



**LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU**  
*Lahti University of Applied Sciences*

# KESKITETYN JA HAJAUTETUN KÄYTTÖAUTOMAATION KUSTANNUSVERTAILU

Case: SEW-EURODRIVE Oy

LAHDEN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Kone- ja tuotantotekniikan  
koulutusohjelma  
Suunnittelupainotteinen mekatroniikka  
Opinnäytetyö  
Syksy 2014  
Joonas Laitinen

Lahden ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

LAITINEN, JOONA: Keskitetyn ja hajautetun  
käyttöautomaation kustannusvertailu  
SEW-EURODRIVE Oy

Suunnittelupainotteisen mekatroniikan opinnäytetyö, 33 sivua, 15 liitesivua

Syksy 2014

## TIIVISTELMÄ

---

Tämä opinnäytetyö tehtiin SEW-EURODRIVE Oy:lle. Työn tarkoituksena oli teknistaloudellinen kustannusvertailu keskitetyn ja hajautetun käyttötekniikan välillä yrityksen asiakkaan näkökulmasta sekä Excel-pohjaisen vertailutyökalun kehittäminen.

Työ aloitettiin perehtymisellä työssä käytettävään tekniikkaan, minkä jälkeen kerättiin komponenttihintoja tyypillistä kuljetinlinjastoa varten. Hintatietoja kerättiin Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmaan, jolla vertailutyökalu luotiin. Työkalu toimi keskustelun herättäjänä asiakaskäynneissä, joissa yhteistyössä SEW:n myyntiosaston kanssa haastateltiin yrityksen asiakkaita. Asiakkailta saatiin arvokasta panosta työkustannusten arvioimiseen sekä tarkentavia arvioita aiemmin laskettuihin lukuihin.

Työn tuloksena saatiin konkreettisia lukuja siitä, kuinka hajautettu käyttötekniikka voi säästää projektin kokonaiskustannuksia. Lopputuotteena saatiin työkalu, jota voidaan käyttää myynnin tukena hajautetun käyttötekniikan kustannustehokkuuden todentamiseen.

Asiasanat: hajautettu käyttöautomaatio, ohjauskeskus, Movimot, Movigear, DRC

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

LAITINEN, JOONA: Cost comparison of centralized and  
decentralized drive automation  
Case: SEW-EURODRIVE Oy

Bachelor's Thesis in Mechatronics, 33 pages, 15 pages of appendices

Autumn 2014

## ABSTRACT

---

This thesis was conducted for SEW-EURODRIVE Oy. The goal of the thesis was the technical and budgetary comparison between centralized and decentralized drive automation from the standpoint of the company's customers, and developing an Excel-based comparison tool.

The work was initiated by examining the technology used in the thesis, after which component prices were collected for a typical conveyor line. Prices were collected in the Microsoft Excel spreadsheet program, with which the comparison tool was fabricated. The tool acted as an initiator of conversation in customer meetings held with the company's sales department. Valuable input was received from the customers regarding costs of labor. With these numbers, the formerly calculated numbers were adjusted.

Concrete figures about project cost savings using decentralized drive automation were received as the result of the thesis. A tool that can be used as sales support to prove cost effectiveness of decentralized drive automation was formed as the end product of the work.

Key words: decentralized drive automation, control cabinet, Movimot, Movigear, DRC

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	TOIMEKSIANTAJAYRITYS	2
3	KESKITETTY JA HAJAUTETTU KÄYTTÖAUTOMAATIO	3
3.1	Taajuusmuuttajan toimintaperiaate	4
3.2	Keskitetty käyttöautomaatio	4
3.2.1	Asennus	5
3.2.2	Käyttöönotto	6
3.3	Hajautettu käyttöautomaatio	6
3.4	Työssä käytetty hajautettu käyttöautomaatio	8
3.4.1	Movimot	8
3.4.2	Movigear ja DRC	9
3.4.3	Käyttöönotto	12
3.5	Hajautetun käyttöautomaation kilpailijavertailu	15
4	ESIMERKKILINJASTO	16
4.1	Paikoitus ja ohjaus	17
4.2	Järjestelmän tilaluokitusvaatimus	18
4.3	Tiedonkeruuprosessi	19
4.4	Laskentaan sisällytetyt asiat	19
5	LASKENTATYÖKALU	20
5.1	Kaapelointi	21
5.1.1	Materiaalit	21
5.1.2	Kaapelointityö	22
5.2	Ohjauskeskus	22
5.2.1	Keskuksen komponentit	22
5.2.2	Keskusvalmistus	24
5.3	I/O-hajautus	27
5.4	Moottorien kotelointi	27
5.5	Sähkösuunnittelu	27
5.6	SEW-komponentit	27
5.7	Yhteenvedo hinnoista	28
6	ASIAKASKÄYNNIT	29
6.1	Tavoitteet	29

6.2	Työn osuus projektissa	29
6.3	Riskenhallinta projekteissa	30
7	YHTEENVETO	31
	LÄHTEET	32
	LIITTEET	34

## SANASTO

CCU = Configurable Control Unit, konfiguroitava ohjausyksikkö

CPU = Central Processing Unit, keskusyksikkö

DSC = Direct SBus Communication, SBus-väyläasennus

EMC = Electromagnetic Compatibility, elektromagneettinen yhteensopivuus

HD = Hygienic Design, hygieeninen malli

I/O = Input / Output, logiikan tulot ja lähdöt

IP = Ingress Protection, suojausluokitus

PLC = Programmable Logic Controller, ohjelmoitava logiikkaohjain

PWM = Pulse Width Modulation, pulssinleveysmodulaatio

RST = ruostumaton teräs

SBus = SEW System Bus -kenttäväylä

SEW = SEW-EURODRIVE

SNI = Single Line Installation, yksikaapeli-asennus

STO = Safe Torque Off, turvapysäytys

# 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja SEW-EURODRIVE Oy haluaa viedä entistä voimallisemmin asiakkailleen hajautettua käyttöautomaatiota, jossa taajuusmuuttajat sijaitsevat kentällä moottoreihin intergoituina. Kalliimpia moottorikäyttökomponentteja sisältävän järjestelmän kustannustehokkuutta ei ole kuitenkaan tähän asti pystytty uskottavasti perustelemaan jokaiselle asiakkaalle. SEW-EURODRIVEN asiakkaat ovat tyypillisesti järjestelmätoimittajia, joiden projekteissa SEW on yksi komponenttitoimittaja monien joukossa. Asiakkaita on ollut vaikea saada omaksumaan uutta tuotetta, sillä on hyvin helppoa keskittyä ainoastaan yksittäisen toimittajan komponenttihintoihin ja unohtaa, kuinka yhteen osa-alueeseen panostaminen voi säästää rahaa muissa.

Työn tarkoituksena on selvittää, kuinka taajuusmuuttajien hajauttaminen kentälle käyttäen SEW:n tekniikkaa vaikuttaa järjestelmätoimittajan projektien kokonaiskustannuksiin. Työn lopputuotteeksi toivottiin Excel-pohjaista laskentatyökalua, johon asiakkaan tietoja syöttämällä voitaisiin ennustaa kokonaiskustannuksia ja tarjota kustannustehokkainta ratkaisua.

Yleispätevän työkalun toteuttaminen todettiin kuitenkin liian suuritöiseksi ja tämän työn puitteissa tarpeettomaksi, joten päädyttiin ratkaisuun, jossa tarkastellaan kustannusrakennetta keksityn esimerkkijärjestelmän osalta. Myös käyttökustannusten kartoitus rajattiin työn ulkopuolelle ja keskityttiin pääasiallisesti perustamiskustannuksiin. Työkalun perimmäinen tarkoitus on avata keskusteluyhteyksiä asiakkaisiin ja saada heidät ajattelemaan projekteja kokonaisuuksina sekä poistaa vastarintaa ja epäluuloja, jotka koskevat hajautettua käyttötekniikkaa.

Työtä ohjasi kaksi henkilöä SEW:n Drive Engineering -osastolta ja yksi opettaja Lahden ammattikorkeakoulusta. Asiakaskäynnit toteutettiin yhden SEW:n myyjän johdolla. Opinnäytetyön valmistumisen aikataulua ei määritely tarkasti, vaan se mukautettiin soveltuvasti ohjaajien ja työn tekijän työrytmiin.

## 2 TOIMEKSIANTAJAYRITYS

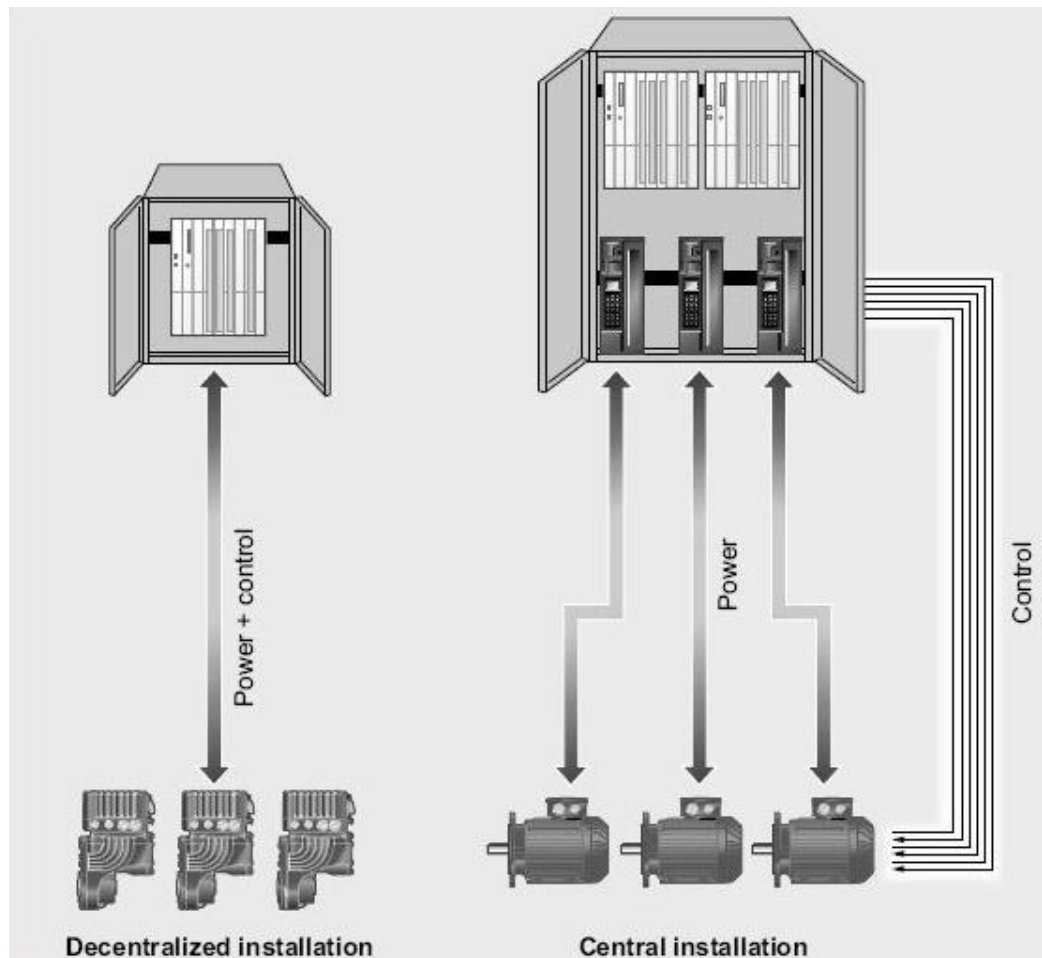
SEW-EURODRIVE on vuonna 1931 Saksassa nimellä Süddeutsche Elektromotoren-Werke perustettu yritys. Yrityksen tuotevalikoima koostuu vaihdemoottoreista, teollisuusvaihteista, taajuusmuuttaja- ja servokäyttöistä sekä hajautetun käyttökoneiden tuotteista. Sen maailmanlaajuinen liikevaihto on noin 2,5 miljardia euroa. SEW:n pääkonttori, tuotekehitys ja elektroniikkatehdas sijaitsevat Saksan Bruchsalissa. (SEW-EURODRIVE 2014.)

Suomessa SEW-EURODRIVella on pääkonttori, kokoonpanotehdas ja huoltokeskus Hollolassa, aluekonttorit Vaasassa, Oulussa, Kuopiossa ja Tampereella sekä teollisuusvaihdetehdas SEW Industrial Gears Oy Karkkilassa. Nykyään yrityksellä on toimipisteitä 49 maassa ja se työllistää yli 15 000 työntekijää, joista Suomessa noin 250. Yrityksen liikevaihto Suomessa on noin 30 miljoonaa euroa (Kauppalehti 2014). SEW-EURODRIVEN huoltokeskus huoltaa myös muiden valmistajien vaihdemoottoreita ja teollisuusvaihteita. (SEW-EURODRIVE 2014.)



### 3 KESKITETTY JA HAJAUTETTU KÄYTTÖAUTOMAATIO

Moottorikäytöt jaetaan tässä työssä käytötavan perusteella kahteen pääryhmään: keskitettyyn ja hajautettuun käyttöautomaatioon. Yleisempi, keskitetty taajuusmuuttajakäyttö tarkoittaa taajuusmuuttajien sijoittamista sähkökeskuksen sisälle, josta tehokaapeleilla viedään virta kentällä sijaitseville toimilaitteille. Jokainen moottorikäyttö kaapeloidaan omana yksikkönään keskukselta. Hajautetussa käyttöautomaatiossa tehoelektroniikka on sijoitettu moottorin yhteyteen kentälle. Ohjaus- ja tehokaapeloinnin periaatteellinen ero vertailtavien käyttötekniikoiden välillä on esitetty kuvassa 1. Tässä luvussa käsitellään käyttöautomaatiota pääosin SEW:n valikoiman sekä luvussa 4 esitellyn esimerkin teknisten tietojen pohjalta.



KUVA 1. Hajautetun ja keskitetyn käyttöautomaation periaatekuva (SEW-EURODRIVE 2011)

### 3.1 Taajuusmuuttajan toimintaperiaate

Taajuusmuuttajalla säädetään sähkömoottorin pyörimisnopeutta sekä vääntömomenttia. Se ohjaa moottoria muuttamalla sähköverkon vakimuotoisen vaihtosähkön moottorikäytön vaatimaksi jännitteeksi ja taajuudeksi.

Taajuusmuuttajan käyttö moottorinohjauksessa on yleistä, kun käytöltä vaaditaan säädetävyyttä, taloudellisuutta ja tarkkuutta. Laitteen valintaan vaikuttaa olennaisesti moottorin nimellisteho, jonka täytyy vastata siihen liitetyn taajuusmuuttajan tehoaluetta. Eri teholuokkien laitteet ovat myös fyysisesti erikokoisia. Toisena tekijänä valintaan vaikuttaa laitteen soveltuvuus esimerkiksi pulssianturipaikoitukseen, haluttuun kenttäväylään tai muihin säätöön ja ohjaukseen liittyviin optioihin.

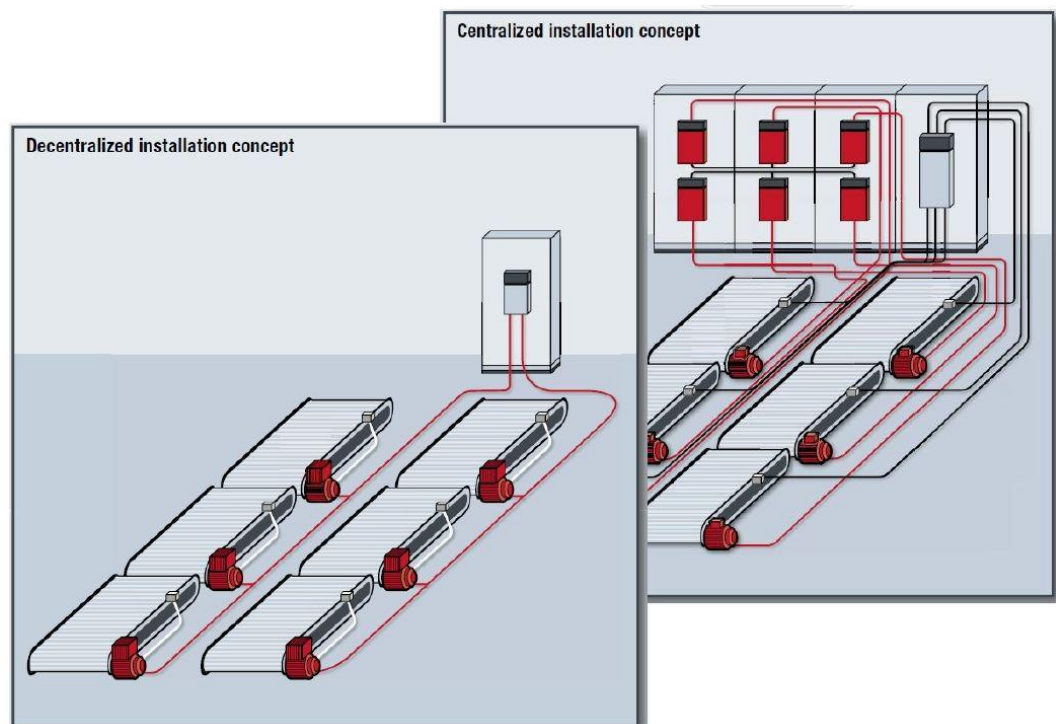
Yleisesti käytetyn jännitevälipiirillisen taajuusmuuttajan toiminnallinen rakenne voidaan jakaa neljään osaan: tasasuuntaajaan, tasajännitevälipiiriin ja vaihtosuuntaajaan sekä näitä kolmea ohjaavaan ohjausyksikköön. Tasasuuntaaja tuottaa verkon vaihtojännitteestä tasajännitettä välipiiriin, joka toimii taajuusmuuttajan energiavarastona. Vaihtosuuntaaja pilkkoo välipiirin vakiosuuruisesta tasajännitteestä eripituisia pulsseja. Pulssien keskiarvosta muodostuu vaihtojännite, jota syötetään moottorille. Tasajännitteen hakkaamista pulsseiksi kutsutaan pulssinleveysmodulaatioksi (PWM, pulse width modulation). Ohjausyksikkö valvoo välipiirin jännitettä ja ohjaa lähtötransistoreiden kytkeytymistä. (Ekholm 2012, 5 - 7.)

### 3.2 Keskitetty käyttöautomaatio

Perinteisessä, keskitetyssä käyttöautomaatiossa taajuusmuuttajat sijaitsevat ohjauksessa taustalevyyn pystyasentoon asennettuina. Moottorikaapelina suositellaan käytettävän EMC-suojattua, suojavaipallista voimakaapelia (SEW-EURODRIVE 2013, 180). Moottorikaapelit suositellaan sijoitettaviksi erilleen signaalijohtimista häiriöiden minimoimiseksi.

### 3.2.1 Asennus

Taajuusmuuttajan asennuksessa keskukseseen on otettava huomioon valmistajan manuaalissa ilmoittama tuuletustila laitteen ylä- ja alapuolella. Tilantarve yksittäiselle 0S-rakennekoon Movitrac B -taajuusmuuttajalle on tuuletustila huomioiden 385 mm pystysuuntaista tilaa (tyhjä tila 100 mm muuttajan ylä- ja alapuolella). Myös taajuusmuuttajan eteen asennettavat suojalaitteet on otettava huomioon keskuksen mitoituksessa. Jokainen taajuusmuuttajalähtö suojataan käyttötavasta (1- tai 3-vaihesyöttö) riippuen 1- tai 3-vaihevarokkeella. Teho kytketään taajuusmuuttajalle kontaktorilla, jonka perään asennetaan ylijännitteiltä suojaava verkkokuristin keskuksissa, joissa on samanaikaisesti päällä enemmän kuin 5 taajuusmuuttajaa. On kuitenkin suositeltavaa käyttää yhtä verkkokuristinta yhtä taajuusmuuttajaa kohden. Keskitetyn ja hajautetun käyttöautomaation keskuksioon ja kaapeloinnin periaate on esitetty kuvassa 2. (SEW-EURODRIVE 2013, 177, 185.)



KUVA 2. Keskitetyn ja hajautetun käyttötavan asennus (Nurmikari 2013)

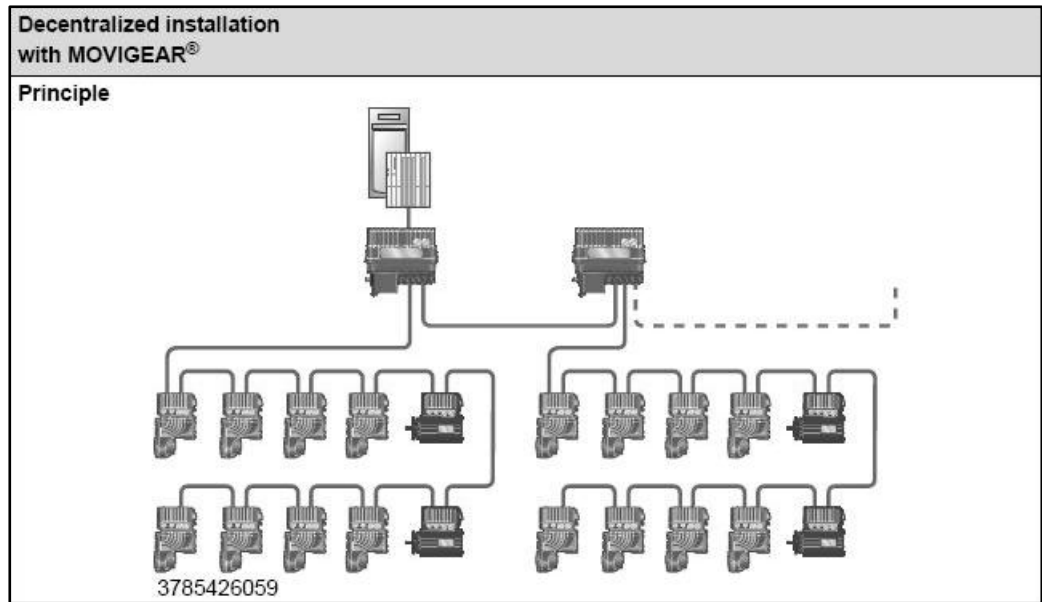
Kun moottori pysäytetään, kuorman momentti pyrkii pyörittämään moottorin akselia, mikä luo sähkövirtaa jännitevälipiiriin. Taajuusmuuttaja ohjaa generoituvan sähköenergian jarruvastukseen, joka muuttaa sen lämmöksi. Jarruvastus asennetaan sen koosta riippuen moottorin kytkentäkoteloon, taajuusmuuttajan takapuolelle, muualle sähkökeskuksen sisään tai kokonaan keskuksen ulkopuolelle. Suuret jarruvastukset useita moottorikäyttöjä sisältävissä järjestelmissä voi olla järkevää sijoittaa esimerkiksi sähkökeskuksen päälle, jossa ne eivät lämmitä keskusta sisältä päin. Tällöin on huolehdittava asianmukaisesta kosketussuojauksesta. Mikäli moottori sisältää jarrun, käytetään keskuksen tai moottorin kytkentäkoteloon asennettavaa jarruohjainta. Keskuksessa sijaitseva ohjain liitetään jarruun erillisellä jarrukaapelilla. Jarruohjain toimii rajapintana taajuusmuuttajan ja jarrun välillä ja kytkee jarrulle jännitteen taajuusmuuttajan ohjaussignaalista. Ohjaussignaalilla ohjataan joko suoraan jarruohjainta tai kontaktoria, joka kytkee jarrujännitteen moottorin jarrulle. (Nurmikari 2014.)

### 3.2.2 Käyttöönotto

Taajuusmuuttajan käyttöönotossa noudatetaan valmistajan ohjeita. Tyypillisesti taajuusmuuttaja kytketään kannettavaan PC-tietokoneeseen ja valmistajan ohjelmistolla parametroidaan taajuusmuuttaja käyttöön sopivaksi. Vaihtoehtoisesti parametointi voidaan toteuttaa nykyään vähemmän käytetyillä erillisillä operointipaneeleilla.

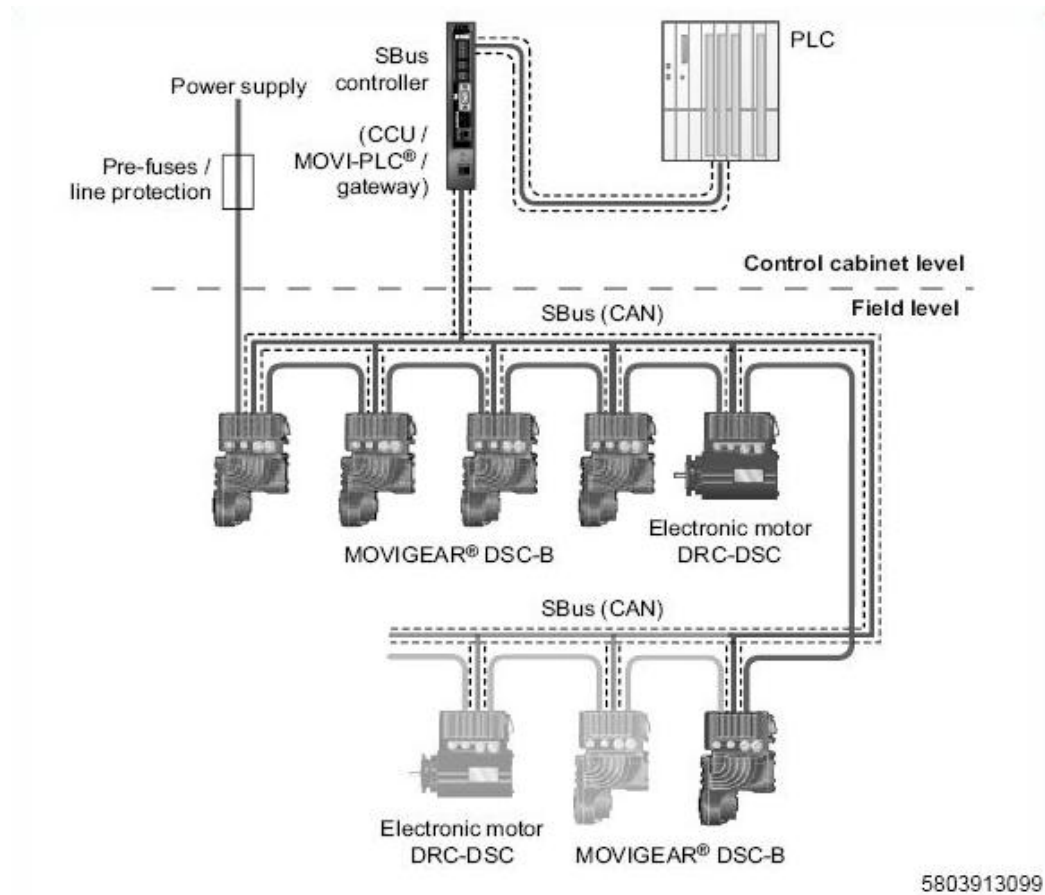
### 3.3 Hajautettu käyttöautomaatio

Hajautetussa käyttöautomaatiossa ohjauselektroniikka on hajautettu moottorin yhteyteen kentälle. Tehonsyöttökaapeli sekä ohjauskaapelit ketjutetaan laitteelta laitteelle (kuva 3), eikä EMC-suojattuja voimakaapeleita tarvita. Käyttölaite sisältää tarvittavan suojauksen taajuusmuuttajalle sekä moottorille.



KUVA 3. Movigearin ja DRC:n asennus SNI-kaapelilla (SEW-EURODRIVE 2011)

Integroidun taajuusmuuttajan syöttö- ja ohjauskaapelit kulkevat keskukselta ensimmäiselle laitteelle ja siitä eteenpäin ketjussa seuraaville. Välttämättömiä kaapeleita ovat ohjauskaapeli sekä syöttökaapeli. Nämä on mahdollista sijoittaa myös yhteen kaapeliin (SEW:n tuotteiden asennustopologiat SNI ja hybridikaapelilla toteutettava SBus-väyläohjaus). Jokainen tehokaapeliketju suojataan keskuksessa automaattijohdonsuojalla ja teho kytketään kontaktorilla. Työssä käytettävä asennustapa on esitelty kuvassa 4.



KUVA 4. Movigear- ja DRC-käytön asennustapa DSC (SEW-EURODRIVE 2012b)

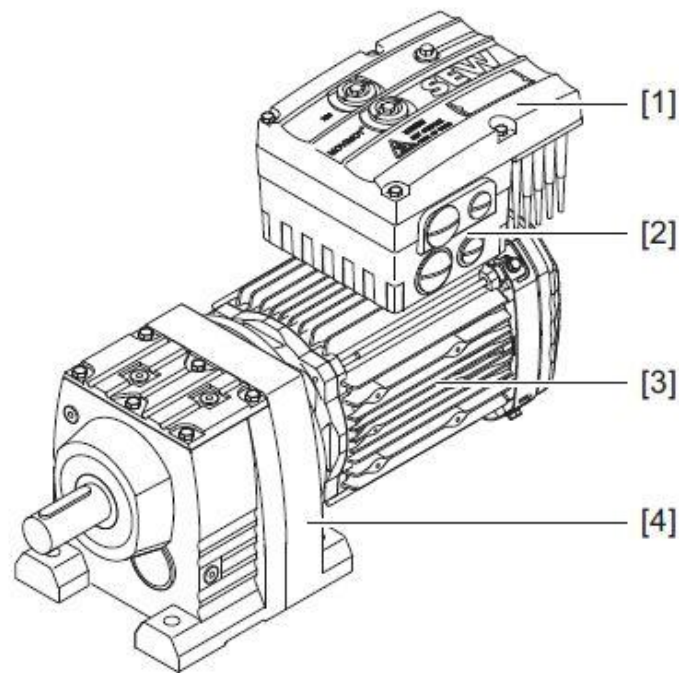
### 3.4 Työssä käytetty hajautettu käyttöautomaatio

Seuraavassa esitellään työssä tarkastellut SEW-EURODRIVEN hajautetun käyttöautomaation tuotteet Movimot, Movigear ja DRC.

#### 3.4.1 Movimot

Movimot-käyttölaitte koostuu taajuusmuuttajasta ja moottorista. Movimot-moottori integroidaan useimmiten vaihteeseen (kuva 5). Taajuusmuuttaja on asennettuna joko moottoriin tai sen lähelle. Käyttölaitteeseen kytketään 1,0 - 4,0 mm<sup>2</sup>:n moottorikaapeli ja ohjauksikaapelointi binääri- tai väyläohjausta varten. Mikäli Movimot-käyttölaitteeseen kytketään I/O:ta, tarvitaan niiden syöttöä varten apusähkökaapeli. Movimotia on saatavilla teholuokassa 0,37 - 4,0 kW. Ohjaus

toteutetaan joko binäärisesti, binääris-analogisesti tai kenttäväylässä. (SEW-EURODRIVE 2010, 30, 34 - 35.)

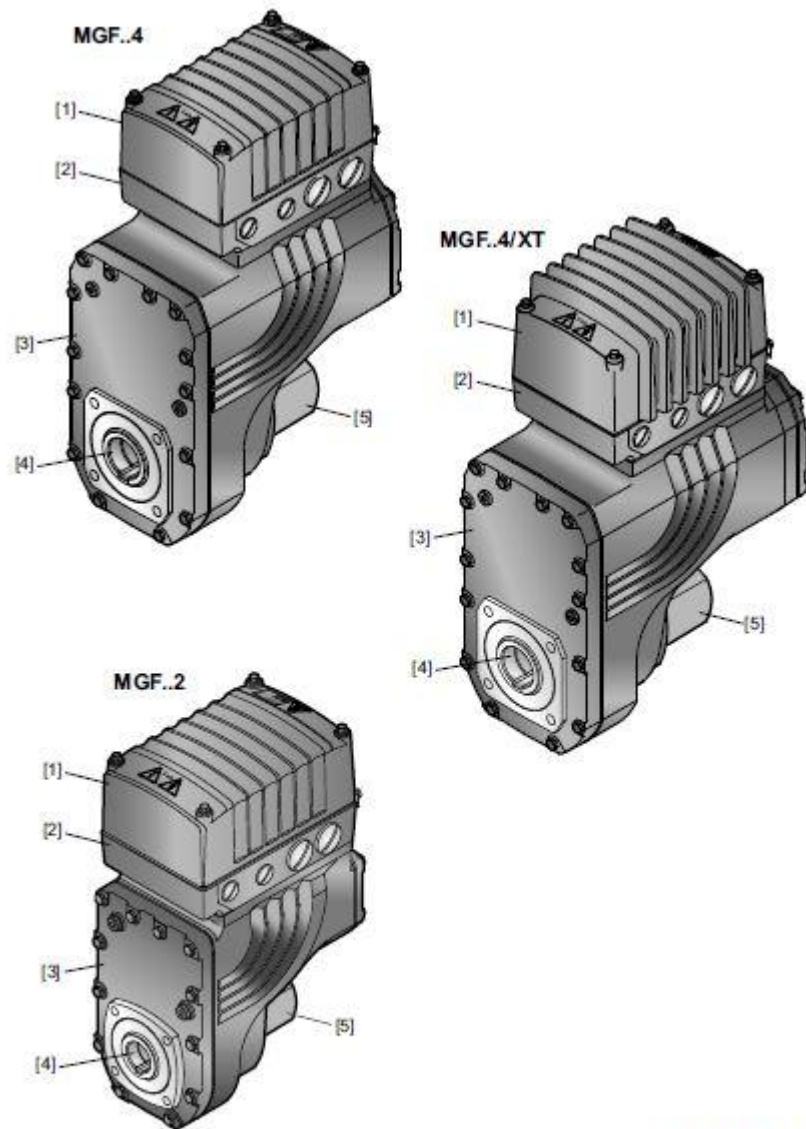


- [1] MOVIMOT<sup>®</sup>-taajuusmuuttaja
- [2] Liitäntäkotelo
- [3] Moottori
- [4] Lieriöhammasvaihde

KUVA 5. Movimot-käyttölaite ja R-vaihde (SEW-EURODRIVE 2010)

### 3.4.2 Movigear ja DRC

Movigear (kuva 6) on pääasiassa kuljetinjärjestelmiin suunniteltu, kompaktisti koteloitu hajautetun käyttötekniikan tuote, joka sisältää pulssianturin vakiona ja pulssianturitakaisinkytkennän optiona. Kaapelointi tapahtuu kuten edellisessä alaluvussa esitellyssä Movimotissa sillä erotuksella, että apusähkökaapelia ei tarvita, vaan Movigear ja DRC muuntavat apusähkön sisäisesti pääsähköstä (Nurmikari 2014). Tehoalueet ilmoitetaan vääntömomenttiluokittain 200 Nm, 400 Nm ja laajennettu 400 Nm. (SEW-EURODRIVE 2012b, 10, 67.)



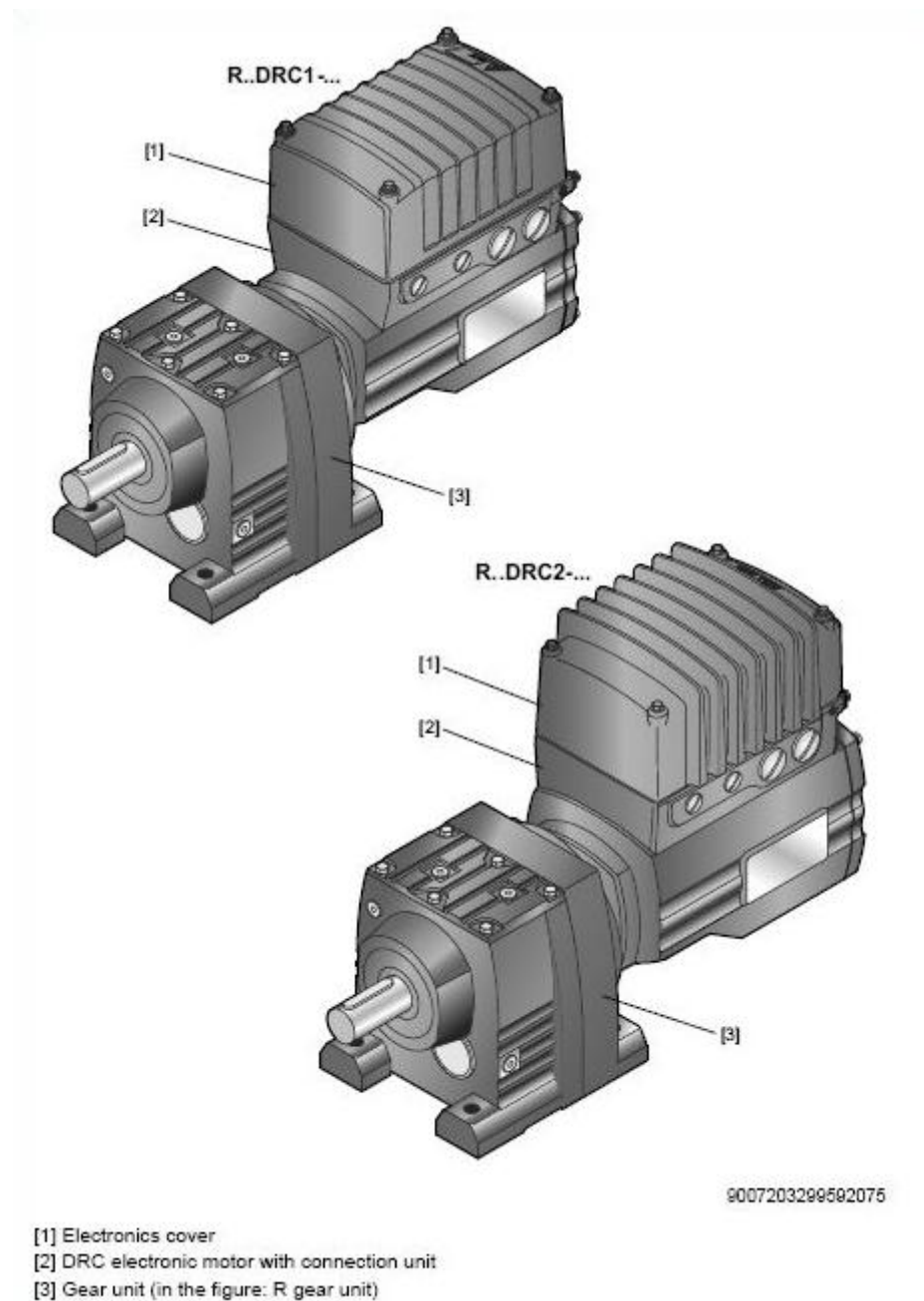
36028799382850955

- [1] MOVIGEAR® electronics cover
- [2] Connection ring for cable glands
- [3] Inspection cover
- [4] Output shaft variant (pictured here: hollow shaft with keyway)
- [5] Optional cover

KUVA 6. Movigear-käyttölaite (SEW-EURODRIVE 2012b)



Elektronisesti DRC-moottori (kuva 7) on samanlainen kuin Movigear. Erona Movigeariin on suurempi sovelluskohtainen muunneltavuus, sillä DRC-moottorin saa liitettyä kaikkiin SEW:n vakiovaihteisiin. Lisäksi pulssianturitakaisinkytkentä on DRC-moottorissa vakiona. Laitetta on saatavilla neljässä teholuokassa: 0,55 kW, 1,5 kW, 3,0 kW ja 4,0 kW, ja siihen on saatavana levyjarru. (Nurmikari 2014.)

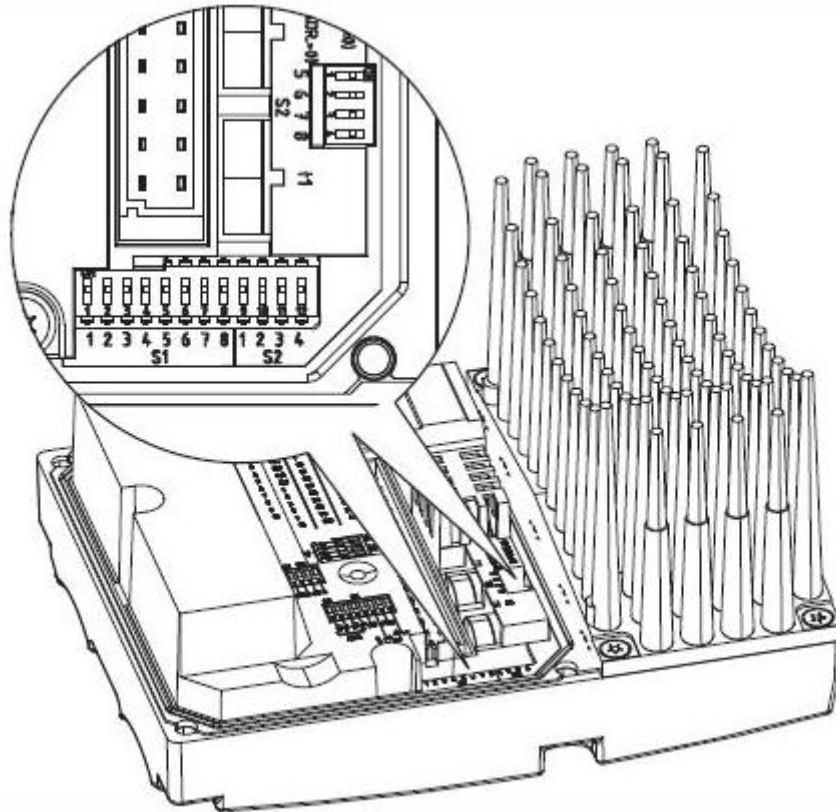


KUVA 7. DRC-moottori ja R-vaihde (SEW-EURODRIVE 2012a)

Elintarviketeollisuuden tehdas- ja pakkaamoympäristöissä on huomioitava hygieenisuus sekä alueen lämpötilan pitäminen halutulla alueella. Kylmätiloissa tämä tarkoittaa käyttölaitteiden riittävää suojaamista sekä niistä aiheutuvan hukkatelämmön poistamista tilasta. Movigear- ja DRC-käyttölaitteisiin lisäoptiona saatava hygieniapaketti varmistaa laitteiden soveltuvuuden kyseisiin tiloihin.

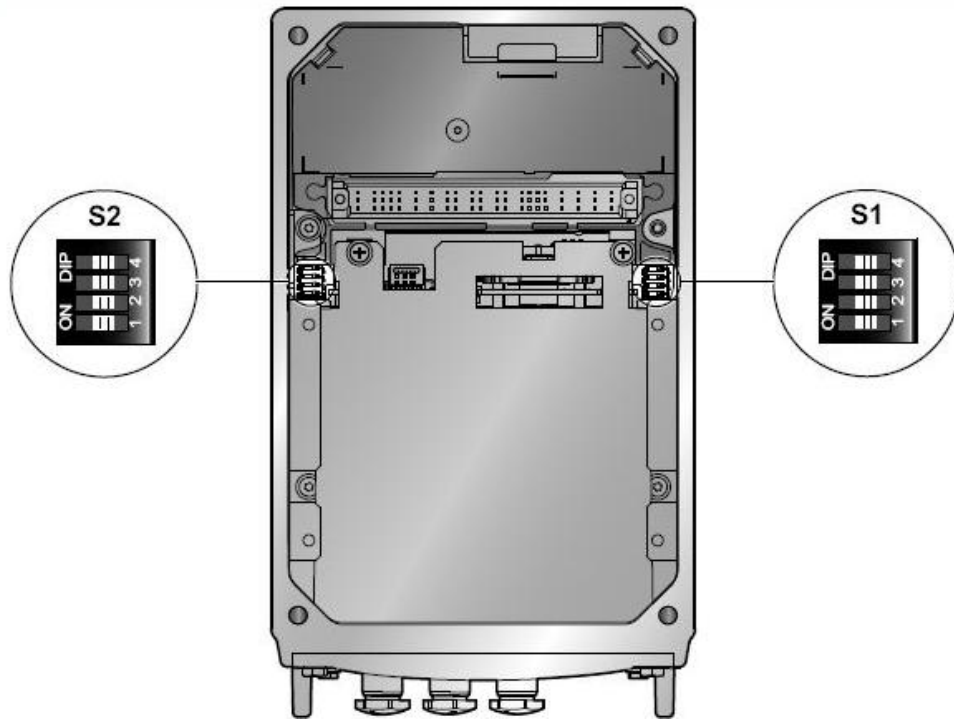
### 3.4.3 Käyttöönotto

Movimot parametroidaan DIP-kytkimillä (kuva 8), potentiometrillä sekä 11-portaisilla kiertokytkimillä. Kytinten asetuksen ajaksi Movimot-taajuusmuuttajan kansi irrotetaan kytkentäalustasta. Käyttöönotossa määrätään DIP-kytkimillä väyläosoite ja 11-portaisella kiertokytkimellä minimitaajuus. Kiihdytysaika nimellispyörimisnopeuteen säädetään joko kiertokytkimestä tai kenttäväylän kautta. Taajuusmuuttajan kansi ruuvataan kytkentäalustaan ja asetetaan ohjearvopotentimetrillä suurin pyörintänopeus. Tämän jälkeen voidaan laitteeseen kytkeä ohjaus- sekä verkkojännite. (SEW-EURODRIVE 2010, 104 - 106.)



KUVA 8. Movimotin DIP-kytkimet S1 ja S2 (SEW-EURODRIVE 2010)

Movigearin ja DRC:n käyttöönotossa asetetaan SBus-osoite sekä väylän tiedonsiirtonopeus DIP-kytkimillä (kuva 9). Ketjun viimeisessä laitteessa asetetaan väylän päätevastus. Elektroniikkakotelo suljetaan ja käyttölaitteita ohjaava CCU-ohjain parametroidaan konfigurointiohjelmiston avulla. (SEW-EURODRIVE 2013, 119 - 121.)



KUVA 9. Movigearin DIP-kytkimet S1 ja S2 (SEW-EURODRIVE 2012a)

### 3.5 Hajautetun käyttöautomaation kilpailijavertailu

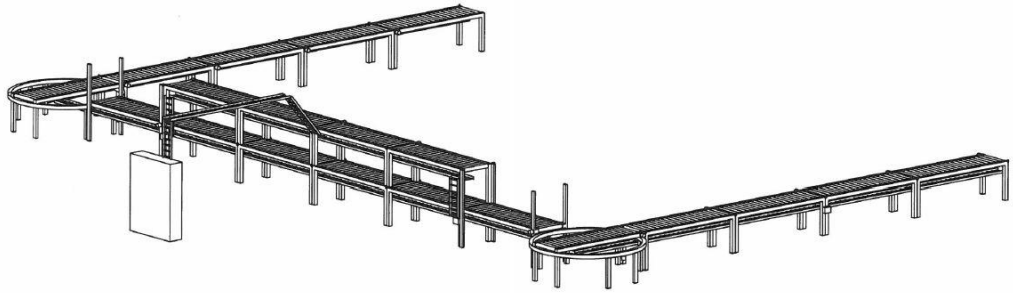
Taulukossa 1 on esitetty muutaman Suomessa toimivan laitevalmistajan hajautetun käyttöautomaation tuotteita. Listattuna on ainoastaan kiinteästi käyttölaitteessa olevat taajuusmuuttajat.

TAULUKKO 1. Hajautetun käyttöautomaation kilpailijavertailu

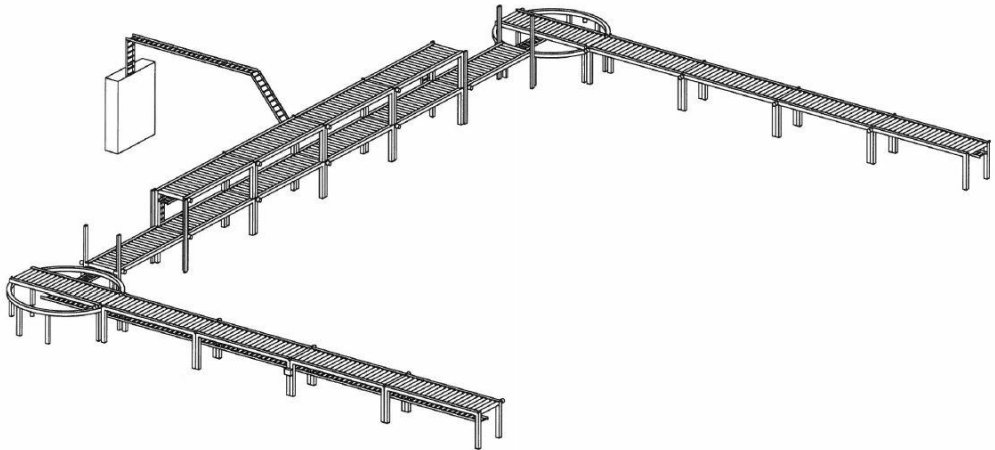
	Tehoalue	I/O	IP vakio/optio
<b>Nord</b>			
SK 135E	0,25-7,5kW	2xDI, 2xDO	55/66
SK 180E	0,25-2,2kW	3xDI, 2xDO, 2xAI	55/66
SK 200E	0,25-22kW	4xDI, 2xAI	55/66
<b>Danfoss</b>			
FCM 106	0,55-22kW	4xDI, 2xDO/AO, 2xAI	55/-
FCP 106	0,55-22kW	4xDI, 2xDO/AO, 2xAI	55/66
VLT OneGearDrive	1,5-3kW		67/69K
FCD 300	0,37-3,3kW	5xDI, 1xDO, 2xAI, 1xAO, 2xPI (pulse input)	66/-
FCD 302	0,37-3,3kW	4xDI, 2xDO, 2xAI, 1xAO, 2xPI (pulse input)	66/69K
FCM 300	0,55-7,5kW	4xDI, 1xDO/AO, 2xAI, 1XPI (pulse input)	55/66
<b>Lenze</b>			
8400 Motec	0,37-7,5kW	6xDI, 1xDO, 1xAI	65/-
<b>Siemens</b>			
G110M	0,37-4kW		-/66
<b>SEW-EURODRIVE</b>			
Movimot	0,37-4kW	4xDI+2xDO / 6xDI	55/66
Movigear	200-400Nm	4xDI+2xDO	65/66
DRC	0,55-4kW	4xDI+2xDO	65/66

#### 4 ESIMERKKILINJASTO

Konkreettisen työn aloittamiseksi keksittiin yksinkertainen kuljetinjärjestelmä (kuvat 10 ja 11). Linjasto koostuu tavallisista rullakuljettimista sekä kääntö- ja nostopöydistä. Esimerkissä ja sen pohjalta kehitetyssä työkalussa keskitytään kahteen muuttujaan: paikoitustapaan sekä hygienia-asennukseen.



KUVA 10. Linjaston layout takaa



KUVA 11. Linjaston layout edestä

TAULUKKO 2. Esimerkkilinjaston käyttölaitteet

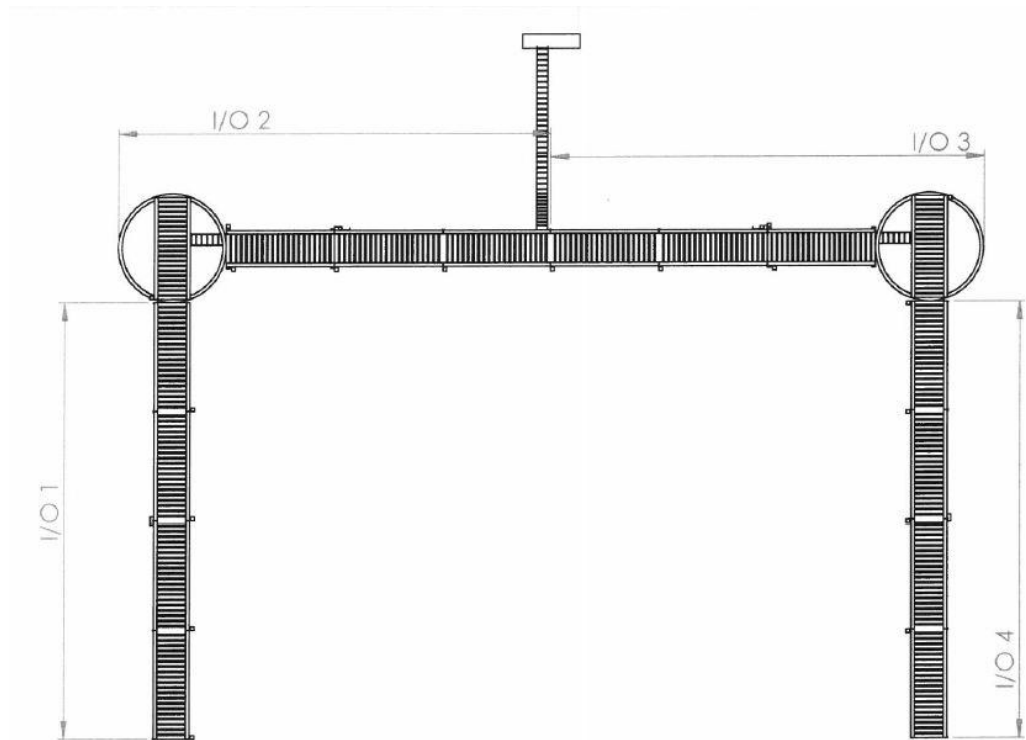
	Kuljetinkäyttö	Nosto ja kääntö raja-antureilla	Nosto ja kääntö pulssianturilla
<b>Keskitetty</b>	FA37/GDRS71M4	KA47/TDRE90L4BE2	KA47/TDRE90L4BE2/ES7S
<b>Movimot</b>	FA37/GDRS71M4/M05/MO	KA47/TDRE90L4BE2/MM15/MO	-
<b>Movigear</b>	MGFAT2-DSM-DSC-B/ECR	-	-
<b>Movigear hygienia</b>	MGFAT2-DSM-DSC-B/ECR/WA	-	-
<b>DRC</b>	-	-	KA47/TDRC2-015-DSC-A-ECR/BY2C
<b>DRC hygienia</b>	-	-	KA47/TDRC2-015-DSC-A-ECR/BY2C

#### 4.1 Paikoitus ja ohjaus

Tuotteen kulkua valvotaan jokaisen kuljettimen alku- ja loppupäässä olevilla antureilla sekä kääntö- ja nostotoimintoa joko raja- tai pulssiantureilla. Rajalta rajalle -paikoituksessa käytetään jokaisella kääntö- ja nostokäytön rajalla hidastuspysäytys- sekä referenssiraja -antureita. Pulssianturipaikoituksessa edellä mainituista käytössä on ainoastaan referenssiraja varsinaisen paikoituksen toteutuessa SEW:n pulssiantureilla. Paikoitustavan valinnaisuus koskee vain nosto- ja kääntökäyttöjä, sillä yksinkertaisissa kuljettimissa ei ole tarvetta älykkäälle paikoitukselle eikä moottorijarrulle. Kuljetinkäyttöissä moottoriteho on 0,55 kW, nosto- ja kääntökäyttöissä 1,5 kW.

Movimotia ohjataan Profibus-väylässä suoraan PLC:llä. Taajuusmuuttajia, Movigearia ja DRC-moottoreita ohjataan SEW:n SBus-väylässä CCU-ohjaimilla, jotka on kytketty linjatopologialla Profibus-väylään. Väylämasterina toimii kaikissa tapauksissa Siemensin S7-300-sarjan CPU.

Kaappitaajuusmuuttajista käytetään rajalta rajalle -paikoituksessa Movitrac B:tä ja pulssianturipaikoituksessa Movidrive MDX61:tä. I/O-tieto kerätään kaappitaajuusmuuttajakäytössä neljään linjatopologialla Profibus-väylään liitettyyn Siemens ET200M -hajautusasemaan (kuva 12), hajautetussa käytössä Movimot- Movigear- ja DRC-käyttölaitteiden I/O-liitäntöihin, jolloin erillistä I/O-hajautusta ei tarvita.



KUVA 12. Linjaston I/O-hajautusalueet

I/O:n hajautuksessa täytyy miettiä käytännöllisyyttä sekä kustannuksia, jotka koskevat kaapelointia, ohjauskeskusta, laajennettavuutta sekä loogista kokonaisuutta. Väylähajautuksessa käytetyt komponentit maksavat ja ne täytyy koteloida, asentaa ja kaapeloida, mutta anturitieto on joka tapauksessa vietävä logiikalle. Väyläratkaisu on keskuksen tilaa säästävä topologia, jonka laajennettavuus on hyvä verrattuna siihen, että logiikan I/O-korteille varattaisiin tilaa ohjauskeskuksessa.

#### 4.2 Järjestelmän tilaluokitusvaatimus

Normaalissa asennuksessa käytetään IP55-luokan laitteistoa. Hygienia-asennukseen soveltuva IP-luokka asettaa järjestelmälle tiettyjä lisävaatimuksia. Elintarvike- ja lääketeollisuudessa komponenteista ei saa aiheutua kontaminaatiota ympäristöön sekä ne tulee usein olla pestävissä vesisuihkulla. Käytännössä tämä tarkoittaa IP66-luokan laitteistoa hygieniaominaisuuksilla tai IP55-luokan laitteiden kotelointia. Laitteiden ja suojiin muotojen sekä pintojen



tulee olla sellaisia, että pesuvesi pääsee valumaan niiden pinnalta pois. Käytettäessä normaaleita oikosulkumoottoreita joudutaan ottamaan huomioon lisähintaan tilattavien rosteriakselin ja pintakäsittelyn lisäksi moottorien kotelointitaso riittävän suojan saavuttamiseksi. Myös IP66-luokan oikosulkumoottorit on koteloitava, sillä niiden rakenne ei ole suunniteltu pestäväksi.

#### 4.3 Tiedonkeruuprosessi

Keskuslayoutit (liite 1) eri vaihtoehtoihin suunniteltiin Kymdatan CADS-sähkösuunnitteluohjelmistolla. Mekaaniseen suunnitteluun käytettiin vain vähän resursseja, sillä layout-kuvien tarkoitus tässä työssä on ainoastaan visualisoida järjestelmän rakennetta ja toiminnallista kokonaisuutta. Hinta- ja mittatietoja työkalua varten kerättiin valmistajien ja tavarantoimittajien hinnastoista ja internet-sivustoilta. Laskenta suoritettiin listahinnoilla, joita on mahdollista kompensoida realistisemmiksi asettamalla komponenttitoimittajan alennusprosentti sille tarkoitettuun kenttään työkalussa. Ohjauskeskusten suunnittelua varten kerättiin lisäksi komponenttien mittoja. Teknistä tietoa saatiin SEW:n Drive Engineering -osastolta ja manuaaleista.

#### 4.4 Laskentaan sisällytetyt asiat

Laskenta rajattiin työssä ensisijaisesti niihin osa-alueisiin, joihin taajuusmuuttajien hajauttamisen voitiin ennustaa vaikuttavan. Ei ollut tarkoitus tehdä täydellistä ja käyttökelpoista linjaston sähköistysuunnitelmaa turvajärjestelmineen, merkkivaloineen ja ohjauspainikkeineen, vaan etsiä suurempia suuntalinjoja tarkastellen ne kokonaisuudet, joissa säästöpotentiaali on kokonaisuuden kannalta merkittävä. Laskematta jätettiin joitain järjestelmille yhteisiä komponentteja, kuten ohjattavan logiikan CPU, turvarele ja 24VDC jännitelähde. Lisäksi automaatio suunnittelua ei huomioitu työkalun kehittämisessä. Yhteisten komponenttien huomiotta jättäminen vääristää suhteellista kustannusvertailua hieman, mutta ei vaikuta euromääräiseen eroon.

## 5 LASKENTATYÖKALU

Microsoft Office Excel -taulukkolaskentaohjelmalla toteutetussa työkalussa on eri kategorioiden hintatietoja listattu eri välilehdille. Välilehdet sisältävät vaihtelevan määrän valmiiksi laskettua tai tunnuslukujen perusteella syötettyä tietoa. Työkalu suunniteltiin siten, että ensimmäisellä välilehdellä (etusivu) olevilla valinnoilla voidaan vertailla eri vaihtoehtoja. Alasvetovalikolla valitaan paikoitustavaksi pulssianturi tai rajalta rajalle (kuva 13) sekä kyllä/ei -alasvetovalikolla hygienia-asennus (kuva 14). Muihin tietoihin ei tarvitse vaikuttaa. Tässä luvussa esiteltyjen osa-alueiden kokonaiskustannukset eritellään etusivulla ja lasketaan yhteen. Yhteenvetokenttiin lasketaan summia ainoastaan etusivulta, joten kaikki muutokset ja lisäykset voidaan tehdä vaihtamatta välilehteä. Näin työkalun etusivua voidaan muokata tilannekohtaisesti.



KUVA 13. Paikoitustavan valinta



KUVA 14. Hygienia-asennuksen valinta

Työkalun ulkoasu ja ohjehinnoilla lasketut komponenttihinnat ovat nähtävissä kokonaisuudessaan liitteessä 2. Etusivu esitetään jokaisen vertailuvaihtoehdon osalta, muut ainoastaan rajalta rajalle -paikoituksella ja IP55-asennuksella. Movimotia vertaillaan keskitettyyn käyttöön ainoastaan rajalta rajalle -paikoituksessa ja IP55-asennuksessa, joten työkalu piilottaa sen automaattisesti muissa valinnoissa.

## 5.1 Kaapelointi

### 5.1.1 Materiaalit

Moottorikaapelointi toteutetaan luvussa 3.2 kuvatulla tavalla. Esimerkin tilanteessa keskitetyn käyttötavan kaapelointiin käytetään häiriösuojattua 1,5 mm<sup>2</sup>:n moottorikaapelia, hajautetussa käyttötavassa 2,5 mm<sup>2</sup>:n suojaamatonta kaapelia. Häiriösuojauksesta johtuva kaapelien hintaero kompensoituu hajautetussa käytössä tarvittavan tehokaapelin suuremmasta poikkipinnasta johtuvalla korkeammalla hinnalla. Keskitetyn käytön kolminkertainen moottorikaapelimenekki tosin kääntää vertailun hajautetun järjestelmän eduksi.

I/O-kaapeloinnissa ero ei ole merkittävä. Esimerkin tapauksessa kaikki anturitieto voidaan kerätä väylässä olevien hajautettujen käyttölaitteiden I/O-liitäntöihin, mikä säästää kaapelin menekkiä ja työn osuutta hieman. Myös hajautuspisteiden materiaali-, asennus- ja syöttökaapelointikulut jäävät hajautetussa käyttötavassa pois. Vastaavasti kuitenkin kenttäväylää täytyy kaapeloida yhtä pitkälti kuin moottorinsyöttökaapelia, mikä ei ole keskitetyssä taajuusmuuttaja-asennuksessa tarpeen.

Vaikka kaapelointimäärä vaikuttaa keskitetyssä käytössä I/O-hajautuksen ja moninkertaisen moottorikaapelin tarpeen takia huomattavasti suuremmalta, eroa tasapainottaa Movimot-käyttölaitteeseen kytkettävien antureiden tehonsyöttöön tarvittava apusähkökaapeli sekä Movigear- ja DRC-käyttöille suositeltavan STO-turvapysäytyksen kaapeli, jotka ketjutetaan muiden kaapelien tapaan laitteelta laitteelle. Sen sijaan jarru- ja pulssianturikaapelointia ei hajautetussa käyttötavassa tarvita. Lopullinen ero kaapelien kokonaispituudessa on esimerkin tapauksessa mainittujen kaapelien osalta paikoitustavasta riippuen noin 20 - 30 % hajautetun

käyttötavan eduksi. Materiaalikustannuksissa säästö ei ole merkittävä, mutta kaapelointiin käytetyn ajan ja kytkentävirheiden riskin voidaan olettaa vähenevän kaapelimäärän myötä (arviot luvussa 6.2). Keskitetyssä käyttöautomaatiossa kaapelointitarve kasvaa mahdollisten optioiden, kuten termistorien tai lisätuulettimien käytön myötä.

### 5.1.2 Kaapelointityö

Työn osuutta laskettiin sähköistysalan työehtosopimuksen taulukoiden mukaisilla kaapeli- ja johdinkohtaisilla kytkennän ja asennuksen urakkahinnoilla. Näillä tunnusluvuilla laskettuna kaapelien lukumäärä ja siihen liittyvä suuri johdinmäärä vaikuttaa työn hintaan enemmän kuin kaapelipituus (Sähköalojen ammattiliitto ry 2012, 97, 103). Luvuilla saatiin jonkinlaista vertailukohtaa kahden asennustavan välille, vaikka kyseessä ei välttämättä olekaan todellinen hinnoittelutapa. Asia otettiin myöhempään tarkasteluun asiakaskäyntien yhteydessä ja kysyttiin asiakkaiden arvioita järjestelmän kaapelointikustannuksiin heidän oman kustannusrakenteensa perusteella.

## 5.2 Ohjauskeskus

Vahva argumentti hajautetun käyttötavan puolesta on ohjauskeskuksen tilansäästö. Tehoelektroniikan poistaminen kaapista vähentää tilantarvetta huomattavasti. Suojattaessa jokainen taajuusmuuttajälähtö luvun 3.2.1 mukaisesti kustannuksia kertyy sekä keskuksen koon että komponenttien hankintahintojen takia, mutta myös kalustuskustannukset muodostavat huomattavan osan keskuksen lopullisesta hinnasta. Suuri ohjauskeskus asettaa myös sähkösuunnittelulle tiettyjä vaatimuksia, kuten komponenttien sijoittelu keskuksen ja jäähdytystarpeen arvioiminen.

### 5.2.1 Keskuksen komponentit

Esimerkkijärjestelmään tarvittavat komponentit vaativat keskitetyssä ratkaisussa vähintään 1800 mm leveän ja 2000 mm korkean yksittäiskaapin. Todennäköistä on, että keskustila pitäisi suunnitella vielä väljemmäksi taajuusmuuttajien

määrästä ja yhteistehosta johtuvan lämmöntuoton takia, mutta esimerkissä haluttiin tarkastella kustannuksia sillä perusteella, mikä on keskustilan puitteissa vähintään välttämätöntä. Hajautetussa ratkaisussa voidaan käyttää 600 x 600 mm kokoluokan keskusta.

Elintarviketeollisuudessa käytetään pääsääntöisesti vinokattoisia, lattiatasosta korotettuja, ruostumattomasta teräksestä valmistettuja IP66-luokan keskuksia (kuva 15). Kaappivalmistajasta riippuen on käytettävä useampaa pientä kaappia, valmistuttava kaappi mittatilaustyönä tai käytettävä modulaarisia rivitysjärjestelmäkeskuksia. Ongelmaksi hygienia-asennuksessa muodostuu keskuksen jäähditys, koska keskuksen tulee olla ulkoapäin vesisuihkulla pestävä. Hygienia-asennuksessa päädyttiin käyttämään Rittalin suurimpia Hygienic Design -sarjan ohjauskeskuksia, joita esimerkin kokoinen järjestelmä vaatii neljä kappaletta. Rittalin rivitettävien hygieniakeskusten käyttö tulisi olemaan huomattavasti edellämainittua ratkaisua kalliimpi. Hajautetussa järjestelmässä hygienia-asennuksessa voidaan käyttää asennuslevyltään samankokoista yksittäiskaappia kuin normaalissa asennuksessa.

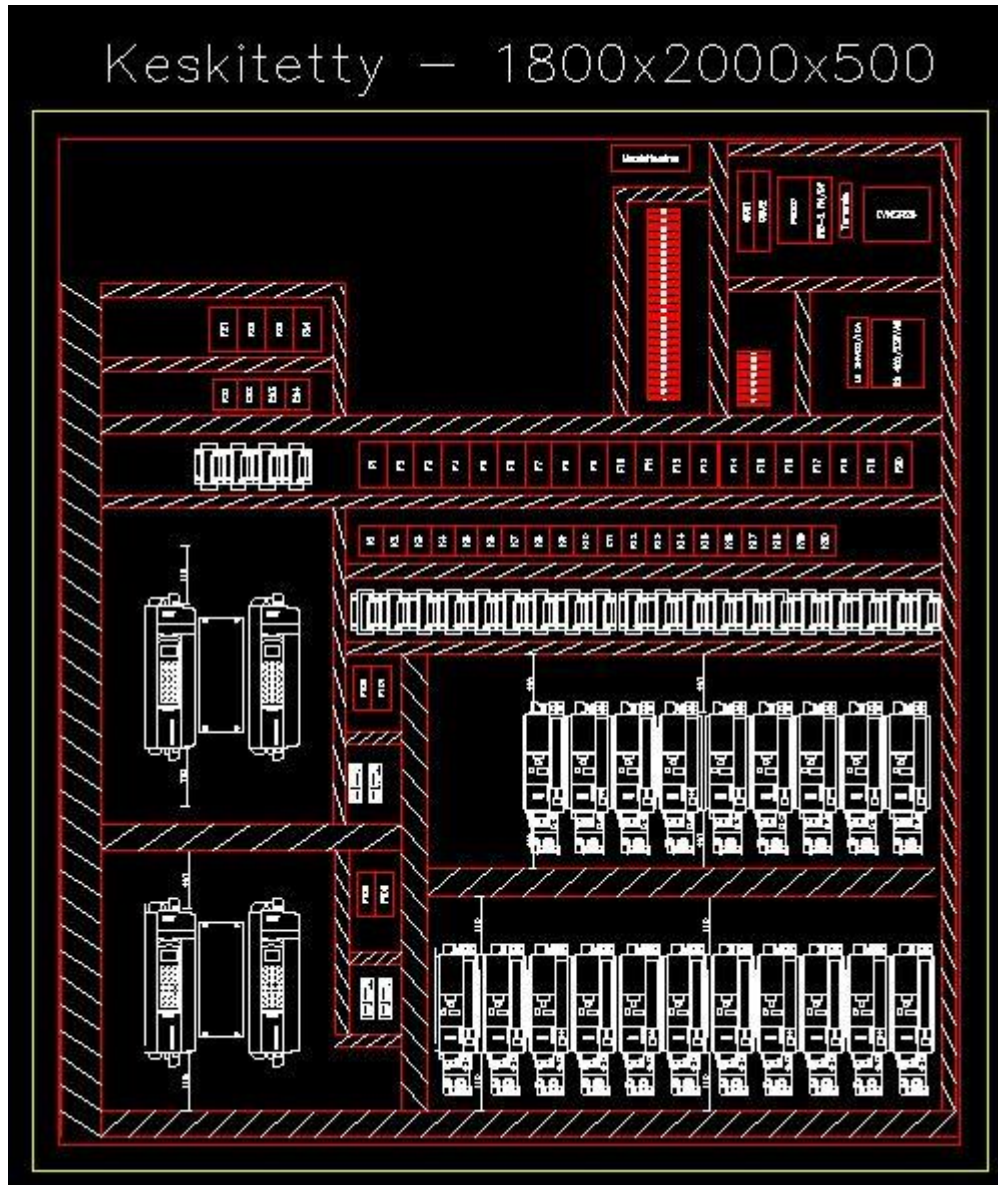


KUVA 15. Rittalin HD-sarjan kytkentäkotelo (Electronics Sourcing Online 2014)

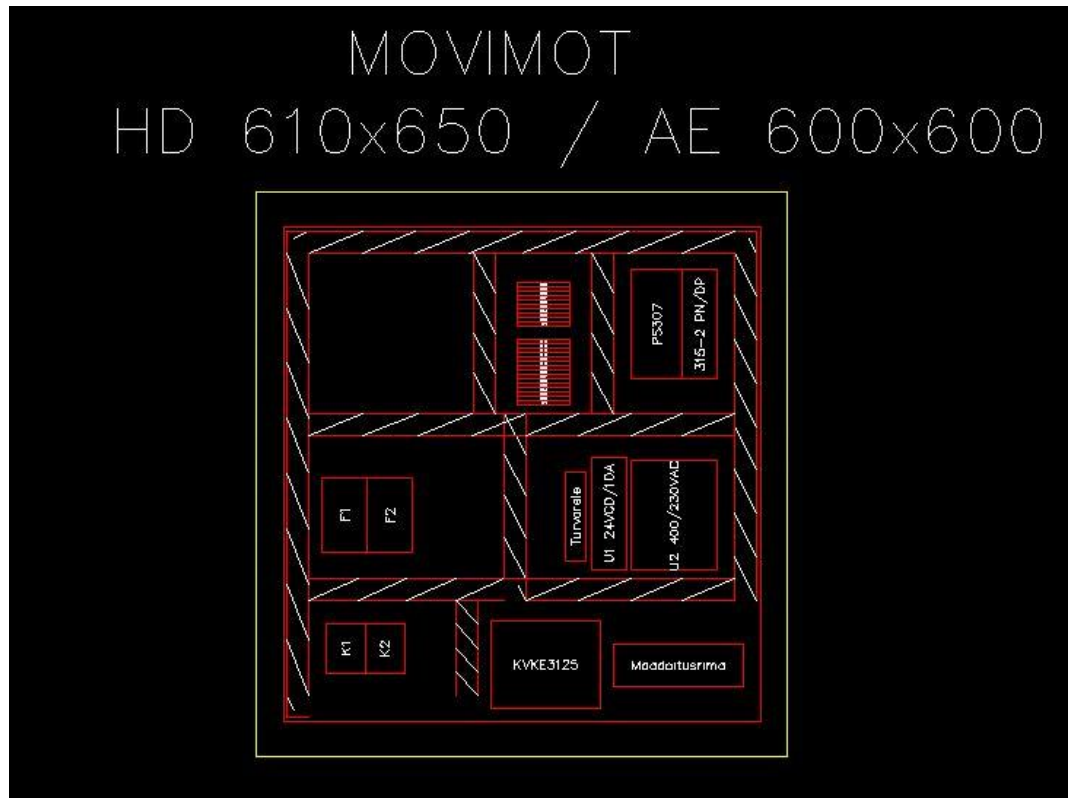
### 5.2.2 Keskusvalmistus

Keskusvalmistaja kalustaa keskuksen sähkösuunnittelijan etukäteen valitsemilla komponenteilla ja suorittaa keskuksen sisäisen johdotuksen. Komponenttien tunnuksot ja johtimet on merkattava tilaajan vaatimusten mukaisesti, esimerkiksi sekä itse komponenttiin että keskuksen asennuslevyyn komponentin kohdalle. Tunnusten täytyy vastata keskuksen mukana toimitettavia piirustuksia. Suuri komponenttimäärä lisää sekä merkintä- että asennustyön määrää. (Köykkä 2008, 9.)

Kuvissa 16 ja 17 esitetään esimerkkilinjaston keskuslayoutit. Taajuusmuuttajien sijoittelussa keskukseseen ei ole huomioitu mahdollisimman tehokasta jäähdytystä, vaan noudatettu valmistajan ohjeita tuuletustilasta taajuusmuuttajien ylä- ja alapuolella.



KUVA 16. Keskitetyn käyttötavan yksittäiskaappi IP55-asennuksessa



KUVA 17. Movimot-käytön ohjauskeskus

Keskusvalmistuksesta vastaa usein eri taho kuin käyttöönotosta. Keskuksen valmistajan on luovutettava keskuksen mukana siirto-, asennus-, käyttö- ja huolto-ohjeet. Ennen käyttöönottoa sähkökeskukselle tehdään asianmukaiset tarkastukset. Tarkastuksia suorittavat sekä keskusvalmistaja että sähköasennusten tekijä. Työmaalla tarkastettavia asioita ovat muun muassa valmistajan tarkastus- ja mittauspöytäkirjat, mekaaninen kunto, asennusvalmius, sopimuksenmukaisuus sekä varusteet. Varsinainen käyttöönottotarkastus sisältää erinäisiä kytkentöjen, johdinten ja komponenttien tarkastuksia ja mittauksia. Käyttöönottotarkastuksesta tehdään pöytäkirja, joka jää liitteineen sähköasennusten haltijalle ja tilaajalle. (Köykkä 2008, 9 - 10.)

Tutkimusvaiheessa ei saatu tietoa tyypillisistä keskusvalmistuksen hinnoitteluperiaatteista. Keskusvalmistuksen työkustannukset sisältävä solu työkalussa jätettiin tyhjäksi asiakaskäyntejä varten.



### 5.3 I/O-hajautus

Keskitettyssä ratkaisussa anturitietoa kerätään luvun 4.1 mukaisesti neljään linjatopologialla asennettuun hajautusasemaan. Komponenttikustannuksiin lasketaan Siemensin komponentit sekä kotelot. Hygieniasennuksessa kotelohinta määräytyy RST-kotelon hinnan mukaan. Anturikaapelointi ja I/O-määrä syötetään työkaluun käsin. Kalustustyön osuus jätettiin huomiotta ja I/O-kaapelointi laskettiin muun kaapeloinnin ohessa kohdassa ”Kaapelointi”.

### 5.4 Moottorien kotelointi

Hygieniasennuksessa merkittävä kulu on oikosulkumoottorien kotelointi vastaamaan IP-luokan vaatimuksia. Laskennassa käytettiin SEW-EURODRIVEN asiakkailta saatua kokemusperäistä ohjehintaa. Hinta koostuu suunnittelusta, valmistuksesta ja asennuksesta. Movigear ja DRC-moottori eivät vaadi ulkoista kotelointia. (Nurmikari 2014.)

### 5.5 Sähkösuunnittelu

Sähkösuunnittelun hinnoittelu riippuu suunnittelutahosta. Hajautetun järjestelmän pienempi kaapeli- ja komponenttimäärä oletettavasti vähentää sähkösuunnittelijan työtä, mutta mikäli suunnittelu hinnoitellaan esimerkiksi moottorilähtöjen määrän perusteella, ei sähkösuunnitelman todellinen hinta muutu. Näin ollen suunnittelun tilaajan tulisi tietää tarjousta pyytäessä, kuinka hajautetun järjestelmän käyttö vähentää sähkösuunnittelijan työaika.

Tutkimusvaiheessa ei saatu tietoa sähkösuunnittelun tyypillisistä hinnoitteluperiaatteista. Sähkösuunnittelukustannukset sisältävä solu työkalussa jätettiin tyhjäksi asiakaskäyntejä varten.

### 5.6 SEW-komponentit

SEW:n komponenttihinnat eri käyttötapoihin saatiin SEW:n Drive Engineering -osastolta. Laskennassa käytettiin tyypillisiä järjestelmävalmistajilta veloittavia hintoja.

## 5.7 Yhteenveto hinnoista

Materiaalikustannusten säästö luvun 4.4 mukaisista osa-alueista on nähtävissä taulukosta 3. Luvut esitetään sadan euron tarkkuudella, ja ne koskevat rajalta rajalle -paikoitusta. Pulssianturipaikoituksessa ainoastaan osa binäärianturikaapelista korvautuu pulssianturikaapelilla eikä kaapelien kokonaishinnoissa ole merkittävää eroa.

TAULUKKO 3. Työkalulla lasketut materiaalikustannukset 100 €:n tarkkuudella

	IP55-asennus			Hygieniasennus	
	Keskitetty	Movimot	MG + DRC	Keskitetty	MG + DRC
Kaapelointi	2 100 €	900 €	900 €	2 100 €	1 700 €
Keskus	3 900 €	500 €	500 €	7 900 €	1 000 €
I/O-hajautus	1 300 €			2 500 €	
Moottorien kotelointi				4 800 €	
SEW komponentit	23 000 €	27 300 €	39 400 €	28 000 €	42 800 €
<b>Yhteensä</b>	<b>30 300 €</b>	<b>28 700 €</b>	<b>40 800 €</b>	<b>45 300 €</b>	<b>45 500 €</b>

## 6 ASIAKASKÄYNNIT

Työssä haastateltiin kolmea SEW-EURODRIVEN asiakasyritystä Etelä-Suomen alueelta. Haastatteluissa pyrittiin selvittämään asiakkaan yleistä asennetta hajautettua käyttötapaa kohtaan sekä kertomaan myös siihen liittyviä haasteita. Tässä luvussa käsitellään keskusteltuja aiheita ja esille nousseita asioita.

### 6.1 Tavoitteet

Asiakaskäyntien tarkoituksena oli herättää keskustelua prosessin kokonaiskustannuksista ja saada asiakas ajattelemaan hajautettua käyttötapaa potentiaalisena vaihtoehtona tulevissa projekteissaan. Lisäksi haluttiin saada kokemukseen perustuvia arvioita työkustannuksiin, joihin ei tutkimusvaiheessa saatu tietoa. Tiedusteltiin sekä valmiiksi laskettujen hintojen todenmukaisuutta että kustannuksia, joita ei aiemmin ollut saatu selvitettyä. Asiakkaan antamalla luvuilla täydennettiin työkalua ja saatiin asiakkaan omiin hintoihin perustuva arvio työkalun sisältämien osa-alueiden kokonaishinnoista.

### 6.2 Työn osuus projektissa

Työn osuutta arvioidessa kysyttiin joko valmista kustannusarviota tai karkeaa tuntiarviota työajasta. Mikäli asiakas arvioi työaika, käytettiin arvioituja tuntiveloituksia loppuhinnan laskemiseksi. Sekä suunnittelu- että asennustyön hinnaksi arvioitiin 50 €/h.

Asiakkaat olivat odotetun yksimielisiä suuresta säästöpotentialista ohjauskeskuksen osalta. Hajautetun järjestelmän keskusvalmistuksen hinnaksi arvioitiin 20 - 40 % keskitetyn järjestelmän vastaavasta hinnasta. Kääntäen tämä tarkoittaa 60 - 80 % säästöä keskusvalmistuksessa komponenttihintojen lisäksi. Kenttäkaapeloinnin työkustannukset arvioitiin hajautetussa järjestelmässä 15 - 25 % pienemmiksi kuin keskitetyssä. (Järvinen 2014; Salo 2014; Kirmanen 2014.)

Sähkösuunnittelukustannukset ovat yrityksen sisäisestä rakenteesta riippuvaisia tilanteissa, joissa sähkösuunnittelua ei ole ulkoistettu. Kaikki yritykset eivät tee asioita samalla tavalla, joten dokumenttien kulku työvaiheissa vaihtelee.

Haastateltujen yritysten arviot säästöstä hajautetun järjestelmän sähkösuunnittelussa olivat 20 - 40 % verrattuna kaappitaajuusmuuttajakäyttöön. (Järvinen 2014; Salo 2014; Kirmanen 2014.)

### 6.3 Riskienhallinta projekteissa

Yhdeksi keskustelunaiheeksi nousi riskienhallinta ja muutosten ilmeneminen projektin aikana. Yleisimpiä muutoksia on I/O:n lisääminen. Muut muutokset vaihtelevat projektin luonteen mukaan. Hajautetun keskuksen eduksi koettiin hyvä laajennettavuus sähkökeskuksen pienen moottorilähtökohtaisen tilantarpeen takia. Myös valmiita projekteja on mahdollista laajentaa ilman merkittävää lisäpanostusta sähkösuunnitteluun. (Järvinen 2014; Salo 2014; Kirmanen 2014.)

Pohdittiin, voisiko kustannusarvioinnissa käyttää jonkinlaista riskikerrointa, jolla indikoitaisiin projektin kulun ennustettavuutta. Esitettiin, että kerroin voisi olla keskitetylle järjestelmälle 1 ja hajautetulle 0,7 - 0,8. Kerrointa on kuitenkin vaikea soveltaa konkreettisesti laskettaviin lukuihin, mutta viivästyistä usein aiheuttavissa osa-alueissa se voisi tulla kyseeseen. Esimerkiksi hajautetun tekniikan toistuvan käytön myötä yritys voisi määrätä kokemuspohjaisen riskikertoimen niille toiminnoille, joissa hajautettu käyttötekniikka todetusti vähentää viivästyksiä. (Järvinen 2014; Salo 2014; Kirmanen 2014.)

Riskien, muuttujien sekä suunnittelu- ja asennustyöajan vähentyessä myös läpimenoajat lyhenevät. Mikäli järjestelmävalmistaja pystyy toteuttamaan projektin hajautetulla käyttötekniikalla sekä nopeammin että halvemmalla kuin keskitetyllä käytettävällä, ovat myyntivaltteina sekä hinta että toimitusaika. Tämä avaa uusia mahdollisuuksia hinnoittelulle, kun pohjana ovat aiemmat projektit keskitetyllä tekniikalla. Loppukäyttäjä voi esimerkiksi saada aiempaa, keskitettynä toteutettua kuljetinlinjastoa vastaavan järjestelmän samalla hinnalla, mutta nopeammin. Tällöin loppukäyttäjän etu on nopeampi toimitus ja järjestelmätoimittajan etu suurempi kate edullisemmän toteutustavan ansiosta.

## 7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää asiakasnäkökulmasta hajautetun käyttötekniikan säästöpotentiaali verrattuna kaappitaajuusmuuttajakäyttöön. Työn lopputuotteeksi toivottiin laskentatyökalua, jolla voitaisiin tunnuslukuja käyttämällä ennustaa asiakkaan kokonaiskustannuksia projektissa.

Tyypilliseen kuljetinjärjestelmään kerättiin hintatietoja eri hygieenisuus- ja paikoituslähtökohdista. Materiaalikustannusten osalta tulokset ovat selkeitä, mutta työn osuuden ennustaminen osoittautui vaikeaksi. Saatuja lukuja täydennettiin asiakastapaamisissa asiakkaan omien arvioiden perusteella.

Tulosten mukaan suurimmat säästöt käytettäessä hajautettua järjestelmää saavutetaan ohjauskeskuksen komponentti- ja valmistuskustannuksissa sekä sähkösuunnittelun ja -asennuksen työkustannuksissa. Rajalta rajalle -paikoituksessa IP55-asennuksella keskitetty käyttötapaa osoittautui selvitettyjen osa-alueiden osalta kalliimmaksi kuin Movimot, mutta halvemmaksi kuin Movigear- ja DRC-toteutus. Hygieniasennuksessa ohjauskeskukseen kohdistuvien kustannusten lisäksi säästöä saavutetaan välttyttäessä oikosulkumoottorien koteloinnilta. Tällöin Movigear- ja DRC-järjestelmä on keskitettyä käyttötapaa edullisempi ratkaisu. Työmäärän ja järjestelmän muuttajien vähentyessä myös projektien läpimenoajat sekä riskit pienenevät.

## LÄHTEET

Elektroniset lähteet:

Ekholm, N. 2012. Taajuusmuuttajan välipiirin elektrolyyttikondensaattoreiden elvyttäminen pitkän seisonajakson jälkeen. Ammattikorkeakoulujen rehtorineuvosto ARENE ry [viitattu 30.7.2014]. Saatavissa:

<http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/40730/taajuusm.pdf?sequence=1>

Electronics Sourcing Online. 2014. Rittal's hygienic design enclosures. MMG Publishing Ltd UK [viitattu 8.8.2014]. Saatavissa: <http://www.electronics-sourcing.com/2012/05/14/rittals-hygienic-design-enclosures/>

Kauppalehti. 2014. SEW-Eurodrive Oy. Kauppalehti Oy [viitattu 12.10.2014].

Saatavissa: <http://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/seweurodrive+oy/01493943>

Köykkä, S. 2008. Sähkökeskusten standardin mukainen valmistus.

Ammattikorkeakoulujen rehtorineuvosto ARENE ry [viitattu 30.7.2014].

Saatavissa:

[http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/1303/koykka\\_samuli.pdf?sequence=1](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/1303/koykka_samuli.pdf?sequence=1)

Nurmikari, E. 2013. Movigear elintarviketeollisuudessa. SEW-EURODRIVE Oy [viitattu 2.9.2014]. Ei julkisesti saatavissa.

SEW-EURODRIVE. 2010. MOVIMOT<sup>®</sup> MM..D jossa kolmivaihemoottori DRS/DRE/DRP Käyttöohje. SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG [viitattu 30.7.2014]. Saatavissa: <http://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/17000130.pdf>

SEW-EURODRIVE. 2011. Drive Engineering – Practical Implementation. SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG [viitattu 8.8.2014]. Saatavissa:

<http://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/17051215.pdf>

SEW-EURODRIVE. 2012a. Electronic Motor DRC.-...-DSC Direct SBus Communication Operating Instructions. SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG [viitattu 30.7.2014]. Saatavissa: <http://www.sew-eurodrive.com/eurodrive/download.sew-eurodrive.com/download/pdf/19375611.pdf>

SEW-EURODRIVE. 2012b. Mechatronic Drive System MOVIGEAR® B Catalog. SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG [viitattu 30.7.2014]. Saatavissa: <http://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/19374828.pdf>

SEW-EURODRIVE. 2013. MOVITRAC® B System Manual. SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG [viitattu 30.7.2014]. Saatavissa: <http://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/20188145.pdf>

SEW-EURODRIVE. 2014. SEW Suomessa. SEW-EURODRIVE Oy [viitattu 30.7.2014]. Saatavissa: [http://sew-eurodrive.fi/s\\_company/SEW\\_Oy.shtml](http://sew-eurodrive.fi/s_company/SEW_Oy.shtml)

Sähköalojen ammattiliitto ry. 2012. Sähöistysalan työehtosopimus 1.9.2012-30.9.2014. Tampere: Tammerprint Oy [viitattu 8.8.2014]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/tes/stes4183-MU90sahkoistys1209.pdf>

Suulliset lähteet:

Järvinen, J. 2014. Mekaniikkasuunnittelupäällikkö. Amitec Oy. Haastattelu 11.6.2014.

Kirmanen, M. 2014. Automaatiosuunnittelupäällikkö. Dieffenbacher Panelboard Oy. Haastattelu 17.6.2014.

Nurmikari, E. Development manager. SEW-EURODRIVE Oy. Koulutukset, kevät 2014.

Salo, J. 2014. Projekti-insinööri. Ferroplan Oy. Haastattelu 12.6.2014.

## LIITTEET

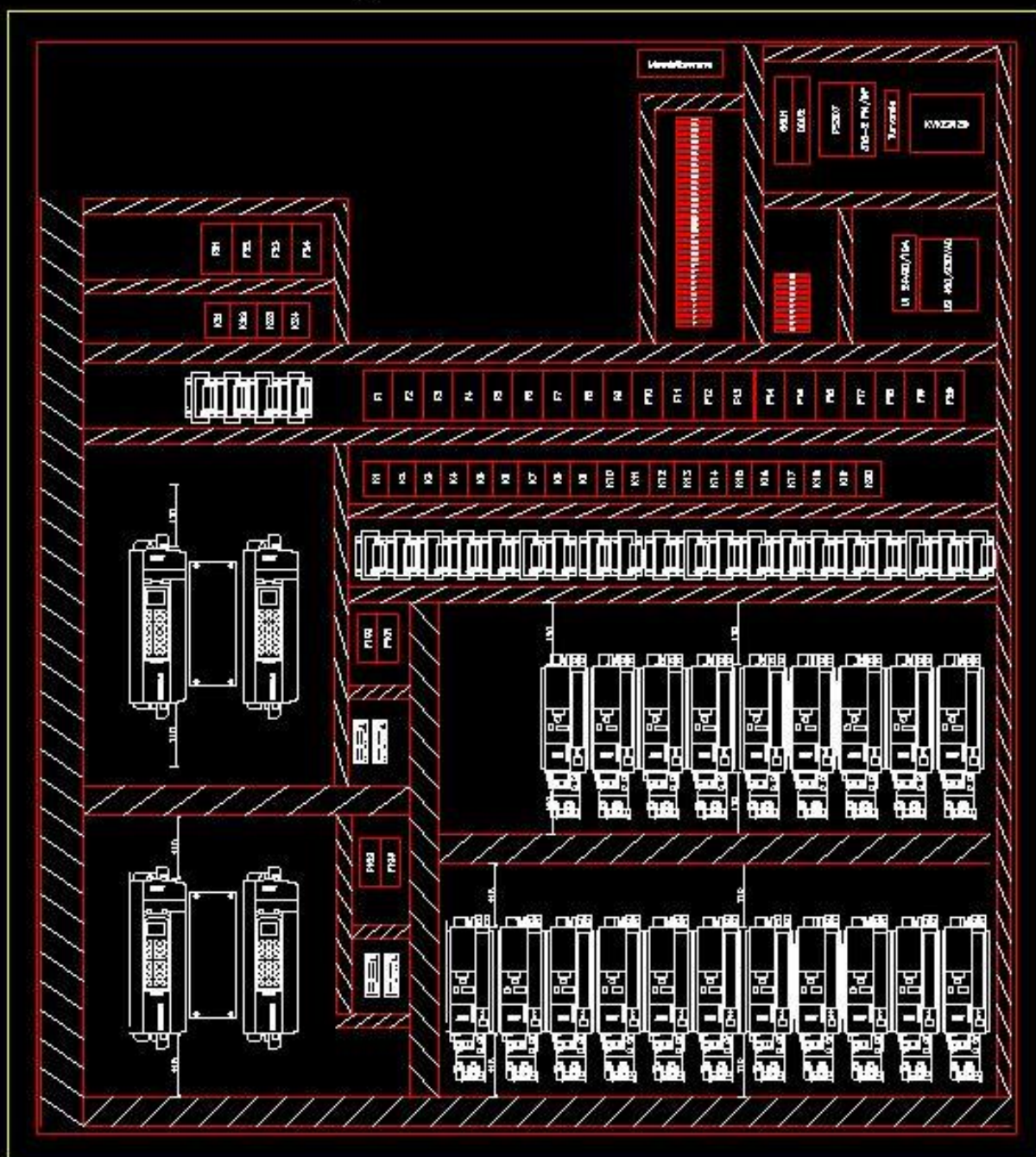
LIITE 1. Ohjauskeskusten layout-kuvat

LIITE 2. Työkalun välilehtinäkymät

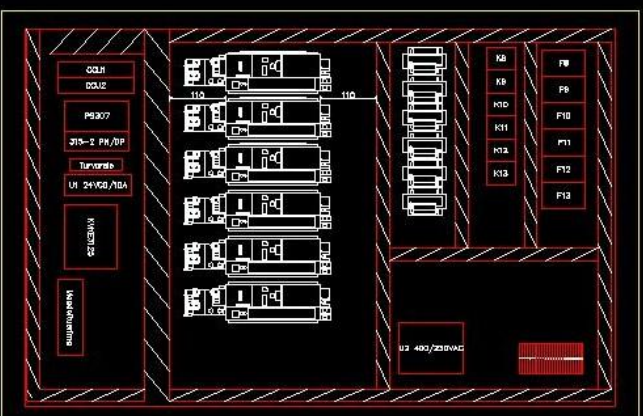
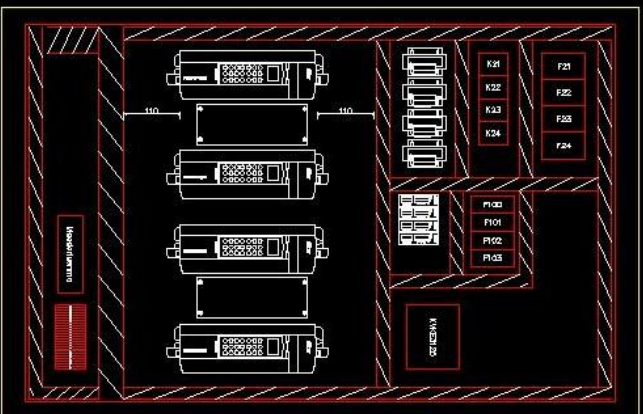
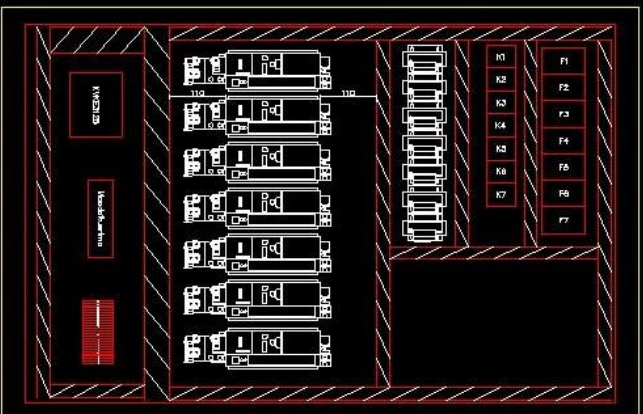
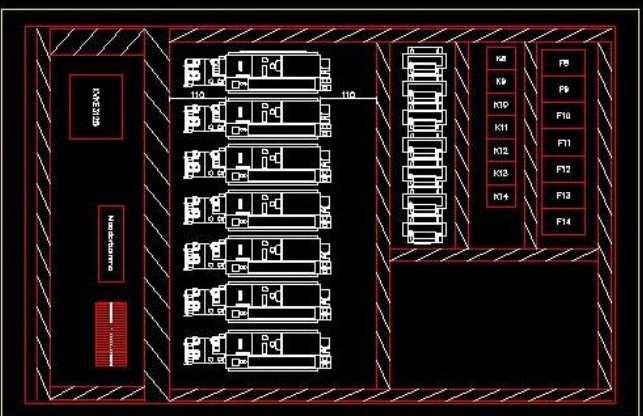


## LIITE 1. Ohjauskeskusten layout-kuvat

# Keskitetty – 1800x2000x500

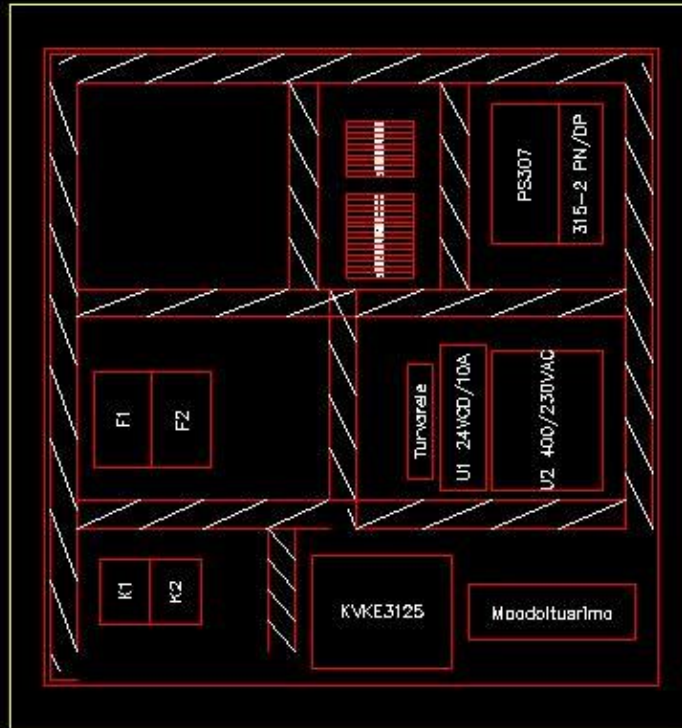


# Keskitetty hygienia – 4kpl HD 810x1250x300



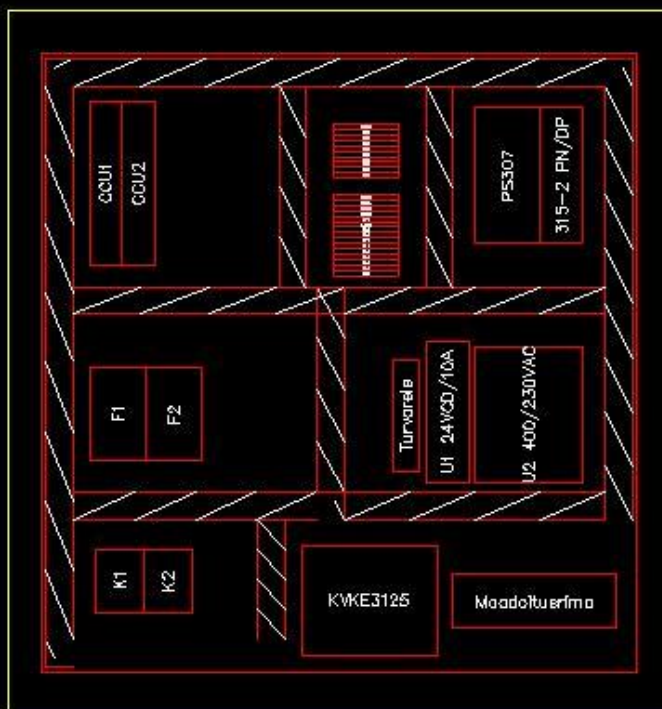
# MOVIMOT

HD 610x650 / AE 600x600



# MOVIGEAR

HD 610x650 / AE 600x600



## LIITE 2. Työkalun välilehtinäkömät.



**SEW**  
EURODRIVE

## Keskitetyn ja hajautetun käyttötekniikan kokonaiskustannukset

### Asennus- ja käytötaavan valinta

Paikoitus

Rajalta rajalle

Hygienia-asennus

Ei

### Vertailu

	Keskitetty		Movimot		Movigear + DRC		Alennusprosentti
	Komponentit	Työ	Komponentit	Työ	Komponentit	Työ	
<b>Kaapelointi</b>	2 120,88 €	1 004,30 €	885,70 €	850,87 €	885,70 €	850,87 €	<input type="text"/>
<b>Keskus sis. komponentit</b>	3 906,75 €		488,88 €		488,88 €		<input type="text"/>
<b>I/O-hajautus</b>	1 329,46 €						<input type="text"/>
<b>Moottorien koteloointi</b>							
<b>Sähkösuunnittelu</b>							
<b>SEW komponentit</b>	23 006,20 €		27 271,76 €		39 421,54 €		

### Yhteenveto

	Keskitetty	Movimot	Movigear + DRC
<b>Komponentit yhteensä</b>	30 363,29 €	28 646,34 €	40 796,12 €
<b>Työkustannukset yhteensä</b>	1 004,30 €	850,87 €	850,87 €
<b>Kokonaiskustannukset</b>	31 367,59 €	29 497,21 €	41 646,99 €



**SEW**  
EURODRIVE

## Keskitetyn ja hajautetun käyttötekniikan kokonaiskustannukset

### Asennus- ja käyttötavan valinta

Paikoitus

Puussianturi

Hygienia-asennus

Ei

### Vertailu

	Keskitetty		Movimot		Movigear + DRC		Alennusprosentti
	Komponentit	Työ	Komponentit	Työ	Komponentit	Työ	
<b>Kaapelointi</b>	2 076,60 €	1 012,68 €			852,08 €	804,44 €	<input type="text"/>
<b>Keskus sis. komponentit</b>	3 910,75 €				488,88 €		<input type="text"/>
<b>I/O-hajautus</b>	1 329,46 €						<input type="text"/>
<b>Moottorien kotelointi</b>							
<b>Sähkösuunnittelu</b>							
<b>SEW komponentit</b>	25 458,34 €				39 421,54 €		

### Yhteenveto

	Keskitetty	Movimot	Movigear + DRC
<b>Komponentit yhteensä</b>	32 775,15 €	- €	40 762,50 €
<b>Työkustannukset yhteensä</b>	1 012,68 €	- €	804,44 €
<b>Kokonaiskustannukset</b>	33 787,83 €	- €	41 566,94 €





**SEW**  
EURODRIVE

## Keskitetyn ja hajautetun käyttötekniikan kokonaiskustannukset

### Asennus- ja käytettävän valinta

Paikoitus

Rajalta rajalle

Hygieniasennus

Kyllä

### Vertailu

	Keskitetty		Movimot		Movigear + DRC		Alennusprosentti
	Komponentit	Työ	Komponentit	Työ	Komponentit	Työ	
Kaapelointi	2 120,88 €	1 004,30 €			885,70 €	850,87 €	<input type="text"/>
Keskus sis. komponentit	7 906,20 €				1 008,55 €		<input type="text"/>
I/O-hajautus	2 547,98 €						<input type="text"/>
Moottorien kotelointi		4 800,00 €					
Sähkösuunnittelu							
SEW komponentit	28 033,38 €				42 815,12 €		

### Yhteenveto

	Keskitetty	Movimot	Movigear + DRC
Komponentit yhteensä	40 608,44 €	- €	44 709,37 €
Työkustannukset yhteensä	5 804,30 €	- €	850,87 €
Kokonaiskustannukset	46 412,74 €	- €	45 560,24 €



**SEW**  
EURODRIVE

## Keskitetyn ja hajautetun käyttötekniikan kokonaiskustannukset

### Asennus- ja käytettävän valinta

Paikoitus

Puissianturi

Hygienia-asennus

Kyllä

### Vertailu

	Keskitetty		Movimot		Movigear + DRC		Alennusprosentti
	Komponentit	Työ	Komponentit	Työ	Komponentit	Työ	
Kaapelointi	2 076,60 €	1 012,68 €			852,08 €	804,44 €	<input type="text"/>
Keskus sis. komponentit	7 910,20 €				1 008,55 €		<input type="text"/>
I/O-hajautus	2 547,98 €						<input type="text"/>
Moottorien kotelointi		4 800,00 €					
Sähkösuunnittelu							
SEW komponentit	30 485,52 €				42 815,12 €		

### Yhteenveto

	Keskitetty	Movimot	Movigear + DRC
Komponentit yhteensä	43 020,30 €	- €	44 675,75 €
Työkustannukset yhteensä	5 812,68 €	- €	804,44 €
Kokonaiskustannukset	48 832,98 €	- €	45 480,19 €



SEW  
SUKKINEN

## Moottorikohtaiset valinnat

### Keskitetyn käyttötavan valinnat

Moottori	Teho [kW]	Paikoitus	Jarru	Termistori	Erillistuuletin	Etäisyys keskukselta [m]	Hajautusketju
M1	0,55	Rajalta rajalle				33,7	1
M2	0,55	Rajalta rajalle				30,7	1
M3	0,55	Rajalta rajalle				27,7	1
M4	0,55	Rajalta rajalle				24,7	1
M5	0,55	Rajalta rajalle				22,7	1
M6	0,55	Rajalta rajalle				19,2	1
M7	0,55	Rajalta rajalle				15,2	1
M8	0,55	Rajalta rajalle				18,2	1
M9	0,55	Rajalta rajalle				21,2	2
M10	0,55	Rajalta rajalle				18,2	2
M11	0,55	Rajalta rajalle				16,2	2
M12	0,55	Rajalta rajalle				20,7	2
M13	0,55	Rajalta rajalle				21,7	2
M14	0,55	Rajalta rajalle				24,7	2
M15	0,55	Rajalta rajalle				27,7	2
M16	0,55	Rajalta rajalle				30,7	2
M17	0,55	Rajalta rajalle				14,2	1
M18	0,55	Rajalta rajalle				11,2	1
M19	0,55	Rajalta rajalle				8,2	2
M20	0,55	Rajalta rajalle				11,2	2
M21	1,5	Rajalta rajalle	Kyllä			19,5	1
M22	1,5	Rajalta rajalle	Kyllä			19,5	2
M23	1,5	Rajalta rajalle	Kyllä			18	1
M24	1,5	Rajalta rajalle	Kyllä			15	2
M25							
M26							
M27							
M28							
M29							
M30							

### Hajautetun käyttötavan tunnusluvut

Ketjujen määrä vähintään	2
Metriä/käyttö	6

### Yhteenveto

Käyttöjen määrä	24 kpl	Moottorikaapelin tarve keskitettynä [m]	490
		Moottorikaapelin tarve hajautettuna [m]	144



## I/O-hajautus

### I/O-tiedot

		Hinta	Leveys [mm]
Hajautuspisteiden määrä	<input type="text" value="4"/>	1 194,40 €	75
Inputit / piste	<input type="text" value="20"/>	135,06 €	45
Outputit / piste	<input type="text"/>	- €	0
Yhteensä		1 329,46 €	120

### Kaapelointi

#### Keskitetty

Väyläkaapelin määrä [m]	<input type="text" value="67"/>
Tehokaapelin määrä [m]	<input type="text" value="83"/>
Anturikaapelin määrä [m]	250

#### Hajautettu

Anturikaapelin määrä [m]	181
--------------------------	-----





## Keskuksen kalustus

### Taajuusmuuttajat ja etukomponentit

Taajuusmuuttajat			Suojat ja kytkinlaitteet		
Tyyppi	Moottoriteho [kW]	Kpl	Sulakkeet	Kontaktorit	Yhteensä
Movitrac B	0,25	0			
	0,37	0			
	0,55	20	580,00 €	899,60 €	<b>1 479,60 €</b>
	0,75	0			
	1,1	0			
	1,5	4	116,00 €	179,92 €	<b>295,92 €</b>
	2,2	0			
	3	0			
	4	0			
	5,5	0			
	7,5	0			
	11	0			
	15	0			
	22	0			
	30	0			
	37	0			
45	0				
55	0				
75	0				
Tyyppi	Rakennekoko	Kpl			
Movidrive MDX61	0S	0			
	0M	0	- €	- €	- €
	1	0			
	2S	0			
	2	0			
	3	0			
	4	0			
	5	0			
6	0				
7	0				

### Muuta

	Kpl	
Jarruohjainten etusulakkeet (10A)	4	<b>224,00 €</b>
Keskus IP55	1	<b>1 668,23 €</b>
Keskus hygienia	1	
Kytkinvarokkeet	1	<b>123,00 €</b>
Tuuletin	1	<b>116,00 €</b>
<b>Yhteensä</b>		<b>3 906,75 €</b>

### Hajautetun järjestelmän keskus

Keskus	Etusulakkeet	Kontaktorit	Kytkinvaroke	Yhteensä
181,38 €	94,54 €	89,96 €	123,00 €	<b>488,88 €</b>