

Juuso Murtoniemi

# Näyttämötekniikan ohjausjärjestelmät

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Medianomi (AMK)

Esittävän taiteen koulutusohjelma

Opinnäytetyö

6.4.2016

Tekijä Otsikko	Juuso Murtoniemi Näyttämötekniikan ohjausjärjestelmät
Sivumäärä Aika	27 sivua 6.4.2016
Tutkinto	Medianomi (AMK)
Koulutusohjelma	Esittävän taiteen koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Esitys- ja teatteritekniikka
Ohjaajat	Tapio Lähteinen, yksikön päällikkö Insta Automation Oy Lehtori Jyrki Sinisalo
<p>Näyttämökoneistojen ohjauksessa käytetty tekniikka on muuttunut viime vuosikymmeninä merkittävästi ja tietokoneohjatuista näyttämöautomaatiosta on tullut yhä tavanomaisempi käsite teattereissa. Tietokoneohjauksen myötä käsikäyttöjen ja yksinkertaisten sähköisten ohjausjärjestelmien tilalle on tullut entistä monimutkaisempaa tekniikkaa, mikä käyttäjän näkökulmasta tarkoittaa paitsi aiempaa laajempia mahdollisuuksia ohjata näyttämötekniikan latteita, myös suuremman kokonaisuuden hallintaa ja opettelua.</p> <p>Tämän työn tavoitteena on muodostaa yleiskuva tyypillisestä ohjausjärjestelmästä ja sitä kautta kehittää työkalu, jota voisi hyödyntää osana teatterin teknisen henkilökunnan sekä erityisesti uusien koneenkäyttäjien perehdytystä.</p> <p>Työn toteuttamisessa on hyödynnetty sekä näyttämö- että teollisuusautomaatioon liittyvää kirjallisuutta, opinnäytetöitä ja internetartikkeleita. Näyttämötekniikan ohjausjärjestelmät -osiossa käsitellään laite tai laiteryhmä kerrallaan ja pyritään mahdollisuuksien mukaan kuvaamaan sen tai niiden toimintaa sekä roolia toimivassa kokonaisuudessa. Minkään laitteen tai osa-alueen suhteen ei mennä erityisen syvälle teknisiin yksityiskohtiin tai teoreettisen tiedon tasolle, vaan tarkoituksena on nimenomaan yleisellä tasolla pysyminen. Muita käsiteltäviä aiheita ovat automaatio yleisesti ja suhteessa teollisuuteen sekä teatteriin, näyttämömekaniikan laitteet sekä turvallisuus.</p> <p>Koneenkäyttäjän kannalta ohjausjärjestelmän tunteminen ei ole pakollista, eikä sillä ole käytännön tasolla juurikaan merkitystä vianetsintää lukuun ottamatta, sillä ohjausjärjestelmien asennus- ja muutostyöt täytyy aina teettää koulutetulla ammattilaisella. Toiminnallisen kokonaisuuden hahmottaminen ja ymmärtäminen tuo kuitenkin lisäarvoa tekemiseen työturvallisuuden puitteissa.</p>	
Avainsanat	näyttämötekniikka, automaatio, ohjausjärjestelmät

Author Title	Juuso Murtoniemi Stage Automation Control Systems
Number of Pages Date	27 pages 6 April 2016
Degree	Bachelor of Arts
Degree Programme	Performing Arts
Specialisation Option	Live Performance Engineering
Supervisors	Tapio Lähteinen, Head of Unit, Insta Automation Oy Jyrki Sinisalo, Senior Lecturer
<p>Methods used to control stage machinery have changed dramatically over the past few decades. Hand operated and robust relay logic control implementations have been replaced by sophisticated computer based control systems making automation an essential part of modern theatre. In terms of scenery, automation takes movement and set design on a whole new level when at the same time challenging operators with more complex spectrum of different functions and possibilities.</p> <p>The purpose of this thesis is to provide an overview of a typical modern stage automation control system and build a tool to be used as part of training new stage machinery operators and technical staff in theatre.</p> <p>The overview is based on stage automation books and the author's personal experience with stage machinery. More detailed information was gathered by studying literature on industrial automation, academic theses and relevant internet articles.</p> <p>In the stage automation control systems part, all the devices are discussed separately. Each part contains brief descriptions of the device or the group of devices in question, their main functions and role in the system. The approach is very general without going too deep into technical details or theoretical information. Other topics include automation on a general level, stage machinery or stage mechanics and safety.</p> <p>Being familiar with the control system is not mandatory for the operator, but appreciating the system the person is working with can definitely improve safety. Understanding the functional elements of a typical control system design and the relationships between the devices can be useful when troubleshooting system malfunctions. However, Installation and maintenance work must always be made by a trained professional.</p>	
Keywords	stage machinery, automation, control systems

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Automaatio	2
3	Näyttämötekniikka	3
3.1	Yläkoneistot	4
3.1.1	Tankonostimet	4
3.1.2	Pistenostimet	6
3.2	Alakoneistot	6
3.2.1	Ruuvinnostimet	7
3.2.2	Hammastankonostimet	7
3.2.3	Saksilavanostimet	8
3.2.4	Pyörönäyttämöt	8
4	Näyttämötekniikan ohjausjärjestelmät	8
4.1	Käyttöliittymät	10
4.2	Ohjelmoitavat logiikat	12
4.3	Liikkeenohjaimet	13
4.4	Sähkömoottorikäytöt	14
4.4.1	Taajuusmuuttajakäytöt	14
4.4.2	Servokäytöt	16
4.5	Anturit	17
4.5.1	Inkrementtianturit	17
4.5.2	Absoluuttianturit	18
4.6	Tiedonsiirto	19
4.6.1	Ethernet	21
4.6.2	Kenttäväylät	21
5	Turvallisuus	22
5.1	Standardit	23
5.1.1	EN ISO 13849-1	23
5.1.2	EN IEC 61508	23
5.2	Valvontalaitteet	24
5.2.1	Rajakytkimet	24
5.2.2	Lämpötilavalvonta	24
5.2.3	Huoltokytkimet	25

5.2.4	Hätä-seis	25
5.2.5	Turvalogiikat	25
5.3	Suojaukset	25
5.3.1	Ylinopeussuoja	25
5.3.2	Ylikuormitussuoja	26
5.3.3	Löysän köyden valvonta	26
5.3.4	Turvalistat	26
5.3.5	Taajuusmuuttaja	26
5.4	Huolto ja kunnossapito	26
6	Lopuksi	27
	Lähteet	29

## 1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö käsittelee automatisoidun ja tietokoneohjatun näyttämötekniikan ohjausjärjestelmiä. Näyttämökoneistojen ohjauksessa käytetty tekniikka on viime vuosikymmeninä muuttunut merkittävästi, ja vanhojen käsikäyttöjen sekä yksinkertaisten sähköisten ohjausjärjestelmien käydessä harvinaisemmiksi tietokoneohjatusta näyttämöautomaatiosta on tullut yhä tavanomaisempi käsite teattereissa. Tietokoneohjauksen myötä rakennetut ohjausjärjestelmät ovat aiempaa monimutkaisempia, ja käyttäjän näkökulmasta se tarkoittaa yhä suuremman kokonaisuuden opettelua ja hallintaa.

Tämän työn pyrkimyksenä on luoda yleistajuinen ja helposti lähestyttävä kuva tyypillisestä ohjausjärjestelmästä menemättä minkään osa-alueen puitteissa sen syvemmälle teknisiin yksityiskohtiin tai teoreettisen tiedon tasolle. Pää tavoite on kehittää työkalu, jota voisi hyödyntää osana teatterin teknisen henkilökunnan ja erityisesti uusien koneenkäyttäjien perehdytystä näyttämötekniikan laitteisiin.

Työ etenee siten, että ensimmäisissä kappaleissa määritellään automaatio-termiä ja automaatiota suhteessa teollisuuteen ja esitystoimintaan. Seuraavaksi käsitellään lyhyesti näyttämötekniikan tai näyttämömekaniikan laitteita muutamien valittujen esimerkkien kautta, jonka jälkeen vuorossa on työn varsinainen aihe eli ohjausjärjestelmät. Näyttämötekniikan ohjausjärjestelmät -osiossa jokainen ohjaukseen liittyvä laite tai laiteryhmä käsitellään omassa osiossaan sekä pyritään selventämään, mikä sen tai niiden rooli toimivassa kokonaisuudessa on. Koska teattereissa käytetyt komponentit eivät ole käyttöliittymiä lukuun ottamatta esityskäyttöön erikseen valmistettuja vaan teollisuuden automaatioosovelluksiin alun alkaen tarkoitettu, tarkastellaan myös mahdollisuuksien mukaan laitteita suhteessa teollisuuteen ja selitetään auki automaatioon liittyvää terminologiaa.

Ennen loppupohdintaa Turvallisuus-osiossa käydään läpi automatisoituun näyttämötekniikkaan liittyviä turvallisuusriskejä, suunnittelussa ja rakentamisessa noudatettavia turvallisuusstandardeja sekä suojausmenetelmiä ja turvalaitteita.

Tiedon kerääminen tapahtuu pääosin kirjallisuuslähteitä käyttäen. Työn runko on hahmoteltu oman kokemuksen sekä puhtaasti näyttämöautomaatiota käsittelevän kirjallisuuden kautta. Aiheeseen suoraan liittyvien lähdeostosten lisäksi työn toteuttamisessa

hyödynnetään teollisuusautomaatiota ja sen sovelluksia käsittelevää kirjallisuutta, automaatioon tavalla tai toisella liittyviä opinnäytetöitä sekä internetartikkeleita.

## 2 Automaatio

Automaatio tulee kreikankielisestä sanasta *automatos*, joka tarkoittaa itsetoimivaa. Automaatiossa toiminta tapahtuu ilman ihmisen ohjaavaa tai suorittavaa osuutta. Automaatti on automaattisesti eli itsestään toimiva kone tai laite. Automaatio käsitetään usein vain teollisuuden koneistojen ja prosessien automaatioksi, mutta itsestään toimivia laitteita ja järjestelmiä on myös kodeissa, liikenteessä, maanviljelyssä, luonnossa – miltei kaikkialla. (Suomen Automaatioseura Ry 2014.)

Automaatio on monen eri teknologian yhteenliittymä, ja se ymmärretään nykyään hyvin laajaksi kokonaisuudeksi. Vaikka termin käyttö on paikoin epämääräistä, voidaan lähtökohtaisesti sanoa, että automaatiosta on kyse, kun koneen tai laitteen toiminta perustuu sekä mittaukseen että säätöön. Teollisuuden automaatio jaetaan kahteen ryhmään, prosessi- ja kappaletavara-automaatioon. Prosessiautomaation säätötekniikkaa keskeisesti hyödyntäviä sovelluksia käytetään virtaavia aineita kuten nesteitä ja kaasuja käsittelevissä tuotantolaitoksissa, kun taas kappaletavara-automaatio perustuu jonkin yksittäisen kappaleen ominaisuuksien tunnistamisen kautta tapahtuviin loogisiin automaattisiin toimintoihin. Nykyaikaiset valmiista komponenteista koottavat järjestelmät ovat muodostuneet tietotekniikan kehityksen myötä, mutta automaatiota on kuitenkin ollut olemassa ainakin jossain muodossa jo tuhansia vuosia sitten, jolloin esimerkiksi kastelujärjestelmiä on rakennettu toimivaksi ilman jatkuvaa valvontaa. (Kippo & Tikka 2008, 7–12.)

Teattereiden näyttämöillä ja vastaavissa esitystoimintaan erikoistuneissa tiloissa, kuten konserttisaleissa, automatisoitua näyttämötekniikkaa käytetään paitsi tehokeinona taiteellisissa produksioissa, myös apuna operationaalisten askareiden hoitamisessa keventämään henkilökunnan työn fyysistä kuormittavuutta. Verrattuna perinteisiin toteutuksiin automaatio antaa esitystoiminnan puitteissa jo pelkästään liikkeen tarkkuuden ja toistettavuuden suhteen aivan toisenlaiset mahdollisuudet näyttämötekniikan laitteiden ohjaukseen. Sen ansiosta voidaan yhä suurempia ja raskaampia lavastuselementtejä ajaa yksittäin tai ryhmissä tarkasti haluttuun paikkaan korkeillakin nopeuksilla sekä ohjelmoida laitteille toimintoja, joiden toteuttaminen 100 vuotta vanhoilla käsikäyttöillä olisi mahdotonta. Produktiokohtaisesti näyttämötekniikan automaatiosovellukset voivat

oikeassa mittakaavassa toimia myös merkittävänä vetovoimatekijänä. (Ager & Hastie 2009, 27–31, 45–48.)

Näyttämöautomaatio on maailmanlaajuisesti hyvin marginaalinen osa-alue teollisuuden prosessi- ja kappaletavara-automaation hallitsemilla markkinoilla, ja näin ollen laitteistojen suhteen alan toimijat kulkevat lähes täysin niiden ehdoilla. Tutkimuksen, tuotekehityksen ja jatkuvasti kasvavan kysynnän aikaansaama komponenttien hintojen lasku antaa kuitenkin näyttämöautomaatioon erikoistuneille yrityksille koko ajan enemmän mahdollisuuksia soveltaa teollisuusautomaation ohjaustekniikkaa esitystoiminnan puitteissa. (Woodward 2008, 19–21.)

### **3 Näyttämötekniikka**

Näyttämötekniikalla tai näyttämömekaniikalla tarkoitetaan teatterissa näyttämöllä sijaitsevia mekaanisia laitteita. Yleensä näyttämötekniikka pitää sisällään erilaisista nostolaitteista koostuvia kokonaisuuksia, jotka voidaan jaotella karkeasti ylä- ja alakoneistoihin riippuen siitä, onko laitteet sijoitettu näyttämön ylä- vai alapuolelle (Halonen 2012, 3-5).

Näyttämötekniikan historia ulottuu antiikin Rooman aikaan, jolloin teatteriesityksissä on tietävästi käytetty jo jonkinlaisia näyttämötekniikan sovelluksia, kuten lattialuukkuja ja yksinkertaisia taljanostimia. Erityisen dramaattisia muutoksia ei näyttämötekniikan ratkaisujen osalta nähty ennen viime vuosikymmeniä, jolloin käsikäytöt ja yksinkertaiset sähköiset ohjausjärjestelmät alkoivat väistyä tietokoneohjatun automaation tieltä. (Woodward 2008, 9–10).





Kuvio 1. Tampereen Teatterin Päänäyttämön käsikäyttöisen vastapainoköysistön köysilinjoja lukkoineen (Kai Bäckström 2013).

Suomessa vanhaa tekniikkaa turvallistetaan tai uusitaan kokonaan verkkaiseen tahtiin, vaikka paineet jo pelkän työturvallisuuden takia ovat kovia. Siinä missä ohjausjärjestelmiä uusitaan jopa kymmenen vuoden välein, mekaniikan suhteen perusteellinen uudistaminen tehdään 30–40 vuoden välein. Taiteelliset esitykset kattavan normiston puuttuessa kokonaan näyttämömekaniikan suunnittelu Suomessa on perustunut saksalaisiin standardeihin, työturvallisuuslakeihin sekä eurooppalaiseen konedirektiiviin 2006/42 EC. Näyttämötekniikan nostolaitteiden standardisoimiseksi on kuitenkin tehty esitys CWA 15902 Eurooppalaisen Standardisointikomitean (CEN) työryhmän toimesta, mutta varsinaisen standardin asemaa esityksellä ei vielä ole. (Halonen 2012, 3.)

### 3.1 Yläkoneistot

Yläkoneiston laitteet ovat yleensä sähkömoottorista ja vaijerirummusta koostuvia vinsinostinsovelluksia, joiden nostokapasiteetti vaihtelee 50 kg:n ja 2500 kg:n välillä. Liike saadaan aikaan, kun sähkömoottori pyörittää vaijerirumpua, jonka ympärille siihen kiinnitetyt teräsköydet alkavat kelautua. (Ager & Hastie 2009, 267–268.)

#### 3.1.1 Tankonostimet

Yleisin näyttämömekaniikan laite on teräsköysien varassa roikkuva tankonostin (kuvio 2). Nostoelimeksi valitaan tapauskohtaisesti joko yhdestä putkesta koostuva nostotan-

ko, kahdesta päällekkäisestä toisiinsa liitetystä putkesta koostuva ansas tai putkiristikko eli trussi riippuen halutun hyötykuorman määrästä ja tilaajan toiveista. Teräsköyden eli vaijerin täytyy olla monisäikeinen ja luokiteltu nosturivaijeriksi, ja sille lasketaan vähintään kymmenkertainen varmuus ilmoitettuun kuormaan nähden. (Halonen 2012, 7–9.)



Kuvio 2. Tankonostimia (SKS Group 2016).

Edelleen on jossain määrin käytössä vanhoja käsitaljakäyttöisiä ja vastapainokevennettyjä laitteita, joissa nostotankoon ripustettu taakka liikkuu ihmisvoimin köydestä vedämällä. Käyttöasteesta tai -tarkoituksesta riippuen koneistusta ei aina ole syytä edes tehdä. Sähkömoottorikäyttöinen nostin on mekaniikaltaan samankaltainen ja sisältää samoja komponentteja kuin käsikäyttöinen versio. Erona on, että näyttämön sivussa seinän vieressä kulkevan vastapainokelkan sijaan taittopyörien kautta vedetyt teräsköydet kiinnittyvät yleensä köysiullakolla sijaitsevan sähkömoottorin yhteydessä olevaan vaijerirumpuun (Kuvio 3). (Halonen 2012, 56–57.)



Kuvio 3. Sähkömoottoreita ja vaijerirumpuja Tampereen Työväen Teatterin Suuren näyttämön köysiullakolla (Juuso Murtoniemi 2016).

Tankonostin voidaan toteuttaa myös sähkömoottoriavusteisena käsikäyttönä, jossa jokainen nostin on varustettu vastapainokelkan lisäksi sähkömoottorikäyttöisellä vinssillä (Ager & Hastie 2009, 274).

### 3.1.2 Pistenostimet

Pistenostin soveltuu tiloihin, joissa tilanpuutteen tai rakenteiden vuoksi ei tankonostimia voida käyttää. Pistenostin on yhdestä teräsköydestä koostuva nostolaite, jonka ”pudotus” voidaan tehdä näyttämön yläpuolella halutusta kohtaa joko kiinteästi asennetulta nostimelta liikkuvan taittopyörän avulla tai siirtämällä koko laitetta. Kokonaan siirrettävissä olevat nostimet ovat usein nostokapasiteetiltaan ensin mainittuja vaatimattomampia. (Ager & Hastie 2008, 280-284.)

## 3.2 Alakoneistot

Lattiatason näyttämömekaniikan tyypillisiä sovelluksia ovat erilaiset sähkömoottorikäyttöiset lattia- ja orkesterinostimet sekä pyörönäyttämöt. Perusedellytyksenä rakentamiselle on, että niille on oltava lattian alla tilaa ja rakenteiden kantavuuden on oltava riittävä, sillä kuormat ovat suuria ja pistemäisiä. (Halonen 2012, 58–61.)

Lattianostinten liikkuvat osat on eristetty muusta lattiasta ja niiden nostokapasiteetti, koko, liikeradan laajuus ja muut toiminnot, kuten lattian kallistus, suunnitellaan tapauskohtaisesti. Käyttömekanismeiltaan orkesteri- ja lattianostimet ovat usein samanlaisia nimityksen muuttuessa käyttötarkoituksen ja -mahdollisuuksien mukaan. Esimerkiksi näyttämön etuosaan rakennettava orkesterinostin saattaa erota järjestelmän muista alakerran nostolaitteista ainoastaan siten, että sen käyttömahdollisuudet on rajattu toimimaan joko näyttämön lattiana tai orkesterimonttuna. (Ager & Hastie 2009, 37–41.)



Kuvio 4. Spiralift (Hugo de la Morena).

Nostimet ovat yleensä esimerkiksi ruuvi- tai saksinostimia, mutta nykyään markkinoilla on myös rakenteeltaan uudentyypisiä tuotteita, kuten kokoon rullattavista teräsnauhapilareista koostuva spiraalinostin (kuvio 4) sekä työntöketjunostin. Ennen käytettiin sähkökäyttöjen lisäksi usein myös hydraulikkanoostimia, joiden etuna voidaan pitää suurta voimantuottoa mutta jotka eivät koväänisyytensä vuoksi sovellu käytettäväksi yleisön läsnä ollessa. Raskaiden kuormien vuoksi käsikäyttöisiä lattianostimia ei tehdä. (Halonen 2012, 61–63.)

### 3.2.1 Ruuvinostimet

Ruuvinostin koostuu trapetsiruuvista sekä sitä pitkin kulkevasta mutterista. Liikkuvan mutterin alla kulkee vielä toinen mutteri, jonka tehtävänä on estää taakan putoaminen vikatilanteessa. Trapetsiruuvin sijaan voidaan käyttää myös kuularuuvia, jolloin ruuvin ja mutterin välissä oleva laakerointi vähentää melua ja mahdollistaa nopeamman liikkeen. Ruuvinostimen huonoja puolia on, että se tarvitsee johteet, paljon pystysuuntaista tilaa ja on korkeilla nopeuksilla äänekäs. (Ager & Hastie 2009, 290; Halonen 2012, 61.)

### 3.2.2 Hammastankonostimet

Hammastankonostimen peruselementit ovat hammastanko ja sitä pitkin kulkeva vaihteratas, joista kumpi tahansa voi olla kiinnitettynä liikkuvaan elementtiin. Ratkaisua

käytetään yleensä isojen monikerroksisten lattianostinten yhteydessä, ja sille voidaan asettaa lähes rajattomasti nostokorkeutta. (Ager & Hastie 2009, 288.)

### 3.2.3 Saksilavanostimet

Saksinostin on saksimaisen mekanismin avulla toimiva nostin, jonka nostokorkeus riippuu saksimekanismin ja sitä kautta koko nostimen leveydestä. Saksinostimet soveltuvat hyvin esimerkiksi kiertäviin produktioihin, sillä ne eivät tarvitse johteita vaan tukevat itse itsensä. (Ager & Hastie 289.)

### 3.2.4 Pyörönäyttämöt

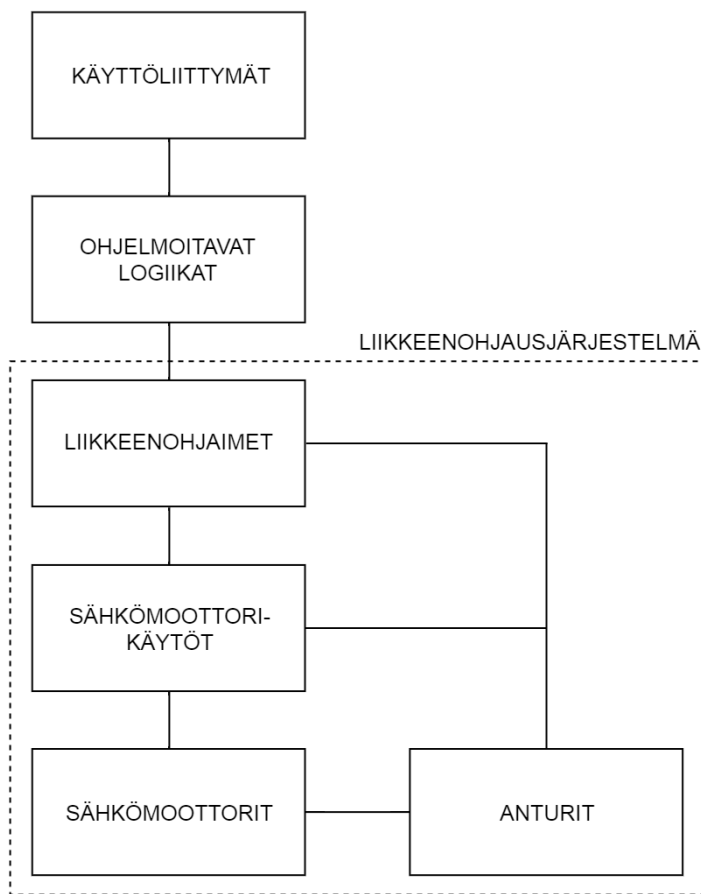
Pyörönäyttämö on nimensä mukaisesti näyttämön lattiaan upotettu ympyrän muotoinen, laakereiden ja kantavien kumipinnoitettujen pyörien varassa pyörivä elementti. Niitä tehdään erikokoisina niin halkaisijan kuin syvyydenkin suhteen, ja rakenteen sallimissa rajoissa niihin voidaan sisällyttää nostimia. (Halonen 2012, 67.)

## 4 Näyttämötekniikan ohjausjärjestelmät

Ohjausjärjestelmä tarkoittaa yleisesti automaattisesti toimivan koneen tai laitteen ohjauksessa käytettyä menetelmää, joka voi olla esimerkiksi ohjelmoitava logiikka tai erillisen ohjaimen sisältävä säätö- tai liikkeenohjausjärjestelmä. Ohjausjärjestelmä voi toimia itsenäisestikin, mutta se on usein liitetty logiikalla tai tietokoneella toteutettuun ylemmän tason ohjaukseen, joka välittää käyttäjän ohjauskomennot alemman tason ohjausjärjestelmille. (Keinänen, Kärkkäinen, Lähetkangas & Sumujärvi 2007, 209–210.)

Yksinkertaisimmillaan se voi olla painonappiohjauksella toimiva järjestelmä, jossa laite tai laitteet liikkuvat mekaanisten ylä- ja alarajojen välillä tai niin kauan kuin nappia painetaan. Ammattiteattereissa käytetään yleensä kuitenkin tietokoneohjausta, joka mahdollistaa liikkuvien laitteiden reaaliaikaisen seurannan. Eri maissa järjestelmät poikkeavat toisistaan toteutustapojen sekä standardien suhteen, eikä joka paikassa ole kiinteästi rakennettuja laitteita vakituisine käyttäjinään, vaan kaikki tuodaan paikanpäälle vieraillevien esitysryhmien toimesta. Yhteistä kaikille järjestelmille on kuitenkin teollisuusautomaatiolaitteiden ja PC-näyttösystemin käyttö. (Halonen 2012, 96.)

Tyypillinen näyttämötekniikan ohjausjärjestelmä on ohjelmoitavilla logiikoilla varustettu suljettu liikkeenohjausjärjestelmä, josta voidaan logiikoiden ja paikoitukseen erikoistuneiden liikkeenohjaimien lisäksi erottaa käyttöliittymiä, sähkömoottorikäyttöjä sekä antureita (kuvio 5). Ohjelmoitava logiikka toimii linkkinä operaattorin ja liikkeenohjausjärjestelmän välillä lähettäen käyttöliittymän välityksellä annettuja ohjauskomentoja edelleen liikkeenohjausjärjestelmälle sekä keräämällä, prosessoimalla ja jakamalla tietoa järjestelmän toiminnasta takaisin käyttöliittymään. Ohjelmoitavan logiikan sijaan voidaan samaan tarkoitukseen käyttää myös tietokonetta. (Ager & Hastie 2009, 223–225.)



Kuvio 5. Ohjausjärjestelmä (Juuso Murtoniemi 2016).

Liikkeenohjausjärjestelmällä tarkoitetaan jotain paikoitukseen erikoistunutta ohjausjärjestelmää, jossa liikkeenohjain suorittaa automaattisesti moottorin ajon sekä asematakkaisinkytkennän reaaliaikaisine korjauksineen. Se pitää sisällään liikeradat laskevan liikkeenohjaimen, sähkömoottoreita liikkeenohjaimen käskyjen mukaan oikealla taaju-

della pyörittävät sähkömoottorikäytöt sekä takaisinkytketyt mittaustietoa välittävät anturit. (Keinänen ym. 2007, 214; Woodward 2008, 73–75).

Suljettu ohjausjärjestelmä perustuu säätöön, mikä tarkoittaa käytännössä sitä, että ohjausyksikkö valvoo reaaliaikaisesti ohjattavan toimilaitteen kuten sähkömoottorin toimintaa. Se vertailee ihmisen laitteelle ennalta asettamia SI-mittayksikköjärjestelmään perustuvia arvoja (lähtösuureet) antureilta tuleviin mittaustietoihin (tulosuureet) ja valitsee tarpeen mukaan automaattisesti suoritettavat ohjaus- tai korjaustoimenpiteet pitäen toiminnan asetettujen vaatimusten mukaisena. Laitteet muodostavat siis silmukan, jota kutsutaan takaisinkytkennäksi. Avoimessa järjestelmässä ohjattavalta laitteelta ei takaisinkytkentälaitteiden puuttumisen vuoksi saada esimerkiksi paikka- tai nopeustietoja. (Savolainen & Vaitinen 2003, 2–15; Kippo & Tikka 2008, 21.)

Ennen tietokoneita sähköiset ohjausjärjestelmät toteutettiin sähkömekaanisilla katkaisijoilla. Sarjaan ja rinnan kytketyillä releillä ja kontaktoreilla saatiin aikaiseksi samat loogiset toiminnot kuin nykyäänkin, mutta monimutkaisuutensa vuoksi esimerkiksi toiminnallisten muutosten tekeminen järjestelmään oli hankalaa. Nykypäivänä tietokone voi korvata helposti jopa tuhansia rele- ja kontaktorikytkentöjä ja muutokset hoituvat uudelleen johdotuksen sijaan ohjelmistopäivityksellä. (Keinänen ym. 2007, 211.)

#### 4.1 Käyttöliittymät

Käyttöliittymä eli HMI (Human Machine Interface) tarkoittaa käyttäjän ja ohjausjärjestelmän välisessä vuorovaikutuksessa käytettäviä laitteita ja ohjelmistoja. Näyttämötekniikan ohjausjärjestelmän käyttöliittymänä toimivat yleensä PC:n ympärille rakennetut ohjauspaneelit, joiden toiminnalliset ominaisuudet ja kapasiteetti mitoitetaan järjestelmän mukaan. Ohjauspaneelin ja graafisen käyttöliittymän välityksellä käyttäjä voi valita ja liikutella näyttämön ylä- ja alakerran nostimia saaden samalla tietoa ohjaamiensa laitteiden sekä järjestelmän tilasta. Ohjausjärjestelmät sisältävät usein yhden tai useampia pääohjauspaneeleita (MOP, Main Operation Panel), joilla voidaan hallita kaikkia järjestelmän laitteita ja ajaa etukäteen ohjelmoituja usean laitteen samanaikaisia toimintoja, sekä useita kevyempiä toiminnoiltaan yksinkertaisempia langattomia tai liityntäpisteiden avulla siirreltäviä sivuohjauspaneeleita (SOP, Side Operation Panel). (Kippo & Tikka 2008, 46; Ager & Hastie 2009, 223, 227–232; Virtanen 2010, 7–14.)

Käyttöliittymän ohjelmisto antaa käyttäjälle työkalut näyttämötekniikan laitteiden liikkeiden ohjelmointiin ja tallentamiseen, joista suurin osa on yksinkertaisia paikoituksia, jossa laite ajetaan haluttuun paikkaan yksittäin tai ryhmissä. Laitteille voidaan määrittää myös eri nopeuksia, kiihtyvyyksiä ja hidastuvuuksia sekä ohjelmoida toimintoja, kuten viive ennen liikkeellelähtöä ja liipaisu, jossa laite saapuessaan tiettyyn lukemaan voi muuttaa esimerkiksi nopeuttaan tai aloittaa jonkin toisen laitteen liikkeen. (Ager & Hastie 2009, 231–235.)



Kuvio 6. Ohjauspaneeli (Stage Technologies Group 2015).

Automaation käyttöliittymien suunnittelua kutsutaan yleisesti ergonomiaksi, jossa tutkitaan ja kehitetään näyttö- ja ohjauslaitteita. Koska tietokoneen käyttö ohjaustehtävissä on yleistynyt lähes kaikissa ohjausjärjestelmissä, ergonomia keskittyy yhä enemmän tietokoneisiin ja niiden mahdollisuuksiin tuottaa käyttäjälle tarkkaa ja ymmärrettävää informaatiota. Tutkimus painottuu nykyään tietokoneiden lisäksi kognitiiviseen ergonomiaan eli siihen, miten ihminen ymmärtää käyttöliittymän kautta järjestelmän toimintaa ja miten eri toiminnot voidaan sovittaa kokonaisuuteen. Huomio on yhä enemmän kääntynyt myös satunnaisiin käyttäjiin ja sitä kautta käyttöliittymien yksinkertaisuuteen ja intuitiivisuuteen. (Heinonkoski, Asp & Hyppönen 2008, 40–41.)



## 4.2 Ohjelmoitavat logiikat

Ohjelmoitava logiikka eli PLC (Programmable Logic Controller) on mikroprosessoripohjainen tietokone, jota käytetään automaation reaaliaikaisissa ohjauksissa. Sen tulo- ja lähtöportteihin on liitetty järjestelmän kaikki kenttälaitteet (anturit, toimilaitteet jne.), joita ohjataan tehdyn ohjelman mukaisesti. PLC:t voidaan jakaa modulaarisiin ja kiinteään I/O:n logiikoihin. Kiinteän tulo- ja lähtöporttimäärän laitteet ovat edullisia ja soveltuvat pienen mittakaavan yksittäisten laitteiden ohjaukseen, kun taas monimutkaisten ja suuren I/O-määrän järjestelmän toteuttaminen vaatii moduuleista koottavan logiikan, jolloin järjestelmä on tarpeen vaatiessa laajennettavissa. Logiikkaohjauksen voi toteuttaa myös ohjelmallisesti tietokoneella ja liittää laitteet järjestelmään samaan tapaan yhden tiedonsiirtokaapelin kenttäväylällä. (Keinänen ym. 2007, 212–214, 221.)



Kuvio 7. PLC (Siemens AG 2016).

Aloite ohjelmoitavien ohjausyksiköiden kehittämiseksi tuli autoteollisuudelta, ja vuosina 1968–1969 markkinoille tuli General Motorsin laatiman vaatimuslistan mukaisia uudelleen ohjelmoitavissa olevia, toimintavarmoja, relelogiikkaan verrattuna hinnaltaan kilpailukykyisiä laitteita. Ajatuksena oli myös, että logiikan ohjelmointi olisi mahdollisimman yksinkertaista niin, ettei varsinaisia tietokoneohjelmointitaitoja vaadittaisi vaan yksinkertaisen käyttöliittymän avulla työn voisi suorittaa aiemmin relelogiikkaohjauksia suunnitelleet henkilöt sekä huoltohenkilökunta. Nykyisin ohjelmointi tehdään tietokoneella joiden Windows-pohjaisten tietokoneohjelmien käyttöliittymät yksinkertaistavat ja selkeyttävät ohjelmointia. Kolmesta käytetystä ohjelmointiperiaatteesta sähköpiirikaaviota muistuttava kosketin- eli tikapuukaavio on kaikkein yleisin. (Keinänen ym. 2007, 221–224.)

Nykyiset ohjelmoitavat logiikat ovat kehittyneitä ohjausyksiköitä, jotka hallitsevat liikkeenohjauksen, säädön, järjestelmän hajauttamisen sekä tietoverkot (Pimenoff 2010, 9).

#### 4.3 Liikkeenohjaimet

Liikkeenohjain prosessoi ylemmältä tasolta tulevia liikekäskyjä ja muuttaa ne signaaleiksi, joiden mukaan sähkömoottorikäytöt ohjaavat moottoreita. Sähkömoottoreihin asennettujen takaisinkytkettyjen anturien välittämän tiedon perusteella se valvoo ja tarpeen mukaan säätää ohjaustoimenpiteen aikana lähettämäänsä signaalia niin, että sähkömoottorikäytöillä toimivien sähkömoottorien pyörimisnopeus pysyy suoritettavan liikkeen ajan vaaditunlaisena. Valvontatoiminto tapahtuu frekvenssillä 100–1000 kertaa sekunnissa, jonka suorittamista monimutkaistaa viive käyttöjen vasteessa, johon vaikuttavat esimerkiksi järjestelmän kuorma ja dynamiikka sekä moottorityypit. (Ager & Hastie 2009, 252–253.)

Jotta liikkeenohjain saadaan välittämään oikeanlaista signaalia, järjestelmä on käyttöönoton yhteydessä hienoviritettävä asettamalla parametrit, jotka vaikuttavat sen toimintaan tiettyjen olosuhteiden alla. Ohjaimen täytyy reagoida ylempää tuleviin vaatimuksiin, mutta virheiden korjaustoimintojen on pysyttävä sellaisina, että jatkuvaa liikakorjausta sekä siitä johtuvaa vasteen liikavärähtelyä ei pääse syntymään ja järjestelmä pysyy stabiilina. Yksittäisten ohjattavien laitteiden tai akselien tasolla järjestelmän muutokset esimerkiksi lämpötilavaihteluiden tai liikuteltavien kuormien suhteen voi aiheuttaa pienimuotoista epävakautta, jota ei käyttöönottilanteessa voitu havaita. Tämä ilmenee esimerkiksi ei-toivottuina ääнинä tai järjestelmän puutteellisena toimintana. (Ager & Hastie 2009, 253.)



Kuvio 8. Liikkeenohjausyksiköitä (Omron Corporation 2016).

Mikäli käytössä oleva liikkeenohjausjärjestelmä on avoin eikä takaisinkytkennällä suljettu säätöpiiri se on alttiina monenlaisille muutosvoimille, joista ei saada välttämättä lainkaan tietoa. Tällöin mahdollisten ongelmien havainnointi ja virheiden korjaus on konetta käyttävän ihmisen varassa. (Ager & Hastie 2009, 253.)

#### 4.4 Sähkömoottorikäytöt

Näyttämötekniikassa vaihtosähköllä toimivat oikosulku- ja servomoottorit ovat syrjäyttäneet ennen laajalti käytetyt tasavirtamoottorit lähes täysin, ja näin ollen yleisimmät ohjausjärjestelmien sähkömoottorikäytöt ovat millimetrin tarkkaan paikoitusajoon soveltuvia taajuusmuuttaja- tai servokäyttöjä (Woodward 2008, 35; Virtanen 2010, 10).

##### 4.4.1 Taajuusmuuttajakäytöt

Teollisuuden yleisin toimilaite on taajuusmuuttajakäyttöinen oikosulkumoottori, jonka nimi tulee sen rungon staattorin kolmivaihekäämityksen sekä pyörivän roottorin häkkikäämityksen muodostamista keskenään oikosulussa olevista suljetuista virtapiireistä. Staattorikäämiin johdettu vaihtovirta synnyttää moottorin ilmaväliin pyörivän magneettikentän saaden aikaan roottorin pyörimisen ja mekaanisen liikkeen. Roottori jättää eli pyörii hieman hitaammin kuin magneettikenttä, minkä vuoksi oikosulkumoottoria kutsutaan myös epätahti- eli asynkronimoottoriksi. (Keinänen ym. 2007, 147–149.)



Kuvio 9. Oikosulkumoottori. Keskellä roottori akseleineen, jonka yläpuolella kulkee staattorin kolmivaihekäämitys (ABB 2016).

Taajuusmuuttajan tehtävänä on säätää oikosulkumoottorin pyörimisnopeutta syöttöjännitteen taajuutta muuttamalla, ja helpon liitettävyytensä ansiosta siitä on tullut oleellinen osa tietokone- ja logiikkaohjattuja järjestelmiä. Kolmivaiheisen moottorin nopeutta voi säätää myös variaattorilla tai napalukua muuttamalla, mutta tällöin ongelmaksi muodostuu usein nopea liikkeellelähtö, joka taajuusmuuttajan avulla saadaan joustavammaksi. Yksi- tai kolmivaiheisesti verkkojännitteeseen liitettävä taajuusmuuttaja tasasuuntaa verkon syöttämän vaihtojännitteen, jonka jälkeen se muutetaan vaihtosuuntaajassa eli invertterissä takaisin tavoitellun taajuuden vaihtojännitteeksi. Moottori voidaan lukita syöttämällä sille tasajännitettä niin, että se ei pääse esimerkiksi paikotusajossa pyörimään jonkin ulkoisen voiman toimesta. Sähkökatkosten varalta moottorilta löytyy myös mekaaninen jarru, joka estää syötön katketessa esimerkiksi nostimen taakan putoamisen. (Keinänen ym. 2007, 159–160).



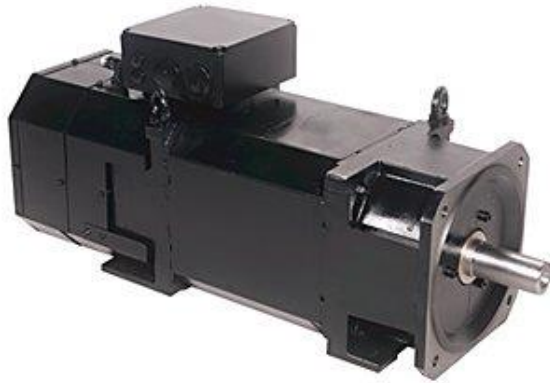
Kuvio 10. Taajuusmuuttaja (Schneider Electric).

Koska taajuusmuuttajat sisältävät jo valmiiksi prosessoritehoa, tuotekehittelyn myötä markkinoille on tullut kustannustehokkaita liikkeenohjaimella varustettuja älykkäitä taajuusmuuttajia. Niiden ansiosta voidaan nopeus ja asema takaisinkytkentä tehdä taajuusmuuttajalle ja järjestelmän komponenttimäärää vähentää. Valmistusmäärän kasvu takaa varaosien saatavuuden ja siten laitteen eliniän pitenemisen. (Ager & Hastie 2009 253–254).

#### 4.4.2 Servokäytöt

Servojärjestelmässä moottorin pyörimisnopeutta säätävä servovahvistin ohjaa ja säätelee annettujen käskyjen mukaisesti servomoottorin toimintaa, johon integroitu anturi sulkee ohjauspiirin servovahvistin takaisinkytkennällä. (Ager & Hastie 2009, 247.)

Toimilaitteena käytetään usein servo- tai askelmoottoria, vaikka tehtävään soveltuu mikä tahansa sähkömoottori. Erikoisrakenteinen servomoottori eroaa muista vastaavista laitteista roottorin pienen hitausmomentin ansiosta, joka mahdollistaa tehokkaiden kiihtyvyy- ja hidastuvuusnopeuksien ansiosta nopean toiminnan. (Fonselius, Rinkinen & Vilenius 1998, 10.)



Kuvio 11. Servomoottori (Rockwell Automation 2016).

Servotekniikkaa hyödynnetään nykyään esimerkiksi teollisuusrobottien ohjauksessa. Tarkkoihin ohjauksiin soveltuvan servojärjestelmän yhteydessä voidaan puhua kehittyneestä liikkeenohjauksesta. (Keinänen ym. 2007, 157.)

#### 4.5 Anturit

Anturien tehtävänä on kerätä tietoa järjestelmän toimilaitteilta ja toimittaa mitaamansa suureet sähköisenä viestinä ohjausyksikölle. Teollisuudessa niitä käytetään esimerkiksi paineen, voiman tai lämpötilan mittaamiseen. (Keinänen ym. 2007, 187.)

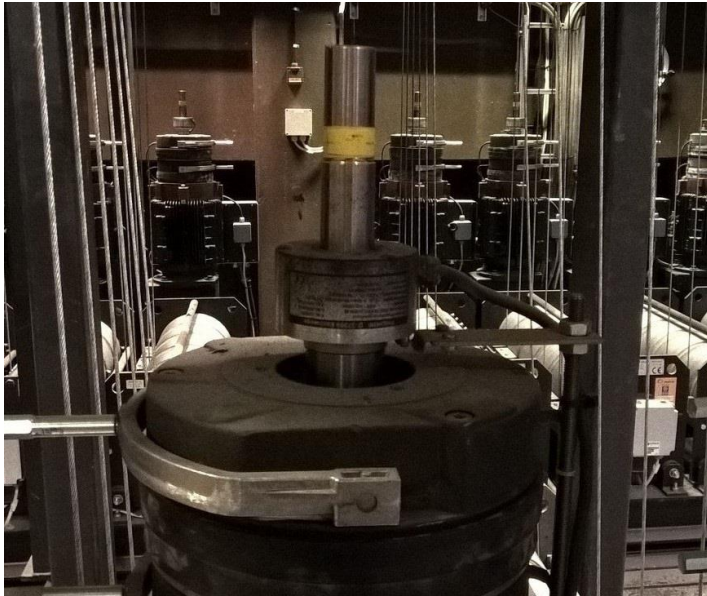
Näyttämötekniikan liikkeenohjausjärjestelmä suljetaan yleensä sähkömoottoriin asennetuilla ja ohjausjärjestelmään takaisinkytketyillä digitaalisilla nopeutta ja asemaa mittaavilla antureilla. Analogista signaalia lähettäviä antureita, kuten potentiometrejä tai takogeneraattoreita ei juurikaan enää käytetä (Huntington 2012, 42).

##### 4.5.1 Inkrementtianturit

Inkrementti- eli pulssiantureita käytetään pääosin näyttämömekaniikan laitteiden nopeusvalvontaan (Lähteinen 2012, 1).

Pulssianturi (kuvio 12) on LED-valosta ja valoa vastaan ottavasta diodista sekä niiden väliin sijoitetusta pulssikiekosta koostuva anturi. Ennen ohjausyksikölle lähettämistä

sopivaksi mittausviestiksi muutettava analoginen signaali muodostuu, kun LED valo ja vastaanotin lukevat moottorin mukana pyörivää kiekkoa. (OEM Finland Oy.)



Kuvio 12. Tankonostimen sähkömoottoriin asennettu pulssianturi (Juuso Murtoniemi 2016).

Tavallisesti inkrementtianturi lähettää 10–5000 pulssia joka kierroksella. Pulssitaajuus on suoraan verrannollinen anturin pyörimisnopeuteen, mikä tarkoittaa että se on nopeuden mittaamiseen soveltuva anturi. Pulssianturi ei muista sijaintiaan, vaan nollakoh- ta täytyy aina esimerkiksi virransyötön katkeamisen jälkeen määrittää uudelleen, ja mikäli sitä halutaan käyttää paikkatiedon keräämiseen, tarvitaan elektroninen laskuri, ohjelmoitava logiikka tai tietokone. (Keinänen ym. 2007, 200–201; Huntington 2012, 91.)

#### 4.5.2 Absoluuttianturit

Absoluuttiantureita käytetään korkeusnäytön ja paikoitusajon lisäksi ohjelmallisten rajo- jen määrittämiseen (Lähteinen 2012, 1).

Absoluuttianturi (kuvio 13) on yleisin paikkatiedon mittaamiseen käytetty anturi, ja sen toimintaperiaate on sama kuin inkrementtianturilla, mutta valoa läpäisevien ja läpäise- mättömien viivojen sijaan kiekkoon on väritetty aina tiettyä asentoa ilmaiseva binääri- koodi. Toisin kuin inkrementtianturi, absoluuttianturi muistaa aina asemansa suhteessa

asetettuun nollakohtaan, vaikka virransyöttö välillä katkeaisikin. (OEM Finland Oy; Woodward 2008, 77)



Kuvio 13. Tankonostimien sähkömoottoreihin asennettuja absoluuttiantureita (Juuso Murtoniemi 2016)

Absoluuttianturit voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

- yksikierroksiset anturit
- monikierroksiset anturit
- yksi- tai monikierroksisiksi ohjelmoitavat kenttäväyläanturit

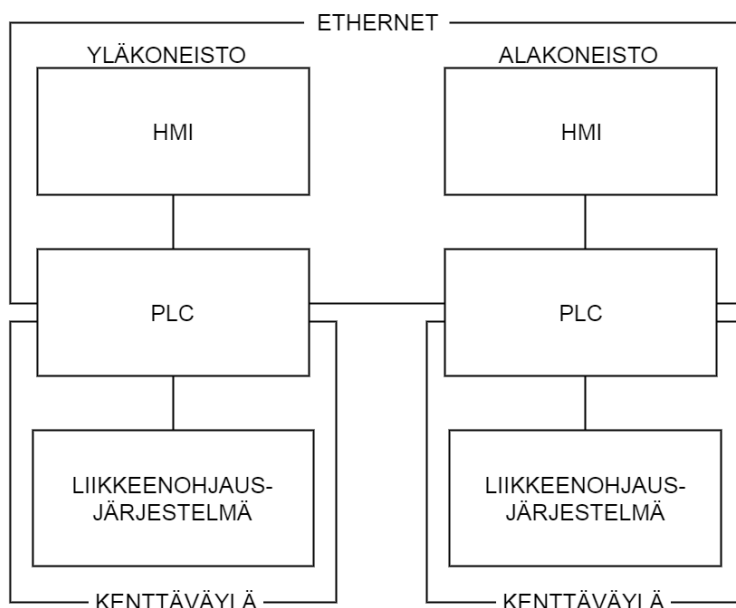
Yksikierroksiset absoluuttianturit mittaavat ainoastaan moottorin pyörimisliikettä niin, että kiekon pyörittyä täyden kierroksen koodin lukeminen alkaa taas alusta. Monikierroksiset anturit taas laskevat pyörimisliikkeen lisäksi myös kierroksia, ja niiden välittämä tietomäärä on siten suurempi kuin yksikierroksisten. Monikierroksisia absoluuttiantureita on saatavilla myös ohjelmoitavina versioina, jolloin esimerkiksi anturin resoluutio eli mittaustarkkuus sekä nollakohta voidaan määrittää ohjelmallisesti. Tällaisia ohjelmallisesti säädettäviä antureita sanotaan älykkäiksi antureiksi. (OEM Finland Oy; Keinänen ym. 2007 188).

#### 4.6 Tiedonsiirto

Näyttämötekniikan ohjausjärjestelmissä käyttöliittymästä tulevat toimintakäskyt kulkevat ohjauspaneelilta liikkeenohjausjärjestelmälle, joka vastavuoroisesti välittää reaaliaikaista tietoa ohjattavien laitteiden tilasta takaisin käyttöliittymään sekä raportoi mahdol-



lisistä vikatiloista. Tiedonsiirto on tavallisesti toteutettu Ethernet-lähiverkolla sekä kenttäväyläteknikalla. (Woodward 2008, 79.)



Kuvio 14. Ohjausjärjestelmän tiedonsiirto (Juuso Murtoniemi 2016).

Tyypillisesti koko näyttämötekniikan ylemmän tason ohjausyksiköt ovat yhteydessä toisiinsa Ethernet-verkon välityksellä, kun taas liikkeenohjaustasolla ohjausyksiköiden ja kentälaitteiden kommunikointiin käytetään kenttäväyläteknikkaa (kuvio 14). (Woodward 2008, 80; Lähteinen 2012, Järjestelmäkaavio-liite).

Tiedonsiirtojärjestelmät koostuvat kerroksista, joista jokainen kommunikoi ainoastaan seuraavan tai edellisen kerroksen kanssa. Tunnetuin malli on kansainvälisen standardoimisjärjestön vuonna 1984 määrittelemä OSI (The Open System Interconnection, ISO 7498). (Huntington 2012, 157.)

OSI-malli koostuu seitsemästä kerroksesta, joissa tieto liikkuu lähetettäessä välillä 7–1 ja vastaanottaessa välillä 1–7:

- Kerros 7 sovellukset (sähköposti, FTP jne.)
- Kerros 6 esitystapa
- Kerros 5 istunto
- Kerros 4 kuljetus
- Kerros 3 verkko

- Kerros 2 siirto
- Kerros 1 fyysinen (kaapelointi, kytkimet jne.) (Lantronix Inc, 2016.)

#### 4.6.1 Ethernet

Ethernet on laajalti käytetty lähiverkkoratkaisu, jonka suosio perustuu sen nopeuden ja yksinkertaisuuden lisäksi yhteensopivuuteen lähes kaikkien yleisesti käytettävien verkoprotokollien kanssa. Ethernetin toiminta perustuu IEEE:n standardiin 802.3, jossa määritellään säännöt, joiden mukaan verkko luodaan ja miten verkon elementit toimivat keskenään. Se on näyttämötekniikan ohjausjärjestelmien yleisin käytetty lähiverkkoratkaisu. (Huntington 2012, 162; Lantronix Inc, 2016.)

Ethernet-lähiverkko koostuu keskenään viestivistä solmuista (node), jotka voidaan jakaa kahteen ryhmään:

- DTE (Data Terminal Equipment) käsittää laitteet, jotka ovat joko tiedon lähittäjiä tai vastaanottajia, kuten PC:t, työasemat ja tiedostopalvelimet.
- DCE (Data Communication Equipment) tarkoittaa laitteita, kuten kytkimet, reititimet ja käyttöliittymäkortit. (Cisco Systems Inc, 2016.)

Lähiverkkototeutuksista voidaan erottaa kolme perustopologiaa, joita ovat rengastopologia, yhdellä kaapelilla toteutettu väylä, johon verkon laitteet on kytketty, ja tähtitopologia, jossa verkko on rakennettu yhden keskittimen tai verkkokytkimen ympärille (Huntington 2012, 83–84).

#### 4.6.2 Kenttäväylät

Kenttäväylää (Fieldbus) käytetään automaatiolaitteiden väliseen tiedonsiirtoon sekä järjestelmän hajauttamiseen. Se toimii master/slave-periaatteella, jossa jokin ylemmän ohjaustason laite (kuten PLC tai tietokone) suorittaa alemman tason laitteiden ohjauksen. (Keinänen ym. 2007, 9.)

Kenttäväyläjärjestelmässä ohjelmoitavan logiikan tulo- ja lähtöportit on sijoitettu yhdellä tiedonsiirtokaapelilla toisiinsa kytkettyihin erillisiin kenttäväylämoduuleihin. Markkinoilla

on useita eri kenttäväyläprotokollia, joista yleisimpiin kuuluu Profibus. (Keinänen ym. 2007, 214.)

Digitaalinen kenttäväylä mahdollistaa yhä älykkäämpien kenttälaitteiden käytön, joiden ominaisuuksiin kuuluu esimerkiksi itsediagnostiikka, mikä tarkoittaa että kenttälaitte arvioi itsenäisesti omaa toimintaansa ja tarvittaessa raportoi ongelmatilanteista käyttäjälle (Kippo & Tikka 2008, 49).

Muita näyttämöautomaatiossa käytettyjä teollisuuden I/O-väyliä ovat muun muassa AS-i (The AS-interface), CAN (The Controller Area Network), DeviceNet sekä Ethernet-pohjaiset EtherCat ja Profinet (Huntington 2012, 347).

## 5 Turvallisuus

Näyttämöautomaatioon liittyy enemmän ja eri tavalla riskejä kuin esimerkiksi valo- ja äänijärjestelmiin. Valo voi häikäistä ja ääni haitata kuuloa, mutta lattia- ja kattokoneistojen välissä oleva henkilö on alttiina aivan toisentyypisille voimille. Vanhoihin toteutuksiin verrattuna monet automatisoidut näyttämötekniikan laitteet ovat hiljaisempia ja niiden liikuttamat taakat voivat olla huomattavastikin suurempia, mikä nostaa onnettomuustilanteessa vakavan loukkaantumisen riskiä, ja siksi on erityisen tärkeää, että kaikki koneiden lähetyillä työskentelevät henkilöt taiteellista ja teknistä henkilökuntaa myöten ovat tietoisia niihin liittyvistä turvallisuuskäytännöistä sekä -riskeistä. Perehdyttämisellä, jatkuvalla riskien arvioinnilla ja huolellisuudella voidaan turvallisuustaso pitää korkealla ja minimoida potentiaalisesti vakaviin henkilövahinkoihin johtavat vaaratilanteet. (Ager & Hastie 2009, 187.)

Operaattori vaikuttaa osaltaan näyttämön turvallisuusolosuhteisiin ja siksi koneita käyttävän henkilön tulee olla koko ajan tietoinen siitä, mitä on tekemässä ja minkälaisia seurauksia toiminnalla voi olla. Huolellinen perehdytys järjestelmään ja erityisesti käyttöliittymään on tärkeää, mutta huomioon on syytä ottaa myös muita seikkoja, kuten mahdollisten vika- ja vaaratilanteiden tunnistaminen katselemalla ja kuuntelemalla. Ideaalitulanteessa ajopaikasta näkee suoraan liikuteltavat elementit, mutta aina se ei ole mahdollista. Tällöin näköyhteys on järjestettävä valvonta- ja infrapunakameroilla tai viime kädessä näyttämötasolla puheyhteydessä operaattoriin oleva henkilö varmistaa, että toiminto voidaan suorittaa turvallisesti. Mitä keinoa käytetäänkin, oleellista on että

käyttäjän tulee olla aina täysin varma siitä, että toiminnon suorittaminen on turvallista. (Ager & Hastie 2009, 199–200.)

Ohjausjärjestelmien suunnittelun ja toteutuksen suhteen noudatetaan standardeja ja turvallisuussäännöksiä sekä asetetaan suunnitteluvaiheessa riskianalyysin kautta turvallisuusvaatimukset. Lähtökohtana on, että ohjausjärjestelmään valittujen komponenttien tulee olla kyllin toimintavarmoja eikä laite- tai ohjelmistovika saa aiheuttaa vaaratilanteita vaan järjestelmän täytyy pysyä aina turvallisessa tilassa. (Heinonkosti ym. 2008, 161–163; Lähteinen 2012, 4.)

Standardien vaatimusten mukaista riskienhallintaa tehdään myös erilaisilla turva- ja valvontalaitteilla (Woodward 2008, 86).

## 5.1 Standardit

Ohjausjärjestelmiä käsittelevät turvastandardit ovat olleet 31.12.2011 saakka EN 954-1 ja EN IEC 61508, jonka jälkeen EN 954-1 on korvattu standardilla EN ISO 13849-1 (Lähteinen 2012, 4; ABB 2016, 2).

### 5.1.1 EN ISO 13849-1

EN 954-1 määrittä turvallisuuksi lisäävien komponenttien (rajakytkimet, turvalistat jne.) turvakategoriat (B, 1–4), joiden yksityiskohtaisemmat vaatimukset löytyvät tarkentavista standardeista (Lähteinen 2012, 4–5).

Olellainen ero vanhaan standardiin on, että EN ISO 13849-1 sisältää myös turvallisuuteen liittyvää todennäköisyyslaskentaa ja turvakategorioiden lisäksi laitteille määritetään riskianalyysin kautta suorituskykytaso (PL, Performance Level). (Pilz Skandinavian.)

### 5.1.2 EN IEC 61508

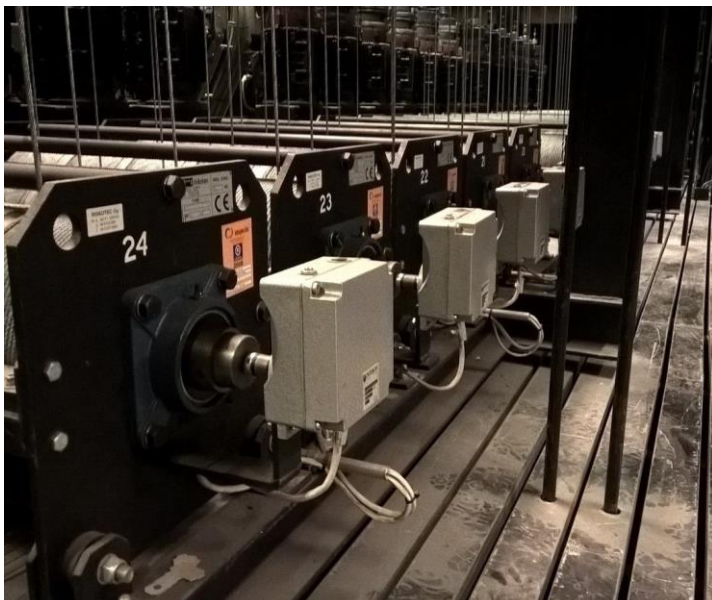
Standardi määrittelee toiminnallisen turvallisuuden eheystasot 1–4 (SIL, Safety Integrity Level) ja antaa ohjeet niiden käytöstä. SIL mittaa, miten todennäköisesti turvatoiminto suorituu sille asetetuista vaatimuksista tai toteuttaako jokin turvallisuuteen liittyvä

järjestelmä vaadittavat turvatoiminnot hyväksytysti kaikissa määritellyissä olosuhteissa ja määriteltynä ajanjaksona. Toiminnallisen turvallisuuden arvioinnin tekee aina ulkopuolinen ja riippumaton taho. (Lähteinen 2012, 5.)

## 5.2 Valvontalaitteet

### 5.2.1 Rajakytkimet

Absoluuttiantureiden valvomien ohjelmallisten rajojen lisäksi nostolaitteille on asetettu kahdet mekaaniset ylä- ja alarajat joille tultaessa liike pysähtyy (Lähteinen 2012, 1).



Kuvio 15. Tankonostimien vaijerirummuille asennettuja rajakytkimiä (Juuso Murtoniemi 2016).

Ensimmäinen mekaaninen kytkin eli ajoraja pysäyttää liikkeen, mikäli laite syystä tai toisesta ajautuu ohjelmallisten rajojen ulkopuolelle, jonka jälkeen laite voidaan ajaa vielä vastakkaiseen suuntaan. Mikäli ohjelmallinen raja sekä ajoraja pettää, viimeinen turvaraja katkaisee ohjattavalta laitteelta virransyötön. (Ager & Hastie 2009, 260.)

### 5.2.2 Lämpötilavalvonta

Moottorin lämpötila-anturi pysäyttää liikkeen lämpötilan noustua liian korkeaksi (Lähteinen 2012, 1).

### 5.2.3 Huoltokytkimet

Moottoreiden yhteydessä on turvakytkin, josta laitteen virransyötön voi katkaista huollon ajaksi (Lähteinen 2012, 1).

### 5.2.4 Hätä-seis

Hätä-seis-painikkeen pohjaan painaminen vaaratilanteessa katkaisee välittömästi taajuusmuuttajien virransyötön ja estää laitteiden toiminnan, eikä järjestelmän uudelleen käynnistäminen ole mahdollista ennen hälytyksen kuittaamista ja painetun napin vapauttamista. Sekä mekaniikan että ohjausjärjestelmän suunnitteluvaiheessa täytyy huomioida mahdollisen äkkipysähdyksen synnyttämät voimat ja niistä aiheutuvat mahdolliset vauriot. (Huntington 2012, 113.)

Hätä-seis-toiminto suunnitellaan ja toteutetaan järjestelmälle määritellyn SIL-tason mukaisesti (Woodward 2008, 101).

### 5.2.5 Turvalogiikat

Turvalogiikka on päälogiikasta erillään oleva laite, joka valvoo järjestelmän turvatoimintoja (Pimenoff 2010, 10).

## 5.3 Suojaukset

### 5.3.1 Ylinopeussuoja

Moottorien pyörimisnopeutta valvotaan absoluutti- ja pulssiantureilla. Suurimman sallitun nopeuden ylittyessä anturista ja takaisinkytkennästä riippuen taajuusmuuttaja tai ohjausjärjestelmä pysäyttää liikkeen. Antureiden lisäksi voidaan käyttää analogista takometriä, jonka pyörimistä valvotaan jännitereleellä. Suurimman sallitun nopeuden ylittyessä rele katkaisee ohjausjännitteen ja liike pysähtyy. (Lähteinen 2012, 2.)

### 5.3.2 Ylikuormitussuoja

Yli- ja alikuormaa valvotaan ohjausjärjestelmään liitetyllä punnitusanturilla. Mikäli kuorma ylittyy tai häviää, liike pysähtyy (Lähteinen 2012, 2).

Ylikuormaa voidaan valvoa myös taajuusmuuttajalla momenttia mittaamalla, mutta luotettavampi keino on käyttää punnitusanturia (Ager & Hastie 2009, 263).

### 5.3.3 Löysän köyden valvonta

Löysän köyden valvonta estää ajon, mikäli rummulle kelautuva vaijeri nousee ylös urastaan (Lähteinen 2012, 2).

Tyypillisesti tilanne syntyy vaijerin katketessa tai liikuteltavan elementin tarttuessa kiinni johonkin kesken liikkeen (Ager & Hastie 2009, 263).

### 5.3.4 Turvalistat

Lattianostimien reunoissa käytetään kumisia turvalistoja, jotka pysäyttävät liikkeen, mikäli leikkaavien pintojen väliin on jäänyt jotain, eikä laitetta voi ajaa ennen kuin este on poistettu ja hälytys kuitattu (Lähteinen 2012, 2).

### 5.3.5 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttajan suojaustoimintoihin kuuluu muun muassa ylivirtasuoja, ali- ja ylijännitesuoja sekä oikosulkusuoja (Lähteinen 2012, 2).

## 5.4 Huolto ja kunnossapito

Kunnossapidolla tarkoitetaan järjestelmän pitämistä toimintakuntoisena ja luotettavana. Säännöllinen huolto ja kunnossapito ovat välttämättömiä turvallisuuden ja laitteiden käyttöiän kannalta, ja siten voidaan myös minimoida teknisten vikojen ilmaantuminen ja niistä johtuvat mahdolliset näytösten peruuntumiset. Kunnossapitosuunnitelma pohjautuu yleensä laitetoimittajan antamiin yleisluontoisiin sekä konekohtaisiin ohjeisiin, joita

räätälöidään ja muokataan tarpeen ja kohteen mukaan sopiviksi. Henkilöstön osaamistaso määrittelee, mitä töitä voidaan tehdä itsenäisesti ja mitkä täytyy ulkoistaa esimerkiksi laitetoimittajalle: mitä monimutkaisempaa tekniikkaa, sitä todennäköisemmin vaadittavat toimenpiteet suorittaa jokin ulkoinen taho. (Halonen 2012, 90.)

Järjestelmille laskettu elinkaari on noin 15 vuotta, ja laitteiden täytyy pysyä toimintakuntoisia vaaditun ajan (Lähteinen 2012, 6).

Huoltosopimukset tehdään asiakaskohtaisesti tavallisesti 1–3 vuodeksi kerrallaan. Sopimus sisältää yleensä dokumentoinnin, henkilökunnan vaadittavat koulutukset, puhe- ja etäkäyttötuen sekä varaosapalvelun. Sovitut huoltotoimenpiteet voivat olla esimerkiksi 4 vuoden välein tehtävät kuormituskokeet, antureiden ja rajakytkimien testaus, turvapiirien testaus sekä PC-laitteistojen ylläpito ja vuosittainen kuntoarvio. (Lähteinen 2012, 6.)

## 6 Lopuksi

Ohjausjärjestelmän tunteminen ei sinänsä käyttäjän kannalta ole pakollista, mutta se edesauttaa esimerkiksi vikatilojen selvitystyötä, johon löytyy yleensä myös erillinen ohjeistus laitetoimittajan luovutusaineistosta muiden käyttöohjeiden ja toimintaselostuksen lisäksi. Kaikki asennus- ja muutostyöt järjestelmään täytyy kuitenkin aina teettää koulutetulla ammattilaisella, ja oleellista on perehtyä huolellisesti järjestelmän toimintoihin, käyttöliittymään, graafiseen käyttöliittymään sekä laitekohtaisiin pelisääntöihin ja rajoitteisiin. Koneenkäyttäjän tärkeimpiä työkaluja on edellä mainittujen asioiden lisäksi arkijärki, ja näin ollen toiminnallisen kokonaisuuden hahmottaminen ja järjestelmän luonteen ymmärtäminen tuo ehdottomasti lisäarvoa tekemiseen työturvallisuuden puitteissa. Yleiskuvan muodostamisen lisäksi työ toimii linkkinä käytettyjen lähdeostosten kautta aihetta ja sen eri osa-alueita syvällisemmin käsittelevien teosten pariin.

Haasteellista kirjoittamisessa oli oleellisen tiedon kokoaminen suuresta tietomäärästä sekä automaatioon liittyvä terminologia, joka vaikutti paikoin hyvin epämääräiseltä. Muutamissa lähdeostoksissa käsitellyistä aiheista oli ainoastaan lyhyt yleistason kuvaus, jonka jälkeen alkoi pitkä teoreettisen tiedon osuus, joka oli lähes poikkeuksetta valitsemäni lähestymistavan suhteen merkityksetöntä. Pienenkin kokonaisuuden hahmottaminen vaati usein monen lähdeostoksen käyttämistä.



Automaatio- ja tietotekniikka ovat nopeasti kehittyviä tieteenaloja, minkä johdosta opin-  
näytetyö saattaa yksittäisten laitteiden, ohjausmenetelmien ja muiden yksityiskohtien  
osalta vanhentua nopeastikin, mutta uskoisin että työssä hahmoteltu runko ja ohjauk-  
sen peruseriaatteet eivät muutu ainakaan lähitulevaisuudessa.

## Lähteet

ABB. 2016. Safety in control systems according to EN ISO 13849-1. PDF. Saatavuus [https://library.e.abb.com/public/f282e8fb773fa733c1257996004307a6/EN\\_ISO\\_13849-1\\_2TLC172003B02002.pdf](https://library.e.abb.com/public/f282e8fb773fa733c1257996004307a6/EN_ISO_13849-1_2TLC172003B02002.pdf) (luettu 26.3.2016).

Ager, Mark & Hastie, John. 2009. Automation in the entertainment industry. Cambridge: Entertainment Technology Press Ltd.

Cisco systems Inc. 2016. Ethernet Technologies. San Jose, CA: Cisco Systems Inc. Saatavuus [http://docwiki.cisco.com/wiki/Ethernet\\_Technologies](http://docwiki.cisco.com/wiki/Ethernet_Technologies) (luettu 25.3.2016).

Fonselius Jaakko, Rinkinen Jari & Vilenius Matti. 1998. Koneautomaatio Servotekniikka. Helsinki: Oy Edita Ab.

Heinonkoski Risto, Asp Risto, Hyppönen Heikki. 2008. Automaatio – helppoa elämää? Helsinki: Opetushallitus.

Huntington, John. 2012. Show networks & control systems. New York: Zircon Designs Press.

Keinänen Toimi, Kärkkäinen Pentti, Lähetkangas Markku, Sumujärvi Matti. 2007. Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjausjärjestelmät. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.

Kippo, Asko K. & Tikka, Aimo. 2008. Automaatiotekniikan perusteet. Helsinki: Edita Publishing Oy.

Lantronix Inc. 2016. Ethernet Tutorial – Part I: Networking Basics. Irvine, CA: Lantronix Inc. Saatavuus: <http://www.lantronix.com/resources/networking-tutorials/ethernet-tutorial-networking-basics/> (luettu 25.3.2016).

OEM Finland Oy. Ei päiväystä. Pulssianturien teoriaa. Turku: OEM Finland Oy. Saatavuus: [http://www.oem.fi/Tuotteet/Anturi/Pulssianturit/Yleista/Pulssianturien\\_theoriaa/825723-526144.html](http://www.oem.fi/Tuotteet/Anturi/Pulssianturit/Yleista/Pulssianturien_theoriaa/825723-526144.html) (luettu 22.3.2016).

Pilz Skandinaviens K/S Safe Automation. Ei päiväystä. Toiminnallista turvallisuutta käsittelevät standardit. Helsinki: Pilz Skandinaviens K/S Safety Automation. Saatavuus <https://www.pilz.com/fi-FI/knowhow/standards/standards/functional-safety/articles/072281> (luettu 25.3.2016).

Pimenoff, Toni. 2010. Logiikkaopetusluokkien muutostyöprosessi. Opinnäytetyö. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Tampere: Tampereen Ammattikorkeakoulu. Saatavuus <https://publications.theseus.fi/xmlui/handle/10024/16171> (luettu 27.3.2016).

Savolainen, Jari & Vaitinen, Reijo. 2003. Sääntötekniikan perusteita. Helsinki: Opetushallitus.

Suomen Automaatioseura Ry 2014. Automaation määritelmä? Saatavuus <http://www.automaatioseura.com/component/content/article/5-uusimmat-tiedotteet/186-automaation-mae-aeritelmae-keskustelua> (luettu 5.11.2015).

Virtanen, Mikko 2010. Näyttämötekniikan ohjausjärjestelmän kehitys- ja testausympäristö. Opinnäytetyö. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Tampere: Tampereen Ammattikorkeakoulu. Saatavuus <http://www.theseus.fi/handle/10024/12742> (luettu 26.2.2016).

Woodward, Anton. 2008. Stage automation. Cambridge: Entertainment Technology Press Ltd.

### **Julkaisemattomat lähteet**

Halonen, Allan. 2012. Näyttämömekaniikka koulutusmateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu 2012.

Lähteinen, Tapio. 2012. Näyttämöiden ohjausjärjestelmät koulutusmateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu 2012.

### **Kuvaluettelo**

Kuva 1 Tampereen Teatterin Päänäyttämön käsikäyttöisen vastapainoköystön köysilinjoja lukkoineen. Kai Bäckström 2013.

Kuva 2 Tankonostimia. SKS Group 2016. [http://www.sks.fi/www/\\_Ylakoneistot](http://www.sks.fi/www/_Ylakoneistot) (ladattu 4.2.2016).

Kuva 3 Sähkömoottoreita ja vaijerirumpuja Tampereen Työväen Teatterin Suuren näyttämön köysiullakolla. Juuso Murtoniemi 2016.

Kuva 4 Spiralift. Hugo de la Morena. <https://www.ribaj.com/products/extreme-spec-flexible-space> (ladattu 23.2.2016).

Kuva 5 Ohjausjärjestelmä. Juuso Murtoniemi 2016.

Kuva 6 Ohjauspaneeli. Stage Technologies Group 2015. [http://www.stageotech.com/sites/default/files/acrobat1\\_lowres.jpg](http://www.stageotech.com/sites/default/files/acrobat1_lowres.jpg) (ladattu 14.3.2016).

Kuva 7 PLC. Siemens AG 2016. [http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuus/tuoteuutiset/s7-300\\_logiikkaohjain\\_jossa\\_integroituna\\_io-liittynnat\\_seka\\_profinet-yhteys.htm](http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuus/tuoteuutiset/s7-300_logiikkaohjain_jossa_integroituna_io-liittynnat_seka_profinet-yhteys.htm) (ladattu 23.3.2016).

Kuva 8 Liikkeenohjausyksiköitä. Omron Corporation 2016. [https://industrial.omron.fi/fi/products/catalogue/automation\\_systems/programmable\\_logic\\_controllers/rack\\_plc\\_series/cs1g\\_h/motion\\_control\\_units/default.html](https://industrial.omron.fi/fi/products/catalogue/automation_systems/programmable_logic_controllers/rack_plc_series/cs1g_h/motion_control_units/default.html) (ladattu 20.3.2016).

Kuva 9 Oikosulkumoottori. ABB 2016. <http://www.abb.fi/cawp/seitp202/9324577570fc2313c125765e002bfcd2.aspx> (ladattu 20.3.2016).

Kuva 10 Taajuusmuuttaja. Schneider Electric. <https://www.schneider-electric.us/en/product-range/2656-altivar-312-drive/?filter=business-2-building-management-and-security&parent-category-id=50000> (ladattu 23.3.2016).

Kuva 11 Servomoottori. Rockwell Automation 2016.  
<http://ab.rockwellautomation.com/Motion-Control/HPK-Series-High-Power-Servo-Motors> (ladattu 23.3.2016).

Kuva 12 Tankonostimen sähkömoottoriin asennettu pulssianturi. Juuso Murtoniemi 2016.

Kuva 13 Tankonostimien sähkömootoreihin asennettuja absoluuttiantureita. Juuso Murtoniemi 2016.

Kuva 14 Ohjausjärjestelmän tiedonsiirto. Juuso Murtoniemi 2016.

Kuva 15 Tankonostimien vaijerirummuille asennettuja rajakytkimiä. Juuso Murtoniemi 2016.



