

DeltaV-vesiprosessin käyttöönotto ja kehitys



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Valkeakoski, Sähkö- ja automaatiotekniikka

Kevät, 2017

Henri Partala

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Valkeakoski

Tekijä	Henri Partala	Vuosi 2017
Työn nimi	DeltaV-vesiprosessin käyttöönotto ja kehitys	
Työn ohjaaja/t	Katariina Penttilä	

TIIVISTELMÄ

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli käyttöönottaa ja kehittää DeltaV-automaatiojärjestelmällä toimiva vesiprosessi opetuskäyttöön. Työn toimeksiantajana toimi Hämeen ammattikorkeakoulu. Työ pohjautuu Aimo Tikan vuonna 2001 rakentamaan laitteistoon, joka ei ollut käytössä pitkään aikaan. Työ koostui laitteiston tarkastamisesta, korjaamisesta, dokumentoinnista ja ohjelman kehittämisestä.

Lähtökohtana oli tehdä laitteistosta helpommin lähestyttävä oppilaille ja opettajille, joilla ei ole DeltaV-kokemusta. Vesiprosessin avulla voidaan harjoitella prosessiautomaation keskeisiä asioita, kuten kenttälaitteiden ja kenttäväylien konfigurointia, sekä virtaus- ja pinnanmittaus säätöpiirin virittämistä.

Työn tuloksena oli toimiva vesiprosessi. Kenttälaitteiden positiointi, operointi näytön kehittäminen ja järjestelmä kirjaston siivous puolestaan paransi laitteen käytettävyyttä.

Avainsanat Prosessiautomaatio, kenttäväylät, instrumentointi

Sivut 47 sivua, joista liitteitä sivua 9

Electrical and Automation Engineering
Valkeakoski

Author	Henri Partala	Year 2017
Subject	Startup and development of DeltaV water process unit	
Supervisors	Katariina Penttilä	

ABSTRACT

The topic of this thesis was to startup and develop an educational DeltaV water process unit for Häme University of Applied Sciences. The work was based on an existing unit built by Aimo Tikka in 2001, but it has not been used for a long time. The work consisted of an inspection and repair of the unit, documentation and software development.

The premise was to make this unit more approachable for students and teachers with no experience of DeltaV. Through this water process unit students could practice many key issues of process automation, such as configuration of field devices and fieldbuses together with a flow- and level measurement control circuits.

Water process unit started to function again after the repairs. The usability of the unit was improved by device tag numbering; development of the operator display and by cleaning of the automation system library.

Keywords Process automation, fieldbuses, instrumentation

Pages 47 pages including appendices 9 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	PROSESSI.....	1
3	PROSESSIAUTOMAATIO.....	2
3.1	Prosessiautomaatiojärjestelmä.....	2
3.2	DeltaV-automaatiojärjestelmä.....	3
4	KENTTÄVÄYLÄT.....	4
4.1	Kenttäväyläsegmentti	5
4.2	Kenttäväylätopologiat	6
4.3	Kenttäväylän OSI-malli	7
4.4	Foundation Fieldbus.....	8
4.5	Profibus DP.....	12
4.6	AS-interface.....	16
4.7	HART.....	18
5	INSTRUMENTOINTI.....	20
5.1	Painemittaus	20
5.2	Virtausmittaus.....	21
5.3	Lämpötilan mittaus	24
5.4	Säätöventtiili	27
5.5	Moottoriohjaukset	28
6	KÄYTTÖÖNOTTO JA KEHITYS.....	29
7	SEKVENSIOHJELMAT	35
8	YHTEENVETO	36
	LÄHTEET.....	37

Liitteet

Liite 1	Aloitusekvenssi
Liite 2	Lopetusekvenssi

1 JOHDANTO

Tämä insinööri työ on tehty Hämeen ammattikorkeakoulun toimeksiannosta. Työ pohjautuu Aimo Tikkan vuonna 2001 tekemään vesiprosessi laitteistoon. Tuolloin Aimo Tikka teki laitteiden mitoittamisen, sekä virtausteknillisen suunnittelun, joita on tässä työssä käytetty hyväksi.

Työn tavoitteena oli palauttaa pitkään käyttämättä ollut laitteisto takaisin käyttöön. Samalla oli tarkoitus kehittää prosessin hallintaa käyttäjän ystävällisemmäksi, jotta laitteiston kanssa pystyy harjoittelemaan ilman aikaisempaa kokemusta DeltaV-automaatiojärjestelmästä tai kenttäväylistä.

Käyttöönottovaihe koostui laitteiston tarkastamisesta ja rikkiäisten osien vaihdosta. Työn kehittämisvaihe koostui laitteiden positiointista, sekä suunnittelu työkalun ja operaattori näytön välille tehdystä sekvenssin vaihekuvauksesta. Tämän avulla käyttäjä voi seurata prosessia ohjaavan sekvenssin toimintaa operaattori näytöltä.

2 PROSESSI

Prosessilla tarkoitetaan järjestelmää tai systeemiä, jossa esiintyy mekaanisia, sähköisiä, fysikaalisia tai kemiallisia ilmiöitä, jotka liittyvät kiintoaineiden, nesteiden, kaasujen tai energian siirtoon tai varastointiin tai olomuodon muutokseen. Prosessiin vaikuttavat tulomuuttujat ovat herätteitä ja prosessin vasteet ovat lähtömuuttujien arvoja ajan funktiona. Prosessi on yleisnimi kaikille mahdollisille sovelluskohteille, joihin voidaan soveltaa automaatiota. Määritelmän mukaan (ISO 10628) prosessi on sarja fysikaalisia, kemiallisia tai biologisia toimenpiteitä, joiden avulla muokataan, siirretään tai varastoidaan materiaalia tai energiaa. (Kippo & Tikka, 20.)

Tässä työssä sanalla vesiprosessi tarkoitetaan opetuskäyttöön valmistettua nesteen varastointi- ja siirtojärjestelmää. Järjestelmän avulla voidaan opettaa prosessiautomaation keskeisiä asioita, kuten instrumentointia, väylätekniikkaa ja säätöpiirien toimintaa.

3 PROSESSIAUTOMAATIO

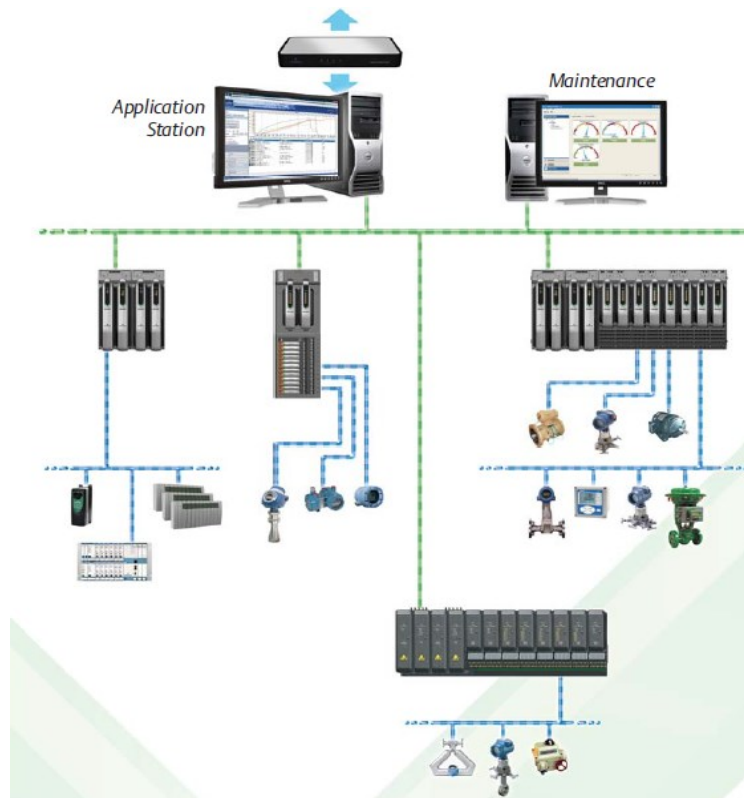
Prosessiautomaatio on osa teollisuusautomaatiota eli teollisuuslaitoksissa sovellettua automaatiota. Tämän tuotantolaitosten automatisoinnin tekniikka koostuu mittalaitteista, toimilaitteista ja tietokonepohjaisista automaatiojärjestelmistä sekä ohjelmistoista. Näihin liittyvät mm. loogiset operaatiot ja päättely, säätötekniikka, suodatus, visualisointi ja vikadiagnostiikka. (Kippo & Tikka, 11.)

Prosessiautomaatiota sovelletaan virtaavien aineiden, kuten nesteiden, kaasujen, lietteiden ja jauheiden käsittelyyn. Virtaavien aineiden käsittely on samanlaista teollisuuden alasta riippumatta. Prosessi pyritään hallitsemaan samoja suureita, kuten virtausnopeutta, painetta, lämpötilaa, pinnankorkeutta tai jotakin pitoisuutta. (Kippo & Tikka, 12.)

Tässä työssä käsitellään kaikkia yllämainittuja suureita, lukuunottamatta pitoisuutta.

3.1 Prosessiautomaatiojärjestelmä

Prosessiteollisuuden automaatio on mittauksiin perustuvaa säätöä. Prosessista kerätään mittaustietoa, jota verrataan vertailusignaaliin. Vertailusignaalin ja mittaustiedon välistä erotusta, erosuuretta käytetään säätöalgoritmissa laskettaessa uutta ohjaussignaalia toimilaitteelle, jonka avulla mittaus voidaan mahdollisimman lähellä vertailusignaalia. Prosessiin kytketyt mittalaitteet syöttävät jatkuvasti tietoa prosessiautomaatiojärjestelmään, joka kykenee ohjaamaan prosessia toimilaitteidensa avulla. Prosessiautomaation tyypillinen rakenne kuvassa 1. Toimilaitteet vaikuttavat prosessin halutulla tavalla, esimerkiksi venttiili voi muuttaa jonkin putken virtausta ja sitä kautta säiliön pintaa. Nykyisten mitta- ja toimilaitteiden mikroprosessori käsittelee tietoja itsenäisesti. Älykkäät kenttälaitteet kommunikoivat sekä keskenään, että muiden automaatiolaitteiden kanssa alemman tason tietoverkon, kenttäväylän avulla. (Kippo & Tikka, 13.)



Kuva 1. Prosessiautomaation rakenne (Emerson Process Management).

Automaatioarkkitehtuuri on viime vuosina muuttunut väyläteknikan kehittymisen ja standardoitumisen seurauksena. Automaatiojärjestelmä koostuu asemista, jotka hoitavat eri tehtäviä. Prosessiasemat (Process Control Station PCS) ovat erillaisten liitäntöjen kautta yhteydessä prosessiin, hoitavat tarvittavat säädöt, mittaukset ja ohjaukset. Kenttälaitteet liittyvät muuhun järjestelmään perinteisten analogisten ja binääristen liitäntöjen tai kenttäväylien avulla. (Kippo & Tikka, 44.)

Yleisimmin käytetyt prosessiautomaatio järjestelmät Suomessa:

- Valmet Automation DNA & Damatic XD
- Honeywell Alcont
- ABB 800 xA
- Emerson DeltaV
- Siemens PCS7 & S7

3.2 DeltaV-automaatiojärjestelmä

Vesiprosessin ohjaus on toteutettu DeltaV-automaatiojärjestelmällä. DeltaV oli ensimmäinen automaatiojärjestelmä, joka toi markkinoilla erilliset kenttäväylä liitännät. Kaikille kenttäväylille yhteinen diagnostiikka ja konfigurointi työkalu AMS (Asset Management System) oli myös ensimmäinen sarjassaan. Tässä työssä käytettiin DeltaV:n M-sarjalla toteutettua oppilaitoksille suunnattua pakettia, jossa yhteen kontrolleriin

on liitetty mahdollisimman monipuoliset tulokortit. Kuvassa 2 on työssä käytetty järjestelmä ”rauta”. Kortit vasemmalta oikealle, syöttöyksikkö, kontrolleri, Foundation Fieldbus, Profibus DP, AS-i, Analog in, Analog out, Discrete in, Discrete out ja toinen Foundation Fieldbus.

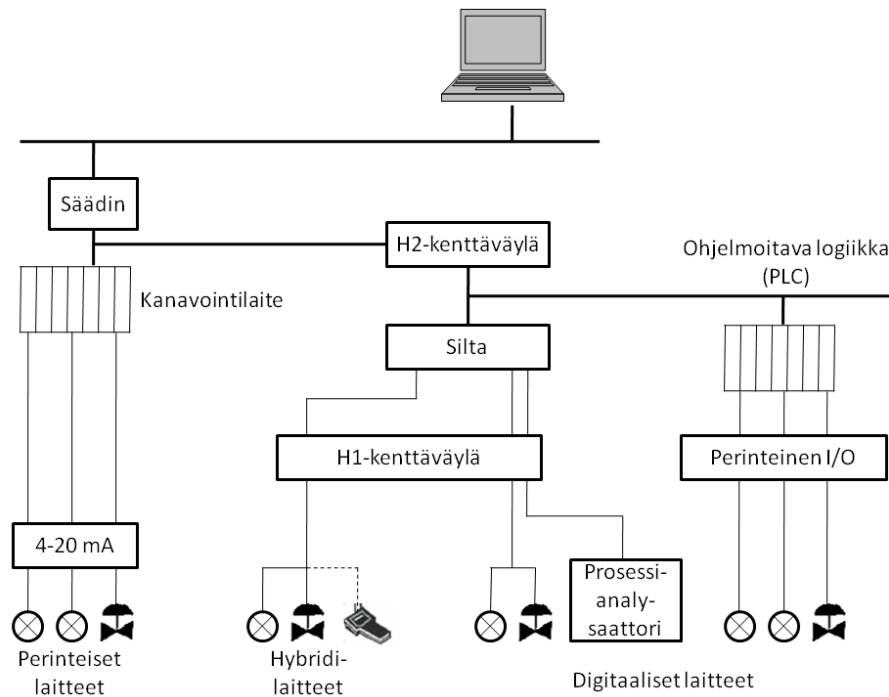


Kuva 2. DeltaV-järjestelmän osat.

4 KENTTÄVÄYLÄT

Mikroprosessorien kehittyminen mahdollisti uusien toimintojen toteuttamisen kenttälaitteisiin, mikä lisäsi oleellisesti siirrettävän tiedon määrää. Kenttälaitteisiin kyettiin suunnittelemaan uusia älykkäitä toimintoja, kuten omia säätäjätoimilohkoja ja vika diagnostiikkaa, tuli tarpeelliseksi välittää tietoa kahteen suuntaan. Analogisen 4 – 20 mA signaalin tilalle tarvittiin uusi tiedonsiirtotekniikka. (Sorsanen 2009.)

Perusajatus on, että automaatiojärjestelmä ja kenttälaitteet voidaan yhdistää vain yhtä parikaapelia käyttäen, siten että runkokaapeli vieään mahdollisimman lähelle mitattavaa prosessia. Kenttälaitteet liitetään parikaapelin päässä olevaan kytkentä rasiaan, jolloin kaapeloinnin määrä pienenee ja yksinkertaistuu merkittävästi. (Sorsanen 2009.)



Kuva 3. Kenttäväylärakenne (Sorsanen 2009).

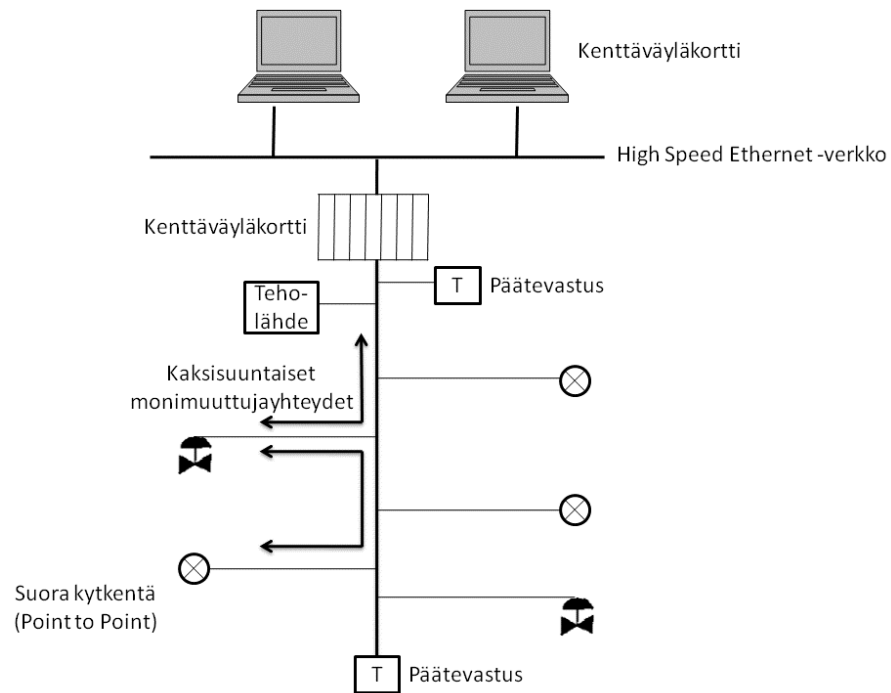
4.1 Kenttäväyläsegmentti

Kenttäväyläsegmentillä tarkoitetaan yhden tehollähteen, runkokaapelin ja siihen liitettyjen kentälaitteiden kokonaisuutta. Signaalien vaimenemisen takia yhden segmentin laite määrä on rajallinen.

FF-väylän teoreettinen maksimi laite määrä on 16 kpl. Todellisuudessa jokaisen segmentin laite määrä täytyy laskea tehollähteen, kaapelin resistanssin ja kentälaitteiden virrankulutuksen mukaan. Olennaista on, että myös segmentin viimeiselle laitteelle saadaan vähintään 9 V jännite.

Kuvitellaan, että halutaan 16 laitteen segmentti. Laitteiden kokonaisvirrankulutus on tällöin $16 \times 20 \text{ mA} = 320 \text{ mA}$. Käytetyn kaapelin ominaisresistanssi on $50 \text{ } \Omega/\text{km}$ ja tehollähteenä on 25 V tehosovitin. Kaapeliin käytettävissä oleva jännite on $25 - 9 = 16 \text{ V}$. Sallittu resistanssi on näin ollen $16 \text{ V} / 0.320 \text{ A} = 50 \text{ } \Omega$. Kaapelin maksimipituus tässä tilanteessa on siis 1000 m.

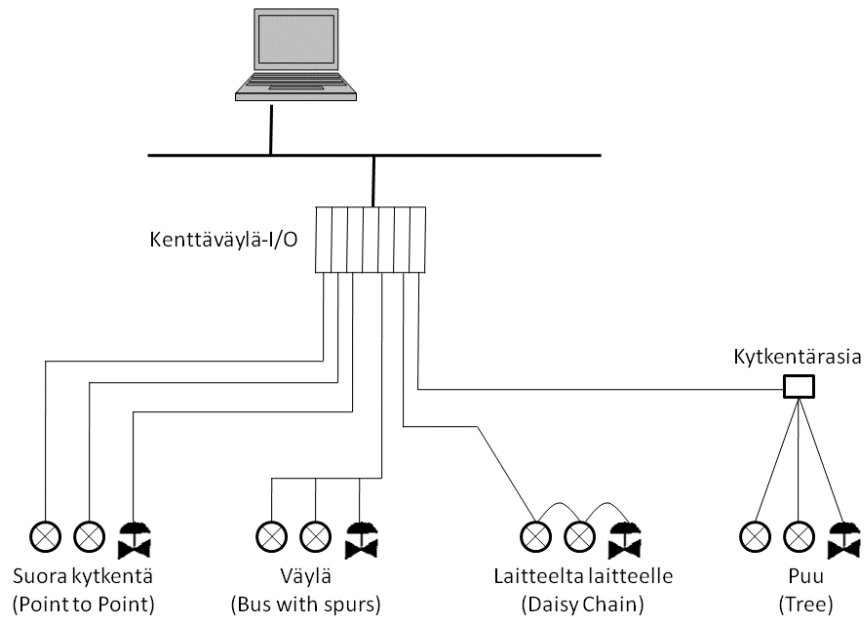
Käytännön segmentin mitoitukseen on tärkeää selvittää laitteiden todellinen virrankulutus. FF-väyläsegmentti vaatii toimiakseen aina päätevastukset. Päätevastusten tehtävä on estää kaapelissa kulkevien signaalien heijastuminen. Päätevastukset toteutetaan kytkemällä segmentin runkokaapelin molempiin päihin rinnalle $100 \text{ } \Omega$ ja $1 \mu\text{F}$ sarjaankytkentä. (Control Engineerin 2008). Kuvassa 4 näytetään päätevastusten sijainti segmentissä.



Kuva 4. Esimerkki kenttäväyläsegmentistä (Sorsanen 2009).

4.2 Kenttäväylätopologiat

Kenttäväylätopologia määrittelee, kuinka kenttäväyläsegmentissä olevat kenttälaitteet on kytketty toisiinsa nähden. Mahdollisia kenttäväylätopologioita ovat suora kytkentä (Point-to-point), laitteelta laitteelle -kytkentä (Daisy Chain), puukytkentä (Tree) ja väyläkytkentä (Bus with spurs). Kenttälaitteet voidaan kytkeä myös yhdistämällä edellä mainittuja topologioita keskenään sovelluskohteesta riippuen. (Sorsanen 2009.)



Kuva 5. Kenttäväylätopologiat (Sorsanen 2009).

Vesiprosessi työn instrumentoinnissa on käytetty kolmea edellä mainituista kenttäväylätopologioista.

- Suora kytkentä mA + HART
- Väylä kytkentä AS-i
- Puu / tähti kytkentä Foundation Fieldbus

4.3 Kenttäväylän OSI-malli

Kenttäväylän tiedonsiirtoprotokolla perustuu ISO:n (International Organisation for Standardization) vuonna 1984 julkaisemaan kansainväliseen OSI-malliin (The Open Systems Interconnection Reference Model), joka on tietoverkkojen suunnittelua varten kehitetty kansainvälinen viitekehys. Malli jakaa tiedonsiirron seitsemään kerrokseen. Kenttäväyläteknikka käyttää OSI-mallin määrittämistä kerroksista tiedonsiirron suorituskyvyn takaamiseksi vain kolmea. Lisäksi Foundation Fieldbus kenttäväyläprotokolla on määrittänyt kahdeksannen kerroksen, joka on nimeltään käyttäjäkerros (User Layer). (Sorsanen 2009). Sekä alkuperäinen, että kenttäväylille suunniteltu OSI-malli löytyy taulukosta 1.

Taulukko 1. OSI-malli. Kenttäväylän kerrokset lihavoitu (Sorsanen 2009).

7. Sovelluskerros	Yhteydenpidon osapuolien tunnistus, autorisointi ja dialogitavan valinta
6. Esitystapakerros	Syntaksin valinta, syntaksin muuntaminen ja tietorakenteen muuntaminen
5. Yhteysjakso	Yhteyksien luominen ja purku, dialogin ohjaus ja kokousliitännöiden synkronointi
4. Kuljetuskerros	Siirtoliitännöiden luominen, kanavointi, vianhaku ja korjaus
3. Välityskerros	Reititys, verkkoliitännöiden kanavointi ja virtauksen säätely
2. Siirtoyhteyskerros	Tahdistus, järjestyksen- ja virtauksenvalvonta
1. Fyysinen kerros	Bittien siirtäminen, koodaus ja tahdistus

4.4 Foundation Fieldbus

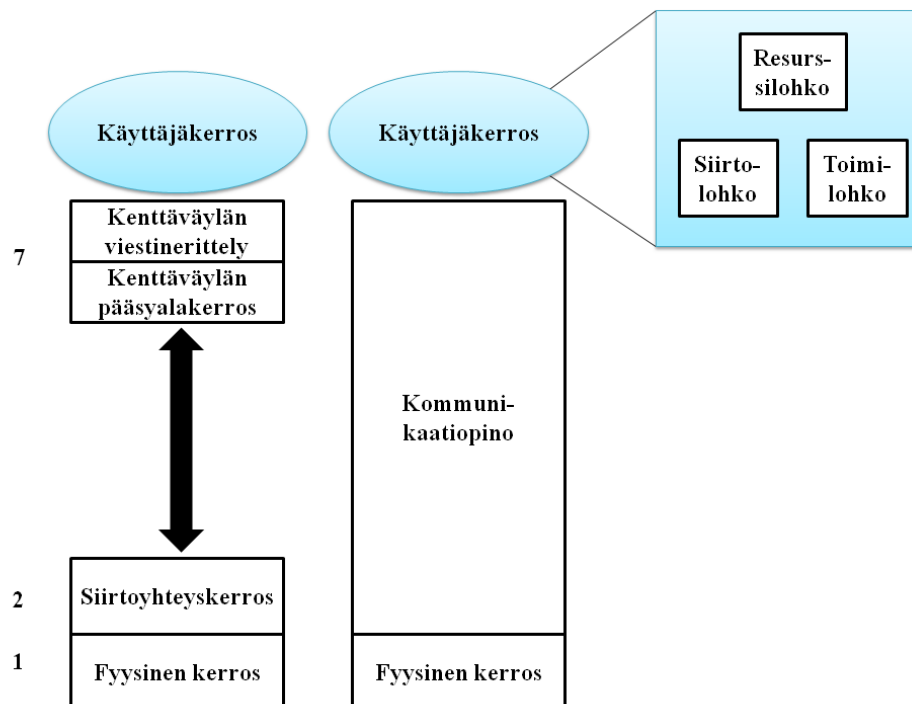
FF (Foundation Fieldbus) -kenttäväylä on Fieldbus Foundation -korporaation kehittämä täysin digitaalinen, kaksisuuntainen, sarjaliikenteinen kommunikointi protokolla, joka on suunniteltu erityisesti prosessiautomaation tarpeisiin. FF-kenttäväylä mahdollistaa laitteiden välisen kommunikoinnin, minkä vuoksi älykkäiden kenttälaitteiden toimintoja voidaan hyödyntää ja säätö voidaan tarvittaessa hajauttaa. Tehonsyöttö ja tiedonsiirto signaalit kuljetetaan samaa runkokaapelia pitkin. FF-kenttäväyläperhe tarjoaa sekä hitaamman H1 väylän että nopeamman korkeatasoisen HSE (High Speed Ethernet) väylän, joiden avulla kenttälaitteet ja ylemmän tason valvonta- ja säätötekniikat voidaan yhdistää yhtenäiseksi tietoverkoksi. H1-väylän tiedonsiirtonopeus on 31,24 kbit/s, kun taas HSE-väylä toimii nopeudella 100 MB/s ja se käyttää Ethernet-standardiin perustuvia komponentteja. Tiedonsiirto on toteutetty Manchester-koodilla. (Fieldbus Foundation 2003).

FF-kenttälaitteen mukana toimitetaan aina DD (Device Description)-tiedosto, joka on kriittinen osa asennusta. DD-tiedostoa käytetään toimilohkon (Function Block) ja käyttäytymis määrittelyjen lisäksi, jotta saavutetaan täydellinen yhteentoimivuus kenttälaitteen ja valitun automaatiojärjestelmän välille. DD-tiedostoa voidaan ajatella kenttälaitteen "driverina". DD-tiedosto asennetaan automaatiojärjestelmän kirjastoon. (Fieldbus Foundation 2003).

FF-kenttäväylä perustuu OSI-malliin, mutta muiden kenttäväylien tapaan FF-väylä käyttää tiedonsiirron suorituskyvyn takaamiseen kolmea tasoa. Käytetyt kerrokset ovat 1, 2 ja 7. Fieldbus Foundation on määritellyt käyttämänsä mallin siten, että kerros 7 on jaettu kahteen osaan, joita ovat kenttäväylän viestinerittely (Fieldbus Message Specification) ja kenttäväylän pääsyalakerros (Fieldbus Access Sublayer). Lisäksi kerrokset 2 ja 7 muodostavat kokonaisuuden, jota Fieldbus Foundation kutsuu kommunikaationipuksi (Communication Stack). (Fieldbus Foundation 2003). FF-väylän OSI-malli kuvassa 7.

Edellämainittujen kerrosten lisäksi FF-väylä käyttää Fieldbus Foundation -korporaation määrittämää käyttäjäkerrosta (User Layer), jota ei ole määritelty alkuperäisessä OSI-mallissa. Käyttäjäkerros toimii muiden kerrosten yläpuolella ja koostuu kolmesta lohkoista. (Fieldbus Foundation 2003).

- Resurssilohko (Resource Block)
Määrittelee kenttäväylälaitteen ominaisuudet, kuten sarjanumeron, nimen ja valmistajan.
- Toimilohko (Function Block)
Sisältää prosessinohjaustoimintoja, joiden avulla voidaan toteuttaa säädön hajautus.
- Siirtolohko (Transducer Block)
Sisältää tietoa kenttälaitteesta, kuten kalibrointi päivämäärän ja anturityypin. Käytetään kenttälaitteen konfigurointiin.



Kuva 6. FF-väylän OSI-malli (Sorsanen 2009).

Vesiprosessin DeltaV-järjestelmässä on FF-kenttäväylälle tarkoitettu tulokortti Fieldbus H1, johon on mahdollista kytkeä kaksi segmenttiä. Vesiprosessin vähäisen laitemäärän ja muiden käytettävien väyläteknikoiden takia, käytössä on vain yksi neljän laitteen segmentti. M-sarjan tulokortissa ei ole sisäänrakennettua teholähdettä, joten jokaiselle segmentille täytyy olla erillinen teholähde. Työssä käytettiin MTL5995 (Isolated power supply for Fieldbus systems) teholähdettä. Fieldbus tulokortti kuvassa 7 ja kenttäväylä teholähde kuvassa 8.

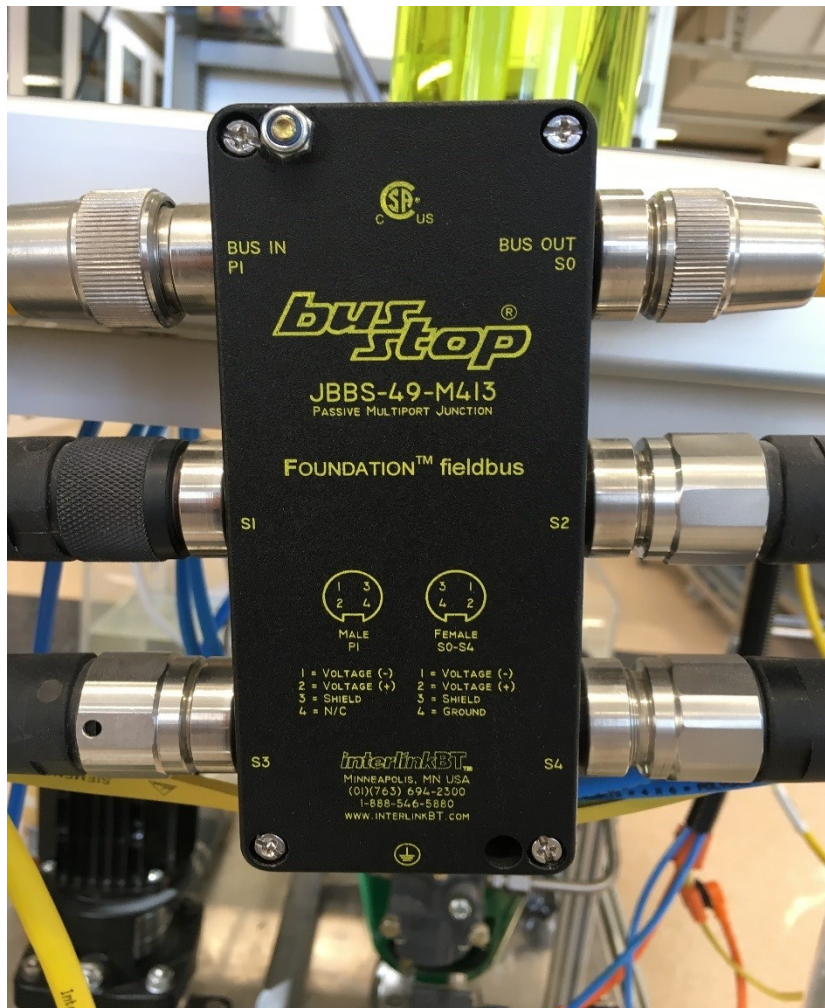


Kuva 7. DeltaV M-sarjan FF-väylä I/O-kortti (Emerson process FF 2013).



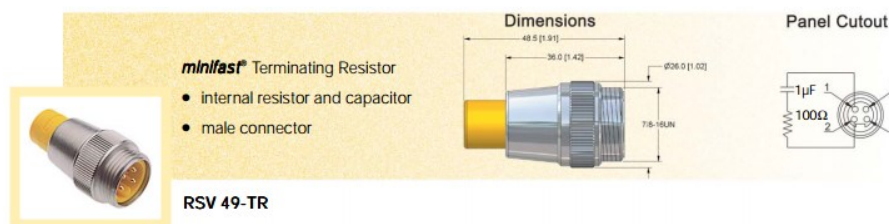
Kuva 8. MTL5995 teholähde kenttäväylä segmenteille (MLT 2010).

FF-segmentti on kaapeloitu tähti (Star), topologian mukaisesti, jossa kenttälaitteet kytketään runkokaapeliin käyttämällä yhtä kytkentärasiaa. Vesiprosessissa on yhteensä neljä FF-kenttälaitetta, joten kytkentärasiana toimii InterlinkBT:n passiivinen monikanavainen kytkentärasia (Passive Multiport Junction). Kuva 9.



Kuva 9. FF-segmentin kytkentärasia.

Liittimistä S1, S2, S3 ja S4 kytkeydytään kenttälaitteisiin. BUS in -liittimeen tuodaan segmentin runkokaapeli ja BUS out -liittimestä voidaan tarvittaessa jatkaa väylää eteenpäin. Jos tarvittavat kenttälaitteet saadaan syötettyä yhdellä kytkentärasialla, tarvitsee väylän päätevastus asentaa BUS out -liittimeen kuvassa 9 näkyvällä tavalla. Käytetty päätevastus on kenttäväylä käyttöön suunniteltu minifast päätevastus (Terminating Resistors) RSV-49-TR, johon on sisään rakennettu väylän tarvitsema 100 Ω vastuksen ja 1 μF kondensaattorin sarjaankytkentä. Liittimen tiedot kuvassa 10.



Kuva 10. Päätevastus (Steven Engineering 2003).

FF-kenttäväylään on kytketyt laitteet vesiprozessissa:

- FV-1 säätöventtiili
- LT-1 painelähetin
- LT-2 painelähetin
- FT-1 virtausmittari

4.5 Profibus DP

Profibus DP (Distributed Periphery) väylää käytetään liittämään hajautettua I/O:ta tai taajuumuuttajia automaatiojärjestelmään hyvin nopealla vastaajalla (Siemens 2017).

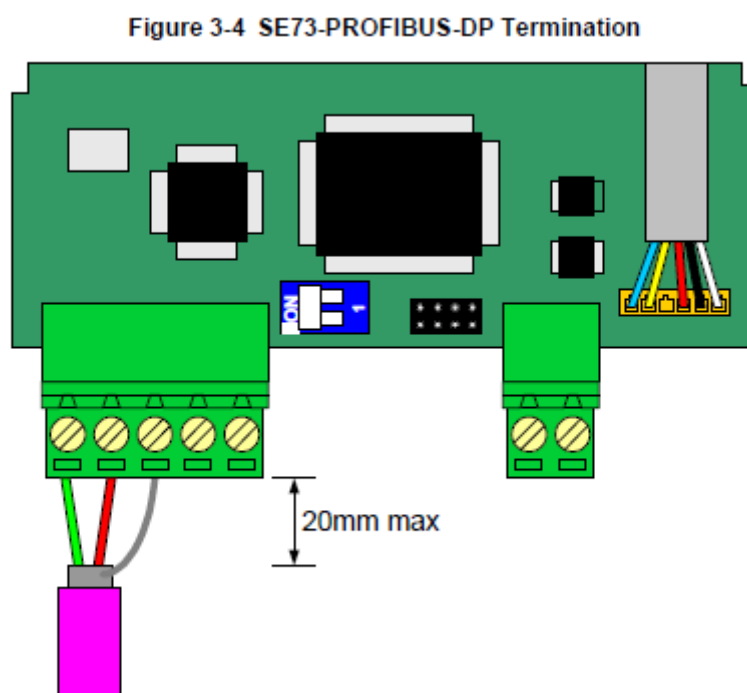
OSI-tasomallin siirtoyhteyskerros (Taso 2) määrittelee master-orjamenettelyn ja valtuuden siirron (Token Passing) useiden master-laitteiden välillä. Tasolla 2 määritellään myös toimintoja kuten datakehysten käsittely. Sovellustaso (Taso 7) määrittelee käytetyn sovelluksen ja rajapinnan sovellusohjelmaan. Fyysinen kerros (Taso 1) määrittelee kuinka data siirtyy sähköisesti mekaanisesti. Tämä sisältää koodaustavan ja tiedonsiirto-standardin. Profibus DP käyttää RS-485-tiedonsiirto-standardia ja sillä päästään korkeaan tiedonsiirtonopeuteen (12 Mbit/s). (Harjula 2005.)

Kaapeloinnissa käytetään aina tyyppin A suojattua parikaapelia, mikä mahdollistaa korkean tiedonsiirto-nopeuden. Väyläsegmentin eli kahden päätevastuksen välillä olevan kaapelin kokonaispituus määrittää väylällä tapahtuvan liikennöinnin maksiminopeuden. Taulukon 2 mukaan, suurimpaan liikennöintinopeuteen 12 Mbit/s päästään vain segmentin pituudella 100 metriä. (Harjula 2005.)

Taulukko 2. Väyläsegmentin maksimi-kaapelipituudet (Harjula 2005).

Data transfer rate in kbit/s	9,6	19,2	45,45	93,75	187,5	500	1500	3000	6000	12000
Max. segment length in m	1200	1200	1200	1200	1000	400	200	100	100	100

Vesiprosessin DeltaV-järjestelmässä on tulokortti Profibus DP kommunikointi varten. Erillistä teholähdettä ei tarvita, vaan kommunikointiin tarvittava energia saadaan DeltaV:n kortilta. Normaalisti Profibus DP käyttää puu -tai väylä topologiaa, mutta vesiprosessissa ohjataan vaan yhtä taajuusmuuttajaa, joten käytetty topologia on suora kytkentä. Tällöin DeltaV:n kortti ja taajuusmuuttaja muodostavat segmentin joka tarvitsee päätevastuksen molempiin päihin. Sekä DeltaV:n kortilla, että taajuusmuuttajassa on sisäänrakennettu päätevastus joka voidaan tarvittaessa ottaa käyttöön, joten erillisiä vastuksia ei tarvitse kytkeä. DeltaV -järjestelmässä vastus otetaan käyttöön ohjelmassa. Kuvassa 11 näkyy Commander SE -taajuusmuuttajan Profibus DP modulin kytkentä. Päätevastukset saadaan käyttöön asettamalla kytkin SW 1 (Sininen kytkin), asentoon ON.



Kuva 11. Commander SE73-Profibus-DP päätevastus (Control Techniques 2001).

Jokaisella Profibus DP -väylään asennetulla laitteella täytyy olla uniikki solmuosoite (Node Address). Jos kahdella tai useammalla laitteella on sama osoite, väylän toiminta voi häiriintyä. Osoite voidaan valita väliltä 1–125. (Control Techniques 2001). Commander SE:lle määritettiin osoitteeksi 10.

Kommunikoinnin muodostaminen DeltaV:n (Master) ja Commander taajuusmuuttajan (Slave) välille edellyttää GSD -tiedoston lataamista DeltaV:n kirjastoon.

GSD -tiedoston avulla identifioidaan Profibus DP -laite. Se sisältää dataa, joka mahdollistaa valmistaja riippuvaiset konfigurointi työkalut. Tyypillistä tietoa GSD -tiedostossa on toimittaja informaatio, tuetut siirtonopeudet, ajoitus tieto, tuetut ominaisuudet ja käytettävissä olevat I/O- signaalit. GSD -tiedosto täytyy olla saatavilla jokaiselle DP- orjalle (Slave). DeltaV -järjestelmä käyttää tätä informaatiota kommunikoinnin muodostamiseen orja laitteen kanssa. (Emerson Process DP 2013).

Kun GSD -tiedosto on asennettu, voidaan valita kommunikoinnissa käytettävä data formaatti. Commander taajuusmuuttajan SE-73-Profibus DP -moduuli tunnistaa käytettävän dataformaatin automaattisesti kun DeltaV (Master) alustaa kommunikoinnin. Tämän jälkeen voidaan määrittää halutut signaalit ohjausta (Output) ja lukua (Input varten). Esimerkiksi kuvasta 11 käy ilmi, miten käynnistys / pysäytys käsky on määriteltä. Tavu siirron (Byte offset) avulla saadaan ohjattua väylälle lähetettävä 16 bit kokonaisluku ohjaus-sanaan (Control Word). Taulukossa 3 näytetään Commander SE:n data järjestys käytetyssä formaatissa.

Data Mapping

Standard network byte order

Signal direction:

Byte offset:

Data type:

Use Scaling

0% of scale:

100% of scale:

Bit Pattern

First bit used:

Number of used bits:

Sample bit pattern:

15

Kuva 12. DeltaV -järjestelmän Profibus ohjaus-sanan määrittely.

Taulukko 3. SE73-Profibus DP data järjestys (Control Techniques 2001).

Cyclic Channel	Default Mapping Status
IN Word 0	Reserved for non-cyclic PCP communications
IN Word 1	Status word
IN Word 2	Post-ramp speed reference
IN Word 3	Motor load current as % of rated load current
OUT Word 0	Reserved for non-cyclic PCP communications
OUT Word 1	Control word
OUT Word 2	Digital speed reference 1
OUT Word 3	Not mapped

Vastaavalla tavalla rakennetaan kaikki tarvittavat signaalit ja kytketään ne suunnittelu työkalussa input parametrien avulla toimilohkoihin.

Moottorin käynnistystä ohjataan moottoritoimilohkolla. Kun moottorilla annetaan käyntilupa, moottoritoimilohko muuttaa lähtönsä (Output) tilaan 1. Moottorilohkon ja väylälle kirjoittavan lähtö parametrin välissä on laskentatoimilohko, joka muuttaa 1 → 19, mikä vastaa binääri muodossa taajuusmuuttajan käynnistys käskyä. Sama tapahtuu pysäytyksessä, mutta muunnos on 0 → 17.

Moottorin nopeusohje kirjoitetaan virtaus-säätöpiirin FICZA-120 PID -säätimen lähtöön kytketyllä AO (Analog Output) lohkokalla. Moottori on kytkettynä pumppuun, joten virtausmäärää voidaan hallita moottorin pyörimisnopeuden avulla.

Takaisinkytkentänä luetaan 16 bit kokonaisluku tilasana (Status Word), joka puretaan boolean lohkon avulla biteiksi, joista luetaan bitti nro.2 (Drive Running). Taulukossa 4 on on tilasan 12 ensimmäistä bittiä.

Taulukko 4. SE73-Profibus-DP tilasana (Control Techniques 2001).

Bit	Parameter	Description
0	#10.01	Drive Healthy
1	#10.02	Drive Running
2	#10.03	Zero Speed
3	#10.04	Running At Or Below Minimum Speed
4	#10.05	Below Set Speed
5	#10.06	At Speed
6	#10.07	Above Set Speed
7	#10.08	Load Reached
8	#10.09	In Current Limit
9	#10.10	Regenerating
10	#10.11	Dynamic Brake Active
11	#10.12	Dynamic Brake Alarm

Profibus DP -väylätekniikalla saavutetaan paljon hyötyä moottorikäytöissä, koska voidaan hyödyntää nykyaikaisten taajuusmuuttajien suurta data määrää.

4.6 AS-interface

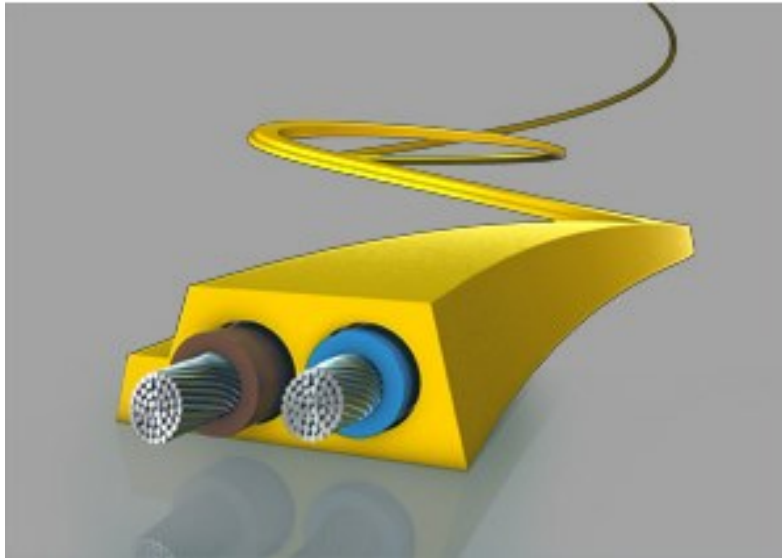
AS-i (Actuator Sensor Interface) väylä on standardoitu anturi- ja toimilaitteväylä, joka on kehitetty 1990-luvun alussa. AS-i:n kehityksessä oli mukana 11 eri laitevalmistajaa. AS-i on avoin standardi, eli järjestelmään liittyvä tieto on kaikkien saatavilla. (Yrttiaho 2015.) AS-i -väylän tunnus kuvassa 12.



Kuva 13. ASi -väylän tunnus (AS-interface 2017).

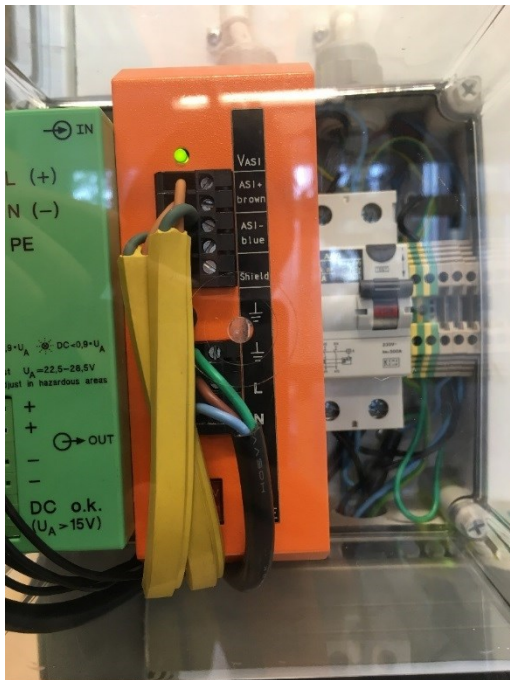
ASi-väylä kehitettiin minimoimaan liitännöistä ja johdotuksesta aiheuvia kustannuksia. Väylän keskeisimmät edut ovat helppo laajennettavuus perinteisiin kaapeloitiin verrattuna. Alun perin AS-i-väylä suunniteltiin käytettäväksi vain binääritoimilaitteiden ja antureiden kanssa, mutta siihen kehitettiin myöhemmin myös mahdollisuus analogisten signaalien vastaanottoon. Tiedonsiirtonopeudet riippuvat liitettyjen laitteiden määrästä. Suurin mahdollinen nopeus on 167 kbit/s. Väylä soveltuu käytettäväksi 10 – 100 metrin matkalle ja vahvistimien avulla jopa 300 metriin. (AS-interface 2017).

ASi-väylä on mahdollista rakentaa kaikkien yleisimpien väylätopologioiden mukaisesti. ASi-väylän symbolina pidetään keltaista litteää kaksijohdinkaapelia. Kuvassa 14.



Kuva 14. ASI-väylän kaapeli (AS-interface 2017).

Vesiprosessin DeltaV-järjestelmässä on ASI-väylälle tarkoitettu kaksi kanavainen tulokortti, johon on mahdollista kytkeä kaksi segmenttiä. Työssä on käytetty on yhtä kanavaa, koska tarvittavat laitteet saadaan kytkettyä yhteen segmenttiin. ASI-väylä tarvitsee erillisen tehonlähteen, joka on esitelty kuvassa 15.



Kuva 15. Työssä käytetty ASI-väylän tehonlähde.

Vesiprosessissa ASI-väylä on kytketty väylä topologian mukaisesti, joka on yksinkertainen ja nopea tapa muodostaa segmentti. Runkokaapeli vieään

jokaisen väylään kytkettävän laitteen ohi ja liityntä tehdään ASi-kaapelille tarkoitetuilla puristusliittimillä. Kuvassa 16 näkyy kuinka kytkentä on toteutettu kahdelle sulkuventtiilille.



Kuva 16. Liityntä runkokaapelista toimilaitteelle puristusliittimen avulla.

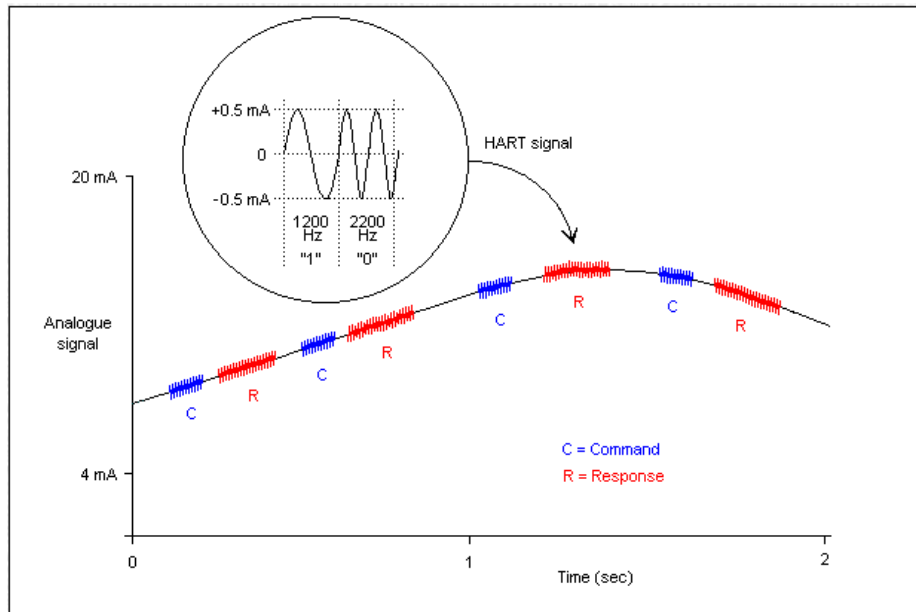
ASi-väylän avulla ohjataan neljää Bürkert pystykaraventtiiliä, joiden avulla voidaan avata tai sulkea vertikaalisäiliöiden tulo- ja lähtövirtaukset. Laitteiden positiot.

- HV-1 tulovirtauksen ohjaus säiliöön 1
- HV-2 lähtövirtauksen ohjaus säiliöstä 1
- HV-3 tulovirtauksen ohjaus säiliöön 2
- HV-4 lähtövirtauksen ohjaus säiliöstä 2

4.7 HART

Analogisista mittauslähettimistä digitaalisiin siirryttiin mikroprosessorien myötä. Lähettimessä tapahtuvasta digitaalisesti tiedonkäsittelystä saataisiin täysi hyöty vasta digitaalista tiedonsiirtoa käytettäessä. Amerikkalainen automaatiovalmistaja Rosemount kehitti analogisen viestitekniikan puutteiden takia digitaalisen HART -tiedonsiirtoprotokollan (Highway Addressable Remote Transducer), joka mahdollisti edelleen myös analogisen viestin käytön. Tiedonsiirrossa käytetään taajuusmoduloitua sinisignaalia, jossa taajuus 1200 Hz tarkoittaa binääristä arvo 1 ja 2200 Hz binääristä arvoa 0. (Kippo & Tikka,72.)

Sinisignaali kelluu virtaviestin päällä ja on amplitudiltaan noin 0,5 mA. Koska sinisignaalin keskiarvo on 0 mA, se ei vaikuta analogiasignaalin arvoon. (Kippo & Tikka,72.) HART -signaali kuvassa 17.



Kuva 17. HART -signaali (Romilly 2009).

HART-kenttäväylä on edelleen laajalta käytetty tiedonsiirtoprotokolla prosessiteollisuuden automaattoratkaisuissa. HART -kenttälaitteet voidaan kytkeä rinnakkain samassa parikaapelissa (Multidrop), jolloin maksimi osoitemäärä on 15. Silti yleisimmin käytetty topologia on suora kytkentä. Tämä johtuu suurilta osin siitä, että vanhoja täysin analogisia piirejä on korvattu ajan saatossa HART -kenttälaitteilla, jolloin kaapelointi on ollut jo olemassa.

Aikaisemmin HART-ominaisuutta käytettiin pääasiassa kenttälaitteiden parametrintiin, kuten mittausalueen muutokseen ja kalibrointiin. Analogisilla 4–20 mA -virtaviestillä siirrettiin haluttu prosessiarvo automaatiojärjestelmään.

Nykyisin automaatiojärjestelmien HART-kortit ovat edullisempia ja ovat jo hyvin yleisesti käytössä. Tällöin kenttälaitteelta saadaan mm. neljän prosessimuuttujan arvot täydellä tarkkuudella, laitteen positio ja laitteen diagnostiikka tiedot.

Viimeisen HART-tiedonsiirtoprotokollan versio on HART-7, joka tukee langattomia ratkaisuja (Wireless HART). Langaton kommunikointi toteutetaan lyhyen matkan radiotaajuusverkon avulla, jossa käytetään 2.4 GHz ISM-taajuusaluetta. Kenttälaitteissa on joko sisään rakennettu tai erillinen antenni, joka lähettää tietoa vastaanotto yksikölle (Gateway). Vastaanotto yksiköltä tieto voidaan viedä usealla eritavalla automaatiojärjestelmään mm. Modbus TCP/IP:n tai OPC-linkin avulla.

Vesiprosessin DeltaV -järjestelmässä on HART -tulokortti, joka pystyy kommunikoimaan kenttälaitteiden kanssa. HART -kommunikointi tarvitsee

yhteensopivuuden automaatiojärjestelmän ja kenttälaitteen välillä. HART-kenttälaitteen mukana toimitetaan DD (Device Description)-tiedosto, joka asennetaan automaatiojärjestelmän kirjastoon. DD-tiedostot voi myös ladata laitevalmistajan verkkosivuilta.

Vesiprosessissa on kaksi HART-laitetta, joista molemmat on kaapeloitu suora kytkentä topologian mukaisesti.

- LT-5 Varastosäiliön pinta
- TE-130 Varastosäiliön lämpötila

5 INSTRUMENTOINTI

Instrumentointi on yleisnimi joka tarkoittaa laitteita joiden avulla voidaan määrittää prosessin tilaa, käyttäytymistä ja joiden avulla voidaan ohjata, muuttaa ja säätää prosessin käyttäytymistä. Instrumentointiin luetaan mittausanturit, mittauslaitteet, mittamuuntimet, mittalähettimet, prosessiliitännät sekä ohjattavat ja säädettävät laitteet, venttiilit, asennoittimet ja moottorihjaukset. (Kippo & Tikka,43.)

5.1 Painemittaus

Kaasun paine aiheutuu suljetussa tilassa olevien kaasumolekyylien törmäyksistä. Paine on sitä pienempi mitä vähemmän molekyyliä on. Kaasun lämpötilan noustessa molekyylien liike voimistuu ja paine kasvaa. Myös nesteessä esiintyy paine. Nestemolekyylit ovat hyvin lähellä toisiaan ja niiden väliset voimat ovat paljon suuremmat kun kaasuilla. Neste on käytännössä lähes kokoonpuristumatonta. Neste- ja kaasusäiliöön syntyy ns. hydrostaattinen paine, joka aiheutuu tarkastelu kohdan yläpuolella olevan nesteen tai kaasun massasta. Teollisuuden kaasuprosesseissa korkeuserot ovat yleensä niin pieniä, että kaasun hydrostaattisella paineella ei ole käytännön merkitystä. Sen sijaan nestesäiliöiden hydrostaattisen paineen mittauksella on suuri merkitys esimerkiksi nesteen pinnankorkeutta määritettäessä. (Halko, Härkönen, Lähteenmäki, Välimä 1998, 61.)

Avoimen nestesäiliön hydrostaattinen paine p määritellään seuraavasti. Kaava 1.

$$p = \rho hg$$

(1)

- ρ = nesteen tiheys kg/m^3
- h = nestekerroksen korkeus m
- g = putoamiskiihtyvyyden m/s^2

Hydrostaattisella paineella tarkoitetaan nestekerroksen massasta aiheutuvaa painetta. Jos nesteen tiheys tunnetaan ja paine mitataan, voidaan laskea kuinka korkealla nesteen pinta on paineen mittauskohdasta lukien. Paineanturi asennetaan säiliön pohjalle tai sen kylkeen kohdalle, joka vastaa mittausalueen nollakohtaa. (Halko ym. 1998, 76.)

Vesiprosessissa on kolme painemittausta, joilla mitataan veden aiheuttamaa hydrostaattista painetta säiliössä ja sen avulla pinnankorkeutta. Koska kyseessä on vesi ja lämpötila pysyy kutakuinkin vakiona, ei ole tarvetta tehdä tiheys korjauksia järjestelmään.

Varastosäiliön pinnanmittaus (LT-5) on asennettu säiliönkylkeen. Lähetin mittaa hydrostaattisen paineen ja vertaa sitä ilmanpaineeseen. Tiheys ρ ja putoamiskiihtyvyys g ovat vakioita joten paine-ero on suoraan verrannollinen nestekerroksen korkeuteen kaavan 2 mukaisesti.

$$h = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

(2)

Molempien pystysäiliöiden pinnankorkeus mitataan myös hydrostaattisen paineen avulla. Painelähetimet LT-1 ja LT-1 on asennettu säiliön pohjaan liitetyn putken avulla. Tässä tapauksessa liitosputken pituus h_1 pitää ottaa huomioon kun painelähetin viritetään. Toisin sanoen anturin nollaus suoritetaan kun liitosputki on täynnä, jolloin liitosputken vaikutus poistetaan kaavan 3 mukaisesti.

$$h = \frac{\Delta p}{\rho g} - h_1$$

(3)

5.2 Virtausmittaus

Virtausmittauksella tarkoitetaan putkessa tai kanavassa virtaavan nesteen, kaasun tai höyryn virtausnopeuden, tilavuusvirran tai massavirran määrittämistä. Virtausmittauksiin käytettävien laitteiden valikoima on hyvin laaja. Mittausperiaatteita esiintyy myös hyvin monenlaisia. Virtausmittauksessa menetelmän ja laitteiston valintaan vaikuttavat monet seikat, kuten:

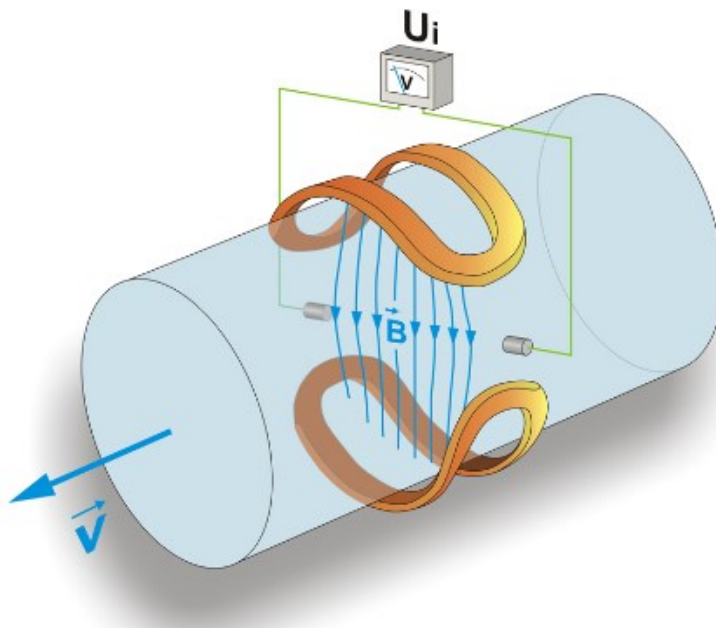
- tapahtuuko virtaus putkessa vai avokanavassa
- onko virtaava aine neste, kaasu vai höyry
- mitkä ovat virtaavan aineen fysikaaliset ominaisuudet (lämpötila, paine, viskositeetti, ym.)

- kulkeeko virtaavan aineen mukana mahdollisesti kiinteää ainetta
- onko kyseessä paikallinen vai valvomossa suoritettava mitta
- mikä on tarkkuusvaatimus
- muuttuuko mitattava suure laajalla vai suppealla alueella
- millaista luotettavuutta mittaustulokselta edellytetään

Virtausnopeus tarkoittaa virtauksen etenemisnopeutta ja sen yksikkö on esimerkiksi m/s. Virtausnopeutta mitattaessa on yleensä kysymyksessä keskimääräisen virtausnopeuden määrittäminen virtauskanavan poikkileikkauksessa. Tilavuusvirta ilmoittaa virtauskanavan poikkileikkauksen läpi tietyn ajan kuluessa virranneen ainemäärän tilavuuden. Tilavuusvirran yksikkönä voi olla esimerkiksi m^3/s . Massavirta ilmoittaa virtauskanavan poikkileikkauksen läpi tietyn ajan kuluessa virranneen ainemäärän massan, jolloin yksikkönä voi olla esimerkiksi kg/s . (Halko ym. 1998, 76.)

Mittausmenetelmä perustuu sähkömagneettiseen induktioon ja se soveltuu sähköjohtavien nesteiden tilavuusvirran mittaamiseen. Edellytyksenä mittausmenetelmän käytölle on siis riittävän suuri nesteen johtakyky, jonka yleensä tulee olla vähintään $5 \mu\text{S}/\text{cm}$. (Halko ym. 1998, 118.)

Sähköä johtava neste virtaa keskimääräisellä nopeudella v putkessa, jonka sisäpinta on peitetty eristekerroksella. Putken vastakkaisille puolille on sijoitettu käämit, joissa kulkeva sähkövirta synnyttää nesteen virtaussuuntaan kohtisuorassa olevan magneettikentän, jonka vuontiheys on B . Virtaavan nesteen kanssa kosketukseen on putken sivuille sijoitettu elektrodit siten, että niiden keskiviiva on putken halkaisijalla kohtisuorassa magneettikenttää vastaan. (Halko ym. 1998, 118.) Rakenne kuvassa 18.



Kuva 18. Magneettisen virtausmittauksen rakenne (Mecon 2017).

Kun johdin liikkuu kohtisuoraan magneettikentässä, indusoituu elektrodeihin lähde- jännite faradayn lain mukaisesti. Kaava 4.

$$E = v_j l B$$

(4)

- B = magneettivuontiheys T
- l = magneettikentässä kulkevan johtimen pituus m
- v_j = johtimen nopeus m/s

Nestelevyn liikkeessa magneettikentässä johtimen pituus l korvautuu putken sisähalkaisijalla d ja johtimen nopeus v_j virtausnopeudella v . Lähdejännitteen määrään vaikuttaa myös anturin kalibrointi vakio k_1 . (Halko ym. 1998, 119.) Lähdejännite muodostuu nyt kaavan 5 mukaisesti.

$$E = k_1 B d v$$

(5)

Virtausnopeutta lukuunottamatta kaikki muut parametrit ovat vakioita, koska anturin putken halkaisija ei muutu, magneettivuontiheys pidetään vakiona säätämällä magnetointi virtaa ja kalibrointi vakio on valmistusvaiheessa määritelty. Näin ollen lähdejännitte E on suoraan verrannollinen tilavuusvirtaan qv . Kaava 6.

$$qv = \frac{\pi d}{4k_1} \frac{E}{B}$$

(6)

Vesiprosessissa käytetty magneettinen virtausmittari kuvassa 19, mittaa pystysäiliöihin pumpattavan veden tilavuusvirtausta. Positio FT-1.



Kuva 19. Vesiprosessissa käytettävä magneettinen virtausmittaus.

5.3 Lämpötilan mittaus

Lämpötilan mittaus on yksi tärkeimmistä teknillisistä ja fysikaalisista mittauksista. Riippuvathan käytännöllisesti katsoen kaikki aineen ominaisuudet (esimerkiksi koko, väri, sähköiset ja magneettiset ominaisuudet, olomuoto jne.) lämpötilasta.

Prosessiteollisuuden tärkeimpiä mittauskohteita on juuri lämpötila, sillä esimerkiksi lähes kaikki kemialliset prosessit riippuvat lämpötilasta. Virheelliset lämpötilamittaukset saattavat johtaa huomattaviinkin taloudellisiin menetyksiin. Useissa tapauksissa prosessin etenimistä voidaan seurata vain lämpötilan perusteella. (Halko ym. 1998, 30.)

Periaatteena kaikissa lämpötilan mittauksissa on lämpötila-asteikon tai -arvon liittäminen kytkemiseen sellaiseen suureeseen tai ilmiöön, joka oleellisesti riippuu lämpötilasta. (Halko ym. 1998, 31.)

Vastuslämpötila-antureiden toiminnan perustana on resistanssin lämpötilariippuvuus. Jos tämä tunnetaan voidaan lämpötilan mittaus palauttaa resistanssin mittaamiseksi. Tuntoelin voidaan valmistaa metallista tai puolijohdemateriaalista. Resistanssin mittausmenetelmistä yleisin on Wheatstonen silta muunnelmiseen. (Halko ym. 1998, 36.)

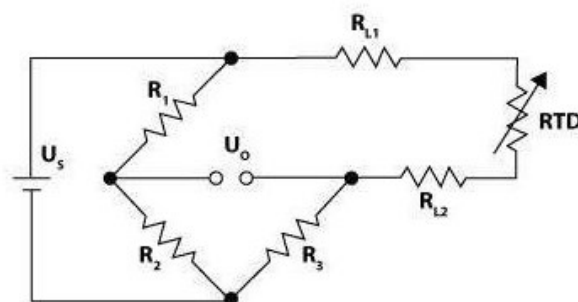
Platina (Pt) on korkeissakin lämpötiloissa stabiili ja kemiallisesti kestävä jalometalli. Se on helposti muovautuvaa ja sopii näin erinomaisesti tuntoelinmateriaaliksi. Platina on käyttökelpoinen lämpötila-alueella $-250 - 850$ °C. (Halko ym. 1998, 36.)

Tyypillisin teollisuuden lämpötila-anturi on platinasta tehty lanka, jonka resistanssi muuttuu hyvin lineaarisesti lämpötilan funktiona. Resistanssin lämpötilakerroin on myös lämpötilasta riippuva, joten sama lämpötilanmuutos eri lämpötiloissa aiheuttaa hieman erilaisen resistanssin muutoksen. Tämä riippuvuus on kuitenkin hyvin tunnettu ja voidaan kompensoida lähettimessä. (Kippo & Tikka, 63.)

Vesiprosessissa käytetty platina lämpötila-anturi on tyypiltään Pt-100, jolla viitataan tuntoelimen resistanssin olevan 100Ω kun lämpötila on 0 °C. (Halko ym. 1998, 38.)

Resistanssin mittaamiseksi on välttämätöntä johtaa mittaustavastuksen läpi sähkövirta. Tämä aiheuttaa vastuksessa anturivirran neliöön verrannollisen tehon, joka kohottaa tuntoelementin lämpötilaa. Lämpenemisvirheen välttämiseksi anturivirta tulee pitää mahdollisimman pienenä. IEC-normin mukaan esimerkiksi Pt-100 anturille virran tulee olla alle 10 mA. Nykyisillä mittaustalähettimillä se on $3 - 5$ mA, eikä lämpenemisvirheellä ole käytännön merkitystä. (Halko ym. 1998, 38.)

Siltakytkentää käytettäessä anturivastusta verrataan tunnettuun tarkkuusvastukseen. Anturin lämpötila saadaan resistanssien suhteesta, jonka määrittämiseksi on käytettävissä kaksi perusmenetelmää. Käytettäessä tasapainottamatonta siltaa mitataan sillan erojännite U_0 (Kuva 20), joka on lämpötilan funktio. Toinen tapa on käyttää säädettävää vertailuvastusta esimerkiksi R_3 (Kuva 20) jolla silta saatetaan tasapainoon. Vertailu vastuksen arvosta saadaan lämpötila. Tasapainotus tehdään täysin elektronisesti lämpötilalähettimessä. Tasapainotus menetelmän etuna voidaan pitää sitä, ettei jännitelähteen stabiilisuudella ole merkitystä kun taas erojännite on suoraan verrannollinen sillan syöttöjännitteeseen U_s . (Halko ym. 1998, 38.)



Kuva 20. 2-johdin kytkennän rakenne (Azom 2017.)

Vesiprosessissa Pt-100 vastusanturi on asennettu varastosäiliöön, jossa olevan veden lämpötilaa mitataan. Anturi on kaapeloitu DIN-kiskoon asennettuun lämpötilalähtettiin 2-johdin kytkennällä. Musta- ja harmaa johto kuvassa 21.



Kuva 21. Pt-100 anturin kaksijohdin kytkentä lähtettiin.

Kaksijohdinkytkentää käytettäessä on huomattava, että johdivastukset kytkeytyvät sarjaan tuntoelinvastuksen kanssa. Lyhyillä etäisyyksillä voidaan käyttää paksuja kupari johtimia, jolloin niiden resistanssi jää merkityksettömäksi. Toisaalta voidaan johtimien resistanssi määrittää erikseen ja ottaa se huomioon mittaria kalibroitaessa. (Halko ym. 1998, 38.)

Tämän takia kaksijohdinkytkentä on käyttökelpoinen, kun johtimien resistanssit ja niiden muutokset ovat pieniä, ts. silloin kuin mittausetäisyydet ovat lyhyitä ja ympäristön lämpötila vaihtelu on vähäistä. (Halko ym. 1998, 39.)

Edellämainittujen asioiden vuoksi vesiprosessissa voidaan hyvinkin käyttää 2-johdin kytkentää, koska anturin ja lähtettimen välinen kaapelointi väli on erittäin lyhyt, noin 1,5 metriä. Lämpötilalähtettimeltä mittaustieto luetaan digitaalisesti automaatiojärjestelmään HART-kommunikaation avulla.

5.4 Säätoventtiili

Säätoventtiilit ovat keskeinen osa automaatiota. Niiden avulla optimoidaan prosessin toimintaa, pidetään virtauksia, paineita, pinnankorkeuksia, sekoitussuhteita ja lämpötiloja halutuissa arvoissa. (Kippo & Tikka, 64).

Säätoventtiileinä käytettäviä venttiilityyppejä on lukemattomia, mutta perinteisin on istukka venttiili. Myös pallo-, pallosegmentti- ja läppäventtiilit ovat hyvin yleisiä. Säätoventtiilin tärkeimmät osat ovat:

- venttiili
- toimilaite (sylinteri, kalvotoimilaite, sähkömoottori)
- asennoitin eli venttiiliohjain
- rajakytkimet

Asennoitin, jota kutsutaan myös säätimeksi, sää käyttäjältä tai muulta automaatiolta ohjeen (asetusarvon) venttiilin toivotusta asennosta, mittaa venttiilin todellisen asennon ja antaa toimilaitteelle takaisinkytkentä tiedon asennon korjaamiseksi. Asennoittimen avulla voidaan myös muuttaa venttiilin toimialuetta ja nykyisillä digitaalisilla asennoittimilla voidaan vaikuttaa myös venttiilin ominaiskäyrään ja toimisuuntaan. (Kippo & Tikka, 65.)

Vesiprosessissa säätoventtiiliä käytetään pinnansäätöpiirissä LIZCA-120, jonka avulla pystysäiliöiden pintaa voidaan pitää halutussa tasossa. Tästä lisää osiossa 7 (Aloitusekvenssin toiminta). Säätoventtiilinä toimii FF -väylään liitetty istukkaventtiili FV-1. Kuva 22.



Kuva 22. Säätoventtiili FV-1.

5.5 Moottoriohjaukset

Teollisuusprosessien laitteistot sisältävät monenlaisia liikkuvia osia esimerkiksi pumpuissa, puhaltimissa, kuljettimissa, teloissa jne. Niiden liikuttamiseen tarvittava energia tuotetaan tyypillisesti sähkömoottorilla. Sähkömoottoreita on paljon erillaisia, mutta oikosulkumoottori on yksinkertaisen, kestävän rakenteen, hyvän hyötysuhteen, toimintavarmuuden ja edullisuuden takia saavuttanut valta-aseman teollisuudessa. Moottorit ovat tyypillisesti 3-vaiheisia, jolloin pyörimissuunnan voi vaihtaa muuttamalla kahden vaiheen paikat vaihtokytkimellä. (Kippo & Tikka, 64.)

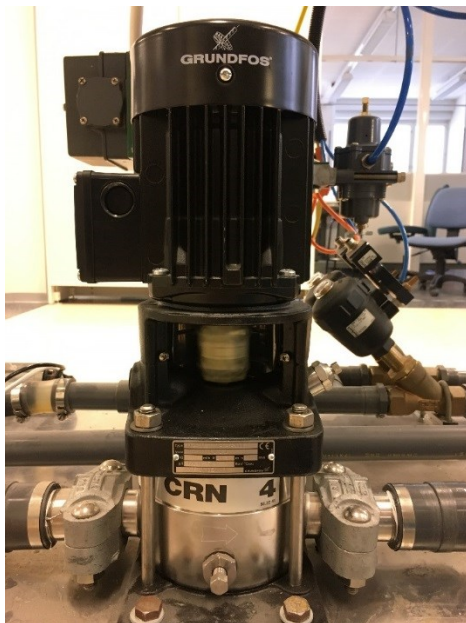
Oikosulkumoottorin pyörimisnopeutta on helppo ohjata taajuusmuuttajan avulla, joilloin esimerkiksi pumppuun yhdistettynä sitä voidaan käyttää virtauksen säätöön. Taajuusmuuttaja on ohjauslaite joka muuttaa moottorin samaa jännitettä ja taajuutta, josta oikosulkumoottorin pyörimisnopeus riippuu. Taajuusmuuttaja käytön avulla energian kulutusta voidaan samalla vähentää, kun pumpun pyörimisnopeutta ja samalla sen ottamaa tehoa pienennetään virtauksen vaatimalle tasolle. (Kippo & Tikka, 64.)

Vesiprosessin kannalta oikosulkumoottorilla pyöritetyn pumpun ohjaus taajuusmuuttajalla on olennainen asia, jotta vesi saadaan virtaamaan varastosäiliöstä putkistoon, pystysäiliöihin ja tilavuusvirtauksen määrää pystytään myös säätämään. Käytössä on Profibus DP-väylään liitetty taajuusmuuttaja, joka muuttaa 1-vaiheisen syöttöjännitteen 3-vaiheiseksi jännitteeksi oikosulkumoottorin pyörittämistä varten.

Käynnistys käsky ja taajuusohje annetaan automaatiojärjestelmästä väylän kautta. (Kommunikoinnista kerrottu kappaleessa 4.5.1 Profibus DP vesiprosessissa). Taajuusmuuttaja kuvassa 23 ja oikosulkumoottori pumpun käyttönä kuvassa 24.



Kuva 23. Taajuusmuuttaja.



Kuva 24. Oikosulkumoottori pumpun käyttönä.

6 KÄYTTÖÖNOTTO JA KEHITYS

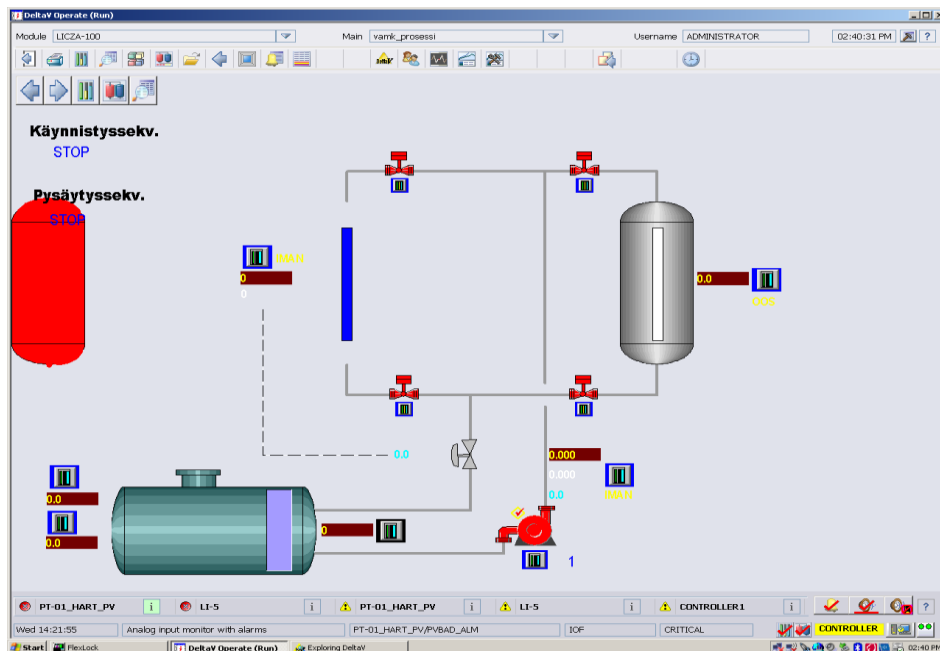
DeltaV-automaatiojärjestelmässä on erillaisia työasemia, joiden avulla oikeassa teollisuusympäristössä erotellaan eri käyttäjien mahdolliset oikeudet ja toiminnot. Tällaisia asemia ovat esimerkiksi:

- Suunnitteluasema (Professional station)
Tyypillisesti automaatiojärjestelmän ristikytkentä tilassa ja automaatioinsinöörin työhuoneessa. Voidaan muokata tulo- ja lähtö signaaleja, ohjauspiirejä, säätöpiirejä, näyttöjä sekä sekvenssejä.
- Operointiasema (Operator Station)
Tyypillisesti tehtaan tai tuotantolaitoksen valvomossa, jossa prosessin hoitajat voivat seurata ja kontrolloida tarvittaessa prosessia. Paljon vähemmän oikeuksia kuin suunnitteluasemalla.
- Kunnossapitoasema (Maintenance Station)
Tehtaan automaatiokunnossapidon tiloissa oleva asema, jolla voidaan tarkastella ja myönnettyjen oikeuksien mukaan myös tehdä muutoksia järjestelmään. Kenttälaitteiden parametointi ja diagnostiikan lukeminen.

Vesiprosessi ympäristössä kaikki yllämainitut asemat ja niiden ominaisuudet on asennettu yhteen kannettavaan tietokoneeseen, jota kutsutaan laajennetuksi suunnitteluasemaksi (ProfessionalPLUS station). Tällainen on järkevää demo ympäristössä, jossa kaikki operointi tapahtuu samassa fyysisessä paikassa ja järjestelmään tehtäviä muutoksia voidaan valvoa muutenkin kuin ohjelmisto rajoitteiden avulla.

Vesiprosessi ei ollut käytössä pitkään aikaan, joten tietämys laitteesta oli hyvin vähäistä ja minkäänlaista dokumentaatiota ei ollut saatavilla. Tämä kävi ilmi myös ProPlus- aseman käynnistyksen yhteydessä. Käyttöjärjestelmän (Windows) salasana oli vaihdettu ja kukaan ei muistanut enään kyseistä salasanaa. Koska ilman suunnitteluaseman avaamista järjestelmän toimintaan on mahdotonta päästä kiinni, ensimmäinen haaste oli saada tietokoneen käyttöjärjestelmä avattua. Konsultoin asiassa silloista työkaveriani Mikko Tikkalaa. ProPlus-tietokoneen kiintolevy irroitettiin ja kytkettiin linux-tietokoneeseen. Linux-koneella ajettiin ohjelma (chntpw), jonka avulla voidaan muokata windowsin SAM-tiedostoa joka sisältää kaikkien käyttäjien salasanat. Järjestelmänvalvojan salasana nollattiin ja korvattiin DeltaV-alkuperäisellä ProPlus-aseman salasanalla.

Salasanan vaihdon jälkeen sain ProPlus-aseman avattua ja pääsin katsomaan mitä kyseinen järjestelmä piti sisällään. Hyvin nopeasti kävi ilmi, että järjestelmä oli aika sekaisin. Viimeisimmät käyttäjät olivat varmasti tehneet muutoksia joita ei sitten osattu enään palauttaa ja laitteisto jäi toiminta kyvyttömäksi. Monenlaisia asioita oli kokeilu, mutta jätetty puoliksi tekemättä ja jätetty järjestelmään kirjastoon sekoittamaan kokonaisuutta. Vesiprosessin ohjausta varten tehtyä näyttöä oli muokattu ja toisen pystysäiliön kuvake oli hypännyt pois paikaltaan. Tämä näkyy kuvasta 25.



Kuva 25. Alkuperäinen vesiprosessin näyttö.

Kenttälaitteiden signaaleissa oli paljon ristiriitoja järjestelmä kytkentöjen osalta, joten kommunikointi ei toiminut. Virheilmoituksia taulukossa 5.

Taulukko 5. Löydettyjä virheilmoituksia.

1-WARNING:The module 'VESI_DEMO/SEQ_ALKU' has the following incomplete expressions or references:
SEQ_ALKU/ALARM1

2-WARNING:The module 'VESI_DEMO/SEQ_LOPPU' has the following incomplete expressions or references:
SEQ_LOPPU/ALARM1

3-WARNING:The module 'MOPRO/TI-140' has the following unresolved references:
TI-140/AI1/IO_IN -> //LT5/FIELD_VAL_PCT

4-WARNING:The module 'MOPRO/TI-140' uses the following Device Tags that are not assigned to a channel or dataset:
LT5

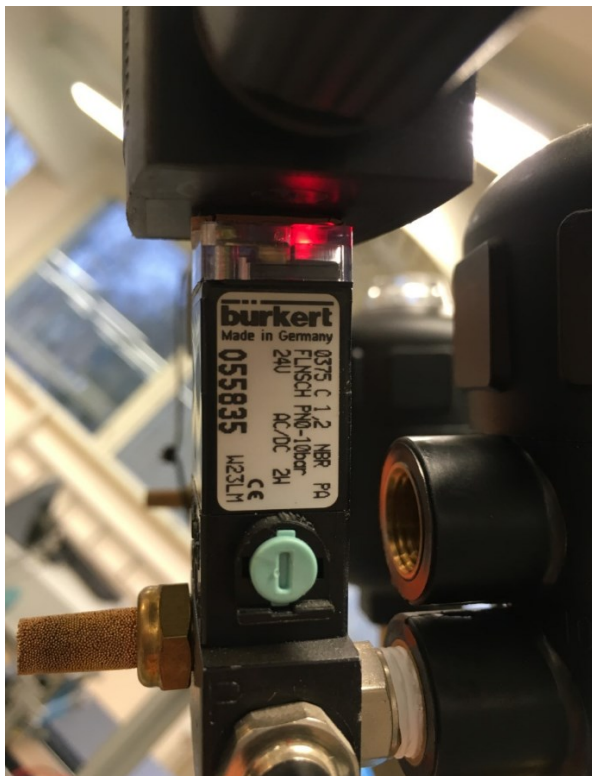
5-WARNING:The module 'VESI_DEMO/TI-5_2' has the following unresolved references:
TI-5_2/AI1/IO_IN -> //LT5/HART_SV

6-WARNING:The module 'VESI_DEMO/TI-5_2' uses the following Device Tags that are not assigned to a channel or dataset:
LT5

Koska järjestelmän kirjastossa oli hyvin paljon ylimääräisiä testi piirejä ja positioita, seuraavaksi piti selvittää mitkä niistä olivat todella tarpeellisia itse vesiprosessin ohjauksen kannalta. Tarkastin yksi kerrallaan jokaisen vesiprosessin instrumentin. Mihin väylään laite on kytketty ja mille I/O-kortille. Sen jälkeen tarkastin järjestelmästä, että löytyykö jokaista fyysistä laitetta kohti avattu I/O-paikka ja positio. Sen jälkeen voi seurata, että

mihin moduliin kunkin position tietoa on luettu. Tämän jälkeen kävin vielä sekvenssit läpi, että mitä moduleita niissä käytetään. Tämän selvityksen jälkeen pystyi poistamaan kaikki ylimääräiset modulit sekä kuvat järjestelmästä ja aloittaa puhtaalta pöydältä.

Nyt kun tarvittavat kenttälaitteet oli saatu selville, piti myös varmistaa niiden toiminta. Ensimmäisenä tankattiin kompuraan öljyä, jotta saatiin paineilma verkkoon painetta venttiilien ohjausta varten. Aloitin testauksen AS-i -väylään kytketyistä on/off venttiileistä. Pienen osien ristiinvaihdon ja testauksen jälkeen pystyin toteamaan, että yhden toimilaitteen suuntaventtiili oli rikki, joten venttiilin kara ei liikkunut. Tilattiin uusi vastaava suuntaventtiili ja seuraavassa testissä venttiili toimi moitteettomasti. Rikkinäinen suuntaventtiili kuvassa 26.



Kuva 26. Rikkinäinen suuntaventtiili.

On/off-venttiilien jälkeen testasin FF-väylään liitetyn säätöventtiiliin, joka toimi ongelmitta. Kun venttiilit oli saatu auki, niin oli mahdollista pumpata vettä putkistoon.

Virtauksen avulla voitaisiin todeta monien muiden instrumenttien toiminta mm. pinnanmittaukset ja virtausmittaus. Virtauksen saaminen putkistoon ei sujunutkaan täysin ongelmitta. Profibus DP-väylään kytketty taajuusmuuttaja ei suostunut kommunikoimaan enään järjestelmän tulokortin kanssa, joten käynnistys käskyä tai taajuusohjetta ei pystynyt antamaan. Piti siis alkaa opiskelemaan Commander taajuusmuuttajan manuaalista, millaiset asetukset väyläohjaus vaatii. Hetken opiskelun

jälkeen kävi ilmi, että taajuusmuuttajan parametrit olivat pielessä. Koko parametroidin tekeminen näppäimistön ja näytön avulla oli hyvin hankalaa ja myöskään kaikkiin asetuksiin ei sitä kautta päässyt kiinni. Koululta ei kuitenkaan löytynyt kuvan 27 mukaista taajuusmuuttajan kommunikointi kaapelia.

COMMUNICATION CABLE

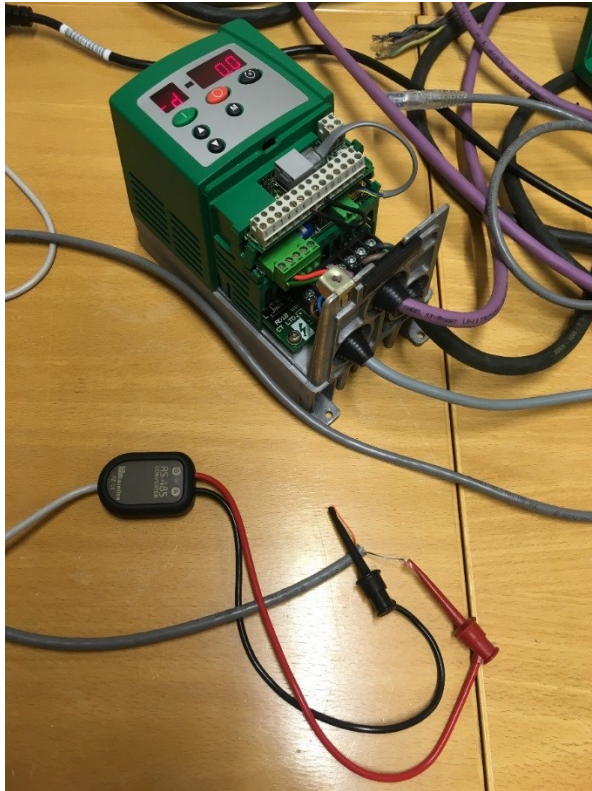
Using an isolated serial to RS485 converter you can connect the PC/laptop to the RJ45 serial port on the front of the drive. The CT Comms Cable is available from Control Techniques for this purpose – this same cable is also used with other Control Techniques products that use a RJ45 RS485 connector such as the Commander SE and the Unidrive SP.



Description	Order Code
PC-to-drive Comms Cable	CT Comms Cable

Kuva 27. Kommunikointi kaapeli (Control Techniques 2001).

Kaapelin tilaaminen olisi saattanut ottaa liikaa aikaa, joten päädyin soveltamaan. Töissä käytän massamäärämittarien konfigurointiin RS-485 → USB-muunninta, joten sen avulla pystyisi muodostamaan yhteyden myös taajuusmuuttajaan. Loppujen lopuksi toimiva kommunikointi kaapeli rakentui tuosta RS-485 → USB-muunnimesta ja Cat5-kaapelista. Pystyin tekemään testejä töissä toimistolla, koska meiltä löytyi vastaava taajuusmuuttaja vanhasta testi ympäristöstä. Kuvassa 28 kommunikointi kaapeli rakennelma, jolla taajuusmuuttajan parametrit saatiin kuntoon.



Kuva 28. Taajuusmuuttajan konfigurointia.

Onnistuneen konfiguroinnin jälkeen taajuusmuuttaja saatiin kommunikoimaan ja päästiin pyörittämään moottoria. Pumppu oli tyhjänä ollessaan saanut ilmaa, joten ilmausruuvien avulla saatiin vesi jälleen virtaamaan. Virtausmittarin toiminnan pystyi tarkistamaan samalla kun kierrätti vettä prosessissa.

Painemittausten nollat piti virittää kun säiliöt olivat tyhjiillä. Jokaisella kolmesta painemittauksesta oli hieman pohjanäyttöä, mikä oli odotettavissa. Jokaisella anturilla on pieni ryömintä, joka poistetaan normaalisti tietyn aikavälein kalibroimalla. Alue viritykseltään anturit olivat ihan kunnossa. Tämän pystyi tarkistamaan täyttämällä säiliöt ensin noin puolilleen ja sitten täyteen. Lähtöviestin arvoa seuraamalla pystyi toteamaan mittareiden olevan kunnossa.

Kun kaikki instrumentit oli tarkistettu oli mahdollista siirtyä tarkastelemaan kokonaisuutta, eli myös säätöpiirien ja sekvenssien toimintaa. Koska mitään toimintakuvausta ei ollut olemassa, ainut vaihtoehto oli tulostaa sekvenssin askeleet ja yrittää ymmärtää miten laitteiston on ollut tarkoitus toimia. Sen jälkeen pystyi muodostamaan ymmärryksen siitä, mitä siihen olisi hyvä lisätä.

Aloitus- ja lopetussekvenssin toiminnallinen runko pysyi hyvin samanlaisena, koska sitä ei ollut tarpeen lähteä muuttamaan. Putkistosuunnittelu on jo alun perin tehty tietyn toimintamallin mukaisesti, joten sen raamin sisällä on kuitenkin toimittava. Toiminnalliselta kannalta muutoksia tuli lähinnä siirtymä ehtojen raja-arvoihin. Esimerkiksi lopetus sekvenssi odotti aikaisemmin niin kauan, että molempien pystysäiliöiden pintamittaukset saavuttavat nollan. Todellisuudessa signaali jää monesti yhteen tai kahteen, joten sekvenssi jäi odottamaan askeleeseen ihan turhaan. Siirtoehtojen lisääminen oli myös oleellinen parannus. Aikaisemmin askeleessa annettiin monta ohjetta, mutta niiden kaikkien toteutumista ei tarkastettu ennen seuraavaan askeleeseen siirtymistä. Siirtoehtoihin lisättiin mm. PID-säätimien tilatiedot.

Käyttäjän kannalta tärkein lisäys oli suunnitteluaseman ja operaattoriaseman välillä rakennettu informaatio. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että operaattori pystyy näkemään ja ymmärtämään prosessin vaiheet kun sekvenssi on käynnissä. Aikaisemmin näytöllä ei ollut mitään muuta tietoa kuin, että sekvenssi on käynnistetty. Käyttäjän on vaikea hahmottaa mitä kaikkea ohjauksia tapahtuu ja kuinka kauan missäkin askeleessa on tarkoitus viettää. Tämä on hyvin oleellinen tieto ja juuri näyttöjen tekemiseen ja suunnitteluun käytetään automaatiojärjestelmä projekteissa paljon aikaa.

Informaation siirto toteutettiin tilatieto (Condition)-lohkoilla, joihin ohjelmoitiin siirtymäehdoista IF, THEN, ELSE-rakenteella ASCII-pohjaiset viestit. Esimerkiksi venttiilille HV-1 on käynnistys-sekvenssin askeleessa 1 määritelty tilaehto, että niin kauan kun venttiilin tila on 0 (Kiinni), niin tilatieto lohkon kirjoitetaan HV-1. Kun venttiilin tila muuttuu 1:ksi (Auki), niin tilatieto lohkon kirjoitetaan ”tyhjä”. Tilatieto lohkon ASCII-muotoinen viesti luetaan operaattorin näytölle kun sekvenssi on päällä. Tällöin operaattori näkee näytöllä tekstin HV-1, niin kauan ennenkuin venttiili on kääntynyt haluttuun asentoon eli auennut. Samanlainen seuranta tehdään kaikille askeleen ohjauksille, joten operaattorin on helppo seurata mitä siirtoehtoja on vielä toteutumatta. Samalla lisättiin vielä askeleen nimi ja aika. Nyt prosessin käyttäjällä on enemmän tietoa prosessin tilasta kuin aikaisemmin.

Tämän informaation avulla on myös helpompi paikantaa mahdollinen vika, koska toteutumaton siirtoehto jää aina näkyviin.

7 SEKVENSSIOHJELMAT

Vesiprosessiin on rakennettu kaksi sekvenssiä, toinen käynnistystä ja toinen lopetusta varten. Käynnistyssekvenssin tarkoitus saattaa prosessi tasaiseen tilaan, josta on helppoa aloittaa vaikka pinnansäätöpiirin

testaaminen. Kun aloitus-sekvenssi käynnistetään, ohjataan venttiilit HV-1 ja HV-3 auki, jolloin pystysäiliöihin voidaan pumpata vettä varastosäiliöstä. Kun venttiilit ovat auki ja 20 sekunnin odotusaika on täynnä siirrytään eteenpäin. Seuraavaksi annetaan pumpulle käynnistyslupa ja laitetaan virtaus-säätöpiiri FICZA-120 manuaali tilaan jotta voidaan antaa PID-säätimen lähdön ja AO-lohkon avulla taajuusmuuttajalle nopeusohje 16 Hz. Pinnansäätöpiirin LICZA-100 asetusarvoksi käydään kirjottamassa 300 mm. Säädin laitetaan säiliöiden täyttymisen ajaksi manuaali asentoon ja säätöventtiili pidetään 20 % auki. Tämä johtuen siitä, että säädölle päästään hiukan nopeammin kun säädin laitetaan automaatille. Seuraavaan askeleeseen siirrytään vasta kun pystysäiliöiden pinta on ylittänyt LICZA-100 säätimen asetusarvon 300 mm. Kun pinta ylittää tämän rajan, pystysäiliöiden tyhjennys venttiilit HV-2 ja HV-4 avataan ja pinnansäätöpiiri laitetaan automaatille. Nyt pinnansäätöpiiri alkaa ohjaamaan säätöventtiiliä sen mukaan, että pinta saadaan pidettyä asetusarvossa.

Aloitus-sekvenssi on nyt valmis ja prosessi pyörii pinnansäätöpiirin ohjaamana tasoittuen hiljalleen stabiiliin tilanteeseen. Pinnansäätöpiirin viritystä voi hyvin harjoitella ottamalla aikaa kuinka nopeasti pinnansäädön saa rauhoittumaan siitä hetkestä kun säädin laitetaan automaatille. Virtaussäädin FICZA-120 on kokoajan manuaali tilassa, joten taajuusmuuttajan nopeus ohjetta → moottorin pyörimisnopeutta → veden virtauksesta voidaan ohjata suoraan säätimen lähtöä muuttamalla. Näin pinnansäätöpiirille voidaan muodostaa stressiä nostamalla ja laskemalla pystysäiliöihin tulevan virtauksen määrää ja kokeilla näin säätöpiirin toimivuutta erillisissä tilanteissa.

Lopetus-sekvenssi on puolestaan tehty harjoituksen hallittua lopettamista varten. Näin myös laitteisto palaa aina samaan tilaan harjoituksen päätyttyä. Lopetus-sekvenssi sammuttaa ensin pumpun, jonka jälkeen sekä pystysäiliöiden tyhjennysventtiilit, että säätöventtiili avataan. Kaikki vesi palautuu varastosäiliöön. Odotetaan niin kauan, että molempien pystysäiliöiden pinnat alittavat 10 mm, jonka jälkeen kaikki on/off venttiilit laitetaan kiinni ja lopetus on valmis. Molempien sekvenssien ohjelmat löytyvät liitteinä.

8 YHTEENVETO

Rahoituksen puutteen johdosta osa suunnitelluista parannuksista jäi tekemättä, mutta päätavoite oli saada vesiprosessi jälleen toimimaan ja siinä onnistuttiin. Laitteiden positointi, operointi näytön kehittäminen ja järjestelmä kirjaston siivous puolestaan täytti toisen tavoitteen, joka oli käytettävyyden parantaminen. Kokonaisuudessaan olen tyytyväinen tuloksiin ja toivottavasti laitteistoa voidaan vielä tulevaisuudessa höydyntää opetuksessa.

LÄHTEET

- AS-interface (2017). Knowledge base. Haettu 8.3.2017 osoitteesta <http://www.as-interface.net/knowledge-base>
- Azo Materials (2017). Resistance Temperature Detector (RTD)- Principle of Operation. Haettu 10.3.2017 osoitteesta <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=5573>
- Control Engineering (2008). Installing Fieldbus. Haettu 7.3.2017 osoitteesta <http://www.controlengurope.com/article.aspx?ArticleID=16398#>
- Control Techniques (2001). SE73-Profibus-DP. Advanced User Guide. Haettu 8.3.2017 osoitteesta <http://www.controltechniques.com/CTDownloads/SharePoint/DownloadFile.aspx?DownloadID=191&SiteID=4>
- Emerson process DP (2013). M-series Profibus DP interface. Haettu 8.3.2017 osoitteesta http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20DeltaV%20Documents/ProductDataSheets/PDS_M-series_ProfibusDP_IO_Series2+.pdf
- Emerson process FF (2013). M-series Foundation Fieldbus I/O. Haettu 8.3.2017 osoitteesta. http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20DeltaV%20Documents/ProductDataSheets/PDS_M-series_Ff_IO.pdf
- Fieldbus Foundation (2003). Technical Overview. FD-043. Haettu 7.3.2017 osoitteesta http://www.fieldbus.org/images/stories/technology/developmentresources/development_resources/documents/techoverview.pdf
- Halko, P., Härkönen, S., Lähteenmäki, I. & Välimää, T. (1998). *Teollisuuden mittaustekniikka Perusmittauksia*. Helsinki: Edita.
- Harjula, M. (2005) *Profibus DP -kenttäväylän mittaaminen*. Opinnäytetyö. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Haettu 8.3.2017 osoitteesta <https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9888/TMP.objres.227.pdf?sequence=2>
- Kippo, A. & Tikka, A. (2008). *Automaatiotekniikan perusteet*. Helsinki: Edita

Mecon (2017). Electromagnetic flowmeters. Haettu 9.3.2017 osoitteesta <http://www.mecon.de/en/electromagnetic-flowmeters.html>

Romilly (2009). What is HART. Haettu 9.3.2017 osoitteesta <http://www.romilly.co.uk/whathart.htm>

MTL (2010). MTL5995 Technical Datasheet. Haettu 8.3.2017 osoitteesta <https://www.mtl-inst.com/images/uploads/datasheets/5000/MTL5995.pdf>

Siemens (2017). Teollinen tiedonsiirto. Profibus. Haettu 8.3.2017 osoitteesta. [http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden tuotteet ja ratkaisut/tuotesivut/automaatiotekniikka/teollinen tiedonsiirto esim profinet/profibus.htm](http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden_tuotteet_ja_ratkaisut/tuotesivut/automaatiotekniikka/teollinen_tiedonsiirto_esim_profinet/profibus.htm)

Sorsanen, J. (2009) *Teollisuuden mittautiedon siirtojärjestelmät*. Pro gradu -tutkielma. Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta. Aalto yliopisto. Haettu 3.3.2017 osoitteesta [http://metrology.tkk.fi/courses/S-108.erikoistyo/reports/web/KANDI2009 Janne Sorsanen1.pdf](http://metrology.tkk.fi/courses/S-108.erikoistyo/reports/web/KANDI2009_Janne_Sorsanen1.pdf)

Steven Engineering (2003). Fieldbus Connectivity. Haettu 8.3.2017 osoitteesta https://stevenengineering.com/tech_support/PDFs/46BFIELD.pdf

Yrttiaho, H. (2015) *AS-i-väylällä toteutettavan laitteiston rakentaminen opetuskäyttöön*. Opinnäytetyö. Kone- ja tuotantotekniikka koulutusohjelma. Kajaanin Ammattikorkeakoulu. Haettu 8.3.2017 osoitteesta [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/93299/Yrttiaho Henri.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/93299/Yrttiaho_Henri.pdf?sequence=1)

ALOITUSSEKVENSSI

Report:	Control Module
Name:	SEQ_ALKU
Contents:	HV1_HV3 INITIAL LIZCA_AUTO LIZCA_MAN PUMP START T2 T3 T4 T6 T_INITIAL T_START WD_ALM
Report:	Control Module
Name:	SEQ_ALKU
Description:	Control Module
Path:	VESI_DEMO/SEQ_ALKU
Node Assignment:	CONTROLLER1
Execution Period:	1 sec
Algorithm Type:	SFC
Primary Graphic Name:	hamk_prosessi
Detail Graphic Name:	
Faceplate Graphic Name:	SEQ3_fp
Work In Progress?	No
Restore parameters	No
Auto-assign blocks to H1 Port	No

<i>Parameter Name:</i>	<i>Parameter Value:</i>	<i>Linked:</i>	<i>Parameter Category:</i>	<i>Connection Type:</i>	<i>Parameter Type:</i>
Parameters for SEQ_ALKU					
COND1				Internal write only	String
COND2				Internal write only	String
COND3				Internal write only	String
SEQ_CMND	COMMAND			Internal write only	Internal Reference
SEQ_START				Input	Named Set
Named Set	Seq_start				
Named Value	START				
SEQ_STAT	STATE			Internal write only	Internal Reference
STEP_NO	0			Internal write only	Floating point
STEP_TEXT				Internal write only	String
TIME_LEFT	0			Internal write only	Floating point
WAIT1	20			Internal read only	Floating point
WAIT2	20			Internal read only	Floating point
WAIT3	20			Internal read only	Floating point
WAIT4	20			Internal read only	Floating point
WD_ALARM	False			Internal write only	Boolean

Actions for Step SEQ_ALKU/HV1_HV3

Step Actions:	Action Type:	Qif	Dly	Dis	Expression:
A1	Assignment	1	0	0	Action Expression: 'TIME_LEFT' := ('WAIT1' - 'HV1_HV3/TIME.CV'); 'STEP_NO' := 1; 'STEP_TEXT' := "HV1_HV3"; Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000
A3	Assignment	6	0	0	Action Expression: 'WD_ALARM.CV' := 0; Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000
A4	Assignment	6	0	0	Action Expression: //HV1/DC1/SP_D.CV := 1; //HV3/DC1/SP_D.CV := 1; //HV2/DC1/SP_D.CV := 0; //HV4/DC1/SP_D.CV := 0; Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000
A2	Assignment	5	45	0	Action Expression: 'WD_ALARM.CV' := 1; Delay Expression: 45.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000
A5	Assignment	1	0	0	Action Expression: IF //HV1/DC1/SP_D.CV = 0 THEN 'COND1' := "HV1" ELSE 'COND1' := "" END_IF; IF //HV3/DC1/SP_D.CV = 0 THEN 'COND2' := "HV3" ELSE 'COND2' := "" END_IF; Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000

Actions for Step SEQ_ALKU/INITIAL

Step Actions:	Action Type:	Qif	Dly	Dis	Expression:
A1	Assignment	1	0	0	Action Expression: 'TIME_LEFT' := 0; 'STEP_NO' := 0; 'STEP_TEXT' := "INITIAL STEP"; 'SEQ_START.CV' := 0 ("Init") Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000
A3	Assignment	6	0	0	Action Expression: 'WD_ALARM.CV' := 0; Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000

Actions for Step SEQ_ALKU/LIZCA_AUTO

Step Actions:	Action Type:	Qif	Dly	Dis	Expression:
A1	Assignment	1	0	0	Action Expression: 'TIME_LEFT' := ('WAIT4' - 'LIZCA_AUTO/TIME'); 'STEP_NO' := 4; 'STEP_TEXT' := "LIC AUTO"; 'SEQ_START' := 0; Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000
A3	Assignment	6	0	0	Action Expression: 'WD_ALARM.CV' := 0; Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000
A4	Assignment	6	0	0	Action Expression: //HV2/DC1/SP_D.CV := 1; //HV4/DC1/SP_D.CV := 1; //LIZCA-100/PID1/MODE.TARGET := 16; Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000

Actions for Step SEQ_ALKU/LIZCA_AUTO

Step Actions:	Action Type:	Qif	Dly	Dis	Expression:
A2	Assignment	5	45	0	Action Expression: 'WD_ALARM.CV' := 1; Delay Expression: 45.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000
A5	Assignment	1	0	0	Action Expression: IF //HV2/DC1/SP_D.CV = 0 THEN 'COND1' := "HV2" ELSE 'COND1' := "" END_IF; IF //HV4/DC1/SP_D.CV = 0 THEN 'COND2' := "HV4" ELSE 'COND2' := "" END_IF; IF //LICZA-100/PID1/MODE.TARGET != 16 THEN 'COND3' := "LIC AUTO" ELSE 'COND3' := "" END_IF; Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000

Actions for Step SEQ_ALKU/LIZCA_MAN

Step Actions:	Action Type:	Qif	Dly	Dis	Expression:
A1	Assignment	1	0	0	Action Expression: 'STEP_NO' := 3; 'STEP_TEXT' := "LIC MAN"; 'SEQ_START' := 0; Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000
A3	Assignment	6	0	0	Action Expression: 'WD_ALARM.CV' := 0; Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000
A4	Assignment	6	0	0	Action Expression: //LICZA-100/PID1/MODE.TARGET := 8; //LICZA-100/PID1/OUT.CV := 20 Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000
A2	Assignment	1	0	0	Action Expression: IF //LICZA-100/PID1/MODE.TARGET != 8 THEN 'COND1' := "LIC" ELSE 'COND1' := "" END_IF; IF //LICZA-100/PID1/OUT.CV < 20 THEN 'COND2' := "FV-1" ELSE 'COND2' := "" END_IF; IF (//LICZA-100/AI1/PV.CV < //LICZA-100/PID1/SP.CV) THEN 'COND3' := "Level" ELSE 'COND3' := "" END_IF; Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000

Actions for Step SEQ_ALKU/PUMP

Step Actions:	Action Type:	Qif	Dly	Dis	Expression:
A1	Assignment	1	0	0	Action Expression: 'TIME_LEFT' := ('WAIT2' - 'PUMP/TIME.CV'); 'STEP_NO' := 2; 'STEP_TEXT' := "PUMP ON"; Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000
A3	Assignment	6	0	0	Action Expression: 'WD_ALARM.CV' := 0; Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000
A4	Assignment	6	0	0	Action Expression:

Actions for Step SEQ_ALKU/PUMP

Step Actions:	Action Type:	Qif	Dly	Dis	Expression:
A4	Assignment	6	0	0	Action Expression: //P1/DC1/SP_D.CV := 1; //FICZA-120/PID1/MODE.TARGET := 8; //FICZA-120/PID1/OUT.CV := 16; //LICZA-100/PID1/SP.CV := 300; Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000
A2	Assignment	5	45	0	Action Expression: 'WD_ALARM.CV' := 1; Delay Expression: 45.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000
A5	Assignment	1	0	0	Action Expression: IF //P1/DC1/PV_D.CV = 0 THEN 'COND1' := "PUMP" ELSE 'COND1' := "" END_IF; IF //FICZA-120/AO1/OUT.CV < 16 THEN 'COND2' := "16 Hz" ELSE 'COND2' := "" END_IF; IF //LICZA-100/PID1/SP.CV < 300 THEN 'COND3' := "SP 300" ELSE 'COND3' := "" END_IF; Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000

Actions for Step SEQ_ALKU/START

Step Actions:	Action Type:	Qif	Dly	Dis	Expression:
A1	Assignment	1	0	0	Action Expression: 'TIME_LEFT' := 0; 'STEP_NO' := 0; 'STEP_TEXT' := "READY"; 'SEQ_START.CV' := 0 (* Init *) Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000
A3	Assignment	6	0	0	Action Expression: 'WD_ALARM.CV' := 0; Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000

LOPETUSSEKVENSSI

Report:	Control Module
Name:	SEQ_LOPPU
Contents:	ALL_HV_CLOSE INITIAL START STOP_DRAIN T2 T3 T_INITIAL T_START WD_ALM
Report:	Control Module
Name:	SEQ_LOPPU
Description:	Control Module
Path:	VESI_DEMO/SEQ_LOPPU
Node Assignment:	CONTROLLER1
Execution Period:	1 sec
Algorithm Type:	SFC
Primary Graphic Name:	hamk_prosessi
Detail Graphic Name:	
Faceplate Graphic Name:	SEQ3_fp
Work In Progress?	No
Restore parameters	No
Auto-assign blocks to H1 Port	No

Parameter Name:	Parameter Value:	Linked:	Parameter Category:	Connection Type:	Parameter Type:
<u>Parameters for SEQ_LOPPU</u>					
COND1				Internal write only	String
COND2				Internal write only	String
COND3				Internal write only	String
COND4				Internal write only	String
COND5				Internal write only	String
SEQ_CMND	COMMAND			Internal write only	Internal Reference
SEQ_START	Seq_start			Input	Named Set
Named Set	Seq_start				
Named Value	START				
SEQ_STAT	STATE			Internal write only	Internal Reference
STEP_NO	0			Internal write only	Floating point
STEP_TEXT				Internal write only	String
TIME_LEFT	0			Internal write only	Floating point
WAIT1	80			Internal read only	Floating point
WAIT2	10			Internal read only	Floating point
WD_ALARM	False			Internal write only	Boolean

Actions for Step SEQ_LOPPU/ALL_HV_CLOSE

Step Actions:	Action Type:	Qlf	Dly	Dis	Expression:
A1	Assignment	1	0	0	Action Expression: 'TIME_LEFT' := ('WAIT2' - 'ALL_HV_CLOSE/TIME.CV'); 'STEP_NO' := 2; 'STEP_TEXT' := "END"; Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000
A3	Assignment	6	0	0	Action Expression: 'WD_ALARM.CV' := 0; Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000
A4	Assignment	6	0	0	Action Expression: //HV1/DC1/SP_D.CV := 0; //HV2/DC1/SP_D.CV := 0; //HV3/DC1/SP_D.CV := 0; //HV4/DC1/SP_D.CV := 0; Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000
A2	Assignment	5	45	0	Action Expression: 'WD_ALARM.CV' := 1; Delay Expression: 45.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000
A5	Assignment	1	0	0	Action Expression: IF //HV1/DC1/SP_D.CV = 1 THEN 'COND1' := "HV-1" ELSE 'COND1' := "" END_IF; IF //HV2/DC1/SP_D.CV = 1 THEN 'COND2' := "HV-2" ELSE 'COND2' := "" END_IF; IF //HV3/DC1/SP_D.CV = 1 THEN 'COND3' := "HV-3" ELSE 'COND3' := "" END_IF; IF //HV4/DC1/SP_D.CV = 1 THEN 'COND4' := "HV-4" ELSE 'COND4' := "" END_IF; Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000

Actions for Step SEQ_LOPPU/INITIAL

Step Actions:	Action Type:	Qlf	Dly	Dis	Expression:
A1	Assignment	1	0	0	Action Expression: 'TIME_LEFT' := 0; 'STEP_NO' := 0; 'STEP_TEXT' := "INITIAL STEP"; 'SEQ_START.CV' := 0 (* Init *) Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000
A3	Assignment	6	0	0	Action Expression: 'WD_ALARM.CV' := 0; Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000

Actions for Step SEQ_LOPPU/START

Step Actions:	Action Type:	Qlf	Dly	Dis	Expression:
A1	Assignment	1	0	0	Action Expression: 'TIME_LEFT' := 0; 'STEP_NO' := 0; 'STEP_TEXT' := "READY"; 'SEQ_START.CV' := 0 (* Init *) Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000
A3	Assignment	6	0	0	Action Expression: 'WD_ALARM.CV' := 0; Delay Expression: 0.000000

Actions for Step SEQ_LOPPU/START

Step Actions:	Action Type:	Qlf	Dly	Dis	Expression:
A3	Assignment	6	0	0	Action Expression: 'WD_ALARM.CV' := 0; Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000

Actions for Step SEQ_LOPPU/STOP_DRAIN

Step Actions:	Action Type:	Qlf	Dly	Dis	Expression:
A1	Assignment	1	0	0	Action Expression: TIME_LEFT := ('WAIT1' - 'STOP_DRAIN/TIME.CV'); 'STEP_NO' := 1; 'STEP_TEXT' := "DRAIN"; Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000
A3	Assignment	6	0	0	Action Expression: 'WD_ALARM.CV' := 0; Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000
A4	Assignment	6	0	0	Action Expression: 'P1/DC1/SP_D.CV' := 0; 'HV2/DC1/SP_D.CV' := 1; 'HV4/DC1/SP_D.CV' := 1; 'LICZA-100/PID1/MODE.TARGET' := 8; 'LICZA-100/PID1/OUT.CV' := 100; Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000
A2	Assignment	1	0	0	Action Expression: IF 'P1/DC1/SP_D.CV' = 1 THEN 'COND1' := "P1 OFF" ELSE 'COND1' := "" END_IF; IF 'HV2/DC1/SP_D.CV' = 0 THEN 'COND2' := "HV-2" ELSE 'COND2' := "" END_IF; IF 'HV4/DC1/SP_D.CV' = 0 THEN 'COND3' := "HV-4" ELSE 'COND3' := "" END_IF; IF 'LICZA-100/PID1/MODE.TARGET' != 8 THEN 'COND4' := "LIC MAN" ELSE 'COND4' := "" END_IF; IF 'LICZA-100/PID1/OUT.CV' != 100 THEN 'COND5' := "FV-1" ELSE 'COND5' := "" END_IF; Delay Expression: 0.000000 Confirm Timeout Expression: 0.000000