



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# INTEGROITU TAAJUUSMUUTTAJA KETJUNOSTINKÄYTÖSSÄ

Aalto Aleksi

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2016  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Koneautomaatio



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Koneautomaatio

AALTO ALEKSI:

Integroitu taajuusmuuttaja ketjunostinkäytössä

Opinnäytetyö 40 sivua, joista liitteitä 9 sivua  
Toukokuu 2016

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella taajuusmuuttajapohjainen ratkaisu ketjunostimen ohjaukseen. Lähtökohtana oli ajatus siitä, että integroitu taajuusmuuttaja on kompaktimpi kuin olemassa oleva ratkaisu eli taajuusmuuttaja erillisellä keskuksella. Lisäksi nähtiin mahdolliseksi, että uudemman ja hieman kalliimman taajuusmuuttajan käyttö voi helpottaa valmistus- ja asennustyötä niin paljon, että kokonaiskustannus laskee.

Tavoitteena oli saada aikaan ratkaisu, joka vastaa teatterikäytön tarkkoihin ehtoihin ja vaatimuksiin. Ketjunostimelta vaadittiin C1-merkintä, jolloin sen ohjaukselta vaadittiin mm. ylinopeusvalvonta, vaaka, ajo- ja turvarajat ala- ja yläasemissa, hätä-seis-toiminto ja mahdollisuus käyttää kahta erillistä jarrua. Teatterikäytössä ratkaisulta vaaditaan myös tarkkaa paikoitusta, ryhmäajoa ja mahdollisuutta liittyä kenttäväylään. Huolto ja asennus asettavat omat vaatimuksensa, SIL- ja IP-luokat tulee säilyttää ja laite tulee pitää kompaktina ja kustannustehokkaana.

Ratkaisu oli luonnollisesti kompromissi, jossa punnittiin osien ja valmistuksen hintaa, asennuksen kustannuksia ja laitteen suorituskykyä. Sopivan ratkaisun löydyttyä hankittiin osat, rakennettiin prototyyppi ja varmistettiin yhteensopivuus ketjunostimen ja ohjausjärjestelmän kanssa.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi laite, joka on yhtä suorituskykyinen olemassa olevan ratkaisun kanssa, merkittävästi kompaktimpi ja jolla on lyhyempi läpimenoaika. Lisäksi ratkaisu mahdollistaa lähes kaikkien kytkentöjen suorittamisen jo valmistusvaiheessa, jolloin kallis asennusvaihe jää lyhyeksi. Käytetyt komponentit ovat kuitenkin kalliimpia, mikä syö ison osan saavutetusta säästöstä.

---

integroitu taajuusmuuttaja, ketjunostimen ohjaus, näyttämötekniikka, automaatio

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Mechanical and Production Engineering  
Machine Automation

Aalto Aleksis:  
Integrated Frequency Converter In Electric Chain Hoist Operation

Bachelor's thesis 40 pages, appendices 9 pages  
May 2016

---

The purpose of this thesis was to design a frequency converter based solution to control electric chain hoists. An integrated frequency converter is more compact than existing solution with separate signal box. It was also believed using a newer and more expensive frequency converter might cause the solution to be so much easier to build and install it would lower the total costs.

The solution had clear requirements it had to meet. Chain hoist had to be marked as C1, which meant it was required of the controller solution to be able to use two separate brakes, monitor speeding, measure loads, limit the range of lifting for both upper and lower limits and perform an emergency stop function. For it to be used in stage applications it was also required of the controller to track exact positions of the hoists, drive the hoists in a group and connect to a fieldbus. Maintenance and install had to be taken into consideration, SIL and IP ratings had to be maintained while keeping the controller solution compact and cost efficient.

The final solution was a compromise which weighed up performance and costs of parts, manufacturing and installation. As the right combination was found, the parts were acquired, a prototype was built and compatibility with the chain hoist and control system was confirmed.

The product of this thesis is as capable as the existing solution but it is a lot more compact and has a shorter lead time. With this new solution it is also possible to do nearly all of the circuitry in manufacture which shortens the expensive installation period. The components used however were more expensive which ate up a good part of the money saved.

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	INSTA AUTOMATION OY .....	7
	2.1 Perinteet .....	7
	2.2 Organisaatio .....	7
3	TEORIATAUSTA.....	9
	3.1 Ketjunostin.....	9
	3.2 Turvallisuus .....	11
	3.2.1 BGV-merkintä.....	11
	3.2.2 Safety Integrity Level.....	12
	3.2.3 Jarrut.....	14
	3.2.4 Ajo- ja turvarajat .....	15
	3.3 IP-luokat.....	17
	3.4 Taajuusmuuttaja.....	19
	3.5 Pulssianturi.....	20
4	LAITESUUNNITTELU.....	23
	4.1 Taajuusmuuttajan valinta.....	23
	4.2 Komponenttien valinta.....	24
	4.3 Laitteen rakentaminen ja koeajot.....	24
5	TULOKSET .....	26
	5.1 Laitteen koko ja suorituskyky.....	26
	5.2 Laitteen hinta, valmistus- ja asennuskustannukset .....	26
6	POHDINTA.....	28
	LÄHTEET.....	29
	LIITTEET .....	31

**ERITYISSANASTO**

Ohjelma	Logiikkaan ajettu koodi, joka mahdollistaa älykkään konekohtaisen ohjauksen ja yksittäisen laitteen kommunikointiin koko teatterin kattavan ohjausjärjestelmän kanssa.
Parametrit	Koneen parametreista puhuttaessa tarkoitetaan kansankielisesti asetuksia. Taajuusmuuttajassa eri parametreja voi olla satoja, esimerkiksi moottorin maksiminopeus tai kiihdytystapa.
Paikoitus	Ohjelmaan tuodaan tarkka tieto nostimen asemasta, jolloin nostimet voidaan ajaa tarkasti haluttuun paikkaan.
Ryhmäajo	Kahta tai useampaa ketjunostinta ajetaan siten, että ne pysyvät keskenään täsmälleen samassa asemassa.

## 1 JOHDANTO

Taloustilanteen tiukentuessa julkisen rahan laitokset hakevat säästöjä. Näin tapahtuu myös teattereissa, jotka joutuvat tinkimään näyttämötekniikasta. Vanhojen nostimien ja muiden laitteiden käyttöikä kuitenkin loppuu ja ne on pakko uudistaa, jos niitä haluaa käyttää. Yleistynyt trendi teattereiden näyttämötekniikan uusimisurakoissa onkin korvata vaijeripohjaisia pistenostinratkaisuja ketjunostimilla.

Ketjunostimia joudutaan kuitenkin asentamaan useita, jopa kymmeniä, jotta jo saavutetusta monikäyttöisyydestä ei tarvitse luopua. Tämä tarkoittaa sitä, että ketjunostinratkaisujen osuus koko urakasta kasvaa merkittäväksi. Urakoista taistelevat yritykset kehittävät nyt kilpaa tehokkaampia ratkaisuja ketjunostimen ohjaukseen ja tästä tarpeesta on syntynyt myös tämä opinnäytetyö.

Insta Automation Oy on reagoinut ketjunostimien kasvavaan kysyntään jo aiemmin. Vuonna 2014 valmistui opinnäytetyö (Valmu 2014.), joka lähti etsimään ratkaisua samaan kysymykseen. Kaksi vuotta on kuitenkin pitkä aika olla tekemättä tuotekehitystä, ja alan johtavana toimijana pysyminen vaatii jatkuvaa panostusta omiin ydintoimintoihinsa. Taajuusmuuttajat ovat menneet eteenpäin, ja teattereiden vaatimukset ovat hieman muuttuneet. Näistä syistä johtuen on taas ajankohtaista aloittaa suunnittelu uudestaan lähes alusta käyttäen uuden sukupolven integroitua taajuusmuuttajaa lähtökohdiana.

Valmun opinnäytetyössä suunniteltiin ketjunostimen ohjauksen lisäksi myös sähkö- ja automaatiokeskus, mutta tällä kertaa päätettiin lähestyä aihetta yksittäisen ketjunostimen ohjauksen kautta. Tässä opinnäytetyössä keskityttiin suunnittelemaan joka tilanteeseen sopiva perusratkaisu ja antaa yksittäisen projektin vaatimusten määrittää sähkö- ja automaatiokeskuksen koko ja varustelu.

## 2 INSTA AUTOMATION OY

### 2.1 Perinteet

Insta Group Oy aloitti toimintansa Tampereella kesäkuussa 1960 nimellä Automatiikka-Asentajat Mattsson & kumppanit. Vuosikymmenen kuluttua työntekijöitä oli 220 ja yhtiö laajensi automaation asentamisesta automaation suunnitteluun. 1970-luvulla perustettiin Automatiikka-Asentajat Oy:lle tytäryhtiö Instrumentointi Oy, joka keskittyi teollisuusautomaatioprojektien esivalmisteluun, metsäteollisuuden kunnossapitotöihin, lentokonemittareiden korjaamopalveluihin ja huoltamolaitteiden valmistukseen. Myöhemmin toiminta laajentui puolustusteknologian kehitystyöhön, johon kuului mm. koulutussimulaattori- ja johtamisjärjestelmiä, sekä asejärjestelmien modernisointeja.

(Insta Group Oy 2016.)

Vuonna 1985 Automatiikka-Asentajat Oy fuusioitiin Instrumentointi Oy:öön. Pian sen jälkeen tapahtui sukupolvenvaihdos, jossa omistus pohja muuttui, kun Finn Mattsson siirsi yrittäjänvastuun pääosan Markus Mattssonille. Vuosituhannen vaihteessa tapahtui merkittäviä rakenteellisia muutoksia, joiden seurauksena toimintaa eriytettiin eri tytäryhtiöihin. (Insta Group Oy 2016.)

### 2.2 Organisaatio

Nykyään Insta Group Oy on edelleen perheyhtiö, joka tytäryhtiöineen työllistää yli 750 työntekijää. Groupin liikevaihto lähenee 100 miljoonaa euroa. Molemmat luvut ovat voimakkaasti kasvussa ja luonnollisesti kasvu onkin yksi Insta Groupin tavoitteista.

(Insta Group Oy 2014.)

Valtaosa Insta Groupin toiminnasta tapahtuu sen tytäryhtiöissä. Emoyhtiön työntekijät ovat lähes kaikki töissä hallinnon tehtävissä. Tytäryhtiöt ovat tiivistä yhteistyötä Puolustusvoimien kanssa tekevä Insta DefSec Oy, joka keskittyy tilannetietoisuus- ja tietoturvaratkaisuihin ja -palveluihin, ilmaisan elinkaaritoimintoihin keskittyvä Insta ILS Oy, virtuaalitekniikoihin ja innovatiivisiin palveluihin keskittyvä Insta Innovation, sekä teollisuusautomaation erikoistunut Insta Automation Oy.

Insta Automationin osuus koko konsernin liikevaihdosta vuonna 2014 oli 60 %. Insta Automation kattaa koko investoinnin elinkaaren suunnittelusta, valmistuksesta ja asennuksesta kunnossapitoon ja modernisointeihin. Insta Automation tarjoaa näitä palveluita kokonaistoimituksina ja erillispalveluina. Tyypillinen asiakas on pitkälle automatisoitu vesilaitos, energialaitos, elintarvikevalmistaja tai teatteri.

(Insta Group Oy 2016.)



### 3 TEORIATAUSTA

#### 3.1 Ketjunostin

Ketjunostimella voidaan tarkoittaa hyvin erilaisia laitteita. Yksinkertaisimmillaan ketjunostin on käsikäyttöinen nostin, jota käytetään vetämällä roikkuvaa ketjua eri suuntiin (kuva 1). Sähköisistä ketjunostimista yksinkertaisin ketjunostintyyppi on paikallisohjaimella varustettu ketjunostin (kuva 2). Opinnäytetyössä käsitellään kuitenkin ominaisuuksiltaan pidemmälle vietyä taajuusmuuttajaohjattua ketjunostinta. Yhteistä ketjunostimille on kuitenkin teräsketju, jonka toisessa päässä on koukku. Ketjun toinen pää kulkee ketjunostimen läpi nostimessa rokkuvaan pussiin. Nostokorkeutta rajoittaa ainoastaan ketjun pituus ja siitä aiheutuva paino. Useimmat sähkökäyttöiset ketjunostimet voidaan asentaa ylösalaisin, jolloin ketjunostin kulkee taakan mukana. Näin kannattaa tehdä esimerkiksi valoja tai muita sähköisiä laitteita ripustettaessa, sillä näin vältetään sähkön viemiseltä kahteen paikkaan. (LiftKet 2015b.)

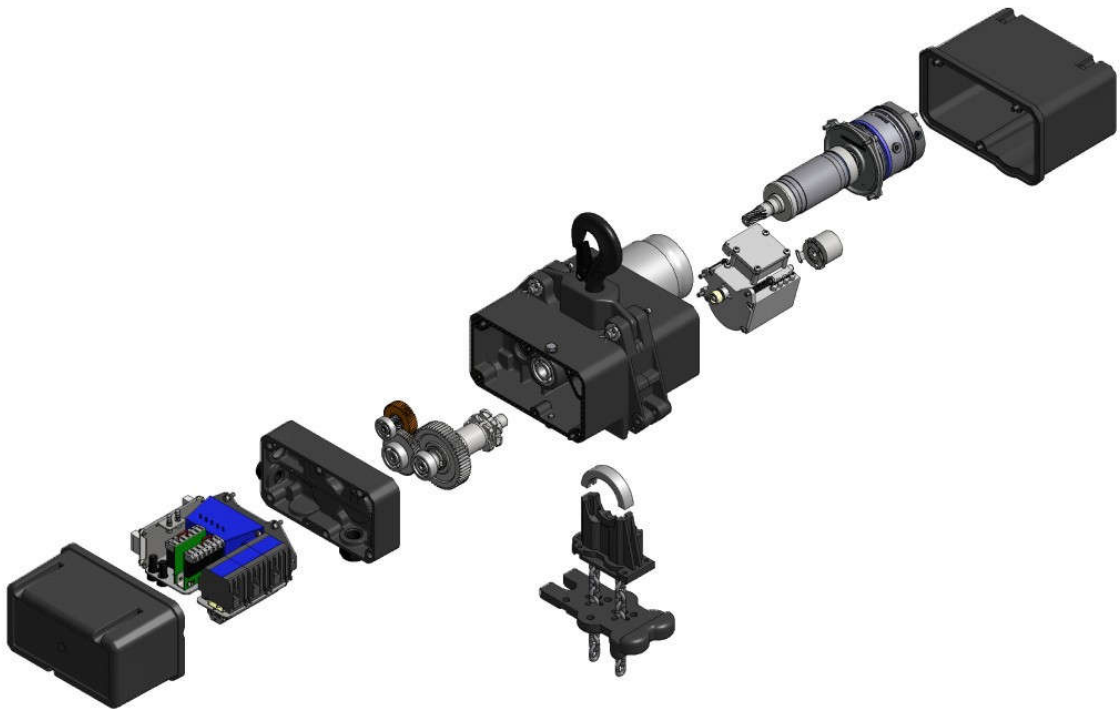


Kuva 1. Käsikäyttöinen ketjunostin. (Discoland 2016.)



Kuva 2. Paikallisohjaimella varustettu ketjunostin (Erikkila Oy 2013.)

Näyttämötekniikkaan suunnitelluilta nostimilta vaaditaan erityisiä ominaisuuksia, kuten hiljaista käyntiäntä, kaksinkertaista jarrua, sähköisiä rajoja, mahdollisuutta nopeusvalvontaan ja vaakaa. Laittevalmistajilta löytyy nostimia täyttämään näitä vaatimuksia, ja usein laitevalmistajan tuoteperheistä löytyy nimenomaan näyttämökäyttöön suunniteltu tuotesarja. Esimerkiksi saksalaisen LiftKetin näyttämötekniikkaan tähdätyn tuotesarjan Stageket nostimessa (kuva 3) näkyy ensioakselin päässä oleva kaksoisjarru, toisioakselilla oleva rajapaketti ja toisioakselin päässä näkyvä pulssianturi. (LiftKet 2015b.)



Kuva 3. Räjätyskuva StageKet ketjunostimesta.  
(LiftKet 2015a.)

## 3.2 Turvallisuus

Nostimista puhuttaessa turvallisuus ei ole vain täytesana, jolla laitevalmistajat yrittävät luoda tuotteelleen lisäarvoa. Erityisesti teattereissa nostimia käytetään säännöllisesti kannattelemaan raskaitakin taakkoja ihmisten yläpuolella. Nostimilla voidaan myös liikutella satojen kilojen painoisia taakkoja näyttelijöiden tai yleisön yläpuolella kesken näytöksen. Riskien ollessa valtavat, turvallisuusvaatimukset kasvavat merkittävään rooliin laitesuunnittelussa.

Teattereiden rakentaminen ja uudistaminen tapahtuu julkisella rahalla, joka tarkoittaa avointa tarjouskilpailua. Riskien hallinnassa nojataan turvaluokkiin ja standardeihin ja niiden vaatimusten saavuttaminen maksaa. Voittavan tarjouksen jättäneen yrityksen murheeksi jää kalliiden vaatimusten täyttäminen asiakkaan, hävinneiden yritysten ja oman laadunvalvonnan tarkkaillessa. Näistä syistä turvallisuus onkin usein koko suunnittelun lähtökohtana, ja kyky suoriutua näistä haasteista määrittää yrityksen menestystä alalla.

### 3.2.1 BGV-merkintä

SR2.0 on saksalainen ketjunostinkäyttöön suunnattu standardi, joka on yhdenmukainen kone-, matalajännite- ja EMC-direktiivien kanssa. SR2.0 luokittelee ketjunostimet käyttötarkoituksen mukaan BGV-luokkiin. BGV-merkintä löytyy lähes kaikista Euroopassa myytävistä ketjunostimista. (HoistUK 2008.)

BGV-merkintä ketjunostimen kyljessä riittää täyttämään vaatimukset vain jos sitä käytetään nostimen omalla ohjaimella. Teattereissa ketjunostimilta vaaditaan paljon enemmän, esimerkiksi tarkkaa paikoitusta ja ryhmäajoa. Tästä syystä BGV-merkintä laajenee koskemaan ohjausta, joka tapahtuu usein taajuusmuuttajalla, joka saa käskynsä koko teatterin laitteiston yhdistävältä ohjelmalta.

Käytännössä teattereissa ketjunostimien käyttö on taakkojen kannattelua (D8+) tai taakkojen liikuttelua ihmisten yläpuolella (C1). Taulukosta 1 käy ilmi näiden tilanteiden vaatimusten eroavaisuudet. Erot tulevat dynaamisen ja staattisen kuorman käsittelyn eroista. Esimerkiksi D8+ nostin ei tarvitse hätä-seis-toimintoa, sillä taakka ei liiku. (HoistUK 2008.)

BGV-merkintä	D8+	C1
Käyttötapa	staattiset taakat	dynaamiset taakat
Varmuuskerroin	10:1	10:1
Jarrujen lukumäärä	2	2
Sähköiset ajo- ja turvarajat	Ei vaadittu	Ajo- ja turvarajat alaja yläasentoon
Mekaaniset rajat	Vaadittu	Vaadittu
Hätä-seis-toiminto	Ei vaadittu	Vaadittu
Ohjain	Suositteltu	Vaadittu
Ylikuorman valvonta	Ei vaadittu	Vaadittu
Alikuorman valvonta	Ei vaadittu	Vaadittu
Inkrementtianturi	Ei vaadittu	Ei vaadittu

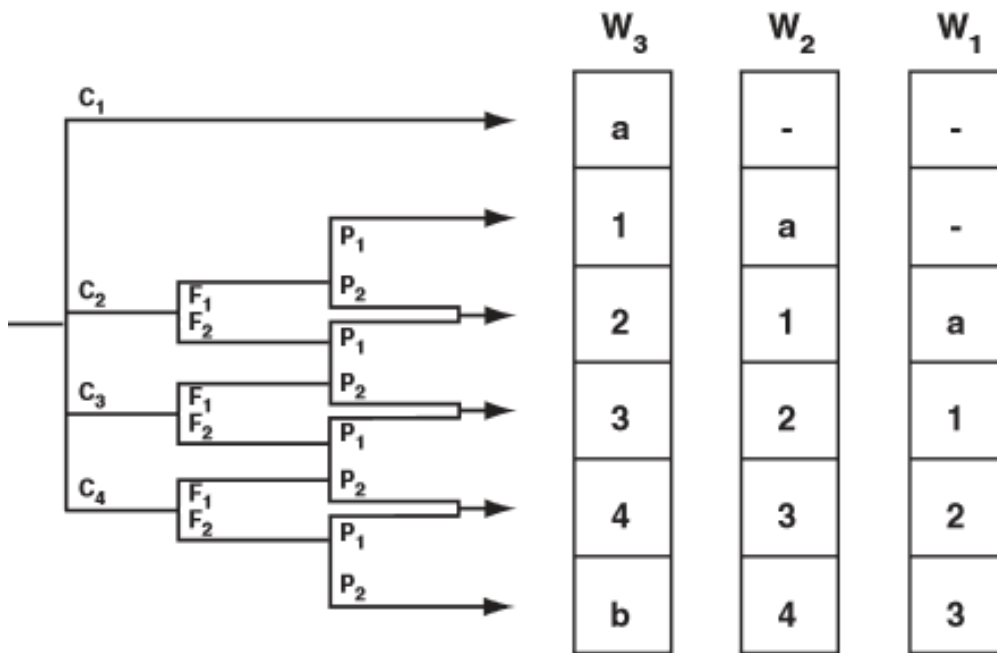
Taulukko 1. D8+ ja C1 merkintöjen vaatimusten vertailu.

(mukailtu HoistUK 2008.)

### 3.2.2 Safety Integrity Level

Standardi IEC/EN 61508 käyttää riskien arvioinnissa matemaattista kaavaa. Kaava ottaa huomioon mm. mahdollisten vahinkojen suuruuden, vaaratilanteen toistumisen tiheyden, vaaratilanteen todennäköisyyden muuttumisen vahingoksi ja mahdollisuuden välttää vahinko vaaratilanteen muuttuessa konkreettiseksi uhaksi. Laskutoimituksen tuloksena on turvatoiminnolta vaadittava Safety Integrity Level (SIL). Kaava on työstetty suunnittelijoiden tarpeisiin helposti käytettäväksi riskigraafiksi (Kuva 4).

(Pepperl + Fuchs 2007.)



Kuva 4. Safety Integrity Level riskigraafi.

(Pepperl + Fuchs 2007.)

#### Merkintöjen selitykset

1,2,3,4	Turvatoiminnolta vaadittu SIL luokka
-	Siedettävä riski, ei turvatoimia
a	Siedettävä riski, ei tarvetta SIL luokitelluille turvatoimille
b	Yksittäinen luokiteltu turvatoiminto ei ole riittävä
C	Vamman vakavuus
C1	Lievä (tavallisesti palautuva vamma)
C2	Vakava (tavallisesti palautumaton vamma, kuolema)
C3	Useita kuolemia, pitkäaikaisia vammoja
C4	Katastrofaaliset seuraukset
F	Vaaralle altistumisen taajuus tai kesto
F1	Harvoin...toisinaan tai lyhyt altistumisaika
F2	Toistuvasti...jatkuvasti tai pitkä altistumisaika
P	Mahdollisuus välttää vaara
P1	Mahdollista tietyissä olosuhteissa
P2	Tuskin mahdollista
W	Esiintymisen todennäköisyys
W1	Erittäin matala
W2	Matala
W3	Korkea

Teattereissa ketjunostimia käytetään eri tavoin ja opinnäytetyössä suunniteltua laitetta aiotaan käyttää useassa kohteessa. Poikkeuksellisesti SIL-luokka ei siis ole tiedossa suunnitteluvaiheessa.

Teattereiden käyttökohteissa lähdetään yleensä liikkeelle kuvan 4 riskigraafissa kohdasta C2, joka tarkoittaa taakan putoamista yhden ihmisen päälle. Taakat saatavat roikkua katossa kuukausia ja niiden alla työskennellään päivittäin. Taakan pudotessa ilman varoitusta kohti ihmistä, mahdollisuus välttää vahinko on olematon. Laitteet ovat varmatoimisia, mutta inhimilliset virheet asennuksessa ja käytössä nostavat esiintymisen todennäköisyyden matalaksi. Riskigraafia tulkitsemalla päästään SIL 2-luokkaan, jota käytettiin opinnäytetyössä suunnittelun lähtökohtana. Suunnittelussa pidettiin kuitenkin mielessä mahdollisuus nostaa laitteen SIL-luokitusta.

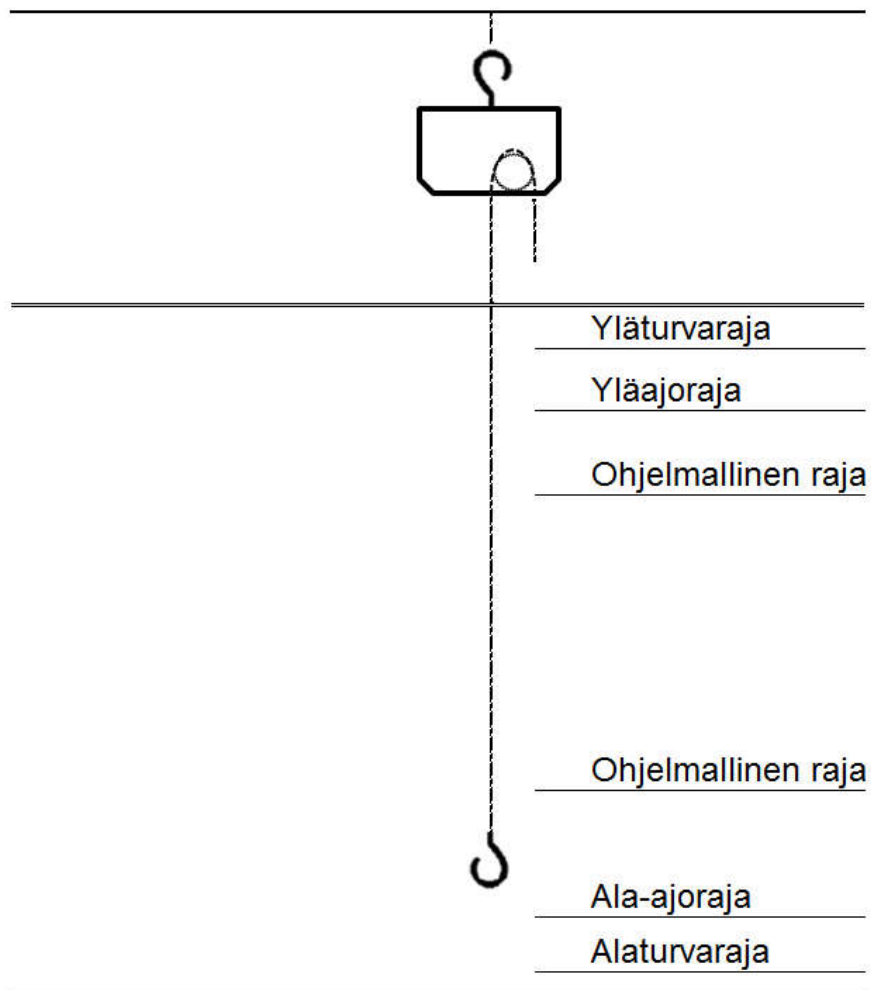
### **3.2.3 Jarrut**

Nostokäytössä taakkojen liikkeen hidastaminen ja pysäyttäminen tehdään taajuusmuuttajalla ilman jarrua. Jarrua käytetään ainoastaan taakan paikallaan pitämiseen ja hätäseistilanteissa. Jarrut toimivat siten, että sähköön katketessa jousi painaa jarrun kiinni, jolloin taakka pysähtyy. Teatterijarrut toimivat tasasähköllä, joka saadaan vaihtosähköstä tasasuuntaajien avulla. D8+- ja C1-merkintöjen saavuttamiseksi ketjunostimiin on asennettu kaksi peräkkäistä jarrua, jotka yksinkin riittäisivät pysäyttämään maksimikuorman. (LiftKet 2016.)

Kaksinkertainen jarru aiheuttaa vaatimuksia ketjunostimen ohjauksessa käytettävälle taajuusmuuttajapohjaiselle ratkaisulle. Ratkaisussa tulee olla kaksi erillistä jarrunohjauskomponenttia tasasuuntaajineen, mahdollisuus testata yksittäisen jarrun toimivuus erillisellä ohituskytkimellä ja mahdollisuus ajoittaa jarrujen toiminta siten, että kaksinkertaisen jarrun aiheuttama äkkipysähdys ei aiheuta kohtuutonta rasitusta mekaniikalle. Lisäksi kaksinkertainen jarru ja sen ohjaus varaa taajuusmuuttajalta digitaalisia tuloja ja lähtöjä enemmän kuin yksinkertainen jarru.

### 3.2.4 Ajo- ja turvarajat

Ajo- ja turvarajat ovat estämässä taakan osumista kiinteisiin esteisiin. Rajojen sijoittelu on esitelty kuvassa 5. Nostokäytössä liikenopeedet eivät ole suuria, mutta massan kasvaessa pienelläkin nopeudella saa aikaan isoja kolhuja. Alarajat asetetaan siten, että koukun saa laskettua lähes lattiaan asti. Alarajoja käytetään huolehtimaan siitä, että koko ketjua ei saa ajettua ulos ketjunostimesta, joka aiheuttaisi raskaan ketjun putoamisen. Lisäksi käytetään ohjelmallista alarajaa noin metrin korkeudessa, jotta ketjunostimeen mahdollisesti ripustetut näyttämövalaisimet tai kaiuttimet eivät osu lattiaan koneenkäyttäjän keskittymisen herpaantuessa. Kahden ketjunostimen väliin asennettuun tankoon saa ripustettua tuhansien eurojen arvosta näyttämötekniikkaa.

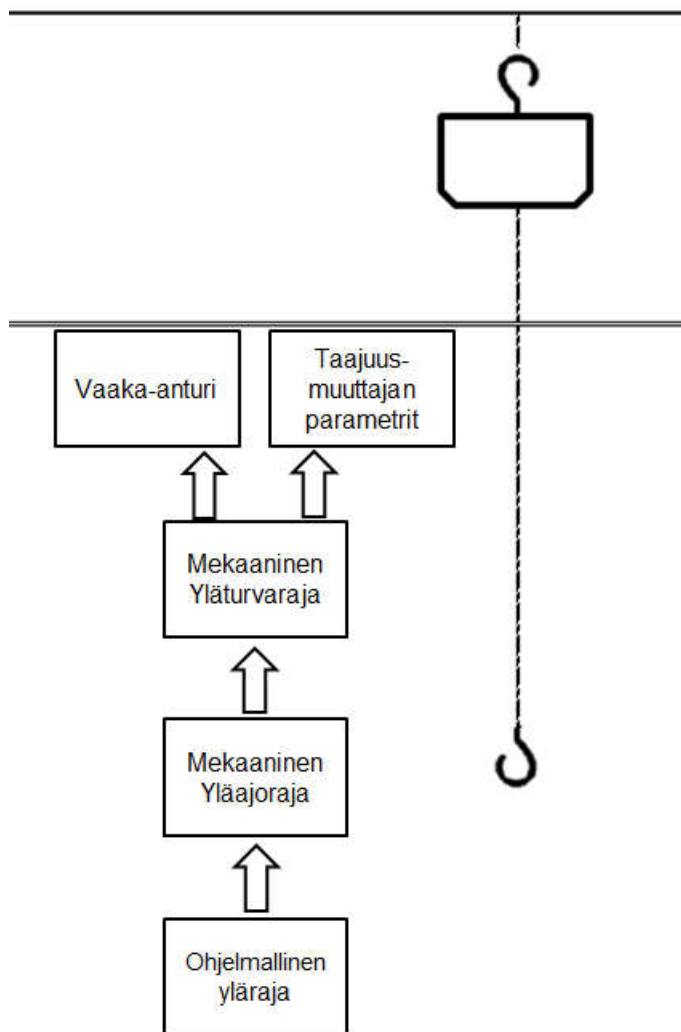


Kuva 5. Rajojen sijoittelu

Ylärajat näyttävät äkkiseltään tarpeettomilta, mutta usein nostoketju on pujotettu ulla-kon katossa roikkuvalta ketjunostimelta konetilan lattian tai huoltotason ritilän läpi. Nostimeen ripustettu taakka ei mahdu samasta välistä ketjun kanssa. Teoriassa taakka voisi silloin repiä välikaton mukanaan tai ketjunostimen alas katosta, mutta turvaluokiteltuja komponentteja tulisi pettää niin monta, että käytännössä se ei ole mahdollista.

Välikattoa lähestyttäessä ensimmäisenä tulevat vastaan ohjelmalliset rajat, jotka muodostuvat ohjelmallisesti pulssianturin pulsseja laskemalla. Ohjelma huomaisi pulssianturin vikaantumisen ja logiikka itsessään on turvakomponentti. Seuraavaksi vastaan tulevat mekaaniset ajo- ja turvarajat toimivat itsenäisesti välittämättä ohjelmassa ilmaantuvista vioista. Rajapaketti on toisioakselilla, joka pyörii pienellä välityssuhteella ensiöakselin kanssa. Rajat toimivat siten, että johtimen katketessa raja laukeaa. Turvarajan laukeaminen sammuttaa taajuusmuuttajan, joka katkaisee sähkönsyötön ketjunostimelta ja laukaisee kaksinkertaisen jarrun. Turvatoiminto on niin tehokas, että nostimen ajaminen pois turvarajoilta on vaikeaa ja se täytyy ottaa huomioon jo suunnittelussa. Näiden turvatoimien lisäksi on venymäliuskaan perustuva vaaka-anturi, joka huomaisi äkillisesti kasvavan kuorman kiinteään esteeseen osuttaessa. Myös taajuusmuuttaja, jonka parametreihin on asetettu maksimiarvoja esimerkiksi virralle, on turvallisuutta lisäävä tekijä. Osumasta välikattoon muodostuisi virtapiikki, joka ylittäisi selkeästi maksimiasetusarvon, jolloin taajuusmuuttaja menisi turvallisesti vikatilaan. Turvatoimintojen laukeamisjärjestys on kuvattu kaaviossa 1.




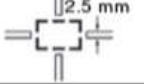
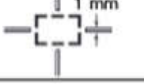






Kaavio 1. Turvatoimintojen laukeamisjärjestys lähestyessä välikattoa.










### 3.3 IP-luokat

IP-luokitus tarkoittaa laitteen koteloinnin tiiveyden tasoa. Luokat määritellään IEC 60529 standardissa. Luokitus koostuu kahdesta numerosta, joista ensimmäinen tarkoittaa suojausta partikkeleita vastaan ja toinen koteloinnin tiiveyttä vettä vastaan. Teattereissa käytettäviltä laitteilta on ollut tapana vaatia IP55-luokitusta ja sitä pidettiin suunnittelun lähtökohtana. IP55 tarkoittaa taulukoista 2 ja 3 luettuina tiiveyttä haitallisia pölykertymiä ja vesisuihkuja vastaan. (Omron 2016.)

0		Ei suojausta
1		Suojaus 50 mm halkaisijaltaan olevia partikkeleita vastaan
2		Suojaus 12,5 mm halkaisijaltaan olevia partikkeleita vastaan
3		Suojaus 2,5 mm halkaisijaltaan olevia partikkeleita vastaan
4		Suojaus 1 mm halkaisijaltaan olevia partikkeleita vastaan
5		Suojaus haitallisia pölykertymiä vastaan
6		Suojaus kaikkea pölyä vastaan

Taulukko 2. Suojaus partikkeleita vastaan.

(mukailtu Omron 2016.)

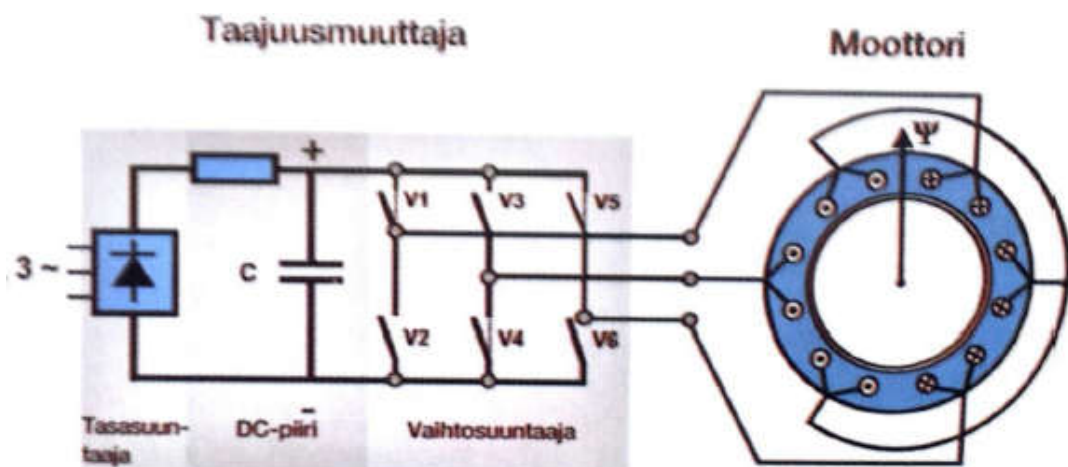
0		Ei suojausta
1		Suojaus haitallista tippuvaa vettä vastaan
2		Suojaus haitallista tippuvaa vettä vastaan laitteen ollessa vinossa
3		Suojaus korkeintaan 60 asteen kulmassa satavaa haitallista vettä vastaan
4		Suojaus roiskuvaa haitallista vettä vastaan
5		Suojaus haitallisia vesisuihkuja vastaan
6		Suojaus voimakkaita haitallisia vesisuihkuja vastaan
7		Suojaus haitallista hetkellistä upottamista vastaan
8		Suojaus haitallista jatkuvaa upotusta vastaan

Taulukko 3. Suojaus vettä vastaan

(mukailtu Omron 2016)

### 3.4 Taajuusmuuttaja

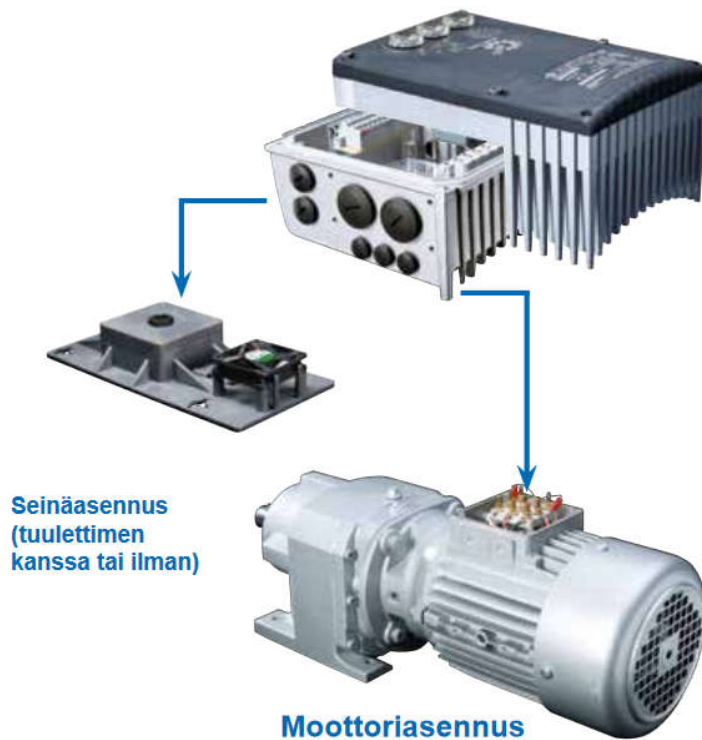
Taajuusmuuttajan tehtävä on mahdollistaa moottorin portaaton käyntinopeuden ja momentin säätäminen. Eniten käytetyt taajuusmuuttajat koostuvat komponenteista, jotka esitellään kuvassa 6. Näitä komponentteja ovat tasasuuntaajat, jotka kääntävät vaihtosähkön tasasähköksi, välipiiri, joka varaa ja suodattaa tasasähköä ja vaihtosuuntaaja, joka muuttaa tasasähkön halutun taajuuden vaihtosähköksi. Taajuusmuuttajassa on myös ohjauspiiri, joka ohjaa taajuusmuuttajan puolijohteita, sekä lähettää ja vastaanottaa ohjaussignaaleja muilta laitteilta. (Kauppila, J., Tiainen, E. & Ylinen, T. 2009, 44.)



Kuva 6. Taajuusmuuttajan toimintaperiaate.

(Kauppila, J., Tiainen, E. & Ylinen, T. 2009, 44.)

Kyseisessä opinnäytetyössä ratkaisua on lähdetty etsimään integroitavasta taajuusmuuttajasta. Integroitu taajuusmuuttaja käsitteenä eroaa tavallisesta taajuusmuuttajasta asennus- ja kytkemismahdollisuuksissa. Integroitu taajuusmuuttaja voidaan asentaa suoraan yleisimpien vaihtosähkomoottoreiden ohjauslaatikon paikalle, säilyttäen IP luokat ja helpottaen kytkemistä. Asennusvaihtoehdot esitellään kuvassa 7.

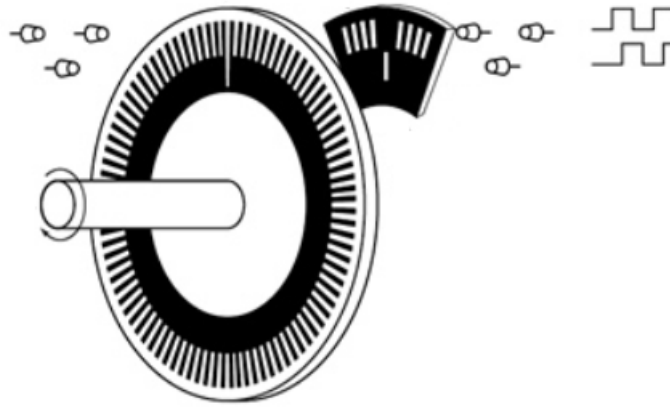


Kuva 7. Integroidun taajuusmuuttajan asennusvaihtoehdot.  
(NORD Gear Oy 2015.)

### 3.5 Pulssianturi

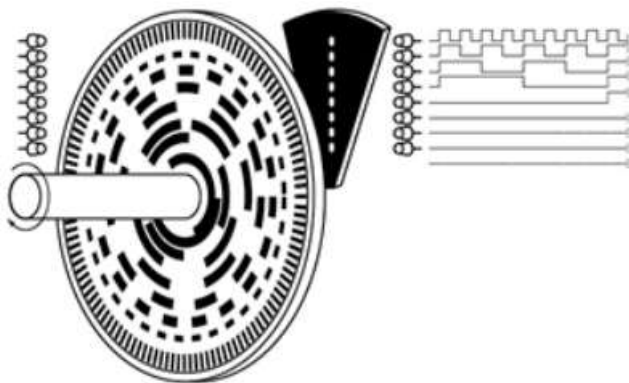
Pulssianturin tehtävä on lähettää tietoa akselin asennosta. Pulssianturissa on valonlähde, usein LED valo, ja valon vastaanotin, diodi. Näiden välissä on hilakiekkko, joka on kiinni moottorin akselissa ja pyörii sen mukana. Hilakiekkko katkoo pyöriessään valoa, joka luo valon vastaanottajalle pulssimaista signaalia. Pulssianturi muodostaa tästä signaalista kantiaaltoa, jota käytetään akselin asennon ja pyörimisnopeuden määrittämiseen. Pulssianturit jaetaan usein kahteen alaluokkaan: inkrementtiantureihin ja absoluuttiantureihin. (Tamagawa Seiki Co. 2016.)

Inkrementtianturin toimintaperiaate näkyy kuvassa 8. Inkrementtiantureissa on joko useita valonlähteitä ja valon vastaanottamia, tai kaksi hilakiekkkoa. Näillä saadaan aikaiseksi kaksi 90 asteen vaihe-erossa olevaa pulssia, joista voidaan päätellä pyörimissuunta. (Tamagawa Seiki Co. 2016.)



Kuva 8. Inkrementtianturin toimintaperiaate.  
(Tamagawa Seiki Co. 2016.)

Absoluuttianturi eroaa inkrementtianturista siten, että hilakiekolla luodaan binäärikoodia, joka suoraan kertoo akselin asennon. Kuvassa 9 esitellään absoluuttianturin toimintaperiaate. Jokainen LED ja diodi pari on yksi bitti. Kuvan absoluuttianturissa pareja on 8, jolloin yksi akselin pyörähdys voidaan jakaa 256 osaan. Resoluutiota lisätään kasvattamalla pariien määrää. Absoluuttianturin etuja verrattuna inkrementtianturiin ovat sen kyky lähettää suoraan asentotietoa ja asentotiedon säilyminen sähköön katketessa. Sähköön palatessa hilakiekkko on edelleen samassa asennossa, mistä luetaan asentotieto. Absoluuttianturit ovat kuitenkin kooltaan isompia kuin inkrementtianturit, ja ketjunostimen akselin päässä on ahdasta. (Tamagawa Seiki Co. 2016.)



Kuva 9. Absoluuttianturin toimintaperiaate  
(Tamagawa Seiki Co. 2016.)

Teatterikäyttö vaatii taajuusmuuttajalta paljon, ja usein tehtävään pystyvä taajuusmuuttaja osaa laskea inkrementtianturin kanttiaallon pulsseja. Taajuusmuuttaja lähettää laskurin lukemaa logiikalle, jolle kerrotaan yhden pulssin pituus mittayksikkönä. Näin pulssijonosta saadaan selville nopeuden lisäksi myös tarkkaa paikoitustietoa. Taajuusmuuttaja osaa tallentaa laskurin lukeman sähkön katketessa, jolloin absoluuttianturin ominaisuus asentotiedon säilyttämisestä sähkökatkon sattuessa voidaan saavuttaa myös inkrementtianturilla.

## 4 LAITESUUNNITTELU

### 4.1 Taajuusmuuttajan valinta

Taajuusmuuttajan valinta oli selkeästi opinnäytetyön isoin yksittäinen päätös. Eri valmistajat varustavat taajuusmuuttajansa eri ominaisuuksilla, usein tähdäten liukuhihna-käyttöön nostokäytön sijaan. Hyvin nopeasti kävi ilmi, että kaikkia vaatimuksia täyttävää laitetta ei ole markkinoilla.

Seuraavaksi selvitettiin, mitkä ominaisuudet voidaan itse rakentaa taajuusmuuttajan rinnalle, ja mitä se maksaisi. Käytännössä tämä tarkoitti tilannetta, jossa suunniteltiin usean eri valmistajan taajuusmuuttajien pohjalta ratkaisua. Tilannetta vaikeutti se, että osa vaatimuksista oli niin harvinaisia ja pikkutarkkoja, ettei tarvittavan yksityiskohtaista tietoa löytynyt mainoslehtisistä. Tässä vaiheessa valintaprosessia ei kannattanut lähteä selvittämään jokaista yksityiskohtaa, vaan kaiken puuttuvan tiedon oletettiin olevan positiivista. Vaihtoehtoina oli siis useita eri kokoonpanoja, jotka olivat kaikki ehdollisia riippuen selvittämättömistä yksityiskohdista.

Valintaa tehdessä mitään ei rajattu lähtötilanteessa ulos, mutta tietyt isot toimijat olivat niitä, joihin haluttiin päätyä. Lisäksi vaakakupissa painoi yrityksellä oleva kokemus joidenkin valmistajien taajuusmuuttajien käytöstä ja niiden soveltuvuus olemassa olevaan ohjelmaan. Näitä valmistajia olivat mm. Siemens, NORD, Schneider ja Lenze. Muita suunnitteluvaiheessa mukana olleita valmistajia olivat Vacon, ABB ja Yaskawa.

NORD Gear Oy oli ainut valmistaja, jolla oli valikoimissa malli, joka pystyi käsittelemään kahta erillistä jarrua. Ei kuitenkaan ole ongelma käyttää samaa ratkaisua kuin aiemmin on käytetty ja rakentaa pientä keskusta jarrunohjauskomponenteille. Mahdollisuus rakentaa ketjunostimen ohjaus ilman erillistä ohjauskeskusta oli kuitenkin paperille kirjaamaton varovainen tavoite, jota päätettiin lähteä yrittämään. Lisähoukuttimena oli kyseisen mallin turvatulo-ominaisuus, joka mahdollisti SIL 3-luokituksen antamisen laitteelle. NORD Gear tarjosi myös laajan kokoelman laajentavia osia, moduuleita, täydentämään taajuusmuuttajaansa. (NORD Gear Oy 2014.)

## 4.2 Komponenttien valinta

Keskukseton ratkaisu oli kuitenkin oma ongelmansa. Pienikin ohjauskeskus on täynnä komponentteja, jotka täytyi korvata ohjelmassa, taajuusmuuttajan parametreissa tai vain pärjätä ilman. Lisäksi normaalisti keskuksen kylkeen asennetut huolto- ja jarrunohituskytkimet muodostuivat ongelmaksi.

Hyvällä taajuusmuuttajalla ja laajalla moduulivalikoimalla saatiin kuitenkin aikaan yhdistelmä, jossa on tarvittavat päätoiminnot, tarpeeksi tuloja ja lähtöjä pulssi- ja vaakaantureille ja hieman tilaa, johon voi yrittää lisätä puuttuvat kytkimet ja ominaisuudet. NORD Gear oli vahvasti mukana projektissa ja lähetti taajuusmuuttajan testattavaksi.

## 4.3 Laitteen rakentaminen ja koeajot

Testiosien saapuessa oli vielä niin monta selvittämätöntä yksityiskohtaa, että edes summittaisten piirikaavioiden ja kokoonpanopiirustusten piirtäminen oli hyödytöntä. Prototyypin rakennusvaiheessa luettiin laitemanuaaleista ohjeita ja sovellettiin niitä omiin tarkoitukseen. Lisähaasteena oli testikäytössä olleet kaksi ketjunostinta, jossa toisessa oli tarvittava kaksoisjarru ja toisessa oikean kokoinen moottori ja tarvittava rajapaketti turvarajojen kokeilemiseen. Laitetta testattiin siten, että taajuusmuuttajan jarrunohjauskomponentit kytkettiin kaksoisjarruihin ja toisen ketjunostimen jarru pakotettiin auki. Oikean kokoisella moottorilla ajettiin testiajot ja samalla kuunneltiin toisen ketjunostimen kaksoisjarrujen naksumista liikkeelle lähdössä, pysähtyessä ja turvarajoihin saavuttaessa.

Laitteen perustoiminnot valmistuivat nopeasti ja laite toimi odotetusti. Jo ennen osien tilaamista oli hieman tutkittu taajuusmuuttajan parametreja ja todettu siellä olevan mahdollisuuksia komponenttien korvaamiseen. Lisäksi parametrusointi liittyy niin olennaisena osana taajuusmuuttajaohjattuihin moottoreihin, että asiaan käytettiin paljon aikaa. Urakkaa helpottaakseen Insta Automation tarjosi apua ja lähetti ammattilaisen tutkimaan ohjelmaa ja parametreja. Yhdessä ammattilaisen kanssa saatiin viimeiset kriittiset ongelmat ratkottua ja laitetta alettiin jo varovasti sovittaa Insta Automationin tuleviin projekteihin.



Laite oli kuitenkin kaukana valmiista, eikä esimerkiksi huolto- ja jarrunohituskytkimille ollut vielä paikkaa. Itse rakentamalla ongelmaksi muodostuisi laitteen tiiveyden varmistaminen IP-luokkien vuoksi ja valmistuskustannukset nousivat helposti. Ratkaisu oli kompromissi valmiin komponentin ja itse rakentamisen väliltä. Valmis, tiiviiksi luokitellun moduulin sisältö purettiin ja rakennettiin itse tiiviimmin jättäen tilaa omille kytkimille.

Prototyypin todettiin toimivaksi, jonka jälkeen sitä alettiin tuottaa. Tuotteistamisen onnistuminen vaikuttaa laitteen valmistuskustannuksiin merkittävästi, joten siihen panostettiin. Tuotteistamisen seurauksena suoraan kotelon läpivienneistä viedyt kaapelit korvattiin IP-luokitelluilla liittimillä, satunnaiset pultit ja nippusiteet korvattiin yhdenmukaisilla ja sopivan kokoisilla kiinnitystarvikkeilla, kotelon tiiveys varmistettiin tiivistein ja johdotukset mietittiin alusta, jolloin viritykset ja hyppyjohdot saatiin siistittyä.

Tuotteistamisen viimeinen vaihe on valmistuksen suunnittelu. Suunnitelmat pitää olla selkeästi ja yksityiskohtaisesti dokumentoitu, jotta niistä on arvoa yritykselle tulevilla projekteilla. Taajuusmuuttajan kotelon ahtauden vuoksi rakennus- ja johdotusjärjestyksellä on merkitystä, mikä täytyy ottaa huomioon. Kokonaisuudesta piirrettiin piirikaavio (Liite 1) ja kokoonpanopiirustukset (Liite 2). Lopulliset valinnat komponenteista saatiin tehtyä ja osaluettelo (Liite 3) laadittua.

## 5 TULOKSET

### 5.1 Laitteen koko ja suorituskyky

Laitteen suurin vahvuus vertailussa olemassa oleviin ratkaisuihin on sen kompakti koko. Teattereiden ullakot ovat ahtaita ja ketjunostimia voidaan ahtaa samaan tilaan useita kymmeniä. Keskuksen pois jättäminen säästää tilaa, ja ketjunostimen kylkeen asennettava keskus voi myös kääntää ketjunostimen vinoon, mikä voi aiheuttaa ääntä, ketjun kulumista ja taakan heiluntaa.

Laitteen suorituskykyä on vaikea arvioida millään skaalalla. Se joko pystyy kaikkeen siltä vaadittuun tai se ei pysty. Asiakkaalle käyttöliittymä näyttää samalta riippumatta taajuusmuuttajasta, mutta huono laite aiheuttaa ongelmia ohjelmassa, huollossa ja käyttöönotossa. Näitä asioita mietittiin koko prosessin ajan, ja prototyypin testaus hälvensi valtaosan epäilyistä. NORD Gearin edustaja kutsuttiin paikalle tutkimaan laitetta, eikä hän nähnyt ennalta mitään ongelmia.

### 5.2 Laitteen hinta, valmistus- ja asennuskustannukset

Tavoite keskuksettomasta ratkaisusta saavutettiin, mikä tarkoittaa merkittävää säästöä valmistuskustannuksissa. Lisäksi ratkaisussa on pyritty käyttämään mahdollisimman paljon valmiita liittimiä, jotka sopivat jo olemassa oleviin kierteisiin taajuusmuuttajan kotelossa. Näin on saavutettu lisäsäästöjä valmistusvaiheessa.

Säästöjä syntyy myös asennusvaiheessa, sillä ratkaisun pienestä koosta ja integroidusta luonteesta johtuen ketjunostin ja taajuusmuuttaja voidaan kytkeä toisiinsa ja pakata kuljetusta varten omalla verstaalla hyvissä olosuhteissa. Vaihtoehtoinen ja yleisemmin käytetty tapa on kytkeä ketjunostin, taajuusmuuttaja ja muut komponentit toisiinsa vasta työmaalla. Sama työntekijä on yritykselle halvempi omalla verstaalla kuin työmaalla johtuen matkustamisesta, majoituksesta, päivärahoista ja siitä, että ongelmien ilmaantua apu on lähellä.

Laitteen toimintavarmuutta ja huollettavuutta vikatilanteissa voidaan arvioida. Yksi laitteen vahvuuksista on sen nopea asennus, joka tarkoittaa myös sitä, että se on helppo vaihtaa vikatilanteessa. Taajuusmuuttajassa on irrotettava muistikortti, joka voidaan vaihtaa vanhasta hajonneesta laitteesta uuteen ja ehjään. Vikaantunut laite voidaan korjata, kun aikaa löytyy omalla verstaalla, eikä kiireellä kaukaisella työmaalla.

Vaikka yksittäiset osat ovat hieman kalliimpia verrattuna edeltäviin ratkaisuihin, on kokonaiskustannus hieman laskenut. Asian voi ajatella siten, että osa valmistuskustannuksista maksetaan nyt laitteen hinnassa, sillä laite ostetaan valmiimpana. Syntyneen säästön suuruutta on kuitenkin vaikea arvioida ennen kuin yhtään laitetta on valmistettu tai asennettu.

## 6 POHDINTA

Työn tulokset ovat osin luotettavia ja osin parhaita mahdollisia arvioita. Opinnäytetyön tuloksena syntynyt prototyyppi on koeajettu ja todettu toimivaksi. Osien hinnat ovat tiedossa, mutta lopullinen valmistuskustannus ja läpimenoaika paljastuvat vasta mahdollisen sarjamuotoisen valmistuksen alkaessa.

Keskukseton vaihtoehto koettiin niin tärkeäksi, että se päätettiin toteuttaa, jos se vain olisi mahdollista. Tämä rajasi mahdolliset taajuusmuuttajat yhteen, jolloin usein jouduttiin etsimään yhtä tapaa toteuttaa ominaisuus sen sijaan, että valittaisiin useista vaihtoehdoista kustannustehokkain ratkaisu. Keskuksettoman ratkaisun löytyminen on kuitenkin saavutus, jolla on tilaajan näkökulmasta arvoa. Ratkaisun eduksi voidaan myös laskea kalliin taajuusmuuttajan sivutuotteena syntynyt SIL 3-luokitus.

Opinnäytetyönä syntynyt ohjauskeskukseton ratkaisu jää ainoaksi vaihtoehdoksi ahtaissa tiloissa. Keskukseton ratkaisu kilpailee olemassa olevan ratkaisun kanssa myös niissä tilanteissa, joissa keskukselle olisi tilaa.

Ajatuksella ketjunostimen tai muun tyyppisien nostimien ohjaamisesta integroidulla taajuusmuuttajalla ilman erillistä ohjauskeskusta teatterikäytössä on paljon vielä toistaiseksi saavuttamatta jäänyttä potentiaalia. Uusia taajuusmuuttajia tulee markkinoille jatkuvasti ja onkin vain ajan kysymys, milloin tähän tarkoitukseen paremmin sopiva taajuusmuuttaja saapuu.

## LÄHTEET

Insta Group Oy 2014. Vuosikatsaus 2014.

Insta Group Oy 2016. Kotisivut  
[www.insta.fi](http://www.insta.fi)

Valmu, A. 2014. Opinnäytetyö. Konekohtaisen ketjunostimen sähkö- ja ohjausjärjestelmän laitesuunnittelu. TAMK.

Pepperl + Fuchs 2007. Safety integrity level Manual. Luettu 5.2.2016.  
[http://files.pepperl-fuchs.com/selector\\_files/navi/productInfo/doct/tdoct0713a\\_eng.pdf](http://files.pepperl-fuchs.com/selector_files/navi/productInfo/doct/tdoct0713a_eng.pdf)

HoistUK 2008. Hoist standards explained. Luettu 18.1.2016.  
<http://hoistuk.com/assets/product-resources/224.pdf>

NORD Gear Oy 2014. Laitemanuaali BU 0200 EN-2314. Luettu 7.1.2016.  
[https://www.nord.com/cms/media/documents/bw/BU0200\\_EN\\_2314.pdf](https://www.nord.com/cms/media/documents/bw/BU0200_EN_2314.pdf)

NORD Gear Oy 2015. Laitemanuaali F 3020 FI-3514. Luettu 7.1.2016  
[https://www.nord.com/cms/media/documents/bw/F3020\\_FI\\_3514-zwei\\_Seiten.pdf](https://www.nord.com/cms/media/documents/bw/F3020_FI_3514-zwei_Seiten.pdf)

Tamagawa Seiki Co. 2016. Rotary Encoders. Luettu 14.3.2016.  
<http://www.tamagawa-seiki.com/english/encoder/>

Omron Co. 2016. Datalehti IP-luokista. Luettu 16.3.2016.  
<http://www.omron.com/ecb/products/pdf/protection.pdf>

Discoland 2016. Kuva käsikäyttöisestä Eurolite ketjunostimesta. Luettu 24.3.2016.  
<http://discoland.fi/>

Erikkila Oy 2013. Kuva sähköisestä ketjunostimesta. Luettu 24.3.2016.  
[www.erikkila.com/fi/tuotteet/ech-ketjusahkonostimet](http://www.erikkila.com/fi/tuotteet/ech-ketjusahkonostimet)

LiftKet 2015a. Kuva StageKet tuotesarjan ketjunostimesta. Luettu 23.3.2016.  
<http://liftket.de/en/bu%CC%88hmentechnik/>

LiftKet 2015b. Tietoa StageKet nostimesta. Luettu 23.3.2016  
[http://liftket.de/wp-content/uploads/Dateien/ETL\\_STAGEKET\\_2015\\_02\\_englisch.pdf](http://liftket.de/wp-content/uploads/Dateien/ETL_STAGEKET_2015_02_englisch.pdf)

LiftKet 2016. Tietoa StageKet nostimen jarruista. s. 43–44. Luettu 14.4.2016.  
[http://liftket.de/wp-content/uploads/Dateien/BA\\_STAGEKET\\_2016\\_03\\_englisch.pdf](http://liftket.de/wp-content/uploads/Dateien/BA_STAGEKET_2016_03_englisch.pdf)

Kauppila, J., Tiainen, E. & Ylinen, T. 2009. Sähköasennukset 3. s. 44

**LIITTEET**

Liite 1. Piirikaaviot

Liite 2. Kokoonpanopiirustukset

Liite 3. Osaluettelo

Liite 1. Piirikaaviot

*Tämän liitteen sisältö on julistettu salaiseksi*



Liite 1. Piirikaaviot

*Tämän liitteen sisältö on julistettu salaiseksi*

Liite 1. Piirikaaviot

*Tämän liitteen sisältö on julistettu salaiseksi*

Liite 1. Piirikaaviot

*Tämän liitteen sisältö on julistettu salaiseksi*

Liite 1. Piirikaaviot

*Tämän liitteen sisältö on julistettu salaiseksi*

## Liite 2. Kokoonpanopiirustukset

*Tämän liitteen sisältö on julistettu salaiseksi*

## Liite 2. Kokoonpanopiirustukset

*Tämän liitteen sisältö on julistettu salaiseksi*

## Liite 2. Kokoonpanopiirustukset

*Tämän liitteen sisältö on julistettu salaiseksi*

### Liite 3. Osaluettelo

*Tämän liitteen sisältö on julistettu salaiseksi*