

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Automaatiotekniikka

Tutkintotyö

Kimmo Jankkari

## **KATAPULTIN SÄHKÖINEN OHJAUSJÄRJESTELMÄ**

Työn valvoja  
Työn teettäjä  
Tampere 2006

DI Mikko Numminen  
Insinööritoimisto Comatec Oy, ohjaajana ins. Kalle Korento

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Automaatiotekniikka

Jankkari, Kimmo

Tutkintotyö

Työn valvoja

Työn teettäjä

Joulukuu 2006

Hakusanat

Katapultin sähköinen ohjausjärjestelmä

45 sivua + 91 liitesivua

DI Mikko Numminen

Insinööritoimisto Comatec Oy, ohjaajana ins. Kalle Korento

Katapultti, sähköinen ohjausjärjestelmä, standardi

## TIIVISTELMÄ

Työssä tarkastellaan tiedustelu- ja maalilennokkien laukaisuun tarkoitettua katapultin sähköisen ohjausjärjestelmän EMC- ja EMP- sekä militääristandardien vaatimusten mukaisuutta katapultin sähköjärjestelmän osalta.

Työn tarkoituksena on tehdä katapultista edellä mainittujen standardien mukainen. Työssä pitää selvittää, mitkä komponentit täyttävät standardien mukaiset vaatimukset ja vaihtaa kaikki komponentit, jotka eivät täytä näitä vaatimuksia.

Lisäksi katapultin sähköjärjestelmään tehdään muita muutostöitä asiakkaan toivomusten mukaisesti.

Työn tuloksena saatiin päivitettyt sähkö- ja layout-kaaviot, asennusohjeet asentajia varten ja luettelo standardeista, jotka uusilla sähkökomponenteilla koottu katapultti täyttää.

TAMPERE POLYTECHNIC

Electrical Engineering

Automation Engineering

Jankkari, Kimmo Electrical control system of a catapult

Engineering Thesis 45 pages + 91 appendix pages

Thesis supervisor MSc. Mikko Numminen

Commissioning Company Engineering Office Comatec Oy, Supervisor: Eng. Kalle Korento

December 2006

Keywords Catapult, electrical control system, standard

## **ABSTRACT**

This report examines the electrical control system of a catapult that is used to launch a reconnaissance plane or a target plane. The report focuses on the qualification requirements of EMC, EMP and military standards for this electrical control system.

The purpose of this report is to devise and document an electrical control system that conforms to the specified requirements. The aim is to clarify which components are appropriate to the task and to change all components that do not fulfil their part of the process.

Furthermore, an additional point is to make all the alterations to the electrical system that the customer wishes.

As a result electric circuit diagrams, terminal block diagrams and layout drawings have been updated. In addition, instructions for mounting and wiring are provided for technicians. A catalogue containing the standards that components meet is also compiled.

## ALKUSANAT

Tahdon kiittää Insinööritoimisto Comatec Oy:tä mahdollisuudesta tehdä tutkintotyö itseleni mieluisasta aiheesta. Lisäksi tahdon erityisesti kiittää Kalle Korentoa ja Tero Määttä neuvoista tutkintotyön tekemiseen liittyvissä asioissa.

Tampereella 11. joulukuuta 2006

---

Kimmo Jankkari

## SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	
ABSTRACT	
ALKUSANAT	
SISÄLLYSLUETTELO.....	5
1 JOHDANTO.....	8
1.1 Tehtävän kuvaus .....	8
1.2 Insinööritoimisto Comatec Oy .....	8
1.3 Katapultti .....	11
1.4 Vaatimukset .....	14
2 STANDARDIT .....	14
2.1 Yleisimmät sähkömagneettisiin häiriöihin liittyvät standardit .....	14
2.2 Katapultin täyttämät standardit .....	15
3 LAITTEIDEN ASENNUKSESSA HUOMIOON OTETTAVAT ASIAT .....	16
3.1 Sähkömagneettinen yhteensopivuus .....	16
3.1.1 EMC-suojaus.....	17
3.1.2 360 asteen maadoituskytkentä.....	17
3.1.3 Kaapelien ja liittimien asennus .....	18
3.1.4 Kaapin ja koteloiden sisäiset johdotukset.....	19
3.1.5 Sähkökaappi ja kytkentäkotelot .....	19
3.1.6 Ferriittirenkaiden käyttö .....	21
3.1.7 Moottorin kytkennät .....	21
3.2 Sähkömagneettinen pulssi .....	21
3.2.1 Sähkömagneettisen pulssin ominaisuuksia .....	22
3.2.2 Suojautuminen sähkömagneettiselta pulssilta.....	23
4 KATAPULTIN SÄHKÖJÄRJESTELMÄ.....	24
4.1 Katapultin sähköjärjestelmän perusosat .....	24
4.2 Yleiskaavio .....	24
4.3 Riviliitinkaaviot ja virtapiirikaaviot .....	28
4.3.1 Kytkentäkotelot .....	28
4.3.2 Ohjauskotelo .....	28
4.3.3 Kauko-ohjain.....	30
4.3.4 Ohjelmoitava logiikka .....	33
4.4 Kaapelointikaaviot .....	36
4.5 Potentiaalintasaus.....	37
4.6 Layout-kaaviot .....	38
4.6.1 Sähkökaappi .....	38
4.6.2 Kytkentäkotelot .....	39
4.6.3 Merkintäkilvet .....	42
4.6.4 Putkitukset ja liittimet.....	42
5 LUETTELOT .....	43
5.1 Piirustusluettelo.....	43
5.2 Sähköosaluettelo .....	43
5.3 Kaapeliluettelo .....	43
5.4 Kaapelimerkkiluettelo .....	43
5.5 Osaluettelo (Putkitukset ja liittimet) .....	43
6 YHTEENVETO.....	44
LÄHTEET .....	45

## LIITTEET

1. Sähkökaaviot
2. Layout-kaaviot
3. Putkitukset ja liittimet -kaavio
4. Piirustusluettelo
5. Sähköosaluettelo
6. Kaapeliluettelo
7. Kaapelimerkkiluettelo
8. Osaluettelo (Putkitukset ja liittimet)

*Liitteet on poistettu luottamuksellisuuden vuoksi.*

## KÄYTETYT LYHENTEET

EMC	Sähkömagneettinen yhteensopivuus (engl. <i>Electromagnetic Compatibility</i> )
EMP	Sähkömagneettinen pulssi (engl. <i>Electromagnetic Pulse</i> )
HEMP	EMP:n ensimmäinen vaihe (engl. <i>High-Altitude EMP</i> )
MHD EMP	Magneettishydrodynaaminen EMP (engl. <i>Magnetohydrodynamic EMP</i> )
SREMP	Pienellä alueella vaikuttava EMP (engl. <i>Small Region EMP</i> )
AWG	Kaapeleiden mitoitus tapa
MIL	Militääristandardi
OP1	Katapultin sähkökeskus
RCP	Katapultin kauko-ohjain
CTRL	Katapultin ohjauskotelo

## 1 JOHDANTO

### 1.1 Tehtävän kuvaus

Tässä työssä tarkastellaan tiedustelu- ja maalilennokkien laukaisuun tarkoitettua katapultin sähköistä ohjausjärjestelmää ja siihen liittyvää dokumentointia. Tarkastelun kohteena on erityisesti sähkömagneettisen yhteensopivuuden (EMC) ja sähkömagneettisen pulssin (EMP) sietokyvyn standardien mukaisuus. Lisäksi huomiota kiinnitetään militääristandardien (MIL) täyttymiseen komponenttivalinnoissa.

Tämän työn tarkoituksena on päivittää katapultin sähköjärjestelmä vastaamaan niitä tarpeita ja vaatimuksia, jotka tällä hetkellä on sille asetettu. Näin ollen sähköjärjestelmään tehdään tarvittavat muutokset, minkä vuoksi muuttuvat vaatimukset myös rakenteellisille osille, kuten esimerkiksi sähkökaapille, kytkentäkotelolle ja kauko-ohjaimelle. Nämä rakenteelliset muutokset korjataan myös layout-piirustuksiin ja esitetään tässä työssä.

Työ tehdään insinööritoimisto Comatec Oy:lle, joka myy sen eteenpäin asiakkaalleen. Comatec Oy:llä on useita eri asiakasyrityksiä, joille se tekee muun muassa suunnittelu-työtä.

### 1.2 Insinööritoimisto Comatec Oy

Comatec Oy perustettiin 24.3.1986. Sen perusti Aulis Asikainen, joka aloitti toiminimellä jo vuonna 1985. Asikainen toimii nykyään konsernin toimitusjohtajana ja on yksi yhtiön omistajista. Asikaisen lisäksi muita omistajia ovat Jorma Nordfors ja Petri Leino.

Comatec Oy:n toimipaikkoja ovat Tampere, Helsinki, Turku, Lahti ja Heinola. Konsernin liikevaihto on noin 10 miljoonaa euroa ja sen ennustetaan nousevan yli 11 miljoonan euron vuoden 2006 aikana. /1/



Comatecilla on ollut vuodesta 2005 lähtien kattilasuunnitteluun erikoistuneen Rantotek Oy:n osake-enemmistö. Rantotek on perustettu vuonna 1985. Hämeenlinnassa toimivan, vuonna 1994 perustetun Linnatek Oy:n osakekanta siirtyi Comatecille puolestaan vuonna 2006. /1/

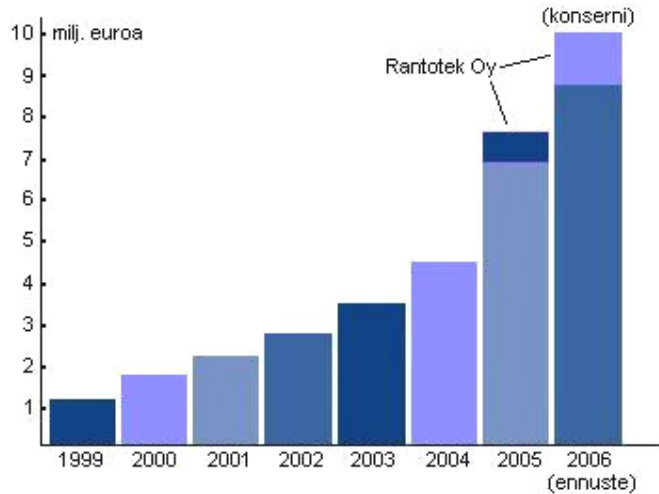
Comatec Oy tuottaa teknisiä suunnittelu- ja asiantuntijapalveluja sekä teknistä käännöstyötä asiakkailleen, jotta nämä pystyvät tekemään hyviä investointihyödykkeitä entistä kannattavammin. Comatecin suunnittelupalveluihin kuuluvat mekaniikka-, sähkö- ja automaatio-suunnittelu sekä dokumentointi ja tekninen käännöstyö. Asiantuntijapalvelut puolestaan sisältävät konsultointia, projektinhoitoa ja LCC/RAMS-analyysijä eli elinkaarikustannuslaskentaa sekä luotettavuus-, käytettävyyss-, huollettavuus- ja turvallisuusanalyysijä. Lisäksi Comatecin palveluihin kuuluvat lujuuslaskenta ja simulointipalvelut. /1/

Comatecillä käytössä olevia sähkösuunnitteluohjelmistoja ovat AutoCAD, SVertex, CADs ja E3. Mekaniikkasuunnittelua tehdään muun muassa AutoCADilla, Solid Worksilla, Microstationilla ja Vertexillä. Automaatio-suunnittelussa ovat käytössä esimerkiksi Siemens Step7, Omron ja Codesys, lujuuslaskennassa puolestaan Ansys, MSC Nastran ja Abacus. /7/

Comatecin toimialoina ovat liikkuvat työkoneet, tuotantolaitteet, teollisuusautomaatio, liikennevälineet ja kattilalaitokset. Tuotantolaitteisiin kuuluvat materiaalinkäsittely- ja kuljetusjärjestelmät sekä koneenrakennus. Liikennevälineisiin kuuluvat puolestaan laivat ja kiskokalusto. Rantotek Oy:n toimenkuvaan kuuluvat kattilalaitokset. /1/

Comatecin toimintapolitiikka perustuu siihen, että se katsoo toimialoihinsa kuuluvien vaativien suunnittelu- ja asiantuntijapalveluiden tarjoajana velvollisuudekseen huolehtia, että suunnitelmat ja dokumentit täyttävät asiakkaan niille asettamat vaatimukset. Comatec on laatinut toimintajärjestelmän, jonka tarkoituksena on osaltaan edistää mainitun tavoitteen saavuttamista ja tehdä yrityksestä luotettava yhteistyökumppani. /7/

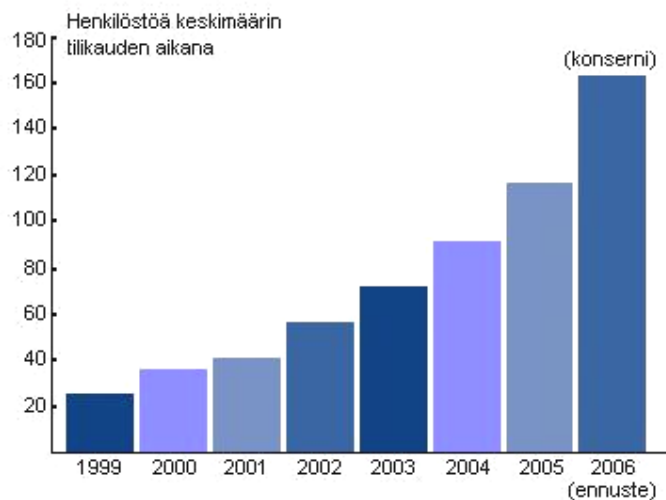
Comatec Oy:n liikevaihto on kasvanut tasaisesti vuodesta 1999 asti ja kahtena edellisellä vuotena liikevaihdon kasvu on ollut todella huomattavaa. [Kuva 1]



**Kuva 1** Comatecin liikevaihdon kasvu vuosina 1999 - 2006 //

Rantotek Oy:n osuus liikevaihdosta näkyy omana alueenaan vuosina 2005 ja 2006.

Myös Comatecin henkilöstön määrä on kasvanut tasaiseen tahtiin ja vuonna 2006 konsernin henkilöstön määrä on lähes 200. [Kuva 2]



**Kuva 2** Henkilöstön määrän kasvu Comatecissa 1999 - 2006 //

### **1.3 Katapultti**

*Kappale 1.3 on poistettu luottamuksellisuuden vuoksi.*

## 1.4 Vaatimukset

Komponenttien valinnoissa ja muussa suunnittelussa pitää ottaa huomioon EMC-standardien täytyminen ja militääristandardien mukaiset vaatimukset. Standardien mukaisuuden lisäksi pitää ottaa huomioon asiakkaan toivomukset muista tehtävistä muutostöistä. Näitä ovat esimerkiksi kauko-ohjaimen uudistukseen liittyvät asiat, anturoinnin lisääminen, ohjelmoitavan logiikan vaihto eri valmistajan malliin ja venttiiliohjausten sekä muutamien muiden toimintojen siirtäminen omaan kytkentäkoteloonsa.

Lisäksi sähkökaapin kyljessä olleet ohjauskytkimet siirretään omaan ohjauskoteloonsa, jotta sähkökaappiin ei tarvitse tehdä ylimääräisiä reikiä. Tämä parantaa laitteen sähkömagneettista yhteensopivuutta. Samasta syystä kaikki holkkitiivisteiden kautta sähkökaappiin kulkeneet kaapelit vaihdetaan sähkömagneettisilta ominaisuuksiltaan hyväksytyillä liittimillä varustetuiksi suojaetuiksi kaapeleiksi. Asentajia varten tehdään suuntaa antava työohje, jotta sähkömagneettiseen yhteensopivuuteen kiinnitetään sähkökomponentteja asennettaessa riittävästi huomiota.

## 2 STANDARDIT

### 2.1 Yleisimmät sähkömagneettisiin häiriöihin liittyvät standardit

Yleisimpiä ja kokonaisuudeltaan laajimpia sähkömagneettisiin häiriöihin liittyviä standardeja ovat SFS-EN 50081-1, SFS-EN 50081-2, SFS-EN 50082-1 ja SFS-EN 50082-2.

SFS-EN 50081-1 käsittelee kotitalouksien, toimistojen ja kevyen teollisuuden sähkömagneettisia häiriöpäästöjä. Standardi on otettu käyttöön vuonna 1992. /14/

SFS-EN 50081-2 käsittelee teollisuuden sähkömagneettisia häiriöpäästöjä. Standardi on otettu käyttöön vuonna 1994. /14/

SFS-EN 50082-1 käsittelee kotitalouksien, toimistojen ja kevyen teollisuuden sähkömagneettista häiriönsietoa. Standardi on otettu käyttöön vuonna 1992. /14/

SFS-EN 50082-2 käsittelee teollisuuden sähkömagneettista häiriönsietoa. Standardi on otettu käyttöön vuonna 1996. /14/

SFS-EN 61000 käsittelee yleisiä sähkömagneettisia häiriönsietotestejä. /15/

SFS-EN 60439-1 käsittelee sähkökeskusten sähkömagneettisia häiriönsietotestejä. /14/

## 2.2 Katapultin täyttämät standardit

Katapultin täyttämiä standardeja ei ole täysin mahdollista listata ilman asianmukaisia testejä. Tällaisia ovat esimerkiksi standardin SFS-EN 61000 /15/ mukaiset yleiset häiriönsietotestit ja standardin SFS-EN 60439-1 /14/ mukaiset sähkökeskusten häiriönsietotestit. Häiriönsietotesteissä testataan tietyissä olosuhteissa tietyn laitteen tai laitekokonaisuuden sähkömagneettista häiriönsietokykyä. Testit tehdään yleensä ääriolosuhteissa ja laitetta tai laitekokonaisuutta käytetään hankalimman mahdollisen tilanteen mukaisesti, jotta virherajat saadaan minimoitua.

Suurin osa katapultissa käytetyistä laitteista täyttää jonkin sähkömagneettisiin häiriöihin liittyvän standardin. Esimerkiksi painelähettimet A2 ja A6 täyttävät standardit SFS-EN 50081-1 ja -2 sekä SFS-EN 50082-1 ja -2. Myös lämpötilalähetin A3 täyttää kyseiset standardit. Induktiiviset rajakytkimet S23, S34, S35.1, S36 ja S37 puolestaan täyttävät lähestymiskytkimiin liittyvän EMC-standardin SFS-EN 60947-5-2 /15/. Tiedustelulenno-kin lähtönopeuden pulssianturi S200 täyttää standardit SFS-EN 50081-1 ja SFS-EN 61000-6-2. IFM:n ohjelmoitava logiikka A1 täyttää standardit SFS-EN 61000-6-2 ja SFS-EN 61000-6-4.

Kaikki katapultissa käytetyt kaapelit ja liittimet täyttävät myös militääristandardit ja yleiset EMC-vaatimukset. Sähkömagneettinen häiriönsietokyky on siis otettu huomioon kaikkia katapultin laitteita valittaessa ja sähkökaapista sekä kytkentäkotelosta on tehty niin sanottu Faradayn häkki. Myös maadoitusten suunnittelussa on keskitytty sähkömagneettisten häiriöiden sietokyvyn lisäämiseen ja häiriöiden johtamiseen maadoitusta pitkin

suojattuja kaapeleita apuna käyttäen pois järjestelmästä. Voidaankin sanoa, että katapultti täyttää suurimman osan yleisistä EMC-standardeista näiden asioiden ansiosta.

MIL-STD-461D on sähkömagneettisiin häiriöihin liittyvä militääristandardi, joka sisältää sähkömagneettiseen vuorovaikutukseen liittyvät vaatimukset. Standardi on hyvin laaja ja sisältää hyvin samantapaisia vaatimuksia kuin SFS-standardissa mainittuihin laitteistojen sähkömagneettisiin ominaisuuksiin liittyvät standardit. Tässä työssä militääristandardien täyttymisellä tarkoitetaan laitteiden lämpötilan ja värinän sietokykyä, jotka ovat nähtävissä laitteiden datalehdistä.

Jotta katapultin täyttämistä standardeista voitaisiin tehdä yksityiskohtainen ja kattava lista, täytyisi laitekokonaisuudelle tehdä vaadittavat testit. Niiden perusteella olisi mahdollista selvittää, mitä standardeja katapultin sähköjärjestelmä oikeasti täyttää. Ilman testejä voidaan saada selville vain sähköjärjestelmässä käytettyjen komponenttien standardien mukaisuus niiden datalehtiä tutkimalla. Voidaan kuitenkin olettaa, että jos yksittäiset komponentit täyttävät standardien vaatimukset, myös niistä koottu laitekokonaisuus täyttää standardit ainakin tarkasteltaessa laajoja standardikokonaisuuksia.

### **3 LAITTEIDEN ASENNUKSESSA HUOMIOON OTETTAVAT ASIAT**

#### **3.1 Sähkömagneettinen yhteensopivuus**

Sähkömagneettinen yhteensopivuus eli EMC (engl. *Electromagnetic Compatibility*) tarkoittaa, että sähköiset ja elektroniset laitteistot toimivat yhteisessä sähkömagneettisessa ympäristössä aiheuttamatta häiriöitä ja häiriintymättä itse. Kaikki sähköiset ja elektroniset laitteet vaikuttavat sähkömagneettiseen ympäristöön ja ne saattavat aiheuttaa häiriöitä herkissä laitteissa. Laitteiden aiheuttamat häiriöt leviävät ei-toivottuina virtoina tai sähkömagneettisina aaltoina metallipintojen kautta ja aiheuttavat näin vaaratilanteita vaikuttamalla laitteiden toimintaan. /2/

### 3.1.1 EMC-suojaus

EMC-suojauksen tarkoitus on minimoida sähkömagneettisten häiriön aiheuttajien määrä ja lisätä sovelluksen häiriönsietokykyä. Häiriöitä ei pystytä käytännössä täysin estämään, mutta huolellisella suunnittelulla ne pystytään saamaan mahdollisimman vähäisiksi. Tämä toteutetaan käytännössä käyttämällä suojattuja kaapeleita ja huolehtimalla maadoituksesta. Kaapeleiden suojaus toimii siten, että sähkömagneettiset aallot kulkevat johtimien sijasta metallivaipassa, joka toimii suojana. Samalla suojaus rajoittaa johtimien sähkömagneettisen kentän ja estää sen leviämisen, minkä vaikutuksesta virta ja virtapiikit kulkevat suojausta pitkin. Maadoituksen avulla häiriöt johdetaan suojauksesta maahan eli nollapotentiaalitasoon. Lisäksi kaapelit asennetaan teräsputkien sisään. /2/

### 3.1.2 360 asteen maadoituskytkentä

360 asteen maadoituskytkentä tarkoittaa, että kaapelin metallivaippa on maadoitettu läpiviennin kohdalta koko ympärysmitaltaan, koska se eliminoi induktanssin vaikutuksen kytkentäkohdassa. [Kuva 6] Induktanssi loisi kytkentäkohtaan taajuudesta riippuvaisen impedanssin, joka pilaisi maadoituksen vaikutuksen etenkin korkeilla taajuuksilla. 360 asteen maadoituskytkentä eliminoi kaiken induktanssin. Sähkömagneettisten häiriöiden vaimennustehokkuus riippuu maadoitussysteemin suunnittelusta ja laadusta. Korkeilla taajuuksilla (100 - 1000 kHz) vaimennus riippuu myös läpiviennistä menevien kaapeleiden määrästä. /3/

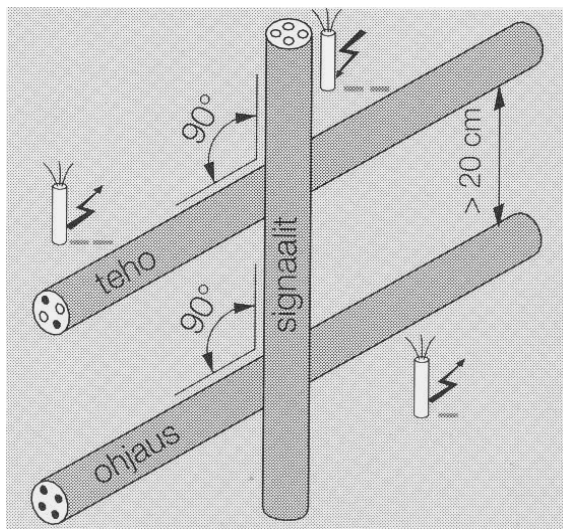


**Kuva 6** 360 asteen maadoituskytkentä /6/

### 3.1.3 Kaapelien ja liittimien asennus

Kaikki läpiviennit toteutetaan EMC-suojattujen liittimien avulla. Asennus tapahtuu siten, että suojatun kaapelin metallivaippa liitetään liittimen kuoreen, joka puolestaan on kontaktissa maadoitettuun koteloon. Asennuksessa täytyy ottaa huomioon, että kaapelin metallivaippa on kontaktissa liittimiin koko ympärysmitaltaan. Liittimissä voidaan käyttää tiivisteitä, mutta niiden pitää olla sähköä johtavaa materiaalia, jotta kontakti koteloon syntyy. Tiivisteiden tai liittimien pitää saada kontakti maalaamattomaan metallipintaan läpivientien välittömässä läheisyydessä. /4/

Kaapeleita valittaessa pitää myös ottaa huomioon, että kaapeleiden suojauksessa käytetty metallivaippa on riittävän tiheä, jotta sähkömagneettiset häiriöt eivät pääse vuotamaan suojauksen läpi. Myös kaapeleiden reititys on tärkeää. Tehonsyötöt pitää reitittää erilleen signaali- ja ohjauskaapeleista. Yleinen ohjesääntö on, että moottorikaapelit täytyy pitää vähintään 50 cm:n ja tehonsyötöt vähintään 20 cm:n etäisyydellä ohjauskaapeleista. Lisäksi signaalikaapelit pitäisi asentaa 90 asteen kulmaan tehonsyöttöihin ja ohjauskaapeleihin nähden. [Kuva 7] Myös digitaalista tietoa kuljettavat johtimet olisi hyvä pitää erillään analogisista johtimista ja 24 VDC:n johtimet 230 VAC:n johtimista. Signaali- ja ohjauskaapelien pitää olla suojattua, kierrettyä parikaapelia. /4/



**Kuva 7** Kaapeleiden asennus /6/



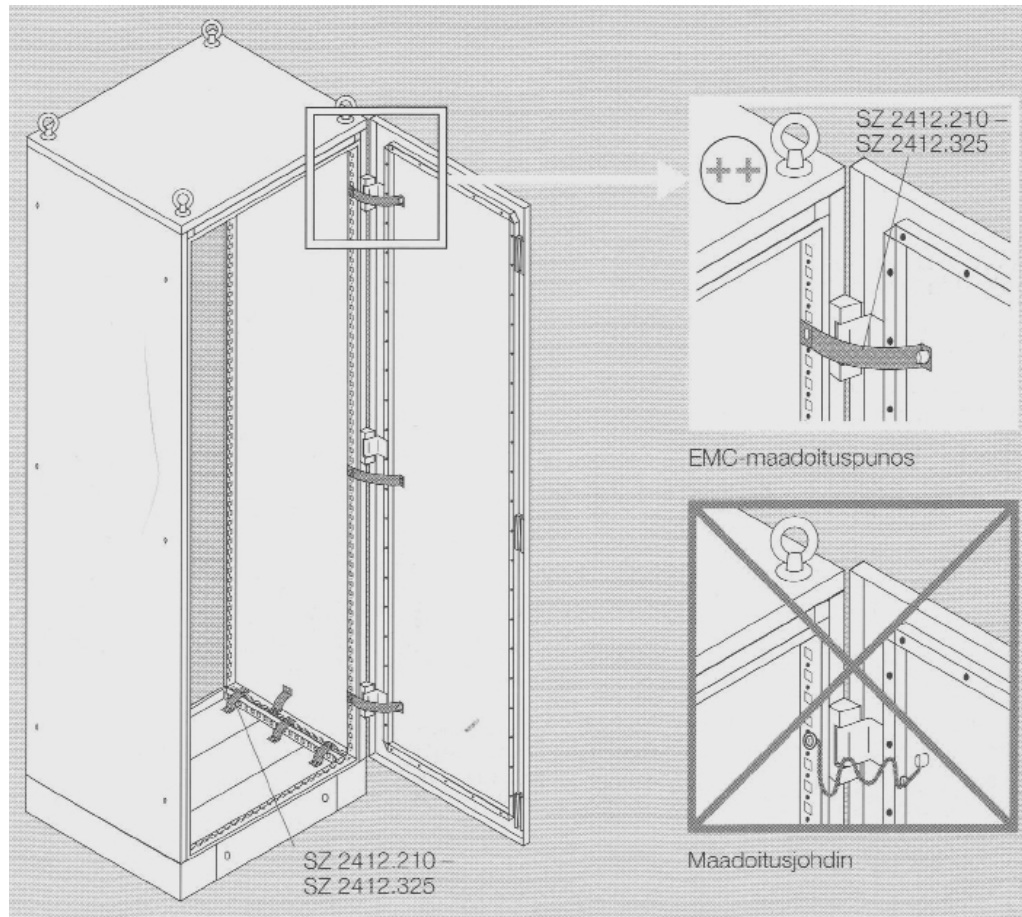
### 3.1.4 Kaapin ja koteloiden sisäiset johdotukset

Kaapin ja koteloiden sisäisiä johdotuksia tehtäessä on hyvä noudattaa samoja sääntöjä kuin kaapelien asennuksessa. Johtimet tulisi kuljettaa kaapissa tai kotelossa mahdollisimman lähellä metallipintaa ja välttää niiden jättämistä ilmaan riippumaan, jotta ne eivät muodostaisi antennia. Maadoituskytkennät olisi myös hyvä pitää niin lyhyinä kuin mahdollista. /4/

### 3.1.5 Sähkökaappi ja kytkentäkotelot

Käytettävien kaappien ja koteloiden pitää olla EMC-hyväksytyjä ja ne pitää maadoittaa huolellisesti. Niissä pitää olla maalaamattomat ja ruostumattomat pinnat jokaisessa kohdassa, jossa esimerkiksi kaapin tai kotelon kaksi erillistä seinälevyä ovat yhteydessä toisiinsa. Myös sähkökaapin ovi pitää maadoittaa useasta kohdasta erillisellä maadoituspunoksella kaapin runkoon. [Kuva 8] Kahden maalaamattoman metallin saumakohdassa on syytä käyttää sähköä johtavaa tiivistettä, mikäli se on mahdollista. Myös oven ja kaapin välissä kannattaa käyttää tällaista tiivistettä. Jokaisen erillisen metalliosan tulee olla kytketty yhteiseen maahan ja jokaisen maadoituspisteen kaapelikengän kohdalla tulee olla maalaamaton kohta, jotta kontakti maahan syntyy. /4/

Kaikki sähkömagneettisille häiriöille alttiit laitteet tulisi sijoittaa suojattuihin kaappeihin ja ylimääräisten reikien määrä kaappien kyljissä tulisi minimoida. Reikien maksimihalkaisija kaapeissa ja koteloidessa saa olla enintään 100 mm, mikä vastaa yhtä kymmenesosaa 300 MHz:n taajuuden aallonpituudesta. On kuitenkin suositeltavaa, että kaikki aukot peitetäisiin metallilevyillä tai lasilevyillä, joissa on johtava pinnoite. Metallitai lasilevy pitää kiinnittää maalaamattomiin aukon reunoihin mieluiten sähköä johtavan tiivisteiden avulla.



**Kuva 8** EMC-maadoituspunoksien asennus /6/

Kaapin seinien pitää olla paksuudeltaan vähintään 0,75 millimetriä paksua ruostumatonta terästä. Ulkopinnoitteen pitää olla sähköstaattista päällystettyä, kuten esimerkiksi polyesterialuverimaalia (tai vastaavaa), jonka kerroksen paksuus on vähintään 60 mikrometriä. Sisäpinnan pitää olla kuumagalvanoitua ja kromattua terästä, jonka pinta ei saa olla maalattu. EMC-suojattu kaappi toimii Faradayn häkkinä, minkä ansiosta sinne ei pääse sähkömagneettisia häiriöitä sisään eikä myöskään sieltä ulos. /4/

### 3.1.6 Ferriittirenkaiden käyttö

Sähkömagneettisia häiriöitä voidaan myös ehkäistä viemällä johtimet ferriittirenkaan läpi siten, että johtimet kierretään useaan kertaan (kahdesta viiteen kierrosta) ferriittirenkaan ympäri. Ferriittiydin kasvattaa johtimien induktanssia sekä keskinäisinduktanssia, minkä ansiosta tietyn taajuuden yläpuolella olevat häiriöt saadaan eliminoitua. Jos ferriittirengasta käytetään verkkokaapeleilla, pitää kaikki vaihejohtimet viedä ferriittirenkaan läpi. Koska verkkokaapelien johtimia ei kovin helposti saa kierrettyä useita kierroksia renkaan läpi, voidaan induktanssia lisätä asentamalla useita renkaita peräkkäin. Ferriittirenkaat asennetaan sähkökaapin tai kytkentäkotelon sisäpuolelle. /4/

### 3.1.7 Moottorin kytkennät

Myös muiden käytettävien laitteiden pitää olla sähkömagneettisilta häiriöiltä suojattuja. Pahimpia sähkömagneettisten häiriöiden aiheuttajia ovat muun muassa taajuusmuuttajat ja servot, joten kannattaa käyttää laitteita, joissa on EMC-suodin. Suotimia on sisäisiä ja ulkoisia sen mukaan, kuinka pitkät moottorikaapelit ovat. Moottorikaapelien pituuksien täytyy olla taajuusmuuttajan käyttöoppaassa annettujen pituusrajoitusten mukaisia ja kaapeleissa pitää olla 360 asteen maadoitus molemmissa päissä. Ferriittirenkaan tai renkaiden käyttö on suositeltavaa 360 asteen maadoituskytkennän lisänä. /4/

## 3.2 Sähkömagneettinen pulssi

EMP (engl. *Electromagnetic Pulse*) tarkoittaa sähkömagneettista pulssia, joka syntyy 20 - 40 kilometrin korkeudella tapahtuvassa ydinräjähdyksessä. Se on purkaus, joka saattaa vaurioittaa elektroniikka- tai sähkölaitteita. Ydinräjähdyksessä syntyy gammasäteilyä, joka törmää ilmakehän atomeihin ja irrottaa niistä elektroneja, jolloin syntyy maan magneettikentän kanssa vuorovaikutuksessa oleva sähkövirta, joka puolestaan muodostaa voimakkaan sähkömagneettisen säteilyn pulssin. Sähkövirta siis syntyy ydinräjähdysten ionisoimista atomeista. Muuttuva sähkökenttä synnyttää magneettikentän, joka puolestaan synnyttää sähkökentän.

Sähkömagneettinen säteily on laajenevaa sähkökentän ja magneettikentän vaihtelua. Suurin sähkömagneettinen voimakkuus voi olla 50 - 150 kV/m ja suurin magneettikentän voimakkuus 1000 - 8000 A/m. Nousuaika on täten 20 - 100 ns. Ydinräjähdysen kokonaisenergiasta noin puolet vapautuu mekaanisena energiana (paine ja värinä), noin 35 % lämpösäteilynä ja noin 15 % radioaktiivisena säteilynä. Räjähdyksessä syntyvä EMP voi vaikuttaa satojen tai tuhansien kilometrien päässä, kun taas mekaaniset vaikutukset ovat paikallisia. /9/

Myös lähellä maanpintaa tapahtuvassa räjähdyksessä syntyy voimakas, paikallinen ja suhteellisen pitkäkestoinen sähkömagneettinen sykäys eli EMP. Erityisen herkkiä EMP:lle ovat antennimaiset rakennelmat, kuten esimerkiksi pitkät lanka-antennit, puhe-  
linjat ja sähkölinjat. Pieniin ja eristyneisiin systeemeihin EMP ei vaikuta niin paljon. On olemassa pieniä tavanomaisiin räjähteisiin pohjautuvia aseita, jotka tuottavat voimakkaan paikallisen EMP:n, jolla voidaan katkaista sähköt joltain alueelta polttamalla voimainjojen sulakkeita. /9/

### 3.2.1 Sähkömagneettisen pulssin ominaisuuksia

Suora ydinräjähdysen säteily tuottaa atomeista irronneita ns. Comptonin elektroneja noin mikrosekunnin ajan, jolloin syntyy HEMP (engl. *High-Altitude EMP*) eli EMP:n ensimmäinen vaihe. Seuraavassa vaiheessa räjähdyksen neuronisäteilyn synnyttämä siroava gammasäteily tuottaa pulssin, jonka kesto on mikrosekunnista sekuntiin. Räjähdyksen korkeaenergiset jäänteet kohoavat ionosfäärin E-kerrokseen ja aiheuttavat siellä kuume-nemista ja ionisaatioita, mikä synnyttää sähkövirtoja, jotka vuorovaikuttavat maan magneettikentän kanssa. Tämä tuottaa MHD EMP:n (engl. *Magnetohydrodynamic EMP*), joka kestää noin 10 - 20 minuuttia. Syntyvän sähkömagneettisen pulssin tehosta pääosa on alle 100 MHz:n taajuudella eli radioalueella. Pulssin sähkökentän voimakkuus on suuruusluokkaa 50 kV/m. Pulssi ulottuu korkearäjähdyksen pisteestä horisonttiin. Pulssin nousuaika on noin viisi nanosekuntia ja kesto 20 - 600 nanosekuntia lähteen mukaan. /9/

SREMP (engl. *Small Region EMP*) vaikuttaa 38 kilometrin alueella. SREMP:n syntyminen johtuu maan ilmakehän ja maan erilaisesta ionisoitumisesta. Lähdealueelle syntyy hyvin voimakas pulssi, jonka jännite on jopa  $10^5$  V/m ja virta 4000 A/m. Pulssi kestää noin 0,1 sekuntia. EMP tuhoaa suojaamattoman herkän elektroniikan koko kohdealueella. Erityisen herkkiä ovat mikropiirit. Uudet laitteet ovat yleensä herkempiä kuin vanhat. Vanha putkitekniikka sietää pulsseja muita paremmin, koska kohdelaitteeseen siirtyvä energia on pieni. /9/

### 3.2.2 Suojautuminen sähkömagneettiselta pulssilta

Sähkömagneettisen pulssin (EMP) energiasta yli 90 % on alle 10 MHz:n taajuuksilla. Kentän vaimentaminen paikallisesti laitteiston ympärillä toteutetaan ympäröimällä suojattava laitteisto yhtenäisellä metalliverhouksella. Näin estetään EMP:n kytkeytyminen laitteiden sisäisiin johdotuksiin.

Suojattavan tilan ulkopuolelle ulottuviin johtoihin kytkeytymistä heikennetään kaapeleiden maadoitetuilla metallivaipoilla. Avojohtoihin ja antenneihin indusoituneiden virtojen ja jännitteiden etenemistä suojattuihin laitteisiin estetään ylijännitesuojilla, jotka rajoittavat läpi pääsevän pulssin amplitudia ja toisinaan suodattimilla, jotka päästävät energiaa lävitseen vain osalla pulssin sisältämästä taajuusalueesta. Laitteistoja voidaan suojata johtoja pitkin tulevilta jännitteiltä ja virroilta myös erottamalla laitteet johdoista esimerkiksi lähetteen siirtoon sopivilla optoeristimillä. /9/

Signaalin vieminen sähkömagneettisesti suojattuun tilaan vaatii ylijännitesuojauksen ja suojausvaatimuksen edellyttämän toisiosuojauksen. Häiriöiden kytkeytymistä johtimiin voidaan vaimentaa suojavaipalla. Suojavaippaan kytkeytyvä virta johdetaan suojatun tilan kuoreen ja näin häiriöt eivät pääse kytkeytymään järjestelmän sisälle. Koaksiaalisessa järjestelmässä kaapelin ulkojohdin toimii suojavaippana. Käyttämällä tiivistä ulkojohdirakennetta, joka liitetään läpiviennissä suojakuoreen, saadaan riittävä suojaus. Metallivahvistuksia ja -johtimia sisältämättömät valokaapelit ovat immuuneja sähkömagneettisille häiriöille. /9/

## **4 KATAPULTIN SÄHKÖJÄRJESTELMÄ**

*Luku 4 on poistettu luottamuksellisuuden vuoksi.*

### **4.1 Katapultin sähköjärjestelmän perusosat**

*Otsikko on jätetty sivulle sisällysluettelon eheyden säilyttämisen vuoksi.*

### **4.2 Yleiskaavio**

*Otsikko on jätetty sivulle sisällysluettelon eheyden säilyttämisen vuoksi.*

## 5 LUETTELOT

### 5.1 Piirustusluettelo

Järjestelmään kuuluvista piirustuksista on tehty luettelo, josta käy ilmi jokaisen piirustuksen numero, nimi, sivu, sivujen kokonaismäärä ja tiedostonimi. Nimi sisältää yleisotsikon ja yksityiskohtaisemman nimen. [Liite 4]

### 5.2 Sähköosaluettelo

Kaikista sähkökomponenteista on tehty osaluettelo, josta selviää kaikkien sähkökomponenttien tunnus, kappalemäärä, nimi, tyyppi, tekniset tiedot, valmistaja ja tuotteen numero. Lisäksi on mahdollista tehdä erityishuomautus jostakin komponentista. [Liite 5]

### 5.3 Kaapeliluettelo

Myös järjestelmän kaapeleista on tehty kaapeliluettelo, josta selviää kaapelin tunnus, tyyppi ja valmistaja. Lisäksi luettelosta selviää, mistä kaapeli lähtee ja minne se menee. Jos kaapelin pituus on tiedossa, on se myös hyvä merkitä. [Liite 6]

### 5.4 Kaapelimerkkiluettelo

Kaapelien merkintäkilvistä on tehty luettelo, josta selviää, mihin kaapeliin merkintä tulee, montako niitä tarvitaan ja mikä teksti kilvessä lukee. Kaapelien merkintäkilvet laitetaan yleensä molempiin kaapelin päihin. [Liite 7]

### 5.5 Osaluettelo (Putkitukset ja liittimet)

Putkitukset ja liittimet -kaaviota varten tehdystä osaluettelosta selviää kaikkien kaaviossa näkyvien liittimien ja holkkitiivisteiden tyyppi, merkintä, tekniset yksityiskohdat ja valmistaja. Lisäksi selviää, montako kappaletta kutakin osaa tarvitaan. [Liite 8]

## 6 YHTEENVETO

Työssä selvitettiin katapultin sähköjärjestelmän toiminta ja perehdyttiin katapultin sähkökaavioihin. Lisäksi tutustuttiin sähkömagneettisiin häiriöihin sähkölaitteissa ja siihen miten niiden aiheuttamia haittoja voidaan ehkäistä suunnittelussa ja asennuksessa. Työssä selvitettiin myös katapultin sähköjärjestelmään tehdyt muutostyöt sekä EMC-suojauksen että asiakkaan toivomien muiden parannuksien osalta.

Työn tavoitteet täyttyivät suhteellisen hyvin ja katapultin kehitystyössä päästiin lähemmäs tavoiteltua laitekokonaisuutta. Sähkökaaviot saatiin tehtyä niin pitkälle valmiiksi, kuin annetussa aikataulussa ja suunnitteluhetken tiedoilla oli mahdollista. Myös suuntaa antavat asennusohjeet tehtiin, jotta asentajat kiinnittävät riittävästi huomiota katapultin toiminnan ja erityisesti EMC-suojauksen vaatimiin seikkoihin. Katapultin täyttämät standardit esiteltiin siltä osin kuin ilman asianmukaisia EMC-testejä oli mahdollista.

Muutamit seikat jäivät vielä kesken, koska asiakkaan taholta ei oltu varmoja, miten jokin asia halutaan lopullisesti toteuttaa. Tällainen asia oli esimerkiksi moottorinohjausyksikön valinta. Koska uuden moottorinohjausyksikön tyyppistä ei saatu tietoa ajoissa, on sähkökaaviot piirretty vanhan ohjausyksikön kytkentöjen mukaisesti. Lisäksi jäi epäselväksi, voidaanko tiedustelulennokin lähtönopeuden pulssianturi kytkeä IFM:n logiikan CAN-väylään. Sähkökaaviot on kuitenkin piirretty siten, että pulssianturi on kytketty CAN-väylään. Jos tämä ei käytännössä onnistu, joudutaan sähkökaavioita muuttamaan tilanteen vaatimalla tavalla.

Katapultin kehitystyö jatkuu tämänkin jälkeen, sillä on erittäin todennäköistä, että joitakin asioita halutaan muuttaa vielä myöhemmin, kun katapulttia on päästy testaamaan käytännössä. Näillä näkymin katapulttia aletaan valmistaa lähitulevaisuudessa tässä työssä esiteltyjen sähkökaavioiden perusteella, mutta kehitystyö saattaa kestää vielä pitkäänkin ja lopullisen version valmistuminen tästä uudesta katapulttimallista vaatii todennäköisesti ainakin muutaman prototyypin valmistamisen ja testauksen käytännön tilanteessa.



## LÄHTEET

### Painetut lähteet

- 1 Insinööritoimisto Comatec Oy, Yrityksen ABC 2005
- 2 Roxtec, Kaapeliläpiviennit laitekaappeihin - esite
- 3 Roxtec, Cable and pipe transit brochure for EMC applications - esite
- 4 ABB, EMC Compliant Installation and Configuration for a Power Drive System - tekninen opas
- 5 Teknisiä tietoja ja taulukoita, ABB Strömberg, kahdeksas painos, Vaasa Oy 1990
- 6 Rittalin opaskirja asennusta varten, EMC-suojatut kytkentäkaapit - tekninen opas

### Sähköiset lähteet

- 7 Insinööritoimisto Comatec Oy. [www-sivu]. [viitattu 25.7.2006]  
Saatavissa: <http://www.comatec.fi>
- 8 Robonic Ltd Oy. [www-sivu]. [viitattu 25.7.2006]  
Saatavissa: <http://www.robonic.fi>
- 9 Wikipedia - Sähkömagneettinen pulssi. [www-sivu]. [viitattu 26.7.2006]  
Saatavissa:  
[http://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6magneettinen\\_pulssi](http://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6magneettinen_pulssi)
- 10 Milcon Oy - AWG Muunnostaulukko. [www-sivu]. [viitattu 27.7.2006]  
Saatavissa: [http://www.milcon.fi/pdf/muunnostaulukko\\_awg.pdf](http://www.milcon.fi/pdf/muunnostaulukko_awg.pdf)
- 11 CAN in Automation - CANopen Product Guide. [www-sivu]. [viitattu 27.7.2006]  
Saatavissa: <http://www.can-cia.org/products/pg2006/html/index-430.html>
- 12 IFM Electronic - Ecomat 100 CR2500. [www-sivu]. [viitattu 27.7.2006]  
Saatavissa: <http://www.ifm-electronic.com/ifmgb/web/dsfs!CR2500.html>
- 13 HSK-EMV-Industry Standard. [www-sivu]. [viitattu 28.7.2006]  
Saatavissa: <http://www.marylandmetrics.com/prod/hummel/HummelKat17-24.pdf>
- 14 SFS-Standardisointi. [www-sivu]. [viitattu 15.10.2006]  
Saatavissa: <http://sales.sfs.fi>
- 15 SFS-standardien luettelo. [www-sivu]. [viitattu 15.10.2006]  
Saatavissa: <http://www.sfs.fi/luettelo/sfs.php>