

## **Kiihdytinlaboratorion ohjausjärjestelmämigraatio - Ionilähteiden ja injektioinjoijen ohjaukset.**

**Jyväskylän yliopisto**

Olli Leiviskä

Opinnäytetyö

Marraskuu 2018

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), Sähkö ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Leiviskä Olli	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä 11.2018
	Sivumäärä 50	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Kiihdytinlaboratorion ohjausjärjestelmämigraatio - Ionilähteiden ja injektioinjien ohjaukset.</b>		
Tutkinto-ohjelma Automaatiotekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Häkkinen Veli-Matti, Kuisma Ari		
Toimeksiantaja(t) Jyväskylän yliopisto		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Jyväskylän yliopiston fysiikan laitos. Työ jatkoi fysiikan laitoksen kiihdytinlaboratorion ohjausjärjestelmän uudistusprojektia, jonka tarkoituksena on uudistaa koko laboratorion ohjausjärjestelmä. Opinnäytetyö kuitenkin keskittyi ionilähteiden ja injektioinjien ohjauksiin sekä niiden siirtämiseen uuteen ohjausjärjestelmään.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ECR2 ionilähteen säteilykeilaan jääneen prosessiasemakaapin siirto pois säteilykeilasta sekä suunnitella ja rakentaa sen paikalle ristikytkentäkaappi ristikytkentäkaapeleineen. Tavoitteisiin kuului myös suunnitella ja toteuttaa kytkennät uuteen hajautuskaappiin sekä ristikytkentäkaapille. Kaikista töistä tehtiin selkeitä mutta informatiiviset dokumentit, jotka helpottavat jatkossa vikojenselvitystä ja muutostöitä.</p> <p>Työn tekemiseksi oli tutustuttava uuteen ja vanhaan ohjausjärjestelmään sekä niiden dokumentteihin. Dokumenttien ja kytkentöjen perustella tehtiin uudet suunnitelmat kaapin ja kytkentöjen siirtoa varten. Tarvittava ristikytkentäkaappi rakennettiin ja kaapelit vedettiin suunnitelmien mukaisesti. Kaikkia kytkentöjä ei voitu siirtää suoraan, jonka seurauksena oli tehtävä muutoksia ja lisäyksiä järjestelmään sekä suunnitelmiin. Hajautuskaapin kytkennät saatiin valmiiksi, mutta ristikytkentäkaapin kytkentöjä ei vielä voitu tehdä valmistelevia kytkentöjä lukuun ottamatta.</p> <p>Tehdyt työt veivät uudistusprojektia eteenpäin ja antoivat tietoa projektin jatkossa mahdollisesti ilmestyvien ongelmien ratkaisemiseksi. Luodut dokumentit toimivat pohjana koko projektin dokumentoinnille, jotta järjestelmästä tulisi mahdollisimman yhdenmukainen ja helppolukuinen laboratorion henkilökunnalle.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) Automaatiuusinta, ohjausjärjestelmä, ohjaukset		
Muut tiedot		

Author(s) Leiviskä Olli	Type of publication Bachelor's thesis	Date 11.2018
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 50	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Control system migration of accelerator laboratory – Controls of ion sources and injection lines.</b>		
Degree programme Automation engineering		
Supervisor(s) Häkkinen Veli-Matti, Kuisma Ari		
Assigned by University Of Jyväskylä		
Abstract  <p>This thesis was assigned by the Department of Physics at the University of Jyväskylä. The thesis continued the department's control system renewal project of the accelerator laboratory, which aims to completely reform the whole control system. However, the focus of the thesis was on the controls of ion sources and injection lines as well as their transfer to the new control system.</p> <p>The objective was to design transfer of a process station cabinet away from the radiation cone of ECR2 ion source and to design and build a cross-connection cabinet to its original position. An additional objective was to plan and carry out the connections to the new distribution- and cross connection cabinets. Articulated and informative documents were created from all the plans, which will help with fault investigations and modification work done in the future.</p> <p>Examination of both old and new control systems and their documents were essential in this work. According to these documents and old wirings, plans were made for the transfer of cabinets and their wirings. The designed cross-connection cabinet was built and cables were pulled according to the plans. Some wirings were not compatible with the new system, which caused some deviations and additions to the system and schematics. The wirings of the distribution cabinet were completed; however, the wirings of the cross-connection cabinet could not yet be made with the exception of preliminary connections.</p> <p>This thesis moved the renewal project forward and gave information that, can be used for solving emerging future problems. The created documents act as a foundation for the documentation of the whole project; hence, the new system will be as uniform and easily understandable as possible for the laboratory staff.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) Automation renewal, control system, controls		
Miscellaneous		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto ja tavoitteet .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Jyväskylän yliopisto .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Kiihdytinlaboratorio .....</b>	<b>6</b>
	3.1 Ohjattavat laitteet.....	8
	3.2 Säteilyn vaikutus työhön .....	10
<b>4</b>	<b>Ohjausjärjestelmät .....</b>	<b>11</b>
	4.1 Honeywell TotalPlant Alcont .....	11
	4.2 Rockwell PlantPAx.....	13
<b>5</b>	<b>Moduulit ja kytkennät .....</b>	<b>15</b>
	5.1 Digitaalitulo .....	16
	5.2 Digitaalilähtö.....	17
	5.3 Analogiatulo.....	17
	5.4 Analogialähtö.....	18
	5.5 Sarjaliikenne .....	20
	5.5.1 RS-232.....	20
	5.5.2 RS-422.....	21
<b>6</b>	<b>Hajautuskaappi .....</b>	<b>22</b>
<b>7</b>	<b>Ristikytkentäkaappi .....</b>	<b>25</b>
<b>8</b>	<b>Tarvikkeet ja kaapelit .....</b>	<b>27</b>
	8.1 Ristikytkentäkaapin riviliittimet.....	27
	8.2 Kaapelit.....	27
<b>9</b>	<b>Toteutus.....</b>	<b>29</b>
	9.1 Valmistelevat työt.....	29
	9.2 Dokumentointi.....	30
	9.3 Kaapeloinnit ja kytkennät.....	31
	9.4 Testaukset .....	33
<b>10</b>	<b>Pohdinta.....</b>	<b>34</b>
	<b>Lähteet .....</b>	<b>36</b>

<b>Liitteet .....</b>	<b>38</b>
-----------------------	-----------

## **Kuviot**

Kuvio 1 Yliopiston rakenne. ....	5
Kuvio 2 Ylistön kampus.....	6
Kuvio 3 Muokattu laboratorion pohjakuva. ....	7
Kuvio 4 Syklotronin toimintaperiaate .....	8
Kuvio 5 Kuva osasta Alcont -järjestelmäkaaviota .....	12
Kuvio 6 Kuva osasta PlantPax -järjestelmäkaaviota. ....	14
Kuvio 7 Digitaalitulon kytkennät.....	16
Kuvio 8 Digitaalilähdön kytkennät. ....	17
Kuvio 9 Analogiatulon kytkennät.....	18
Kuvio 10 Analogialähdön kytkennät. ....	19
Kuvio 11 RS-232 pinnit. ....	21
Kuvio 12 RS-422 väylä. ....	22
Kuvio 13 Kuvankaappaus kaappien sijaintien suunnitelmasta.....	23
Kuvio 14 Alcont-hajautuskaappi. ....	24
Kuvio 15 Rockwell-hajautuskaappi ennen kytkentöjä. ....	25
Kuvio 16 Ristikytkentäkaapin suunnitelma. ....	26
Kuvio 17 Ristikytkentäkaappi kytkentävalmiina. ....	30
Kuvio 18 Valmis Rockwell hajautuskaappi. ....	32
Kuvio 19 Valmis ristikytkentäkaappi. ....	33

## **Taulukot**

**No table of figures entries found.**

## Käsitteitä

CERN	Euroopan hiukkasfysiikan tutkimuskeskus.
ESA	Euroopan avaruusjärjestö.
MeV	Yksikkö, megaelektronivoltti.
Ekstraktio	Toimenpide, jolla suihku saadaan ulos kiihdyttimestä.
WAGO ja Mitsubishi	Laboratoriossa käytettäviä automaatiolaitevalmistajia.
I/O	Tulo/lähtö (input/output).
Codesys 2.3	Ohjelmointiympäristö, controller development system.
LD	Ohjelmointikieli, ladder diagram.
ST	Ohjelmointikieli, structured text.
FBD	Ohjelmointikieli, function block diagram.
SFC	Ohjelmointikieli, sequential function chart.
DHCP-palvelin	IP osoitteita jakava palvelin.
DNS-palvelin	IP:n verkkotunnukseksi muuntava nimipalvelin.
RDS-lisenssi	Etäkäyttölisenssi (remote desktop services).
HMI	Käyttöliittymä (human machine interface).
CADS-Planner	CAD suunnitteluohjelma.

## 1 Johdanto ja tavoitteet

Jyväskylän yliopiston kiihdytinlaboratoriossa on käynnissä vuonna 2014 aloitettu ohjausjärjestelmämuutos. Muutoksen taustalla on edellisen ohjausjärjestelmän vanheneminen ja varaosien hankinnan vaikeutuminen. Uuden järjestelmän hankintaprojektia tehtiin muiden töiden ohella ja vuonna 2016 uudet järjestelmäkaapit toimitettiin Jyväskylään. Sovelluskehitystyötä on tehty siitä lähtien kaappien testiympäristössä.

Tämä opinnäytetyö aloittaa kaappien ja kytkentöjen siirron lopullisille paikoilleen sekä kytkentöjen suunnittelun. Työ rajataan yhteen kaksipuoliseen hajautuskaappiin, jossa on ionilähteiden ja injektioinjan ohjaukset. Vanha kaappi on laboratorion muutostöiden takia jäänyt ionilähteestä tulevaan säteilykeilaan. Säteilykeila on elektronikalle haitallinen, joten uusi kaappi täytyy siirtää pois säteilynvaikutusalueelta. Kenttäkaapelit eivät kuitenkaan ole tarpeeksi pitkiä kaapin siirtoa varten, minkä vuoksi vanhan kaapin tilalle täytyy tehdä ristikytkentäkaappi.

Tehtävänä on siis suunnitella, rakentaa ja toteuttaa ionilähdetilan prosessiasemien siirto, ristikytkentäkaappi vanhojen prosessiasemien tilalle sekä kaappien väliset kytkennät. Tavoitteena on selkeiden ja yhdenmukaisten dokumenttien teko, siistit kytkennät ja tietenkin toimiva kokonaisuus. Sovellusten teko ei kuulu opinnäytetyöhön.

## 2 Jyväskylän yliopisto

Jyväskylän yliopisto sai alkunsa 1863, jolloin Uno Cygnaeus perusti ensimmäisen suomenkielisen opettajankoulutusseminaarin. Seminaari muuttui Kasvatusopilliseksi korkeakouluksi vuonna 1934. Ensimmäinen kandidaatintutkinto suoritettiin 1946 ja ensimmäinen tohtori väitteli 1949. Fysiikan laitos perustettiin vuonna 1965 ja vuosien jälkeen Kasvatusopillinen korkeakoulu vaihtui nykyiseen Jyväskylän yliopistoon. (Kampus ja historia 2018.)

Jyväskylä yliopisto koostuu tänä päivänä kuudesta tiedekunnasta, viidestä erillislaitoksesta sekä kahdesta tytäryhtiöstä, jotka näkyvät kuviossa 1. Yliopistossa opiskelee 14500 opiskelijaa sadasta eri maasta. Työntekijöitä on 2500, joista 700 opettajaa, 800 tutkijaa ja loput teknistä henkilökuntaa. Yliopiston budjetti vuonna 2017 oli 204 miljoonaa euroa. (Avainluvut 2018.)



Kuvio 1 Yliopiston rakenne. (Avainluvut 2018)

Fysiikan laitos on osa matemaattis-luonnontieteellistä tiedekuntaa. Laitos sijaitsee Jyväsjärven rannalla Ylistönrinteellä kemian sekä bio- ja ympäristötieteiden laitoksen kanssa. Laitoksessa koulutetaan fysiikan opettajia ja tutkijoita. Molemmat tutkivat luonnon fysikaalisia perusilmiöitä. Opettajat voivat opettaa matematiikkaa, kemiaa ja fysiikkaa peruskouluissa ja lukioissa. (Fysiikan laitoksen esittely 2018.)

Fysiikan laitoksella tehdään teoreettista ja kokeellista perustutkimusta sekä siihen perustuvaa soveltavaa tutkimusta. Tutkimuksilla on kolme pääalaa: materiaalfysiikka, hiukkasfysiikka sekä ydin- ja kiihdytinpohjainen fysiikka. Materiaalfysiikka sisältää materiaalin rakennetutkimuksen sekä nanofysiikan. Suuri osa materiaalfysiikan tutkimuksista tehdään fysiikanlaitoksen vieressä sijaitsevassa nanotiedekeskuksessa. Hiukkasfysiikka keskittyy kosmologiaan, raskasioneitörmäysten fysiikkaan ja neutriinofysiikkaan. Ydin- ja kiihdytinfysiikka tutkivat ydinmalleja ja ilmiöitä, jotka liittyvät heikkoihin vuorovaikutuksiin. Kaikki tutkimusalat tekevät yhteistyötä muiden tutkimuslaitosten esimerkiksi CERN:in ja ESA:n laitosten kanssa. Myös yksityiset yritykset ovat mukana tutkimuksissa. (Fysiikan laitoksen tutkimus 2018.)

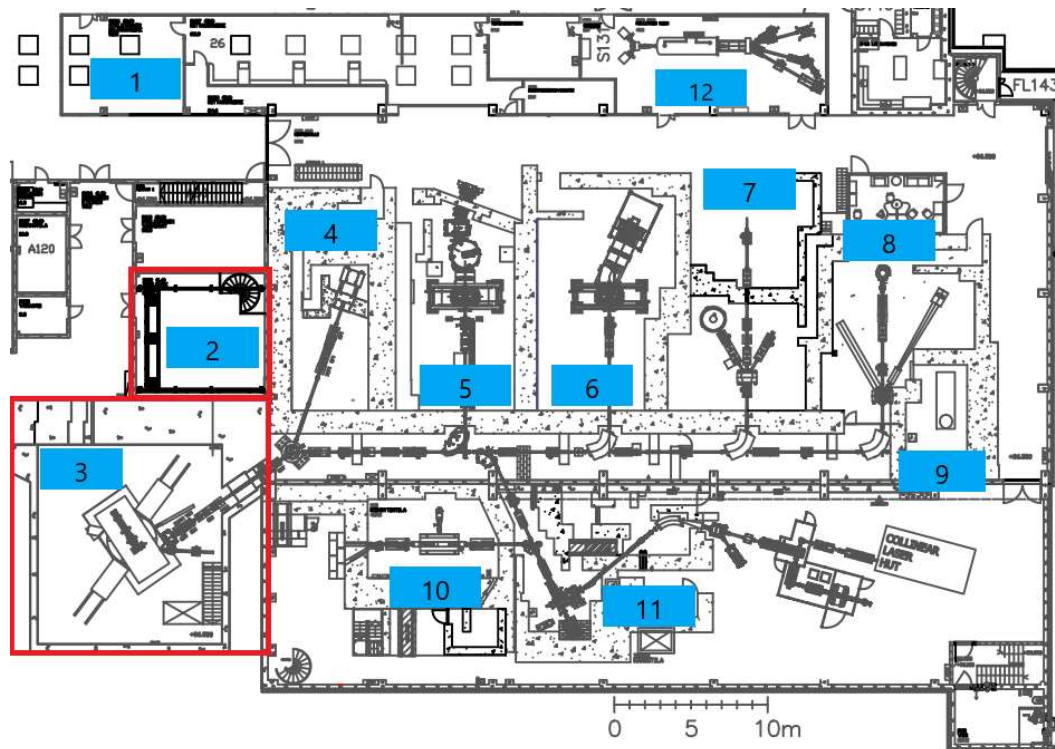




Kuvio 2 Ylistön kampus. (Kampus ja historia 2018.)

### 3 Kiihdytinlaboratorio

Fysiikan laitoksella sijaitsee luonnon ilmiöistä tutkimusta tekevä kiihdytinlaboratorio. Vuosien 2012-2017 aikana laboratorio oli Suomen Akatemian huippututkimusyksikkö ja se toimii tänä päivänäkin ESA:n yhteistyölaboratoriona. Laitoksella toimii monia eri tutkimusryhmiä, joilla on omat tutkimuslaitteensa ja tutkimuksensa pääalojen alla. Pääasiallisina tutkimusvälineinä käytetään laboratorion ionilähteistä ja kiihdyttimistä saatuja ionisuihkuja. Laboratoriossa on neljä hiukkaskiihdytintä. Kaksi syklotronia, yksi lineaarikiihdytin sekä yksi elektronikiihdytin. Kuviossa 3 kiihdytinlaboratorion pohjakuva, josta nähdään tutkimusluolat sekä kiihdyttimet. (Kiihdytinlaboratorio 2018; Ydin- ja kiihdytinpohjainen fysiikka 2018.)



Kuvio 3 Muokattu laboratorion pohjakuva.

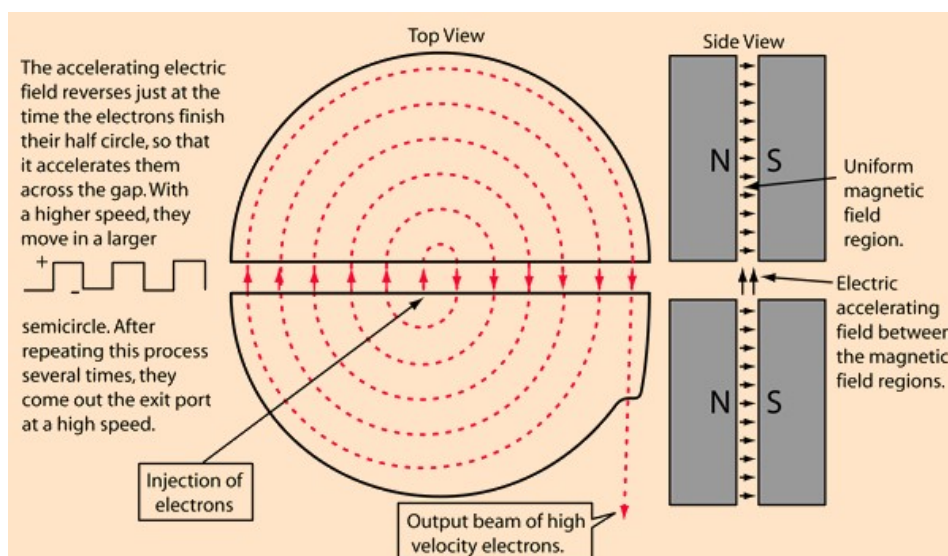
Kuvion 3 numeroiden selitykset:

- 1. Ohjaushuone
- 2. Ionilähteet
- 3. K-130 syklotroni
- 4. Protonilinja (MAP)
- 5. MARA (Mass Analyzing Recoil Apparatus) rekyylimassa-analysaattori
- 6. RITU (Recoil Ion Transport Unit) rekyyli-ioniseparaattori
- 7. Ydinreaktiot (Large Scattering Chamber) suuri siroutuskammio
- 8. RADEF (Radiation Effects Facility) säteilyvaikutusten tutkimus
- 9. Elektronikiihdytin
- 10. MCC30/15 syklotroni
- 11. IGISOL (Ion Guide Isotope Separator On-Line) ioni ohjain isotooppi sepa-  
raattori On-Line ja laserspektroskopia sen yläpuolella.
- 12. Pelletroni (lineaarikiihdytin)

### 3.1 Ohjattavat laitteet

Työssä keskityttiin suurelta osin kuvion 3 alueilla 2 ja 3 sijaitseviin laitteisiin. Alueella 2 sijaitsee kolme ionilähdettä ja alueella 3 sijaitsee K-130 syklotroni sekä yksi ionilähde. Kiihdyttimen ja ionilähteiden välissä on injektio- ja mittalaitteiden ohjaukset ovat myös tämän työn prosessiasemilla.

K-130 syklotroni on kiihdytin, joka pystyy kiihdyttämään protoneita 130 MeV:iin saakka. 130 MeV vastaa protonin nopeutena noin kolmannesta valonnopeudesta eli lähes 100 000 kilometriä sekunnissa. Protonien lisäksi syklotronilla voidaan kiihdyttää laajalla alueella kevyt- ja raskasioneja. Raskasioneilla energia saadaan nousemaan yli 300 MeV:iin, mutta tällöin kiihdytettävän suihkun nopeus laskee. Kiihdyttäminen tapahtuu RF-taajuisella (10 MHz-25 MHz) korkeajännitteisellä sähkökentällä voimakkaassa magneettikentässä. Suihku aloittaa keskeltä ja nopeuden kasvaessa sen rata-säde kasvaa spiraalimaisesti. Reunaa lähestyessä suihku osuu ekstraktioon, joka siirtää suihkun ulos suihkulinjaan. Onnistuneen kiihdytyksen saamiseksi tarvitaan oikea kiihdytysjännite, magneettikenttä ja RF-sykli. Kaikkien näiden täytyy olla partikkelisuihkulle sopivia tai kiihdytystä ei tapahdu. Erilaiset partikkelisuihkut tarvitsevat erilaisen yhdistelmän näitä kolmea. Alla havainnekuviot syklotronin toiminnasta. Kuviossa puhutaan elektroneista mutta sama periaate toimii myös kaikilla varautuneilla hiukkasilla. (Kiihdyttimet ja ionilähteet 2018; Nave 2016.)



Kuvio 4 Syklotronin toimintaperiaate (Nave 2016.)

Syklotronin vuosittainen käyttöaika on 6000 – 7500 tuntia eli jopa yli 300 päivää vuodessa. Syklotronia käytetään normaalisti ympäri vuorokauden viikonloput mukaan lukien. Lähes jatkuvan käytön vuoksi päivitys ja muutostöille on todella hankalaa löytää sopivaa ajankohtaa. (Kiihdyttimet ja ionilähteet 2018.)

Syklotronin ja ionilähteiden välillä on injektioinjia, jossa on erilaisia suihkuun ja tyhjiöön vaikuttavia laitteita. Linjassa on useita erilaisia magneetteja, jotka kääntävät ja fokusoivat suihkua. Ohjausjärjestelmä ohjaa magneettien virtoja ja käynnistyksiä suihkun tarpeiden mukaan. Mittausdiagnostiikkakammioissa on nimensä mukaan erimittalaitteita, joilla mitataan suihkun ominaisuuksia sekä tyhjiötä. Kammioista poistetaan ilmaa tyhjiöpumpuilla ja viimeinen kammio ennen syklotronia sisältää buncherin. Buncher pulssittaa injektoitavan tasavirtasuihkun kiihdyttimen akseptanssin mukaan. Kiihdyttimellä on oma akseptanssi eli käytännössä tietty prosenttiosuus käytettävästä RF-syklistä, jolloin se voi ottaa vastaan suihkua. Buncher pyrkii siis maksimoimaan hyödynnettävän suihkun määrän akseptanssin avulla. Kaikkiin laboratorion linjastoihin on lisäksi asennettu faradayn kuppeja. Kupit toimivat mittalaitteina joilla voidaan mitata suihkun intensiteettiä eli virtaa. Normaalien kuppien lisäksi on vahvempia turvakuppeja, jotka pystyvät katkaisemaan suihkun hätätilanteissa tai tarpeen vaatiessa. (Saario, Gustafsson, Kotilainen, Kaski, Lassila, & Liukkonen, 1995.)

Syklotroni saa esikiihdytetyn partikkelisuihkun ionilähteiltä. Laboratoriossa on neljä ionilähdettä: JYFL 6.4 GHz ECRIS, 14 GHz ECRIS, 18 GHz ECRIS ja kevytionilähde LIISA. ECRIS -lähteet toimivat ECR -tekniikalla (Electron Cyclotron Resonance) ja tuottavat raskasioneja, jotka ovat korkeasti positiivisesti varattuja. LIISA on kevytionilähde, joka toimii multicusp tekniikalla. LIISA tuottaa protoneja, jotka ovat negatiivisesti varautuneita. Protoneja ajettaessa koko järjestelmän napaisuudet täytyy vaihtaa. ECR -lähteitä käytetään materiaalifysiikan tutkimuksissa ja multicusp lähdettä muun muassa lääketieteellisiin isotooppituotannon tarpeisiin. Molemmilla tekniikoilla tehtyjä suihkuja käytetään myös ydinfysiikan testeissä. Ionilähteet ovat laboratorion ohjausjärjestelmässä 18 GHz ECRIS -lähdettä lukuun ottamatta, joka toimii WAGON ohjauksessa. WAGO kuitenkin kommunikoi Alcontin kanssa Codesys 2.3 -ohjelmaan tehtyjen kommunikointilohkojen avulla. Uudessa järjestelmässä kommunikointi tapahtuu suoraan Ethernet/IP -protokollalla. (Kiihdyttimet ja ionilähteet 2018.)

## 3.2 Säteilyn vaikutus työhön

Laboratoriossa työskennellessä ionisoiva säteily on osa työn riskitekijöitä. Kaikki opinnäytetyön aikana tehdyt kenttätyöt on tehty säteilyn valvonta-alueella. Valvonta-alueella työskentely vaatii erityisiä toimenpiteitä turvallisuuden takaamiseksi. Alue on rajattu, kulkua valvotaan ja alueen säteilyä mitataan annosmittareilla. Lisäksi kaikilla työskentelijöillä täytyy olla henkilökohtainen annosmittari, joka tarkastetaan työnkuvasta riippuen kerran kuukaudessa tai kahdessa. Käytännössä kuitenkin laitoksen henkilöiden saamat säteilyannokset ovat niin pieniä, että ne ylittävät merkintärajan hyvin harvoin. (Säteilyturvallisuus työpaikalla 2009)

Automatiikka valvoo alueita ja niiden säteilyarvoja. Ajon aikana alue turvalukitaan ja varoitusvalot syttyvät pääsykiellon merkiksi. Turvalukitus katkaisee hiukkassuihkun, jos ovet avataan. Myös ionilähdetilan säteilyarvot voivat nousta joskus tiettyjä hiukkassuihkuja tehdessä sallitun annosrajan yli, jolloin tilat on suljettava. Toiminnan jäännösaktiivisuus on kuitenkin niin vähäistä, että tilaan pääsee lähes heti hiukkassuihkun katkaisun jälkeen.

Alueelle jää kuitenkin laitteita, jotka altistuvat ionisoivalle säteilylle. Fysiikan laitoksella on oma tutkimusryhmänsä RADEF, joka tutkii säteilyn vaikutuksia elektroniikkaan. Tiedettyjen vaikutusten vuoksi uuden ohjausjärjestelmän hajautuskaappi haluttiin siirtää vähemmän säteilylle altistavaan tilaan. Ionisoiva säteily voi aiheuttaa ajan myötä joidenkin eristeiden vähittäistä varautumista. Esimerkiksi transistoreissa tämä voi aiheuttaa vuotovirtoja ja pidemmällä ajalla koko loogisen tilan korruptoitumista. Pitkäaikaisen vaikutuksen lisäksi säteilyllä voi olla myös hetkittäisiä vaikutuksia. Oikeaan paikkaan osuessa digitaali- tai analogiasignaalin arvo voi hetkellisesti muuttua ja logiikkapiirit voivat menettää tilansa hetkellisesti, pysyvästi tai jumiutua kokonaan, jos tila on odottamaton. Hajautuskaapin siirto siis lisää elektroniikan käyttöikä ja vähentää mahdollisten virheiden syntyä ohjausjärjestelmässä. (Bossler 2017, 35-43.)

## 4 Ohjausjärjestelmät

80-luvulta lähtien toiminut Honeywellin TotalPlant Alcont on toiminut laboratorion ohjausjärjestelmänä luotettavasti koko elinkaarensa ajan. Laitteistojen vanhentumisen myötä varaosien hankkiminen on kuitenkin hankaloitunut ja niiden hinta on noussut.

Vuonna 2014 Fysiikan laitos käynnisti uuden ohjausjärjestelmän hankintaprojektin. Tärkeimpiä vaatimuksia olivat muun muassa riittävän pitkä elinkaari, hajautus, signaalien yhteensopivuus, sarjaliikenteen mahdollisuus sekä päivitys ethernet-väylään. Valintaprosessista uudeksi ohjausjärjestelmäksi valittiin Rockwell Automationin PlantPAx -ohjausjärjestelmä.

### 4.1 Honeywell TotalPlant Alcont

Käyttöönottaessa kiihdytinlaboratorion ohjausjärjestelmä sisälsi kaksi sovellusasemaa, yhden GUS- ja käytönohjausasemat sekä yhdeksän prosessiasemaa. I/O:ta oli tällöin noin 2000. Ajan myötä laajenemisen ja monimutkaistumisen takia järjestelmää on jouduttu päivittämään. Nykyään laboratoriossa on 18 prosessiasemaa ja yksi testiasema. GUS- ja käytönohjausasemia on kaksi ja sovellusasemia on enää yksi. Näiden lisäksi on tullut kaksi valvomoasemaa, kaksi kenttäohjainta, yksi etäyhteyspalvelin sekä hälytyskirjoitin. I/O määrä on kasvanut 2700:aan, joista käytössä on noin 1900 kappaletta. Kokonaiskuva päivityksien jälkeisestä TotalPlant Alcont -ohjausjärjestelmästä ja niiden väylistä liitteessä 1.

Ohjausjärjestelmässä prosessiasemat ohjaavat ja säätävät kenttälaitteita. Asemat välittävät ja vastaanottavat prosessitietoa koko järjestelmälle. Prosessiasemilta ohjaustiedot siirtyvät pitkille etäisyyksille tarkoitettua upline väylää 4 Mb/s siirtonopeudella valvomoasemille. Kuviossa 5 kuvankaappaus liitteen 1 järjestelmäkaaviosta, josta näkee esimerkkiä Alcont -yhteyksistä.



## 4.2 Rockwell PlantPax

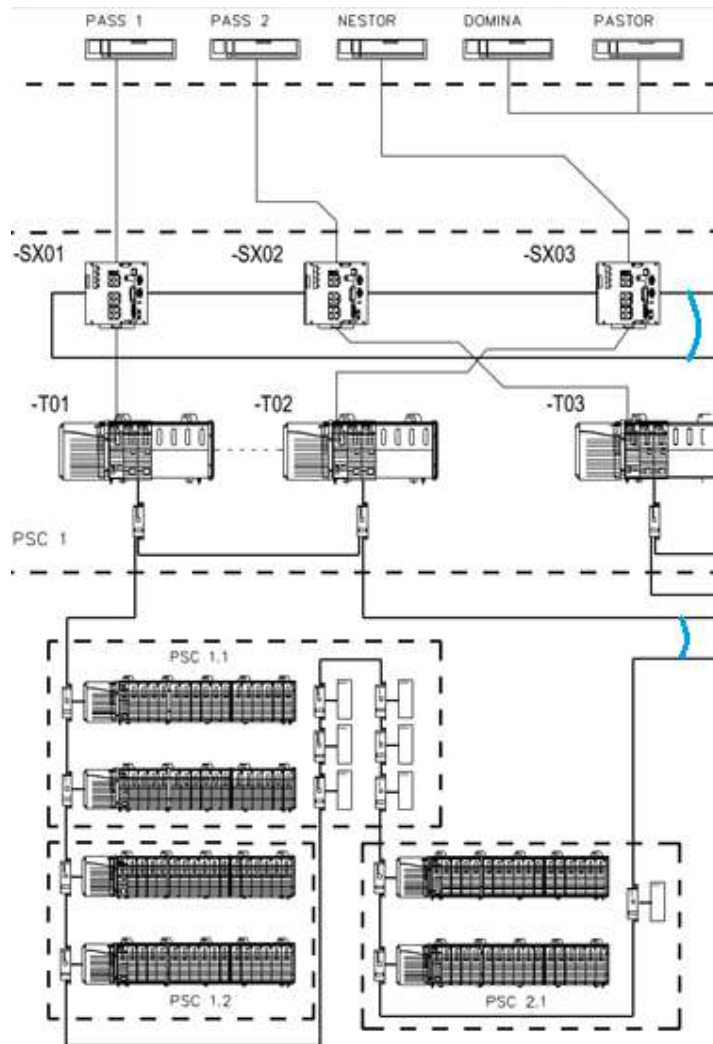
Rockwell PlantPax hajautettu ohjausjärjestelmä on kokonaisuus, johon sisältyy Allen-Bradleyn laitteet ja Rockwellin studio 5000 -sovellusympäristö. Kuvankäsittelyssä käytössä on Factorytalk view site edition -sovellus. Laitteistoina käytetään Allen-Bradleyn 1756 ControlLogix kehikko I/O -moduuleita sekä 1783 -verkkolaitteita. Järjestelmä on suunniteltu mahdollisimman toimintavarmaksi käyttäen kahdennuksia ja silmukkarakenteita yhteyksissä. Liitteessä 2 on järjestelmäkaavio, josta näkee järjestelmän rakenteet ja laitteistot.

Järjestelmän ytimenä toimivat kontrollerit, jotka sisältävät ohjaus ohjelmat ja lähettävät ohjaukset hajautusasemille. Kontrollerina toimii ControlLogix 5580 1756-L85 -prosessimoduuli, jossa on Intelin prosessori. Yhdellä prosessimoduulilla on käyttäjämuistia 40 MB ja sillä voidaan ohjata 300:aa Ethernet/IP -laitetta. Käyttäjämisti määrittää prosessorin ohjelmien maksimikoon. Ohjelman sisälle voidaan luoda aliohjelmaa LD, ST, FBD sekä SFC -kielillä. Moduulissa on yksi USB-B -ohjelmointiportti sekä yksi 1 Gbps EtherNet/IP -portti kytkimeen liittymistä varten. Kytkeytyminen kentälle tapahtuu kontrollerin kylkeen kytkettävällä erillisellä verkkomoduulilla. Kontrollerit ovat kahdennettuja pareja toimintahäiriöiden varalta ja jokaisella on oma kytkin toimintavarmuuden maksimoimiseksi. (ControlLogix 5580 2018, 21; Liite 2.)

Verkkomoduulia käytetään kontrollerin ja hajautuskehikoiden välisessä kommunikoinnissa. Ohjausjärjestelmässä käytetään 1756-EN2T -kommunikaatiomoduulia. 1756-EN2T pystyy 100 Mbps nopeuteen ja ne pystyvät käsittelemään 25000 datapaketia sekunnissa. Verkkomoduuli on aina hajautuskehikossa, sillä se välittää kaikki kontrollerilta saadut ohjaukset muille moduuleille, jotka välittävät ne kenttälaitteille. Verkkomoduulit ovat kytketty rengasmaisesti valokuidulla. Moduulissa ei kuitenkaan ole kuituliittimiä, joten välissä käytetään kuitumuunninta. Kuitumuunnin on malliltaan 1783-ETAP2F. Siinä on kaksi kuituliitintä silmukalle sekä yksi RJ45-liitäntä verkkomoduuliyhteydelle. Muuntimen jokainen portti on diagnosoitavissa, joten yhteyksien toimivuuden seuranta ja vianetsintä ovat helppoa. Samoissa silmukoissa on verkkomoduulien lisäksi sarjaliikennemoduulit samanlaisten kuitumuuntimien takana.



Kuviossa 6 kuvankaappaus liitteen 2 järjestelmäkaaviosta, josta näkee esimerkkiä yhteyksistä. (1756 ControlLogix Communication Modules Specifications 2017, 5-10; Liite 2.)



Kuvio 6 Osa PlantPAX -järjestelmäkaaviota.

Ohjauspuolen kytkiminä toimii 2-tason Stratix 5400 1783-HMS8TG4CGN. Kytkimet yhdistävät kontrollerit ja niiden kahdennukset toisiinsa sekä rakentavat varmennetun verkon servereille ja käyttökoneille. Stratixit ovat kytketty rengasmaisesti valokuidulla laitteen tai portin hajoamisen varalta. Serverit ja käyttökoneet on kytketty normaalilla CAT6 ethernet-kaapelilla. (Stratix Ethernet Device Specifications 2018, 21; Liite 2.)

Ohjausjärjestelmässä käytössä on viisi serveriä, joilla jokaisella on oma tehtävänsä ohjausjärjestelmän toiminnassa. PASS -serverit toimivat sovelluskuvien säilöntäpaikana ja hälytyslistojen ylläpitäjänä. PASS:it myös yhdistävät kentältä saadun datan kuvien kanssa antaen kuvien muuttujille arvot. PASS 1 on aktiivisessa käytössä ja PASS 2 on kahdennuspalvelin, joka tulee käyttöön ongelmatilanteissa. AppServ-info toimii järjestelmän historioitsijana. Info kerää dataa koko järjestelmästä ja pitää yllä lokeja tapahtumista. Serveri sisältää historioitsijan lisäksi myös VantagePoint -ohjelman sekä SQL-tietokannan muokkausohjelmineen. Domain controller vastaa järjestelmän turvallisuudesta. Se käsittelee kirjautumiset ja käyttöoikeudet sekä toimii DHCP ja DNS -palvelimena verkolle. Serveri sisältää myös käyttäjätiedot ja niiden hallinnan. Viides serveri AppServ-OWS hoitaa etäyhteydet PlantPax -verkkoon ulkopuolisista verkoista. Se mahdollistaa pääsyn operointiympäristöön maksimissaan kymmenelle etäyhteydelle yhtä aikaa RDS-lisensseillä. (PlantPax Distributed Control System 2018, 27-50; Liite 2.)

Käyttökoneita on järjestelmässä kahdenlaisia, EWS ja OWS. EWS eli insinööriasemat ovat suunnittelijoille, jotka tekevät ohjelmat, sovelluskuvat ja konfiguraatiot. EWS-asemia voi käyttää sekä ylläpitoon että ohjaamiseen ja monitorointiin. Ne toimivat pääsuunnittelukoneina ja sisältävät kaikki suunnitteluohjelmat. OWS eli operointiasemat hoitavat normaalin käytön ja ohjausarvojen syötön. Ne ovat yksinkertaisempia kuin insinööriasemat ja sisältävät vain HMI-yhteyteen tarvittavat ohjelmat. Operointiasemat eivät voi tehdä muutoksia ohjelmiin tai sovelluskuviin. (PlantPax Distributed Control System 2018, 33-36; Liite 2.)

## **5 Moduulit ja kytkennät**

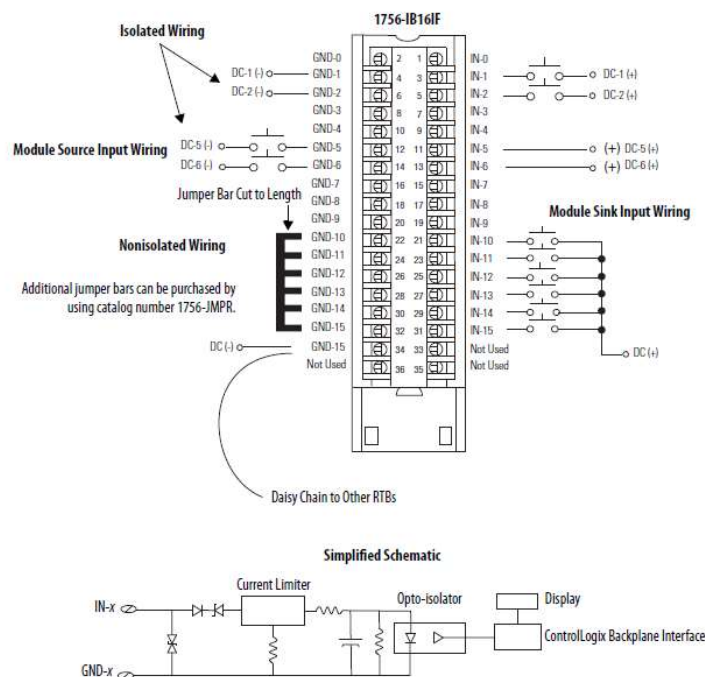
Ohjausjärjestelmän kenttäliitännät toteutuvat hajautuskehikon moduuleiden kautta. Opinnäytetyössä keskityttiin PSC3.1/3.2 –kaappiin, jossa on neljä kehikkoa ja 49 moduulia. Digitaali- ja analogiakanavien kokonaismäärä kaapissa on 640. Näiden kanavien lisäksi kaapissa on kolme sarjaliikennemoduulia, joissa jokaisessa on neljä porttia sarjaliikennekokonaisuuksille. Kaikki moduulit saavat käyttöjännitteensä kehikolta sarjaliikennemoduuleita lukuun ottamatta.

## 5.1 Digitaalitulo

Digitaalitulo havaitsee virran kulun virtapiirissä. Kanavan digitaalisuus tarkoittaa, että sen arvo voi olla joko 1 tai 0 eli päällä tai pois. Jos virtapiiri on suljettu ja virta kulkee moduulille, kanava antaa arvon 1 (HIGH) ja jos virtapiiri on avoin se saa arvon 0 (LOW). (Onuoha & Rios 2016)

Digitaalitulomoduulina työssä käytetään Rockwell automationin 1756-IB16IF -moduulia. Moduulissa on 16 kanavaa, jotka voidaan kytkeä kelluvina tai ketjutettuna joko yhteiseen maahan tai yhteiseen jännitelähteeseen, mikä nähdään kuviosta 7. Moduuli on tarkoitettu 10-30 voltin tasajännitteelle. Sillä pystytään huomaamaan jopa 0,01 millisekunnin tilanvaihtuminen virtapiirissä, riippuen käytetystä näyttetaajuudesta. Käytännössä näin tarkat vaihtelut ovat kuitenkin todella harvoin tarpeellisia. Työn moduuleilla yleisessä käytössä on 20 millisekunnin näyttteenottotaajuus, mutta se vaihtelee sovelluksien tarpeiden mukaan. (ControlLogix Digital I/O Modules 2017, 80, 147.)

Digitaalituloja käytetään esimerkiksi venttiileiden, turvajärjestelmien ja muiden toimilaitteiden päällä/pois tilatiedoissa. Digitaalitulomoduuleja on kaapissa 17 kappaletta. Esimerkki työssä tehdyistä moduulien kytkentäkaavioista liitteessä 3.

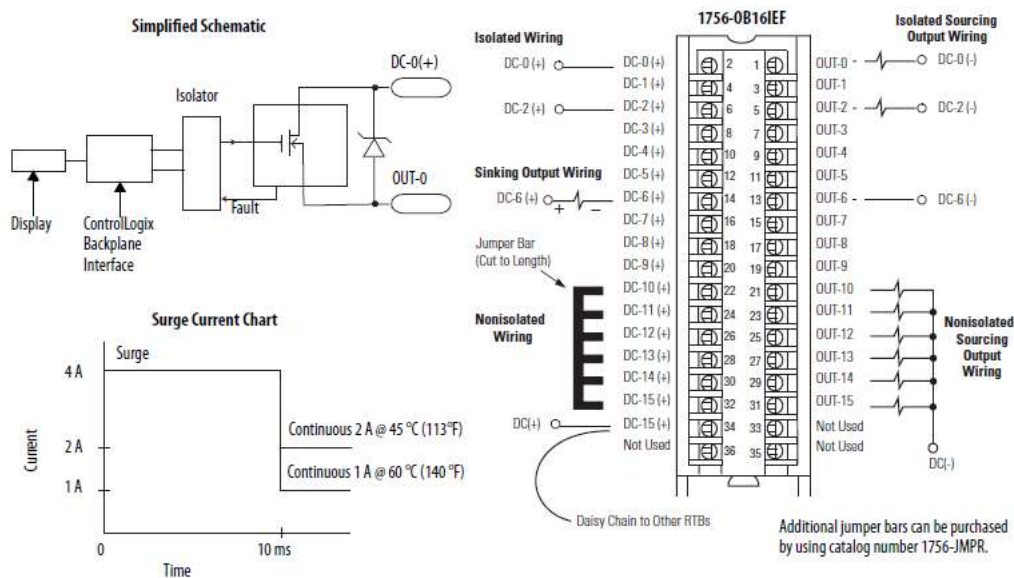


Kuvio 7 Digitaalitulon kytkennät. (ControlLogix Digital I/O Modules 2017, 147.)

## 5.2 Digitaalilähtö

Digitaalitulon tavoin digitaalilähtö on joko päällä tai pois. Lähtö kuitenkin määrittää kohteelle tilan, havaitsemisen sijaan. Arvolla 1 kanava päästää virran lävitsensä jolloin haluttu laite tai komponentti aktivoituu. Arvolla 0 kanava avaa virtapiirin ja laite kytkeytyy pois päältä. (Onuoha & Rios 2016.)

Työssä käytettiin Rockwell automationin 1756-OB16IEF -digitaalilähtömoduulia. Inputin tavoin siinä on 16 kanavaa, jotka voidaan kytkeä joko kelluvina tai ketjutettuna yhteiseen maahan tai jännitelähteeseen. Moduuli on tarkoitettu 10-30 voltin tasajännitteelle. Digitaalilähtömoduuleita työssä oli 14 kappaletta, joista kaikista piirrettiin liitteen 4 kaltaisia kytkentäkaavioita. (ControlLogix Digital I/O Modules 2017, 168.)



Kuvio 8 Digitaalilähdön kytkennät. (ControlLogix Digital I/O Modules 2017, 168.)

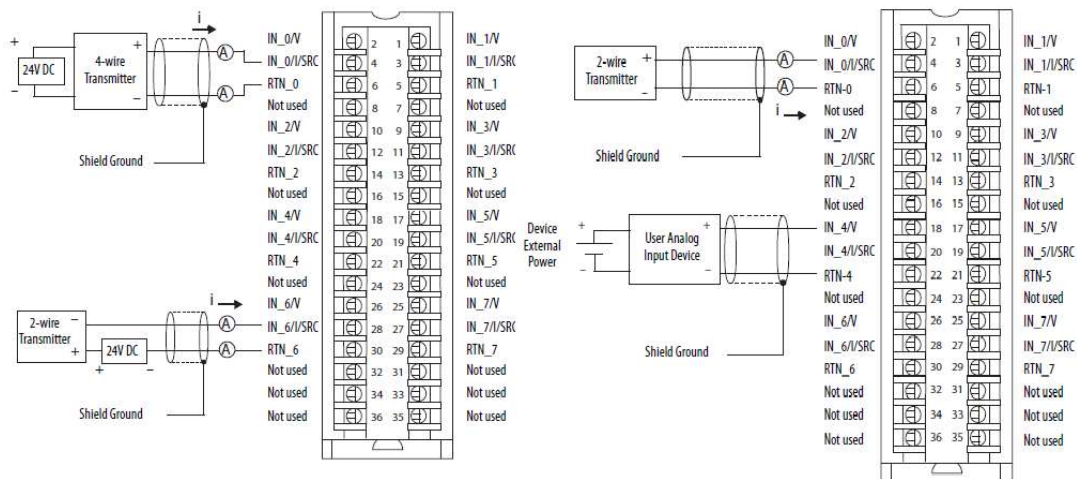
## 5.3 Analogiatulo

Analogiatulo mittaa virtapiirin jännitettä tai virtaa. Analogisella kanavalla voidaan mitata suuruudeltaan vaihtelevia arvoja toisin kuin digitaalisella joka on vain päällä tai pois. Kanava muuntaa mitatun analogisen arvon digitaalseksi arvoksi jota tietokone voi lukea. Tulolla on aina tietty virta tai jänniteväli, jolla se toimii.

Rockwellin analogiamoduuleista työssä käytetään 1756-IF8I:tä, joka pystyy teoriassa 24 bitin resoluutiolla  $\frac{10V}{2^{24}} = 0,000000596V$  tarkkuuteen 0...10 V kanavalla. Mitta-

alueesta riippuen tarkkuus kuitenkin hieman vaihtelee. Moduulia voidaan käyttää jännitealueilla -10...10 V, 0...10 V ja 0...5 V sekä virta alueella 0...20 mA. Tarvittaessa moduulia voidaan myös skaalata ohjelmallisesti halutulle välille. Moduulin kanavia voidaan myös ohjelmasta määrittää syöttäväksi jolloin ei tarvita ulkoista virtalähdettä mittalaitteelle. Moduulissa on 8 kanavaa. (High Resolution Analog I/O Modules 2017, 31-32.)

Kytkenällisesti kanavat ovat yksinkertaisia. Signaalin mukaan moduulista valitaan jännite- tai virtaliitin ja mitta-alue määritetään ohjelmasta. Mittalaitteesta riippuen kytkentä tehdään 4 tai 2 johtimella signaalista riippumatta. Nelijohtimisella kytkennällä ulkoinen virtalähde syöttää laitetta kahdella johtimella ja kanava tarvitsee toiset kaksi, joilla se lukee arvon kenttälaitteelta. Kaksoisjohtimisessa kytkennässä virtalähde on sarjaan kytketty virtapiiriin, joko ulkoisesti tai moduulin kautta. Kanavan ollessa aktiivinen ulkoista virtalähdettä ei tarvita. Analogiatulomoduuleita työn kaapissa on 11 kappaletta. Kuviossa 9 malli kytkentätavoista ja liitteessä 5 esimerkki tehdyistä kytkentäkaavioista. (High Resolution Analog I/O Modules 2017, 53-57.)



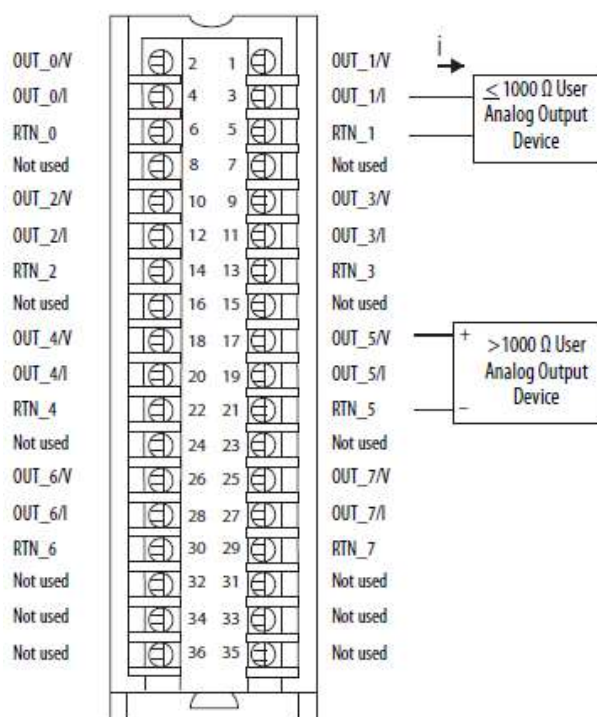
Kuvio 9 Analogiatulon kytkennät. (High Resolution Analog I/O Modules 2017, 53-57.)

## 5.4 Analogialähtö

Analogialähtökanava toimii päinvastoin kuin tulo. Kanava muuntaa digitaalisen arvon analogiseksi signaaliksi. Signaali voi olla joko jännitettä tai virtaa riippuen toimilaitteesta. Tulon tavoin lähdöllä on tietty virta tai jännitealue, jolla se toimii.

Lähtömoduulina käytettiin 1756-OF8I:ta. Moduulissa on 8 kanavaa, jotka ovat kelluvia. Kanavat toimivat tulojen tavoin jännitealueilla -10...10 V, 0...10 V ja 0...5 V sekä virta alueella 0...20 mA. Myös lähdössä kanavia voidaan skaalata ohjelmasta tarvittaessa. Moduuli toimii 16 bitin resoluutiolla eli  $\frac{10}{2^{16}} = 0,000153V$  tarkkuudella 0...10 V alueella. Virtaviestitilassa moduuli pystyy säätämään ulos menevää tehoa automaattisesti kuorman pysyessä 0 ja 1000 ohmin välissä. (High Resolution Analog I/O Modules 2017, 31-32.)

Kytkeminen kanavalle tehdään laitteen mukaan. Virtaviestillä voidaan kytkeä alle 1000 ohmin laitteita. Jos laite on yli 1000 ohmia, käytetään jänniteviestiä. Kanava ei tarvitse ulkoista jännitelähdettä kuten input. Analogialähtömoduuleita on seitsemän. Kytchentätävät kuviossa 10 ja kytchentäkaavio liitteessä 6. (High Resolution Analog I/O Modules 2017, 93-96.)



Kuvio 10 Analogilähdön kytkennät. (High Resolution Analog I/O Modules 2017, 95-96.)

## 5.5 Sarjaliikenne

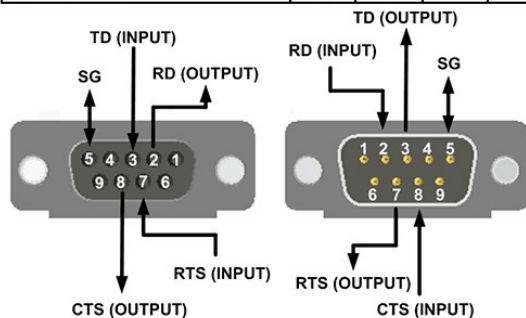
Laboratoriossa on myös käytössä laitteita, joissa on omat kontrollerit ja ne tarvitsevat komentokieliset ohjaukset. Sarjaliikenteellä saadaan kommunikointiyhteys prosessorin ja kenttälaitteen välille. Sarjaliikenne toimii ohjaimen ja laitteen välisessä kaapelissa eli väylässä kulkevien bittijonojen avulla. Jonon viestit kulkevat kehyksen sisällä, jotta laitteet tietävät mistä mikäkin viesti alkaa ja loppuu. Sarjaliikenteelle on olemassa erilaisia väyläratkaisuja ja protokollia, jotka määrittävät tarvittavan johdinmäärän, liittimet sekä kommunikaation säännöt kuten datansiirtonopeus, aloitus ja lopetusbitit sekä kättely. Työn laitteilla käytössä oli useita RS-232 sekä RS-422 –väyliä, mutta olemassa on myös muita väylätyyppejä joita ei tässä työssä mainita. (Sarjaliikenne ja sarjaportti 2017.)

Projektissa käytetään prosessorin ja kenttälaitteiden välissä Prosoftin PLX31-EIP-ASCII4 ulkoista sarjaliikennemoduulia. PLX31 ohjaa laitteita väylänomaisesti tai yksitellen half tai full duplexina eli vuorosuuntaisena tai kaksisuuntaisena. Moduuli kykenee käsittelemään kaikkia projektissa tarvittavia ASCII-protokollia. Kentältä tuleva signaali muunnetaan ethernet/IP -protokollaan, joka kulkee kuituverkkoa myöten prosessorille. Yhteen PLX31:seen voi kytkeä 4 sarjaliikennekokonaisuutta. Laitteen jokainen portti on ohjelmoitavissa erikseen haluttua kommunikointiprotokollaa varten. Ohjelmointi voidaan tehdä etänä verkon yli. (PLX3x User Manual 2017, 44-47.)

### 5.5.1 RS-232

Osa Laboratorion sarjaliikenne ohjauksista tapahtuu RS-232-väylällä. RS-232 on vanha väylätyyppi, joka oli aikanaan kaikista käytetyin ympäri maailmaa, mutta nykyään on siirrytty uudempiin väyläratkaisuihin. RS-232 on kuitenkin yhä laajalti käytössä. Kommunikointi toimii vain yhdellä johtimella tulevassa ja lähtevässä viestissä, jota verrataan maahan. Lisäksi on erilaisia valinnaisia kättelysignaaleja joita voi halutessaan lisätä. RS-232:ssa käytetään yleensä joko 9 tai 25 pinnistä D-liitintä. Kuviossa 11 D-liittimien pinnijärjestys. Tärkeimpinä signaalijohtimet TD eli lähetysignaali RD vastaanotettava signaali ja SG signaalien maa. Jännitealueena toimii -12 V...+12 V, josta -3 V...-10 V on binääriarvoltaan 1 ja +3 V...+10 V on arvoltaan 0. (What is RS-232 2018.)

RS-232 Function	Pin Number		Input to DTE	Input to DCE
	DB25	DB9		
Shield	1			
Transmit Data (TD)	2	3		
Receive Data (RD)	3	2		
Request to Send (RTS)	4	7		
Clear to Send (CTS)	5	8		
DCE Ready (DSR)	6	6		
Signal Ground (SG)	7	5		
Received Line Signal Detector (DCD)	8	1		
DTE Ready (DTR)	20	4		
Ring Indicator (RI)	22	9		



Kuvio 11 RS-232 pinnit. (What is RS-232 2018.)

RS-232:sen huonona puolena on, että kaikki kommunikaation säännöt pitää säätää molempiin laitteisiin. Lisäksi kommunikaation jännitesignaalit ovat herkkiä ulkopuolille häiriöille, mikä rajoittaa väyläpituuden usein alle 15 metriin. (What is RS-232 2018.)

Virtasilmukkaviesti kestää paljon paremmin häiriöitä ja väyläpituus voidaan kasvattaa moninkertaiseksi. Tämän vuoksi työssä RS-232:seen lisättiin CL-muuntimia, joilla viestit saatiin 20 mA virtasilmukkaviestiksi. CL-muunnin täytyi asentaa molempiin päihin kaapelia, jotta viesti saatiin muutettua takaisin kentälaitteen tukemaan RS-232 muotoon. (Current loop application 1995.)

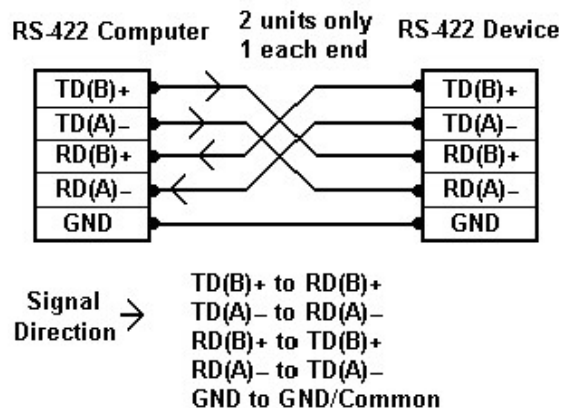
KytKentä piirustuksineen löytyy liitteessä 7. Osissa kytkennöistä oli jo valmis laitoksella tehty virtasilmukkamuunnin kentälaitteen päässä, sillä vanha ohjausjärjestelmä pystyi lukemaan suoraan sarjamuotoista virtaviestiä. Tällöin CL-muunnin täytyi lisätä vain hajautuskaapin päähän.

### 5.5.2 RS-422

RS-422 on -232:sta uudempi paranneltu versio. Ohjaus toimii kahdella kierretyllä johtimella per viesti. Niiden lisäksi tarvitaan viesteille yhteinen maa, johon niitä verratetaan. Johdinmäärän lisäys suurentaa häiriönkestoa. Johtimista lähetttävää viestiä ovat TD+ ja TD- ja vastaanottavaa viestiä RD+ RD-, kuten kuvioista 12 nähdään. Jännitealue



on -6 V...+6 V, josta -2 V...+2 V toimii häiriömarginaalina. Maksimipituus johtimille on noin 1200 metriä, mutta väyläpituuden kasvaessa datansiirtonopeus vähenee 10 megabitistä 100 kilobittiin sekunnissa. (RS-422 and RS-485 Standards Overview and System Configurations 2010, 3-8.)

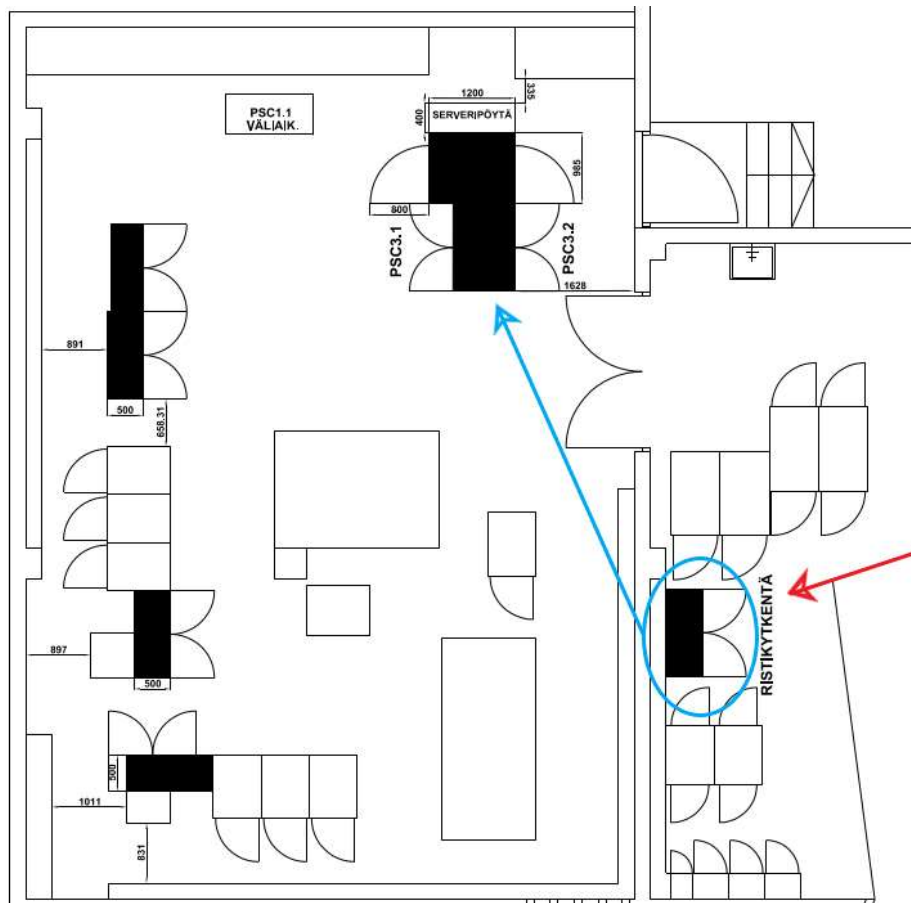


Kuvio 12 RS-422 väylä. (RS-422 connections 2018.)

RS-422 ei tarvinnut työssä erillismuuntimia, mutta hajautuskaapin ristikytkentä tehdään RJ-45 naaras-naaras -liittimillä. Tämä helpottaa jatkossa ristikytkentää sekä tarvittaessa porttien vaihtoa PLX31-EIP-ASCII4:lle. Mahdolliset ketjutukset, päätevastukset ja muut kytkennät tulevat ristikytkentäkaapille. Esimerkki lopullisesta kytkennästä liittessä 8.

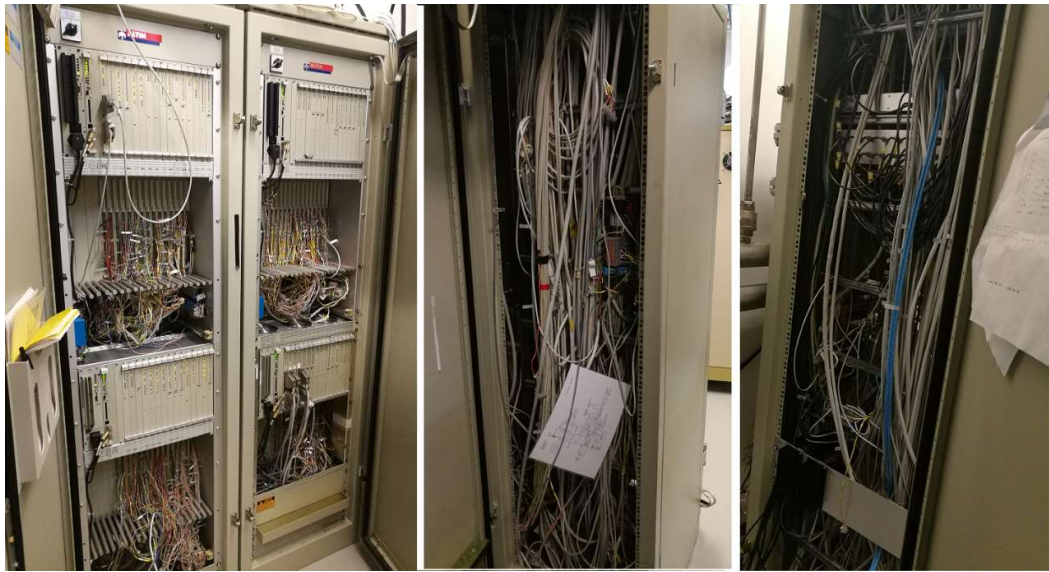
## 6 Hajautuskaappi

Koko opinnäytetyön lähtökohtana oli hajautuskaapin siirron tarve. Työssä suunniteltiin uudet paikat kaikille vaihtuville ja tuleville kaapeille. Kuviossa 13 on otettu kuva-kaappaus suunnitelluista ionilähde- ja virtalähdetilan kaappien sijainneista mitkä ovat olennaisia tässä työssä. Punainen nuoli kuvaa säteilykeilan suuntaa. Kuvion 13 ristikytkentäkaapin paikalla sijaitsee Alcont-prosessiasemakaappi, jonka tilalle tulee ristikytkentä hajautuskaapille. Uusi hajautuskaappi tulee seinän toiselle puolelle oven taakse pois säteilykeilasta. Siirto kuvattu sinisellä nuolella.



Kuvio 13 Kuvankaappaus kaappien sijaintien suunnitelmasta.

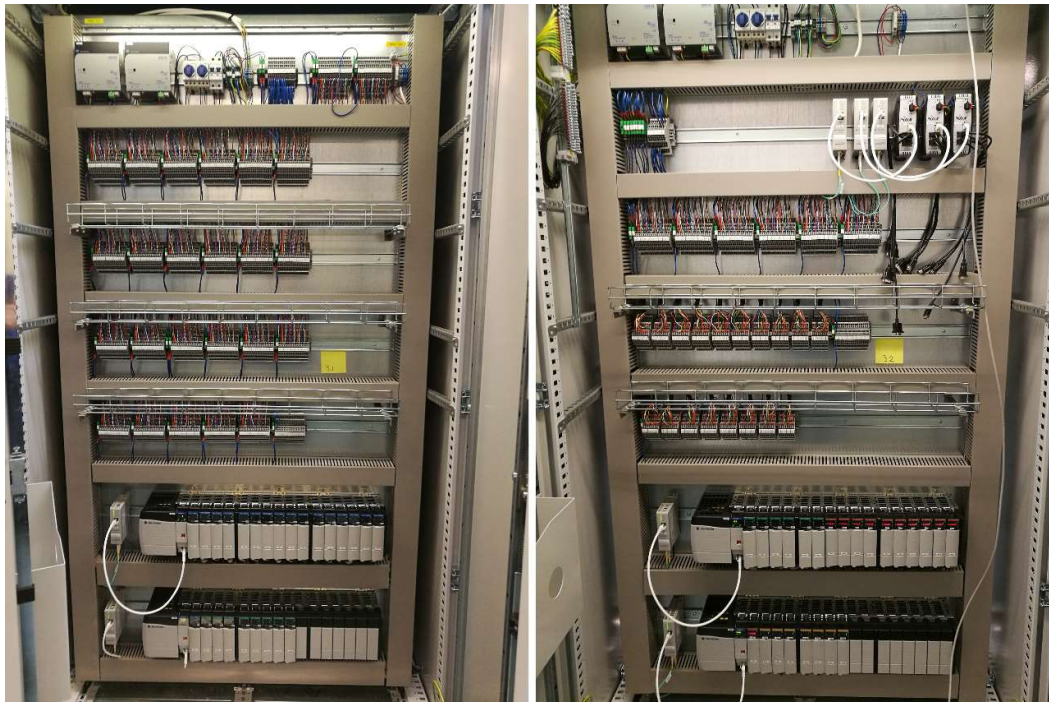
Vanha Alcont-kaappi on ajan saatossa muokkauksien ja lisäyksien takia muuttunut sekavaksi. Kaapissa ei ole kunnollisia kaapelikouruja joihin kaikki kaapelit mahtuisivat, minkä takia osa johdotuksista roikkuu kaapin takana vapaasti. Myös kytkentätalasta on puutetta mikä on aiheuttanut sen, että suuri osa lisäyksistä on jouduttu kettuttamaan edestakaisin etu- ja takapuolen välille.



Kuvio 14 Alcont-hajautuskaappi.

Uudessa hajautuskaapissa oli huomattavasti enemmän tilaa sekä kaapeille että muille kytkennöille. Hajautuskehikoissa on yhteensä 15 tyhjää modulipaikkaa, joiden kytkennät mahtuvat hyvin kaapin tyhjiin paikkoihin tarvittaessa. Kaappi tuli valmiina riviliittimiseen ja jännitteenjakoineen mutta modifikaatioita oli tehtävä, jotta siitä saataisiin sopiva järjestelmään. Kaikissa toimitetuissa kaapeissa oli liian vähän tilaa kenttäkaapeille. Vaakatason kaapelikourut oli mitoitettu vain kehikoilta riviliittimille meneville kaapeille, joten lisähyllyjä täytyi asentaa. Kaikkien riviliittimien jännite ja maa liittimet olivat valmiiksi silloitettu metalliliuskoilla, joten kaikki kelluvien kanavien ja kaikkien digitaalilähtöjen siltauksset piti poistaa. Hajautuskaapin 24 VDC maadoituksissa oli myös ongelmansa, sillä ne oli kytketty suoraan suojamaahan mikä olisi aiheuttanut häiriöiden kiertoa. Maadoitukset vaihdettiin suojamaasta (PE) tekniseen maahan (TE) mikä eliminoi häiriöiden mahdollisen kierron.

Kuviossa 15 on uusi hajautuskaappi kytkentävalmiina. Kaappi on eri paikassa kuin vanha, joten kaapille täytyi vetää myös uudet syöttökaapelit. Kaappikohtaisia akustoja ja latureita suunniteltiin tulevaisuudessa asennettaviksi alcont-kaapin tavoin. Nykyisen alcont-kaapin virransyöttö tulee erotusmuuntajalta, jonka lisäksi jokaisella prosessiasemalla on oma akusto joka varmistaa muistin säilymisen sähkökatkon aikana.



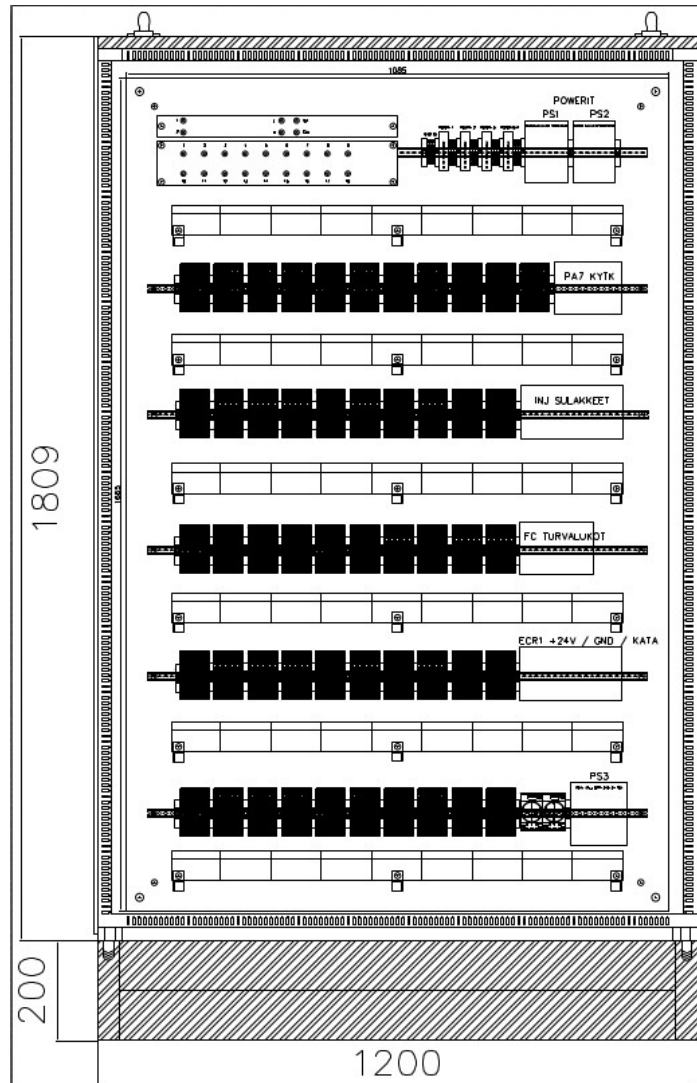
Kuvio 15 Rockwell-hajautuskaappi ennen kytkentöjä.

## 7 Ristikytkentäkaappi

Ristikytkentäkaappi oli täysin uusi lisäys järjestelmään. Kaappi itsessään oli tilattu valmiiksi, mutta kaikki muu täytyi suunnitella ja hankkia. Kriteereinä suunnitelmille oli kaikkien kytkentöjen kaappiin mahtuminen sekä suunnitelmien selkeys. Vanhoihin kytkentöihin tutustuttua saatiin selville, että kaappi ei ehkä riittäisikään kaikille kytkennöille. Isomman kaapin hankkiminen ei ollut mahdollista, sillä mittauksien jälkeen todettiin, että hankittu kaappi mahtuisi juuri ja juuri rakenteiden välistä. Täytyi siis suunnitella mahdollisimman vähän tilaa vieviä ratkaisuja, jotta kaikki mahtuisivat hankittuun kaappiin.

Kaappiin mahtui kaapelikourujen kanssa kuusi liitinriviä kytkentöjä varten. Ylin liitinrivi täytyi käyttää ohjausmagneettien virtalähteen koaksiaalikaapeleiden kytkentäalustalle sekä jännitteenjaolle, joten varsinaista kytkentätilaa jäi viisi metrin riviä. Hajautuskaapissa riviliittimet ovat kuudentoista kappaleen pakoissa eli jokaiselle moduulille yksi. Ristikytkennässä käytettiin samaa ratkaisua selkeyden vuoksi. Norma-

leilla 5,2mm riviliittimillä kytkentätilaa olisi jäänyt muihin kytkentöihin aivan liian vähän, joten oli käytettävä kapeampia liittimiä. Vanhan hajautuskaapin muiden kytkentöjen sekä tulevien liitinten tilantarpeen laskemisen jälkeen saatiin suunniteltua kokonaisuus, joka mahtuu kaappiin.



Kuvio 16 Ristikytkentäkaapin suunnitelma.

Erotusmuuntajalta tulevia vanhan Alcont-kaapin syöttöjä käytetään ristikytkennän 24 VDC virtalähteiden syöttönä. Alcont-kaapissa olleet 24 VDC virtalähteet jätetään ristikytkentäkaappiin, jossa ne toimivat turvajärjestelmän, jäähdytysjärjestelmän sekä hajautuskehikon kanavien ulkoisina virtalähteinä. Ristikytkentäkaapin jännitteenjako ja virtalähteet löytyvät liitteestä 9. Vanhat virtalähteet vaihdetaan kuitenkin muutoksen yhteydessä uusiin.

Näiden virtalähteiden lisäksi kaappiin tulee sulakkeita ja kytkentöjä muualla olevilta 24 VCD virtalähteiltä. Eri virtalähteiden kanavien ja kytkentöjen suunnittelussa täytyi olla tarkkana, että jokainen kytkentä saa suljetun piirin. Useilla kanavilla tulee kentältä vain yksi jaettu maa, tämä täytyi jakaa ristikytkennässä samaa maata käyttäville kanavalle. Alcont-kaapissa olleet ohjausreleet jätetään myöskin ristikytkentäkaappiin. Kaapelien läpiviennit suunniteltiin siten että nykyisen kaapin tavoin kenttäkaapelit tulevat kaapin katosta. Hajautuskehikolle menevät ristikytkentäkaapelit tuodaan kaapin kyljestä. Ratkaisulla saadaan selkeä ero siitä, minne kaapeli lähtee, mikä helpottaa huoltotöitä ja vianetsintää.

## 8 Tarvikkeet ja kaapelit

Hajautuskaapin ja uuden ristikytkentäkaapin rakentamiseen sekä niiden väliseen yhteyteen tarvittiin suuria määriä tarvikkeita sekä kaapelia. Suuren määrän vuoksi ratkaisujen täytyi olla kompakteja, jotta ne mahtuisivat tilattuihin kaappeihin sekä kaapelihyllyille.

### 8.1 Ristikytkentäkaapin riviliittimet

Hajautuskaapissa on 640 kanavaa, joiden lisäksi muihin kytkentöihin ja laajennusvaraan tarvittiin riviliittimiä. Liitinten kokonaismäärä nousi täten 816 kappaleeseen. Kaappiin riviliittimet asennettiin 16 liittimen pakkoihin, jolloin pakkosten määräksi tuli 51 kappaletta. Ristikytkentään haluttiin helppokäyttöiset push-in -liitännällä varustetut pienet riviliittimet. Kaikkien kanavien kytkentätyyppien yhdelle riviliittimelle mahdumiseksi valittiin kolmikerroksiset riviliittimet. Määrän vuoksi jouduttiin myös valitsemaan ohuempi riviliittintyyppi. 5,2 mm liittimien sijaan käytettiin 3,5 mm liittimiä. Liittimien valinnan seurauksena tilansäästö kaapissa oli 1,4 metriä kytkentätilaa. Ohuempien liitinten huonona puolena suurin johdinpaksuus on vain 1,5 mm<sup>2</sup>, mikä haittaa useampien ketjutuksien tekoa, mikäli tarvitaan paksumpia johtimia.

### 8.2 Kaapelit

Digitaali- ja analogiaviesteissä tarvittiin kaksi johdinta. Toinen johdin kentälle vietävälle jännitteelle ja toinen kentältä palaavalle signaalille. Lisäksi sarjaliikennekanaville



## 9 Toteutus

Työn toteutus tapahtui muiden töiden lomassa ja varsinkin alussa aikaa kului paikkoihin ja järjestelmään tutustumiseen. Järjestelmään tutustuessa vastaan tuli paljon uusia asioita, jotka vaikuttivat työhön ja aiheuttivat tietyn työn osan muutosta tai liisäystä. Työn ollessa kesken todettiin, että järjestelmää ei voisikaan siirtää ilman pitkiä käyttökatoja. Tämän vuoksi integraatiota ei voida täydellisesti suorittaa, ennen kuin kaikista kaapeista on samanlaiset suunnitelmat ja kiihdyttimen aikataulussa on sopivasti tilaa. Lopullinen siirtyminen tulee kestämään useita kuukausia kytkentöjen ja testauksien kanssa. Tämänhetkinen suunnitelma on tehdä siirto vuoden 2019 aikana.

### 9.1 Valmistelevat työt

Toteutus aloitettiin tarkastelemalla laboratorion pohjapiirustusta ja kaappien kokoa. Näiden pohjalta päätettiin tulevien kaappien paikat ja niiden siirtämiseen tarvittavat erikoistoimenpiteet täysissä tiloissa. Ahtaimmissa tiloissa väliä jäi vain 1cm kiinteisiin rakenteisiin. Kaapeille jouduttiin tekemään myös erityinen nostolaite kaappien korkeuden takia. Hajautuskaappi saatiin lopulliselle paikalleen mutta ristikytkentäkaappia ei voi viedä paikalleen ennen kuin vanha kaappi on siirretty pois.

Kun hajautuskaappi oli paikallaan ja ristikytkentäkaapin paikka tiedossa voitiin aloittaa muu suunnittelu ja osien hankinta. Päätettiin tarvikevaatimukset ja laskettiin tarvittavat tarvike ja kaapelimäärät. Kaappien välimatka mitattiin ja ristikytkentäkaapelien mitaksi saatiin kytkentävaran kanssa 15,7 metriä, jolloin kokonaismääräksi saatiin noin 2,7 kilometriä. Määrien ollessa tiedossa lähetettiin tarjouspyynnöt sekä tilaukset kaapeleista, riviliittimistä ja muista kytkentätarvikkeista. Ristikytkentää varten piti myös suunnitella ja asentaa kaapelihyllyjä kattoon ja läpivientejä seiniin 170:tä kaapelia varten.

Kaikkiin hajautuskaappeihin asennettiin tarvittavat lisähyllyt ja kaappien väliin vedettiin valokuidut yhteyksiä varten. Ristikytkentäkaappi rakennettiin suunnitelmien mukaan ja riviliitinpakat asennettiin paikoilleen. Tilaa jäi suunnitellusti kaapin muille kytkennöille, jotka tehtiin myöhemmin. Läpivienneille leikattiin paikat ja ne asennettiin



kaapin kylkeen. Kaapeleiden kiinnitykseen asennettiin kaapin kylkiin sopivia kiinnitysrautoja.



Kuvio 17 Ristikytkentäkaappi kytkentävalmiina.

## 9.2 Dokumentointi

Jokaiselle moduulille ja niiden kanaville piirrettiin omat kytkentäkaaviot vanhojen kytkentöjen pohjalta CADS-Plannerilla. Kaavioiden teossa apuna oli I/O-lista, mutta suuressa osassa kytkentöjen tarkastus oli tehtävä kentällä. Kytkentäkaavioiden kokonaisuudeksi tuli 104 kpl, joiden lisäksi täytyi tehdä kaappien jännitejakokuvat, layout piirustukset sekä kaapissa olevien muiden kytkentöjen kytkentäkaaviot.

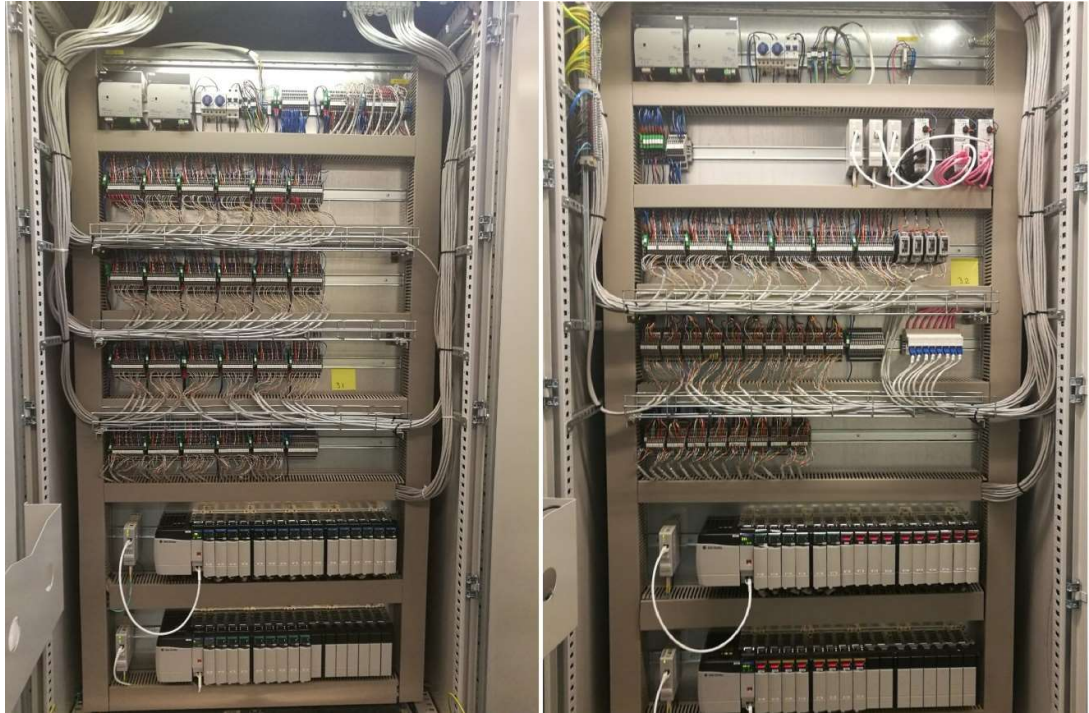
Kaikista piirustuksista pyrittiin tekemään mahdollisimman selkeitä ja informatiivisia, jotta kaikki pystyisivät lukemaan ja saamaan tarvittavia tietoja niistä. Moduulien piiri-kaavioiden pohjana käytettiin kaappien mukana tulleita toimittajan dokumentteja, missä näkyi kytkentä moduulilta hajautuksen riviliittimille. Piirustukset nimettiin määrän takia selkeästi kaappi- ja kehikkokohtaisesti esim. R1\_AI08\_PSC3.2\_208.A. Ensimmäinen osa on kehikkonumero, toinen korttityyppi ja sen paikka kehikossa, kolmas kaapin nimi ja viimeisellä tunnuksesta löytää alkuperäisen moduulipiirustuksen toimittajalta saatujen dokumenttien joukosta. Piirustuksia tehdessä samalla päivitetiin I/O-listaa, josta näkee mitkä ohjaukset menevät milläkin kaapelilla ristikytkentä-kaapille ja siitä kentälle. Kytkentäkaaviot näyttävät tilanteen yksityiskohtaisemmin, täydentäen listan tietoja. Ote I/O-listasta on liitteessä 10.

### 9.3 Kaapeloinnit ja kytkennät

Kytkentäkaavioiden valmistuttua aloitettiin kaapeloinnit ja kytkennät. Kaapelit leikattiin, merkattiin alustavasti ja niputettiin 32 kaapelin paketeiksi. 32 kappaletta oli suurin määrä, joka mahtui huoneen seinän läpivienneistä läpi. Hajautuskaapin päät vedettiin suoraan kaappiin kytkentöjä odottamaan ja ristikytkentäkaapin päät jätettiin hyvin merkittyinä kaapin tulevan paikan viereen. Signaalikaapeleiden lisäksi vedettiin syötöt, suojamaa ja tekninen maa hajautuskaapille. Ristikytkentä saa syöttönsä alcont-kaapin vanhoista syötöistä.

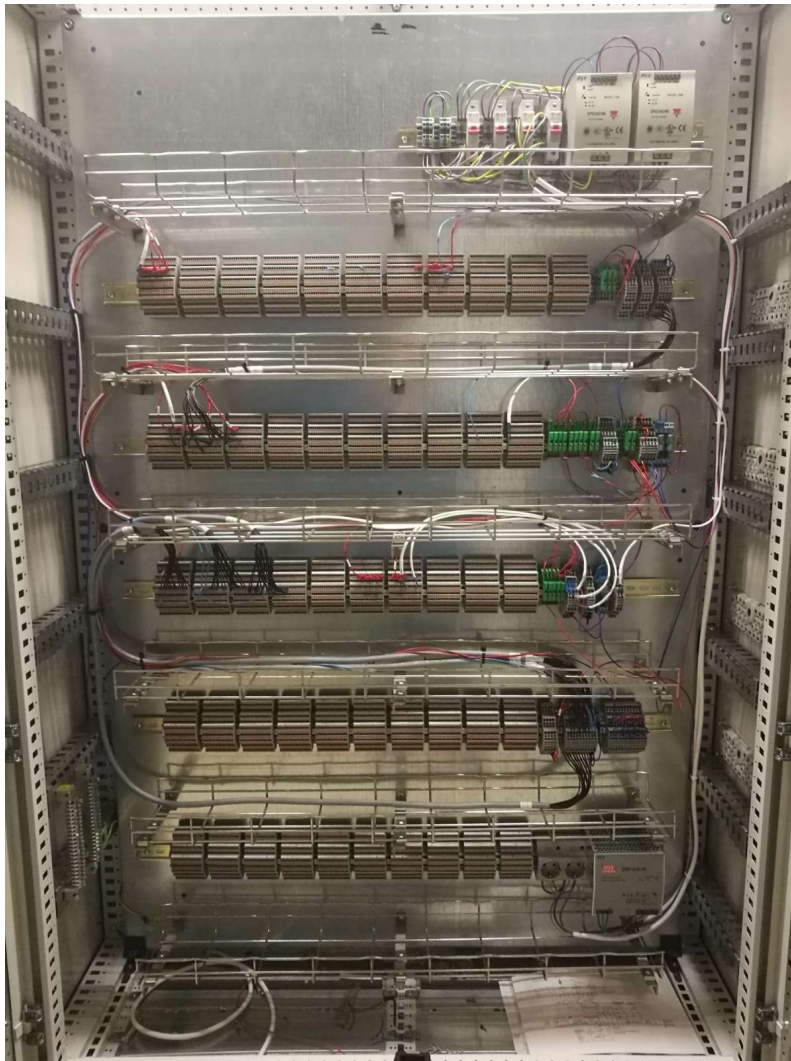
Kaapelienvedon jälkeen aloitettiin hajautuskaapin kytkennät. Kytkettäessä kaikki kaapelit merkittiin suunnitellusti ja kiinnitettiin kaappiin siististi. Kaikkien kanavien riviliittimille kytkettiin kaksi ristikytkentäjohdinta, vaikka osa kanavista tarvitsi vain yhden siltä varalta, että kanavista tehdään kelluvia myöhemmin. Digitaaliset kanavat ja analogiaoutputit olivat yksinkertaisia eivätkä vaatineet mitään erityistä ketjutuksien lisäksi. Analogiainputeissa täytyi tehdä pieniä lisäyksiä, jos kanava oli 20 mA virtavies-tillä. Kanavan kanssa rinnankytkentään täytyi asentaa vastus, jolla saadaan haluttu 10 V jänniteviesti moduulille. Vastuksen suuruus saadaan kaavasta  $\frac{U}{I} = R \frac{10}{0,02A} = 500\Omega$ . Kanavat haluttiin jänniteviestillä koska muuten olisi jouduttu muuttamaan moduulin kytkentöjä ja kytkennöistä haluttiin mahdollisimman yhdenmukaiset moduuleille. Muutama analogiainput oli kuitenkin passiivisilla kenttälaitteilla, joten mo-

duulin kytkentöjä oli pakko muokata virtaviestiin. Lisäksi sovelluksesta oli konfiguroitava kanava aktiiviseksi jolloin kenttälaite saa syöttönsä moduulilta. Sarjaliikennemuoduihin kytkettiin virtasilmukkamuuntimet RS-232 -viestille ja muille signaalitey-  
peille kytkettiin RJ45-jatkoliittimet. Lopputulokseksi saatiin siisti hajautuskaappi sel-  
kein dokumentein ja kytkentöineen.



Kuvio 18 Valmis Rockwell hajautuskaappi.

Vaikka ristikytkentäkaappia ei voitu asentaa lopulliselle paikalle, esikytkentöjä voitiin tehdä. Jännitteenjako sulakkeineen ja kytkimineen rakennettiin ja asennettiin paikoilleen. Sulakkeiden ja virtalähteiden tiedoista valittiin tarvittavat johdinpaksuudet SFS 6000-5-52 -standardin mukaan. Yhteistä maata tai jännitelähdettä käyttävät kanavat kytkettiin valmiiksi. Releohjauksien kaapin sisäiset osuudet ja gammamonitorien ristikytkentä valmisteltiin. Myös maadoituskiskot ja pistorasiat asennettiin valmiiksi. Kaapin sisäiset kytkennät saatiin tehtyä, enää puuttuu ristikytkentäkaapelien ja kenttäkaapelien yhdistys oikeille paikoilleen sekä ohjausmagneettien virtalähteen koaksiaalikaapeleiden liitäntäpaneelin asennus kaappia siirrettäessä. Esikytkentöjen valmistuttua voitiin todeta, että lisäkytkennöille varattu tila oli riittävä ja suunnittelun tavoitteisiin päästiin.



Kuvio 19 Valmis ristikytkentäkaappi.

## 9.4 Testaukset

KytKentäkaavioiden kytkentätavat testattiin itsenäisellä hajautuskaapilla. Digitaalikanavien testaus tapahtui kytkentätavasta riippuen rajakytkimillä, ulkoisilla virtalähteillä sekä yleismittarilla. Toimivuus nähtiin joko moduulista tai yleismittarista, riippuen oliko kyseessä input vai output. Analogiakanavien testaus hoidettiin ohjaamalla ylimääräisen ohjausmagneetin virtalähdettä. Sarjaliikennemuoduleita on testattu gamma- ja neutronimonitoriryhmien ohjelmien teolla ja kytkemällä ne moduulille hetkellisesti. Hajautus- ja ristikytkentäkaapin esikytkennät ja ketjutukset käytiin läpi yleismittarin avulla, varmistaen että kukin esikytketty kanava on oikeassa piirissä. Lisäksi kaikki tehdyt liitännät testattiin huonon kontaktin varalta.

Testauksissa todettiin muutamia huolimattomuusvirheitä mutta muuten kaikki toimii suunnitelmien mukaan. Testauksien aikana tehdyt huomiot lisättiin piirustuksiin, minkä jälkeen integraatio näiden kaappien osalta saatiin tehtyä niin pitkälle kuin tässä vaiheessa mahdollista.

## 10 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteista ristikytkennän loppuunsaattaminen ei onnistunut suunnitelmien muuttumisen takia. Alun perin suunnitelmissa oli siirtää ohjausjärjestelmä ilman käyttökattoja, laitteiden käydessä. Tämä olisi kuitenkin vaatinut ohjausjärjestelmien välisen luotettavan kommunikaatioyhteyden laitosturvallisuuden takaamiseksi. Tämän tekeminen olisi aiheuttanut paljon ylimääräistä työtä ja laitehankintoja. Lisäksi turvalukituksista olisi tullut liian haavoittuvaisia eikä sitä voitu hyväksyä.

Suunnittelun tavoitteisiin päästiin. Dokumenteista tuli yhdenmukaisia ja tietomääränsä nähden selkeitä. Varsinkin kanavien kytkentäkaavioissa on paljon tietoa kaapin sisäisistä kytkennöistä, mikä auttaa vianselvityksissä sekä tulevaisuudessa muutostöissä. Ristikytkentäkaapin layout suunnitelmat olivat tarkkoja ja tehty kaappi saatiin vastamaan suunnitelmaa. Huonona puolena on, että laajenemisvaraa ylimääräisten kanavien lisäksi jäi niukasti.

Varsinaiset kytkennät hajautuskaappiin ja ristikytkentään ovat siistit ja huolella tehdyt. Jokainen työn aikana vedetty ristikytkentäkaapeli ja lähes kaikki kaapin johtimet ovat merkittviä, joten viannääritys ja johtimien seuraaminen ovat helppoja. Testausten perusteella kaikki kytkennät toimivat mutta varsinaisen siirron aikana todennäköisesti ilmenee vielä ennalta arvaamattomia ongelmia.

Vaikka kaikkia tavoitteita ei saatukaan toteutettua, tämä osa projektia on valmis ohjausjärjestelmän vaihtoon. Työn dokumentit loivat pohjaa koko projektin dokumentoinnille edesauttaen koko järjestelmän yhdenmukaisuutta. Työn aikana huomattavat ongelmat ja yksityiskohdat myös auttavat jatkossa tekemään parempia ratkaisuja ja välttämään virheitä projektin jatkossa.

Omalta osaltani opinnäytetyön tekeminen kehitti sekä ammatillista että muuta osaamista huomattavasti. Vaikka olin työharjoittelussani tehnyt samankaltaista työtä, tämä työ opetti minua enemmän koska taustalla ei ollut mitään valmista muuttia,

vaan kaikki oli tehtävä itse ja hyväksyttävä esimiehellä. Työ ei myöskään keskittynyt vain yhteen asiaan vaan tarvittiin tietoja laajalta alueelta myös oman alan ulkopuolelta. Koko ohjausjärjestelmän sekä sen ympärillä olevan kokonaisuuden rakenne oli minulle uutta, sillä aikaisemmin olin töissä keskittynyt vain hajautuskehikolta kentälle päin. Työn ohella pääsin myös tutustumaan ja oppimaan kiihdytinlaboratorion ja sen laitteiden toimintaa. Kokonaisuudessaan opinnäytetyö oli minulle positiivinen kokemus ja sopivan haastava osa isompaa projektia.

## Lähteet

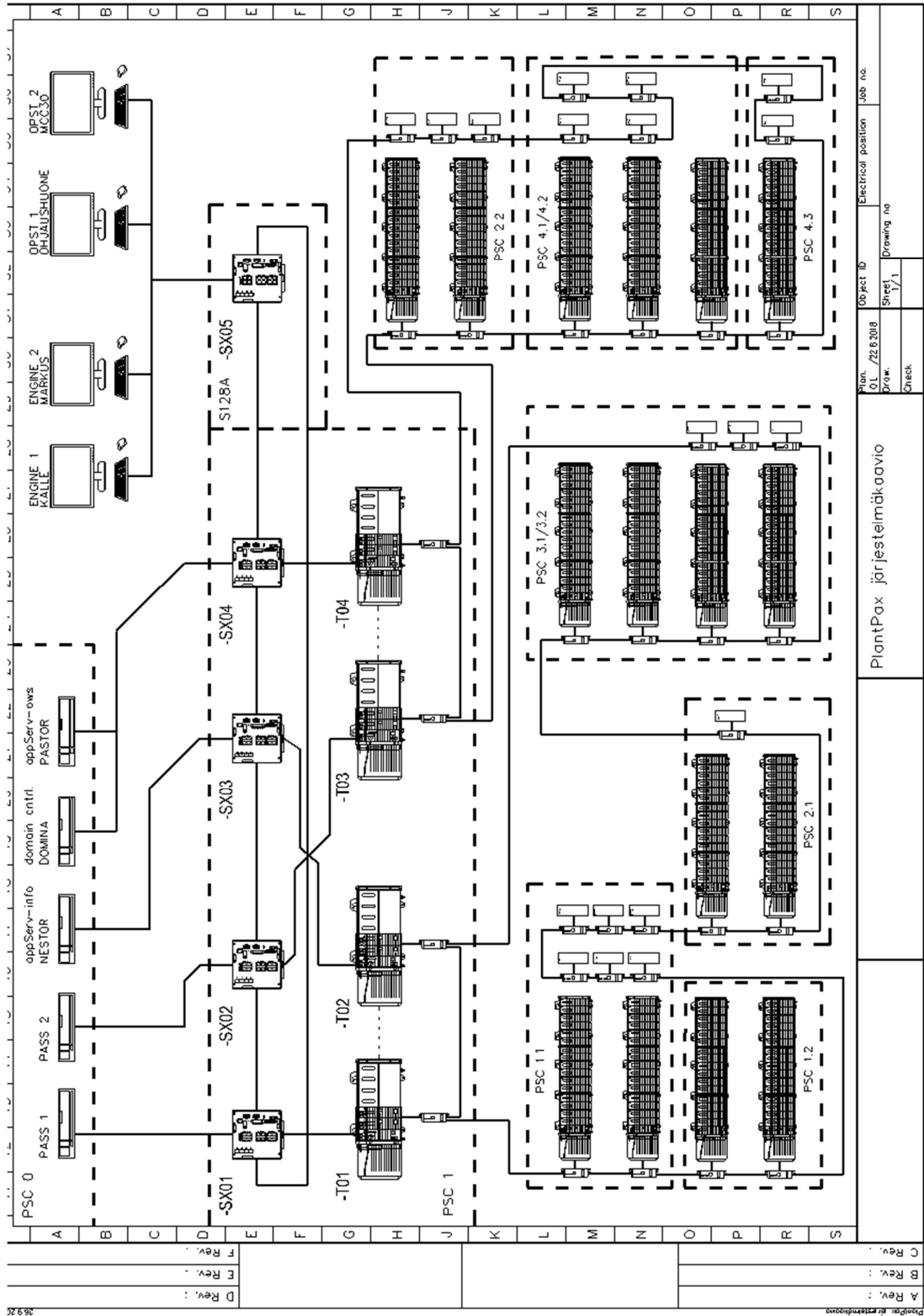
- 1756 ControlLogix Communication Modules Specifications. 2017. PDF-tiedosto. Rockwell automation inc. Viitattu 27.8.2018.  
[https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/1756-td003\\_-en-e.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/1756-td003_-en-e.pdf)
- Alcont laitteistokäsikirja. 2005. Honeywell Oy.
- Avainluvut. 2018. Jyväskylän yliopiston verkkosivut. Viitattu 26.9.2018.  
<https://www.jyu.fi/fi/yliopisto/avainluvut/avainluvut>
- Bosser, A. 2017. Single event effects of space and atmospheric radiation on memory components. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto.
- ControlLogix Digital I/O Modules. 2017. PDF-tiedosto. Rockwell automation inc. Viitattu 23.10.2017  
[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1756-um058\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1756-um058_-en-p.pdf)
- ControlLogix 5580. 2018. PDF-tiedosto. Rockwell automation inc. Viitattu 27.8.2018.  
[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1756-um543\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1756-um543_-en-p.pdf)
- Current loop application. 1995. PDF-tiedosto. B+B Electronics. Viitattu 15.8.2018.  
<http://www.bb-elec.com/Learning-Center/All-White-Papers/Current-Loop/Current-Loop-Application-Note/curentlp.pdf>
- Fysiikan laitoksen esittely. Jyväskylän yliopiston verkkosivut. Viitattu 27.9.2018.  
<https://www.jyu.fi/science/fi/fysiikka/>
- Fysiikan laitoksen tutkimus. Jyväskylän yliopiston verkkosivut. Viitattu 27.9.2018.  
<https://www.jyu.fi/science/fi/fysiikka/tutkimus> 27.9.2018
- High Resolution Analog I/O Modules. 2017. PDF-tiedosto. Rockwell automation inc. Viitattu 30.10.2017  
[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1756-um540\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1756-um540_-en-p.pdf)
- Saario, J., Gustafsson, J., Kotilainen, P., Kaski, K., Lassila, A. & Liukkonen, E. 1995 Beam buncher for the K130-cyclotron. Jyväskylä: Elsevier Science.
- Kampus ja historia. 2018. Jyväskylän yliopiston verkkosivut. Viitattu 11.5.2018.  
<https://www.jyu.fi/fi/yliopisto/kampus>
- Kiihdytinlaboratorio. 2018. Jyväskylän yliopiston verkkosivut. Viitattu 28.9.2018.  
<https://www.jyu.fi/science/en/physics/research/infrastructures/accelerator-laboratory>
- Kiihdyttimet ja ionilähteet. 2018. Jyväskylän yliopiston verkkosivut. Viitattu 1.10.2018  
<https://www.jyu.fi/science/en/physics/research/infrastructures/accelerator-laboratory/accelerators-and-ion-sources>

- Mimi Onuoha, David Rios Digital Input & Output. 2016. ITP physical computing. Viitattu 29.5.2018.  
<https://itp.nyu.edu/physcomp/lessons/microcontrollers/digital-input-output/>
- R Nave, Cyclotron. 2016. Hyperphysics. Viitattu 13.11.2018 <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/cyclot.html>
- PlantPAx Distributed Control System. 2018. PDF-tiedosto. Rockwell automation inc. Viitattu 5.9.2018.  
[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/sg/proces-sg001\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/sg/proces-sg001_-en-p.pdf)
- PLX3x User Manual. 2017. PDF-tiedosto. Prosoft technology. Viitattu 9.8.2018.  
[https://www.prosoft-technology.com/content/download/9671/182665/version/16/file/PLX3x\\_user\\_manual.pdf](https://www.prosoft-technology.com/content/download/9671/182665/version/16/file/PLX3x_user_manual.pdf)
- PLX31-EIP-ASCII datasheet. 2017. PDF-tiedosto. Prosoft technology. Viitattu 24.3.2018.  
<https://www.prosoft-technology.com/content/download/9690/182748/version/6/file/PLX31-EIP-ASCII+datasheet.pdf>
- RS232-Current Loop Converter. Blackbox network services. Viitattu 24.3.2018.  
<https://www.blackbox.fi/fi-fi/si/1561/11864/DIN-RS232-Current-Loop-Converter/S1.03/232+converter>
- RS-422 and RS-485 Standards Overview and System Configurations. 2010. PDF-tiedosto. Texas Instruments. Viitattu 23.11.2018  
<http://www.ti.com/lit/an/slla070d/slla070d.pdf>
- RS-422 connections. B+B Electronics. Viitattu 25.3.2018.  
<http://www.bb-elec.com/Learning-Center/All-White-Papers/Serial/FAQ-Connect-RS-422-Devices.aspx>
- Sarjaliikenne ja sarjaportti. 2017. Viitattu 9.8.2018.  
<https://www.hutasu.net/elektroniikka/sulautettu-elektroniikka/sarjaliikenne-ja-sarjaportti/>
- Stratix Ethernet Device Specifications. 2018. PDF-tiedosto. Rockwell automation inc. Viitattu 29.8.2018.  
[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/1783-td001\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/1783-td001_-en-p.pdf)
- Säteilyturvallisuus työpaikalla. 2009. Säteilyturvakeskuksen säädöskokoelma. Viitattu 23.10.2018  
<https://www.stuklex.fi/fi/ohje/ST1-6?toc=1>
- What is RS-232. B+B Electronics. Viitattu 9.8.2018.  
<http://www.bb-elec.com/Learning-Center/All-White-Papers/Serial/What-Is-RS-232.aspx>
- Ydin- ja kiihdytinpohjainen fysiikka. 2018. Jyväskylän yliopiston verkkosivut. Viitattu 28.9.2018.  
<https://www.jyu.fi/science/fi/fysiikka/tutkimus/ydin-ja-kiihdytinpohjainen-fysiikka>

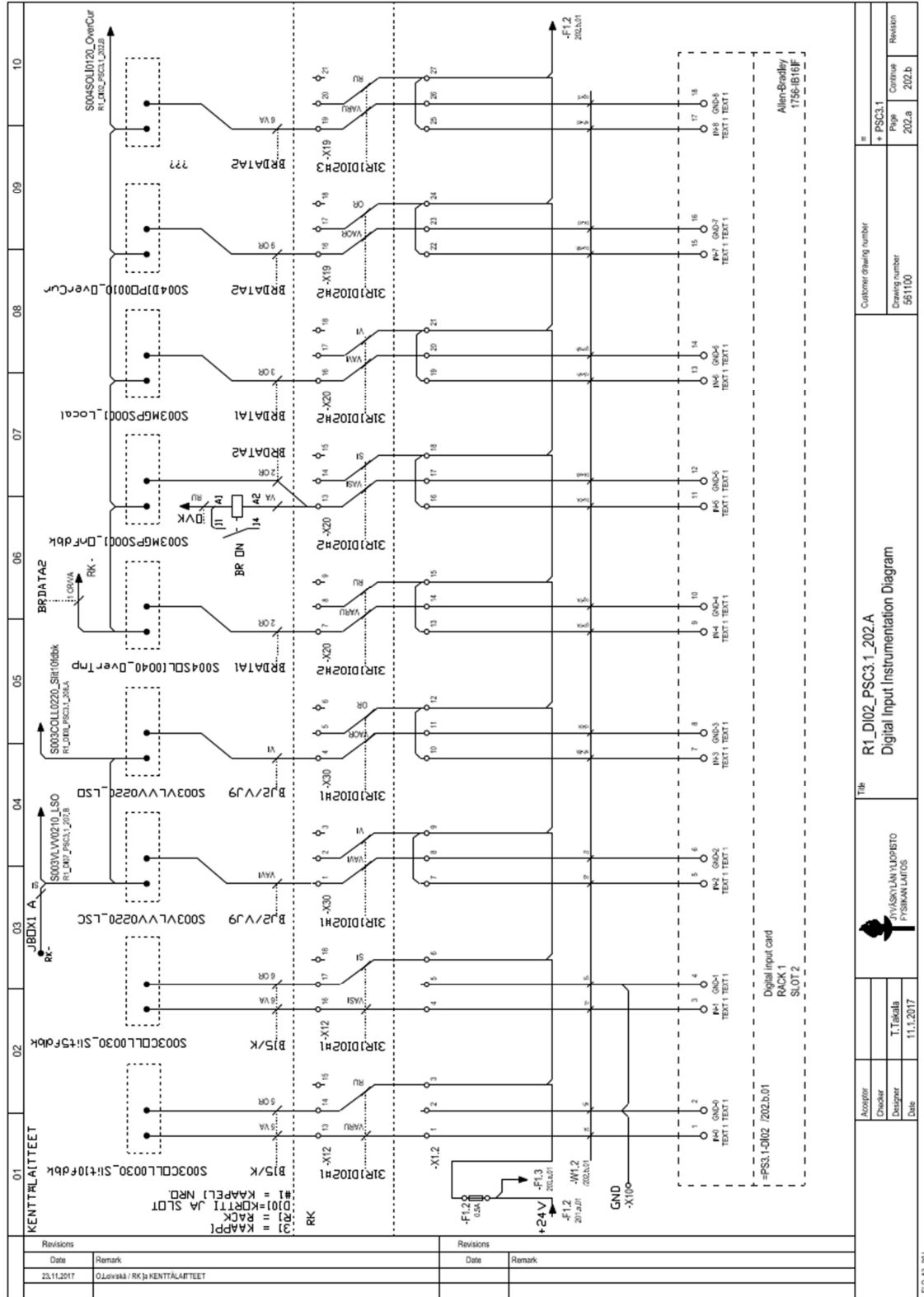




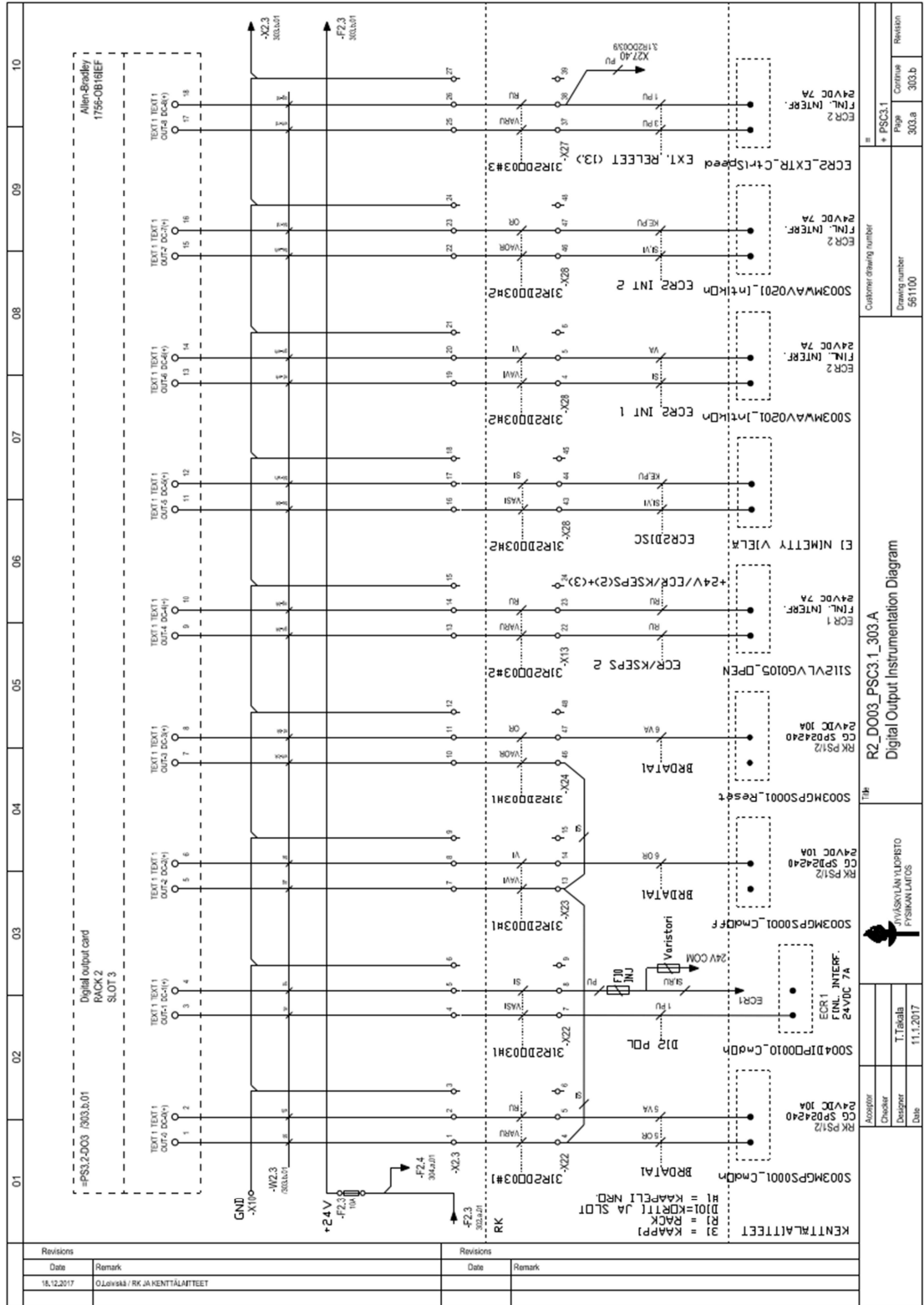
Liite 2. PlantPax järjestelmäkaavio.



Liite 3. Digitaalitulon kytkentäkaavion esimerkki.

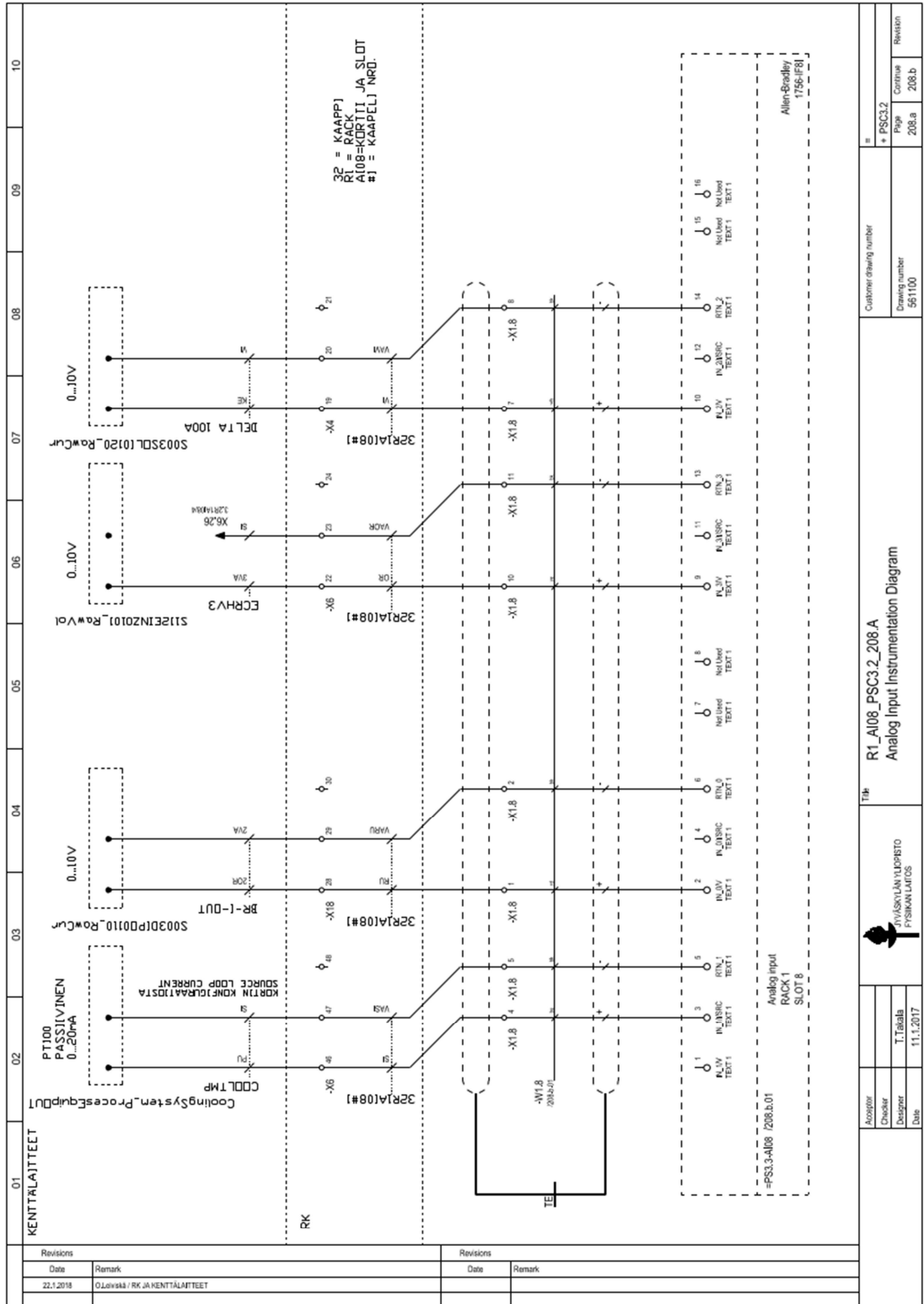


Liite 4. Digitaalilähdön kytkentäkaavion esimerkki.



Customer drawing number	# PSC3.1 + PSC3.1
Page	303.a
Continue	303.b
Revision	303.b
Drawing number	561100
<b>R2_D003_PSC3.1_303 A</b>	
<b>Digital Output Instrumentation Diagram</b>	
Author	JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
Checker	PTSAKALAINEN
Designer	T. Takala
Date	11.1.2017

Liite 5. Analogiatulon kytkentäkaavion esimerkki.



Revisions	Date	Remark	Revisions	Date	Remark
	22.1.2018	Olevisää / RK JA KENTÄLÄITTEET			

Author		Customer drawing number	# PSC3.2
Checker		Drawing number	561100
Designer		Page	208.a
Date	11.1.2017	Continue	208.b
		Revision	

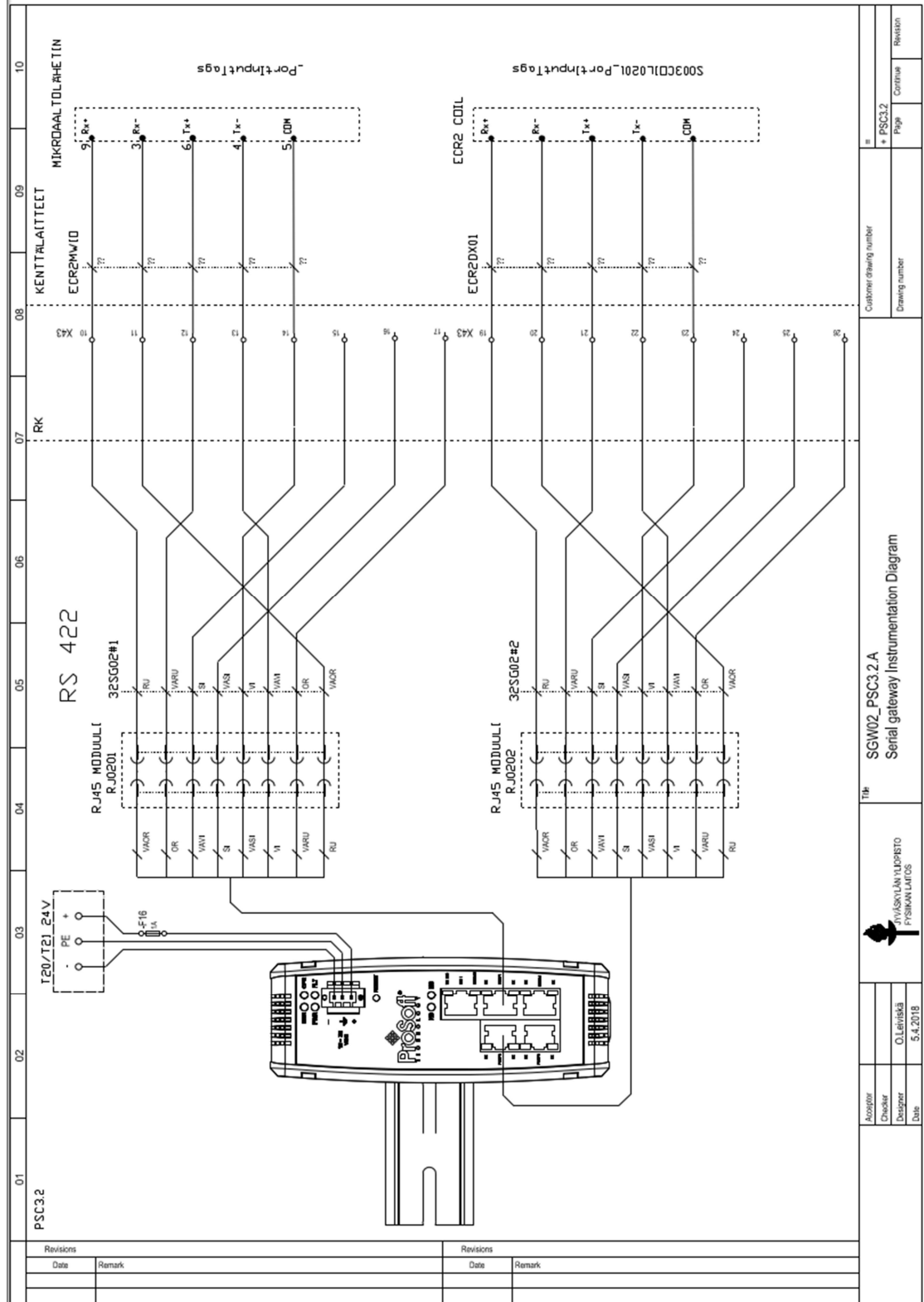
  

Title		R1_A108_PSC3.2_208.A	
Analogue Input Instrumentation Diagram			
FYSIKALINEN LIIKESKOTTE		FYSIKALINEN LIIKESKOTTE	
FYSIKALINEN LIIKESKOTTE		FYSIKALINEN LIIKESKOTTE	





Liite 8. RS 422 kytentäkaavion esimerkki.



Revisions		Revisions	
Date	Remark	Date	Remark

Approver Checker Designer Date	OLLIWIKA 5.4.2018		Title <b>SGW02_PSC3.2 A</b> Serial gateway Instrumentation Diagram	Customer drawing number + PSC3.2	Page 11	Revision Continue
---	----------------------	--	--	-------------------------------------	------------	----------------------





## Liite 10. Ote I/O kaaviosta.

WIRE NC	JUMP	WIRING NOTE	CABLE NO.	CABLE NOTE	C-Connecti	Wire no	C-con cable	Dist. Rai	Processor	Cabin	Rad	Stol	Cardty	I/O	CH	Prog. Connection
4or					X9.7	SI	32R1A12#1	X1.12:4	PSCI_P53	PSC3.2	1	12	IF8I	I	1	S003PUHV0101_RawCur
4va			HV2/ECR		X9.8	VASI	32R1A12#1	X1.12:5								
or					X9.10	OR	32R2A003#2	X2.3:22								
Vaor			H- KIKU SUI A		X9.11	VAOR	32R2A003#2	X2.3:23	PSCI_P53	PSC3.2	2	3	OF8I	O	7	S004XYMG0410_XSetRawCur
or					X9.13	RU	32R2A004#1	X2.4:1								
Vaor			H- KIKU SUI B		X9.14	VARU	32R2A004#1	X2.4:2	PSCI_P53	PSC3.2	2	4	OF8I	O	0	S004XYMG0410_YSetRawCur
3or					X9.16	OR	32R2A005#2	X2.5:22								
3va			HV2/ECR		X9.17	VAOR	32R2A005#2	X2.5:23	PSCI_P53	PSC3.2	2	5	OF8I	O	7	S003PUHV0101_VoIs
7or					X9.20	VI	31R1D01#3	X1.1:33	PSCI_P53	PSC3.1	1	1	IB16IF	I	10	S004FCUP0030_INFdbk
7va			BI 5/K		X9.19	VAVI	31R1D01#3	X1.1:31								
8or					X9.23	OR	31R1D01#3	X1.1:36	PSCI_P53	PSC3.1	1	1	IB16IF	I	11	S004FCUP0030_OUTFdbk
8va			BI 5/K		X9.22	VAOR	31R1D01#3	X1.1:34								
1or					X9.26	RU	31R1D01#4	X1.1:39	PSCI_P53	PSC3.1	1	1	IB16IF	I	12	S004VIEW0030_INFdbk
1va			BI 5/K		X9.25	VARU	31R1D01#4	X1.1:37								
2or					X9.29	SI	31R1D01#4	X1.1:42	PSCI_P53	PSC3.1	1	1	IB16IF	I	13	S004VIEW0030_OUTFdbk
2va			BI 5/K		X9.28	VASI	31R1D01#4	X1.1:40								
pu					X9.32	RU	31R1D01#1	X1.1:3	PSCI_P53	PSC3.1	1	1	IB16IF	I	0	S003EMIT0010_OUTFdbk
ke	5:12s1		BI3/K1		X9.31	VARU	31R1D01#1	X1.1:1								
si			BI3/K1		X9.34	VASI	31R1D01#1	X1.1:4	PSCI_P53	PSC3.1	1	1	IB16IF	I	1	S003EMIT0010_INFdbk
					X9.35	SI	31R1D01#1	X1.1:6								
ru	5:10s1				X9.38	RU	31R1D05#1	X1.5:3	PSCI_P53	PSC3.1	1	5	IB16IF	I	0	S004XYMG0410_XPol
Varu			H- KIKU SUI A		X9.37	VARU	31R1D05#1	X1.5:1								

ei kytkentöjä