



# Prosessiautomaatioprojektin ohjaustapakuvauksen kehitys

Reeti Hyvärinen

OPINNÄYTETYÖ  
Syyskuu 2021

Automaatioteknologian ylempi tutkinto-ohjelma  
Automaatiotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Automaatioteknologian ylempi tutkinto-ohjelma

HYVÄRINEN, REETI

Prosessiautomaatioprojektin ohjaustapakuvauksen kehitys

Opinnäytetyö 60 sivua, joista liitteitä 0 sivua

Syyskuu 2021

---

Ohjaustapakuvauksessa esitetään vaatimukset prosessilaitoksen automaation toiminnalle. Ohjaustapakuvauksissa yleisenä ongelmana on tärkeiden yksityiskohtien puuttuminen, joka voi pahimmillaan johtaa projektin viivästymiseen ja lisäkuluihin. Tavoitteena oli luoda ohjaustapakuvaukselle malli, jota voitaisiin hyödyntää tulevaisuudessa ohjelmistosuunnittelua tehostaen.

Yleisimpiin ohjaustapakuvauksen osioihin ja puutteisiin liittyen muodostettiin kysymykset kyselytutkimukseen, joka pidettiin Insta Automation Oy:n ohjelmistosuunnittelijoille. Kyselytutkimuksen vastauksia analysoimalla selvitettiin ohjelmistosuunnittelijoiden näkökulma ohjaustapakuvauksen tärkeille osioille, jotka vaativat tarkennusta, lisäystä, tai kehitystä. Vastauksien perusteella ohjaustapakuvauksien tarkkuuksissa oli huomattavia eroja, eikä niiden pohjalta pystyisi suunnittelemaan automaation ohjelmistoa ilman tarkentavia kysymyksiä. Suurena ongelmana koettiin myös ohjaustapakuvauksen ajantasaisuus ohjelmiston muutosten jälkeen.

Ohjaustapakuvauksen mallia varten keskityttiin ensin kyselytutkimuksen vastauksien pohjalta tärkeimmiksi nähtyihin ja eniten tarkennusta vaativiin osioihin. Niiden perusteella luotiin vaatimukset ja tärkeät osiot sisältävä rakenne ohjaustapakuvaukselle. Osioiden sisältämiä ohjeistuksia ja vaatimuksia pyrittiin avaamaan esimerkein, jotta malli olisi mahdollisimman muokattavissa prosessiautomaation eri osa-alueiden käyttöön.

Ohjaustapakuvauksen malli oli tarkoitus kehittää pääasiallisesti ohjelmistosuunnittelijoiden käyttöön nopeuttaen heidän työtään. Mallista rajattiin pois muut ohjelmistosuunnittelijoille tärkeät dokumentit, kuten laiteluettelot, lohko-, vuo- ja instrumentointikaaviot, sekä sekvenssikaaviot. Mallia kehitettiin myös palvelemaan loppuasiakkaan intressejä sisällyttämällä kattavat valvonta -ja operointi mahdollisuudet, jotta taataan parhaalla mahdollisella tavalla toimiva prosessilaitos. Mallin on tarkoitus myös pyrkiä laskemaan ohjaustapakuvauksen puutteista loppuasiakkaalle mahdollisesti koituvia lisätyökustannuksia, sekä luomaan tarkan kuvan kuinka eri prosessit on suunniteltu toimivan automaation ohjaamana.

---

Asiasanat: prosessiautomaatio, ohjaustapakuvuus, kyselytutkimus, kehitys

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Master's Degree Programme in Automation Technology

HYVÄRINEN, REETI

Development of Control Mode Description in Process Automation Project

Master's thesis 60 pages, appendices 0 pages  
September 2021

---

The functional specification presents the requirements for the operation of the process plant's automation. A common problem with functional specifications is the lack of important details, which can, at worst, lead to project delays and additional costs. The aim was to create a sample document for the functional specifications, which could be utilized in future projects by enhancing software design.

To identify the most common parts and flaws of functional specifications, a questionnaire survey was conducted for Insta Automation Oy's software designers. By analyzing the responses to the survey, the perspectives of software designers on important parts of the functional specification that require refinement, addition, or development were clarified. Based on the survey, there were considerable differences in the accuracy of the functional specification, and it would not be possible to design automation software on the basis of them without further questions. Keeping the functional specification up-to-date after the software modifications was also perceived as a major problem.

To create a sample document for functional specifications, attention was first focused on the parts that were considered the most important and required the most refinement based on the responses to the survey. These formed the requirements for the functional specification and a structure which would cover all the important parts. The aim was to explain the instructions and requirements contained in the different parts with concrete examples so that the sample document could be applied to different fields in process automation.

The functional specification sample document was intended primarily to be used by software engineers, speeding up their work. Other documents important to software designers, such as device lists, block, flow, and instrumentation diagrams, as well as sequence diagrams, were excluded from the document. The functional specification sample document was also developed to serve the interests of the end customer by including comprehensive control and operation capabilities to reach an optimally performing process plant. The sample document can also reduce the additional costs for the end customer caused by flaws in the functional specification, as well as create an accurate picture of how the various processes are designed to function.

---

Key words: process automation, functional specification, survey, development

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	PROSESSIAUTOMAATIO .....	9
3	OHJAUSTAPAKUVAUKSEN KEHITYS.....	26
	3.1 Kyselytutkimuksen suunnittelu .....	27
	3.2 Kyselytutkimuksen toteutus.....	28
4	OHJAUSTAPAKUVAUKSEN KEHITYSTULOKSET .....	30
	4.1 Kyselytutkimuksen tulokset .....	30
	4.2 Yleiset ohjeet ohjaustapakuvaukselle .....	34
	4.3 Automaatioon liitetyt piirit .....	36
	4.4 Poikkeustilanteiden huomioiminen .....	47
	4.5 Prosessikuvaus .....	49
	4.6 Toimintakuvaus .....	52
5	YHTEENVETO .....	56
	LÄHTEET .....	59

## LYHENTEET JA TERMIT

ASI	Toimilaite sensori liitäntä (Actuator Sensor Interface)
Control Net	Avoin teollisuusverkkoprotokolla teollisuusautomaatioissa
CRM	Asiakkuudenhallinta (Customer Relationship Management)
DC	Tasavirta (Direct current)
DCS	Hajautettu automaatiojärjestelmä (Distributed Control System)
DeviceNet	Automaatioteollisuudessa käytetty verkkoprotokolla
ERP	Toiminnanohjaus (Enterprise Resource Planning)
Ethernet	Langallinen tietokoneiden verkkotekniikka
FM	Varainhoito (Financial Management)
Foundation Fieldbus	Avoin kenttäväylätekniikka automaatioteollisuudessa
GSM	Digitaalisen matkapuhelinjärjestelmän standardi (Global System for Mobile Communications)
HART	HART-tietoliikenneprotokolla (Highway Addressable Remote Transducer protocol)
HMI	Valvonta käyttöliittymä (Human-Machine Interface)
HRM	Henkilöstöjohtaminen (Human Resource Management)
IEC	Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio (International Electrotechnical Commission)
IP	Verkkokerroksen protokolla (Internet Protocol)
ISO	Kansainvälinen standardointijärjestö (International Organization for Standardization)
MAC	Verkkosovittimen ethernet-verkossa yksilöivä osoite (Media Access Control)
MES	Tuotannonohjaus (Manufacturing Execution System)
Modbus	Isäntä/orja-sarjaliikenneprotokolla (master / slave serial communication protocol)
MRP II	Valmistuksen resurssien suunnittelu (Manufacturing Resource Planning)
PCE	Prosessinohjauslaitteet (Process Control Equipment)
PCS	Prosessin ohjausjärjestelmä (Process Control System)

PI-kaavio	Putkitus- ja instrumentointikaavio
PID-säädin	Suhteellinen-Integroiva-Derivoiva säädin (Proportional-Integral-Derivative controller)
Profibus DP	Profibus hajautetut oheislaitteet (Profibus Decentralised Peripherals)
Profibus PA	Profibus prosessiautomaatio (Process Automation)
RAM	Hajasaantimuisti (Random Access Memory)
SCADA	Laitoksen valvonta ja ohjausjärjestelmä (Supervisory Control and Data Acquisition)
SCM	Toimitusketjun hallinta (Supply Chain Management)
SFS	Suomen standardoimisliitto (Finnish standards association)
TCP/IP	Lähetyksen ohjausprotokolla/Internet -protokolla (Transmission Control Protocol / Internet Protocol)
Telemetry	Laitetietojen lähettäminen etäpisteistä (Sending device information from remote points)
UPS	Keskeytymätön virransyöttö (Uninterruptible Power Supply)

## 1 JOHDANTO

Prosessiautomaatioprojektien kokonaistoimitukset on hyvin kilpailtu ala, joka luo projektin tarjouksen laskentavaiheessa paineita projektiin käytettäville resursseille ja aikatauluille. Aikataulujen kiristytessä prosessiautomaatioprojektin ohjelmistosuunnittelulle jää aina vain vähemmän käytettäviä työtunteja. Myös henkilöstöresurssit ovat rajalliset, joten suunnitteluprosessi olisi saatava mahdollisimman tehokkaaksi laadusta tinkimättä. Suunnitteluprosessin onnistuneeseen alkuaan vaikuttaa suuresti lähtötietojen saatavuus, niiden laatu ja paikkansapitävyys. Yhdenkin osa-alueen ollessa puutteellinen, voi ohjelmistosuunnitteluun käytettäviksi arvioitujen työtuntien määrä kasvaa huomattavasti. Eniten aikaa vie ohjaustapakuvauksesta johtuvat ohjelmamuutokset ja lisäykset käynnissä olevaan laitokseen, samoin eri dokumenteissa ilmenevät ristiriitaiset tiedot ja niistä johtuvat päivitykset, joiden hallinta on työlästä. Ohjelmistosuunnittelussa käytetyt dokumentit olisi tarkoitus saada sellaiseen muotoon, että käytettäviä työtunteja saadaan niiden avulla vähennettyä ja suunnittelu mahdollisimman tehokkaaksi.

Ohjelmistosuunnittelu käynnistyy yleisesti konsultin laatimasta ohjaustapakuvauksesta, jossa kerrotaan, miten laitoksen jokaisen osaprosessin tulisi toimia automaation ohjaamana. Kuvaukset ovat yleensä suuntaa antavia. Sen vuoksi ohjelmistoa suunniteltaessa joudutaan tekemään usein tarkentavia kysymyksiä, koska ohjelmistosuunnittelu ei voi olla tulkinnanvaraista. Ohjaustapakuvuus olisi saatava muotoon, josta selviää prosessin toiminta mutta myös se, miten ohjelmisto toimii osana kokonaisuutta. Jos käyttäjillä herää ohjelmiston toimintaan liittyviä kysymyksiä, vastaukset voisi tarkistaa ohjaustapakuvauksesta, joka palvelisi samalla laitoksen käyttöohjeena. Ohjaustapakuvauksesta luodaan malli, jossa esitetään osiot, jotka täytyy sisällyttää ohjaustapakuvaukseen sen kirjoitusvaiheessa. Tämä edellyttää vanhojen toimintakuvauksien tutkimista ja selvitystä siitä, mikä on tärkeää ohjelmiston toiminnan kannalta, ja mitä kohtia täytyy tarkentaa.

Kehitystyötä varten tutustutaan vanhoihin ohjaustapakuvauksiin ja niitä analysoimalla kerätään ohjaustapakuvauksen kannalta tärkeitä osuuksia ja yleisiä puut-

teita. Näistä muodostetaan kysymykset kyselytutkimukseen, joka pidetään ohjelmistosuunnittelijoille. Vastauksia analysoimalla selvitetään, mitkä ovat ohjaustapakuvauksen mallipohjan kannalta tärkeitä osioita, joihin yleisesti tarvitaan tarkennusta, lisäystä ja kehitystä.

Vanhojen ohjaustapakuvauksien ja kyselytutkimuksen vastauksien perusteella suunnitellaan ja kehitetään ohjaustapakuvauksen malli, joka palvelisi mahdollisimman tehokkaasti niin ohjelmistosuunnittelijoita, kuin prosessilaitoksen operaattoreitakin. Mallia voi tarjota avuksi konsulttien luomaan ohjaustapakuvaukseen, jotta siitä saataisiin mahdollisimman kattava ohjelmistosuunnittelijoiden näkökulmasta pyrkimyksenä vähentää ohjaustapakuvaukseen liittyvien tarkentavien kysymyksien määrää ja kuvauksissa mahdollisesti ilmeneviä puutteita. Kehitystyöstä rajattiin pois muut ohjelmistosuunnittelijoille tärkeät dokumentit, kuten laiteluettelot, lohko-, vuo- ja instrumentointikaaviot, sekä sekvenssikaaviot, jotka palvelevat ohjaustapakuvauksen avustavina dokumentteina.

Työssä kohdattavat haasteet liittyvät ohjaustapakuvauksen kannalta oleellisten ja epäoleellisten asioiden hahmottamiseen ja siihen, ettei ohjaustapakuvauksen laatisesta ole standardia, jossa määritettäisiin tarkat vaatimukset. Haasteita luo myös mallin yleispätevyys eri prosessiautomaation aloilla. Kaikkien alojen tarpeita ja vaatimuksia ei välttämättä pystytä täyttämään ilman, ettei ohjaustapakuvauksesta luoda liian tarkasti vain yhtä alaa palvelevaa mallia.



## 2 PROSESSIAUTOMAATIO

Prosessiautomaatio koostuu eri komponenteista ja niiden keskinäisistä yhteyksistä. Teoreettinen osuus valmentaa ohjaustapakuvauksen sisällön vaatimuksien ymmärtämiseen, joiden avulla luodaan kattava ja toimiva ohjaustapakuvausmalli.

### Määritelmä

Sunit & Deyn (2020) mukaan prosessi määritellään suoritettavien toimien sarjaksi ennalta määritetyn tuloksen saavuttamiseksi. Se on yksinkertaisesti vain järjestelmällistä taloudellista toimintaa, joka liittyy valmistukseen. Valmistavan teollisuuden osalta raaka-aineet muutetaan valmiiksi tuotteiksi joidenkin fyysisten ja/tai kemiallisten prosessien kautta. Yleisiä teollisuuden prosesseja ovat kemian, petrokemian, voiman, ja elintarvikkeiden jalostusprosessit. (Sunit & Dey 2020, 1)

Nofin (2009) mukaan automaatiolla tarkoitetaan yleisellä tasolla itsenäisesti säätävää toimintaa, tai toimintoa ilman ihmisen vuorovaikutusta. Automaatio sisältää koneet, laitteet, työkalut, järjestelmät ja asennukset, jotka ovat kaikki ihmisen kehittämisiä alustoja, jotka on suunniteltu suorittamaan toimintoja ilman ihmisen jatkuvaa vuorovaikutusta. (Nof 2009, 529)

Automaattisen ohjauksen keskeinen mekanismi on takaisinkytkentä, joka on prosessin säätäminen oman tuotoksen mukaan siten, että lähtö täyttää ennalta määrätyn, asetetun tavoitteen ehdot. Esimerkiksi auton vakionopeudensäädin, joka pyrkii pitämään auton nopeuden käyttäjän asettamassa tavoitteessa. (Nof 2009, 23)

Prosessiautomaation pohjimmainen tarkoitus on maksimoida tuotanto säilyttäen samalla haluttu tuotetaso, laatu ja turvallisuus, sekä prosessin taloudellisuus. Tavoitteet koskevat eri teollisuuden aloja kuten kemikaalien, massan ja paperin, metallien, elintarvikkeiden ja lääkkeiden valmistus. Tavoitteiden saavuttamiseen käytetään prosessien ohjauksessa automaatiojärjestelmiä. Vaikka menetelmät ja

periaatteet vaihtelevat toimialoittain, ovat automaattisen ohjauksen tyypit luonteeltaan yleisiä ja voivat olla yleisesti sovellettavissa laitoksen koosta riippumatta. (Nof 2009, 529; Sunit & Dey 2020, 163)

Prosessilaitos koostuu pienemmistä osaprosesseista, joiden lopputavoite on hyödykkeen tuottaminen. Hyödyke, tai lopputuote saadaan aikaiseksi osaprosessien sisältämien laitteiden, putkistojen, mittausten ja välivarastojen kautta. (Holloway, Nwaoha et al. 2012; EN ISO 10628-1 2014)

Prosessilaitosten teolliset prosessit luokitellaan prosessin tuotoksen mukaan jatkuviin prosesseihin, erillisiin prosesseihin ja erä- eli panosprosesseihin. Jatkuvassa prosessissa materiaalia tai tuotetta virtaa jatkuvasti. Materiaalien käsittely eri laitteissa tuottaa tuotteet. Jokainen laite toimii yhdessä vakaassa tilassa ja suorittaa tietyn prosessointitoiminnon. Esimerkkejä jatkuvista prosesseista ovat sähkön -ja sementintuotanto, sekä paperitehdas. (Barker & Rawtani 2005, 1-2)

Erillisessä prosessissa prosessin tuotos näkyy yksitellen tai erillisinä määrinä. Tuotteet valmistetaan erissä perustuen yleisiin raaka materiaaleihin ja tuotantohistoriaan. Erillisessä prosessissa tietty määrä tuotteita liikkuu yhtenä yksikkönä tai osaryhmänä työasemien välillä. Esimerkkejä erillisistä prosesseista ovat kellojen ja kännyköiden kokoaminen, sekä autojen valmistus. (Barker & Rawtani 2005, 2)

Panosprosessissa prosessin tuotos näkyy materiaaleina, tai erinä ja prosessilla on alku ja loppu. Panosprosessit eivät ole jatkuvia eivätkä erillisiä, mutta niillä on molempien ominaisuudet. Panosprosessi suoritetaan yleensä uudestaan ja uudestaan ja sen tuotetta kutsutaan eräksi. Panosprosessien alaluokka on sekvenssi, jossa vaiheet etenevät aikajärjestyksessä. Tässä panosprosessit tuottavat tuotteen, mutta peräkkäisten prosessien ei tarvitse välttämättä tuottaa tuotetta. Esimerkkejä panosprosesseista ovat juomien, elintarvikkeiden ja maitotuotteiden jalostus, sekä bioteknologia tuotteiden valmistus. (Barker & Rawtani 2005, 2)

## Suunnitteludokumentit

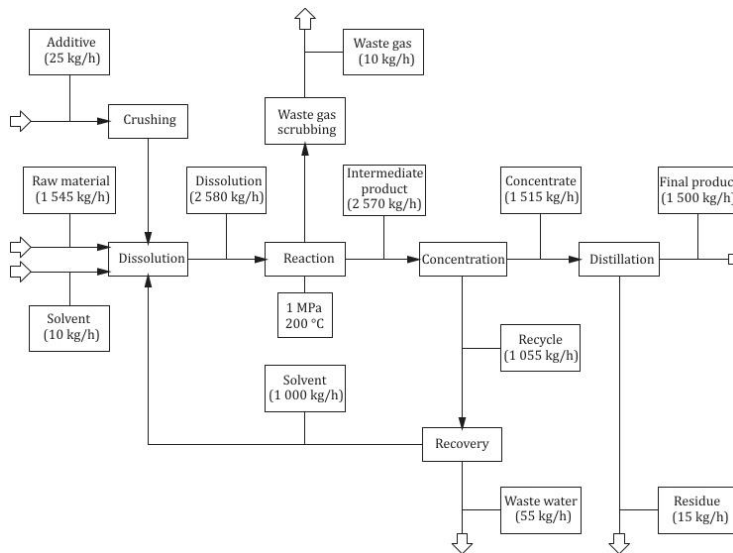
Toimintakuvaus (kuva 1) on standardin SFS-EN 62708 mukaan sanallinen kuvaus suljetun ohjaussilmukan tai avoimen silmukan ohjauksen tehtävästä, toiminnosta, käyttöliittymästä ja käytöstä kuten toimintojärjestys, eräohjaus ja lukitukset. (SFS-EN 62708 2015)

	1	2	3	4	5	6
A	<b>LP DRUM LEVEL CONTROL (11HAD80DL001)</b>					
	During operation the feed water flow to the boiler has to be adjusted in accordance with the generated steam flow. This will be done by means of controlling the boiler drum level, which balances the incoming feed water flow with the outgoing steam flow.					
B	The drum level control generally compares the current value of drum level with its required level setpoint. Because of the typical dynamic behaviour of the drum level (e. g. increasing steam demand causes increasing drum level because of the decreasing steam pressure, which would entail an incorrect level control reaction), additionally to the level deviation a flow deviation is used dynamically between steam flow and feed water inlet flow (3-Element Control). But the flow deviation only can be activated if a minimum steam generation has been established. Cut in / cut out of the 3-element control function will be done automatically depending on the generated steam flow.					
	During start-up a fill level respectively start level setpoint is switched on to ensure to accommodate the water swell of the evaporator during start-up within the permitted level limits of boiler drum. The setpoint variation during boiler start-up procedure is shown on sheet 3 (level setpoint '1'). During establishing of the start-up level the drum level control is switched over to flow control for the fill flow until the start-up level has been met.					
C	The total feed water flow to the boiler drum is limited to its maximum designed value by minimum selection. This limitation also is used temporarily in case of a load capability limitation, but at a lower flow level.					
	During standstill of the plant the contained water within the condensate preheater (CPH) is locked between its inlet isolating valve and the boiler inlet valves to the LP drum. If during the standstill time and active controller the pressure of the locked water volume increases because of residual heat from the boiler into the CPH, the drum level control valve is opened temporarily to limit the pressure in the CPH to a certain margin below the lifting pressure of the CPH safety valve.					

KUVA 1. Esimerkki toimintakuvauksesta (SFS-EN 62708 2015)

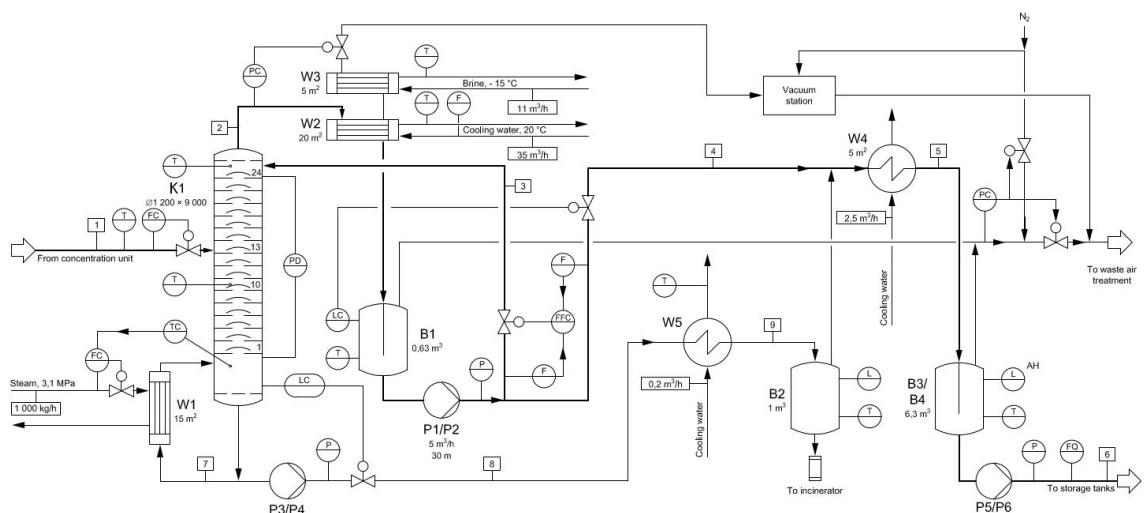
Ohjaustapakuvauksessa viitataan myös ohjelmistosuunnittelijan työtä tukeviin standardoituihin kaavioihin ja kuvauksiin, joista yleisimpiä ovat lohkokaavio, vuokaavio ja instrumentointikaavio.

Lohkokaavio (kuva 2) kuvaa prosessia, tai prosessilaitosta yksinkertaistetussa muodossa suorakulmaisten kehysten avulla, jotka on kytketty toisiinsa virtauslinjoilla. Kehykset voivat kuvastaa esimerkiksi prosesseja, prosessien vaiheita, yksiköiden toimintoja ja laitteita. Virtauslinjat edustavat materiaali- tai energiavirtoja ja ilmaisevat prosessin osien toimisuunnat. Kaavion on tarkoitus luoda kokonaiskuva prosessin, tai prosessilaitoksen toiminnasta. (EN ISO 10628-1 2014)



KUVA 2. Esimerkki lohkokaaviosta (EN ISO 10628-1 2014)

Vuokaavio (kuva 3) kuvaa prosessia, tai prosessilaitosta graafisten symbolien avulla. Graafiset symbolit edustavat laitteistoa ja viivat edustavat massa-, energia- tai energivirtojen operaatioehtoja. Kaaviossa esitetään prosessin edellyttämät laitteet ja koneet, sekä niiden laitepositiot. Saapuvien ja lähtevien materiaali- ja energivirtojen reitit ja suunnat, sekä niiden nimellisarvot ja virtausnopeudet, tai määrät. Kaaviossa näytetään myös energiatyyppien ja / tai energivirtojen nimet. (EN ISO 10628-1 2014)



KUVA 3. Esimerkki vuokaaviosta (EN ISO 10628-1 2014)

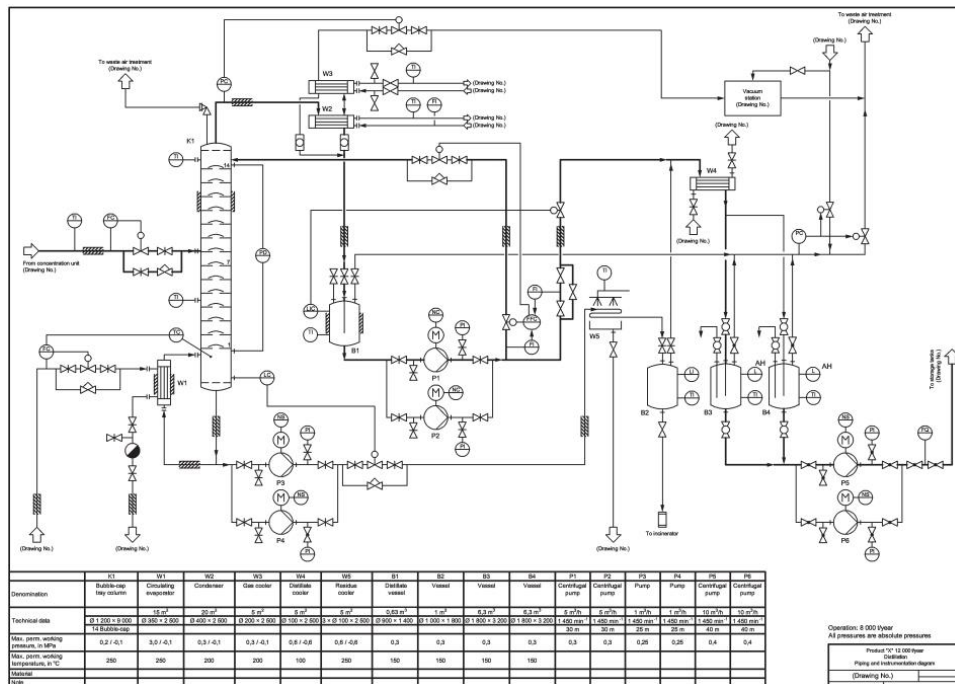
Instrumentointikaavio (kuva 4) perustuu prosessin vuokaavioon ja kuvaa prosessin teknisen toteutuksen laitteistoa ja putkistoa edustavien graafisten symbolien

sekä prosessin mittaus- ja ohjaustoimintojen graafisten symbolien avulla. Kaaviota kutsutaan myös nimellä putkisto- ja instrumenttikaavio ja lyhennettynä PI-kaavioksi. Kaaviossa kaikkien laitteiden, venttiilien ja liittimien on oltava edustettuina standardin ISO 10628-2 mukaisesti ja prosessien mittaus- ja ohjaustehtävien on oltava esitettyinä standardin IEC 62424 mukaisesti. Apujärjestelmät voidaan esittää suorakulmaisilla kehyksillä, joissa viitataan erillisiin vuokaavioihin. (EN ISO 10628-1 2014)

Standardin ISO 10628-1 mukaan instrumentointikaaviossa on oltava vähintään seuraavat tiedot:

- Laitteiden ja koneiden toiminta ja tyyppi, mukaan lukien käyttölaitteet, kuljettimet ja asennetut varus ja- tai varavarusteet
- Laitteiden ja koneiden, mukaan lukien käyttölaitteiden positiot
- Laitteiden ja koneiden ominaispiirteet, jotka tarvittaessa esitetään erillisissä luetteloissa
- Nimelliskoot, paineluokat, materiaali ja putkistotyyppit, esim. ilmoittamalla putki numero, putkistoluokka tai nimitykset
- Tiedot laitteista, koneista, putkistoista, venttiileistä ja varusteista, esim. putkivahvistimet annetaan erillisessä luettelossa, jos välttämätöntä
- PCE-pyyntöjen symbolit, mukaan lukien prosessimuuttujien, ohjaustoimintojen ja PCE-pyyntöjen nimeäminen
- Taajuusmuuttajien ominaisdata, tarvittaessa erillisissä luetteloissa.

(EN ISO 10628-1 2014)



KUVA 4. Esimerkki instrumentointikaaviosta (EN ISO 10628-1 2014)

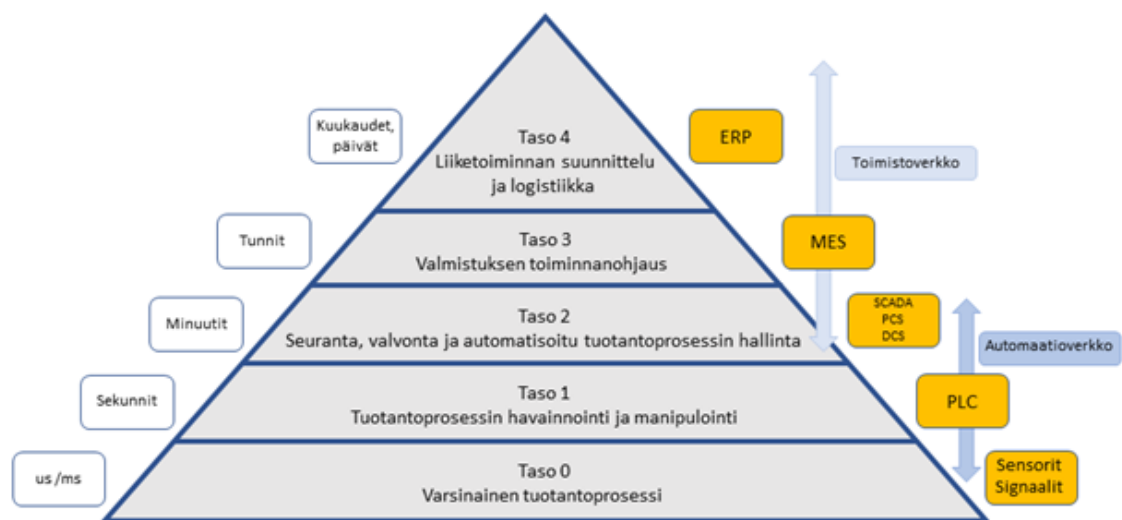
Instrumentointikaavio (kuva 4) on prosessisuunnittelijoiden tunnusasiakirja, joka kehittyi suunnitteluprosessin aikana. Sen tarkoituksena on näyttää ehdotetun järjestelmän fyysiset ja loogiset virrat, sekä yhteen liitännät. Näiden visuaalinen tallentaminen instrumentointikaavioon antaa mahdollisuuden keskustella ohjelmistotoinsinöörien, sekä muiden prosessi-insinöörien kanssa. Se on hyödyllinen myös laitoksen pohjapiirustuksen suunnittelijalle, koska se näyttää yleensä putkikoot, materiaalit ja muut yksityiskohdat, joita ei näy vuokaaviossa. (Moran 2017)

Ohjaustapakuvauksessa käsitellään prosessilaitoksen automaation vaatimuksia ja toimintaa. Ohjaustapakuvauksessa sisältää osaprosessien toimintakuvaukset, joten ohjaustapakuvauksen laatijan täytyy ymmärtää prosessityyppien erot, jotta dokumentti olisi tarpeeksi kattava ohjelmistosuunnittelijan käyttöön. Ohjelmistosuunnittelija ei välttämättä ole prosessiasiantuntija, joten ohjaustapakuvauksen täytyy sisältää myös prosessinkuvaus, jotta ohjelmistosuunnittelija pystyisi osaprosessien toimintakuvauksien perusteella laatimaan vaatimukset täyttävät ohjelmistot.

## Automaatiojärjestelmä

Automaatiojärjestelmä yhdistää prosessilaitteiston, ohjauslaitteiston, sekä tietojärjestelmät ja käyttäjät yhteen. ISA-95 -automaatiopyramidilla (Kuva 5) voidaan

kuvata prosessilaitosta, joka koostuu ainakin osasta sen tasoista. Pyramidin hierarkkinen malli leikkaa vertikaalisesti laitoksen järjestelmät eri tasoille. Vertikaalisen verkostoitumisen, tai vertikaalisen integraation tavoitteena on tasoittaa automaatiopyramidia ja vähentää vaiheiden määrää päätöksen ja järjestelmän ohjauksen välillä. Iso haaste vertikaalisen integraation kanssa on yhdistää kaksi erityyppistä verkkoa: teollisuuden automaatioverkko ja Internet tekniikkaan ja Internet protokollaan (IP) perustuva toimistoverkko, joka tunnetaan myös nimellä IP-verkko.(Åkerman 2018, 2-3)

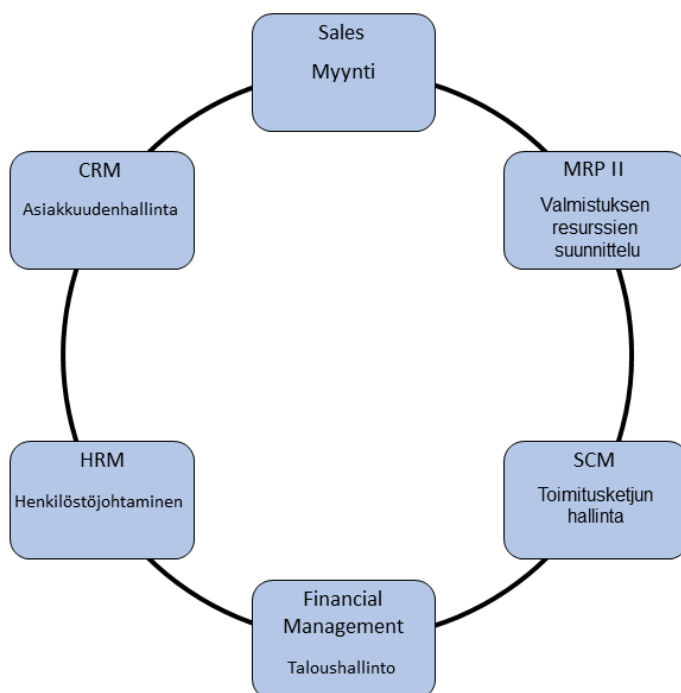


KUVA 5. Automaatiopyramidi ISA-95. (ISA 95.00.01 2010, muokattu)

Taso 4 määrittelee liiketoimintaan liittyvät toiminnot, joita tarvitaan valmistusorganisaation johtamiseen. Valmistukseen liittyviin toimintoihin kuuluu laitoksen perusaikataulun, kuten materiaalien käyttö, toimitus ja lähetys määrittäminen, varastotasojen määrittäminen ja varmistaminen, että materiaalit toimitetaan ajoissa oikeaan tuotantopaikkaan. Tason 3 tiedot ovat tärkeitä tason 4 toiminnoille. Taso 4 toimii yleensä kuukausien, viikkojen ja päivien aikatauluissa. (SFS-EN 62264-1 2013)

Automaatiopyramidin ylimmällä tasolla olevaa liiketoiminnan suunnittelua ja logistiikkaa hallitaan usein Enterprise Resource Planning (ERP) -järjestelmässä. ERP on ohjelmistoratkaisu, joka tukee kaiken yrityksen läpi kulkevan tiedon, kuten talouden, kirjanpidon, henkilöstöressurssien, toimitusketjun ja asiakastietojen, saumatonta integrointia. ERP koostuu joukosta integroituja moduuleja, jotka käyt-

tävät yhtä tietokantaa. Se kattaa kaikki yrityksen toiminnot ja antaa käyttäjille reaaliaikaisen pääsyn tietoihin. ERP-järjestelmät myötävaikuttavat integraatioon kahdella tavalla, prosessikohtaisesti ja tietokohtaisesti. Tietokannan ainutlaatuisuus ja työnkulun hallintajärjestelmien käyttöönotto tukevat yrityksen eri osia yhdistävien tietovirtojen integrointia. ERP-järjestelmät ovat kattavasti pakattuja ohjelmistoratkaisuja, joiden tavoitteena on kaikkien liiketoimintaprosessien ja toimintojen täydellinen integrointi. (Åkerman 2018, 2; Samara 2015)



KUVA 6. ERP-järjestelmän tyypilliset moduulit. (Myerson 2016, muokattu)

Taso 3 määrittelee työnkulun toiminnot haluttujen tuotteiden tuottamiseksi. Se sisältää työnkulun ja- tai reseptien hallinnan halutun lopputuotteen tuottamiseksi, kirjanpidon ja tuotantoprosessin optimoinnin, tuotteiden lähettämisen, yksityiskohtaisen tuotannon aikataulutuksen ja luotettavuuden varmistamisen. Taso 3 toimii tyypillisesti päivien, vuorojen, tuntien, minuuttien ja sekuntien ajanjaksoissa. (SFS-EN 62264-1 2013)

Kolmas taso (MES) ohjaa valmistustoimintoja, kuten mitä prosesseja tulisi suorittaa ja missä järjestyksessä. MES-järjestelmällä on oltava koko tuotantoprosessi hallinnassa, joka edellyttää seuraavien toimintojen kartoittamista: Tuotteen täydellinen tekninen kuvaus ja sen hallinta, jossa tehtäväaikataulu on keskeinen



osa. Kaikkien tuotteelle tarvittavien resurssien hallinta ja niiden jakaminen tehtävän aikatauluun. Tilausvarannon suunnittelu ja sekvenssin luominen. Integroitu suorituskyvyn tallennus ja seuranta. Tuotantotietojen jäljitettävyyttä koskevien suorituskykytietojen dokumentointi laadun varmistamiseksi, sekä tiedonhallinta. MES-järjestelmän on kartoitettava nämä toiminnot ohjelmistoprosessien muodossa. (Åkerman 2018, 2; Meyer, Fuchs et al. 2009)

## **Ohjaus ja valvonta**

Automaatiojärjestelmän perimmäinen tarkoitus on automatisoida prosessilaitos, tai osia sen sisältämistä prosesseista. Automaatiojärjestelmä koostuu seuraavista, tai osasta seuraavista toiminnoista: mittausautomaatio, ohjausautomaatio, prosessinhallinta, valvonta ja raportointi, sekä liitynnöistä muihin järjestelmiin. Toimintojen tarkoitus on parantaa laitoksen tuotannon tehokkuutta, laatua, sekä lisätä turvallisuutta. Automaatiojärjestelmältä vaaditaan hajautettavuutta, joten ne ovat tyypillisesti hajautettuja ohjausjärjestelmiä (DCS) ja (PCS) ja valvontajärjestelmiä (SCADA). (Strömman, Hirvonen et al. 2010, 10)

SCADA-järjestelmää käytetään nykyaikaisissa valmistus- ja teollisuusprosesseissa, joissa tarvitaan telemetriaa laitteiden ja järjestelmien yhdistämiseksi suurilla etäisyyksillä. Se voi vaihdella muutamasta metristä tuhansiin kilometreihin. Telemetriaa, eli esimerkiksi radio- ja mobiilitiedonsiirtoa käytetään komentojen lähettämiseen ja valvontatietojen palauttamiseen etäkohteista. Valvontajärjestelmä käsittää tiedon keräämisen ja siirtämisen takaisin prosessiasemalle, sekä tarvittavien analyysien ja ohjausten suorittamisen ja näiden tietojen esittämiseen yhdellä, tai usealla operaattorien valvomalla (HMI) näytöllä reaaliajassa. Ohjaukset suoritetaan järjestelmään sisäänrakennetun ohjelman mukaan ja riippuen ohjelmiston hienostuneisuudesta ja monimutkaisuudesta ohjaus voi olla täysin automaattista, tai käyttäjä voi hallita prosessilaitosta, tai sen osia antamallaan komennoilla. (Bailey & Wright 2003, 2-3; Sunit & Dey 2020, 163)

Automaatiojärjestelmän tehtävä on laajentunut tietotekniikan kehittyessä integroituen prosessilaitoksen ja yrityksen tietojärjestelmiin. Prosesseista on saatavilla enemmän dataa ja kerättyä dataa halutaan käsitellä tehokkaammin, sekä pitem-

millä aikaväleillä tarkoituksena resurssien tehokkaampi hyödyntäminen. Prosessidatan käsittely ja esittäminen toteutetaan erillisillä ohjelmilla, tai ohjelmistoilla prosessin ohjaamisen ollessa toteutettuna edelleen ohjauslogiikoilla. Prosessidata kerätään ohjaus- ja valvontajärjestelmiin ohjauslogiikoilta ja välitetään erillisille ohjelmistoille. (Strömman, Hirvonen et al. 2010, 12; Tommila 2001, 4)

### **Ohjelmoitavat logiikat**

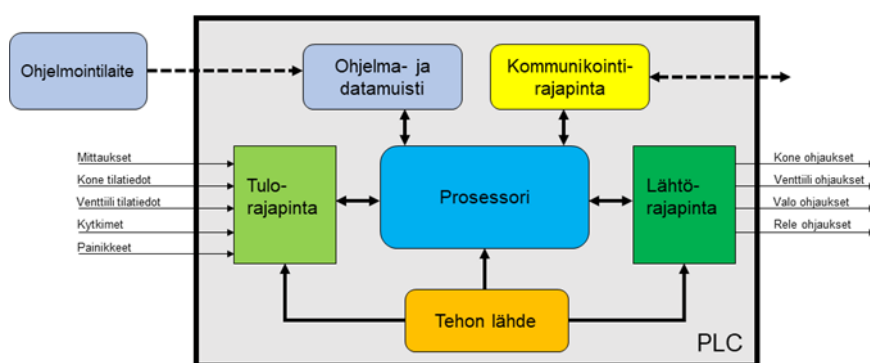
Laitoksen hallintaa voidaan pitää joukkona tehtäviä, jotka ovat vuorovaikutuksessa laitoksen tietyn yksikön kanssa käyttäjän käynnistäessä ne, käyttäen niitä tavanomaisissa tuotanto-olosuhteissa ja ajaen ne turvalliseen toimintatilaan hätätilanteessa. Tietokone on jo pitkään ollut hallitseva tekniikka kaikkien näiden valvontatehtävien toteuttamisessa. Teollisen ohjauksen perusvaatimuksia ovat kestävyys ja luotettavuus, joten sitä varten on kehitetty erityisellä arkkitehtuurilla varustettuja tietokoneita täyttämään nämä vaatimukset. Näitä tietokoneita kutsutaan ohjelmoitaviksi logiikoiksi (PLC). (Hassapis 2000)

Ohjelmoitavan logiikan toimiessa yhteydessä SCADA-järjestelmään ja käsitellen diskreettejä tapahtumia, se käsittelee myös analogisia mittauksia, liikkeen ohjausta, paikannuksen hallintaa ja muita aikakriittisiä toimintoja. Ohjelmoitavien logiikoiden tyypillisin piirre on ohjelmoitava ohjaustoiminto, jonka ohjauskoodi kuvaa. Ohjelmoitavat logiikat määritellään yleensä reaaliaikaisiksi järjestelmiksi, mikä tarkoittaa, että logiikalla on taattu ohjelman kiertoaika ja että ohjauskoodi on suoritettava tämän ajan kuluessa. Tämä takaa sen, että nopeaa vasteaikaa vaativa prosessinohjaus toimii vakaasti, eikä prosessille aiheudu häiriötekijöitä. (Carlsson, Svensson et al. 2012)

Ohjelmoitava logiikka on mikroprosessoripohjainen ohjain käyttäen ohjelmoitavaa muistia ohjeiden tallentamiseen ja toimintojen, kuten logiikan, sekvensoinnin, ajoituksen, laskemisen ja aritmeettisuuden toteuttamiseen koneiden ja prosessien ohjaamiseksi. Termiä logiikka käytetään, koska ohjelmointi liittyy ensisijaisesti logiikan toteuttamiseen ja vaihtamiseen esimerkiksi, jos A tai B tapahtuu, kytke C päälle, jos A ja B, kytke D päälle. Ohjelmoitavat logiikat ovat samankaltaisia kuin tietokoneet, mutta tietokoneiden ollessa optimoituja laskenta- ja näyt-

tötehtäviin on ohjelmoitavat logiikat optimoitu ohjaustehtäviin ja teolliseen ympäristöön. Ohjelmoitavat logiikat ovat helposti ohjelmoitavia, niillä on helposti ymmärrettävä ohjelmointikieli ja ne on suunniteltu niin, ettei vain tietokoneohjelmoijat voi määrittää tai muuttaa ohjelmia. (Bolton 2015)

SFS-EN-standardi 61131-1 sisältää määritelmät ja tärkeimmät ominaisuudet, jotka ovat merkityksellisiä ohjelmoitaville logiikoille ja niihin liittyvien oheislaitteiden valinnalle ja käytölle. Kuvassa 7 on esitetty ohjelmoitavan logiikan arkkitehtuuri, joka standardin mukaan koostuu kuudesta pääosasta: prosessori, tehonlähde, ohjelmointilaitte, muistiyksikkö, tulo- ja lähtörajapinnat, sekä kommunikointirajapinta. (SFS-EN 61131-1 2003)



KUVA 7. PLC-järjestelmä. (Bolton 2015, muokattu)

Ohjelmointilaitetta käytetään ohjelman kehittämiseen ja lataamiseen ohjelmoitavan logiikan ohjelmamuistiin (RAM). Prosessori (CPU) sisältää mikroprosessorin, joka tulkitsee tulosignaalit ja suorittaa ohjaustoiminnot ohjelmamuistiinsa tallennetun ohjelman mukaisesti ja kommunikoi päätökset toimintosihtinaaleina lähdöille. Tehon lähde muuntaa verkkovirran matalaksi DC-jännitteeksi, jota tarvitaan prosessorille ja tulo- ja lähtörajapintamoduulien piireille. (Bolton 2015)

Tulo- ja lähtörajapinnoissa prosessori vastaanottaa tietoja ulkoisilta laitteilta ja välittää tietoja ulkoisille laitteille. Tulot saattavat olla siis mittauksista, kytkimistä, laitteiden tilatiedoista, painikkeista tai vastaavista. Lähdöt voivat olla laitteiden, valojen, tai releiden ohjauksia. Tulo ja lähtölaitteet voidaan luokitella antamaan binäärisiä, tai analogisia signaaleja. Binääriset signaalit ovat joko pois

päältä, tai päällä ja analogisten signaalien koko on suhteessa seurattavan muutujan kokoon. Esimerkiksi lämpötila-anturi voi antaa lämpötilaan verrannollisen jännitteen, tai milliampeeriviestin (mA). (Bolton 2015)

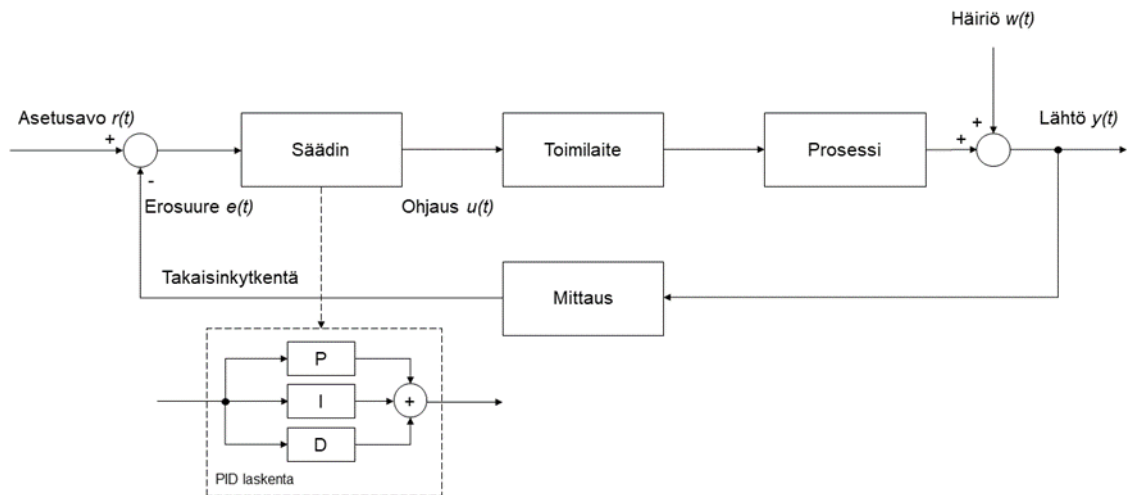
Kommunikointirajapintaa käytetään vastaanottamaan ja lähettämään dataa automaatioverkoissa muilta PLC-yksiköiltä. Se käsittää toimet kuten laitteiden todentaminen, tiedonkeruu, synkronointi käyttäjän sovellusten välillä ja yhteyksien hallinta. (Bolton 2015)

## **Kenttälaitteet**

Kenttälaitteet, kuten anturit, toimilaitteet ja säätimet sijoittuvat automaatiopyramidin alimmalle tasolla (kuva 3). Anturit keräävät tietoja esimerkiksi prosessien virtauksista, paineista ja lämpötiloista muuntaen ne sähköisiksi signaaleiksi ja välittävät ne automaatiopyramidin seuraavalle tasolle. Antureiden päätehtävä on siirtää tietoja prosesseista ja koneista seurantaan ja analysointia varten. (Aalto-yliopisto 2015)

Toimilaitteet sijaitsevat myös automaatiopyramidin alimmalla tasolla ja niitä ohjataan seuraavalta tasolta (PLC) sähköisillä, tai pneumaattisilla signaaleilla muuntaen ne toiminnoiksi. Toimilaitteet kytkevät venttiilit, releet, moottorit, pumput ja muut laitteet päälle tai pois päältä, tai säätävät lähtöjä prosessien hallitsemiseksi. (Aalto-yliopisto 2015)

Säätimien sijoituessa perinteisesti automaatiopyramidin alimmalla tasolla ollen toteutuksiltaan mekaanisia, pneumaattisia tai elektronisia analogialaitteita, ovat ne nykyään useimmiten ohjelmallisia säätimiä sijoittuen PLC-tasolle. Yleisimmin käytetty säätö on takaisinkytketty säätö, joka muodostaa säätöpiirin käyttäen takaisinkytkentänään mittausanturia ja säätäen prosessissa sijaitsevia toimilaitteita. Takaisinkytketyssä säädössä pyritään pienentämään mittausarvon ja halutun asetusarvon välistä eroa nollaan säätimen laskiessa erosuureen perusteella ohjausarvon toimilaitteelle. Kuvassa 8 on esitetty säätöpiiri ja siihen vaikuttavat signaalit. (Aalto yliopisto 2015)



KUVA 8. Säätöpiiri. (Harju, Marttinen 2000, muokattu)

Prosessiautomaatiossa käytetään yleisimmin säädintä, joka on rakenteeltaan PID-säädin (Proportional-Integral-Derivative) (kuva 8). Säädin koostuu suhdetermistä P, integroivasta termistä I ja derivoivasta termistä D, joiden perusteella säädin laskee ohjauksen, kun tulona on erosuure. Säätimestä voidaan käyttää eri yhdistelmiä ja yleisimmin käytetty rakenne on PI-säädin, jolloin derivoivaa termiä ei oteta huomioon ja jolla pystytään hallitsemaan suurin osa prosesseista. (Harju & Marttinen 2000)

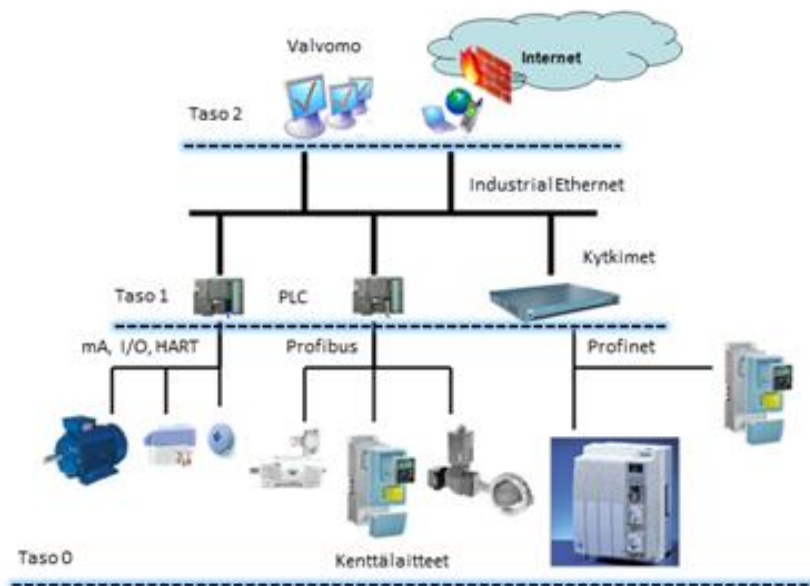
### Kenttäväylät

Kenttälaitteiden kommunikointi PLC-tasolle voidaan toteuttaa erilaisin tiedonsiirtomenetelmin. Menetelmiä kutsutaan kenttäväyliksi, jotka voidaan jakaa anturiväyliin eli instrumenttiväyliin, laiteväyliin ja yleiskäyttöisiin kenttäväyliin. Kenttäväylät on automaatiassa käytetty tekniikka, jossa jokaista laitetta ei kytketä omalla kaapelilla PLC-tasolle, vaan laitteet on kytketty yhteen kenttäväyläkaapeliin. Kenttäväylät ovat analogisia, digitaalisia, tai jotain niiden väliltä. Anturiväylien informaatio on pääasiassa analogista mittaustietoa sisältäen vain informaatio-signaalin. Laitteväylissä informaatio on monipuolisempaa sisältäen laitteiden analogista mittaustietoa, sekä ohjaus ja diagnostiikkatietoja. Ylimmällä kenttäväylätasolla väylät välittävät analogisten ja binääristen tietojen lisäksi myös laitteiden diagnostiikka ja konfigurointitietoja. (Aalto-yliopisto 2015)

Prosessiautomaation automaatiojärjestelmässä käytettäviä kenttäväyliä ovat AS-I, Profibus DP, Profibus PA, Modbus, HART, Foundation Fieldbus, Control Net ja DeviceNet. (Aalto-yliopisto 2015)

## Tiedonsiirto

Prosessiautomaation automaatiojärjestelmän tiedonsiirto käsittää ISA-95 mukaisen automaatiopyramidin vertikaalisen ja horisontaalisen kommunikaation eri laitteiden välillä. Kuvassa 9 on esitetty tyypillinen automaatiojärjestelmän tiedonsiirtokaavio. Tiedonsiirto voidaan jakaa karkeasti järjestelmätasolle ja kenttätasolle. Kenttätasolla tiedonsiirron tapahtuessa pääasiassa väylätekniikoilla, käytetään automaatiopyramidin ylemmillä tasoilla tiedonsiirtoon IP-pohjaisia teollisuuden lähiverkkoja. Ylempien tasojen tiedonsiirrossa on tärkeää, että teollisuusverkko toimii erillään toimistoverkosta, koska vastausnopeus, reaaliaikainen toiminta ja vakaus ovat kriittisiä ominaisuuksia teollisessa verkossa. Toimistotyyppisissä verkoissa ei välttämättä ole samoja vaatimuksia. Turvallisuus on myös yksi huolenaihe, miksi teollisuusverkko on erotettu toimistoverkosta, jotta verkon ongelmat eivät vaikuta teolliseen puoleen. Teollisuusverkot jaetaan myös usein siltojen ja kytkinten avulla yksittäisiin aliverkkoihin turvallisuuden ja nopean reagoinnin vuoksi. (Reynders, Mackay et al. 2004)



KUVA 9. Automaatiojärjestelmän tiedonsiirto. (Asp, Tuominen et al., muokattu)

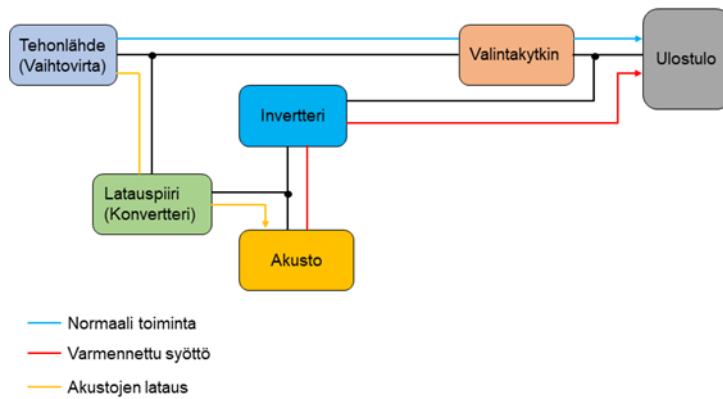
Ethernet viestinnässä TCP/IP kanssa ongelmaksi tulee reaktioaika, joka on noin 100ms ja se, ettei viestintä ole determinististä. Teollisuuden Ethernet-protokollat käyttävät muokattua Media Access Control (MAC) -kerrosta, jolla saavutetaan erittäin matalat viiveet ja deterministiset vastaukset. Ethernet mahdollistaa myös joustavan verkkotopologian ja joustavan järjestelmän solmujen (laitteiden) määrän. Teollisuuden lähiverkon kommunikointiprotokollia on esimerkiksi EtherCAT, EtherNet/IP, Modbus TCP, sekä PROFINET. (Lin & Pearson 2018, 4)

### **Keskeytymätön virransyöttö**

Keskeytymätön virtalähde (UPS) on laite, jota käytetään estämään muita laitteita ja järjestelmiä virransyöttöongelmilta, kuten virtakatkolta tai salamaniskulta. UPS voi estää tuotantolaitoksessa usein esiintyviä virransyöttöongelmia, kuten hetkellisen jännitehäviön ja virtakatkoksen. (OMRON 2021)

Tietokoneiden kiintolevyt ja ohjelmistot voivat vioittua, sekä ohjelmoitavien logiikoiden kautta valvomoon välitettävä kenttä informaatio keskeytyy laitteiden menettäessä sähkönsyöttönsä ja sammussa epänormaalisti. UPS:n on täten tarkoitus toimittaa virtaa laitteille sisäänrakennetusta akusta tietyn ajanjakson hetkellisen jännitehäviön, tai sähkökatkon aikana laitteiden ja tärkeiden tietojen suojaamiseksi. (OMRON 2021)

Kuvassa 10 on esitetty UPS-laitteen sisäinen rakenne. Normaalisissa toiminnassa UPS-laite syöttää jakeluverkosta sähköä siihen kytketyille laitteille. Sähkönsyötön poiketessa määritetyistä raja-arvoista, UPS ottaa invertterin käyttöön ja syöttää sähköä akustosta sekä kytkee jakeluverkon syötön irti estäen invertteriä syöttämästä sähköä verkon suuntaan. UPS syöttää akustovirtaa laitteille, kunnes jakeluverkon sähkö palaa normaaleihin raja-arvoihin, tai akusta loppuu virta, riippuen siitä kumpi tapahtuu ensin. (OMRON 2021)



KUVA 10. UPS-laitteen rakenne. (OMRON 2021, muokattu)

## Varavoimalaitos

Tarve varavoimalle syntyy, jos sähkön jakeluverkon normaalin toimitushäiriön tai häiriön seurauksia ei voida hyväksyä. Varavoimageneraattorin hankkimiseen on periaatteessa neljä syytä: turvallisuus, varmuus, taloudellinen menetys ja tietojen menetys. Prosessiautomaatiossa esimerkiksi jätevedenpuhdistamon on toimitava katkeamattomasti, jolloin toimintavarmuutta saadaan lisättyä varavoimageneraattorilla. (King, Knight, William (William R. ) 2003)

Generaattorikononaisuuden pääkomponentit ovat tehoyksikkö ja generaattori. Useimmat varavoimageneraattorit ovat dieselmoottorikäyttöisiä, joiden luokitusluokat on kuvattu standardissa ISO-8258. Moottorin tuottama hyötyenergia kulkee kytkimen kautta generaattoriin, mutta riippuen laitteistosta ei ole aina mahdollista käyttää kaikkea energiaa vaaditun kuorman syöttämiseen. Muutaman sadan kVA:n laitteet ovat yleensä itsenäisiä, mutta suuremmat laitteistot saattavat tarvita virtaa apuvälineille, kuten jäähdyttimille ja tuulettimille. (King, Knight, William (William R. ) 2003)

Riippuen laitteistosta varavoimageneraattorin voi käynnistää ulkopuolisesta järjestelmästä, paikallisesti käsin, tai verkonvaihtoautomaatiikalla. Automaattinen käynnistyminen tapahtuu verkkokatkoksen jälkeen lyhyellä viiveellä ja generaattori alkaa syöttää sähköä laitoksen verkkoon. Sähköverkon palaututtua normaaliin tilaan varavoimageneraattorin järjestelmä vaihtaa syötön generaattorilta verkkoon joko katkottomasti tai lyhyen katkoksen kautta. Katkottomasti vaihtava va-



ravoimalaitos tahdistuu (synkronoituu) verkon kanssa ja kytkee hetkeksi molemmat syötöt yhtäaikaisesti päälle, jonka jälkeen generaattori irrotetaan syötöstä. (FinGen 2016)

### 3 OHJAUSTAPAKUVAUKSEN KEHITYS

Opinnäytetyössä tutkitaan mahdollisuutta luoda malli ohjaustapakuvaukselle analysoimalla vanhoja ohjaustapakuvauksia sekä hyödyntämällä kyselytutkimusta, jotta ohjelmistosuunnitteluprosessista saataisiin mahdollisimman tehokas. Työssä tutkitaan seuraavia aiheita:

1. Mitkä ovat ohjaustapakuvauksen kannalta tärkeitä osuuksia ja yleisiä puutteita?
2. Kuinka yhtenäisiä ovat muiden ohjelmistosuunnittelijoiden vastaukset analysoinnin pohjalta luotuihin kyselytutkimuksen kysymyksiin?
3. Miten kyselytutkimuksen vastauksia analysoimalla voidaan luoda malli ohjaustapakuvaukselle?

Opinnäytetyön tavoitteena on tehostaa ohjelmistosuunnitteluprosessia kehittämällä malli ohjaustapakuvaukselle. Konsultit voivat käyttää mallia pohjana luomilleen ohjaustapakuvauksille, jolloin ohjelmistosuunnitteluprosessia saataisiin nopeutettua ja suunnitteluvirheitä vähennettyä. Mallin avulla luodun ohjaustapakuvauksen on tarkoitus myös nopeuttaa prosessien testausta ja muutoksien hallintaa.

Ohjaustapakuvuus on yleensä konsultin luoma dokumentti, jonka pääasiallinen tarkoitus on kuvata laitoksen automaation toiminnan vaatimukset. Ohjaustapakuvauksella otetaan kantaa vain automaatiojärjestelmästä tapahtuviin ohjauksiin ja säätöihin, eikä niissä ole tarkoitus käsitellä laitteiden paikallisia ohjauksia.

Opinnäytetyötä varten analysoiduista ohjaustapakuvauksista oli nähtävissä selviä eroja eri konsulttiyritysten laatimien dokumenttien välillä. Osa yli hyvin yksityiskohtaisia ja osa oli hyvinkin epätarkasti luotuja. Osasta näki selviä merkkejä kopioinnista toisesta laitoksesta esimerkiksi samojen laitepositiointien muodossa. Yhteneväistä ohjaustapakuvauksissa oli eri osaprosessien kuvaukset, joissa esitetään osaprosessien toiminta yleisesti. Suurimmat erot löytyivät osaprosessien toimintakuvauksissa. Toimintakuvauksen pohjalta on tarkoitus kehittää automaation ohjelmiston toiminta kyseiselle osaprosessille ja jos kuvaus on

luotu epätarkasti, ei ohjelmistosuunnittelija pysty aukottomasti suunnittelemaan ohjelmistoa.

Ohjaustapakuvauksissa yleinen puute liittyi prosessiautomaation toimintaan sähkökatkotilanteessa ja mahdollisiin laitteiden tehojen rajoituksiin, jos laitoksella on käytössä varavoimageneraattori. Sähkökatkon ilmetessä ja syötön palautuessa jälleen normaaliin tilaan ei kuvauksissa löytynyt mainintaa esimerkiksi sähkökatkon mahdollisesti aiheuttamien automaatioon liitettyjen piirien vikatilojen automaattisille kuittauksille ja laitteiden mahdollisille käynnistysporrastuksille. Jos varavoimageneraattori tuottama sähköteho ei riitä kattamaan koko laitoksen vaatimaa tehonsyöttöä, ei kuvauksissa yleensä ollut mainintaa laitoksen toiminnan kannalta ei kriittisten laitteiden tehojen rajoituksista.

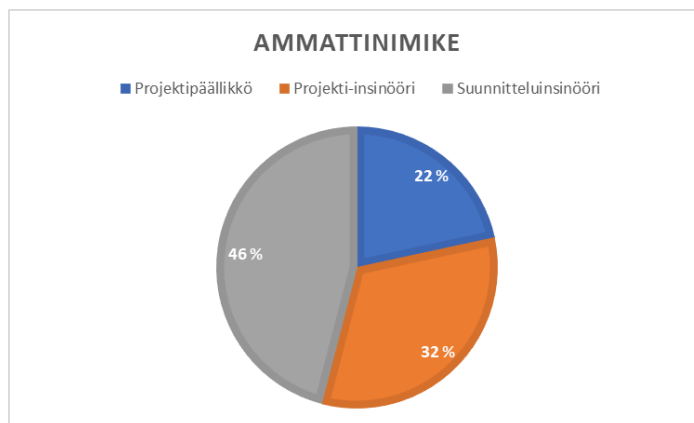
Ohjaustapakuvaukus on myös yksi osa tarjousaikaista materiaalia, joka liitetään tarjousmateriaaliin projektin tarjoustuote tehdessä. Loppuasiakas ei ole välttämättä automaatioalan ammattilainen, eikä täten pysty ottamaan kantaa ohjaustapakuvauksen tarkkuuteen. Jos tarjouskilpailun voittaneen konsulttiyrityksen ohjaustapakuvauksessa ilmenee epätarkkuuksia, joita joudutaan tarkentamaan ohjelmistosuunnitteluprosessin aikana, voi tilaajalle syntyä suuria lisäkustannuseriä lisätöiden merkeissä, jos automaation toimittaja esittää lisätyövaatimuksia ohjaustapakuvauksen poiketessa tarjousaikaisesta materiaalista.

### **3.1 Kyselytutkimuksen suunnittelu**

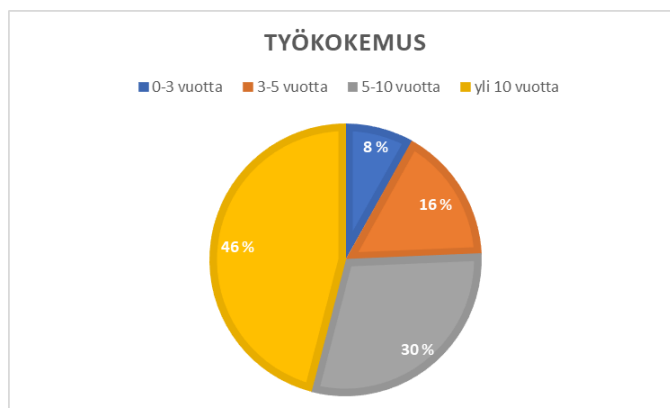
Ohjaustapakuvauksen mallipohjaa varten analysoitiin kahdeksasta Insta Automation Oy:ssä vuosien 2012-2021 välisenä aikana käyttöön otetusta pääasiassa jatkuvia prosesseja sisältävän prosessilaitoksen ohjaustapakuvauksesta tärkeitä ja yleisesti ilmaantuvia osuuksia, sekä yleisesti ilmaantuvia puutteita. Analysoinnin tukena käytettiin omaa yhdeksän työvuoden aikana kerääntynyttä kokemusta prosessiautomaatioprojektien parissa. Tärkeiden osuuksien ja puutteiden arviointia varten luotiin kyselytutkimus viisiportaisena mielipidekyselynä. Tutkimuksen kysymykset luotiin analysointituloksien ja henkilökohtaisen kokemuksen pohjalta kattaen mahdollisimman tarkasti kaikki osa-alueet, jotka olisivat ohjaustapakuvauksen kannalta tärkeitä. Kyselytutkimuksella oli tarkoitus hakea vahvistusta, tai kumota henkilökohtaisesti tärkeiksi koetut osa-alueet.

### 3.2 Kyselytutkimuksen toteutus

Kyselytutkimus toteutettiin yhteistyössä Insta Automation Oy:n kanssa lähettämällä kysely 40:lle ohjelmistosuunnitteluun suuntautuneelle insinöörille. Vastauksia saatiin yhteensä 37 kappaletta, jotka jakaantuivat kuten kuviossa 1 ammattinimike ja kuviossa 2 työkokemus on esitetty. Ammattinimikkeellä oli tarkoitus selvittää vastaajan vastuualue prosessiautomaatioprojektissa ja työkokemuksella mitata vastaajan ammattitaitoa.



KUVIO 1 Ammattinimike



KUVIO 2 Työkokemus

Tutkimuksen kysymykset pidettiin mahdollisimman lyhyinä, jotta vastaamiseen käytetty aika ei olisi ollut este niihin vastaamiseen tarkoituksena saada mahdollisimman korkea vastausprosentti. Kysely toteutettiin Google Forms -kyselynhallintaohjelmistolla, josta kyselyn vastaukset sai tallennettua csv-muodossa tarkempaa Excel-analysointia varten. Tutkimuksen kysymykset jaoteltiin taulukon 1 mukaisesti.

## TAULUKKO 1. Kyselytutkimuksen mielipidekysymykset

Numero	Kysymys	Vastaus [1]	Vastaus [5]
1.	Onko automaation ohjaustapakuvauksien tarkkuuksissa mielestäsi suuria eroja?	Ei ole eroja	On suuria eroja
2.	Ovatko ohjaustapakuvaukset yleensä siinä muodossa, että niiden perusteella pystyy suunnittelemaan automaation ohjelmiston?	Eivät ole	Ovat
3.	Joudutko usein joudut esittämään tarkentavia kysymyksiä ohjaustapakuvaukseen?	En koskaan	Usein
4.	Koetko pystyväsi ratkaisemaan itsenäisesti ohjaustapakuvauksen tulkinnanvaraiset kohdat?	En pysty	Pystyn
5.	Pidätkö tärkeänä, että ohjaustapakuvauksessa on kuvattuna eri toimintojen tarkat kuvaukset? (Esimerkiksi laitteiden vuorottelu, tehon lisäys/vähennys, laitteiden ohjaus vikatilanteissa ja PID-säätimien toiminta niihin vaikuttavien mittausten vikatilanteissa.)	En pidä tärkeänä	Erittäin tärkeänä
6.	Onko ohjaustapakuvauksien laskentaa vaativissa kohdissa esitetty kaavat laskennan kannalta riittävällä tarkkuudella ja onko ne olleet yleensä saatavilla?	Eivät ole	Ovat
7.	Täytyykö mielestäsi ohjaustapakuvaukseen sisällyttää vaatimukset eri piirien toiminnoille? (Koneet, venttiilit, mittaukset ja PID-säätimet.)	Ei tarvitse	Tarvitsee
8.	Täytyykö mielestäsi ohjaustapakuvaukseen sisällyttää vaatimukset eri väylälaitteiden tietojen välitykselle logiikalle ja valvomoon? (Taajuusmuuttajat, venttiilit, mittaukset.)	Ei tarvitse	Tarvitsee
9.	Tarvitseeko mielestäsi ohjaustapakuvaukseen sisällyttää eri prosessien asetusarvojen rajoitukset ja raja-arvot?	Ei tarvitse	Tarvitsee
10.	Selviääkö mielestäsi ohjaustapakuvauksista kuinka automaation täytyy toimia sähkökatkotilanteissa ja kuinka automaation täytyy siirtä palautua? (Prosessiasemien käynnistysporrastukset ja tehon säätö saarekekäytössä, jos laitoksella on käytössä varavoimageneraattori.)	Ei selviä	Selviää
11.	Pysyvätkö ohjaustapakuvaukset mielestäsi ajan tasalla ohjelmistoihin tehtyjen muutoksien osalta?	Eivät pysy	Pysyvät

## 4 OHJAUSTAPAKUVAUKSEN KEHITYSTULOKSET

### 4.1 Kyselytutkimuksen tulokset

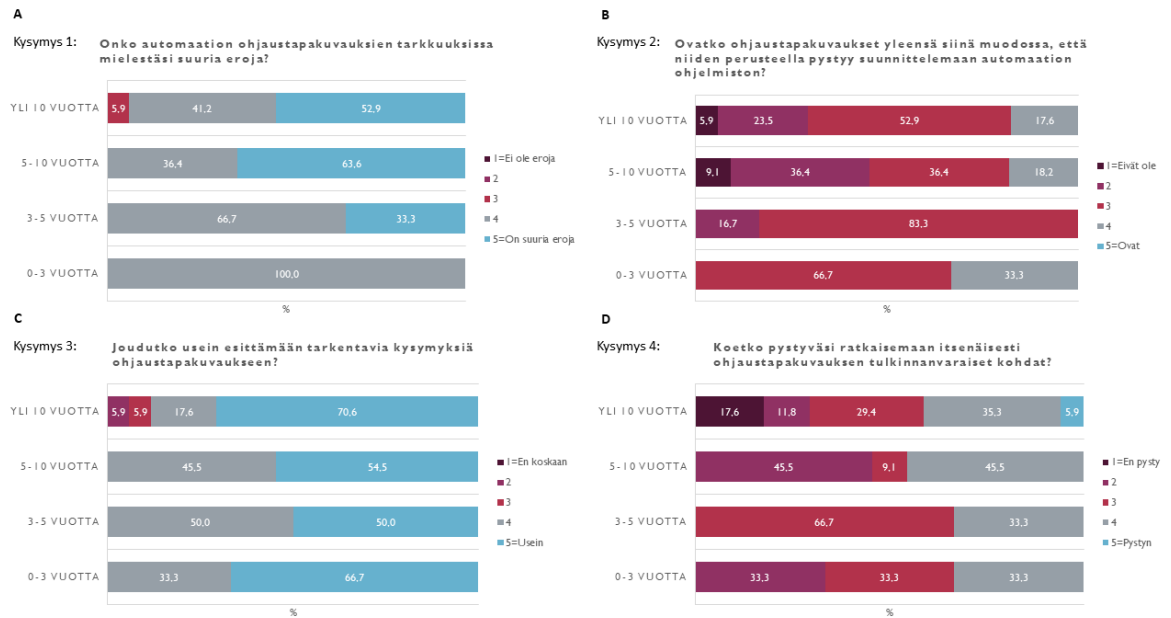
Jo ensimmäisen yleisen kysymyksen vastauksista on nähtävissä, että eri ohjaustapakuvausten välillä on huomattu olevan suuriakin eroja (kuvio 3, A). Pitkän työkokemuksen omaavilla vastaajilla on ollut luettavana useita ohjaustapakuvauksia, joiden perusteella he ovat vastauksensa antaneet, joten heidän vastauksiensa perusteella voidaan tulkita, että ohjaustapakuvauksissa on laatuvariaatiota.

Vastauksien perusteella voidaan tulkita, että tarkkoja ohjaustapakuvauksia on tullut vastaan yllättävän vähän (kuvio 3, B). Pitkän työkokemuksen omaavien vastaajien mielestä ohjaustapakuvaukset ovat liian epätarkkoja, että he pystyisivät suunnittelemaan automaation ohjelmiston suoraan niiden perusteella. Vähäisen työkokemuksen omaavat henkilöt ovat olleet enemmän sitä mieltä, että ohjelmistot on pystytty suunnittelemaan ohjaustapakuvauksien perusteella. Tämä voi selittyä sillä, että ne harvat kuvaukset, jotka heille ovat tulleet vastaan ovat olleet tarkkoja, tai he ovat toimineet avustavina suunnittelijoina vanhempien suunnittelijoiden selvittäessä kuvauksien ongelmakohtia.

Ohjaustapakuvauksiin joudutaan hyvinkin usein esittämään tarkentavia kysymyksiä (kuvio 3, C). Tarkentavilla kysymyksillä voi olla viivästyttäviä vaikutuksia ohjelmiston suunnittelun kannalta, jos niihin joudutaan odottamaan vastauksia. Annetut vastaukset voivat myös muuttaa alkuperäisesti suunniteltua ohjelmiston toimintaa radikaalisti, että niillä on ohjelmiston valmistumisen kannalta viivästyttäviä vaikutuksia sekä ohjelmiston toimittajan puolesta lisätyövaatimuksia. Vastauksia voidaan pitää jopa huolestuttavina, jos ohjaustapakuvauksissa on todettu olevan näin usein tarkennusta vaativia kohtia.

Lyhyen työkokemuksen omaavat henkilöt pystyvät mielestään useinkin ratkaisemaan tulkinnanvaraiset kohdat (kuvio 3, D). Tähän voi vaikuttaa heille annetut yksinkertaisemmat ohjelmistosuunnittelua vaativat työtehtävät ohjaustapakuvauksesta, joiden tulkinnanvaraiset kohdat ovat olleet helpommin ratkaistavissa, tai pääsuunnittelijoiden antama tuki ongelmakohtien ratkaisussa. Pitkän työkokemuksen omaavat henkilöt ovat epäileväisempiä arvioitaessa kykyä itsenäiseen

tulkinnanvaraisten kohtien ratkaisuun. Heillä on paljon kokemusta ohjelmistosuunnittelusta, kuten myös käyttöönotoista ja siitä, paljonko ohjelmiston muuttaminen ja korjaaminen vie aikaa kentällä. Tulkinnan varaisia kohtia ei välttämättä haluta lähteä ratkaisemaan itsenäisesti, koska ratkaisu ei ole mahdollisesti sama, mitä konsultti tarkoitti kuvauksellaan.



KUVIO 3 Ohjaustapakuvauksen kyselytutkimus. Kuvausten yhdenmukaisuus ja tarkkuus.

Tarkentavat kysymykset saattavat yleensä liittyä eri toimintojen kuvauksiin, jotka olisivat vastauksien perusteella tärkeitä jo sisältyä ohjaustapakuvaukseen (kuvio 4, A). Kokeneet suunnittelijat tietävät usein jo kokemuksesta, kuinka toimintojen ohjelmointi toteutetaan ja on aikaisemmin toteutettu toimivan kokonaisuuden aikaansaamiseksi. Toimintojen tarkat kuvaukset olisivat kuitenkin tärkeitä sisällyttää ohjaustapakuvaukseen, jos niihin liittyy esimerkiksi eri prosesseista riippuvia erityisehtoja ja poikkeavuuksia.

Laskentakaavat ovat osa prosessisuunnittelua, joilla määritetään esimerkiksi kemikaalien virtaamat laitokselta lähtevään puhtaaseen käyttöveteen. Vastauksien perusteella (kuvio 4, B) kaavoissa on ollut kuitenkin tarkkuus- ja saatavuus eroja, joista voi muodostua vaarallisiakin tilanteita, jos kaavoissa ei ole esimerkiksi mai-

nintaa kemikaalin virtaamien rajoituksista. Kaavojen tarkistus ei kuulu ohjelmistosuunnittelijalle ja hänen on vaikea ottaa kantaa kaavan oikeellisuuteen, jos kuvauksessa ei ole esimerkiksi mainintaa suunnitelluista kemikaalivirtaamista.

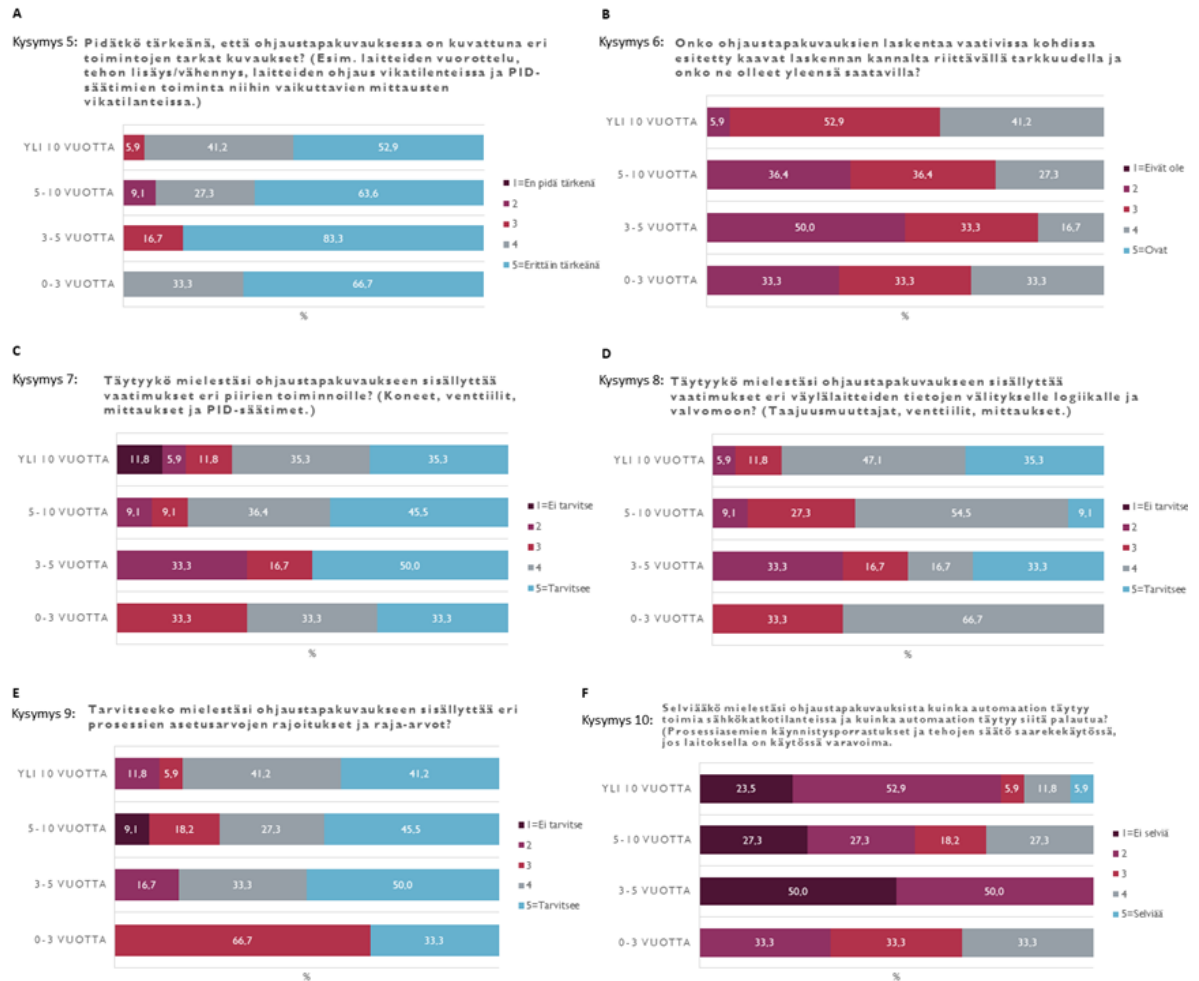
Suurin osa vastauksista on sillä kannalla, että ohjaustapakuvaukseen tulisi sisältyä vaatimukset eri piirien toiminnoille (kuvio 4, C). Vaatimukset palvelevat eniten loppukäyttäjää eli tilaajaa, koska he tulevat käyttämään valvomojärjestelmän kautta ohjattavia automaation ohjaus-, mittaus- ja säätöpiirejä. Jos piireille ei ole kuvauksessa tarkkoja vaatimuksia, voi niistä puuttua toiminnan kannalta oleellisia ominaisuuksia, jos automaatiotoimittajalla ei ole ollut sellaisia aikaisemmin käytössä. Automaatiotoimittaja voi tällöin käyttää ohjelmistossaan hyvinkin yksinkertaisia piirejä, joiden lisäominaisuuksista tilaaja voi joutua maksamaan kalliisti lisätöinä.

Väylälaitteiden tietojen välityksestä logiikoille ja valvomoon ollaan myös yhteneväisesti sitä mieltä, että ne tulisi sisällyttää ohjaustapakuvaukseen (kuvio 4, D). Väylälaitteilta voidaan lukea hyvinkin laajaa informaatiota ja informaatio on eri laitetoimittajien välillä hyvin samankaltaista. Kuvauksessa voidaan määrittää vähimmäisvaatimukset väylän kautta luettavalle informaatiolle, koska kaiken mahdollisen informaation välittäminen kuormittaa jo logiikoiden muistia ja ei välttämättä ole edes mahdollista esimerkiksi redundantisissa Profibus väylissä.

Asetusarvojen rajoitukset ja raja-arvot nähdään myös tärkeänä osana ohjaustapakuvausta (kuvio 4, E). Kysymys liittyy osaksi myös kysymykseen 6, jossa kysyttiin mielipidettä kaavojen tarkkuuksista ja saatavuudesta. Asetusarvot vaikuttavat usein kaavojen kautta laskettaviin laskennallisiin asetuservoihin ja jos niille ei tiedetä raja-arvoja, voi kaavojen testaaminenkin olla vaikeaa. Asetusarvojen rajoitukset ovat myös osa laitoksen turvallisuutta, ettei liian suurella asetuservolla pystytä vahingossa aiheuttamaan prosessiin häiriötilannetta. Asetusarvojen rajoitukset voidaan toteuttaa kiinteästi logiikoilla, jolloin logiikka korjaa käyttäjän toimesta annetun rajoituksien ulkopuolella olevan asetuservon kiinteisiin minimi- ja maksimi rajoituservoihin. Rajoitukset voidaan toteuttaa myös valvomossa esimerkiksi informoimalla, että syötetty asetuservo on rajoituservojen ulkopuolella.



Automaation toiminta sähkökatkotilanteissa nähdään epäselväksi ohjaustapakuvauksen osalta (kuvio 4, F). Sähkökatkotilanne nähdään ehkä harvinaiseksi poikkeustilanteeksi, ettei siihen ole otettu usein kantaa kuvauksissa. Häiriötilanteesta aiheutuvat ongelmat operaattoreille saattavat olla hyvinkin kuormittavia korjaustoimenpiteineen, joten niistä palautuminen automaation osalta olisi tärkeä kuvata hyvinkin tarkasti, jotta laitoksen toiminta jatkuisi mahdollisimman normaalina häiriötilanteesta palautuessa.

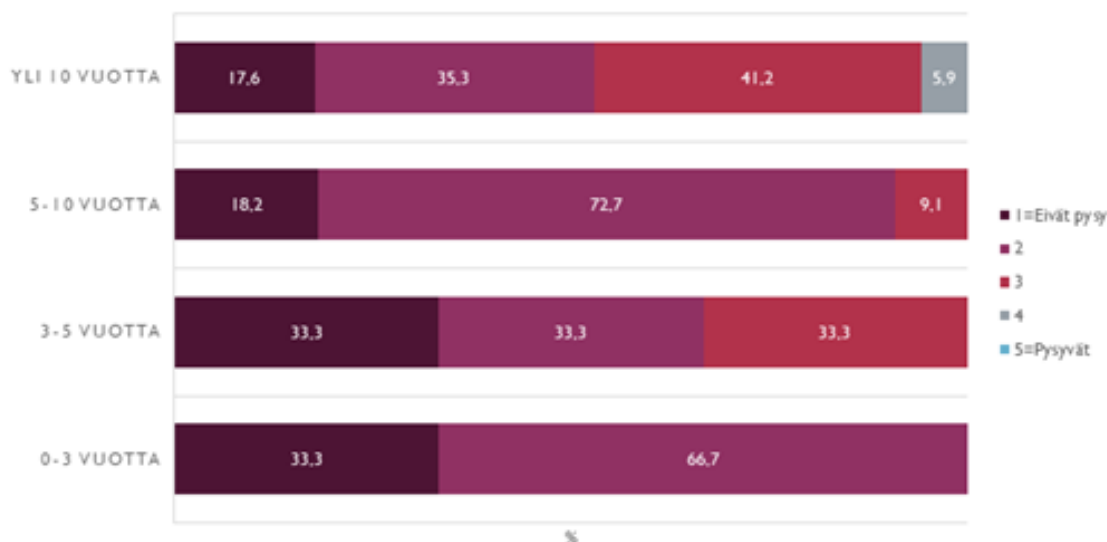


KUVIO 4 Ohjaustapakuvauksen kyselytutkimus. Tarkentavat kysymykset.

Ohjaustapakuvaukset eivät vastauksien perusteella pysy ajan tasalla ohjelmistoihin tehtyjen muutoksien osalta (kuvio 5). Ohjelmistoon tehty muutos täytyy kommentoida ohjelmistoon, mutta myös ohjaustapakuvaukseen. Muutos voi olla selvä ohjelmistomuutospyyntö tekijälle ja toteuttajalle, mutta esimerkiksi muut käyttäjät eivät välttämättä ole tietoisia muutoksesta, jos sitä ei ole dokumentoitu kuvaukseen. Käyttäjät voivat tarkistaa kuvauksesta prosessin suunnitellun toi-

minnan ja ilman päivitettyä kuvausta heillä ei ole ajan tasalla olevaa tietoa prosessin toiminnasta. Toisen ohjelmistosuunnittelijan voi olla myös vaikea löytää ohjelmistosta tehdyt muutokset, vaikka ne olisivatkin sinne kommentoitu. Tällöin ajan tasalla oleva ohjaustapakuvauus on hyvinkin tärkeä dokumentti.

Kysymys 11: Pysyvätkö ohjaustapakuvaukset mielestäsi ajan tasalla ohjelmistoihin tehtyjen muutoksien osalta?



KUVIO 5 Ohjaustapakuvauksen kyselytutkimus. Ohjaustapakuvauksen muutoksen hallinta.

## 4.2 Yleiset ohjeet ohjaustapakuvaukselle

Kyselytutkimuksen vastauksien perusteella ohjaustapakuvaukset vaativat kehitystä niin tarkkuuden kuin sisällönkin osalta. Ohjaustapakuvauus on saatava tarkkuuden sisältönsä osalta siihen muotoon, että sen pohjalta pystyy suunnittelemaan automaation ohjelmiston mahdollisimman vähillä lisäyksillä ja muutoksilla.

Ohjaustapakuvauksen toimintaselostuksissa on tarkoitus määritellä prosessiasemissa toteutettavat sovellusohjelmat sillä tarkkuudella millä ne ovat suunnitteluvaiheessa määritettävissä. Käyttööntövaiheessa mahdollisesti ilmeneviä lisäys- ja muutostarpeita ei pystytä ottamaan huomioon suunnitteluvaiheessa, mutta ne on kuitenkin päivitettävä myös sanallisesti ohjaustapakuvaukseen ohjelmistomuutoksen tekijän toimesta. Ohjaustapakuvauksessa on lisäksi tarkoitus ottaa kantaa vain prosien ohjaukseen automaatiojärjestelmällä, eikä siinä ole

tarkoitus käsitellä laitteiden ulkoisia ja sisäisiä suojauksia, turvakytkimiä ja koestimia.

Toimintakuvauksissa on tarkoitus esittää sanallisesti laitteiden automaattiset ohjaukset, säädöt ja lukitukset. Niiden perusteella suunnitellaan automaation ohjelmistot ja tarvittaessa lisätään säätöparametreja, kuten esimerkiksi mittausarvon suodatus, sekä ohjaus -ja pysäytysviiveet toimivan ohjelmiston aikaansaamiseksi.

Ohjaustapakuvauksessa esitetään ohjaustavat prosessiautomaatiolle laitoksen automaattista ohjausta varten, sekä valvomonäytöiltä toteutettavat piirien manuaaliohjaukset. Ohjaustapakuvauksessa ei ole tarkoitus käsitellä kentältä tapahtuvia käsikäyttökytkimien ja painikkeiden kautta tehtäviä ohjauksia. Kaikki ohjaustapakuvauksessa esitetyt prosessiautomaation toiminnot toteutetaan laitoksen prosessiasemilla ja niiden valvonta ja ohjauskäskyt on oltava annettavissa valvomo-ohjelmiston näytöiltä.

Ohjaustapakuvauksessa esitettävät asetus-, raja- ja viivearvot toimivat alustavina alkuarvoina, joiden on tarkoitus tarkentua käyttöönottoaiheessa käyttöön jääviksi arvoiksi siten, että laitos toimii luotettavasti. Arvoille toteutetaan tarvittaessa myös ohjelmallisia rajoituksia, joilla estetään esimerkiksi liialliset kemikaalien syöttömäärät. Käyttöönottoaiheen aikana mahdollisesti lisättävät asetusarvot on myös päivitettävä osaprosessien toimintakuvauksiin.

### **Aputoiminto- ja vuorotteluperiaatteet**

Prosessiautomaatioon liitettyjen konepiirien automaattiselle vuorottelulle ja rinnan ohjauksille on tärkeä olla yhteneväiset määrittelyt. Tällöin niitä ei tarvitse kuvata jokaisen osaprosessin kuvauksessa erikseen, vaan niillä voidaan olettaa olevan esimerkiksi seuraavat ominaisuudet:

Kaikilla automaatiojärjestelmään liitetyille laiteryhmillä, joilla on aputoiminto, eli esimerkiksi apupumppu ja enemmän kuin kaksi laitetta, on valvomosta oltava määritettävissä laitteiden käynnistysjärjestys.

Rinnakkaisten automaatiojärjestelmään liitettyjen koneiden, jotka toimivat keskeytyksettä automaattinen vuorotteluperiaate on oltava aikaperusteinen. Luonnostaan esimerkiksi pysäytysrajasta pysähtyvillä laitteilla vuorottelun on tapahduttava pysäytystilasta niin, ettei vuoronvaihto aiheuta laitteen pysäytystä.

### 4.3 Automaatioon liitetyt piirit

Piireillä on tarkoitus monitoroida ja ohjata automaatiopyramidin (Kuva 5) prosessilaitteita automaatiojärjestelmästä. PLC:lle ohjelmoitujen piirien tilat, ohjaukset, arvot ja asetusarvot esitetään graafisessa muodossa valvomossa. Piireillä on oltava riittävät ominaisuudet, jotta prosessien hallinta ja monitorointi olisi mahdollisimman tehokasta ja kentällä tehtävien säätö -ja ohjaustoimenpiteiden määrä saataisiin mahdollisimman alhaiseksi. Piirejä ovat mittaus, kone, venttiili ja PID-säädin, joilla on oltava seuraavat ominaisuudet:

#### Mittauspiiri

Kaikki tiedot ja indikoinnit (taulukko 2) on oltava nähtävissä mittauspiirikohtaisesti valvomon näytöiltä. Kaikki hälytykset on oltava nähtävissä valvomon hälytyslistalla ja jatkolähetettävissä GSM-viestillä, jos laitoksella on käytössä jatkohälytysjärjestelmä.

TAULUKKO 2. Mittauspiirin tiedot ja indikoinnit

Indikoinnit	Arvot	Viiveet
Ylärajahälytys	Mittausarvo	Simuloinnin keston laskuri (min)
Ylärajavaroitus	Todellinen mittausarvo	
Alarajavaroitus		
Alarajahälytys		
Mittausvika		
Simuloinnilla		

Kaikki mittauspiirin asetukset ja valinnat (taulukko 3) on oltava muutettavissa valvomon näytöiltä.

TAULUKKO 3. Mittauspiirin asetusarvot ja valinnat





Asetusarvot	Viiveet	Valinnat
Skaala maksimi	Hälytysviive (sek)	Simulointi: Päälle / pois päältä
Skaala minimi	Simuloinnin kesto (min)	
Ylärajahälytys		
Ylärajavaroitus		
Alarajavaroitus		
Alarajahälytys		
Hystereesi		
Simulointiarvo		

Mittauspiirin mittausarvo on esitettävä seuraavasti:

- Kahden desimaalin tarkkuudella, jos mittausalueen skaalan maksimi < 10.
- Yhden desimaalin tarkkuudella, jos mittausalueen skaalan maksimi < 100.
- Kokonaisluvun tarkkuudella, jos mittausalueen skaalan maksimi  $\geq 100$

Mittauspiirin mittausarvokentän värit on indikoitava (taulukko 4) mukaisesti. Ylimpänä mainittu väri on dominoiva, jos useampi ehto toteutuu.

TAULUKKO 4. Mittauspiirin mittausarvokentän värit

Tila	Väri	Ehto
Kiinteä		Simulointi on aktiivinen
Vilkkuva		Mittausvika on aktiivinen
Kiinteä		Ala- tai ylärajahälytys on aktiivinen
Kiinteä		Ala- tai ylärajavaroitus on aktiivinen
Kiinteä		Normaalitila

Mittauspiirin simulointitilan valittaessa päälle (taulukko 3) on simulointiarvo siirrettävä mittausarvoksi. Simuloinnin aikana todellisen mittausarvon on näytettävä esimerkiksi analogiatulolta tulevan todellisen mittausarvon. Simuloinnin kestolla määritetään, kauanko simulointi on päällä, kunnes se kytkeytyy automaattisesti pois päältä. Simuloinnin keston laskurilla esitetään, kauanko simulointi on vielä päällä, ennen sen automaattista pois päältä kytkeytymistä. Simuloinnin kestoksi asetettaessa nolla, on simuloinnin oltava päällä, kunnes se kytketään manuaalisesti pois päältä.

Mittauspiirin ylä- ja alaraja indikointien (taulukko 2) on aktivoituttava, kun aktivoinnin ehto (taulukko 5) toteutuu yhtäjaksoisesti hälytysviiveen ajan. Indikoinnin

on poistuttava automaattisesti, kun poistumisen ehto (taulukko 5) toteutuu. Indikointi on oltava kytkettävissä pois käytöstä (taulukko 5) käytöstä poiston ehdon toteutuessa.

TAULUKKO 5. Mittauspiirin ylä- ja alaraja indikointien aktivoituminen ja esto

Indikointi	Aktivoitumisen ehto	Poistumisen ehto
Ylärajahälytys	Mittausarvo > Ylärajahälytyksen asetusarvo	Mittausarvo < (Ylärajahälytyksen asetusarvo - hystereesi)
Ylärajavaroitus	Mittausarvo > Ylärajavaroituksen asetusarvo	Mittausarvo < (Ylärajavaroituksen asetusarvo - hystereesi)
Alarajavaroitus	Mittausarvo < Alarajavaroituksen asetusarvo	Mittausarvo > (Alarajavaroituksen asetusarvo + hystereesi)
Alarajahälytys	Mittausarvo < Alarajahälytyksen asetusarvo	Mittausarvo > (Alarajahälytyksen asetusarvo + hystereesi)
<b>Indikoinnin käytöstä poiston ehto</b>		
Ylärajahälytys: Ylärajahälytyksen asetusarvo = mittausalueen maksimiarvo		
Ylärajavaroitus: Ylärajavaroituksen asetusarvo = mittausalueen maksimiarvo		
Alarajavaroitus: Alarajavaroituksen asetusarvo = mittausalueen minimiarvo		
Alarajahälytys: Alarajahälytyksen asetusarvo = mittausalueen minimiarvo		

Mittauksen mittausvika-hälytyksen (taulukko 2) on kytkedyttävä päälle ja pois päältä riippumatta siitä, minkä tyyppinen mittaus on kyseessä. Mittausvika on oltava kytkettävissä pois käytöstä, kun mittaus valitaan simuloinnille.

Milliampeeri mittauspiirin mittausvika-hälytys on indikoitava, jos mittauksen analogiatulon mA-viesti on irti kytketty, tai se yli, tai alle mittausalueen yhtäjaksoisesti hälytysviiveen ajan. Mittausvika-hälytyksen on poistuttava, kun mA-viesti on mittausalueella.

Väylä mittauspiirin mittausvika-hälytys on indikoitava esimerkiksi, jos yhteys mittauksen välittämään laitteeseen katkeaa, tai väylälaitte kertoo mittauksen olevan viallinen. Mittausvika-tiedon saaminen väylälaitteelta on tapauskohtaista. Mittausvika-hälytyksen on poistuttava, kun yhteys väylälaitteeseen on aktiivinen, eikä väylälaitteelta luettava mittaus häiriö ole aktiivinen. Väylään liitetyn mittauksen väylävikahälytys on välitettävä myös erillisenä hälytyksenä valvomojärjestelmään.

## Konepiiri

Tiedot ja indikoinnit (taulukko 6) on oltava nähtävissä konepiirikohtaisesti valvomon näytöiltä. Väylä-ohjatusta taajuusmuuttajasta on luettava ja mA-säädettä taajuusmuuttajasta on välitettävä oletuksena kaksi lisämittausta nopeusolon li-

säksi. Esimerkkeinä ovat taajuus, virta, teho ja momentti. Väyläohjatusta taajuusmuuttajasta on luettava oletuksena myös aktiivinen vikakoodi. Kaikki hälytykset on oltava nähtävissä valvomon hälytyslistalla ja jatkolähetettävissä GSM-viestillä, jos laitoksella on käytössä jatkohälytysjärjestelmä.

TAULUKKO 6. Konepiirin tiedot ja indikoinnit

Indikoinnit	Arvot	Lisätiedot
Automaattikäyttö [A]	Nopeusolo (%)	Aktiivinen vikakoodi
Manuaalikäyttö [M]	Taajuus (Hz)	Väylävika hälytys
Paikalliskäyttö [L]	Virta (A)	
Käyntitieto eteen	Teho (kW)	
Käyntitieto taakse	Momentti (%)	
Vikahälytys	Käyntiaika kuluva vuorokausi (min)	
Ristiriitahälytys	Käynnistyskerrat kuluva vuorokausi (kpl)	
Lukitus		





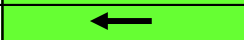
Kaikki konepiirin asetukset ja valinnat (taulukko 7) on oltava muutettavissa valvomon näytöiltä.

TAULUKKO 7. Konepiirin asetusarvot ja valinnat

Valinnat	Asetusarvot	Viiveet
Automaatille järjestelmästä	Nopeuden käsiohje (%)	Hälytysviive (sek)
Manuaalille järjestelmästä		
Ohjaus eteen		
Ohjaus taakse		
Seis		
Kuittaus		

Konepiirin valvomosymbolin värit on indikoitava (taulukko 8) mukaisesti. Valvomo symbolin on myös indikoitava konepiirin käyttötilaa (taulukko 6). Ylimpänä mainittu väri on dominoiva, jos useampi ehto toteutuu.

TAULUKKO 8. Konepiirin valvomo symbolin värit

Tila	Väri / indikointi	Ehto
Kiinteä		Vikahälytys
Kiinteä		Ristiriitahälytys
Kiinteä		Lukitus
Kiinteä		Käy eteen
Kiinteä		Käy taakse

Konepiirin käyttötila (taulukko 6) on indikoitava valintojen (taulukko 7) mukaan seuraavasti:

- Automaattikäyttö [A], kun konepiiri on automaatilla kentältä ja valittuna automaatille järjestelmästä.
- Manuaalikäyttö [M], kun konepiiri on automaatilla kentältä ja valittuna manuaalille järjestelmästä.
- Paikalliskäyttö [L], kun konepiiri ei ole automaatilla kentältä riippumatta automaatille ja manuaalille valinnoista.

Konepiirin on esitettävä olevan automaatilla kentältä, kun esimerkiksi kenttäkytkin on A-asennossa. Jos automaatilla kentältä tietoa ei ole mahdollista saada, tai sitä ei ole kytketty järjestelmään, täytyy konepiirin olettaa olevan aina automaatilla kentältä.

Konepiirin ohjaus eteen- ja ohjaus taakse -valinnoilla (taulukko 7) on konepiirin ohjauksen oltava kytkettävissä päälle koneen ollessa manuaalikäytöllä. Mikäli konepiirin manuaaliohjaus kytkeytyy pois päältä esimerkiksi vian, tai lukituksen takia, on käyttäjän kytkettävä ohjaus uudelleen päälle konepiirin ohjauksen ollessa taas mahdollista. Jos konepiirin ominaisuuksiin ei kuulu taaksepäin ohjaus, on valinta oltava piilotettavissa, tai estettävissä konepiirikohtaisesti valvomonäytöltä.

Konepiirin seis-painikkeella (taulukko 7) on voitava kytkeä koneen ohjaus eteen ja taakse pois päältä koneen ollessa manuaalikäytöllä.

Nopeuden käsiohje (taulukko 7) on oltava nopeuden ohjearvo konepiirin ollessa manuaalikäytöllä. Konepiirin ollessa automaattikäytöllä käsiohjeeksi päivittyy järjestelmän asettama nopeuden ohjearvo, joka voi olla esimerkiksi PID-säätimen säätöohje, tai säätökäyrältä tuleva nopeusohje.

Konepiirin hälytysten kuittaus on voitava suorittaa kuittaus painikkeella (taulukko 7), tai kytkemällä kenttäkytkimellä konepiiri pois automaatilla kentältä. Mikäli konepiirin taajuusmuuttaja on kytketty väylään, hälytysten kuittauksen on suoritettava vikakuittaus myös taajuusmuuttajalle.



Konepiirin vikahälytyksen (taulukko 6) on kytkeydyttävä päälle, jos laitteen suo-  
jatieto on aktiivinen. Suojatieto saattaa vaihdella laitekohtaisesti, esimerkiksi  
moottorisuoja ja lisäksi taajuusmuuttaja ohjatuilla konepiireillä taajuusmuuttajan  
vikatieto. Vikahälytyksen on poistuttava vasta, kun suojatieto ei ole aktiivinen ja  
konepiirille on suoritettu vikakuittaus. Konepiirin on oltava lukitustilassa, jos vika-  
hälytys on aktiivinen.

Konepiirin on indikoitava ristiriitahälytystä (taulukko 6), kun koneen käyntitieto  
(eteen tai taakse) on ristiriidassa järjestelmän ohjaaman tilan kanssa yhtäjaksoi-  
sesti hälytysviiveen ajan. Ristiriitahälytyksen on poistuttava vasta, kun konepiirille  
on suoritettu vikakuittaus. Konepiirin on oltava lukitustilassa, jos ristiriitahälytys  
on aktiivinen.

Väylään liitetyn konepiirin väylävikahälytys (taulukko 6) on välitettävä myös erilli-  
senä hälytyksenä valvomojärjestelmään. Väylävikahälytyksen on asetettava ko-  
nepiiri myös lukitustilaan, jota ei lasketa mukaan kahdeksaan erilliseen lukituk-  
seen.

Konepiiriin on oltava kytkettävissä kahdeksan eri lukitusta, joiden kuvaukset on  
esitettävä myös valvomossa. Lukituksien täytyy olla myös ohitettavissa valvo-  
mosta ja ohitukset täytyy olla myös estettävissä lukituskohtaisesti.

Konepiirin lukituksen (taulukko 6) on aktivoiduttava myös, jos jokin seuraavista  
ehdoista toteutuu:

- Konepiiri ei ole automaattilla kentältä
- Vikahälytys on aktiivinen
- Ristiriitahälytys on aktiivinen
- Konepiiriin vaikuttava ulkoinen lukitus on aktiivinen. Esimerkiksi pinta-  
mittauksen alarajahälytys on aktiivinen ja estää pumpun käynnistymisen.

Koneen on pysähdyttävä, jos lukitus on aktiivinen. Lukituksen on poistuttava au-  
tomaattisesti ilman kuittausa, kun lukitusehdot eivät enää täyty.

## Venttiilipiiri

Tiedot ja indikoinnit (taulukko 9) on oltava nähtävissä venttiilipiirikohtaisesti valvomon näytöiltä. Väyläohjatusta venttiilipiiristä on luettava oletuksena momentti, jos se on välitettävissä venttiilin asennoittimelta. Kaikki hälytykset on oltava nähtävissä valvomon hälytyslistalla ja jatkolähetettävissä GSM-viestillä, jos laitoksella on käytössä jatkohälytysjärjestelmä.

TAULUKKO 9. Venttiilipiirin tiedot ja indikoinnit

Indikoinnit	Arvot	Lisätiedot
Automaattikäyttö [A]	Asento (%)	Momentti (%)
Manuaalikäyttö [M]	Aukiohjaukset kuluva vuorokausi (kpl)	Väylävika hälytys
Paikalliskäyttö [L]	Kiinniohjaukset kuluva vuorokausi (kpl)	
Auki		
Kiinni		
Vikahälytys		
Ristiriitahälytys		
Lukitus		

Kaikki venttiilipiirin asetukset ja valinnat (taulukko 10) on oltava muutettavissa valvomon näytöiltä.

TAULUKKO 10. Venttiilipiirin asetusarvot ja valinnat

Valinnat	Asetusarvot	Viiveet
Automaatille järjestelmästä	Asennon käsiohje (%)	Hälytysviive (sek)
Manuaalille järjestelmästä		
Ohjaus auki		
Ohjaus kiinni		
Paikoita		
Kuittaus		

Venttiilipiirin valvomosymbolin värit on indikoitava (taulukko 11) mukaisesti. Valvomo symbolin on myös indikoitava venttiilipiirin käyttötilaa (taulukko 9). Ylimpänä mainittu väri on dominoiva, jos useampi ehto toteutuu.

TAULUKKO 11. Venttiilipiirin valvomo symbolin värit

Tila	Väri / indikointi	Ehto
Kiinteä		Vikahälytys
Kiinteä		Ristiriitahälytys
Kiinteä		Lukitus
Kiinteä		Auki
Vilkkuva		Väliasento
Kiinteä		Kiinni

Venttiilipiirin käyttötila (taulukko 9) on indikoitava valintojen (taulukko 10) mukaan seuraavasti:

- Automaattikäyttö [A], kun venttiilipiiri on automaattilla kentältä ja valittuna automaatille järjestelmästä.
- Manuaalikäyttö [M], kun venttiilipiiri on automaattilla kentältä ja valittuna manuaalille järjestelmästä.
- Paikalliskäyttö [L], kun venttiilipiiri ei ole automaattilla kentältä riippumatta automaatille ja manuaalille valinnoista.

Venttiilipiiri on esitettävä olevan automaattilla kentältä, kun esimerkiksi kenttäkytkin on A-asennossa. Jos automaattilla kentältä tietoa ei ole mahdollista saada, tai sitä ei ole kytketty järjestelmään, täytyy venttiilipiirin olettaa olevan aina automaattilla kentältä.

Venttiilipiirillä ilman asennon takaisinkytkentää on ohjaus auki ja ohjaus kiinni valinnoilla (taulukko 10) oltava ohjattavissa venttiilipiiri auki ja kiinni manuaalikäytön ollessa aktiivinen. Mikäli venttiilipiirin manuaaliohjaus kytkeytyy pois päältä ennen rajan saavuttamista esimerkiksi vian, tai lukituksen takia on käyttäjän kytkettävä ohjaus auki, tai ohjaus kiinni uudelleen päälle venttiilipiirin ohjauksen ollessa taas mahdollista.

Venttiilipiiri asennon takaisinkytkennällä, on paikoita-valinnalla (taulukko 10) venttiilipiirin paikoituksen kytkeydyttävä asennon käsiohjeeseen päälle ensimmäisellä painalluksella ja toisella painalluksella paikoituksen on pysähdyttävä. Mikäli venttiilipiirin manuaaliohjaus kytkeytyy pois päältä ennen kuin paikoitus on saavuttanut asennon käsiohjeen esimerkiksi vian, tai lukituksen takia on käyttä-

jän kytkettävä paikoitus uudelleen päälle venttiilin ohjauksen ollessa taas mahdollista. Venttiilipiirin asennon käsiohjeen (taulukko 10) on oltava asennon ohjearvo venttiilipiirin ollessa manuaalikäytöllä. Venttiilipiirin ollessa automaattikäytöllä käsiohjeeksi päivittyy järjestelmän asettama asennon ohjearvo esimerkiksi PID-säätimen asento-ohje, tai säätökäyrältä tuleva asento-ohje.

Venttiilipiirin hälytysten kuittaus on voitava suorittaa kuittaus painikkeella (taulukko 10), tai kytkemällä kenttäkytkimellä venttiilipiiri pois automaatilla kentältä. Mikäli venttiilipiirin taajuusmuuttaja on kytketty väylään, hälytysten kuittauksen on suoritettava vikakuittaus myös taajuusmuuttajalle.

Venttiilipiirin vikahälytyksen (taulukko 9) on kytkeydyttävä päälle, jos laitteen suojatieto on aktiivinen. Suojatieto saattaa vaihdella laitekohtaisesti, esimerkiksi moottorisuoja, momentti ja lisäksi väyläohjatuilla venttiileillä asennoittimelta luettava yhdistetty vikatieto. Vikahälytyksen on poistuttava vasta, kun suojatieto ei ole aktiivinen ja venttiilipiirille on suoritettu vikakuittaus. Venttiilipiirin on oltava lukitustilassa, jos vikahälytys on aktiivinen.

Venttiilipiirin on indikoitava ristiriitahälytystä (taulukko 9), kun venttiilipiirin tila (auki / kiinni / asento) on ristiriidassa järjestelmän ohjaaman tilan kanssa, tai venttiilipiirin auki ja kiinni rajatiedot ovat molemmat aktiivisia yhtäjaksoisesti hälytysviiveen ajan. Ristiriitahälytyksen on poistuttava vasta, kun venttiilipiirille on suoritettu vikakuittaus. Venttiilipiirin on oltava lukitustilassa, jos ristiriitahälytys on aktiivinen.

Väylään liitetyn venttiilipiirin väylävikahälytys (taulukko 9) on välitettävä myös erillisenä hälytyksenä valvomojärjestelmään. Väylävikahälytyksen on asetettava venttiilipiiri myös lukitustilaan, jota ei lasketa mukaan 8:aan erilliseen lukitukseen.

Venttiilipiiriin on oltava kytkettävissä 8 eri lukitusta, joiden kuvaukset on esitettävä myös valvomossa. Lukituksien täytyy olla myös ohitettavissa valvomosta ja ohitukset täytyy olla myös estettävissä lukituskohtaisesti.

Venttiilipiirin lukituksen (taulukko 9) on aktivoiduttava myös, jos jokin seuraavista ehdoista toteutuu:

- Venttiilipiiri ei ole automaattilla kentältä
- Vikahälytys on aktiivinen
- Ristiriitahälytys on aktiivinen
- Venttiiliin vaikuttava ulkoinen lukitus on aktiivinen. Esimerkiksi pintamittauksen ylärajahälytys on aktiivinen ja lukitsee täyttöventtiilin kiinni.

Venttiilipiirin käyttäytyminen lukituksessa on oltava valittavissa tapauskohtaisesti:

- Venttiilipiiri ohjataan auki
- Venttiilipiiri ohjataan kiinni
- Säilytetään venttiilipiiri tila

Lukituksen on poistuttava automaattisesti ilman kuittausta, kun lukitusehdot eivät enää täyty.

## Säädinpiiri

Tiedot ja indikoinnit (taulukko 12) on oltava nähtävissä säädinpiirikohtaisesti valvomon näytöiltä. Kaikissa säädöissä varaudutaan P-säätöön, PI-säätöön ja PID-säätöön. Hälytykset on oltava nähtävissä valvomon hälytyslistalla ja jatkolähetettävissä GSM-viestillä, jos laitoksella on käytössä jatkohälytysjärjestelmä.

TAULUKKO 12. Säädinpiirin tiedot ja indikoinnit

Indikoinnit	Arvot
Automaattikäyttö [A]	Mittausarvo
Manuaalikäyttö [M]	Ulkoinen asetusarvo
Säätöpoikkeamahälytys	Käytössä oleva asetusarvo
	Ohjausarvo (%)

Kaikki säädinpiirin asetukset ja valinnat (taulukko 13) on oltava muutettavissa valvomon näytöiltä.

TAULUKKO 13. Säädinpiirin asetusarvot ja valinnat

Valinnat	Asetusarvot	Viiveet
Automaatille järjestelmästä	Sisäinen asetusarvo	Hälytysviive (sek)
Manuaalille järjestelmästä	P: Vahvistus (%)	
Käytettävä asetusarvo: sisäinen	I: Integrointiaika (sek)	
Käytettävä asetusarvo: ulkoinen	D: Derivointiaika (sek)	
Asetusarvon rampitus: päälle	Minimiohjausarvo (%)	
Asetusarvon rampitus: pois	Maksimiohjausarvo (%)	
Asetusarvo seuraa mittausta: päälle	Säätötoleranssi	
Asetusarvo seuraa mittausta: pois	Käsiohjausarvo (%)	
	Asetusarvon rampitus (yksikköä/sek)	

Säädinpiirin valinnoilla (taulukko 13) on säätimen käyttämä asetusarvo (sisäinen tai ulkoinen) oltava määritettävissä. Ulkoinen asetusarvo on järjestelmän määrittämä esimerkiksi laskentakaavan kautta saatava asetusarvo. Sisäinen asetusarvo on oltava käyttäjän määritettävissä oleva kiinteä asetusarvo.

Asetusarvon rampituksen valinnoilla (taulukko 13) päälle ja pois on oltava määritettävissä asetusarvo rampituksen tila. Rampituksen ollessa käytössä, säätimen säätöluvan ollessa päällä ja ulkoisen, tai sisäisen asetusarvon muuttuessa on uudelle asetusarvolle oltava määritettävissä rampitusnopeus yksikköä/sekunti, jolloin käytössä oleva asetusarvo rampitetaan uuteen asetusarvoon määritetyllä nopeudella.

Säädinpiirille on oltava valittavissa, että seuraako säätimen asetusarvo säädettävää mittausta, kun säädinpiirin säätöluva ei ole aktiivinen (taulukko 13). Säätimen säätöluvan ollessa pois päältä ja valinnan ollessa käytössä, on säätimen käytössä olevaksi asetusarvoksi siirryttävä säädettävä mittausarvo.

Säädinpiirin ollessa valittuna automaattikäytölle (taulukko 12) ja säätöluvan ollessa aktiivinen, on säätimen tarkoitus pitää mittausarvo käytössä olevassa asetusarvossa muuttamalla ohjausarvoa. Ohjausarvo laskee tai nousee riippuen siitä, onko mittausarvo yli vai alle asetusarvon ja onko säätimen toimitus suora vai käänteinen. Säädinpiirin toimitus ei saa olla muutettavissa valvomon näytöiltä.

Toimisuunnan ollessa käänteinen ja säätövirheen kasvaessa on säätimen ohjausarvon tarkoitus pienentyä. Toimisuunnan ollessa suora ja säätövirheen kasvaessa on säätimen ohjausarvon tarkoitus kasvaa.

Säädinpiirin ollessa automaattikäytöllä ja säätöluvan ollessa aktiivinen täytyy säätimen ohjausarvon rajoittua minimi- ja maksimiohjausarvoihin. Säätöluvan aktivoituessa täytyy säädön käynnistyä minimiohjausarvosta.

Säädinpiirin ollessa valittuna manuaalikäytölle (taulukko 12) on säätimen ohjausarvon oltava kiinteästi määritetty käsiohjausarvo.

Ehdot säädinpiirin säätöluvan aktivoitumiselle on oltava määritettävissä säädin-kohtaisesti. Oletuksina toimivat seuraavat ehdot:

- Ohjattavan laitteen käyttö automaattilla on mahdollista
- Säädettävän mittauksen mittausvika ei ole aktiivinen, tai säädettävä mitaus on valittuna simuloinnille.

Säädinpiirin säätöpoikkeama hälytyksen on aktivoitettava, jos seuraavat ehdot toteutuvat yhtäjaksoisesti hälytysviiveen ajan:

- Säätö lupa on aktiivinen
- Säädettävä mittausarvo on alle (käytössä oleva asetusarvo - säätöpoikkeaman arvo), tai säädettävä mittausarvo on yli (käytössä oleva asetusarvo + säätöpoikkeaman arvo).

Säätöpoikkeama hälytyksen on poistettava, kun jokin edellä mainituista ehdoista ei toteudu.

#### **4.4 Poikkeustilanteiden huomioiminen**

##### **Sähkökatko**

Prosessiasemat on yleisesti varustettava UPS-laitteilla, joilla varmistetaan automaatiokeskusten tasainen virransyöttö lyhyissä katkoksissa ja syöttöjännitteen

epätasaisuuksissa. Sähkönsyötön tilaa valvotaan UPS-laitteilta ja sähkökatkoreleiltä, jotta varmistutaan todellisesta sähkökatkotilanteesta.

Sähkökatkotilanteessa on estettävä, tai suodatettava automaatioon liitettyjen piirien hälytykset, jotta vältetään valvomojärjestelmän hälytyslistan täyttymiseltä.

Sähkökatkotiedot on välitettävä hälytyksinä prosessiasemakohtaisesti valvomojärjestelmään. Hälytykset on oltava nähtävissä valvomon hälytyslistalla ja jatkolähetettävissä GSM-viestillä, jos laitoksella on käytössä jatkohälytysjärjestelmä.

Sähkökatkotilanteessa kone -ja venttiilipiirit on asetettava lukitustilaan, joka keskeyttää automaatiojärjestelmän kautta tulevat ohjaukset kenttälaitteille. Prosessiasemakohtaisen sähkökatkotiedon poistuessa on asemien sovellusohjelmissa oltava asemakohtaiset viiveet hälytyksien estojen ja lukitusten poistoille. Viiveillä on pystyttävä porrastamaan automaatiojärjestelmään liitettyjen piirien automaattisten ohjauksien käynnistymiset asemakohtaisesti. Valvomossa on oltava lisäksi ryhmäkuittaus painike, jolla on pystyttävä kuittaamaan laitoksen kaikkien kone - ja venttiilipiirien hälytykset. Tällä on tarkoitus nopeuttaa operaattoreiden työtä laitosta palauttaessa toimintaan sähkökatkotilanteen jälkeen.

## **Varavoima**

Jos laitoksella on käytössä automaattisesti kantaverkon sähkökatkotilanteessa käynnistyvä varavoimakone, on varavoimakoneesta välitettävä automaatiojärjestelmään sen tilaa indikoivat tiedot, joita ovat esimerkiksi:

- Generaattorin syöttökatkaisijan tilatieto
- Kantaverkon syöttökatkaisijan tilatieto
- Generaattorin käy -ja häiriötiedot

Jos varavoimakone liitetään väylällä automaatiojärjestelmään, luetaan siltä mahdollisuuksien mukaan laajempaa diagnostiikkaa, jotka välitetään myös valvomojärjestelmään.



Jos varavoimakoneen tuottama sähköteho on mitoitettu kattamaan koko laitoksen vaatima tehonsyöttö ei automaatiojärjestelmään kytkettyjen konepiirien ohjauksia ja tehoja tarvitse rajoittaa.

Jos tehonsyöttö ei riitä kattamaan koko laitoksen tehon tarvetta on laitoksen toiminnan kannalta ei kriittiset konepiirit lukittava, tai taajuusmuuttajilla varustettujen koneiden tehoja rajoitettava rajoittaen niiden kuluttamaa sähkötehoa. Varavoimakoneelta välitettävien tilatietojen perusteella päätellään koska laitoksen tehonsyöttö on varavoimakoneen varassa.

Automaatiojärjestelmään liitetyt konepiirit on taulukoitava. Taulukosta on oltava nähtävillä laitekohtaiset rajoitukset laitoksen tehonsyötön ollessa varavoimakoneen varassa. Alla on taulukossa 14 esitetty esimerkki taulukoinnista.

TAULUKKO 14. Laitoksen tehojen rajoitukset

Laite	Positio	Käytössä (kpl)	Teho/kpl	Teho yhteensä
Kompressori	KO-101...KO-103	1 (75% teho)	120	90
Tulopumput	PU-201...PU-204	2	35	70
Siirtopumput	PU-301...PU-306	2	35	70
Sekoittimet	SE-101...SE-105	3	10	30

#### 4.5 Prosessikuvaus

Pääotsikolla prosessi kuvataan laajempaa prosessikokonaisuutta, joka voi koostua useista osaprosesseista. Esimerkkinä prosessista käytetään esikäsittelyä, joka kuvaa jätevedenpuhdistamon puhdistusprosessien ensimmäistä vaihetta.

Prosessin alaotsikolla osaprosessi kuvataan yhtä tiettyä kokonaisuutta, jonka toiminnallisuutta ollaan suunnittelemassa. Esimerkissä esikäsittelyprosessin osaprosessina on tulopumppaamo. Alaotsikon alla kuvataan ensin osaprosessin toiminta yleisesti. Tällä osuudella on tarkoitus saada lukijalle hyvä yleiskuva osaprosessin suunnitellusta toiminnasta ja esitellä osaprosessiin vaikuttavat automaation piirit.

Esimerkissä tulopumppaamo laitokselle tuleva jätevesi jakaantuu tasaisesti tuloaltaaseen 1 ja tuloaltaaseen 2 tuloluukkujen LU-01 ja LU-02 kautta, joista se pumpataan edelleen välppäykseen. Pumpatun jäteveden virtaamaa mitataan virtausantureilla FI-01...FI-06. Tulopumput PU-01...PU-06 ovat yhtä suuria uppoasenteisia taajuusmuuttajakäyttöisiä pumppuja. Pumppuja ohjataan tuloaltaiden pintamittauksien LI-01 ja LI-02 pintasäätimen LIC-12 tavoitearvon mukaan. Tuloaltaat tyhjenetään kerran päivässä tyhjennyskäytöllä, jolla pyritään estämään kiinteän aineen kerääntyminen altaiden pohjille ja samalla huuhdellaan tulopumppaamon lähtökanava rasvakertymien estämiseksi.

Osaprosessissa voidaan mainita myös muita osaprosesseja, joihin kuvattu osaprosessi vaikuttaa ja osaprosesseja, jotka vaikuttavat kuvattuun osaprosessiin. Kuvauksessa ei kuitenkaan oteta kantaa muiden osaprosessien toimintaan, vaan ne kuvataan erikseen oman osaprosessi alaotsikkonsa alla.

Osaprosessin sisältämät ja valvomosta operoitavat, tai valvomossa esitettävät automaation piirit, valinnat, asetusarvot, viiveet, näyttöarvot ja osaprosessin laitteisiin vaikuttavat lukitukset esitetään taulukkomuodossa. Kone -ja venttiilipiireistä (taulukko 15), sekä mittaus -ja säädinpiireistä (taulukko 16) tulee olla esitettyinä automaation prosessiasema, jolle piiri on kytkettyinä. Piirit voivat jakaantua eri prosessiasemien välille, joten taulukon avulla ohjelmistosuunnittelija voi päätellä mahdollisesti vaadittavat ohjelmitavien logiikoiden väliset tiedonsiirrot, jos piirien ohjaukset ja säädöt on toteutettava yhdessä ohjelma kokonaisuudessa yhtenäisen toiminnan takaamiseksi. Taulukossa tulee olla esitettyinä myös piirin positio, joka täytyy vastata prosessikaaviossa ja laiteluettelossa esitettyä positiota. Laitteen nimen tulee olla myös kuvaava, koska samaa nimeä käytetään myös valvomossa. Kuvaava nimi myös nopeuttaa laitteen paikallistamista prosessikaaviosta ja valvomonäytöiltä.

TAULUKKO 15. Tulopumppaamon kone -ja venttiilipiirit

<b>Konepiirit</b>	
<b>Prosessiasema ja positio</b>	<b>Laitteen nimi</b>
PA1   PU-01	Tuloallas 1 tulopumppu 1
PA1   PU-02	Tuloallas 1 tulopumppu 2
PA1   PU-03	Tuloallas 1 tulopumppu 3
PA1   PU-04	Tuloallas 2 tulopumppu 4
PA1   PU-05	Tuloallas 2 tulopumppu 5
PA1   PU-06	Tuloallas 2 tulopumppu 6
<b>Venttiilipiirit</b>	
<b>Prosessiasema ja positio</b>	<b>Laitteen nimi</b>
PA1   LU-01	Tuloallas 1 tuloluukku
PA1   LU-02	Tuloallas 2 tuloluukku

Mittaus -ja säädinpiireistä (taulukko 16) tulee olla myös mitattava suure ja suureen yksikkö. Hyvä tapa olisi myös sisällyttää mittauspiirin laitostasolla olevan lähettimen mittausalue. Mittausalueesta ohjelmistosuunnittelija voi jo päätellä mahdollisia asetusarvojen rajoituksia, jotta mahdolliset virheelliset asetusarvojen valvomo-operoinnit eivät aiheuttaisi häiriötä osaprosessiin.

TAULUKKO 16. Tulopumppaamon mittaus -ja säädinpiirit

<b>Mittauspiirit</b>	
<b>Prosessiasema ja positio</b>	<b>Kohteen nimi ja mitattava suure (insinööriyksikkö)</b>
PA1   LI-01	Tuloallas 1, pinta (%)
PA1   LI-02	Tuloallas 2, pinta (%)
PA1   FI-01	Tulopumppu 1, lähtövirtaus (m <sup>3</sup> /h)
PA1   FI-02	Tulopumppu 2, lähtövirtaus (m <sup>3</sup> /h)
PA1   FI-03	Tulopumppu 3, lähtövirtaus (m <sup>3</sup> /h)
PA1   FI-04	Tulopumppu 4, lähtövirtaus (m <sup>3</sup> /h)
PA1   FI-05	Tulopumppu 5, lähtövirtaus (m <sup>3</sup> /h)
PA1   FI-06	Tulopumppu 6, lähtövirtaus (m <sup>3</sup> /h)
<b>Säädinpiirit</b>	
<b>Prosessiasema ja positio</b>	<b>Kohteen nimi ja mitattava suure (insinööriyksikkö)</b>
PA1   LIC-12	Tulopumppaamo, pinta (%)

Valvomosta operoitavilla ja valvomossa esitettävillä parametreilla tulee olla kuvaava lyhenne ja järjestysnumero. Näihin on tarkoitus viitata varsinaisessa osaprosessin kuvauksessa. Valinnoilla vaikutetaan esimerkiksi, onko osaprosessiin vaikuttava tyhjennyskäyttö käytössä, vai onko se valittuna pois käytöstä (taulukko 17). Valinnan kuvauksella on tarkoitus kuvata mihin valinta vaikuttaa ja parametrien merkityksellä mitä valinnalla tehdään, tai mitä valinnalla vaihdetaan.

TAULUKKO 17. Tulopumppaamon valvomosta operoitavat valinnat

Operoitavat valinnat		
Lyhenne ja järjestysnumero	Valinnan kuvaus	Parametrien merkitys
val-1	Mittautustapa	Mittaus / Keskiarvo pinta
val-2	Käytettävä mittaus	LI-01 / LI-02
val-3	Tyhjennyskäyttö	Seis / Käytössä

Asetusarvoilla vaikutetaan esimerkiksi, kuinka korkealla tulopumppaamon pinnan täytyy nousta, jotta pumppaus käynnistyy (taulukko 18). Asetusarvon kuvauksella on tarkoitus kuvata mihin asetusrvo vaikuttaa osaprosessin toiminnassa, eli esimerkiksi pumppauksen käynnistymiseen. Vaikutuksella kuvataan esimerkiksi mihin mitattavaan, tai säädettävään arvoon asetusrvo vaikuttaa, eli tässä tapauksessa tulopumppaamon pintaan. Asetusarvon suureen täytyy olla sama kuin esimerkiksi säädettävän pintamittauksen, tai esimerkiksi käynnistymisen ajankohtaan vaikuttavan kellonajan. Jos asetusrvolle ei ole määritettävissä suuretta, ei sitä tarvitse kirjata taulukkoon.

TAULUKKO 18. Tulopumppaamon valvomosta operoitavat asetusrvot

Operoitavat asetusrvot			
Lyhenne ja järjestysnumero	Asetusrvon kuvaus	Vaikutus ja suure (insinööriyksikkö)	Rajoitus
as-1	Pumppauksen käynnistysraja	pinta (%)	0...100
as-2	Pumppauksen pysäytysraja	pinta   1 pumppu käynnissä (%)	0...100
as-3	LIC-12 PID-säädin	nopeusohje   Tehon lisäysraja (%)	0...100
as-4	Tulopumppaamo	pinta   Tehon lisäyshystereesi (%)	0...100
as-5	LIC-12 PID-säädin	nopeusohje   Tehon lisäyksen aloitusarvo (%)	0...100
as-6	LIC-12 PID-säädin	nopeusohje   Tehon vähennysraja (%)	0...100
as-7	LICA-12 PID-säädin	nopeusohje   Tehon vähennyksen aloitusarvo (%)	0...100
as-8	Tyhjennyskäytön aloitus	tunti (hh)	0...23
as-9	Tyhjennyskäytön aloitus	minuutti (mm)	0...59
as-10	Tulopumppaamo	pinta   2 pumppua käynnissä   Tehon vähennysraja (%)	0...100

#### 4.6 Toimintakuvaus

Osaprosessin toimintakuvauksessa kuvataan sanallisesti, kuinka automaation ohjelmiston tulee toimia. Kuvauksen laatija ei voi olettaa, että ohjelmistosuunnittelija on prosessiantuntija, joten kuvaus on laadittava mahdollisimman tarkaksi. Kuvaukseen ei sisällytetä prosessikuvausta, vaan kuvauksessa keskitytään vain ohjelmiston toimintaan.

Kuvaus laaditaan sekvenssimäisesti, jossa ensimmäisenä kuvataan esimerkiksi valintoja, jotka vaikuttavat prosessin toimintaan. Esimerkissä on kuvattu valintoja, joilla vaikutetaan tulopumppaamon pintasäätimen käyttämään mittaukseen:

Pintasäädin käyttää mittauksenaan joko mittausten keskiarvoa, tai valinnaista mittausta (val-1). Valintakuvauksen alla esitetään järjestyksessä oleva luettelo, joka sisältää tarkennukset valintojen ehtoihin ja mahdollisiin häiriötiloihin, jotka vaikuttavat valintojen toimintaan.

1. Jos ei käytetä keskiarvopintaa, valitaan käytettävä mittausta (val-2) mukaan.
2. Jos käytetään mittausten keskiarvoa, lasketaan mittaukset yhteen vain, jos kumpikaan mittauksista ei ole häiriötilassa. Jos toinen mittauksista on häiriötilassa, käytetään keskiarvolaskennassa vain yhtä mittausta.
3. Jos kumpikin pintamittauksista on häiriötilassa, ei prosessin automaattinen käynnistyminen ole mahdollista.

Valintojen jälkeen kuvataan esimerkiksi ehdot osaprosessin käynnistymiselle. Käynnistyminen voi tarkoittaa esimerkiksi säädön käynnistymistä, venttiilin avautumista säiliön täyttöä, tai kuljettimen käynnistymistä tuotteen siirtoa varten. Esimerkissä on kuvattu ehdot pumppauksen käynnistymiselle:

Pumppaus käynnistyy, kun tulopumppaamon pinta ylittää käynnistysrajan (as-1), jos käynnissä ei ole yhtään pumppua. Kuvauksen alla esitetään järjestyksessä oleva luettelo, joka sisältää tarkennukset missä järjestyksessä mitään tapahtuu.

1. Ensimmäinen vuorossa oleva pumppu käynnistyy.
2. PID-säädin LIC-12 saa asetusarvokseen pintarajan (as-1).
3. PID-säädin LIC-12 säätölupa käynnistyy.
4. Käynnissä oleva pumppu saa nopeusohjeensa PID-säätimeltä LIC-12.

Seuraavaksi kuvataan ehdot ja syyt koska ja miksi osaprosessi pysähtyy. Pysähtyminen voi tarkoittaa esimerkiksi säädön keskeytymistä, venttiilin sulkeutumista säiliön ollessa täynnä, tai kuljettimen pysähtymistä tuotteen siirron toteutuessa. Esimerkissä on kuvattu ehdot pumppauksen pysähtymiselle:

Pumppaus pysähtyy, kun tulopumppaamon pinta alittaa pysäytysrajan (as-2) ja käynnissä on vain yksi pumppu, tai molemmat pintamittaukset ovat häiriötilassa. Kuvauksen alla esitetään järjestyksessä oleva luettelo, joka sisältää tarkennukset missä järjestyksessä mitäkin tapahtuu.

1. Vuorossa oleva pumppu pysähtyy.
2. PID-säädin LIC-12 säätölupa keskeytyy.

Säädinpiirit voivat säätää vain yhtä kone, tai venttiilipiiriä, mutta säädettäviä piirejä voi olla myös useita. Esimerkiksi prosessiin tuleva virtaama voi vaihdella niin paljon, ettei sen siirto seuraavaan osaprosessiin onnistu vain yhdellä pumpulla. Osaprosessin voi olla myös tarkoitus toimia jatkuvasti ilman pysäytyksiä ja uudelleen käynnistyksiä, jolloin osaprosessin jatkuvuuden takaamiseksi voidaan tarvita useitakin pumppuja. Esimerkiksi jos säädinpiiri pyrkii pitämään asetusarvonsa säätämällä yhtä pumppua voi olla, ettei yksi pumppu riitä pitämään säädettävää pintaa halutussa asetusarvossaan. Tällöin voi tulla tarpeelliseksi esimerkissikin kuvattu pumppaustehon lisäys.

Tulopumppaamon pinnan PID-säätimen LIC-12 ohjausarvon ollessa yli tehon lisäysrajan (as-3) ja tulopumppaamon pinnan asetusarvon ja mittauksen eron ylittäessä hystereesin (as-4) viiveen (t-1) ajan, käynnistetään toinen pumppu rinnalle. Tehon lisäyksen jälkeen LIC-12 PID-säätimen ohjausarvo alkaa aloitusarvosta (as-5). Pumppuja on käynnissä rinnakkain maksimissaan 6kpl.

Jos säädettäviä piirejä on useita voi olla myös mahdollista, ettei kaikki piirit voi olla samanaikaisesti käynnissä rinnakkain esimerkiksi seuraavan osaprosessin rajoituksien takia. Tällöin on tärkeä rajata montako piiriä voi olla maksimissaan käynnissä rinnakkain. Pumput voivat pumpata myös samaan putkeen, jolloin voi tulla tarpeelliseksi rajoittaa säätimen ohjausarvo asetettavaan arvoon rinnanajon käynnistyessä, ettei käynnissä olevan pumpun tuottama vastapaine estä käynnistyvän pumpun käynnistymistä.

Toimivan säädön toteuttamiseksi voi tulla myös tilanteita, joihin ei pystytä varautuman kuvausta laadittaessa. Näihin voi vaikuttaa esimerkiksi säätöventtiilin

tyyppi, säädettävä suure, tai pumppujen tuottokäyrä. Esimerkissä pumppaustehoa vähennettäessä säätimen ohjausarvon perusteella yksi pumppu ei riitä pitämään pintaa asetusarvossaan ja kahden pumpun tuottaessa taas liikaa. Pumpuille aiheutuu turhia käynnistymisiä ja pysäytyksiä, jos tehon vähennys perustuu puhtaasti säädinpiirin ohjausarvoon. Tämä voidaan ratkaista käyttämällä lisäehtona säädinpiirin säätöpoikkeama hälytystä tehon vähennyksessä, jolloin ei tarvittaisi lisättävää asetusarvoa. Tilanteen ei välttämättä haluta aiheuttavan hälytystä, joten parempi tapa lisäehdolle on lisätä uusi asetusarvo jo olemassa olevaan asetusarvotaulukkoon järjestysnumeroltaan viimeiseksi asetusarvoksi. Lisätyn asetusarvon vaikutus kuvataan esimerkissä pumppaustehon vähennys, kun pumppuja on käynnissä kaksi kappaletta:

Tulopumppaamon pinnan PID-säätimen LIC-12 ohjausarvon ollessa alle tehon vähennysrajan (*as-6*) ja *tulopumppaamon pinnan alittaessa rajan (as-10)* viiveen (*t-2*) ajan, pysäytetään ei vuorossa oleva pumppu. Tehon vähennyksen jälkeen LIC-12 PID-säätimen ohjausarvo lähtee aloitusarvosta (*as-7*).

Lisätty asetusarvo ja lisätyn asetusarvon vaikutus on merkitty selvyiden vuoksi kursiivilla, mutta hyvä tapa on myös ylläpitää muutos ja lisäysmuistiota ohjaustapakuvauksesta, jossa ilmenee muutoksen toteutuspäivämäärä, muutoksen toteuttaja, muutoksen kohde, toteutettu muutos ja mahdollisesti lisätyt valvomosta operoitavat, tai nähtävät asetusarvot, valinnat, indikoinnit, tai arvot.

## 5 YHTEENVETO

Tämän työn tavoitteena oli jo käyttöönotettujen prosessilaitosten ohjaustapakuvauksien pohjalta kehittää malli mahdollisimman kattavalle ohjaustapakuvaukselle. Työssä tutkittiin, mitä osioita hyvän ohjaustapakuvauksen täytyy sisältää, mitä osioita täytyy tarkentaa ja mitkä osiot ovat olleet yleisesti puutteellisia. Vanhoja ohjaustapakuvauksia analysoimalla luotiin kyselytutkimus, jolla pyrittiin selvittämään, minkälainen olisi hyvä malli ohjaustapakuvaukselle ohjelmistosuunnittelijoiden näkökulmasta.

Haasteita ohjaustapakuvauksen mallille aiheutti se, ettei ohjaustapakuvauksesta ole olemassa standardia, joka määrittäisi sille tarkat vaatimukset. Tutkimuksessa jouduttiin tukeutumaan vanhoista ohjaustapakuvauksista tehtyihin havaintoihin, joiden pohjalta luotuun kyselytutkimukseen ja siihen saatujen vastauksien avulla pyrittiin löytämään vaatimukset hyvälle ohjaustapakuvaukselle.

Työssä määritettiin aihealueet, joita oli tarkoitus tutkia. Alla on esitetty aihealueet, joihin työssä analysoidun kyselytutkimuksen vastauksien perusteella pyrittiin löytämään ratkaisut ja vastaukset:

Työssä tutkittiin, mitkä ovat ohjaustapakuvauksen kannalta tärkeitä osuuksia ja yleisiä puutteita. Vastauksien perusteella tärkeiksi osuuksiksi koettiin prosessin eri toimintojen tarkat kuvaukset, jotka olivat vanhoissa ohjaustapakuvauksissa kuvattu monesti hyvin suurpiirteisesti. Työssä kehitetyssä ohjaustapakuvauksen mallissa pyrittiin esimerkein kuvaamaan riittävällä tarkkuudella eri toimintoja. Kuvaukset automaation piirien toimintojen vaatimuksille nähtiin myös tärkeänä osuutena. Työssä esitettiin vaatimukset mittaus-, kone-, venttiili- ja säädinpiireille. Vaatimuksia piirien toiminnoille haettiin tutkimalla vanhoja ohjaustapakuvauksia ja selvittämällä Siemensin PCS7 automaatiojärjestelmän vastaavien piirien ominaisuudet. Asetusarvojen rajoitukset ja raja-arvot nähtiin myös tärkeänä osuutena. Niihin voi olla kuitenkin vaikea saada vastauksia ennen laitoksen käyttöönoton aloitusta ja jos tiedossa ei ole esimerkiksi mittauksien skaaloja ohjaustapakuvausta luotaessa.



Yleisinä puutteina löydettiin ja pidettiin osaprosessien toimintakuvauksien tarkkuuksia, sekä vaatimuksia automaation toiminnalle sähkökatkotilanteissa. Työssä pyrittiin kuvaamaan osaprosessiesimerkki riittävällä tarkkuudella ohjelmistosuunnittelijan tehokkaan työskentelyn kannalta, jonka tarkkuutta voisi käyttää mallina luotaessa toimintakuvauksia myös muille erityyppisille osaprosesseille. Vaatimuksina automaation toiminnalle sähkökatkotilanteissa käytettiin omia kokemuksia ja hyväksi havaittuja toimintamalleja vanhoista käytössä olevista prosessilaitoksista.

Ohjelmistosuunnittelijoilta kyselytutkimukseen saatujen vastauksien yhdenmukaisuutta oli tarkoitus myös tutkia. Vastauksia analysoitaessa voitiin niiden todeta olevan hyvin yhteneväisiä. Osassa vastauksista oli nähtävissä pitkän työkokemuksen omaavien vastaajien kehittyneempi ongelmanratkaisukyky ja varmuus. Lyhyen työkokemuksen omaavien vastaajien vastauksia oli arvioitava heille annettujen mahdollisesti yksinkertaisempien työtehtävien pohjalta. Tutkimusta varten avainasemassa olivat pitkän työkokemuksen vastaajien vastaukset, joita oli kaikista vastaajista yhteensä 76%. Niiden yhteneväisyyden perusteella saatiin selkeät linjat ohjaustapakuvauksen kehitykselle.

Kyselytutkimuksen vastauksia analysoimalla oli tarkoitus tutkia, kuinka niiden pohjalta voidaan luoda mallin ohjaustapakuvaukselle. Ohjaustapakuvuusmallia varten oli keskityttävä kyselytutkimuksen vastauksien pohjalta tärkeimmiksi nähtyihin ja eniten tarkennusta vaativiin osioihin. Vastaajista ei kartoitettu heidän prosessituntemustaan, joten mallissa kuvattava prosessin toiminta myös yleisellä tasolla. Mallia varten oli otettava huomioon myös ohjelmistosuunnittelijoiden työkokemus. Suunnittelutyöhön ei voida olettaa saatavan aina pitkän työkokemuksen omaavia henkilöitä, joten osaprosessien toimintakuvauksia oli havainnollistettava esimerkein, joista käy ilmi vaadittava tarkkuus taso. Kuvauksen tarkkuuden on tarkoitus myös vähentää ohjelmistosuunnitteluun käytettäviä työtunteja, sekä tarkentavia kysymyksiä.

Ohjaustapakuvauksen malli oli tarkoitus kehittää pääasiallisesti ohjelmistosuunnittelijoiden käyttöön nopeuttaen heidän työtään. Mallin on kuitenkin tarkoitus myös palvella loppuasiakkaan intressejä parhaalla mahdollisella tavalla toimivasta prosessilaitoksesta sisältäen kattavat valvonta ja operointi mahdollisuudet.

Mallin avulla pyritään laskemaan ohjaustapakuvauksen puutteista loppuasiakkaalle mahdollisesti koituvia lisätyökustannuksia, sekä luomaan tarkka kuva kuinka eri prosessit on suunniteltu toimivan automaation ohjaamana. Mallin pohjalta luodun ohjaustapakuvauksen avulla voidaan nopeuttaa prosessilaitoksen testausvaihetta ja suunniteltujen toimintojen todentamista, sekä toimia operaatoreille eräänlaisena automaation käyttöohjeena.

## LÄHTEET

Aalto-yliopisto, 2015. Automaatio 1, ELEC-C1210.

Åkerman Magnus, 2018. Implementing Shop Floor IT for Industry 4.0, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.

Asp, R., Tuominen, T. & Hyppönen, H., , Kunnossapito - menestystekijä: 2. Automaatiojärjestelmä. Luettu 28.4.2021. [http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/sahkotekniikka\\_a2\\_automaatiojarjestelma.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/sahkotekniikka_a2_automaatiojarjestelma.html).

Bailey, D. & Wright, E., 2003. Practical SCADA for industry. Amsterdam ;: Elsevier

Barker, M. and Rawtani, J., 2005. Practical batch process management. Amsterdam ;: Elsevier/Newnes.

Bolton, W., 2015. Programmable Logic Controllers. Cambridge: Elsevier Science & Technology.

Carlsson, H., Svensson, B., Danielsson, F. & Lennartson, B., 2012. Methods for Reliable Simulation-Based PLC Code Verification. IEEE transactions on industrial informatics, Vol. 8, Iss. 2, pp. 267-278.

EN ISO 10628-1, 2014. EN ISO 10628-1, Diagrams for the chemical and petrochemical industry - Part 1: Specification of diagrams. SESKO Standardization in Finland

FinGen, 2016, Varavoima. Luettu 10.5.2021: <https://www.fingen.fi/yleista/>.

Harju, T. & Marttinen, A., 2000. Sääntötekniikan koulutusmateriaali. Suomen Automaatioseura ry Finnish Society of Automation, 2000 , pp. 1-170.

Hassapis, G., 2000. Soft-testing of industrial control systems programmed in IEC 1131-3 languages. ISA transactions; ISA Trans, Vol. 39 Iss. 3, pp. 345-355.

Holloway, M.D., Nwaoha, C. & Onyewuenyi, O.A., 2012. Process plant equipment operation, reliability, and control. Hoboken: Wiley.

ISA 95.00.01, 2010. Enterprise-Control System Integration – Part 1: Models and Terminology. International Society of Automation, 2010, 154 p.

King, A.C. & Knight, WILLIAM (WILLIAM R. ), 2003. Uninterruptible power supplies and standby power systems. New York ;: McGraw-Hill.

Lin, Z. & Pearson, S., 2018. An inside look at industrial Ethernet communication protocols. Luettu 11.5.2021: <https://www.ti.com/lit/pdf/spry254>.

Meyer, H., Fuchs, F., Thiel, K. & Meyer, H., 2009. Manufacturing execution systems optimal design, planning, and deployment. 1 edn. New York: McGraw-Hill.

Moran, S., 2017. Process plant layout. Amsterdam: BH.

Myerson, P., 2016. Lean and Technology: Working Hand in Hand to Enable and Energize Your Global Supply Chain. 1 edn. Pearson FT Press.

NOF, S.Y., 2009. Springer Handbook of Automation. 1 edn. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

OMRON, 2021, Keskeytymätön virransyöttö (UPS) Luettu 10.5.2021: <https://www.ia.omron.com/support/guide/572/introduction.html>[2021].

Reynders, D., Mackay, S. & Wright, E., 2004. Practical Industrial Data Communications: Best Practice Techniques. Oxford: Elsevier Science & Technology.

Samara, T., 2015. ERP and Information Systems: Integration or Disintegration. Hoboken: John Wiley & Sons, Incorporated.

SFS-EN 61131-1, 2003. SFS-EN 61131-1, Programmable Controllers - Part 1: General Information. SESKO Standardization in Finland

SFS-EN 62264-1, 2013. SFS-EN 62264-1, Enterprise-control system integration - Part 1: Models and terminology. SESKO Standardization in Finland

SFS-EN 62708, 2015. SFS-EN 62708, Document kinds for Electrical and Instrumentation Projects in the Process Industry. SESKO Standardization in Finland

Strömman, M., Hirvonen, J., Hukki, K. & TOMMILA, T., 2010. Automaatiosuunnittelun prosessimalli -Yhteiset käsitteet verkottuneen suunnittelun perustana. Helsinki: Suomen Automaatioseura.

Sunit, K.S. & Dey, C., 2020. Industrial Automation Technologies. CRC Press.

Tommila, T., 2001. Laatu automaatioissa : parhaat käytännöt. Helsinki: Suomen Automaatioseura.