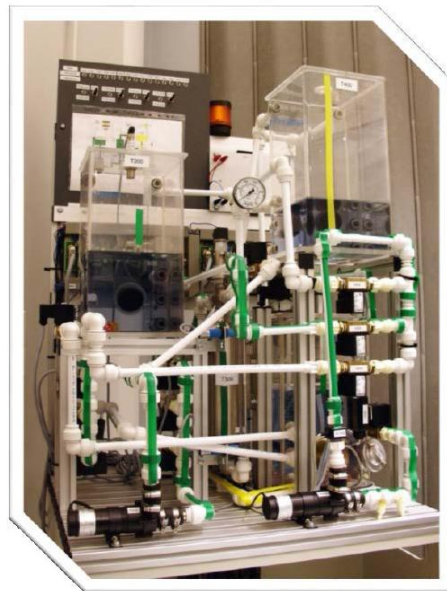


ELEC-C1310 - Automaatio- ja systeemitekniikan laboratoriotyöt

Process Plant Automation System

Work instructions



1 Johdanto

Teollisuudessa automaatioinsinööri joutuu tekemisiin laajojen ja monimutkaisten järjestelmien kanssa. Aloittelevan automaatioinsinöörin tehtävät voivat liittyä järjestelmien käyttöön mutta ehkä useammin niiden suunnitteluun (konfigurointiin). Tyypillisesti suunnittelutehtävät käsittävät aluksi jonkin rajatun osa-alueen rutiinitehtäviä. Kokeneemmat suunnittelijat vastaavat työn rajauksesta ja liittymäpinnoista järjestelmän muihin osiin. Oman työn merkityksen ymmärtämisen ja tehokkaan suunnittelutyön edellytys on pystyä hahmottamaan prosessia ja sen automaatiota oman lokeronsa ulkopuolelta. Tämän laboratoriotyön tarkoitus on esitellä ja havainnollistaa laajahkon prosessiautomaatiosovelluksen suunnittelua, toiminnallisia osa-alueita ja operointia. Esimerkkiprosessi on kuvitteellinen lämpövoimalaitos, joka tuottaa paineistettua ja lämmitettyä vettä johonkin asiakasprosessiin (Heat Production Process, HPP). Määritelty prosessi toimii automaation tietotekniikan tutkimusryhmän tiloissa olevassa vesiprosessilaitteistossa. Prosessin hallintaan on toteutettu PLC-pohjainen automaatiojärjestelmä, jonka toteutustyyli ottaa mallia hajautetuista automaatiojärjestelmistä (DCS).



1.1 Opetustavoitteet

Laboratoriotyön tavoitteena on esitellä ja havainnollistaa laajahkon prosessiautomaatiosovelluksen suunnittelua, toiminnallisia osa-alueita ja operointia. Opiskelijoiden tulisi työn jälkeen ymmärtää:

- Prosessiautomaatiosovelluksen toteutusta edeltävää suunnittelua ja sen aineistoja, kuten PI-kaaviot, automaation toiminnalliset määrittelyt sekä lukitusmatriisit.
- Automaatiosovelluksen toiminnallista rakennetta, kuten mittaus- ja laiteohjauslohkot, stabiloiva säätö, ryhmäohjaukset, sekvenssiohjaus, suojaukset ja operaattorin käyttöliittymä.
- Kuinka prosessia voidaan hallita valvomonäyttöjen kautta.

2 Yleistä prosessilaitosten järjestelmistä

Prosessilaitoksen järjestelmät voidaan jakaa karkeasti prosessijärjestelmään ja sitä hallitsevaan automaatioon. Prosessijärjestelmä käsittää materiaalivirrat ja niitä ”sulkevat” prosessilaitteet, kuten säiliöt, kattilat, reaktorit, lämmönvaihtimet, pumput, putkistot, venttiilit, jne. Laitoksen prosessijärjestelmän monimutkaisuutta hallitaan jäsentämällä sitä eri sidosryhmiä palveleviin hierarkioihin. Usein prosessijärjestelmä jaetaan päätehtävän mukaisesti pää- ja apuprosesseihin. Yksi pääprosessi voi olla esimerkiksi voimalaitoksen höyrypiiri, joka muuttaa veden korkeapaineiseksi höyryksi. Vastaavia apuprosesseja voivat olla ovat esimerkiksi polttoaineen ja paloilman syöttöjärjestelmät. Lisäksi suuria prosessikokonaisuuksia jaetaan fyysisen rakenteen sekä toiminnallisuuden mukaan pienemmiksi osaprosesseiksi, jonka alimmalla tasolla ovat yksittäiset prosessilaitteet. Höyrypiirin osaprosesseja voivat olla esimerkiksi kattila- ja syöttövesijärjestelmät. Syöttövesijärjestelmän alimmalta tasolta löytyy prosessilaitteita, kuten esimerkiksi putkilinjoja, haarautumia, venttiilejä ja syöttövesipumppu. Prosessijärjestelmän hierarkioita hyödynnetään automaatiojärjestelmän ja valvomon rakenteiden suunnittelussa. Esimerkiksi osaprosesseille saatetaan määritellä omat ohjausasemat, valvomonäytöt sekä hälytyskäsittely.

Prosessin ja automaation välisen liittymäpinnan muodostaa kenttäinstrumentointi, eli 1) toimilaitteet, joiden välityksellä ohjataan tiettyjä prosessilaitteita ja vaikutetaan prosessin tilaan, sekä 2) anturit, joilla prosessin tilaa havainnoidaan. Esimerkkejä instrumentoinnista ovat pumppu- ja puhallinkäyttöjä ohjaavat taajuusmuuttajat ja kontaktorit, venttiilien asennoittimet, lämpöanturit, rajakytkimet, painemittarit, pinnankorkeusmittarit, jne. Instrumentoinnin toiminta vaatii käyttöhyödykkeiden (sähkö, paineilma, yms.) lisäksi tiedonsiirtotekniikkaa, joka välittää mittaus- ja ohjaussignaalit instrumenttien ja ohjausosiemien välillä. Perinteisissä automaatiojärjestelmissä tiedonsiirto on toteutettu ”langoittamalla” jokainen signaali omalla johtimellaan, erilaisten kytkentälaitteiden välityksellä, tietoa tarvitsevan ohjausosiemän mittaus-/ohjauskortille. Myöhemmin mukaan ovat tulleet digitaaliset kenttäväylät, jotka yksinkertaistavat kaapelointia merkittävästi sekä mahdollistavat myös laitteiden konfigurointiin ja diagnostiikkaan liittyvää tiedonsiirtoa. Väyläratkaisut tekevät myös tiedon vastaanottajan määrittelyn joustavammaksi.

Perusautomaation piiriin kuuluvia ohjaussovelluksia suoritetaan erilaisissa ohjaustietokoneissa, kuten ns. älykkäissä kenttälaitteissa, ohjelmoitavissa logiikoissa (PLC) tai automaatiojärjestelmien prosessiasemissa (DCS). Ohjaustietokoneissa käytetään erikoistuneita käyttöjärjestelmiä ja ohjelmistoalustoja, jotka vastaavat prosessin vaatimiin tosiaikaisuusvaatimuksiin. Ohjaussovellukset voidaan jäsentää kerrosmallin mukaisesti 1) mittaus- ja laiteohjaustasoon, 2) stabiloivaan säätöön sekä 3) asetuservoja optimoivaan säätöön. Ylemmällä tasolla ovat vielä prosessia eri tilojen välillä siirtävät 4) sekvenssiohjaukset sekä 5) operaattoreiden käyttöliittymät. Käyttöliittymät ja tietyt sekvenssiohjaukset sijoitetaan yleensä erilleen ohjaustietokoneista omiin tiloihinsa. Ryhmäohjauksilla voidaan ohjata joukkoa laitteita (laiteohjauslohkoja), mutta myös säätimiä, joten niitä löytyy tasojen 1 ja 4 väliltä. Valvomo-sovellukset kommunikoivat ohjausosiemien kanssa esimerkiksi OPC tekniikan välityksellä Ethernet verkon ylitse. Perusautomaation ulkopuolelle kuuluu tukisovelluksia, kuten historiatietokantoja, hälytyspalvelimia, diagnostiikkasovelluksia,

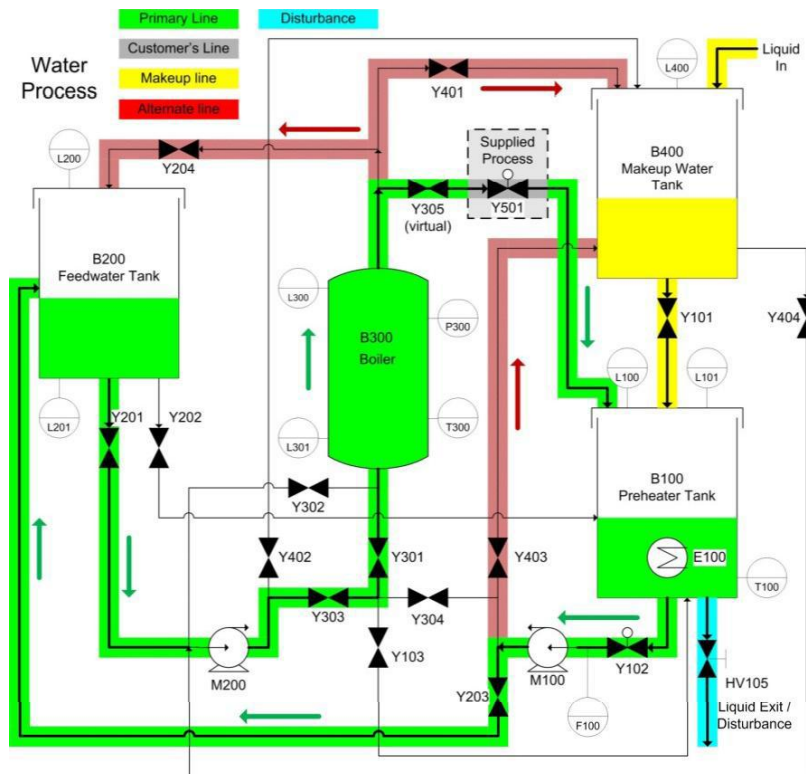
valmistuksenohjaussovelluksia, jne, jotka vastaanottavat tietoa ohjausasemilta ja jopa suoraan kenttälaitteilta.

3 Esimerkkijärjestelmä

Työssä käytettävä laboratoriolaitteisto ja siihen toteutetut ohjaussovellukset sisältävät edellisessä luvussa esitetyt toiminnalliset tasot. Tässä luvussa esitellään tiiviisti esimerkkiprosessi, laitteisto sekä ohjaussovellukset.

3.1 Lämmöntuotantoprosessi

Työhön määritelty lämmöntuotantoprosessi (Heat Production Process, HPP) koostuu yhdestä pää- ja yhdestä apuprosessista (virtauksesta). Oheisessa P&I-kaaviossa ne ovat merkitty vihreällä ja keltaisella värillä. Lisäksi kaaviossa näkyy kolme poikkeusvirtausta punaisella sekä huolto tai häiriövirtaus sinisellä. Päävirtaus (vihreä) on suljettu vesipiiri, jossa vettä esilämmitetään, siirretään syöttövesisäiliöön, pumpataan kattilaan ja edelleen asiakkaan prosessin (harmaa laatikko) kautta takaisin esilämmitykseen. Prosessin vaatimuksiin kuuluu pinnankorkeuksien, lämpötilan, virtauksen ja paineen säätötehtäviä sekä laitteiden ja ympäristön suojauksia. Apuprosessi (keltainen) vastaa pääprosessin vesimäärän pitämisestä riittävänä. Asiakasprosessi on mallinnettu säätöventtiilinä, jolla voidaan simuloida kuormitusvastusta kattilan paineensäädölle (virtauksen kuristaminen). Käynnistysvaiheessa, ennen asiakastuotannon aloittamista, vettä esilämmitetään kierrättämällä sitä esilämmittimen (B100) ja syöttövesisäiliön (B200) kautta, kunnes haluttu esilämmityslämpötila on saavutettu. Tämä kierto kulkee vihreällä merkittyä reittiä pitkin, paitsi että se ohittaa kattilan (B300), kulkemalla venttiilin Y303 jälkeen venttiilin Y103 läpi esilämmitystankkiin.



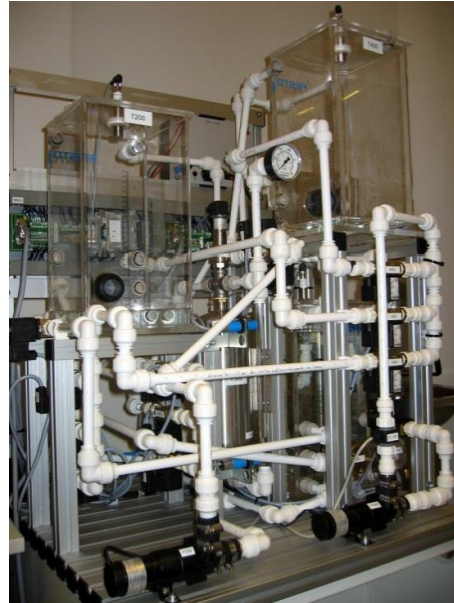
Kuva 1 Prosessin ja laitteiston toiminnallinen rakenne P&I-kaaviona

Virtausten sisältö ja prosessiyksiköiden toiminta on kuvattu tarkemmin liitedokumentissa *ASlabT14-ProcessDescription*. Dokumentti esittää prosessin ja laitteiden toimintakuvaukset prosessisuunnittelijan näkökulmasta ja sisältää siten vaatimuksia myöhemmin toteutetulle automaatiolle.

3.2 Prosessilaitteisto

Lämmöntuotantoprosessin päälaitteita (prosessiyksiköitä) ovat esilämmitin (B100), esilämmittimen pumppuyksikkö (M100), syöttövesisäiliö (B200), syöttövesipumppu (M200) sekä kattila (B300). Lisäksi on lisävesisäiliö (B400), mutta sillä on prosessissa passiivinen rooli eikä sille ole määriteltäviä toimintoja. Kullakin päälaitteella on prosessissa oma tehtävänsä ja sen käytettävissä on joukko antureita ja toimilaitteita. Päälaitteiden tarkat toiminnalliset kuvaukset ovat dokumentissa *ASlabT14-ProcessDescription*.

Laitteistoon kuuluu riittävä määrä antureita pinnankorkeuden, virtauksen, lämpötilan ja paineen mittausta varten. Pumpuilla ja venttiileillä (ja painovoimalla) tuotetaan ja ohjataan virtauksia. Vettä voidaan lämmittää lämmitelementin avulla. Veden painetta voidaan kasvattaa pumppaamalla vettä osittain kiinni olevaa venttiiliä vasten. Instrumentointi luetellaan tarkemmin dokumentissa *ASlabT14-AutomationDescription*.



Kuva 2 Prosessilaitteisto

3.3 Automaatiolaitteet ja automaation ohjelmistoalustat

3.3.1 Tiedonsiirto

Signaalikaapelointi antureilta ja toimilaitteilta johtaa kytkentäpaneeliin. Osa signaaleista johdetaan paneelista suoraan automaation I/O moduuliin, mutta osalle signaaleista tehdään käsittelyä. Paneelin mittauskorteissa esimerkiksi suodatetaan mittaussignaalia ja muunnetaan se automaatiolle sopivaksi jänniteviestiksi (esim. 0-10V tai 0/24V). Ohjaukskorteissa puolestaan voidaan muuttaa ja vahvistaa automaation ohjaussignaali moottorin tai venttiilin käyttöjännitteeksi. KytKentäpaneelista signaalit on johdotettu kenttäväylän I/O moduuliin.



Kuva 3 KytKentäpaneeli, oikealla anturiin/toimilaitteeseen liittyvää elektroniikkaa

Kentän ja ohjausaseman väliseen tiedonsiirtoon käytetään (syksy 2014 lähtien) ModbusTCP standardin mukaista Ethernet –pohjaista kenttäväylä-protokollaa. Kentällä oleva I/O-moduuli (ModbusTCP Slave) sisältää tarvittavan määrän digitaalisia ja analogisia tuloja ja lähtöjä, jotka on konfiguroitu instrumenttien mukaisille jännitetasoille (-10-10V, 0-10V tai 0/24V). I/O-moduulista

lähtee verkkokaapeli talon paikallisverkkoon ja siten muodostuu tavanomainen TCP/IP yhteys ohjausaseman verkkokorttiin ja siellä sijaitsevaan PLC:n ajoympäristösovellukseen (ModbusTCP Master).



Kuva 4 CANopen IO moduuli, vasemmalla väylämoduuli, oikealla eri IO tyyppien lisämoduulit (AI, AO, DI, DO)

3.3.2 Ohjaussovellusten ajoympäristöt

Ohjausasema on tavallinen verkkoyhteydellä varustettu PC, johon on asennettu automaattiosovelluksia suorittava *CoDeSys Control Win* ajoympäristösovellus, eli "runtime". Sovellukset kehitetään erillisessä ohjelmointityökalussa, josta voidaan "logata" ajoympäristösovelluksiin ja ladata ja käynnistää niihin sovelluksia. Ohjelmointityökalussa tehdään myös kenttäväylän kommunikoinnin konfigurointi. Sen myötä I/O-moduulin (ModbusTCP Slave) muistialueisiin kytketyt kenttäsignaalit saadaan kommunikoitua PLC-resurssin (ModbusTCP Master) muuttujiin. Kenttäväylän konfigurointisovellus on integroitu *CoDeSys* ohjelmointisovellukseen. PLC:n muuttujat voidaan myös merkitä OPC-muuttujiksi. Tällöin niihin pääsee käsiksi PLC-ajoympäristösovelluksen kanssa kommunikoivan OPC-palvelimen kautta, esimerkiksi valvomosovelluksessa. Valvomo-sovelluksena toimii erillinen pieni visualisointityökalu nimeltä *ProVisIt*. Sitä suoritetaan samassa PC-koneessa, kuin PLC-ajoympäristöäkin. Valvomosovellukseen on integroitu OPC asiakas, joka saa prosessimuuttujia PLC:n OPC-palvelimen kautta.

3.4 Ohjaussovellukset

Ohjaussovellukset on toteutettu *CoDeSys* työkalulla IEC 61131-3 -ohjelmointikielillä, ja sitten ladattu PLC-ajoympäristösovellukseen. Toteutukseen on käytetty pääasiassa FBD (Function Block Diagram, toimilohkokieli), ST (Structured Text, lausekieli) ja SFC (Sequential Function Chart, tilakaaviokieli) kieliä. Valvomosovellus puolestaan on tehty *ProVisIt* työkalulla. Valvomoa käytetään samasta työkalusta vaihtamalla valvomonäytön tila suunnittelusta ajotilaan. Toteutetut sovellukset on kuvattu tarkemmin ohjelmakaavioineen ja näyttökuvineen dokumentissa *ASlabT14-ImplementationDescription*. Seuraavassa on lyhyet kuvaukset sovelluksen kerroksista, alkaen mittauksista ja ohjauksista ja päättyen valvomosovellukseen.

3.4.1 Mittaus- ja laiteohjauslohkot

Mittaus- ja laiteohjauslohkot (toimilohkot) ovat automaattiosovelluksen alinta toiminnallista tasoa ja edustavat järjestelmässä olevia antureita ja toimilaitteita. Yhtä anturia tai toimilaitetta vastaa

automaatiosovelluksessa yksi ohjauslohko ("laiteajurit"). Ne vastaavat signaalien lukemisesta ja kirjoittamisesta PLC-ajoympäristön kommunikointikerrokseen, eli kenttäväylään kytkettyihin PLC-muuttujiin. Mittauslohkojen päätehtävä on lukea signaalin I/O-muuttujan arvo, suodattaa signaalista haluttu informaatio ja tuottaa käsitelty signaali automaatiosovelluksen käyttöön loogisella eli sovelluksen toiminnan kannalta ymmärrettävällä nimellä. Tässä tapauksessa käytetään P&I-kaaviossa esitettyjä tunnusnimiä (esim. L100, Y101, ...). PLC-ympäristössä nimeäminen tarkoittaa käytännössä uuteen globaaliin muuttujaan kirjoittamista. Lisäksi mittauslohkot voivat tehdä signaalin arvoon liittyviä varoituksia ja hälytyksiä. Lohkokirjastoon on toteutettu kaksi mittauslohkotyyppiä: Analog Input "AI_3", Binary Measurement "BI_2", joilla toteutetaan prosessijärjestelmän kaikkien mittausten käsittely (pinnankorkeudet, pintarajat, lämpötilat, paine, virtaus).

Laiteohjauslohkojen päätehtäviin kuuluvat vastaavasti automaatiosovellukselta (usein säädinlohkolta, sekvenssiohjelmalta tai valvomonäytöltä) saadun laiteohjaussignaalin kirjoittaminen kommunikointikerroksen I/O-muuttujaan. Muita tärkeitä tehtäviä ovat laitteen toimintatilan eli "moodin" hallinta (automaatti/manuaalinen/sekvenssi), laitteen suojaustilan hallinta (lukittu kiinni/auki) sekä laitteen kulloisenkin tilan näyttäminen muuttujien välityksellä ulospäin. Lohkokirjastoon on toteutettu kaksi laiteohjauslohkotyyppiä: On/Off Actuator "OOA_3" sekä Proportional Actuator "PA_1", joilla toteutetaan prosessijärjestelmän kaikkien toimilaitteiden ohjaus (venttiilit, pumput, lämmitin).

Näistä on instantioitu sovellukseen noin 30 mittaus- tai ohjaustoimilohkoa. Lohkotyytit ja niiden rajapinnat on kuvattu tarkemmin dokumentissa *ASlabT14-FBtypesDescription*.

3.4.2 Stabiloiva säätö

Perusautomaation tärkeimpiä tehtäviä on pitää prosessi hallinnassa, eli stabiloida halutut prosessisuureet kulloinkin haluttuihin arvoihin. Tähän tehtävään stabiloivan säädön kerros käyttää mittaus- ja laiteohjauskerroksen toimintoja (lohkoja). Automaatiosovelluksen keskeisin rakenneosana on säätöpiiri, joka yleensä yhdistää mittaus-, ja ohjaustoiminnot sekä säätötoiminnon samaan toimilohkokieliseen ohjelmaan. Esimerkiksi tässä HPP (Heat Production Process) -sovelluksessa säädetään erään säiliön pinnankorkeutta raja-arvosäätimellä (hystereesisäädin) mittaamalla pinnan korkeutta ja avaamalla ja sulkemalla sisään tulevaa magneettiventtiiliä. Toteutuksessa kaikki nämä toiminnot on sijoitettu samaan lohkokieliseen ohjelmaan. Laajoissa prosessiautomaatiosovelluksissa saattaa olla tuhansia säätöpiirejä. Stabiloiva säätö saattaa koostua useammista päällekkäisistä säätimistä (kaskadisäätö), joissa ylempi säädin laskee asetusrvon alemman tason säätimelle. Lisäksi on erilaisia monimutkaisempia säätörakenteita, joilla voidaan laskea ja optimoida useiden alempien säätimien asetusarvoja. Tällaiset hienostuneemmat säätimet voivat olla omia toimilohko-ohjelmiaan (program) tai ulkopuolisia säädintuotteita, jotka kommunikoivat alemman tason säädinten kanssa esimerkiksi OPC-muuttujien avulla. Säädin voi saada asetusarvonsa myös jaksollista toimintaa toteuttavalta sekvenssiohjelmalta tai säätimen operointipaneelista valvomo-operaattorilta. Tämän työn sovelluksen säätörakenteet ovat yhtä kaskadirakennetta lukuun ottamatta yksitasoisia.

Automaatiojärjestelmään on toteutettu kaksi säädinlohkotyyppiä: Limit Controller "LC_3" sekä PID Controller "PIDC_3". Näistä on sovellukseen instantioitu viisi säädintä: Esilämmittimen lämpötilansäätö TIC100, Esilämmittimen pinnankorkeuden säätö LIC100, Esilämmittimen

ulostulovirtauksen säätö FIC100, Syöttövesisäiliön pinnankorkeuden säätö LIC200 ja Kattilan paineensäätö PIC300. Säätimet on toteutettu kukin omaan toimilohko-ohjelmaansa (esim. LIC100PROG). Kaskadisäätöä tekee säädinpari LIC200 ja FIC100, jossa ylempi LIC200 tuottaa virtausohjeen asetusarvoksi alemmalle FIC100 säätöpiirille.

3.4.3 Ryhmäohjaukset

Lukuisten yksittäisten laitteiden ja säädinten ohjaaminen ylemmältä tasolta voi tehdä ohjaussovelluksesta kohtuuttoman monimutkaisen. Ylempiä ohjausrakenteita voidaan yksinkertaistaa etsimällä sovelluksesta laiteryhmiä, joita käytetään usein ryhmänä, kuin ne olisivat yksi ja sama "looginen" tai "koostettu" laite. Kootusti ohjattavan laiteryhmän ohjaustoimintoa voidaan kutsua ryhmäohjaukseksi (group control). Erilaisiin tarkoituksiin ryhmänä käytetyillä laitejoukoilla voi olla samanlainen ohjausrajapinta. Tämä mahdollistaa ohjaustoiminnon kapseloinnin eli "tyypittämisen" omaksi toimilohkokseen. Tällaisen toimilohkon rajapinnassa on tuloportit koko ryhmää koskeville komennoille, kuten "Start", sekä lähtöportit yksittäisten laitteiden käsittelyyn ja ryhmän tilan ilmaisemiseen. Lohko yksilöidään ohjaamaan tiettyä laitejoukkoa kytkemällä sen laitekohtaiset portit globaaleihin muuttujiin, jotka on kytketty kyseisten laitteiden ohjauslohkoihin. Ryhmäohjauksien käyttö yksinkertaistaa erityisesti yläpuolisten sekvenssiohjelmien ja valvomotoimintojen toteutusta. Sama fyysinen laite voi kuulua useaan ryhmäohjaukseen, mutta vain yksi tällainen ryhmäohjaus voi olla aktiivinen samaan aikaan. Kun ryhmäohjaus käynnistetään, se tarkistaa, onko siihen kuuluvat laitteet saatavissa käyttöön. Tähän käytetään laitteiden mooditoiminnallisuutta (ks. luku Moodit).

HPP sovellukseen on toteutettu lukuisia ryhmäohjauksia, joilla toteutetaan mm veden siirtoja tankista toiseen. Prosessijärjestelmässä on neljä tankkia, joten tarvitaan 12 ryhmäohjausta (program) toteuttamaan kaikki siirtokombinaatiot. Lisäksi on neljä muuta hieman laajempaa ryhmäohjausta, joita käytetään sovelluksen pääsekvenssissä. Ryhmäohjauksia voi käyttää myös valvomonäyttöjen käynnistyspainikkeilla. Veden siirtoon tarkoitetut ryhmäohjaukset osaavat pysäyttää itsensä, kun lähtötankki saavuttaa pinnankorkeuden L-varoituksen tai kun kohdetankin pinta saavuttaa H-varoituksen. Ryhmäohjaus-ohjelmat on nimetty sovelluksessa tyyliin GC_PUMP_B100toB200. Ryhmäohjauslohkoja on kahta tyyppiä, toinen max kuudelle ohjattavalle laitteelle (GROUP_CONTROL) ja toinen max 12 ohjattavalle laitteelle (GROUP_CONTROL_2). Molempien näistä ytimessä on sama SFC-kielinen tilakone-toteutus (GC_STATE_MACHINE), joka hallitsee ryhmäohjauksen käynnistyksen, sammutuksen, työskentelytilan ja poikkeustilan.

3.4.4 Sekvenssit

Jaksollisesti etenevää prosessin ohjausta voi toteuttaa sekvenssiohjelmilla. Niitä käytetään esimerkiksi prosessien ylösajoon ja alasajoon, jolloin on tarve käynnistää tai sammuttaa jokin toiminto, esimerkiksi säätöpiiri, ja odottaa että sen vaikutus on tullut hallitusti voimaan. Vasta sitten voidaan käynnistää tai sammuttaa jokin muu toiminto. Sekvenssiohjelma jäsenyy askeliin ja niiden välisiin siirtymiin. Askelissa suoritetaan ohjelmia tai asetetaan muuttujille arvoja ja siirtymiin liittyy siirtymäehtoja. Sekvenssiohjelma kommunikoi laiteohjauslohkojen, säätöpiirien, ryhmäohjausten ja valvomon kanssa IEC-ympäristössä globaalien muuttujien välityksellä.

HPP-sovellukseen on toteutettu SFC-kielinen sekvenssiohjelma (HPP_MAIN_SEQUENCE) ja sille valvomokäyttöliittymä, joilla prosessi voidaan käynnistää vaiheittain. Sekvenssi on kuvattu lähtien yleisistä vaatimuksista aina toteutukseen saakka *ASlabT14-ProcessDescription*, *ASlabT14-AutomationDescription* ja *ASlabT14-ImplementationDescription.pdf* –dokumenteissa.

3.4.5 Moodit

Moodit ovat automaatiotoimintojen hallinnan apuväline, joilla voidaan vaikuttaa esimerkiksi toimilaitteiden, mittauksen ja säädinten toimintatapaan. Erityisesti moodin avulla kerrotaan alemman tason automaatiotoiminnolle, kuka sitä milloinkin ohjaa eli mistä tulevia ohjaukomentoja ohjauslohkon pitää kuunnella. Näitä eri paikoista tulevia ohjaukomentoja varten lohkon rajapintaan on toteutettu omat porttinsa. Vastaavasti moodien asettamiseen on omat asetusporttinsa. Tavallisesti MANUAL moodissa lohko ottaa ohjaussignaalin sellaisesta tuloportista, jota kirjoitetaan valvomonäytöistä operaattorin toimesta ja vastuulla. AUTO-moodissa lohko käyttää yleensä säätimen tuottamaa ohjaussignaalia. SEQUENCE-moodissa lohko lukee ohjauksen sekvenssiohjelman kirjoittamasta muuttujasta.

Kun kirjastolohkot toteuttavat moodi-toiminnallisuuden, ohjelmoija voi toteuttaa monipuolisia ohjausrakenteita niin, että operaattorille jää aina mahdollisuus ottaa ohjaus omiin käsiinsä, asettamalla moodi manuaalille. On kuitenkin huolehdittava, että manuaali-tilassa aktivoitua ohjaukomento (esim. kiinni/auki) on turvallinen. Usein manuaali-tilaa käytetäänkin turvatilana, kun automaattinen suojaustoiminto eli ns. lukitus aktivoituu. Tällöin laiteohjauslohko pudottaa itsensä manuaali-moodiin ja alkaa siten käyttää operaattorin asettamaa ohjaussignaalia.

Vesiprosessijärjestelmän laiteohjauslohkot toteuttavat moodit AUTO, MANUAL ja SEQUENCE. Mittauslohkoissa on AUTO, MANUAL ja SIMULATION, jolloin sovellukselle tuotettu mittausarvo tulee joko kentältä, operaattorilta tai simuloidusti. Kaksi jälkimmäistä on hyödyllisiä mm. testauksessa.

3.4.6 Lukitukset

Lukitukset ovat automaattisia turvatoimintoja, joilla voidaan suojella ihmisiä tai fyysistä omaisuutta. Niiden ajatellaan usein olevan normaalista perusautomaatiosta erillisiä toimintoja, jotka syntyvät turvallisuuteen liittyvän suunnitteluprosessin tuloksena. Turvatoiminto toteutetaan järjestelmään, kun on havaittu joku turvallisuusriski, jota ei muilla keinoin saada madallettua siedettävälle tasolle. Lukitukset havainnoivat prosessia omilla tai yhteisillä antureilla ja kun jokin kynnyksarvo ylittyy, toiminto aktivoi suojaustoimenpiteitä, kuten sulkee venttiileitä, ajaa alas moottoreita tai jopa katkaisee sähköjostain I/O-järjestelmästä. Toiminnot voivat olla hallittuja alarajoja tai karkeita sammutuksia, riippuen tilanteen vaatimuksista. Kun lukitukset toteutetaan erilleen, varmistuu niiden riippumattomuus perusautomaation mahdollisista virheistä. Lukitukset ovat usein monimutkainen osa koneen tai prosessin ohjausta. Lukitukset voivat ketjuuntua ja alkusyyntä löytäminen vaatii osaamista ja havainnollista valvomoa ja lukitusnäyttöjä.

HPP-sovelluksessa on oikeita riskejä, joita varten on toteutettu turvatoimintoja. Näitä ovat tankkien ylivuodot ja lämmittimen ylikuumentuminen kuivakäytön seurauksena. Lisäksi on toteutettu joitain opetuksellisia suojaustoimintoja, kuten pumpun käytön esto suljettua venttiiliä vasten. Näiden vaatimukset on esitetty lukitusmatriisina, jossa esitetään suojaukseen johtavat syyt vasemmalla ja

seuraukset oikealla. Syyt esitetään mittausten tiloina ja seuraukset laiteohjausten tiloina (pakko-ohjauksia). Matriisi löytyy *ASlabT14-ProcessDescription.pdf* –dokumentista.

Lukituksia varten laiteohjauslohkoissa on muutama tuloportti, joiden kautta laite voidaan lukita eri tavoin sekä lähtöportti, joka kertoo onko laite lukitustilassa. HPP-sovelluksessa lukitustavoista käytetään ainoastaan `ForcedCloseOff` –porttia ja lukitustapaa, joka pakko-ohjaa laitteen kiinni. Laite itse siirtää itsensä manuaali-tilaan. Vesiprosessin lohkokirjastoissa ja ohjelmointityylissä lukitustieto havaitaan omista lukituslohkoistaan (`INT_2`). Tällaiset lohkot sijoitetaan samaan ohjelmaan lukituksen kohteena olevan laitelohkon kanssa. HPP-sovelluksessa lukituslogiikat ovat erittäin yksinkertaisia; `INT_2` lukituslohkon sisällä on viiden boolean tuloportin arvojen OR-logiikka, joka tuottaa lukituksen, jos joku näistä viidestä portista antaa arvon `TRUE`. Eri lukitustoiminnot on toteutettu kytkemällä tarvittavat anturi- tai hälytystiedot sisältävät muuttujat näihin portteihin.

3.4.7 Valvomo-ohjaus

Graafiset valvomoikkunat visualisoivat prosessin selkeästi niin, että operaattorin on mahdollisimman helppoa suorittaa hänelle kuuluvia prosessin hallintatehtäviä, kuten prosessin ylös- ja alasajot, normaalikäyttö sekä erilaiset poikkeustilanteet, kuten lukitusten selvittäminen. Hyvän valvomon tulee perustua operaattorin tehtäviin ja korkean käytettävyyden tavoitteisiin, jolloin valvomon rakenteet ja käsitteet voivat poiketa automaatiojärjestelmän suunnittelun aikaisista rakenteista. Tämän sovelluksen valvomoikkunat perustuvat kuitenkin enimmäkseen suunnittelun aikaisiin rakenteisiin. Pääikkunassa näkyy taustakuvana suunnittelun apuvälineenä käytetty P&I-kaavio. Tämän päälle on lisätty valvomosuunnittelutyökalulla aktiivinen kerros, joka visualisoi laitteiden tiloja värein, kertoo olennaisten prosessimuuttujien tiloja numeerisesti sekä mahdollistaa navigoinnin tarkempiin osaprosessi-näyttöihin hiirellä klikkaamalla. Tarkemmissa osaprosessinäytöissä näkyy olennainen osa P&I-kaaviota sekä tähän osaprosessiin kuuluvien säätöpiirien, ohjauslaitteiden ja mittausten hallintapaneelit ("faceplate"). Hallintapaneeli on lomakemuotoinen tiivis tietoikkuna kyseiseen automaatio toimintoon (laiteohjaus, mittaus, säätö) liittyvistä tilamuuttujista ja parametreista. Prosessia voidaan käyttää manuaalisesti valvomonäyttöjen ja paneelien kautta, mutta esimerkiksi ylösajotehtävän suorittaminen käsin lukuisten eri osaprosessinäyttöjen hallintapaneelien kautta on monimutkaista ja hankalaa. Siksi sovellukseen on laadittu sekvenssiohjelma ja tälle helppokäyttöinen valvomoikkuna. Tämä toimii prosessin pääasiallisena käyttöliittymänä. Prosessiin kuuluu myös lukuisia prosessilaitteita, jotka eivät kuulu mihinkään tiettyyn osaprosessiin. Näitä ovat esimerkiksi monet venttiilit, jotka eivät sijaitse prosessivirtausten varrella ja voivat palvella useaa prosessiyksikköä. Näiden hallintapaneelit on sijoitettu omalle yleisnäytölleen. Kaiken kaikkiaan sovelluksen valvomossa on siis päänäyttö, viisi prosessiyksikkönäyttöä, pääsekvenssinäyttö sekä yleinen laitenäyttö. Valvomokuvat ovat katseltavissa dokumentissa *ASlabT14-ImplementationDescription*.

3.4.8 Tuotannonohjaus (ERP/MES)

Edelläkuvatut toiminnalliset tasot kuuluvat perusautomaatioon, joka vastaa prosessin hallinnasta. Tämän yläpuolella voi olla tuotannon hallintaan liittyviä tietojärjestelmiä, kuten valmistuksenohjausta ja yleisempää organisaation toiminnanohjausta. Valmistuksenohjauksella on

liittymäpintoja prosessin hallintaan, esimerkiksi tuotantotilausten ja historiatiedon keruun osalta. Näitä järjestelmiä ei ole kuitenkaan sisällytetty voimalaitos-HPP-sovelluksiin.

3.5 Suunnitteluketju

Edeltävät luvut kuvaavat prosessi- ja automaatiojärjestelmiä niiden käyttövaiheessa, valmiina sovelluksina. Suunnittelunäkökulma ja suunnittelun aikana vaiheittain ”tehdasmalliin” kerääntyvä tietosisältö on kuitenkin tärkeä näkökulma automaatio-suunnittelijan työn kannalta. Kukin suunnitteluvaihe voi tukeutua vain edellisten vaiheiden, mahdollisesti muiden suunnittelutoimialojen tuottamiin lähtötietoihin sekä asiakkaalta kerättyihin vaatimusaineistoihin tuottaakseen omat suunnittelupäätöksensä. Automaatiosovellukseen johtava suunnitteluketju jaetaan usein automaation esisuunnitteluun, perussuunnitteluun sekä sovellussuunnitteluun. Näitä edeltävä keskeinen ulkopuolinen suunnitteluvaihe on prosessisuunnittelu, joka tuottaa pääosan automaatoratkaisuun vaikuttavista lähtötiedoista. Prosessisuunnittelun tekee useimmiten joku toinen suunnittelutoimisto, joten prosessi- ja automaatio-suunnittelun välissä kulkee myös organisaatioiden välinen raja. Muita keskeisiä automaatioon vaikuttavia suunnittelualueita ovat sähkösuunnittelu ja instrumentointisuunnittelu.

3.5.1 Prosessisuunnittelu

Prosessisuunnittelun tehtävä on ymmärtää ja suunnitella materiaaliprosessin kemiallinen ja mekaaninen toiminta ja suunnitella sen toteuttamiseen sopiva laitteistoratkaisu. Suunnittelun lopputuloksena syntyy muille suunnittelualoille lähtötietoja erilaisten diagrammien, tekstikuvausten, listojen ja taulukoiden muodossa. Keskeisimpiä automaatio-suunnittelulle ovat prosessin toiminnallisen rakenteen kuvaavat P&I-kaaviot, prosessin ja päälaitteistojen sanalliset toimintakuvaukset, laiteluettelot sekä mittaus- ja ohjauspistelueluettelot. Näiden perusteella tehdään mm. instrumentointisuunnittelu, joka johtaa tarkentuneeseen I/O-luetteloon automaatio-suunnittelijoiden käyttöön. HPP-prosessin taustamateriaaleista *ASlabT14-ProcessDescription* –dokumentin tarkoitus on edustaa tätä prosessisuunnittelun tuottamaa aineistoa automaatio-suunnittelun käyttöön.

3.5.2 Automaation esi- ja perussuunnittelu

Automaation esi- ja perussuunnittelu kerää ja tarkentaa automaatio-sovelluksen suunnittelua varten tarvittavaa lähtöaineistoa ja määrittelyjä. Tässä vaiheessa ei ole tarkoitus vielä tietää lopullisen automaatiojärjestelmätuotteen toimittajaa, ja materiaaleja voi käyttää automaatiotoimittajien kilpailuttamiseen. Keskeinen tehtävä on koota prosessisuunnittelun ja instrumentointisuunnittelun tuottamista aineistoista olennaiset ja laatia automaation toiminnallinen määrittely. Tämä tehdään yhteistyössä prosessisuunnittelijoiden ja loppukäyttäjän operaattoreiden kanssa. Määrittely jäsentää prosessin vaatimat hallintatoiminnot ns. automaatiotoiminnoiksi, niiden sanallisiksi kuvauksiksi sekä säätö- ja logiikkakaavioiksi. keskeinen automaatiotoiminto on säätöpiiri ja siihen kuuluvat erilaiset mittaus, säätö- ja laiteohjaustoiminnot. Perussuunnitteluaineisto toimitetaan edelleen automaatiojärjestelmän toimittajalle, kuten Siemensille, ABB:lle, Metsolle tms. Tätä suunnitteluaineiston osaa vastaa HPP-prosessin dokumentti *ASlabT14-AutomationDescription*.

3.5.3 Sovellussuunnittelu

Sovellussuunnittelussa koodataan varsinainen sovellus käyttäen tiettyä automaatiojärjestelmätuotetta. Perussuunnittelumateriaalin pitäisi olla kattava spesifikaatio siitä, mitä sovelluksen tulee tehdä ja miten se rakentuu. Perussuunnittelumateriaalien toiminnalliset kuvaukset ja mahdolliset logiikkakaaviot toteutetaan niin, kuin ne parhaiten toimittajan työkaluilla kyetään. Vaiheen varsinainen tuotos on koodattu ja tehdastestattu sovellus. DCS-tuotteilla koodaus sisältää valmiiden tyyppipiirien valintaa ja parametointia. PLC-tuotteita käytettäessä joudutaan tekemään enemmän toimilohko-ohjelmointia, vaikka pyrkimys onkin kohti valmiita kirjastoituja osaratkaisuja. Sovellussuunnittelun tuotoksia HPPesimerkin osalta on koottu dokumenttiin *ASlabT14-ImplementationDescription*. Se sisältää kuvakaappaukset toimilohko-ohjelmista, sekvenssiohjelmasta sekä valvomonäytöistä.

3.5.4 Testaus ja käyttöönotto

Automaatiojärjestelmät ja –sovellukset kootaan ja testataan toimittajan tiloissa I/O-tasolla sekä kriittisiltä osiltaan mahdollisesti simulaatiomallien avulla (FAT, Factory Acceptance Test). Mikäli tarpeen ja logistisesti mahdollista, prosessilaitteita testataan automaation kanssa jo ennen asiakkaalle toimittamista. Tämän jälkeen automaatiojärjestelmä liitetään prosessiin vasta prosessilaitoksella ja tehdään asiakastestaukset (SAT, Site Acceptance Test). Tässä vaiheessa tarkentuvat erilaiset ajoparametrit, kuten hälytysrajat, hälytysten ja lukitusten viiveet ja säädinten viritysparametrit. Laboratoriotyön HPP-esimerkin materiaaleihin ei kuulu automaatio-sovellusten testausdokumentaatiota, mutta laboratoriotyön läsnäosuutta voidaan ajatella vaikkapa asiakastestauksena (SAT).

4 Materiaalit

4.1 Prosessin määrittely

Dokumentti *ASlabT14-ProcessDescription.pdf* määrittelee käytettävän prosessin pääpiirteittäin. Dokumentti sisältää muun muassa prosessin PI-kaavion, prosessin päävirtaukset, päälaitteiden toimintakuvaukset, ajotapakuvaukset ja lukitusmatriisin. Materiaali vastaa prosessisuunnittelun tuottamia lähtötietoja automaatio suunnittelun tarpeisiin.

4.2 Automaation määrittely

Dokumentti *ASlabT14-AutomationDescription.pdf* määrittelee prosessin vaatimusten mukaisen automaatio sovelluksen toiminnallisuuden. Dokumentti määrittelee tarkemmin prosessin automaatio ratkaisut, kuten säätörakenteet sekä niiden piirikohtaiset toimintakuvaukset ja tarkemmat sanalliset ajotapakuvaukset. Materiaali vastaa automaation esi- ja perussuunnittelun tuottamia määrittelyjä automaatio sovelluksen toteuttajalle.

4.3 Automaation toteutusdokumentti

Dokumentti *ASlabT14-ImplementationDescription.pdf* sisältää kuvat toimilohkosovelluksesta sekä valvomonäyttöistä siten, kun sovellus on toteutettu. Näihin pääsee tutustumaan käytännössä laboratorio työn läsnä oisuuden aikana.

4.4 Toimilohkokirjaston lohkokuvaukset

Dokumentti *ASlabT14-FBtypesDescription.pdf* luettelee minkälaisia toimilohkoja sovelluksen toteuttamiseen on käytettävissä ja on käytetty. Automaatio sovelluksissa toistuu samat laitteet ja samat toiminnot, jolloin on tehokkuussyistä välttämätöntä tyypittää ja kirjastoida valmiita sovelluksen osia uudelleen käyttöä varten. Sanotaankin, että automaatio suunnittelu ei ole koodaamista vaan konfigurointia.

4.5 Prosessin käyttöohje

Dokumentti *ASlabT14-OperatingManual.pdf* sisältää ohjeet prosessin saattamiseksi toimintakuntoon (ylösajo) sekä ohjeet prosessin turvallista sammuttamista varten (alasajo). Laboratorio työssä ajetaan prosessia tämän avulla.