

Niko Pietikäinen

# Aerosolipullon paineen ja painon mittaamisen kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

12.5.2017

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Niko Pietikäinen Aerosolipullon paineen ja painon mittaamisen kehittäminen 30 sivua + 4 liitettä 12.5.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Elektroniikka
Ohjaajat	Tuotekehitysjohtaja Samuli Lintonen Opettaja Esko Tattari
<p>Tässä insinööriyössä oli tavoitteena kehittää automatisoitu aerosolipullon paineen ja painon mittausjärjestelmä. Lähtötilanteena oli suunnitella nykyinen järjestelmä uusiksi. Vanhaan järjestelmään piti lisätä automaattinen mittatulosten tiedonkeruu, lämpötilan mittaus ja parantaa laitteen kotelointia. Työ jakautui kolmeen osioon, joissa ensimmäisessä keskitytään mekaaniseen puoleen ja laitteen kokoonpanon suunnitteluun. Toisessa laitteen mikrokontrollerin ohjelmistoon ja kolmannessa tietokoneelle suunniteltuun ohjelmaan.</p> <p>Insinööriyön alussa lukijalle esitellään liesivahdin ja sammutinyksikön toimintaperiaatteet, jonka aerosolipulloa työssä suunnitellulla mittausjärjestelmällä on tarkoitus testata. Työssä käydään myös läpi mittausjärjestelmän suunnitteluun liittyviä fysiikan perusteita.</p> <p>Mittausjärjestelmällä mitataan aerosolipullon painetta, lämpötilaa ja painoa. Valittu painemittari ja lämpöanturi kytkettiin tietokoneeseen mikrokontrollerin avulla, jolle piti suunnitella piirikortti. Mikrokontrollerille suunniteltiin myös käyttöliittymäpiirikortti, josta operaattori voi seurata mittauksen edistymistä. Vaaka oli mahdollista liittää suoraan tietokoneeseen sarjaliikennekaapelilla. Suunniteltu tietokoneohjelma lukee mikrokontrollerin ja vaa'an lähettämät mittaustulokset, tallentaa ne tietokantaan sekä kertoo operaattorille, läpäiseekö mitattu aerosolipullo mittauksen.</p> <p>Mittausjärjestelmän piirikorteista tehtiin insinööriyössä prototyypit koekytkentäkorteille, joilla saatiin testattua järjestelmän toimivuutta. Prototyypillä tehtyjen mittausten johdosta jatkokehitysideoiksi nousi erillisen A/D-muuntimen lisääminen piirikortille, lineaariregulaattorin korvaaminen hakkuriregulaattorilla ja tietokoneohjelman säännösten suunnittelu joustavammaksi.</p>	
Avainsanat	paineen mittaus, painon mittaus, aerosolipullo, bag-on-valve

Author Title Number of Pages Date	Niko Pietikäinen Aerosol Bottle Pressure and Mass Measuring Improvement 30 pages + 4 appendices 12 <sup>th</sup> of May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electronics
Instructors	Samuli Lintonen, Research and Development Director Esko Tattari, Senior Lecturer
<p>The goal of this study was to develop automated aerosol bottle pressure and weight measuring system. The starting point was to redesign the current system and add automated data storing, temperature measuring and improve the system casing. The study was divided into three sections. In the first section the mechanical structure was redesigned. In the second section the microcontroller software was rewritten and the third section was to design and write computer software.</p> <p>At the beginning of this thesis, the reader is presented with the principles of the stove guard and extinguishing unit, the aerosol bottle of which will be tested with the designed measuring system. The thesis also presents the basics of physics related to design of a measuring system.</p> <p>The measuring system measures the pressure, temperature and weight of the aerosol bottle. The selected pressure gauge and thermal sensor were connected to the computer using a microcontroller which needed to design a circuit board. A user interface circuit board was also designed for the microcontroller so that the operator can monitor the progress of the measurement. The chosen scale was possible to connect directly into computer USB-port using a USB to serial cable. The designed computer program reads the measurement data sent by the microcontroller and the scale, stores the values into database and tells the operator whether the measured aerosol bottle passes the measurement or not.</p> <p>The prototypes of the circuit boards of designed measuring system were made on breadboards to test the functionality of the system. As the result of the prototype measurements, development ideas of adding a separate A/D converted to circuit board, the replacement of the linear regulator with switching voltage regulators and designing the computer program's code rules more flexible, arise.</p>	
Keywords	pressure measuring, weight measuring, aerosol bottle, bag-on-valve

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Liesivahti	2
2.1	Sammutinyksikkö	2
2.2	Aerosolipullo	3
2.3	Alumiinipullon valmistus	3
2.4	Bag-on-valve	3
2.5	Sammutusneste	4
3	Aerosolipullon mittaaminen	5
3.1	Nykyinen menetelmä	6
3.2	Parannusehdotukset pullojen mittaamiseen	6
4	Teoria	7
4.1	Paineen mittaaminen	7
4.2	Kaasun paine	8
4.3	Lämpötilan mittaaminen	9
4.4	Painon punnitseminen	10
5	Mittausjärjestelmän suunnittelu	10
5.1	Raja-arvot	10
5.2	Painemittari	11
5.3	Lämpöanturi	12
5.4	Vaaka	14
5.5	Mittausjärjestelmän kokoonpano	14
6	Mikrokontrolleri ja piirikorttien suunnittelu	16
6.1	Käyttöjännitteet	16
6.2	Mikrokontrolleri	17
6.3	Painemittarin kytkentä mikrokontrolleriin	18
6.4	Lämmöntuotto ja sen hallinta	18
6.5	Liittimet ja kotelointi	19
6.6	Käyttöliittymäpiirikortti	19
6.7	Lämpöanturipiirikortti	20

7	Mikrokontrollerin ohjelmointi	21
7.1	Käytetyt kirjastot ja aliohjelmat	21
7.2	Mikrokontrollerin alustus	21
7.3	A/D-muunnin ja painemittarin lukeminen	22
7.4	I <sup>2</sup> C-väylä ja lämpöanturin tulosten lukeminen	23
7.5	UART	23
8	Tietokoneohjelma	23
8.1	Käyttöliittymä	24
8.2	Mittaustulosten tallennus ja käyttö	25
9	Mittausjärjestelmän jatkokehitys ja parannusideat	26
9.1	Mikrokontrolleripiirikortti	26
9.2	Painemittari ja lämpötila-anturi	27
9.3	Tietokoneohjelman säännöstö	27
10	Yhteenveto	27
	Lähteet	29
	Liitteet	
	Liite 1. Mikrokontrollerikortin kytkentäkaavio	
	Liite 2. Käyttöliittymäkortin kytkentäkaavio	
	Liite 3. Lämpöanturipiirikortin kytkentäkaavio	
	Liite 4. Sammutinyksikön aerosolipullon testauksen vuokaavio	

## Lyhenteet

A/D	Analog-to-Digital converter; Järjestelmä joka muuntaa analogisen signaalin digitaaliseksi
EEPROM	Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory; Haihtumatonta puolijohdemuisti, joka voidaan uudelleen kirjoittaa.
I <sup>2</sup> C	Inter-Integrated Circuit; Yksinkertainen kaksisuuntainen ohjaus- ja tiedonsiirtoväylä.
LCD	Liquid Crystal Display; Nestekidenäyttö on ohut ja kevyt näyttölaite.
PDIP	Plastic Dual In-line package; Elektroniikan komponenttien pakkaustyyppi.
PWM	Pulse-Width Modulation; pulssinleveysmodulaatiolla jännitettä säädetään muuttamalla pulssisuhdetta
RS-232	Recommended Standard. Sarjaliikenneportti, joka on esimerkiksi kahden tietokonelaitteen välille tarkoitettu tietoliikenneportti.
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter; usein mikropiireissä esiintyvä asynkroninen sarjaliikennepiiri
USB	Universal Serial Bus; Sarjaliikenneväyläarkkitehtuuri oheislaitteiden liittämiseksi tietokoneeseen.
VCP	Virtual COM Port; Virtuaalinen sarjaliikenne portti
WHQL	Windows Hardware Quality Labs; Microsoftin sertifikaatti kolmannen osapuolen valmistamalle laitteelle ja ajureille.

## 1 Johdanto

Tämä insinööri työ tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoululle ja Safera Oy:lle. Työssä jatkokehitettiin Saferan tuotannossa käytettyä aerosolipullojen paineen- ja painonmittausjärjestelmää. Mittausjärjestelmä koostuu painemittarista, infrapunalämpöanturista, vaa'asta, mikrokontrollerista ja tietokoneesta. Mikrokontrolleria varten piti suunnitella piirikortti, johon painemittarin ja lämpöanturin voi kytkeä. Mikrokontrolleri lukee painemittarin ja lämpöanturin mittaustulokset ja muuntaa ne tietokoneelle lähetettävään muotoon.

Safera käyttää mittausjärjestelmää aerosolipullojen laadunvalvontaan ja järjestelmä on suunniteltu tuotannontyöntekijöiden käytettäväksi. Laitteistosta on pyritty tekemään mahdollisimman helppo koota, käyttää ja huoltaa. Lisäksi laitteiston huomioitiin, että laitetta käytetään nesteiden kanssa.

Safera Oy on vuonna 2007 perustettu suomalainen yritys, joka myy, suunnittelee ja valmistaa liesivahteja. Yritys sai alkunsa, kun perustajat keskustelivat vakuutusyhtiö Fennian kanssa kodin tulipaloriskeistä, ja ilmeni että suurin osa asuntopaloista lähtee lieden huolimattomasta käytöstä. Tämän innoittamana perustajat alkoivat suunnitella liesipaloihin ratkaisua, joka pyrki estämään liesipalot tehokkaasti ja edullisesti.

Aluksi suunnittelu keskittyi varhaisen vaiheen sammuttavaan ratkaisuun, mutta nopeasti suunnittelu kohdistui liesipalon kokonaan ennaltaehkäisevään ratkaisuun. Alusta asti visiona on ollut, että liesivahtiteknologia integroidaan normaaleihin kodinkoneisiin, jotta käyttäjäkokemus olisi mahdollisimman huomaamaton. Integroitujen ratkaisujen lisäksi tuoteportfoliossa on erikseen asennettavia liesivahteja erityisesti jälkiasennusmarkkinoille.

Saferan ensimmäiset kaupalliset tuotteet tuotiin markkinoille vuonna 2008. Tämän jälkeen yritys on kasvanut alansa markkinajohtajaksi ja toimittaa nykyään liesivahteja Suomen, Ruotsin ja Norjan lisäksi myös Keski-Eurooppaan ja Britanniaan. Näistä isoin markkina on tällä hetkellä Norja, jossa liesivahtit tulivat pakollisiksi kaikkiin uudis- ja saneerauskohteisiin vuonna 2011.

## 2 Liesivahti

Liesivahdilla tarkoitetaan laitetta, joka valvoo liedon käyttöä ja vaaratilanteen huomattessaan antaa hälytyksen vaaratilanteesta. Jos käyttäjä ei ole paikalla tai liesivahti tulkitsee vaaratilanteen uhkaavaksi, katkaisee liesivahti liedon sähköt ja jää seuraamaan tilanteen kehittymistä. Jos vaaratilanne ei hellitä ja liesivahti on varustettu sammutinyksiköllä, voi liesivahti tehdä alkusammutuksen liedelle laukaisemalla sammutinyksikön.



Kuva 1. Liesikupuun integroitu liesivahti, joka on varustettu sammutinyksiköllä, pystyy sammuttamaan alkaneen liesipalon.

Saferan liesivahdit jaetaan kahteen eri luokkaan. R-line mallit ovat vaivattomia asentaa ja sopivat sekä uudis- että saneerauskohteisiin. R-line mallit eivät vaadi liesituuletinta tai -kupua. In-Line -liesivahdit on joko täysin integroitu tai jälkiasennettu liesituulettimeen ja toimitetaan liesituulettimen mukana. In-line -mallit voidaan myös varustaa sammutinyksiköllä, kuten kuvan 1 malli.

### 2.1 Sammutinyksikkö

In-line -malliston lisävarusteena myytävä sammutinyksikkö liitetään liesikuvun alapintaan asennettuun suuttimeen letkulla ja sammutinyksikön laukaisumekanismi



kytketään liesivahtiin sähköjohdolla. Sammutinyksikkö voidaan asentaa liesituulettimen päälle sille tarkoitettuun telineeseen maustekaapin tai horminsuojapellin taakse tai vaihtoehtoisesti viereiseen kaappiin, loppuasiakkaan toiveen mukaisesti. Sammutinyksikkö koostuu aerosolipullosta, laukaisumekanismista ja metallikuorista, jotka suojelevat aerosolipulloa ja laukaisumekanismia ulkoisilta vahingoilta. Sammutinyksikön vaihtoväli on viisi vuotta.

## 2.2 Aerosolipullo

Sammutinyksikössä käytetään sammutinnesteen säilytykseen aerosolipulloa, koska niiden valmistus on edullista, ne sisältävät itsessään sammutusnesteen suihkuttamiseen tarvittavan voiman ja hyvin tehtynä ne ovat myös pitkäikäisiä ja varmatoimisia. Tämän ansiosta sammutinyksiköstä on saatu suhteellisen edullinen ja helppo valmistaa ja asiakas voi luottaa siihen, että sammutinyksikkö laukeaa täydellä voimalla jopa viiden vuoden päästä siitä, kun se on valmistettu.

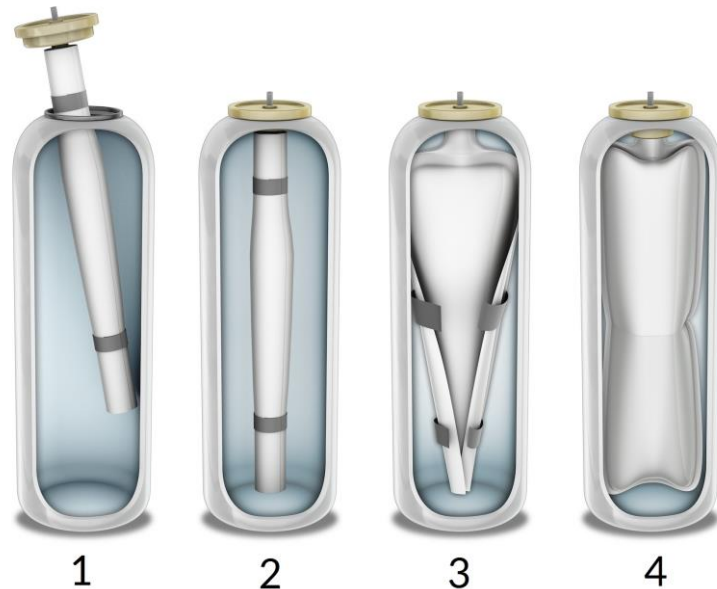
## 2.3 Alumiinipullon valmistus

Aerosolipullon alumiinipullo valmistetaan yhdestä paksusta alumiinikiekosta iskemällä kiekkoa nopealla iskulla muotissa. Iskun nopeus ja voima saa metallin juoksettumaan ja muotoutumaan muotin mukaiseksi, ilman erillistä lämmittämistä. Tämän jälkeen pullon avoimesta päästä poistetaan ylimääräiset materiaalit ja pulloa pinnat käsitellään ja viimeistellään hiomalla ja maalaamalla. Kun pullon pinta on maalattu ja sisus lakattu suojalakalla, pullon avoin pää puristetaan suuaukoksi ja suuaukon reuna pyöristetään venttiilille sopivaksi. [1.]

## 2.4 Bag-on-valve

Sammutinyksikön aerosolipulloissa on päädytty käyttämään niin sanottua Bag-on-valve -venttiileitä. Bag-on-valve -venttiilillä tarkoitetaan venttiiliä, jossa venttiiliin on kiinnitetty pussi, johon aerosolipulloon pakattava neste säilötään. Venttiilin idea on se, että alumiinipulloon luodaan pieni noin 1,5...2 barin paine samalla kun venttiili puristetaan pullon suuhun kiinni, kuten kuvan 2 kohdassa 1 näkyy. Pulloon jäänyt paineistettu ilma jää siis venttiilin pussin ja pullon väliin, jolloin se puristaa venttiilin pussia kasaan (kuva

2 kohta 3). Tämän jälkeen pullo täytetään venttiilin kautta, jolloin pussin laajetessa pullon ja pussin väliin jäänyt ilma puristuu kasaan ja paine pullossa kasvaa jopa yli 10 barin (kuva 2 kohdat 3 ja 4). Pullon lopullinen paine riippuu siitä mikä pussin ja pullon välissä oleva paine oli ennen täyttämistä ja kuinka paljon pussiin täytetään täytettävää ainetta.



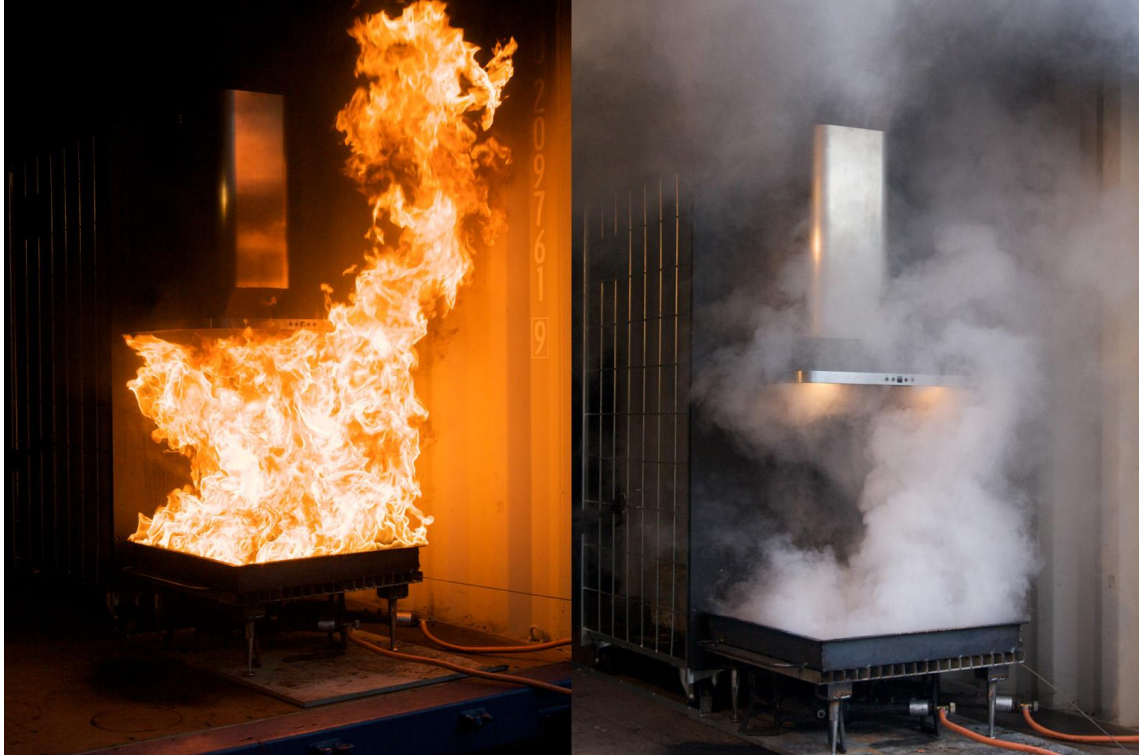
Kuva 2. Bag-on-valve -venttiilissä pulloon pakattu neste sijaitsee venttiilin pussissa eikä näin ollen ole kosketuksissa suoraan alumiinipulloon. [2.]

Venttiilin pussia puristava paine puristaa pussissa olevan nesteen ulos pullosta erittäin tehokkaasti, jos pullon venttiilin avaa riippumatta siitä missä asennossa pullo on. Bag-on-valve -venttiileitä käyttäessä pullossa ei tarvitse käyttää ponneaineena herkästi syttyviä ponnekaasuja vaan ponneaineena käytetään normaalia kompressoitua huoneilmaa tai typpeä. Venttiilin pussiin pakattuna neste ei ole suoraan kosketuksissa pullon kanssa, jolloin pullon korroosioriski vähenee merkittävästi.

## 2.5 Sammutusneste

Sammutinyksikön sammutinnesteenä käytetään keittiön rasvapalojen sammuttamiseen tarkoitettua sammutusnestettä. Se on erityisesti suunniteltu paistorasvojen ja ruokaöljyjen sammuttamiseen. Sen teho perustuu suolaan, joka muodostaa tukahduttavan kalvon rasvan päälle. Rasvapalot on aina sammutettava

tukahduttamalla ja jäähdyttämällä, koska veden käyttäminen johtaa rasvapalon räjähdysmäiseen laajenemiseen. Yhteen sammutinyksikön aerosolipulloon pakataan noin 400 ml sammutusnestettä, joka riittää sammuttamaan oikein sumutettuna isonkin rasvapalon (kuva 3).



Kuva 3. Saferan liesivahti kykenee tarvittaessa sammuttamaan alkaneen rasvapalon

Saferan liesivahti täyttää liesivahtistandardin EN-50615 -määräykset ja on insinööriyön kirjoitushetkellä markkinoiden ainoa liesivahti, joka täyttää standardissa mainitun AB -luokan liesivahtien määrityksen. AB -luokalla tarkoitetaan liesivahtia, joka liedien virrankatkaisun lisäksi pystyy tekemään alkusammutuksen, jos liedellä syttyy tulipalo. [20.]

### 3 Aerosolipullon mittaaminen

Koska aerosolipullo on yksi sammutinyksikön kriittinen komponentti, sille on asetettu Saferan tuotannossa korkeat laatuvaatimukset. Pullon paineen mittaamisella selvitetään, että paine pullossa on haluttujen rajojen sisällä. Pullon punnitsemisella vastaavasti tarkistetaan, että pullossa on oikea määrä sammutinnestettä. Lisäksi kaikki

pullot käyvät läpi karanteenin ensimmäisen paineen ja painon mittaamisen jälkeen. Karanteenin jälkeen selviää vuotavatko pullot mittausten välillä. Vasta kun mitattu aerosolipullo on läpäissyt kaikki mittaukset hyväksytysti, se hyväksytään sammutinyksikön komponentiksi. Jos jokin mittaustulos jää alle tai ylittyy sallittujen rajojen, kyseinen pullo hylätään ja poistetaan tuotannosta.

Jotta vältetään siltä, että hyväksytyt ja hylätyt pullot menisivät sekaisin tuotannossa, jokainen pullo saa yksilöllisen sarjanumeron heti ensimmäisen mittauksen yhteydessä. Lisäksi pullolla, joka ei ole vielä läpäissyt kaikkia testejä, on eri tuotenumero kuin läpäisseellä pullolla ja niillä on eri varastopaikat Saferan varastossa.

### 3.1 Nykyinen menetelmä

Opinnäytetyön ajatus on parantaa ja tehostaa nykyistä aerosolipullojen mittaamista. Tavoitteena on saada vähennettyä manuaalisen työn osuutta ja parantaa mittaustulosten tallentamista sekä arkistointia.

Nykyisellä menetelmällä operaattori liimaa tuotekilven saapuneen pullon kylkeen kiinni, mittaa pullon paineen ja merkitsee saadun tuloksen paperilistaan ylös. Seuraavaksi hän mittaa pullon painon ja merkitsee myös tämän samaan listaan kyseisen pullon kohdalle. Kun saapumiserän kaikki pullot on mitattu, hän kirjaa saadut tulokset Excel -taulukoon ja tallentaa sen tietokoneelle. Kun karanteeni on ohi, operaattori mittaa pullot uudelleen ja merkitsee tulokset edellisten tulosten perään paperilistaan sekä Exceliin. Vasta kun Excel -taulukoon on merkitty jälkimmäiset tulokset, Excel -taulukko laskee, onko pullo läpäissyt kaikki vaaditut kriteerit vai hylätäänkö pullo.

### 3.2 Parannusehdotukset pullojen mittaamiseen

Jotta pullojen mittaamisen saisi luotettavammaksi, mittaustulosten käsittelyn varmemmaksi ja manuaalisen työn osuutta vähennettyä, syntyi ajatus uuden mittausjärjestelmän kehityksestä. Parannuskohteet ovat selkeät. Ensimmäinen kehityskohde on lämpötilan muutoksen huomioiminen mittaustilanteessa ja sen vaikutus paineeseen. Lämpötilan vaikutus paineeseen on suoraan verrannollinen,

kuten on kuvattu kappaleessa 4.2, joten sen lisääminen mittausjärjestelmään parantaa mittaustulosten luotettavuutta.

Toinen kehitettävä asia on poistaa manuaalinen mittaustulosten kirjaaminen paperille ja syöttäminen Exceeliin. Nykyisen järjestelmän käsin kirjaaminen paperille ja sen jälkeen Exceeliin vaatii paljon työaikaa ja näiden vaiheiden poistaminen johtaa suoriin kustannussäästöihin. Lisäksi automaattisella tiedonkeruulla ja tallennuksella vältetään kirjoitusvirheitä.

Käytännössä nämä on tarkoitus toteuttaa niin, että mittausjärjestelmään lisätään pullon lämmön mittaus ja mittausjärjestelmä liitetään tietokoneeseen siten, että operaattorin ei tarvitse mittauksen yhteydessä koskea tietokoneeseen. Lisäksi tietokoneelle tehdään ohjelma, joka automaattisesti tallentaa mittaustulokset tietokantaan ja osaa suoraan kertoa heti mittauksen jälkeen, onko jokin mittaesarvo sallittujen arvojen ulkopuolella.

## 4 Teoria

Teoriaosuudessa käydään läpi yleisellä tasolla paineen, lämpötilan ja painon mittaamiseen vaikuttavia fyysisiä ilmiöitä.

### 4.1 Paineen mittaaminen

Paineen mittaamiseksi pitää ymmärtää mitä paineella tarkoitetaan ja kuinka sitä voi mitata. Aineen nestemäistä ja kaasumaista olomuotoa koskevaa suuretta kutsutaan paineeksi, joka määritellään pintaa vasten kohtisuoraan vaikuttavan voiman  $F$  ja saman pinnan alan  $A$  osamäärää  $p$  (kaava 1).

$$p = \frac{F}{A} \quad (1)$$

*p on paine*

*F on voima*

*A on pinta – ala*

Paineen SI-järjestelmän mukainen yksikkö on Pascal (Pa), joka määrittää paineen, jonka yhden newtonin suuruinen voima tasaisesti jakautuneena aiheuttaa yhden

neliömetrin pinta-alalle eli  $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ . Koska yksi pascal on erittäin pieni yksikkö, siitä käytetään yleisesti sen kerrannaisia tai se muunnetaan baareiksi, joka on yleisesti käytetty mutta SI-järjestelmään kuulumaton paineen yksikkö.

$$1 \text{ bar} = 100000 \text{ Pa} = 1000 \text{ hPa} = 0,1 \text{ MPa}$$

Yhdellä baarilla tarkoitetaan ilmakehän ilmanpainetta merenpinnan tasolla. Merenpinnan tasolla ilmakehän paine on normaaliolosuhteissa noin 1013,25 hPa eli noin 1 bar. Ilmanpaine kuitenkin vaihtelee osana säätilan vaihtelua ja on myös riippuvainen mittauspaikan korkeudesta merenpintaan nähden. [3.]

## 4.2 Kaasun paine

Kaasut ovat voimakkaasti kokoonpuristuvia ja siksi kaasujen tiheys riippuu niihin kohdistuvasta paineesta. Yleisen tilanyhtälön avulla voidaan laskea kaasujen tiheys tietyssä paineessa tietyssä lämpötilassa, kun tiedetään kyseisen kaasun tiheys normaaliolosuhteissa. Normaaliolosuhteilla tarkoitetaan tilannetta, kun paine on  $p = 1013,25 \text{ hPa}$  sekä lämpötila  $T = 273,15 \text{ K}$  eli  $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ . [3.]

Ideaalikaasun tilanyhtälö on seuraava (2)

$$pV = nRT \quad (2)$$

*p on kaasun paine*

*V on kaasun tilavuus*

*n on kaasun ainemäärä*

*R on yleinen kaasuvakio*

*T on lämpötila kelvineinä*

Ideaalikaasun yleistä tilanyhtälöä voidaan soveltaa pienipaineisiin kaasuihin ja tutkiessa saman kaasumäärän tilanmuuttujia  $p$ ,  $V$  ja  $T$  kahdessa eritilassa, yhtälö voidaan kirjoittaa yhtälön (3) muotoon.

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad (3)$$

Jos kaasun tilanmuutos on sellainen, että yksi tilanmuuttujista  $p$ ,  $V$  tai  $T$  pysyy vakiona muutoksen aikana, yhtälöstä voidaan jättää kyseinen vakiotermi pois. Eli jos tilavuus

pysyy vakiona ja halutaan laskea paineen muutos lämpötilansuhteen, voidaan yhtälö (3) muuttaa muotoon.

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad (4)$$

Edellä olevasta yhtälöstä (4) nähdään, että paine on suoraan verrannollinen lämpötilan muutokseen, jos tilavuus säilyy vakiona. [3; 19.]

#### 4.3 Lämpötilan mittaaminen

Lämpötilalla on SI -järjestelmän perussuure ja sen yksikkönä käytetään kelviniä (K). Kelvinasteikko alkaa matalimmasta mahdollisesta lämpötilasta, absoluuttisesta nollapisteestä, joka on 0 K. Lämpötila ilmaisee kohteen termodynaamisen lämpötilan eli absoluuttisen lämpötilan. Fysiikassa lämpötilalla tarkoitetaan atomitason liike-energiaa toisiin atomeihin nähden. Aineen atomien liikettä kutsutaan lämpöliikkeeksi. Kiinteässä aineessa atomit värähtelevät ja muissa olomuodoissa ne liikkuvat. Mitä nopeammin atomit liikkuvat tai värähtelevät, sitä korkeampi on niiden keskimääräinen liike-energia eli lämpötila. [17.]

Kaikki absoluuttisen nollapisteen (0 K) yläpuolella olevat kappaleet lähettävät sähkömagneettista säteilyä. Säteily kuljettaa mukanaan energiaa ja jos tämä energia absorboituu toiseen kappaleeseen, siirtyy kappaleeseen lämpöä. Lämpösäteily etenee valonnopeudella  $c$ , koska valokin on sähkömagneettista säteilyä. Säteily koostuu kvanteista sekä fotoneista. Lämpösäteily on suurimmaksi osaksi infrapunasäteilyä. Infrapunasäteilyn aallonpituus on noin 700 nm – 1 mm, joten sen aallonpituus suurempi kuin näkyvän valon. Säteily voi ainetta kohdatessaan heijastua, mennä läpi tai absorboitua aineeseen. [19.]

Lämpösäteilyn peruskappale on musta kappale, joka lähettää ja absorboi maksimaalisen määrän energiaa. Luonnossa ei käytännössä esiinny täysin mustia kappaleita, joten kaikkien kappaleiden lähettämä sekä absorboima energia on alle mustan kappaleen energian määrää. Säteilyn määrän suhdetta mustan kappaleen säteilyyn kutsutaan emissiivisyydeksi ( $\epsilon$ ). Jos kappaleen heijastavuus suuri, emissiivisyys pienenee. Esimerkiksi kiiltävän alumiinin emissiivisyys on 0,09 ja hiilen 0,98. [19; 22.]

#### 4.4 Painon punnitseminen

Painon punnitsemisessa mitataan kappaleen massaa. Massan yksikkö SI-järjestelmässä on gramma ja massan mittaamiseen käytetään vaakaa. Vaaka perustuu kappaleen massan ja painon verrannollisuuteen. Kappaleen paino riippuu sen sijainnista, sillä painoon vaikuttaa kappaleeseen vaikuttava painovoima. Kappaleen massaa voi mitata myös kiihdyttämällä sitä tunnetulla voimalla.

### 5 Mittausjärjestelmän suunnittelu

Mittausjärjestelmän suunnittelussa ajatus oli kehittää vanhaa järjestelmää tehokkaamaksi ja tarkemmaksi. Käytännössä tämä tarkoitti lähes kaiken tekemistä uusiksi.

#### 5.1 Raja-arvot

Jotta aerosolipullo hyväksytään tuotantoon kelpaavaksi, sille on määritetty tietyt raja-arvot, jotka sen tulee täyttää. Nämä raja-arvot on laadittu mittaamiseen käytettävien antureiden ja haluttujen ominaisuuksien pohjalta. Niiden tarkoituksena on selvittää, onko mitatussa pullossa tarpeeksi sammutusnestettä, tarpeeksi korkea paine ja vuotaako pullo.

Sammutusnesteen määrä pystytään mittaamaan punnitsemalla täytetty pullo vaa'alla. Täydelle pullolle on määritetty minimipaino ja maksimipaino, joiden sisällä pullon painon pitää olla. Haluttu paino tulee tyhjän pullon painosta ja halutusta määrästä sammutusnestettä.

Pullon paineelle on myös asetettu tarkat minimi- ja maksimipaineet, kun mittauslämpötila on 20...25 °C. Minimipaineen raja-arvo asetettu siten, että paine riittää puristamaan sammutusnesteen tarpeeksi tehokkaasti pullosta ulos. Maksimipaineen raja-arvo on asetettu siten, että se on riittävästi alle käytetyn venttiilin sallitun maksimipaineen.



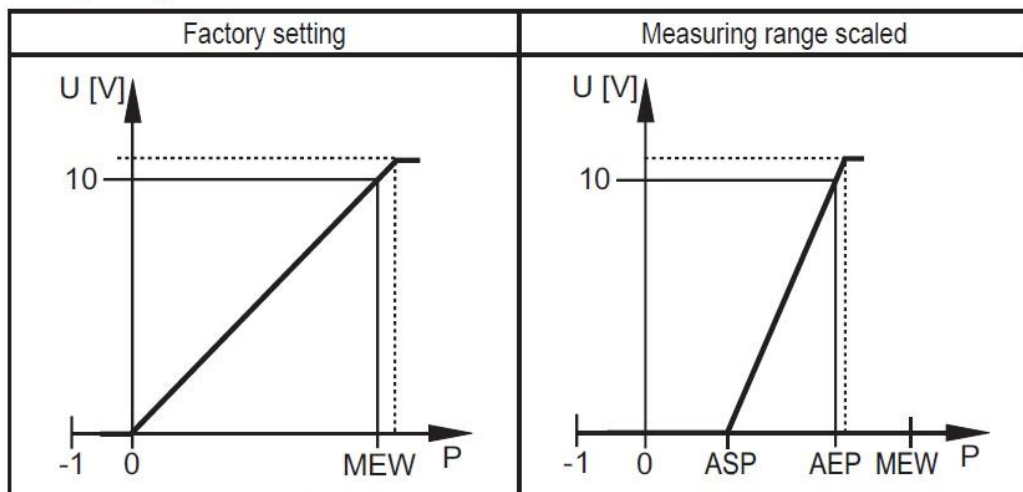
Lisäksi pulloille on määritetty karanteeni, jonka aikana pullojen paine ei saa laskea yli sallitun paineenaleneman. Paineenaleneman raja-arvossa on otettu huomioon mittaustapahtumassa tapahtuva sammutinnesteen karkaaminen pullosta, jolloin myös pullon paine laskee karanteenin nesteen tilavuuden verran.

## 5.2 Painemittari

Painemittarina on tarkoitus käyttää samaa IFM:n valmistamaa PF2954 -painemittaria kuin aikaisemmassa järjestelmässä. Tähän päädyttiin siksi, että kyseinen painemittari oli jo olemassa, se oli helposti liitettävissä uuteen järjestelmään ja se on todettu erittäin luotettavaksi mittariksi sammutinyksiköiden pullojen paineen mittaamisessa. PF2954:n mitta-alue on -0,5...10 baria ja resoluutio 0,01 baria. Lisäksi painemittarin runko on valmistettu ruostumattomasta teräksestä 316L. Mittapää on keraaminen, jolloin se kestää hyvin erilaisia nesteitä. Painemittarin runko on lisäksi IP67 -luokiteltu eli pölytiivis ja kestää hetkellisen upotuksen veteen. Materiaalien merkitys korostuu sammutinyksikössä käytettävän sammutinnesteen kanssa, koska kyseinen aine on erittäin korrosoivaa monille metalleille. [4; 5.]

PF2954 -painemittarissa on pieni näyttö ja säätönapit joilla painemittarista voi valita millä tavalla painemittari antaa mittaustulokset ulos. Painemittari osaa antaa mittaustuloksen analogisena signaalina joko 0...10 V jännitteenä tai 4...20 mA virtana. Lisäksi painemittarin voi asettaa antamaan pulssin, kun esiasetettu painearvo ylittyy tai alittuu. Sammutinyksiköiden aerosolipulloja mitatessa olemme kiinnostuneita pullojen paineesta ja edellä mainituista vaihtoehdoista päädyttiin käyttämään analogista 0...10 V tilaa sen selkeyden vuoksi. 0-10V tilassa paine on suoraan verrannollinen jännitteen kanssa baareina. Eli 1 V jännite vastaa siis 1 barin painetta. Kun jännite menee yli 10 V tarkoittaa se ylipainetta, jota painemittari ei pysty enää mittaamaan. Kuvassa 4 esitetään painemittarin jännitteen muutos paineen suhteen.

### Voltage output



P = system pressure, MEW = final value of the measuring range

The output signal is between 0 and 10 V. It is also indicated:

- System pressure above the measuring range: output signal > 10 V.

Kuva 4. Yläpuolella kuvaajat kuvaavat miten PF2954:n ulostulosignaali käyttäytyy paineen mukaan. Vasemmanpuoleinen kuvaaja on tehdasasetusten mukainen ja jännite vaihtelee 0...10 V välillä. Oikeanpuoleisessa kuvaajassa mittariin on säädetty paineen arvo (ASP), jolloin mittari antaa ulos 0 V ja AEP, jolloin mittari antaa ulos 10 V.

Painemittari tarvitsee käyttöjännitteeksi 20...30 V jännitteen ja maksimissaan 60 mA virran.

### 5.3 Lämpöanturi

Aerosolipullojen lämpötilan mittaaminen on yksi tärkeimmistä lisäyksistä mittausjärjestelmään, koska lämpötilan muutos vaikuttaa pullon paineeseen merkittävästi mitatuilla paineilla. Lämpötilan mittaaminen pullon pinnasta ilman pulloon koskemista onnistuu parhaiten infrapuna-anturilla. Lisäksi infrapuna-anturin etuna on nopea mittaus. Ongelmana taas on se, että anturilla pystytään mittaamaan vain pullon pinnan lämpötila. Infrapuna-anturilla mitattaessa on myös huomioitava mitattavan pinnan emissiivisyys, joka vaikuttaa merkittävästi mittaustulokseen. Aerosolipullo on valmistettu alumiinista ja mittauspisteenä käytettävä pullonpohjan pinta on kiillottamaton. Tästä johtuen pinnan emissiivisyys on 0,07. [21.]

Paineen mittauksessa viiden asteen lämpötilan nousu +15 °C:sta +20 °C:seen tarkoittaa 10 barin paineella  $(293,15 \text{ K} * 10 \text{ bar}) / 288,15 \text{ K} = 10,174 \text{ bar}$  eli paine kasvaa mittausten välillä 0,174 baria.

Lämpöanturiksi valittiin MLX90614-infrapuna-anturi. Kyseinen anturi tukee kolmea eri ulostuloa. Anturin voi ohjelmoida käyttämään pulssinleveysmodulaatiota (PWM), Inter-Integrated Circuit (I<sup>2</sup>C) -väylää tai lämpöreleenä (Thermal relay). Näistä vaihtoehdoista oikeastaan I<sup>2</sup>C on ainoa järkevä tapa käyttää kyseistä anturia, koska PWM:n kanssa digitaalisesta muodosta analogiseksi muuttamisessa menetetään turhaan mittaustulot ja Thermal relay -tila ei ole tarkoituksen mukaista tässä järjestelmässä. I<sup>2</sup>C-väylää käyttäessä, anturista saa luettua lämpötilan suoraan sen EEPROM-muistista.

MLX90614-infrapuna-anturissa on sisäänrakennettu emissiivisyyden kompensatio funktio, jonka avulla on mahdollista muuttaa emissiivisyyskerrointa. MLX90614 on kalibroitu tehtaalla mustan kappaleen kanssa, jonka emissiivisyys on 0,999 eli lähes 1. Tästä syystä on oleellista kalibroida anturi alumiinin emissiivisyydelle, joka on 0,07. Kalibroinnissa pitää lisäksi huomioida anturin suojana olevan suojalinssi.

Kalibrointi tapahtuu lämmittämällä mitattavaa kappaletta siten, että kappaleen ja anturin lämpötilaero on vähintään 30 °C. Esimerkiksi jos anturin kotelon lämpötila on +25 °C niin mitattavan kappaleen lämpötilan pitää olla vähintään +55 °C. Kun kappaleen ja anturin lämpötilaero on haluttu, luetaan anturista anturin ( $T_{O\_NEW}$ ) antama mittaustulos, anturin ilmoittama kotelon ( $T_{A\_NEW}$ ) lämpötila, ympäristön ( $T_{A\_REAL}$ ) lämpötila ja kappaleen ( $T_{O\_REAL}$ ) oikea lämpötila. Mitatut arvot kirjataan ylös. Kappaleen ( $T_{O\_REAL}$ ) ja ympäristön ( $T_{A\_REAL}$ ) oikea lämpötila tulee mitata tarkalla lämpömittarilla. Lisäksi tulee huomioida, että lämpötilat ovat kelvineitä. Emissiivisyyskerroimen (E) saa laskemalla kaavalla (5).

$$\frac{T_{O\_NEW}^4 - T_{A\_NEW}^4}{T_{O\_REAL}^4 - T_{A\_REAL}^4} = E \quad (5)$$

$T_{O\_NEW}$  on MLX90614: llä mitattu kappaleen mittaustulos

$T_{O\_REAL}$  on lämpömittarin mitattu kappaleen mittaustulos

$T_{A\_NEW}$  on MLX90614: n kotelon lämpötila

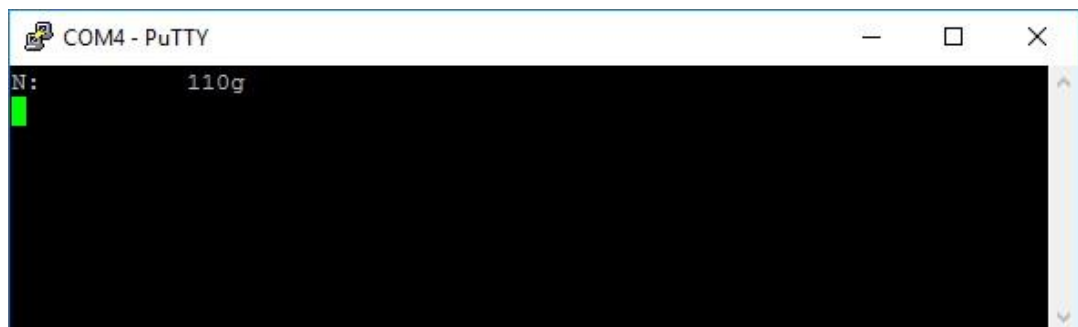
$T_{A\_REAL}$  on lämpömittarilla mitattu kotelon lämpötila

Kun emissiivisyyskerroin on laskettu, sen voi kirjoittaa MLX90614:n EEPROM-muistiin.

## 5.4 Vaaka

Vaa'aksi valikoitui Kernin PCB 6000 vaaka. Kyseisen vaa'an mittaustarkkuus on 1 g:n tarkkuus ja maksimipaino, jonka vaaka voi mitata, 6000 g. Kernin vaaka on roiskevesitiivis ja siitä löytyy sarjaporttiliitäntä, jolloin sen liittäminen tietokoneeseen sarjaliikennekaapelilla onnistuu helposti. Lisäksi vaa'assa on hyvät ja selkeät näppäimet vaa'an asetusten säätämiseksi. Vaaka toimii joko paristoilla, tai vaihtoehtoisesti sen voi kytkeä pistorasiaan vaa'an mukana tulevalla virtalähteellä.

Koska vaa'an RS232-sarjaliikennekaapelin liitin on vanhaa DB9-mallia ja nykyisistä tietokoneista harvoin enää löytyy kyseistä liitintä. Kaapeliksi tulee valita malli, joka voidaan kytkeä tietokoneen USB-väylään. Kyseisiä kaapeleita on hyvin saatavilla, ja yksivaihtoehto sellaiseksi on FTDI Chipin US232R-200-BLK-kaapeli. Kaapeli tukee Microsoftin WHQL-sertifioituja VCP-ajureita ja on siksi helppo asentaa sekä ottaa käyttöön. Kuvassa 5, vaaka on liitetty tietokoneeseen sarjaliikenne kaapelilla ja yhteys muodostettu PuTTY nimisellä ohjelmalla. [6.]

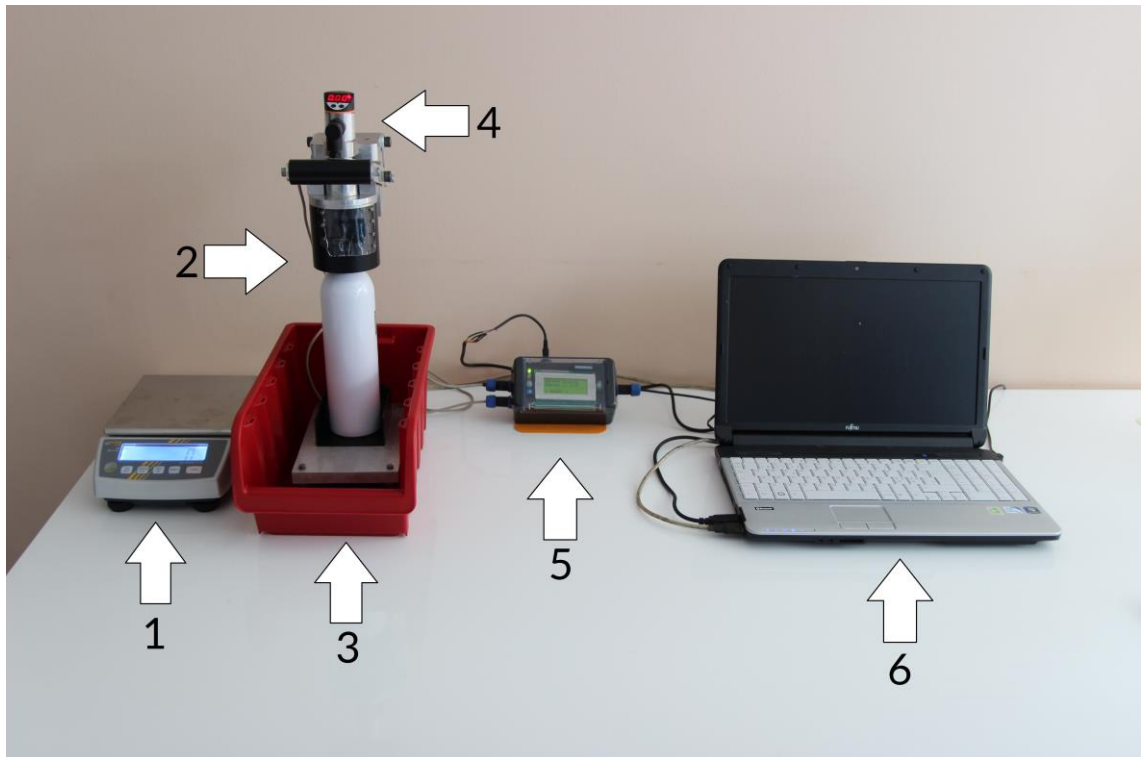


Kuva 5. Vaaka liitettyä tietokoneeseen sarjaliikennekaapelilla ja yhteys vaakaan muodostettu PuTTY nimisellä ohjelmalla. Vaaka antaa mittaustuloksen grammoina ja päivittää tuloksen kun mittaustulos muuttuu.

## 5.5 Mittausjärjestelmän kokoonpano

Mittausjärjestelmä koostuu Kernin vaa'asta (1), joka on kytketty sarjaliikennekaapelilla tietokoneen (6) USB-porttiin, painemittarin telineestä (2), jonka päälle on kiinnitetty IFM:n PF2954-painemittari (4) ja pullon alle telineen pohjaan MLX90614-infrapunalämpöanturi (3). Painemittari ja lämpöanturi on kytketty mikrokontrolleriin (5), joka on kytketty sarjaliikennekaapelilla tietokoneen (6) toiseen USB-porttiin. Kuvasta puuttuu viivakoodinlukija, jolla on tarkoitus lukea mitattavan pullon sarjanumero.

Viivakoodinlukija ei ole välttämätön järjestelmän toiminnan kannalta, mutta se nopeuttaa operaattorin työtä.



Kuva 6. Mittausjärjestelmän kokoonpano.

Sammutinyksikön aerosolipullon testaus alkaa siten, että operaattori lukee testattavan pullon sarjanumeron tietokoneella olevaan mittausohjelmaan viivakoodinlukijalla. Jos pullo on jo kertaalleen mitattu, hakee mittausohjelma edellisen mittauskerran tulokset ruudulle ja kertoo operaattorille, onko pullo ollut riittävän pitkään karanteenissa. Tämän jälkeen operaattori laittaa pullon painemittarin telineeseen ja mittaa pullon paineen ja lämpötilan. Mikrokontrolleri tekee mittauksen automaattisesti heti kun painemittarin mittaama paine nousee yli 0,2 barin. Kun mikrokontrolleri on saanut painemittarin ja lämpöanturin mittaustulokset, se lähettää tiedot tietokoneelle. Kun paine on mitattu, siirtää operaattori mitattavan pullon vaa'alle, joka mittaa pullon painon ja lähettää mittaustuloksen tietokoneelle. Kun tietokoneen mittausohjelma on saanut kaikki mittaustulokset, se ilmoittaa operaattorille hylätäänkö pullo vai läpäiseekö se mittauksen. Mittausprosessin vuokaavio on liitteenä 4.

## 6 Mikrokontrolleri ja piirikorttien suunnittelu

Koska painemittaria ja lämpöanturia ei voi suoraan liittämään kiinni tietokoneeseen, niille piti suunnitella mikrokontrollerilla varustettu piirikortti, joka huolehtisi mittaustulosten keräämisestä, muuntamisen ja siirtämisestä tietokoneelle sarjaliikennekaapelin kautta. Sama kortti huolehtisi myös painemittarin sähkönsyötöstä.

Mikrokontrolleriksi valikoitui Atmelin Atmega324A, koska se oli entuudestaan tuttu. Sille myös löytyy valmiiksi ohjelmakirjastoja, joilla mikrokontrollerin ohjelmointi onnistuu pienellä vaivalla.

Mikrokontrolleripiirikortin lisäksi järjestelmään suunniteltiin kaksi muuta piirikorttia, joista toinen on LCD-näytöllä, ledeillä ja summerilla varustettu käyttöliittymäpiirikortti ja toinen on lämpöanturipiirikortti. Piirikorttien piirikaaviot on esitetty liitteissä 1, 2 ja 3.

### 6.1 Käyttöjännitteet

Piirikortin sähkönsyötössä piti ottaa huomioon eri jännitetasot joita siihen liitetyt komponentit tarvitsevat. Esimerkiksi Atmega324A ja lämpöanturi toimivat 5 V jännitteellä ja painemittari taas 20 V jännitteellä. Yhteensä laitteen virrankulutus on maksimissaan noin 400 mA. Eniten virtaa kuluttaa LCD-näytön taustavalo joka kuluttaa maksimissaan noin 270 mA. Seuraavaksi eniten virtaa kuluttaa kolme indikaattorilediä ja painemittari, jotka kuluttavat maksimissaan virtaa yhteensä 120 mA. Loput komponentit kuluttavat yhteensä virtaa noin 4 mA:n verran.

Laitteen vaatimien jännitteiden ja virran mukaan virtalähteeksi valikoitui PowerPaxin valmistama SW4314-C AC/DC-teholähde, joka muuttaa 230 V:n verkkojännitteen 24 V:n tasajännitteeksi ja pystyy syöttämään maksimissaan 500 mA virtaa.

Koska teholähteen tuottama jännite ei ole kovin vakaata ja osa komponenteista tarvitsee 5 V jännitteen ja painemittari 20 V jännitteen, piirikortille tuli kaksi eri jänniteregulaattoria IC2 ja IC3, joilla sisään tuleva jännite vakautetaan ja muutetaan sopivaksi. Ensimmäinen regulaattori IC3 on MC78M20CTG-lineaariregulaattori, jolla sisään tuleva jännite muutetaan 24 V:sta 20 V:in. Kyseisen regulaattorin läpi voi johtaa maksimissaan 500 mA virtaa. Regulaattorin sisääntulon ja ulostulon välillä on kytketty

diodi D1, jonka tehtävä on suojella regulaattoria virtalähteen väärältä polariteetiltä. Regulaattorin rinnalle on kytketty 470  $\mu\text{F}$ :n kondensaattori C16, jonka tarkoitus on tasoittaa virtalähteen jännitteen vaihteluita. Lisäksi regulaattorin sisääntulolinjaan on kytketty sarjaan lämpösulake, joka katkaisee laitteen sähköt, jos lämpötila nousee yli 90 °C. Lämpösulake on tarkoitettu sijoittamaan lopullisella piirikortilla mahdollisimman lähelle regulaattorin jäähdytinsiliä. Regulaattori itsessään kestää jopa 125 °C lämpötilan, mutta laitteen muut komponentit ovat paljon herkempiä lämmölle. Lämmöntuotosta ja sen ongelmista lisää kappaleessa 6.4 .

Toinen regulaattori IC2, joka on kytketty ensimmäisen IC3-regulaattorin ulostuloon ja muuttaa sen antaman 20 V:n jännitteen 5 V:n jännitteeksi. IC2-regulaattori on NCP7805TG-lineaariregulaattori. IC2-regulaattorin ulostuloon on kytketty yksi pieni led LED1 ja etuvastus R5. LED1:n tarkoitus on toimia indikaattorina, josta näkee, toimivatko kummatkin regulaattorit, ja lopullisessa versiossa sen voi jättää kalustamatta.

## 6.2 Mikrokontrolleri

Mikrokontrolleriksi IC1 valittiin Atmega324A, kuten jo aiemmin mainittiin. Kyseistä mikrokontrolleria saa kolmella eri tavalla koteloituna ja koska tämän insinööriyön piirikortit on tarkoitettu juottamaan käsin, niin koteloksi valikoitui PDIP-tyyppi. Muiden kotelotyyppien juottaminen käsin on joko vaikeaa tai melkein mahdotonta. Mikrokontrollerin jännitteen syötön ja maatason väliin kytkettiin rinnan neljä BY-PASS -kondensaattoria C10-13, joilla pyritään vähentämään suurtaajuisten jännitevaihteluiden pääsyä mikrokontrollerin käyttöjännitteenastoihin. [7; 8.]

Mikrokontrollerin analogi-digitaalimuunnosta varten piirille on lisätty erillinen jännitereferenssi piiri, joka on tarkempi kuin mikrokontrollerin oma jännitereferenssi. Tähän tarkoitukseen valikoitui Analog Devicesin REF02CPZ-jännitereferenssi piiri U\$1, joka pystyy antamaan referenssijännitteen 0,3 % tarkkuudella. Piiri muuttaa sisään tulevan jännitteen 5 V:n jännitteeksi ja syöttää sen mikrokontrollerin referenssijännitteenastoon. Sisään tuleva jännite voi olla 7.0 ... 36 V:n välillä ja tästä syystä se kytkettiin 20 V regulaattorin ulostuloon. [9.]

Sarjaliikennettä varten mikrokontrollerille on hyvä kytkeä ulkoinen kide, josta saa tarkemman kellotaajuuden kuin mitä mikrokontrollerin oma kello kykenee antamaan. Kide kytketään mikrokontrollerin ulkoisen kellon nastojen XTAL1 ja XTAL2 väliin. Kiteeksi valittiin 16 Mhz kide Q1. Lisäksi kiteen jalkojen ja maatasen väliin pitää laittaa keraamiset kondensaattorit C17 ja C18. Kide ja kondensaattorit on syytä sijoittaa niin lähelle mikrokontrollerin kellonastoja kuin mahdollista, mahdollisten häiriöiden välttämiseksi.

### 6.3 Painemittarin kytkentä mikrokontrolleriin

Painemittari PF2954 saa käyttöjännitteensä mikrokontrolleripiirikortilta ja sen sisään tuleva jännitelinja on kytketty 20 V:n regulaattorin ulostuloon. Painemittarin antama mittaustulos on jännitteenä 0 ... 10 V. Koska mikrokontrollerin A/D-muunnin pystyy lukemaan vain 0 ... 5 V:n jännitteen, pitää painemittarilta tuleva jännite jakaa. Tämä on toteutettu piirikortilla jännitteenjaolla, jolla painemittarin mittaustulos  $U_{in}$  saadaan tarpeeksi pieneksi  $U_{out}$ . Jännitteenjako on tehty vastuksilla R3 ja R4 joiden arvot ovat 250  $\Omega$  ja 330  $\Omega$ . Painemittarin mittaustuloksen ollessa suurin mahdollinen arvo eli 10 bar, painemittarin ulostuleva jännite on 10 V ja alla olevalla kaavalla laskien jännitteenjaon tulokseksi saadaan 4,31 V. [11, s. 53.]

$$U_{out} = \frac{R_4}{R_4 + R_3} U_{in} \quad (6)$$

### 6.4 Lämmöntuotto ja sen hallinta

Koska regulaattorien läpi menee paljon virtaa ja jännitteen muutos on iso, muuttuu ylimääräinen jännite lämmöksi. Tämä lämpö pitää johtaa regulaattorin pinnalta pois, jotta se ei ylikuumene. Tästä syystä regulaattoreihin on kiinnitetty alumiiniset jäähdytinsiilit, joka parantaa lämmön johtumista. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin se, että koko laite on rakennettu umpinaisen kotelon sisälle eikä lämmintä ilmaa saa johdettua kotelosta ulos. Jotta laitteen komponentit eivät vahingoittuisi, on IC3:n sisääntuloon kytketty sarjaan lämpösulake R2. Lämpösulake laukeaa, kun sen lämpötila ylittää +90 °C. Lämpösulake on tarpeen vaikka regulaattoreissa on omat ylilämpösuojat siksi, että niiden arvot ovat liian korkeat joillekin komponenteille. Herkin



komponentti ylikuumentumiselle on laitteen LCD-näyttö, joka kestää vain +70 °C lämpötilaa.

## 6.5 Liittimet ja kotelointi

Jotta laitetta olisi helpompi huoltaa ja koota, kaikki ulkoiset kytkennät piirikorteille on toteutettu uudelleen irrotettavilla liittimillä. Mikrokontrolleripiirikortilla liittiminä on käytetty Molexin MicroBlade-liittimiä sekä 2,54 mm:n jaolla olevaa piikkirimaa. Kotelon läpi tulevat liittimet on valittu IP68-luokituksen perusteella, koska koteloinnista on haluttu mahdollisimman vesitiivis. Kotelon läpivienneiksi valittiin Cliffconin valmistamat IP68-luokitellut paneeliasennukseen soveltuvat liittimet. Koteloksi on myös valittu vesitiivis, IP67-luokiteltu kotelo. Kotelon kansi on läpinäkyvää muovia, joten LCD-näytön voi sijoittaa helposti kotelon sisälle.

## 6.6 Käyttöliittymäpiirikortti

Käyttöliittymäpiirikortille on kalustettu kolme lediä, summeri ja LCD-näyttö. Käyttöliittymäkortin piirikaavio on esitetty liitteessä 2. Ledeiksi on valittu Kingbrightin valmistamat vihreä L-53GD, keltainen L-53YD ja punainen L-53ID 5 mm kupolilla varustetut ledit. Vihreällä ledillä kerrotaan käyttäjälle, että laite on valmis mittaamaan. Keltaisella kerrotaan, että mittaus on käynnissä ja punaisella jos laitteessa on vikaa. Vihreän ledin kynnysjännite on 2,2 V, keltaisen 2,1 V ja punaisen 2,0 V 20 mA virralla, joten ledeille tarvitaan etuvastus. Etuvastusten arvot on laskettu kaavalla 7. [12,13,14, 11, s. 53.]

$$R_{etu} = \frac{V_{cc} - V_F}{I_F} \quad (7)$$

*R<sub>etu</sub> on etuvastuksen arvo*

*V<sub>cc</sub> on käyttöjännite*

*V<sub>F</sub> on ledin kynnysjännite*

*I<sub>F</sub> on ledin virta*

Vaikka ledit tarvitsisivat eri kokoiset etuvastukset, päädyttiin piirikortin suunnittelussa kuitenkin käyttämään kaikille samanarvoista 150 Ω:n etuvastusta. Tähän päädyttiin siksi, että etuvastusten arvot ovat lähellä toisiaan ja niiden optimointi olisi tarkoittanut

kolmen eri suuruisen vastuksen käyttämistä. Käytännön vaikutuksena etuvastuksen optimoimisella olisi saanut aavistuksen kirkkaampana loistavat vihreän ja keltaisen ledin.

Käyttöliittymäkortille kalustettu summeri SG1 on kytketty suoraan mikrokontrollerin PD2- ja PD3-pinneihin. Summerin tarkoitus on kertoa äänimerkillä käyttäjälle, että testilaitte on valmis, jolloin käyttäjän ei tarvitse välttämättä seurata laitteen merkkivaloja. Summeri on sijoitettu käyttöliittymäpiirikortille, jotta se kuuluisi aavistuksen paremmin kotelon sisältä. Laitteen kotelo vaimentaa summerin ääntä tehokkaasti ja jos se olisi mikrokontrollerikortilla, sen ääni jäisi turhan hiljaiseksi. Summeriksi valittiin Multicompin MCKPX-G1205A-3700 hinnan ja saatavuuden johdosta.

Käyttöliittymäpiirikortin näkyvin ja suurin komponentti on neljä rivinen 16 merkkinen Displaytechin valmistama aakkosnumeerinen LCD-näyttö U1. LCD-näyttö ei ole välttämätön laitteen toiminnalle. Sama data, joka näkyy näytöllä, välittyy myös tietokoneelle. Näyttö on kuitenkin kätevä apu käyttäjälle, jos laitteen tietokoneen ruutu on sijoitettu hankalasti. Tällöin käyttäjän ei välttämättä tarvitse seurata tietokoneen ruudulta mittausprosessia kesken mittauksen. Huonopuoli näytössä on sen taustavalon suuri virrankulutus, joka johtaa regulaattorien kuumenemiseen. LCD:n taustavalo tarvitsee noin 180 mA virran 4,2 V:n jännitteellä. [15.]

LCD:n sisäänrakennettuna ohjainpiirinä on Sitronixin ST7066U, joka on yleisemmin käytetyn Hitachin HD44780 kanssa yhteensopiva ja tukee samoja komentoja. Tämä helpotti ohjelman kirjoittamista. [15.]

LCD:n kontrastin säätämistä helpottamaan käyttöliittymäpiirikortille kalustettiin 2 k $\Omega$ :n trimmeripotentiometri. Potentiometri on kytketty LCD:n V0, +5 V ja piirikortin maan väliin.

## 6.7 Lämpöanturipiirikortti

Kolmas suunniteltu piirikortti oli lämpöanturipiirikortti. Kortin piirikaavio on esitetty liitteessä 3. Lämpöanturille piti suunnitella oma piirikortti siksi, että lämpöanturi sijoitetaan painemittarin telineen pohjaan. Lämpöanturiksi valittiin Melexiksen valmistama MLX90614ESF-AAA-000-TU. MLX90614 on infrapunalämpöanturi, joten

anturin ei tarvitse olla kosketuksessa mitattavan kohteen kanssa. Lisäksi infrapunalla mitattaessa itse mittaustapahtuma on todella nopea ja luotettava. MLX90614 tukee I<sup>2</sup>C-väylää, joten anturin mittaustuloksen saa luettua suoraan anturin EEPROM -muistista digitaalisena. Koska tiedonsiirto mikrokontrollerin ja anturin välillä tapahtuu digitaalisena, mittaustuloksen lukeminen on vähemmän häiriöherkkä kuin analogisignaalin kanssa.

Lämpöanturipiirikortille on kalustettu lämpöanturin lisäksi vain liitin kaapelille ja by-pass-suodatuskondensaattori C2. Lämpöanturin datalinjat on kytketty mikrokontrollerin SDA- ja SCL- jalkoihin. Mikrokontrolleripiirikortille tarvitsee kalustaa kaksi ylösvetovastusta R6 ja R7 SDA- ja SCL- linjojen ja 5 V:n välille. Jos vastuksia ei kalusta, SDA- ja SCL- linjat kelluvat ja I<sup>2</sup>C-väylä ei toimi. Valittu MLX90614 toimii 5 V:n jännitteellä ja kuluttaa 25 mA. [16, 18]

## **7 Mikrokontrollerin ohjelmointi**

Jotta mikrokontrolleri osaisi käsitellä eri antureiden mittaamaa dataa ja muuntaa sen sopivaan muotoon edelleen lähetettäväksi tietokoneelle, pitää mikrokontrolleri ohjelmoida. Ohjelmointi tapahtuu C-kielellä ja ohjelmointiympäristönä käytettiin Atmel Studion versiota 7.

### **7.1 Käytetyt kirjastot ja aliohjelmat**

Kaikkia tarvittuja toimintoja ei tarvinnut ohjelmoida itse alusta alkaen, vaan insinööriyössä käytettiin myös valmiita verkosta vapaassa levityksessä löytyneitä kirjastoja sekä Atmel Studion mukana tulevia kirjastoja. Osaan kirjastoista ja aliohjelmista tarvitsi tehdä muutoksia, jotta ne soveltuivat käytettäväksi tässä työssä.

### **7.2 Mikrokontrollerin alustus**

Mikrokontrollerille pitää kertoa mitä missäkin pinnissä on kiinni ja miten porttia on tarkoitus käyttää. Määritykset on kirjoitettu main.h-tiedostoon. Pinneihin PB0, PB1 ja PB4 on kytketty käyttöliittymäkortin merkkivalot, jolloin kyseiset portit on määritetty ulostuloiksi. Myös pinnit PD2 ja PD3 on määritetty ulostuloiksi, koska niihin on liitetty

käyttöliittymäkortin summeri. LCD-näytön pinneiksi on määritetty portit PC0 – PC6. PC0-pinni on LCD-näytön rekisterinvalintalinja RS, PC1 on kirjoita/luelinja, PC2-kellolinja ja pinnit PC3 - PC6-datalinjoja. A/D-muuntimen sisääntuloksi on valittu pinni PA0, joten se pitää alustaa sisääntuloksi ja kytkeä A/D-muunnin päälle. Samalla kun A/D-muunnin kytketään päälle. Koska laitteessa halutaan käyttää ulkoista jännitereferenssiä, on vertailujännitepinni AREF kytkettävä päälle.

Muita alustuksia, jotka pitää tehdä ennen varsinaista ohjelmaa, ovat muun muassa prosessorin kellotaajuuden määrittäminen, sarjaliikenteen siirtonopeus ja paineen nolla- sekä maksimiarvo.

### 7.3 A/D-muunnin ja painemittarin lukeminen

Painemittarin antama tulos luetaan mikrokontrollerin A/D-muuntimella. A/D-muunnin muuttaa sisään tulevan jännitteen 10-bittiseksi numeroksi. Painemittarin jännitealue on 0 ... 5 V, joten 1 barin arvo on 1/10 osa A/D-muuntimen maksimista. Paineen arvo bareina saadaan laskemalla kaavalla 8.

$$p_{tulos} = \frac{p_{mittaus} - p_{nolla}}{p_{max} - p_{nolla}} p_{mittari} \quad (8)$$

$p_{nolla}$  on 204,8 eli nollassa mittaukselle

$p_{mittaus}$  on ADC:n antama mittaustulos

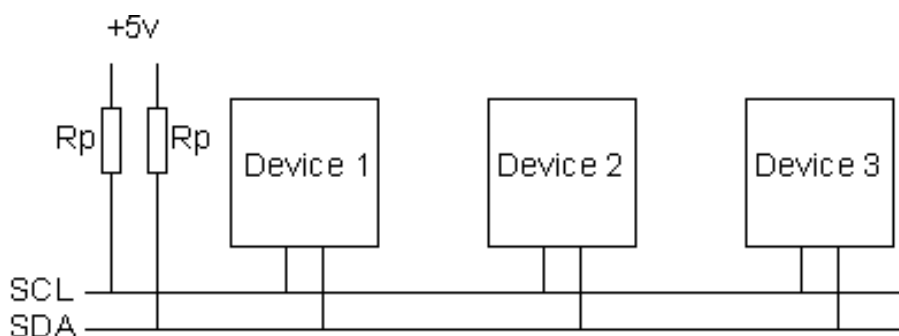
$p_{max}$  on ADC:n maksimi eli 1024

$p_{mittari}$  on Painemittarin maksimi eli 10bar

Mittaus aloitetaan, kun painemittarin mittaama paine nousee yli 0,2 baria. Mittausta jatketaan niin pitkään, että mittaustuloksen maksimiarvon ja minimiarvon erotus alittaa arvon 1, tai jos aikaa on kulunut mittauksen aloituksesta 1200 ms. Maksimiarvon ja minimiarvon erotuksella varmistetaan, että mitattu paine on tasaantunut ja mittaustulos on tarpeeksi tasainen. Mittaustulos näkyy mittaustapahtuman aikana LCD-näytöllä, ja kun mittaustapahtuma on suoritettu loppuun, näytetään lopullinen arvo LCD-näytöllä ja lähetetään tietokoneelle.

## 7.4 I<sup>2</sup>C-väylä ja lämpöanturin tulosten lukeminen

I<sup>2</sup>C-väylä on Philipsin kehittämä sarjamuotoinen tiedonsiirtoväylä, jonka avulla samaan väylään kytketyt laitteet voivat kommunikoida keskenään käyttäen samaa kello- (SCL) ja datalinjaa (SDA). Väylään liitetyillä laitteilla on jokaisella oma yksilöllinen osoite, jonka avulla isäntänä toimiva laite yksilöi, minkä orjana toimivan laitteen kanssa isäntä kulloinkin kommunikoi. Kuvassa 7 on kuvattu I<sup>2</sup>C-väylän kytkentä. Kuvassa olevat vastukset Rp ovat ylösvetovastuksia, jotka on kytketty 5 V:n jännitteeseen. [18]



Kuva 7. I<sup>2</sup>C-väylään kytkettyjen laitteiden havainne kuva [18.]

## 7.5 UART

Mikrokontrolleri on kytketty tietokoneeseen sarjaliikennekaapelilla. Atmelille löytyy useita valmiita kirjastoja sarjaliikennekommunikaatiota varten, joten oman kirjaston kirjoittamiselle ei ollut tarvetta. Käytettyä kirjastoa jouduttiin kuitenkin muokkaamaan, sen verran, että valittu siirtonopeus piti jakaa 8-kertaisella luvulla alkuperäiseen lukuun nähden. Tämä johtui siitä, että mikrokontrollerin fuse CKDIV8 on käytössä. Ilman tätä muutosta sarjaliikenteen siirtonopeus olisi eri tietokoneella ja mikrokontrollerilla.

## 8 Tietokoneohjelma

Vanhan järjestelmän yksi kehityskohteista oli päästä eroon mittaustulosten käsin kirjoittamisesta paperille ja tietokoneelle. Insinööriyön suunnittelun alusta lähtien oli selvää, että uudessa järjestelmässä tiedot kerättäisiin automaattisesti suoraan tietokoneelle ja sitä varten tehtäisiin oma tietokonesovellus, joka pystyy käsittelemään

saadut mittaustulokset automaattisesti, arkistoimaan tiedot turvallisesti ja kertomaan operaattorille kelpaako mitattu pullo tuotantoon.

Tietokonesovellus päätettiin koodata C++:lla ja työkaluna käyttää Microsoftin Visual Studio 2013-kehitysympäristöä. Visual Studion etuina on siitä suoraan löytyvät helpottavat työkalut, joilla saa esimerkiksi helposti luotua Windows-ohjelman käyttöliittymän kätevästi visuaalisesti hiirellä lisäämällä haluamiaan objekteja.

## 8.1 Käyttöliittymä

Ohjelmiston käyttöliittymän pitää olla mahdollisimman yksinkertainen ja informatiivinen, jotta operaattorilla ei mene turhaa aikaa ohjelman opetteluun ja hän näkisi mahdollisimman selkeästi vain tiedot joita tarvitsee työn tekemiseen. Ensimmäinen vaihe ohjelman käynnistyksen jälkeen on avata ohjelman "Settings" -valikko ja valita siellä mikrokontrollerin sekä vaa'an sarjaliikennekaapeleiden käyttämät COM-portit sekä siirtonopeus. Kuvassa 6 (seuraava sivu) operaattori on lukenut pullon sarjanumeron "Bottle serial number" -kenttään ja sen jälkeen mitannut pullon paineen ja lämpötilan sekä punninnut pullon. Ohjelma osaa automaattisesti lukea sarjaliikenneporteista mikrokontrollerin syöttämän datan sekä vaa'alta tulevan painon. Tämän jälkeen ohjelma kertoo käyttäjälle, hyväksytäänkö mitattu pullo karanteeniin.

Safera Aerosol Bottle Tester v. 1.0

File About

## Safera Aerosol Bottle Tester

Pressure sensor COM-port:

Scale COM-port:

Bottle serial number:

Measured bottle pressure:

Measured bottle temperature:

Measured bottle weight:

**Bottle accepted for quarantine**

### Second measurement results

First measurement date:

Measured bottle pressure:

Measured bottle temperature:

Measured bottle weight:

**RESULT**

Exit

Kuva 8. Kuva Safera Aerosol Bottle Tester sovelluksen käyttöliittymästä.

## 8.2 Mittaustulosten tallennus ja käyttö

Kun operaattori lukee pullon sarjanumeron sarjanumerokenttään, ohjelma tekee haun sarjanumeron perusteella tietokantaan ja tarkistaa onko pullo mitattu aikaisemmin. Jos pulloa ei ole mitattu aikaisemmin, ohjelma pyytää mittaamaan pullon. Kun operaattori on mitannut pullon paineen ja lämpötilan ja ohjelma on vastaanottanut mittaustulokset, ohjeistaa ohjelma punnitsemaan pullon. Kun pullo on punnittu ja ohjelma on vastaanottanut vaa'an mittaustulokset, ohjelma tallentaa mittaustulokset, aikaleiman ja sarjanumeron tietokantaan. Lisäksi ohjelma tarkistaa, onko mittaustulokset sallittujen raja-arvojen sisällä ja ilmoittaa, hyväksytäänkö pullo karanteeniin. Tämän jälkeen ohjelma ilmoittaa, että on valmis seuraavan pullon mittaamiseen. Ohjelma varoittaa

operaattoria, jos pullon paino on punnitsematta ja operaattori yrittää aloittaa seuraavan pullon mittaamisen.

Jos pullo on mitattu aiemmin tarkistaa ohjelma tietokannasta mittausten aikaleiman ja ilmoittaa operaattorille, onko pullo ollut riittävän pitkään karanteenissa. Jos pullo ei ole ollut riittävän pitkään karanteenissa, ruudulle ilmestyy varoitusteksti. Varoitustekstissä operaattoria ohjeistetaan, milloin pullo on ollut riittävän pitkään karanteenissa uusintamittausta varten. Jos pullo on ollut riittävän pitkään karanteenissa, antaa ohjelma käyttäjälle luvan mitata pullon. Mittauksen jälkeen ohjelma tallentaa mittaustulokset tietokantaan sekä laskee edellisen mittauksen ja nykyisen mittauksen lämpötilakorjauksen. Lämpötilakorjauksen kaava on esitetty kaavassa 9. Lämpötilakorjauksen tulos lisätään jälkimmäisen mittauksen pullon paineen mittaustulokseen. Tämän jälkeen ohjelma tarkistaa, onko pullon paine, paineen muutos, lämpötila, paino ja painon muutos sallittujen raja-arvojen sisällä ja ilmoittaa operaattorille hyväksytäänkö pullo tuotantoon vai pitääkö se hylätä.

$$p_k = \frac{T_2 p_1}{T_1} - p_1 \quad (9)$$

$p_1$  on edellisen mittauksen paine

$T_1$  on edellisen mittauksen lämpötila Kelvineinä

$T_2$  on jälkimmäisen mittauksen lämpötila Kelvineinä

$p_k$  on lämpötilakorjaus

## 9 Mittausjärjestelmän jatkokehitys ja parannusideat

Mittausjärjestelmää kehittäessä ja insinööriyötä kirjoittaessa on tullut monia jatkokehityskohteita ja parannusideoita, joita ei ole ehditty toteuttaa insinööriyötä tehdessä.

### 9.1 Mikrokontrolleripiirikortti

Mikrokontrolleripiirikortin kehityskohteena on miettiä laitteen tarvitsemien jännitteiden muunnos vähemmän lämpöä tuottavalla ratkaisulla. Seuraavaan versioon järkevämpi ratkaisu olisi tehdä hakkuriregulaattoreilla, jolloin muunnoksessa syntyy vähemmän lämpöä. Toinen kohde on lisätä erillinen A/D-muunnin piirikortille, koska nykyisen



mikrokontrollerin oma A/D-muunnin on juuri riittävä nykyiseen käyttöön. Samalla kortilta pystyisi karsimaan painemittarin jännitteen jaon pois, koska A/D-muuntimeksi voi valita mallin, joka osaa suoraan muuttaa painemittarin 0...10 V:n jännitteen digitaaliseksi.

Piirikortit on insinööriyötä tehdessä tehty koekytkentäkorteille, jotta laitetta on ollut helppo muokata. Ennen kuin laite voidaan ottaa Saferan tuotannossa käyttöön, piirikortit on syytä tilata piirikorttivalmistajalta. Koekytkentäkorteille tehdyt piirikortit vikaantuvat helposti. Lisäksi tarkoitus on tehdä myös varakappaleet, jotta tuotanto ei pysähdy laitteen vikaantuessa.

## 9.2 Painemittari ja lämpötila-anturi

Yhtenä parannusideana on mietitty sellaista vaihtoehtoa, jossa mikrokontrollerista päästäisiin kokonaan eroon ja painemittari sekä lämpötila-anturit voisi kytkeä suoraan tietokoneeseen. Markkinoilta löytyy valmiita ratkaisuja, joista varmasti löytyy mittausjärjestelmään soveltuvat mallit. Jos mikrokontrolleria ei tarvita, mittausjärjestelmän kehitys olisi vain Windows-ohjelman muokkaamista.

## 9.3 Tietokoneohjelman säännöstö

Tietokoneohjelman säännöstö tulisi suunnitella siten, että se sallii jatkossa mahdolliset muutokset säännöstöön ilman, että ohjelman lähdekoodia tarvitsee muuttaa. Esimerkiksi jos tulevaisuudessa halutaan muuttaa paineen raja-arvoja tai karanteenin läpäisyyn vaadittavien mittausten määrää kahdesta kolmeen, pitää muutokset onnistua ilman ohjelmaan koodiin tehtäviä muutoksia. Käytettävä tietokanta pitää myös suunnitella siten, että se on mahdollisimman joustava muutosten suhteen. Säännöstöön tehtävät muutokset pitää kuitenkin suojata niin, että tuotannon työntekijä ei pääse niitä vahingossa muuttamaan.

## 10 Yhteenveto

Insinööriyön lopputuloksena syntynyt mittausjärjestelmä toimii ja laitteella pystyy mittaamaan pullon paineen ja painon, sekä siirtämään mittaustulokset tietokoneelle sarjaliikenneväylää pitkin. Mittausjärjestelmällä suoritettiin koemittaus, jolla verrattiin

uuden järjestelmän toimintaa vanhaan nähden. Koemittausten tulokset on kirjattu taulukkoon 1. Mittauksissa mitattiin viiden aerosolipullon paineet vanhalla järjestelmällä ja heti perään uudella järjestelmällä. Tämän jälkeen pulloet siirrettiin jääkaappiin 24 tunnin ajaksi ja mitattiin uudella järjestelmällä uudestaan. Pullojen lämpötila kahdessa ensimmäisessä mittauksessa oli +22 °C ja viimeisessä mittauksessa noin +6...8 °C.

Taulukko 1. Vanhalla ja uudella järjestelmällä tehdyt koemittaukset

Pullo	Pullon lämpötila +22 °C		Pullon lämpötila +6..8 °C
	Vanha järjestelmä	Uusi järjestelmä	Uusi järjestelmä
1	2,02	1,97	1,84
2	5,02	4,93	4,65
3	7,48	7,42	6,94
4	8,61	8,53	8,05
5	9,51	9,44	7,65

Mittaustuloksista näkee, että vanha ja uusi järjestelmä antavat yhteneväiset mittaustulokset. Paineen muutos ensimmäisen ja toisen mittauksen välillä selittyvät sillä, että pulloa mitattaessa pullosta karkaa noin 0,5 g sammutinnestettä ja paine laskee karanneen sammutinnesteen verran. Viimeisen mittauksen paine-erot selittyvät osittain lämpötilan muutoksella. Pullon numero 5 viimeinen mittaustulos selittyy sillä, että pullon venttiili on vioittunut ja vuotaa.

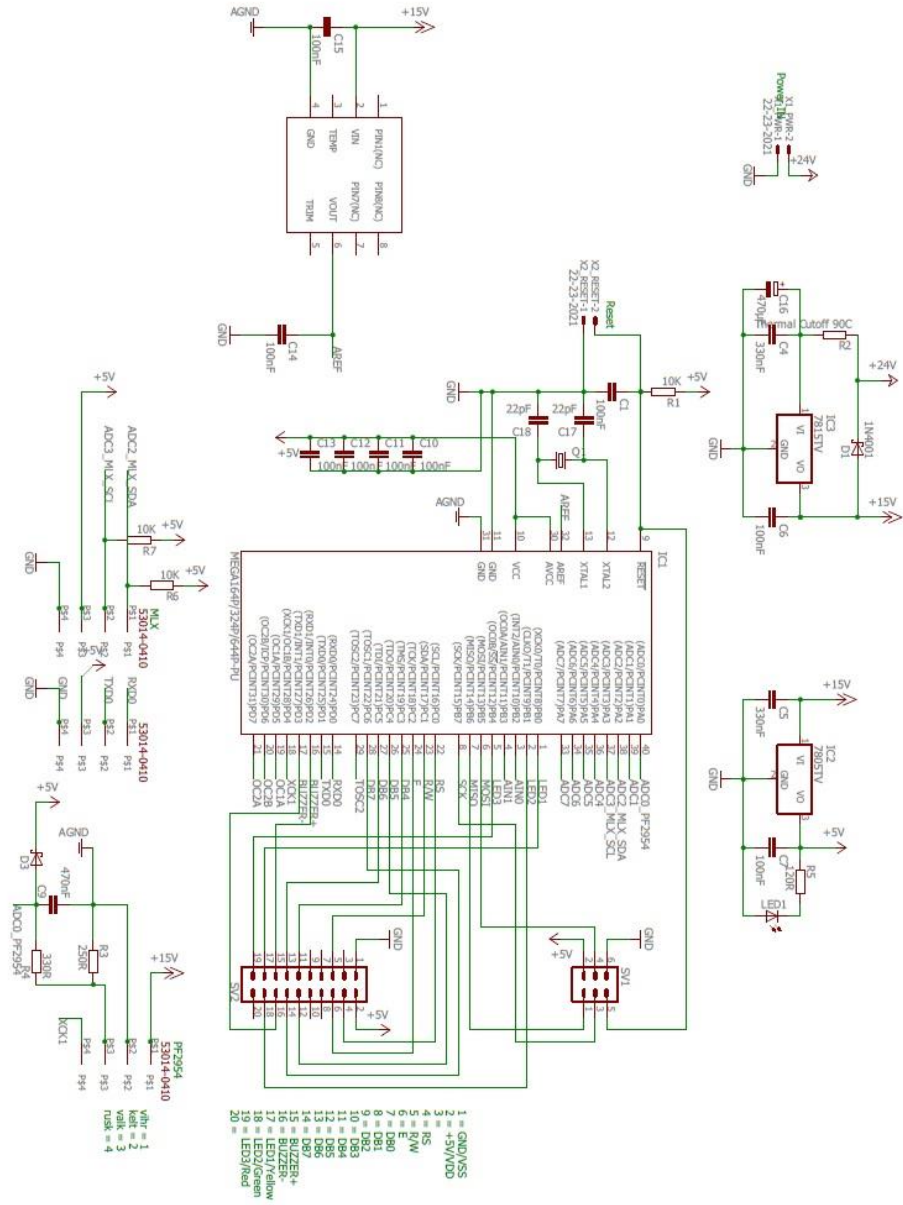
Aikataulun johdosta lämpötilan mittausta ja tietokoneohjelmaa ei ehditty tekemään loppuun asti. Mittausjärjestelmän kehittäminen jatkuu insinööriyön tekemisen jälkeen, joten keskeneräiset osiot tehdään loppuun ennen tuotannolle luovuttamista.

## Lähteet

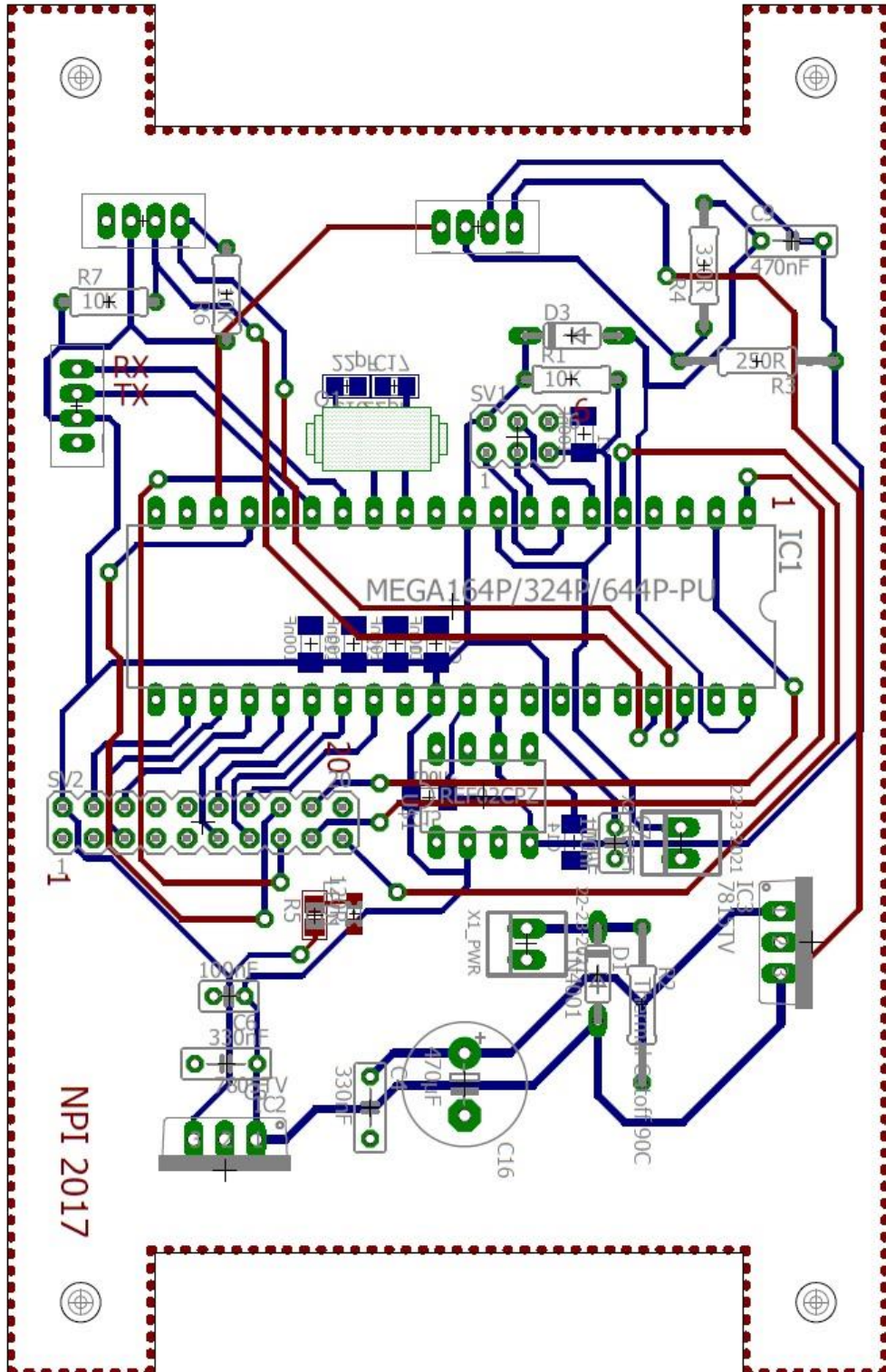
- 1 How aluminium Aerosol cans are made. Verkkodokumentti. Metal Package Manufacturers Association.  
<<http://www.mpma.org.uk/pages/data/aerosolaluminium.pdf>>. Luettu 4.3.2017.
- 2 Bag-On-Valve. 2015. Verkkodokumentti. Aurena Laboratories  
<<http://bagonvalve.com/putting-your-product-into-superior-bag-on-valve-aerosol-technology/>>. Päivitetty 10.1.2014. Luettu 4.3.2017.
- 3 Paineen mittaus. 2011. Verkkodokumentti. <<http://www.vtt.fi/inf/pdf/MIKES/2011-J1.pdf>>. Luettu 26.3.2017.
- 4 PF2954 datalehti. Verkkodokumentti. <[http://tds.ifm-electronic.com/tentacle/fin/PF2954.pdf?requestId=48f7ef9db9d74359&locale=fi\\_FI](http://tds.ifm-electronic.com/tentacle/fin/PF2954.pdf?requestId=48f7ef9db9d74359&locale=fi_FI)>. Luettu 28.3.2017.
- 5 IP-classification. Verkkodokumentti. RISE Research Institutes of Sweden  
<<http://sp.se/en/index/services/ip/sidor/default.aspx>>. Luettu 28.3.2017.
- 6 FTDI Ltd DS\_UT232R-200(500) USB to RS232 Adapter cable. 2010. Verkkodokumentti. FTDI Chip  
<[http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/Cables/DS\\_UT232R-500.pdf](http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/Cables/DS_UT232R-500.pdf)>. Päivitetty 29.10.2010. Luettu 1.4.2017
- 7 ATmega324P/V datalehti. 2016. Verkkodokumentti. Atmel Corporation<[http://www.atmel.com/Images/Atmel-42743-ATmega324P\\_Datasheet.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-42743-ATmega324P_Datasheet.pdf)>. Päivitetty Elokuu 2016. Luettu 5.3.2017.
- 8 BY-PASS –kondensaattorit. Verkkodokumentti.  
<[http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/ELE\\_BY-PASS\\_konkat.pdf](http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/ELE_BY-PASS_konkat.pdf)>. Luettu 5.3.2017
- 9 REF02CPZ datalehti. Verkkodokumentti. Analog Devices  
<[http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/REF01\\_02\\_03.pdf](http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/REF01_02_03.pdf)>. Luettu 28.4.2017
- 10 HC49S-16-30-50-70-30-ATF datalehti. 2012. Verkkodokumentti.  
<[http://www.farnell.com/datasheets/1661828.pdf?\\_ga=2.157588345.2134869771.1493620624-337568481.1445371182](http://www.farnell.com/datasheets/1661828.pdf?_ga=2.157588345.2134869771.1493620624-337568481.1445371182)>. Päivitetty 17.4.2012. Luettu 28.4.2017
- 11 Tarkka, Määttänen & Hietalahti. 2003. Piirianalyysi 1. Helsinki: Edita

- 12 L-53GD datalehti. 2003. Verkkodokumentti. <<http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/151e/0900766b8151e408.pdf>>. Päivitetty 2.1.2003. Luettu 29.4.2017
- 13 L-53YD datalehti. 2002. Verkkodokumentti. <<http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/151e/0900766b8151e407.pdf>>. Päivitetty 1.11.2002. Luettu 29.4.2017
- 14 L-53ID datalehti. 2003. Verkkodokumentti. <<http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/151e/0900766b8151e409.pdf>>. Päivitetty 23.2.2003. Luettu 29.4.2017
- 15 LCD164A datalehti. 2009. Verkkodokumentti. Displaytech. <<http://cdn.displaytech-us.com/sites/default/files/display-data-sheet/164A%20series-v21.pdf>>. Päivitetty 15.4.2009. Luettu 29.4.2017
- 16 MLX90614 datalehti. 2015. Verkkodokumentti. Melexis. <<https://www.melexis.com/-/media/files/documents/datasheets/mlx90614-datasheet-melexis.pdf>>. Päivitetty 29.6.2015. Luettu 29.4.2017
- 17 Lämpötila. 2017. Verkkodokumentti. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/L%C3%A4mp%C3%B6tila>>. Päivitetty 11.3.2017. Luettu 30.4.2017
- 18 Using the I2C Bus. Verkkodokumentti. Robot Electronics. <<http://www.robot-electronics.co.uk/i2c-tutorial>>. Luettu 30.4.2017
- 19 Hautala, Mikko & Peltonen, Hannu. 2016. Insinöörin (AMK) fysiikka, osa 1. Lahden Teho-opetus Oy.
- 20 EN 50615. Household and similar electrical appliances - Safety - Particular requirements for devices for fire prevention and suppression for electric hobs (cooktops). 2015.
- 21 Emissivity Coefficients of some common Materials. Verkkodokumentti. The Engineering ToolBox. <[http://www.engineeringtoolbox.com/emissivity-coefficients-d\\_447.html](http://www.engineeringtoolbox.com/emissivity-coefficients-d_447.html)>. Luettu 9.5.2017

# Mikrokontrolleripiirikortin kytkentäkaavio



### Mikrokontrolleripiirikortti



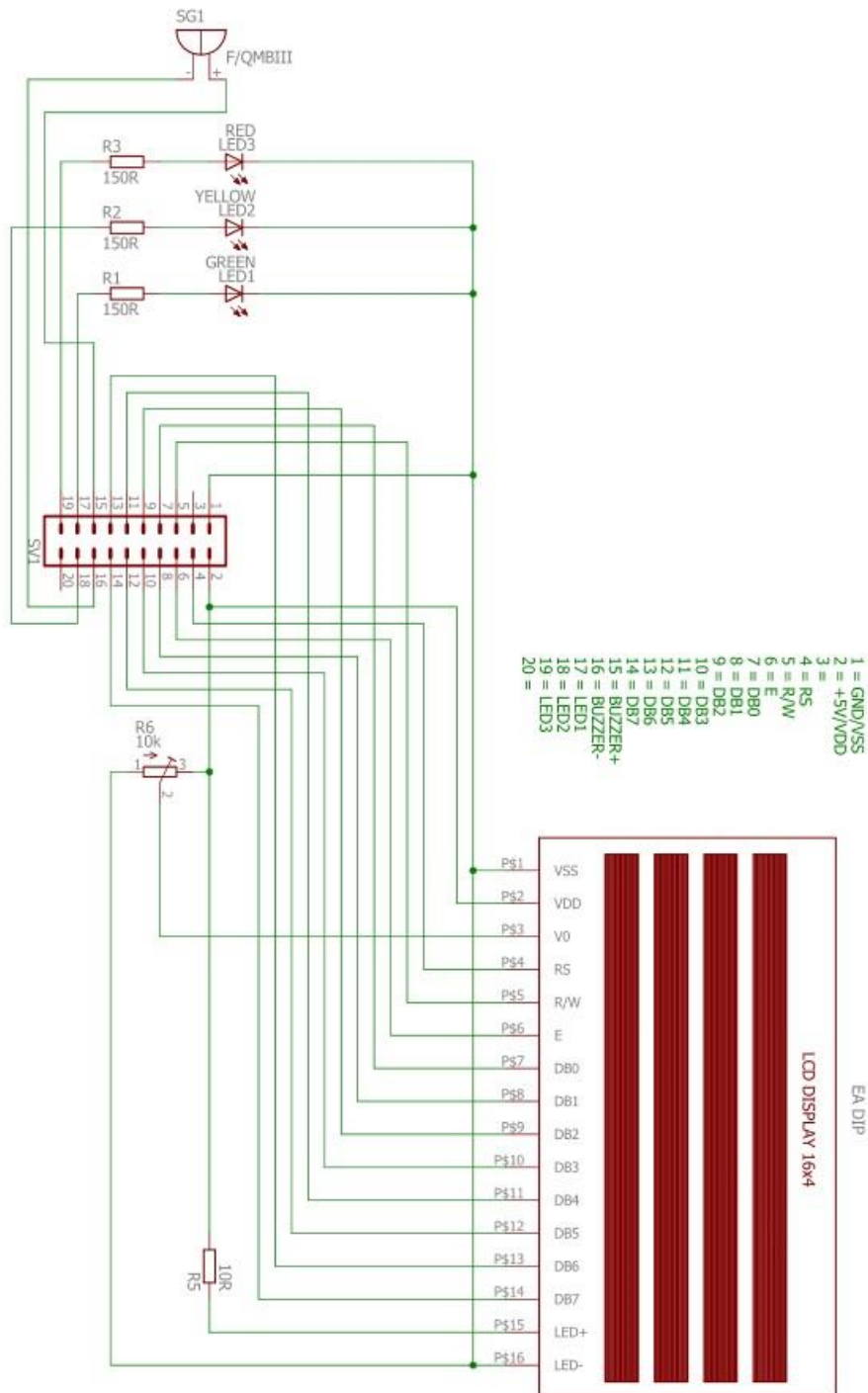
## Mikrokontrolleripiirikortin osaluettelo

Part	Value	Device	Package	Description	Manufacturer	Manufacturer product ID
C1	100nF	C-EUC1206K	C1206K	CAPACITOR, European symbol	<a href="#">Murata</a>	GRM319R71H104K
C4	330nF	C-EU050-025X075	C050-025X075	CAPACITOR, European symbol	<a href="#">AVX</a>	SR305C334KARTR
C5	330nF	C-EU050-025X075	C050-025X075	CAPACITOR, European symbol	<a href="#">AVX</a>	SR305C334KARTR
C6	100nF	C-EU025-025X050	C025-025X050	CAPACITOR, European symbol	<a href="#">AVX</a>	SR215C104KAR
C7	100nF	C-EU025-025X050	C025-025X050	CAPACITOR, European symbol	<a href="#">AVX</a>	SR215C104KAR
C8	470nF	C-EU050-025X075	C050-025X075	CAPACITOR, European symbol	<a href="#">AVX</a>	AR305C474K4R
C9	470nF	C-EU050-025X075	C050-025X075	CAPACITOR, European symbol	<a href="#">AVX</a>	AR305C474K4R
C10	100nF	C-EUC1206K	C1206K	CAPACITOR, European symbol	<a href="#">Murata</a>	GRM319R71H104K
C11	100nF	C-EUC1206K	C1206K	CAPACITOR, European symbol	<a href="#">Murata</a>	GRM319R71H104K
C12	100nF	C-EUC1206K	C1206K	CAPACITOR, European symbol	<a href="#">Murata</a>	GRM319R71H104K
C13	100nF	C-EUC1206K	C1206K	CAPACITOR, European symbol	<a href="#">Murata</a>	GRM319R71H104K
C14	100nF	C-EUC1206K	C1206K	CAPACITOR, European symbol	<a href="#">Murata</a>	GRM319R71H104K
C15	100nF	C-EUC1206K	C1206K	CAPACITOR, European symbol	<a href="#">Murata</a>	GRM319R71H104K
C16	470µF	CPOL-EUE5-10.5	E5-10,5	POLARIZED CAPACITOR, European symbol	<a href="#">Panasonic</a>	EEUFK1E471
C17	22pF	C-EUC0603K	C0805K	CAPACITOR, European symbol	<a href="#">KEMET</a>	C0805C220J5GACTU
C18	22pF	C-EUC0603K	C0805K	CAPACITOR, European symbol	<a href="#">KEMET</a>	C0805C220J5GACTU
D1	1N4001	SCHOTTKY- DIOEDO35-7	DO35-7	Schottky Diode	<a href="#">ON Semiconductor</a>	1N4001RLG
D3	1N4001	SCHOTTKY- DIOEDO35-7	DO35-7	Schottky Diode	<a href="#">ON Semiconductor</a>	1N4001RLG
IC1	MEGA164P/324P/644P- PU	MEGA164P/324P/644P- PU	DIL40		<a href="#">Atmel</a>	ATMEGA324PA-PU
IC2	7805TV	7805TV	TO220V	Positive VOLTAGE REGULATOR	<a href="#">ON SEMICONDUCTOR</a>	NCP7805TG
IC3	7815TV	7815TV	TO220V	Positive VOLTAGE REGULATOR	<a href="#">ROHM</a>	BA17815T
LED1	Green	LEDCHIPLED_0603	CHIPLED_0805	LED	<a href="#">Kingbright</a>	KP-2012CGCK
Q1	16Mhz	CRYSTALHC49S	HC49/S	CRYSTAL	<a href="#">MULTICOMP</a>	HC49S-16-30-50-70-30- ATF
R1	10K	R-EU_0207/7	0207/7	RESISTOR, European symbol	<a href="#">TE Connectivity</a>	CFR25J10K
R2	Thermal Cutoff 90C	R-EU_0207/12	0207/12	RESISTOR, European symbol	<a href="#">Panasonic</a>	EYP2BN082
R3	250R	R-EU_0207/12	0207/12	RESISTOR, European symbol	<a href="#">Vishay</a>	RN65C2500BB14
R4	330R	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol	<a href="#">Ohmite</a>	OM3315E
R5	120R	R-EU_R0603	R0805	RESISTOR, European symbol	<a href="#">Vishay</a>	CRCW0805120RFKEA
R6	10K	R-EU_0207/7	0207/7	RESISTOR, European symbol	<a href="#">TE Connectivity</a>	CFR25J10K
R7	10K	R-EU_0207/7	0207/7	RESISTOR, European symbol	<a href="#">TE Connectivity</a>	CFR25J10K
SV1		MA03-2	MA03-2	PIN HEADER	<a href="#">Amphenol FCI</a>	77313-101-06LF
SV2		MA10-2	MA10-2	PIN HEADER	<a href="#">Amphenol FCI</a>	67996-420HLF
US1	REF02CPZ	REF02CPZ	DIL08		<a href="#">ANALOG DEVICES</a>	REF02CPZ
US2		53014-0410	53014-0410	2.00mm Pitch MicroBlade™ Wire- to-Board Header, Vertical, 4 Circuits	<a href="#">Molex</a>	53014-0410

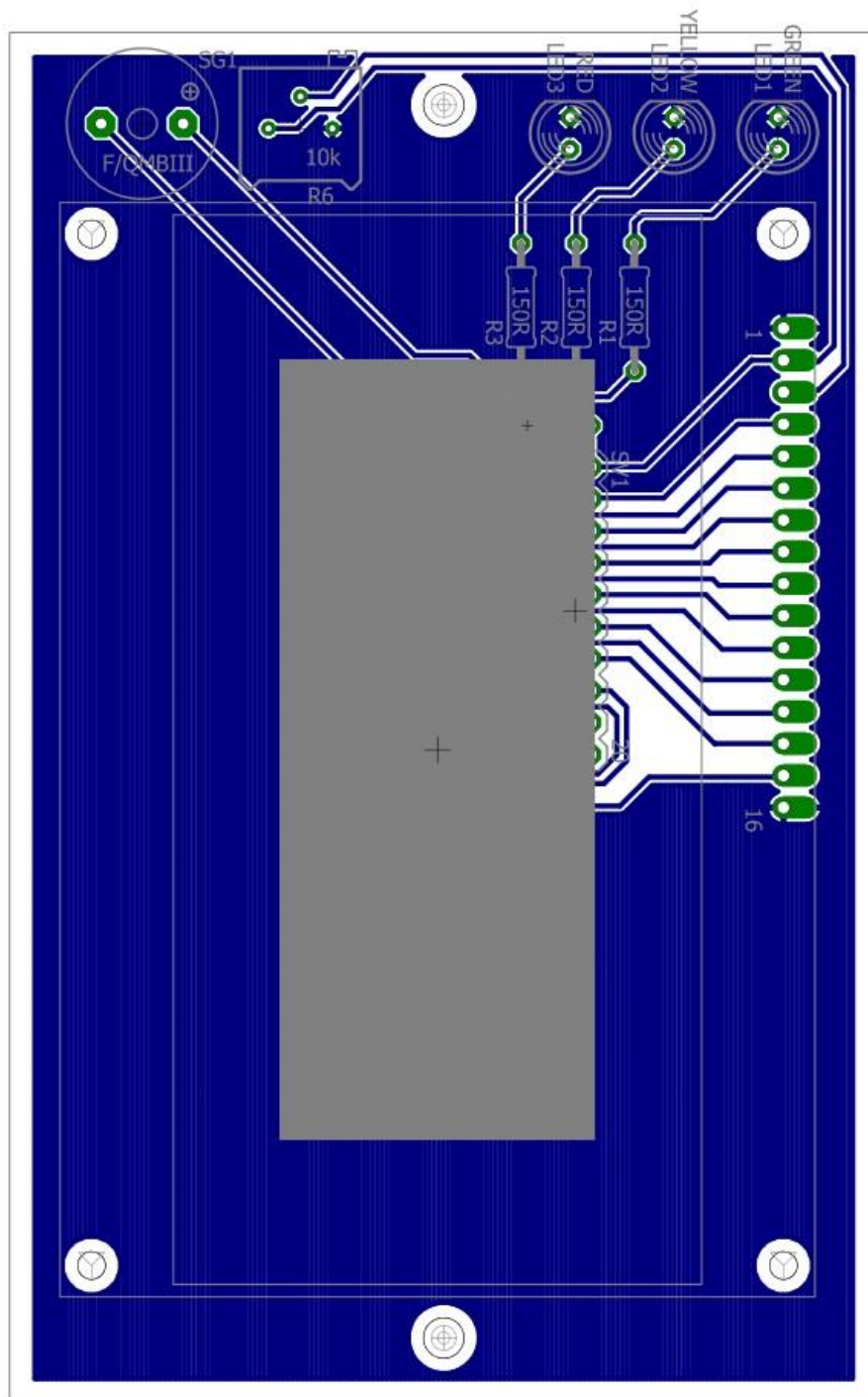
US3		53014-0410	53014-0410	2.00mm Pitch MicroBlade™ Wire- to-Board Header, Vertical, 4 Circuits	<a href="#">Molex</a>	53014-0410
US4		53014-0410	53014-0410	2.00mm Pitch MicroBlade™ Wire- to-Board Header, Vertical, 4 Circuits	<a href="#">Molex</a>	53014-0410
X1_PWR	22-23-2021	22-23-2021	22-23-2021	.100" (2.54mm) Center Header - 2 Pin	<a href="#">Molex</a>	53014-0210
X2_RESET	22-23-2021	22-23-2021	22-23-2021	.100" (2.54mm) Center Header - 2 Pin	<a href="#">Molex</a>	53014-0210



## Käyttöliittymäpiirikortin kytkentäkaavio



### Käyttöliittymäpiirikortti

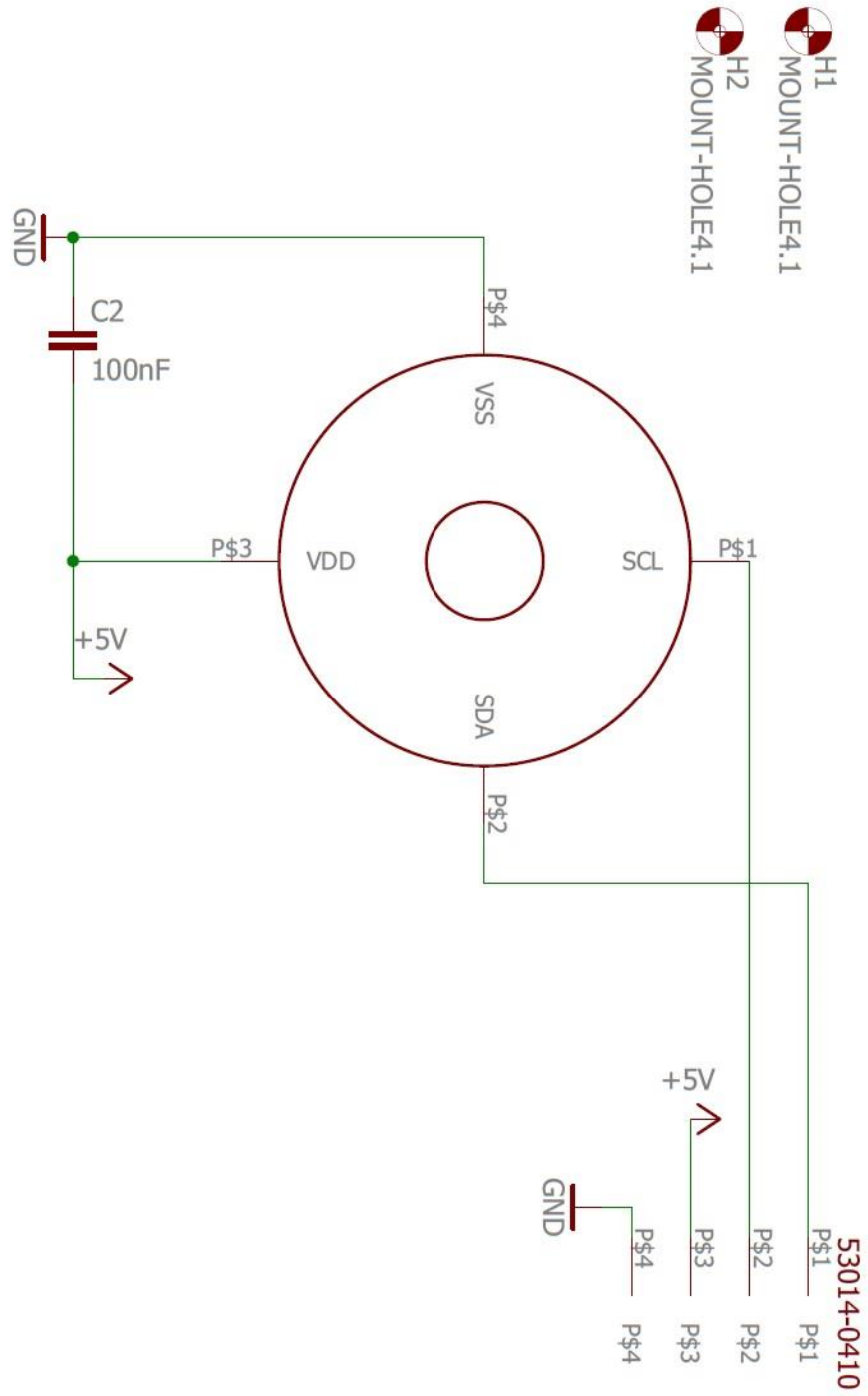


## Käyttöliittymäpiirikortin osaluettelo

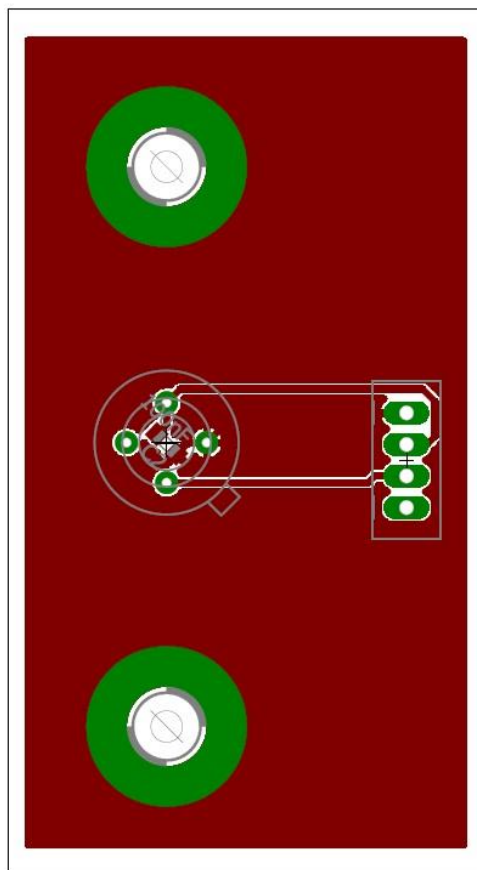
Part	Value	Device	Package	Description	Manufacturer	Manufacturer product ID
LED1	GREEN	LED5MM	LED5MM	LED	<a href="#">Kingbright</a>	L-53GD
LED2	YELLOW	LED5MM	LED5MM	LED	<a href="#">Kingbright</a>	L-53YD
LED3	RED	LED5MM	LED5MM	LED	<a href="#">Kingbright</a>	L-53ID
R1	150R	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol	<a href="#">MULTICOMP</a>	MCF 0.25W 150R
R2	150R	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol	<a href="#">MULTICOMP</a>	MCF 0.25W 150R
R3	150R	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol	<a href="#">MULTICOMP</a>	MCF 0.25W 150R
R5	10R	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol	<a href="#">MULTICOMP</a>	MCF 0.25W 10R
R6	2k	R-TRIMM64P	RTRIM64P	Trimm resistor	<a href="#">Bourns</a>	3362P-1-202LF
SG1	F/QMBIII	F/QMBIII	F/QMBIII	BUZZER Source: Buerklin	<a href="#">MULTICOMP</a>	MCKPX-G1205A-3700
SV1		MA10-2	MA10-2	PIN HEADER	<a href="#">Amphenol FCI</a>	67996-420HLF
US1	164A	164A	EADIP16X4	16 Characters x 4 Lines	<a href="#">Displaytech</a>	204A-BC-BC
US1		MA16-1	MA16-1	PIN HEADER	<a href="#">Amphenol FCI</a>	68001-416HLF

## Lämpöanturipiirikortin kytkentäkaavio

Lämpöanturipiirikortin kytkentäkaavio



## Lämpöanturipiirikortti



## Sammutusyksikön aerosolipullon testauksen vuokaavio

