

Hiukkaskiihdyttimen tyhjiöjärjestelmän automaatiuusinnan perussuunnittelu

Kalle Salminen

Opinnäytetyö
Joulukuu 2014

Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) Salminen, Kalle	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 8.12.2014
	Sivumäärä 67	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: X
Työn nimi Hiukkaskiihdyttimen tyhjiöjärjestelmän automaatiuusinnan perussuunnittelu		
Koulutusohjelma Automaatiotekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Häkkinen, Veli-Matti		
Toimeksiantaja(t) Jyväskylän yliopisto Lassila, Arto		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Jyväskylän yliopiston fysiikan laitos ja se jatkoi kiihdytinlaboratorion automaatioprojektia, jonka päämääränä oli uusia koko kiihdytinprosessin ohjausjärjestelmä. Opinnäytetyö käsittelee automaatiosuunnittelun perussuunnitteluvaiheeseen kuuluvien dokumenttien laadintaa hiukkaskiihdyttimen tyhjiöjärjestelmästä.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli edistää aiemmin aloitettua automaatioprojektia laatimalla selkeät ja tarpeeksi monipuoliset dokumentit hiukkaskiihdyttimen tyhjiöjärjestelmästä, jotka olisivat saatavilla kaikille automaatiojärjestelmää käyttäville- ja sitä tulevaisuudessa kehittäville henkilöille. Laadittavat dokumentit tulisivat helpottamaan uuden automaatiojärjestelmän ohjelmasovellusten ohjelmointia, määrittelemään sovellusten toimintaa ja lyhentämään automaatiojärjestelmän uusinnasta aiheutuvaa hiukkaskiihdyttimen käyttökatkoa.</p> <p>Työn aloitushetkellä olemassa oleva dokumentointi tyhjiöjärjestelmästä oli osin vanhentunutta ja varsin puutteellista, jonka seurauksena järjestelmän toiminnanselvitys aloitettiin keräämällä tarvittavat tiedot dokumenttien laadintaan läpikäymällä vanhan automaatiojärjestelmän ohjelmasovelluksia. Ohjelmasovelluksista selvitettiin muun muassa piirien toiminnallisuus, tyhjiöjärjestelmän laitteiden ohjaukset, -lukitukset ja -hälytykset sekä tyhjiöjärjestelmän käyttämät I/O-osoitteet.</p> <p>Kerättyjen tietojen pohjalta tyhjiöjärjestelmästä laadittiin I/O-pisteluettelo, laiteluettelo, PI-kaavio, sekvenssi- ja piirikohtaiset toimintakuvaukset sekä sanalliset kuvaukset ja vuokaaviot järjestelmän pääprosesseista. Laaditut dokumentit tarkastettiin kiihdytinlaboratorion henkilöstön toimesta ja niitä oli tarkoitus hyödyntää myöhemmin, kun uusi automaatiojärjestelmä saadaan hankittua.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Perussuunnittelu, automaatiosuunnittelu, automaatiuusinta		
Muut tiedot		



Author(s) Salminen, Kalle	Type of publication Bachelor's thesis	Date 8.12.2014
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 67	Permission for web publication: x
Title of publication Basic design of the automation renewal of a particle accelerator's vacuum system		
Degree programme Automation engineering		
Tutor(s) Häkkinen, Veli-Matti		
Assigned by University of Jyväskylä Lassila, Arto		
Abstract <p>The thesis was assigned by the physics department of the University of Jyväskylä and it continued the automation project carried out in the acceleration lab the main objective of which was to renew the whole control system of the acceleration process. The thesis deals with the documentation of the particle accelerator's vacuum system, belonging to automation design's basic design phase.</p> <p>The aim of the thesis was to help the progress of the previously started automation project by creating articulated and sufficiently versatile documents of the particle accelerator's vacuum system, which would be available for everyone using the automation system and for the personnel developing it in the future. The created documents would help the software programming of the new automation system, defining those programs and shortening the usage break caused by the automation system renewal.</p> <p>At the starting moment of the thesis the existing documentation of the vacuum system was partly aged and quite insufficient, which lead to the beginning of the system's functional investigation by collecting the needed information by going through the programs of the old automation system. Among other things, the circuit's functionality, vacuum system's equipment controls, interlocking and alarms as well as I/O- addresses used by the vacuum system were resolved.</p> <p>Based on the gathered information from the vacuum system, the I/O-address-, equipment list, PI-scheme, sequence- and circuit specific functional descriptions as well as flow charts from the system's main processes were created. The created documents were verified by the acceleration labs personnel and the documents were meant to be utilized later, when the new automation system would be obtained.</p>		
Keywords/tags (subjects) Basic design, automation design, automation renewal		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Lähtökohdat ja tavoite	4
2	Jyväskylän yliopisto	5
2.1	Fysiikan laitos ja kiihdytinlaboratorio.....	6
2.2	K- 130 syklotroni.....	8
3	Automaatioprojekti	9
3.1	Perussuunnittelu.....	11
3.2	Kiihdytinlaboratorion automaatioprojekti.....	12
4	Honeywell TotalPlant Alcont	15
4.1	Ohjausjärjestelmän rakenne.....	15
4.2	Sovellustyökalut.....	20
5	K-130 syklotronin tyhjiöjärjestelmän laitteisto	26
6	Tyhjiöjärjestelmän pääprosessit	35
6.1	Tyhjiön luonti.....	36
6.2	Kryopumppujen regenerointi.....	37
6.3	Tyhjiön pumppaus main probelle ja putken ohjaus syklotroniin.....	39
6.4	Tyhjiön pumppaus stripperille ja kalvopidikkeen ohjaus syklotroniin.....	40
6.5	Tyhjiön ylläpito ja tarkkailu.....	41
7	Työn toteutus	43
7.1	Tiedonkeruu ja siihen liittyvät ongelmat.....	44
7.2	Toimintakuvaukset.....	46
7.3	Sekvenssikuvaukset.....	47
7.4	Vuokaaviot prosesseista.....	47
7.5	Laitelista.....	49
7.6	I/O-pisteluetelo.....	50
7.7	PI-kaavio.....	51
8	Yhteenveto ja pohdinta	51
	Lähteet	54
	Liitteet	56
	Liite 1. Venttiilin VC1 toimintakuvaus.....	56
	Liite 2. Sanallinen toimintakuvaus kryopumpun CRYC1 regeneroinnista.....	57

Liite 3. Inflektorin vaihtosekvenssin askel 25.....	58
Liite 4. Vuokaavio tyhjiön luonnista	59
Liite 5. Kuvankaappaus tyhjiöjärjestelmän I/O-pisteluetelosta.....	64
Liite 6. Kuvankaappaus tyhjiöjärjestelmän laiteluettelosta.....	65
Liite 7. PI-kaavio K-130 syklotronin tyhjiöjärjestelmästä	66
Liite 8. TotalPlant Alcont -järjestelmän rakenne.....	67

Kuviot

Kuvio 1. Ylistönrinteen kampus.....	6
Kuvio 2. Kiihdytinlaboratorion pohjapiirros.....	7
Kuvio 3. K-130 syklotroni.....	8
Kuvio 4. Automaatiojärjestelmän elinkaarimalli	10
Kuvio 5. Esimerkki valvomoaseman kokoonpanosta	18
Kuvio 6. TotalPlant Explorer -alkuvalikko.....	21
Kuvio 7. Prosessiasema 3:n konfigurointi järjestelmäeditorissa	22
Kuvio 8. Tyhjiöjärjestelmän valvomokuvan efektit kuvaeditorissa.....	23
Kuvio 9. Pascal-lohkon luonti lausekielieditorilla.....	24
Kuvio 10. Lohkoeditorilla toteutettu moottorinohjauspiiri	25
Kuvio 11. Historiakuva K-130 syklotronin tyhjiökammion kokoamisesta. Yläpuolella Liner-vuoraus on paikallaan ja alapuolella vuoraus vielä puuttuu	26
Kuvio 12. Tyhjiöjärjestelmän pumppuja. Vasemmalla kryopumppu CRYC2, oikealla alhaalla liukusiipipumppu PPC2 ja oikealla ylhäällä roots-pumppu RC2	28
Kuvio 13. Stripperin kalvopidike.....	31
Kuvio 14. Main proben putki ja virranmittausblokki	32
Kuvio 15. Inflector-laitteisto.....	34
Kuvio 16. Kuvankaappaus K-130 syklotronin tyhjiöjärjestelmän PI-kaaviosta	35
Kuvio 17. Kryopumppujen regenerointi.....	38
Kuvio 18. Main proben pumppaus.....	40
Kuvio 19. Stripperin pumppaus.....	41
Kuvio 20. Dia-piirtotyökalu.....	48
Kuvio 21. Vanha- ja kritiikin alla oleva uusi, vahvistamaton nimeämiskäytäntö.....	50

Taulukot

Taulukko 1. TotalPlant Alcont -järjestelmän rakenne.....	16
Taulukko 2 Tyhjiöjärjestelmän ohjauksessa käytetty I/O-määrä.....	29

Käsitteitä

Deflector	Sähköstaattinen poikkeutin, joka hylkii kiihdyttimen suihkun partikkeleita.
Ekstraktio	Toimenpide, jolla suihku saadaan ulos kiihdyttimestä.
FBD	Ohjelmointikieli, function block diagram.
I/O	Tulo/lähtö.
Intensiteetti	Fysiikan suure, jolla ilmoitetaan kuinka paljon energiaa siirtyy pinta-ala yksikön läpi aikayksikössä.
Liner	Vuoraus, jolla erotellaan sellaiset syklotronin tilat, jotka olisi muuten vaikea saada hyvään tyhjiöön.
MeV	Yksikkö, megaelektronivoltti.
Pascal	Ohjelmointikieli, suosittu 1970-luvulla.

1 Lähtökohdat ja tavoite

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Jyväskylän yliopiston fysiikan laitos ja se toteutettiin yliopiston fysiikan laitoksen kiihdytinlaboratoriossa. Opinnäytetyö käsittelee automaation perussuunnitteluun kuuluvien dokumenttien laadinnan K-130 syklotronin tyhjiöjärjestelmästä.

Opinnäytetyön aloitushetkellä tyhjiöjärjestelmään liittyvä dokumentointi oli melko puutteellista. Järjestelmän toimintakuvauksia ei ollut ollenkaan, fyysisistä lukituksista sekä I/O-kytkennöistä oli pari kymmentä vuotta vanhat dokumentit ja sen hetkiset kenttälaitetiedot perustuivat lähinnä muutamiin paperisiin laitemanuaaleihin, joiden kanteen oli käsin kirjoitettu niitä vastaavan laitteen tunnus. Vanhojen dokumenttien osalta ongelmana oli, että osa niistä saattoi olla yli 20 vuotta vanhoja, eikä niiden paikkaansa pitävyydestä ollut varmuutta.

Kiihdytinlaboratorion K-130 syklotronin nykyisenä ohjausjärjestelmänä toimiva Honeywell:n TotalPlant Alcont on ollut käytössä jo yli 20 vuotta ja sen elinkaari alkaa olla loppuillaan, kun järjestelmätoimittajan tarjoama tuki on tulossa päätökseensä. Järjestelmätuen päättymisen lähestyessä varaosien hinnat ovat kohonneet ja niiden saatavuus on heikentynyt. Tämän seurauksena Jyväskylän yliopisto on aloittanut automaatiojärjestelmän uusintaan liittyvän projektin, jossa on suunniteltu joko kokonaan uuden ohjausjärjestelmän hankkimista tai nykyisen järjestelmän migraatiota Honeywell:n uudempaan Experion PKS järjestelmään, jossa vanhaa laitteistoa voitaisiin hyödyntää vielä hieman pidempään.

Uuden automaatiojärjestelmän hankintaprojekti aloitettiin keväällä 2014, jolloin fysiikan laitokselle tehdyn opinnäytetyön tuloksina saatiin määriteltyä alustavat käyttäjävaatimukset tulevalle automaatiojärjestelmälle ja vertailtua eri automaatiotoimittajien järjestelmiä keskenään, jonka seurauksena saatiin karsittua pois muutamia järjestelmiä mahdollisista vaihtoehdoista. Vertailun ohella saatiin dokumentoitua nykyisen automaatiojärjestelmän rakenne ja selvitettyä kokonais I/O-määrät, piirrettyä CAD-kuvat nykyisten kaappien sijainneista ja niiden lähellä olevista

esteistä, jotka voisivat haitata mahdollisten uusien kaappien sijoittelua. Lisäksi aloitettiin sen hetkisten kytkentöjen ja kaapelien selvitys- ja merkitsemistyö.

Suoritin fysiikan laitoksella työharjoittelua silloin, kun kyseinen opinnäytetyö tehtiin ja se tekikin oman opinnäytetyöni teosta mielenkiintoista, sillä sain jatkaa samaa automaatiojärjestelmän uusintaprojektia, jossa olin ollut jo aikaisemmin osallisena. Opinnäytetyötä aloittaessa minulla ei ollut paljoa aikaisempaa kokemusta automaation perussuunnittelusta koulussa käytävän kurssin lisäksi, mikä teki työn teosta sopivan haasteellista ja kehittävää oman ammattiosaamiseni kannalta.

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda selkeät automaation perussuunnittelun kuuluvat dokumentit K-130 syklotronin tyhjiöjärjestelmästä. Dokumenttien avulla kuka tahansa ohjausjärjestelmän käyttäjästä saisi selkeän kuvan tyhjiöjärjestelmän toiminnasta, -laitteistosta, -lukituksista ja -ohjauksista, -hälytyksistä sekä I/O-kytkennöistä. Dokumentteja tullaan käyttämään järjestelmää uusittaessa, jolloin ne helpottavat uusien ohjelmavälikomponenttien ohjelmointia, määrittelevät niiden rakenteen ja mahdollisesti lyhentävät järjestelmän vaihdosta aiheutuvaa käyttökatkoa.

2 Jyväskylän yliopisto

Jyväskylään perustettiin vuonna 1863 Uno Cygnaeuksen johdolla Suomen ensimmäinen suomenkielinen opettajankoulutusseminaari, joka muutettiin v.1934 ylioppilaspohjaiseksi kasvatusopilliseksi korkeakouluksi. 10 vuotta myöhemmin saatiin lupa kouluttaa kasvatustieteiden kandidaatteja ja mahdollisuus väitellä tohtoriksi. Siitä eteenpäin perustettiin tasaisin väliajoin uusia tiedekuntia, osastoja sekä uusia opintosuuntia. Vuonna 2014 tulee kuluneeksi 80 vuotta siitä, kun Jyväskylän yliopisto muutettiin korkeakouluksi.

Tänä päivänä Jyväskylän yliopisto on kansainvälisesti tärkeä tiedeyliopisto ja koulutuksen asiantuntija, joka keskittyy ihmis- ja luonnontieteisiin. Yliopiston tärkeimpänä tehtävänä on erilaisiin tutkimuksiin pohjautuen tuottaa ja jakaa uutta tietoa, etsiä totuutta sekä kehittää ja uusia sivistysperintöä. Yliopisto tarjoaa lähes 80 pääaineen lisäksi 100 oppiainetta ja se koostuu seitsemästä tiedekunnasta, joita

ovat humanistinen-, informaatioteknologian-, kasvatustieteiden-, liikuntatieteellinen-, matemaattis-luonnontieteellinen- ja yhteiskuntatieteellinen tiedekunta sekä Jyväskylän yliopiston kauppakorkeakoulu. Jyväskylän yliopistolla oli v.2014 n. 14 500 opiskelijaa, joista noin tuhat oli kansainvälisiä opiskelijoita 86:sta eri maasta. Aikuiskoulutettavat mukaan lukien yliopiston opiskelijamäärä oli lähemmäs 40 000. Yliopistolla työskenteli 2700 työntekijää ja sen vuosibudjetti oli melkein 211 miljoonaa euroa. (Yleisesittely 2014)



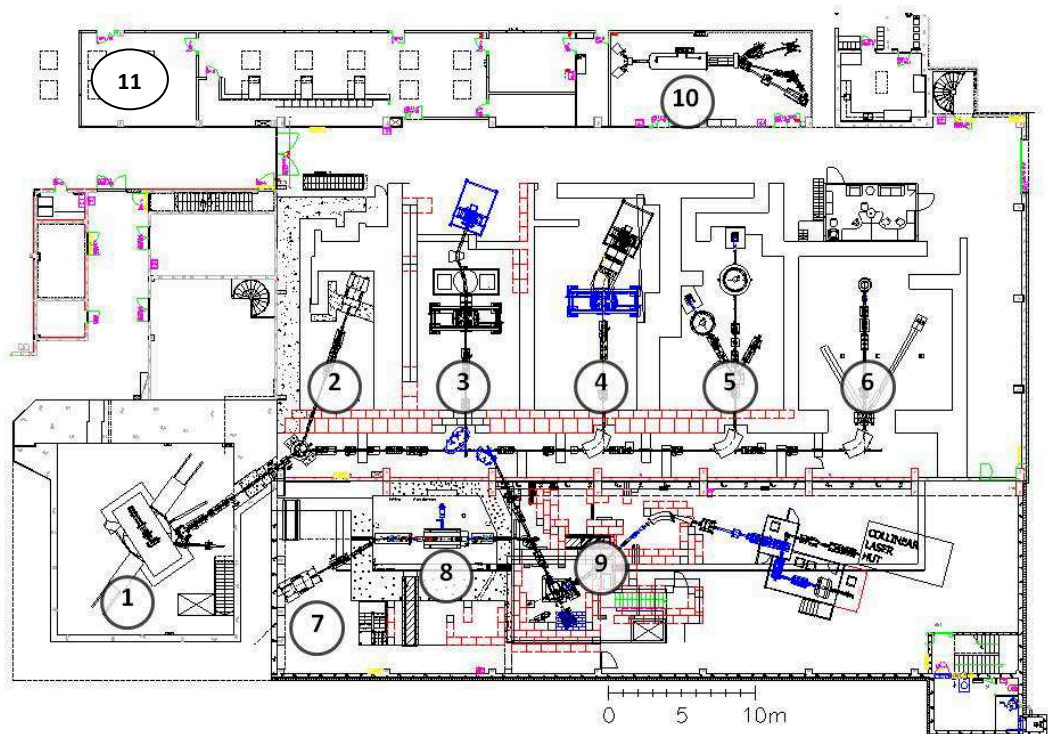
Kuvio 1. Ylistönrinteeseen kampus (Eronen, Laapio, Leskinen, Maukonen, Nurminen, Sarkkinen, Suhonen & Säntti-Ahomäki 2007)

2.1 Fysiikan laitos ja kiihdytinlaboratorio

Jyväskylän yliopiston fysiikan laitoksen koulutuksen pääalueita ovat materiaali-, hiukkanen-, ydin- ja kiihdytinpohjainen fysiikka sekä fysiikan- ja fysiikan opettajien koulutus. Fysiikan laitoksen kiihdytinlaboratorio on pitkäikäisin Suomen Akatemian tutkimuksen huippuyksikkö ja vuosien 2012 – 2017 väliseksi ajaksi kiihdytinfysiikan yksikkö oli valittu huippututkimusyksiköksi. Fysiikan laitoksella tehtävän tutkimuksen kolme pääalaa ovat materiaali-, hiukkanen- sekä ydin- ja kiihdytinpohjainen fysiikka. Pääalojen tutkimus on luonteeltaan teoreettista ja kokeellista perustutkimusta sekä niihin pohjautuvaa soveltavaa tutkimusta.

Fysiikan laitoksen kiihdytinlaboratorio on vuodesta 1996 lähtien ollut EU:n laatulaboratorio. Kiihdytinlaboratoriossa on yhteensä kolme hiukkaskiihdytintä (K-130 syklotroni, Pelletroni ja MCC30/15 Syklotroni), joita käytetään muun muassa materiaali- ja kiihdytinfysiikan sovelluksissa sekä elektroniikan komponenttien säteilykestävyyden testauksessa. (Kiihdytinlaboratorio n.d; Accelerator facilities 2012.)

Kuviossa 2 on esitetty kiihdytinlaboratorion pohjapiirros, jossa on hieman poikkeuksia opinnäytetyön suorittamisen aikaiseen tilanteeseen. Osa numeroiduista kohdista oli vasta rakenteilla tai tulevaisuuden suunnitelmia, joille oli varattu tilat kohtiohallissa.



Kuvio 2. Kiihdytinlaboratorion pohjapiirros (Accelerator facilities 2012.)

Kuviossa 2 esitettyjen numeroiden kuvaukset:

- 1: K-130 syklotroni
- 2: Protonilinja
- 3: MARA (Mass Analyzing Recoil Apparatus) (rakenteilla)

- 4: RITU (Recoil Ion Transport Unit)
- 5: Ydinreaktiot (Large Scattering Chamber) (suunnitteilla)
- 6: RADEF (Radiation Effects Facility)
- 7: Isotooppien tuotantoalue (suunnitteilla)
- 8: MCC30/15 syklotroni
- 9: IGISOL (Ion Guide Isotope Separator On-Line) ja sen yläpuolella Laserspektroskopia
- 10: Pelletroni
- 11: Valvomo

2.2 K- 130 syklotroni

K-130 syklotroni on kiihdytin, jolla varaukselliset partikkelisuihkut saadaan kiihdytettyä teoriassa jopa 130 MeV energiaan, joka vastaa noin kolmannesta valonnopeudesta. Syklotronilla suoritetaan pääasiallisesti ydin- ja kiihdytinpohjaiseen fysiikkaan liittyvää ydinrakenteen tutkimusta, jonka teoreettisia kohteita ovat ydinmallit ja heikkoihin vuorovaikutuksiin liittyvät ilmiöt. K-130 syklotronin asennus aloitettiin kesäkuussa 1990 ja sillä saatiin tuotettua ensimmäinen suihku vuonna 1992. Kiihdytintä käytetään vuosittain 6000 – 7500 tuntia. (Accelerator facilities 2012.)



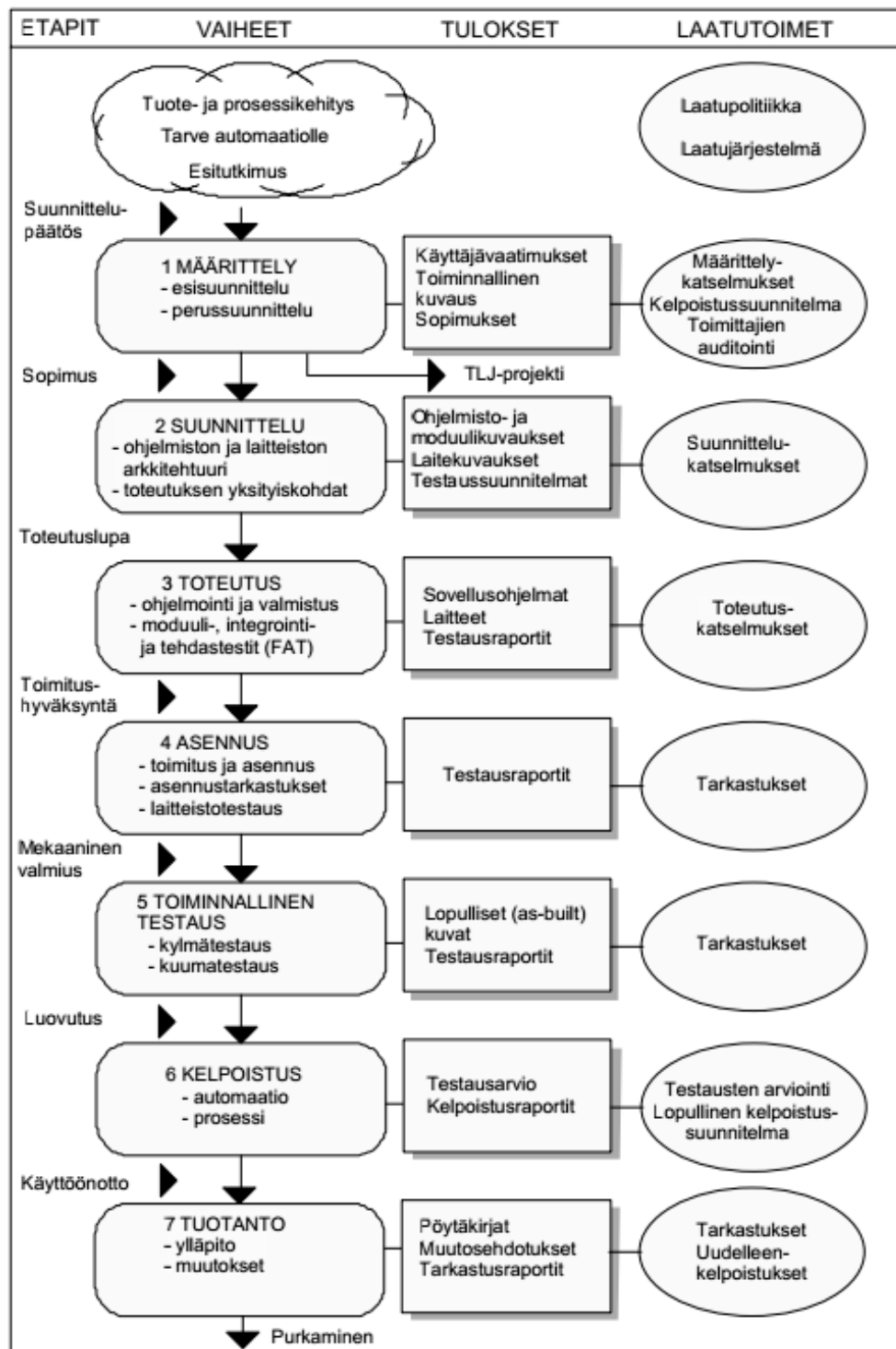
Kuvio 3. K-130 syklotroni (K130 Cyclotron, n.d.)

K-130 syklotronilla tuotetaan ionisuihkut käyttäen kolmea eri ionilähdettä, jotka ovat JYFL 6.4GHz ECRIS, 14 GHz ECRIS ja kevytionilähde LIISA. ECRIS-ionilähteet ovat ECR-tyyppisiä (Electron Cyclotron Resonance) ja ne tuottavat kiihdyttimelle korkeasti varattuja raskaita ioneja, joita käytetään ydin- ja materiaalfysiikan tutkimuksiin. Multi-cusp tyyppisellä LIISA:lla tuotetaan negatiivisesti varautunutta H^- -suihkua, jota muokataan strippaamalla siitä ylimääräiset elektronit pois. Protonisuihkua käytetään muun muassa ydinfysiikan- ja lääketieteellisen isotooppituotannon tarpeisiin. (Ionilähteet n.d.)

3 Automaatioprojekti

Automaatioprojekti on ennakoidusti suunniteltu hankintaprosessi, jonka päätavoitteena voi olla joko uuden automaatiojärjestelmän hankinta tai vanhan järjestelmän päivittäminen. Projektin toteutus on rajoitettu aikataulun sekä taloudellisen tilanteen mukaan ja sen toteutukseen voi osallistua asiakkaan ja toimittajan lisäksi useita eri tahoja esimerkiksi alihankkijoita, konsultteja ja viranomaisia. Projektin onnistumisen kannalta ja sen laadukkaan toteutuksen varmistamiseksi onkin tärkeää, että jokaisella projektiin osallistuvalla taholla on omat, selkeät tavoitteet sekä vastualueet ja niiden toteutukseen on käytettävissä tarvittavat resurssit. (Automaation prosessimalli 2007, 30.)

Automaatioprojektissa keskeisessä osassa on automaatio suunnittelu ja sen onnistunut toteutus, jotka saadaan aikaiseksi järjestelmällisillä toimintatavoilla, valvonnalla ja lopputuloksen testauksella. Järjestelmien käytyä monimutkaisemmiksi, on testaukseen käytetty aika vähentynyt kasvaneen suunnitteluprosessin kustannuksella. Tämän seurauksena järjestelmän turvallisuuden ja laatuun keskittyvät standardit ovat rakentuneet erilaisten elinkaarimallien mukaan. Kuviossa 4 on esitetty automaatioprojekteissa yleisesti suositeltu elinkaarimalli, joka on tarkoitettu sellaisten automaatiojärjestelmien hankintaan, joissa on dokumentoinnin avulla pystyttävä esittämään hankkeen laadukas toteutus muun muassa prosessissa syntyvän tuotteen laatuvaatimusten tai sen valmistukseen liittyvien riskitekijöiden takia. (SAS 2001, 16.)



Kuvio 4. Automaatiojärjestelmän elinkaarimalli (SAS 2001, 17)

Kuvion 4 vasemmassa laidassa on esitelty järjestelmähankinnan kannalta keskeiset etapit ja vaiheet, keskellä niistä syntyvät dokumentit ja oikealla niihin liittyvät laadunvarmistustehtävät. Kuvion mukainen elinkaarimalli ei suoraan sovellu kiihdytinlaboratorion automaatioprojektiin, sillä automaatiojärjestelmän sovellukset tullaan ohjelmoimaan käyttäen fysiikan laitoksen omaa henkilöstöä, jolloin niiden

toteutus voidaan suorittaa vasta kun hankittu automaatiolaitteisto on toimitettu ja asennettu paikoilleen.

Opinnäytetyö sijoittuu elinkaarimallin määrittelyvaiheeseen, joka laajemmissa projekteissa jaetaan vielä esi- ja perussuunnitteluun (SAS 2001, 18). Työssä laadittiin perussuunnitteluun kuuluvia dokumentteja K-130 syklotronin tyhjiöjärjestelmästä.

3.1 Perussuunnittelu

Määrittelyvaiheen esisuunnittelun tarkoituksena on tarkastella automaatiohanketta käyttäjän näkökulmasta ja sen keskeisenä tavoitteena on selvittää muun muassa järjestelmän I/O- ja säätöpiirien lukumäärät, toimilaitteiden mitoitus tiedot, näyttöjen lukumäärät, tiedot järjestelmää käyttävästä henkilöstöstä, laitoksesta ja muista huomioon otettavista ulkoisista asennuksista sekä määrittellä järjestelmän käyttäjävaatimukset. (Automaation prosessimalli 2007, 20-21; SAS 2001, 34.)

Esisuunnittelussa tehty selvitystyö toimii Perussuunnittelun (Basic design) lähtövaatimuksena. Perussuunnittelu keskittyy tarkastelemaan automaatiohanketta automaatio suunnittelijan kannalta ja sen keskeisenä tehtävänä on luoda tarkempi prosessikuvaus automaatiolla ohjattavasta prosessista. Prosessikuvaus käsittää muun muassa seuraavat asiat:

- PI-kaaviot
- ajotapakuvaukset
- konfiguraatiot ja sekvenssit
- lukitukset
- eri tuotantotilanteet ja niiden vaihtotoimenpiteet.

Kuvauksien teossa käytettävien lähtötietojen laadinta on yleensä asiakkaan vastuulla ja ne syntyvät uutta järjestelmää hankittaessa prosessi- ja tehdassuunnittelussa. Uusittaessa vanhaa järjestelmää, kuten kiihdytinlaboratorion hankkeessa, lähtötiedot jouduttiin keräämään vanhaa järjestelmää läpikäymällä. (Automaation prosessimalli 2007, 21.)

Perussuunnittelussa laadittujen dokumenttien pohjalta suunnitellaan tulevien sovellusten toteutus, jonka takia perussuunnittelu pitää suorittaa riittävän huolellisesti (SAS 2001, 44).

3.2 Kiihdytinlaboratorion automaatioprojekti

Kiihdytinlaboratorioon suunniteltu automaatiojärjestelmän uusintaprojekti päätettiin aloittaa, koska kiihdytinlaboratorion K-130 syklotronin nykyisenä ohjausjärjestelmänä toimiva Honeywell:n TotalPlant Alcont oli ollut käytössä jo yli 20 vuotta ja sen elinkaari alkoi olla loppuillaan, kun järjestelmätoimittajan tarjoama tuki oli tulossa päätökseensä. Järjestelmätuen päättymisen lähestyessä varaosien hinnat olivat kohonneet ja niiden saatavuus oli heikentynyt.

Automaatioprojektissa vaihtoehtoina oli joko TotalPlant Alcontin migraatio Honeywell:n uudempaan Experion PKS järjestelmään tai kokonaan uuden ohjausjärjestelmän hankinta. Kummassakin vaihtoehdossa vanhat kenttälaitteet ja kaapeloinnit jätettäisiin ennalleen.

TotalPlant Alcontin päivityksessä vanhat prosessiasemat jätettäisiin vielä käyttöön (poislukien XPR-prosessorikortit), mutta niiden ohjauksen tulisi suorittamaan Honeywell:n PMD R800 -kenttäohjaimet. Päivityksessä sovellussuunnittelutyökalut pysyisivät lähes samanlaisina, jolloin vanhat sovellukset olisi mahdollista saada käännettyä toimiviksi päivitettyyn automaatiojärjestelmään. Kuvaeditori tultaisiin kuitenkin päivittämään uudempaan Web-pohjaiseen HMI Display Builderiin, johon Honeywell oli lupailut vanhojen valvomokuvien olevan käännettävissä. Kuvien kääntö tulisi kuitenkin viemään hieman enemmän aikaa, sillä heidän konvertointityökalunsa eivät tukeneet pascal-koodin kääntöä valvomokuvien efekteihin.

Kokonaan uusi järjestelmä tultaisiin hankkimaan samalla tavalla kuin sillä hetkellä käytössä ollut ohjausjärjestelmä eli ostamalla automaatiotoimittajalta vain automaatiolaitteisto sekä koulutus laitteiston- ja sovellussuunnittelutyökalujen käyttöön, toteuttaen ohjausjärjestelmän sovellusten ohjelmointi ja valvomokuvien piirto yliopiston henkilökunnalla.

Automaatioprojektin varsinainen toteutus aloitettiin keväällä 2014, jolloin toteutettiin elinkaarimallin määrittelyvaiheeseen kuuluva esisuunnittelu. Esisuunnittelussa laadittiin automaatiotoimittajille ilmoitettavat alustavat käyttäjävaatimukset uuden järjestelmän toteutuksesta, selvitettiin nykyisen järjestelmän I/O- määrät, piirrettiin CAD-kuvat järjestelmäkaappien ympäristöistä, aloitettiin kaapelien- ja johtimien merkitsemis- ja selvitystyö sekä vertailtiin markkinoilla olevia vartenotettavia automaatiojärjestelmiä keskenään, jonka tuloksena saatiin karsittua muutamia järjestelmiä pois mahdollisista vaihtoehdoista. Lisäksi vertailussa hyväksi todettujen automaatiojärjestelmien toteutuksista saatiin alustavat budjetäriset tarjoukset, joita voitaisiin käyttää apuna investointirahoituksen hakemisessa.

Vaikkei automaatioprojektin toteutukseen käytettävä rahoitus ollutkaan varmistunut, päätettiin projektia edistää aloittamalla selvitystyön tekeminen nykyisestä järjestelmästä. Selvitystyön ohella laadittaisiin automaatioprojektin perussuunnitteluun kuuluvia dokumentteja. Selvitystyön ja dokumentoinnin toteutus lajiteltiin seuraaviin osakokonaisuuksiin:

- turvajärjestelmäarkkitehtuuri
- tyhjiöjärjestelmät:
 - ionilähteet ja syöttölinjat
 - kiihdytintyhjiöt
 - jakelu- ja tutkimuslinjat
- prosessijäähdytykset
- RF- järjestelmät
- virta- ja jännitelähteet
- suihkudiagnostiikka
- laitediagnostiikka
- sarjaliikenne- ja muut väyläratkaisut.

Eri osakokonaisuuksien dokumentointi oli ennestään melko puutteellista ja olemassa olevat dokumentit olivat hajallaan olevia, lähes 20 vuotta vanhoja asiakirjoja, joiden paikkansapitävyydestä ei ollut varmuutta, eikä niitä välttämättä löytynyt ollenkaan

sähköisessä muodossa. Tämän seurauksena osakokonaisuuksien dokumentit haluttiin päivittää ajankohtaisiksi ja sähköiseen muotoon, jotta ne olisivat helposti saatavilla ohjausjärjestelmän käyttäjille sekä sitä tulevaisuudessa rakentaville- ja suunnitteleville henkilöille.

Uusista dokumenteista haluttiin tehdä yksinkertaisia ja selkeitä, jotta ne olisivat mahdollisimman helposti ymmärrettävissä, helpottaen ohjausjärjestelmän parissa tehtävää työtä. Laadittavien dokumenttien päätarkoituksena oli määritellä tulevan ohjausjärjestelmän ohjelmasovellukset ja lyhentää uusien sovellusten ohjelmointiin käytettävää aikaa minimoiden järjestelmän vaihdosta aiheutuva kiihdyttimen käyttökatko.

Osakokonaisuuksista laadittaisiin muun muassa piirikohtaisia toimintakuvauksia, toimintakaavioita, sanallisia kuvauksia prosesseista, sekvenssikuvauksia ja -kaavioita sekä laitelistoja ja I/O-pistelueteloita. Näiden dokumenttien lisäksi kiihdytinlaboratoriosta olemassa olevia CAD-kuvia päätettiin päivittää sekä jatkaa aikaisemmin aloitettua kaapelien- ja johtimien merkitsemis- ja selvitystyötä. Opinnäytetyön suoritushetkellä edistävää työtä tehtiin K-130 syklotronin tyhjiöjärjestelmän lisäksi prosessijäähdytyksistä.

Kiihdytinlaboratorion automaatioprojektin päätavoitteena oli opinnäytetyön suorituksen aikana päästä kuviossa 4 olevan elinkaarimallin mukaiseen sopimus-
etappiin, jossa saataisiin tehtyä hankintasopimus kiihdytinlaboratorioon parhaiten soveltuvasta automaatiojärjestelmästä.

4 Honeywell TotalPlant Alcont

Jyväskylän yliopiston kiihdytinlaboratorioon aloitettiin 80-luvun lopulla automaatiojärjestelmän hankintaprojekti. Useiden eri vaihtoehtojen joukosta rajattiin mahdolliset teolliset ohjausjärjestelmät sellaisiin valmistajiin, jotka olivat osoittautuneet luotettavimmiksi karuissa olosuhteissa toimittaessa. Tarjouskilpailun voitti entinen Altim Control Oy (nyk. Honeywell) uudella Alcont II -konseptillaan, rohkeasti luottaen heidän helppokäyttöisiin ohjelmointityökaluihinsa. Muiden toimittajien tarjouksien sisältäessä kokonaisvaltaisen ohjelmointisuunnittelun (10 miestyövuotta, n. 60% järjestelmän kokonaishinnasta), Altim tarjosi sen sijaan lyhyttä ohjelmointikoulutusta, joka toi heille suuren edun muihin järjestelmiin nähden, vaikka heidän laitteistonsa olivat hieman kalliimpia muihin järjestelmiin verrattuna. (Lassila 2013.)

4.1 Ohjausjärjestelmän rakenne

Kiihdytinlaboratorion automaatiojärjestelmä koostui sen käyttöönotossa vain yhdeksästä prosessiasemasta, kahdesta sovellusasemasta ja GUS-asehasta sekä yhdestä käytönohjausasemasta. Järjestelmän I/O-määrä oli tuolloin n. 2000 ja asemien suorituskyvystä vastasi Intelin x186-pohjaiset VPR-prosessorikortit. Kiihdytinlaitteiston laajenemisen sekä sovellusten kasvun ja monimutkaistumisen myötä automaatiojärjestelmään on jouduttu tekemään useita päivityksiä vuosien varrella.

Päivitysten myötä muun muassa olemassa olevien prosessiasemien määrää on kasvatettu, muita uusia asemia on hankittu, VPR-prosessorikortit on vaihdettu x486-pohjaisiin XPR-kortteihin sekä sovellus- ja GUS-asemien käyttöjärjestelmät on päivitetty Windows XP:hen. Tänä päivänä kiihdytinlaboratorion I/O-määrä on lähes 2600, joista käytössä on n. 2200.

Alla olevassa taulukossa 1 ja liitteessä 8 on esitetty kiihdytinlaboratorion autoomaatiojärjestelmän nykypäivän rakenne.

Taulukko 1. TotalPlant Alcont -järjestelmän rakenne

<i>TotalPlant Alcont -järjestelmän rakenne</i>	
<i>Prosessiasemat</i>	18 kpl
<i>Käytönohjausasemat</i>	2 kpl
<i>Valvomoasemat</i>	2 kpl
<i>GUS-asemat</i>	2 kpl
<i>D×M sovellusasemat</i>	1 kpl
<i>Field Controller -kenttäohjaimet</i>	2 kpl
<i>RHS-palvelimet</i>	1 kpl
<i>SALR-asemat</i>	1 kpl

Taulukossa 1 mainittujen laitteistojen lisäksi kiihdytinlaboratorion valvomoon on asennettu yksi testiasema korttien testausta varten.

Prosessiasemat (Process Module PM)

Prosessiasemien tehtävänä on prosessin ohjaaminen ja kenttälaitteiden tietojen lukeminen asemalle ladattujen sovellusten mukaisesti. Asemat liittyvät prosessiin prosessiliitântäkorteilla, kenttäväylän välityksellä tai I/O- laajennuksen kautta, jossa prosessiliitântäkortit on asennettu erilliselle I/O- kehikolle. Yleisesti prosessiasema on rakennettu 19- tuumaiseen kehikkoon ja se koostuu virtalähteestä, prosessorikortista sekä I/O- korteista , joita voi laajentamattomassa prosessiasemassa olla korkeintaan 16 kappaletta. Prosessiasemassa voi olla myös korttipaikkoja varattuna prosessorin kahdennusta tai älykkäitä liitântäkortteja varten. (Asemat 2005.)

Käytönohjausasemat

Yleisimmin TotalPlant Alcont -järjestelmässä käytönohjausasemien tehtävänä on säätöpiirien asetusarvojen laskeminen prosessien tuotantovauhdista, sekvenssien suorittaminen ja resepteihin perustuvien ohjausten suorittaminen. (Alcont Laitteistokäsikirja 1997.)

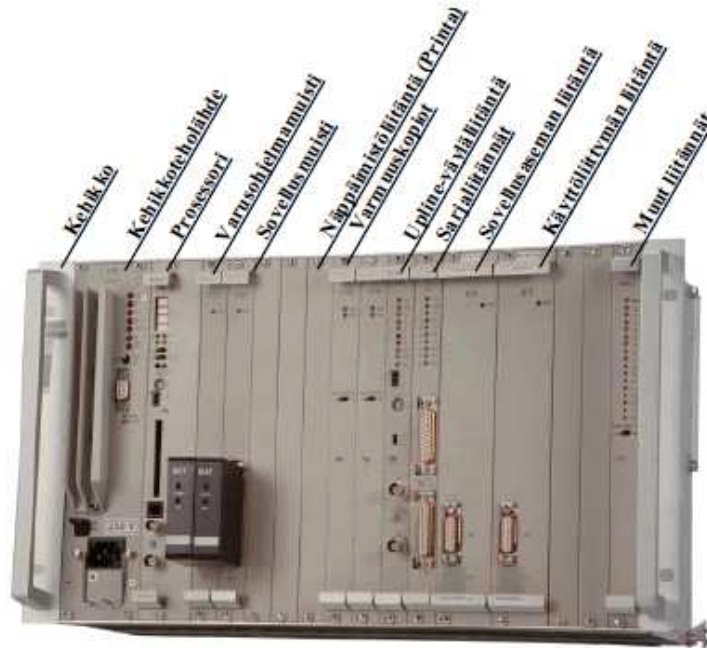
Kiihdytinlaboratorion automaatiojärjestelmässä käytönohjausasemat on asetettu huolehtimaan sarjaliikenteellä kulkevien tietojen välityksestä prosessin ja kenttälaitteiden välillä. Käytönohjausasemat voidaan varustaa muun muassa MCL-virtasilmukkakorteilla sekä SCI-sarjaliikennekorteilla. (Lassila 2014.)

Field Controller -ohjaimet (FC)

Field Controller on itsenäinen kenttäohjain, joka on liitetty automaatiojärjestelmään UPLINE-väylällä. Kenttäohjaimen tarkoituksena on liittää sen ohjaama prosessi osaksi muuta automaatiojärjestelmää, välittää prosessin tiedot käyttäjille ja järjestelmän yksiköille sekä vastaavasti vastaanottaa prosessinohjauksessa tarvittavat tiedot käyttäjiltä ja muilta järjestelmän yksiköiltä. Sovellustyökaluilla toteutettavien perusohjausten lisäksi kenttäohjain pystyy hyödyntämään lausekielellä toteutettuja tapahtumapohjaisia toimintoja, jonka ansiosta se pystyy suorittamaan esimerkiksi prosessien optimointia. (Field Controller FC 2005.)

Valvomoasemat (Operation Module OM)

Kiihdytinlaboratoriossa on kaksi valvomoasemaa, jotka toimivat keskenään parina varmentuen toistensa toiminnan. Valvomoasemien tehtävänä on ohjata käyttöliittymiä, huolehtia asemien välisistä tiedonsiirtoreiteistä, käsitellä ja lähettää käyttäjälle prosessi- ja järjestelmähälytykset sekä toimia varmuuskopiointikohteena varus- ja sovellusohjelmille. Kaikki sovellusasemilla tallennetut tiedot on varmennettu valvomoasemien RAM-tyyppisille massamuisteille, jotka on varmennettu sähkökatkojen yli asemakohtaisilla akuilla ja korttikohtaisilla paristoyksiköillä. Yhteensä RAM-muistikortteja on 3 + 3 kappaletta ja ne ovat 8 megatavun kokoisia. Korteille on tallennettu järjestelmän rakennetiedot, varusohjelmat ja sovellukset. Yksi asemapari pystyy huolehtimaan kokonaan normaalikokoisen TotalPlant Alcont -automaatiojärjestelmän sovelluksien talletuksista ja niiden varmuuskopioinnista. Kuviossa 5 on esimerkki valvomoaseman kokoonpanosta.



Kuvio 5. Esimerkki valvomoaseman kokoonpanosta (Asemat 2005, 34.)

Valvomoasemat toimivat järjestelmän reitittäjinä. Asemilla on reittikartta, jossa on kuvattuna väyläyhteydet jokaiselle järjestelmän yksikölle. Reittikarttaan kirjoitetaan aina uusi rivi kun yhteys muodostetaan uudelle yksikölle. Tämä toiminta mahdollistaa uusien yhteyksien luonnin karttaan lisättyjen yksiköiden kesken ilman valmoasemien apua sen jälkeen, kun ensimmäinen yhteys on muodostettu. Reittikarttaa käytetään myös yksiköiden uudelleen nimeämisessä, jos niiden tiedot katoavat prosessorin muistista esimerkiksi kortin vaihdon yhteydessä. (Järjestelmän toimintakuvaus 2005, 11; Lassila 2014.)

Alcont GUS (Global User Station)

Alcont GUS on PC:lle asennettu Windows XP- pohjainen käyttöliittymäsovellus, joka liittyy järjestelmään ja tietoverkkoihin Ethernet-väylillä. Sen tarkoituksena on välittää valvomoasemien luoma tietokokonaisuus prosessista, tuotannosta ja liiketoiminnasta käyttäjälle yhden käyttöliittymän kautta. Kuvaeditorilla luodut valvomokuvat esitetään käyttällä GUS-käyttöliittymän kautta. (Automaatiojärjestelmä 2005, 6.)

D×M Sovellusasemat (Design Module)

Sovellusasema on Windows XP- pohjainen tietokone, johon on asennettu TotalPlant Alcontin sovellustyökalut. Sovellusasemalla suoritetaan järjestelmän sovellussuunnittelu, sovellusten testaus, -ylläpito ja -dokumentointi sekä sovellusten lataus prosessiasemille. Sovellusasemalle on myös asennettu järjestelmän ylläpitoon suunniteltu Daxmon -ohjelmisto, jolla voidaan seurata järjestelmän eri osien toimintaa sekä väylissä- ja sarjaliittämissä tapahtuvia virheitä. (Järjestelmän toimintakuvaus 2005, 10.)

Väylät

TotalPlant Alcontin asemien välinen tiedonsiirto suoritetaan Upline-väylillä. Upline on keskinopea väylä, joka on suunniteltu pitkille etäisyyksille ja häiriöalttiiden ympäristöjen tiedonsiirtoon. Upline-väylä koostuu varmennetusta 75 Ohm koaksiaalikaapelista ja väylien siirtonopeudet ovat 1, 2 tai 4 Mbit/s.

Kiihdytinlaboratorion automaatiojärjestelmässä on käytössä 4 Upline-väylää, joista yksi on nopeudeltaan 1 Mbit/s ja loput 4Mbit/s. Hitaaseen Upline 1 -väylään on yhdistetty käytönohjaus- ja valvomoasemat sekä testiasema. Nopeilla Upline 2-4 väylillä prosessiasemat ja Field controllerit on kytketty valvomoasemiin. (Järjestelmän yleiskuvaus 2005, 28; Lassila 2014.)

RHS-palvelin

RHS-palvelimelle (Remote Host Server) on asennettu GUS-käyttöliittymäsovellus ja se on yhdistetty kiihdytinlaboratorion Ethernet-verkkoon. Palvelimen tehtävänä on mahdollistaa käyttöliittymäsovelluksen etäkäyttö automaatiojärjestelmän ulkopuolisissa verkoissa oleville tietokoneille. (Lassila 2014.)

SALR-asema

Vanhanaikaisen rivikirjoittimen korvannut SALR-asema on PC, joka toimii järjestelmän hälytyskirjoittimena. Kaikki järjestelmän hälytykset ja ilmoitukset lähetetään SALR-asemalle sen sarjaportin kautta ja ne tallennetaan, jolloin niitä voidaan helposti selata jälkikäteen pitemmiltäkin aikaväleiltä. (Lassila 2014.)

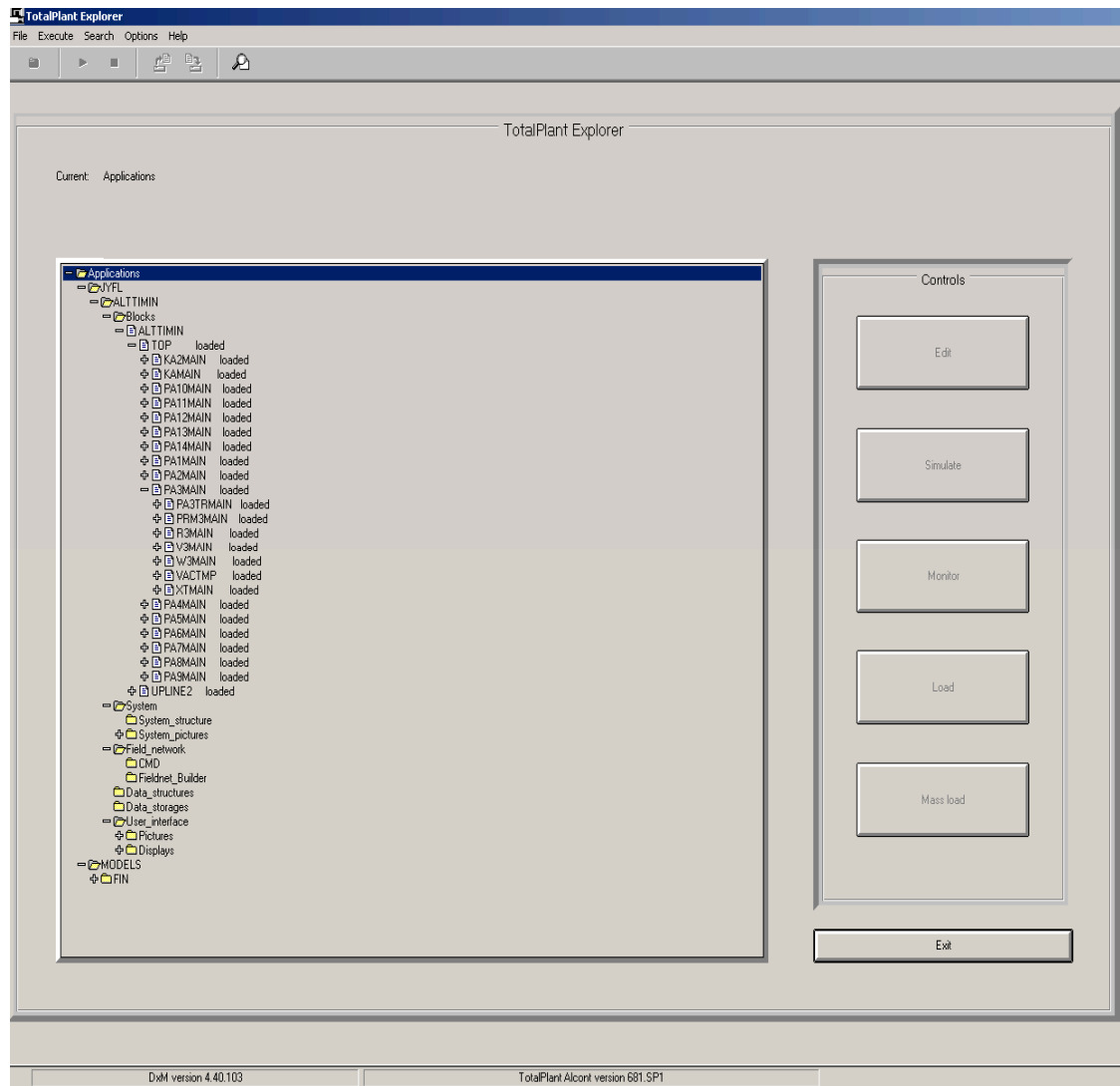
4.2 Sovellustyökalut

TotalPlant Alcont -ohjausjärjestelmän sovellustyökaluilla määritetään automaatiojärjestelmän rakenne ja toiminta. Sovellustyökalut jakaantuvat neljään eri osaan, jotka ovat järjestelmäeditori, kuvaeditori, lausekielieditori ja lohkoeditori. Näiden lisäksi työkaluista löytyy harvemmin käytetyt tietorakenne- ja tietovarastoeditori. Kaikki sovellustyökalut sijaitsevat erillisellä sovellusasemalla ja niitä hallitaan TotalPlant Explorerilla.

TotalPlant Explorer

Kaikki automaatiojärjestelmään tarvittava sovellussuunnittelu ja testaus suoritetaan Explorer-selaimen kautta. Selaimella luodaan uudet projektit ja käynnistetään kaikki editorit. Selaimella voidaan myös suorittaa osa editorien toiminnoista, kuten ohjelmien simulointi ja niiden lataus järjestelmään.

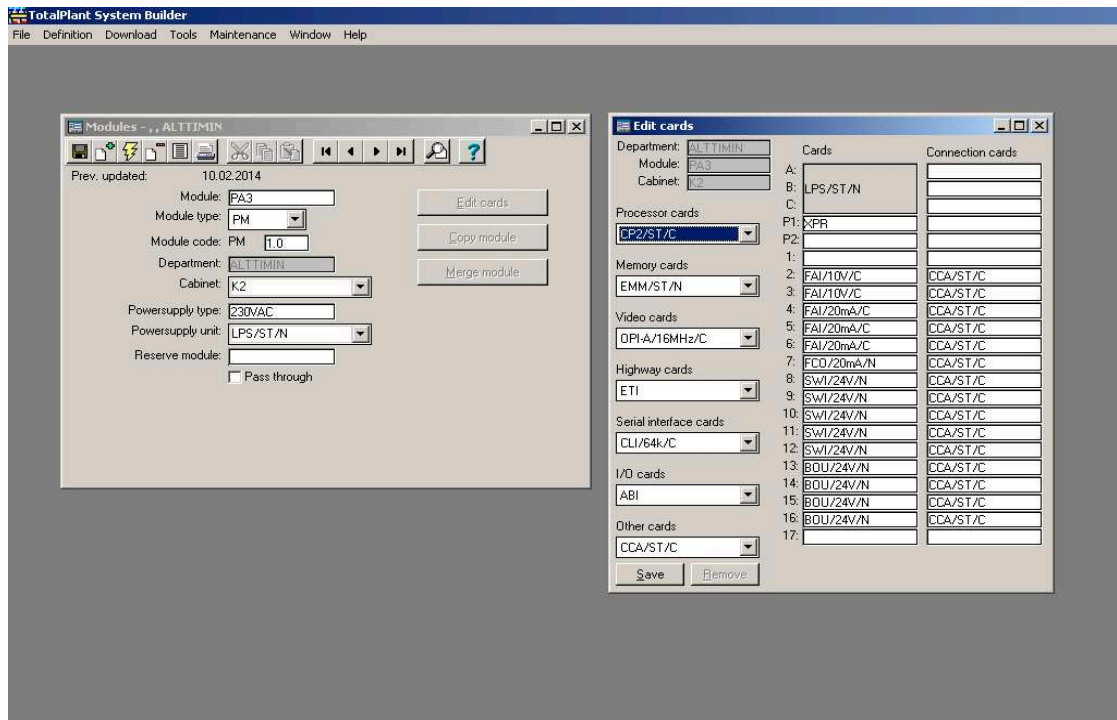
Sovellusmäärittelyt esitetään selaimessa hierarkisena puurakenteena (ks. kuvio 6), jonka ylimpänä tasona ovat sovellukset. Sovellusten ylimpänä tasona ovat projektit, joiden alla on yksi tai useampi osasto. Osastojen alla sijaitsevat määrittelyt muun muassa lohkoista, järjestelmärakenteista, kenttäväylistä, käyttöliittymistä, yms. (Sovellusasema 2005, 11.)



Kuvio 6. TotalPlant Explorer -alkuvalikko

Järjestelmäeditori

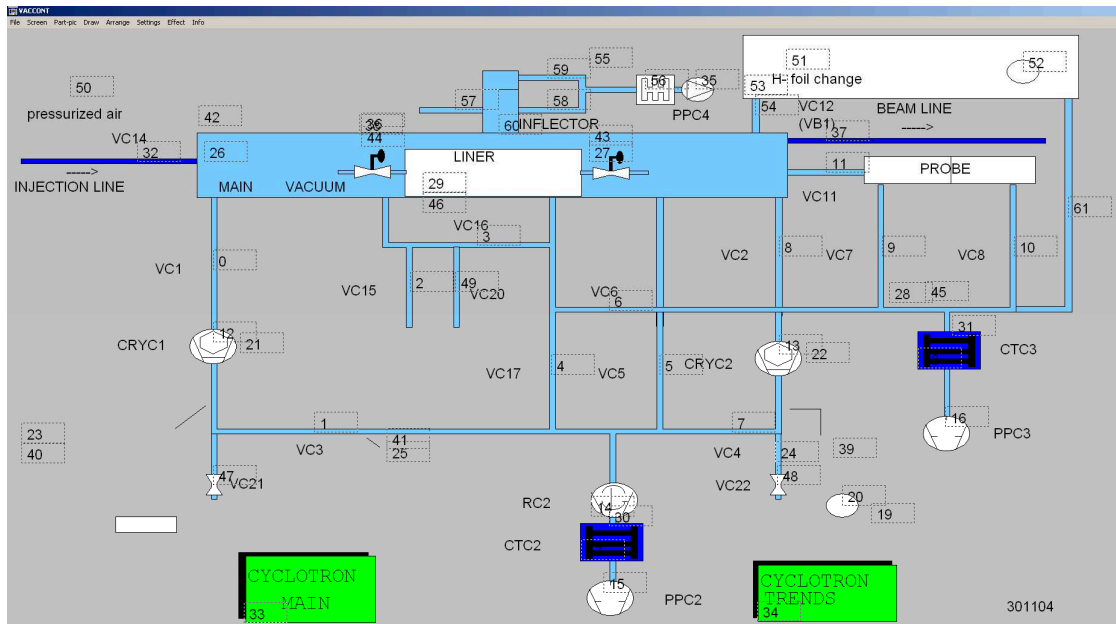
Järjestelmäeditorilla määritetään ja ylläpidetään automaatiojärjestelmän fyysistä- ja loogista rakennetta osastokohtaisesti (ks. kuvio 7). Editorin taulukoihin määritellään ja nimetään osastoihin kuuluvat asemat, kaapit, kortit, valvomolaitteet ja väylät. Näiden lisäksi määritellään muun muassa prosessiliitännät, hälytysalueet, käyttäjät ja varmuuskopioiden sijainnit. Järjestelmäeditorilla tehdyt määritelmät ladataan eri asemille järjestelmässä suunnittelutyön valmistuttua. Lisäksi editorilla tehdään järjestelmän ”kylmäkäynnistys” eli ladataan varusohjelmat ja suoritetaan tarpeelliset käynnistyksen vaatimat toimenpiteet. (Järjestelmäeditori 2003, 6.)



Kuvio 7. Prosessiasema 3:n konfigurointi järjestelmäeditorissa

Kuvaeditori

Kuvaeditorilla luodaan tai muokataan automaatiojärjestelmän käyttöliittymän valvomonäyttöjä, -kuvia ja -efektejä, joilla prosessia ohjataan ja valvotaan. Valvomonäytöt voivat muodostua joko yhdestä tai useasta kuvasta ja niihin määritellyistä efekteistä eli elävistä objekteista (ks. kuvio 8). Efekteillä kuvaan saadaan tuotua laitesymboleita, mittalaitteiden mittausarvoja lukuina tai graafisena esityksenä sekä luotua syöttökenttiä, joiden kautta annetaan halutut arvot prosessin ohjauslohkoille esimerkiksi säätöpiireille. Kuvaeditorilla luodut kuvat sijoitetaan automaatiojärjestelmän valvomoasemille. (Kuvaeditori 2005, 5.)

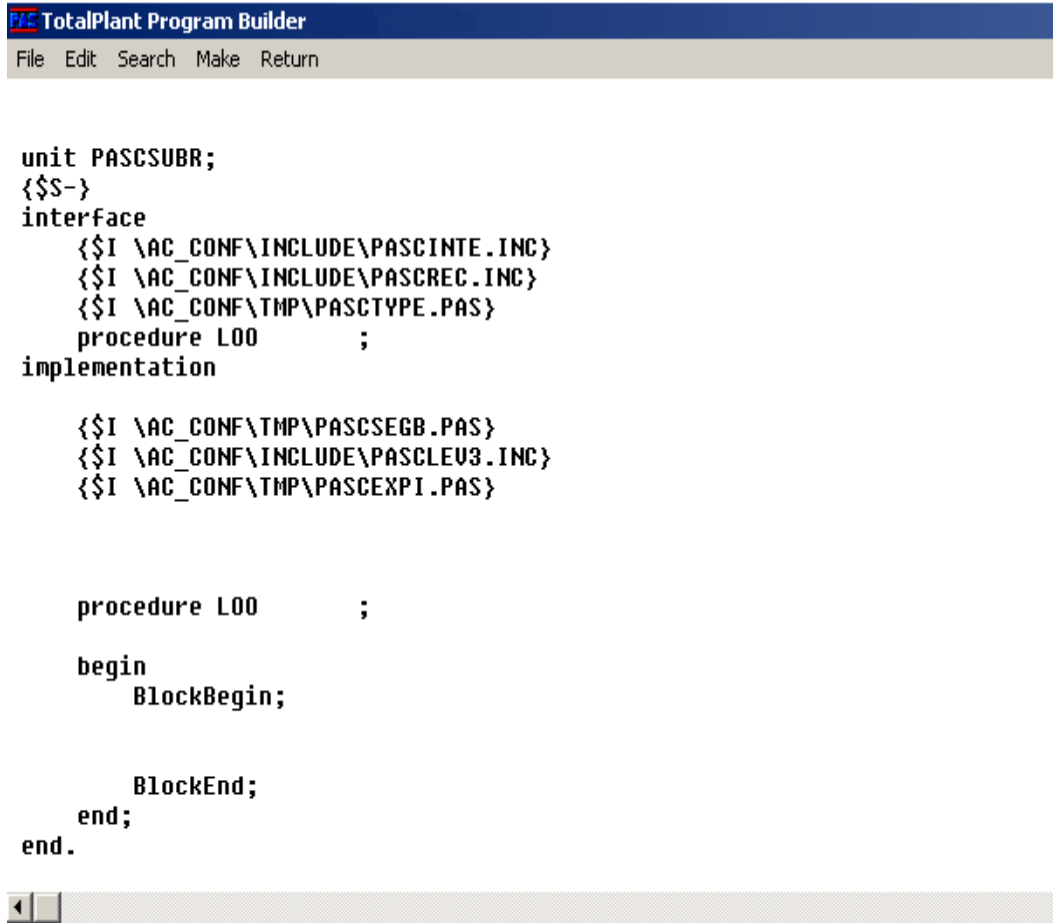


Kuvio 8. Tyhjiöjärjestelmän valvomokuvan efekti kuvaeditorissa

Lausekielieditori

Lausekielieditorilla järjestelmään saadaan luotua tavallisten ohjelmointilohkojen lisäksi lohkoja, joiden toteutuksessa käytetään lausekieltä. Ohjelmointikielenä TotalPlant Alcontin lausekielieditorissa toimii Pascal. Yleisimmät käyttökohteet lausekielille ovat lohkot, jotka tarvitsevat laajoja laskentoja, reseptisovelluksia tai muuta tietojenkäsittelyä. Lausekielieditori on melkein kuin normaali tekstieditori (ks. kuvio 9), jossa tarvittavat komennot voidaan antaa ohjelman alavetovalikoista. Lausekielestä käytetään kahta eri versiota: syklistä- ja tapahtumapohjaista lausekieltä.

Syklistälausekieltä käytetään matemaattisesten operaatioiden ohjelmointiin, joissa muuttujina ovat lohkojen liittimet. Tapahtumapohjainen lausekieli on lähes samantapainen kuin syklinen lausekieli, mutta se sisältää lisäksi tapahtumapohjaisia toimintoja itsenäisesti toimivien prosessien toteuttamiseen. (Sovellusuunnittelu ja sovellustyökalut 2003, 36.)



```

unit PASCSubr;
$$$
interface
  {$I \AC_CONF\INCLUDE\PASCINTE.INC}
  {$I \AC_CONF\INCLUDE\PASCREC.INC}
  {$I \AC_CONF\TMP\PASCTYPE.PAS}
  procedure L00      ;
implementation

  {$I \AC_CONF\TMP\PASCSEGB.PAS}
  {$I \AC_CONF\INCLUDE\PASCLEU3.INC}
  {$I \AC_CONF\TMP\PASCEXPI.PAS}

  procedure L00      ;

  begin
    BlockBegin;

    BlockEnd;
  end;
end.

```

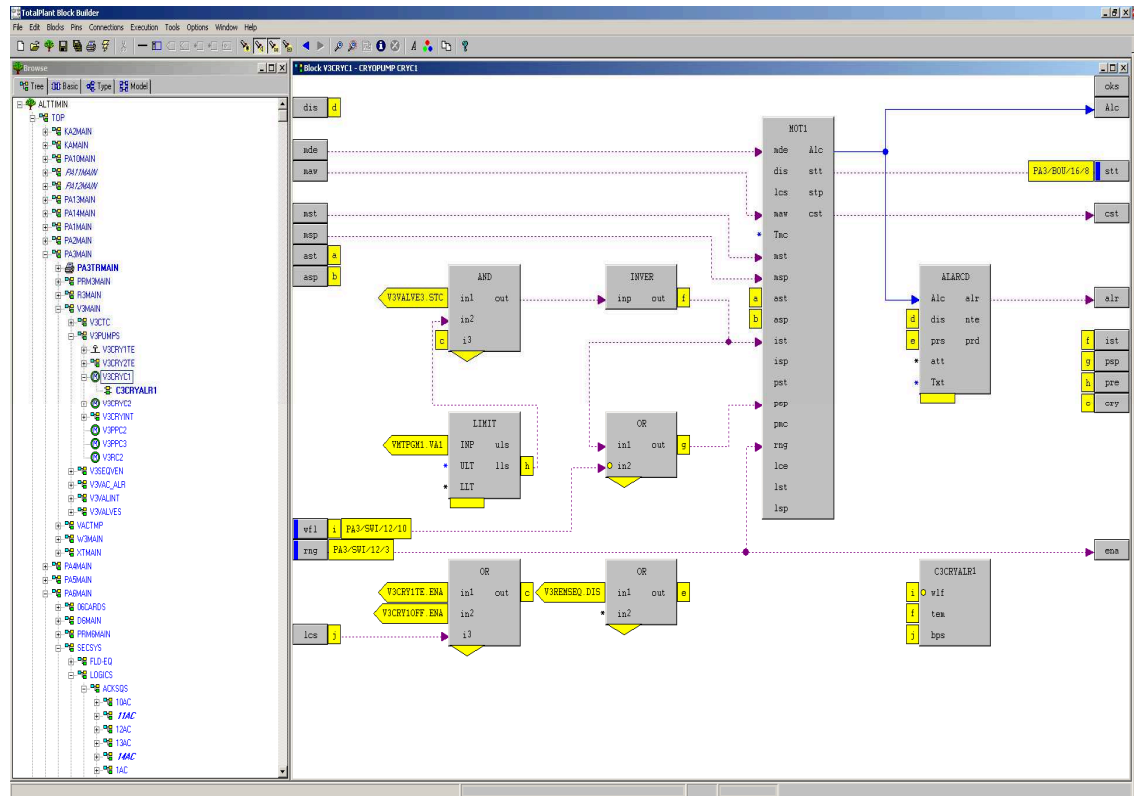
Kuvio 9. Pascal-lohkon luonti lausekielieditorilla

Lohkoeditori

Lohkoeditoria käytetään kaikkien automaatiojärjestelmän ohjaukseen tarvittavien mittauksen-, säätöjen-, moottorien ja venttiilien ohjauksien-, logiikkojen-, sekvenssien- ja ryhmäkäynnistysten- sekä laskentojen määrittelyyn. Editorilla siis määritellään kaikki prosessinohjaustoiminnot ja niihin liittyvien piirikuvien tiedot. Näiden lisäksi editorilla määritellään ohjausprosessin trendien keräykset ja hälytykset.

Lohkoeditorissa ohjausprosessista tehdään lohkihierarkia, joka toteutetaan käyttäen erilaisia lohkoja. Lohkokaavion ylin osa muodostetaan ja nimetään TotalPlant Explorerin pääsivulla tehdyn osastomäärittelyn mukaan. Osasto jaetaan pienempiin, hierarkisiin lohkoihin, jotka voivat edustaa esimerkiksi prosessiasemia. Näiden hierarkisten lohkojen sisään voidaan tehdä uudet 16 lohkoa, joiden sisään taas 16 lohkoa, kunnes saavutaan kaavion alimmalle tasolle, jonne määritetään

positiolohkot, kuten esimerkiksi säätö-, venttiili- tai moottoriipiirit. Lohkojen ohjelmointi muistuttaa lähinnä FBD-ohjelmointia (ks. kuvio 10). Ohjelmoinnin lisäksi lohkoeditorilla voidaan simuloida lohkot ja ladata ne automaatiojärjestelmän prosessiasemille. (Lohkoeditori 2005, 7.)



Kuvio 10. Lohkoeditorilla toteutettu moottorinohjauspiiri

5 K-130 syklotronin tyhjiöjärjestelmän laitteisto

K-130 syklotronin tyhjiöjärjestelmän prosessien ohjauksessa käytetään 23 venttiiliä, jotka ovat tyypiltään magneetti- ja porttiventtiileitä. Lisäksi syklotronista lähtevän suihkulinjan päässä on yksi nopea osastoiva turvaventtiili, joka sulkeutuu varjellen päätyhjiötä, mikäli tyhjiötasot suihkutarhan puolella venttiiliä romahtavat.

Suurimmat porttiventtiilit sijaitsevat syklotroniin tulevan injektioelinjan ja siitä lähtevän suihkulinjan päässä. Lisäksi porttiventtiileitä on sellaisissa kohdissa, joissa niiden läpi ohjataan erilaisia laitteita syklotronin tyhjiökammioon (ks. kuvio 11).

Magneettiventtiileillä ohjataan pumppausten reittejä, sekä avataan ja suljetaan tyyppihuuhtelussa käytettyjä putkilinjoja.



Kuvio 11. Historiakuvaa K-130 syklotronin tyhjiökammion kokoamisesta. Yläpuolella Liner-vuoraus on paikallaan ja alapuolella vuoraus vielä puuttuu (Taskinen 1990)

Tyhjiön pumppaus suoritetaan kahdella tehokkaalla kryopumpulla, 3:lla liukusiipipumpulla ja yhdellä roots-pumpulla. Liukusiipipumppujen kanssa käytetään öljyloukkuja, joiden tarkoituksena on estää ylimääräisten öljymolekyylien

ajautuminen pumpuille ja putkilinjoihin. Roots-pumppua ajetaan aina sarjassa liukusiipipumpun PPC2 kanssa (ks. kuvio 12). Pumppuja ohjataan päälle/pois menetelmällä ja yksi liukusiipipumpuista (PPC4) pidetään lähes aina käynnissä.

Kryopumput ovat tyhjiöjärjestelmän pumppauksessa käytetyistä pumpuista tehokkaimpia ja niitä käytetään yleisesti sellaisissa teollisissa sovelluksissa, joissa hiilivetyä ei suvaita. Kryopumput ovat öljyttömiä eikä niissä ei ole liikkuvia osia tyhjiössä. Kryopumpuilla on omat heliumkompressorinsa ja pumpatessaan ne jäädyttävät kaasut jäätymispisteeseen, jolloin ne varastoidaan tai siepataan pumpun sisään. Kryopumput tarvitsevat esityhjiön ennen kuin niillä voidaan aloittaa tyhjiön pumppaus ja ne pystyvät saavuttamaan 10^{-8} mbar:n tyhjiötason. (Basic vacuum practise 1986, 64.)

Liukusiipipumput ovat öljytiivistettyjä mekaanisia pumppuja, jotka poistavat kaasut tiivistämällä ne pyörivällä roottorilla hieman ilmanpainetta korkeampaan paineeseen, jonka jälkeen kaasut vapautetaan huoneilmaan poistoaukon kautta. Liukusiipipumppuja voidaan käyttää joko yksinään tai yhdessä esimerkiksi roots-pumpun kanssa, jolloin niitä kutsutaan esipumpuiksi. Liukusiipipumput pystyvät tuottamaan yksinään 10^{-3} mbar:n tyhjiötason. (Basic vacuum practise 1986, 38.)

Roots-pumpun sisässä on kaksi kahdeksikon muotoista öljytöntä roottoria, jotka pyörivät 2500 – 3500 rpm nopeudella tiivistäen kaasut ja poistaen ne poistokanavistoon. Pumpatessaan roots-pumppu tuottaa paljon lämpöä, minkä seurauksena se vaatii noin 13 mbar:n esityhjiön toimiakseen rikkoutumatta. Rikkoutumisen välttämiseksi roots-pumppua käytetään sarjassa esipumpun kanssa, jolloin se samalla helpottaa esipumppua pysymään halutussa tyhjiötasossa ja vähentää mahdollista öljyn taaksepäin virtausta. Roots-pumpuilla voidaan saavuttaa 10^{-5} mbar:n tyhjiötaso. (Basic vacuum practise 1986, 49.)



Kuvio 12. Tyhjiöjärjestelmän pumppuja. Vasemmalla kryopumppu CRYC2, oikealla alhaalla liukusiipipumppu PPC2 ja oikealla ylhäällä roots-pumppu RC2

Pumpattua tyhjiötasoa seurataan kolmella tyhjiömittalaitteella, joilla kaikilla on 4 anturia (1 pirani- ja 3 penning-anturia, huom. muutkin anturiyhdistelmät ovat mahdollisia riippuen tyhjiömittalaitteeseen asennetuista korttiyksiköistä). Pirani-anturit on tarkoitettu suurempien painetasojen mittaukseen ja kun painetaso on pienempi kuin 10^{-3} mbar, siirrytään käyttämään tarkempia penning-antureita. Anturia vaihtamalla vältetään mittalaitteiden liialliselta saastumiselta. (TPG 300 n.d.)

Tyhjiömittalaitteet sijaitsevat syklotronin ulkopuolella, paikallisen ohjauspaneelin vieressä. Näiden lisäksi K-130 syklotronin tyhjiöjärjestelmän ohjaukseen liittyy 3 muuta tyhjiömittalaitetta, joilla tarkkaillaan syklotronia ennen olevan injektioinjan- ja syklotronista lähtevän suihkulinjan tyhjiötasoa.

Pumppujen, venttiilien ja tyhjiömittalaitteiden ohella K-130 syklotronin tyhjiöjärjestelmän ohjaukseen liittyy hieman erikoisempia laitteistoja, jotka ovat stripper, main probe, deflector probe ja inflector. Näihin laitteistoihin kuuluu muun muassa tyhjiökammioita, sylintereitä, moottoreita ja kiihdyttimen suihkun

tarkkailuun käytettäviä mittalaitteita. Näiden lisäksi hyvän päätyhjiön aikaansaamiseksi K-130 syklotronin tyhjiökammiossa on vuoraus, jolla erotellaan epoksoidut käämit ja muut mutkalliset rakenteet omaksi pumppausosastokseen, jotka olisi muuten vaikea saada hyvään tyhjiöön.

Tyhjiöjärjestelmän ohjaus on hajautettu viidelle prosessiasemalle ja yhdelle käytönohjausasemalle, joiden käyttämien korttien- ja kanavien määrät on esitelty taulukossa 2.

Taulukko 2 Tyhjiöjärjestelmän ohjauksessa käytetty I/O-määrä

Tyhjiöjärjestelmän ohjaus		
PA1, -3, -4, -6 ja -8 + KA1		
I/O-kortit:	Korttien määrä (kpl):	Käytetyt kanavat (kpl):
<i>BOU\24V\N</i>	9	34
<i>SWI\24V\N</i>	9	88
<i>FAI\20mA\C</i>	3	5
<i>FCO\20mA\C</i>	1	1
Sarjaliikennekortit:	Korttien määrä (kpl):	Käytetyt kanavat (kpl):
<i>MCL\9MHz\N</i>	1	3
<i>SCI\NPX</i>	2	3
Asemia: 6	Kortteja: 25	Kanavia: 150

BOU\24V\N on 16-kanavainen, normaalin ympäristöluokituksen omaava binäärilähtökortti, joka ohjaa 24V kenttälaitteita. Kortin lähtökanavia voidaan käyttää kelluvan koskettimen tapaan tai lähtöinä, jotka saavat syöttävän jännitteensä kenttäteholähteestä. *SWI\24V\N* on 16-kanavainen binääritulokortti 24V kenttälaitteiden lukemiseen. *SWI*-kortin kanavat ovat kelluvia. *FAI\20mA\C* ja *FCO\20mA\C* ovat 4-kanavaisia analogiatulo- ja lähtökortteja 0...20mA ja 4...20mA virta-alueille. Korttien kanavat ovat kelluvia.

Tyhjiöjärjestelmän sarjaliikennettä tarvitsevien tyhjiömittalaitteiden tietojenkäsittelyn suorittavat *MCL*- ja *SCI*-kortit. *MCL\9MHz\N* on 20mA virtasilmukkakortti. Kortissa on 8 kanavaa, joiden nopeudet ovat 300...9600 bit/s. *SCI\NPX* on 2-kanavainen sarjaliitännäkortti, jonka kanaviin voidaan liittää RS232C-,

RS485-, RS422-standardien ja KOTEL-virtasilmukkaliitännän mukaisia päätelaitteita. (Proessori- ja liitäntäyksiköt sekä muistit 2004; Alcont sovellussuunnittelun opas 1994.)

Stripper

Stripperimekanismi on asennettu syklotronin ulkopuolelle ja se koostuu muun muassa pienestä tyhjiökammioista sekä syklotronin tyhjiökammion sisään ohjattavasta putkesta, jonka päähän on asennettu pyörivä kalvopidike (ks. kuvio 13). Kalvopidikkeessä on 4 kappaletta 16 x 22mm mittaista hiilikalvoa, jotka ovat 1-2 μm paksuja. Kalvoista käytetään yhtä kerrallaan ja aina kun stripperin putki ohjataan ulos syklotronin tyhjiökammioista, tapahtuu liipaisu, joka pyöräyttää stripperin kalvopyörää ja vaihtaa uuden kalvon käytössä olleen tilalle. Kalvojen tarkoituksena on stripata LIISA:lla tuotetusta intensiivisestä H^- -suihkusta ylimääräiset elektronit pois, jolloin saadaan positiivinen ydin, joka suuntautuu välittömästi pois syklotronin magneettikentästä ekstraktio-aukkoon.

Jotta stripperin kalvo saadaan ohjattua syklotronin tyhjiökammioon, tulee paine-ero syklotronin- ja stripperin tyhjiökammion välillä olla mahdollisimman pieni, jotta kammioiden välissä oleva porttiventtili voidaan avata. Mahdollisimman pienellä paine-erolla vältetään korkeamman paineen purkautuminen putkistoon ja siitä aiheutuvat laitevahingot.

Stripperin ollessa toiminnassa mekanismi pidetään paikoillaan muuttumattomassa asennossa, mutta haluttaessa sen asentoa voidaan säätää. (Accelerator facilities 2012; Heikkinen & Liukkonen n.d.; Lassila 2014.)



Kuvio 13. Stripperin kalvopidike (Heikkinen & Liukkonen n.d.)

Deflector probe

Deflector probe on deflektorin ja elektromagneettisen kelan välissä oleva mittalaite, jolla mitataan suihkun synnyttämää sähkövirtaa. Kun deflektorin probea käytetään mittaamaan positiivisten ionien suihkuvirtaa, voidaan mittaus suorittaa ennen ja jälkeen ekstraktion. Kiihdytettäessä negatiivista suihkua voidaan mittaus suorittaa vain ennen ekstraktiota, sillä negatiivisessa ajossa stripperi ohjaa negatiivisesta suihkusta strippaamansa protonisuihkun pois kiihdyttimestä ekstraktio-aukon kautta aikaisemmin kuin positiivisia ioneja kiihdyttäessä.

Deflector proben mittaustuloksista voidaan myös päätellä stripperin kalvon rikkoutuminen. Tätä tietoa käytetään vahinkojen välttämiseksi. Tiedon avulla kiihdytinlaitteistot osataan sammuttaa ennen kuin korkeaenergisien suihkun osuminen tyhjiökammioon tai syklotronin rakenteisiin aiheuttaisi vaurioita syklotronin sisällä. (Heikkinen & Liukkonen n.d.; Lassila 2014.)

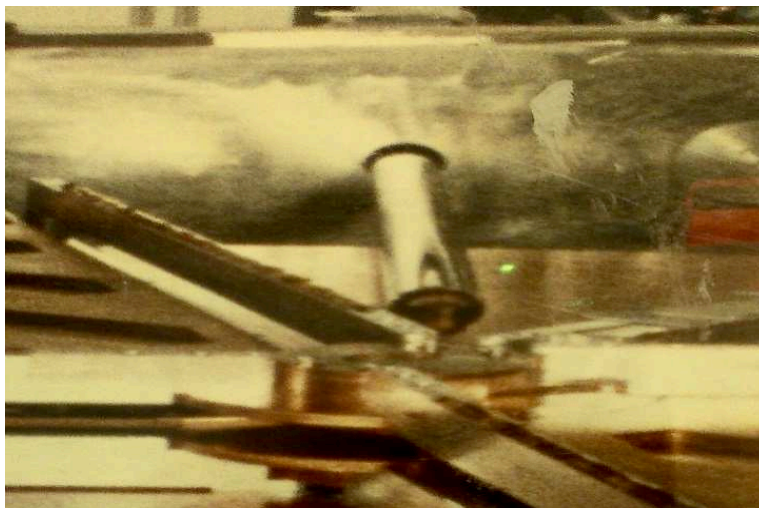
Main probe

Main probe on suihkun intensiteetin mittaukseen tarkoitettu laitteistokokonaisuus, joka koostuu pienestä tyhjiökammioista, syklotronin sisään ohjattavasta putkesta ja sen kärjessä olevasta 2-osaisesta virranmittausblokista (ks. kuvio 14). Laitteisto on asennettu K-130 syklotronin ulkopuolelle pääsuihkulinjan viereen.

Main proben tyhjiökammion etu- ja takaosaan pumpataan tyhjiö kahden magneettiventtiilin kautta liukusiipipumpulla PPC3. Etuosan venttiili suljetaan tyhjiön

ollessa halutulla tasolla, jonka jälkeen pumppausta jatketaan vain tyhjiökammion takaosaan. Sen jälkeen kun etuosan venttiili on sulkeutunut, eikä main proben- ja syklotronin tyhjiökammion välillä ole suurta paine-eroa, avataan tyhjiökammioiden välissä oleva porttiventtiili ja ohjataan main proben putki syklotronin sisään asti suihkun eteen.

Virranmittausblokin suurempi osa mittaa intensiteettiä suuremmalta alueelta ja sen mittaustulokseen lisätään kapeamman, kärjessä olevan osan mittaustulos rataseparaatiosta. Näiden mittausten tulokset yhteenlaskemalla saadaan suihkun kokonaisintensiteetti. Main proben mittaustuloksien perusteella voidaan piirtää XY-koordinaatistoon suihkun intensiteettikuvaajia kiihdyttimen säteen r funktiona. (Lassila 2014.)



Kuvio 14. Main proben putki ja virranmittausblokki

Inflector-laitteisto

Inflektori on laite, jolla syklotronin sisään ajettu pystysuora suihku ohjataan vaakatasoon spiraalimaiselle radalleen. Inflektoreja on 3, joita käytetään eri harmoonisille moodeille. Harmooninen moodi valitaan sen mukaan, minkä energiatason omaavia suihkuja syklotronille ajetaan. Ensimmäinen harmooninen moodi on tarkoitettu muun muassa vety-, deuterium- ja heliumsuihkuille. Toista ja

kolmatta moodia käytetään matalamman energian omaaville suihkuille. (Lassila 2014.)

Inflector-laitteistoon kuuluu itse inflektorin ja putken lisäksi muun muassa putkea ohjaava moottori, asento- ja kontaktikytkimiä, putkea kannatteleva masto, tyhjiölukkokammio ja inflektorin vaihdossa käytettävä laitteisto. Kaikki laitteet on asennettu K-130 syklotronin päälle, jossa sijaitsee myös laitteiden paikallisohjauspaneeli.

Kiihdyttimen suihkua voidaan joutua vaihtamaan 0-5 kertaa viikossa ja sen takia inflektorin vaihto on automatisoitu, jotta henkilökuntaa ei tarpeettomasti altistettaisi säteilylle ja syklotronin ajon keskeytysaika saataisiin minimoitua (Heikkinen & Liukkonen n.d.). Automatisoinnin ohella inflektorin vaihto voidaan edelleen toteuttaa myös käsi-ohjauksella paikallisohjauspaneelista. Inflektorin vaihtolaitteisto koostuu muun muassa vaunusta, jossa inflektorit säilytetään kaseteissa, inflektorit paikallaan pitävistä pidikkeistä, vaunua ohjaavista kahdesta sylinteristä, sensorijärjestelmästä ja lyijysuojaluukusta, jolla suojataan henkilöstöä ja laitteistoa vasta vaihdetun inflektorin jäännösaktiivisuudelta.

Inflektorin vaihto aloitetaan siirtämällä tyhjiön lukkokammion pumppaus vain sen yläosaan, sulkemalla alaosan venttiili ja avaamalla yläosan venttiili. Tämän jälkeen asetetaan sensorijärjestelmä päälle, jonka jälkeen inflektorin putki voidaan nostaa syklotronin tyhjiökammioista. Putken ollessa ylhäällä voidaan sulkea syklotronin tyhjiökammion venttiili ja tyhjiölukkokammion yläosan venttiili, jolloin sen pumppaus lopetetaan kokonaan. Venttiilien sulkeuduttua ilmataan tyhjiölukkokammio avaamalla typpilinjan venttiili, jonka jälkeen tyhjiölukkokammio nostetaan pois pakoiltaan pienillä paineilmasylintereillä.

Kun tyhjiölukkokammio on nostettu ja nosturin oikea sijainti on tarkastettu, voidaan masto kaataa ja avata lyijysuojaluukku. Luukun auettua avataan sen kasetin pidikkeet, jossa ei sillä hetkellä ole inflektoria paikoillaan, ohjataan inflektorin putki vaihtoasemaan ja suljetaan avoimen paikan pidikkeet, jolloin käytössä ollut inflektori jää kiinni kasettiin (ks. kuvio 15). Inflektorin irrottua ohjataan putki pois kasetista ja

liikutetaan sylintereitä käyttäen vaunu siihen asemaan, josta uusi inflektori halutaan vaihtaa. Vaunun ollessa halutussa paikassa, ohjataan putki vaihtoasemaan, tarkastetaan että putken päässä oleva kontaktikytkin on aktiivinen ja avataan sen kasetin pidikkeet, josta vaihdettava inflektori otetaan. Inflektorin ollessa kiinni putkessa ohjataan putki takaisin ylös ja ohjataan molemmat sylinterit sisäasentoon sekä suljetaan lyijysuojaluukku.

Luukun sulkeuduttua voidaan masto nostaa pystyyn ja laskea tyhjiölukkokammio takaisin paikoilleen sekä sulkea typpilinjan venttiili. Typpilinjan sulkeuduttua aloitetaan tyhjiölukkokammion ylä- ja alaosan pumppaus avaamalla niiden venttiilit ja tarkkaillaan tyhjiötasoa. Tyhjiötason ollessa alle 0,06 mbar, suljetaan tyhjiölukkokammion alaosan venttiili ja jatketaan pelkästään yläosan pumppausta. Kunhan tyhjiö pysyy 0,08 mbar:n alapuolella, voidaan avata venttiili syklotronin tyhjiökammioon ja ohjata putki syklotronin sisään. Putken laskeuduttua alas, siirretään tyhjiölukkokammion pumppaus pelkästään sen alaosaan sulkemalla yläosan venttiili ja avataan alaosan venttiili. Kun pumppaus on siirretty tyhjiön lukkokammion alaosaan, voidaan inflektorin vaihtotoimenpide lopettaa sammuttamalla sensorijärjestelmä.

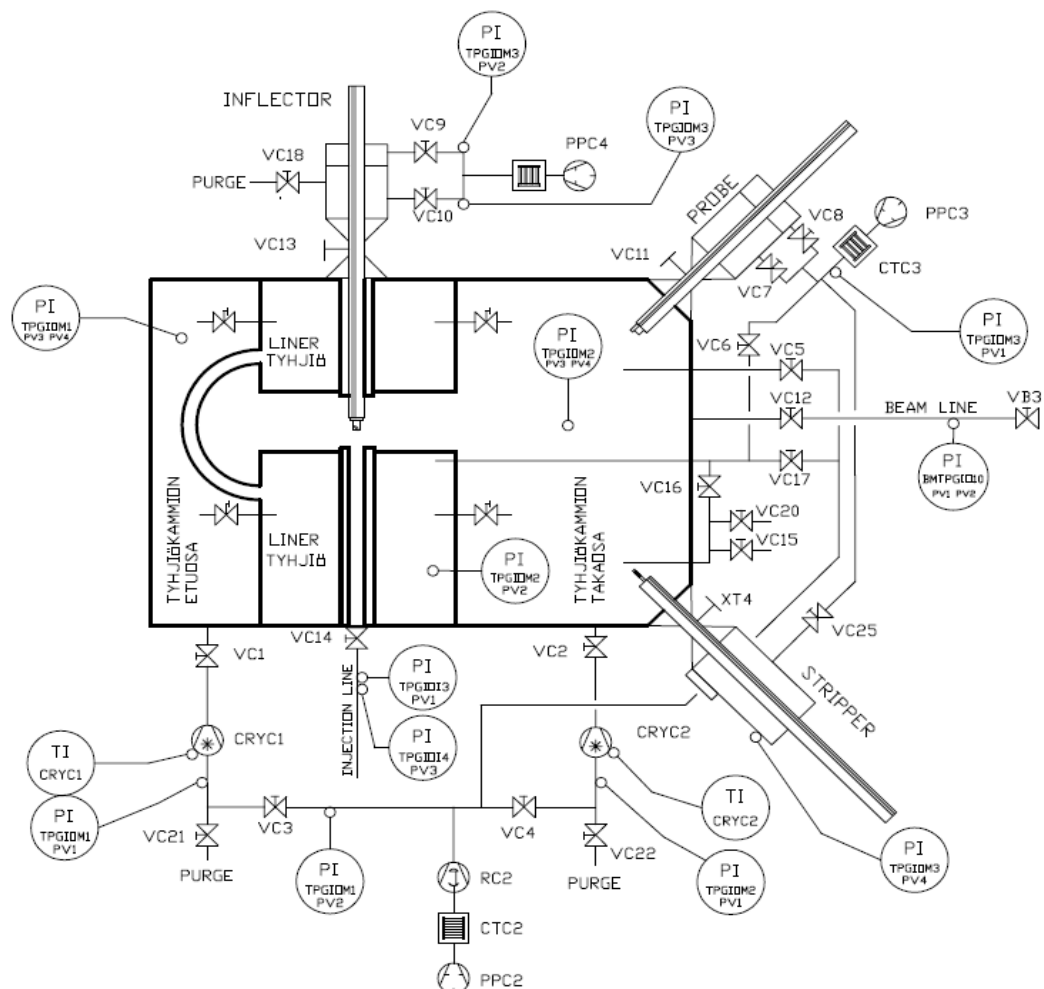


Kuvio 15. Inflector-laitteisto (muokattu lähteestä Heikkinen & Liukkonen n.d.)

6 Tyhjiöjärjestelmän pääprosessit

Tyhjiö on osittain tyhjä tila, jossa suurin osa ilmasta ja muista kaasuista on poistettu. Näin ollen tilassa on vähemmän kaasujen partikkeleita, atomeja ja molekyylejä sen ulkopuolella olevaan tilaan verrattuna. Toisinsanoen tyhjiö on kaasupitoinen tila, jossa painetaso on ilmanpainetta alhaisempi. (Marquardt n.d.)

Tyhjiöjärjestelmän tarkoituksena on luoda mahdollisimman hyvä tyhjiö poistamaan ilmamolekyylejä suihkun tieltä. Tyhjiötä tarvitaan, jotta ioni-lähteillä tuotetut ionit eivät menettäisi nopeuttaan ja varaustaan törmätessään ilmamolekyylien kanssa. Tyhjiötaso pyritään pitämään ultratyhjiössä eli alle 10^{-7} mbar:ssa, joka on noin kymmenesmiljardisosa normaalista ilmanpaineesta. Tyhjiöjärjestelmän toimintaan kuuluu oleellisesti 5 eri pääprosessia. Prosessien selkeyttämiseksi ks. kuvio 16.



Kuvio 16. Kuvankaappaus K-130 syklotronin tyhjiöjärjestelmän PI-kaaviosta

6.1 Tyhjiön luonti

Kun tyhjiötä aletaan luomaan ns. nolatilanteessa, on kryopumppujen CRYC1 ja CRYC2 oltava käyttövalmiina. Tämä tarkoittaa sitä, että venttiilien VC1, VC2, VC3, VC4 sekä typpilinjojen venttiilien VC21 ja VC22 on oltava kiinni. Lisäksi kryopumppujen pitää olla käynnissä ja kylmiä (alle 30 K) ja niiden edellä olevien tyhjiömittalaitteiden (TPGIOM1- ja TPGIOM2.PV1) mittausravon tulee olla alle 0,5mbar. Tämän lisäksi syklotronin tyhjiökammion, linerin ja liukusiipipumpulta PPC3 tulevan pumppauslinjan välillä pitäisi olla mahdollisimman pieni paine-ero ja matalampi paine pitäisi olla pumppauslinjan suuntaan (venttiilin VC6 ja liukusiipipumpun PPC3 välillä).

Tyhjiön luonti voidaan aloittaa kahdella eri tavalla: inflektorin putki syklotronin tyhjiökammion sisään laskettuna tai ylös nostettuna. Aloitustilanne vaikuttaa tyhjiön luontiin pumppauksen alussa auki olevien venttiilien määrällä ja inflektorin putken asennolla.

Aloitettaessa tyhjiön luonti inflektorin putki sisässä, ovat venttiilit VC10, VC13, ja VC16 auki. Jos taas tyhjiön luonti aloitetaan inflektorin putki ylhäällä riittää, että venttiili VC16 on auki. Kummallakin aloitustavalla loput tyhjiöjärjestelmän venttiileistä ovat kiinni, liukusiipipumput PPC2, PPC3 ja roots-pumppu RC2 sekä öljyloukut CTC2 ja CTC3 ovat sammutettuina. Lisäksi liukusiipipumppu PPC4 on aina käynnissä. Ennen kuin tyhjiön luonti voidaan aloittaa, on vielä varmistettava, että venttiilit VC1, VC2, VC11, VC12, VC14 ja XT4 ovat varmasti kiinni.

Kun alkuehdot ovat täyttyneet ja venttiilien asennot on tarkastettu, voidaan tyhjiön luonti aloittaa käynnistämällä liukusiipipumppu PPC3 ja öljyloukku CTC3. Pumpun ja öljyloukun ollessa käynnissä, avataan venttiili VC6, jolla ohjataan PPC3 pumppaamaan tyhjiötä tasaisesti syklotronin takaosaan ja linerille. Kun takaisin kytkennästä nähdään, että venttiili VC6 on auki ja tyhjiön pumppaus on aloitettu, käynnistetään liukusiipipumppu PPC2, öljyloukku CTC2 ja roots-pumppu RC2. Pumppujen ja öljyloukun ollessa käynnissä, suljetaan venttiili VC16. Kun VC16 on kiinni, avataan venttiili VC5, jolloin PPC3 jatkaa tyhjiön pumppausta pelkästään linerille ja PPC2 sekä RC2 jatkavat tyhjiön pumppausta syklotronin takaosaan.

Kun tarvittava esityhjiö on pumpattu syklotronille ja linerille (tyhjiömittalaite TPGIOM1- ja TPGIOM2.PV3 tai PV4 mittausarvo on 0,03mbar sekä TPGIOM2.PV2 mittausarvo on 0,05mbar), suljetaan venttiili VC5, jonka sulkeuduttua suljetaan myös venttiili VC6, jolloin liukusiipipumppu PPC3 vapautetaan proben tai stripperin tyhjiön pumppaukseen. Venttiilien VC6 sulkeuduttua, avataan venttiilit VC1, VC2 ja VC17, jolloin kryopumput CRYC1 ja CRYC2 ohjataan pumppaamaan tyhjiötä syklotronin etu- ja takaosaan. Samalla liukusiipipumppu PPC2 ja roots-pumppu RC2 siirtyvät pumppaamaan tyhjiötä pelkästään linerille.

Kun syklotronin etu- ja takaosan sekä linerin pumppaus on aloitettu, aletaan tarkkailla syklotronin tyhjiötasoa. Syklotronin etuosan (TPGIOM1.PV3 ja PV4) tyhjiötä vertaillaan kiihdyttimen tyhjiöjärjestelmään tulevan injektioinjan (TPGIOI3.PV1 tai TPGIOI4.PV3) tyhjiötasoon ja syklotronin takaosan tyhjiötä (TPGIOM2.PV3 ja PV4) vertaillaan tyhjiöjärjestelmästä lähtevän suihkulinjan (BMTPGIO10.PV1 ja PV2) tyhjiötasoon. Lisäksi on varmistettava, että nopea osastoiva turvaventtiili VB3 on auki. Jos venttiili ei ole valmiiksi auki, se on avattava.

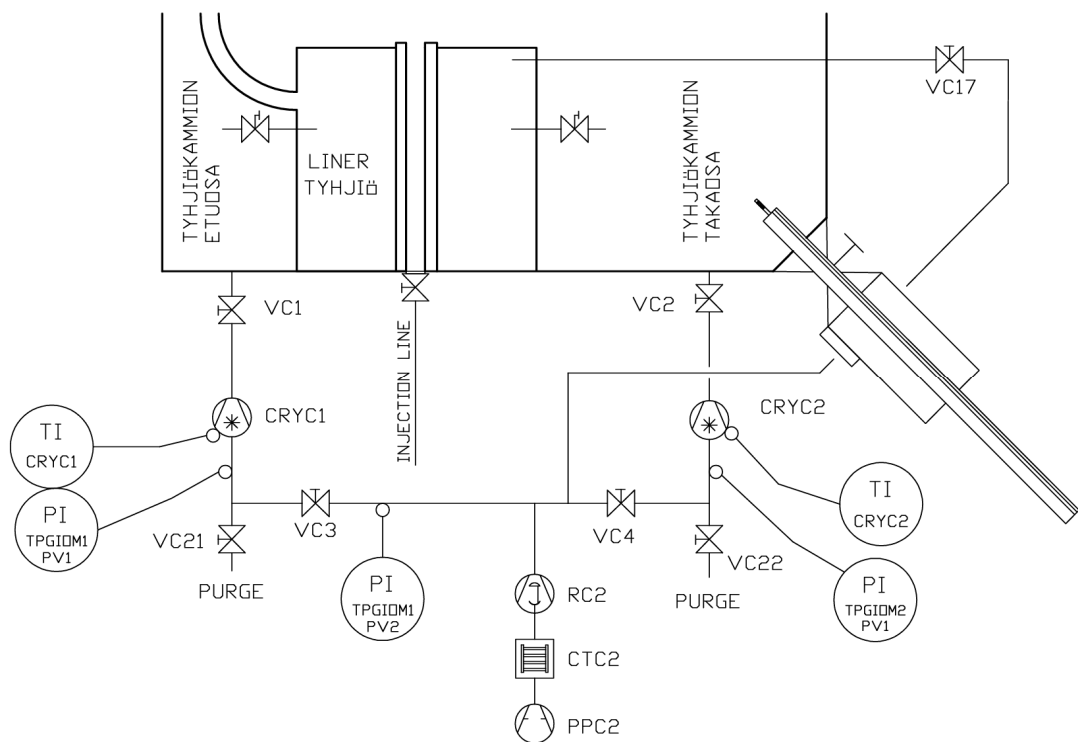
Jotta ionilähteillä tuotettu ionisuihku voitaisiin kuljettaa K-130 syklotronin läpi (avata venttiilit VC12 ja VC14), on injektioinjan ja syklotronin etuosan tyhjiötasojen paine-ero oltava alle 0,0001mbar sekä syklotronin takaosan ja tyhjiöjärjestelmästä lähtevän suihkulinjan paine-ero alle 15mbar. Kun nähdään, että paine-erot ovat tarpeeksi pienet, voidaan käsiohjauksella avata venttiilit VC12 ja VC14.

6.2 Kryopumppujen regenerointi

Kryopumput CRYC1 ja CRYC2 toimivat todella matalassa lämpötilassa ja tyhjiötä pumpatessaan ne tiivistävät satunnaisia molekyyliä, jotka tarttuvat niiden kylmäpintoihin ja aktiivihiliiniin. Tämän seurauksena pumppu ajan mittaan kyllästyy ja sen tyhjiön ylläpitokyky heikentyy. Kyllästymisestä johtuen kryopumppuja on regeneroitava, jotta ne pysyisivät optimaalisessa pumppauslämpötilassa (8-15 K) ja tyhjiö saataisiin ylläpidettyä halutulla tasolla. Kryopumpun regenerointi muistuttaa toimenpiteenä hieman pakastimen sulattamista. Siinä pumpun pinnoille tiivistyneet satunnaiset molekyylit irtoavat pumpun lämpötilan noustessa, jolloin ne voidaan

pumpata pois. Poispumppausta voidaan tehostaa typpihuuhtelulla. (How does a cryo pump work? n.d.; Lassila 2014.)

Typpihuuhtelu voidaan aloittaa, kun pumpun lämpötila on ehtinyt kohota 60 kelviniin. Typpihuuhtelua tehdään niin kauan, kunnes pumpun tyhjiötä tarkkaileva tyhjiömittalaite on ilmanpaineessa tai typpihuuhtelu on kestänyt maksimissaan 2 min. Typpihuuhtelua ei kannata jatkaa yli 2 minuuttia, sillä sinä aikana pumpun tilavuus on ehtinyt jo täyttyä ja paine kasvanut niin suureksi, että ylipainevaroventtiili laukeaa ja pumpun sisään varastoitunut kaasu purkautuu poistokanavaan.



Kuvio 17. Kryopumppujen regenerointi

Kahden minuutin kuluttua typpihuuhtelun aloittamisesta tai saavutettua haluttu paine, voidaan pumpun tyypilinja sulkea. Kun pumpun lämpötila on kohonnut yli 280 kelviniin (yleensä 2-3h kuluttua) varmistetaan, että liukusiipipumppu PPC2, öljyloukku CTC2 ja roots-pumppu RC2 ovat käynnissä (ks. kuvio 17), jonka jälkeen voidaan avata kryopumppua edeltävä venttiili ja aloittaa typen poispumppaus. Typeä pumpataan pois n. 15-60min, jonka kuluttua suljetaan kryopumppua edeltävä venttiili ja aletaan

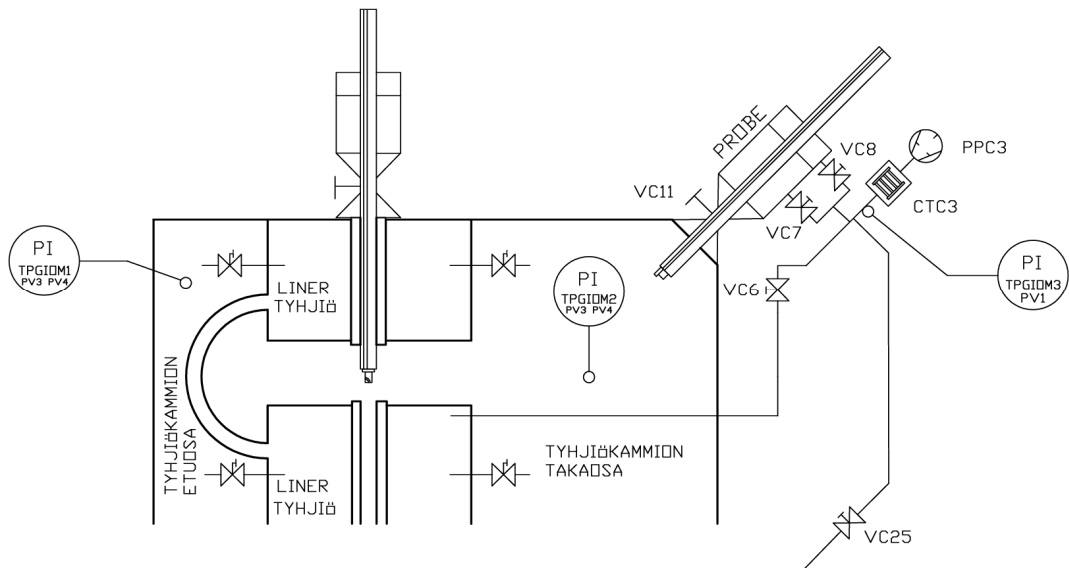
tarkastella kryopumpun tyhjiötasoa mittaavan tyhjiömittalaitteen arvon säilymistä $1-2E-3$ mbar:ssa. Jos tyhjiönarvo heikkenee 15 minuutin aikana yli $9.9E-3$ mbar:n tiedetään, että pumpun kylmäpinnoista irtoaa vielä tiivistyneitä molekyylejä ja typpihuuhtelu on suoritettava uudelleen. Jos tyhjiön heikkeneminen on vain nimellistä, avataan pumppua edeltävä venttiili uudestaan, jatketaan poispumppausta vielä 15 minuuttia ja suljetaan venttiili. Tällä toimenpiteellä pumpataan pois pienimmätkin mahdolliset paineen nousut.

Kun viimeistelypumppaus on suoritettu ja pumpun ympärillä olevat venttiilit ovat varmasti kiinni, voidaan pumppu ja sen kompressori käynnistää, jolloin pumppu alkaa jäähtyä. Pumpun jäähtyessä sen jäähtymisen kynnyksarvoja seurataan ja vertaillaan toimivan kryopumpun tallennettuihin arvoihin. Datan perusteella tiedetään jäähtyykö kryopumppu tarpeeksi nopeasti. Liian hitaan jäähtymisen seurauksena annetaan operaattorille varoitus/hälytys riippuen arvojen poikkeavuuden suuruudesta. Kun pumppu on jäähtynyt tarpeeksi nopeasti alle 30 K lämpötilaan, on kryopumpun regenerointi valmis, jonka jälkeen liukusiipipumppu PPC2 ja roots-pumppu RC2 voidaan ohjata takaisin pumppaamaan linerin tyhjiötä ja ottaa kryopumppu syklotronin tyhjiökammion pumppaukseen.

Kryopumppuja CRYC1 ja CRYC2 voidaan regeneroida sekä erikseen että yhtäaikaan.

6.3 Tyhjiön pumppaus main probelle ja putken ohjaus syklotroniin

Aloittaessa tyhjiön pumppausta main probelle, tulee venttiilien VC6, VC11 ja VC25 olla kiinni (ks. kuvio 18). Lisäksi liukusiipipumpun PPC3 ja öljyloukun CTC3 tulee olla käynnissä. Alkuehtojen täytyessä voidaan main proben tyhjiön pumppaus aloittaa avaamalla venttiilit VC7 ja VC8. Venttiilien auettua aletaan seurata main proben lähellä olevan TPGIOM3 tyhjiömittalaitteen mittaussarvoa. Kun TPGIOM3.PV1 mittaussarvo on alle $9,9E-3$ mbar, suljetaan venttiili VC7, jolloin tyhjiön pumppausta jatketaan vain main proben tyhjiökammion takaosaan.

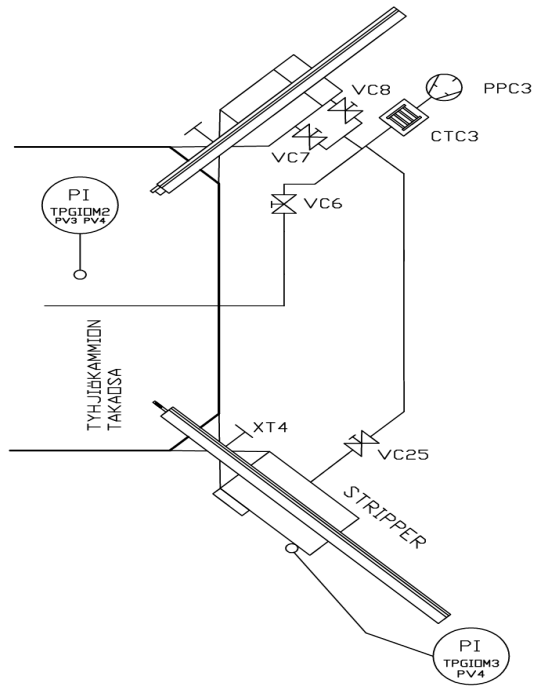


Kuvio 18. Main proben pumppaus

Kun venttiili on sulkeutunut ja syklotronin tyhjiömittalaite TPGIOM1- tai TPGIOM2.PV3 tai -PV4 mittausarvo on alle 0,03 mbar sekä main proben lähellä olevan tyhjiömittalaite TPGIOM3.PV1 mittausarvo on alle 0,05 mbar, avataan syklotronin tyhjiökammioita edeltävä venttiili VC11. Kun venttiilin takaisinkytkennästä nähdään, että venttiili on auki, voidaan main proben putki ohjata syklotronin tyhjiökammioon, jolloin putken päässä oleva virranmittausblokki saadaan mittaamaan suihkun intensiteettiä.

6.4 Tyhjiön pumppaus stripperille ja kalvopidikkeen ohjaus syklotroniin

Kun tyhjiötä aletaan pumpata stripperille, tulee venttiilien VC6, VC7, VC8, VC25 ja XT4 olla suljettuina (ks. kuvio 19). Lisäksi liukusiipipumpun PPC3 ja öljyloukun CTC3 on oltava käynnissä. Kun edellä mainitut ehdot täyttyvät, avataan venttiili VC25, jolloin PPC3 aloittaa tyhjiön pumppauksen stripperille. Pumppauksen ollessa käynnissä aletaan tarkkailla tyhjiön arvoja. Jotta venttiili XT4 voidaan avata ja sen läpi työntää stripperin putki syklotroniin, tulisi paineen olla tarpeeksi pieni venttiilin XT4 molemmin puolin.



Kuvio 19. Stripperin pumppaus

Kun stripperin puolen tyhjiömittalaite TPGIOM3.PV4 mittausarvo on pienempi tai yhtä suuri kuin 0,065 mbar ja syklotronin takaosan tyhjiömittalaite TPGIOM2.PV3/PV4 mittausarvo on pienempi tai yhtäsuuri kuin 0,05 mbar, sallitaan venttiilin XT4 avaaminen. Paineiden ollessa halutulla tasolla suljetaan venttiili VC25. Kun venttiiliin VC25 takaisinkytkennästä nähdään, että venttiili on kiinni, avataan venttiili XT4.

Venttiiliin XT4 auetta voidaan stripperin putki ohjata syklotronin tyhjiökammioon. Putken asentoa voidaan haluttaessa säätää pituus- ja vaakasuunnassa.

6.5 Tyhjiön ylläpito ja tarkkailu

Hyvä tyhjiötaso on elintärkeä ionisuihkuja kiihdyttäessä ja sen varmistamiseksi fyysikanlaitoksella on käytössä useita eri keinoja, joilla vältytään muun muassa huonolta tyhjiötasolta ja tyhjiöjärjestelmän laitevaurioilta.

Instrumenttien monitorointi

Ohjausjärjestelmä lähettää säännöllisesti ohjelmallisia kyselyitä tyhjiöjärjestelmän instrumenteille, joihin ne vastaavat lähettämällä sen hetkisen mittausarvonsa takaisin ohjausjärjestelmälle. Pelkkä mittausarvon lähettäminen ei kuitenkaan riitä, sillä instrumentit voivat virhetilaneessa lähettää puskurissa olevan vanhan mittausarvon käyttäjälle. Tämän takia mittausarvon lisäksi instrumentit lähettävät kyseisen mittauksen aikaleiman, josta nähdään että mittaus on juuri nykyiseltä hetkeltä. Kyselytoiminnolla varmistetaan, että järjestelmän instrumentit eivät ole pimeinä tai virhetilassa, näyttäen kokoajan samaa arvoa operaattorille valvomokuvan kautta.

Jäätynyt arvo voi pahimmassa tapauksessa johtaa laitteiden hajoamiseen. Käyttäjä voi esimerkiksi väärään tyhjiömittalaitteen mittausarvoon luottaen avata jonkin venttiileistä, jonka seurauksena liian suuri paine-ero venttiilin eri puolilla voi johtaa venttiilin takana olevien laitteiden hajoamiseen.

Tyhjiön varjelu

Syklotronin tyhjiön pumppausjärjestys on suunniteltu niin, etteivät eri tehoiset pumput joudu pumppaamaan tyhjiötä yhtäaikaan samaan tilaan. Tällä välttyään siltä, ettei voimakkaampi pumppu vedä tyhjiötä heikomman lävitse. Syklotronin tyhjiön pumppauksessa tehokkaammat kryopumput CRYC1 ja CRYC2 pumppaavat syklotronin tyhjiökammion etu- ja takaosan tyhjiötä. Heikkotehoisemmat liukusiipipumput PPC2, PPC3, PPC4 ja roots-pumppu RC2 pumppaavat sillä aikaa tyhjiötä lineriin tai proben-, stripperin- ja inflektorin tyhjiökammioon.

Tyhjiön ylläpitoa edistää myös ajoittain kondensoivien kryopumppujen regenerointi, jonka ansiosta kryopumput CRYC1 ja CRYC2 pystyvät pumppaamaan tyhjiötä parhaalla mahdollisella pumppausteholla. Regenerointi suoritetaan yleensä yhdelle kryopumpulle kerrallaan, jonka aikana toinen pumpuista ylläpitää syklotronin tyhjiökammion tyhjiötä ja liukusiipipumppu PPC3 ohjataan pumppaamaan tyhjiötä linerille.

Venttiilien lukitukset

Tyhjiöjärjestelmän venttiilien avaaminen tai sulkeminen estetään tietyissä tapauksissa, joilla pyritään välttämään muun muassa liian suurista paine-eroista syntyviä laitevahinkoja. Esimerkiksi venttiilin VC17 avaaminen estetään, ellei paine-ero ole tarpeeksi pieni linerin ja venttiiliä edeltävän putkilinjan välillä. Jos paine-ero on yli 30 mbar venttiilin avaamishetkellä, linerin sisässä olevien neljän kalvorikkoventtiilin kalvot puhkeavat.

Suurempien porttiventtiilien sulkeminen estetään, jos niiden läpi syklotronin tyhjiökammioon on ohjattu proben, stripperin tai inflektorin putki. Putken jäädessä venttiilin väliin, vaurioituu sen seurauksena sekä putki että sulkeutuva venttiili.

Laitteiden suojele

Tyhjiöjärjestelmän laitteita pyritään suojelemaan tyhjiössä pumpuilta ”vastavirtaan” ajalehtivilta ylimääräisiltä molekyyleiltä käyttämällä öljyloukkuja liukusiipipumppujen edellä aina kun se on mahdollista. Loukut nappaavat sekä pumpuilta lähtevät että niille kulkeutuvat öljymolekyylit. Joitakin laitteita ei pystytä tyhjiöjärjestelmässä edes käyttämään, jos öljyloukut eivät ole paikallaan ja käynnissä. Esimerkiksi venttiiliä VC5 ei pysty avaamaan, jos öljyloukku CTC3 ei ole paikallaan ja käynnissä. Näin estetään mahdollisten öljymolekyylien kulkeutuminen pumpulta syklotronin tyhjiökammioon putkilinjoja pitkin.

7 Työn toteutus

Aloimme keskustella mahdollisesta opinnäytetyön toteutuksesta työn toimeksiantajan kanssa toukokuun loppupuolella työharjoitteluni lähestyessä päätöstään. Mietimme, miten saisimme vietyä automaatioprojektia eteenpäin sillä aikaa, kun automaatiojärjestelmän uusintaprojektiin tarvittava rahoitus varmistuisi. Nykyisen ohjausjärjestelmän dokumenttien puutteellisuudesta johtuen päätimme aloittaa uusien, automaation perussuunnitteluun kuuluvien dokumenttien laadinnan, joista olisi hyötyä myöhemmin automaatiojärjestelmää uusittaessa.

Ennen kuin opinnäytetyön aiheesta saatiin hyväksyntä ammattikorkeakoululta, aloitettiin työssä laadittavien dokumenttien suunnittelu tutustumalla automaatio suunnitteluun liittyvään materiaaliin, jatkettiin kaapelien- ja johtimien merkitsemistyötä sekä selvitettiin, mitä Honeywell:n tarjoama järjestelmämigraatio pitäisi sisällään. Lisäksi aloin palauttamaan mieleeni TotalPlant Alcontin sovellussuunnittelutyökalujen käyttöä.

Kun opinnäytetyön aiheesta saatiin hyväksyntä, päätettiin työn aihe vielä rajata koskemaan K-130 syklotronin tyhjiöjärjestelmän perussuunnittelua, jonka jälkeen varsinainen tiedonkeruu saatiin aloitettua.

7.1 Tiedonkeruu ja siihen liittyvät ongelmat

Tyhjiöjärjestelmän aikaisempien dokumenttien puuttuessa tiedonkeruu dokumentointia varten aloitettiin tutkimalla nykyisen ohjausjärjestelmän lohkoeditorilla tehtyjä piirejä. Jokainen piireistä tulostettiin paperille, jonka jälkeen papereihin tehtiin merkkauksia muun muassa piirien sisältämistä fyysisistä kytkennöistä sekä liittimiin tulevista- ja niistä lähtevistä ulkoisista kytkennöistä toisiin piireihin. Kaikki tiedot liittimistä oli haettava yksitellen lohkoeditorin hakutyökaluilla ja hakuja pystyi tekemään peräkkäin n. 8 kappaletta, jonka jälkeen sovellussuunnittelutyökalut jumiutuivat ja ne piti käynnistää uudelleen. Uudelleenkäynnistyksen aiheuttamat tauot hidastivat tiedonhakua huomattavasti.

Tiedonkeruun aikana huomasin, että ohjausjärjestelmän sovelluksia ainakaan K-130 syklotronin tyhjiöjärjestelmän osalta ei ollut kommentoitu ollenkaan ja osalle piirien tunnuksista ei ollut minkäänlaista sanallista kuvausta. Tästä seurasi muutamia ongelmia, joihin oli haettava vastauksia haastattelemalla kiihdytinlaboratorion henkilökuntaa. Tällaisia asioita olivat muun muassa liittimien nimien lyhenteet, pascal-kielellä ohjelmoidut ohjelmalohkot, valvomokuvien kytkökset piireihin ja ohjelmasovellusten vaikutus fyysisten laitteiden ohjauksiin. Tiedonkeruun aikana kävi myös ilmi, että ohjausjärjestelmään muistiin oli jätetty turhia piirejä, joille ei ollut enää minkäänlaista käyttöä tai ne olivat jääneet suunnitteluvaiheeseen.

Nimien lyhenteet

Kaikki piireissä olevista liittimistä oli nimetty vanhan sovellussuunnittelutyökalun rajoituksien johdosta kolmikirjaimisilla lyhenteillä. Osa nimien merkityksistä oli helposti pääteltävissä seuraamalla johdotusten kulkua ohjelmalohkojen liittimiin ja katsomalla sen jälkeen lohkon help-tiedostosta, mitä mikäkin liitin tarkoitti.

Esimerkiksi liitin .mon oli johdotettu suoraan ohjelmalohkon mon-liittimeen, joka helpistä katsomalla selvisi olevan manual on, jolla manuaaliohjauksella asetettiin kytkin ON-asentoon. Liittimissä oli kuitenkin käytetty myös lyhenteitä, joihin liittyi fyysisellä kytkennällä laitteiden tilatietoja. Tällaisia oli esimerkiksi fcw (faraday cup water), iz2 (inflektorin putken vaihtoaseman sensori) ja wfl (water flow). Nämä liittimet oli johdotettu yleensä ohjelmalohkojen liittimiin vasta toisten lohkojen (esimerkiksi AND ja OR) kautta, eikä sen takia lohkojen help-tiedostoistakaan ollut apua. Tällaisten lyhenteiden selvittäminen oli hankalaa, sillä niiden nimi saattoi viitata johonkin erikoiseen laitteeseen, josta en ollut aikaisemmin kuullutkaan ja edes osa ohjausjärjestelmän henkilökunnasta ei muistanut, mitä kyseinen lyhenne saattoi tarkoittaa. Yleensä kuitenkin lopulta löytyi joku henkilökunnasta, joka muisti kyseisen lyhenteen tarkoituksen.

Pascal-kielellä ohjelmoidut ohjelmalohkot

Ohjausjärjestelmän piirit oli pääsääntöisesti koodattu FBD:n tyylisellä ohjelmointikielellä, mutta sovelluksista löytyi myös itsetehtyjä ohjelmalohkoja, jotka oli koodattu käyttäen Pascal-ohjelmointikieltä. Pascal-kieli aiheutti välillä hieman ongelmia selvitystyöhön, sillä minulla ei ollut lainkaan aikaisempaa kokemusta pascalista ohjelmointikielenä. Lyhyiden koodinpätkien merkitys oli melko helppo selvittää, sillä koodi vastasi jonkin verran aikaisemmin käyttämiäni ohjelmointikieliä. Sen sijaan pitkät ja melko vajavaisesti kommentoidut ohjelmakoodit meinasivat aiheuttaa hieman päänvaivaa. Tällaisia lohkoja olivat muun muassa sarjaliikennettä käyttävien tyhjiömittalaitteiden tiedonkäsittelyohjelmat.

Valvomokuvien kytkökset

Osa piirien liittimistä oli sellaisia, joihin ei lohkoeditorilla tehdyillä hakutoiminnoilla löytynyt ollenkaan ulkoisia kytkentöjä, mutta niille kuitenkin syötettiin arvo jotakin toista kautta tai ne ilmaisivat jonkin laitteen tilatietoa. Alcontin sovellustyökalujen

hakutoiminnot eivät mahdollistaneet ohjelmapiirien ulkoisten kytkentöjen hakua valvomokuvista, jonka seurauksena oli etsittävä kyseiseen piiriin viittaava valvomonäyttö ja aloitettava kuvaeditorilla käymään läpi sen tehosteita, etsien kyseiseen sovelluspiiriin viittaavaa tehostetta. Esimerkiksi Inflektorin virtakytkimen piirissä oli liitin .ohn, josta ei löytynyt ulkoisia kytkimiä, mutta inflektorin valvomokuvasta selvisi, että sillä ilmaistiin liukusiipipumpun PPC4 tilatietoa.

Valvomokuvien tehosteilla ei myöskään ollut nimiä vaan ne oli pelkästään numeroitu, jolloin niistä piti kokeilemalla selvittää, mikä olisi sovelluspiiriin viittaava tehoste. Tällaisiin ongelmiin auttoi henkilökunnan apu, sillä he osasivat ohjata minut oikeisiin valvomokuviin ja yleensä tiesivät vielä oikeat tehosteetkin.

Sovellusten vaikutus fyysisten laitteiden asentoihin

Osaan sovelluspiireistä jouduttiin tekemään hieman tarkempaa selvitystyötä kyselemällä neuvoa ohjausjärjestelmän käyttöhenkilöstöltä. Kyseiset piirit olivat sellaisia, joiden toiminnan kyllä ymmärsi, mutta esimerkiksi lohkojen ON- ja OFF-tilojen vaikutusta fyysisiin laitteisiin ei saanut selville. Tällaisia tapauksia oli esimerkiksi Inflector motor switch -piiri, johon kuului kytkinlohko. Tämä kytkin ohjasi Inflektorin putken liikettä, mutta siitä ei saanut varmasti selville, kummassa (ON/OFF) tilassa putki oli laskettuna sisään syklotronin kammioon tai sieltä ylösnostettuna.

7.2 Toimintakuvaukset

Toimintakuvaukset haluttiin toteuttaa siten, että ne olisivat selkeät ja helposti ymmärrettävät kaikille hiukkaskiihdyttimen ohjausjärjestelmää käyttäville- sekä sitä tulevaisuudessa rakentaville ja kehittäville henkilöille. Toimintakuvaukset toteutettiin lohkoeditorista tulostettujen piirien ja niihin kerättyjen tietojen pohjalta sekä haastattelemalla kiihdyttimen ohjausjärjestelmää käyttävää henkilökuntaa laitteiden toiminnasta.

Toimintakuvaukset tehtiin Word-tiedostoon piirikohtaisesti ja niiden laadinnassa käytettiin apuna Jyväskylän ammattikorkeakoulun automaatio suunnittelun kurssilla luotua tekstipohjaa. Toimintakuvauksissa kerrottiin yleisesti piirien toiminnasta, kuinka piireillä ohjattavia laitteita käynnistetään ja suljetaan, minkälaisia suojuuksia

ja lukituksia piirit sisälsivät, piirien kytkennät toisiin ohjausjärjestelmän piireihin sekä piireistä generoitavat hälytykset ohjausjärjestelmän hälytyslistaan.

Piirikohtaisten toimintakuvausten lisäksi luotiin sanalliset kuvaukset tyhjiöjärjestelmän pääprosesseista. Pääprosessien sanallisissa kuvauksissa selitettiin, mitä alkutoimenpiteitä prosessien aloittamiseen liittyy, missä järjestyksessä pumppuja ja öljyloukkuja käynnistetään sekä miten tyhjiön ohjaus toteutetaan avaamalla ja sulkemalla venttiileitä. Lisäksi kuvauksissa ilmoitettiin, kuinka matalat tyhjiöantureiden painearvojen tulisi olla, jotta isommat porttiventtiilit ennen ja jälkeen K-130 syklotronin tyhjiökammiota voitiin avata.

Piirikohtaisia toimintakuvauksia laadittiin yhteensä 79 kappaletta (esimerkki liitteessä 1) ja sanallisia kuvauksia 5 kappaletta (esimerkki liitteessä 2).

7.3 Sekvenssikuvaukset

Tyhjiöjärjestelmän ohjauksessa oli käytössä yksi sekvenssillä toteutettu ohjaus, jolla suoritettiin automaattisesti inflektorin vaihto kolmelle eri harmoniselle moodille. Tämä sekvenssiohjaus oli toteutettu lohkoeditorilla siten, että sen pääpiirillä oli käynnistysarvo, jota kasvatettiin aina viidellä kun yksi suoritusvaihe oli mennyt läpi onnistuneesti ja tätä toistettiin niin kauan, kunnes päästiin arvon 70 käynnistävään vaiheeseen, joka palautti lopulta arvon nolla sekvenssin pääpiirille, lopettaen sekvenssin suorittamisen.

Sekvenssikuvaukset toteutettiin ohjelmapiireistä kerättyjen tietojen pohjalta ja ne laadittiin sanallisesti Word-tiedostoon. Sekvenssikuvauksissa kuvailtiin, mitä toimenpiteitä missäkin sekvenssin vaiheessa suoritettiin ja mitä ehtoja oli täytyttävä, jotta voitiin lähettää suurempi käynnistysarvo seuraavalle sekvenssipiirille. Lisäksi kuvauksissa ilmoitettiin sekvenssipiirien kytkennät ohjausjärjestelmän muihin piireihin. Sekvenssikuvauksia laadittiin yhteensä 15 kappaletta, joista esimerkki on liitteessä 3.

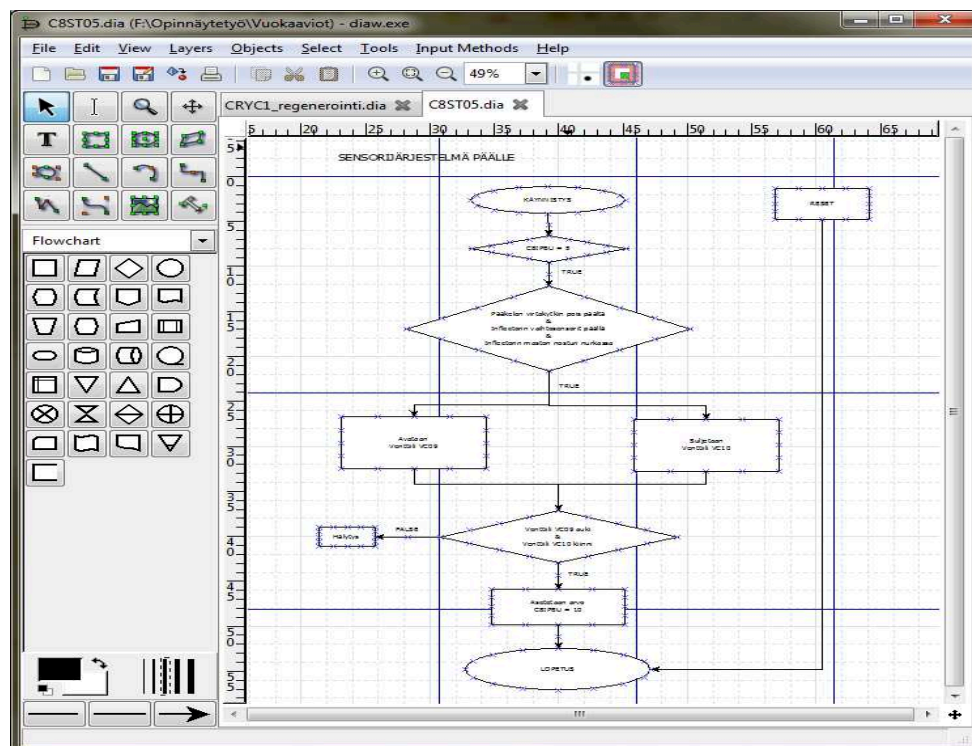
7.4 Vuokaaviot prosesseista

Vuokaaviot toteutettiin ilmaisella DIA-vuokaavioiden piirto-ohjelmalla (ks. kuvio 20). Ohjelma oli yksinkertainen käyttää ja sen toiminnot olivat melko vaatimattomat,

mutta kuvien piirto oli todella yksinkertaista ja vaivatonta. Ohjelma tallensi kuvat sen omaan .dia-muotoon, mutta ne sai konvertoitua moneen eri tiedostotyyppiin esimerkiksi PDF:ksi tai PNG:ksi. Ohjelman huonona puolena oli sen heikko tekstin etsi ja korvaa -toiminto, joten tulevaisuudessa kaaviot voisi olla järkevää piirtää uudelleen jollain hieman tehokkaammalla työkalulla esimerkiksi Microsoftin Visiolla, mikäli kaavioiden tekstejä halutaan muokata suuremmissa mittakaavassa.

Vuokaaviot laadittiin toiminta- ja sekvenssikuvausten jälkeen tyhjiöjärjestelmän pumppausprosesseista ja inflektorin vaihtosekvenssistä. Pääprosessien vuokaaviot tehtiin kiihdytinlaboratorion henkilöstön haastattelujen pohjalta käyttäen apuna toimintakuvauksia ja lohkoeditorin piirejä. Esimerkki tehdyistä vuokaavioista liitteessä 4.

Inflektorin vaihtosekvenssin vuokaaviot tehtiin lohkoeditorien piireistä kerättyjen tietojen ja sekvenssikuvausten perusteella. Jokaisesta sekvenssin vaiheesta tehtiin erillinen vuokaavio vaihtosekvenssin laajuudesta johtuen. Tämän seurauksena kaavioista tuli helpommin luettavia ja niistä pystyi seuraamaan tarkemmin, mitä toimintoja sekvenssin eri vaiheissa suoritetaan.



Kuvio 20. Dia-piirtotyökalu

7.5 Laitelista

Laitelista koottiin Excel-tiedostoon ja siihen kerättiin kaikkien tyhjiöjärjestelmän toimintaan liittyvien laitteiden tiedot. Laitteista kerättiin niiden sijaintiin, tyyppiin ja I/O:hon liittyvät tiedot. Laitelistan tietojen keräyksen ongelmaksi muodostui K-130 syklotronin jatkuva käyttö, sillä luolaan, jossa syklotroni sijaitsee ei päässyt silloin kun syklotroni oli käytössä. Syklotronia ajetaan lähes ympäri vuorokauden jokaisena päivänä viikossa, joten tilaisuudet luolaan pääsyyn olivat todella rajalliset.

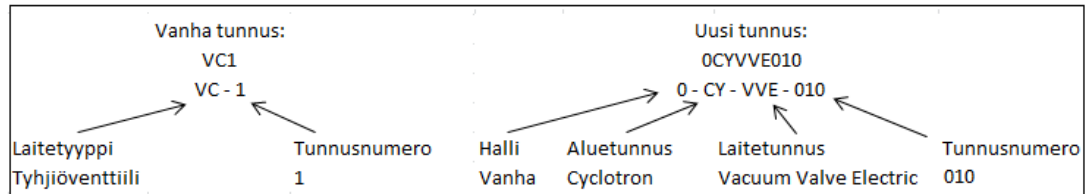
Luolaan päästyä laitteet etsittiin ja niiden sijainnit merkattiin ylös käyttäen kiihdytinlaboratoriosta tehtyä paikannuskoordinaatiostoa. Samalla laitteiden tyyppikilvistä luettiin niiden merkki ja malli, jonka perusteella niiden manuaalit pystyttiin etsimään. Osa laitteista sijaitsi kuitenkin sellaisilla paikoilla, ettei niiden tyyppikilpeä päässyt lukemaan. Esimerkiksi venttiileitä oli paikoissa, jossa ne olivat monien putkien ympäröimiä, tehden niiden lähelle pääsyn hankalaksi. Vaikean sijainnin lisäksi niiden ympärillä oli jäännösaktiivisuutta kiihdyttimen sammutuksen jälkeenkin. Tämän vuoksi niiden lähelle ei ollut suositeltavaa mennä.

Sijainti ja laitetietojen lisäksi laitelistaan merkattiin laitteiden tarvitsemien I/O-signaalien ja sarjaliikennekanavien määrät sekä niitä ohjaavat prosessiasemat. Kyseiset tiedot saatiin kerättyä ohjausjärjestelmän lohkoeditorin sovelluspiireistä ja lausekielellä tehdyistä pascal-lohkoista.

Kerättyjen tietojen lisäksi laitelistaan luotiin hyperlinkit, joista pääsi siirtymään suoraan laitteiden toimintakuvausiin. Osalle laitteista luotiin myös hyperlinkki niiden laitemanuaaliin. Tällaisia laitteita oli kuitenkin melko vähän, sillä laitteet ovat pääsääntöisesti niin vanhoja, ettei niiden manuaaleja löydy enää sähköisessä muodossa edes valmistajien kotisivuilta.

Laitteille alettiin myös listaa tehdessä miettiä uusia tunnuksia vanhojen ja yksinkertaisten tunnusten tilalle (ks. kuvio 21). Uusista tunnuksista pyrittiin suunnittelemaan sellaiset, että niistä saisi tarpeeksi tarkan käsityksen muun muassa siitä, mikä laite on kyseessä, missä se sijaitsee ja mitä ainetta sen läpi kuljetetaan. Tunnuksista ei kuitenkaan haluttu suunnitella liian pitkiä ja monimutkaisia, jotta

niiden opettelu olisi mahdollisimman helppoa. Uusi nimeämiskäytäntö jäi vielä opinnäytetyön suoritushetkellä kritiikin alle, eikä sitä vahvistettu käyttöön otettavaksi. Kuva laiteluettelosta on liitteessä 6.



Kuvio 21. Vanha- ja kritiikin alla oleva uusi, vahvistamaton nimeämiskäytäntö

7.6 I/O-pisteluetelo

I/O-pistelueteloon kerättiin laitelistaa tarkemmat I/O-tiedot K-130 syklotronin tyhjiöjärjestelmän ohjaukseen kuuluvista laitteista. I/O-pistelueteloon kerättiin tiedot laitteita ohjaavista piireistä, signaalien tyypeistä (input/output tai sarjaliikenne), signaalien lyhenteistä (esimerkiksi .con) ja niiden tarkemmista kuvauksista, prosessiasemista, korttipaikoista, korttityypeistä ja kanavista.

I/O-tiedot kerättiin TotalPlant Alcontin lohkoeditorilla tehdyistä piireistä ja ne koottiin listaksi Excel-tiedostoon. Lohkoeditorin piirejä tarkastellessa osa I/O-tiedoista näkyi suoraan fyysisinä liittiminä, joista näki miltä prosessiasemalta, mistä korttipaikasta ja minkä tyyppiseltä kortilta sekä miltä kortin kanavalta signaalit tulivat. Piirien jokaiselle signaalille piti kuitenkin tehdä myös ulkoisten kytkentöjen haku, sillä joidenkin korttien tulot oli toteutettu siten, että kortilla oli oma piirinsä, jossa kortin jokaisen kanavan signaalit lähetetään MOVE-lohkojen kautta laitteita ohjaavien piirien liittimiin. Esimerkiksi venttiilin ohjauslohkon liittimessä .cop (control on) saattoi näkyä ulkoinen kytkentä 08SWI16.MOVE, jolloin piti mennä katsomaan piirin 08SWI16 alta, miltä kortin kanavalta kyseinen signaali tuli.

Kun lista oli saatu koottua Excel-tiedostoon varmistettiin, että I/O-pisteluetelon signaalimäärä täsmäsi laitelistassa ilmoitetun signaalimäärään kanssa. Tämän jälkeen kierreltiin kentällä katsomassa kaikkien listassa olleiden prosessiasemien liittimet

varmistuen, että kaikki ohjelmassa ilmoitetut kytkennät olivat vielä ajan tasalla, eikä liittimiä oltu irroitettu prosessiasemalta jättäen ohjelma ennalleen lohkoeditoriin. Kuva I/O-pisteluetelosta on liitteessä 5.

7.7 PI-kaavio

K-130 syklotronin tyhjiöjärjestelmän PI-kaavio piirrettiin käyttäen AutoCAD LT2002 ohjelmistoa, joka on hieman kevennetty versio tavallisesta AutoCAD 2002:sta. PI-kaavion piirtoa varten syklotronin tyhjiöjärjestelmän putkilinjojen reitit selvitettiin sekä etsittiin ja valokuvattiin laitteet syklotroniluolasta. Syklotronin sisällä olevien laitteiden sijainti selvitettiin kiihdytinlaboratorion henkilökuntaa haastattelemalla. Lähes kaikki piirrosmerkit piirrettiin standardin SFS 4286 pohjalta. Joitakin merkkejä ei kuitenkaan löytynyt standardista, joten ne piirrettiin itse tai niitä muokattiin (esimerkiksi pumppuja) siten, että ne kuvasivat tarkemmin tyhjiöjärjestelmässä käytettyjä laitteita.

PI-kaavion piirto osoittautua melko haastavaksi, sillä suurin osa tyhjiöjärjestelmän venttiileistä ja putkilinjoista sijaitsi K-130 syklotronin saman seinämän edessä. Tästä seurasi hieman piirtoteknisiä ongelmia, sillä kuvasta haluttiin saada sellainen, että se pysyisi tarkkana, ollen samalla tarpeeksi selkeä ja helppolukuinen. Ongelma saatiin ratkaistua kääntämällä stripperin ja proben laitteisto syklotronin kulmiin, jolloin saatiin lisää tilaa venttiilien ja putkilinjojen piirtoon, menettämättä paljoa kuvan tarkkuutta. Piirretty PI-kaavio K-130 syklotronin tyhjiöjärjestelmästä on liitteessä 7.

8 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyöni tavoitteena oli luoda selkeät ja tarpeeksi yksinkertaiset automaation perussuunnitteluun kuuluvat dokumentit K-130 syklotronin tyhjiöjärjestelmästä, jotka helpottaisivat tulevan järjestelmän käyttöönottoa ja määrittelisivät siihen uusia ohjelmiasovelluksia.

Mielestäni opinnäytetyön tavoitteet täyttyivät hyvin. Opinnäytetyön tuloksena saatiin kattava dokumentointi K-130 syklotronin tyhjiöjärjestelmästä. I/O-pistelueteloon kerättiin tyhjiöjärjestelmän käyttämät I/O-osoitteet ja laiteluetteloon

selvitettiin muun muassa käytössä olevia laitteita ja niiden sijainteja.

Tyhjiöjärjestelmästä laadittiin PI-kaavio, jonka lisäksi pääprosesseista ja inflektorin vaihtosekvenssistä laadittiin sekä sanalliset kuvaukset että vuokaaviot, joissa kuvailtiin tarkasti pääprosessien vaiheet ja sekvenssin eri askeleissa suoritettavat toimenpiteet. Tyhjiöjärjestelmästä laadittiin myös piirikohtaiset toimintakuvaukset, joissa kuvailtiin muun muassa laitteiden lukitustiedot ja niitä ohjaavien sovelluspiirien toiminta. Laaditut dokumentit tarkastettiin ja hyväksyttiin kiihdytinlaboratorion henkilöstön toimesta.

Toimintakuvausten lukitusten osalta tiedot olivat oikein ja niihin lisättiin ja tullaan vielä opinnäytetyön palautuksen jälkeenkin lisäämään tarkentavia selityksiä siitä, miksi lukitukset on tehty, mikäli se nähdään tarpeelliseksi. Tarkentavia selityksiä lisätään siksi, että tyhjiöjärjestelmän lukitusten toiminnan ymmärtäisi helposti asiaan perehtymätönkin henkilö. Kerkesin opinnäytetyön palautushetkeen mennessä tehdä melkein kaikkiin lukituksiin tarkentavan selityksen, mutta muutaman piirin osalta tulen jatkamaan tarkennusten tekoa vielä työn palautuksen jälkeenkin.

Laaditut dokumentit tulevat nopeuttamaan uuden automaatiojärjestelmän käyttöönottoa helpottaen etenkin uusien ohjelmasovellusten määrittelyä ja niiden ohjelmointia. Esimerkiksi lukitustietojen ja piirien ulkoisten kytkentöjen selvittäminen ilman kunnollista dokumentointia olisi todella vaativaa ja kuluttaisi todella paljon aikaa, jos tiedot pitäisi hakea yksitellen nykyisen ohjauksjärjestelmän ohjelmasovelluksista.

Laadittuja dokumentteja voidaan myös hyödyntää erilaisissa ongelmanratkaisutilanteissa tyhjiöjärjestelmän käyttöön liittyen esim. laitteiden lukitustilanteissa, kunhan dokumentit sijoitetaan sellaiseen paikkaan, että laitteistoa käyttävät henkilöt pääsevät niihin helposti käsiksi.

Opinnäytetyön jälkeen K-130 syklotronin tyhjiöjärjestelmän ohjauksessa käytetyt kaapelit ja johtimet olisi hyödyllistä käydä vielä merkitsemässä ennen tulevaa automaatiouusintaa. Merkkauksia ei kuitenkaan kannata mielestäni alkaa tekemään osakokonaisuuskohtaisesti vaan jatkaa järjestelmällistä, prosessiasemakohtaista

merkitsemistyötä entiseen malliin. Jos merkkauksia tehtäisiin osakokonaisuuskohtaisesti hyppien prosessiasemalta toiselle, saattaisi tarralistojen teosta tulla vaikeampaa, sillä silloin merkkauksia tehtäisiin milloin milläkin prosessiasemalla ja pian tarralistoja tehdessä ei tiedettäisikään, mikä liitin ja kaapeli on merkattu tai jätetty merkitsemättä.

Tiedonkeräyksen aikana ongelmaksi muodostui työhön mukaan otettavien piirien rajaaminen. Osaan piireistä tuli paljon ulkoisia kytkentöjä toisista piireistä, joihin taas tuli lisää ulkoisia kytkentöjä, jonka seurauksena työn alueen rajaus oli hieman hämärä. Tämä olisi hyvä ottaa huomioon aloittaessa seuraavien osakokonaisuuksien selvitys- ja dokumentointityötä, jotta kaikista piireistä tehtäisiin varmasti dokumentit ja vältyttäisiin mahdolliselta ylimääräiseltä työltä dokumentoimalla samoja piirejä useampaan otteeseen.

Opinnäytetyön tekeminen kehitti huomattavasti omaa ammattiosaamistani automaatio suunnittelussa. Aiheeseen liittyvän aikaisemman kokemuksen puuttuessa jouduin työn alkuvaiheessa lukemaan paljon aiheeseen liittyvää materiaalia saadakseni enemmän näkökulmaa dokumenttien laadintaan, jonka jälkeen suunnittelin itsenäisesti paljon erilaisia dokumentteja, joita en ollut aikaisemmin tehnyt. Dokumenttien teossa joutui monesti miettimään, mitä tietoja mihinkin dokumenttiin kannattaisi sisällyttää ja mitä jättää niistä pois. Dokumenttien teon lisäksi opin paljon kiihdytinlaitoksella käytössä olevista laitteistoista ja tyhjiöjärjestelmän prosesseista.

Lähteet

- Accelerator facilities. 2012. Jyväskylän yliopiston verkkosivut. Viitattu xx.xx.2014.
https://www.jyu.fi/fysiikka/en/research/accelerator/accelerator/index_html/accelerator/accelerator/facilities/.
- Alcont sovellussuunnittelun opas. 1994. Prosessiliitynnät. Käsikirja. Honeywell Oy.
- Alcont laitteistokäsikirja. 1997. Käytönohjausasema. Käsikirja. Honeywell Oy.
- Asemat. 2005. TotalPlant Alcont ja Printa. PDF-tiedosto. Honeywell Oy.
- Automaatiojärjestelmä. 2005. TotalPlant Alcont. PDF-tiedosto. Honeywell Oy.
- Automaatiosuunnittelun prosessimalli. 2007. Helsinki: Suomen Automaatioseura ry. Viitattu 13.10.2014. <http://www.automaatioseura.fi/ANTI-2.pdf>.
- Basic vacuum practise. 1986. Varian's vacuum products division. Viitattu 2.12.2014.
- Eronen, S. Laapio, M. Leskinen, S. Maukonen, M. Nurminen, M. Sarkkinen, P. Suhonen, J & Sääntti-Ahomäki, H. 2007. Matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan opinto-opas. Viitattu 22.10.2014.
<http://opinto-opas.jyu.fi/science/2007-2008/opas/html/opas.html>.
- Field Controller FC. 2005. TotalPlant Alcont ja Printa. PDF-tiedosto. Honeywell Oy.
- Heikkinen, P & Liukkonen, E. n.d. Cyclotron development program at Jyväskylä. Viitattu 09.10.2014.
<https://www.jyu.fi/fysiikka/en/research/accelerator/accelerator/publications/cyclotrondevel.pdf>.
- How does a cryo pump work?. n.d. TFS Technologies. Viitattu 29.10.2014.
<http://www.tfstechnologies.com/how-does-a-cryo-pump-work/>
- Ionilähteet. n.d. Jyväskylän yliopiston verkkosivut. Viitattu 20.10.2014.
https://www.jyu.fi/fysiikka/tutkimus/kiihdytin/index_html/ionilahteet.
- Yleisesittely. 2014. Jyväskylän yliopiston verkkosivut. Viitattu 18.09.2014.
<https://www.jyu.fi/yleisesittely>.
- Järjestelmäeditori. 2003. TotalPlant Alcont ja Printa. PDF-tiedosto. Honeywell Oy.
- Järjestelmän toimintakuvaus. 2005. TotalPlant Alcont ja Printa. PDF-tiedosto. Honeywell Oy.
- Järjestelmän yleiskuvaus. 2005. TotalPlant Alcont. PDF-tiedosto. Honeywell Oy.

K130 Cyclotron. n.d. Jyväskylän yliopiston verkkosivut. Viitattu 20.10.2014.
<https://www.jyu.fi/fysiikka/en/research/accelerator/accelerator/k130>.

Kiihdytinlaboratorio. n.d. Jyväskylän yliopiston verkkosivut. Viitattu 09.10.2014.
<https://www.jyu.fi/science/tutkimus/infrastruktuurit/kiihdytinlaboratorio>.

Kuvaeditori. 2005. TotalPlant Alcont ja Printa. PDF- tiedosto. Honeywell Oy.

Käytönohjausasema. 1997. Alcont laitteistokäsikirja. Honeywell Oy.

Lassila, A. 2013. Control system at the Jyväskylä Cyclotron facility. Viitattu 07.10.2014.
https://www.jyu.fi/fysiikka/en/research/accelerator/accelerator/index_html/accelerator/accelerator/control/.

Lassila, A. 2014. Jyväskylän yliopiston fysiikan laitos. Hiukkaskiihdyttimen laitteiston ja –ohjausjärjestelmän esittely 10/2014.

Lohkoeditori. 2005. TotalPlant Alcont ja Printa. PDF-tiedosto. Honeywell Oy.

Marquardt, Niels. n.d. Introduction to the principles of vacuum physics. Viitattu 16.10.2014.
<http://www.chem.elte.hu/foundations/altkem/vakuumteknika/CERN01.pdf>.

Proessori- ja liitäntäyksiköt sekä muistit. 2004. TotalPlant Alcont ja Printa. PDF-tiedosto. Honeywell Oy.

SAS. 2001. Laatu automaatioissa – parhaat käytännöt. Toim. T. Tommila. Helsinki: Suomen Automaatioseura ry.

Sovellusasema. 2005. TotalPlant Alcont ja Printa. PDF-tiedosto. Honeywell Oy.

Sovellussuunnittelu ja sovellustyökalut. 2003. TotalPlant Alcont. PDF-tiedosto. Honeywell Oy.

Taskinen, Jarmo. 1990. Yksityisalbumi.

Tietovarastoeditori. 2005. TotalPlant Alcont ja Printa. PDF-tiedosto. Honeywell Oy.

TPG 300. n.d. Total pressure gauge and controller. Operating manual. Viitattu 2.12.2014.

Liitteet

Liite 1. Venttiilin VC1 toimintakuvaus

K-130 syklotronin toimintakuvaus

24

VC1 Sulkuventtiili

Piirin tunnus: V3VALVE1

Ohjelmasykli: 1s

Toiminta

- Venttiilillä VC1 avataan putkilinja, jota pitkin kryopumppu CRYC1 pumppaa tyhjiötä K-130 syklotronin tyhjiökammion etuosaan.
- Piirillä V3VAL1PR vahditaan venttiilin VC1 paineen interlock- tietoja.

Avaaminen ja sulkeminen

- Operaattori ohjaa.
- Käsikäytöllä K-130 syklotronin kyljessä olevasta ohjauspaneelisti.
- V3REMSEQ- piirin kautta. Piirillä ohjataan venttiili VC1 automaattimoodissa sen tilatietoa vastaavaan asentoon.

Suojaukset ja lukitukset

- Venttiilin VC1 avaaminen estetään seuraavissa tapauksissa:
 - Päättyhjiökammiossa ei ole riittävä esityhjiötä. Tyhjiömittareiden mittausrvo on yli 0,03 mbar (TPGIOM1.PV3/PV4 ja TPGIOM2.PV3/PV4).
 - Venttiili VC16 ei ole kiinni. Linerilla erotettua tilavuutta ei saa koskaan pumpata kryopumpuilla. Linerista irtoaa sellaisia molekyyliä, jotka kryopumpun kylmäpinnoilla tiivistyessä ovat vaikeita irrottaa, jolloin pumpun suorituskyky heikkenee tai siitä tulee käyttökelvoton.
 - Kryopumppu CRYC1 ei ole käynnissä tai se ei ole saavuttanut riittävän alhaista käyttölämpötilaa. Pumpun lämpötila on yli 40 kelviniä.
 - Liner-tilavuus ei ole pumppauksessa joko pumpulla PPC2 tai PPC3. Venttiili VC17 tai VC6 ei ole auki.
 - Liner-tilavuuden tyhjiötaso on liian heikko. Tyhjiömittarin TPGIOM2.PV2 mittausrvo > 0,05mbar.
- Suojaus sulkee venttiilin VC1, jos avaamisenestoehdot ovat voimassa ja venttiili VC1 ei ole kiinni.

Kytkenät muualle

- PA3PRM07 ja [V3REMSEQ](#)
- [V3VALVE16](#) ja [V3VALVE21](#)
- [V3AUTCHE](#) ja [V3AUTO](#)

Hälytykset

- Venttiili ei aukea.
- Venttiili ei sulkeudu.
- Turvasulku asetettu päälle.

Logiikka ottaa hälytykset pois käytöstä, jos etäkäyttökytkin on pois päältä.

Liite 2. Sanallinen toimintakuvaus kryopumpun CRYC1 regeneroinnista

K-130 syklotronin toimintakuvaus

6

CRYC1 regenerointi

Regenerointi tarkoittaa kylmäpintoihin kondensoituneiden molekyylien haihduttamista ja poispumppausta.

Regenerointia aloitettaessa on **huolehdittava**, että liukusiipipumppu **PPC2** ja roots- pumppu **RC2** ovat **regenerointikäytössä** ja **linerin tilavuutta pumpataan** liukusiipipumpulla **PPC3**. Kun pumppauksista on huolehdittu, voidaan regenerointi aloittaa **sulkemalla venttiili VC1 ja sammuttamalla** kryopumppu **CRYC1** ja pumpun **kompressori**. Venttiilin **VC1 ollessa kiinni** ja **kryopumpun** sekä **kompressorin sammuttua**, odotetaan niin kauan, kunnes **pumpun lämpötila on noussut 60 K:iin**. Tämän jälkeen voidaan aloittaa pumpulle typpihuuhtelu **avaamalla venttiili VC21**. Venttiilin **VC21 avauduttua** kryopumppua huuhdellaan typpellä joko **maksimissaan 2min** tai kunnes tyhjiömittalaite **TPGIOM1:n 1.sensori (PV1)** on **ilmanpaineessa (1,013bar)**. Typpihuuhtelua ei kannata jatkaa yli 2 minuuttia, sillä sen jälkeen todennäköisesti ylipainevaroventtiili aukeaa ja typpi menee hukkaan. Typpihuuhtelua voidaan tehostaa esilämmittämällä kaasua.

Tyhjiömittalaite **TPGIOM1.PV1** sensorin saavutettua **ilmanpaine tai 2 minuutin kuluttua** typpihuuhtelun aloituksesta **suljetaan venttiili VC21**. Kun venttiili **VC21 on sulkeutunut** odotetaan valinnainen viive n.10-15 minuuttia ja **varmistetaan**, että liukusiipipumppu **PPC2**, öljyloukku **CTC2** ja roots-pumppu **RC2** ovat käynnissä. Edellä mainittujen laitteiden ollessa käynnissä ja kryopumpun **CRYC1 lämpötilan** noustua yli **280 K:in**, avataan venttiili **VC3**. Venttiilin **VC3 auettua** liukusiipipumppu **PPC2** ja roots-pumppu **RC2** aloittavat typen poispumppauksen **CRYC1** pumpulta. Tyypeä pumpataan pois n. **15-60 minuuttia**, jonka jälkeen **suljetaan venttiili VC3**.

Venttiilin **VC3** ollessa kiinni, seurataan pumpun tilavuuden tyhjiötä mittaavan anturin (**TPGIOM1.PV1**) mittauseroa. **Jos mittausero kasvaa liian nopeasti vertailukäyrään verrattuna**, se tarkoittaa, että lämmenneet kondensointipinnat vapauttavat yhä molekyyliä tilavuuteen, jolloin **typpihuuhtelu on toistettava**.

Mikäli tyhjiön **heikkeneminen** on vain **nimellistä**, avataan venttiili **VC3**. Venttiilin **VC3 avauduttua** suoritetaan **15 min pumppaus**, jolloin pumpataan pois pienimmätkin paineen nousut. Pumppauksen jälkeen **suljetaan venttiili VC3**. Tämän jälkeen vielä **varmistetaan**, että venttiilit **VC1, VC3 ja VC21 ovat kiinni**.

Venttiilien **VC1, VC3 ja VC21 ollessa kiinni**, käynnistetään kryopumppu **CRYC1** ja sen **kompressori**. Kryopumpun **CRYC1** ja sen **kompressorin** käynnistyttyä aloitetaan vertailemaan pumpun **CRYC1** jäähtymisen kynnsarvoja toimivan kryopumpun jäähtymisarvoihin. Jos **CRYC1 jäähtyy liian hitaasti**, annetaan **operaattorille varoitus/hälytys** riippuen jäähtymisarvojen poikkeaman suuruudesta. Kun kryopumpun **CRYC1 lämpötila** on laskenut normaaleissa rajoissa **alle 30 kelvinin**, pumpun regenerointi on suoritettu onnistuneesti.

Liite 3. Inflektorin vaihtosekvenssin askel 25

K-130 syklotronin tyhjiöjärjestelmän sekvenssikuvaukset

7

Maston kaato ja lyijysuojaluukun avaus

Piirin tunnus: C8ST25

Toiminta:

Kun piiriltä C8IPBU saadaan START- arvoksi 25 ja seuraavat ehdot täyttyvät:

- Tyhjiön lukkokammio on nostettu
- Inflektorin putki on ylhäällä
- Nosturi on varmasti poissa maston kaadon tieltä (C8IMKA.CRN = TRUE)

Kaadetaan masto. Jos masto ei ole kaadon jälkeen kunnolla vaakatasossa, annetaan hälytys valvomoon.

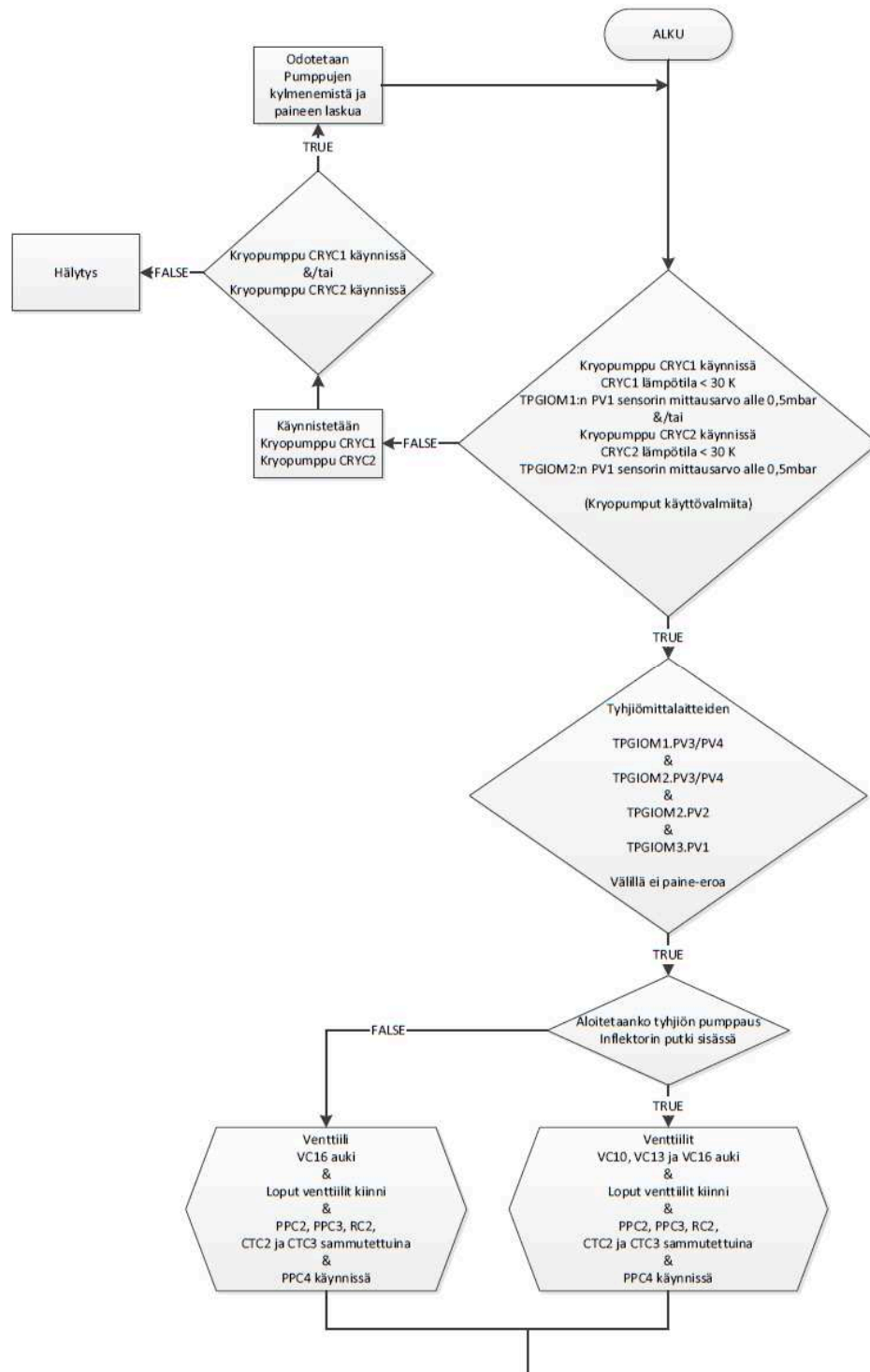
Kun START- arvo on edelleen 25, maston tilatiedoista käy ilmi, että masto on kaadettu ja aikaisemmat maston kaadon ehdot ovat edelleen täyttyneet, avataan lyijysuojaluukku. Jos luukku ei avaudu, annetaan hälytys valvomoon.

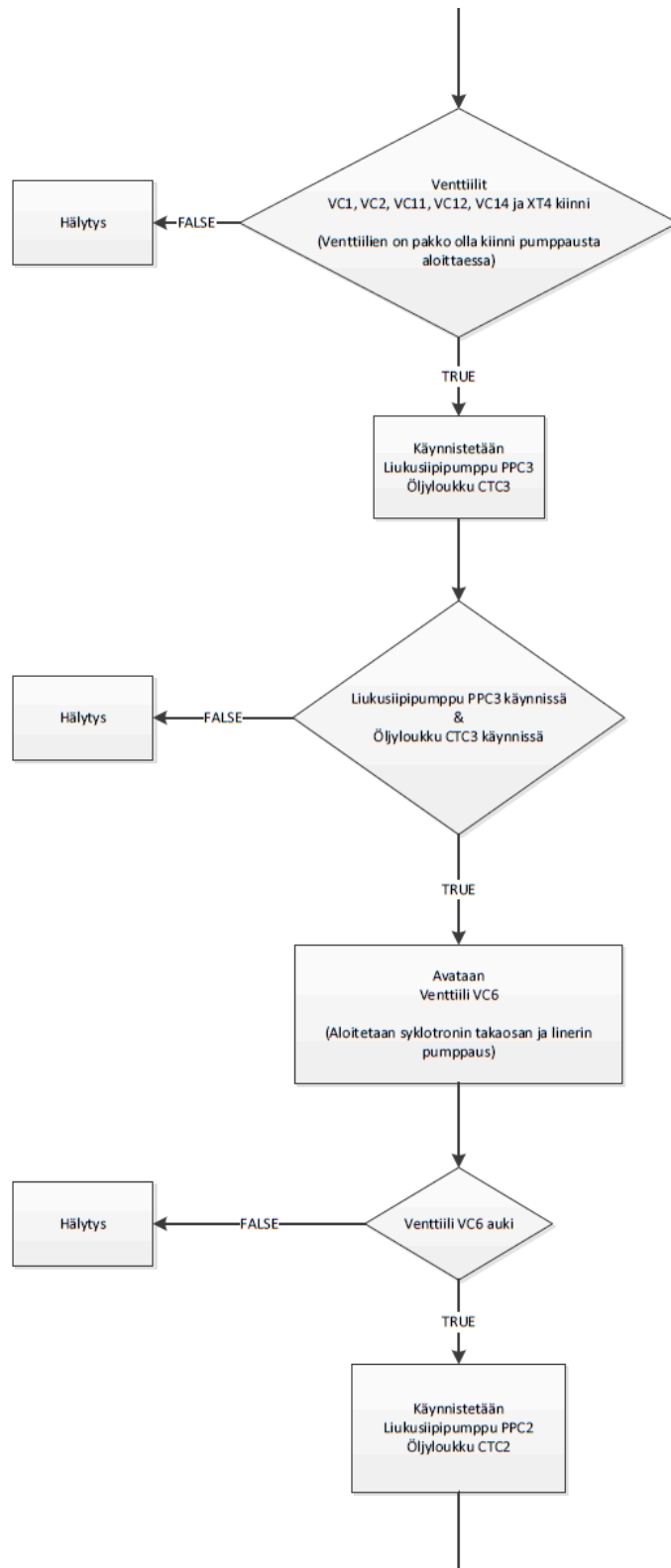
Lyijysuojaluukun auettua ja kaikkien piirin aikaisempien ehtojen ollessa täytettyinä, lähetetään sekvenssin pääpiirin C8IPBU START- arvoksi 30.

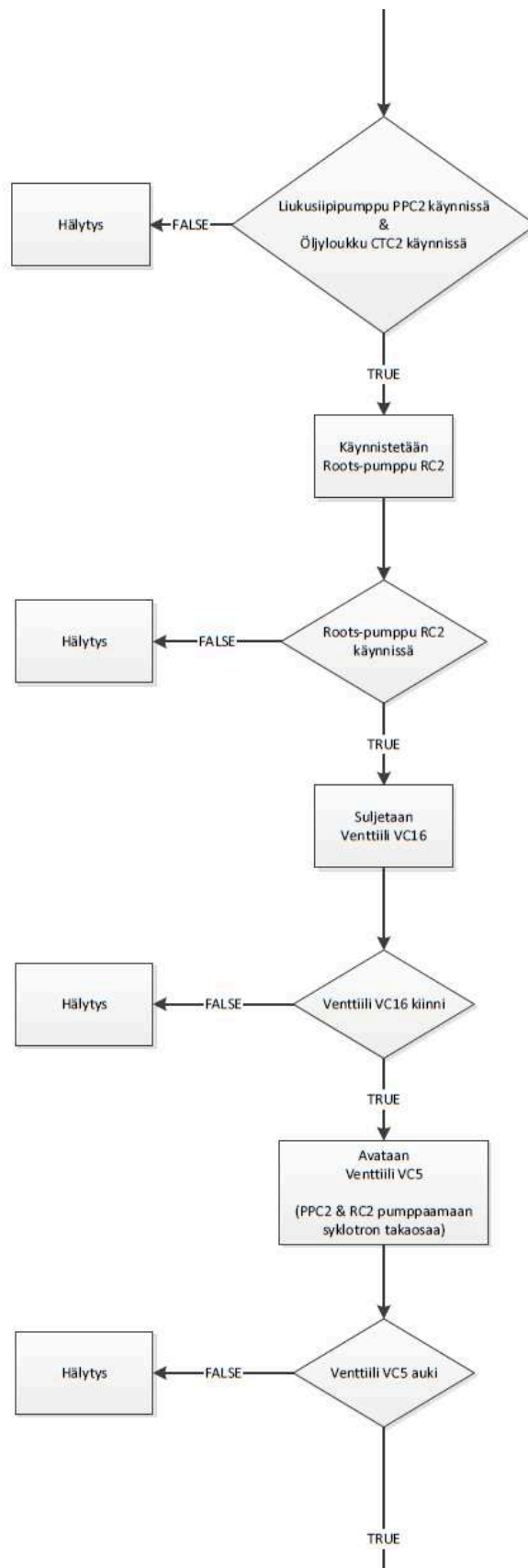
Kytkenät muualle:

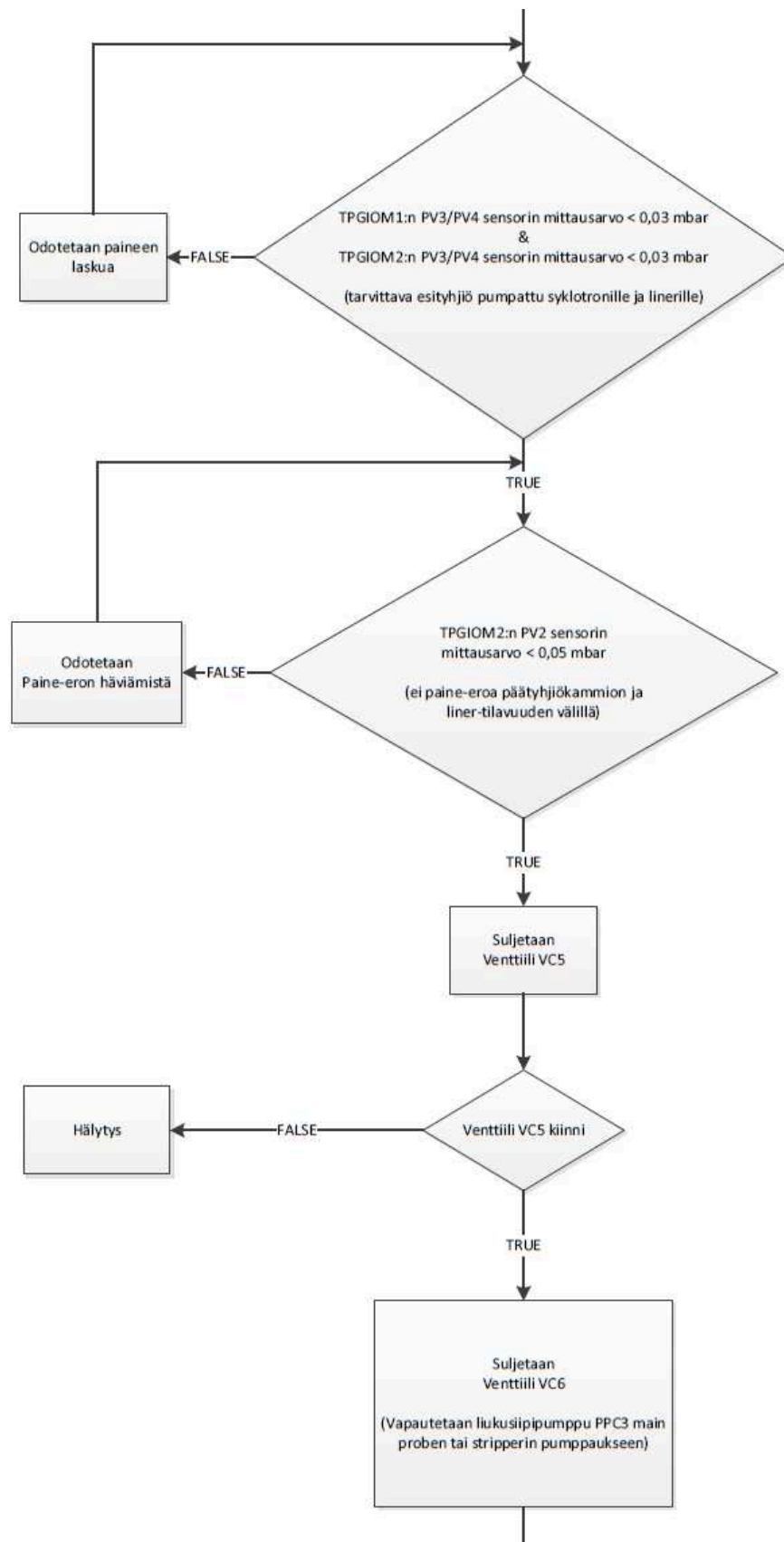
- PA8PRM01
- [C8IPBU](#)
- [C8IMKA](#)
- [C8ILSL](#)

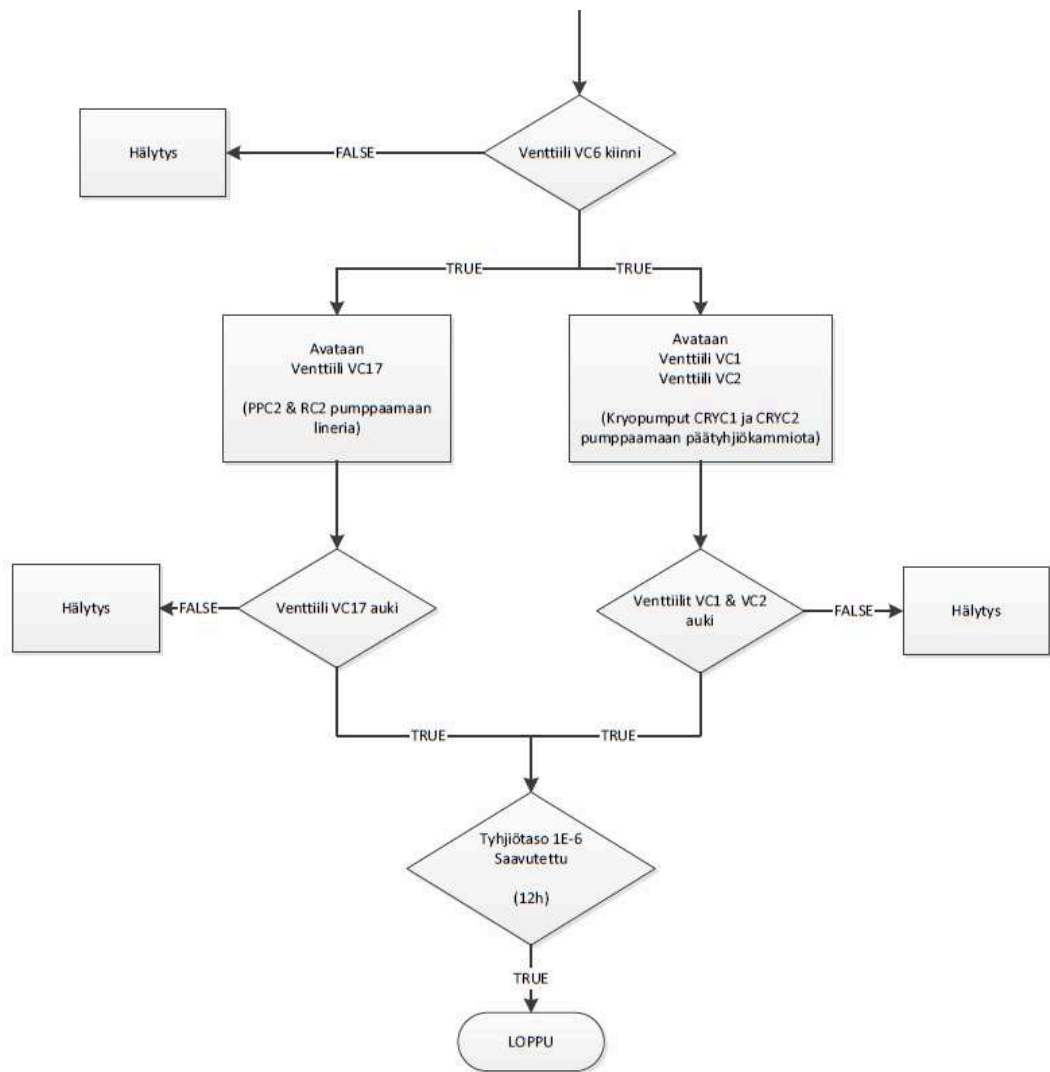
Liite 4. Vuokaavio tyhjiön luonnista







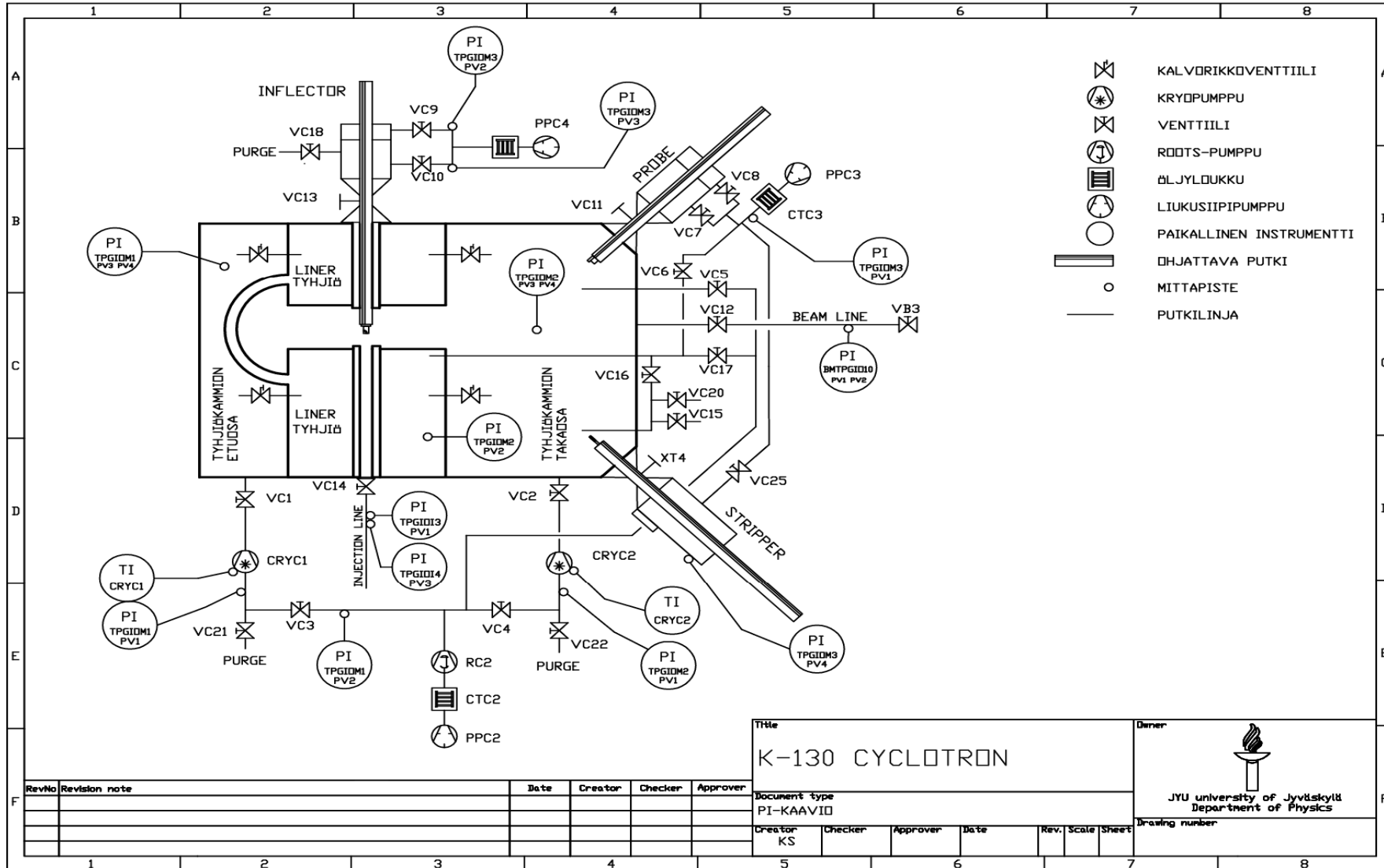




Liite 5. Kuvankaappaus tyhjiöjärjestelmän I/O-pisteluetelosta

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Laite	Piiri	I/O	Signaali	Kuvaus	Prosessiasema	Korttipaikka	Korttityyppi	Kanava
92	VC01	V3VALVE1	I	.lsc	Limit signal closed	PA3	10	SWI\24\N	1
93	VC01	V3VALVE1	I	.lso	Limit signal open	PA3	10	SWI\24\N	2
94	VC01	V3VALVE1	O	.cop	Control open	PA3	15	BOU\24V\N	2
95	VC02	V3VALVE2	I	.lsc	Limit signal closed	PA3	10	SWI\24\N	3
96	VC02	V3VALVE2	O	.cop	Control open	PA3	15	BOU\24V\N	3
97	VC02	V3VALVE2	I	.lso	Limit signal open	PA3	10	SWI\24\N	4
98	VC03	V3VALVE3	O	.cop	Control open	PA3	15	BOU\24V\N	4
99	VC03	V3VALVE3	I	.lsc	Limit signal closed	PA3	10	SWI\24\N	5
100	VC03	V3VALVE3	I	.lso	Limit signal open	PA3	10	SWI\24\N	6
101	VC04	V3VALVE4	O	.cop	Control open	PA3	15	BOU\24V\N	5
102	VC04	V3VALVE4	I	.lsc	Limit signal closed	PA3	10	SWI\24\N	7
103	VC04	V3VALVE4	I	.lso	Limit signal open	PA3	10	SWI\24\N	8
104	VC05	V3VALVE5	O	.cop	Control open	PA3	15	BOU\24V\N	6
105	VC05	V3VALVE5	I	.lsc	Limit signal closed	PA3	10	SWI\24\N	9
106	VC05	V3VALVE5	I	.lso	Limit signal open	PA3	10	SWI\24\N	10
107	VC06	V3VALVE6	O	.cop	Control open	PA3	15	BOU\24V\N	7
108	VC06	V3VALVE6	I	.lsc	Limit signal closed	PA3	10	SWI\24\N	11
109	VC06	V3VALVE6	I	.lso	Limit signal open	PA3	10	SWI\24\N	12
110	VC07	V3VALVE7	O	.cop	Control open	PA3	15	BOU\24V\N	8
111	VC07	V3VALVE7	I	.lsc	Limit signal closed	PA3	10	SWI\24\N	13
112	VC07	V3VALVE7	I	.lso	Limit signal open	PA3	10	SWI\24\N	14
113	VC08	V3VALVE8	O	.cop	Control open	PA3	15	BOU\24V\N	9
114	VC08	V3VALVE8	I	.lsc	Limit signal closed	PA3	11	SWI\24\N	0
115	VC08	V3VALVE8	I	.lso	Limit signal open	PA3	11	SWI\24\N	1
116	VC09	C8VC09	I	.lso	Limit signal open	PA8	15	SWI\24\N	9
117	VC09	C8VC09	O	.cop	Control open	PA8	16	BOU\24V\N	3
118	VC09	C8VC09	I	.lsc	Limit signal closed	PA8	15	SWI\24\N	10
119	VC10	C8VC10	I	.lso	Limit signal open	PA8	15	SWI\24\N	11
120	VC10	C8VC10	O	.cop	Control open	PA8	16	BOU\24V\N	4
121	VC10	C8VC10	I	.lsc	Limit signal closed	PA8	15	SWI\24\N	12
122	VC11	V3VALVE11	I	.lsc	Limit signal closed	PA3	11	SWI\24\N	5
123	VC11	V3VALVE11	I	.lso	Limit signal open	PA3	11	SWI\24\N	6
124	VC11	V3VALVE11	O	.ccl	Control closed	PA3	16	BOU\24V\N	0
125	VC11	V3VALVE11	O	.cop	Control open	PA3	16	BOU\24V\N	1
126	VC12	V3VALVE12	I	.lsc	Limit signal closed	PA3	11	SWI\24\N	7
127	VC12	V3VALVE12	I	.lso	Limit signal open	PA3	11	SWI\24\N	8
128	VC12	V3VALVE12	O	.cop	Control open	PA3	16	BOU\24V\N	2

Liite 7. PI-kaavio K-130 syklotronin tyhjiöjärjestelmästä



Liite 8. TotalPlant Alcont -järjestelmän rakenne (Lassila 2014)

