

Jarmo Turtio

# Typpihöyrystimen automatisointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinööriytyö

9.5.2014

Tekijä(t) Otsikko	Jarmo Turtio Typpihöyrystimen automatisointi
Sivumäärä Aika	30 sivua + 10 liitettä 9.5.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	automaatiotekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Prosessiautomaatio
Ohjaaja(t)	tuotantopäällikkö Martin Nyberg lehtori Markku Inkinen
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa nestemäisen tyyppisen höyrystysaseman Oy AGA Ab:n ilmakaasutehtaalla Kilpilahdessa. Kilpilahden ilmakaasutehtaalla aloitettiin useammalle vuodelle jakautuva laitoksen uusimis- ja kehitystyö jonka osana uusittiin vanha höyrystin. Uusi höyrystin sisältää enemmän mittauksia ja ohjauksia kuin vanha höyrystin minkä johdosta vanhan höyrystimen automaatiota ei voinut sellaisenaan käyttää uudelle höyrystimelle. Uuden höyrystimen tuli myös olla toimintavarmuudeltaan parempi kuin vanha höyrystin.</p> <p>Työ jakautui neljään päävaiheeseen, jotka olivat suunnittelu, toteutus, testaus ja käyttöönotto. Käyttöönotto tapahtui testauksen yhteydessä. Suunnittelun alussa oli apuna ulkopuolinen suunnittelija, jonka avulla ja yhteistoiminnassa suoritettiin alustava piirikaavioiden laatiminen. Myöhemmässä vaiheessa suunnittelua jatkettiin ilman ulkopuolista apua. Suunnittelussa käytettiin AutoCAD-ohjelmistoa instrumentoinnin suunnittelussa ja Matlab- ja Simulink-ohjelmia säätöjen suunnittelussa. Kenttäinstrumenttien valinta ja hankinta tehtiin yhteistyössä prosessi- ja putkisuunnittelun kanssa. Automaatiojärjestelmän asennukset ja ohjelmoinnit tuotettiin automaatiojärjestelmän toimittajalta, joka laati ohjelmat annettujen toimintakaavioiden ja toimintaselostusten mukaisesti.</p> <p>Työntuloksena tuotettiin uuden höyrystimen automatisointi ja automatisointiin liittyvät piirikaaviot, johdotuskaaviot ja I/O korttien kytkentä kuvat laitoksen vanhan dokumentaation mallia noudattaen. Lisäksi laadittiin höyrystimen toimintakaavio sekä toimintaselostus. Toimintaselostus laadittiin englanniksi, jotta sen voi toimittaa yrityksen kaukovalvontakeskukseen joka sijaitsee Ruotsin Avestassa. Säätöpiireille löydettiin hyvät parametrit simuloimalla ilman tarvitsematta häiritä askeltesteillä.</p>	
Avainsanat	säätösuunnittelu, instrumentaatio, automaatio, höyrystin, PID viritys

Author(s) Title	Jarmo Turtio Automation of Nitrogen Vaporizer
Number of Pages Date	30 pages + 10 appendices 9 May 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation Technology
Specialisation option	Process Automation
Instructor(s)	Martin Nyberg, Production Manager Markku Inkinen, Senior Lecturer
<p>This final project was commissioned by Oy Aga Ab Air Separation Unit in Kilpilahti. The purpose was to design and implement automation of liquid nitrogen vaporizer. Oy Aga Ab has ongoing development program and one part of this program is to renew the old vaporizer. As a result of the higher reliability demands and greater I/O points account with the new vaporizer, the level of automation was higher compared to the old vaporizer.</p> <p>The project was divided into four sections which were design, implementation, testing and commissioning. Designing was started utilizing third party resources for drawing preliminary circuit diagrams. All technical drawings were made in AutoCAD software. Control loops tuning were made in Matlab and Simulink software. Automation expansion was purchased from ABB, including hardware and coding accordance of functional diagram.</p> <p>As a result, new vaporizer was automated, operation was tested. Automation was tested to meet all the requirements. The full set of documentation was created following standards and models of site. Functional diagrams and functional descriptions were also created.</p>	
Keywords	control design, instrumentation, automation, vaporizer, PID tuning

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Projektin esittely	2
2.1	Kilpilahden ilmakaasutehdas	2
2.2	Automaatiojärjestelmän kuvaus	2
2.3	Automaatiojärjestelmän suunnittelu ympäristö	3
2.4	Typpihöyrystimen toimintaperiaate	3
3	Esisuunnittelu	4
3.1	Esisuunnittelun tavoite	4
3.2	Automaatioaste	4
3.3	Höyrystimen sijoitus automaatiojärjestelmään	5
3.4	Lähtötietojen kerääminen	5
3.5	Automaatiojärjestelmän laajennuksen esisuunnittelu	6
3.6	Kenttälaitteiden esisuunnittelu	8
3.6.1	Lämpötilan mittaukset	8
3.6.2	Virtausmittaus	9
3.6.3	Paineenmittaukset	9
3.6.4	Pinnanmittaus	10
3.6.5	Säätöventtiilit	10
3.7	Johdotukset ja koteloinnit	10
3.8	Säädöt ja ohjaukset	11
3.8.1	Höyrinsäätö	11
3.8.2	Typensäätö	11
4	Perussuunnittelu	11
4.1	Automaatiomäärittelyt	11
4.1.1	Käytettävät yksiköt	12
4.1.2	Positioiden nimeäminen	12
4.2	Ohjelmisto suunnittelu ja piirien toimintaselostus	12
4.2.1	Valvomon lisäykset	12
4.2.2	GAN-asiakkaalle mittaukset	13
4.2.3	Typenlämpötila höyrystimen jälkeen	13
4.2.4	Höyrin syöttöventtiileiden syöttöpaineensäätö	13

4.2.5	Höyrystimen vesivaipan lämpötilansäätö	14
4.2.6	Höyrystimen ylikuumentumisen esto	14
4.2.7	Höyrystimen jäätyneen esto	14
4.2.8	Höyrystimen kiertopumppu	15
4.2.9	Höyrystimen GAN-määränsäätö	15
4.2.10	Kenttälaitteiden asennus	15
4.3	Asennussuunnittelu	15
5	Säätösuunnittelu	16
5.1	Yleistä	16
5.2	PIC6185 simulaattori	16
5.2.1	PIC6185 simuloinnit ja säätöparametrit	18
5.2.2	Höyrystimen ja GAN-putkiston simulaattori	19
5.2.3	Höyrystimen simulointi ja säätöparametrit	22
6	Toteutus	22
6.1.1	Hankinnat	22
6.1.2	Automaatiolaajennuksen asennukset	22
6.1.3	Kaapeloinnit	23
6.1.4	Kenttälaitteiden asennukset	23
6.1.5	DCS-ohjelmointi	27
7	Testaus	27
7.1	Laitteistotestaus	27
7.2	Automaatiojärjestelmän testaus	27
7.3	Kaapeloinnin testaus	27
7.4	Kenttälaitteiden testaus	28
7.5	Ohjelmien testaus	28
7.6	Säätöjäntestaus	28
8	Dokumentointi	29
9	Yhteenveto	30
	Lähteet	31

## Liitteet

- Liite 1. Automaatiojärjestelmän kaavio
- Liite 2. Kaapeli- ja laiteluettelot
- Liite 3. Venttiilikäyrät
- Liite 4. PIC6185 Simulointi
- Liite 5. E6103 Simulointi
- Liite 6. Piirikaaviot
- Liite 7. Korttikuvat
- Liite 8. Johdotuskaaviot
- Liite 9. E6103 Toimintakaavio
- Liite 10. Höyrystimen trendi häiriötilanteessa

## Lyhenteet

PI	Piping and instrumentation
LIN	Liquid Nitrogen, nestemäinen typpi.
GAN	Gaseous Nitrogen, kaasumainen typpi.
I/O	Input Output
MTU	Module Termination Unit, ABB järjestelmän korttipohja.
DCS	Distributed Control System, hajautettu automaatiojärjestelmä
CM	Control Module, ABB AC800 prosessorin ohjelma moduuli
HH	High High, analogisen mittauksen korkea lukitus raja
H	High, analogisen mittauksen korkea hälytys raja
L	Low, analogisen mittauksen matala hälytys raja
LL	Low Low, analogisen mittauksen matala lukitus raja

## 1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoitus oli typpihöyrystysaseman automatisointi Oy Aga Ab:n Kilpilahden ilmakaasutehtaalla. Työ piti sisällään lähtötietojen määrittelyn, automatisoinnin suunnittelun, toteutuksen ja testauksen mukaan lukien säätöjen virittämisen. Projektissa apuna käytettiin ulkopuolisia urakoitsijoita asennuksiin sekä suunnitteluun. Säätöpiirien virittämisen tavoitteena oli löytää säätöpiirien parametrit simuloimalla prosessia niin, että typen toimituksia ei tarvitse häiritä säätöpiirien virityksen takia. Projekti oli osa isompaa projektikokonaisuutta ilmakaasutehtaalla. Typpihöyrystysaseman lisäksi tullaan typpihöyrystysasemaan lisäämään myös uudet LIN (Liquid Nitrogen) pumput sekä LIN säiliö. Pumppujen ja säiliön lisääminen ja käyttöönotto tapahtuvat myöhemmin ja siten ne rajataan tämän insinööriyön ulkopuolelle.

Oy Aga Ab:n Kilpilahden ilmakaasutehdas tuottaa nesteytettyjä ilmakaasuja (typpi, happi ja argon). Nesteytettyjen kaasujen lisäksi laitos tuottaa kaasumaista typpeä Kilpilahden teollisuusalueen typpiverkostoon. Typpeä käytetään teollisuusalueella suoja-kaasuna, mikä tekee siitä tärkeän hyödykkeen monelle prosessiyksikölle alueella. Typen toimituksen häiriöt saattavat aiheuttaa muiden yksikköjen alasajoja, minkä johdosta typen toimitusten varmistaminen on tärkeää. Ilmakaasutehtaan tuotantohäiriöiden ja huoltokatkosten aikana typentoimitukset varmistetaan höyrystämällä typpeä varatankeista. Varatankkeja on Kilpilahden ilmakaasutehtaalla kaksi. Varatankeissa varastoidaan nestemäistä paineistettua typpeä, jota höyrystämällä saadaan kaasumaista typpeä toimitettua teollisuusalueen typpiverkostoon. Typpihöyrystimiä on ilmakaasutehtaalla kolme, joista kaksi toimii teollisuusalueelta ostetulla höyryllä ja yksi käyttää ulkoilmaa typen höyrystämiseen. Yksi höyryllä toimivista höyrystimistä uusittiin ja uusitun höyrystimen automatisointi on tämän insinööriyön aiheena.



## 2 Projektin esittely

### 2.1 Kilpilahden ilmakaasutehdas

Kilpilahden ilmakaasutehdas tuottaa nestemäisiä ilmakaasuja (tyypeä, happea ja argonia), lisäksi tuotetaan kaasumaista typpeä Kilpilahden teollisuusalueen typpiverkoston, sekä lääkkeellistä nestemäistä happea. Typen toimitukset typpiverkkoon on varmistettu typenhöyrystin asemalla, jossa höyrystetään paineistettua nestemäistä typpeä typpikaasuksi ja johdettavaksi edelleen typpiverkkoon. Kilpilahden ilmakaasutehdas on kaukovalvottu teollisuuslaitos, jossa paikallista henkilökuntaa on normaalioloissa paikalla vain toimistoaikoina. Toimistoaikojen ulkopuolella laitosta valvotaan Linden kaukovalvomosta Ruotsin Avestasta. Avestan apuna häiriötilanteissa toimii paikallisesta henkilökunnasta muodostettu päivystysryhmä. Päivystys takaa että paikalle on aina saatavissa tarvittaessa henkilökuntaa.

### 2.2 Automaatiojärjestelmän kuvaus

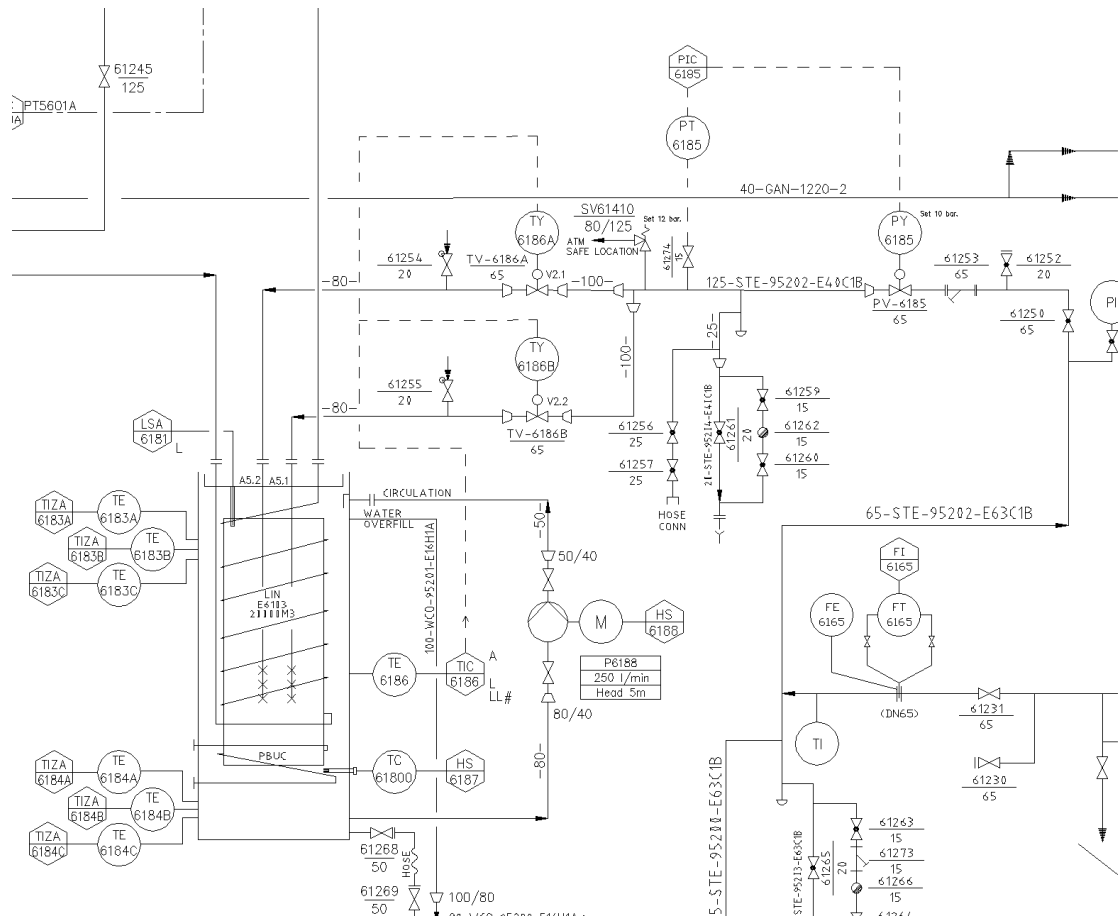
Kilpilahden Ilmakaasutehtaan automaatiojärjestelmänä on Oy ABB:n toimittama järjestelmä, joka koostuu viidestä prosessiasemasta. Prosessiasemista neljä on AC450 (Advant Controller 450)-tyyppisiä ja yksi uudempi AC800-tyyppiä oleva prosessiasema. Prosessiasemat on nimetty IC11-IC15, joista uusin AC800 positiolla IC15. Uusin IC15-asema on kahdennettu sekä keskusyksikön että I/O:n (Input / Output) osalta. Typen varajärjestelmän osalta ohjauksia ja toimintoja on sijoitettu sekä IC14- että IC15-prosessiasemille. Vanhemmissa AC450-asemissa on käytössä S100-tyyppistä I/O:ta, jonka valmistus ja tuki loppuu ABB:n päätöksen mukaisesti lähivuosina. S100-tyypin I/O:t on suunniteltu päivitettävän uudempaan S800 I/O:hon tulevien vuosien aikana. Kilpilahden ilmakaasutehtaalla on hajautettu automaatiojärjestelmä. Hajautetussa automaatiojärjestelmässä prosessiasemat on sijoitettu Ilmakaasutehtaan automaatiohuoneeseen. I/O-kortit sisältävät kenttäkaapit on sijoitettu prosessitiloihin lähelle ohjattavaa prosessia. Prosessiasemien ja kenttäkaappien välinen liikenne on hoidettu Profibus väylällä sekä ABB:n omalla MasterBus väylällä. Prosessiasemien liikennöinti kenttäkaapeille on fyysisesti toteutettu valokuidulla sekä Profibus että MasterBus-väylässä.

### 2.3 Automaatiojärjestelmän suunnitteluympäristö

ABB:n suunnitteluympäristö koostuu insinööriasemasta jossa käyttöjärjestelmänä on Windows 7 ja suunnitteluohjelmistona ABB-ohjelmisto. AC800-prosessiaseman suunnitteluohjelmistona toimii Control Builder-niminen ohjelma ja AC450-prosessiasemien suunnittelutyökaluna toimii Application Builder-ohjelma. Suunnitteluohjelmistoa käytetään laitteiston asetuksiin sekä prosessiohjaus ohjelmien laatimiseen. Suunnitteluohjelmistot ovat myös tärkeässä roolissa testaus- ja vianhakukäytössä.

### 2.4 Typpihöyrystimen toimintaperiaate

Uusittu typpihöyrystin koostuu vesivaipasta ja vesivaipassa olevasta höyrystinputkierukasta. Vesivaippaan tulee kaksi höyrysuutinta, joista johdetaan höyryä veden sekaan. Höyry lauhtuu vedessä ja samalla lämmittää vettä. Höyrystinkierukkaan johdetaan paineistettua nestemäistä typpeä (13 bar(g)), joka höyrystyy lämmitessään höyrystinkierukassa. Sen jälkeen se johdetaan kaasumaisena ulos höyrystimestä. Typen höyrystämiseen tarvittava energia saadaan vedestä, jonka lämpötilaa säädetään höyrinsyötöllä vesivaippaan. Veden lämpötilaerojen aikaansaama kerrostuminen estetään höyrystimen sisäisellä rakenteella, jossa veden lämpötilaerot saavat aikaan veden luonnollisen kierron. Höyrystin on myös varustettu kierrätyspumpulla, joka lisää veden kiertoa pienillä käyttökuormilla. Höyrinsyötön ollessa poikki veden jäätyminen on estetty jäätymisenestolämmittimellä. Höyryä järjestelmään saadaan Kilpilahden teollisuusalueen voimalaitokselta. Toimitetun höyryn paine on noin 32 bar(g) ja lämpötila noin 240 °C. Ennen höyrinsäätöventtiileitä, höyryn paine lasketaan paineenalennusventtiilillä 10 bar:in paineeseen. Typpeä höyrystimeen johdetaan kahdesta 75 m<sup>3</sup> varasäiliöstä. Projektin kuluessa lisätään järjestelmään yksi 75 m<sup>3</sup> varasäiliö. Varasäiliöiden painetta pidetään noin 13 bar:ssa kierrättämällä nestemäistä typpeä toisen höyrystimen paineenkorotuskierukassa. Typen virtausmäärää säädetään kahdennetuilla paineensäätöventtiileillä, jotka mittaavat teollisuusalueen typpiverkoston typenpainetta ja avaavat tarvittaessa säätöventtiileitä. Kuvassa 1 on esitettyä höyrystimen PI-kaavio.



Kuva 1, höyrystimen PI kaavio

### 3 Esisuunnittelu

#### 3.1 Esisuunnittelun tavoite

Esisuunnittelun tarkoituksena on saada yleiskuva automatisoitavasta prosessista ja tarvittavista mitta- ja säätöpisteistä sekä tarvittavasta automaatioasteesta. Esisuunnittelu toteutettiin järjestämällä tapaamisia suunnittelutoimiston kanssa.

#### 3.2 Automaatioaste

Typpihöyrystin rakennetaan varmistamaan typenvirtaus verkostoon tilanteissa, joissa Ilmakaasutehtaan tuotanto on katkennut tai typenkulutus on lisääntynyt nopeammin kuin tehtaan tuotantoa pystytään lisäämään. Laitoksen kaukovalvonta täytyi ottaa huomioon automaatioasteen määrittelyssä. Ottaen huomioon laitoksen kaukovalvonta

ja typpihöyrystimen rooli toimitusten varmistamisessa on typpihöyrystimen automaatioasteen oltava riittävän korkea varmistamaan järjestelmän toiminta kaikissa tilanteissa.

### 3.3 Höyrystimen sijoitus automaatiojärjestelmään

Automaatiotoimintojen sijoituksessa otettiin huomioon suunnitellut tulevaisuuden lisäykset, joihin kuuluvat uudet typpipumput ja uusi LIN-säiliö. Laajennusten sijoittamiseksi automaatiojärjestelmään harkittiin kolmea vaihtoehtoa.

Vaihtoehto 1 oli sijoittaa uusi höyrystin IC14-asemalle, jossa oli ennestään poistettavan vanhan höyrystimen ohjaukset. Vanhan höyrystimen poistaminen myös vapauttaa I/O pisteitä kyseiseltä asemalta. Haittapuolelle laskettiin tulevaisuuteen suunniteltu I/O:n uusiminen, joka aiheuttaa uuden höyrystimen käyttökätkön huollon ajaksi, ellei tehdä hankalia lisäjärjestelyjä höyrystimen operoimiseksi kyseisenä aikana.

Vaihtoehto 2 oli ostaa uusi kahdennettu prosessiasema ja sijoittaa uuden höyrystimen ohjaukset tähän uuteen prosessiasemaan. Vaihtoehdon etuihin laskettiin toimintavarmuuden ja luotettavuuden kasvaminen, mutta haittapuoleksi laskettiin korkeampi hinta ja isommat asennustyöt sekä ylimääräisen tilan tarve.

Vaihtoehto 3 oli sijoittaa uudenhöyrystimen automaatiot olemassa olevaan IC15 asemaan. Vaihtoehtoon 2 verrattuna tämä vaihtoehto ei ole yhtä toimintavarma, mutta koska IC15 on valmiiksi kahdennettu, on sen toimintavarmuus jo nykyisyydellään riittävällä tasolla. Eduksi voitiin myös laskea pieni lisätilantarve ja edullisempi hinta. Vaihtoehto 3 valittiin toteutettavaksi.

### 3.4 Lähtötietojen kerääminen

Lähtötietojen määrittely tehtiin PI-kaavion perusteella. Ensimmäisessä PI-kaaviossa (Kuva 1) oli höyrystin suunniteltu olemassa olevan höyrystimen pohjalta, uutena lisävaateena oli kylmälukituksen asentaminen suojaamaan GAN putkistoa kylmäaurastumiselta. Kylmälukitus tuli tehdä Linden vaatimusten mukaisesti kolmella lämpötilanturilla ja 2/3:sta äänestysperiaatteella.

Tarvittavien automaatiojärjestelmän laajennusten kartoittamiseksi selvitettiin IC15-aseman olemassa oleva kapasiteetti sekä tarvittavien uusien I/O-pisteiden (Input/Output) lukumäärä. Lopuksi laskettiin tarvittavien uusien I/O-korttien lukumäärä varmistamaan, että kaikkia I/O-kanava tyyppisiä jää myös varalle tulevaisuuden laajennuksiin.

Taulukossa 1 on IC15-aseamalla olevien varattujen ja vapaana olevien I/O-kanavien lukumäärä projektin alussa. Taulukkoon 2 on laskettu projektissa tarvittavien I/O-kanavien lukumäärä. Taulukon 2 kanaviin on laskettu mukaan uuden LIN-tankin ja uusien LIN-pumppujen tarvitsemat I/O-kanavat. Taulukkoon 3 on laskettu lopullinen I/O-korttien tarve sekä varalle jäävien I/O-kanavien lukumäärä.

**Taulukko 1, IC15 alkuperäinen I/O määrä**

Kortti	Tyyppi	Kanavia	Käytössä	Vapaana
AI_800_1	AI845	8	8	0
AI_800_2	AI845	8	6	2
AO800_1	AO845	8	4	4
DI_800_1	DI840	16	7	9
DI_800_2	DI840	16	0	16
DO_800_1	DO840	16	10	6

**Taulukko 2, Uusien I/O pisteiden määrä**

UUSIA I/O LIITÄNTÖJÄ	HÖYRYSTIN	BACK-UP (pumput + tankki)	summa
AI	14	4	18
AO	5	2	7
DI	5	4	9
DO	1	2	3

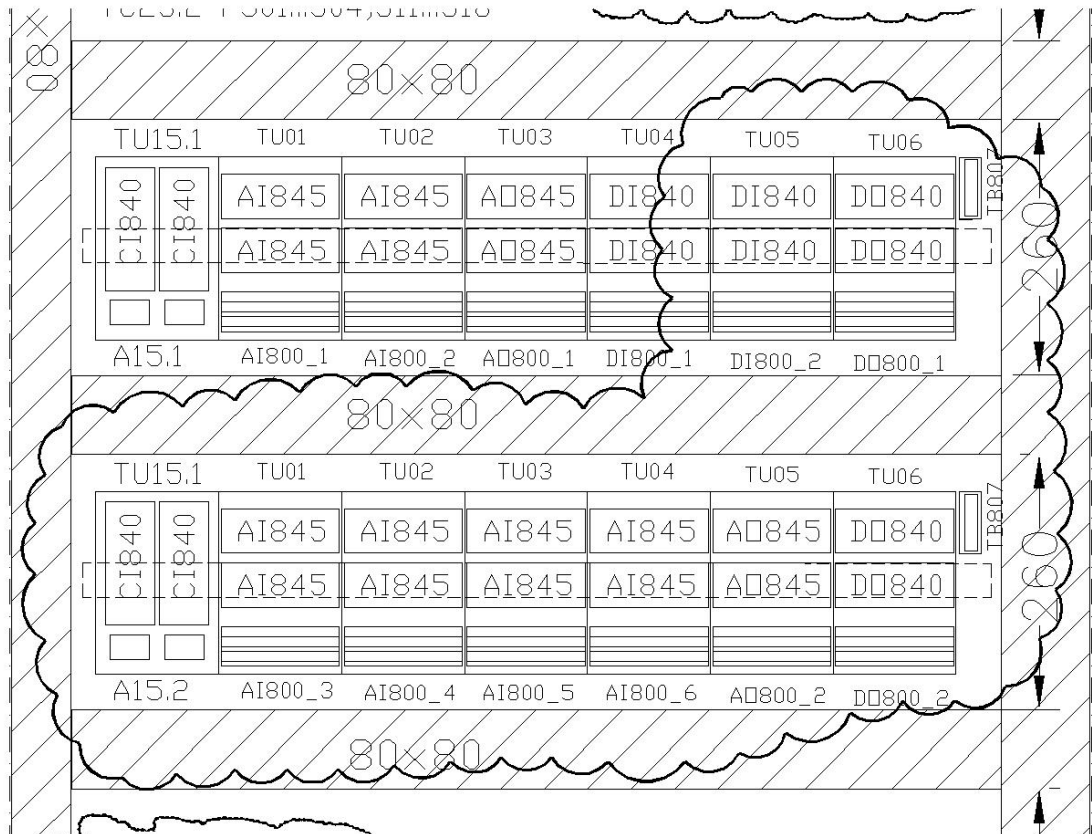
**Taulukko 3, Uusien I/O korttien määrä**

KANAVA	SALDO	Tarvittavat uudet kortit	Kanavia	Varalla kanavia
AI	16	4	8	16
AO	3	1	8	5
DI	13	0	16	13
DO	3	1	16	19

### 3.5 Automaatiojärjestelmän laajennuksen esisuunnittelu

Esisuunnittelussa tarvittavien uusien I/O-korttien määräksi laskettiin 6 korttia. IC15-kenttäkaapin leveydestä johtuen jouduttiin kortit sijoittamaan kahteen riviin. Asemalla

IC15 oli ainoastaan yksi I/O-ryhmä (I/O cluster), jossa oli 6 I/O-korttia. I/O-ryhmän moduulina oli MTU846 (Module Termination Unit), johon voi liittää yhteensä 12 I/O-korttipohjaa. Kenttäkaapin leveys on 1200 mm ja leveydestä johtuen kortit jouduttiin sijoittamaan kahteen I/O ryhmään, koska MTU846 I/O ryhmän pituus on rajoitettu 2,5 metriin [1, s. 119]. Olemassa olevista korteista DI800\_2 ja DO800\_1 kortit oli sijoitettu alempaan riviin jatkokaapelin avulla ja nämä kortit päätettiin siirtää samaan riviin olemassa olevien I/O-korttien kanssa. Uusista korteista muodostettiin uusi I/O-ryhmä omilla kahdennetulla Profibus-liityntäkorteilla (kuva 2).



Kuva 2, uuden I/O-ryhmän lisäys kenttäkaappiin

Korttityypit ja korttipohjat (MTU) valittiin samoiksi kuin IC15 I/O-ryhmässä oli käytetty. Taulukossa 4 on luettelo DCS laajennuksessa tarvittavista komponenteista.

**Taulukko 4, DCS-laajennuksen hankinnat**

Tuote	Määrä	
TU846 Module Termination Unit	1	kpl
CI840A Profibus DP-V1 Communication	2	kpl
TU846 Module Termination Unit	4	kpl
TU843 Module Termination Unit	2	kpl
AI845 Analog Input	8	kpl
AO845 Analog Output	2	kpl
DO840 Digital Output	2	kpl
TY801K01 (8 pcs Shun Stick TY801)	4	kpl

### 3.6 Kenttälaitteiden esisuunnittelu

Kenttäinstrumenttien määrittely tapahtui PI-kaaviosta määrittelemällä tarvittavat kenttäinstrumentit. Kenttäinstrumenttien tarvittavat mitta-alueet ja toimintaolosuhteet kerättiin prosessisuunnittelusta. Kenttälaitteiden yhteensopivuus automaatiojärjestelmän kanssa varmistettiin manuaaleista.

#### 3.6.1 Lämpötilan mittaukset

Pt100-antureiksi valittiin lähettimillä varustetut anturit, sillä järjestelmään ei ollut tarkoituksenmukaista hankkia erillisiä lämpötilanmittaukseen sopivia I/O-kortteja. Lämpötila-anturimalliksi valittiin suojataskullinen Pt-100-anturi varustettuna lähettimellä. Anturin malliksi päätettiin valita SKS:n tuotekoodilla W-B9-D/H-160-G $\frac{1}{2}$ -4-A-TR oleva anturi, sekä lähettimeksi SKS:n koodilla 5335 A 2-WIRE TRANSMITTER HART. Valintaan vaikutti tosiasia, että tarvittavat työkalut ja osaaminen löytyi laitokselta kyseisten anturien kanssa työskentelyyn. Valittu kokoonpano soveltui kaikkiin tarvittaviin lämpötilamittauksiin.

Höyrystimen mukana ei toimitettu lämpötila-antureita, vaan ainoastaan lämpötilan antureiden asennustaskut, jotka oli esiasennettu höyrystimeen. Höyrystimeen tulevien lähettimien mitta-alueeksi valittiin prosessisuunnittelun pohjalta  $-50\text{ °C} - +200\text{ °C}$ , sekä lähtösignaalin alueeksi  $4 - 20\text{ mA}$ .

GAN-putkeen (gaseous nitrogen) tuli prosessisuunnittelun mukaisesti asentaa yhteensä viisi lämpötila-anturia, joiden lämpötila-alueeksi tuli  $-100\text{ °C} - +100\text{ °C}$  ja lähtösignaalin alueeksi  $4 - 20\text{ mA}$ .

### 3.6.2 Virtausmittaus

Höyrystimen kapasiteetin lisäyksen yhteydessä tuli uusittavaksi myös typen määrittäminen, koska putkikoko ja mitta-alue vaihtuivat. Poistettavana mittaelimenä oli perinteinen kuristuslaippamittaelin jossa tarvittavat lämpötilan- ja paineenkompensoinnin laskennat suoritettiin automaatiojärjestelmässä. Uudeksi virtauslaippamittaelimeksi päätettiin tilata kuristuslaippamittaelin sekä monimuuttujalähetin. Laitteet päätettiin hankkia Emerson Process Management Oy:ltä, jolta oli hankittu yritykseen vastaavia laitteita aikaisemmin. Monimuuttujalähetin ja kuristuslaippamittaelin muodostavat kokonaisuuden, jossa lämpötila- ja painekompensoinnit lasketaan lähettimessä. Virtausalueeksi määriteltiin  $0 - 20000\text{ Nm}^3/\text{h}$  ja signaalialueeksi  $4 - 20\text{ mA}$ . Mittaelimen toimittaja laski kuristuslaipan mitoituksen annetuilla lähtötiedoilla. Lähtötietoina toimitettiin mitattava kaasu, maksimivirtaus sekä mitattavan kaasun lämpötila ja paine.

### 3.6.3 Paineenmittaukset

Paineenmittauksia järjestelmässä on GAN-verkoston paine ja höyrynpaine paineenlaskun jälkeen. Verkoston painemittaus säilyi ennallaan olemassa olevalla painelähettimellä. Höyrynpaineen mittauksen anturi ja lähetin olivat osa höyrystimen toimitusta ja siten höyrystintoimittajan suunnittelua. GAN-paineenmittauksen mitta-alueeksi määriteltiin  $0 - 16\text{ bar(g)}$  ja signaalialueeksi  $4 - 20\text{ mA}$ .



### 3.6.4 Pinnanmittaus

Höyrystimen vesitilan veden vapaakierto perustuu lämpötilaeroihin vesitilassa sekä höyrystimen sisäiseen rakenteeseen. Liian alhaisella vesipinnalla vedenkierto ei toimi riittävästi ja voi aiheuttaa vedenjäätymistä sekä höyrystimen rikkoutumisen. Höyrystin on varustettu yhdellä pintakytkimellä, joka hälyttää alhaisesta pinnasta. Pintakytkin oli osa höyrystintoimitusta.

### 3.6.5 Säätoventtiilit

Höyrinsäätoventtiilit olivat osa höyrystintoimitusta ja siten säätoventtiilien ja toimilaitteiden suunnittelun teki höyrystintoimittaja.

Typensäätoventtiilit valittiin tarjosten perusteella MetsoEnder+Hauser Oy:ltä. Venttiileiksi valikoitui segmenttiventtiili tyyppimerkinnältään Q-REMA150AJJSG. Kyseisellä venttiilillä on hyvät säätoominaisuudet ja sen käyttölämpötila-alue on riittävän laaja. Säätoventtiilien mitoitus tehtiin Metso Oy:n puolesta annettujen lähtötietojen perusteella. Taulukko 5 esittää annetut lähtötiedot venttiilin mitoitukseen.

**Taulukko 5, tyyppien säätoventtiileiden mitoitustiedot**

Putkikoko	DN200
Kaasu	Typpi
Paine max	14 bar
Virtaus	20000 Nm <sup>3</sup> /h
Paine-ero	2-3 bar
Lämpötila-alue	-200 - 50 °C

### 3.7 Johdotukset ja koteloinnit

Uutta höyrystintä varten päätettiin IC-15-kenttäkaappiin IC23-B lisätä yksi 50 liittimen riviliitin sekä höyrystinrakennukseen kenttäkotelo riviliittimellä. Riviliittimien välille suunniteltiin runkokaapeli (NOMAK 24x2x0.5) sekä omat kaapelit kenttäkotelolta kenttälaitteille (NOMAK 2x2x0.5). Kaapin IC23-B riviliitin nimettiin tunnuksella X11.3 ja riviliitin kenttäkoteloon tunnuksella X1. Kenttäkotelolle annettiin positio JB6112.

GAN-putken mittauksille suunniteltiin oma kenttäkotelo sekä runkokaapeli kenttäkotelon ja IC23-B-kenttäkaapin välille. Uutta runkokaapelia varten päätettiin asentaa uusi riviliitin IC23-B-kenttäkaappiin tunnuksella X15.0. Kenttäkotelo nimettiin positiolla JB5601 ja riviliitin kenttäkotelossa X1.

### 3.8 Säädot ja ohjaukset

#### 3.8.1 Höyrynsäätö

Höyrynmäärän säätö toteutettiin kahdella säätöpiirillä ja kolmella säätöventtiilillä. Voimalaitokselta tulevan höyryn paine on n. 31 bar(g). Höyrystimen toimittajalta saatujen toimintakuvausten mukaisesti tämä paine tulee laskea 10 bar(g) paineeseen ennen höyrynmäärän säätöventtiileitä. Höyrynmäärää säädetään kahdella venttiilillä ja yhdellä säätöpiirillä. Säätöpiirin lähtö jaettiin kahteen alueeseen siten, että lähdön arvon ollessa 0–50 % avautuu venttiili TV6186A 0–100 % ja lähdöllä 50–100 % avautuu venttiili TV6186B 0–100 %.

#### 3.8.2 Typensäätö

Typenmäärän säätämiseksi asennetaan kaksi säätöpiiriä. Säätöpiirit säättävät porrasteu-  
tuin asetusarvoin typpiverkon painetta, ja avaavat typpiventtiileitä verkoston paineen laskettua alle asetusarvon. Säätöpiirien positioksi valittiin PIC6181A ja PIC6181B, sekä vastaavat venttiilit PV6181A ja PV6181B.

## 4 Perussuunnittelu

### 4.1 Automaatiomäärittelyt

Automaatiomäärittelyssä määritellään suunnittelun ja asennusten periaatteet itse suunnitteluprosessin nopeuttamiseksi.

#### 4.1.1 Käytettävät yksiköt

Kilpilahden ilmakaasutehtaalla käytetyt yksiköt otetaan käyttöön myös uudessa höyrystimessä. Taulukossa 6 on lueteltu höyrystimessä käytettävät yksiköt.

**Taulukko 6, käytetyt yksiköt**

SUURE	YKSIKKÖ
Lämpötila	°C
Paine	bar
Virtaus	Nm <sup>3</sup> /h

#### 4.1.2 Positioiden nimeäminen

Piiripositioissa käytetään Kilpilahden Ilmakaasutehtaalla käytettyä nimeämiskäytäntöä, jossa positio on jaettu kirjain- ja numero-osaan. Kirjainosasta käy ilmi mitattavan tai säädettävän suureen laatu ja piirin toiminnot. Numero-osa kertoo piirin sijainnista prosessiin. Kirjainosa noudattaa standardin mukaisia kirjaintunnusmäärittelyjä (SFS-ISO 14617-6, s.26). Numero-osassa käytetään nelinumeroisia tunnuksia, joista kaksi ensimmäistä numeroa kertovat prosessiosan ja kaksi viimeistä numeroa ovat vapaasti valittavissa. Typpihöyrystimen prosessitunnus on 61 ja typpiasiakaslinjan prosessitunnus 56. Edellä olevan mukaisesti esimerkiksi typpiasiakasvirtauksen positio on FI5601, jossa FI merkitsee virtausmittausta virtausnäytöllä ja 56 typpiasiakaslinjaa sekä 01 vapaasti valittua numeroa.

Kaikkien positioiden selityskentät tulee kirjoittaa englannin kielellä.

#### 4.2 Ohjelmisto suunnittelu ja piirien toimintaselostus

Ohjelmistosuunnittelun tarkoituksena on tuottaa suunnitelma käytettävistä automaatiojärjestelmän piireistä ja niiden välisistä kytkennöistä sekä käytettävistä piiripositioista. Suunnittelun tuloksena saatiin höyrystimen säätökaavio sekä piirikuvaukset, jotka toimivat käyttöohjeena operaattoreille.

##### 4.2.1 Valvomon lisäykset

Valvomojärjestelmään luotiin uusi operointikuva typpijakelusta, jotta projektin aikana olisi mahdollista käyttää vanhaa kuvaa niin kauan kuin vanha höyrystin oli paikallaan.

Valvomokuvissa käytettiin Linde-standardin mukaisia kuvaruutuelementtejä, jotka olivat jo ohjelmoituina järjestelmään. Piiri-ikkunoina käytetään ABB standardi piiri-ikkunoita. Mittauksista luotiin historian keräyskanta, jossa mittapisteen arvo talletetaan kolmen sekunnin välein. Säättöpiireistä tallennetaan lisäksi lähdöt ja asetusarvot. Hälytykset ja tapahtumat tallennetaan ABB-järjestelmän oletuskäytännön mukaisesti.

#### 4.2.2 GAN-asiakkaalle mittaukset

Mittauspiirit TIZA5601A, TIZA5601B ja TIZA5601C mittaavat typpiverkoston menevän typen lämpötilan. Mittapisteet ovat toimitusputkessa, johon tyyppi toimitetaan joko ilma-kaasutehtaalta tai varajärjestelmästä. Lämpötilat muodostavat 2/3 äänestyslogiikan, jossa kahden mittauksen laskeminen alle LL-rajan (Low Low) aiheuttaa kylmälukitus tilan höyrystimien GAN-venttiileille. GAN-venttiilit turva lukitaan kiinni asentoon, kun samanaikaisesti on olemassa kyseisen höyrystimen kylmälukitus tila. Kaikki kolme lämpötilamittausta aktivoivat myös alarajan (L-raja Low) ennen lukitusta.

TI5601 lämpötilanmittaus mittaa typpiverkoston menevän typen lämpötilan, mittaus toimii informatiivisena mittauksena ilman hälytys / lukitus toimenpiteitä.

FI5601 mittaa toimitetun typen määrän typpiverkoston.

PIA5601 mittaa typen toimituspaineen. Mittaukselle asetetaan alaraja, joka aktivoi hälytyksen mittauksen alittaessa asetetun alarajan.

#### 4.2.3 Typenlämpötila höyrystimen jälkeen

Typen lämpötila höyrystimen jälkeen mitataan mittauspiirillä TIZA6182. Piiri aiheuttaa alarajahälytyksen sekä alarajalukituksen. Alarajalukitus sulkee höyrystimen GAN-venttiilit, mikäli samanaikaisesti on olemassa 2/3 äänestys lukitus piireiltä TIZA5601A, TIZA5601B tai TIZA5601C.

#### 4.2.4 Höyryn syöttöventtiileiden syöttöpaineensäätö

Höyrynsyöttöventtiileiden TV6186A ja TV6186B etupuolen paine pidetään asetetussa 10 bar(g) paineessa. Säättöpiiri PIC6185 ohjaa paineenalennusventtiiliä PV6185 ja säättää syöttöventtiileiden paineen. Paineenalennusventtiili PV6185 lukitaan kiinni, kun

höyrystimen yläosan lämpötila ylittää asetetun HH-rajan (High High). Ennen HH-rajaa aktivoidaan H-rajan (High) hälytys.

#### 4.2.5 Höyrystimen vesivaipan lämpötilansäätö

Höyrystimenvesitilan lämpötila säädetään lämpötilansäätöpiirillä TIC6186. TIC6186 piiristä aktivoidaan säätöpoikkeamahälytys. Säätöpiiri ohjaa höyrönsyöttöventtiileitä TV6186A ja TV6186B jaetulla alueella siten, että säätöpiirin lähdöllä 0–50 % ohjataan TV6186A täysin auki ja lähdön arvoilla 50–100 % ohjataan TV6186B täysin auki. Höyrönsyöttöventtiilit lukitaan kiinni asentoon, mikäli höyrystimen yläosan lämpötila ylittää asetetun HH-rajan.

#### 4.2.6 Höyrystimen ylikuumentumisen esto

Höyrystimen vesitilan kiehuminen saattaa aiheuttaa höyrystimeen mekaanisen vaurion ja sen estämiseksi asennetaan höyrystimen yläosaan kolme lämpötila-anturia. Lämpötilanmittauspiirit TIZA6183A, TIZA6183B ja TIZA6183C muodostavat 2/3 äänestyslogiikan, jossa vähintään kahden mittauksen yhtäaikainen HH-rajan ylitys aiheuttaa höyrönsyötön katkaisemisen. Mittauksista aktivoidaan hälytys H-rajan ylityksestä.

#### 4.2.7 Höyrystimen jäätyminen esto

Höyrystimen vesitilan jäätyminen voi aiheuttaa höyrystimen mekaanisen vaurion. Jäätyneen estämiseksi on höyrystimen alaosaan asennettu kolme lämpötila-anturia. Lämpötilanmittauspiirit TIZA6184A, TIZA6184B ja TIZA6184C muodostavat 2/3 äänestyslogiikan, jossa vähintään kahden mittauksen yhtäaikainen LL-rajan alitus aiheuttaa LIN-syötön katkaisemisen. LIN-syöttö katkaistaan lukitsemalla GAN-venttiilit PV6181A ja PV6181B kiinni asentoon.

Lämmitin H6187, jolla estetään höyrystimen jäätyminen silloin kun höyryä ei ole saatavilla, ohjataan päälle ja pois moottorinohjauspiirillä HS6187. Piirin ollessa käsinajolla, ohjataan lämmitin päälle operaattorin toimesta. Piirin ollessa automaattiajolla, ohjataan piiri päälle termostaatin HEK6187B ohjaamana. Lämmitin päälle ohjautuminen varmistetaan takaisinkytkentäpisteellä HEK6187 ja valvomoon annetaan hälytys mikäli ohjauksen ja takaisinkytkennän välillä on ristiriita. Valvonta-aika moottorinohjauspiirille on viisi sekuntia.

#### 4.2.8 Höyrystimen kiertopumppu

Höyrystimen kiertovesipumpun P6188 päälle ja pois ohjaus tehdään moottorinohjauspiirillä HS6188. Pumpun päälle ohjautuminen varmistetaan takaisinkytkentäpisteellä HEK6188. Valvomoon annetaan hälytys mikäli ohjauksen ja takaisinkytkennän välillä on ristiriita. Valvonta-aika moottorinohjauspiirille on viisi sekuntia. Pumpun ohjaus tapahtuu aina käsiohjauksella.

#### 4.2.9 Höyrystimen GAN-määräsäätö

Höyrystimen GAN-määräsäätö kahdennetaan säätöpiirien PIC6181A ja PIC6181B avulla. Säätöpiirejä voidaan ohjata käsi- tai automaattiohjauksella, sekä ulkoisella että sisäisellä asetusarvolla. Ulkoisella asetusarvolla säätöpiirien asetusarvo asetetaan laskennallisesti P5601\_Sp arvon mukaisesti siten, että PIC6181A asetusarvoksi tulee P5601\_Sp - 0.2 ja PIC6181B asetusarvoksi P5601\_Sp - 0.3. Säätöpiirit ohjaavat GAN-venttiileitä PV6181A ja PV6181B, jotka suljetaan, mikäli höyrystimen jäätymisen esto aktivoituu tai GAN-puolen kylmälukitus aktivoituu. Säätöpiirien mittaukseksi kytketään olemassa oleva mittaus PT5601A.

#### 4.2.10 Kenttälaitteiden asennus

Putkiston asennuksen yhteydessä asennetaan säätöventtiilit, virtausanturit ja lämpötila-anturien taskut. Kenttäinstrumentit tulee asentaa instrumentin valmistajan ohjeiden mukaisesti. Anturien vaatimat minimisuoraosuudet täytyy ottaa huomioon putkistosuunnittelun yhteydessä.

### 4.3 Asennussuunnittelu

Asennussuunnittelussa sovitaan tehtävät asennustyöt sekä työn suorittaja.

Instrumentointiurakka jaetaan kahteen osaan, siten että ensimmäisessä vaiheessa tehdään GAN-putkistoon liittyvät instrumentoinnit ja toisessa vaiheessa höyrystimeen liittyvät instrumentoinnit.

GAN putkistoon liittyvässä urakassa asennetaan kenttäkotelo JB5601 sekä runkokaapeli kenttäkaapin IC23-B ja kenttäkotelon JB5601 välille. Runkokaapeli kytketään mo-

lemmista päistä riviliittimiin. Urakoitsija hankkii kaapelit, kenttäkotelon sekä riviliittimet. Runkokaapeli vedetään olemassa olevaa johtoreittiä pitkin putkisillalle asti. Putkisillalle asennetaan uusi kaapelihylly. Kenttäkotelolta kenttälaitteille tehtävät kytkennät hoitaa AGA:n oma henkilökunta. Kaikki kenttälaitteet ja kaapelit merkitään kenttälaite- ja kaapelikilvellä. Positiokilvet hankkii urakoitsija. AGA toimittaa urakoitsijalle laite- ja kaapeliluettelot (Liite 2).

Höyrystimen instrumentointiurakka pitää sisällään runkokaapelin ja kaapelihyllyn sekä kenttäkotelon asennuksen. Kaapelihyllyä varten tarvittavat kannakkeet asentaa rakennusurakoitsija rakennusurakan yhteydessä. Kenttäkotelo varustetaan riviliittimellä ja runkokaapeli kytketään molemmista päistään kiinni riviliittimiin. Höyrystimen instrumentointiurakka sisältää kaapeloinnin kenttäkotelolta kenttälaitteille sekä tarvittavien kaapelihyllyjen ja suoja-putkien asennuksen höyrystinrakennuksessa. Kaapelit merkitään kaapelikilvin ja kenttälaitteet positiokilvin. AGA toimittaa urakoitsijalle laite- ja kaapeliluettelot (Liite 2).

## 5 Säätösuunnittelu

### 5.1 Yleistä

Höyrystimeen oli suunniteltu neljä säätöpiiriä, joista kaksi paineensäätöä ja yksi lämpötilansäätö. Höyrystimen paineenlaskun ja höyrystimen lämpötilansäädön suunnittelun perustana oli höyrystimen toimittajalta saadut höyrystimen toimintakuvaukset, jotka on edellä esitetty. Säätösuunnittelussa etsittiin sopivia parametreja säätöpiireille. Parametrien etsimisessä käytettiin apuna Matlab- ja Simulink-ohjelmia.

### 5.2 PIC6185 simulaattori

Säätöpiiri PIC6185 säätelee painetta ennen lämpötilansäätöventtiileitä TV6186A ja TV6186B. Prosessina voidaan ajatella olevan putkessa oleva paine, jonka mallinnuksessa voidaan käyttää ideaalikaasuyhtälöä (kaava 1). Putkentilavuus sekä yleinen kaasuvakio ovat prosessissa vakioita. Höyry toimitetaan vakiopaineessa ja vakiolämpötilassa, ja siten voidaan lämpötila  $T$  myös olettaa vakioksi. Putkessa olevan paineen muutos on edellä mainituilla oletuksilla riippuvainen ainoastaan putkessa olevasta höyrystinainemäärästä. Ainemäärä muodostuu massasta ja moolimassasta, joista mooli-

massa on vakio. Paineen muutos on täten massavirran muutos (kaava 2) ja integroimalla kaava 2 saadaan paine tietyllä hetkellä laskettua kaavalla 3.

$$pV = nRT \quad (1)$$

$$\frac{dp}{dt} = \frac{dm}{dt} \times \frac{RT}{MV} \quad (2)$$

$$p = \frac{RT}{MV} \int \dot{m} \quad (3)$$

$p$  = paine [Pa]  
 $V$  = tilavuus [ $m^3$ ]  
 $n$  = ainemäärä [mol]  
 $R$  = yleinen kaasuvakio  
 $T$  = lämpötila [K]  
 $m$  = massa [kg]  
 $M$  = moolimassa [kg/mol]

Putken pituus laskettuna putkistonsuunnittelun piirustuksista on 14 metriä ja halkaisija 0.125 metriä joten putken tilavuudeksi saadaan.

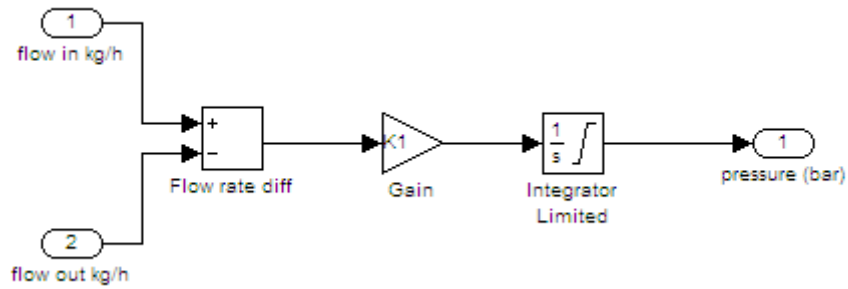
$$V = 14[m] \times \left(\frac{0.125}{2}[m]\right)^2 \times \pi = 0.172[m^3]$$

Kun käytetään lämpötilaa 453 K mikä on kylläisen 10 bar(g) höyryn lämpötila ja sijoitetaan kaavaan yleinen kaasuvakio, saadaan lopulliseksi yhtälöksi kaava 4. Kaavassa massavirta on yksikköä kg/h ja haluttu putkenpaineen yksikkö on bar. Vakion  $p$  yksikkö on  $N/(m^2 \cdot kg)$

$$p = 0.034 \int \dot{m} \quad (4)$$

Kuva 3 esittää putkenpaineen simulointikaavion Simulink-kaaviona ( $K1 = 0.034$ ).





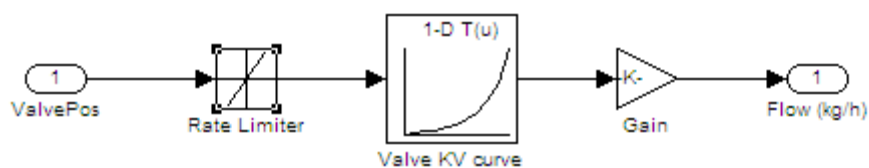
**Kuva 3, höyrynpaineen prosessi Simulink-kaaviona**

Höyryventtiilin simulointiin voidaan käyttää venttiilitoimittajan kaavaa kriittiselle höyryvirtaukselle kaava 5 [2].

$$Kv = \frac{G}{31.6} \times \sqrt{\frac{2 \times V}{p1}} \quad (5)$$

G = höyryvirta [kg/h]  
 V = Höyryn ominaistilavuus  $p1/2$  ja  $T_1$  [ $m^3/kg$ ]  
 $p1$  = höyrynpaine ennen venttiiliä [bar]  
 Kv = venttilin kerroin

Kuvassa 4 on höyryventtiilin simulointikaavio. Venttiilikäyrä on saatu venttiilitoimittajalta joka löytyy liitteestä 3.



**Kuva 4, Höyryventtiilin PC6185 Simulink-kaavio**

### 5.2.1 PIC6185 simuloinnit ja säätöparametrit

PIC6185 säätimessä käytettiin adaptiivista säädintä venttiilikäyrästä johtuen. Simuloinnit jaettiin osiin siten, että kaikki säätöalueet simuloitiin erikseen ja niille haettiin parametrit erikseen. Prosessi on puhtaasti integroiva, joten yleisesti käytetty askelvastemenetelmä ei soveltunut parametrien hakemiseen. Säätöparametrit haettiin kokeilemalla simulaattorilla. ABB-säätimen adaptiivisuus voidaan toteuttaa säätöpiiristä löytyvällä

"Gain Scheduling" ominaisuudella, jolla säätöpiirin parametrit saadaan muuttumaan toimintapisteestä riippuen. Koska haluttiin asettaa eri parametrit eri venttiilin alueille, niin oli luontevaa valita toimintapiste säätöpiirin ohjauksen mukaisesti. Parametrien haku tehtiin siten, että höyrymäärä simuloitiin niin, että säätöpiirin lähtö stabiilissa tilanteessa oli mahdollisimman lähellä säätöalueen ylärajaa. Säätöalueen ylärajassa kokeilemalla etsittiin suurin vahvistus, jolla piiri ei alkanut värähtelemään. Simuloinnin perusteella valitut parametrit on listattu taulukossa 7. Simulink-kaavio ja simuloinnin ajamiseen käytetty komentotiedosto sekä simuloinnin esimerkki tulokset löytyvät liitteestä 4.

**Taulukko 7, simuloinnissa valitut parametrit höyrynpaineensäädölle**

Säätöalue	Vahvistus (P)	Integrointi (Ti)
0 - 5 %	0,2	5 s.
5 - 33 %	4,5	5 s.
33 - 67 %	0,5	5 s.
67 - 100 %	0,2	5 s.

### 5.2.2 Höyrystimen ja GAN-putkiston simulaattori

Höyrystimen simulaattori rakennettiin yhdessä GAN-putkiston simulaattorin kanssa. GAN-putkiston paineen simulointiin voitiin käyttää samoja kaavoja kuin höyryputken paineen simuloinnissa. GAN-putkiston simuloinnin vakioksi tuli  $1.5018e-06$ , vakion laskemiseen käytettiin GAN-putkiston pituutta ja kokoa, jotka saatiin suullisella tiedustelulla asiakkaalta (4 km / DN200 ja 2km / DN150). GAN-putken Simulink-kaavio on sama kuin höyryputken paineen simuloinnissa käytetty (kuva 9) ainoastaan vahvistuslohkon kerroin K1 on muutettu.

GAN-venttiileiden simulaattori rakennettiin venttiilivalmistaja Samsonin Internet-sivustolta luetun kaavan perusteella (kaava 6). Kaava perustuu IEC60534 standardin kaavoihin [3].

$$Q = K_v \times 519 \times \sqrt{\frac{\Delta p \times p_2}{\rho_n \times T_1}} \quad (6)$$

Q = virtaus [Nm<sup>3</sup>/h]

Kv = Valve coefficient

Δp = paine-ero venttiilin yli [bar]

p<sub>2</sub> = paine venttiilin jälkeen [bar]

ρ<sub>n</sub> = Kaasun tiheys 0 C ja 1 bar [kg/m<sup>3</sup>]

T<sub>1</sub> = Kaasun lämpötila ennen venttiiliä [K]

Höyrystimen veden lämpötilan simulointi tehtiin termodynamiikkaa soveltaen. Systemin kokonaisenergia voidaan esittää kaavalla 7.

$$E = U + KE + PE \quad (7)$$

E = kokonaisenergia [kJ]  
 U = Systemin sisäenergia [kJ]  
 KE = Kineettinen energia [kJ]  
 PE = Potentiaali energia [kJ]

Systemeissä KE ja PE voidaan jättää huomiotta, jolloin kaava pelkistyy tulevan energian ja lähtevän energian erotukseksi (kaava 8) [4.].

$$\Delta E = E_{in} - E_{out} \quad (7)$$

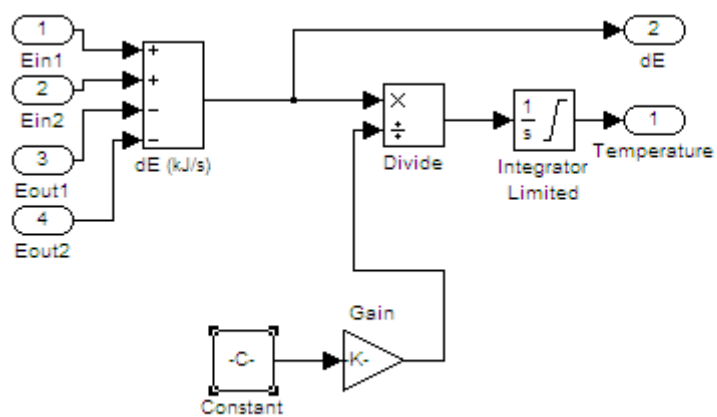
$\Delta E$  = Energian muutos [kJ]  
 $E_{in}$  = Energia sisään [kJ]  
 $E_{out}$  = Energia ulos [kJ]

Kaavan 7 energiat voidaan merkitä massavirtojen ja entalpioiden tuloina ja integroida molemmat puolet. Kun oikeapuoli jaetaan veden ominaislämpökapasiteetilla, voidaan veden lämpötila laskea kaavalla 8.

$$T = \frac{1}{C_{h_2o}} \int (h_1 \times \dot{m}_1 + h_2 \times \dot{m}_2) - (h_3 \times \dot{m}_3 + h_4 \times \dot{m}_4) \quad (8)$$

T = Veden lämpötila [C]  
 $C_{h_2o}$  = Veden lämpökapasiteetti [kJ/(kg\*C)]  
 $h_1$  = Höyryn entalpia [kJ/kg]  
 $\dot{m}_1$  = Höyryn massavirta [kg]  
 $h_2$  = LIN entalpia [kJ/kg]  
 $\dot{m}_2$  = LIN massavirta [kg]  
 $h_3$  = Veden entalpia [kJ/kg]  
 $\dot{m}_3$  = Veden massavirta [kg]  
 $h_4$  = GAN entalpia [kJ/kg]  
 $\dot{m}_4$  = GAN massavirta [kg]

Kuvassa 5 on kaavaan 8 perustuva Simulink-kaavio höyrystinprosessista jossa massavirrat ja entalpiat on kerrottu lohkon ulkopuolella. Koko simulointikaavio ja komentotiedosto sekä esimerkki simuloinnin tulokset löytyvät liitteestä 5.



Kuva 5, höyrystinprosessin simulointi kaavio

### 5.2.3 Höyrystimen simulointi ja säätöparametrit

Höyrystimen ja GAN-putkiston prosessit ovat integroivia joten säätöpiirien parametrit haettiin kokeilemalla kuten PIC6185 parametrit (taulukko 8). Simulointi tulokset löytyvät liitteestä 5.

**Taulukko 8, höyrystimen höyryn- ja typenmäärä säätöpiirien parametrit**

Piiri	Vahvistus (P)	Integrinti (Ti)
TIC6186	7,5	60
PIC6181A	10	180
PIC6181B	10	180

## 6 Toteutus

Toteutusvaihe jakautui pitkälle ajalle. Tänä aikana suoritettiin projektiin liittyvät hankinnat ja laitteiston asennus. Laitteiston asennuksen yhteydessä laitteen toiminta myös testattiin.

### 6.1.1 Hankinnat

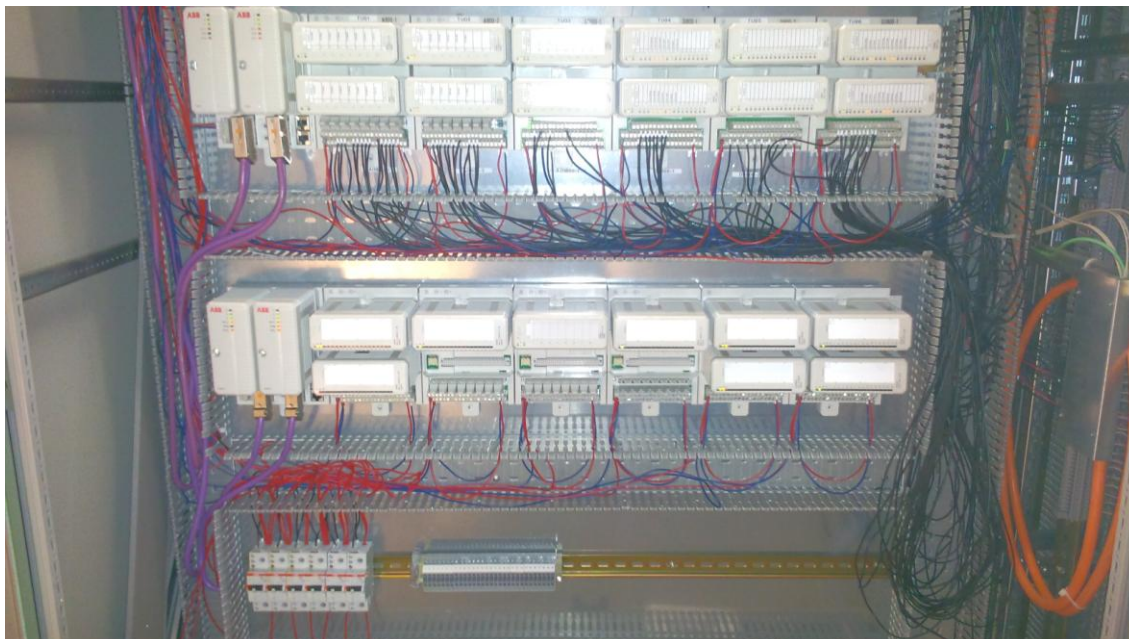
Hankintoja varten selvitettiin, mitä laitteita kuuluu automatisoinnin projektiin. Höyryn säätöventtiilit ja pintakytkin sekä jäätymisenestolämmitin sekä kiertovesipumppu olivat osa höyrystintoimitusta. Höyrystimeen tuli hankittavaksi 7 lämpötila-anturia, joiden asennustaskut olivat osa höyrystintoimitusta. Kenttälaitteet hankittiin esisuunnittelun mukaisesti noudattaen yrityksen hankintaohjeita.

Automaatiolaajennus hankittiin kokonaisuudessaan ABB:ltä yrityksen hankintaohjeiden mukaisesti.

### 6.1.2 Automaatiolaajennuksen asennukset

Uudet Profibus liityntäkortit ja korttipohjat asennettiin IC23-B kaappiin. Kaksi AI-korttia ja yksi korttipohja olivat viallisia. AGA:n varaosa kaapista saatiin korttipohja rikkoutuneen tilalle ja ABB toimitti takuuna uudet kortit ja korttipohjan jälkikäteen. Laitteisto

asennuksen yhteydessä myös ohjelmoitiin järjestelmään kaikki peruspiirit AGA:n toimittaman toimintakaavion mukaisesti. Tehdyt korttiasennukset näkyvät kuvassa 6, jossa alempi I/O ryhmä on automaation laajennusosa, josta vielä puuttuvat vialliset I/O kortit.



**Kuva 6, automaatiolaajennuksen asennus**

### 6.1.3 Kaapeloinnit

Kaapelointiurakat tilattiin ulkopuoliselta urakoitsijalta kahtena tilauksena, joista ensimmäinen kattoi runkokaapelin ja kenttäkotelon asennuksen GAN-putkistoon. Toinen osa kattoi runkokaapelin ja kenttäkotelon asennuksen höyrystimelle sekä kaikki instrumenttikaapeloinnit höyrystinrakennuksessa. GAN-putkiston asennukset suoritettiin vuosi- huollon yhteydessä ja höyrystinkaapeloinnit tammi- helmikuussa 2014 höyrystimen asennusprojektin edistymisen mukaisesti.

### 6.1.4 Kenttälaite asennukset

GAN-putkiston kenttälaitteet asennettiin syksyn 2013 vuosi- huollon yhteydessä. Putkis- tourakoitsija asensi virtauslaipan ja Pt-100 taskut putkistoon. Kaapeloinnin kenttäkote- lon ja automaatiojärjestelmän välillä suoritti ulkopuolinen urakoitsija. Anturit ja kaapelit kenttäkotelolta antureille asensi Agan henkilökunta. Kuvassa 7 näkyy GAN-lämpötilan mittaus anturit asennettuna.



**Kuva 7, lämpötila-anturit TT5607A-C**

Kuvassa 8 on virtauslaippa ja monimuuttujalähetin putkeen asennettuna.



**Kuva 8, virtauslaippa FT5601**

Höyrystimen instrumenttiasennukset suoritti urakoitsija asentaen runkokaapelin, kaapelihyllyn sekä kenttäkotelon kaapin IC23-B ja höyrystinrakennuksen välille. Urakoitsija asensi kaapelit kenttäkotelolta instrumenteille, sekä tarvittavat kaapelihyllyt ja suoja-putket. Lisäurakkana urakoitsija kytki myös ristikytkennän ja I/O kortin väliset johdot

kenttäkaapissa IC23-B. Höry- ja GAN-venttiileiden käyttöönotto tehtiin heti asennuksen jälkeen. Käyttöönotossa toimilaitteiden asentosäätäjään kytkettiin ohjaussignaalin johto ja ajettiin asentosäätäjän autokalibrointi ohjelma. Kuvassa 9 on yksi kolmesta jäätymisen esto lämpötila-anturista sekä hörymäärän säädön lämpötila-anturi (ylempi).



**Kuva 9, Pt-100 höyrystimessä**

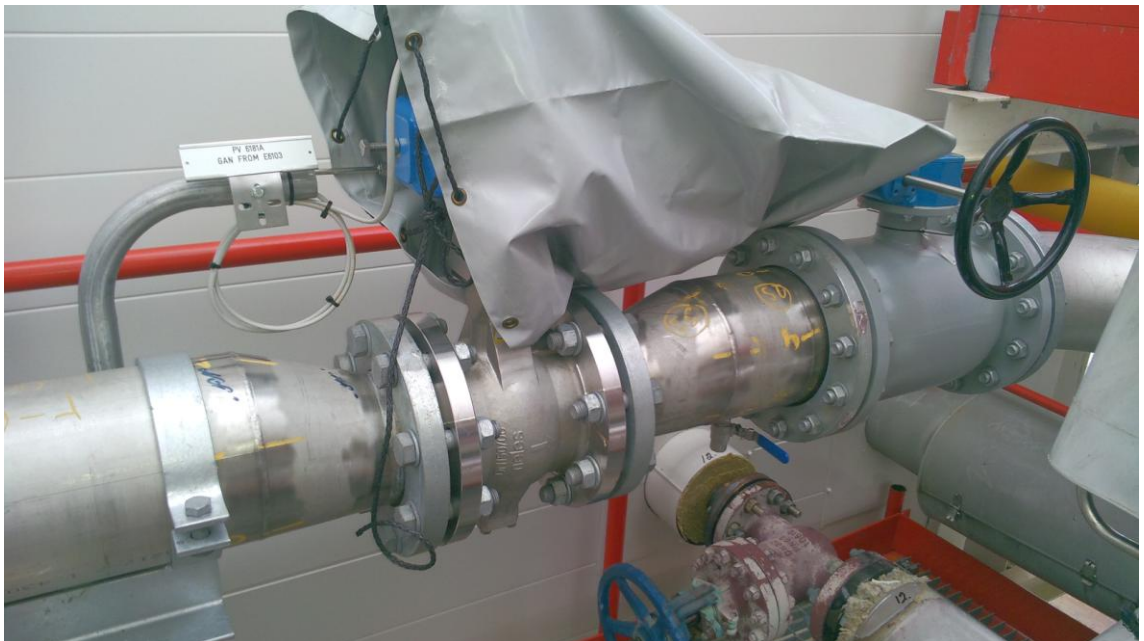


Kuvassa 10 on höyrystinrakennuksen sisälle asennetut hörymääränsäätöventtiilit asennettuna.



**Kuva 10, höyryventtiilit TV6186A ja TV6186B**

Kuvassa 11 on toinen höyrystinrakennuksen ulkopuolella sijaitsevista GAN-säätöventtileistä.



**Kuva 11, GAN säätöventtiili PV6181A**

### 6.1.5 DCS-ohjelmointi

DCS-ohjelmointi oli ostettu ABB:ltä laitehankinnan yhteydessä. ABB:lle toimitettiin toimintakuvaukset, joiden perusteella ABB ohjelmoi ohjelmat järjestelmään. ABB 800AC prosessiaseman ohjelmointi tapahtuu CM (Control Module) piirejä muodostamalla. Typpiputken mittaukset lisättiin olemassa olevaan moduuliin. Höyrystintä varten luotiin oma Control Module.

## 7 Testaus

Testausta varten laadittiin testaustaulukko, joka toimi muistilistana ja kirjanpitona testauksen kulusta.

### 7.1 Laitteistotestaus

Laitteistotestaus jakautui automaatiojärjestelmän ja kenttälaitteiden sekä kaapeloinnin testaukseen.

### 7.2 Automaatiojärjestelmän testaus

Automaatiojärjestelmässä testattiin uuden I/O-aseman kommunikointi prosessiaseman kanssa. I/O-kanavat testattiin kaikki simuloimalla mittausta kenttäkoteloilta ja tarkistamalla insinööriasemalta kanavan mittausarvo. Kahdennus testattiin siten, että kahdenetuista korteista otettiin toinen pois ja tarkistettiin järjestelmän toiminta. Väylien kahdennus testattiin kytkemällä aktiivinen väylä irti ja toteamalla järjestelmän siirtyneen käyttämään varaväylää. Testausten yhteydessä tarkistettiin, että valvomoon tuli asianmukaiset hälytykset.

### 7.3 Kaapeloinnin testaus

Kaapeloinnin testaus suoritettiin automaatiojärjestelmän testausten yhteydessä, kuten edellisessä luvussa on selostettu.

#### 7.4 Kenttälaitteiden testaus

Pt100 lämpötila-anturit testattiin vertaamalla anturin antamaa mittaustulosta ympäristön mitattuun lämpötilaan ja lähekkäin olevien anturien näyttämää toisiinsa.

Painelähettimet testattiin syöttämällä testauslaitteistolla lähettimien kalvolle tunnettu paine ja vertaamalla tätä valvomossa näkyvään painearvoon.

Virtausmittaus FT5601 perustuu kuristuslaippaan ja paine-ero mittaukseen. Kyseessä on moni muuttujalähetin, jossa paine- ja lämpötilakompensointi suoritetaan lähettimesä. Lähetin testattiin kahdessa osassa siten, että paine-ero ja painekompensointi kennon testattiin syöttämällä niihin tunnettu paine-ero ja paine, sekä lukemalla kennon antamat arvot HART-mittauslaitteella. Lähettimen mittaamaa lämpötilaa verrattiin mitattuun ympäristön lämpötilaan. Lähettimen laskennan testaamista varten kutsuttiin laite-toimittajan laite-edustaja jolla oli tarvittava PC-ohjelma, jolla lähettimeen voitiin simuloida anturien arvot. Lähettimelle simuloitiin kuristuslaipan mitoituspisteen arvot ja valvomossa olevaa lukua verrattiin laipan spesifikaatioihin.

Venttiilitoimilaitteet testattiin ajamalla valvomosta venttiilit tiettyihin asentoihin manuaalisesti ja vertaamalla kentällä venttiilin todellista asentoa valvomosta ohjattuun arvoon.

#### 7.5 Ohjelmien testaus

Ohjelmien testaus tapahtui osittain laitteistotestauksen yhteydessä tarkistamalla I/O-korttien kytkentä Insinööriasemalta tuli samalla ohjelmalliset I/O-pisteet ja niiden alueet testattua. Prosessinohjaus sovellukset (Control Module) testattiin toimintakaavion määrittelyjen mukaisesti. Piireissä testattiin, että määritellyt hälytykset ja lukitukset toimivat toimintakuvauksen mukaisesti simuloimalla piirejä näytöltä ja tarkistamalla, että halutut toiminnot toteutuivat.

#### 7.6 Säätojentestaus

Säätoimet haettiin kuten selostettu kappaleessa 6. Säätoipiireille syötettiin hie-man simuloinnissa saatuja parametreja rauhallisemmat parametrit, joilla testaus aloitettiin. Höyrytimen vesitila lämmitettiin ensin normaaliin käyttölämpötilaan syöttämällä

pieni höyry määrä höyrytimeen käsiohjauksella. Varajärjestelmän muut höyrytimet asetettiin manuaalilaan ja kiinni, jotta voitiin testata pelkästään uutta höyrytintä. Ensin testattiin ajamalla laitokselta tuleva tyypin määrä pikkuhiljaa pienemmäksi, jolloin nähtiin, että säätöparametrit pystyvät pitämään höyrytimen lämpötilan ja GAN-putkisto paineen. Seuraavaksi testattiin siten, että höyrytimen GAN-venttiili oli kiinni ja laitokselta tulevan tyypin laitettiin kerralla kiinni, jolloin saatiin simuloitua laitoksen pysähtymisen. Höyrytimin testattiin vielä siten, että ainoastaan yksi GAN-venttiili oli käytössä, kun laitokselta tulevan tyypin määrä tippui kerralla nolnaan.

Testausten tuloksena todettiin, että höyrytimin pystyy pitämään tyypiverkoston paineen ja höyryn säädöt pystyivät pitämään höyrytimen vesitilan lämpötilan muutaman asteen tarkkuudella. Järjestelmässä kuitenkin esiintyi värähtelyä, jonka syyksi paljastui liian pieni nestetyypin syöttöputki höyrytimeen. Ongelma oli ollut jo tiedossa prosessisuunnittelussa ja putki on suunniteltu vaihdettavan suuremmaksi projektin seuraavassa vaiheessa. Säätöpiirit asetettiin vielä käsiohjaukselle ja tarkistettiin värähtelyn jatkuminen. Näin varmistettiin että, värähtely ei ollut säätöparametrien aiheuttamaa.

## **8 Dokumentointi**

Dokumentoinnissa käytettiin laitoksen olemassa olevia dokumentteja malleina. Laitoksen automaatio ja instrumentointi järjestelmästä on laadittu piirikaviot, korttikuvat ja johdotuskaaviot. Lisäksi höyrytiminprojektissa laadittiin toimintakaaviot ja selostukset sekä kaapeli- ja laiteluettelot sekä kaapeli- ja laitekilpiluettelot. Liitteessä 6 on työnäytöksena luodut autoCAD-kuvat sekä sanallinen toimintaselostus.

## 9 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli automatisoida uusi typpihöyrystin sekä ottaa se käyttöön ja virittää säätöparametrit siten, että typenvirtaus asiakkaalle on tasaista ja varmaa myös silloin kun laitos on miehittämättä. Tavoitteena oli myös tuottaa riittävä dokumentaatio asennus- ja ylläpitotöitä varten.

Asetetut tavoitteet saavutettiin ja työn tuloksena saatiin uuden typpihöyrystimen toimintavarmuus nostettua paremmalle tasolle kuin poistetussa höyrystimessä oli. Automaation dokumentaatio tuotettiin noudattaen laitoksen olemassa olevaa dokumentaatio tyyliä. Varajärjestelmän piireistä laadittiin myös toimintakaaviot ja toimintaselostukset. Laaditut toimintakaaviot ja selostukset auttavat käyttöhenkilökuntaa ymmärtämään eri mittaus- ja säätöpiirien toimintaa ja niiden tarkoitusta. Toimintakaavioista oli myös suuri apu automaatiojärjestelmän ohjelmoinnissa.

Säätöpiirien viritys toteutettiin tavoitteiden mukaisesti niin, että säätöpiirien parametrit olivat selvillä ennen putkistoasennusten valmistusta mikä nopeutti ja helpotti käyttöönottoa.

Tulevaisuuden vastaaviin projekteihin jäi opiksi tästä työstä dokumentaation ja esisuunnittelun tärkeys myöhempien vaiheiden helpottamiseksi. Simuloinnin avulla tehty säätösuunnittelua kannattaa hyödyntää aina kun prosessimallit ovat kohtuudella kehitettävissä.

## Lähteet

- 1 ABB, S800 I/O, General Information and Installation  
[http://www.aotewell.com/pdf/manual/ABB/IO/3BSE020923\\_CIO\\_S800\\_General.pdf](http://www.aotewell.com/pdf/manual/ABB/IO/3BSE020923_CIO_S800_General.pdf). Luettu 12.1.2014.
- 2 Armatec Painehäviö ja kv-arvo, <http://www.armatec.com/fi-tekniset-apuvalineet/painehavio-ja-kv-arvo>. Luettu 15.1.2014.
- 3 Samson Kv coefficient & valve sizing,  
[http://www.samson.de/pdf\\_en/t00050en.pdf](http://www.samson.de/pdf_en/t00050en.pdf). Luettu 10.2.2014.
- 4 Cengel, Yunus & Boles, Michael. 2011. Thermodynamics an Engineer Approach. McGraw-Hill New York, s. 72.