

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Automaatiotekniikka  
Mikko Virtanen

Opinnäytetyö

**Näyttämötekniikan ohjausjärjestelmän kehitys- ja testausympäristö**

Työn ohjaaja  
Työn tilaaja  
Tampere 4/2010

diplomi-insinööri Jukka Falkman  
Insta Automation Oy, ohjaajana Ylläpito- ja  
elinkaaripalvelut, Yksikönpäällikkö Tapio Lähteinen

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| Tekijä                            | Mikko Virtanen  |
| Työn nimi                         | Näyttämötekniikan ohjausjärjestelmän kehitys- ja testausympäristö                               |
| Sivumäärä                         | 49 + 12 liitesivua  |
| Työn valmistumiskuukausi ja vuosi | Huhtikuu 2010   |
| Työn ohjaaja                      | diplomi-insinööri Jukka Falkman   |
| Työn tilaaja                      | Insta Automation Oy, ohjaajana Ylläpito- ja elinkaaripalvelut, Yksikönpäällikkö Tapio Lähteinen |

### Tiivistelmä

Tämä työ käsittelee näyttämötekniikan ohjausjärjestelmän kehitys- ja testausympäristön luomista. Työ tehtiin markkinointi-, testaus- sekä koulutustarkoitukseen. Työn tavoitteena oli luoda kehitys- ja testausympäristö jo olemassa olevasta Insta Automation Oy:n kehittämästä näyttämötekniikan ohjausjärjestelmästä, ottaen huomioon kaikki olennaisimmat ja asiakkaalle lisäarvoa tuovat ominaisuudet.

Kehitys- ja testausjärjestelmää lähdettiin luomaan Insta Automation Oy:n jo toteuttamien näyttämötekniikan ohjausjärjestelmätoimitusten pohjalta. Kokonaisesta ohjausjärjestelmästä kerättiin olennaisimmat toiminnot ja tyypillisimmät laitteet osaksi kehitys- ja testausympäristöä. Järjestelmä toteutettiin Insta Automation Oy:n toimitiloihin Tampereen Sarankulmaan. Järjestelmää tullaan käyttämään markkinointitarkoitukseen sekä teatterihenkilöstön ja Insta Automation Oy:n oman henkilöstön kouluttamiseen sekä uusien innovaatioiden ja sovellusten testaamiseen.

Tämän työn laajuuteen kuului järjestelmän laitesuunnittelu, kokoonpano ja asennus sekä käyttöönotto ja testaus. Järjestelmän ohjelmistojen sekä logiikkakoodien suunnittelu ja toteutus jätettiin tämän työn ulkopuolelle. Kehitys- ja testausympäristöä suunniteltaessa oli tarkoitus tuoda aikaisemmin käytetyn laitetoimittajan rinnalle toisen laitetoimittajan osilla toteutettu järjestelmä, mutta neuvotteluissa ei löydetty yhteistä näkemystä laitteiston suhteen ja järjestelmä toteutettiin pelkästään aikaisemman laitetoimittajan komponenteilla.

Tämä työ on osa tuotekehitystä ja sisältää Insta Automation Oy:n kehittämiä ratkaisuja. Tästä syystä työ on julistettu salaiseksi viideksi vuodeksi.

|                              |  |  |
|------------------------------|--|--|
| Writer                       | Mikko Virtanen   |  |
| Thesis                       | The development and testing environment of a theater show control system           |  |
| Pages                        | 49 + 12 pages of appendixes  |  |
| Month and Year of Completion | April 2010   |  |
| Thesis Supervisor            | Master of Science in Technology<br>Jukka Falkman                                   |  |
| Co-operating Company         | Insta Automation Oy, Tutor Business<br>Unit Manager Engineering<br>Tapio Lähteinen |  |

---

### Abstract

This thesis deals with the creation of a development and testing environment for a theater control system. The thesis was done for marketing, testing and educational purposes. The goal of the project was to create a development and testing environment out of an already existing show control system developed by Insta Automation. All the relevant features that bring additional value for the client have been taken into account.

The development and testing system was created based on the show control system deliveries by Insta Automation. The relevant functions and typical equipments were gathered from the whole control system as part of the development and testing environment. The system was created in the facilities of Insta Automation in Sarankulma, Tampere. The system will be used for marketing purposes and for training theater staff and the personnel of Insta Automation as well as testing new innovations and applications.

The project consisted of equipment engineering, composition and installation as well as commissioning and testing of the show control system. The designing and implementation of the system's programs and logic codes fall outside the scope of this thesis.

This thesis is part of product development and contains findings developed by Insta Automation. For these reasons, the thesis has been declared classified for the next five years.

---

Keywords

show control system, testing environment, development environment, Insta Automation

## Esipuhe

Haluan kiittää Insta Automation Oy:tä mahdollisuudesta tehdä tämä työ. Erityisesti haluan kiittää liiketoimintajohtajaa Jyri Stenbergiä, sekä ylläpito- ja elinkaaripalveluiden yksikönpäällikköä Tapio Lähteistä työn aiheen keksimisestä sekä mahdollistamisesta. Haluan myös kiittää työkavereita korvaamattomasta tuesta, kannustuksesta ja avusta, jota olen heiltä saanut. Suuri kiitos tuesta ja kannustuksesta kuuluu myös perheelle ja läheisille.

Tampereella 11.4.2010

-----

Mikko Virtanen

# Sisällysluettelo

|   |  |    |
|---|--|----|
| 1 | Johdanto.....  | 8  |
|   | 1.1 Työn tarve .....   | 8  |
|   | 1.2 Sisältö.....   | 8  |
| 2 | Näyttämötekniikan ohjausjärjestelmä.....                       | 10 |
|   | 2.1 Moottorikäytöt .....                                       | 10 |
|   | 2.2 Ajopaikat.....   | 12 |
|   | 2.3 Logiikka ja väylät.....                                    | 15 |
| 3 | Laitetoimittaja.....   | 16 |
|   | 3.1 Taajuusmuuttajakäyttö.....                                 | 16 |
|   | 3.2 WOP langaton ohjauspaneeli.....                            | 17 |
| 4 | Laitesuunnittelu .....   | 18 |
|   | 4.1 I/O-listaus.....   | 18 |
|   | 4.2 Turvalogiikan I/O.....                                     | 19 |
|   | 4.3 Piirikaaviot.....  | 20 |
|   | 4.4 Osaluettelot .....   | 20 |
|   | 4.5 Layout-piirustukset .....                                  | 21 |
|   | 4.6 Muu dokumentointi.....                                     | 21 |
| 5 | Standardit ja määräykset.....                                  | 23 |
|   | 5.1 Konedirektiivi 2006/42/EY.....                             | 23 |
|   | 5.2 Turvaluokat .....  | 24 |
|   | 5.3 Hätäpysäytykset .....                                      | 26 |
|   | 5.4 Turvaväylä .....   | 28 |
| 6 | Näyttämötekniikan kehitys- ja testausympäristö .....           | 30 |
|   | 6.1 Tankonostin.....   | 30 |
|   | 6.2 Pistenostin .....  | 32 |
|   | 6.3 MCC1 moottorinohjauskeskus.....                            | 34 |
|   | 6.4 ACC1 automaatiokeskus.....                                 | 35 |
|   | 6.5 MOP pääohjauspaneeli .....                                 | 37 |
|   | 6.6 WOP langaton ohjain .....                                  | 40 |
|   | 6.7 XC1 langattoman ohjaimen säilytyskaappi.....               | 41 |
|   | 6.8 Väyläratkaisut .....                                       | 42 |
| 7 | Kehitys- ja testausympäristön kokoonpano ja käyttöönotto ..... | 43 |
|   | 7.1 Kokoonpano ja kaapelointi .....                            | 43 |

|     |                          |    |
|-----|--------------------------|----|
| 7.2 | Sähköistys .....         | 44 |
| 7.3 | I/O-testaus .....        | 45 |
| 7.4 | Toimintakokeet .....     | 46 |
| 7.5 | Hätäpysäytyskokeet ..... | 47 |
| 7.6 | Kuormituskokeet.....     | 47 |
|     | Lähteet .....            | 49 |

#### Liitteet

|  |           |
|--|-----------|
| Liite 1. Väyläkaavio                         | (1 sivu)  |
| Liite 2. I/O-lista                           | (2 sivua) |
| Liite 3. Turvalogiikan I/O-lista             | (1 sivu)  |
| Liite 4. MCC-keskuksen piirikaavio esimerkki | (1 sivu)  |
| Liite 5. ACC1-keskuksen osaluettelo          | (3 sivua) |
| Liite 6. MCC1-keskuksen layout-piirustus     | (1 sivu)  |
| Liite 7. Kaapeliluettelo                     | (1 sivu)  |
| Liite 8. Kilpiluetelo                        | (2 sivua) |

## Lyhenteet ja erityissanasto

|                                    |   |   |
|------------------------------------|---|---|
| MOP (Main Operation Panel)         | = | Pääohjauspaneeli  |
| SOP (Side Operation Panel)         | = | Sivuohjauspaneeli   |
| LOP (Local Operation Panel)        | = | Paikallisohjauspaneeli  |
| WOP (Wireless Operation Panel)     | = | Langaton ohjauspaneeli  |
| I/O (Input/Output)                 | = | Tulot/Lähdöt  |
| Whisper Show Control               | = | Insta Automation Oy:n<br>näyttämötekniikan ohjaussovellus     |
| MCC (Motor Control Cabinet)        | = | Moottorinohjauskeskus   |
| ACC (Automation Control Cabinet)   | = | Automaatiokeskus  |
| UPS (Uninterruptible Power Supply) | = | Varajännitteensyöttö  |
| NTNK                               | = | Nousukeskus   |
| EC (Electric Cabinet)              | = | Jännitteenjakelukeskus  |
| Layout-piirustus                   | = | Komponenttien asettelu<br>suunnitelma                         |
| CEN                                | = | The European Committee for<br>Standardization                 |
| CENELEC                            | = | European Committee for<br>Electrotechnical<br>Standardization |
| SIL                                | = | Safety Integrity Level  |
| SmartSlice                         | = | Omron Electronics Oy:n etä I/O-<br>kortin tuotenimi           |

# 1 Johdanto

Insta Automation Oy (myöhemmin Insta) on toimittanut näyttämötekniikkaa useisiin teattereihin Suomessa. Merkittävimpinä näyttämötekniikan toimituksina pidetään Suomen Kansallisopperan saneerausta vuonna 2008. Myös muissa pienemmissä teattereissa on Instan toimittamaa näyttämötekniikkaa.

## 1.1 Työn tarve

Suomessa monen teatterin näyttämötekniikka on huonossa kunnossa ja saneeraustarpeessa. Maailman taloudellisen tilanteen ja taantumana aikana kilpailu projekteista on koventunut ja pientenkin projektien merkitys on kasvanut viimeisten vuosien aikana. Insta on vuosien varrella kehittänyt teatterien näyttämötekniikan ohjausjärjestelmän, joka on helposti räätälöitävissä jokaisen teatterin tarpeiden ja halukkuuden mukaisesti. Ongelmana on kuitenkin ollut markkinointi ja tuotteen esittely eri teatteriorganisaatioille. Työn tarkoituksena on tuoda esiin järjestelmän helppokäyttöisyyttä, monipuolisuutta sekä avoimuutta kilpailijoiden vastaavan tyyppiin järjestelmiin verrattuna.

## 1.2 Sisältö

Tämä työ käsittelee näyttämötekniikan ohjausjärjestelmän kehitys- ja testausympäristön luomista, jonka avulla on tarkoitus kehittää ja markkinoida Instan järjestelmää sekä helpottaa uusien innovaatioiden testausta ja kehitystä. Testausympäristö sisältää kaikki samat näyttämötekniset ominaisuudet kuin täysimittainen teatteri, mutta on laitteiden ja erilaisten nostinten osalta rajattu kattamaan vain kaikkein havainnollisimmat ja olennaisimmat osat järjestelmästä. Kehitys- ja testausympäristö sijaitsee Instan toimitiloissa Tampereen Sarankulmassa. Sijainnilla helpotetaan tuotekehitystä sekä mahdollisia koulutus- ja esittelytilaisuuksien järjestelyjä.



Alkuperäinen järjestelmä on pääosin toteutettu Omron Electronics Oy:n (myöhemmin Omron) valmistamilla logiikka- ja taajuusmuuttajakomponenteilla. Kuitenkin kilpailun kovenuttua ja kehityksen mentyä eteenpäin ovat muutkin valmistajat olleet halukkaita kehittämään yhteistyötään Instan kanssa. Siemens Oy (myöhemmin Siemens) on ilmaissut halukkuuttaan yhteistyöhön. Neuvotteluita käytiin yhtiön edustajien kanssa ja pyrittiin selvittämään mahdollisuuksia toteuttaa näyttämötekniikan ohjausjärjestelmä heidän toimittamillaan komponenteilla.

## 2 Näyttämötekniikan ohjausjärjestelmä

Näyttämötekniikan ohjausjärjestelmä käsittää kaiken automaation, joka liittyy näytöksissä käytettävän lavastuksen, valo- ja äänitekniikan sekä muun välineistön ja henkilöstön siirtoon ja liikutteluun näytösten aikana. Ohjausjärjestelmä sisältää useimmiten kymmeniä tai jopa satoja taajuusmuuttajakäyttöjä sekä muita mahdollisia moottorin ohjauksia, joita tulee pystyä esitysten aikana ohjaamaan millimetrin tarkasti ja hallitusti vaarantamatta näyttelijöiden tai muiden näytöksessä työskentelevien henkilöiden työturvallisuutta.

Ohjaus eli ajo tapahtuu erillisistä ajopaikoista, joita voi olla useita. Pääsääntöisesti ohjauspaikat sijaitsevat ympäri teatteria, joko huoltosilloilla tai sivuvarastoissa, kuitenkin aina siten, että ajava näyttämötyöntekijä on näytelmää seuraavalta yleisöltä piilossa.

### 2.1 Moottorikäytöt

Yleisimmin näyttämötekniikassa käytetyt moottorikäytöt ovat taajuusmuuttaja- tai servokäyttöjä, koska moottorikäyttöiltä vaaditaan millimetrin tarkkaa paikoitusta. Instan ohjausjärjestelmässä moottorikäytöt ovat taajuusmuuttajilla toteutettuja.

Taajuusmuuttajakäyttöillä toteutettuja moottorin ohjauksia ovat esimerkiksi tankonostimet (Kuvio 1.), joilla nostetaan ja lasketaan tankoihin ripustettuja lavasteita. Näin voidaan ohjausjärjestelmästä vaihtaa lavasteet eri näytännön kohtauksiin nopeasti ja ennakkoon suunnitellusti.

**Kuvio 1. Tankonostin**

Toinen esimerkki taajuusmuuttajakäytöstä on lattianostin (Kuvio 2.). Lattianostimilla voidaan lavasteita laskea permantotason alapuolelle piiloon ja vastaavasti nostaa permantotason yläpuolelle.

**Kuvio 2. Lattianostin**

Kolmas yleinen taajuusmuuttajakäyttö on pistenostin (Kuvio 3.), jota käytetään tankonostimen tapaan lavasteiden pystysuuntaiseen siirtelyyn. Pistenostimessa ei ole monesta kohtaa ripustettua tankoa, vaan siinä on vaijeri, jonka päähän lavaste kiinnitetään.

Edellä mainittujen esimerkkien lisäksi ohjausjärjestelmään kuuluu yleisesti valaisinansaat, esirippu, taustaverho, orkesterinostimet, ylärajoitin, sivuvalaisinansaat, pyörölattia, mattonostimet sekä muita erilaisia nostimia tarpeen mukaan. Testausympäristöön tehtiin yksi tankonostin ja yksi pistenostin.

**Kuvio 3. Pistenostin**

## **2.2 Ajopaikat**

Ajopaikalla tarkoitetaan paikkaa tai erillistä ohjainta, josta voidaan hallita ohjausjärjestelmää joko täydellisesti tai osittain. Ajopaikkojen sijoittelun tarve yleensä vaihtelee teoksen vaatimusten mukaan. Ajopaikkoja on yleensä useita. Ajettavien laitteiden määrä sekä näköyhteys ajettaviin laitteisiin vaikuttavat usein ajopaikkojen sijaintiin ja lukumäärään. Muuttuvista tarpeista johtuen ei kaikkia ajopaikkoja rakenneta kiinteiksi ajopulpeteiksi, vaan osa on liikuteltavia pienikokoisia ja kevyitä ohjaimia.

Yleensä suuremmissa järjestelmissä on yksi tai kaksi pääohjauspaneelia eli MOP:ia (Kuvio 4.), joista pystytään hallitsemaan kaikkia järjestelmään kuuluvia laitteita sekä ajamaan etukäteen ohjelmoituja vaihtoja eli useamman laitteen ajoja samanaikaisesti.

#### **Kuvio 4. Pääohjauspaneeli**

Lisäksi tarpeen mukaan pyritään sijoittelemaan sopiviin paikkoihin sivuohjauspaneeleita eli SOP:eja (Kuvio 5.). SOP:it ovat yleensä langallisia liikuteltavia ohjaimia, joita voidaan kytkeä niille varattuihin liityntäpisteisiin. Liityntäpisteiden määrään vaikuttaa teatterin koko sekä yleisesti järjestelmän ja teatterin rakenne, yleensä niitä on 2 - 20 kpl.

#### **Kuvio 5. Sivuhjauspaneeli**

Pää- ja sivuohjauspaikkojen lisäksi tarvitaan joillekin laitteille paikallisohtauspaneeleja eli LOP:eja (Kuvio 6.).

Paikallisohjauspaneeli tarvitaan, kun jotain tiettyä laitetta ei voida turvallisesti ajaa muilta ajopaikoilta joko estyneen näköyhteyden takia tai kyydissä olevien ihmisten takia.

#### **Kuvio 6. Paikallisohjauspaneeli**

Nykyaikaisessa näyttämötekniikan ohjausjärjestelmässä on ajopaikkojen lisäksi usein myös tarve langattomalle ohjaimelle eli WOP:ille (Kuvio 7.). Langattomuus helpottaa ajoja paikoissa ja tilanteissa, joissa muiden ajopaikkojen käyttö on mahdotonta. Langaton ohjain on käytännössä samanlainen kuin SOP, mutta se ei ole riippuvainen liityntäpisteiden sijoittelusta. Langaton ohjain toimii radiosignaalin välityksellä ja sille rakennetaan yleensä liityntäpisteen kaltainen tukiasema.

Tukiasema ja antennit puolestaan on sijoiteltu siten, että langattoman ohjaimen kuuluvuus kattaa koko näyttämöalueen. Testausympäristöön suunniteltiin pääohjauspulpetti sekä langaton ohjain.

#### **Kuvio 7. Langatonohjain**

### 2.3 Logiikka ja väylät

Koko ohjausjärjestelmä perustuu Whisper Show Control -nimiseen ohjaussovellukseen. Whisper on Visual Basic -pohjainen sovellus, jolla hallinnoidaan koko ohjausjärjestelmää. Sovellus sijaitsee päätielokoneessa, joka puolestaan keskustelee Ethernet-väylän välityksellä ohjelmoitavien logiikoiden kanssa. Taajuusmuuttajat, nostinten paikkaa seuraavat absoluuttianturit sekä hajautetut I/O-yksiköt keskustelevat puolestaan DeviceNet-väylän tai vastaavan välityksellä logiikoiden kanssa.

Kaikki nostimilta ja muilta laitteilta tuleva I/O on kytketty hajautettuihin I/O-yksiköihin. Hajautetut I/O-yksiköt puolestaan ovat väylän välityksellä yhteydessä päälogiikkaan. Esimerkki väyläkaaviosta on esitetty liitteessä 1.

### 3 Laitetoimittaja

Siemens on halunnut tulla mukaan yhteistyöhön näyttämötekniikan osa-alueelle. Siemens on automaatiotekniikoiden kehittämisessä merkittävä toimija ja sen logiikka-ym. sovellukset ovat laajalti käytössä ympäri maailmaa. Siemens ja Insta ovat aikaisemminkin neuvotelleet yhteistyöstään näyttämötekniikan ohjausjärjestelmäsovellusten osalta.

Tämän työn yhteydessä tarkoituksena oli selvittää tämän päivän tilanne ja halukkuus Siemensin osalta. Neuvotteluosuus ei kuulunut tämän työn sisältöön, mutta oli merkittävässä osassa työn lopullisen laajuuden ratkaisemisessa.

#### 3.1 Taajuusmuuttajakäyttö

Siemensillä on oma taajuusmuuttajamallistonsa, samoin kuin oma servokäyttömallistonsa. Siemens tarjosi ensisijaiseksi ratkaisuksi moottorien ohjaukseen servotekniikkaa.

Servotekniikan hinnan, aikaisempien hyvien kokemusten sekä olemassa olevan järjestelmäratkaisun perusteella Insta kuitenkin halusi jatkaa taajuusmuuttajien käyttöä.

Selvitettyään omien taajuusmuuttajien soveltuvuutta Instan järjestelmään Siemens tuli siihen tulokseen, että heiltä löytyvä 15 kHz:n kytkentätaajuudella toimiva taajuusmuuttaja johtaisi liian suureen ylimitoitukseen, jolloin heidän taajuusmuuttajien käyttö ei olisi taloudellisesti kannattavaa eikä teknisestikään mahdollista.

Tämä tosiasia oli merkittävä tehtäessä ratkaisuja Siemensin mukaantulosta tähän projektiin.



### 3.2 WOP langaton ohjauspaneeli

Siemensillä on olemassa valmis tuote langattomaan ohjaamiseen. Tuote sinällään on vastaava kuin Instan aikaisemmin käyttämä langaton ohjainratkaisu, mutta merkittäväksi ongelmaksi muodostui Whisper-sovelluksen ja Siemensin logiikoiden välisen rajapinnan yhdistäminen. Sopivaa ratkaisua olisi alettu suunnitella mikäli muista komponenteista ja ratkaisuista olisi päästy sopimukseen.

## 4 Laitesuunnittelu

Laitesuunnittelun ensimmäisessä vaiheessa tuli selvittää, mitä Insta haluaa testausympäristöön toteutettavan.

Testausympäristö päätettiin toteuttaa siten, että se mahdollisimman laajasti antaisi asiakkaille kuvan järjestelmän monipuolisuudesta ja helppokäyttöisyydestä.

Isoon järjestelmään kuuluvaa logiikoiden kahdennusta ei kuitenkaan toteuteta, eikä myöskään sähkönsyötön UPS-järjestelmää tulla toteuttamaan.

Testausjärjestelmään tulisi siis kuulumaan moottorinohjauskaappi MCC1, automaatiokaappi ACC1, pääohjauspaneeli MOP, sekä langaton ohjauspaneeli WOP, joilla tultaisiin ohjaamaan yhtä pistenostinta sekä yhtä tankonostinta.

Täysimittaiseen näyttämötekniikan ohjausjärjestelmään kuuluu yleensä nousukeskus NTNK, josta jännitteenjakelu on hajautettu erillisille jännitteenjakokaapeille eli EC:ille, joista puolestaan syötetään automaatio- ja moottorinohjauskaappeja.

Viimeisimmissä Instan toteuttamissa järjestelmissä, kuten Lahden Kaupunginteatterissa on tankonostimien moottorinohjauskeskus jokaiselle tankonostimelle paikallinen, kun taas pistenostimien moottorinohjauskeskukset ovat ryhmitelty neljän pistenostimen ryhmiin.

Ryhmittely luo testausympäristön laitesuunnitteluun hieman muutoksia, etenkin nousukeskuksen ja jännitteenjakelukeskuksen poisjäännin osalta, mutta myös moottorinohjauskeskusten yhteensovittamisen osalta.

### 4.1 I/O-listaus

Laitesuunnittelu aloitettiin I/O-listan kokoamisella. Sisääntulot ja lähdöt tuli kerätä järjestelmään liitettävien laitteiden ja toimintojen avulla. I/O-listan kerääminen helpottaa myös osien valinnassa ja osaluetteloiden kokoamisessa.

Jo aikaisemmin toteutettujen järjestelmien I/O-listan perusteella kerättiin kaikki yhtä pistenostinta ja yhtä tankonostinta koskevat I/O:t.

Nostinten osalta I/O koostuu lähinnä turvarajoista, löysänköyden vahdeista, jarrujen ohjauksista sekä paikka- ja kuormamittauksista. Lisäksi taajuusmuuttajalta väylää pitkin saatava I/O on otettava huomioon. I/O:ta tulee myös erilaisilta huoltokytkimiltä, ajopaikkojen joystick-ohjaimilta sekä tietenkin hätäpainikkeilta ym. Esimerkki I/O-listasta on esitetty liitteessä 2.

Kun kaikki tavallinen I/O oli listattu, pystyttiin helposti laskemaan tarvittavien SmartSlice-korttien ja muiden logiikkaosien määrät. Samalla suunniteltiin I/O:n hajautusta moottorinohjaus- ja automaatiokeskuksen välillä, jotta välttyttäisiin mahdollisimman hyvin turhalta johdottamiselta kahden eri keskuksen välillä. Kuva Omron SmartSlice-korteista on esitetty kuviossa 8.

**Kuvio 8. SmartSlice-kortteja**

## **4.2 Turvalogiikan I/O**

Tavallisen I/O:n lisäksi näyttämötekniikkaan kuuluu olennaisena osana turvalogiikka ja turvalogiikan I/O. Turvalogiikalla tarkoitetaan erillistä päälogiikasta erillään olevaa logiikkaa, joka valvoo turvatoimintoja, kuten hätäpainikkeita ja ohjausjännitteitä. Esimerkiksi hätäpainikkeet ovat kahdessa erillisessä kanavassa, joita valvovat erilliset turvalogiikan syöttämät testipulssit.

Näiden kahden kanavan välistä vastausviivettä valvotaan ja siten voidaan varmistua piirin toimivuudesta hätätilanteessa. Turvalogiikan I/O:ta ja tavallisen logiikan I/O:ta ei saa sekoittaa keskenään.

Edellisen kohdan I/O-listauksen tavoin tehtiin myös turvalogiikkaa koskevan I/O-lista. Testausympäristössä turvalogiikalla valvotaan ja ohjataan hätäpiirejä, hätäpiirien kuittauksia, pää- ja ohjauskontaktoreita, liityntäpisteiden aktivointeja sekä muutamaa muuta turvalogiikalle tyypillistä toimintaa. Liitteessä 3. on esitetty turvalogiikan I/O-lista.

### **4.3 Piirikaaviot**

Laitesuunnittelun seuraavassa vaiheessa piirrettiin järjestelmän piirikaaviot. Piirikaavioiden suunnittelu on tärkeää tässä vaiheessa siksi, että pystytään hahmottamaan tarvittavien komponenttien määrä ja voidaan koostaa osaluettelot.

Aikaisempien projektien piirikaavioiden yhdistäminen ja muokkaus osoittautui yllättävän hankalaksi. NTNK- ja EC-keskukset jätettiin pois ja kaksi erillistä MCC-kaappia yhdistettiin yhdeksi isoksi MCC1-kaapiksi. Piirikaaviot suunniteltiin käyttäen Kyndata Oy:n Cads-ohjelmistoa. Esimerkki MCC1-keskuksen piirikaaviosta on esitetty liitteessä 4.

### **4.4 Osaluettelot**

Osaluetteloiden luominen tapahtui melko pitkälle aikaisempien projektien pohjalta. Piirikaavioista kerättyjen osaluetteloiden avulla haettiin aikaisempien projektien vastaavista osaluetteloista vastaavia komponentteja ja mitoitettiin niiden arvot testausympäristöprojektiin soveltuviksi. Osaluetteloiden perusteella pystytään tilaamaan tarvittavat osat projektia varten nyt sekä tietenkin tulevaisuudessakin, mikäli on tarvetta varaosille.

Osien toimittaja tulee ennen projektia sopia joko yrityksen sisäisen käytännön mukaiseksi tai asiakkaan haluamaksi.

Testausympäristön suunnittelun osalta tavarantoimittaja oli joiltakin osin vaihtunut Instan sisällä, joten jouduttiin valitsemaan ja etsimään vastaavia komponentteja toiselta toimittajalta osaluetteloiden valmiiksi saattamiseksi. Esimerkki ACC1-keskuksen osaluettelosta on esitetty liitteessä 5.

#### **4.5 Layout-piirustukset**

Osaluetteloiden valmistuttua oli edessä layout-piirustusten suunnittelu. Kuten jo aikaisemmissa kohdissa todettiin, tuli layout-suunnittelussa ottaa huomioon NTNK:n ja EC:n poisjäänti sekä moottorikaappien yhdistäminen. Cads-ohjelmiston työkaluja hyväksi käyttäen piirrettiin alustavat layout-piirustukset osaluetteloiden komponenteilla.

Layout-piirustuksissa tuli ottaa huomioon myös taajuusmuuttajavalmistajan antamat vähimmäisetäisyydet taajuusmuuttajien ympärille sekä mahdolliset myöhemmin tarvittavat tilavaraukset laajennuksille.

Layout-piirustusten myötä valittiin keskustoimittajan luettelon mukaiset keskuksat ja kotelot projektia varten. Kuva MCC1-keskuksen layout-piirustuksesta on esitetty liitteessä 6.

#### **4.6 Muu dokumentointi**

Edellä mainittujen dokumenttien lisäksi luodaan usein muitakin kokoonpanoa, huoltotöitä sekä komponenttihankintoja helpottavia dokumentteja kuten kaapeli- ja kilpiluetelo

Kaapeliluetteloon kirjataan kaikki järjestelmän kaapelit. Kaapeliluettelosta selviää yksittäisen kaapelin tunnus, tyyppi sekä mistä keskukselta kaapeli alkaa ja mihin keskukseseen se loppuu. Kaapeliluettelolla helpotetaan kokoonpano- ja huoltotöitä. Esimerkki kaapeliluettelosta on esitetty liitteessä 7.

Kilpiluetteloon kirjataan kaikki järjestelmän laite-, keskus- sekä kaapelitunnistekilvet. Kilpiluettelosta ilmenee kilvenkoko, teksti, materiaali sekä kiinnitystapa. Kilpiluettelo tehdään usein helpottamaan kilpilausta sekä keskus-, kaapeli- ja laitenumerointia. Esimerkki kilpiluettelosta on esitetty liitteessä 8.

## 5 Standardit ja määräykset

Teollisuuskohteisiin verrattuna teatterikohteet ovat poikkeuksellisia. Teollisuutta koskevia standardeja ja määräyksiä joudutaan usein soveltamaan, jotta näytösten tekeminen ylipäätään on mahdollista.

Teatteriympäristö on myös poikkeuksellinen siinä mielessä, että liikkuvien koneiden, tankojen sekä nostinten ympärillä työskentelee ihmisiä koko ajan. Näyttämöteknisissä ratkaisuissa tulee myös ottaa huomioon se, että näyttämötekniistä henkilöstöä lukuunottamatta, suurimmalla osalla koneiden kanssa työskentelevistä henkilöistä ei ole tekniistä koulutusta.

Teatterinäyttämöt ovat vaarallisia ja siksi turvallisuus tulee huomioida erityisen hyvin, vaikka standardit ja määräykset eivät teattereita kaikissa määrin koskisikaan.

Kaikissa rakennus- ja saneerauskohteissa kuten myös koneenrakennuksessa tulee huomioida turvallisuus. Turvallisuusasiat kartoitetaan usein etukäteen sekä työn tilaajan että käyttäjän kanssa. Turvallisuusvaatimuksista laaditaan dokumentit riskianalyysien perusteella. Toteutunutta turvallisuuden tasoa ja ratkaisuja valvotaan erilaisten testien ja koeajojen perusteella. Tulokset raportoidaan ja luovutetaan asiakkaalle loppudokumenttien mukana.

Rakentamista ja käyttöä valvovat teattereissa työsuojeluviranomaiset sekä tarkastuslaitokset kuten Inspecta.

Tämä työ on tehty Instan omaan koulutus- ja markkinointikäyttöön ja näin ollen erillisiä riskianalyysijä ei tehty. Turvaratkaisussa käytettiin aikaisempien kohteiden tietoa ja näin saatiin taattua teattereita vastaava ja yleisesti hyväksytty turvallisuuden taso.

### 5.1 Konedirektiivi 2006/42/EY

Konedirektiivi on Euroopan Unionin laatima direktiivi, jossa on esitetty ”koneen” määritelmä.

Konedirektiivi hyväksyttiin Euroopan Unionin neuvostossa ja se julkaistiin vuonna 1989. Konedirektiiviä on täydennetty muutamaaan otteeseen julkaisemisen jälkeen ja nykyisin käytössä oleva direktiivi on yhdistetty versio 2006/42/EY.

Konedirektiivi 2006/42/EY on saatettu Suomessa voimaan valtioneuvoston asetuksella koneiden turvallisuudesta 400/20081 (koneasetus).

(<http://www.sfs.fi/files//kone-esite.pdf> .2010)

Heti Konedirektiivin julkaisemisen jälkeen CEN ja CENELEC julkistivat ohjelman, jolla pyrittiin kehittämään standardeja konedirektiivin tueksi.

(Omron Europe B.V. Turvasovellusten käsikirja. 2003. sivu 2).

Konedirektiivi koskee myös näyttämötekniisiä ratkaisuja, mutta sen noudattaminen on heikkoa teattereiden omalta taholta. Kuitenkin tulee muistaa, että teattereilla on myös oma työturvallisuutta valvova taho, joka valvoo heidän sisäistä toimintaansa.

Konedirektiivi koskee tietysti myös teatterilaitteistoja toimittavia tahoja, kuten Instaa. Tästä syystä esimerkiksi keskusvalmistuksessa Insta noudattaa yleisesti konedirektiivin mukaisia komponentteja ja vaatimuksia.

## 5.2 Turvaluokat

Standardi *SFS-EN 954-1 Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet* määrittelee riskien vähentämisen. Riskien vähentäminen on syytä ottaa huomioon alusta alkaen, kun koneiden ja laitteistojen suunnittelu aloitetaan.

Standardi EN 945-1 jakaa turvallisuusvaatimukset viiteen luokkaan:

### Luokka B

Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat on vähintäänkin suunniteltava, rakennettava, valittava, koottava ja yhdistettävä asiaankuuluvien standardien mukaisesti käyttämällä tiettyä sovellusta vastaavia turvallisuuden peruseriaatteita siten, että ne kestävät odotetun käytön rasitukset.



(SFS-EN 954-1 Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet, kohta 6.2.1 )

### Luokka 1

Luokassa 1 sovelletaan lisäksi luokan B vaatimuksia. Käytetään ”hyvin koeteltuja” komponentteja ja turvallisuusperiaatteita.

Vian esiintyminen voi johtaa turvatoiminnon menettämiseen, mutta vian esiintymisen todennäköisyys on pienempi kuin luokassa B.

(SFS-EN 954-1 Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet, kohta 6.2.2 )

### Luokka 2

Luokassa 2 on sovellettava luokan B ja hyvin koeteltujen turvallisuusperiaatteiden sekä tämän kohdan vaatimuksia. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmän osat on suunniteltava siten, että koneen ohjausjärjestelmä tarkastaa niiden toiminnot sopivin väliajoin. Vian esiintyminen voi johtaa turvatoimien menettämiseen tarkistusten välillä. Turvatoiminnon menettäminen havaitaan tarkistuksessa.

(SFS-EN 954-1 Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet, kohta 6.2.3)

### Luokka 3

On sovellettava luokan B vaatimuksia ja hyvin koeteltuja turvallisuusperiaatteita. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmän osat on suunniteltava siten, että yksittäinen vika missään osassa ei johda turvatoimintojen menettämiseen sekä mahdollisuuksien mukaan yksittäinen vika havaitaan.

(SFS-EN 954-1 Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet, kohta 6.2.4)

#### Luokka 4.

On sovellettava luokan B vaatimuksia ja hyvin koeteltuja turvallisuusperiaatteita. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmän osat on suunniteltava siten, että yksittäinen vika missään osassa ei johda turvatoimintojen menettämiseen sekä yksittäinen vika havaitaan silloin, kun turvatoimintoa tarvitaan seuraavan kerran tai ennen sitä. Jos tämä ei ole mahdollista, vikojen kerääntyminen ei saa johtaa turvatoimintojen menettämiseen.

(SFS-EN 954-1 Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät Ohjausjärjestelmien osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet, kohta 6.2.5)

Instan toteuttamisessa näyttämötekniikan ohjausjärjestelmissä sovelletaan turvaluokkaa 4.

### **5.3 Hätäpysäytykset**

Hätäpysäytyksiä koskevia keskeisiä standardeja on kolme. *SFS-EN ISO 13850 (Koneturvallisuus. Hätäpysäytys. Suunnitteluperiaatteet)* määrittelee toiminnalliset näkökohdat ja suunnitteluperiaatteet. *SFS-EN 60204-1 (Koneturvallisuus. Koneiden sähkölaitteisto. Osa 1: Yleiset vaatimukset)* käsittelee koneturvallisuutta yleisesti sekä *SFS-EN 1037 (Koneturvallisuus. Odottamattoman käynnistymisen estäminen)* puolestaan käsittelee odottamattoman käynnistymisen estoon liittyviä asioita.

SFS-EN ISO 13850 määrittää hätäpysäytystoiminnoille kaksi pysäytysluokkaa. Luokat 0 ja 1 ovat seuraavat:

#### Pysäytysluokka 0

”Välitön tehonsyötön katkaisu toimilaitteelle (-laitteille), tai vaarallisten osien ja niiden toimilaitteiden mekaaninen irtikytkeminen (irrotus) toisistaan sekä tarvittaessa jarrutus.”

(SFS-EN ISO 13850 Koneturvallisuus. Hätäpysäytys. Suunnitteluperiaatteet kohta 4.1.4)

## Pysäytysluokka 1

”Hallittu pysähtyminen säilyttäen tehonsyöttö toimilaitteelle (-laitteille) pysähtymisen aikaan saamiseksi sekä tehonsyötön katkaisu, kun pysähtyminen on saatu aikaan.”  
(SFS-EN ISO 13850 Koneturvallisuus. Hätäpysäytys. Suunnitteluperiaatteet kohta 4.1.5)

Instan toteuttamissa näyttämötekniikan ohjausjärjestelmissä sovelletaan pysäytysluokkaa 1.

Instan järjestelmässä hätäpysäytyspainiketta painettaessa, moottoreita ohjaavassa taajuusmuuttajassa säilytetään teho niin kauan, että taajuusmuuttaja ehtii ajamaan hätäpysäytysrampin. Ajamalla hätäpysäytysramppi vähennetään nostimiin kohdistuvaa räsitusta ja pehmennetään äkillistä pysähdystä, jotta mahdolliset nostimiin kiinnitetyt painavat lavasteet eivät pysähtyessään aiheuta vaaratilanteita. Tehojen ylläpitoaika on muutamia millisekunteja. Hätäpysäytystilanteessa kyseisellä viiveellä ei ole merkittävää vaikutusta.

Hätäpysäytyspainikkeen painamisen jälkeen järjestelmästä katoaa teho edellä mainitulla tavalla. Tehon palauttaminen tapahtuu painamalla hätäpysäytyskuittauspainiketta. Hätäpysäytyspainikkeiden sijainti vaihtelee järjestelmäkohtaisesti. Lähes poikkeuksetta yksi hätäpysäytys- ja hätäpysäytyskuittauspainike on sijoitettu pääohjauspaneeliin tai sen välittömään läheisyyteen.

Esimerkki kuva standardin mukaisesta hätäpysäytyspainikkeesta on esitetty kuviossa 10.

**Kuvio 10. Standardin EN 418 mukainen hätäpysäytyspainike.**

## **5.4 Turvaväylä**

Monet standardit ovat aiemmin vaatineet turvapiirien osalta niin sanottua langoitettua piiriä, joka on tehnyt turvaväylien käytön mahdottomaksi. Turvaväyläteknikoiden kehittyminen on kuitenkin mahdollistanut turvaväylien käytön ja uusimmat standardit hyväksyvätkin turvainformaation välityksen turvaväylällä. Molempien ratkaisuiden on kuitenkin oltava yhtä luotettavia.

Jotta kommunikointiin saavutetaan riittävä turvataso, on järjestelmän havaittava monestakin eri syystä syntyvät häiriöt, ettei häiriötilanteita pääsisi syntymään. Esimerkkinä tällaisesta häiriöstä voi olla esimerkiksi viestin katoaminen, viestin viive, väärä sekvenssi ym.

Kommunikointiprotokollaan tulee myös lisätä joitakin erikoistoimintoja, jotta voitaisiin saavuttaa tarpeeksi korkea turvallisuuden taso. Esimerkkejä tällaisista erikoistoiminnoista voisi olla esimerkiksi aikaleima, kommunikointiosapuolen tunnistus tms.

Omron jakaa turvaväylät seuraaviin kategorioihin:

#### Kategoria 1

Valmistajakohtaiset järjestelmät.

(Omron Europe B.V. Turvasovellusten käsikirja. 2003. sivu 44)

#### Kategoria 2

Avoimet väylät, joiden takana on useamman valmistajan yhteisö.

(Omron Europe B.V. Turvasovellusten käsikirja. 2003. sivu 44)

#### Kategoria A

Pelkästään turvakäyttöön tarkoitettut väyläratkaisut.

(Omron Europe B.V. Turvasovellusten käsikirja. 2003. sivu 44)

#### Kategoria B

Hybridiväylät, joissa sallitaan vakiokommunikaation lisäksi myös turvakommunikointi samassa väylässä.

(Omron Europe B.V. Turvasovellusten käsikirja. 2003. sivu 44)

Instan toimittamissa näyttämötekniikan ohjausjärjestelmissä turvaväylätaso on pääsääntöisesti 2B, mutta langoitetuilla hätäpysäytyspainikkeilla ym. yksittäisillä ratkaisuilla turvatasoa nostetaan vastaamaan SIL 3 tasoa, joka vastaa standardin EN 61508 Luokkaa 4.

(Omron Europe B.V. Turvasovellusten käsikirja. 2003. sivu 44)

## 6 Näyttämötekniikan kehitys- ja testausympäristö

Ohjausjärjestelmä toteutettiin Instan aikaisempien teatteriprojektien pohjalta. Kehitys- ja testausympäristöstä haluttiin mahdollisimman samankaltainen, kuin täysimittaisesta näyttämötekniikan ohjausjärjestelmästä. Laitteistoon pyrittiin keräämään kaikki oleelliset ominaisuudet sekä erikoisuudet, joilla katsottiin olevat lisäarvoa asiakkaalle.

Tanko- ja pistenostimen sekä muun mekaniikan osalta valmistuksesta vastasi Ypäjän metalli Oy, joka on toiminut Instan yhteistyökumppanina useissa projekteissa mekaniikkasuunnittelun ja -urakoinnin osalta.

Tanko- ja pistenostimet vastaavat mekaaniselta rakenteeltaan täysin Lahden kaupunginteatterin vastaavia nostimia.

### 6.1 Tankonostin

Kehitys- ja testausympäristön tankonostimessa on moottorina tavallinen 18,5 kW taajuusmuuttajaohjattu kolmivaihesähkömoottori.

Moottori on fyysisesti pystyasennossa, jolloin tilan tarve pienenee huomattavasti. Moottori on vaihteiston välityksellä kiinni rummussa, jonka ympärille itse tankoon kiinnitetyt vaijerit kelautuvat moottoria pyöritettäessä.

Rummun koko riippuu vaijerien pituudesta eli iskunpituudesta. Tavallinen iskun pituus on 2 x näyttämöaukon korkeus, jotta koko näyttämöaukon kokoiset lavasteet pystytään nostamaan teatterin kattoon piiloon, joko kohtauksen tai toisen näytöksen ajaksi.

Riippuen teatterin koosta iskun pituus saattaa vaihdella 10 - 35m välillä. Kuva kehitys- ja testausympäristön tankonostimesta on esitetty kuviossa 11.

**Kuvio 11. Kehitys- ja testausympäristön tankonostin.**

Kehitys- ja testausympäristö toteutettiin Instan toimitiloihin. Instan toimitilojen korkeus ei luonnollisestikaan vastaa monia kymmeniä metrejä korkeita teatterirakennuksia. Tästä ja koneiston asettelutavasta johtuen tankoon normaalisti kiinnitetyt vaijerit kiinnitettiin rissapyörien välityksellä kattoon.

Rissapyörillä toteutetun ratkaisun välityssuhde on tässä tapauksessa  $\frac{1}{2}$ . Näin ollen moottorin pyöriessä maksimi nopeudella, itse tangon nopeus laskee puoleen eli 900 mm/s. Kuva tangossa olevista rissapyöristä on esitetty kuviossa 12.

### **Kuvio 12. Nostintangon rissapyörät**

Normaalisti jokaisella tankonostimella on oma moottorikeskus. Moottorikeskus sijaitsee tavallisesti itse nostimen läheisyydessä. Kehitys- ja testausympäristöön toteutetussa ohjausjärjestelmässä tankonostimen moottorikeskus on yhdistetty pistenostimen moottorikeskuksen kanssa. Tästä syystä moottorin läheisyyteen on tehty turvakytkinkotelo, jotta nostimelta tuotavat raja- ym. tiedot voidaan järkevästi kaapeloida moottorikeskukselle. Näin toimimalla myös turvakytkin säilyy koneen läheisyydessä.

## **6.2 Pistenostin**

Pistenostimessa moottorina toimii tankonostimen kaltainen 11,5 kW taajuusmuuttajaohjattu kolmivaihemoottori. Pistenostimen fyysisestä rakenteesta on pyritty saamaan mahdollisimman pieni ja helposti liikuteltava.

Pistenostimet sijaitsevat tavallisesti teattereissa ns. köysiullakoilla, joissa niitä saatetaan liikutella näyttämöhenkilökunnan toimesta, jopa kesken esityksen.

Kuva kehitys- ja testausympäristön pistenostimesta on esitetty kuviossa 13.



**Kuvio 13. Kehitys- ja testausympäristön pistenostin.**

Koska pistenostimen tulee olla liikuteltava, sen kaapelointi ei yleensä ole kiinteä. Monesti teatterin köysiullakolla on kaksi tai useampia pisteitä, joihin pistenostin voidaan liitosjohtojen avulla kaapeloida.

Kehitys- ja testausympäristössä haluttiin tuoda esiin pistenostimen keveys ja liikuteltavuus. Näin ollen pistenostin toteutettiin siten, että turvakytkinkotelo on sovitettuna pistenostimen kokonaisrakenteeseen. Turvakytkinkotelon oveen on sijoitettu liittimet, joista kaapelointi tapahtuu irrotettavilla välikaapeleilla moottorikeskukselle. Kuva pistenostimen kaapelointitavasta on esitetty kuviossa 14.

**Kuviossa 14. Pistenostimen kaapelointi esimerkki**

### 6.3 MCC1 moottorinohjauskeskus

Todellisessa näyttämötekniikan ohjausjärjestelmässä on yleensä useita moottorinohjauskeskuksia. Jokaisella tankonostimella on oma moottorinohjauskeskus ja pistenostinten moottorinohjauskeskukset jaetaan usein 4 - 6 nostimen ryhmiin. Lisäksi lattia- ja muilla yksittäisillä nostimilla on omat moottorinohjauskeskukset.

Kehitys- ja testausympäristön tanko- ja pistenostin toteutettiin kuitenkin yhdellä yhteisellä moottorinohjauskeskuksella MCC1. MCC1 sisältää siis taajuusmuuttajakäytön sekä tanko- että pistenostimelle.

Lisäksi MCC1 kaappiin on pyritty sisällyttämään kaikki sähkönsyöttöön ja kontaktori-ohjauksiin liittyvät komponentit, jotka normaalisti kuuluisivat nousukeskuksen NTNK tai sähkönjakelukeskuksen EC kokoonpanoon.

Kehitys- ja testausympäristön MCC1 keskuksessa on lisäksi huomioitu mahdollisten laajennusten vaatima tila ja näin ollen keskukseseen on suunniteltu tilavaraus kahdelle myöhemmin lisättävälle taajuusmuuttajalle kontaktoreineen. Kuva moottorinohjauskeskuksen sisältä on esitetty kuviossa 15.

**Kuvio 15. MCC1 moottorinohjauskeskus sisältä.**

MCC1 keskuksen oveen on sijoitettu liittimet paikallisohjainta varten. Paikallisohjaimella voidaan huolto- ja käyttöönottojen aikana ohittaa ajo- sekä turvarajoja. Rajojen ohitus on välttämätön toimenpide kalibrointeja ym. tehtäessä.

Lisäksi kehitys- ja testausympäristön tapauksessa pistenostimen syöttö- ja ohjauskaapeleiden liittimet on sijoitettu suoraan MCC1 keskuksen oveen. Kuva moottorinohjauskeskuksen MCC1 ovista on esitetty kuviossa 16.

**Kuvio 16. Moottorinohjauskeskuksen MCC1 ovet.**

## **6.4 ACC1 automaatiokeskus**

Automaatiokeskus sisältää kaikki olennaiset ohjausjärjestelmään liittyvät komponentit kuten logiikkayksiköt, I/O-kortit, sekä väyläkortit. Lisäksi turvalogiikkakomponentit on sijoitettu automaatiokeskukseen.

Automaatiokeskus on siis koko ohjausjärjestelmän sydän. Se on yhteydessä niin pääohjauspaikkaan kuin langattomiin ym. ohjaimiin. Käytännössä kaikki ohjaukseen liittyvä I/O on automaatiokeskuksessa.

Nostimilta tulevat langoitetut tiedot on kytketty etä-I/O-korteille, jotka sijaitsevat moottorikeskuksessa. Etä-I/O sekä moottorikeskuksessa sijaitsevien taajuusmuuttajien tiedot siirretään väylää pitkin automaatiokeskuksen väyläkorteille. Kuva ACC1 automaatiokaapin sisältä on esitetty kuviossa 17.

#### **Kuvio 17. ACC1 automaatiokeskus sisältä**

Kuten kuvioista 17. voidaan nähdä, automaatiokeskukseen on sijoitettu myös järjestelmän päätietokone. Päätietokoneen tehtävä on suorittaa Whisper Show Control -sovellusta, joka on Instan näyttämötekniikan ohjausjärjestelmään suunniteltu käyttöliittymä.

Päätietokone on automaatiokeskuksen välityksellä yhteydessä logiikkaan, sekä järjestelmän ajopaikkoihin ja ohjaimiin.

Automaatiokaapin oveen on sijoitettu kaikki ohjausjärjestelmän keskeiset painonapit kuten ohjausjännitteen kytkentä, hätäpysäytyspainike, hätäpysäytyksen kuittauspainike, ovivalvontojen ohituskytkin, ajopaikkojen ja ohjainten aktivointipainikkeet sekä erilaisia huoltokäyttöön tarkoitettuja kytkimiä.

Lisäksi ACC1 automaatiokeskuksen ovesta on liittimet, joihin MOP pääohjauspaneeli liitetään. Kuva ACC1 automaatiokaapinovesta on esitetty kuviossa 18.

**Kuvio 18. Automaatiokeskuksen ACC1 ovet.**

## **6.5 MOP pääohjauspaneeli**

MOP pääohjauspaneeli kuuluu poikkeuksetta näyttämötekniikan ohjausjärjestelmään. Pääohjauspaneelin ulkomuoto ja ohjainten määrä vaihtelee asiakkaan toiveiden ja ohjattavien laitteiden sekä ohjaustavan mukaan.

Yleisesti pääohjauspaneeliin kuuluu 1 - 4 kpl joystick-ohjaimia, kosketusnäyttö, 1 - 2 kpl TFT-näyttöjä, hiiri sekä näppäimistö.

Edellä mainitulla kokoonpanolla pääohjauspaneelista tulee yleensä kuitenkin melko iso, mikä ei kehitys- ja testausympäristön tapauksessa ole hyvä asia.

Kehitys- ja testausympäristön pääohjauspaneeli toteutettiin käyttämällä valmista ohjauspulpetiksi tarkoitettua ratkaisua. Näytöksi valittiin 19” TFT näyttö, johon on päälle integroituna kapasitiivinen kosketuksen tunnistava kalvo. Kalvon avulla erillinen kosketusnäyttö voitiin jättää kokonaan pois.

Nostinten ohjaamiseen käytettiin kahta joystick-ohjainta. Lisäksi pääohjauspaneeliin lisättiin hiiri ja näppäimistö. Kuva MOP pääohjauspaneelista on esitetty kuviossa 19.

#### **Kuvio 19. MOP pääohjauspaneeli**

Pääohjauspaneelissa on edellä mainittujen komponenttien lisäksi lähes kaikki samat painonapit ja avainkytkimet kuin ACC1 kaapin ovelta, pois lukien järjestelmän huoltoon ja ajopaikkojen aktivoitiin liittyvät napit.

Pääohjauspaneelin I/O siirretään moninapaisen tiedonsiirtokaapelin avulla ACC1 keskuksen ovelle olevaan liittimeen.

Näytön signaali (VGA) sekä hiiren- ja näppäimistön signaali (USB) siirtyvät puolestaan mediamuuntimen välityksellä Ethernet-väylää pitkin ACC1 keskuksen oveen.

Kosketuskalvon signaali (RS232) puolestaan siirretään suoraan sarjaliikennekaapelilla ACC1 keskuksen oveen.

Mediamuuntimen ja näytön vaatima 230VAC jännite tuodaan pääohjauspaneeliin käyttäen omaa välikaapelia. Kuva pääohjauspaneelin liittimistä ACC1 keskuksen ovelle on esitetty kuviossa 20.

#### **Kuvio 20. MOP pääohjauspaneelin liittimet ACC1 keskuksen ovelle**

Pääohjauspaneelia suunniteltaessa tuli ottaa huomioon pääohjauspaneelin ja ACC1 keskuksen välinen matka, jotta tiedonsiirtokaapelien kuten RS232 signaalit eivät pääse liiaksi heikkenemään.

RS232 signaalien siirtomatka rajoittuu käytännössä 50 jalkaan (noin 20m) tai 2500pF kaapelikapasitanssiin. Käytännössä kaapelin pituus voi olla pidempikin, mutta tiedon siirtonopeutta on tällöin laskettava.

Pääohjauspaneelin ja ACC1- keskuksen välimatka on kuitenkin kehitys- ja testausympäristössä reilusti alle 50m, joten kaapelin maksimipituus ei ole rajoittava tekijä. ([http://www.lammertbics.nl/comm/info/RS-232\\_specs.html](http://www.lammertbics.nl/comm/info/RS-232_specs.html). 2010)

## 6.6 WOP langaton ohjain

Langaton ohjain WOP toteutettiin aikaisempien teatteriprojektien pohjalta. Instan suunnitteleman valetun muovikotelon sisälle asennettiin muutamia piirilevyjä, jotka purettiin Instan tilaamista valmiista kaupallisista komponenteista.

Edellä mainituista komponenteista tärkeimpiä ovat teollisuuskäyttöön tarkoitettu Wlan- sekä radiolähetin/vastaanotin. Ohjaimen pohjana käytettiin Cavotech Oy:n valmistamaa radio-ohjainta. Käyttöliittymä langattomaan ohjaimeseen on tehty Omron Designer -sovelluksella. Käyttöliittymä vastaa toiminnoiltaan pääohjauspaneelin toimintoja, mutta 12-tuumaisen kosketusnäytön sekä pienen kokonsa vuoksi, langattomalla ohjaimella toimintoja on jouduttu karsimaan.

Kuva kehitys- ja testausympäristöön tehdystä langattomasta ohjaimesta on esitetty kuviossa 21.

### **Kuvio 21. Kehitys- ja testausympäristön langaton ohjain**

Kuten kuvioista 21. voidaan huomata, on WOP:issa 12-tuuman kosketusnäyttö laitevalintoja sekä ajon seuraamista varten, hätäpysäytyspainike, joka toimii suojatulla radiotaajuudella, hätäpysäytyksen kuittaus- sekä radiolähtetimen kuittauspainikkeet. Ajo langattomasta ohjaimesta tapahtuu joystick-ohjaimella aivan kuten pääohjauspaneelissakin.

Langattoman ohjaimen sauvassa, kuten myös pääohjauspaneelin sauvoissa on kuolleenmiehenkytkimet, joilla estetään tahattoman ajon mahdollisuus.



Langatonohjain kytkeytyy järjestelmään automaatiokeskuksen katolle sijoitetun radio- ja Wlan-lähetin/vastaanottimien avulla. Automaatiokeskuksen katolla olevat lähetin/vastaanottimet ovat puolestaan kaapeloituina suoraan järjestelmään. Kuva automaatiokeskuksen katolla sijaitsevista lähetin/vastaanottimista on esitetty kuviossa 22.

**Kuvio 22. Radio- ja Wlan-vastaanottimet/lähettimet**

## **6.7 XC1 langattoman ohjaimen säilytyskaappi**

Kun WOP ei ole käytössä, säilytetään sitä sille rakennetussa säilytyskotelossa. Kotelossa on turvarajoista kehitetyt kytkimet, joiden avulla seurataan onko langaton ohjain käytössä vai ei. Mikäli ohjain otetaan käyttöön, tulee se poistaa telineestään ja aktivoida kotelon kannessa sijaitsevasta aktivointikytkimestä.

Näin toimimalla saadaan valvottua pääohjauspaneelistä langattoman ohjaimen liikkeitä sekä laitevalintoja. Langattomasta ohjaimesta valittuja laitteita ei näin ollen voida valita toiseen kertaan pääohjauspaneelistä. Valvonta on toteutettu turvallisuussyistä. Langatonta ohjainta valvomalla vältetään vaarallisilta yhtäaikaisilta ajoilta, jotka ovat mahdollisia silloin, kun kaksi henkilöä ajaa yhtäaikaisesti samaa laitetta toisistaan tietämättä. Kuva langattoman ohjaimen säilytyskaapissa on esitetty kuviossa 23.

**Kuvio 23. Langattoman ohjaimen säilytyskaappi**

## **6.8 Väyläratkaisut**

Näyttämötekniikan kehitys- ja testausympäristön väyläratkaisut toteutettiin kahdella eri väylätyypillä. Tavallinen hajautettu I/O kerättiin Omronin SmartSlice-yksiköille, jotka olivat yhteydessä logiikkaan DeviceNet-väylällä. Turvaväyläyksiköiltä siirrettävä turva-I/O siirrettiin myös samaa DeviceNet-väylää pitkin logiikalle.

Taajuusmuuttajilta saatavat tiedot, eli niin sanottu ohjelmallinen I/O sekä nostinten absoluuttiantureilta taajuusmuuttajille siirrettävän asematiedon välittämiseen käytettiin Profibus-väylää.

Kahden eri väylätyypin käytössä ei tavallisesti ole juurikaan etua, mutta kehitys- ja testausympäristössä haluttiin tuoda esille erilaisia väyläratkaisuja.

## **7 Kehitys- ja testausympäristön kokoonpano ja käyttöönotto**

Kehitys- ja testausympäristön suunnittelun valmistuttua, järjestelmän keskukset ja kaapit valmistettiin Instan verstaalla. Keskusten valmistuksessa noudatettiin konedirektiivin mukaisia turvallisuus- ja johdotusmääräyksiä. Keskus- ja kaappivalmistuksen jälkeen aloitettiin järjestelmän varsinainen kokoonpano.

### **7.1 Kokoonpano ja kaapelointi**

Kokoonpanovaiheessa moottori- ja automaatiokeskus asennettiin oikeille paikoille sekä turvakytinkotelot ja langattoman ohjaimen säilytyskaappi asennettiin niille soveltuville paikoille nostinten läheisyyteen. Kun kaikki keskukset ja kaapit saatiin paikoilleen, alettiin miettiä kaapelointireittejä. Kaapelireiteille asennettiin kaapelihyllyt.

Kaapelointireitiksi valittiin reitti läheltä lattianrajaa, jolloin saatiin kaapelireitit siisteiksi ja pois näkyviltä. Kaapelien läpiviennit moottori- ja automaatiokeskukseen toteutettiin alakautta. Läpivienti alakautta onnistui hyvin keskusten alle asennettavien sokkeleiden ansiosta. Turvakytinkoteloille läpiviennit toteutettiin EMC-holkkitiivisteillä, joilla ylimääräiset häiriöt ja syöttökaapeleiden maadoitukset saatiin toteutettua asianmukaisesti. Kuva sokkelin kautta läpiviedyistä kaapeleista on esitetty kuviossa 24.

#### **Kuvio 24. Sokkelin kautta läpiviedyt kaapelit**

Kun kaikki kaapelit nostimilta turvakatkinkoteloille, turvakatkinkoteloilta järjestelmään sekä eri keskustenväliset kaapeloinnit oli saatu kytkettyä, aloitettiin varsinainen käyttöönotto.

## **7.2 Sähköistys**

Käyttöönotossa sähkökeskukset testataan ja koestetaan. Testauksessa todetaan keskusten toimivuus ja turvallisuus.

Ensimmäisenä keskuksista mitataan eristysvastukset. Eristysvastusmittauksella varmistetaan, että vaiheet ovat erillään nollasta, suojamaasta sekä toisista vaiheista. Eristysvastusmittauksessa syötetään eristysvastusmittarilla 500 V jännite keskukseseen ja todetaan eristysvastuksen olevan yli 1 M $\Omega$ . Jos näin ei ole tulee keskuksen kytkennät tarkastaa. Eristysvastusmittauksessa tulee huomioida järjestelmän herkät komponentit kuten taajuusmuuttajat.

Taajuusmuuttajille syötetty korkea jännitepulssi saattaisi vaurioittaa herkkää elektroniikkaa, joten järjestelmän herkät osat tulee irtikytkeä mittauksen ajaksi.

Kun keskusten eristysvastus on mitattu, tarkastetaan koko järjestelmästä suojamaadoituksen jatkuvuus. Järjestelmän maadoituskiskosta mihin tahansa järjestelmän maadoituspisteeseen mitattuna tulee vastuksen olla alle  $3 \Omega$ . Jos näin ei ole, tulee suojamaadoitusta lisätä.

Keskuksien sulakeautomaatit nostetaan yksitellen oikeassa järjestyksessä ylös ja mittaamalla todennetaan, että jännitteen ovat oikeassa paikassa oikeaan aikaan.

Kun järjestelmä saatiin sähköistettyä kokonaan, aloitettiin ohjelmiston lataus logiikoille. Logiikkaohjelmistot ladattiin Ethernet-kaapelin välityksellä logiikan muistiin. Logiikka-sovelluksena käytettiin Lahden Kaupunginteatterin pohjalta räätälöityä sovellusta.

Kuten logiikkaan tuli myös järjestelmätietokoneeseen ja näytöille ladata käyttöliittymäsovellukset. Koska logiikkasovellukset olivat Lahden Kaupunginteatterin pohjalta räätälöityjä, käytettiin käyttöliittymässä Lahden Kaupunginteatterin käyttöliittymän koodia pohjana kehitys- ja testausympäristössä. Logiikka- ja käyttöliittymä sovelluksen ohjelmoiminen ei kuulunut tämän työn laajuuteen.

### **7.3 I/O-testaus**

Kun ohjelmat ja sovellukset saatiin ladattua järjestelmään, aloitettiin I/O-testaus. I/O-testauksessa käydään kaikki järjestelmän testattavissa oleva I/O läpi kokeilemalla. I/O-testaus on erittäin tärkeää järjestelmän turvallisuuden kannalta, sillä hätäpysäytykset, hätäpysäytystilan kuittaukset, laitteiston ohjaus ym. tulevat järjestelmään I/O-tietona.

I/O-testauksessa järjestelmän testattavissa olevat I/O:t kokeillaan nappeja painamalla, rajoja kääntämällä tai muulla vastaavalla tavalla ja seurataan logiikkakoodista, että I/O-tiedot ja koskettimet vaihtavat tilaa suunnitellusti ja aiheuttavat logiikkaohjelmassa kaikki ne toimenpiteet, jotka niille on tarkoitettu.

## 7.4 Toimintakokeet

I/O-testauksen jälkeen voitiin olla varmoja siitä, että järjestelmän hätäpysäytykset ja muut tärkeät toiminnot tulevat logiikalle ja järjestelmään halutusti. I/O-testauksen lisäksi täytyy järjestelmälle tehdä koeajot, joissa järjestelmän todellinen toimivuus testataan ja laitteisto saatetaan lopulliseen toimintakuntoon.

Nostinten absoluutti- ja pulssiantureiden kalibrointi suoritetaan toimintakoevaiheessa, jolloin nostimet kalibroidaan tiettyyn korkeuteen. Kalibroinnin jälkeen nostinten iskunpituuden ja halutun nopeuden avulla lasketaan logiikkaohjelmistoon pulssisuhteita ym. tärkeitä lukuarvoja.

Toimintakokeissa nostinten ajo- sekä turvarajat säädetään siten, että laitteiston ajamisesta ei aiheudu vaaraa eikä laitteistolla päästä vaurioittamaan ympäristöä ja ympäristössä työskenteleviä. Ajourajat ovat mekaanisia rajoja, joilla varmistetaan laitteiston pysähtyminen ennen mekaanisia esteitä, mikäli ohjelmaan asetetut ohjelmalliset rajat ylittyvät jonkun häiriön tai muun vian seurauksena.

Ajourajojen lisäksi liikkuvilla koneilla tulee olla toiset mekaaniset rajat eli turvarajat. Turvarajojen tarkoitus on estää vahingon syntyminen siinäkin tilanteessa, että myös ajorajat pettävät. Turvarajat ovat fyysisesti samanlaiset kuin ajorajat mutta ne on säädetty muutamia millemä kauemmaksi kuin ajorajat.

Rajat säädetään määräysten mukaiselle etäisyydelle toisistaan. Etäisyydet ovat seuraavat: Ajorajan etäisyys ohjelmallisesta rajasta 300 mm ja turvarajan etäisyys ajorajasta on 200 mm.

Rajojen toimivuus todetaan ajamalla nostimia täydellä nopeudella vasten rajoja. Jokaisen rajan tulee yksinään pysäyttää nostin sille säädetyssä korkeudessa. Rajojen säätämisen jälkeen rajat kirjataan ylös ja ne tarkistetaan ja koeajetaan jokaisen huollon yhteydessä.

Testiajajojen yhteydessä voidaan myös varmistua siitä, että absoluutti- ja pulssianturit toimivat niille lasketuilla arvoilla.

## 7.5 Hätäpysäytyskokeet

Hätäpysäytyskokeet ovat osa toimintakokeita. Hätäpysäytyskokeilla varmistetaan siitä, että nostimet pysähtyvät suunnitellusti hätäpysäytyspainiketta painettaessa.

Hätäpysäytyskokeet suoritetaan siten, että nostimella ajetaan aluksi puolella nopeudella ylhäältä alas, jolloin hätäpysäytys painiketta painetaan. Nostimen tulee pysähtyä, nostimilta tulee kadota pääjännite sekä ohjausjännite. Nostinten palautus ajovalmiiksi tulee onnistua kuittaamalla hätäpysäytyspainike ja ohjausjännite. Nostinten hätäpysäytyskokeessa nostimia ajetaan kuormittamattomina ja niiden tulee pysähtyä halutusti hätäpysäytyspainiketta painettaessa.

Hätäpysäytyspainike painetaan pääohjauspaneelista, mutta koe on hyvä suorittaa myös jostakin muusta järjestelmän ajopaikasta, jotta hätäpysäytyssignaalin mahdollinen viive voidaan todeta ja poissulkea järjestelmästä. Kun koe on ajettu nostinten puolella nopeudella, sama koe uusitaan nostimen täydellä nopeudella.

Hätäpysäytystoiminta ei tapahdu välittömästi hätäpysäytyspainiketta painettaessa vaan ohjausjännitettä pidetään nostinten pääkontaktorilla 500 ms ajan, jotta taajuusmuuttaja ehtii ajamaan niin sanotun hätäpysäytysrampin. Tämä toiminto on toteutettu siksi, että suurilla kuormilla tapahtuvasta hätäpysäytyksestä johtuva rasitus ei kuormittaisi rakenteita liikaa.

## 7.6 Kuormituskokeet

Kuormituskokeet ovat viimeinen varsinainen testaus/koeajo. Kuormituskokeessa testataan nostinten toimivuus kuormitettuna nimelliskuormalla sekä 25 % ylikuormalla. Käytännössä kuormituskokeessa ajetaan samat testiajot kuin toimintakokeissa mutta nostimet kuormitettuina. Tankonostimen nimelliskuorma on 400 kg ja pistenostimen 150 kg, joka tarkoittaa 25 % ylikuormana 500 kg ja 187,5 kg.

Nostimille tehdään kuormituskokeessa myös hätäpysäytyskokeet, joilla varmistetaan nostinten hätäpysäytyksen toimivuus sekä rakenteellinen kestävyys pahimmassa mahdollisessa tapauksessa eli nimelliskuormalla ja täydellä nopeudella.

Järjestelmän yksi ominaisuus on ryhmäajo, jossa useampaa nostinta voidaan ajaa samanaikaisesti. Siten pahin mahdollinen tapaus kuormituksen suhteen on ryhmäajossa tapahtuva hätäpysäytys silloin, kun kaikissa nostimissa on nimelliskuorma kiinnitettynä. Yksittäisten nostinten kuormituskokeiden lisäksi ajetaan siis ryhmäkoe, mutta tällöin ei käytetä ylikuormaa.

Ylikuormalla testaaminen on varmennuskeino laitteiston turvallisuudelle.

Todellisuudessa järjestelmä valvoo tanko- ja pistenostimiin kiinnitetyn kuorman suuruutta nostinkohtaisella punnitusanturilla ja näin ollen ylikuormitusta ei todellisuudessa pääse tapahtumaan.

Kehitys- ja testausympäristön nostinten kuormituskokeet jätettiin myöhempään ajankohtaan katoille kertyneen suuren lumikuorman takia. Talven valtavan lumimäärän takia oli syytä epäillä Instan hallin kattorakenteiden kestävyttä ja näin ollen kuormituskokeita siirrettiin myöhempään ajankohtaan. Kuormituskokeet tullaan ajamaan vaikka on tiedossa, että markkinointi-, koulutus- ja testaustarkoitukseen suunnitellulla laitteistolla ei tulla milloinkaan ajamaan täyttä 1800mm/s nopeutta eikä maksimi nimelliskuormaa 400 kg tulla nostimissa käyttämään.

Kuormituskokeissa mitataan myös nostinten nimelliskuormalla ottama maksimivirta.

Virta katsotaan taajuusmuuttajalta silloin, kun nostinta kiihdytetään täydellä kiihtyvyydellä ylhäältä alas sekä alhaalta ylöspäin. Mittaamalla virta varmistutaan siitä, ettei yksikään nostin ylitä sille määrättyjä virtarajoja. Mikäli näin tapahtuu, tulee nostimen kytkennät tarkistaa tai koko moottori vaihtaa.



## Lähteet

*Koneturvallisuuden standardit 2010. [pdf-tiedosto]. [viitattu 25.3.2010] Saatavissa:*

*<http://www.sfs.fi/files//kone-esite.pdf>*

*Omron Europe B.V. Turvasovellusten käsikirja. 2003*

*RS232 Specifications and standard. 2010. [www-sivu]. [viitattu 1.3.2010] Saatavissa:*

*[http://www.lammertbics.nl/comm/info/RS-232\\_specs.html](http://www.lammertbics.nl/comm/info/RS-232_specs.html)*

*SFS-EN 954-1 Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat.*

*Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet. 2010. Suomen Standardisoimisliitto  
SFS ry.*

*SFS-EN ISO 13850 Koneturvallisuus. Häätäpysäytys. Suunnitteluperiaatteet.*

*2010. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.*

























