystal 80
	Määrä (g)	22
	Raaka-aine	Mallas, Crystal 120
	Määrä (g)	22
<hr/>		
2. Mäskäysveden lämmitys	Raaka-aine	Vesi
	Määrä (l)	2,5
	Lämpötilan (°C)	35
<hr/>		
3. Sisäänmäskäys	Lämpötilan (°C)	35
	Aika (min), asetusarvo	20
Maltoositauko	Lämpötilan (°C)	62
	Aika (min), asetusarvo	20
Dekstriinitauko	Lämpötilan (°C)	72
	Aika (min), asetusarvo	40
Ulosmäskäys	Raaka-aine	Mallas, Black Patent
	Määrä (g)	17
	Lämpötilan (°C)	78
	Aika (min)	4
<hr/>		
4. Huuhteluveden lämmitys	Raaka-aine	Vesi
	Määrä (l)	2,5
	Lämpötilan (°C)	78
<hr/>		
5. Vierteen keitto	Lämpötilan (°C)	99
	Raaka-aine	Humala, Liberty
	Määrä (g)	5
	Aika (min), asetusarvo	15
	Raaka-aine	Humala, Liberty
	Määrä (g)	5
	Aika (min), asetusarvo	15
	Raaka-aine	Humala, Liberty
	Määrä (g)	5
	Aika (min), asetusarvo	15
<hr/>		
6. Jäähdytys	Lämpötilan (°C)	35

Liite 9. Laite- ja komponenttierittely

LAITE- JA KOMPONENTTILUETTELO						
Sijainti	Nimike	Määrä	Yksikkö	Hinta	Summa	
Prosessi	Bayite, 12 V, Kiertovesipumppu	4	kpl	15,02 €	60,08 €	
	Kattila 5 l, IKEA	4	kpl	14,99 €	59,96 €	
	Kupariputki (10 mm)	2	m	5,50 €	11,00 €	
	Lämmityselementti, 1000 W	1	kpl	9,93 €	9,93 €	
	Lämpötila-anturi (DS18B20)	1	kpl	2,99 €	2,99 €	
	Lämpötila-anturi (DS18B20)	3	kpl	1,44 €	4,32 €	
	Magneettiventtiili	5	kpl	4,88 €	24,40 €	
	Putken osat, kulmaliitin R15	3	kpl	4,49 €	13,47 €	
	Putken osat, metallikiristin	16	kpl	0,54 €	8,64 €	
	Putken osat, muhvi R15	1	kpl	3,99 €	3,99 €	
	Putken osat, sovitin R15x10mm	16	kpl	0,99 €	15,84 €	
	Putken osat, Supistuskaksoisnippa	4	kpl	3,50 €	14,00 €	
	Putken osat, t-putki R15	2	kpl	8,99 €	17,98 €	
	Silikoniletku	2	m	7,54 €	15,08 €	
	Wirta, 1500 W, keittolevy	2	kpl	12,99 €	25,98 €	
	Virtausmittari	1	kpl	3,67 €	3,67 €	
	Kotelo, ulko	2-väreledi (punainen/vihreä)	11	kpl	0,35 €	3,85 €
		DC-pistoke ja -runko, 2,1 mm	9	kpl	0,59 €	5,31 €
Jännitemittari, 0-5 V		1	kpl	3,27 €	3,27 €	
Kaiutinjohtoliitinpaneli, 3-nap.		4	kpl	1,61 €	6,44 €	
Kojepistoke (IEC C19/C20), naaras		1	kpl	5,00 €	5,00 €	
Kojepistoke (IEC320), uros		3	kpl	3,22 €	9,66 €	
Kojerunkoliitin, naaras		3	kpl	1,90 €	5,70 €	
Kojerunkoliitin, uros		1	kpl	2,05 €	2,05 €	
Piirtoheitinkalvo		1	kpl	0,50 €	0,50 €	
Peukalokytkin		18	kpl	0,36 €	6,48 €	
Kotelo, sisä	Arduino Mega 2560	1	kpl	8,18 €	8,18 €	
	Hakkuriteholähde, 12 V	1	kpl	9,10 €	9,10 €	
	KytKentäsilta	2	kpl	3,03 €	6,06 €	
	MCP23017-laajennuspiiri	2	kpl	1,99 €	3,98 €	
	Päätelevy (harmaa), Cabur	2	kpl	0,66 €	1,32 €	
	Reikälevy, 80x120 mm	2	kpl	1,39 €	2,78 €	
	Relemoduli, 1-kanava	1	kpl	1,83 €	1,83 €	
	Relemoduli, 2-kanavaa	2	kpl	1,46 €	2,92 €	
	Relemoduli, 8 kanavaa	1	kpl	5,39 €	5,39 €	
	Riviliitin (harmaa), Cabur	20	kpl	0,95 €	19,00 €	
	Riviliitin (harmaa), Weidmüller	4	kpl	- €	- €	
	Riviliitin (KEVI), Weidmüller	4	kpl	- €	- €	
	Riviliitin (sininen), Weidmüller	4	kpl	- €	- €	
	Riviliitin, piirilevyille, 2-nap.	30	kpl	0,06 €	1,80 €	
Riviliitinkotelo	1	kpl	- €	- €		
Kokonaiskustannukset					401,95 €	