

ATEX-lämpötila-antureiden lopputestaus ja jäljitettävyys anturituotannossa

Nina Ylimäki

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2024

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Automaatiotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Automaatiotekniikka

YLIMÄKI, NINA:
ATEX-lämpötila-antureiden lopputestaus ja jäljitettävyys anturituotannossa

Opinnäytetyö 78 sivua, joista liitteitä 15 sivua
Huhtikuu 2024

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin LAPP Automaation anturituotantoon lopputestausprosessi räjähdysvaarallisten tilojen lämpötila-antureille. Työssä kehitettiin yrityksen nykyistä lopputestausprosessia ja luotiin sen perusteella yrityksen käyttöön prosessi, joka on ATEX - direktiivin mukainen ja soveltuu Ex e – rakenteisten antureiden lopputestaukseen. Testausprosessin lisäksi työssä on käsitelty ATEX - jäljitettävyystietojen automatisointia ja sen vaikutuksia antureiden laadun seurantaan.

Työn vaiheet olivat pääasiassa testausprosessin parannuksien pohtimista ja tutkimista käytännön ja jo olemassa olevan tiedon perusteella. Tämän lisäksi tehtiin ohjelma ja suunniteltiin testausprosessi ja siinä käytettävät laitteet. Työssä tehtiin valmis testausohjelma käyttäen LabVIEW- ohjelmointiympäristöä ja graafista G - ohjelmointikieltä. Testausohjelma tehtiin olemassa olevan testausohjelman pohjalta, mutta siihen tehtiin lisäyksiä ja parannuksia, jotta sillä pystyttiin testaamaan myös Ex e – rakenteiset lämpötila-anturit.

Lopputuloksena testausprosessiin ei tullut montaa eroavaisuutta vakioantureiden testausprosessin verrattuna. Merkittävin ero koko prosessissa oli uusi testausohjelma, jossa oli myös eristysvastusmittaus vaihtojännitteellä käyttäen uutta Fineron eristysvastusmittaria. Testausohjelmistoon lisättiin uusia toiminnallisuuksia, kuten jäljitettävyystietojen lisäys. Referenssianturille paras paikka tutkimuksen mukaan on pöydällä testattavien antureiden vieressä. Käyttöönotto ei sisältynyt tähän opinnäytetyöhön vaan se jäi työn jälkeiseksi jatkotoimenpiteeksi. Ohjelma tehtiin suoraan yrityksen palvelimelle, joten koodi on suoraan yrityksen käytettävissä jatkossa parannuksia sekä mahdollisia virhetilanteita ajatellen.

Asiasanat: lämpötila-anturi, atex, testaus, labview

ABSTRACT

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

YLIMÄKI, NINA:

Final Testing and Traceability of ATEX Temperature Sensors in Sensor Production

Bachelor's thesis 78 pages, appendices 15 pages
April 2024

The purpose of this thesis was to create new final testing process for temperature sensor production in Lapp Automaatio Oy. The main objective was to create a testing process in which final testing of temperature sensors for potentially explosive atmospheres with protection level Ex e is allowed. Another purpose was to examine the possibilities for improving traceability of temperature sensors for potentially explosive atmospheres.

The possible improvements were investigated in the course of this work. The optimal place for a reference sensor was investigated through practical research and the possibilities for other improvements were investigated based on current information available on the subject area. The testing program was developed using LabVIEW software and the graphical G programming language.

The result of this thesis was a new testing software and a plan for the whole testing process. The traceability was included in the new testing software. The main difference in the new testing process was insulation resistance measurement with alternating current. The place for the reference sensor was tested, and in conclusion, the optimal place for attachment would be the table in the testing area. The testing process was not implemented during this thesis and that was left for the future.

Key words: temperature sensor, atex, testing, labview

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	TYÖN PERUSTIETOJA.....	8
	2.1 Lapp Automaatio Oy	8
	2.2 Anturituotanto.....	9
3	LÄMPÖTILAN MITTAUS	11
	3.1 Lämpötilan teoriaa.....	11
	3.2 Lämpötilan mittaustapoja	11
	3.3 Vastusanturit	12
	3.4 Termoelementti	14
4	RÄJÄHDYSVAARALLISET TILAT	18
	4.1 ATEX.....	18
	4.2 Tila- ja laiteluokat	18
	4.3 ATEX-laitedirektiivi	20
	4.3.1 Räjähdysuojauksen merkintä.....	21
	4.4 IECEx - Sertifiointijärjestelmä.....	22
	4.5 Ex-rakenteita	23
	4.5.1 Ex i - luonnostaan vaaraton rakenne	23
	4.5.2 Ex d – räjähdyspaineen kestävä rakenne	24
	4.5.3 Ex e – varmennettu rakenne	24
	4.6 Tuoteturvallisuus ja jäljitettävyys	25
5	ANTURIEN RAKENTEET TUOTANNOSSA.....	28
	5.1 Vakiorakenteet anturituotannossa.....	28
	5.2 Ex e – rakenteet anturituotannossa.....	30
6	LÄMPÖTILA-ANTUREIDEN LOPPUTESTAUS.....	31
	6.1 Toiminnallinen testaus	31
	6.2 Eristysvastusmittaus	32
7	NYKYINEN TESTAUSPROSESSI JA SEN KEHITTÄMINEN.....	33
	7.1 Nykyinen testausprosessi Ex – antureille.....	33
	7.2 Nykyinen testausprosessi vakioantureille.....	34
	7.3 Referenssianturi.....	36
	7.3.1 Mittauskorttien tarkkuus.....	41
	7.4 Testauslämpötila	42
	7.5 Kytkenä	44
	7.6 Jäljitettävyyden kehittäminen	44
8	TESTAUSPROSESSIN LAITTEISTOKOKOONPANON SUUNNITTELU	
	46	

8.1 Mittauspiirit.....	48
9 TESTAUSOHJELMAN KEHITTÄMINEN	51
9.1 LabVIEW	51
9.2 Alkuperäinen ohjelma.....	52
9.3 Uuden ohjelman ohjelmointiprosessi.....	54
9.4 Valmis ohjelma.....	57
10 POHDINTA	59
10.1 Yhteenveto	59
10.2 Jatko	60
LÄHTEET	61
LIITTEET	65
Liite 1. NI suunnittelutyökalun yhteenveto.....	65
Liite 2. Laitteistokokoonpano	66
Liite 3. Ohjelmakoodi	67
Liite 4. Käyttöohje	78

LYHENTEET JA TERMIT

ATEX	Räjähdyksvaarallisten tilojen lainsäädäntö ja standardisointi (Atmosphères Explosibles)
CJC	Kylmäpisteen kompensointi (Cold Junction Compensation)
EPL	Laitesuojautus räjähdyksvaarallisten tilojen laitteille (Equipment Protection Level)
Ex-	Räjähdyksvaarallisiin tiloihin tai räjähdyksvaarallisiin tiloihin sopiviin laitteisiin tai suojaukseen viittaava etuliite
Ex d	Räjähdykspainetta kestävä räjähdyssuojauksen rakenne
Ex e	Varmennettu räjähdyssuojauksen rakenne
Ex i	Luonnostaan vaaraton räjähdyssuojauksen rakenne
IECEX	Räjähdyksvaarallisten tilojen sertifiointijärjestelmä (International Electrotechnical Commission for Explosive Atmospheres)
LabVIEW	National Instrumentsin kehittämä ohjelmointiympäristö
MI	Mineraalieristetty (Mineral Insulated)
PT100	Platinavastus lämpötila-anturi, jonka vastuksen arvo 0°C on 100 Ω
RTD	Vastusanturi, vastusarvon muuttumiseen perustuva lämpötila-anturi (Resistance Temperature Sensor)
TC	Termopari, termoelementti, lämpötilasta riippuva jännitteeseen perustuva lämpötila-anturi (Thermocouple)

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella Lapp Automaatio Oy:n anturituotantoon uusi lopputestausprosessi, jolla on mahdollista testata myös räjähdysvaarallisiin tiloihin sopivat Ex e - rakenteiset lämpötila-anturit. Työn pääasiallinen tavoite on suunnitella standardien mukainen lopputestausprosessi yrityksen käyttöön ja tehdä valmis ohjelmisto käyttöönottoa varten. Valmiin ohjelman ja prosessin vaatimuksena on ATEX- direktiivin sekä standardien SFS-EN 60079-7, SFS-EN 60751 ja SFS-EN 60584 noudattaminen.

Lopputestausprosessin suunnittelun lisäksi tarkoituksena on pohtia Ex-lämpötila-antureiden seuranta- ja jäljitettävyystietoja. Tavoitteena on pohtia jäljitettävyyssprosessia ja varmistaa sen olevan mahdollisimman helppo, toimiva ja tarkoitusta vastaava. Pääkohtana on tietojen automaattinen tallennus sekä tietojen etsimisen helppous sekä nopeus.

Tarkoituksena on myös yleisesti tehostaa anturien lopputestausta anturituotannossa, sillä työn tuloksia tullaan käyttämään valmistettavien anturien laadun seurantaan sekä anturien jäljitettävyyden varmistamiseen. Lisäksi tarkoitus on pohtia, millä muulla tavoilla jo olemassa olevaa testausprosessia voisi kehittää esimerkiksi parempien tulosten saamiseksi.

Työssä hyödynnetään jo olemassa olevaa testausprosessia vakioantureille ja uusi ohjelma suunnitellaan sen pohjalta. Tarkoituksena on käyttää jo yrityksen käytössä olevaa LabVIEW-ohjelmointiympäristöä ja prosessin kehittämisessä anturituotannon tiloja ja laitteita kehityskohteiden tutkimista varten.

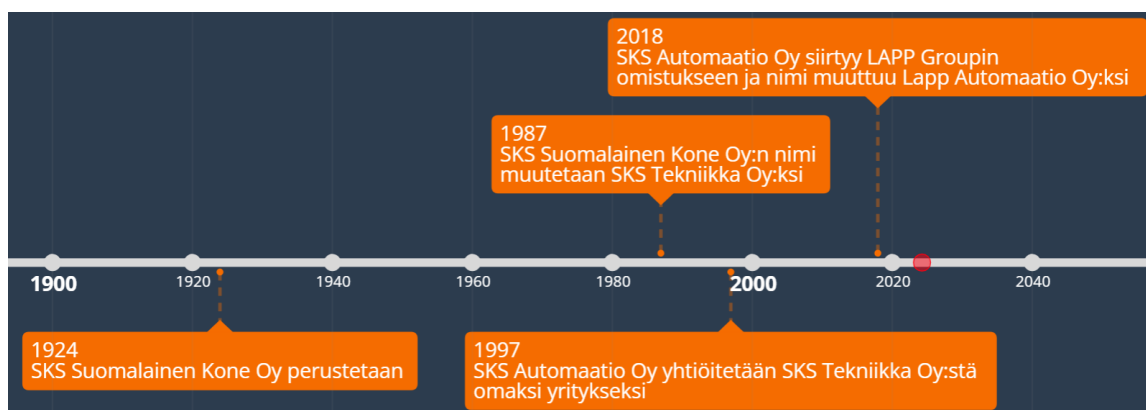
Nykyisen testausprosessin manuaalisuutta halutaan vähentää testauksen helpottamiseksi ja laadun varmistamiseksi. Vanha vakioantureiden automaattisempi testausprosessi ei sovellu Ex - antureille, sillä siinä ei ole standardin mukaista vaihtojännitemittausta, joten työ on sen vuoksi tärkeä. Työ on tärkeä senkin vuoksi, että räjähdysvaarallisiin tiloihin tarkoitettut laitteet ovat korkean riskin tuotteita, joten niille asianmukainen jäljitettävyyys on erittäin kriittinen osa tuotteen saattamista markkinoille.

2 TYÖN PERUSTIETOJA

Työ tehdään suomalaiselle yritykselle Lapp Automaatio Oy:lle. Tässä luvussa esitellään kyseinen yritys sekä yrityksen oma anturituotanto, jonka käyttöön tässä työssä suunniteltu lopputestausprosessi tulee.

2.1 Lapp Automaatio Oy

Lapp Automaatio on suomalainen sähkö- ja automaatioalan komponenttiyritys, joka on osa globaalia LAPP Group -konsernia. Lapp Automaatiolla on noin 70 työntekijää viidessä eri toimipisteessä. Toimipisteet ovat Vantaan pääkonttori, Tampereen, Turun ja Oulun aluetoimistot sekä Hyvinkään logistiikkakeskus, jossa sijaitsee myös anturivalmistus ja sähköhuolto. Lapp Automaatiolla on pitkä 100-vuotinen historia Suomen markkinoilla. Se oli alun perin osa SKS Suomalainen kone Oy:tä, joka perustettiin vuonna 1924. Vuonna 1987 yhtiön nimeksi muutettiin SKS Tekniikka. Vuonna 1997 Lapp Automaatio yhtiöitettiin SKS Tekniikasta omaksi yritykseksi nimellä SKS Automaatio. Vuonna 2018 SKS Automaatio siirtyi Lapp Groupin omistukseen ja nimi muuttui nykyiseksi Lapp Automaatioksi (Kuva 1).



KUVA 1. Lapp Automaation historia

Lapp Automaatio myy sähköalan komponentteja kuten kaapeleita, liittimiä sekä radio-ohjauslaitteita. Komponenttien myynnin lisäksi yritys tarjoaa yrityksille palveluita kuten kaapelien mittausta sekä pakkausta, sähköhuoltoa, lämpötilantureiden sekä lähettimien kalibrointia ja varastointipalveluja. Lapp Automaation asiakkaina on pääasiassa suomalaisia koneenvalmistajia, automaatio- ja

keskusvalmistajia sekä prosessiteollisuuden toimijoita. Vienti on myös osa liiketoimintaa ja se keskittyy lähinnä lämpötila-antureihin ja lämpötilanmittauksiin. (Lapp Automaatio, n.d.)

Lapp Group on perheomisteinen yritys ja Euroopan sekä maailman johtavia toimittajia kaapeleissa, kaapelitarvikkeissa sekä kaapelijärjestelmissä. Konsernin tuotevalikoimassa on yhteensä yli 40 000 tuotetta ja 5000 työntekijää. Lapp Groupin pääkonttori sijaitsee Saksan Stuttgartissa ja toimitusjohtajana toimii yhtiön perustajan lapsenlapsi Matthias Lapp. (LAPP Group, n.d.)

2.2 Anturituotanto

Lapp Automaation anturituotanto toimii Hyvinkäällä Suomessa ja sen kapasiteetti on noin 50 000 lämpötila-anturia vuodessa. Nykyään tuotannossa valmistetaan itse 30 000–40 000 lämpötila-anturia vuodessa. Lapp Automaation anturituotanto on toiminut Suomessa 29 vuotta eli vuodesta 1995. Tuotannossa valmistettavista antureista suurin osa on PT100-vastusantureita tai termoelementtiantureita.

Lapp Automaation lämpötila-antureiden tuotemerkki on EPIC® SENSORS. Lämpötila-anturit tuotannossa valmistetaan pääasiassa käsityönä, hyödyntäen kuitenkin uutta tekniikkaa kuten laserhitsauslaitteita. Uuden tekniikan käyttäminen parantaa lopputuotteiden laatua ja antureille pystytään antamaan viiden vuoden takuu. Lisäksi laadun varmistamiseksi jokainen anturi testataan tuotannossa ennen toimittamista.

Lapp Automaation anturituotannossa valmistetaan lämpötila-antureita eri teollisuuden aloille, kuten voimalaitoksille, koneenrakentajille ja paperiteollisuudelle. Lämpötila-antureille on 27 vakiorakennetta, joita voidaan myös muokata asiakkaiden käyttökohteisiin sopiviksi. Valikoimasta löytyy muun muassa kaapeliantureita, värinänkestäviä MI-rakenteisia antureita sekä upotettavia lämpötila-antureita suojataskuilla.

Lämpötila-antureita valmistetaan myös räjähdysvaarallisiin tiloihin soveltuvina rakenteina. Lapp Automaatiolla on siis sertifikaatit räjähdysvaarallisiin tiloihin

soveltuvien lämpötila-antureiden valmistamiseen. (EPIC® SENSORS, 21.03.2023.) Räjähdyksvaarallisiin tiloihin soveltuvia lämpötila-antureita valmistetaan räjähdyspaineen kestäväinä, varmennettuna, pölysuojaiseksi koteloituna tai luonnostaan vaarattomana rakenteena (EPIC® SENSORS - Räjähdyksvaaralliset tilat, n.d.).

Antureiden valmistuksen lisäksi tuotannossa voidaan esimerkiksi konfiguroida lämpötilalähettimeä asiakkaan mittauskohteiden perusteella sekä suorittaa lämpötila-antureille tehdaskalibrointeja. Kalibroinnit tehdään kalibrointiuuneilla ja nestehauteilla tuotannon tiloissa ja asiakas saa kalibroinnista todistuksen, joka sisältää kalibroinnista saadut tulokset. Näin saadaan komponenttien lisäksi toimitettua asiakkaalle asennusta vaille valmiita lämpötilanmittauksia. (EPIC® SENSORS - Kalibrointi, n.d.)

3 LÄMPÖTILAN MITTAUS

Lämpötilan mittaus on yksi prosessiteollisuuden yleisimmistä ja tärkeimmistä mittauksista. Monen kemiallisen prosessin toiminta perustuu lämpötilaan ja liian korkeilla lämpötiloilla voidaan saada aikaan suurtakin vahinkoa, joten lämpötilalle on tärkeää saada rakennettua oikeellinen ja luotettava mittaus. (Childs 2001, 1.)

3.1 Lämpötilan teoriaa

Lämpötila on fysikaalinen suure, joka tarkoittaa aineessa tapahtuvaa rakenneosasten liikettä. Kun liike on nopeampaa, on lämpötila korkeampi ja jos liike hitaampaa niin lämpötila matalampi. Hiukkasten ja rakenneosasten liikettä on mahdotonta havaita silmillä, joten ihminen havaitsee lämpötilan yleensä siten, kuinka kylmältä tai kuumalta jokin esine tai aine tuntuu. (Childs 2001, 1.)

Lämpötilan yksiköitä SI-järjestelmässä on kelvin K ja celsiusaste °C. Kelvin on SI-järjestelmän perusyksikkö, josta celsiusaste saadaan vähentämällä lämpötilasta 273,15 yksikköä eli kelvinin ja celsiusasteen muutos on sama. (Mäkelä, Soininen, Tuomola & Öistämö 2019, 106.) Käytössä on myös Fahrenheit asteikko, joka ei kuitenkaan ole SI-järjestelmässä, mutta yleisesti ja laajasti käytössä esimerkiksi Yhdysvalloissa. Lisäksi on olemassa muita asteikoita kuten Rankine-asteikko, joka ei kuitenkaan nykyään enää ole juurikaan käytössä. (Childs 2001, 4.)

3.2 Lämpötilan mittaustapoja

Lämpötilaa ei voida mitata suoraan vaan kaikki lämpötilanmittaukset ovat aina epäsuoria mittauksia, joissa lämpötilaa arvioidaan jonkin toisen lämpötilasta riippuvaisen suureen kuten jännitteen kautta (Fluke Corporation 1994, 5–10). Havainnoimalla lämpötilasta riippuvaisen suureen aiheuttamaa fysikaalista ilmiötä, voidaan lämpötilan suuruutta mitata. Mittauksesta saatu signaali tai arvo saadaan muutettua lämpötilaksi lämpötilasta riippuvaisten funktioiden tai laskukaavojen avulla. (Childs 2001, 16.)

Lämpötilaa voidaan mitata kosketusmittauksella tai kosketuksettomalla mittauksella. Kosketusmittauksia ovat esimerkiksi lämpötila-anturit sekä nestemittarit ja kosketuksettomia mittauksia esimerkiksi säteilyyn perustuvat infrapunalämpömittarit. Yleisimmät lämpötila-anturit perustuvat lämpötilan vaikutuksesta muuttuvan vastuksen tai jännitteen mittaamiseen. (Weckström 2005, 9.)

Kosketusmittauksessa oleellista on, että mittapää saadaan hyvään kosketukseen mitattavan aineen kanssa, minkä vuoksi lämpötila-antureista on olemassa useita eri variantteja eri käyttökohteisiin. Anturin toiminta perustuu siihen, että anturin mittapään lämpötila saadaan samaksi kuin mitattavan aineen ja näin mitataan anturin omaa lämpötilaa, jonkin suureen kuten vastuksen kautta. (Weckström 2005, 9.) Kosketusmittauksessa lämmön siirtyminen anturin mittapähän perustuu johtumiseen, eli konduktioon, jossa lämpö siirtyy kahden aineen välillä silloin kun ne ovat kosketuksissa toisiinsa. (Childs 2001, 18.)

3.3 Vastusanturit

Vastusanturilla tarkoitetaan anturityyppiä, joka perustuu sen vastusarvon muuttumiseen lämpötilan mukaan ja niistä käytetään usein lyhennettä RTD eli Resistance Temperature Detector. Vastusanturissa materiaalina voi olla teoriassa mikä tahansa johtava materiaali, mutta aineen ominaisuudet kuten johtavuus, hinta ja tuotannolliset rajoitteet rajaavat vaihtoehtoja (Childs 2001, 145). Yleisimmät vastusantureissa käytetyt materiaalit ovat platina, nikkeli, kupari ja metallioksidien seokset (Weckström 2005, 41).

Teollisuudessa yleisimmin käytetty anturityyppi on vastusmittausperiaatteeseen perustuva PT100 lämpötila-anturi. Nimensä mukaisesti PT100 vastuksen materiaali on platina ja sen vastusarvo 0°C lämpötilassa on 100 Ω. PT100-anturin vastus kasvaa lähes lineaarisesti suhteessa lämpötilaan, ja sen muutos on noin 0,39 Ω/°C. (Sarlin 1992, 41.) Tämä saadaan laskettua kaavalla

$$\frac{R_{100} - R_0}{100^\circ\text{C}} = \frac{138,51 \Omega - 100 \Omega}{100^\circ\text{C}} = 0,3851 \frac{\Omega}{^\circ\text{C}} \approx 0,39 \frac{\Omega}{^\circ\text{C}}, \quad (1)$$

jossa R_{100} eli resistanssin arvo 100°C asteen lämpötilassa ja R_0 eli resistanssin arvo 0°C asteen lämpötilassa ovat standardin SFS-EN 60751 liitteen A.1 taulukon mukaisesti R_{100} : $138,51 \Omega$ ja R_0 : 100Ω . (SFS-EN 60751 2009, 7.)

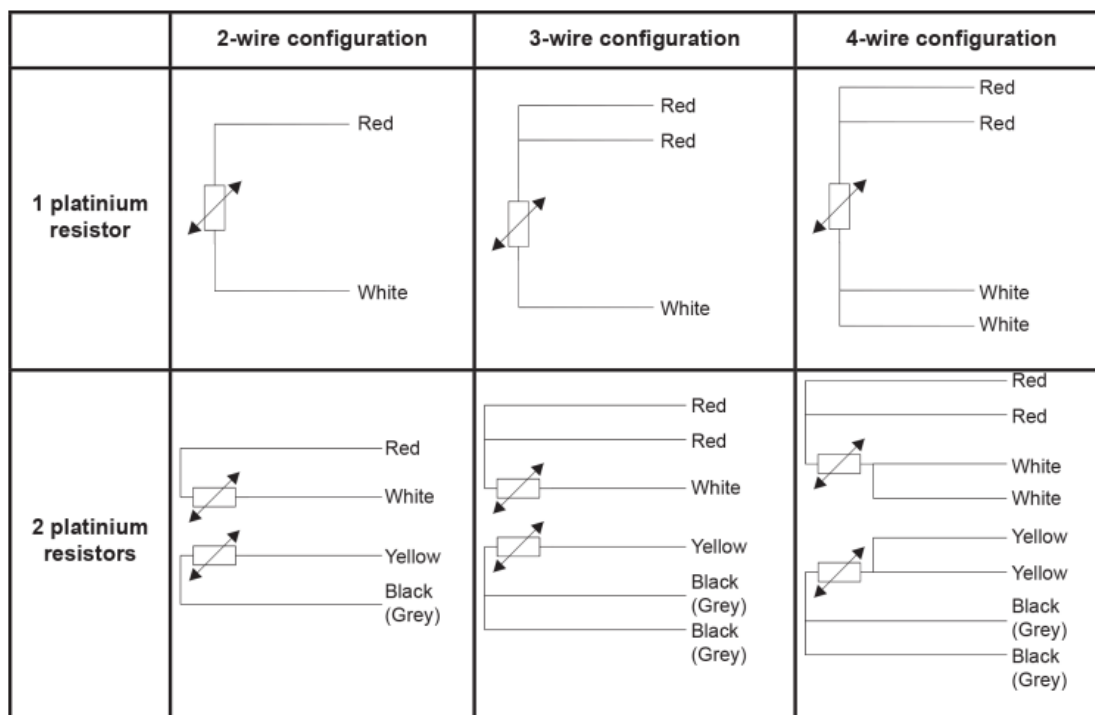
Standardi SFS-EN 60751 sisältää muun muassa vastusantureiden määritelmän, toleranssit, eristysvastukset sekä vaadittavat testaukset. PT100-antureille on määritelty tarkkuusluokat ja lämpötila-alueet missä tarkkuudet pitävät paikkansa. Tarkin luokka on AA ja muita luokkia ovat A, B ja C (Kuva 2). B - tarkkuudesta on myös olemassa vielä osa DIN tarkkuuksia (1/3 DIN, 1/10 DIN), mutta ne eivät sisälly SFS-EN 60751 standardiin vaan ovat standardisoimattomia tarkkuuksia.

Tolerance class	Temperature range of validity $^{\circ}\text{C}$		Tolerance values ^a $^{\circ}\text{C}$
	Wire wound resistors	Film resistors	
AA	-50 to +250	0 to +150	$\pm (0.1 + 0.0017 t)$
A	-100 to +450	-30 to +300	$\pm (0.15 + 0.002 t)$
B	-196 to +600	-50 to +500	$\pm (0.3 + 0.005 t)$
C	-196 to +600	-50 to +600	$\pm (0.6 + 0.01 t)$

^a $|t|$ = modulus of temperature in $^{\circ}\text{C}$ without regard to sign.

KUVA 2. Vastusantureiden tarkkuusluokat (SFS-EN 60751, 11)

Samassa standardissa SFS-EN 60751 on myös määritelty PT100-anturin kytkennät (Kuva 3). PT100 anturi voidaan kytkeä 2-, 3- tai 4-johdinkytkennällä mittaukseksi, joista 4-johdinkytkentä on kaikkein tarkin ja suositelluin käytettäväksi. 3- tai 4- johdinkytkennällä kompensoidaan kytkennän johtimien omaa vastusta, jolloin mittaus vastaa tarkemmin vain anturin omaa vastusarvoa. Näin saadaan aikaan tarkempi mittaus kuin pelkällä 2-johdinkytkennällä. (SFS-EN 60751 2009, 13.)



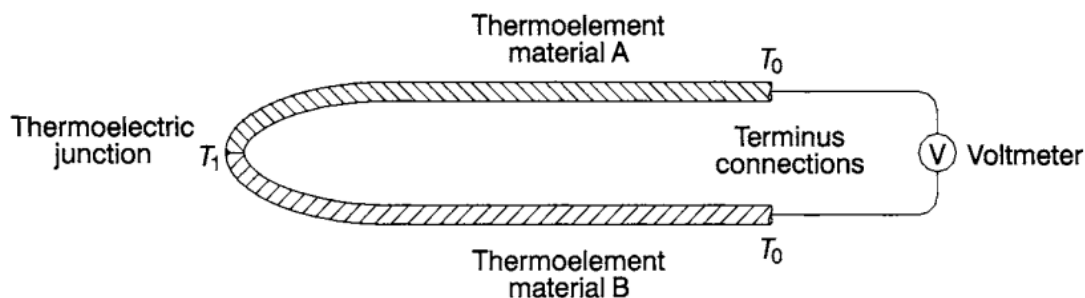
IEC

KUVA 3. PT100-Anturin johdinkytkenöt (SFS-EN-60751, 13)

PT100 anturin hyötyjä on muun muassa sen tarkkuus ja stabiilius myös pidemmän ajanjakson jälkeen (Sarlin 1992, 41). Lisäksi sen etuna on yksinkertainen ja vahva mittaussignaali, jota on helppo käyttää esimerkiksi prosessin ohjaamisessa ja tiedon valvonnassa (Childs 2001, 146). Heikkoutena on sen lämpötilankesto eli sitä ei voida käyttää niin suurissa lämpötiloissa kuin esimerkiksi termoelementtiantureita (Sarlin 1992, 41).

3.4 Termoelementti

Toinen yleinen anturi teollisuudessa on termoelementtianturi, jonka toiminta perustuu Seebeckin ilmiöön eli lämpösähköiseen ilmiöön, jossa lämpötilaero synnyttää jännitteen (Weckström 2005, 25). Lämpö materiaalissa siis aiheuttaa elektronien liikettä, joka johtaa sähkömotoriseen voimaan eli jännitteeseen (Childs 2001, 99). Termoelementtianturissa on kaksi eri sähköä johtavaa materiaalia liitettynä yhteen virtapiiriksi muodostaen samalla termoparin (TC). Liitoskohtaa (T_1 kuvassa 4) kutsutaan mittauspisteeksi tai kuumapisteksi. Termoparin toiseen pätyyn jää vapaat johtimet (T_0 kuvassa 4), jota kutsutaan vertailupisteeksi tai kylmäpisteeksi. (Weckström 2005, 26.)



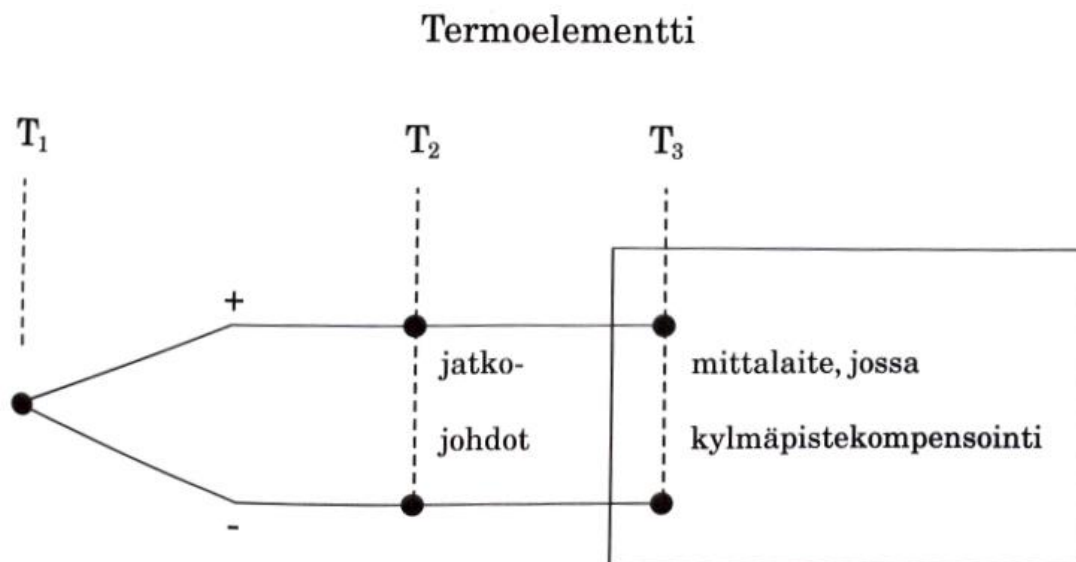
KUVA 4. Termoelementin peruseriaate (Childs 2001, 98)

Termoparin materiaalit ovat usein metalleja tai metalliseoksia ja teoriassa ne voivat olla mitä tahansa toisistaan eroavia metalleja. Kuitenkin standardit määrittelevät vain osan mahdollisista materiaalipareista termoelementtityypeiksi. (Childs 2001, 107.) Eri materiaaliparit muodostavat siis termoelementtityypit, jotka on määritelty muun muassa standardissa SFS-EN 60584. Kyseessä oleva standardi määrittelee 10 eri termoelementtityyppiä. (SFS-EN 60584, 9.) Termoelementit jaotellaan perusmetallitermoelementteihin sekä jalometallitermoelementteihin. Yksi yleisimmistä teollisuudessa käytetyistä termopareista on K-tyyppin perusmetallitermoelementtianturi, jossa materiaaleina ovat nikkelikromi- metalliseos sekä nikkeli. Lisäksi standardissa SFS-EN 60584 määritellään eri termoelementtityypeille toleranssit, laskentakaavat ja taulukot. (Weckström 2005, 28.) Käyttökohteessa termoelementtityypin valintaan vaikuttavat ominaisuudet kuten lämpötila-alue, käyttökohteen kemialliset olosuhteet sekä stabiilisuus (Childs 2001, 110).

Termoparin virtapiiriin syntynyt jännite on päiden välisen lämpötilaeron lisäksi riippuvainen myös termoparin materiaaleista (Childs 2001, 100). Syntynyt jännite on hyvin pieni ja esimerkiksi K-tyyppin termoparille NiCr-Ni se on noin $40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ (Sarlin 1992, 40). Termoelementissä lämpötila riippuu päiden välisestä lämpötilaerosta, jolloin myös vertailupisteen lämpötila täytyy olla tiedossa ja sen tulisi olla mahdollisimman vakio oikeellisen mittaustuloksen saamiseksi (Weckström 2005, 27).

Mikäli termoparin kylmäpisteen lämpötila muuttuu ja sitä ei oteta huomioon mittauksessa niin saadaan virheellinen mittaustulos. Tämän vuoksi monissa termoelementtien kanssa käytettävissä liitännäislaitteissa kuten

lämpötilalähtimissä on sisäänrakennettu kylmäpisteen kompensointi (CJC, Cold Junction Compensation), joka ottaa vertailupisteen lämpötilan tuottaman termojännitteen huomioon laskiessaan lämpötilaa. (Weckström 2005, 27.)



KUVA 5. Termoelementin kytkentä (Weckström 2005, 27)

Kuvan 5 termoelementin mittauspiirissä on käytetty jatkojohtoja mittauksen viemiseksi laitteelle. Kyseisten jatkojohtojen tulee olla standardin SFS-EN 60584-3 "THERMOCOUPLES - PART 3: EXTENSION AND COMPENSATING CABLES – TOLERANCES AND IDENTIFICATION SYSTEM" mukaisia, sillä muiden kuin samojen tai ominaisuuksiltaan samanlaisten metallien käyttö kaapelien johtimissa aiheuttaa mittauspiiriin jännitettä vääristäen mittaustulosta. (Childs 2001, 101.)

Termoelementtianturit kestävät korkeampia lämpötiloja kuin vastusanturit ja niitä käytetäänkin laajalla lämpötila-alueella noin -250°C - 2000°C . Termoelementtianturit ovat usein mittauksessa nopeampia sekä niistä pystytään tekemään kooltaan pienempiä, mutta kuitenkin hyvin kestäviä rakenteita. (Childs 2001, 98.) Termoelementtiantureille ei kuitenkaan päästä aivan yhtä hyvään tarkkuuteen kuin PT100-antureilla (Weckström 2005, 25). Moniin käyttökohteeseen termoelementin tarkkuus on kuitenkin riittävä ja se valitaan

usein sen edullisuuden, luotettavuuden sekä laajan lämpötila-alueen vuoksi (Childs 2001, 98).

4 RÄJÄHDYSVAARALLISET TILAT

Räjähdyksivaarallisena tilana pidetään ympäristöä, jossa ilman kanssa sekoittunut syttyvä aine kuten kaasu, pöly, höyry tai sumu voi aiheuttaa räjähdysten, joka leviää myös palamattomaan seokseen (Torben 2016, 7). Räjähdyksivaarallisista tiloista tai laitteista puhuttaessa käytetään usein Ex- etuliitettä laitteet englannin kielen sanan explosive eli räjähtävä mukaan.

4.1 ATEX

ATEX on lyhenne sanoista *atmosphères explosibles* ja sitä käytetään Euroopassa yleisnimityksenä, kun puhutaan räjähdysvaaralliseen tilaan soveltuvista laitteista tai koneista. ATEX voi myös viitata eurooppalaiseen lainsäädäntöön ja standardeihin, jotka käsittelevät räjähdysvaarallisia tiloja ja niihin sopivia laitteita tai järjestelmiä. (Torben 2016, 7.)

Euroopan Unionin alueella on olemassa 2 eri ATEX-direktiiviä, ATEX-olosuhdedirektiivi ja ATEX-laitedirektiivi. ATEX-olosuhdedirektiivi 1999/92/EY käsittelee vaatimuksia räjähdysvaarallisissa tiloissa työskentelylle ja ATEX-laitedirektiivi 2014/34/EU räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäviä laitteita ja järjestelmiä. ATEX-direktiiveistä tulee siis lainsäädännölliset minimivaatimukset jäsenmaille, joita on esimerkiksi laite- ja komponenttivalmistajien noudatettava.

Näiden ATEX-direktiivien pohjalta on luotu yhdenmukaistetut eurooppalaiset standardit räjähdysvaarallisiin tiloihin tai laitteisiin liittyen. Nämä standardit on vielä Suomessa vahvistettu kansallisiksi standardeiksi Suomen Standardoimisliitto SFS Oy:n toimesta. Räjähdyksivaarallisiin tiloihin liittyviä standardeja on useita kymmeniä, jotka käsittelevät muun muassa laiterakenteita, laitesuunnittelua ja tilaluokkia. (SFS, 28.11.2023.)

4.2 Tila- ja laiteluokat

Direktiivissä 1999/92/EY sekä räjähdysvaarallisiin tiloihin keskittyneissä standardeissa määritellään luokittelu räjähdysvaarallisille tiloille, josta saadaan

jokaiselle tilalle tilaluokka. Tilaluokka kertoo minkä tyyppistä ainetta tilassa on ja mikä on sen esiintyvyyden kesto. (Torben 2016, 11–12.) Kaasuille ja pölyille on omat tilaluokkansa ja Direktiivissä 1999/92/EY ne on määritelty seuraavasti (suora lainaus):

Tilaluokka 0

Tila, jossa ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodossa olevan palavan aineen muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein.

Tilaluokka 1

Tila, jossa ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodossa olevan palavan aineen muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos todennäköisesti esiintyy normaalitoiminnassa satunnaisesti.

Tilaluokka 2

Tila, jossa toisaalta ilman ja toisaalta kaasun, höyryn tai sumun muodossa olevan palavan aineen muodostaman räjähdyskelpoisen ilmaseoksen esiintyminen on normaalitoiminnassa epätodennäköistä ja se kestää esiintyessään vain lyhyen ajan.

Tilaluokka 20

Tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein.

Tilaluokka 21

Tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos todennäköisesti esiintyy normaalitoiminnassa satunnaisesti.

Tilaluokka 22

Tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostaman räjähdyskelpoisen ilmaseoksen esiintyminen normaalitoiminnassa on epätodennäköistä ja se kestää esiintyessään vain lyhyen ajan (Direktiivi 1999/92/EY)

Direktiivi ei ota kantaa siihen mitä tarkoittaa aineen esiintyminen ”satunnaisesti” tai ”jatkuvasti”, mutta esimerkiksi standardien SFS-EN 60079-10-1 ”Räjähdysvaaralliset tilat. Osa 10–1: Tilaluokitus. Kaasuräjähdysvaaralliset tilat” ja SFS-EN 60079-10-2 ”Räjähdysvaaralliset tilat. Osa 10–2: Tilaluokitus. Pölyräjähdysvaaralliset tilat” avulla voidaan tehdä tilaluokitukset. Tilaluokitus on tärkeää, jotta pystytään valitsemaan tiloille soveltuvat laitteet.

Tilaluokkien perusteella määräytyvät turvallisuusvaatimukset räjähdysvaarallisten tilojen laitteille ja järjestelmille ja näistä muodostuu laiteluokat. Laiteluokat on jaettu kahteen ryhmään ja niitä on yhteensä 5. Ensimmäisessä ryhmässä I on kaivoksiin ja kaivosten maanpäällisiin osiin tarkoitetut laitteet ja siinä laiteluokkia on 2: M 1 ja M 2. Ryhmässä II on kaikkiin muihin räjähdysvaarallisiin tiloihin tarkoitetut laitteet ja siellä laiteluokkia on 3

kappaletta: 1, 2 ja 3. (Direktiivi 2014/34/EU.) Taulukossa 1 on esitetty ryhmän II laiteluokkien käyttökohteet ATEX-laitedirektiivin mukaisesti.

TAULUKKO 1. Ryhmän II laiteluokat eri tilaluokille

Laiteluokka	Kaasutilaluokka	Pölytilaluokka
1	0	20
2	1	21
3	2	22

Huomioitavaa on, että vaikka tilaluokissa tulisi käyttää vain ja ainoastaan sinne tarkoitettuja laitteita, on joskus perusteltua käyttää esimerkiksi korkeamman vaatimustason laitetta. Usein esimerkiksi laiteluokan 2 laitteita käytetään tilaluokissa 2 ja 22, vaikka sinne riittäisi laiteluokka 3 laite. (Torben 2016, 16). Matalamman vaatimustason laitetta voidaan myös käyttää, mutta vain ja ainoastaan siinä tapauksessa, että vaaran arvioinnin sisältävässä räjähdys-suojausasiakirjassa näin määritellään. Joskus voi olla myös perusteltua käyttää luokittelematonta laitetta räjähdys-suojausasiakirjan mukaisesti. (Direktiivi1999/92/EY.)

Direktiivin 2014/34/EU määrittelemien laiteluokkien lisäksi standardi SFS-EN 60079-0 määrittelee laitteille kolme eri räjähdys-suojautasoa: a, b ja c. Räjähdys-suojautasosta käytetään lyhennettä EPL, joka tulee sanoista Equipment Protection Level. Suojaustaso a ”hyvin korkea” suojaustaso tilaluokille 0 ja 20, b on ”korkea” suojaustaso tilaluokille 1 ja 21 ja c on ”korotettu” suojaustaso tilaluokille 2 ja 22. (SFS-EN 60079-0, 27.) Laite säilyy turvallisena normaalin operoinnin aikana niin että EPL suojaustaso a sallii kaksi vikaa operoinnin aikana ja EPL suojaustaso b yhden. EPL Suojaustason c laite puolestaan säilyy turvallisena normaalin operoinnin aikana ja siinä on mahdollisesti lisäsuojaus mahdollisen vikatilanteen riskien minimoimiseksi. (Torben 2016, 48.)

4.3 ATEX-laitedirektiivi

Eurooppalaiset ATEX-standardit räjähdysvaarallisten tilojen laitteille ovat EU-Direktiivin 2014/34/EU mukaisesti laadittuja. Kyseinen ATEX-laitedirektiivi

2014/34/EU käsittelee räjähdysvaarallisten tilojen laitteiden ja suojausjärjestelmien lainsäädäntöä. Direktiivi määrittelee esimerkiksi tuotteiden vaatimustenmukaisuutta, valmistajan sekä maahantuojan velvollisuuksia sekä tuotteiden lopputarkastusta. (Direktiivi 2014/34/EU.)

ATEX-laitedirektiivin mukaan tuotteelle on annettava EU-vaatimustenmukaisuusvakuutus, josta ilmenee tuotteen olevan yhdenmukaistettujen standardien mukainen. Kyseisessä vaatimustenmukaisuusvakuutuksessa ilmoitetaan, että vaatimusten täytyminen on osoitettu ja millä tavalla. Vaatimustenmukaisuuden arviointiin laitteille kuuluu EU-tyyppitarkastus kolmannen osapuolen laitoksen toimesta. Kyseinen tyyppitarkastus tehdään laitetyyppiä edustavalle valmiille tuotteelle, joten jokaiselle myytävälle kappaleelle ei tarkastusta tarvitse tehdä. (Direktiivi 2014/34/EU.)

Lisäksi ATEX- laitedirektiivissä määritellään tuotteelle tarvittavat asiakirjat ja mahdolliset säilytysajat. Tekniset asiakirjat on säilytettävä vähintään kymmenen vuotta tuotteen markkinoille saattamisen jälkeen. (Direktiivi 2014/34/EU.)

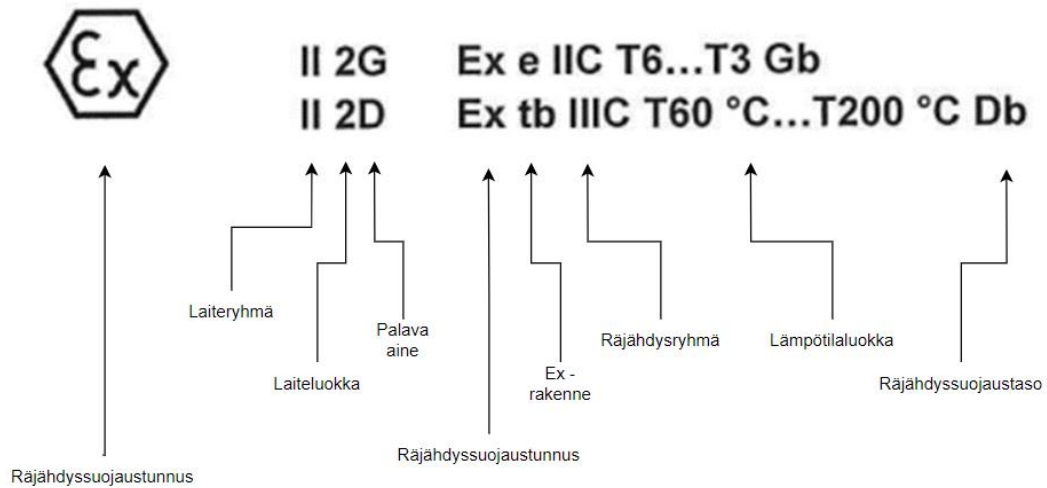
4.3.1 Räjähdyssuojauksen merkintä

ATEX-laitedirektiivi määrittelee laitteeseen tai järjestelmään vaadittavan merkinnän, jonka pitää olla pysyvä ja luettavissa oleva (Direktiivi 2014/34/EU). Kyseisestä merkinnästä tulee löytyä seuraavat asiat (suora lainaus direktiivistä 2014/34/EU):

- valmistajan nimi, rekisteröity tuotenimi tai rekisteröity tavaramerkki sekä osoite,
- CE-merkintä (ks. asetuksen (EY) N:o 765/2008 liite II),
- sarja- tai tyyppimerkintä,
- mahdollinen erän numero tai sarjanumero,
- valmistusvuosi,
- räjähdysuojauksen erityismerkintä ja laitteiden ryhmän ja luokan tunnus,
- ryhmään II kuuluvien laitteiden osalta kirjain "G" (kaasujen, höyryjen tai sumujen aiheuttamien räjähdystilojen osalta) ja/tai
- kirjain "D" (pölyn aiheuttamien räjähdystilojen osalta).

Lisäksi niissä on myös oltava, jos katsotaan tarpeelliseksi, kaikki käyttöturvallisuutta koskevat välttämättömät tiedot. (Direktiivi 2014/34/EU)

Eriyinen räjähdysuojaustunnus näkyy kuvassa 6 vasemmalla ja sen tarkoitus on nopealla vilkaisulla kertoa tuotteen olevan räjähdysvaaralliseen tilaan sopiva. Kuvassa 6 on myös selitetty räjähdysuojauksen merkinnän eri osien tarkoituksia.



KUVA 6. Esimerkki räjähdysuojauksen merkinnän Ex-tiedoista

Räjähdyssuojauksen merkinnästä nähdään, nopeasti mihin laite- ja tilaluokkaan kyseinen laite tai järjestelmä soveltuu. Kuvassa näkyvien tietojen lisäksi merkinnässä tulee siis olla jäljitettävyystiedot kuten valmistaja ja eränumero.

4.4 IECEx - Sertifiointijärjestelmä

IECEx (International Electrotechnical Commission for Explosive Atmospheres) on kansainvälinen sertifiointijärjestelmä räjähdysvaarallisten tilojen laitteille, joka perustuu kansainvälisiin IEC-standardeihin. Sertifiointilaitos myöntää tuotteelle vaatimustenmukaisuustodistuksen IECEx Certificate of Conformity, mikäli arvioi sen olevan standardien mukainen. (About IECEx n.d.) IECEx- sertifikaatin tekniset vaatimukset ovat käytännössä identtiset ATEX-vaatimuksiin, joten lähtökohtaisesti ATEX-tuotteet täyttävät jo valmiiksi IEC- standardien vaatimukset eikä IECEx- sertifikaatin hankkiminen näin ollen vaadi tuotteen muokkaamista.

Euroopassa IECEx-sertifikaatti ei ole pakollinen ATEX-sertifikaatin rinnalla, mutta ATEX on virallisesti rajoittunut vain Eurooppaan. Kyseinen IECEx- sertifikaatti todistaa tuotteen olevan kansainvälisten standardien mukainen, jolloin usein myös Euroopassa tuotteille on hyödyllistä hankkia IECEx- sertifikaatti ATEX-sertifikaatin rinnalle. Etenkin vientikaupassa IECEx- sertifikaatti on lähes aina vaatimus tuotteen vaatimustenmukaisuuden todistamiseksi, joten sen hankkiminen mahdollistaa laitteiden toimittamisen kolmansiin maihin.

4.5 Ex-rakenteita

Räjähdyksivaarallisiin tiloihin soveltuvia laitteita on saatavilla useina eri rakenteina, jotka on määritelty muun muassa kansainvälisissä IEC - standardeissa. LAPP Automaation anturituotannossa valmistetaan lämpötila-antureita kolmena eri Ex-rakenteena. Jokainen rakenne perustuu omaan standardiinsa ja rakenteet sopivat eri tilaluokkiin ja sovelluksiin.

4.5.1 Ex i - luonnostaan vaaraton rakenne

Ex i tarkoittaa luonnollisesti vaaratonta rakennetta, jossa suojaus räjähdysvaarasta perustuu mittauspiirin sähköisen energian eli virran ja jännitteen rajoittamiseen. Energian rajoittamisella estetään laitteessa sekä mittauksen johdotuksissa räjähdystä aiheuttavien ominaisuuksien kuten kipinän, valokaarien ja liian korkeiden lämpötilojen syntymistä. (Torben 2016, 48.) Ex i-laitte sopii tilaluokkiin 0, 1, 2, 20, 21 ja 22 eli se voidaan asentaa mihin tahansa tilaluokkaan.

Ex i - piirissä lämpötila-anturit luokitellaan yksinkertaiseksi sähköiseksi laitteeksi, joten siltä itseltään ei vaadita Ex-hyväksyntää. Kuitenkin Ex i piirissä mittauspiiri on vietävä Ex i - hyväksytylle liitälaitteelle kuten lähettimelle, joka on sijoitettu turvalliselle alueelle.

Standardin SFS-EN 60079-11 kohdan 13 mukaan Ex i – piirin laitteille kuten lämpötila-antureille on dokumentaatioissa ilmoitettava oleelliset sähköiset arvot. Laitteelle on ilmoitettava maksimijännite, -teho ja -virta sekä kapasitanssi ja

induktanssi mikäli ne ovat oleellisia. Näiden avulla pystytään tekemään Ex – i piirin laskelmat ja valitsemaan kaapelointipituudet niin, että ilmoitettuja arvoja ei ylitetä. (SFS-EN 60079-11, 77.)

4.5.2 Ex d – räjähdyspaineen kestävä rakenne

Ex d on kaasutilaluokille sopiva rakenne, jossa on räjähdyspaineen kestävä kotelointi. Koteloinnin tarkoituksena on estää räjähdysten siirtyminen kotelon sisältä sitä ympäröivään räjähdysvaaralliseen tilaan. Mahdollisesti räjähtävät osat siis sijoitetaan kotelon sisään ja kyseisen kotelon tulee sekä kestää räjähdyspaine, että estää räjähdysten siirtyminen kotelon sisältä ympäröivään tilaan. (Torben 2016, 48.)

Standardi SFS-EN 60079-1 määrittelee tarkasti minimi- ja maksimimittoja Ex d rakenteiselle laitteelle ja kotelolle. Siinä määritellään myös kotelolle vaadittavat testit ja niiden läpäisemiseen vaadittavat testitulosten arvot. (SFS-EN 60079-1, 16.) Ex d - kotelosta mittauspiiri voidaan viedä turvalliselle alueelle vakiolaitteelle eli kyseisen laitteen ei tarvitse olla räjähdysvaaralliseen tilaan soveltuva. (Ex db / Ex tb -rakenteiset lämpötila-anturit, n.d.)

4.5.3 Ex e – varmennettu rakenne

Ex e on kaasutilaluokille 1 ja 2 sopiva rakenne ja siitä käytetään nimitystä varmennettu rakenne. Ex e rakenteeseen sovelletaan lisävarotoimenpiteitä verrattuna vakiolaitteeseen paremman suojan varmistamiseksi. Lisätoimenpiteiden tarkoituksena on antaa lisäturvaa korkeiden lämpötilojen, valokaarien ja kipinöiden syntymiselle. (Torben 2016, 48.)

Ex e - hyväksytyltä anturilta lähtevää mittausta ei tarvitse viedä räjähdysvaaralliselle tilalle hyväksytylle laitteelle kuten Ex i - piirissä vaan se voidaan viedä vakiolaitteelle räjähdysvaarallisen tilan ulkopuolella. Mittauspiirissä tulee kuitenkin ottaa huomioon myös Ex e – rakenteen vaatimukset muun muassa kytkennälle ja kaapelille.

Standardi SFS-EN 60079-7 käsittelee Ex e- rakenteelle erityisiä vaatimuksia ja muun muassa minimimittoja laitteen tietyille osille. Kyseisessä standardissa määritellään myös laitteille vaadittavat testit ja lisäksi sertifikaattiin vaadittavat tekniset dokumentaatiot ja mahdolliset varoitusmerkinnät.

Standardin SFS-EN 60079-7 mukaan Ex e – laitteille on muun muassa johdotuksissa varmistettava, ettei johtimet pääse irtoamaan tarkoitetusta paikasta asennuksen aikana sekä varmistettava niiden paikallaan pysyminen käytön aikana. Johdotuksissa on myös varmistettava, että normaalit operaatioissa ilmenevät lämpötilamuutokset eivät vaikuta liitännän kestävyYTEEN. Standardissa määritellään myös mahdollisten kaapelikenkien tai samanlaisten laitteiden käyttöä. (SFS-EN 60079-7, 21.)

Muita vaatimuksia Ex e – laitteelle on muun muassa materiaalien lämmönkesto, jonka täytyy olla vähintään 80°C kuitenkin niin, että se on 20 K enemmän kuin käytettävä maksimilämpötila. Laitteissa on oltava myös asianmukainen maadoitus ja potentiaalın tasaus, mikäli ne ovat laitteen kannalta oleellisia. (SFS-EN 60079-7, 21.) Lisäksi esimerkiksi kaapeleilla on oltava vaadittavat ja vastusantureihin liitettävien johtimien poikkipinta-alan on oltava vähintään 1mm². Ex e – laitteessa on oltava riittävä eristys sähköosien välillä ja tarpeeksi väliä johtavien osien välillä. Kaikki mitat on määritelty standardin SFS-EN 60079-7 taulukoissa.

4.6 Tuoteturvallisuus ja jäljitettävyys

Räjähdyksvaarallisten tilojen tuotteiden, kuten muidenkin EU-alueella markkinoilla olevien tuotteiden, täytyy noudattaa Euroopan Unionin direktiiviä 2001/95/EY yleisestä tuoteturvallisuudesta. Yleisimmin kyseessä olevasta direktiivistä käytetään nimitystä tuoteturvallisuusdirektiivi.

EU:n tuoteturvallisuusdirektiivin 2001/95/EY tarkoituksena on luoda lainsäädäntö, joka varmistaa, että markkinoille päätyy vain turvallisia tuotteita. Tämän lisäksi direktiivi edellyttää toimitusketjuun kuuluvilta yrityksiltä korjaustoimenpiteitä, mikäli tuotteiden turvallisuudessa ilmenee puutteita. Näin

jokaisella toimitusketjuun kuuluvalla yrityksellä, kuten valmistajalla, jakelijalla ja maahantuojalla on velvollisuus toimia vaara- ja riskitilanteiden tullessa tietoon.

Tuotetta pidetään turvallisena, kun se joko noudattaa tuotetta koskevaa lainsäädäntöä tai täyttää vahvistettujen kansallisten standardien vaatimukset. Räjähdyksivaarallisten tilojen laitteiden tapauksessa kyse EU-alueella on ATEX-laitedirektiivin noudattamisesta. Vaikka markkinoille olisi asetettu lainsäädännön mukainen turvalliseksi todettu tuote, voidaan kuitenkin toimenpiteisiin ryhtyä, jos on havaittavissa tuotteeseen liittyvää vaaratilannetta (Direktiivi 2001/95/EY).

ATEX-laitedirektiivi määrittelee tuotteen koko toimitusketjulle jäljitettävyyden. Tuottajan eli valmistajan, maahantuojan tai jakelijan velvollisuuksiin kuuluu antaa kuluttajalle tarvittavat tiedot, jotta kuluttajat pystyvät tarvittaessa ennakoimaan mahdolliset vaaratilanteet esimerkiksi käyttökään liittyen. Valmistajan tulee varmistaa tuotteisiinsa asianmukainen merkintä, jonka avulla tuote ja sen alkuperä voidaan tunnistaa. (Direktiivi 2014/34/EU) Räjähdyksivaarallisten tilojen laitteiden tapauksessa on kyse räjähdysuojauksen merkinnästä, jonka sisältöä käsiteltiin tämän opinnäytetyön luvussa 4.3.1. Tuotteen jakelijan täytyy esimerkiksi omasta puolestaan varmistaa, että sen käsittelyllä ei ole negatiivista vaikutusta tuotteen vaatimustenmukaisuuteen. Jakelijan vastuuseen kuuluu muun muassa tuotteen oikeanmukainen säilytys ja kuljettaminen niin, ettei vaatimustenmukaisuus vaarannu sinä aikana, kun jakelija on tuotteesta vastuussa. (Direktiivi 2014/34/EU). Maahantuojan tulee huolehtia, että EU-alueen ulkopuolelta tulevat tuotteet täyttävät vaadittavan lainsäädännön ja näin ollen suorittaa vaatimustenmukaisuuden arviointimenettely ennen tuotteiden asettamista markkinoille.

Jäljitettävyyteen liittyy olennaisesti merkintä, jotta tuotteeseen liittyvän vaaratilanteen sattuessa voidaan helposti ja nopeasti selvittää mistä tuote on lähtöisin ja saadaan muut mahdollisesti vaaralliset tuotteet poistettua markkinoilta. Markkinoilta poistaminen tässä yhteydessä tarkoittaa kaikkia toimenpiteitä, joiden tarkoituksena on estää tuotteen tarjoaminen, jakelu ja esittely loppukäyttäjälle. (Direktiivi 2001/95/EY.) Edellä mainittujen toimenpiteiden lisäksi tuotteiden valmistaja voi varoittaa loppukäyttäjiä tuotteeseen liittyvistä riskeistä tai viimeisenä keinona myös järjestää

palautusmenettelyn, jonka tarkoituksena on varmistaa, että saadaan loppukäyttäjälle toimitetut tuotteet takaisin. (Direktiivi 2001/95/EY.)

Markkinoilta poistaminen tulee tehdä vaaran suuruuteen sopivassa kohtuullisessa ajassa. Markkinoilta poistamisen edellytyksenä on havainto siitä, että tuotteeseen liittyy ihmiseen, kotieläimeen tai omaisuuteen kohdistuva terveyteen tai turvallisuuteen liittyvä riski. Päätökset markkinoilta poistamiseen on perusteltava kuluttajalle kattavasti ja tiedotuksen on tapahduttava mahdollisimman nopeasti. (Direktiivi 2001/95/EY.)

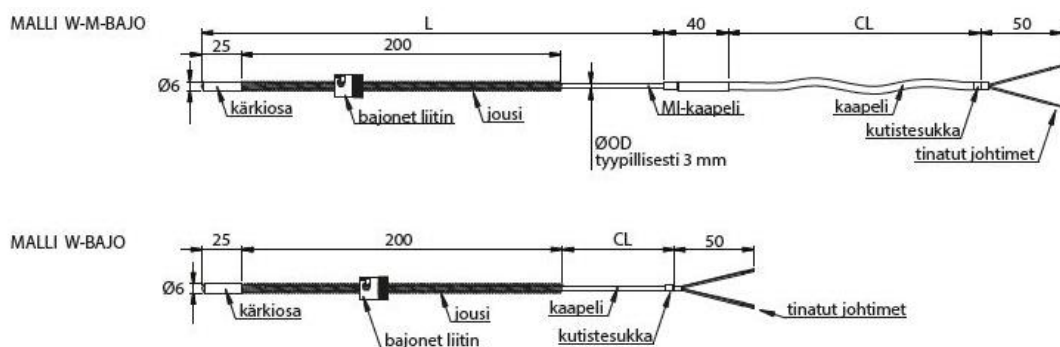
Tuotteen lisäksi yrityksessä täytyy sisäisesti olla tiedossa mistä komponenteista tuote on rakennettu, jotta niistä mahdollisesti ilmenevistä vioista voidaan myös jäljittää kaikki laitteet, joissa kyseistä komponenttia on käytetty. Talouden toimijan on varmistettava, että toimenpiteet tehdään kaikkien tuotteiden osalta, jotka liittyvät vaarallisiin tuotteisiin tai komponentteihin. Näin ollen valmistajan esimerkiksi on seurattava käytettäviä komponentteja, jotta voidaan jäljittää kyseessä olevien komponenttien erätietoja. Yrityksen on oltava tietoinen tuotteiden ja komponenttien alkuperästä sekä siitä mihin tuotteet yrityksestä päätyvät. (Tuotteiden jäljitettävyys, n.d.)

5 ANTURIEN RAKENTEET TUOTANNOSSA

Lapp Automaation anturituotannossa on 27 eri rakennetta vakio­lämpötila-antureille ja suurimmasta osasta löytyy myös räjähdysvaarallisiin tiloihin soveltuva versio Ex i, Ex d tai Ex e - rakenteena. Lopputestattavana on lähinnä kahden tyyppisiä rakenteita. MI- rakenteisia eli mineraalieristettyjä antureita sekä kaapelimallisia antureita. Lämpötila-antureissa voi olla joko 1 tai 2 vastusta tai termoparia.

5.1 Vakiorakenteet anturituotannossa

Kaapelimallisia antureita on muun muassa magneettilämpötila-anturi, bajonettilämpötila-anturi sekä pintalämpötila-anturi. Näiden antureiden rakenteen peruseräite on sama, eli jonkinlainen asennuselementti/mittapää, josta lähtee kaapeli. Kaapeliantureissa voi olla myös MI-rakenne mukana kuten kuvan 7 esimerkissä bajonettilämpötila-anturista.



KUVA 7. EPIC® SENSORS Bajonettilämpötila-anturin mittakuva (Bajonettilämpötila-anturi, n.d.)

Toiset testattavat anturit ovat sisäelementit erilaisiin suojataskuihin. Sisäelementissä voi olla vapaat johtimet kuten kuvassa 8 vasemmalla tai sitten keraaminen kytkentäpala kuten samassa kuvassa oikealla.

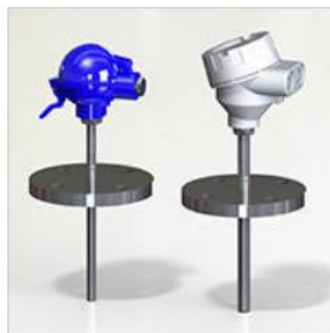


KUVA 8. EPIC® SENSORS Mineraalieristetty sisäelementti (Mineraalieristetty sisäelementti, n.d.)

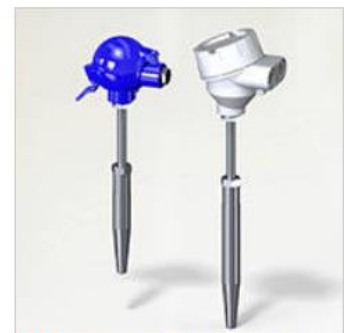
Sisäelementti on mineraalieristetty eli metalliputken sisällä kulkee johtimet magnesiumoksidijauheessa (Mitä on MI-kaapeli, n.d.). Ex – d anturiin sopiva sisäelementti eroaa hiukan vakioantureiden sisäelementistä, ja räjähdysuojan varmistamiseksi vakiosisäelementtiä ei voi Ex d – anturissa käyttää.



2 Kierteellinen lämpötila-anturi kaulaputkella ja suojataskulla



3 Laipallinen lämpötila-anturi



4 Hitsattava lämpötila-anturi

KUVA 9. Esimerkkejä suojataskuista sisäelementille (EPIC® SENSORS lämpötila-anturit, n.d.)

Kuvassa 9 näkyy erilaisia suojataskuja mihin sisäelementti voidaan asentaa. Kuvissa oikealla olevissa antureissa on Ex d – räjähdyspaineen kestävä kytkentäkoppa ja vasemmalla vakiokoppa.

5.2 Ex e – rakenteet anturituotannossa

Ex e – rakenteisiin lämpötila-antureihin tehdään tuotannossa lisätoimenpiteitä räjähdyssuojan varmistamiseksi. Tuotannossa tämä tarkoittaa esimerkiksi mineraalieristettyyn anturiin maajohtimen lisäämistä ja kaapelimallin antureissa käytetyissä kaapeleissa on metallinen häiriösuojavaippa. Lisäksi antureiden mittapäähän tehdään erityinen sähköinen eristys, joka eroaa vakioantureihin tehtävästä eristyksestä.

Lisäksi yleisinä eroina Ex e – antureissa on se, että tuotannossa niiden valmistajalla tulee olla hyväksytty koulutus ATEX – tuotteiden valmistamiseen. Käytetyt komponentit ovat kaikki myös testattuja ja niillä on aina testaus- ja materiaalitodistukset. Lisäksi kaikille käytetyille komponenteille jää seurantatieto ja sertifiointilaitos on testannut kyseiset anturimallit myöntäessään niille sertifikaatin.

6 LÄMPÖTILA-ANTUREIDEN LOPPUTESTAUS

Standardit määrittelevät lämpötila-antureille tehtävät lopputestit, minkä lisäksi räjähdysvaarallisten tilojen rakenteille on olemassa omat vaatimuksensa laitteiden lopputestauksessa. Termoelementtistandardi SFS-EN 60584 ei ota kantaa testaukseen, joten termoelementtien testauksessa käytetään monesti samoja menetelmiä, mitä vastusanturistandardi SFS-EN 60751 määrittelee.

6.1 Toiminnallinen testaus

Toiminnallinen testaus tarkoittaa lämpötila-anturin testausta, jonka tarkoituksena on varmistaa, että lämpötila-anturi toimii ja näyttää oikeaa lämpötilaa riittävällä tarkkuudella. Toiminnallisen testauksen tarkoituksena ei ole määrittää anturille tarkkuutta, joten yleensä riittää, että testattava anturi näyttää suurin piirtein oikeaa lämpötilaa. Toiminnallisessa testauksessa varmistetaan myös, että lämpötilan muuttuessa myös anturin näyttämä tulos muuttuu oikeaan suuntaan, sillä esimerkiksi termoelementtian turin väärin kytkeminen voi aiheuttaa anturin näyttämän lämpötilan muuttumiseen virheelliseen suuntaan. Toiminnallisen testauksen tarkoituksena on todeta anturin toimivan oikein, ottamatta sen suurempaa kantaa sen laatuun.

Kaikille vastusantureille toiminnallinen testaus tulee tehdä vähintään yhdessä mittapisteessä, joka on -5°C ja 30°C asteen välillä. Vastusantureita käsittelevä standardi SFS-EN 60751 suosittelee testaamista 0°C asteen lämpötilassa, mutta huoneenlämpötilassa testaaminen on myös hyväksyttävä testauslämpötila. Lisäksi standardi SFS-EN 60751 määrittelee, että tarkimpien luokkien anturit tulisi testata yhdessä lisäpisteessä, jolloin testauspisteitä olisi aina vähintään kaksi. Kuitenkin standardin kohdassa 6.2.1 mainitaan, että on sallittavaa testata anturit myös vaihtoehtoisella tavalla, kunhan vaatimukset anturille täyttyvät sekä loppukäyttäjää on tiedotettu testauksen epävarmuudesta.

6.2 Eristysvastusmittaus

Eristysvastus kuvaa laitteen eristyksen laatua ja sen kykyä minimoida vuotovirtaa. Eristysvastuksen arvo tämän vuoksi tulee olla korkea ja sen suuruus riippuu muun muassa eristeen paksuudesta ja johtimen pinta-alasta. (IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery, 3.) Eristysvastuksen mittaus on hyvin yleinen ja tärkeä sähkölaitteiden huolto- ja tarkistustoimenpide, sillä se kertoo yleisesti laitteen laadusta ja kunnosta. Huono eristysvastus voi aiheuttaa vaaratilanteita ihmiselle tai laitteistolle.

Eristysvastusmittauksessa anturin johtimien ja suojavaipan välille syötetään jännitettä ja samalla mitataan vuotovirtoja. Eristysvastus mitataan käyttäen asianmukaista mittalaitetta ja mittauksessa käytetään tasajännitettä tai vaihtojännitettä sovelluksen mukaan.

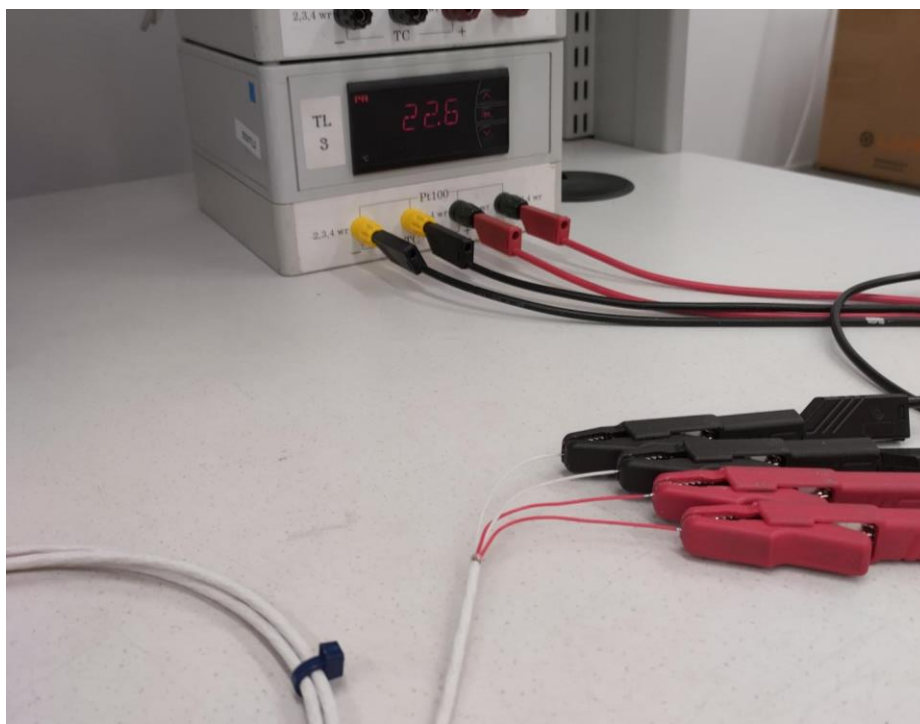
Standardin SFS-EN 60751 kohdan 6.3.1 mukaan RTD-antureista on mitattava eristysvastus huoneenlämpötilassa käyttäen minimissään 100 V tasajännitettä ja tuloksena eristysvastuksen tulee olla vähintään 100 M Ω . Tuotannossa eristysvastusmittaus tehdään 500 V tai 1000 V jännitteellä riippuen anturin halkaisijasta. Jännitteet määrittelee mineraalieristettyjä termopareja käsittelevä standardi SFS-EN 61515. Myös Ex i – ja Ex d – rakenteisille lämpötila-antureille sovelletaan kyseisen standardin mukaisia eristysvastuksen mittausperiaatteita. Ex e – rakenteiselle lämpötila-anturille puolestaan sovelletaan Ex e – standardin SFS-EN 60079-7 mukaisia testausperiaatteita. Kyseisen standardin kohdassa 6.1 määritellään, että Ex e – laitteen, jonka käyttöjännite on alle 90 V, eristysvastuksen mittauksessa tulee käyttää vaihtojännitettä, jonka tehollisarvo on 500 V. Lämpötila-antureille siis sovelletaan 500 VAC testausjännitettä tämän kohdan mukaisesti.

7 NYKYINEN TESTAUSPROSESSI JA SEN KEHITTÄMINEN

Nykyisin Lapp Automaation anturituotannossa on eri menetelmät vakioantureiden sekä Ex i – ja Ex d - antureiden ja Ex e - antureiden testaukselle. Tarkoituksena on luoda Ex e – antureille uusi standardin mukainen testausprosessi vakioantureiden testauksen pohjalta, mutta myös samalla pohtia vakioantureiden testauksen kehittämistä muun muassa kytkennän ja referenssianturin suhteen. Vakioantureiden testausprosessin kehityskohteita käytetään hyödyksi myös Ex – testausprosessin suunnittelussa.

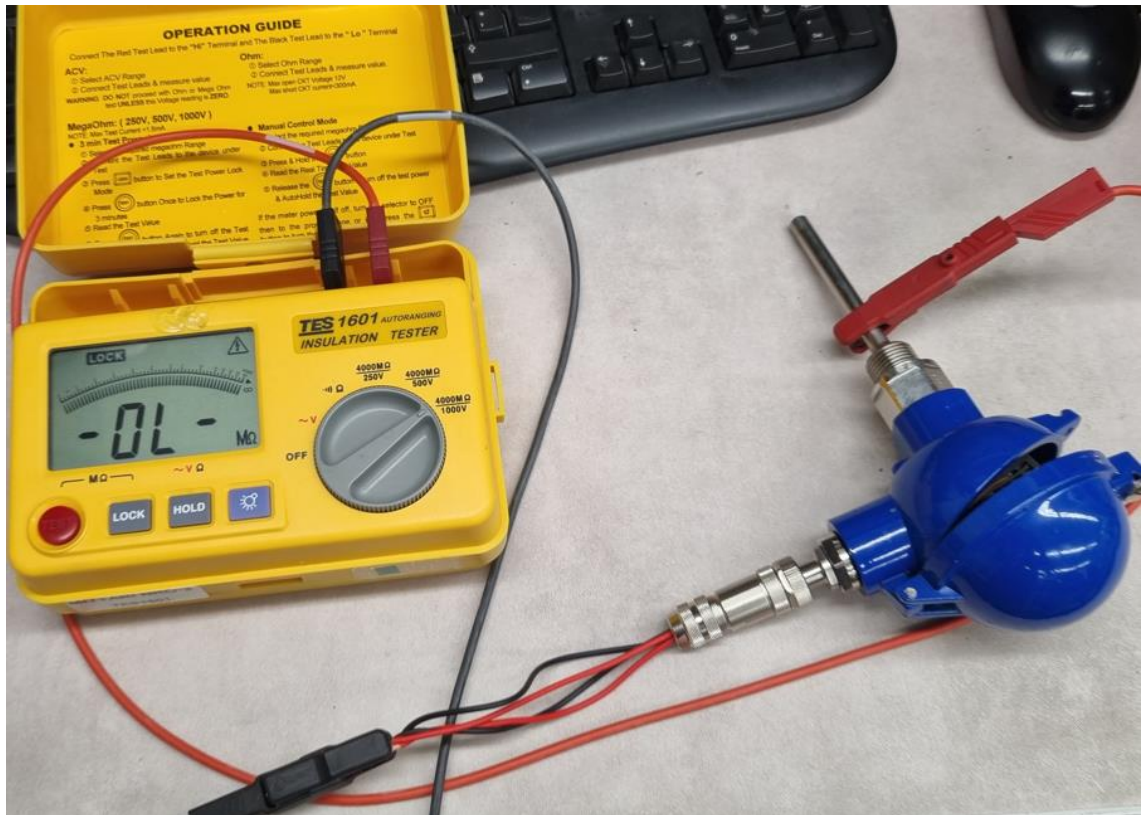
7.1 Nykyinen testausprosessi Ex – antureille

Nykyisin Ex – anturit testataan käsin niin, että ensin tehdään toiminnallinen testaus kytkemällä anturi kiinni PR Electronicsin valmistamaan näyttöön 5714, josta valitaan oikea tulotieto (RTD, TC yms.) sekä kytkentä. Tietojen perusteella laite laskee näytöllä näytettävän lämpötilan. Kuvassa 10 on esimerkkinä testattavana PT100- anturi 4-johdinkytkenällä. Mikäli anturissa on 2 vastusta tai termoparia, testataan ne erikseen.



KUVA 10. Ex – antureiden toiminnallinen testaus

Lisäksi antureille tehdään eristysvastusmittaus tasajännitteellä kytkemällä anturi kiinni TES-1601 eristysvastusmittariin (Kuva 11). Tämä on manuaalinen ja hidas tapa testata isoja eriä antureita.



KUVA 11. Eristysvastuksen mittaaminen TES-1601 eristysvastusmittarilla

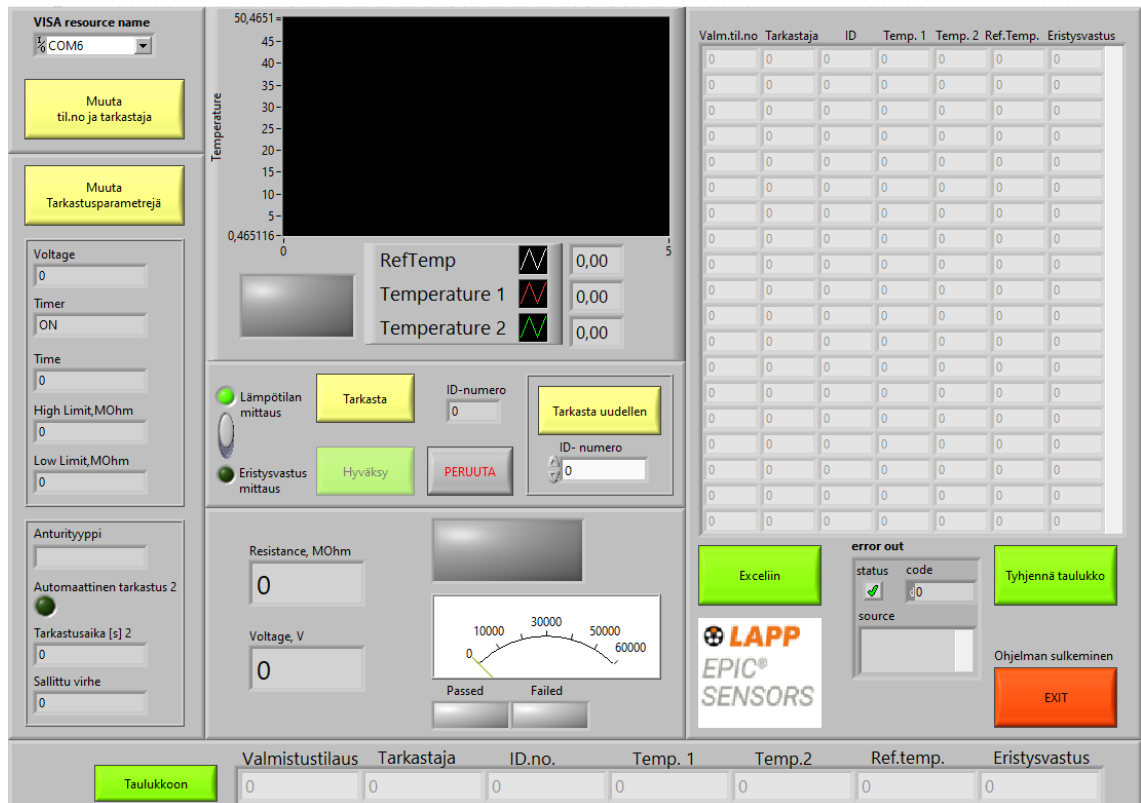
Nykyisin Ex – testauksesta ei automaattisesti jää järjestelmään mitään tietoja, vaan seurantaan ainoastaan manuaalisesti kuitataan kaiken olevan ok, mikäli anturi on läpäissyt testit. Tarkoituksenmukaista olisi kirjata saadut antureiden eristysvastusten arvot sekä toiminnallisten testien tulokset ylös, jotta ne ovat saatavilla tulevaisuuden tarpeen varalle. Mittaustulosten kirjaaminen yksitellen manuaalisesti on kuitenkin työläs sekä runsaasti aikaa vievä menetelmä, joten uudessa prosessissa tietojen kirjaus on tarkoitus toteuttaa automaattisesti kuten vakioantureiden testausprosessissa.

7.2 Nykyinen testausprosessi vakioantureille

Vakioantureille tehdään standardien mukaisesti toiminnallinen testaus sekä eristysvastusmittaus käyttäen tasajännitettä. Molemmat testaukset tehdään testausohjelmalla, joka on luotu LabVIEW-ohjelmointiympäristöllä (Kuva 12).

Kyseisessä ohjelmistossa on myös automaattinen testaustulosten tallennus yrityksen palvelimelle.

Nykyisessä testausohjelmiston käyttöliittymässä on käytetty sekaisin suomea ja englantia, joten myös tämä halutaan uudessa ohjelmistossa yhdenmukaistaa. Toistaiseksi kieleksi valittiin suomi, mutta tulevaisuudessa pohditaan esimerkiksi kielen valintaa, jotta testausohjelmisto olisi laajemmin saavutettavissa.



KUVA 12. Vakioantureiden testausohjelmiston pääkäyttöliittymä

Vaikka vakioantureiden testausta varten on yksi ohjelmisto, täytyy kytkentöjä kuitenkin muuttaa toiminnallisen testauksen sekä eristysvastusmittauksen välillä. Anturit kytketään testausohjelmistoon National Instruments mittauskorttien kautta ja eristysvastusmittauksessa käytetään Fineron Quanti I mittalaitetta (Kuva 13).



KUVA 13. Fineron Quanti I – eristysvastusmittari

7.3 Referenssianturi

Vakioantureiden testauksessa referenssianturi on PT100 lämpötila-anturi, joka on tarkastuspisteellä ilmassa mittaamassa huoneenlämpötilaa (Kuva 14). Referenssianturin mittapää on messinkiä ja siinä on 4-johdinkytkentä. Kyseinen anturi näyttää testausohjelmistossa lämpötilaa käyränä, sekä arvona, joten testattavan anturin näyttämää lämpötilaa voidaan helposti verrata referenssianturin näyttämään lämpötilaan.



KUVA 14. Referenssianturi tarkastuspisteellä

Kun uuteen Ex -testausprosessiin tulee myös referenssianturi niin tarkoituksena olisi samalla pohtia, onko referenssianturin paikka sopiva ja kuinka paljon testattavien antureiden näyttämä lämpötila saa erota referenssianturin näyttämästä lämpötilasta. Tuotannossa on myös havaittu, että referenssianturin näyttämässä lämpötilassa on jonkin verran heittoa esimerkiksi testauspisteelle tulevien mahdollisten ilmavirtauksien vuoksi. Referenssianturi on siis ilmassa testauspisteellä ja lähdettiin tutkimaan, olisiko lämpötila vakaampi, jos se olisi esimerkiksi kiinnitettynä pöytään testauspisteellä.

Referenssianturin paikkaa tutkittiin testauspisteellä useammalla eri mittauksella. Mittauksissa referenssianturin lukemaa verrattiin yhteen tai kahteen PT100 kaapelianturiin, jotka olivat kytkettynä testausohjelmaan. Kyseisissä PT100 antureissa oli 4-johdinkytkentä, sillä huoneenlämpötilaa mitattaessa sillä saatiin aikaiseksi kaikkein tarkimmat mittaukset.

Testauspisteestä noin 1,5 metrin päässä sijaitsee ilmastointilaitte, jonka puhallus havaittiin tehdessä mittauksia testauspisteellä. Ilmavirrat havaittiin lämpönä ja tuulena, mutta myös antureiden näyttämistä lukemista huomasi ilmavirtojen vaikutuksen. Laitteen puhaltaessa lämmintä ilmaa, nousi antureiden näyttämät lämpötilat herkästi ylöspäin. Ideaalista olisi, jos testauspisteen saisi suojaan ilmastointilaitteen puhallukselta, mutta kyseisessä tilassa se ei ole mahdollista. Referenssianturin havaittiin reagoivan herkemmin puhallukseen, mutta se myös materiaalinsa vuoksi jäähtyy kaikista hitaimmin.

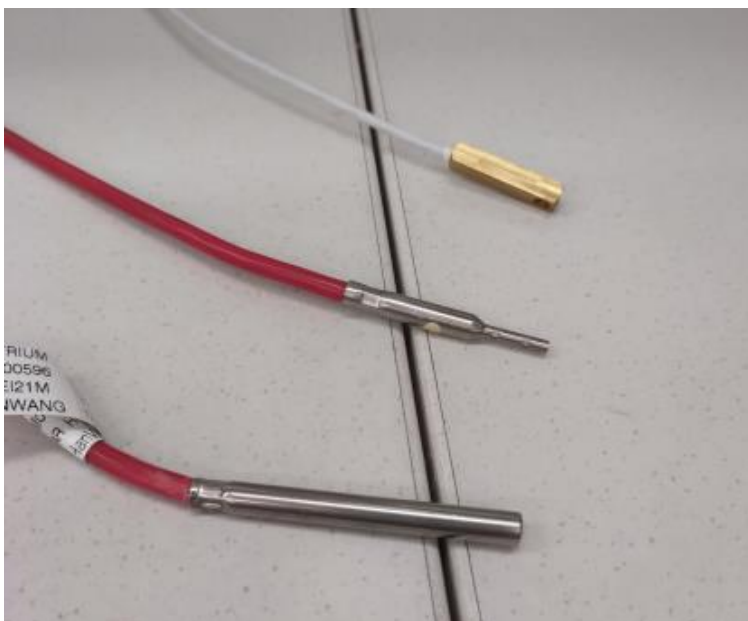
Ensin tutkittiin lämpötilanmittauksien käyttäytymistä nykyisellä järjestelyllä eli kun referenssianturi oli ilmassa ja testattava anturi pöydällä. Mittauksesta huomattiin, että eroa testattavan anturin ja referenssianturin välillä oli ajoittain jopa 2°C. Testattiin myös lämpötilojen käyttäytymistä, kun referenssianturi ja testattava anturi ovat ilmassa. Tällöin lämpötilat olivat lähempänä toisiaan, mutta niiden arvo vaihteli hyvin herkästi, kun testauspisteelle tuli ilmavirtauksia. Lisäksi kaikkia testattavia antureita ei saa järkevästi mittaamaan ilmaa samasta kohdasta.

Seuraavaksi referenssianturi siirrettiin pöydälle metallipalkin taakse suojaan ilmavirtauksilta kuvan 15 mukaisesti ja odotettiin lämpötilan vakiintumista.



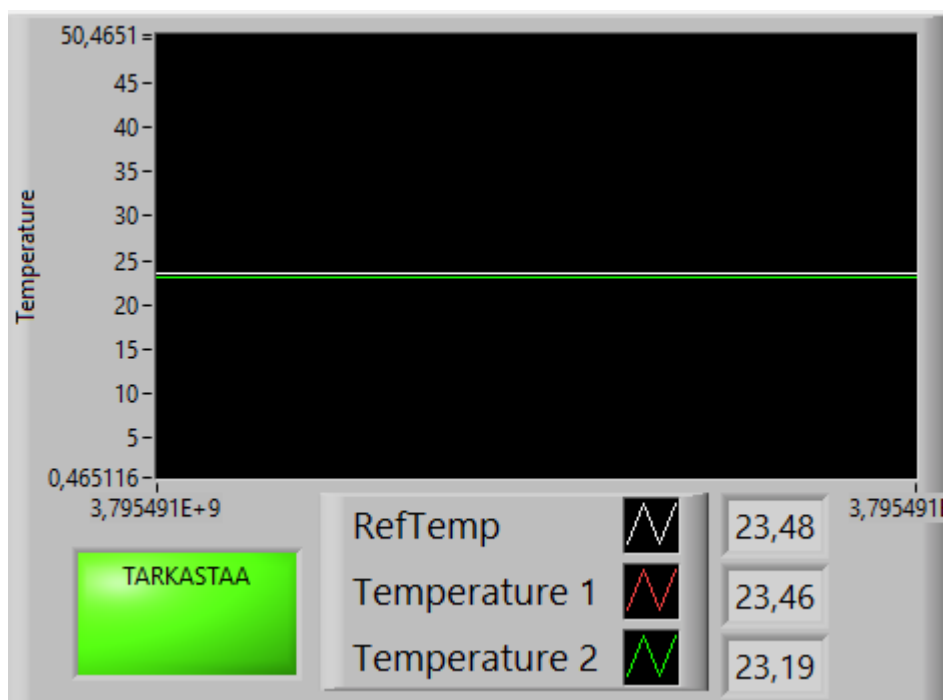
KUVA 15. Referenssianturi palkin takana

Huomattiin, että antureiden näyttämien lämpötilojen ero ei tässäkään ollut suuri. Havaittiin kuitenkin, että referenssianturin näyttämä lämpötila oli nyt pienempi kuin testattavan anturin kun aiemmin tilanne oli päinvastainen. Testattavien antureiden lämpötila nousi ilmavirtojen vaikutuksesta mittauksen aikana, mutta referenssianturissa ei havaittu samaa muutosta. Tämän vuoksi kokeiltiin vielä referenssianturin siirtämistä pois palkin takaa testattavien antureiden viereen (Kuva 16).



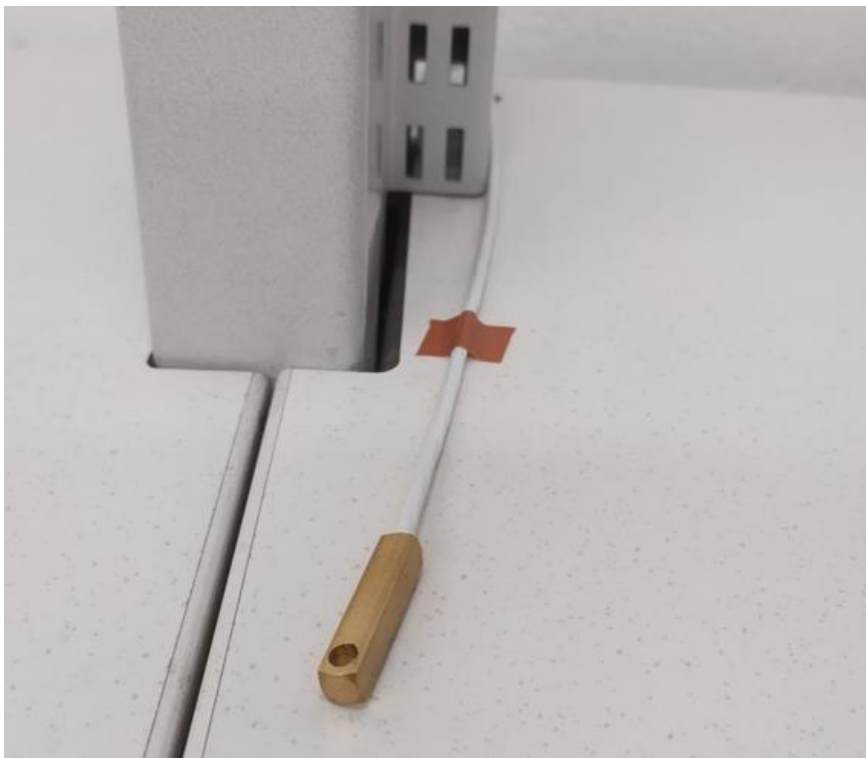
KUVA 16. Referenssianturi pöydällä testattavien antureiden vieressä

Tässä mittauksessa testattavien antureiden näyttämät lukemat erosivat referenssianturista $0,02^{\circ}\text{C}$ ja $0,29^{\circ}\text{C}$ verran (Kuva 17). Tämä on tehdyistä mittauksista kaikkein tarkin tulos, ja testauspisteelle tuleva lämmin ilmavirtaus ei kasvattanut eroa suuresti. Ilmavirtauksen vaikutuksesta kaikkien antureiden näyttämät lämpötilat muuttuivat samaan suuntaan.



KUVA 17. Mittaustulokset kun referenssianturi pöydällä testattavien antureiden vieressä

Tutkimuksien perusteella todettiin, että referenssianturin näyttämä lämpötila oli kaikkein vakain, kun se oli testauspöydällä mahdollisimman lähellä testattavia antureita. Lisäksi referenssianturin ja testattavien antureiden ollessa vierekkäin, oli lämpötilaero aina pienempi kuin silloin kun ne olivat kaukana toisistaan. Ideaalitulanteessa referenssianturi olisi siis aina testattavien antureiden välittömässä läheisyydessä. Referenssianturin ei kuitenkaan haluta olevan testattavien antureiden tiellä, joten se kiinnitettiin pöytään testauspisteen kulmaan, kuitenkin niin, että mittapää ei ole palkin takana kuvan 18 mukaisesti.



KUVA 18. Referenssianturin uusi paikka

Saatuja tuloksia käytetään myös hyödyksi, kun uuteen Ex – testausprosessiin pohditaan referenssianturin paikkaa. Tutkimuksien perusteella referenssianturin paikan tulisi olla mahdollisimman lähellä testattavia antureita, kiinnitettynä testauspöytään ja suojassa erityisiltä ilmvirtauksilta. Ex – testausprosessiin kannattaa myös ehdottomasti ottaa referenssianturiksi 4-johtiminen PT100 anturi ja mahdollisesti erilaisella mittapään materiaalilla. Materiaaliksi voisi ottaa esimerkiksi ruostumattoman teräksen AISI 316L, joka on vakiotoimitusmateriaali esimerkiksi tuotannossa valmistettaville kaapeliantureille.

7.3.1 Mittauskorttien tarkkuus

Referenssianturin paikkaa tutkiessa huomattiin myös, että mittauskorttien eri kanavat näyttävät hieman eri tuloksia. Eroa testattiin tarkemmin kytkemällä sama anturi kahteen eri kanavaan ja vertaamalla tuloksia. Tuloksena kanavassa 1 lämpötilan lukema oli 23,10°C ja kanavassa 2 se oli 23,20°C. Tehdyissä mittauksissa kanavien välillä oli siis jopa 0,1°C ero. Mittaus tehtiin muutaman kerran uudestaan ja erot olivat silloinkin samaa luokkaa. Mittauskortille ei siis pyritty kokeellisesti määrittämään tarkkuutta vaan haluttiin käytännössä havainnoida mittauskorteissa esiintyvää epätarkkuutta. Virhettä testattiin myös siten, että kytkettiin anturi nykyisessä Ex - testauksessa käytettävään PR Electronics näyttöön 5714, jonka tarkkuudeksi on ilmoitettu ±0,2°C. Ohjelmassa anturi näytti 22,23°C lämpötilaa ja näytössä 22,6°C. Virherajat huomioiden on kanavassa silti noin 0,2°C ero todelliseen lämpötilaan.

National Instruments itse ilmoittaa kyseiselle RTD – mittauksissa käytettävälle analogiatulokortille (NI 9217) tyypilliseksi virheeksi huoneenlämpötilassa ±0,15°C 4 - johdinkytkennälle ja ±0,20°C 3 - johdinkytkennälle. Maksimivirheeksi 4 - johdinkytkennälle ilmoitetaan ±0,35°C ja 3 - johdinkytkennälle ±0,5°C. Tämän vuoksi testattavilta antureilta ei voi vaatia ainakaan edellä mainittuja virheitä suurempaa tarkkuutta. Ottaen huomioon vielä sen, että 4 - johtiminen referenssianturi on myös kytkettynä mittauskortin kanavaan, saadaan mittauskortin aiheuttamat lämpötilaeron maksimivirheet laskettua.

$$\pm 0,35^{\circ}\text{C} + \pm 0,35^{\circ}\text{C} = \pm 0,70^{\circ}\text{C} \text{ (4 - johdinkytkentä)} \quad (2)$$

$$\pm 0,50^{\circ}\text{C} + \pm 0,35^{\circ}\text{C} = \pm 0,85^{\circ}\text{C} \text{ (3 - johdinkytkentä)}$$

Termoelementtitulokortin NI9211 tyypilliseksi virheeksi ilmoitetaan ±0,6 °C ja maksimivirheeksi ±1,30°C. Maksimivirhe referenssianturin ja testattavan termoelementtian turin lämpötilojen erotukselle on siis ±1,65°C kaavan 3 mukaisesti.

$$\pm 0,35^{\circ}\text{C} + \pm 1,30^{\circ}\text{C} = \pm 1,65^{\circ}\text{C} \quad (3)$$

Taulukossa 2 on vielä koottuna maksimivirheet eri anturityypeille ja kytkennöille. PT100 2 – johdinkytkennälle virhettä ei ole ilmoitettu, mutta niiden valmistus tuotannossa on myös paljon harvinaisempaa kuin 3 – tai 4 – johtimisten antureiden. Niissä ei ole myöskään kaapelin resistanssin kompensointia, joten niillä saadaan muutenkin epätarkempia mittauksia, eikä muutamankaan asteen tarkkuus ole niissä käyttökohteissa usein oleellista.

TAULUKKO 2. Mittauskortin kanavien maksimivirheet mittauksessa

Anturityyppi	Maksimivirhe (°C)
PT100, 3-johdin	0,85
PT100, 4-johdin	0,70
Termoelementti	1,65

Uuteen sovellukseen suunniteltiin tehtäväksi visuaalinen varoitus, mikäli ero referenssianturin ja testattavan anturin näyttämässä lämpötiloissa on liian suuri. Näin tuotannon työntekijät voivat käyttää myös omaa harkintaa siinä hyväksytäänkö suuri lämpötilaero vai ei. Edellisten mittauskorteista johtuvien maksimivirheiden sekä referenssianturille suoritettujen mittauksien perusteella rajaksi päätettiin 2°C. Pahimmassa tapauksessa pelkästään mittauskorteista tuleva virhe on ±1,65°C, joten siksi raja päätettiin laittaa sen yläpuolelle. Rajan tulisi kuitenkin olla mahdollisimman pieni, jotta tuotannossa huomattaisiin pienemmätkin poikkeamat ja antureiden laatua pystytään seuraamaan tehokkaasti.

7.4 Testauslämpötila

Vakioantureiden testausprosessissa toiminnallinen testaus suoritetaan siis yhdessä lämpötilassa, joka on huoneenlämpötila. Tämä on riittävä testaus vedoten standardin SFS-EN 60751 kohdan 6.2.1 mainintaan vaihtoehtoisesta mittaustavasta, mutta haluttiin silti pohtia suositellun 0°C testauslämpötilan hyötyjä, haittoja sekä toteutettavuutta.

Monesti testattavat anturit tuodaan suoraan tuotannon puolelta testauspisteelle, joten niiden lämpötila voi poiketa referenssianturin näyttämästä lukemasta jopa 5 °C asteen verran. Tämä johtuu siitä, että tuotannossa anturit ovat lämpölevyllä

kuivumassa, joten niiden lämpötila on huoneenlämpötilaan verrattuna koholla. Ohjeistuksena on antaa antureiden jäähtyä huoneenlämpötilaan ennen testaamista, mutta monesti se ei ole kustannustehokasta, kun antureita tuotannossa valmistuu useampi sata päivässä.

Pohdittiin mahdollisuutta hankkia testauspisteelle esimerkiksi jäähaude, johon testattavat anturit upotettaisiin. Jäähauteen etuna olisi vakaa referenssilämpötila sekä antureiden nopeampi jäähtyminen ilmaan verrattuna. Haasteena kuitenkin nousee esiin antureiden suuret eräkoot, joten kaikki erän anturit eivät aina välttämättä kerralla mahtuisi jäähauteeseen jäähtymään. Tämän vuoksi testausvaiheessa joutuisi useamman kerran siirtelemään antureita ja odottamaan niiden jäähtymistä, mikä laskisi kustannustehokkuutta. Lisäksi joidenkin valmistettavien antureiden pituus voi olla jopa 20–50 metriä, jolloin niiden laittaminen jäähauteeseen tarkoituksenmukaisella tavalla saattaa olla mahdotonta tai vähintäänkin haastavaa. Haasteena on myös se, että etenkin termoelementtiantureiden testauksessa tärkeää on testata, muuttuuko anturin näyttämä lämpötila oikeaan suuntaan lämpötilan muuttuessa. Tällöin termoelementtianturit pitäisi nostaa pois jäähauteesta samalla kun ne ovat kytkettynä testauslaitteistoon, jotta lämpötilan muuttuminen oikeaan suuntaan voidaan todeta.

Ottaen huomioon jäähauteen käyttämisestä saatavat hyödyt ja haitat, voidaan todeta, että sen käyttäminen testausprosessissa ei ole ratkaisevaa, kun kyseessä on anturien toiminnallinen testaus. Toiminnallisessa testauksessa ei ole tarkoituksena määrittää antureille tarkkuutta vaan todeta niiden toimivuus. Kaikkia tuotannon antureita ei voisi sillä testata ja loppujen lopuksi saatava hyöty ei olisi nykyiseen testausprosessiin verrattuna merkittävä. Testaamista jäähauteessa ei kuitenkaan pidetä huonona ajatuksena esimerkiksi toimitettavien antureiden laadun varmistamisen kannalta, mikäli se joskus halutaan toteuttaa.

Uuden Ex- antureiden testausprosessin suunnitelmaan ei jäähaudetta lisätty, sillä huoneenlämpötilan voidaan todeta olevan riittävä tuotannon tarpeisiin. Päätöstä tukee vuosien kuluessa toimivaksi todettu tapa testata antureita huoneenlämmössä. Anturien rakenteet ja toimintaperiaatteet on säilyneet muuttumattomina, joten senkään vuoksi ei ole perusteltua vaihtaa

testauslämpötilaa. Kuitenkin tehtyjen tutkimusten, sekä pohdinnan perusteella voidaan todeta, että antureiden jäähtyminen huoneenlämpötilaan on testauksessa eriarvoisen tärkeää. Tätä varten testausohjeistuksiin kirjataan erillinen vaatimus lämpötila-antureiden jäähtymisestä ennen lopputestausta. Tätä tukee myös testausohjelmaan tehtävä varoitus lämpötilaerosta.

7.5 Kytkentä

Tuotannossa testaamista hidastaa jokaisen anturin kytkeminen kahteen kertaan, kun eristysvastusmittaus sekä toiminnallinen testaus tehdään eri kytkennöillä. Pohdittiinkin olisiko mahdollista tehdä yksi kytkentä, jolla voitaisiin mitata sekä eristysvastus, että tehdä toiminnallinen testaus. Toiminnallisessa testauksessa jokainen anturin johdin on kytkettävä erikseen, kun taas eristysvastusmittauksessa on tärkeää, että mittaus saadaan samanaikaisesti jokaisen johtimen ja anturin eristeen läpi.

Käytännössä tämä tarkoittaisi esimerkiksi releiden käyttöä mittasignaalien erottamisessa ja yhdistämisessä. Haasteena kuitenkin on eristysvastusmittauksessa käytettävä suuri jännite, mikä antaa suuret vaatimukset käytettävälle releelle. Lisäksi releen tulisi kestää sekä tasa- että vaihtovirtaa. Releen oma vastus ei voisi olla kovin suuri, sillä mitattavat virrat ovat pieniä ja mittaustulokseen ei haluta virhettä. Työn toteuttamisen aikana, sopivia tuotteita kytkennän uudelleentoteuttamiseen ei löydetty ja kytkennät toteutetaan samalla tavalla kuin vakioantureiden testausprosessissa.

7.6 Jäljitettävyyden kehittäminen

Räjähdysvaarallisten tilojen laitteille jäljitettävyys on erittäin tärkeää, sillä mahdolliset turvattomat tuotteet voivat aiheuttaa suuria riskejä liittyen terveyteen ja omaisuuteen. Nykyinen Ex - tuotteiden jäljitettävyys on Lapp Automaation anturituotannossa erittäin hyvällä tasolla, sillä kaikki komponentti- ja myyntitiedot kirjataan ylös yrityksen käytössä olevalle palvelimelle. Tiedot kirjataan kattavasti ja muun muassa yrityksen tietoon jää käytettävien komponenttien kuten kaapeleiden ja kytkentäkoppien erätiedot. Tiedot ovat helposti kaikkien yrityksen

työntekijöiden löydettävissä ja niihin päästään nopeasti käsiksi mahdollisten riskituotteiden tullessa yrityksen tietoon.

Eri rakenteille on tällä hetkellä olemassa erilliset seurantataulukot, ja pohdittiinkin, olisiko mielekästä yhdistää kaikki rakenteet samaan tiedostoon, jotta esimerkiksi tietojen etsiminen olisi helpompaa. Tässä tapauksessa riskiin tai vaaratilanteeseen liittyvän myyntitilausnumeron tullessa tietoon, olisi etsittävä tieto nopeasti saatavilla yhdessä paikassa. Haasteena tässä on kuitenkin se, että eri Ex – anturirakenteista tallennetaan eri tietoja, sillä niissä käytetään eri komponentteja. Tästä syystä yhtä tiedostoa on hankala saada rakenteeltaan järkeväksi ja se voisi tehdä jäljitettävyystietojen kirjaamisesta haastavampaa. Tavoitteena ja vaatimuksena on kuitenkin nopea ja luotettava jäljitettävyyssprosessi, joten toistaiseksi tiedostojen yhdistämistä ei nähdä järkevänä.

Isoimpana haasteena jäljitettävyydessä ja anturien laadun seurannassa on kuitenkin kirjatun datan puuttuminen lopputestausprosessista. Hyödyllistä olisi, jos mittaus tulokset saisi automaattisesti tallennettua. Tällä hetkellä Ex – antureiden testaamisesta ei jää mitään jälkeä, joten uudessa testausohjelmistossa yhtenä vaatimuksena on kehittää tietojen automaattinen tallennus palvelimelle. Näin saadaan tärkeää dataa esimerkiksi antureiden laadun seurantaan.

8 TESTAUSPROSESSIN LAITTEISTOKOKOONPANON SUUNNITTELU

Eristysvastusmittausta varten uudeksi laitteeksi valittiin Finero Quanti HI 10 – eristysvastusmittari. Kyseinen eristysvastusmittari oli yrityksen toimesta jo määritelty budjettiin ja se laitettiin hankintaan työn alussa. Finero Quanti HI 10 on paranneltu versio vakioantureiden testauksessa käytettävästä Finero Quanti I - eristysvastusmittarista. Merkittävin ero on uudessa laitteessa oleva AC-mittaus sekä sen pieni resoluutio virran mittauksessa. Laitteeseen valittiin USB – liitäntä, jolla se kytketään tietokoneeseen ohjelman käyttöön.

Lämpötilan mittauksen laitteistokokoonpanon tutkimisessa käytettiin avuksi National Instruments sivuilla olevaa suunnittelutyökalua (NI CompactDAQ Advisor, n.d.). Suunnittelutyökalu antoi suoraan yhteensopivat komponentit, mikä helpotti komponenttien valintaprosessia. Lisäksi suunnittelutyökalusta saatiin suunnitelma taulukkona ja printattavana versiona ja se oli helppo tallentaa ja toimittaa yrityksen käyttöön.

Ensin tulokortiksi pohdittiin NI-9219 tulokorttia, jossa mahdollisuus mitata sekä vastusantureita, sekä termoelementtejä. Kyseisessä tulokortissa on kuitenkin vain 4 kanavaa, mikä ei riitä, sillä vastusanturit ja termoelementit tarvitsevat molemmat 2 kanavaa ja referenssianturi omansa. RTD mittauskortiksi valittiin lopulta National Instruments analogiatulokortti NI 9217. Kyseisessä tulokortissa on 4 kanavaa, joita voidaan käyttää PT100 vastustulon mittaamiseen. Termoelementtitulokortiksi valittiin NI 9211 termoelementtitulokorttia, jossa on mukana myös kylmäpisteen kompensointi ja myös 4 kanavaa.

Tulokorteille asennusalustaksi eli koriksi valikoitui 4 - paikkainen cDAQ-9174, CompactDAQ chassis kori, joka on varustettu USB-liitännällä tietokoneeseen liittämistä varten. National Instrumentsin valikoimassa on 1-, 4-, 8- ja 16- paikkaisia koreja, ja 4- paikkainen oli näistä optimaalisin vaihtoehto, vaikka kaikki paikat eivät tule käyttöön tämän suunnitelman mukaan. Korille valittiin suunnittelutyökalusta myös virtajohto, jonka avulla kori saa virran suoraan verkosta.

Laitteiden lisäksi laitteistokokoonpanolle valittiin palveluohjelma, joka sisältää laitteiden kokoonpanon ja testauksen ennen toimitusta, sekä muun muassa yhteyden tekniseen tukeen ja pidennetyn kolmen vuoden takuun laitteille. Palveluohjelma valittiin, jotta käyttöönotto sujuisi mahdollisimman hyvin ja suurempien haasteiden tai ongelmatilanteiden minimoimiseksi. Taulukossa 3 on esitetty yhteenveto National Instrumentsin suunnittelutyökalusta saadusta kokoonpanosta. Liitteessä 1 on esitetty lämpötilan mittauksen komponenttien kattava suunnitelma.

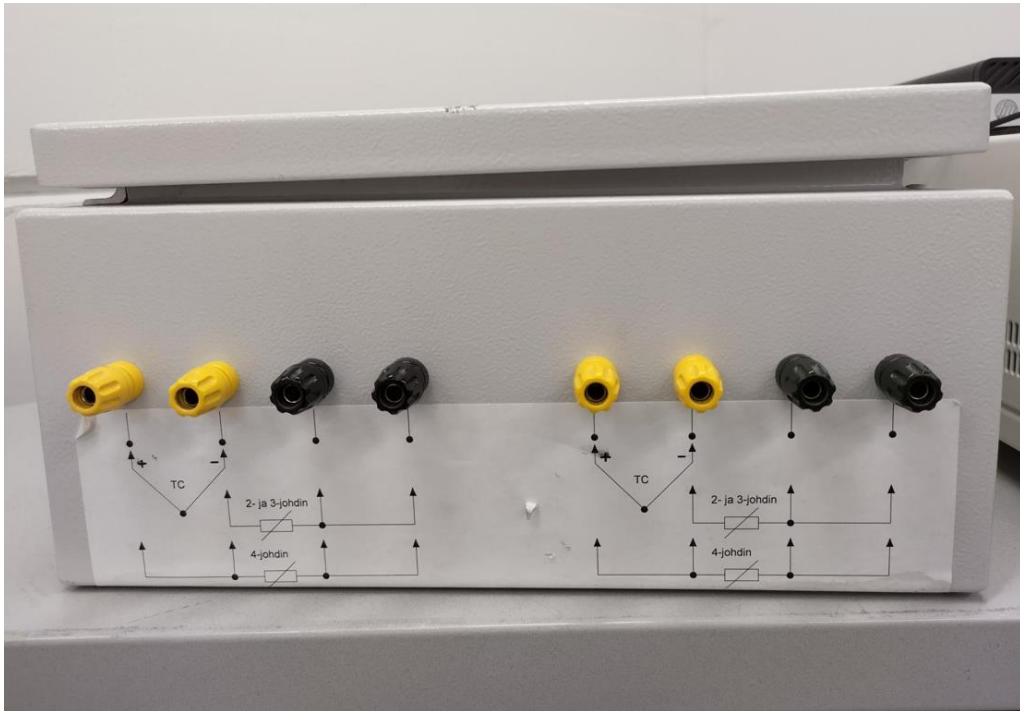
TAULUKKO 3. Lämpötilanmittauksen laitteistokokoonpanon yhteenveto

Malli	Kuvaus
NI 9211	NI 9211 4-Ch ± 80 mV, 14 S/s, 24-Bit TC and Diff AI
	STANDARD SERVICE PROGRAM FOR SYSTEMS
NI 9932 Strain relief, operator protection (qty 1)	cRIO-9932 Backshell with 10-Pos Connector Block (qty 1)
NI 9217	NI 9217 4-Ch PT100 RTD 24-bit, 100S/s/ch, Analog Input Module
	STANDARD SERVICE PROGRAM FOR SYSTEMS
NI 9939 Strain relief, operator protection (qty 1)	NI 9939 Backshell for 16-pos Screw Terminal Connector Block (qty 1)
cDAQ-9174	cDAQ-9174, CompactDAQ chassis (4 slot USB)
	STANDARD SERVICE PROGRAM FOR SYSTEMS
Universal Euro 240VAC	Power cord, 240V, EuroClass
Standard Services	9

Mittauskorttien ja muiden National Instruments komponenttien lisäksi testausprosessiin tarvitsee hankkia johdinta mittauspiiriin kytkentöihin, sekä elektroniikkakotelo ja siihen liittimet kytkemistä varten. Johtimen tulee olla 1kV jänniteluokituksella ja sitä on hyvä olla eri väreissä kytkennän selkeyttämiseksi. Mittausten kytkemiseen anturiin tarvittavia osia kuten hauenleukoja ja banaanijohtoja on testauspisteellä vakioantureiden testausta varten runsaasti, joten niiden hankinta ei ole tarpeellista.

Anturit kytketään kytkentäkotelon banaanirunkoliittimien kautta tulokorteille. Kuvassa 19 on esitetty idea kytkentälaatikosta, johon anturiin kytkettävät banaanirungot saadaan kiinni. Kytkentälaatikkoon tarvitsee saada kerralla kiinni

1 tai 2 vastusta tai termoparia, joten siinä on oltava vähintään 8 liitintärunkoa. Kytchentälaatikoksi valittiin Elsteel – yrityksen valmistama metallinen, kooltaan 400x300x150 mm kannellinen kotelo.



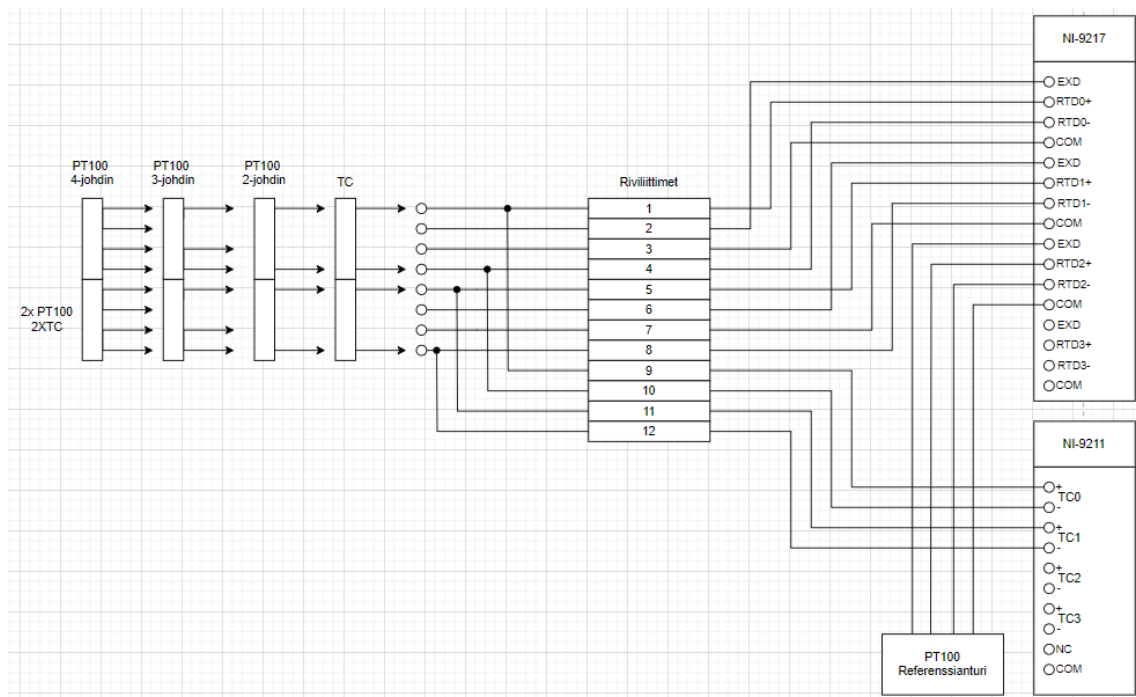
KUVA 19. Kytchentäkotelo

Liitteessä 2 on vielä esitettynä täydellinen laitteistokuvaus eristysvastusmittauksen sekä lämpötilan mittauksen osalta. Finero Quanti HI 10 ja Finero Quanti USB interface on jo hankittu ja toimitettu anturituotantoon.

8.1 Mittauspiirit

Lämpötilan mittauksen mittauspiiri on hyvin yksinkertainen, sillä lämpötilan mittauksessa saadut tulotiedot viedään ohjelmalle tulokorttien kautta. Kuitenkin lämpötilan mittauksen kytkentää monimutkaistaa kaksinkertaiset anturit eli kanavia on näissä mittauksissa käytössä 2 kpl kun anturissa on 2 vastusta tai termoparia.

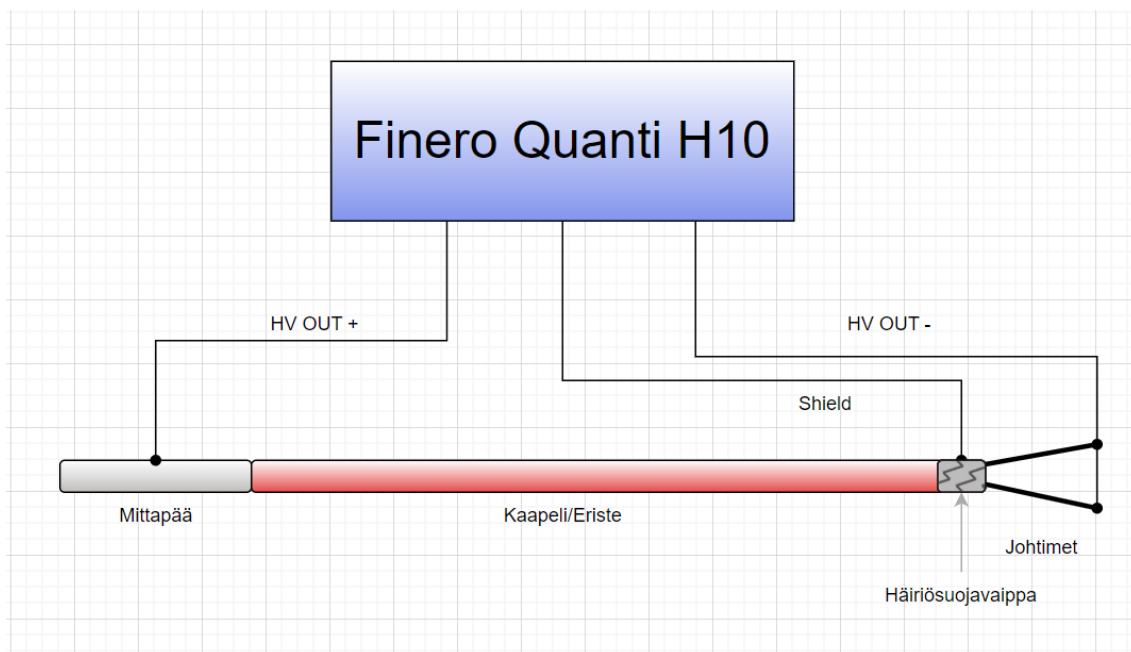
Kuvassa 20 on esitettynä yksinkertaistettu kytkentäkuva prosessin käyttöönottoa varten.



KUVA 20. Lämpötilanmittauksen mittauspiirin kytkentäkuva

Tulokortin kanavat testattaville antureille kytketään riviliittimiin ja riviliittimien toiset päät kytketään kiinni banaanirunkoihin kytkentäkotelossa, johon anturien kytkemiseen tarvittavat hauenleuat ynnä muut kiinnittimet voidaan kytkeä. Kuvassa analogiatulokortin NI 9217 - tulokortin kanavan 0 kytketään testattavat yksinkertaiset PT100 anturit ja kanava 1 tulee käyttöön silloin kun anturissa on myös toinen vastus. Termoelementtitulokortin NI 9211 kanavaan 0 kytketään yksinkertaiset testattavat termoelementtianturit ja kanavaan 1 mahdollinen toinen termopari. Referenssianturi kytketään suoraan analogiatulokortin NI 9217 kanavaan 2.

Eristysvastusmittauksessa mittauspiiri koostuu vain kahdesta anturiin kytkettävästä mittajohtimesta sekä mahdollisesta maajohtimest. Johtimet kytketään suoraan mittarilta anturin johtimiin, eristeeseen ja mahdolliseen häiriösuojavaippaan. Kuvassa 21 on eristysmittausta havainnollistava kytkentäkuva.



KUVA 21. Eristysvastusmittauksen kytkentäkuva

9 TESTAUSOHJELMAN KEHITTÄMINEN

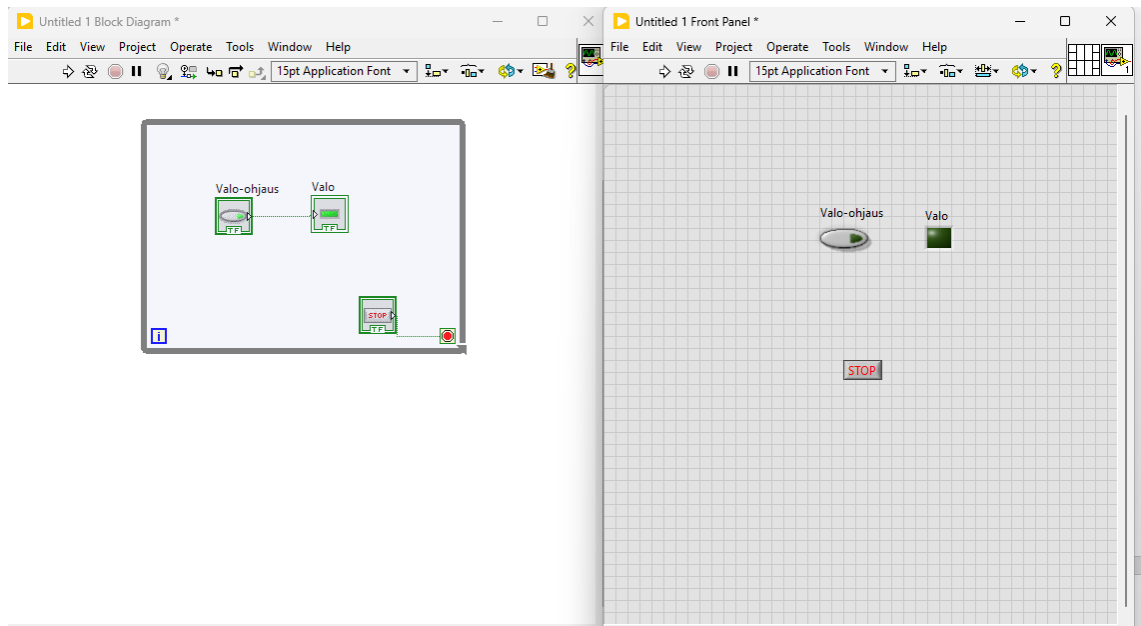
Työssä tehtävä testausohjelma luotiin LabVIEW-ohjelmointiympäristöllä vakioantureiden testausohjelman pohjalta. Ohjelma rakennettiin uuteen tyhjäan projektipohjaan, mutta vakioantureiden testausohjelmaa sekä sen osia käytettiin hyvin paljon ohjelman tekemisessä hyödyksi. Tarkoituksena oli tehdä vakioantureiden testausohjelmaa mukaileva ohjelma, jotta tuotannon työntekijöiden olisi helppo käyttää myös uutta ohjelmistoa. Muita ohjelmistoja ei harkittu käytettäväksi, sillä LabVIEW on jo aiemmin toimivaksi todettu sovellus, johon yrityksellä oli jo olemassa lisenssit ja osaamista sekä kokemusta sen käyttämiseen.

9.1 LabVIEW

LabVIEW on National Instruments – yrityksen kehittämä ohjelmointiympäristö, joka on tarkoitettu erityisesti käyttökohteille, joissa vaaditaan testaamista, mittaamista sekä ohjausta. LabVIEW pohjautuu graafiseen ohjelmointikieleen G, joten käyttöliittymän ja ohjelman luominen on helppoa ja nopeaa verrattuna klassisiin ohjelmointikieliin. (LabVIEW, n.d.)

LabVIEW- ohjelmointiympäristön etuna on sen hyvät rajapinnat ohjelmiston ja laitteiston välillä. LabVIEW- ohjelmiston avulla saadaan luotettavasti ja yksinkertaisesti laitteistolta dataa käytettäväksi. LabVIEW-ohjelmointiympäristöllä on myös helppo käsitellä saatua dataa, joten se on testausohjelmistoksi hyvin sopiva sovellus. Lisäksi National Instruments tarjoaa mittauskortit, jotka ovat suoraan yhteensopivia LabVIEW-ohjelmointiympäristön kanssa ja muun muassa ajurit Fineron laitteistolle. (LabVIEW, n.d.)

LabVIEW- ohjelmointiympäristössä on kaksi päänäkymää front panel ja block diagram (Kuva 22). Front panel sisältää käyttöliittymän ja toiminnallisuudet kun taas block diagrammissa on käyttöliittymää vastaava lähdekoodi graafisessa muodossa. Komponentteja voidaan lisätä Front panel – näkymästä, jolloin ne tulevat automaattisesti myös koodin puolelle. Haluttavat kytkennät ja yhteydet luodaan koodin puolelta block diagrammissa. (LabVIEW Tutorial, n.d.)

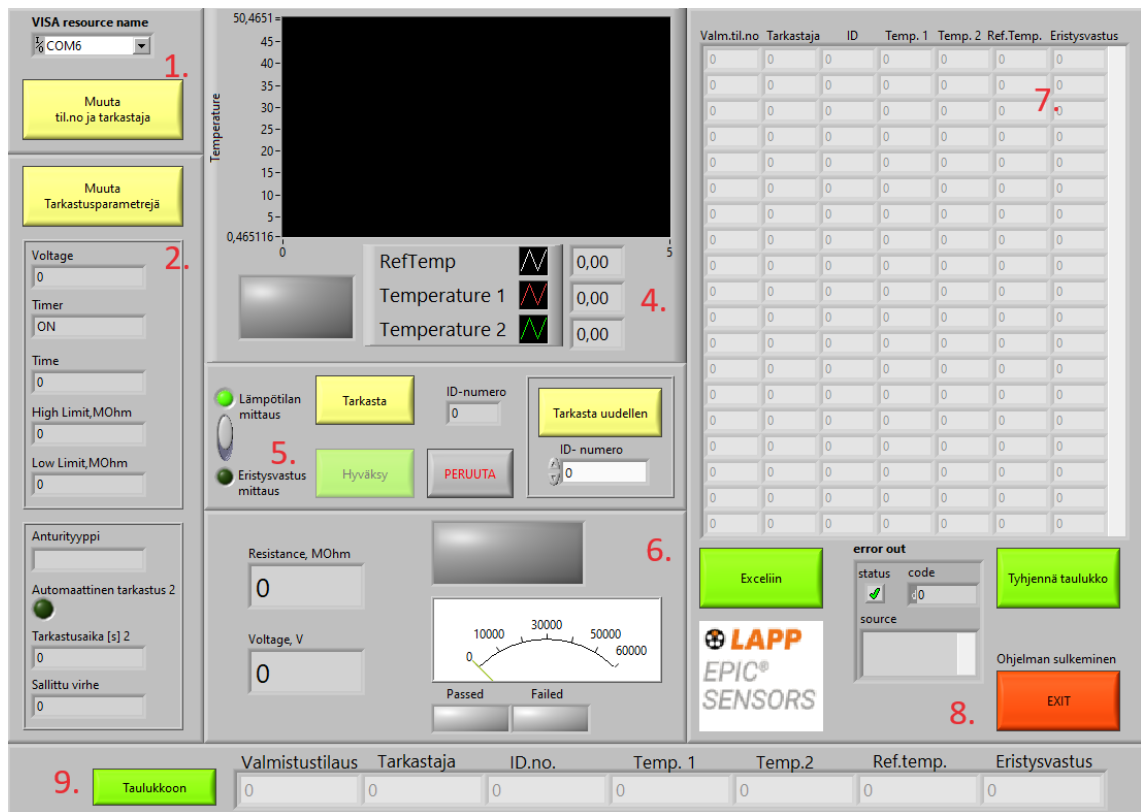


KUVA 22. Esimerkki LabVIEW- ohjelmasta

Toimiakseen LabVIEW vaati lisenssin, joita on saatavilla kolme eri vaihtoehtoa. Lisenssien välillä on eroja niiden laajuudessa, hinnassa, alustasoveltuvuudessa sekä lisäosien mahdollisuuksissa. LabVIEW- ohjelmistosta on myös saatavilla LABVIEW+ - versio, jossa on mukana National Instruments sovelluksia, joten käytettävän version ja paketin saa hyvinkin laajaksi. (Select Your LabVIEW Edition, n.d.) Tässä työssä käytössä oli kuitenkin yrityksen käyttöön hankittu LabVIEW- lisenssi ilman mitään lisäosia.

9.2 Alkuperäinen ohjelma

Vakioantureiden testausohjelma on kehitetty anturituotannon käyttöön vuonna 2012 ja se on siitä lähtien ollut tuotannossa päivittäisessä käytössä. Tämän alkuperäisen ohjelman koodi ei ole täydellisesti kommentoitu, mutta se on rakenteeltaan ja toimivuudeltaan ollut hyvä. Uuden ohjelman pohjana käytetty vakioantureiden testausohjelma on esitelty kuvassa 23.



KUVA 23. Vakioantureiden testausohjelman pääkäyttöliittymä

Kohdassa 1 on tarkastajan tietojen valinta ja muuttaminen. Sinne täytetään tarkastajan henkilönumero sekä anturin valmistuserän yksilöivä valmistustilausnumero. Kohdassa 2 painikkeen takaa valitaan tarkastusparametrit, eli esimerkiksi anturityyppi sekä jännite, jolloin parametrit tulevat näkyviin niille tarkoitettuihin kenttiin. Kohdassa 4 on lämpötiloja näyttävät käyrät, sekä niiden arvot. Temperature 1 näyttää yksinkertaisen anturin testattavan lämpötilan ja temperature 2 mahdollisen toisen vastuksen tai termoparin lämpötilan. Kohdassa 5 on itse tarkastuksen operointi eli kytkimellä valitaan ensin, mitä mittausta ollaan suorittamassa ja tarkasta painikkeesta se suoritetaan. "Hyväksy" - painikkeella hyväksytään kyseinen mittaus, jolloin arvot siirtyvät kohdassa 9 esitettyyn riviin. Testaus suoritetaan vielä toiselle mittaukselle ja sama toistetaan. ID-numero näyttää juoksevaa numerointia, jolloin jokainen anturi saa yksilöllisen koodin, joka on mallia valmistustilausnumero-ID. ID-numeron perusteella voidaan anturi tarkastaa uudelleen, mikäli sille nähdään perusteita. Kohdassa 6 on eristysvastusmittauksen tulokset. "Passed" ja "Failed" valot näyttävät läpäiseekö anturi eristysvastusmittauksen ja kentissä näkyy saatu resistanssin arvo, joka lisätään kohdan 9 riviin kohdan 5 hyväksy – painikkeella. Kohdan 9 "Taulukkoon" – painikkeella lisätään kyseinen rivi kohdan 7 taulukkoon.

Kun kaikki anturit on testattu ja tiedot viety taulukkoon, saadaan tiedot vietyä Exceliin kohdan 8 painikkeesta. Kyseinen painike tekee määritettyyn kansioon yrityksen palvelimelle uuden Excel tiedoston, jonka otsikoksi tulee syötetty valmistustilausnumero. Ohjelmassa on vielä optiot tyhjentää taulukko, mikäli testaus halutaan uusiksi kokonaan ja mahdollisuus sulkea ohjelma, jos se nähdään tarpeelliseksi.

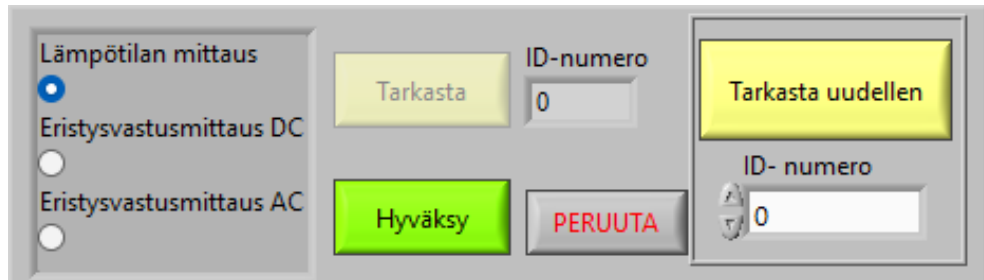
9.3 Uuden ohjelman ohjelmointiprosessi

Uuteen tarkastusohjelmaan otettiin suoraan vanha käyttöliittymä pohjaksi. Aluksi pohdittiin käyttöliittymän nykyaikaistamista ja muokkaamista, mutta LabVIEW – ohjelmointiympäristön valikoimassa ei ollut käyttöliittymälle moderneja versioita jokaiselle tarvittavalle komponentille. Lisäksi ei koettu mielekkääksi, että tuotannossa olisi 2 erilaista sovellusta. Tuotannon työntekijöiltä ei tullut käyttöliittymän suhteen minkäänlaisia kehittämissuhteita tai halukkuutta sen päivittämiseen. Käyttöliittymä on siis hyväksi todettu, sekä työntekijöille tuttu, joten ei ollut tarkoituksenmukaista uudistaa sitä täysin. Pieniä muutoksia tuli luonnollisesti uusien toiminnallisuuksien myötä, mutta käyttöliittymä haluttiin pitää ulkoasultaan mahdollisimman samankaltaisena, jotta sen käyttö olisi alusta alkaen luontevaa.

Toiminnallisuudet koodin puolelle tehtiin tyhjäan pohjaan, jotta voitiin varmistua, että ohjelma tulee sen mukaiseksi kuin on tarkoitettu. Koodin tekemisessä käytettiin LabVIEW – ohjelmointiympäristön ”case structure” – rakennetta, joka mahdollisti toiminnallisuuksien jakamisen omiin kehyksiinsä sekä niiden helpon selauksen. Tämä selkeytti koodia ja mahdollisti helpon virheiden etsimisen ja toiminnallisuuksien muokkaamisen ohjelman luonnin edetessä. Lisäksi kyseisen rakenteen etuna on helppo uusien toiminnallisuuksien lisääminen sekä vanhojen poistaminen.

Ensisijainen tärkein muutos ohjelmaan oli AC-eristysvastusmittauksen lisääminen DC-eristysvastusmittauksen ja lämpötilan mittauksen rinnalle. Tämä mahdollistaa, sen että yksi anturi voidaan halutessa testata käyttäen sekä tasa-, että vaihtojännitettä. Tällainen tilanne voi tulla esimerkiksi asiakkaan pyynnöstä. Tätä varten lisättiin jokaiselle mittaukselle oma painikkeensa, jotka näkyvät

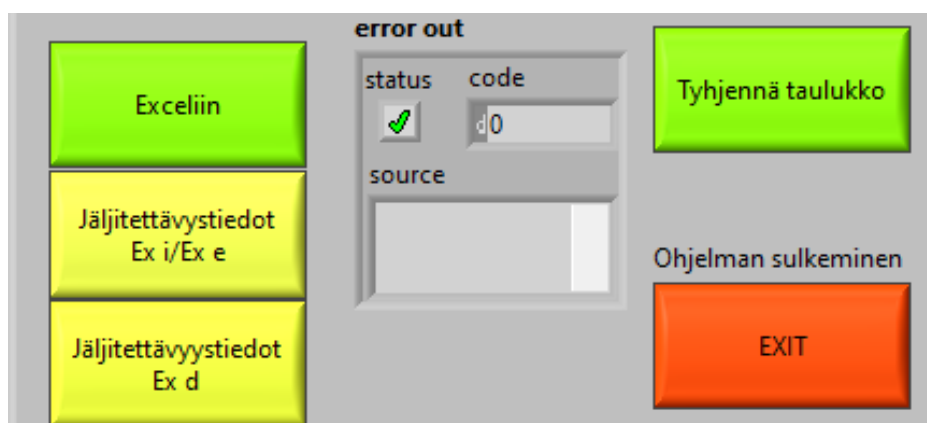
kuvassa 24. Tässä kuvassa valittuna on lämpötilan mittaus ja tarkasta painikkeesta ohjelma suorittaisi kyseisen mittauksen.



KUVA 24. Mittauksen valinnan painikkeet

Eristysvastusmittausten lisääminen ohjelmaan edellytti Fineron ajureiden hakemista ja lataamista projektiin. Kyseisten ajureiden avulla eristysvastusmittari on suoraan käytettävissä ohjelmasta. Prosessiin valittuun eristysvastusmittariin ei löytynyt ajureita suoraan LabVIEW:n kirjastosta vaan ne pyydettiin erikseen laitteen toimittajalta.

Yhtenä lisäyksenä ohjelmaan lisättiin jäljitettävyystiedot, jolloin tuotannon työntekijöiden ei erikseen tarvitse kirjata tietoja vaan ne voidaan lisätä testauksen aikana. Jäljitettävyystiedot- painikkeet (Kuva 25) avaavat kyseiset Excel tiedostot, johon automaattisesti lisätään valmistustilausnumero sekä työntekijän henkilönumero.

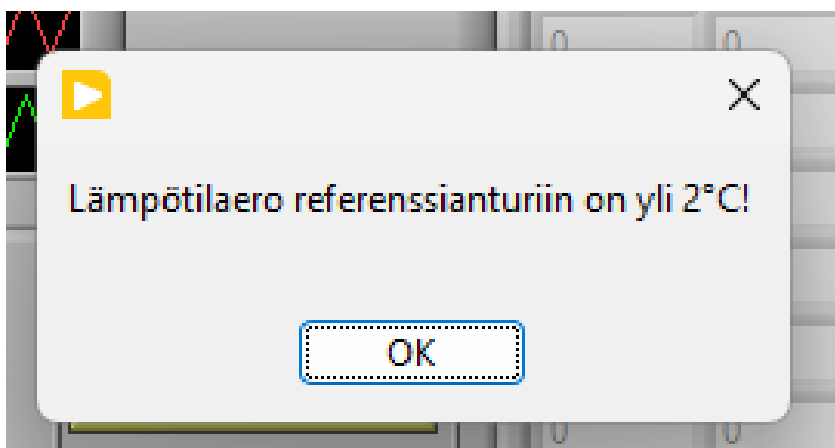


KUVA 25. Jäljitettävyystietojen lisääminen

Työntekijälle jää manuaalisesti täytettäväksi muun muassa käytettyjen komponenttien tiedot sekä mahdolliset lisähuomiot. Edellä mainittuja tietoja ei valmistustilauksesta saa automaattisesti, joten ne on aina manuaalisesti

katsottava työntekijän toimesta. Tiedostot sijaitsevat yrityksen serverillä, johon yrityksen tietokoneilla on pääsy, joten tiedostopolku saatiin yksinkertaisesti lisättyä ohjelmaan.

Lisäksi testausohjelman lämpötilanmittaus - osioon lisättiin varoitus, kun referenssianturin ja testattavan anturin näyttämien lämpötilojen ero on suurempi kuin 2°C. Näin tarkastaja voi käyttää omaa harkintaa mittauksen hyväksymisessä. Lämpötilaerosta huomauttava varoitus on esitetty kuvassa 26. Varoituksen ei haluta estävän tietojen tallentamista ja tarkastuksen jatkamista, sillä esimerkiksi referenssianturin vikaantuessa on testauksia silti pystyttävä tekemään. Standardit eivät myöskään vaadi vertailulämpötilaa, joten sen implementointi testausprosessiin on yrityksen oma tapa varmistua testattavien antureiden laadusta.



KUVA 26. Esimerkki lämpötilan varoituksesta

Ohjelman toimintaa pystyttiin testaamaan tiettyyn pisteeseen asti jo sen tekemisen aikana. Toiminnallisuuksia testattiin sitä mukaa kun niitä tehtiin, jotta varmistuttiin niiden toimivan halutusti, eikä ohjelman käyttöönoton aikaisessa testauksessa ilmenisi suuria haasteita tai isoja virheitä ohjelman koodipuolella. Välitestauksia hankaloitti vain ohjelman keskeneräisyys, joten ajoittain testauksessa käytettiin esimerkiksi vakioita ja apumuuttujia jonkin toiminnallisuuden testaamiseksi.

Ohjelman tekemisen aikana oli haasteita ohjelmointiympäristön toimivuudessa, mutta lopulta kaikki halutut moduulit ja komponentit saatiin toimimaan. Myös LabVIEW:n käytön opettelemiseen kului jonkin verran aikaa. Vaikka

ohjelmointiympäristö oli jo ennestään hieman tuttu niin paljon uusia ominaisuuksia kuten rakenteita ja datankäsittelymahdollisuuksia löydettiin ja myös hyödynnettiin ohjelman tekemisessä. Eteen tuli kuitenkin joitain asioita, mitä ei LabVIEW:llä onnistuttu järkevästi ja rationaalisessa ajassa siihen lisäämään, joten ohjelman tekemisessä täytyi aina välillä pysähtyä miettimään vaihtoehtoisia ratkaisuja, niiden hyötyjä ja haittoja sekä toteutettavuutta.

9.4 Valmis ohjelma

Valmiin ohjelman käyttöliittymä on esitetty kuvassa 27. Lisäksi liitteessä 3 on kuvattuna koko ohjelman kommentoitu koodi Block Diagram- näkymästä.

The screenshot shows a LabVIEW front panel for testing LAPP EPIC sensors. It features a VISA resource name dropdown set to 'COM6', a 'Muuta tietoja' button, and a 'Muuta Tarkastusparametrejä' button. A central graph displays 'Temperature' with a scale from 5 to 45. Below the graph are fields for 'Jännite' (0), 'Ajastin' (ON), 'Aika' (0), 'High Limit, MOhm' (0), 'Low Limit, MOhm' (0), and 'Anturityyppi'. A 'Lämpötilan mittaus' section includes radio buttons for 'Eristysvastusmittaus DC' and 'Eristysvastusmittaus AC', along with 'Tarkasta' and 'ID-numero' fields. A 'Vastus, (DC) MOhm' field shows 0, and a 'Vastus, (AC) MOhm' field shows 0. A 'Jännite, V' field shows 0. A gauge displays 'Hyväksytyt' and 'Hylätyt' values. A table on the right lists sensor data with columns for 'Valm.til.no', 'Tarkastaja', 'ID', 'Lämpötila' (1, 2, Ref), and 'Eristysvastus' (DC, AC). A 'Taulukkoon' button is at the bottom left. The bottom right contains 'Exceliin', 'Jäljitettävyyssiedot Ex i/Ex e', 'Jäljitettävyyssiedot Ex d', 'Tyhjennä taulukko', and 'SULJE OHJELMA' buttons. The LAPP EPIC SENSORS logo is also present.

KUVA 27. Uuden testausohjelman pääkäyttöliittymä

Kuten kuvasta huomataan, tuli ulkoasuksi hyvin samanlainen alkuperäiseen ohjelmaan verrattuna ja suurimmat erot ovat lähinnä koodin puolella toiminnallisuuksissa ja laitteistossa. Ohjelma tehtiin valmiiksi testausta ja käyttöönottoa varten. Lisäksi valmiiseen ohjelmaan tehtiin käyttöohje, joka löytyy liitteestä 4 ja viedään myös tuotannossa testauspisteelle, kun käyttöönotto on ajankohtainen.

Valmista ohjelmaa testattiin mahdollisuuksien mukaan ja painikkeiden toiminta ja muiden tiedostojen avautuminen voitiin todeta toimivaksi. Lisäksi ohjelma kommentoitiin kauttaaltaan, jotta se olisi hyvien ohjelmointikäytänteiden mukainen sekä helposti muokattavissa oleva toiselle käyttäjälle.

10 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä suunnitelma uudelle lopputestausprosessille sekä kehittää tähän valmis ohjelma. Nämä tarkoitukset täyttyivät ja yritys sai käyttöönsä valmiin ohjelman ja suunnitelman uudelle testausprosessille. Testausprosessi on vastusanturistandardin SFS-EN 60751 ja Ex e – standardin SFS-EN 60079-7 mukainen, joten työlle asetetut vaatimukset tämän suhteen täyttyivät. Lisäksi tavoitteet manuaalisen työn vähentämisestä toteutuivat uudessa prosessissa.

10.1 Yhteenveto

Konkreettisina tuloksina tässä opinnäytetyössä tuli valmis ohjelma, käyttöohje ohjelmalle ja testausprosessille sekä laitteistokokoonpanon suunnitelma. Nämä kaikki jäävät suoraan yrityksen käyttöön tämän opinnäytetyön pohdintaosuuden lisäksi.

Valmis ohjelma on samankaltainen verrattuna vakioantureiden ohjelmistoon, mutta siinä on myös lisäyksiä Ex – antureiden testausta ja jäljitettävyyttä varten. Valmiilla ohjelmalla pystytään testaamaan myös vakioanturit, joten tuotantoon saadaan toinen testauspiste, kun käyttöönotto on suoritettu. Uusi ohjelma on kattavasti kommentoitu ja selkeästi jäsennelty, joten myös sen suhteen ohjelmaa onnistuttiin kehittämään paremmaksi. Mahdollista on myös, että vanhaan testausohjelmaan lisätään joitain uuden ohjelman parannuksia.

Uudessa testausprosessissa käytettävään laitteistoon saatiin tehtyä suunnitelma, sekä kytkentäkaaviot käyttöönoton ja testauksen helpottamiseksi. Kustannusarviota ja hankintaa ei tehty, sillä mahdollisuudet muutoksille on olemassa ja uusi prosessi on yrityksen budjetissa.

Kokonaisvaltaisesti vanhaan vakioantureiden testausprosessiin verrattuna muutoksia ei tullut paljoakaan. Tämä voi kertoa siitä, että vakioantureiden testausprosessi on optimaalinen suhteessa tuotannon tarpeisiin. Myös uusi Ex – testausprosessi näin ollen olisi tarkoituksenmukainen. Hyväksi koettiin kuitenkin

se, että testausprosessin kehittämistä saatiin pohdittua monesta näkökulmasta, mikä puolestaan kertoo yrityksen halusta kehittää omia prosessejaan etenkin ajatellen lämpötila-anturien laatua ja tuotannon sujuvuutta. Pohdinnan perustana on käytetty olemassa olevaa tietoa, sekä tehtyjen tutkimusten tuloksia, joten tutkimustuloksille on hyvin vahva pohja sekä tulokset perusteltuja.

10.2 Jatko

Seuraava toimenpide tälle työlle on loppujen komponenttien hankinta suunnitelman mukaisesti. Laitteistosuunnitelmaan voi kuitenkin tulla muutoksia, mikäli jonkin komponentin saatavuus esimerkiksi on heikko. Komponenttien hankinnan jälkeen tehtäväksi jää vielä ohjelmiston testaus ja koko prosessin käyttöönotto sisältäen laitteiston kasauksen ja testauspisteen paikan suunnittelun. Muokkaukset ohjelmaan ovat myös mahdollisia, sillä ohjelman projektitiedosto koodeineen jää yrityksen palvelimelle. Mahdollisesti muutoksia ohjelmaan tulee käyttöönoton aikana tai sen jälkeen, kun tuotannon työntekijät ovat päässeet testaamaan ohjelmaa.

Huomioitavaa on, että työssä on tutkittu ja tulkittu useita standardeja ja ne ovat monesti tulkinnanvaraisia. Standardit harvoin antavat tarkkoja ohjeita jonkin asian tekemiseen minkä vuoksi standardien erilainen tulkinta voi jatkossa aiheuttaa haasteita. Jatkoa ja kehitystoimia ajatellen huomioitavaa on myös se, että tämä opinnäytetyö sisältää vain yhden kirjoittajan näkemyksen ja pohdinnan testausprosessista ja kehityskohteista, joten jollain toisella voi olla käsitellyistä asioista eri näkemys. Kuitenkin tärkeää on, että työssä on pohdittu eri kehityskohteiden hyviä ja huonoja puolia, sekä toteutettavuuden mahdollisuuksia, joten yritykselle jää käyttöön aiheesta valmista pohdintaa.

LÄHTEET

Lapp Automaatio. n.d. Yritys. Verkkosivu. Viitattu 12.01.2024.
<https://lappautomaatio.fi/lapp/lapp-automaatio-yritys>

Lapp Automaatio. n.d. LAPP Group. Verkkosivu. Viitattu 12.01.2024.
<https://lappautomaatio.fi/lapp/Lapp-group>

EPIC® SENSORS. 21.03.2023. EPIC® SENSORS lämpötila-anturit sertifioituja räjähdysvaarallisiin tiloihin. Verkkosivu. Viitattu 31.01.2024.
<https://www.epicsensors.fi/uutiset/news/epic-sensors-lampotila-anturit-sertifioituja-rajahdysvaarallisiin-tiloihin/>

EPIC® SENSORS. n.d. Lapp Automaation tehdaskalibrointien tarjonta EPIC® SENSORS lämpötila-anturien valmistuksen yhteydessä. Verkkosivu. Viitattu 02.02.2024. <https://www.epicsensors.fi/palvelut/kalibrointi/>

EPIC® SENSORS. n.d. Räjähdysvaaralliset tilat. Verkkosivu. Viitattu 02.02.2024.
<https://www.epicsensors.fi/teollisuuden-alat/rajahdysvaaralliset-tilat/>

Childs, Peter R. N. 2001. Practical Temperature Measurement. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Fluke Corporation. 1994. Calibration: Philosophy in Practice. Second Edition. Everett

Weckström, T. 2005. Lämpötilan mittaus. 2. korj. p. Helsinki: Mittatekniikan keskus.

Mäkelä, M., Soininen, L., Tuomola, S & Öistämö, J. 2019. Tekniikan kaavasto: Matematiikan, fysiikan, kemian ja lujuusopin peruskaavoja sekä SI-järjestelmä. 20. painos. Tampere: Tammertekniikka: AMK-kustannus.

Sarlin(yhtiö) & Collan, K.1992. Sarlin-lämpökäsittelytekniikkakirja. Helsinki: Paino Polar Oy.

SFS-EN 60751. 2022. Industrial platinum resistance thermometers and platinum temperature sensors. Helsinki. Suomen Standardoimisliitto SFS ry. Viitattu 25.01.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN 60584-1. 2014. Thermocouples - Part 1: EMF specifications and tolerances. Helsinki. Suomen Standardoimisliitto SFS ry. Viitattu 25.01.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

Jespen, T. 2016. ATEX-Explosive Atmospheres: Risk Assessment, Control and Compliance. Cham: Springer Nature.

Direktiivi 1999/92/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi vähimmäisvaatimuksista räjähdyskelpoisten ilmaseosten aiheuttamalle vaaralle mahdollisesti alttiiksi joutuvien työntekijöiden turvallisuuden ja terveyden suojelun parantamiseksi. Euroopan unionin virallinen lehti. 28.01.2000. Viitattu 16.03.2024 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:31999L0092&qid=1704790292939>

Direktiivi 2014/34/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäviksi tarkoitettuja laitteita ja suojajärjestelmiä koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti. 29.03.2014. Viitattu 16.03.2024 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0034>

SFS. 28.11.2023. Olennaiset räjähdysvaarallisia tiloja koskevat standardit. Verkkosivu. Viitattu 07.02.2024. <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuoteuutiset/rajahdysvaarallisiatilojakoskevatstandardit.html.stx>

IECEX. n.d. About IECEX. Verkkosivu. Viitattu 12.01.2024. <https://www.iecex.com/information/about-iecex>

EPIC® SENSORS. n.d. Ex db / Ex tb -rakenteiset lämpötila-anturit. Verkkosivu. Viitattu 24.02.2024. <https://www.epicsensors.fi/tuotteet/lampotila-anturit/ex-db-ex-tb-lampotila-anturit/>

SFS-EN 60079-11. 2012. "Explosive atmospheres - Part 11: Equipment protection by intrinsic safety "i". Helsinki. Suomen Standardoimisliitto SFS ry. Viitattu 06.02.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN 60079-1. 2015. "Explosive atmospheres - Part 1: Equipment protection by flameproof enclosures "d". Helsinki. Suomen Standardoimisliitto SFS ry. Viitattu 06.02.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN 60079-7. 2015. "Explosive atmospheres - Part 7: Equipment protection by increased safety "e". Helsinki. Suomen Standardoimisliitto SFS ry. Viitattu 06.02.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

Direktiivi 2001/95/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi yleisestä tuoteturvallisuudesta. Euroopan unionin virallinen lehti. 15.1.2002. Viitattu 17.03.2024 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32001L0095>

TUKES. n.d. Tuotteiden jäljitettävyyys. Verkkosivu. Viitattu 16.03.2024 <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/vaatumustenmukaisuus/tuotteiden-jaljitettavyys>

EPIC® SENSORS. n.d. 17 bajonettilämpötila-anturi. Verkkosivu. Viitattu 25.03.2024 <https://www.epicsensors.fi/tuotteet/lampotila-anturit/17-bajonettilampotila-anturi/>

EPIC® SENSORS. n.d. 7 Mineraalieristetty sisäelementti. Verkkosivu. Viitattu 27.03.2024 <https://www.epicsensors.fi/tuotteet/lampotila-anturit/7-mineraalieristetty-sisaelementti/>

EPIC® SENSORS FAQ. n.d. Mitä on MI-kaapeli? Verkkosivu. Viitattu 27.03.2024 <https://www.epicsensors.fi/faq/mita-on-mi-kaapeli/>

IEEE. 2013. IEEE Std 43-2013 (Revision of IEEE Std 43-2000): IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery - Redline. New York: IEEE.

SFS-EN 61515. 2016. "Mineral insulated metal-sheathed thermocouple cables and thermocouples". Helsinki. Suomen Standardoimisliitto SFS ry. Viitattu 23.04.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

National Instruments. n.d. NI CompactDAQ Advisor. Verkkosivu. Viitattu 04.04.2024. <https://ohm.ni.com/advisors/compactdaq/pages/common/intro.xhtml>

National Instruments. n.d. LabVIEW. Verkkosivu. Viitattu 16.03.2024. <https://www.ni.com/en/support/downloads/software-products/download.labview.html#521715>

National Instruments. n.d. Select Your LabVIEW Edition. Verkkosivu. Viitattu 12.02.2024. <https://www.ni.com/en/shop/labview/select-edition.html>

National Instruments. n.d. LabVIEW Tutorial. Verkkosivu. Viitattu 16.03.2024. <https://learn.ni.com/learn/article/labview-tutorial>

LIITTEET

Liite 1. NI suunnittelutyökalun yhteenveto


[Print this Page](#) | [Close Window](#)
Configuration ID and Retrieval InformationConfiguration ID: **CD6679294**Retrieve configuration at: www.ni.com/advisor/retrieve/

* Please refer to this ID when speaking with a Sales Representative

Purchase OptionsOnline: www.ni.com/advisor/retrieve/

Fax: 09 725 72555 (Include Purchasing Information)

NI CompactDAQ Advisor -Summary**Total Price: € 3 802,96****Modules**

Part Number	Model	Description	Quantity	Price
779001-01	NI 9211	NI 9211 4-Ch ±80 mV, 14 S/s, 24-Bit TC and Diff AI	1	€ 735,00
		STANDARD SERVICE PROGRAM FOR SYSTEMS	1	
779017-01	NI 9932 Strain relief, operator protection (qty 1)	cRJC-9932 Backshell with 10-Pos Connector Block (qty 1)	1	€ 65,00
779592-01	NI 9217	NI 9217 4-Ch PT100 RTD 24-bit, 100S/s/ch, Analog Input Module	1	€ 1 080,00
		STANDARD SERVICE PROGRAM FOR SYSTEMS	1	
192892-01	NI 9939 Strain relief, operator protection (qty 1)	NI 9939 Backshell for 16-pos Screw Terminal Connector Block (qty 1)	1	€ 65,00
				Subtotal: € 1 945,00

Chassis

Part Number	Model	Description	Quantity	Price
781157-01	cDAQ-9174	cDAQ-9174, CompactDAQ chassis (4 slot USB)	1	€ 1 630,00
		STANDARD SERVICE PROGRAM FOR SYSTEMS	1	
				Subtotal: € 1 630,00

System Accessories

Part Number	Model	Description	Quantity	Price
763071-01	Universal Euro 240VAC	Power cord,240V,EuroClass	1	€ 44,00
				Subtotal: € 44,00

Services

Part Number	Model	Description	Quantity	Price
-------------	-------	-------------	----------	-------

SRV-CD6679294	Standard Services	9	1	€ 183,96
				Subtotal: € 183,96

Total Price: € 3 802,96

* Price does not include local taxes or delivery charges.

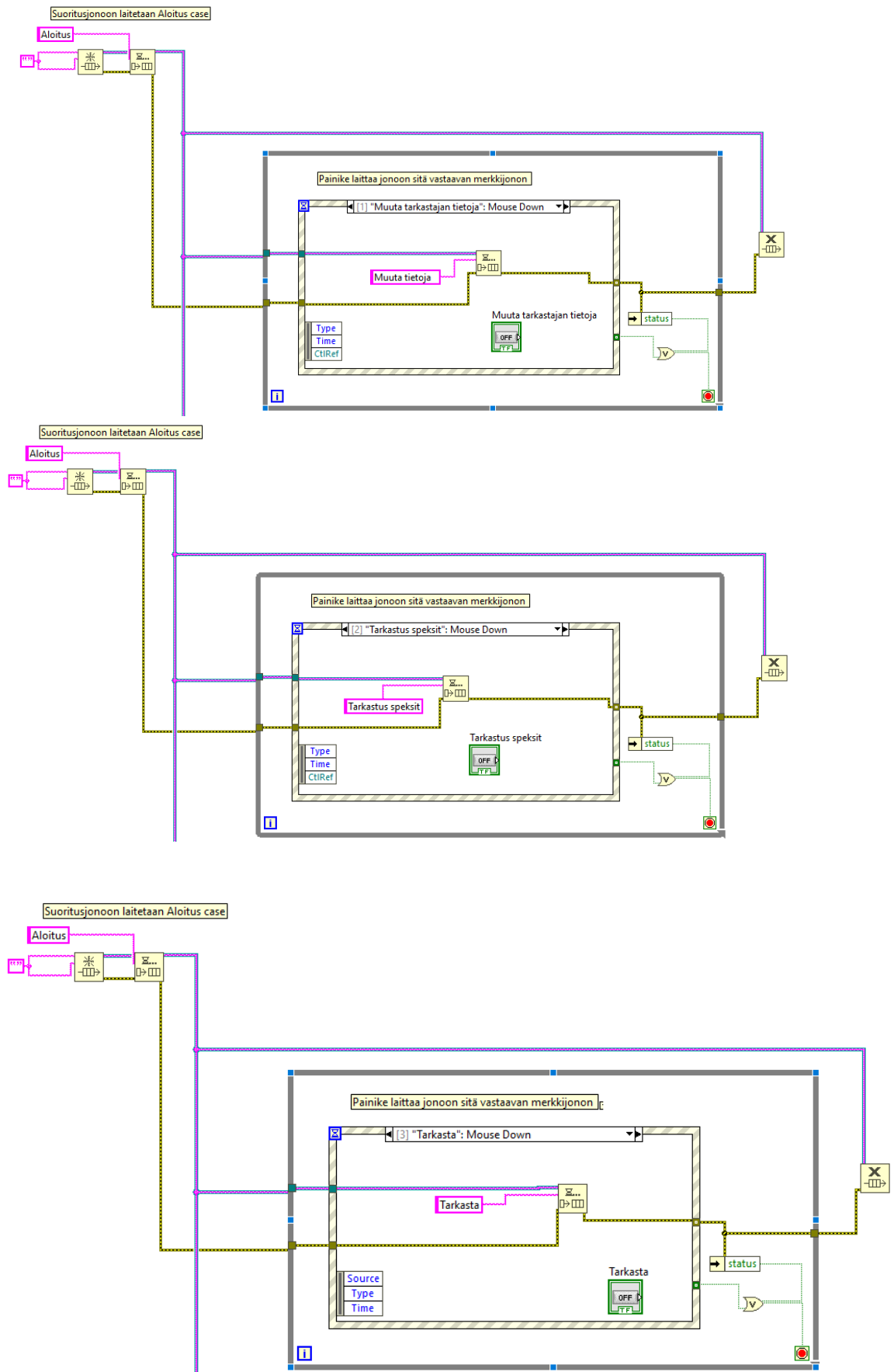
Configuration ID: **CD6679294** Retrieve configuration at: www.ni.com/advisor/retrieve/

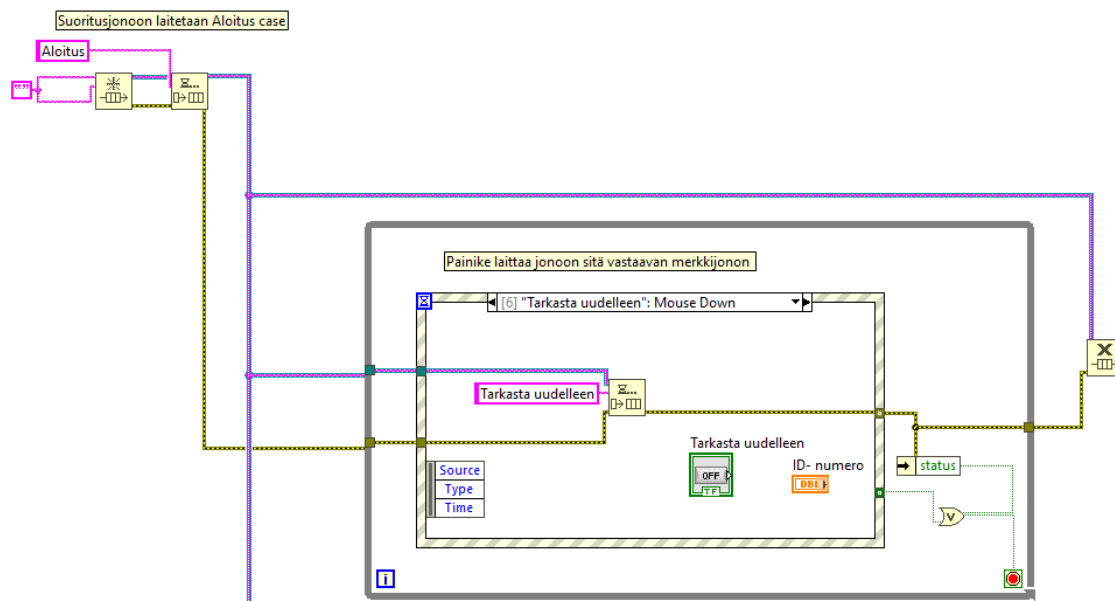
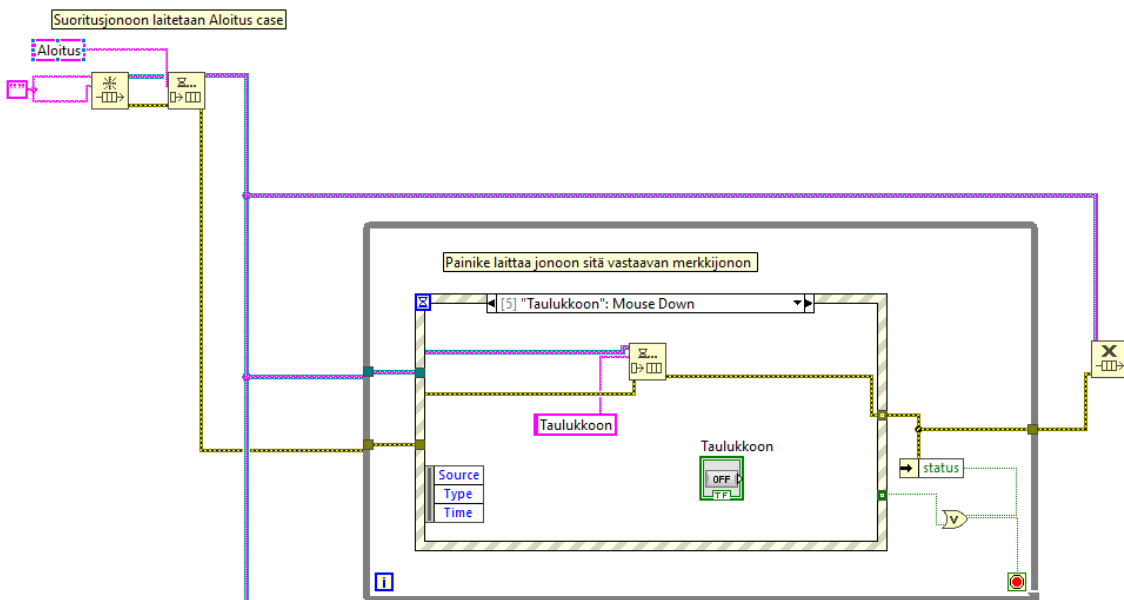
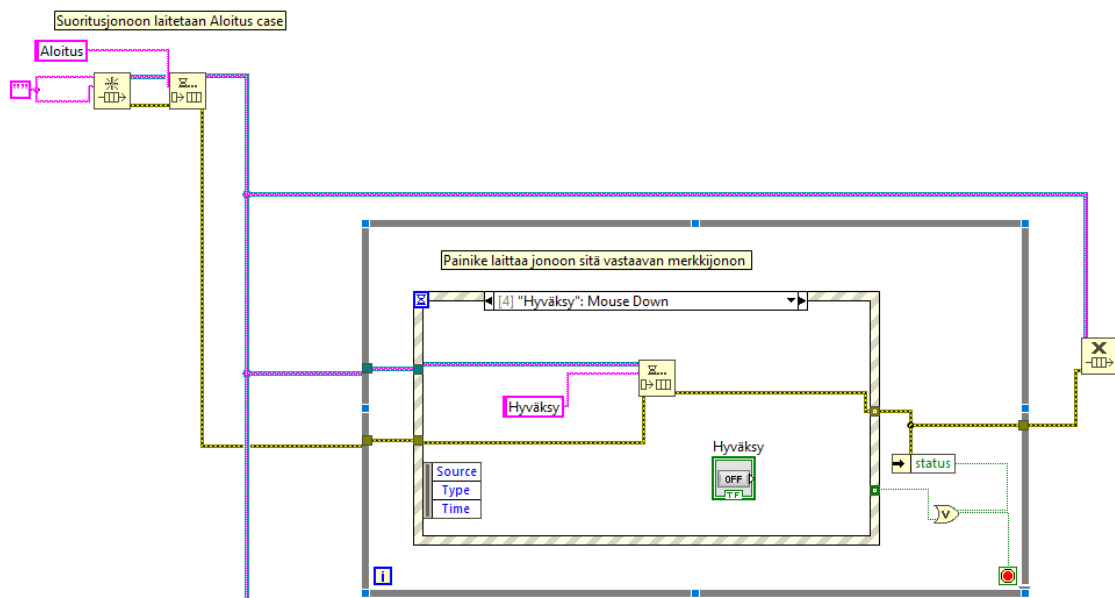
Liite 2. Laitteistokokoonpano

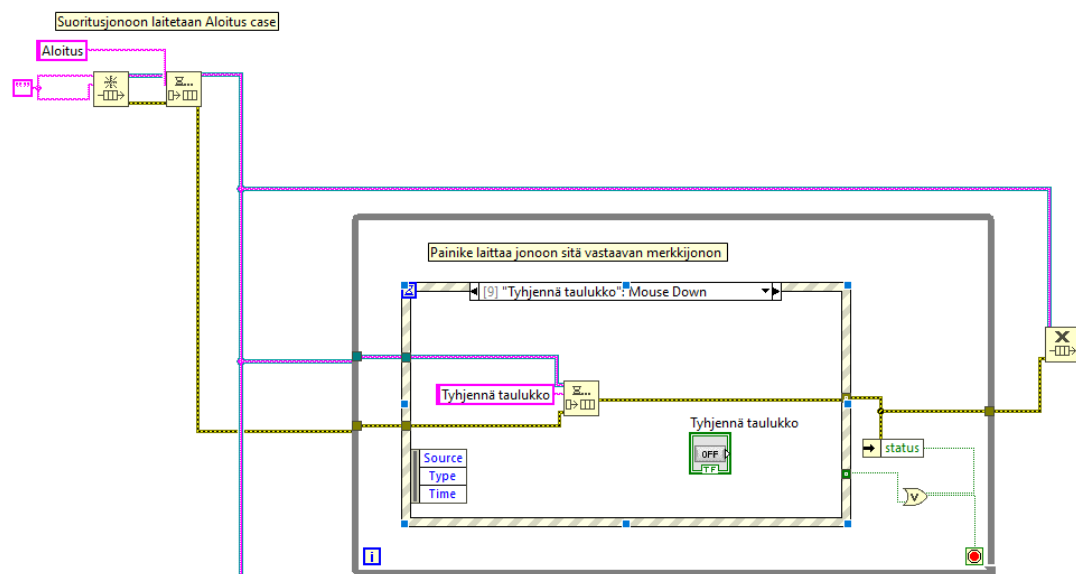
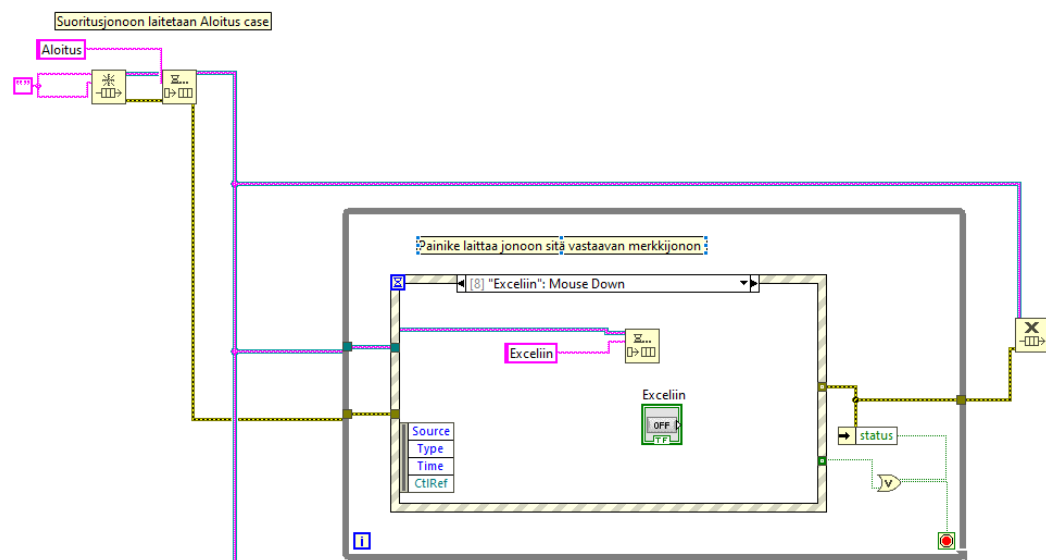
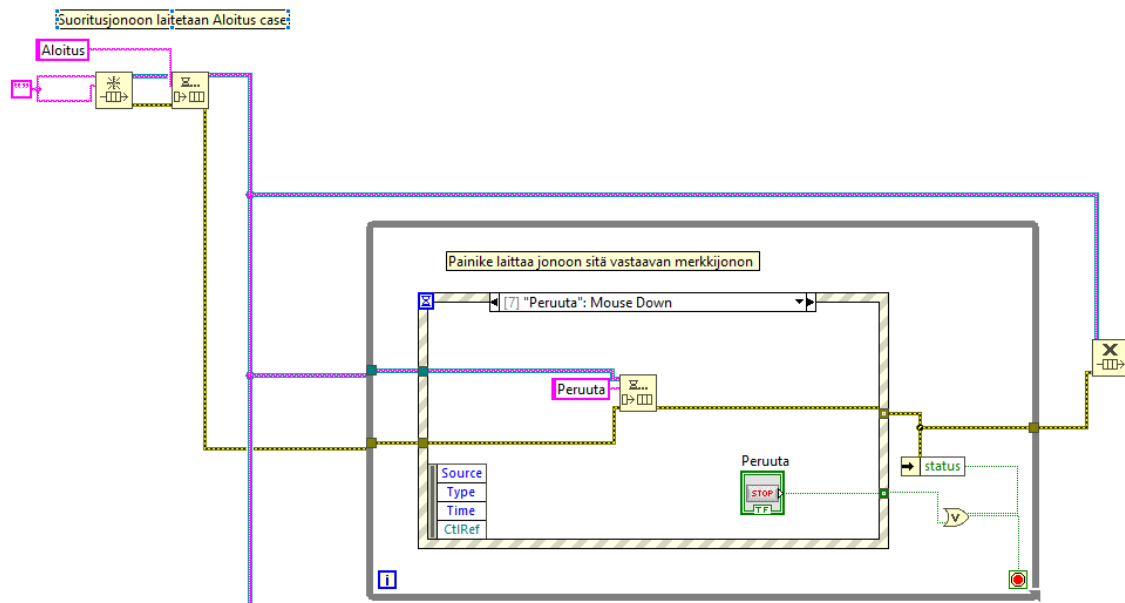
Laite	Määrä	Yksikkö
NI 9211	1	kpl
NI 9932 Strain relief, operator protection (qty 1)	1	kpl
NI 9217	1	kpl
NI 9939 Strain relief, operator protection (qty 1)	1	kpl
cDAQ-9174	1	kpl
Universal Euro 240VAC	1	kpl
Standard Services	1	kpl
Finero - Quanti HI 10 eristysvastusmittari	1	kpl
Finero Quanti USB interface	1	kpl
Kyt Kentäkotelo 55610 Mild steel box IP66 s.d.st.gl	1	kpl
Johdin 1 kV GN	3	m
Johdin 1 kV RD	3	m
Johdin 1 kV BK	3	m
Johdin 1 kV BU	3	m
Banaanirunko	8	kpl
PC	1	kpl
Riviliittimiä	16	kpl
Kaapelikouru	1	m

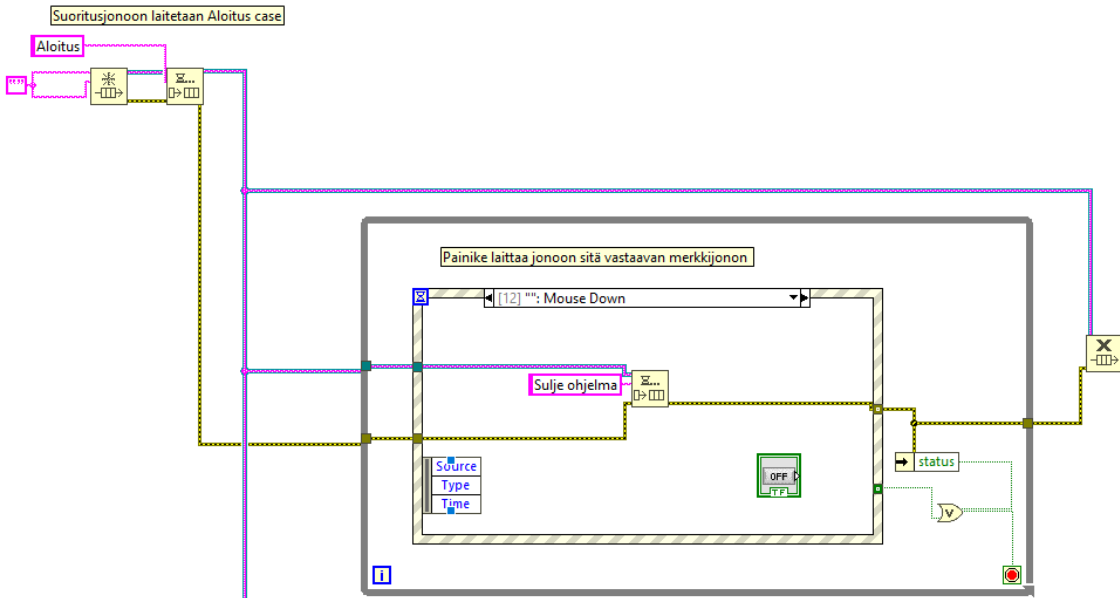
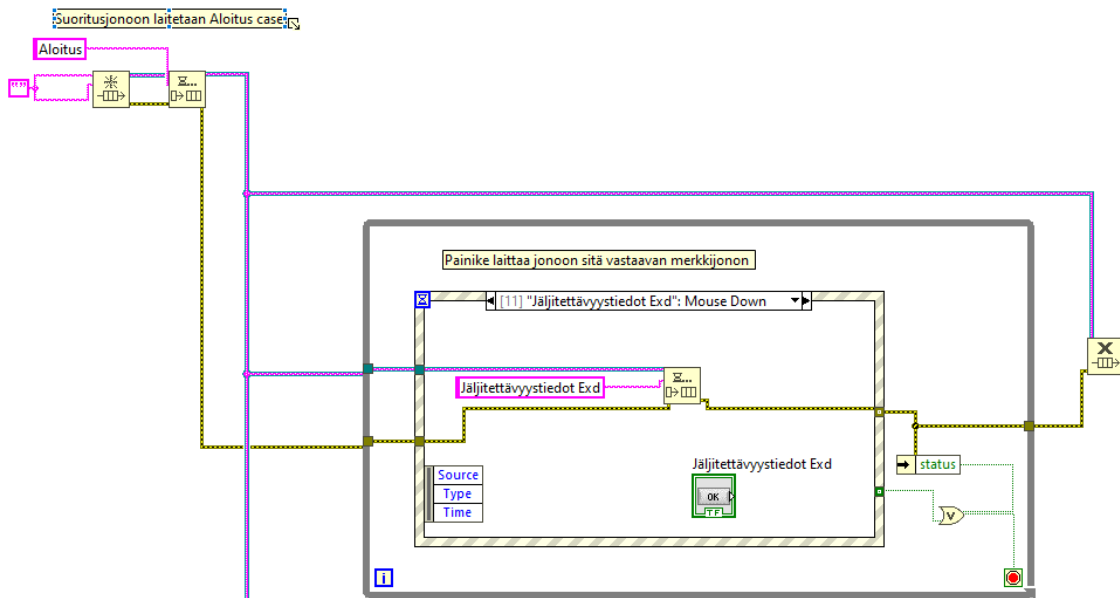
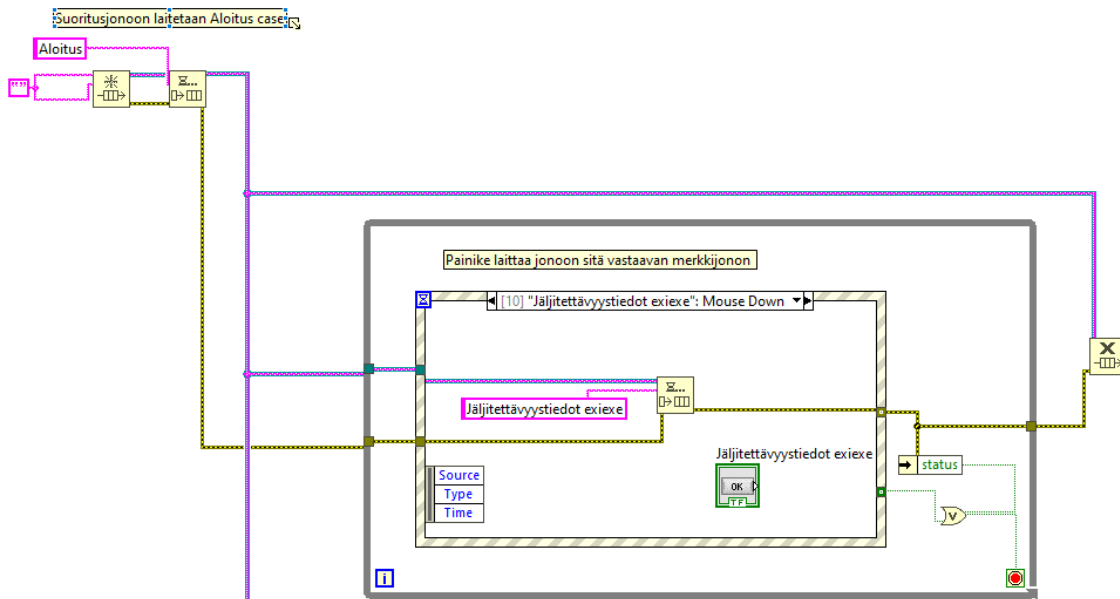
Liite 3. Ohjelmakoodi

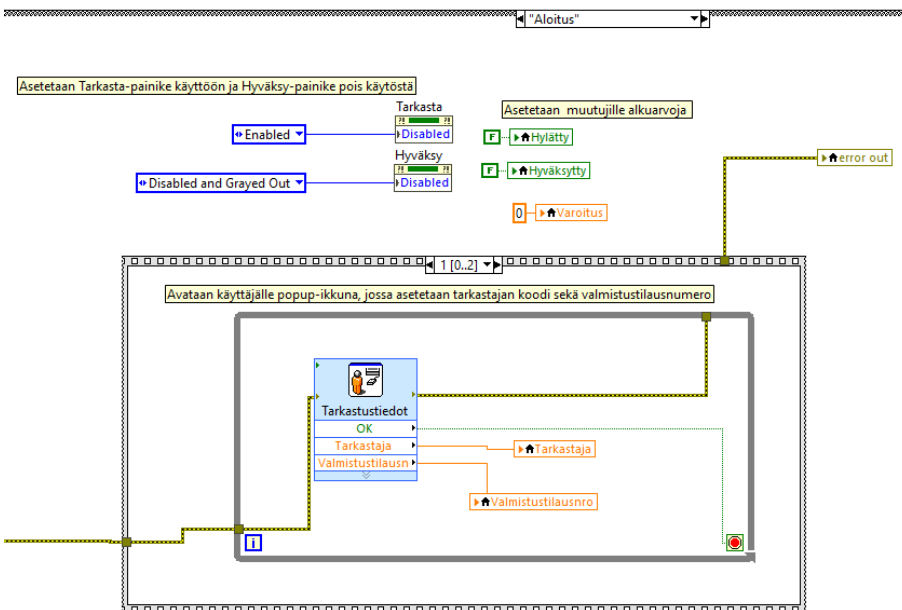
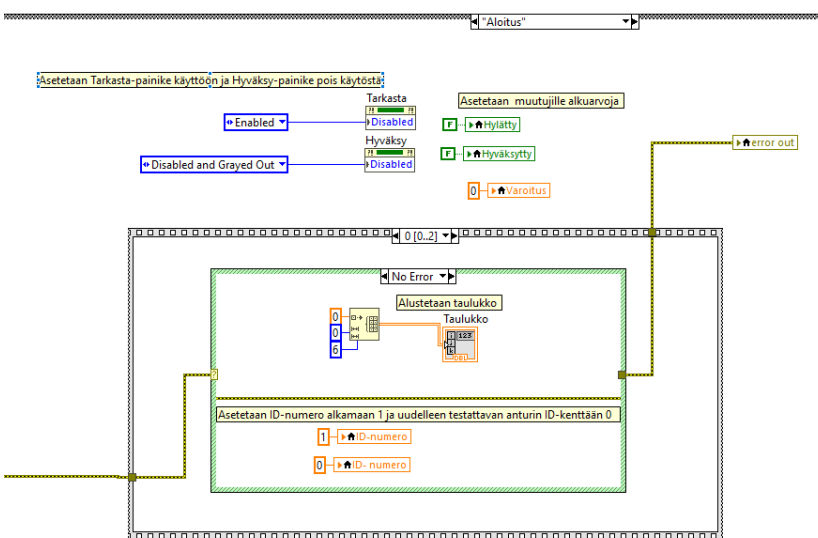
1 (11)

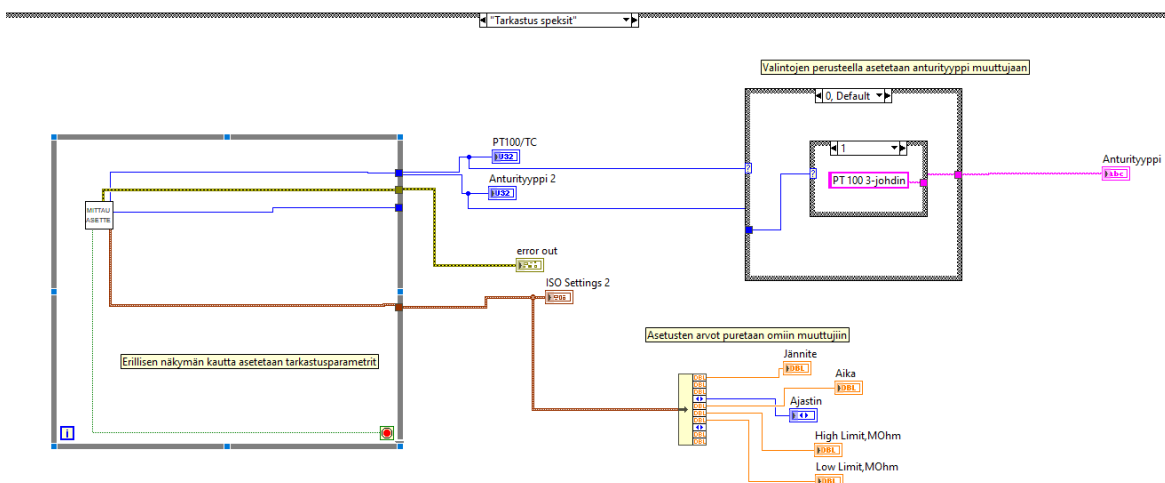
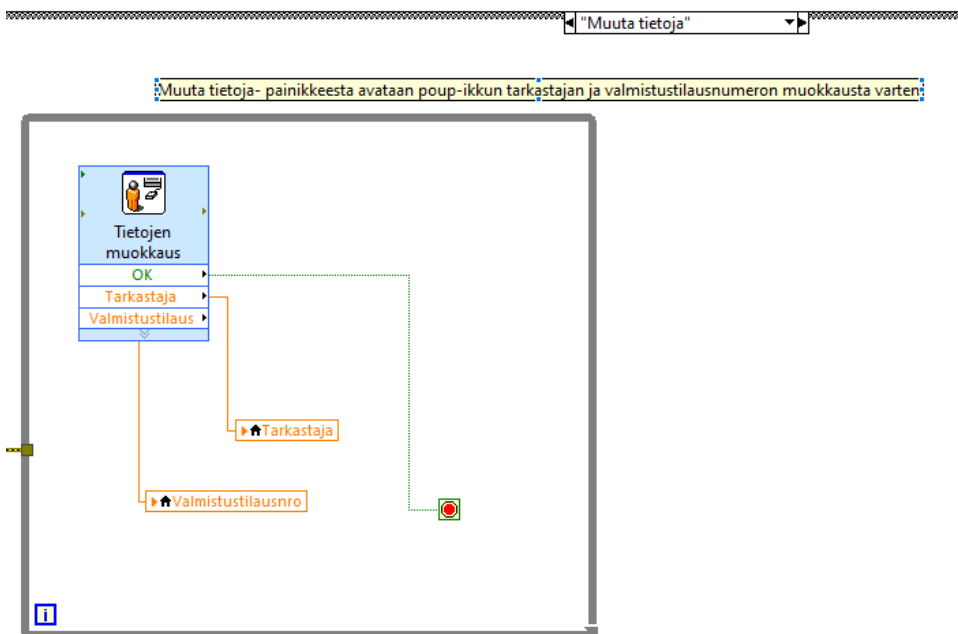
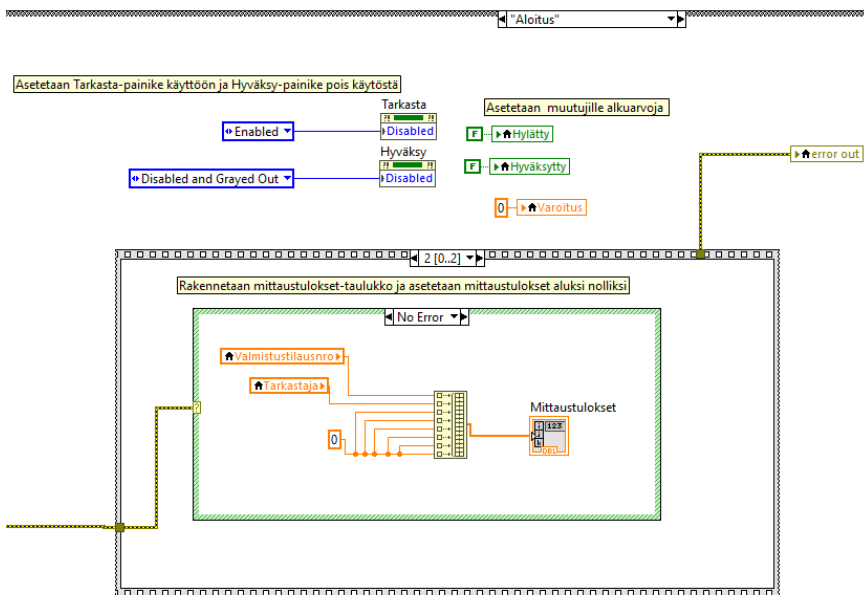


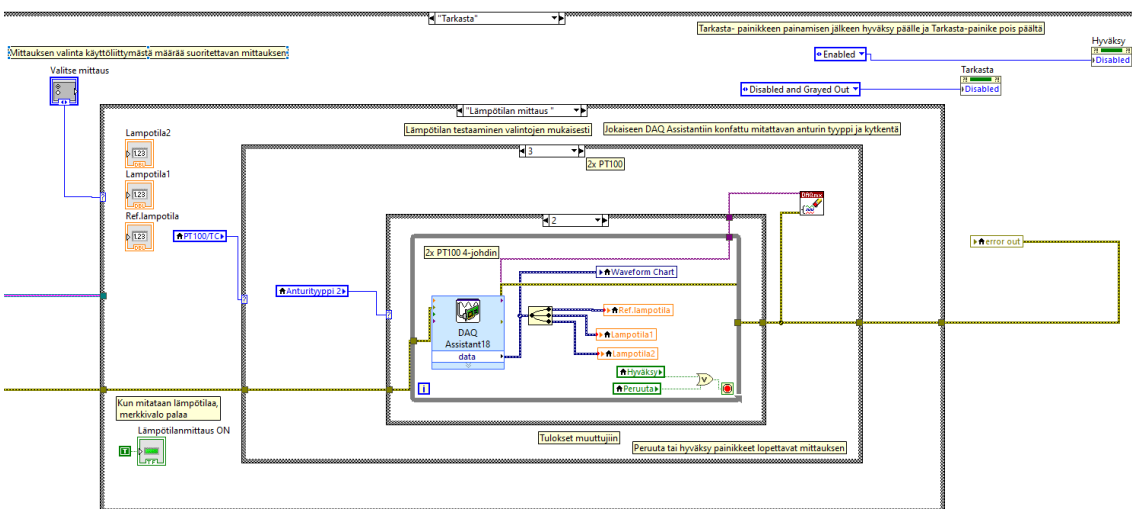
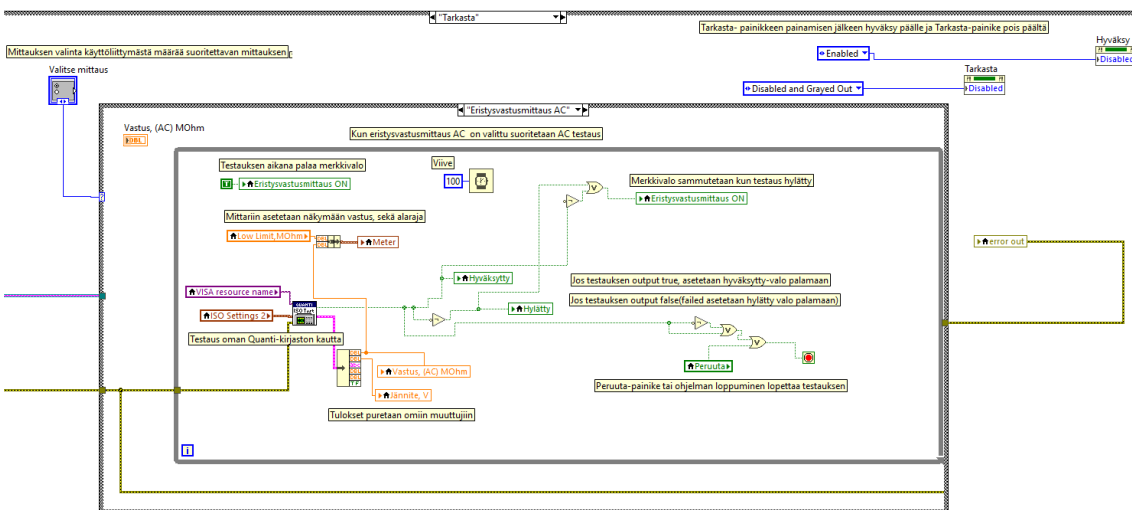
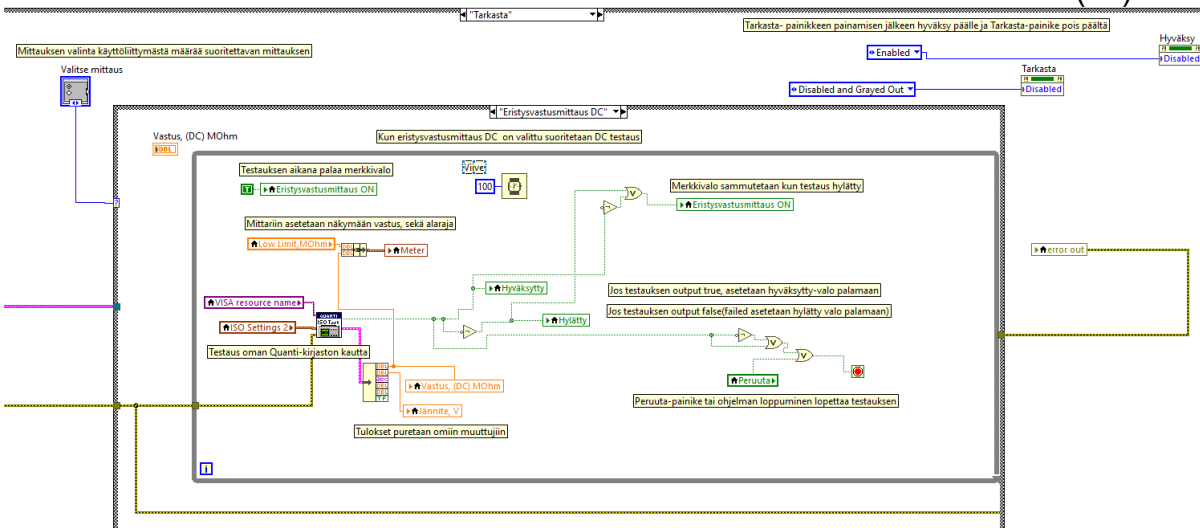


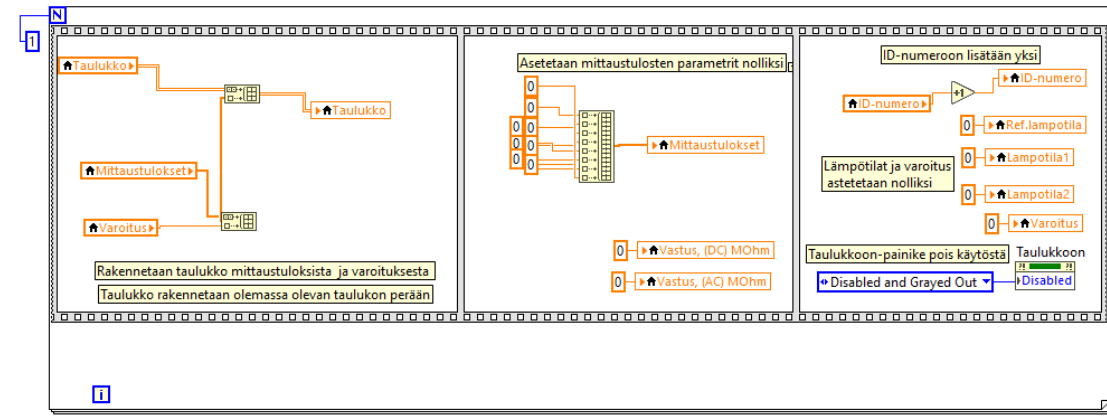
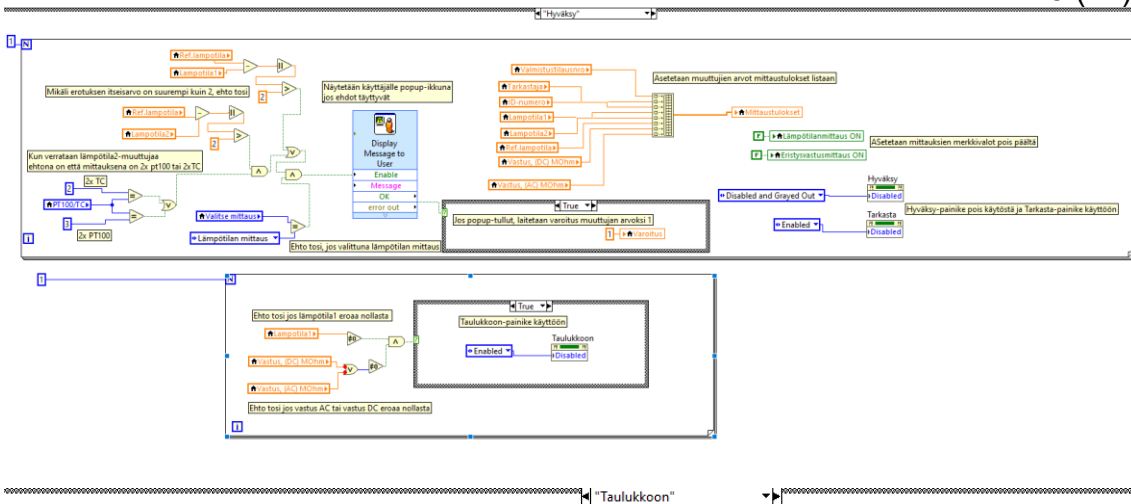




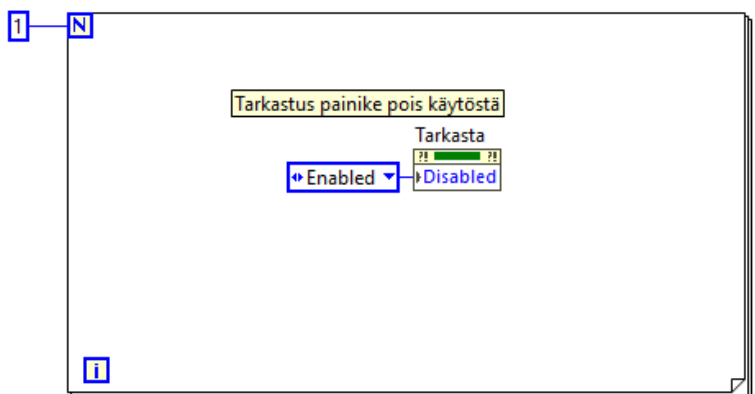


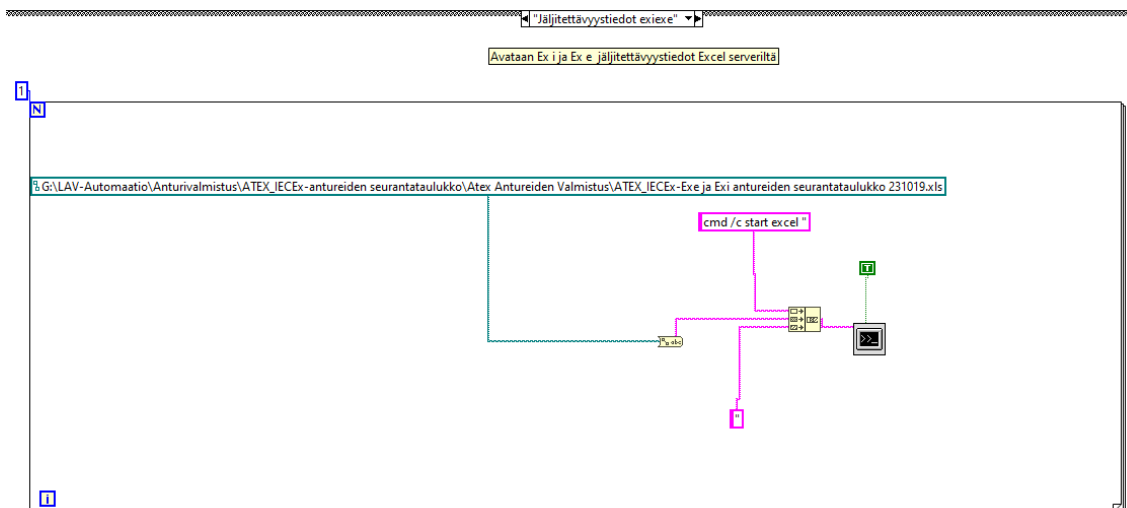
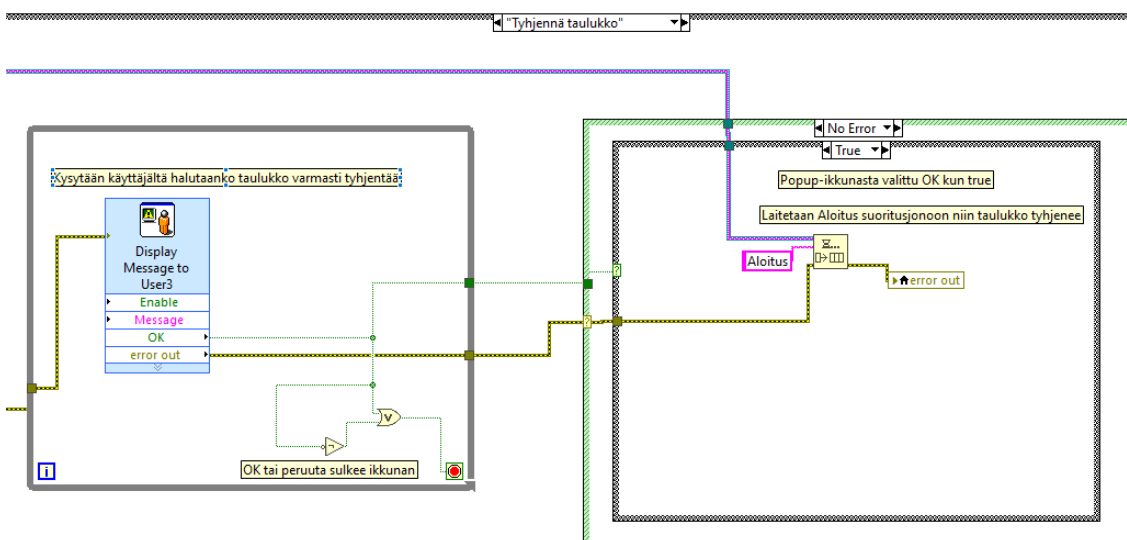
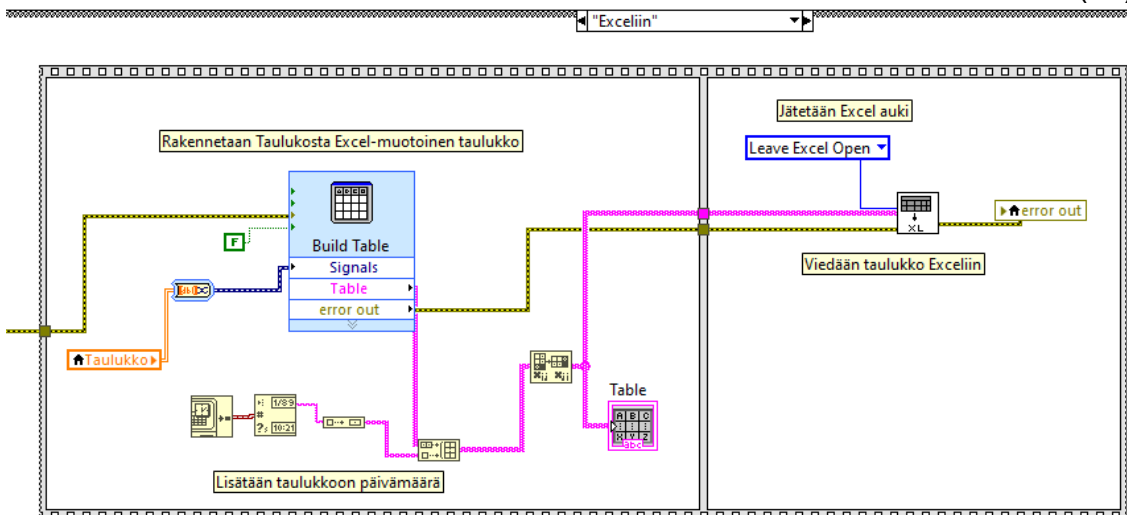


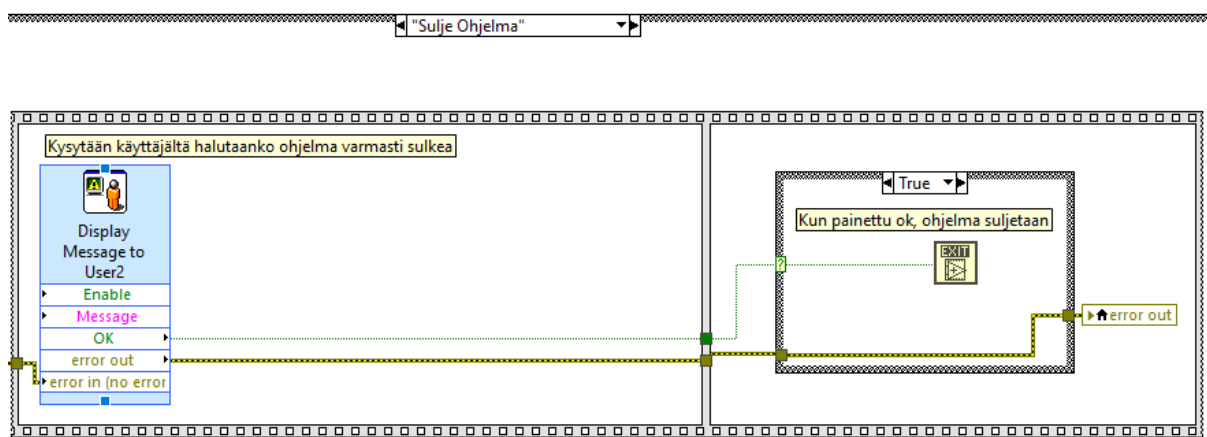
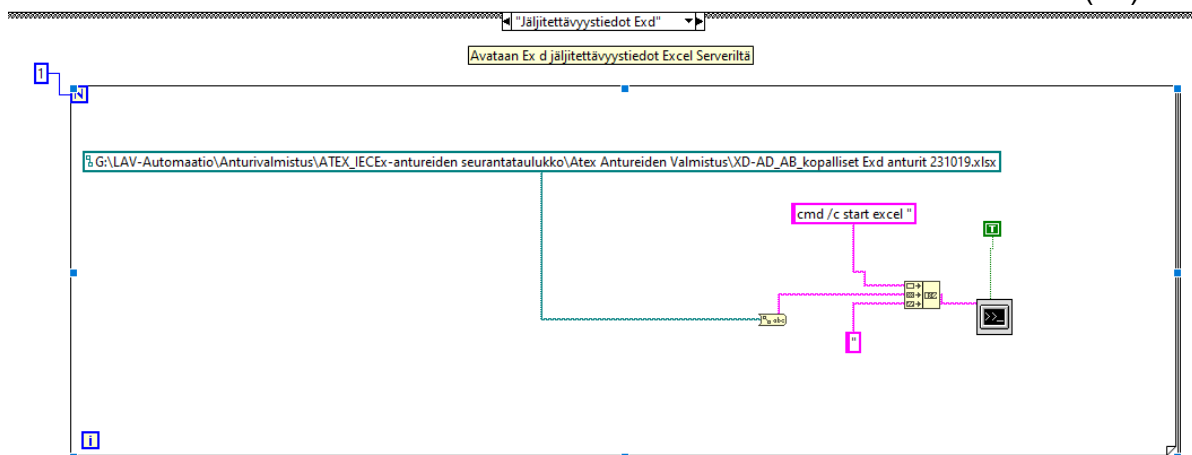




Uudelleentarkastustekenttään syötetty ID numero asetetaan tarkastettavan anturin ID-numeroksi



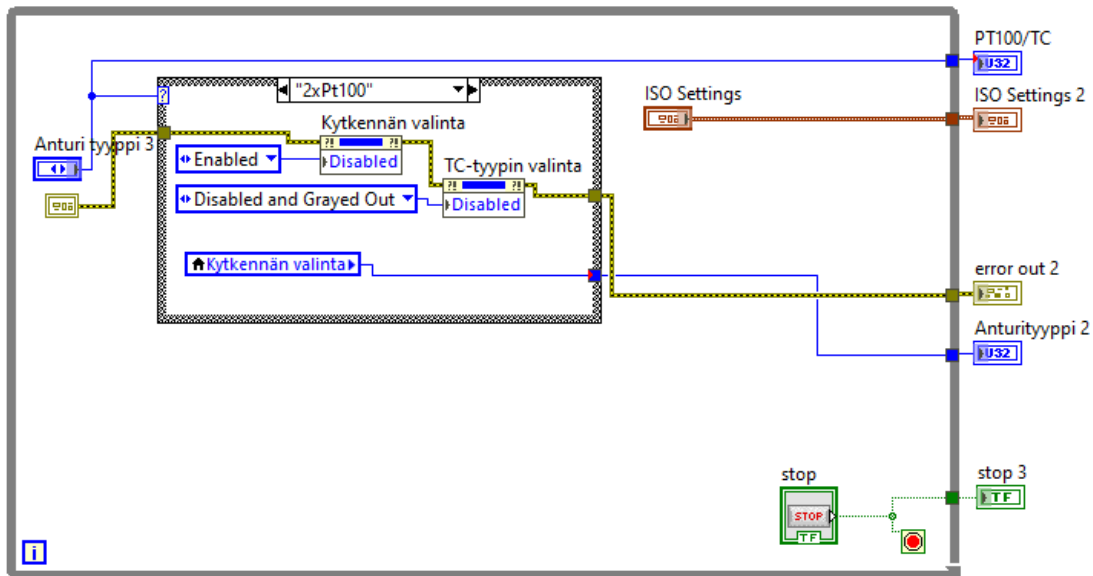
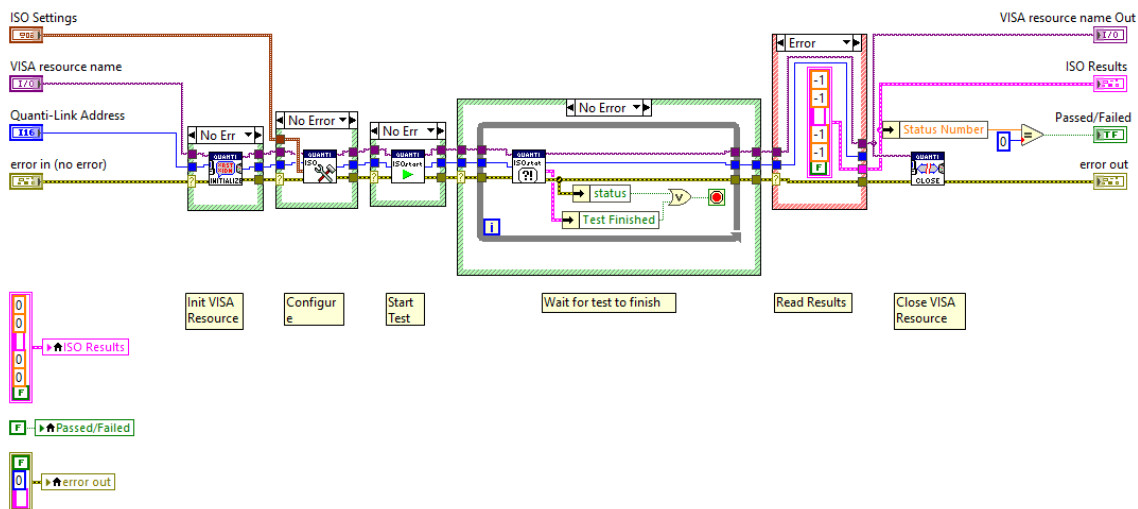




ISO Settings

Voltage	50	<input checked="" type="radio"/> 1XPt100	<input type="radio"/> TC
Ramp Up	0,0	<input type="radio"/> 2xPt100	<input type="radio"/> 2XTC
Ramp Down	0,0	<input checked="" type="radio"/> 2-JOHDIN	<input checked="" type="radio"/> TC-J
Timer	ON	<input type="radio"/> 3-JOHDIN	<input type="radio"/> TC-K
Tim	1,0	<input type="radio"/> 4-JOHDIN	<input type="radio"/> TC-N
High Limit, MOhm	10,0		<input type="radio"/> TC-R
Low Limit, MOhm	0,5		<input type="radio"/> TC-S
Connectivity Test	OFF		<input type="radio"/> TC-T
Connectivity Limit	1		
Connectivity AC Voltage	50		

OK

Liite 4. Käyttöohje

1 (2)



Ohje lämpötila- antureiden lopputestaukseen

Nina Ylimäki 05.04.2024

Ennen testaamista, anna antureiden jäähtyä huoneenlämpötilaan!

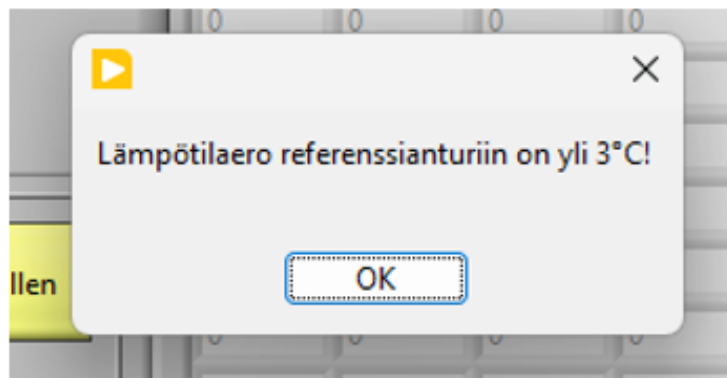
Älä koske kytkentään eristysvastusmittauksen aikana, sähköiskun vaara!

Testauksen kulku

- Käynnistä ohjelma ja täytä pyydetty tiedot
 - Tietoja voi muokata jälkeenpäin "Muuta tietoja" – painikkeesta
- Paina painiketta "Muuta tarkastusparametrejä" ja syötä oikeat tarkastustiedot testauspisteen taulukoiden ja anturin tyyppin mukaan

Lämpötilan mittaus:

- Kytke anturi laitteeseen lämpötila-anturityypin ja kytkentäkaavion mukaisesti
- Valitse ohjelmasta "lämpötilan mittaus" ja paina "tarkasta"
 - Lämpötilan arvot sekä käyrä näkyvät ohjelmassa
- Ohjelma varoittaa, mikäli lämpötilaero referenssianturiin on liian suuri. Tällöin tarkista mittaus ja mahdollisesti suorita uudestaan.



- Kun kaikki ok, paina "hyväksy", jolloin tiedot siirtyvät alhaalla olevaan taulukkoon
- Termoelementtiantureissa lämmitä vielä anturin mittapäätä ja varmista että lämpötila muuttuu oikeaan suuntaan!
 - Mikäli havaitaan virhe, tarkasta kytkentä laitteistoon. Mikäli kytkentä on oikein, anturi on viallinen ja se tulee tutkia ja romuttaa/korjata

Eristysvastusmittaus:

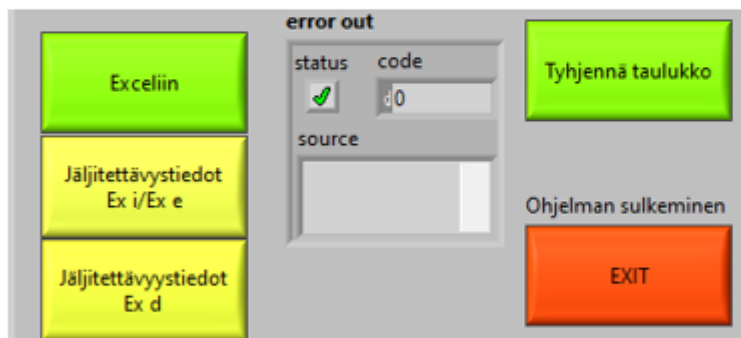
Eristysvastusmittaus voidaan tehdä pelkästään DC jännitteellä, AC jännitteellä tai anturille voidaan tehdä molemmat mittaukset esimerkiksi asiakkaan pyynnöstä.

Muista testata Ex e – anturit aina vähintään AC - jännitteellä!

- Valitse ohjelmasta mikä eristysvastusmittaus halutaan tehdä
- Kytke anturi eristysvastusmittarin kaapeleihin
 - - kaapeli anturin johtimiin ja + kaapeli anturin runkoon. Maajohdiin mahdolliseen häiriösuojavaippaan
- Varmista että kytkentä on turvallinen ja paina "tarkasta" – painiketta
 - **Muista olla eristettynä mittauspiiristä!**
 - Ohjelma suorittaa mittauksen automaattisesti
- Kun mittaus on valmis, paina hyväksy tietojen siirtämiseksi alhaalle taulukkoon
 - Jos anturi ei läpäise mittausta se tutkitaan ja romutetaan/korjataan

Mittausten jälkeen:

- Kun kaikki mittaukset anturille on tehty, viedään anturin tarkastustiedot isompaan taulukkoon "taulukko" - painikkeella
- Liimaa tuotetarra anturiin ja siirry seuraavan anturin tarkastamiseen
- Tarkastetaan seuraava anturi valmistuserästä
- Mikäli jonkun anturin testaus halutaan toistaa, voidaan ID- kenttään kirjoittaa kyseisen anturin ID ja tarkastaa normaalisti uudelleen
 - Tiedot tallentuvat alkuperäisten tietojen tilalle
- Kun koko valmistuserä on tarkastettu, tiedot viedään Exceeliin painamalla "Exceeliin" – painiketta
 - Enne tietojen viemistä Exceeliin, on hyvä tarkistaa vielä tietojen kelvollisuus ja että kaikki anturit on varmasti tarkastettu
 - Excel tallennetaan verkkolevyllä G:\LAV-Automaatio\Anturivalmistus\Antureiden tarkastustulokset _ Finero_laitteistolla Ex valmistustilausnumero tiedoston nimenä
- Jäljitettävyystiedot EX – antureille voi täyttää testauksen päätteeksi keltaisten painikkeiden takaa



- Ohjelman voi sulkea "EXIT" – painikkeesta tai "Tyhjennä taulukko" – painikkeesta tyhjentää taulukon ja aloittaa uuden valmistuserän tarkastuksen