

Opinnäytetyö (AMK)
Elektronikka
Elektronikkasuunnittelu
2016

Eetu Laaksonen

SÄHKÖKEMIALLISTEN KAASUNILMAISIMIEN TUOTEINTEGRAATION VALMISTELU



Eetu Laaksonen

SÄHKÖKEMIALLISTEN KAASUNILMAISIMIEN TUOTEINTEGRAATION VALMISTELU

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia sähkökemiallisten kaasunilmaisimien vanhenemista ja määrittellä, kuinka nopeasti kaasunilmaisimet voidaan vapauttaa vanhennuksesta. Tarkoituksena on kustannustehokkaampi valmistus vanhennusaikaa lyhentämällä, tuotantoketjun varmistus epävarmuustekijöitä poistaen ja uuden revision lähtötietojen kerääminen mm. standardeja tutkimalla. Työssä tarkastellaan myös, voidaanko uudella IC-piirillä korvata nykyisiä komponentteja piirilevyllä.

Kustannustehokkuutta pyritään parantamaan rakentamalla nykyisestä tiedonkeruujärjestelmästä informatiivisempi. Järjestelmän avulla tallennetaan kaasunilmaisimista saatavaa tietoa tietokoneelle, jolloin nähdään milloin kaasunilmaisimien voidaan lähettää asiakkaalle. Työssä perehdytään myös uuteen komponenttiin, nykyisten komponenttien saatavuuteen ja niiden päivittämistä uusiin, jos komponentin elinkaari alkaa olemaan loppuvaiheessa.

Työ toteutettiin empiirisesti tutkimalla jo vanhennuksessa olleiden kaasunilmaisimien käyttäytymistä verraten niitä uusiin kaasunilmaisimiin sekä kalibroituina että kalibroimattomina. IC-piirin koemuodulin käytös testattiin ja vertailtiin nykyisiin kaasunilmaisimiin.

Työn aikana havaittiin, että nykyistä vanhennusaikaa voidaan lyhentää happiantureiden osalta. Tätä tietoa voidaan suoraan hyödyntää sähkökemiallisten kaasunilmaisimien tuotantovolyymien lisäämisessä. Uuden IC-piirin toimivuutta testattiin ja komponentin todettiin soveltuvan haluttuun käyttötarkoitukseen. Uuden IC-piirin avulla kaasunilmaisimista on mahdollista tehdä yksinkertaisempia ja tuoteperheitä voitaisiin myös yhdistää.

ASIASANAT:

Kaasunilmaisimien, tuoteintegraatio, testaus, sähkökemian

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Electronics | Electronic Design

2016 | 44

Timo Tolmunen, D.Sc(Tech)

Eetu Laaksonen

PREPARATION OF PRODUCT INTEGRATION FOR ELECTROCHEMICAL GAS DETECTORS

The subject of the thesis is to study aging process of electrochemical gas detectors and determine how fast gas detectors can be released from the aging process. The goal is to manufacture electrochemical detectors more cost-efficiently by cutting down manufacturing time, reducing uncertainties from production chain and gathering information for new product revision by studying standards among others. The thesis also includes testing a new IC circuit which can be used to replace components that are currently in use.

Cost-efficiency is improved by building the current data collection system more informatively. The data collection system is used to gather information from gas detectors to the computer to see when the gas detectors are ready to ship to the clients. This thesis also focuses on the new component, the availability of current components and their upgrade to new ones if their life cycle is near its end.

The work was carried out by comparing already aged gas detectors to new gas detectors. Tests were conducted on both calibrated and uncalibrated gas detectors. The IC circuit was also tested out and compared to existing gas detectors.

During the work, it was found that current aging process duration can be reduced in the case of oxygen sensors. This information can be directly utilized to increase electrochemical gas detector manufacturing volume. The new IC circuit was tested and found to be suitable for the intended use. The new IC circuit can be used to simplify gas detectors and combine product families.

KEYWORDS:

Gas detector, product integration, testing, electrochemistry, aging process

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
2 ILMAISIN	9
2.1 Yleisesti kaasunvalvonnasta	9
2.2 Tietoa sähkökemiallisesta anturista	10
2.3 Standardit ja direktiivit	12
2.3.1 Yleiset määritelmät kaasunilmaisimille	12
2.3.2 Laatustandardin käyttö	13
2.3.3 Sähkömagneettinen yhteensopivuus	14
2.3.4 Räjähdyksvaarallisten tilojen luokittelu	14
2.3.5 Kotelointi	15
2.4 Virtaviesti kaasunilmaisimessa	15
2.5 Mahdolliset häiriöt	16
2.6 Tuotannon riskit	16
3 HAPPIANTURIN ASETTUMINEN	18
3.1 Testauksen nopeutus	18
3.2 Happianturin asettuminen	18
3.3 Tulokset	19
3.4 Nykyinen järjestelmä ja tiedonkeräysmenetelmä	22
3.5 Parannusehdotuksia	23
4 POTENTIOSTAATIN RAKENNE PIIRILEVYLLÄ	24
4.1 Referenssi piirikaavioita	24
4.2 Nykyisten käytettävien komponenttien elinkaari	27
4.3 Piirilevyn pelkistys uusien komponenttien avulla	27
4.4 Piirilevyn modulaarisuus	27
5 IC-PIIRIN OHJELMOINTI JA TESTAUS	29
5.1 I2C väylän ohjelma	32
5.2 Tiedon lukeminen koelevyltä	35
5.3 Kokeen suunnittelu ja dokumentointi	37
5.3.1 Ensimmäinen koe	38
5.3.2 Toinen koe	38

6 YHTEENVETO	40
---------------------	-----------

LÄHTEET	41
----------------	-----------

LIITTEET

Liite 1. IC-piiri/DGTM3 ensimmäisen kokeen tulos

Liite 2. IC-piiri/DGTM3 toisen kokeen tulos

Liite 3. Koemuodin kytkentäkaavio

KUVAT

Kuva 1. Sähkökemiallisen anturin rakenne	10
Kuva 2. Tiedonkeruujärjestelmän kytkentä	19
Kuva 3. Kalibroimattoman uuden happianturin vanheneminen	20
Kuva 4. Kalibroimattoman 2 viikkoa vanhan happianturin vanheneminen	21
Kuva 5. Kalibroidun uuden happianturin vanheneminen	21
Kuva 6. Kalibroidun viikon vanhan happianturin vanheneminen	22
Kuva 7. Potentiostaatin perusmuoto [20]	24
Kuva 8. Normaalin toiminnan piiri (Standard operating circuit) [6]	25
Kuva 9. Biased mode piiri (Biased mode operating circuit) [6]	26
Kuva 10. Piirikaavio välikaapelille	30
Kuva 11. I2C- ohjelmoinnin vuokaavio	32
Kuva 12. IC-piirin asetusten kirjoitus	33
Kuva 13. Esimerkki laitteistokirjastolla kirjoitetusta I2C-koodista	33
Kuva 14. Esimerkki pääkoodin I2C-osasta	34
Kuva 15. Esimerkki SPI-väylän koodista	36

KÄYTETYT LYHENTEET (TAI SANASTO)

ACK	Acknowledge bit, signaalibitti onnistuneesta lähetyksestä
AD	Analog-to-digital converter, analogia-digitaalimuunnin
DGtK2	Katalyyttisen kaasunilmaisimen tuotenimi
DGTm3	Sähkökemiallisen kaasunilmaisimen tuotenimi
EMC	Electromagnetic compatibility, sähkömagneettinen yhteensopivuus
I2C	Inter-Integrated circuit, kaksisuuntainen sarjakommunikaatioväylä
IC	Integrated circuit, Mikroipiiri
JFET	Junction gate field-effect transistor, kanavatransistori
kPa	Pascal, paineen yksikkö 100 kPa=1 bar
MISO	Master input, slave output, lähettävän laitteen data
MOSI	Master output, slave input, vastaanottavan laitteen data
ppm	Parts per million, miljoonasosa
PWM	Pulse-width modulation, pulssinleveysmodulaatio
RFI	Radio-frequency interference, radiotaajuuden häiriö
RS-485	Balansoitu tietoliikenneväylä
SCLK	Serial clock, sarjakommunikaation kelloväylä
SPI	Serial peripheral interface, synkroninen sarjakommunikaatioväylä
ATEX	Atmosphères explosibles, räjähdysvaarallisten tilojen nimitys
E_i	Biasjännite
R_{LOAD}	Kuormavastus
CA	Control amplifier, Ohjausvahvistin

1 JOHDANTO

Tuotekehitykseen panostaminen on nykypäivänä tärkeää kilpailun ollessa kovaa. Tuotteen tarvitsee täyttää sille asetetut kriteerit, ja se on saatava tuotettua nopeasti asiakkaalle. Kaikki tämä tarvitsee tuottaa myös mahdollisimman edullisesti. Tässä työssä perehdyttiin tuotannon optimoinnin avulla nopeampaan tuotantoaikaan ja tuotekehityksellisesti uuden IC-piirin testaukseen, jolla olisi mahdollista yhdistää tuoteperheitä ja valmistaa entistä parempia kaasunilmaisimia.

Opinnäytetyötä sivuavia töitä ovat ainakin Sami Heinosen Digitaalisen kaasunilmaisimen analysointi ja tuotannon optimointi, jossa rakennetaan tässä työssä käytettävä tiedonkeruujärjestelmä sekä Jaakko Korvan Biosensorimittalaitteen elektroniikan suunnittelu ja testaus, joka keskittyy I2C ohjelmoitavaan mikropiiriin. Lähteinä työssä käytettiin mm. kaasunvalmistajien datalehtiä, komponenttivalmistajien datalehtiä, EU-standardeja ja teknisiin ominaisuuksiin liittyviä artikkeleita.

Työn tarkoituksena oli kerätä myös lähtötietoja uudelle tuoterevisiolle. Työssä pureuduttiin happi-ilmaisimen vanhennusajan tutkimiseen ja lyhentämiseen sekä happi-ilmaisimen toimintaan uutta integroitua piiriä käyttäen. Tarkoituksena oli testata uutta komponenttia, joka olisi mahdollista ottaa tuotannon käyttöön, jolloin saataisiin yhdistettyä kaksi tuoteperhettä samalle piirilevylle ja näin ollen kavennettua valikoimaa. Yritys voisi silloin ostaa vain muutamia tuotteita, eikä varastossa tarvitsisi pitää montaa erilaista piirilevyä. Aluksi kuitenkin perehdytään sähkökemiallisen anturin toimintaan.

Aihe on mielenkiintoinen, koska siihen saadaan sisällytettyä monia eri asioita. Työssä yhdistyvät elektroniikan suunnittelu, mikrokontrollerin ohjelmointia ja integroitujen piirien ohjelmointia.

Työn painotus on kuitenkin uuden komponentin testauksessa ja sen mahdollisessa käyttöönotossa. Nykyisten happi-ilmaisimien osalta suoritetaan vanhennusajan tarkastelu. Työssä ei tutkia muun tyyppisiä kuin sähkökemiallisia happi-ilmaisimia, näin ollen myrkyllisten kaasujen tuloksia ei saatu. Happi-ilmaisimen tutkiminen riittää uuden komponentin toiminnan varmistamiseen.

Opinnäytetyön tuloksissa tavoitteena oli luoda edellytyksiä vanhennushuoneen jatkojalostukseen, tuotannon prosessien optimointiin ja piirilevyn uudistukseen sähkökemialli-

sen kaasunilmaisimen osalta. Käyttäen kaikkia tuloksia yhtenä kokonaisuutena, yrityksellä on hyvät mahdollisuudet kehittää yhden tuoteperheen tuotannon kulkua merkittävästi. Tuloksiin pyrittiin tutkimalla vanhennushuoneen ja tuotantoprosessien nykytilaa ja mahdollisuuksia uudistuksille. Komponenttien osalta suoritettiin koe, jossa uutta komponenttia testataan ja verrattiin nykyisiin ilmaisimiin.

2 ILMAISIN

2.1 Yleisesti kaasunvalvonnasta

Monet teollisuuden prosessit luovat sivutuotteena paljon erilaisia kaasuja. Monet näistä kaasuista ovat myrkyllisiä tai syttyviä, joten kaasunvalvonta on hyvin tärkeä osa teollisuuden turvallisuutta. Tehtaassa töissä olevat ihmiset tarvitsevat turvallisen työympäristön, mutta myös ympäristön turvallisuutta tarvitsee valvoa samoin kuin tehtaan toimivuutta. Myös julkisten tilojen ja parkkihallien tilat vaativat valvontaa, muun muassa parkkihallien hiilimonoksidipitoisuus. Kaasunvalvonnalla pystytään myös estämään turhia kustannuksia kuten kylmäainevuotoja. [1]

Tyypillisimpiä riskejä ovat syttyminen, tukehtuminen ja kaasujen myrkyllisyys. Esimerkiksi monet hiilivedyt ovat herkästi syttyviä ja jopa syttymättömät hiilivedyt ovat vaarallisia kuten hiilimonoksidi. Syttyvissä kaasuissa nopea havainnointi 10 % – 20 % alemmasta syttymisrajasta on tärkeintä, jolloin on vielä aikaa hallita vuotoa ja estää mahdollinen syttyminen. [2]

Kaikkein tyypillisimmät riskit liittyen kaasuihin ovat hapen puutteesta johtuvat tukehtumiset. Happipitoisuus voi tippua tiloissa monesta syystä esimerkiksi toisen kaasun korvatta hapen tai kemiallisen reaktion seurauksena. Esimerkkinä kemiallisesta reaktiosta on laivan ruuman ruostuminen, jolloin happipitoisuus voi laskea. Korkea happipitoisuus taas on räjähdysriski. Hitaasti palava materiaali voi normaalissa 20,9 % happipitoisuudessa olla suhteellisen vaaratonta, mutta jo 24 % happipitoisuudessa palaminen voi olla jopa räjähdysmäistä. [2]

Myrkykaasut ovat vaarallisia ihmisille jo hyvin matalissa alle 100 ppm pitoisuuksissa, yleisimmät myrkykaasut, joille on olemassa kaasunilmaisimia, ovat hiilimonoksidi ja rikivety. [2]

Kaasut voivat olla siis syttyviä, tukehduttavia ja myrkyllisiä, jolloin nämä kaasut voivat aiheuttaa räjähdyksiä, kuolemia ja myrkytyksiä. Näiden kaasujen valvontaa varten on luotu erilaisia kaasunilmaisimia. Detector OY valmistaa sähkökemiallisella-, infrapunaabsorptio-, katalyyttiseen palamiseen- ja puolijohdemenetelmällä toimivia kaasunilmaisimia [3]. Opinnäytetyössä käsitellään sähkökemialliseen menetelmään perustuvia turvallisen tilan kaasunilmaisimia.

2.2 Tietoa sähkökemiallisesta anturista

”Sähkökemialliset kaasunilmaisimet soveltuvat erinomaisesti henkilöturvallisuuden ja pienten pitoisuuksien mittaamiseen” [4].

Yksinkertaisimmillaan sähkökemiallisen anturin toiminta perustuu anturin sisällä oleviin *tunnistinelektrodiin* ja sen *vastaelektrodiin*, jotka ovat erotettu elektrolyyttikerroksella. Kaasu saapuu anturille *tunnistinelektrodille* pienen aukon läpi, joka on suojattu ainoastaan kaasua läpäisevällä kalvolla. Kuvasta 1. nähdään että aukosta on tehty pieni, jolloin anturille ei saavu kaasua liian nopeasti ja anturi pystyy reagoimaan kaikkeen saapuvaan kaasuun ja silti pysymään sähkökemiallisesti aktiivisena. Kalvo estää myös elektrolyytinesteestä valumisen anturista [5].

Kaasu reagoi pinnan kanssa hapettumalla tai pelkistymällä anturista riippuen. Reaktion seurauksena virta alkaa kulkea elektrodien välissä. Virran suuruus on suhteessa kaasupitoisuuteen, jolloin se voidaan mitata kuormavastuksen avulla ulkoisessa piirissä. Reaktiota varten *tunnistinelektrodi* tarvitsee olla määrättyllä alueella. Kun kaasupitoisuus jatkaa nousua *tunnistinelektrodi* muuttuu entistä johtavammaksi, jolloin *vastaelektrodi* potentiaali muuttuu (polarisoituu). Kaasupitoisuuden noustessa riittävän suureksi *tunnistinelektrodi* liikkuu tunnistusalueeltaan pois ja anturi alkaa toimimaan epälineaarisesti. Tämä rajaa aluetta jota voidaan kaksi elektrodilla kaasunilmaisimella mitata [6].

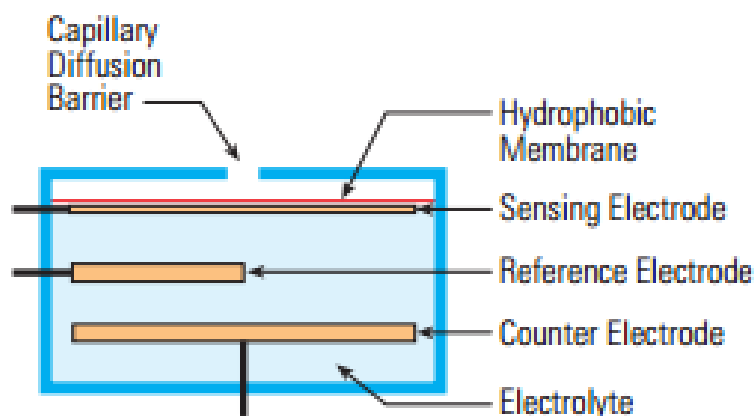


Fig. 3 Typical Electrochemical Sensor Setup

Kuva 1. Sähkökemiallisen anturin rakenne

Kolmen elektrodin antureilla saadaan mittausalue suuremmaksi kuin kahden elektrodin antureilla lisäämällä *referenssielektrodi* anturiin. Tällaisessa kokoonpanossa *tunnistinelektrodi* pidetään määrättyssä potentiaalissa suhteessa *referenssielektrodiin*. *Referenssielektrodista* ei mitata virtaa, joten se saadaan pidettyä määrättyssä potentiaalissa. *Vastaelektrodi* saa polarisoitua vapaasti tässä kokoonpanossa, koska sillä ei ole vaikutusta *tunnistinelektrodiin* ja ei sitä kautta rajoita anturin toimintaa. Kolme elektrodilla anturilla pystytään siis mittaamaan paljon suurempia kaasupitoisuuksia kuin kahden elektrodin anturilla [6].

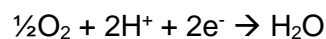
On olemassa myös neljällä elektrodilla varustettuja antureita, joissa on lisänä toinen *tunnistinelektrodi*. Neljän elektrodin antureilla saadaan mitattua kahden eri kaasun pitoisuuksia samalla anturipaketilla [6].

Sähkökemiallinen anturi tarvitsee aina happea toimiakseen. Suurimmalle osalle kaasuja tapahtuu hapettuminen *tunnistinelektrodilla* ja pelkistys *vastaelektrodilla* esimerkiksi typidioksidille ja kloorille [6].

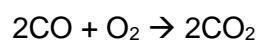
Tunnistinelektrodilla tapahtuvasta hapettumisesta saadaan muodostettua reaktioyhtälö. Esimerkiksi hiilimonoksidin eli hiilimonoksidin reaktioyhtälö on



Vastaelektrodilla tasaa reaktion ja jos hapettuminen on tapahtunut *tunnistinelektrodilla*, sieltä saatava happi pelkistyy vedeksi *vastaelektrodilla*. Kun pelkistyminen tapahtuu *tunnistinelektrodilla*, tapahtuu hapettuminen vastaavasti *vastaelektrodilla*. Pelkistymisreaktio on



Molempien elektrodien reaktiot voidaan yhdistää jolloin saadaan yksinkertaisempi reaktioyhtälö. Hiilimonoksidin tapauksessa yhtälö on



[7].

Samantapainen reaktio tapahtuu kaikille kaasuille, joille on mahdollista hapettua ja pelkistyä. Sähkökemiallinen anturi toimii katalyyttinä kaasuille, eikä siinä ole mitään osaa joka muuttuisi kaasujen vaikutuksesta [6].

Anturin *tunnistinelektrodin* ja *referenssielektrodin* väliin on kytketty hyppylanka, jolloin anturi saadaan pidettyä stabiilina varastoinnin ajan. Ilman hyppylankaa anturilla menisi hyvin pitkä aika että se saataisiin jälleen stabiiliksi ja käyttövalmiiksi. Eräät anturit vaativat aina jännitteen, eikä pelkkä jalkojen oikosulkeminen riitä pitämään niitä stabiilina. Nämä anturit vaativat aina pitkää vanhennusaikaa kun ne on liitetty niille tarkoitettuihin piirikortteihin ja kytketty jännitteeseen [5].

Sähkökemiallinen anturi käyttää myös vähiten virtaa kaikista kaasunilmaisimista sen luonteesta johtuen, jonka takia niitä voidaan käyttää myös kannettavissa kaasunilmaisimissa, joissa on monen eri kaasun ilmaisin. Yleinen elinikä sähkökemiallisilla antureilla on yhdestä kolmeen vuotta, joka on silti hyvin riippuvainen olosuhteista, kuten kosteus, paine, lämpötila ja kuinka suurelle määrälle kaasua anturi altistetaan [5].

2.3 Standardit ja direktiivit

2.3.1 Yleiset määritelmät kaasunilmaisimille

EN 45544-X standardi määrittelee kaasunilmaisimien suorituskykyyn liittyviä vaatimuksia. Standardi perustuu EN 482 standardiin, jossa määritellään yleiset vaatimukset kemiallisten kaasujen havainnointiin ilmassa. Näiden vaatimusten tulee täytyä ennalta määritetyissä laboratorio- ja kenttäolosuhteissa. EN 482 standardissa kerrotaan myös testikaasun pitoisuus, koska suurinta osaa kemiallisten aineiden raja-arvoista ei ole yhdenmukaistettu Euroopan tasolla. Testikaasun pitoisuudet on määritelty tämän standardidokumentin liitteessä A, nämä arvot on määritelty siten, että ne ovat lähellä niitä arvoja joita käytetään eri Euroopan maissa.

Standardin ensimmäinen osa EN 45544-1 määrittelee yleiset vaatimukset laitteille, kuten mekaanisen kestävyuden, merkinantotavan, vikasignaalit, laitteen testimenetelmät ja testausjärjestyksen. Yleisiin vaatimuksiin kuulu koteloinnin kestävyys korroosiota vastaan, jotka voisivat aiheutua mitattavista kaasuista. Kaikissa kaasunilmaisimissa tarvitsee olla myös merkintä kenen valmistama laite on, mihin pitoisuuksiin ja minkä kaasun mittaukseen se on tarkoitettu [8].

Laitteet tulisi testata ympäristöä varten mm. – 10 °C, 5 °C, 20 °C ja 40 °C lämpötiloissa ja 90 kPa, 100 kPa ja 110 kPa paineessa ja 20 %, 50 % ja 90 % kosteudessa. Laite tarvitsee myös testata miten ± 10 % käyttöjännite vaikuttaa lukemiin [8].

Standardi ei kuitenkaan määrittele asetuksia laitteille, jotka mittaavat happipitoisuutta tai sopivat räjähdysherkkiin tiloihin. Kappaleessa 2 kerrotaan mihin standardeihin dokumentti tekee viittauksia, joita ei avata kyseisessä asiakirjassa [8].

Standardin toisessa osassa EN 45544-2 määritellään vaatimukset laitteille kun mitataan kaasuja raja-arvojen puitteissa. Dokumentissa selviää millaisilla raja-arvoilla ja missä ajassa kaasunilmaisimen pitäisi suorittaa mittaus normaaleissa oloissa.

Standardi määrittelee vaste-ajan kaasunilmaisimille. Testikaasun 90 % pitoisuuden havainnointi pitäisi saavuttaa alle 2,5 min:ssa, jos kuitenkin tämä pitoisuus on vaikea havaita, voidaan käyttää 50 % pitoisuuden mittausta, joka tulisi saavuttaa 1 min:ssa.

Lämpötilan, kosteuden ja paineen vaikutus tarvitsee myös testata kuten yllä [9].

Standardi EN 45544-3 määrittelee vaatimukset laitteille kun mitataan kaasuja yli kymmenenkertaisilla raja-arvoilla. Testien olosuhteet ja vasteajat ylläolevien mukaiset [10].

Standardin viimeisessä osassa EN 45544-4 määritellään vaatimukset ilmaisimen valinnalle, asennukselle, käytölle ja huollolle.

EN44554-X standardi tarvitaan kaasunilmaisimille, jotta saadaan kaasunilmaisimet toimimaan johdonmukaisesti ja turvallisesti. Dokumentissa selviää myös se miten kaasunilmaisimen pitää toimia ja selvitetään millaiset toleranssit laitteen tulee täyttää, joten tätä standardia voi pitää ohjenuorana kun suunnitellaan uusia laitteita valmistettavaksi. Standardissa määritellään myös miten kaasunilmaisimen pitää merkitä, jotta ei tule epäselvyyksiä mihin kaasunilmaisinta voi käyttää. Käyttöohjekirjan sisältö on myös tarkasti määritetty.

2.3.2 Laatustandardin käyttö

Laatustandardi EN 9001 tarvitaan, jotta saadaan tuotettua tasalaatuisia ilmaisimia asiakkaalle. Laatu on hyvin tärkeää kaasun mittaamisessa, jotta huonot ja väärin toimivat ilmaisimet saadaan poistettua tuoteketjusta, koska vialliset laitteet luovat vaaratilanteen herkkiin olosuhteisiin väärällä datalla. Dokumentissa määritellään myös ne tuotantoketjun osat, jotka varmistavat tuotteiden varman läpikulun, jolloin saadaan luotua varma toimivuus. On myös tärkeää muokata tuotantoketjua jos huomataan toimimattomia osia siinä ja kehittää nykyistä järjestelmää.

2.3.3 Sähkömagneettinen yhteensopivuus

EMC tarkoittaa laitteen yhteensopivuutta sähköisesti. Erilaiset laitteet voivat joko tuottaa häiriöitä, jolloin niistä on haittaa ympärillä oleville laitteille, tai olla herkkiä häiriöille, jolloin laite ei toimi halutulla tavalla käyttöympäristössään. Laitteen osat voivat aiheuttaa EMC-häiriöitä myös laitteen sisällä muun muassa johtamalla tai säteilemällä sitä, jolloin jo itse laite estää toimivuuden. Laite voi lähettää häiriötä säteilemällä radioaaltojen avulla, induktiivisesti, kapasitiivisesti ja galvaanisesti. Häiriöihin on kehitetty monia erilaisia suojaustapoja muun muassa häiriösuojatut ja kierretyt parikaapelit, suojapellit, jotka voivat olla mahdollisesti reiätettyjä aallonpituuden mukaan ja erilaisia maadoitustekniikoita kuten suuret maa-alueet ja tähtimaadoitukset. Signaalia voidaan myös suodattaa vain halutulle taajuudelle, jolloin saadaan minimoitua taajuuksien sekoittumiseen liittyviä häiriöitä, esimerkiksi yhteismuotokuristimia voidaan käyttää signaaliteiden alussa, jolloin saadaan hallittua sähkömagneettista yhteensopivuutta (EMC) ja radiotaajuuksien häiriöitä (RFI). Impedanssisovitus ja siirtolinjojen hyvä suunnittelu lisää myös EMC yhteensopivuutta [11].

Kaikkien sähkölaitteiden, jotka direktiivi määrittää, tulisi olla EMC direktiivin mukaisia EU:n alueella. Vastuu yhteensopivuudesta on tuotteen valmistajalla EU:n alueella ja maahantuojalla EU:n ulkopuolelta saapuvissa laitteissa. [12]

Sähkökemiallisilla antureilla on tyypillisesti suuri sisäinen kapasitanssi, joka edesauttaa sähkömagneettisten häiriöiden kytkeytymistä. Varsinkin kun anturin sisäinen resistanssi on matala ($1 - 3 \Omega$), niin anturiin kytketyt suuremmat kondensaattorit aiheuttavat sen, että kaasunilmaisim poimii helposti 50 – 60 Hz alueella olevaa häiriötä. [13]

2.3.4 Räjähdyksvaarallisten tilojen luokittelu

Standardin EN 60079–10 avulla voidaan määrittää mihin luokkaan räjähdysvaarallinen tila luokitellaan. Standardi toimii apuna kun tarvitsee määrittää millainen ilmaisin sopii tilaan. Tilaluokituksia on kolme erilaista. Tilaluokka 0 on tila, jossa räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy jatkuvasti tai pitkäaikaisesti. Tilaluokka 1 on tila, jossa räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy todennäköisesti normaalikäytössä. Tilaluokka 2 on tila, jossa räjähdyskelpoinen ilmaseos ei todennäköisesti esiinny normaalikäytössä, ja mikäli sellainen kuitenkin esiintyy, se esiintyy todennäköisesti vain harvoin ja lyhytaikaisesti. [14]

2.3.5 Kotelointi

Standardi EN 60079–14 liittyy räjähdystiloihin asennettaviin ilmaisimien kotelointiin. Määritellään ympäristönkestävyyteen liittyviä tekijöitä kuten suojausta veden sisään tunkeutumista vastaan ja korroosionkestävyyttä.

2.4 Virtaviesti kaasunilmaisimessa

Detector OY:n sähkökemialliset kaasunilmaisimet käyttävät lähtösignaalinaan 4 – 20 mA virtasignaalia. Analoginen virtaviesti on kalibroitu kaasupitoisuuden mukaan, jolloin mitta-alue riippuu hyvin paljon kohdekaasusta, otsonilla (O₃) 0 – 1 ppm tai vedyllä (H₂) 0 – 10 000 ppm skaalaus mitta-alueelle. [15]

Virtaviesti on laajasti käytössä oleva tapa siirtää informaatiota yhdestä keskuksesta (lähetin) toiseen (vastaanotin). Järjestelmässä mitattava suure esimerkiksi vedyllä (H₂) 0 – 10 000 ppm skaalataan 4 – 20 mA virta-alueelle. Lähetin ja keskus on kytketty toisiinsa kahdella johdolla, joihin virta ajetaan. Lähetin lähettää virtaviestin, jonka keskus tulkitsee esimerkiksi sarjavastuksen avulla. Sarjavastuksesta mitataan jännitteenhäviö, josta keskus tulkitsee vallitsevan signaalitason. Keskus mittaa virran arvon vastuksen yli, jolloin johtimen pituudesta syntyvä potentiaaliero lähettimen ja keskuksen päässä eivät vaikuta virtaviestin tasoon. Signaalitie on myös täysin analoginen, kuitenkin virtaviesti luodaan kaasunilmaisimen mikroprosessorissa digitaalisignaalina (PWM), joka muutetaan analogiseksi virtaviestiksi. Kahden johtimen järjestelmässä myös signaalin katkeaminen on tehty helposti todettavissa, koska nollataso ei ole 0, vaan ennalta määriteltä taso tässä tapauksessa 4 mA [11]. Nollataso on asetettu 4 mA:iin jolloin virtaviestillä on niin sanottu "Live-Zero" tila. Live-Zero:n ansiosta laitteelle voidaan syöttää samalla kaapelilla käyttöjännite ja virtaviesti. Live-Zero parantaa myös signaali-kohinasuhdetta, jolloin matala virtataso voidaan lukea ilman lisääntyneitä kohinaa tai häiriötä. [16]

Virtaviesti on tehokas tapa kuljettaa signaalia häiriöisessä ympäristössä. Matalasta impedanssitasostaan johtuen, järjestelmä ei poimi indusoituvia häiriöitä helposti. Aiheutuvat häiriöt ovat suuruudeltaan yleensä alle satojen mikroampeereiden luokkaa, joka 16 mA:n mitta-alueella on lähes mitätön. Virtaviestiiä ei ole myöskään sidottu tiettyntyyppisiin kaapeleihin ja liittimiin, vaan ne ovat suunnittelijan vapaasti valittavissa käyttökohteesta riippuen. [16]

2.5 Mahdolliset häiriöt

Sähkökemiallisissa antureissa on ominaisuuksia, jotka tarvitsee huomioida kenttäolosuhteissa. Liian kosteissa oloissa anturiin pääsee vesihöyryä, joka pitkän ajan kuluessa täyttää anturin ja valuttaa elektrolyytin ulos. Liian kuivissa olosuhteissa anturi taas kuivuu. Kosteisiin ja kuiviin oloihin on suunniteltu erilaisia läpäisyypintoja, jotka määrittävät kaasun ja muiden höyryjen pääsyn anturille. Tiloihin joissa tunnistettavaa kaasua esiintyy hyvin paljon, voidaan käyttää tiheämpää pintaa, jolloin kosteudella ei ole niin suurta vaikutusta anturiin. Matalampiin kaasupitoisuuksiin tarvitsee huokoisempaa pintaa, jolloin kosteus vaikuttaa hyvin paljon enemmän. [5]

Paine vaikuttaa hyvin vähän anturiin, mutta koko anturin on hyvä silti olla samassa paineessa, ettei se vahingoittuisi [5]. Nopea paineen vaihtelu aiheuttaa happiantureissa signaalin nousun. Tätä varten laitteissa on hälytysviive, joka antaa kaasuanturille aikaa reagoida transientteihin, viiveen tarvitsee kuitenkin olla lyhyt, jolloin vain hetkelliset muutokset saadaan hallittua. Liian pitkä viive aiheuttaisi vaaratilanteen kaasuvuodon yhteydessä. 15 % nousu paineessa nostaa myös virtaviestin tasoa 15 % [17]. Lämpötilalla on myös vaikutusta, vaikka usein anturit ovatkin sisäisesti lämpötilastabiloituja. Korkeammissa lämmöissä anturi tuottaa suuremman signaalin ja viileämissä oloissa matalamman [5].

2.6 Tuotannon riskit

Tuotantoon saapuvien piirilevyjen käsittelyssä on tärkeää, ettei piirille aiheuteta sähköisiä tai mekaanisia riskejä. Korteja tulisi käsitellä hanskoilla tuotannossa, jolloin kortit eivät altistuisi lialle ja rasvalle joiden vaikutus voi tulla esiin vasta paljon myöhemmin, silloin kun kortti on toimitettu asiakkaalle. Piirikorttien lakkaamisella saadaan vähennettyä likaantumisesta mahdollisesti aiheutuvaa hajoamista.

Vanhennuspisteessä kortit taas saattavat joutuvat mekaaniselle rasitukselle, koska kaikki anturin suojakaulurit eivät välttämättä sovi hyllyyn hyllyn toleranssien takia, vaan korteja saattaa joutua sovittamaan vanhennuspaikoille, jolloin piirikortti altistuu turhalle mekaaniselle rasituksella. Ennen vanhennusta piirikortit olisi mahdollista asentaa jo koteloihin, jolloin kotelo suojaisi piirilevyä, joka on suunniteltu kestävämmään rasitusta enem-

män kuin piirilevy. Osa kaasuilmaisimista kiinnitetään koteloon jo ennen vanhennushuoneeseen viemistä. Näissä kaasuilmaisimissa anturi kiinnitetään johdolla piirilevyyn jolloin kotelointi luo kaasuanturin rakenteen.

Vanhennushuonetta pitäisi silloin muokata hyllyjen osalta, että kaasuilmaisimet mahtuisivat huolelta hyllyille ja levyt olisivat vielä helppo kytkeä sähköihin ja tiedonkeruujärjestelmään. Detector OY valmistaa seinä- ja kattomallisia koteloita [15], joiden sopivuus vanhennushuoneeseen tarvitsee varmistaa hyllyjen osalta.

Työvaiheiden optimointi olisi mahdollista suorittaa ja paras mahdollinen työnkulku saavutettaisiin, jos kaikki korttia koskevat työvaiheet saataisiin suoritettua ennen vanhennushuoneeseen kytkemistä. Eliminoimalla näitä vaiheita ja suorittamalla vain kevyt lopputestaus ja kalibrointi vanhennuksesta tuleville tuotteille saataisiin nopeutettua läpimenoaika valmiille tuotteille.

Tuotteen saapuessa tuotantoon piirikorteille ladataan ohjelmisto. Tässä vaiheessa saadaan jo eroteltu rikkinäiset kortit toimivista mikropiirin ja teholähteen osalta. Jos kortti ei vastaanota ohjelmistoa se tarvitsee siirtää rikkinäisten korttien pinnoon, josta se laitetaan korjaukseen tai kierrätykseen.

Kaasuilmaisimen prosessori tuottaa virtaviestin, joka tarvitsee ohjelmoinnin jälkeen testata lähettääkö se signaalia oikeilla arvoilla. Prosessorin AD-muuntajan kalibroinnissa saadaan testattua myös kaasunilmaisimen infrapunasilmä, koska sitä käytetään linkkinä virranlähdon kalibrointiin. Virtaviestin kalibrointiin käytetään ohjelmaa, joka lähettää kaasunilmaisimelle tiedon mille tasolle virtaviesti säädetään. Ohjelmassa tarkistetaan kolme tasoa; 0 mA, 4 mA ja 20 mA. Virtalähtö olisi mahdollista säätää heti oikealle tasolle, jolloin sen mahdollinen muutos saataisiin näkyviin vanhennuksessa.

Anturin piirilevyyn asennuksen jälkeen kaasuilmaisimien siirretään vanhennushuoneeseen, jossa siihen kytketään käyttöjännite ja tuote jätetään vanhentumaan. Tässä vaiheessa on tärkeää saada tuote lähettämään dataa, josta nähtäisiin toimiiko anturi odotetusti ja vanheneeko se normaalisti, vai hajoaako se vanhennuskaudella. Tiedonkeruujärjestelmällä tiedettäisiin heti, milloin tuote on valmis viimeiseen testaukseen ja asiakkaalle lähettykseen. Antureista voidaan myös lukea sarjanumero, joka voidaan lukea ja tallentaa sen vanhennusdatan jatkokäyttöä varten.

3 HAPPIANTURIN ASETTUMINEN

3.1 Testauksen nopeutus

Tällä hetkellä kaasunilmaisimet kytketään jännitteeseen vanhennushuoneeseen. Dataa ei saada nykyisellä tekniikalla seurattua ja vanhennus perustetaan käyttökokemukseen kahden viikon vanhennusajalla. Tämän järjestelmän kehittäminen lisäisi luotettavuutta kaasunilmaisimiin.

3.2 Happianturin asettuminen

Tavoitteena on tarkastella, miten sähkökemiallinen happianturi käyttäytyy heti sähköjen kytkennän jälkeen ja kerätä vanhennustietoa ilmaisimesta vanhennushuoneen jatkokehitystä varten.

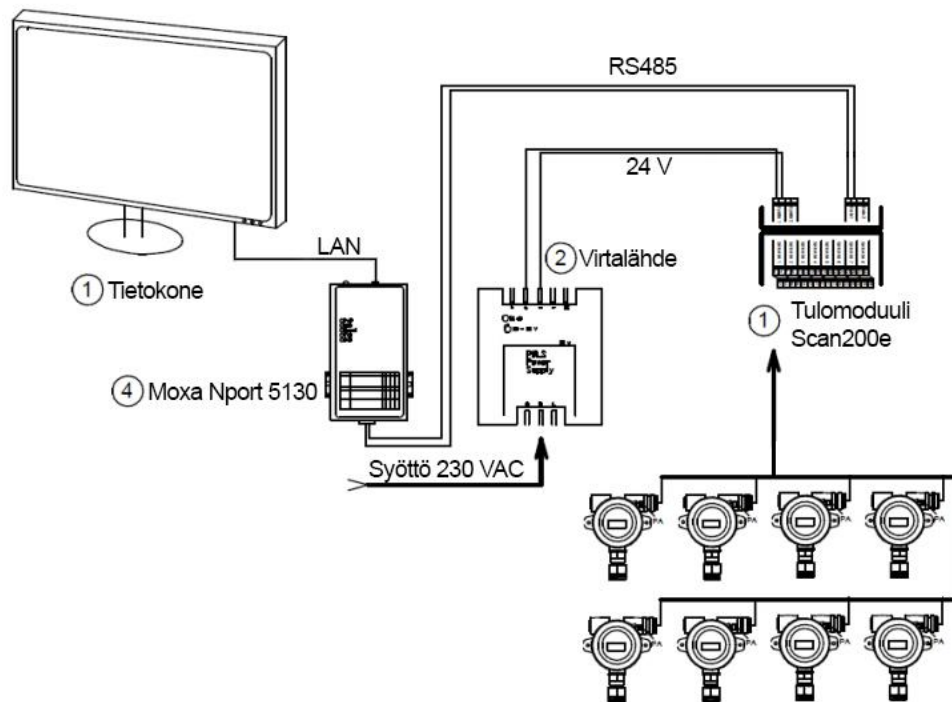
Testausta varten happianturi kytketään kuvan 2. mukaisesti tulomoduliin samalla tavalla kun se kytkettäisiin kaasuvalvontakeskukseenkin kentällä. Testausta varten sähkökemiallinen happianturi kytketään ohjelmoituun piirilevyyn ilman alkukalibrointia. Tulomoduliin kytketään myös toinen happianturi, joka on ollut vanhennuksessa jo kahden viikon ajan, jolloin voidaan vertailla näitä kahta dataa.

Lämpötilaa ja kosteutta ei tässä kokeessa tarkkailtu.

Tulomodulista ilmaisimen data siirretään Moxa NPORT:in avulla verkkoon josta se on luettavissa. Datan lukemiseen käytetään Scan Log Read ohjelmaa, jolla saadaan tehtyä graafinen esitys ilmaisimen datasta.

Tätä tietoa voidaan käyttää luomaan pohjaa ohjelmistolle, joka tarkkailisi kaasunilmaisimien asettumista automaattisesti ja helpottaisi stabiloituneiden antureiden tunnistamista.

Happianturin pitkäaikaista asettumista voidaan tarkkailla jatkuvasti jättämällä ilmaisim kiinni tulomoduuliin.



Kuva 2. Tiedonkeruujärjestelmän kytkentä

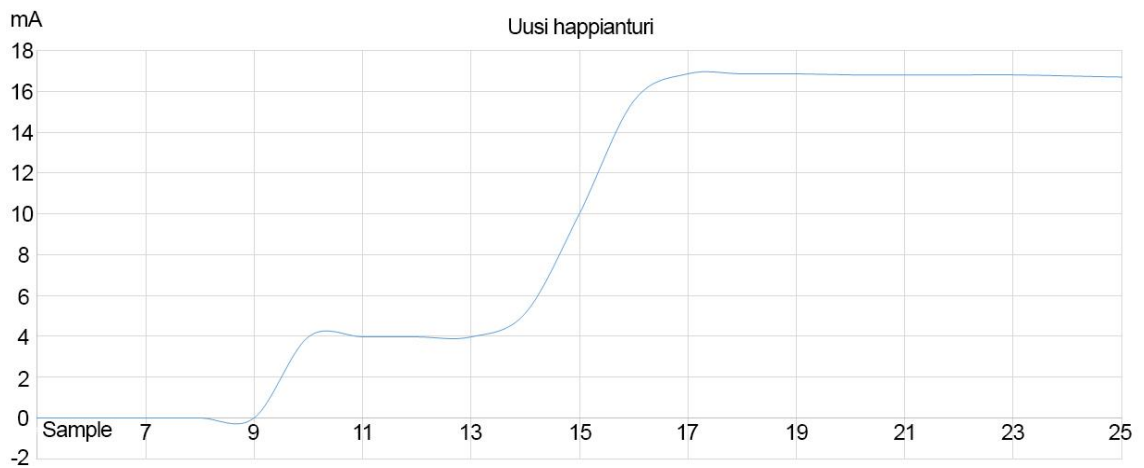
3.3 Tulokset

Järjestelmää testattiin täysin uudella happianturilla ja vertailukohtana oli kaksi viikkoa vanha happianturi. Kuvassa 3. ja 4. on kalibroimattomien happiantureiden seuranta-käyrät, joista nähdään antureiden toimivan lähes identtisesti. 200 μ A:n ero oli kuitenkin havaittavissa kytkettäessä ilmaisimet tiedonkeruujärjestelmään. Antureita tutkittiin seitsemän päivän ajan.

Happianturin ikä ei vaikuttanut alkuasettamisen tuloksiin. Molemmilla ilmaisimet nousivat 0 mA:sta 4 mA:iin pysyen siinä hetken. Täältä tasolta ilmaisim siirtyy mittaamaan vallitsevaa kaasua. Molemmissa tason nousuissa nähdään pieni signaalin ylitys ennen kuin signaali asettuu stabiiliin tilaan. Tätä poikkeamaa signaalissa tapahtuu kun kaasuilmaisimeen kytketään sähkö ja poikkeama on asettunut minuutin jälkeen viimeistään.

Ulostulo tason ajelehtiminen happiantureissa on valmistajan mukaan alle 1 % kolmessa kuukaudessa [18], laskettuna alle $\sim 0,1$ % päivässä, joten tuotannon optimoinnin ja järkevän vanhenemisajan puitteissa happi-ilmaisimia ei tarvitse vanhentaa kuin juuri sen verran, että nähdään se että ilmaisin stabiloituu huoneen happitasolle. Signaalin muutos ilmaisimen nykyisellä vanhennusajalla on niin pieni, että sillä ei ole merkitystä vanhentamisprosessissa.

Tiedonkeruujärjestelmän avulla saatiin todettua, että happianturi asettuu nopeasti. Tämänhetkinen viikon minimivanhentamista anturin puolesta ei tarvita. Vanhennushuoneessa olisi mahdollista toteuttaa olosuhdemuutoksia liittyen lämpötilaan, jolloin komponentteja saataisiin lämpösyklattua. Lämpösyklauksen avulla huonot piirilevyt ja anturit saataisiin löydettyä nopeammin. Vanhennuksen luotettavuutta saataisiin lisättyä. Anturien toimivuus saadaan varmistettua vain muutamassa päivässä, mutta huonojen yksilöiden eliminointi vaatii hieman enemmän aikaa.



Kuva 3. Kalibroimattoman uuden happianturin vanheneminen



Kuva 4. Kalibroimattoman 2 viikkoa vanhan happianturin vanheneminen

Happiantureille suoritettiin vielä toinen koe, jossa happianturit kalibroidiin. Koejärjestely on sama kuin aikaisemmassakin kokeessa sillä erolla että nyt viikon vanha ja täysin uusi sähkökemiallinen happianturi kalibroidaan nollatasolle typpikaasun avulla ja 20,9 % happipitoisuuteen testikaasulla. Tällä kertaa molemmat anturit asetetaan samaan tasoon testikaasulla, jolloin nähdään vaikuttaako alkukalibrointi siihen, saadaanko virtaviesti muuttumaan johonkin suuntaan. Myös virtalähtö kalibroidaan oikealle tasolle.



Kuva 5. Kalibroidun uuden happianturin vanheneminen



Kuva 6. Kalibroidun viikon vanhan happianturin vanheneminen

Kokeessa selvisi, ettei kalibroinnilla ole suurta vaikutusta happi-ilmaisimen vanhennustuloksiin. Happianturista luettava virtalähdön kalibrointi pysyi paikallaan koko kokeen ajan, sekä 4 mA:ssa, että 20 mA:ssa. Piirilevyllä olevat komponentit saavat lämpötilan muutoksia jo juotostilanteessa, joten virtalähtöön vaikuttavat komponentit ovat jo lämpösyklattuja ja ovat sen seurauksena paljon stabiilimpia kuin sähkökemiallinen anturi.

Havaittu happipitoisuus pysyi riittävän stabiilina kokeen aikana ja muutokset ilmaisimen virtaviestissä johtuivat happianturin vanhenemisestä.

Voidaan siis todeta, että alkukalibroinnilla ei ollut vaikutusta happi-ilmaisimen vanhentamiseen ja happi-ilmaisimet toimivat lyhyellä vanhennuskaudella..

3.4 Nykyinen järjestelmä ja tiedonkeräysmenetelmä

Nykyisessä järjestelmässä vain osa mitta-antureista on kytketty tiedonkeruujärjestelmään. Suurin osa antureista on kytketty kuitenkin vain sähköihin, eikä näin ollen tiedetä mitä kaasunilmaisimessa tapahtuu tai missä kohtaa vanhennusta kaasunilmaisimessa on. Olisi tärkeää saada tietoa, koska vanhennuskausi olisi loppuvaiheessa, jolloin kaasunilmaisimien voitaisiin vapauttaa seuraavaan tuotantovaiheeseen.

Kaasunilmaisimet on kytketty Detector OY:n Scan 200E -tulomoduliin, johon ilmaisimien lähettää 4 – 20 mA:n virtaviestiä. Tulomoduli on kytketty Moxa NPORT -sarjaporttiin, jolla saadaan lähetetty vanhennusdata verkkoon, josta se voidaan lukea. Moxa NPORT:ia varten on kehitetty myös ohjelma Scan Log Read, jolla saadaan avattua ja

luettua kaasunilmaisimista tullutta tietoa. Scan 200E tulomoduuili lähettää dataa RS-485 sarjaväylää pitkin MOXA NPORT:iin, joka välittää tiedon palvelimelle, mistä tieto on saatavilla [19].

3.5 Parannusehdotuksia

Tiedonkeruujärjestelmässä olisi ensiarvoisen tärkeää saada luettua kaikkien kaasunilmaisimien vanhennusdata, josta saataisiin tietoon missä vaiheessa kaasunilmaisimen asettuminen on. Tällä tiedolla saataisiin myös poistettua huonot yksilöt jo vanhennuksen alkuvaiheessa. Vanhennushuoneessa voisi olla myös jokaisesta suuremmasta erästä sähkökemiallisia antureita yksi anturi, joka jätettäisiin referenssiksi vanhennukselle. Järjestelmällä olisi silloin mahdollista tutkia miten laite on vanhentunut asiakkaan käytössä suhteessa vanhennushuoneeseen jätetyn referenssikappaleen kanssa jolloin nähtäisiin hieman miten elinikä alkaa tulla vastaan.

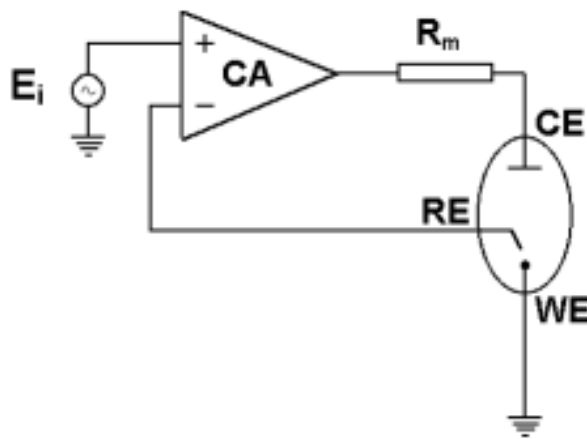
Eliniän loppuvaihe on myös kriittistä aikaa kaasunilmaisimella. Joten olisi hienoa saada dataa kentällä olevasta ilmaisimesta, jolloin nähtäisiin alkaako anturi käyttäytyä epänormaalisti ja vaihtaa se uuteen.

Kaasuilmaisimien vanhennushuoneeseen voisi kehittää järjestelmän josta näkisi onko laite vanhenemassa, vikatilassa tai oikein vanhentunut. Datankeräys ennen järjestelmän rakentamista on kriittisin piste. Sähkökemiallisilta antureilta vaaditaan tietty asettuminen, joka määritellään järjestelmään riittäväksi pisteeksi onnistuneelle vanhennukselle.

Moxa NPORT voidaan laajentaa jokaiseen hyllypaikkaan, jolloin saataisiin anturidata talteen. Antureista tarvitsee lukea viivakoodi, joka paritetaan mikroprosessorin virtalähdön kanssa, jolloin voidaan pitää hyvin tarkkaa kirjaa miten laitteet toimivat keskenään ja millaisella historialla se on lähtenyt asiakkaalle. Näiden tietojen avulla voidaan jäljittää mahdollisia ominaisuuksia ja antaa tuotteelle lisäarvoa.

4 POTENTIOSTAATIN RAKENNE PIIRILEVYLLÄ

Kuvassa 7. on piiri, joka tunnetaan nimellä potentiostaatti, joka on sähkökemiallisen kaasunilmaisimen etuaste. Potentiostaatin peruseräite on mitata jännite-ero *tunnistin-* ja *referenssielektrodin* välillä, jolloin *vastaelektrodi* muodostaa virran, joka mitataan sarjastuksen R_m avulla. Vahvistin CA ylläpitää *referenssi-* ja *tunnistinelektrodin* välistä jännite-eroa eli biasjännitettä E_i . [20]. Potentiostaatilta mahdollistetaan sähkökemiallisen anturin toiminta.



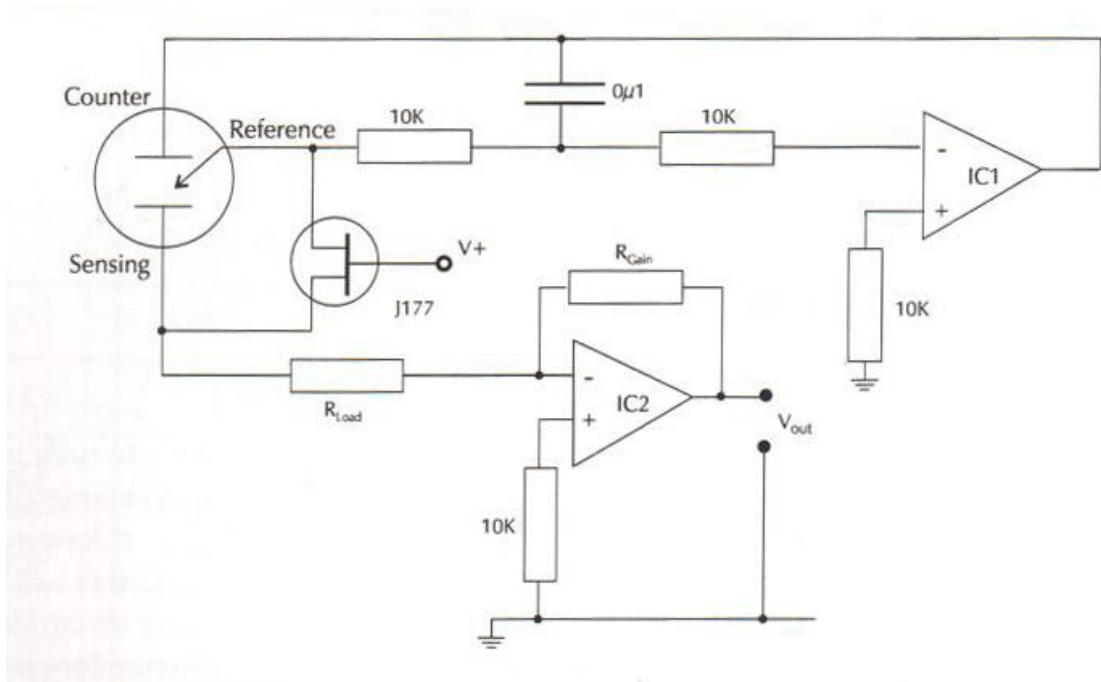
Kuva 7. Potentiostaatin perusmuoto [20]

4.1 Referenssi piirikaavioita

Kaasunilmaisimien tarvitsee tietynlaisen alustan, jotta saadaan käsiteltyä ilmaisimelta saatavan datan. Kolminapaisille antureille on olemassa biasoituja ja biasoimattomia kytkentöjä. Seuraavaksi perehdytään näihin molempiin. Ensimmäisenä on biasoimattoman anturin kytkentä (Kuva 7). Kytkennän nimi on normaalin toiminnan piiri (Standard operating circuit). R_{LOAD} on hyvä pitää mahdollisimman pienenä, jolloin saadaan nopeampi vasteaika kuin ilman vastusta. Vaikka R_{LOAD} voidaan jättää periaatteessa kokonaan pois, se on hyvä olla olemassa, koska silloin saadaan tasapainoa kohinan ja vasteen välille ja joissain tapauksissa parempaa vaimennusta kosteustransienttiin kuin ilman vastusta [6].

JFET (*J177*) kuvassa 8. olevassa piirissä takaa sen, että laite on heti valmis toimimaan sen jälkeen kun se on ollut poissa käytöstä. Laitteen ollessa irrotettu jännitelähteestä JFET oikosulkee ilmaisimen *tunnistinelektrodi* ja *referenssielektrodi* jalat, ja kun sähkötkytetään takaisin, JFET irrottaa jalat [6].

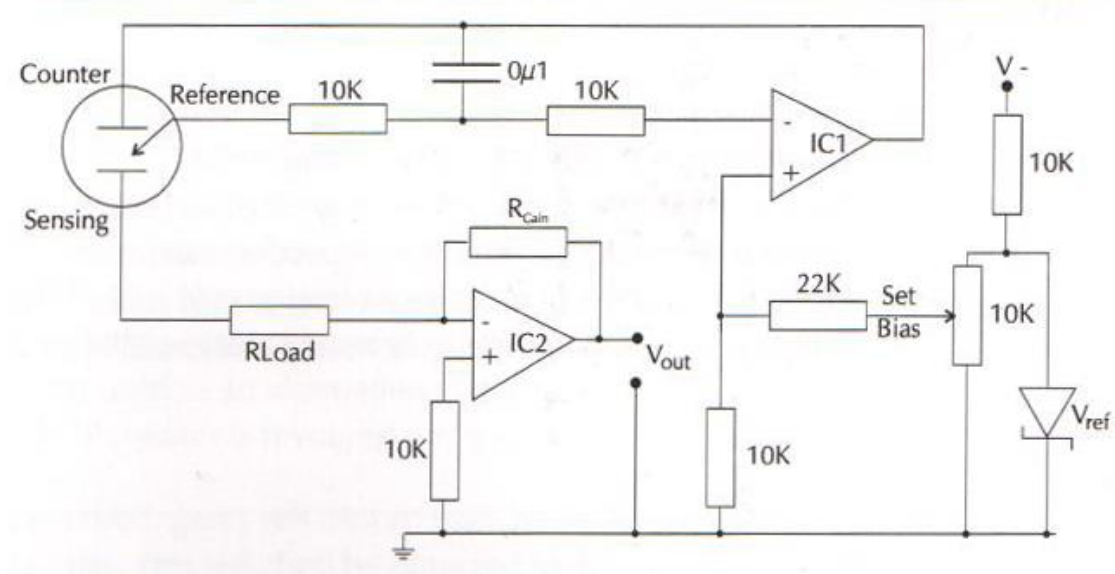
Toisena (Kuva 8.) on esijännitteinen piiri (Biased mode operating circuit). Piiriä voidaan käyttää muun muassa typpioksidin, etyleenioksidin ja ammoniakkin mittaamiseen, koska *tunnistinelektrodi* tarvitsee näissä tapauksissa asettaa korkeampaan positiiviseen potentiaaliin kuin *referenssielektrodi*. Kaikki kaasut, jotka hapettuvat *tunnistinelektrodilla*, vaativat biasoinnin [6]. Piiri on samanlainen kuin normaalin toiminnan piiri sillä erotuksella, että, IC1:n positiiviseen napa pidetään säädetyssä jännitteessä maatasen alapuolella [6].



Kuva 8. Normaalin toiminnan piiri (Standard operating circuit) [6]

Bias-jännite tarvitsee asettaa niin, että virta ei kulje *referenssielektrodilta*. Jännitteen tarvitsee olla aina läsnä, myös silloin kun ilmaisim on poissa päältä, muuten laite tarvitsee

hyvin pitkän käynnistysajan, kun se taas käynnistetään. Jännitettä ei myöskään suositella luotavaksi pariston avulla. Kyseisillä piireillä kaasunilmaisimista saadaan jännitteenä arvo, josta käy ilmi kaasun olemassaolo. [6]



Kuva 9. Biased mode piiri (Biased mode operating circuit) [6]

Potentiostaatin voi rakentaa perinteisillä operaatiovahvistimilla tai sitä varten valmistetuilla piireillä, joissa on koko potentiostaatti yhdessä kotelossa. Piirilevyä pelkistettäessä halutaan käyttää juuri näitä piirejä, jotka ovat mahdollisimman pienellä alalla olevia ja valmiita paketteja, jolloin kaasunilmaisimista saadaan entistä kompaktimpeja.

Näitä IC-piirejä voidaan käyttää esimerkiksi I2C-väylän avulla, joten piiritason muutokset pienenevät entisestään. Valitulla IC-piirillä ei tarvitse vastuksilla säätää vahvistuksia vaan vahvistus on ohjelmoitavissa seitsemästä eri vastuksesta 2,75 k Ω - 350 k Ω välillä. Myös kuormavastus on ohjelmoitavissa samalla väylällä neljällä eri arvolla väliltä 10 Ω – 100 Ω . Piirissä on sisäänrakennettuna ohjelmoitava bias-jännite ja lämpötila-anturi. Näiden ominaisuuksien ansiosta piiri sopii lähes jokaiselle sähkökemialliselle anturille. Ohjelmointi tapahtuu I2C -väylää käyttäen datalehdessä olevilla käskyillä. Piirillä saadaan toteutettua myös anturin diagnostiikka samaista väylää käyttäen. Piiriä voidaan käyttää sekä kaksi- että kolme-elektrodisille antureille [21].

Kaasunilmaisimien vaatii myös virtalähteen, joka tuottaa piirille tarvittavan jännitteen. Detector OY:n kaasukeskuksissa on sisällä tehollähde, josta saadaan jännite ilmaisimille [22]. Kaasunilmaisimet toimivat +16 V...+36 V:n käyttöjännitteellä [15], joka tarvitsee

vielä sovittaa piirille sopivaksi, joten piirillä tarvitsee olla jonkinlainen jännitteen alentaja. Pienen hakkuriteholähteen sovitus on siis tarpeen piirilevyllä. Suurin osa käytettävistä piireistä toimii +5 V:n käyttöjännitteellä, osa jopa +3,3 V:n jännitteellä, jolloin piirejä valittaessa olisi hyvä, jos kaikki piirit toimisivat samalla käyttöjännitteellä. Hakkuripiirejä valmistaa usea eri piirivalmistaja, joten valikoima on hyvin laaja. Operaatiovahvistimet voivat vaatia myös negatiivista käyttöjännitettä toimiakseen, jolloin jännitesyöttö tarvitsee miettiä sille erikseen.

4.2 Nykyisten käytettävien komponenttien elinkaari

Passiivisten komponenttien tulevaisuus on turvattu hyvin pitkälle tulevaisuuteen, koska kaikki elektroniikka rakentuu niiden päälle. Aktiivisten komponenttien osalta elinkaari tarvitsee ottaa huomioon. Valmistustekniikat voivat muuttua tai komponenttien tarkkuus parantua, jolloin komponentin sopivuus tarvitsee tarkistaa. Komponentilta voidaan poistaa pakettivaihtoehtoja, jolloin poistuvia paketteja varten tarvitsee tehdä uudet piirilevyt. Nykyisten käytettävien komponenttien saanti on vielä hyvä, joten komponenttien valossa piirilevy muutoksia ei tarvitse tehdä.

4.3 Piirilevyn pelkistys uusien komponenttien avulla

Piirilevyn pelkistyksessä täytyy ottaa monia seikkoja huomioon. Piirilevyn lohkokaaaviota tutkimalla saadaan tietoon mitä tuote tulee vaatimaan, että se toimisi jatkossakin. Miten uudet komponentit vaikuttavat tuotteen ohjelmallisuuteen, myös komponenttien määrää tarvitsee miettiä. Voi olla halvempaa ostaa kalliimpi piiri, jos sillä saadaan eliminoitua monia yksittäisiä komponentteja, koska piirilevyt tulevat valmiiksi ladottuina alihankkijalta, jokainen pintaliitosvastuksen latominen tuo lisähintaa enemmän kuin pelkkä komponentin hinta.

4.4 Piirilevyn modulaarisuus

Ulkoista biasointipiiriä koepiirin kanssa ei tarvita, joten piirilevyjä olisi mahdollista karsia, siten että kaikki sähkökemialliset ilmaisimet voitaisiin rakentaa samaan pohjaan. Ongelmana näiden sähkökemiallisten ilmaisimen kohdalla on antureiden jalkojen muuttuvuus.

Tällä hetkellä happianturissa on kolme jalkaa, joista kaksi kytkee anturin piirilevyyn, kolmas jalka on vain mekaanisena tukena antureille. hiilimonoksidianturi on samalla jalkavälillä, mutta sillä on vain kaksi jalkaa, joista molemmat kytkeytyvät piirilevyyn. Näiden antureiden piirilevystä päästäisiin eroon, jos nastat saataisiin integroitua myrkyllisten kaasujenpiirilevyyn. Myrkyllisten kaasujen anturissa jalkoja on tällä hetkellä viisi. IC-piiri mahdollistaa kaksi- ja kolmenapaisten antureiden kytkemisen ja suurin ongelma piirilevyssä tulee olemaan järkevä nastojen järjestäminen nykyisten antureiden jalkoihin. Antureiden jalanjälki on siis kriittinen tekijä, jos näiden jalkojen yhteensovitus ei onnistu helposti, on halvempaa tehdä edelleen erillinen piirilevy näille kahdella ilmaisimelle.

Sähkökemiallisia antureita on myös monia erilaisia, jolloin voidaan etsiä anturi, jonka jalkajärjestys olisi lähellä nykyisiä jalkoja, tällöin piirilevyjen yhdistäminen olisi helpompaa. Nykyisten antureiden ominaisuudet selvittämällä, voidaan etsiä sopivat anturit, joissa jalkajärjestys täsmäisi.

5 IC-PIIRIN OHJELMOINTI JA TESTAUS

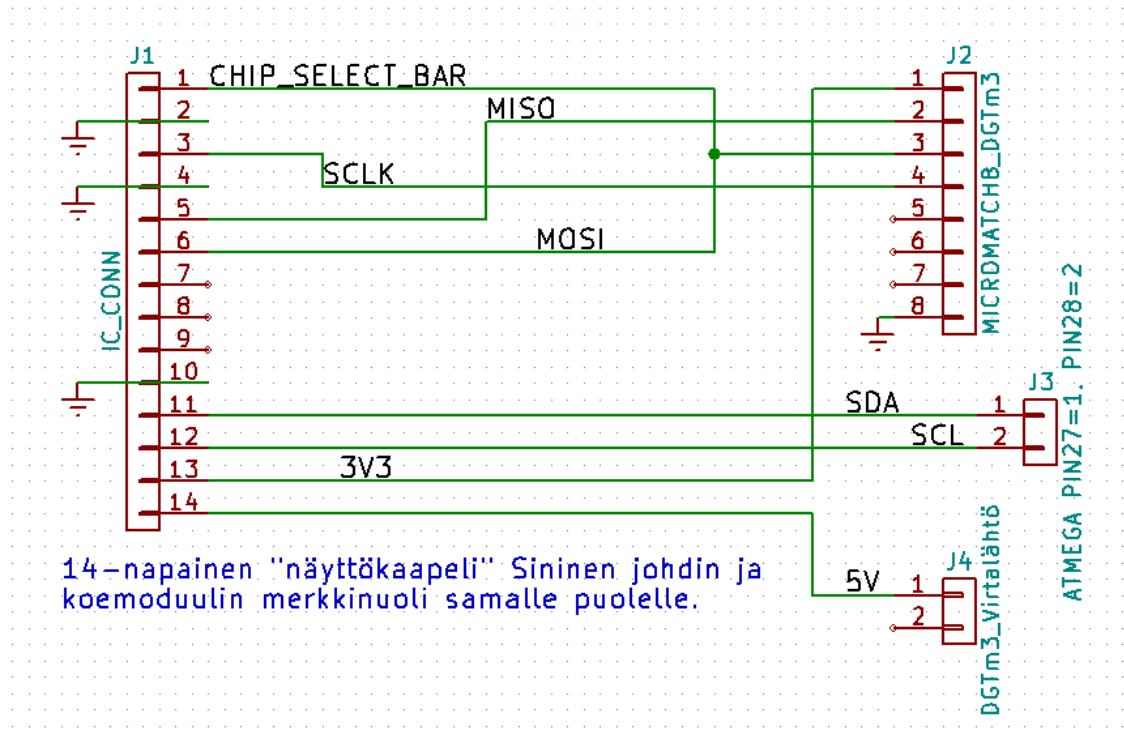
Työn tarkoituksena on tutkia, kuinka valittu IC-piiri toimii Detector OY:n sähkökemiallisten antureiden kanssa. Kokeessa on tarkoituksena testata nykyistä sähkökemiallista anturia uudella piirillä ja verrata sen tuloksia nykyisiin piireihin. Happianturi on tässä tapauksessa ensimmäinen valinta siksi, että vallitsevassa ilmassa se lähettää signaalia koko ajan normaalissa huoneilmassa, eikä testikaasutukselle ole näin tarvetta.

Päädyimme tilaamaan valmiin kokeilusarjan piiristä, jolloin työ saadaan aloitettua nopeasti. Piirtämällä itse sopiva piirilevy, aikaa kuluisi huomattavasti enemmän, testauksesta ja mahdollisista virheistä johtuen. Jos tulokset vastaavat oletettuja arvoja, voidaan piirilevystä piirtää oma versio tuotantokäyttöön, jolloin piiri saadaan kompaktille alustalle muiden tuotannon komponenttien kanssa.

Piirivalmistajan piirilevyllä on myös 16-bittinen AD-muunnin, jolla saadaan nykyistä 10-bittistä muunnosta tarkempi lopputulos. Laajemmalla muuntimella voidaan myös käyttää pienempää vahvistusta, jolloin ilmaisu pysyy lineaarisempana. Vahvistusta voidaan lisätä helposti jos havaitaan, ettei sen hetkinen vahvistus riitä anturille. Bittimäärän kasvulla saadaan myös tarkempaa tietoa kaasupitoisuuden muuttumisesta. Virtaviesti on tällä hetkellä 8-bittinen, mutta raakadataa tarkastellessa, voidaan tarkastella signaalia ilman DA-muunnosta, jolloin saadaan laajempi data miten anturi toimii IC-piirin kanssa. Virtalähteenä voidaan käyttää DGTm3 levyllä rakennettua virtalähdettä, koska IC-piiri käyttää 2,7-5,25V alueella olevaa jännitettä ja kuluttaa virtaa keskimäärin alle 10 μ A toimiessaan.

Työssä tullaan tarvitsemaan IC-piirin -kokeilumoduuli, sähkökemiallinen happianturi, DGTm3 -piirilevy, I2C -ohjelmoija, infrapunasilmä, jolla voidaan tarkkailla raakadataa sekä välikaapeli, jossa yhteensopiva liitin koelevyn piikkirimaan ja DGTm3 levyn micro-match liittimeen. IC-piirin kokeiluversio liitetään kaapelilla DGTm3 piirilevyyn, jolloin ulkoista moduulia ei tarvitse valmistaa kommunikation ja virtaviestin luomiseksi. DGTm3 levyyn tarvitsee tehdä ohjelmallisia muutoksia, jotta saadaan ohitettua sen nykyinen toiminta. Nykyisen sähkökemiallisen anturin signaali täytyy sulkea pois mikrokontrollerista, koska signaali ajetaan nyt suoraan digitaalisena prosessorille ja koelevyn signaali tarvitsee saada lähetetty infrapunaa pitkin tietokoneella luettavaan muotoon. Tämän avulla voidaan vertailla nykyisen piirilevyn dataa kokeiluversiota vastaan, jolloin nähdään vahvistuksien muutos ja datan kvantittumisen muutos. Näitä tietoja hyödyntäen voidaan

määritellä, saadaanko tällä piirillä etua uusiin kaasuilmaisimiin ja kannattaako ottaa uusissa tuotteissa käyttöön. Tarvittavat komponentit kokeilua varten ovat happianturi, IC-piirin koelevy, DGTm3-piirilevy, micromath 8-liitin, 8x2 female pin head ja I2C-ohjelmoija. IC-piirin koemuoduli kytketään DGTm3-piirilevyyn nauhakaapelilla. Samalla kaapelilla kytketään myös I2C-ohjelmoija koemuoduliin.



Kuva 10. Piirikaavio välikaapelille

I2C-ohjelmoijalla ajetaan levyllä vaadittavat parametrit, jolloin saadaan ohjelmoitua moduulia mm. vahvistus ja kuormavastus. I2C-ohjelmoija vie navat 11. ja 12. moduulin liittimestä.

8-napainen kaapeli kytketään DGTm3-levyyn sille olevalla paikalla. Tämän kaapelin avulla koemuodulille ajetaan sen tarvitsevat käyttöjännitteet ja kello. Koemuodulin tuottama signaali lähetetään myös tätä kautta. Tietokoneella saadaan lähetettyä AD-muuntimen raakadata, joka tulkitaan Excel-ohjelmalla paremmin luettavaan muotoon. Tätä tietoa voidaan käyttää vertauskohtana DGTm3-tuotantoversion dataan.

Koemuuliin tarvitsee ajaa käsky, jolla IC-piiri asetetaan kirjoitustilaan. Piiri on oletuksena luku-tilassa. Vahvistus muutetaan oletusarvosta (**000**), joka on ulkoinen vastus, sisäiseksi minimivastukseksi (**001**) 2,75 k Ω , koska piiriä on tarkoitus ajaa ilman minkäänlaisia ulkoisia komponentteja vahvistuksessa. DGTm3 levyllä kuormavastuksena toimii 10 Ω , oletusarvona IC-piirillä toimii 100 Ω kuormavastuksella (**11**), mutta vertailukelpoisten tulosten saamiseksi asetetaan vastus 10 Ω (**00**). Valmistajan datalehdessä happianturille suositellaan 47 Ω – 100 Ω kuormavastusta [18]. Reference control-rekisterillä (**0x11**) saadaan säädettyä bias-jännite sähkökemialliselle anturille. Bias-jännite saadaan käyttöjännitteestä joka säädetään komennon avulla tiettyyn prosenttiin siitä. Samalla control-rekisterillä saadaan asetettua myös nollataso piirissä. Osa sähkökemiallisista antureista liikkuu enemmän positiiviselle puolelle nollatasoa, toiset taas negatiiviselle puolelle. Nollatason avulla voidaan asettaa sopiva heilahdusalue sähkökemiallisille antureille vaihtoehtoina 20 %, 50 % ja 67 % käyttöjännitteen tasosta. Nollataso voidaan myös ohittaa jos sähkökemiallista anturia mitataan suhteessa maatasoon.

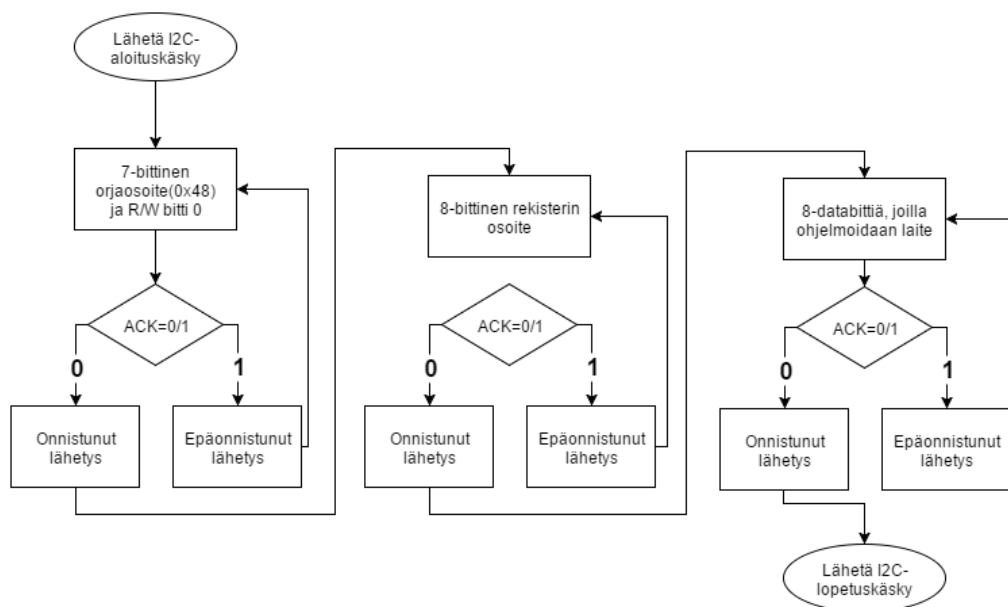
IC-piirille voidaan asettaa myös eri mittaustiloihin riippuen mittalaitteesta. Mode control-rekisterillä (**0x12**) piiri voidaan asettaa mittaamaan 2-johtimisella maatasoon verrattavalla anturilla tai 3-johtimiseen anturiin. Tässä rekisterissä voidaan asettaa myös lämpötilamittaus päälle tai pois.

IC-piirin liittimen juottaminen DGTm3 levyyn osoittautui haastelliseksi mikrokontrollerin vuoksi. Jalkojen juottaminen suoraan piiriin kiinni oli hyvin hankalaa.

Juottamista paremmaksi vaihtoehdoksi koettiin Micromatch-liitin, johon kokeilulevyn nauhakaapeli kiinnitettiin.

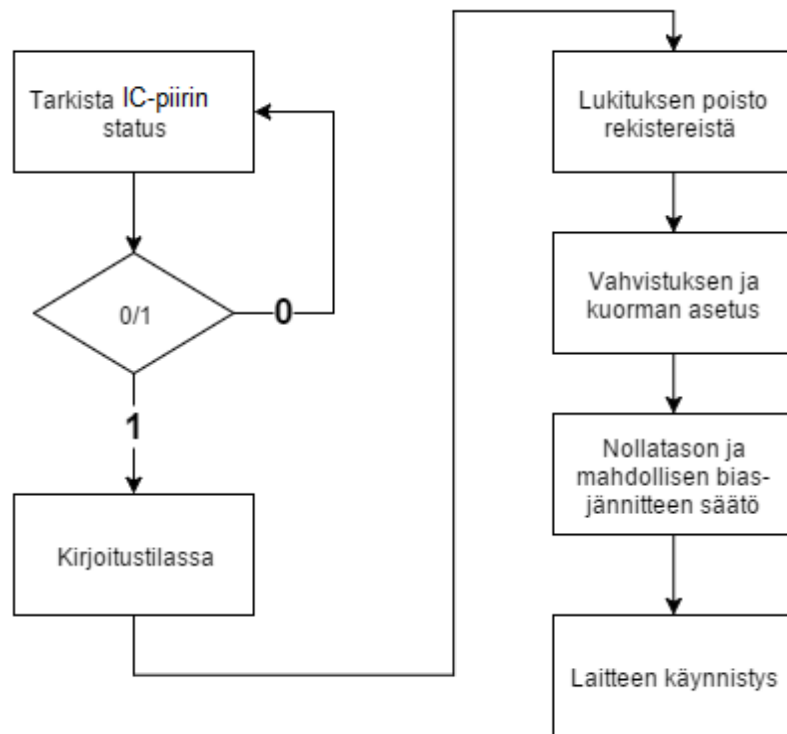
5.1 I2C väylän ohjelma

IC-piirille tarvitsee asettaa parametrit tietyssä järjestyksessä, jotta laite saadaan toimintakuntoon. Ohjelman tarvitsee tarkistaa laitteelta onko se valmis vastaanottamaan käskyjä, jonka jälkeen ohjelmointi alkaa. Tämän jälkeen voidaan poistaa lukitus ohjelmoitavista registreistä ja ohjelmoida laite käyttövalmiiksi. Kaikki koodi kirjoitettiin Atmelstudio7 -ohjelmaa käyttäen. Ensimmäisen työvaiheen tarkoituksena oli saada prosessori keskustelemaan I2C-väylän avulla IC-piirin kanssa. Tarkoituksena oli ohjelmoida ohjelma, joka kysyisi piirin statuksen ja kirjoittaisi komennot laitteeseen.



Kuva 11. I2C- ohjelmoinnin vuokaavio

I2C ohjelmointi tarvitsee toteuttaa protokollan mukaisesti. Käskevä laite (master) lähettää käskettävälle laitteelle (slave) aloituskäskyn jonka jälkeen tiedonsiirto voi alkaa. Jokainen lähetettävä paketti on yhdeksän bittiä pitkä. Lähetettävä osoite rakentuu seitsemästä osoite bitistä, yhdestä kirjoitus/luku bitistä ja ACK bitistä. ACK bitti kertoo lähettävälle laitteelle saatiinko viesti lähetetty jos lähetettävä laite ei saa ACK bittiä takaisin lähetys tarvitsee aloittaa uudestaan. Data lähetetään samaan tapaan 8 databittiä ja ACK bitti [23].



Kuva 12. IC-piirin asetusten kirjoitus

IC-piirin I2C-ohjelma kirjoitettiin käyttäen hyödyksi valmistajan tarjoamaa valmista käsikirjastoa. Nykyisessä prosessorissa on myös laitteistotuki I2C -väylälle, jotka olivat vapaana käyttöä varten. Laitteistotuella piirin ohjelmointi on helpompaa kuin pelkällä koodilla. Ainoa fyysinen muutos, joka tarvitsi toteuttaa, oli ylösvetovastusten lisääminen piirilevyyn [23]. Ylösvetovastuksille oli kuitenkin olemassa jo piirilevyssä jalanjäljet, jolloin vastukset saatiin liitettyä siististi.

```

void TWI_Start_Transceiver_With_Data( unsigned char *msg, unsigned char msgSize )
{
    unsigned char temp;
    while ( TWI_Transceiver_Busy() );           // Wait until TWI is ready for next transmission.
    TWI_msgSize = msgSize;                       // Number of data to transmit.
    TWI_buf[0] = msg[0];                         // Store slave address with R/W setting.
    if (!( msg[0] & (TRUE<<TWI_READ_BIT) ))     // If it is a write operation, then also copy data.
    {
        for ( temp = 1; temp < msgSize; temp++ )
        {
            TWI_buf[ temp ] = msg[ temp ];
        }
    }
    TWI_statusReg.all = 0;
    TWI_state = TWI_NO_STATE ;
    TWCR = (1<<TWEN) |                           // TWI Interface enabled.
            (1<<TWIE)|(1<<TWINT) |               // Enable TWI Interrupt and clear the flag.
            (0<<TWEA)|(1<<TWSTA)|(0<<TWSTO) |    // Initiate a START condition.
            (0<<TWMC);                          //
}
  
```

Kuva 13. Esimerkki laitteistokirjastolla kirjoitetusta I2C-koodista

Mikroprosessorin ohjelma on myös keskeytyspohjainen, jolloin prosessori suorittaa loppuun sen tehtävän, joka sille annetaan ennen etenemistä esimerkiksi I2C -käselyn lähetys. Keskeytyksien avulla saadaan myös virheviestit luettua [24].

Hardwarella ohjelmoijan ei tarvitse huolehtia koodin ajoituksista eikä tasoista, kuten jouduttiin tekemään AD-muuntajan tapauksessa, vaan voidaan käyttää valmiita rekisterejä. Väylän komennot suoritetaan näillä funktioilla ja niitä kutsutaan pääohjelmassa tarvittaessa. Väylää varten tarvittiin funktioita datan lähetykseen, datan lukemiseen ja väylän tilan tarkistukseen.

```

if (TWI_operation == REQUEST_STATUS)
{
    // Request/collect the data from the Slave
    messageBuf[0] = (I2C_Address<<TWI_ADR_BITS) | (TRUE<<TWI_READ_BIT);
    messageBuf[1] = STATUS_REG;
    TWI_Start_Transceiver_With_Data( messageBuf, 2 );
    TWI_operation = READ_DATA_FROM_BUFFER;
}
else if (TWI_operation == READ_DATA_FROM_BUFFER)
{
    // Get the received data from the transceiver buffer
    TWI_Get_Data_From_Transceiver( messageBuf, 2 );
    if (messageBuf[1])
    {
        dgtserial_adhoc_message("$LMP READY.\0");
        TWI_operation = SEND_UNLOCK;
    }
    else
    {
        dgtserial_adhoc_message("$LMP BUSY.\0");
        TWI_operation = REQUEST_STATUS;
    }
}
else if (TWI_operation == SEND_UNLOCK)
{
    // Request/collect the data from the Slave
    messageBuf[0] = (I2C_Address<<TWI_ADR_BITS) | (FALSE<<TWI_READ_BIT);
    messageBuf[1] = LOCK;
    messageBuf[2] = ENABLE_WRITE;
    TWI_Start_Transceiver_With_Data( messageBuf, 3 );
    dgtserial_adhoc_message("$UNLOCKED.\0");
    TWI_operation = SEND_TIACN; // Set next operation
}

```

Kuva 14. Esimerkki pääkoodin I2C-osasta

Pääkoodissa tarkistetaan ensin, onko IC-piiri kirjoitusvalmis, jossa ohjelma pyörii niin kauan kunnes data on saatu luettua laitteesta, jonka jälkeen aletaan kutsua kirjoitusfunktiota. Kirjoitusfunktion lopussa TWI_operation -käskeyä muokataan siten, että ohjelma osaa siirtyä seuraavaan vaiheeseen. Kun READ_DATA_FROM_BUFFER on saatu onnistuneesti käsiteltyä, ohjelma saa siirtyä seuraavaan vaiheeseen SEND_UNLOCK, josta edetään SEND_TIACN -komentoon jne.. Kaikki ohjelmointiin liittyvät tilat käydään järjestyksessä läpi, jos jossain kohtaa ohjelma kohtaa vian, se palautuu alkuun REQUEST_STATUS -tilaan ja palauttaa virheviestin.

5.2 Tiedon lukeminen koelevyltä

Koska IC-piirin koelevy sisältää oman AD-muuntimen, halutaan sen toimintaa kokeilla käytännössä. AD-muunnin on myös tarkempi kuin Atmega168 piirin, jota tällä hetkellä käytetään. Nykyisestä 10 bitistä voitaisiin siirtyä ulkoiseen 16-bitin muunnokseen, joka löytyy jo muutamista tuotteista. AD-muuntimen koodi kirjoitettiin prosessorin hyödyntäen SPI-väylää, koska IC-piiri saatiin liitettyä DGTm3 levyyn ohjelmointiliitännän kautta. Ohjelmointiliittimestä saatiin käyttöön prosessorin MISO, MOSI ja SCLK navat, joita tarvittiin väylää varten. Laitteen käyttöönoton ongelmakohdaksi muodostui DGTm3:n IR -lähetin/vastaanotin, joka käyttää MOSI-nastaa kellonpulssin luomiseen. Koodin kirjoitus oli hyvin suoraviivaista, koska koodi kirjoitettiin ilman keskeytyskomentoja. Ohjelmaa käydään läpi niin kauan että ehdot täyttyvät, jonka jälkeen ohjelma palauttaa AD-muunnoksen arvon, joka voidaan lukea terminaalista.

Ensin koodi vapauttaa MOSI-nastan kellosta, minkä jälkeen luodaan edellytykset AD-muuntimen toiminnalle. Tämän jälkeen kerätään 15 bittiä talteen, joista muodostuu luettava arvo. Lopuksi palautetaan kello MOSI-nastan.

```

{
    uint8_t i, timermode;
    uint16_t adcddata;
    timermode = TCCR2A;
    TCCR2A = (0x0F & TCCR2A);/// Free PB3 pin for data use

    DDRB |= (1<<PB3);///< Set PB3 as output for CSINV.
    PORTB |= (1<<PB3);///< Set PB3 high as rising edge of CSINV.
    DDRB |= (1<<PB5);///< Set PB5 as output for SCLK.
    PORTB |= (1<<PB5);///< Set PB5 high as rising edge of SCLK.
    _delay_us(10);
    PORTB &= ~(1<<PB3);///< Drop CSINV to select chip.
    _delay_us(1);

    adcddata = 0;
    i = 0;

    while ( i < 18)///< 18 iterations.
    {
        PORTB &= ~(1<<PB5);///< Clear PB5 low as falling edge of SCLK.
        _delay_us(1);
        PORTB |= (1<<PB5);///< Set PB5 high as rising edge of SCLK.
        if ( ((PINB & (1<<PB4)) != 0) && (i > 1))///< Get PB4 as SD serial data bit.
            adcddata = adcddata + 1;///< Bit high.
    }
}

```

Kuva 15. Esimerkki SPI-väylän koodista

5.3 Kokeen suunnittelu ja dokumentointi

Tarkoituksena on testata sähkökemiallisen happianturin resoluutio vanhalla kaasunilmaisimella ja uudella IC-piirillä varustetulla kaasunilmaisimella ja vertailla tarkkuuden eroa.

Koe suoritetaan siten, että molemmat kaasuanturit kalibroidaan 20,9 % hapella nollatasoon. Anturit sijoitetaan suljettuun tilaan (noin 30 l ilmaa ($O_2=20,9\%$)), jonka jälkeen astiaan lasketaan hitaasti 23,5 % happea jolloin saadaan 2,6 % nousu happipitoisuuteen. AD-muuntimessa tutkitaan raaka-arvoja jolloin, jolloin virtalähdön osuus voidaan unohtaa.

Kaasuantureista luetaan infrapunalla AD-muuntimen arvoja käskyllä `!M0%`, ja tuloksia vertaillaan keskenään. Infrapunaa varten kaasuantureille tarvitsee antaa eri osoitteet, jolloin niitä voidaan lukea ilman, että toinen antureista häiritsee lähetystä. Tämä onnistuu lähettämällä kaasunilmaisimelle käsky `!A0_01%`. Toinen ilmaisimien pidetään vakio-osoitteessa `!A0%`

Näillä koodeilla terminaalista saadaan luettua molempien ilmaisimien raaka-arvot ilman datan sekoittumista keskenään. Raaka-arvot saatiin tallennettu tekstitiedostoon Real-term-terminaaliohjelmaa käyttäen joka loi datasta teksti tiedoston. Tämä tekstitiedosto voitiin saattaa luettavaan muotoon Excel-ohjelmalla ja dataa saatiin tulkittua.

Terminaalin kanssa kohdattiin vielä ongelma, kun yritettiin lukea kahta ilmaisinta samanaikaisesti. Ensimmäinen laite tulosti korruptoitunutta dataa, koska AD-muunnin yritti luoda uutta arvoa samaan aikaan kun laite lähettää dataa. Tätä varten ohjelmistoa tarvitsi ajoittaa manuaalisesti. Ohjelmaan luotiin yhden sekunnin aikaikkuna, jonka aikana kommunikaation tulee tapahtua, näin turvataan kommunikointia. Koodia lisättiin myös lähetyspuskuriin, 50 ms viive luotiin, siksi että puskuriin saadaan kokonainen viesti eikä kommunikointi estä sitä valmistumasta. Samaa viivettä käytettiin myös infrapuna osoitteiden erottamiseen. Viiveen lisäämiseen liittyy kuitenkin riski siitä, että ohjelma jää ikuisesti pyörimään koodin pätkään, jos kyselyitä lähettää laitteelle tämän 50 ms aikana.

IC-piiri haluttiin toimivan myös IRC3 -käsikalibraattorin kanssa, jolloin saatiin kalibroitu helpommin kuin terminaaliohjelmalla. Käsikalibraattoria varten tarvitsi kuitenkin tehdä vielä lisää ohjelmistomuutoksia. Ohjelmistossa oli lämpötilakalibrointi, joka oli poistettu käytöstä ja sille oli asetettu arvoksi nolla, jolloin myös käsikalibraattori näytti ilmaisimesta

arvoa nolla. Kun spangain muutettiin arvoon 1, saatiin käsikalibraattorilla luettua AD-muuntimen arvo.

Ohjelmaan lisättiin myös AD-muuntimen raja-arvot, jolloin datan lukuarvo ei pääse hyppäämän mitta-alueen yli. Tätä varten luotiin raja, jonka ylittäessään AD-muunnin ei huomioi ylimenevää osuutta vaan jää raja-arvoon.

Käsikalibraattorin ja IC-piirin AD-muuntimen kommunikaatioon liittyi vielä yksi ongelma. Käsikalibraattorin näyttö oli tarkoitettu vain neljälle merkille, mutta uusi AD-muunnin pystyi luomaan viiden merkin mittaisia tuloksia, jolloin suurin numero puuttui käsikalibraattorin näytöltä.

5.3.1 Ensimmäinen koe

Ensimmäisessä kokeessa kaasutusaika oli lyhyt, jolloin muutokset olivat pieniä myös ilmaisimissa. Happipitoisemman kaasun lisääminen näkyy graafissa tason nousuna niin kuin odotettuakin. IC-piirin muutos on lähes tasaista. Mittauksen keskivaiheilla näkyy arvossa pieni notkahdus, joka saattaa johtua kaasuventtiilin liikahtamisesta, muuten data on hyvää. Myös DGTm3 tuloksissa näkyy erikoisuus, datassa on nähtävissä transientti, joka tapahtuu monesti mittauksen aikana. Tämä johtuu hyvin mahdollisesti kommunikativäylän käytöstä, joka nähdään myös toisessa kokeessa.

Kokeen mittaustulokset lisätty liitteeseen 1.

5.3.2 Toinen koe

Toisessa kokeessa aikaa pidennettiin huomattavasti. Kaasunilmaisimet suljettiin laatikkoon, johon laskettiin seitsemän minuuttia 23,5 % hapetta 0,5 l/min venttiilillä noin 30 l astiaan. Tämän jälkeen happipitoisuuden annettiin palautua hitaasti normaaliin tilaan ja kerättiin dataa. Tämän kokeen aikana huomattiin, että infrapunalla kyselyn jälkeen IC-piirin AD-muuntimen näkemä jännite hyppi ylhäältä alas hetken, jännitteen muutoksen ollessa noin 7 mV. DGTm3 levyssä ei ollut havaittavissa samaa ongelmaa. Ongelmat saattaa liittyä jännitelähteeseen tai ilmaisimen SPI-väylään. Ongelma voi liittyä myös muokattuun ohjelmistoon, jota säädettiin hyvin suurin ottein saattaakseen se toimintakuntoon. Ohjelmistoon tarvitsisi lisätä varmuustekijöitä, kuten lähetyksessä tapahtuva bittivirheiden minimointi. Suuri osa datasta voidaan silti hyväksyä oikeana. Tuloksista

näkyvästi kaasutuksen loppuminen ja palautumisen alkaminen. Molemmat kaasunilmaisimet seuraavat myös samanlaista käyrää, jonka avulla voidaan todeta datan oikeellisuus.

Kokeen mittaustulokset lisätty liitteeseen 2.

6 YHTEENVETO

Työssä oli tarkoituksena tutkia sähkökemiallisten kaasunilmaisimien nykyisiä tuotantomenetelmiä, vanhennusdataa ja tutkia uutta komponenttia mahdollista uutta tuoterevisiota varten. Happianturiin keskittyvästä työstä saatiin käyttökelpoista materiaalia jatko-projekteille.

Happianturin vanhennusajasta saatiin selkeää tietoa, että anturi ei elä elinkaaren alussa paljoakaan, jolloin vanhennuksesta vapauttaminen asiakkaalle voidaan suorittaa paljon aikaisemmin kuin nykyään. Tämä lisää myös tuotantovolyymia kaasunilmaisimien osalta. Kokeen laajentaminen suuremmalle otannalle olisi kuitenkin tarpeellinen, jotta saataisiin parempi varmuus vanhennusdatalle. Tiedonkeruujärjestelmän laajennus sähkökemiallisiin kaasunilmaisimiin olisi siis parannusta nykyiseen järjestelmään. Työssä todistettiin, että tiedonkeruujärjestelmä on hyvin tehokas tapa tutkia kaasunilmaisimien toimivuutta.

Komponentin testauksesta saatiin lupaavia tuloksia tuotemuutoksille. Happianturin kanssa IC-piiri saatiin toimimaan odotetusti. Työn aikana saatiin luotua myös ohjelmakoodia IC-piirille sekä mikropiirille. Pienin jatkoponnistuksin ohjelmistokoodi saataisiin kirjoitettua varmatoimisemmaksi. Jatkokehitykselle on kuitenkin paljon varaa ohjelmiston puolelle. Piiri tulisi testata myös myrkyllisten kaasujen antureilla, jolloin tuoteintegraatio voitaisiin toteuttaa.

Tuloksien valossa opinnäytetyö täyttää sille asetetut odotukset ja näitä tuloksia voidaan käyttää suoraan tuotteiden jatkokehitykseen.

LÄHTEET

- [1] Detector Oy, Yleistietoa kaasusta, [www]. Saatavilla: <http://www.detector.fi/yleistietoa-kaasuista> (Luettu 6.11.2015).
- [2] Greenham, L., The CoGDEM guide to gas detection, Iso-Britannia: ILM Publications, 2012 s.6–7.
- [3] Detector Oy, Kaasuilmäsimet eri tarkoituksiin, [www] Saatavilla: <http://www.detector.fi/tuotteet-ratkaisut-ja-referenssit/kaikki-tuotteet/kaasuilmäsimet.html> (Luettu 7.11.2015).
- [4] Detector Oy, Kaasunvalvontajärjestelmän ylläpito, [PDF] Yrityksen sisäinen koulutusmateriaali (Luettu 19.10.2015)
- [5] Chou, J. Hazardous Gas Monitors: A Practical Guide to Selection, Operation, and Applications Electrochemical Sensors, USA: McGraw-Hill Professional, 1999, s. 27–35.
- [6], City Technology, 1999 City Technology, Miniature sensors for monitoring toxic gases at ppm levels, combustible gases to the Lower Explosive Limit, and oxygen deficiency and enrichment, Iso-Britannia: City Technology, 1999, s. Tox8–Tox16
- [7] City Technology, Toxic Sensors, [www] Saatavilla: <http://www.citytech.com/technology/toxic-sensors.asp> (Luettu 22.10.2015)
- [8] SFS-EN 45544-1, Workplace atmospheres. Electrical apparatus used for the direct detection and direct concentration measurement of toxic gases and vapours. General requirements and test methods, Suomen standardisoimisliitto SFS ry, Helsinki, 1999
- [9] SFS-EN 45544-2, Workplace atmospheres. Electrical apparatus used for the direct detection and direct concentration measurement of toxic gases and vapours. Part 2: Performance requirements for apparatus used for measuring concentrations in the region of limit values, Suomen standardisoimisliitto SFS ry, Helsinki, 1999
- [10] SFS-EN 45544-3, Workplace atmospheres. Electrical apparatus used for the direct detection and direct concentration measurement of toxic gases and vapours. Part 3: Performance requirements for apparatus used for measuring concentrations well above limit values, Suomen standardisoimisliitto SFS ry, Helsinki, 1999
- [11] Webster, J., Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook, USA: CRC Press, 1999, Kappaleet: 88.3, 89.1.
- [12] Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/30/EU, Sähkömagneettista yhteensopivuutta koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta (uudelleenlaadittu), Euroopan parlamentti ja Euroopan unionin neuvosto, Strasbourg, 2014.
- [13] Alphasense, Alphasense Application Note AAN 103: Shielding toxic sensors from electromagnetic interference, [PDF] Saatavilla: http://www.alphasense.com/WEB1213/wp-content/uploads/2013/07/AAN_103.pdf (Luettu 15.10.2015).
- [14] SFS-EN 60079–10, Räjähdyksivaarallisten tilojen sähkölaitteet. Osa 10: Räjähdyksivaarallisten tilojen suunnittelu, Suomen standardisoimisliitto SFS ry, Helsinki, 1999.
- [15] Detector Oy, DGTec2, DGTec-ex digitaaliset kaasunilmaisimet, [PDF] Saatavilla: http://www.detector.fi/media/tiedostot/esitteet/kaasuilmäsimet/20-715-871-dgtec2_dgtec-ex-rev.-2.0.pdf (Luettu 27.11.2015)

[16] Acromag, Introduction to the two-wire transmitter and the 4-20mA current loop, [PDF] Saatavilla: https://www.acromag.com/sites/default/files/Acromag_Intro_TwoWire_Transmitters_4_20mA_Current_Loop_904A.pdf (Luettu 23.11.2015)

[17] Alphasense, Alphasense Application Note AAN 004: Pressure pulses can cause false alarms, [PDF] Saatavilla: http://www.alphasense.com/WEB1213/wp-content/uploads/2013/07/AAN_004.pdf (Luettu 22.10.2015)

[18] Luottamuksellinen lähde.

[19] Heinonen, S., Digitaalisen kaasunilmaisimen analysointi ja tuotannon optimointi, 2015, [PDF] Saatavilla: http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/93687/heinonen_sami.pdf?sequence=1 (Luettu 4.11.2015)

[20] BioLogic Science Instruments, Application Note #4: Potentiostat stability mystery explained, [PDF] Saatavilla: <http://www.bio-logic.info/assets/app%20notes/Application%20note%204.pdf> (Luettu 10.11.2015)

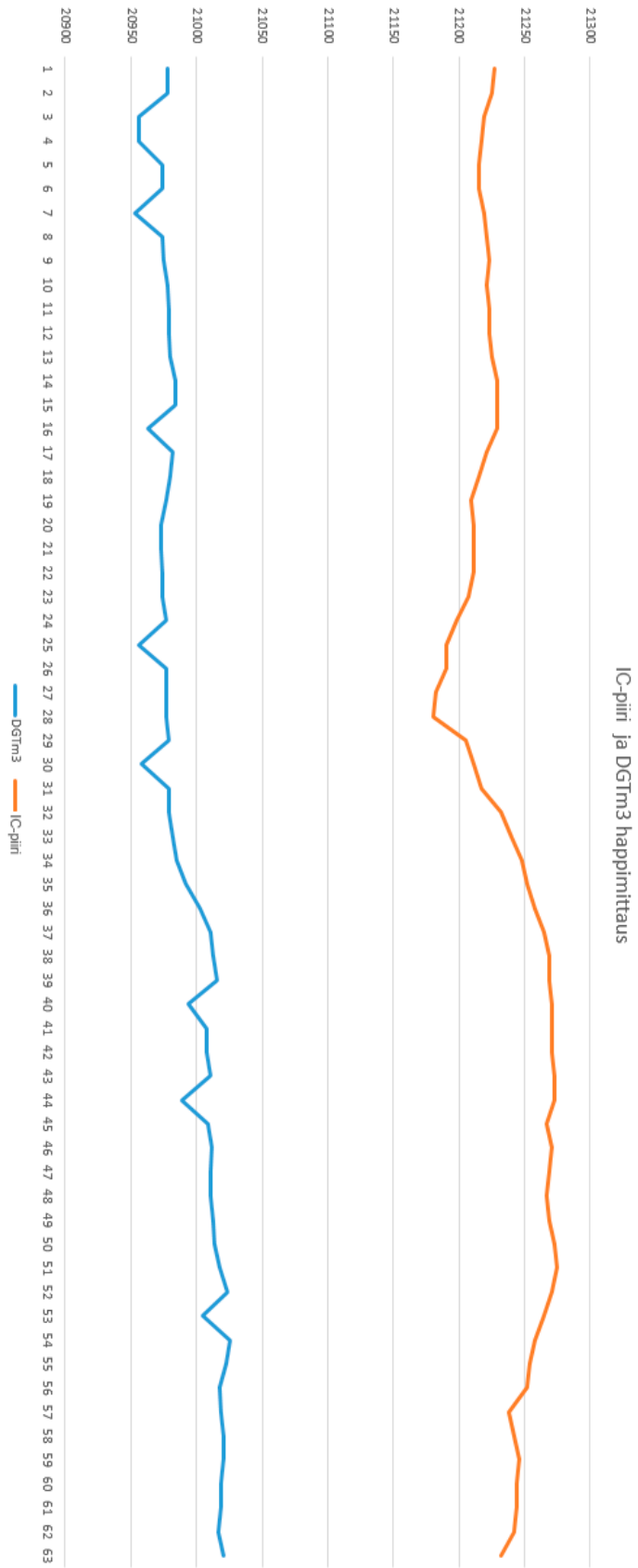
[21] Luottamuksellinen lähde.

[22] Detector Oy, SCAN200ED digitaalinen kaasunvalvontakeskus, [PDF] Saatavilla: <http://www.detector.fi/media/tiedostot/esitteet/kaasunvalvontakeskukset/2071-5311-scan200ed-rev.1.0.pdf> (Luettu 25.11.2015)

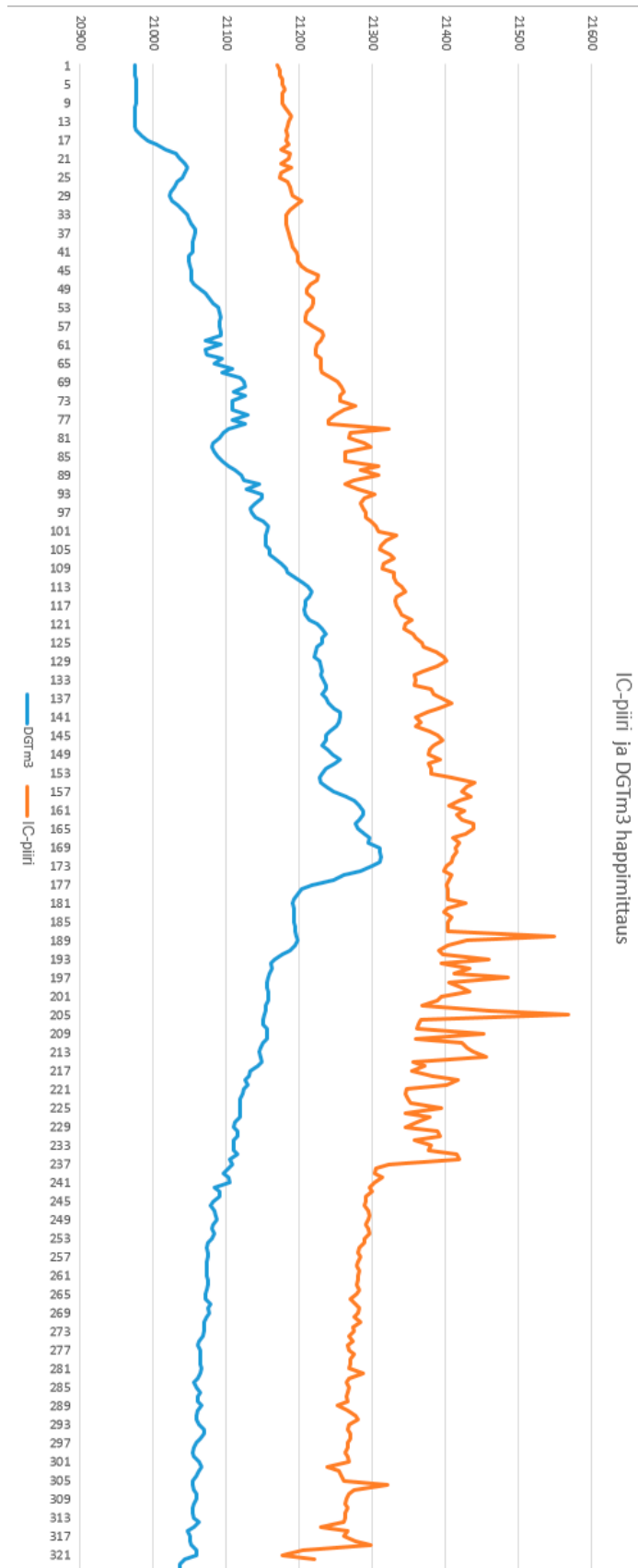
[23] Luottamuksellinen lähde.

[24] "AVR315: Using the TWI module as I2 C master", Atmel, 1600 Technology Drive San Jose, California 95110 United States.

IC-piiri/DGTm3 ensimmäisen kokeen tulos



IC-piiri/DGTm3 toisen kokeen tulos



Koemuodulin kytkentäkaavio

